

第3章

既製杭を対象とした靱性のある杭頭接合面降伏の実現可能性を確認する

ための実験

3.1 杭頭埋込部の破壊時挙動の検証

3.1.1 研究目的と背景

杭頭接合部の構造性能については未解明な部分が多く、実験による耐震性能の把握が求められている。特に、杭頭埋込部の抵抗機構については不明な点が多く、耐力や変形性能の評価法について確立されているとは言い難い。黒正等^[3-1]は既製杭を用いた杭頭埋込部の抵抗機構について片持ち静的載荷実験を行い杭頭埋込部の耐震性能を確認しているが、無軸力下での実験となっており大地震時に想定される軸力レベルでの性能把握には至っていない。また、松田等^[3-2]は軸力および杭頭埋込長さを変数とした杭頭埋込部（杭体は既製杭（杭直径D：400mm）を用いている。）の片持ち静的載荷実験を実施し、杭頭埋込部の曲げ耐力評価法を提案している。

パイルキャップを有する杭基礎構造では、杭頭接合面破壊が破壊モードの一つとして考えられる。そこで、込み部に配筋された埋込補強筋の組数の違いによる杭頭接合部の破壊性状の検討することを目的とした。

3.1.2 実験概要

(1) 試験体概要

1) 試験体諸元

試験体は鉄筋コンクリート造(RC造)、8階建ての中層建築物の側柱下におけるト形部分架構を参考に設計を行い、パイルキャップ、基礎梁、柱、杭により構成された約1/3スケールモデルの試験体を2体製作した。2体とも杭頭部に埋込部補強筋を1組配筋した。なお、試験体D-3とD-4は同一配筋であるが、試験体D-3において柱脚部に損傷が集中したことから、試験体D-4は柱の強度を高めるため、鋼板を巻き、コンクリート強度を30 N/mm²から60N/mm²にした。さらに、試験体D-4は柱主筋径を試験体D-1およびD-2のD13からD16に変更した。試験体D-4と過去の試験体D-1およびD-2の試験体諸元をあわせて表3.1.2-1に示す。

本研究では実験変数を試験体D-4は中子筋量とした。パイルキャップ内配筋は松本^[3-3]による縦筋、帯筋からなるかご筋型配筋としている。縦筋にD6(SD295A)とD10(SD295A)、帯筋に試験体D-4はD13(MK785)を使用した。

表 3.1.2-1 試験体諸元

試験体名		D-1	D-2	D-3	D-4
軸力(柱軸力比)kN		510(0.2)	516(0.2)	455(0.2)	540(0.2)
コンクリート強度	柱	28.4 N/mm ²		25.2 N/mm ²	75.9 N/mm ²
	梁・パイルキャップ				30 N/mm ²
柱	梁×せい	300mm×300mm			
	主筋	8-D13(SD785)		8-D16(SD785)	
	補強筋	D6(SD785)@50			
	パイルキャップ内 帯筋比cP _w	D6(SD295A)@100 0.13%		D6(SD295A)@300 0.07%	
基礎梁	梁×せい	200mm×600mm			
	主筋	上端下端共3-D22(PBSD930)			
	補強筋	3-U9.0(1275MPa)@50			
	腹筋	2-D6(SD295A)			
杭	杭種	S45C φ190.7, t-45mm			
	定着筋	6-D19(SD490)			
	定着筋補強筋 帯筋比 _a P _w	D16(SD785)@80 0.61%			
				-	
パイルキャップ	梁×せい×高さ	500mm×500mm×770mm			
	縦筋 90度方向	6-D6(SD295A)			
	縦筋 45度方向	4-D10(SD295A)			
	帯筋 帯筋比 _{pc} P _w	D6(SD295A)@100 0.13%		D13(SD785)@50 0.68%	
	埋込部補強筋	-	D6(SD295A)：2組		D6(SD295A)：1組

※試験体D-1およびD-2は既報告^[3-4]

2) 試験体外形

試験体 D-4 の概形図を図 2.1.2-1 に示す。

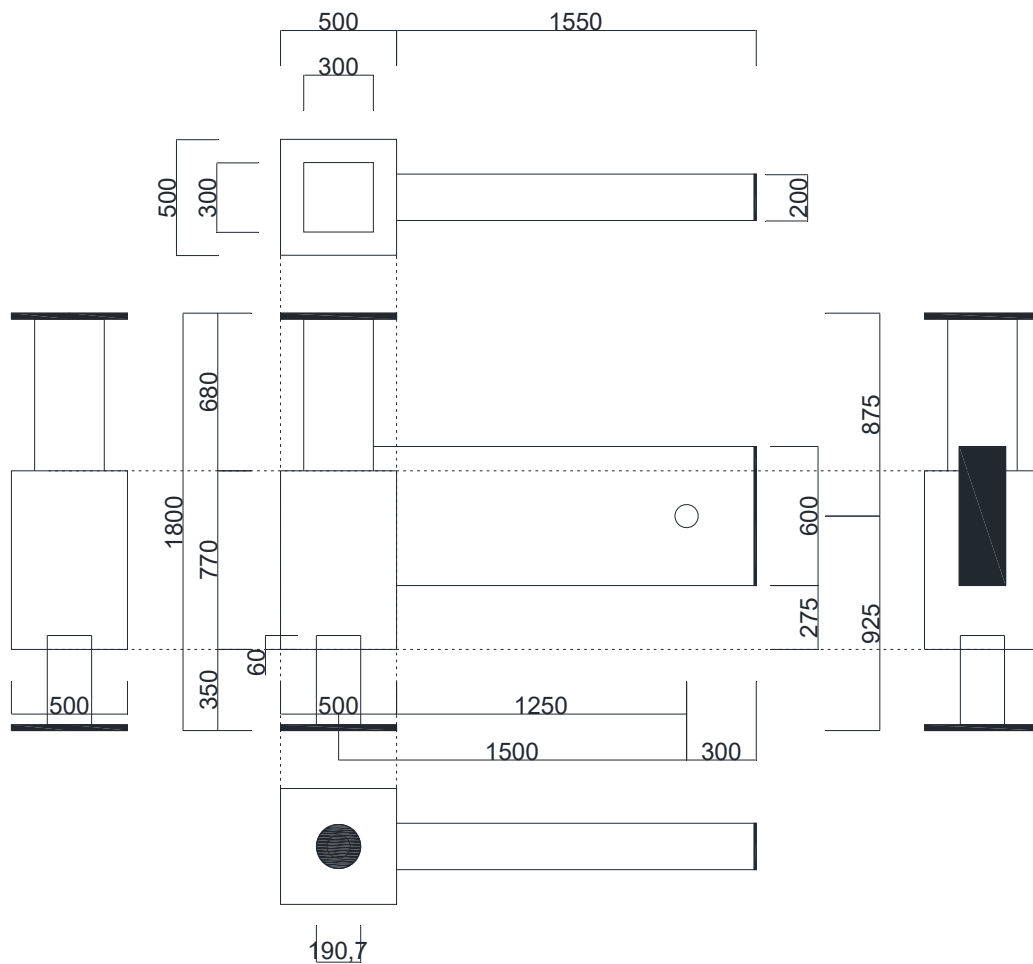
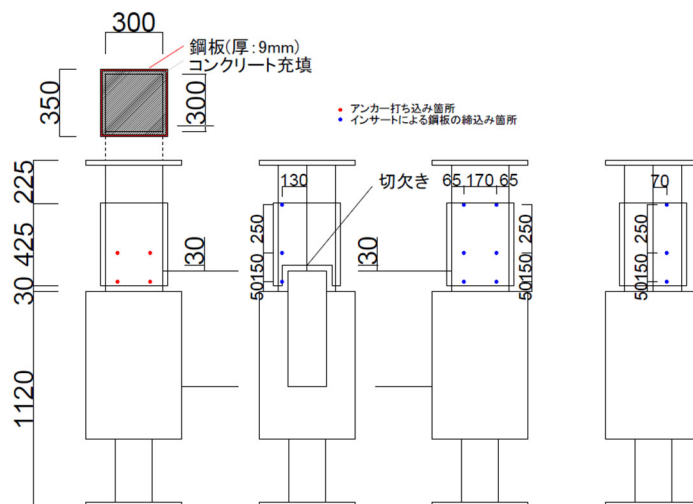


図 3.1.2-1 試験体 D-3 および D-4 概形図

※ただし、試験体 D-4 の柱脚には鋼管を巻く。(下図参照)



3) 試験体配筋

各試験体の配筋図を図 3.1.2-2 に示す。各試験体の部材断面詳細図、および部材詳細図を図 3.1.2-3～図 3.1.2-8 に示す。

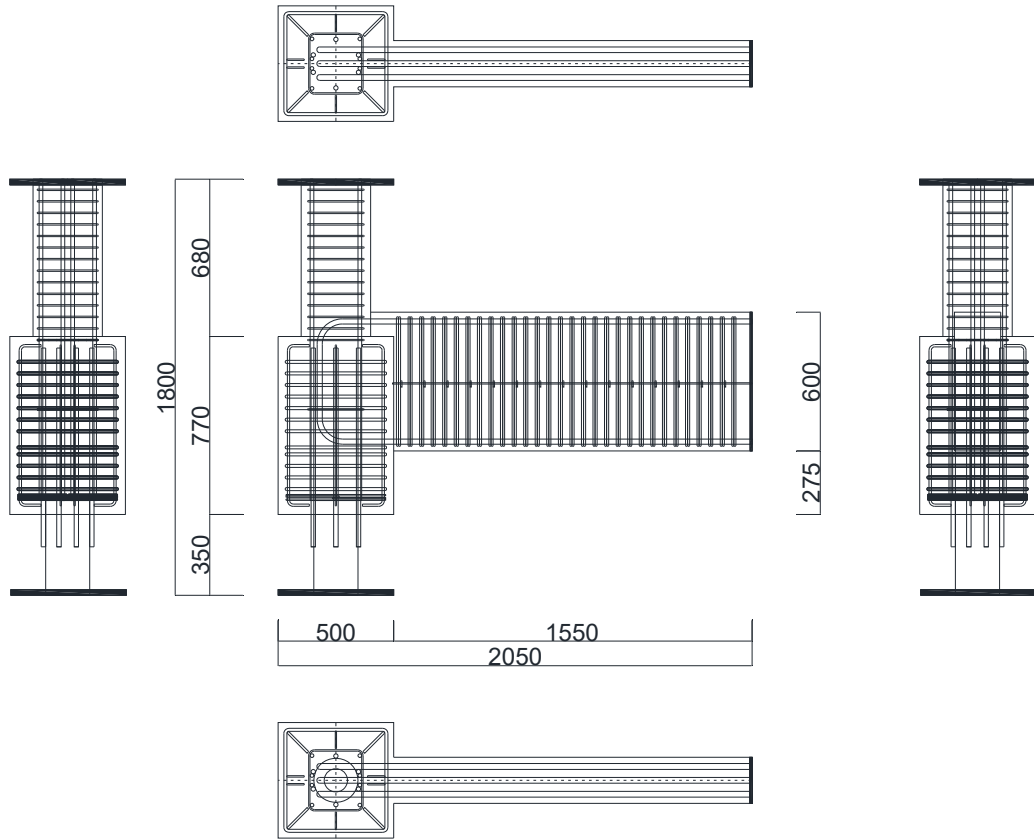


図 3.1.2-2 試験体 D-3, D-4 配筋図

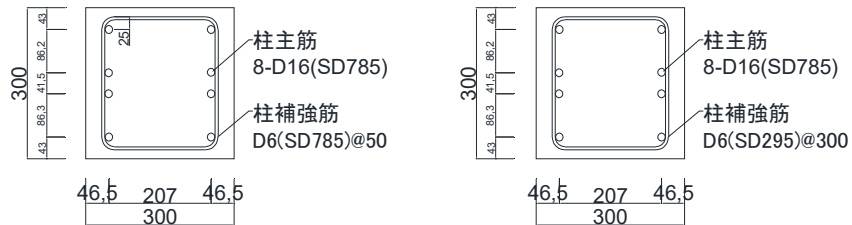


図 3.1.2-3 試験体 D-4 柱断面詳細図 (左:柱, 右:パイルキャップ内柱)

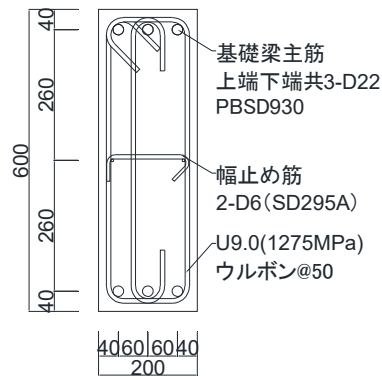


図 3.1.2-4 試験体 D-4 基礎梁断面詳細図

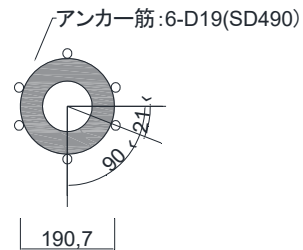


図 3.1.2-5 試験体 D-4 杭断面詳細図

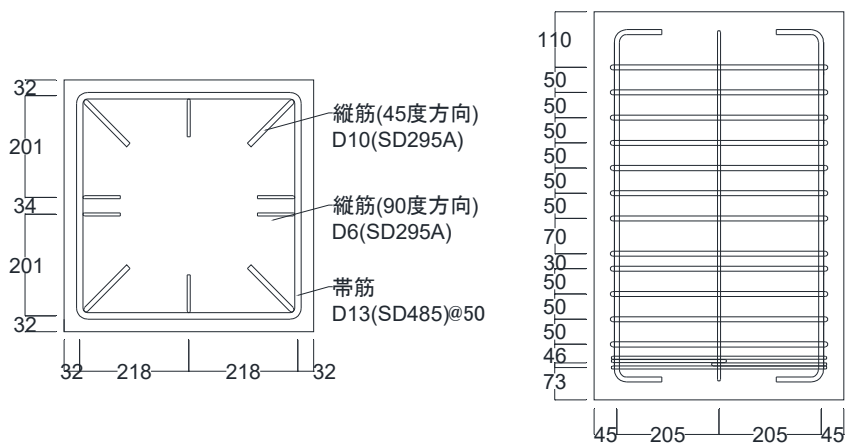


図 3.1.2-6 試験体 D-4 パイルキャップ断面詳細図

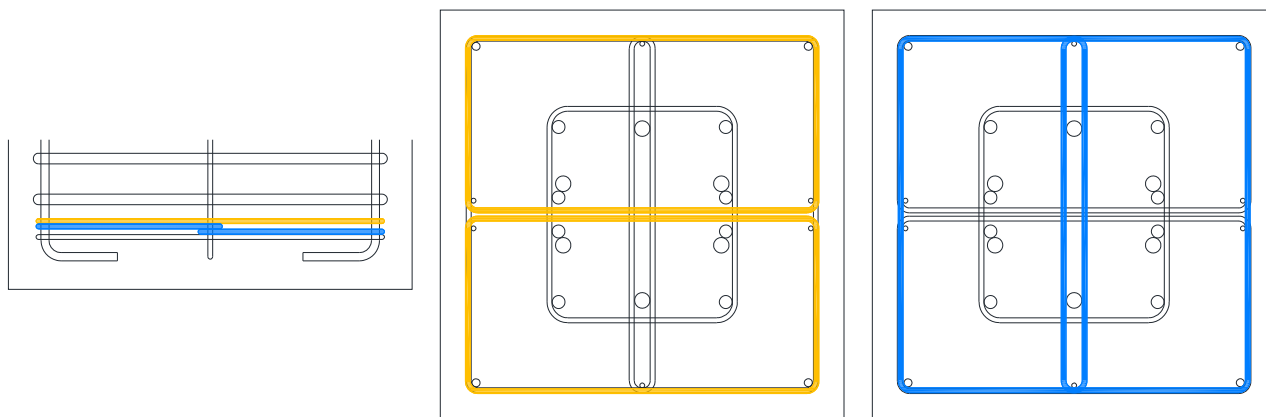


図 3.1.2-7 験体 D-4 パイルキャップ断面詳細図 (試験体 D-3 も同様)

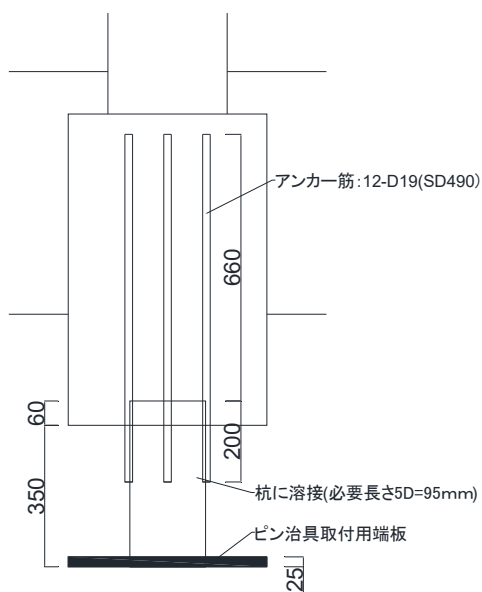


図 3.1.2-8 試験体 D-4 杭部材詳細図

(2) 材料特性

1) コンクリート

コンクリートは、セメントに普通セメント、細骨材に砂(陸砂)、細骨材に碎石(最大径 13mm)を使用した。コンクリートの打設方向は縦打ちでパイルキャップ、基礎梁と柱に分けて打設を行った。試験体の養生方法は気中養生、コンクリートの材料試験用テストピースは封緘養生とした。

配合の設計条件を表 3.1.2-2 および表 3.1.2-8、レディーミクストコンクリート配合表を表 3.1.2-3 および表 3.1.2-9、フレッシュコンクリートの試験結果を表 3.1.2-4 および表 3.1.2-10 に示す。コンクリートの受け入れ調査記録を写真 3.1.2-1, 3.1.2-2, 3.1.2-3 に示す。

コンクリートの圧縮試験、割裂試験ともにアムスラー材料試験機にて行い、コンクリートのテストピースは直径 $d=100\text{mm}$ 、全長 $l=200\text{mm}$ とした。測定は、コンプレッソメータを用いて測定を行った。

JIS A 1149「コンクリートの静弾性係数試験方法」での算出方法に倣い、図 3.1.2-9 のように行なった。

$$E_c = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\mu_1 - 50\mu}$$

E_c : コンクリートのヤング係数 (N/mm^2)

σ_1 : 最大荷重の 1/3 に相当する応力 (N/mm^2)

σ_2 : 50μ 時の応力 (N/mm^2)

μ_1 : 応力 σ_1 時のひずみ (μ)

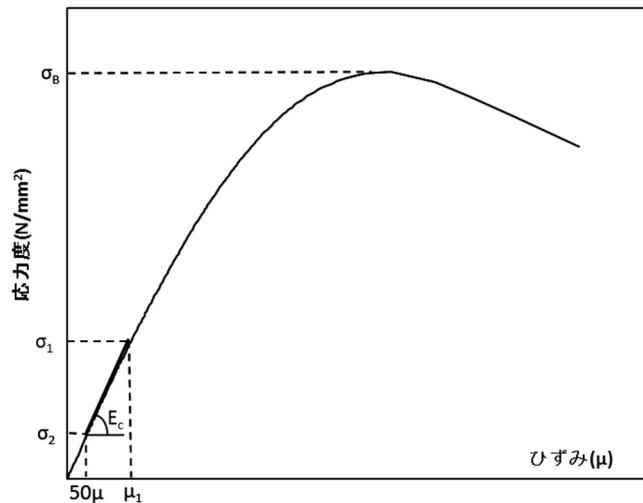


図 3.1.2-9 コンクリートの圧縮応力度—ひずみ関係

コンクリートの材料試験 1 回につき、圧縮試験、引張試験ともに 3 回ずつ行い、その平均値を試験結果とした。

また、各部材に使用したコンクリートの圧縮強度は各試験体の実験日の試験結果とした。パイルキャップ、基礎梁に使用したコンクリートの引張強度は材齢 49 日、56 日、63 日、71 日の試験結果の平均とし、柱のコンクリート引張強度は材齢 46 日、53 日、60 日、65 日の試験結果を近似した。

コンクリート圧縮試験結果を試験体 D-3 については、表 3.1.2-5～表 3.1.2-7、図 3.1.2-10～図 3.1.2-11、試験体 D-4 については、表 3.1.2-11～表 3.1.2-21、図 3.1.2-12～図 3.1.2-22 参考資料を表 3.1.2-22～表 3.1.2-36、図 3.1.2-23～図 3.1.2-26 に示す。

○試験体 D-3

表 3.1.2-2 配合設計条件 (試験体 D-3)

	コンクリートの種類 による記号	セメントの種類に よる記号	呼び強度	スランプ	骨材最大寸法
			N/mm ²	cm	mm
A-8,A-9,C-4,D-3	普通	H	18	18	13

表 3.1.2-3 レディーミクストコンクリート配合表 (試験体 D-3)

水セメント比	細骨材率	水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
%	%	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³
67.9	52.1	196	289	891	845	2.89

表 3.1.2-4 フレッシュコンクリート試験結果 (試験体 D-3)

	スランプ	空気量	温度
	cm	%	°C
A-8,A-9,C-4,D-3	17.5	3.7	29.0



写真 3.1.2-1 試験体 D-3 コンクリート受入れ調査記録
(打設日 2019 年 9 月 27 日)

表 3.1.2-5 2 週コンクリート強度 (試験体 D-3)

2週 [日]	No.	圧縮強度	ひずみ	ヤング率
		σ_B (N/mm ²)	ϵ_{max} (μ)	$\times 10^4$ N/mm ²
2週強度(14日)	1	21.2	1870	2.42
	2	21.5	2118	2.15
	3	21.4	2098	2.00
	平均	21.4	2029	2.19

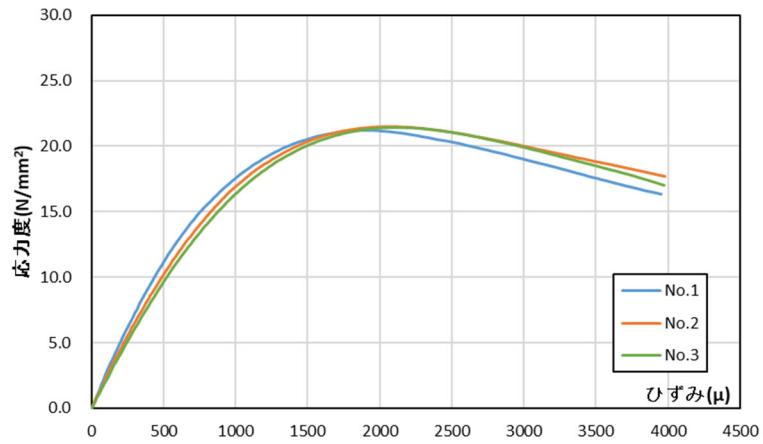


図 3.1.2-10 試験体 D-3 コンクリート強度（材齢 14 日）

表 3.1.2-6 試験体 D-3 コンクリート強度

D-3	No.	圧縮強度	ひずみ	ヤング率
[日]		σ_B (N/mm ²)	ϵ_{max} (μ)	$\times 10^4$ N/mm ²
実験前(38日)	1	25.1	2855	1.96
	2	25.0	2793	1.92
	3	25.6	2525	1.99
	平均	25.2	2724	1.96

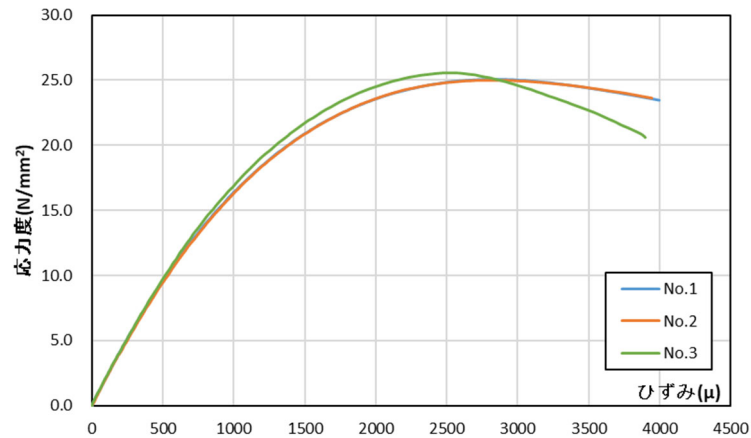


図 3.1.2-11 試験体 D-3 コンクリート強度（材齢 38 日）

表 3.1.2-7 試験体 D-3 コンクリート引張強度

D-3	No.	引張強度	平均値
[日]		σ_t (N/mm ²)	
実験前(38日)	1	2.33	2.17
	2	2.21	
	3	1.96	

○試験体 D-4

表 3.1.2-8 配合設計条件 (試験体 D-4)

部材	コンクリートの種類による記号	呼び強度 (N/mm ²)	スランプ、スランプフロー (cm)	粗骨材の最大寸法 (mm)	セメントの種類による記号
パイルキャップ 基礎梁	普通	24	18	13	N
柱	普通	50	50	13	N

表 3.1.2-9 レディーミクストコンクリート配合表 (試験体 D-4)

部材	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	水 (kg/m ³)	セメント (kg/m ³)	細骨材 (kg/m ³)	粗骨材 (kg/m ³)	混和剤 (kg/m ³)
パイルキャップ 基礎梁	59.4	51.4	190	320	873	856	3.2
柱	37.9	49	185	488	791	853	6.34

表 3.1.2-10 フレッシュコンクリート試験結果 (試験体 D-4)

部材	スランプ、スランプフロー (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	外気温度 (°C)
パイルキャップ 基礎梁	17.5	5.5	31.0	29.5
柱	44.0×44.0	1.7	34.0	32.0



写真 3.1.2-2 パイルキャップ、基礎梁
コンクリート受入れ調査記録
(打設日 2020 年 8 月 31 日)



写真 3.1.2-3 柱
コンクリート受入れ調査記録
(打設日 2020 年 9 月 3 日)

- ・パイルキャップ、基礎梁に使用したコンクリート

表 3.1.2-11 材齢 28 日コンクリート強度 (打設日 2020 年 8 月 31 日)

材齢 (日)	No.	圧縮強度 σ_B (N/mm ²)	ひずみ ϵ_{max} (μ)	ヤング率 $\times 10^4$ (N/mm ²)
28	①	26.03	2138	2.25
	②	25.71	2035	2.31
	③	26.19	2175	2.23
	平均	25.98	2116	2.27

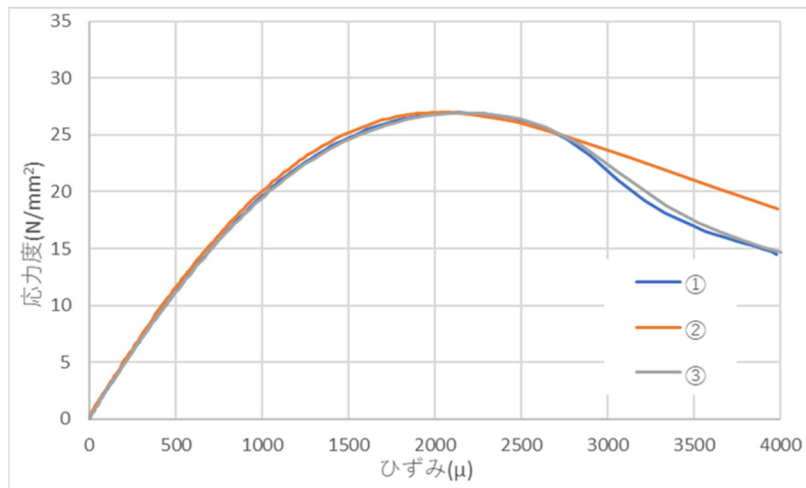


図 3.1.2-12 材齢 28 日コンクリート強度 (打設日 2020 年 8 月 31 日)

表 3.1.2-12 材齢 49 日コンクリート強度 (打設日 2020 年 8 月 31 日)

材齢 (日)	No.	圧縮強度 σ_B (N/mm ²)	ひずみ ϵ_{max} (μ)	ヤング率 $\times 10^4$ (N/mm ²)
49	①	29.4	2163	2.33
	②	28.6	2253	2.26
	③	29.3	2138	2.22
	平均	29.1	2184	2.27

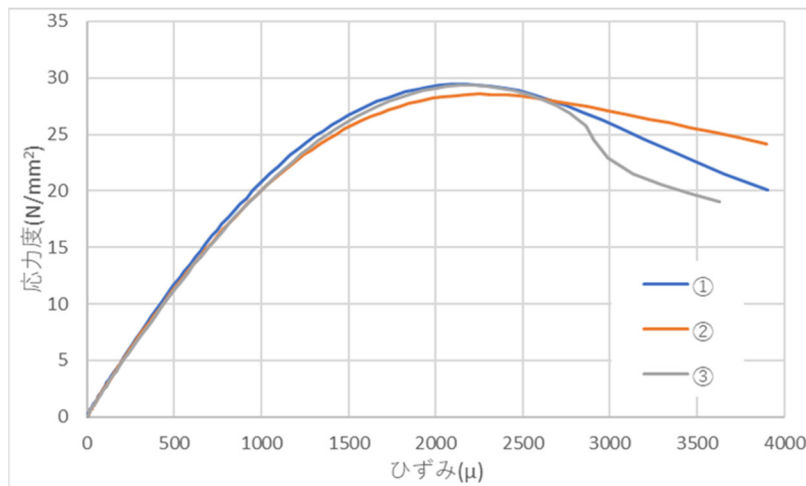


図 3.1.2-13 材齢 49 日コンクリート強度 (打設日 2020 年 8 月 31 日)

表 3.1.2-13 材齢 56 日コンクリート強度 (打設日 2020 年 8 月 31 日)

材齢 (日)	No.	圧縮強度 $\sigma_B(N/mm^2)$	ひずみ $\epsilon_{max}(\mu)$	ヤング率 $\times 10^4(N/mm^2)$
56	④	29.3	2170	2.39
	⑤	29.5	2180	2.29
	⑥	29.2	2148	2.36
	平均	29.3	2166	2.35

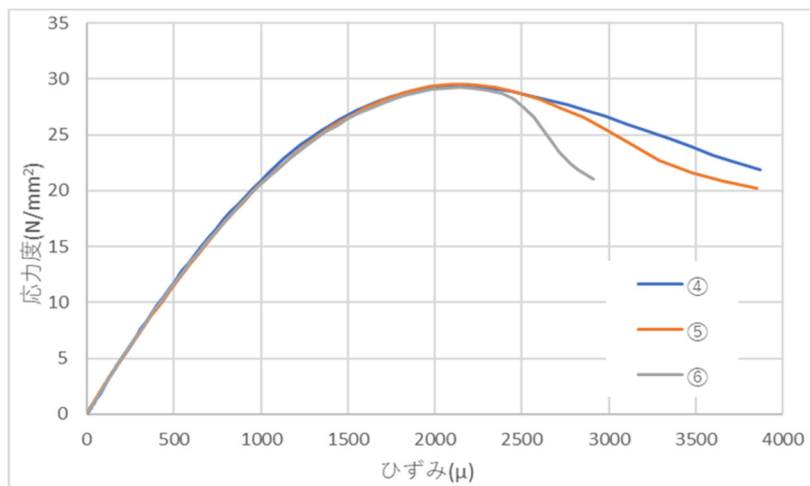


図 3.1.2-14 材齢 56 日コンクリート強度 (打設日 2020 年 8 月 31 日)

表 3.1.2-14 材齢 63 日コンクリート強度 (打設日 2020 年 8 月 31 日)

材齢 (日)	No.	圧縮強度 $\sigma_B(N/mm^2)$	ひずみ $\epsilon_{max}(\mu)$	ヤング率 $\times 10^4(N/mm^2)$
63	⑦	30.8	2370	2.38
	⑧	29.4	2370	2.38
	⑨	29.6	2173	2.38
	平均	30.0	2304	2.38

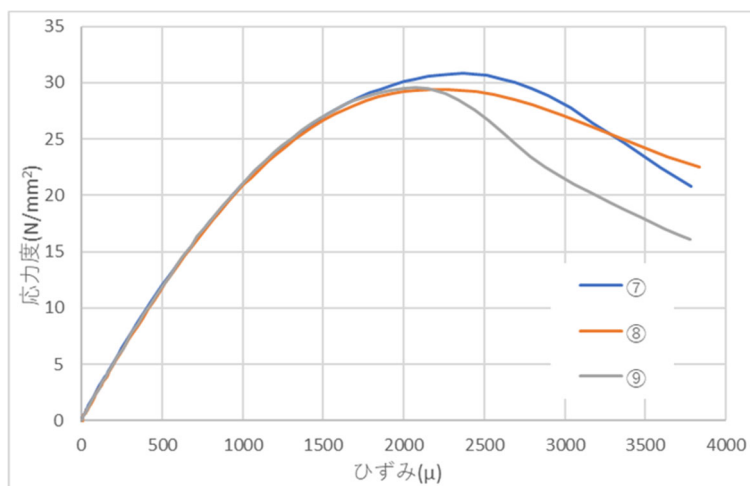


図 3.1.2-15 材齢 63 日コンクリート強度 (打設日 2020 年 8 月 31 日)

表 3.1.2-15 材齢 71 日コンクリート強度 (打設日 2020 年 8 月 31 日)

材齢 (日)	No.	圧縮強度 $\sigma_B(\text{N/mm}^2)$	ひずみ $\epsilon_{\max}(\mu)$	ヤング率 $\times 10^4(\text{N/mm}^2)$
71	⑩	31.4	2215	2.32
	⑪	29.5	2200	2.23
	⑫	29.9	2230	2.30
	平均	30.3	2215	2.28

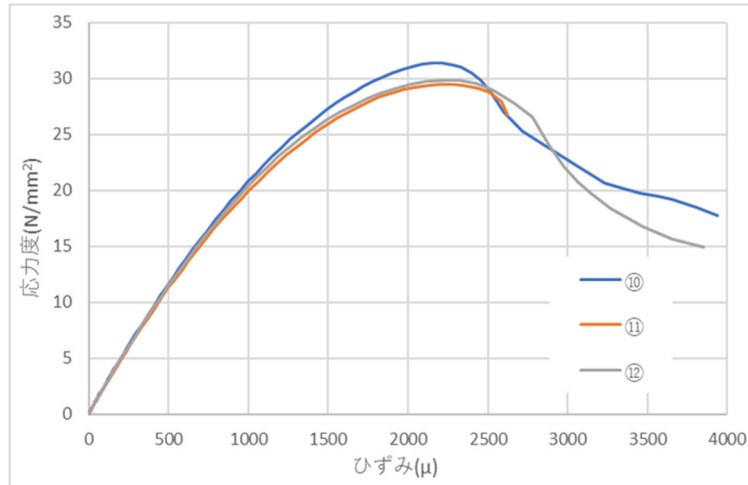


図 3.1.2-16 材齢 71 日コンクリート強度 (打設日 2020 年 8 月 31 日)

・柱に使用したコンクリート

表 3.1.2-16 材齢 28 日コンクリート強度

材齢 (日)	No.	圧縮強度 σ_B (N/mm ²)	ひずみ ε_{max} (μ)	ヤング率 $\times 10^4$ (N/mm ²)
28	①	68.24	3143	3.01
	②	71.32	2978	3.34
	③	68.13	2643	3.39
	平均	69.23	2921	3.25

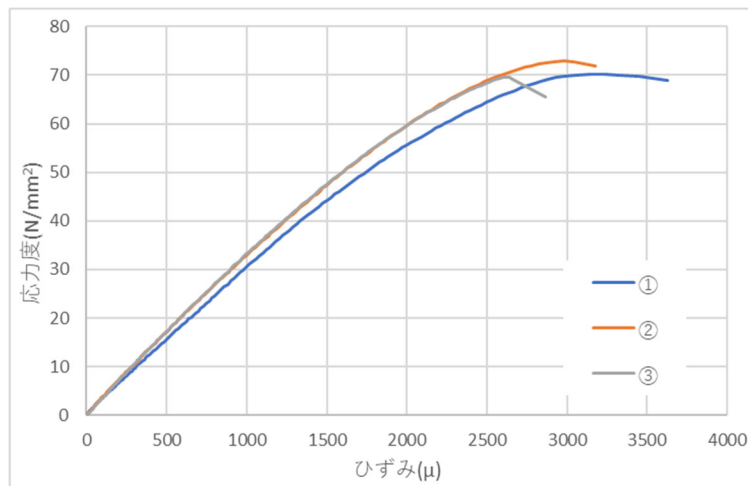


図 3.1.2-17 材齢 28 日コンクリート強度

表 3.1.2-17 材齢 46 日コンクリート強度

材齢 (日)	No.	圧縮強度 σ_B (N/mm ²)	ひずみ ε_{max} (μ)	ヤング率 $\times 10^4$ (N/mm ²)
46	①	72.0	2905	3.38
	②	73.1	3158	3.35
	③	74.7	3060	3.38
	平均	73.2	3041	3.37

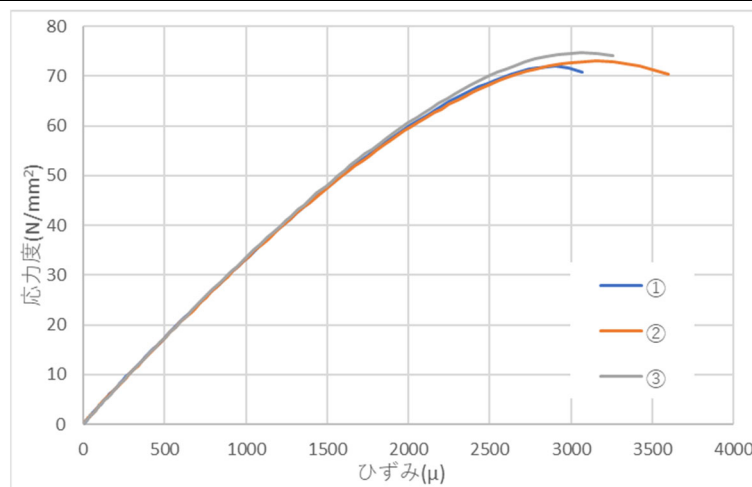


図 3.1.2-18 材齢 46 日コンクリート強度

表 3. 1. 2-18 材齢 53 日コンクリート強度

材齢 (日)	No.	圧縮強度 $\sigma_B(N/mm^2)$	ひずみ $\epsilon_{max}(\mu)$	ヤング率 $\times 10^4(N/mm^2)$
53	④	73.9	3058	3.36
	⑤	75.7	3070	3.41
	⑥	74.4	3040	3.26
	平均	74.7	3056	3.34

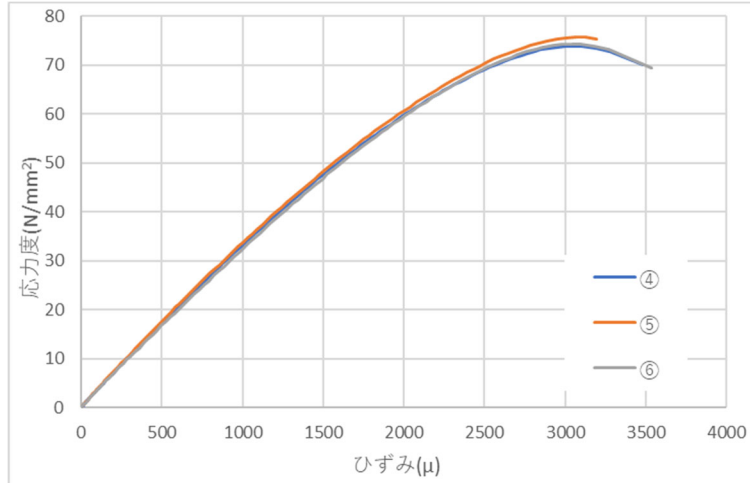


図 3. 1. 2-19 材齢 53 日コンクリート強度

表 3. 1. 2-19 材齢 60 日コンクリート強度

材齢 (日)	No.	圧縮強度 $\sigma_B(N/mm^2)$	ひずみ $\epsilon_{max}(\mu)$	ヤング率 $\times 10^4(N/mm^2)$
60	⑦	75.1	3100	3.50
	⑧	75.4	3090	3.40
	⑨	77.1	3090	3.44
	平均	75.9	3093	3.45

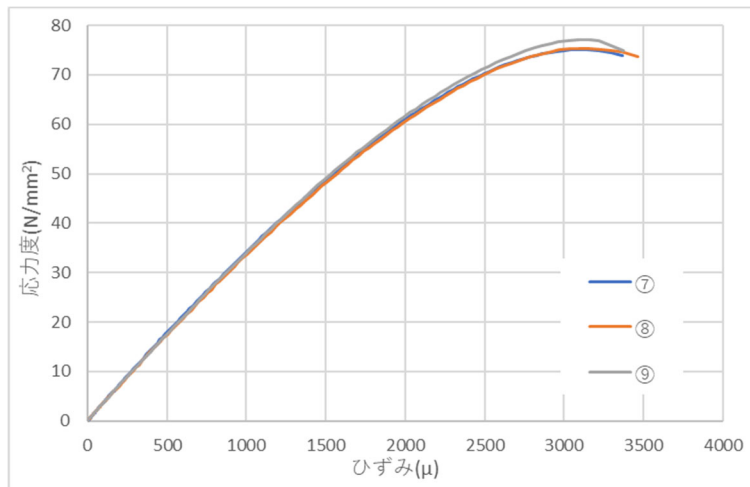


図 3. 1. 2-20 材齢 60 日コンクリート強度

表 3. 1. 2-20 材齢 68 日コンクリート強度

材齢 (日)	No.	圧縮強度 $\sigma_B(N/mm^2)$	ひずみ $\epsilon_{max}(\mu)$	ヤング率 $\times 10^4(N/mm^2)$
68	⑩	76.1	3095	3.50
	⑪	76.2	2970	3.47
	⑫	77.0	3095	3.44
	平均	76.4	3053	3.47

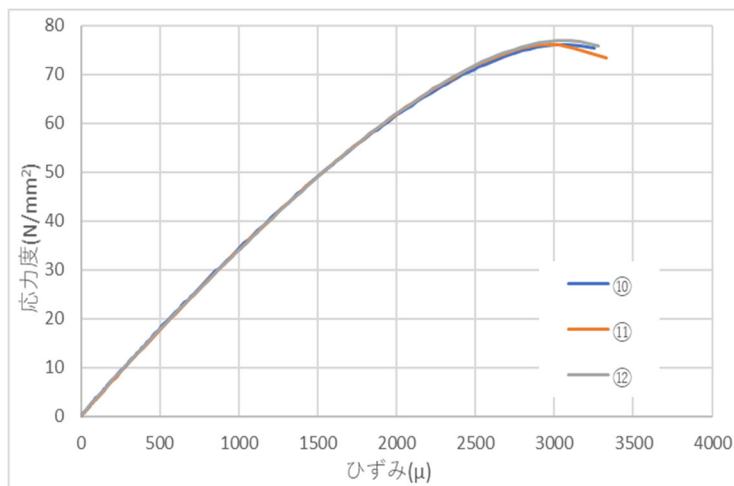


図 3. 1. 2-21 材齢 68 日コンクリート強度

表 3. 1. 2-21 材齢 74 日コンクリート強度

材齢 (日)	No.	圧縮強度 $\sigma_B(N/mm^2)$	ひずみ $\epsilon_{max}(\mu)$	ヤング率 $\times 10^4(N/mm^2)$
74	⑬	74.8	3175	3.34
	⑭	76.4	3145	3.44
	⑮	78.4	3148	3.43
	平均	76.5	3156	3.40

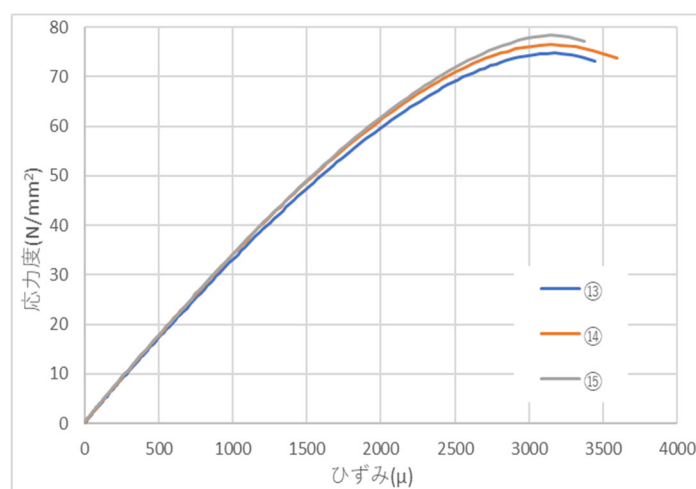


図 3. 1. 2-22 材齢 74 日コンクリート強度

以下、参考資料

- ・パイルキャップ、基礎梁に使用したコンクリート

表 3. 1. 2-22 コンクリート圧縮強度-材齢関係

試験日	材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)
2020/09/28	28	25.98
2020/10/19	49	29.11
2020/10/26	56	29.35
2020/11/02	63	29.95
2020/11/10	71	30.28

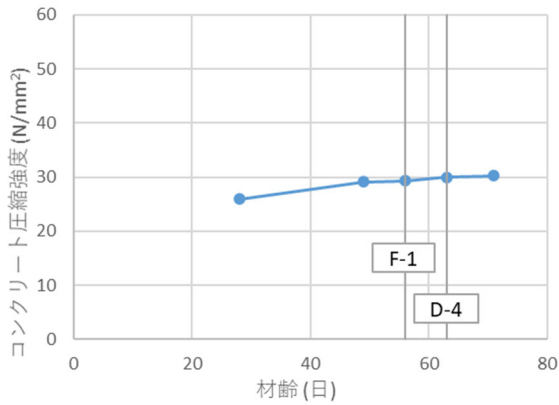


図 3. 1. 2-23 コンクリート圧縮強度-材齢関係
・柱に使用したコンクリート

表 3. 1. 2-23 コンクリート引張強度-材齢関係

試験日	材齢 (日)	引張強度 (N/mm ²)
2020/09/28	28	2.98
2020/10/19	49	3.56
2020/10/26	56	3.50
2020/11/02	63	3.55
2020/11/10	71	3.57

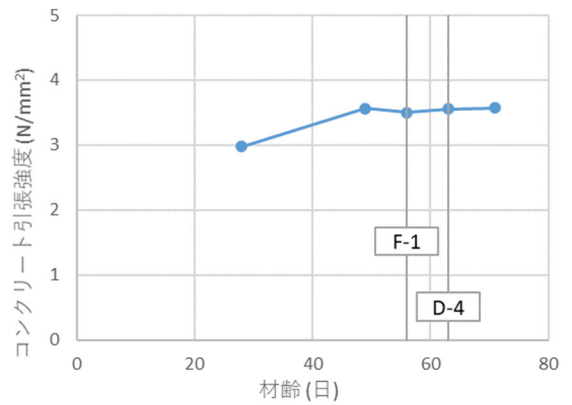


図 3. 1. 2-24 コンクリート引張強度-材齢関係

表 3. 1. 2-24 コンクリート圧縮強度-材齢関係

試験日	材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)
2020/10/01	28	69.23
2020/10/19	46	73.24
2020/10/26	53	74.69
2020/11/02	60	75.88
2020/11/10	68	76.44
2020/11/16	73	76.54

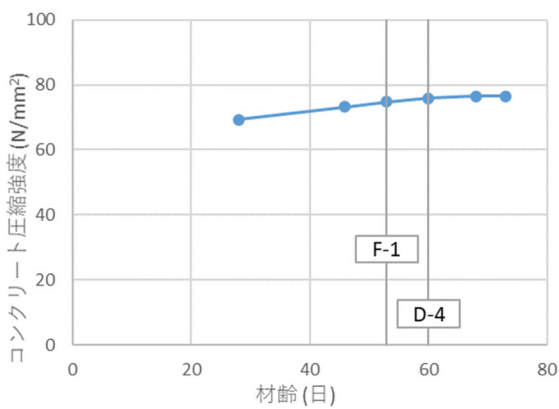


図 3. 1. 2-25 コンクリート圧縮強度-材齢関係

表 3. 1. 2-25 コンクリート引張強度-材齢関係

試験日	材齢 (日)	引張強度 (N/mm ²)
2020/10/01	28	4.58
2020/10/19	46	5.71
2020/10/26	53	5.77
2020/11/02	60	6.23
2020/11/10	68	6.45
2020/11/16	73	6.42

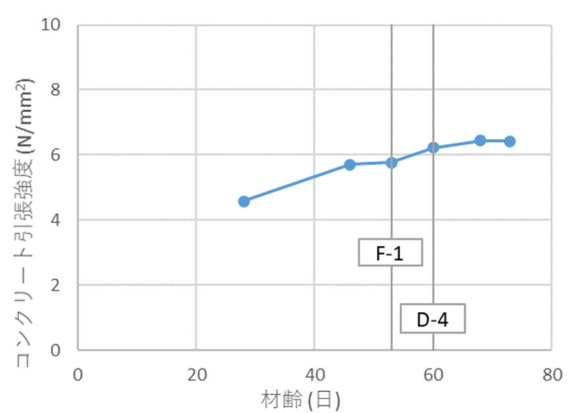


図 3. 1. 2-26 コンクリート引張強度-材齢関係

・パイルキャップ、基礎梁に使用したコンクリート

表 3.1.2-26 材齢 28 日コンクリート引張強度

材齢 (日)	No.	引張強度 σ_t (N/mm ²)
28	④	3.0
	⑤	2.8
56	⑥	3.6
	⑦	3.6
	平均	3.4
	⑧	3.4
	平均	3.5

表 3.1.2-27 材齢 49 日コンクリート引張強度

材齢 (日)	No.	引張強度 σ_t (N/mm ²)
49	①	3.7
	②	3.9
63	③	3.7
	④	3.6
	平均	3.6
	⑤	3.8
	平均	3.6

表 3.1.2-30 材齢 71 日コンクリート引張強度

材齢 (日)	No.	引張強度 σ_t (N/mm ²)
71	⑩	3.3
	⑪	3.6
	⑫	3.7
	平均	3.6

・柱に使用したコンクリート

表 3.1.2-31 材齢 28 日コンクリート引張強度

材齢 (日)	No.	引張強度 $\sigma_t(N/mm^2)$
28	④	4.5
	⑤	5.1
53	⑥	4.2
	平均	4.9
	⑥	5.2

表 3.1.2-33 材齢 53 日平均コンクリート引張強度

表 3.1.2-32 材齢 46 日コンクリート引張強度

材齢 (日)	No.	引張強度 $\sigma_t(N/mm^2)$
46	①	6.1
	②	4.9
60	③	6.6
	平均	5.8
	⑨	6.2

表 3.1.2-34 材齢 60 日平均コンクリート引張強度

表 3.1.2-35 材齢 68 日コンクリート引張強度

材齢 (日)	No.	引張強度 $\sigma_t(N/mm^2)$
68	⑩	6.2
	⑪	6.4
	⑫	6.7
	平均	6.4

表 3.1.2-36 材齢 74 日コンクリート引張強度

材齢 (日)	No.	引張強度 $\sigma_t(N/mm^2)$
74	⑬	6.6
	⑭	6.2
	⑮	6.4
	平均	6.4

2) 鋼材

○試験体 D-3

鉄筋については、柱主筋に試験体 D-3 は D16(MK745) , 柱帯筋に D6(MK745)(接合部内は D6(SD295A))を使用した。

基礎梁主筋に D22(PBSD930/1080) , 基礎梁補強筋に U9.0(SBPD1275/1420) , 基礎梁の組み立て筋として、幅止め筋 D6(SD295A) , 腹筋 D6(SD295A)を使用した。杭頭定着筋には D19(SD490)を使用した。

パイルキャップについては、かご筋型の縦筋に D6(SD295A) , D10(SD295A) , 帯筋に D6(SD295A)を使用した。試験体 D-3 については、杭頭接合面の補強筋として中子筋に D6(SD295A)を使用した。

鉄筋の引張試験はアムスラー試験機を用いて、試験片には計測用に 2 点ゲージを貼付し鉄筋のひずみは 2 点の平均とした。鉄筋の引張強度結果を表 3.1.2-36~表 3.1.2-43 に、各鉄筋の引張応力度-ひずみ係を図 3.1.2-27~図 3.1.2-34 に示す。降伏棚の平均を鉄筋の降伏強度とし、明確な降伏棚が確認されない場合には 0.2%オフセット法により降伏強度を算出した。鉄筋のヤング率には、弾性範囲内の一部区間において算出を行った。

表 3.1.2-36 鉄筋 D6 (SD295A) 引張試験結果

D6 SD295A	公称断面 (mm ²)	降伏応力度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)	弾性限界ひずみ (μ)	最大強度 (kN)	ヤング率 $\times 10^5$ (N/mm ²)
1	31.7	376.9	4076	1869	17.1	1.82
2		388.6	4068	1861	17.4	1.88
3		370.6	4094	1884	17.0	1.77
平均	31.7	378.7	4079	1871	17.1	1.82

表 3.1.2-37 鉄筋 D6 (MK785) 引張試験結果

D6 SD785	公称断面 (mm ²)	降伏応力度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)	弾性限界ひずみ (μ)	最大強度 (kN)	ヤング率 $\times 10^5$ (N/mm ²)
1	31.7	911.9	6957	4461	36.9	1.84
2		925.4	7012	4511	37.2	1.85
3		947.5	6985	4486	36.8	1.90
平均	31.7	928.3	6985	4486	37.0	1.86

表 3.1.2-38 鉄筋 D10 (SD295A) 引張試験結果

D10 SD295A	公称断面 (mm ²)	降伏応力度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)	最大強度 (kN)	ヤング率 $\times 10^5$ (N/mm ²)	ひずみ硬化開始時 ひずみ(μ)
1	71.3	362.8	1885	36.8	1.91	18776
2		364.2	1942	37.0	1.83	
3		361.2	1982	37.0	1.82	
平均	71.3	362.7	1936	36.9	1.85	18776

表 3.1.2-39 鉄筋 D13(MK785) 引張試験結果

D13 SD785	公称断面 (mm ²)	降伏応力度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)	弾性限界ひずみ (μ)	最大強度 (kN)	ヤング率 $\times 10^5$ (N/mm ²)
1	126.7	888.9	6736	4736	131.4	1.88
2		892.8	6807	4807	132.9	1.86
3		912.0	6734	4734	132.8	1.93
平均	126.7	890.8	6772	4772	132.2	1.87

*No.1, No.2 の平均値を材料特性とした

(No.3 の剛性の大きさが異なったため)

表 3.1.2-40 鉄筋 D16(MK785) 引張試験結果

D16 SD785	公称断面 (mm ²)	降伏応力度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)	弾性限界ひずみ (μ)	最大強度 (kN)	ヤング率 $\times 10^5$ (N/mm ²)
1	198.6	877.1	6769	4769	203.5	1.84
2		892.8	6514	4514	204.5	1.98
3		867.4	6866	4866	206.0	1.78
平均	198.6	872.3	6817	4817	204.8	1.81

*No.1, No.3 の平均値を材料特性とした

表 3.1.2-41 鉄筋 D19(SD490) 引張試験結果

D19 SD490	公称断面 (mm ²)	降伏応力度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)	最大強度 (kN)	ヤング率 $\times 10^5$ (N/mm ²)	ひずみ硬化開始時 ひずみ(μ)
1	286.5	541.8	3639	3275	1.75	/
2		542.6	3460	3114	1.79	
3		546.2	3514	3163	1.76	
平均	286.5	543.5	3538	3184	1.77	13364

表 3.1.2-42 鉄筋 D22(PBSD980) 引張試験結果

D22 PBSD930	公称断面 (mm ²)	降伏応力度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)	弾性限界ひずみ (μ)	最大強度 (kN)	ヤング率 $\times 10^5$ (N/mm ²)
1	387.1	1002.5	7046	4541	436.0	1.99
2		994.7	6943	4448	435.0	2.01
3		1007.6	6983	4484	439.0	2.02
平均	387.1	1001.6	6990	4491	436.7	2.01

表 3.1.2-43 鉄筋 U9.0(SBPD1275) 引張試験結果

U9.0 SBPD1275	公称断面 (mm ²)	降伏応力度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)	弾性限界ひずみ (μ)	最大強度 (kN)	ヤング率 $\times 10^5$ (N/mm ²)
1	64	1447.3	8630	5967	94.0	2.18
2		1451.4	8556	5900	94.1	2.21
3		1450.3	8459	5813	93.9	2.25
平均	64	1450.8	8507	5856	94.0	2.23

*No.2, No.3 の平均値を材料特性とした

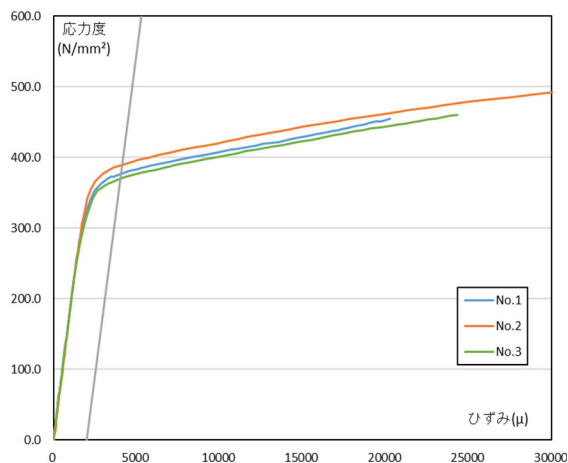


図 3. 1. 2-27 鉄筋 D6 (SD295A)

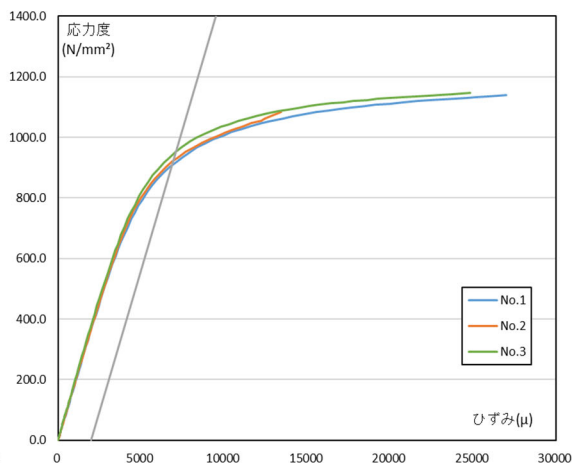


図 3. 1. 2-28 鉄筋 D6 (MK785)

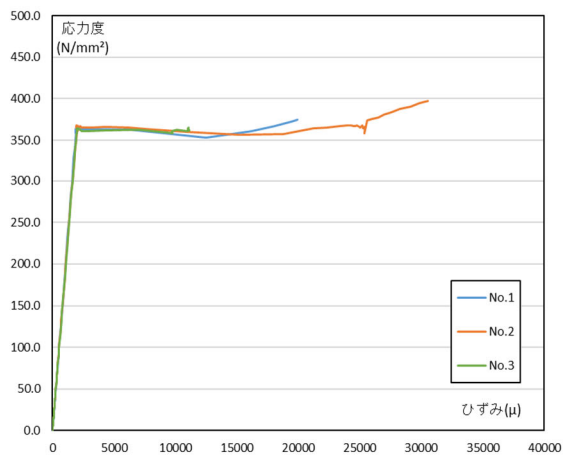


図 3. 1. 2-29 鉄筋 D10 (SD295A)

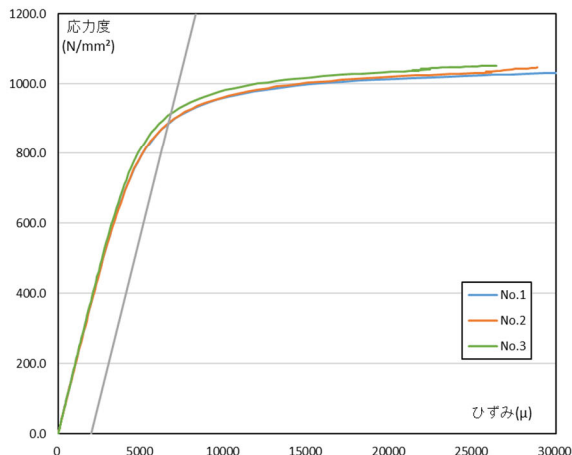


図 3. 1. 2-30 鉄筋 D13 (SD785)

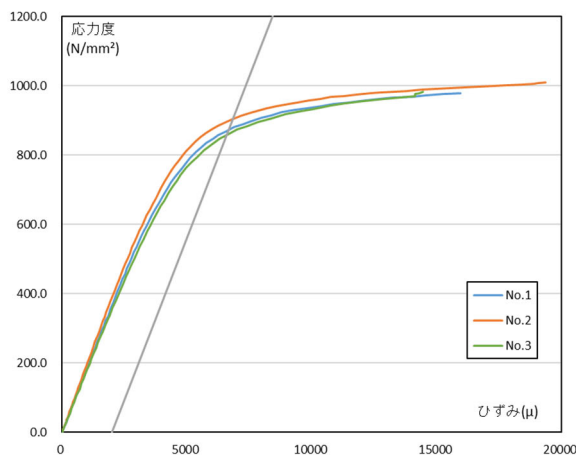


図 3. 1. 2-31 鉄筋 D16 (MK785)

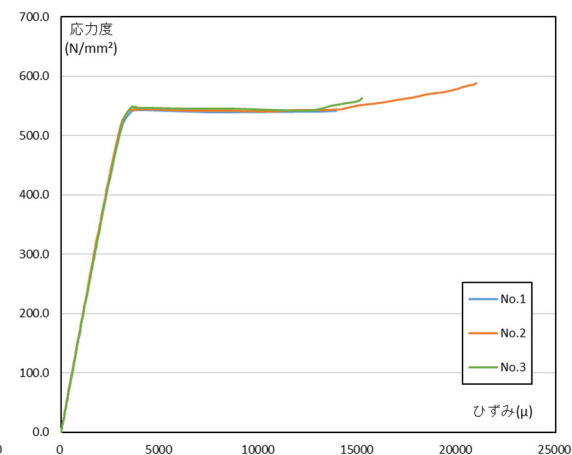


図 3. 1. 2-32 鉄筋 D19 (SD490)

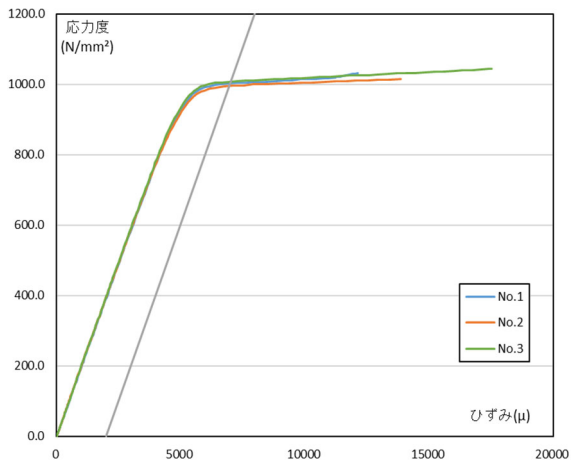


図 3. 1. 2-33 鉄筋 D22 (PBSD980)

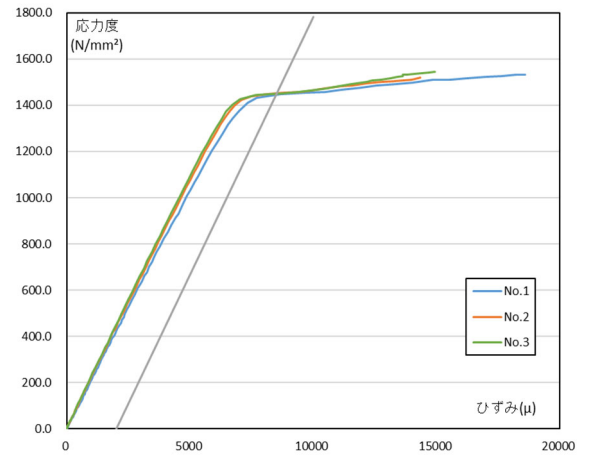


図 3. 1. 2-34 鉄筋 U9.0 (SBPD1275)

○試験体 D-4

使用した鉄筋は、柱主筋には試験体 D-4 は D16(MK785)、柱補強筋に D6(MK785)、パイルキャップ内柱補強筋に D6(SD295A)を使用した。基礎梁主筋には D22(PBSD930)、基礎梁補強筋に U9.0(SBPD1275)、基礎梁の組み立て筋として幅止め筋と腹筋に D6(SD295A)を使用した。杭頭定着筋には D19(SD490)を使用した。

パイルキャップについては、かご筋型の縦筋に D6(SD295A)、D10(SD295A)、帯筋に試験体 D-4 は D13(SD785)を使用した。試験体 D-4 については、杭頭接合面の補強筋として中子筋に D6(SD295A)を使用した。

鉄筋の引張試験はアムスラー試験機を用いて、試験片には計測用に 2 点ゲージを貼付し鉄筋のひずみは 2 点の平均とした。鉄筋の引張強度結果を表 3.1.2-44～表 3.1.2-52 に、各鉄筋の引張応力度-ひずみ関係を図 3.1.2-35～図 3.1.2-43 に示す。降伏棚の平均を鉄筋の降伏強度とし、明確な降伏棚が確認されない場合には 0.2%オフセット法により降伏強度を算出した。鉄筋のヤング係数は、弾性範囲内の一部区間において算出を行った。また、各鉄筋の降伏判断は、降伏棚がある鉄筋に関しては材料のばらつきを考慮して降伏ひずみの 0.97 倍の値、降伏棚がない鉄筋に関しては降伏ひずみから 2000 μ 減じた値を弾性限界ひずみとし、その値を 0.97 倍した値を用いて判断を行った。

表 3.1.2-44 鉄筋 D6 (SD295A) 引張試験結果

D6 SD295A	公称断面 (mm ²)	降伏応力度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)	最大強度 (kN)	ヤング率 $\times 10^5$ (N/mm ²)	弾性限界 ひずみ (μ)
1-1	31.7	373.77	4128	15.34	1.76	2128
1-2		361.70	4068	15.21	1.75	2068
1-3		356.55	4062	15.41	1.73	2062
平均	31.7	364.01	4086	15.32	1.75	2086

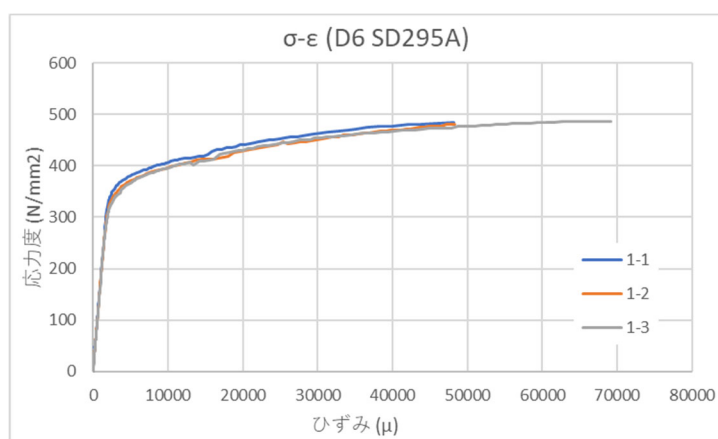


図 3.1.2-35 鉄筋 D6 (SD295A)

表 3. 1. 2-45 鉄筋 D6 (MK785) 引張試験結果

S6 KSS785	公称断面 (mm ²)	降伏応力度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)	最大強度 (kN)	ヤング率 $\times 10^5$ (N/mm ²)	弾性限界 ひずみ (μ)
2-1	31.7	895.29	6849	36.60	1.85	4849
2-2		914.82	6859	36.23	1.88	4859
2-3		930.47	7073	36.62	1.83	5073
平均	31.7	913.52	6927	36.48	1.85	4927

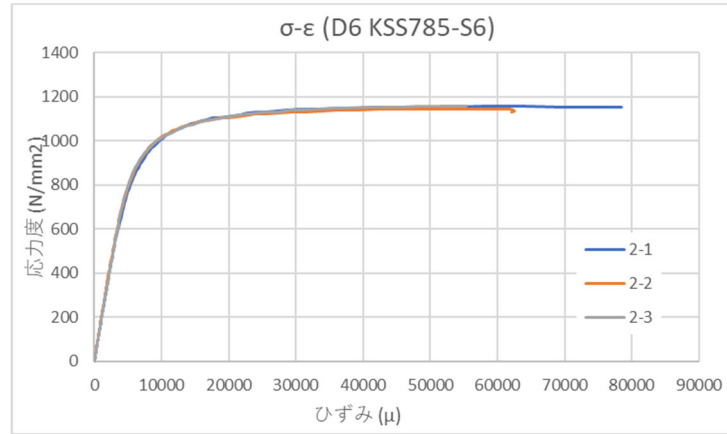


図 3. 1. 2-36 鉄筋 D6 (MK785)

表 3. 1. 2-46 鉄筋 D10 (SD295A) 引張試験結果

D10 SD295A	公称断面 (mm ²)	降伏応力度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)	最大強度 (kN)	ヤング率 $\times 10^5$ (N/mm ²)	ひずみ硬化開始 時ひずみ (μ)
5-1	71.3	332.79	1847	29.46	1.75	36176
5-2		333.18	1861	28.88	1.80	36125
5-3		327.25	1805	27.29	1.81	33032
平均	71.3	331.07	1837	28.54	1.79	35111

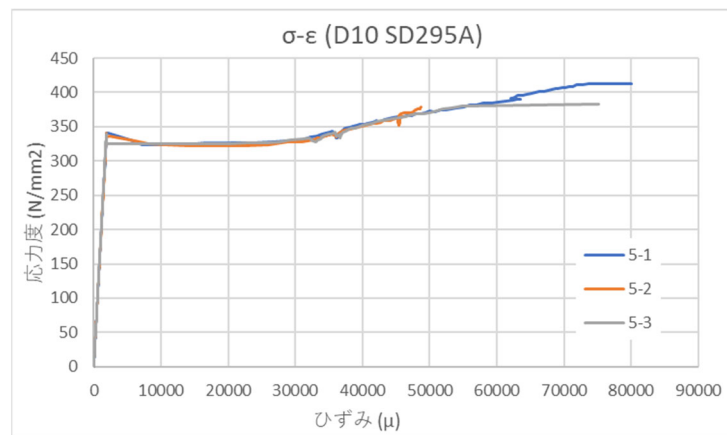


図 3. 1. 2-37 鉄筋 D10 (SD295A)

表 3. 1. 2-47 鉄筋 D13(MK785) 引張試験結果

MD13 MK785	公称断面 (mm ²)	降伏応力度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)	最大強度 (kN)	ヤング率 $\times 10^5$ (N/mm ²)	ひずみ硬化開始 時ひずみ (μ)
7-1	126.7	849.16	4438	131.78	1.99	12645
7-2		834.99	4371	123.04	2.00	11486
7-3		851.52	4439	119.90	1.99	14580
平均	126.7	845.22	4416	124.91	1.99	12904

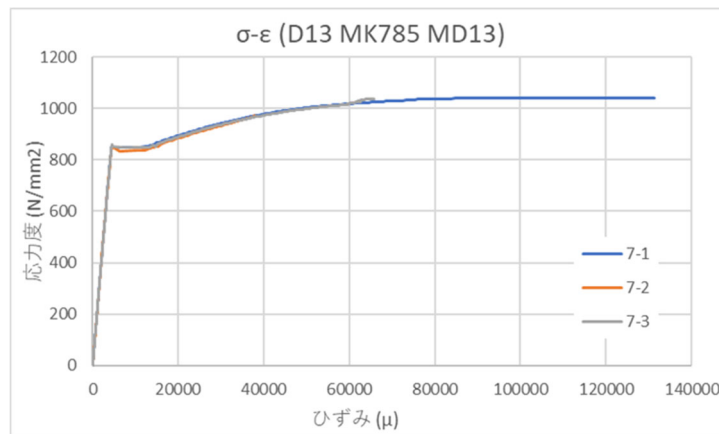


図 3. 1. 2-38 鉄筋 D13 (SD785)

表 3. 1. 2-48 鉄筋 D16 (SD785) 引張試験結果

MD16 MK785	公称断面 (mm ²)	降伏応力度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)	最大強度 (kN)	ヤング率 $\times 10^5$ (N/mm ²)	ひずみ硬化開始 時ひずみ (μ)
10-1	198.6	860.02	4328	207.70	2.13	11778
10-2		853.47	4352	207.45	2.01	11079
10-3		846.74	4301	207.20	1.98	12603
平均	198.6	853.41	4327	207.45	2.04	11820

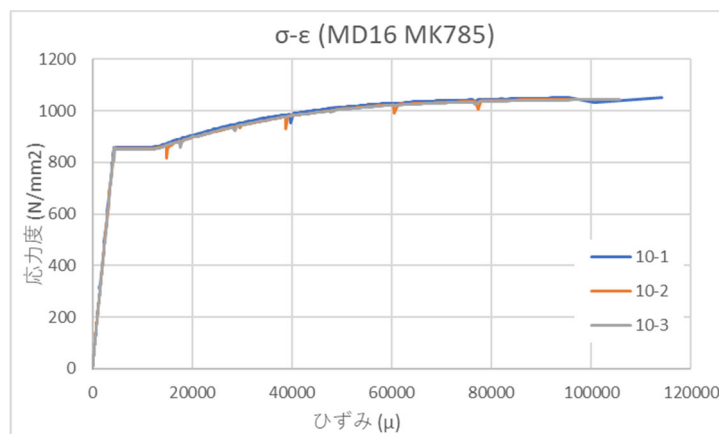


図 3. 1. 2-39 鉄筋 D16 (SD785)

表 3.1.2-49 鉄筋 D19 (SD490) 引張試験結果

D19 SD490	公称断面 (mm ²)	降伏応力度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)	最大強度 (kN)	ヤング率 $\times 10^5$ (N/mm ²)	ひずみ硬化開始 時ひずみ (μ)
13-1	286.5	438.1	2473	175.5	1.78	8525
13-2		525.1	2942	173.7	1.81	7000
13-3		528.7	2946	173.0	1.76	8673
平均	286.5	526.9	2944	173.3	1.78	7837

※13-2 と 13-3 の数値の平均を材料特性とした。

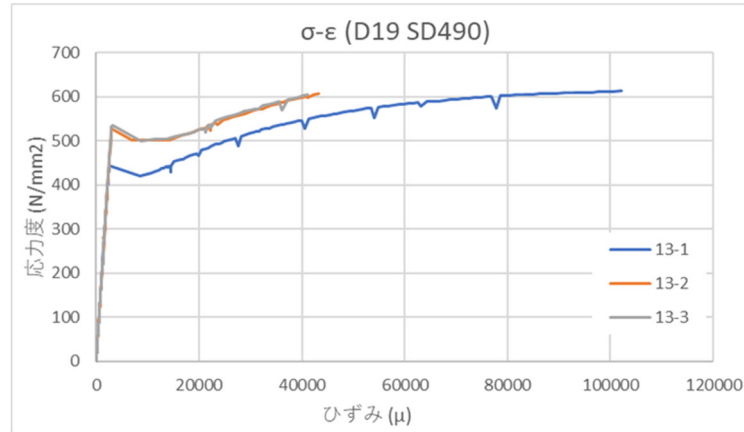


図 3.1.2-40 鉄筋 D19 (SD490)

表 3.1.2-50 鉄筋 D22 (PBSD930) 引張試験結果

D22 PBSD930	公称断面 (mm ²)	降伏応力度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)	最大強度 (kN)	ヤング率 $\times 10^5$ (N/mm ²)	弾性限界 ひずみ (μ)
15-1	387.1	985.43	7026	431.05	1.96	5026
15-2		1017.67	6986	413.55	2.04	4986
15-3		1002.95	7146	433.20	1.95	5146
平均	387.1	1002.02	7053	425.93	1.98	5053

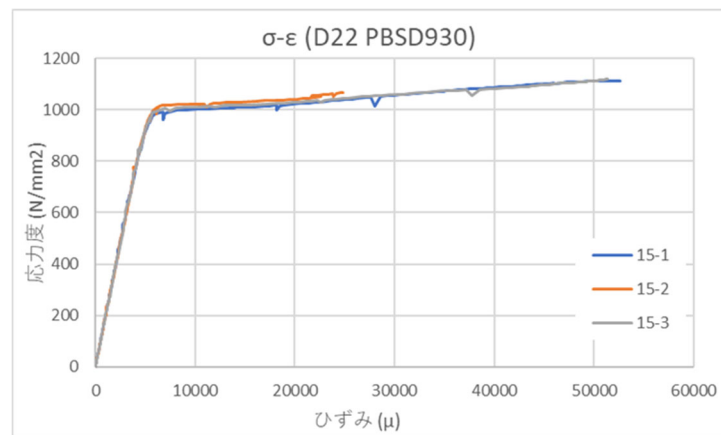


図 3.1.2-41 鉄筋 D22 (PBSD980)

表 3.1.2-51 鉄筋 U9.0 (PBSD1275) 引張試験結果

U9.0 PBSD1275	公称断面 (mm ²)	降伏応力度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)	最大強度 (kN)	ヤング率 $\times 10^5$ (N/mm ²)	弾性限界 ひずみ (μ)
17-1	64.0	1307.43	8811	89.06	1.92	6811
17-2		1279.63	8945	88.42	1.84	6945
17-3		1313.25	8817	89.90	1.93	6817
平均	64.0	1300.10	8857	89.13	1.90	6857

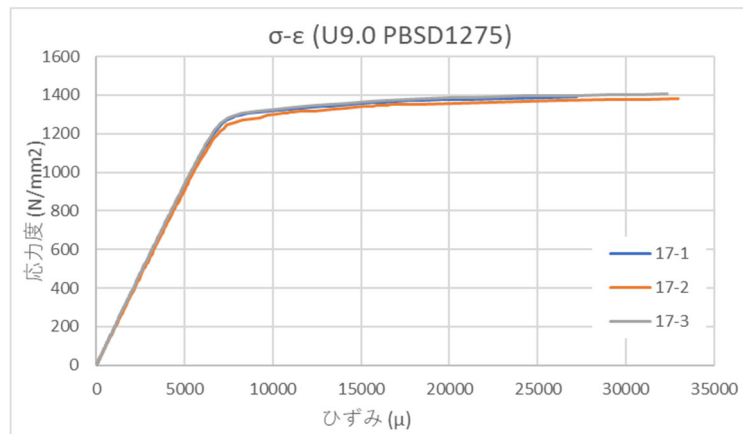


図 3.1.2-42 鉄筋 U9.0 (SBPD1275)

表 3.1.2-52 鋼板 引張試験結果

鋼板	公称断面 (mm ²)	降伏応力度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)	最大強度 (kN)	ヤング率 $\times 10^5$ (N/mm ²)	弾性限界 ひずみ (μ)
18-1	337.6	387.05	4006	162.55	1.93	2006
18-2	339.3	387.07	3889	161.30	2.05	1889
18-3	339.5	393.56	3986	161.60	1.98	1986
平均	338.8	389.23	3960	161.82	1.99	1960

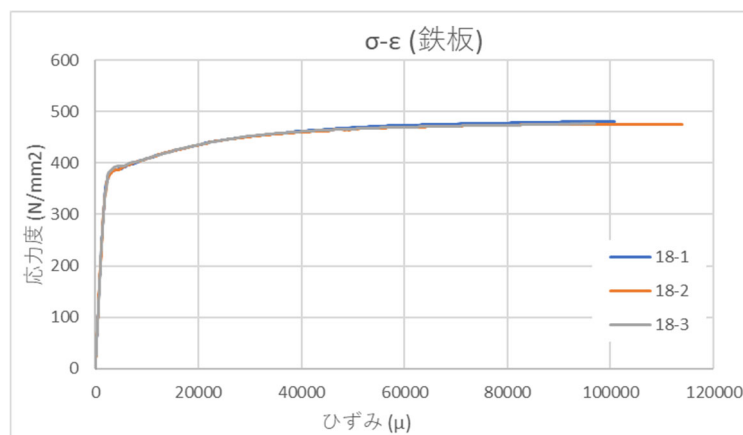


図 3.1.2-43 鋼板

3) 材料特性まとめ

材料特性を以下の表 3. 1. 2-53, 表 3. 1. 2-54 に示す。

表 3. 1. 2-53 鉄筋材料特性

	鉄筋	使用部材	降伏応力度 N/mm ²	ヤング率 × 10 ⁵ N/mm ²	降伏ひずみ μ	弾性限界 ひずみ μ
D-3	D6(SD295A)*	接合部内柱帯筋 パイルキャップ縦筋 90度	378.7	1.82	4079	2079
	D6(SD785)*	柱帯筋	928.3	1.86	6985	4985
	D10(SD295A)	パイルキャップ縦筋 45度	362.7	1.85	1936	-
	D13(SD785)*	パイルキャップ帯筋	900.4	1.90	6735	4735
	D16(SD785)*	柱主筋	879.1	1.87	6716	4716
	D19(SD490)	杭頭定着筋	543.5	1.77	3538	-
	D22(PBSD930/1080)*	基礎梁主筋	1001.6	2.01	6990	4990
	U9.0(SBPD1275/1420)*	基礎梁補強筋	1450.8	2.23	8507	6507
D-4	D6(SD295A)*	柱補強筋, 基礎梁腹筋, パイルキャップ縦筋, 埋 込鉄筋	364.0	1.75	4086	2086
	D6(SD785)*	柱補強筋	913.5	1.85	6927	4927
	D10(SD295A)	パイルキャップ縦筋 45度	331.1	1.79	1837	-
	MD13(SD785)	パイルキャップ帯筋	845.2	1.99	4416	-
	MD16(SD785)	柱主筋	853.4	2.04	2327	-
	D19(SD490)	杭頭定着筋	526.9	1.78	2944	-
	D22(PBSD930/1080)*	基礎梁主筋	1002.0	1.98	7053	5053
	U9.0(SBPD1275/1420)*	基礎梁補強筋	1300.1	1.90	8857	6857
	鋼板*	柱	389.2	1.99	3960	1960

*0. 2%オフセットにより弾性限界ひずみを算出した

表 3. 1. 2-54 コンクリート材料特性

試験体		圧縮強度 N/mm ²	割裂強度 N/mm ²	圧縮強度 時ひずみ μ	弾性係数 N/mm ²
D-1, D-2		28.4	2.20	2652	2.08 × 10 ⁴
D-3		25.2	2.17	2734	1.96 × 10 ⁴
D-4	柱	75.9	6.20	2304	2.38 × 10 ⁴
	梁	30.0	3.60	3093	3.45 × 10 ⁴
パイルキャップ					

(3) 載荷方法

1) 載荷装置

載荷装置図を図 3.1.2-44 に示す。柱頭および杭脚をピン支持、基礎梁端はピンローラー支持とした。軸力は柱頭から軸力比 0.2 の一定で導入し、水平力は柱頭位置での層間変形角にて制御を行い、正負交番繰り返し載荷とした。

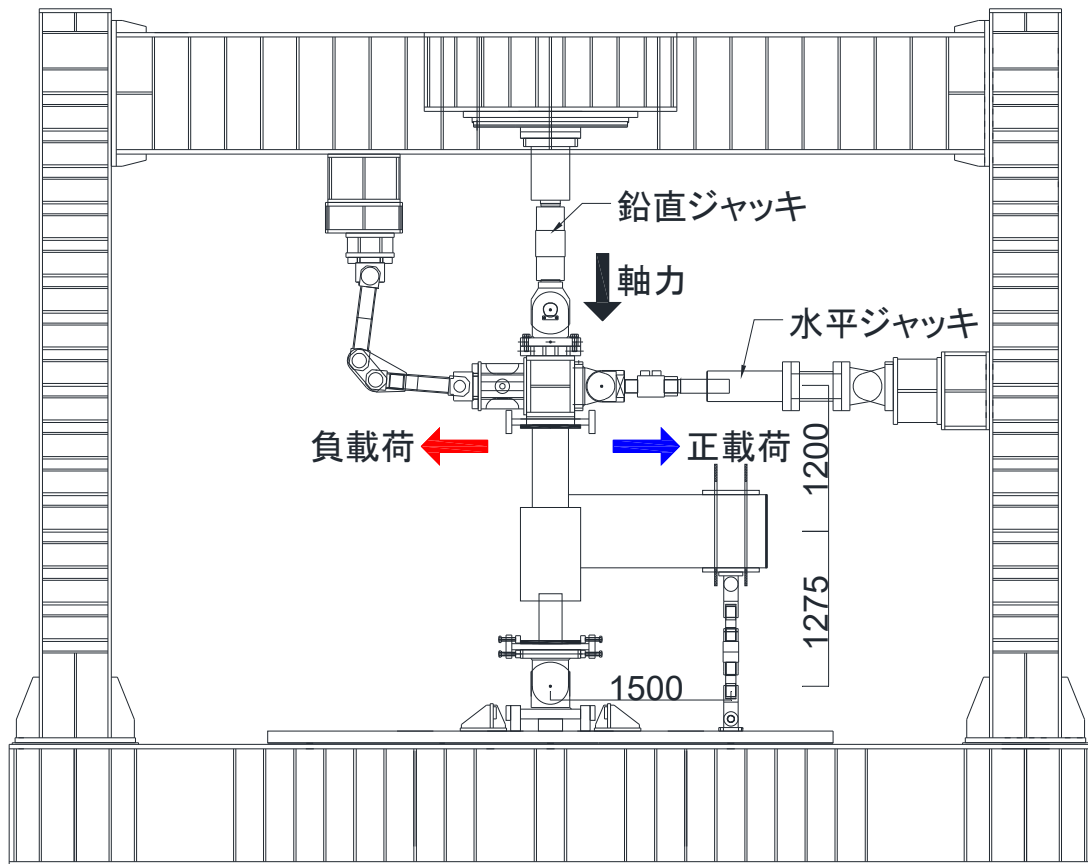


図 3.1.2-44 載荷装置図

2) 载荷スケジュール

加力は変位制御として柱頭位置での層間変形角を計測して行った。正負交番繰り返し载荷として、層間変形角 $R=0.125\%$, 0.25% を 1 回, 0.5% , 1.0% , 2.0% , 3.0% を 2 回ずつ行い, 除荷した。

図 3.1.2-45 にその加力スケジュールを示す。

载荷スケジュールを以下に示す。

- +1Cycle: 層間変形角 $R = 0.125\%$
- +2Cycle: 層間変形角 $R = 0.25\%$
- +3Cycle: 層間変形角 $R = 0.5\%$
- +4Cycle: 層間変形角 $R = 0.5\%$
- +5Cycle: 層間変形角 $R = 1.0\%$
- +6Cycle: 層間変形角 $R = 1.0\%$
- +7Cycle: 層間変形角 $R = 2.0\%$
- +8Cycle: 層間変形角 $R = 2.0\%$
- +9Cycle: 層間変形角 $R = 3.0\%$
- +10Cycle: 層間変形角 $R = 3.0\%$

- 1Cycle: 層間変形角 $R = 0.125\%$
- 2Cycle: 層間変形角 $R = 0.25\%$
- 3Cycle: 層間変形角 $R = 0.5\%$
- 4Cycle: 層間変形角 $R = 0.5\%$
- 5Cycle: 層間変形角 $R = 1.0\%$
- 6Cycle: 層間変形角 $R = 1.0\%$
- 7Cycle: 層間変形角 $R = 2.0\%$
- 8Cycle: 層間変形角 $R = 2.0\%$
- 9Cycle: 層間変形角 $R = 3.0\%$
- 10Cycle: 層間変形角 $R = 3.0\%$

○: 新载荷 ●: 繰り返し Cycle

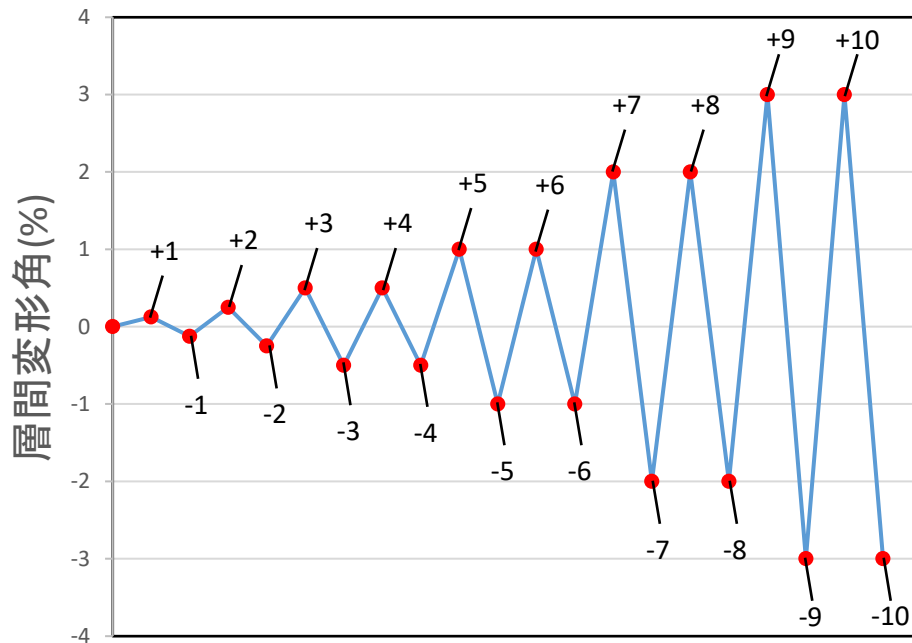


図 3.1.2-45 载荷スケジュール

(4) 測定方法

1) せん断力および軸力

軸力は軸力加圧ジャッキより測定し、層せん断力は基礎梁せん断力よりモーメントの釣り合いから層せん断力に変換した。せん断力及び軸力を図 3. 1. 2-46 に示す。

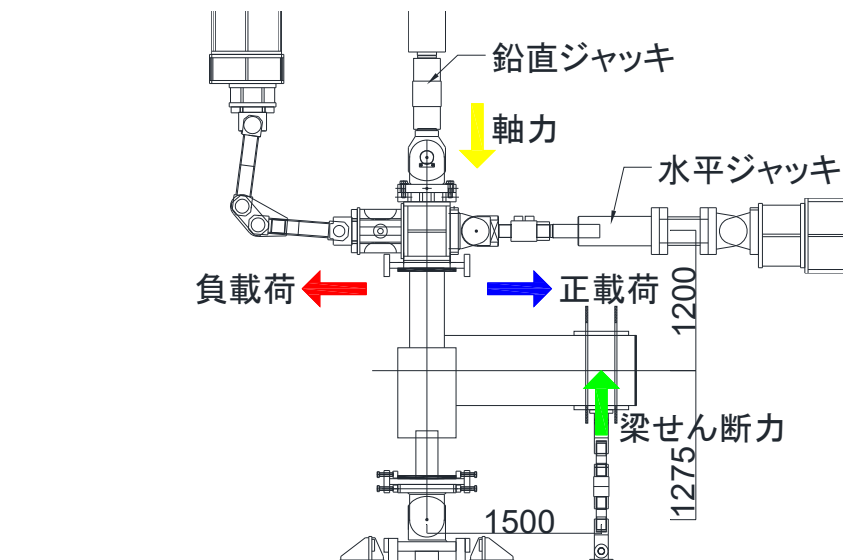


図 3. 1. 2-46 せん断力及び軸力

2) 部材変位の測定方法

(a) 層間変形角

層間変位は柱頭加力点位置で変位計 (SDP-200) によって計測した値を用いた。層間変形角 R は柱頭加力点位置での層間変位 δ を柱頭加力点から杭脚支持点までの距離 H で除したものとした。算出方法を図 3. 1. 2-47 に示す。

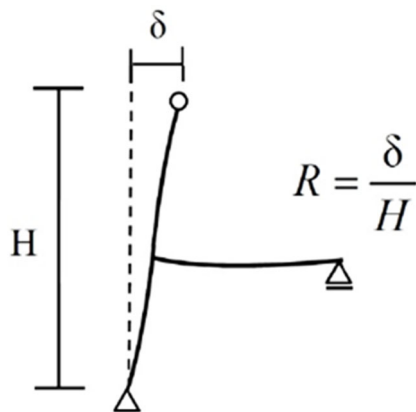


図 3. 1. 2-47 層間変形角 R 算出方

(b) 各部材変位

試験体のインサート及び変位計の取り付け位置を図 3.1.2-48～図 3.1.2-54 に示す。また、使用した治具を写真 3.1.2-4～3.1.2-6、図 3.1.2-50 に示す。

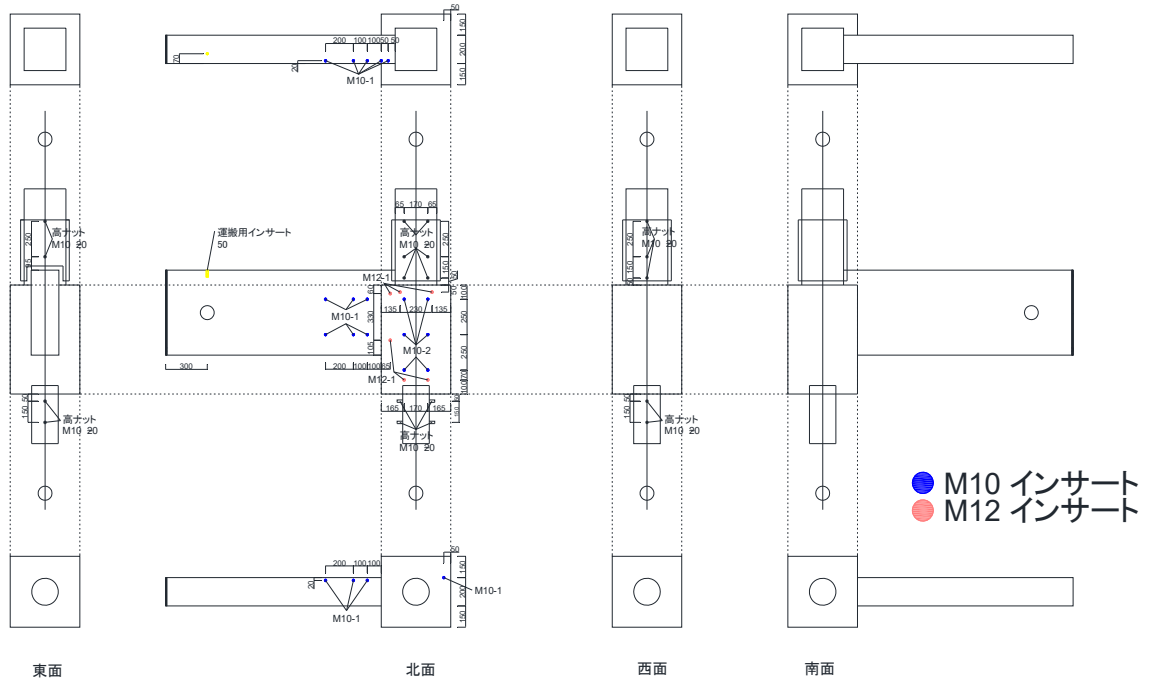


図 3.1.2-48 インサート図

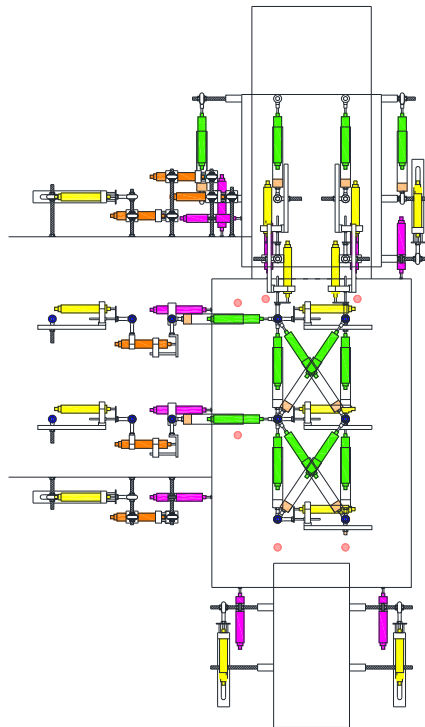


図 3.1.2-49 変位計取付図



写真 3.1.2-4 アクリルパイプ

アクリルパイプ治具

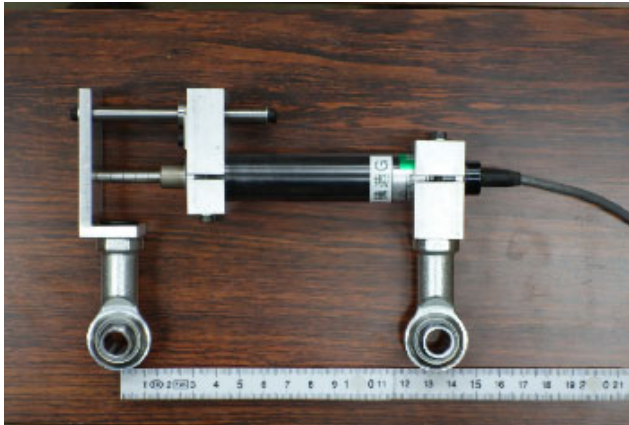
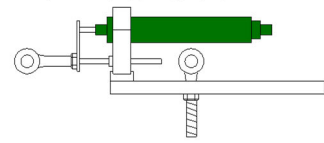
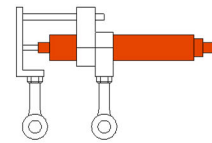


写真 3.1.2-5 短区間用治具 ver. 1

短区間用治具ver.1



短区間用治具ver.2



ホルダー



写真 3.1.2-6 短区間用治具 ver. 2

図 3.1.2-50 変位計取付治具

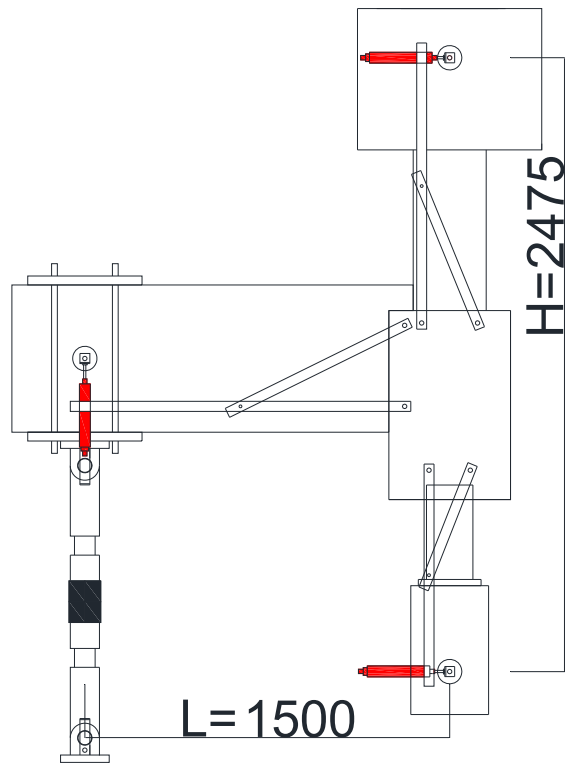


図 3. 1. 2-51 柱頭，杭頭および梁変形測定 治具図面

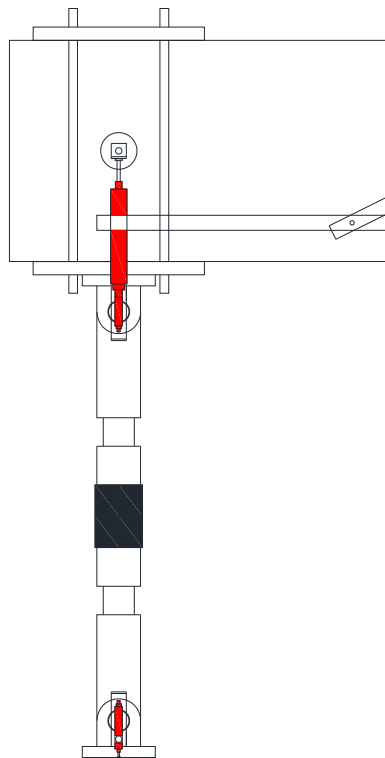


図 3. 1. 2-52 梁端変位計治具図面

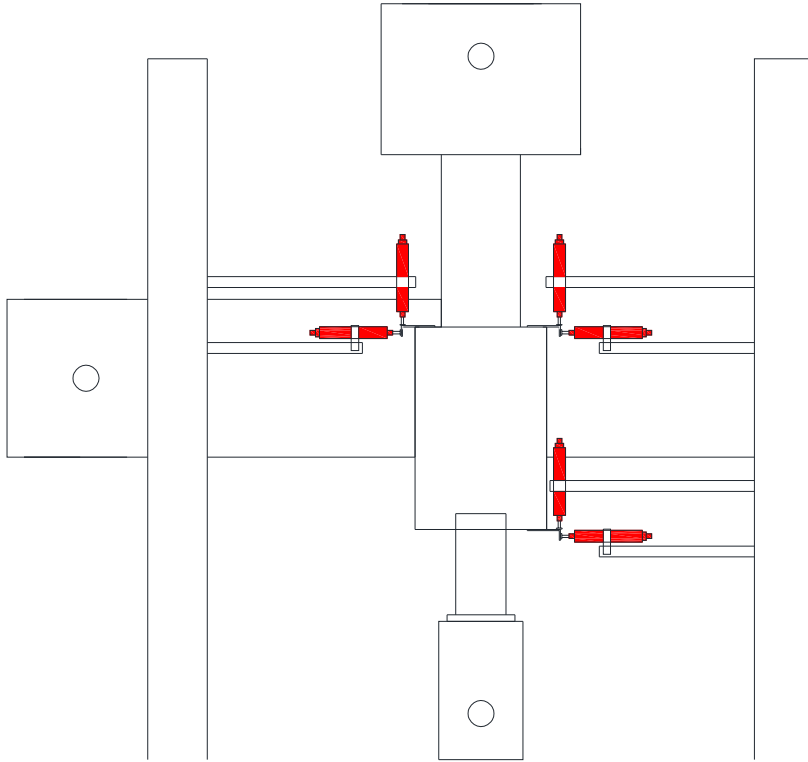


図 3.1.2-53 パイルキャップ絶対測定治具図面

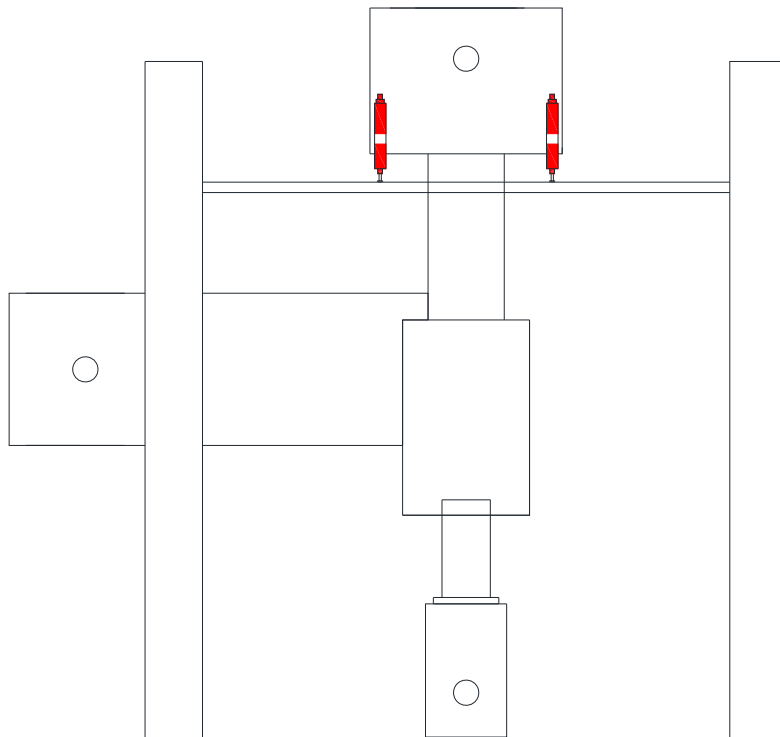


図 3.1.2-54 軸方向変位

3) ひずみ量測定位置

図 3.1.2-55～図 3.1.2-59 に各部材およびひずみ測定位置を示す。ひずみ値は各位置に貼り付けたゲージの値を用いて算出する。

・試験体 D-3 および D-4

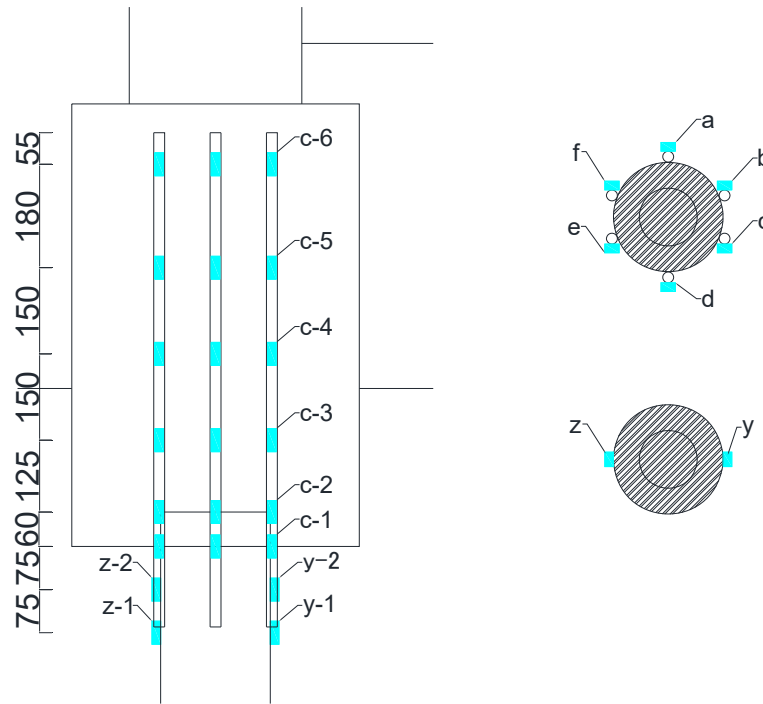


図 3.1.2-55 杭, アンカー筋ゲージ貼付図

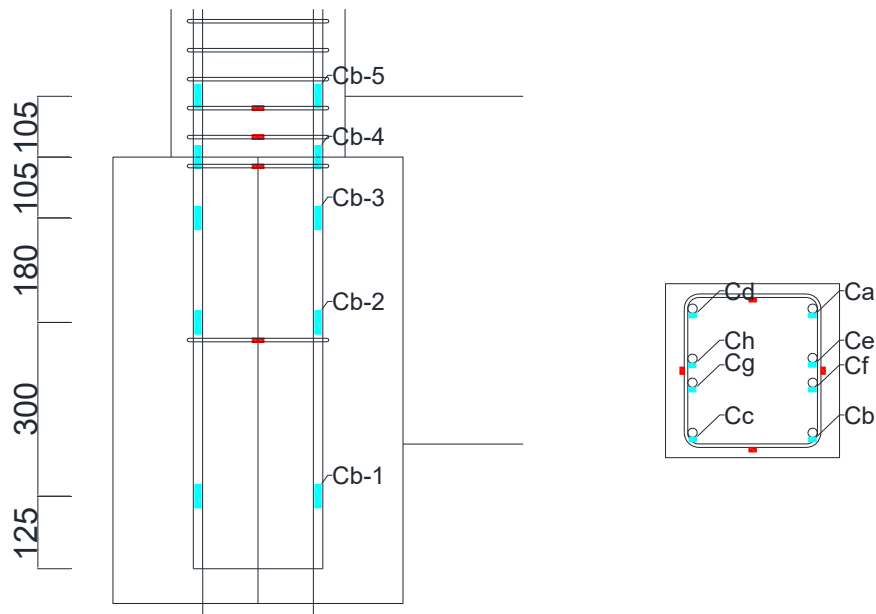


図 3.1.2-56 柱主筋ゲージ貼付図

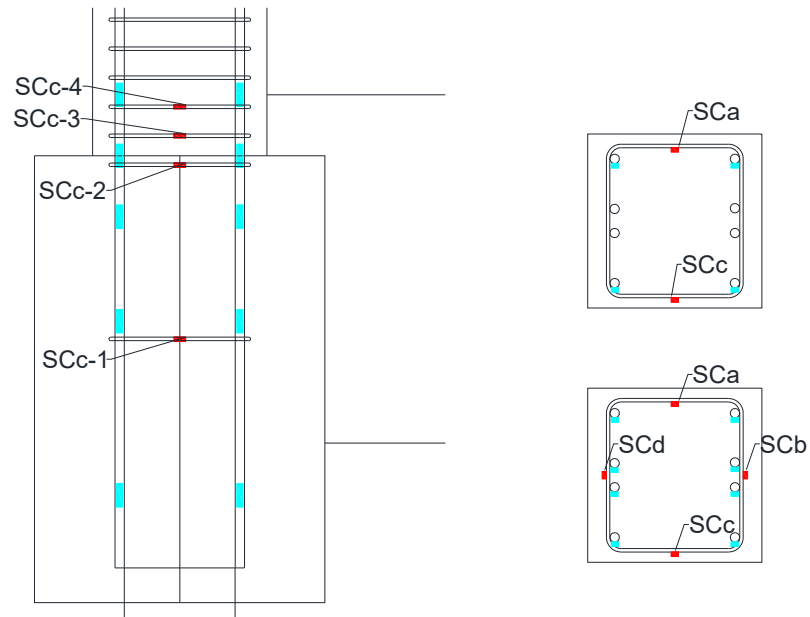


図 3.1.2-57 柱補強筋ゲージ貼付図
(上：柱補強筋，下：パイルキャップ内柱補強筋)

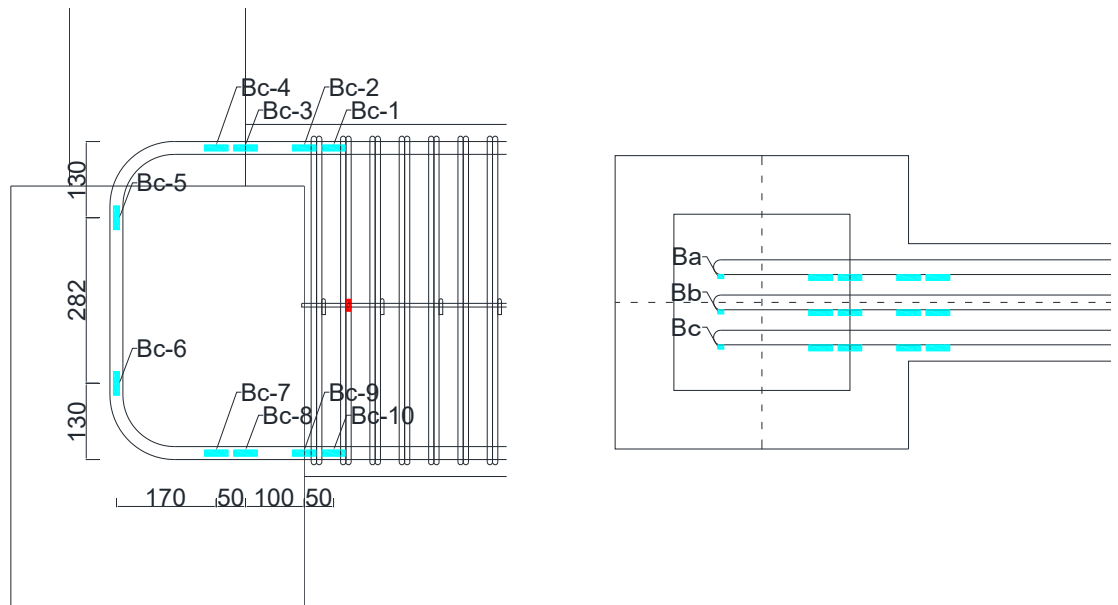


図 3.1.2-58 梁主筋ゲージ貼付図

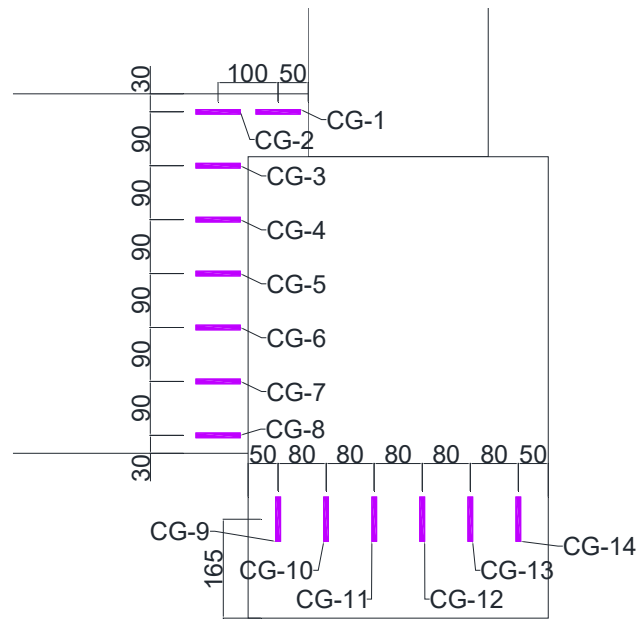


図 3.1.2-59 コンクリートゲージ貼付図

(5) 載荷方法

1) 柱

- 曲げ終局強度

柱の曲げ終局強度の計算は、2001年度改訂版既存鉄筋コンクリート造建物の耐震診断基準・同解説^[3-5]に記載されている柱曲げ終局強度の算定式より算出した。算定式を以下に示す。

$0.4bDF_c \geq N \geq 0$ のとき、

$$M_u = 0.8a_t \cdot \sigma_y \cdot D + 0.5N \cdot D \left(1 - \frac{N}{b \cdot D \cdot F_c}\right)$$

ここで、

a_t : 柱引張鉄筋断面積(mm²)

σ_y : 鉄筋降伏強度(N/mm²)

D : 柱断面せい(mm)

N : 柱軸力方向力(N)

F_c : コンクリート強度(N/mm²)

- せん断終局強度

柱のせん断終局強度は、以下に示す荒川式を用いて算出した。

$$Q_{su} = \left\{ \frac{0.053p_t^{0.23}(18+F_c)}{\frac{M}{Qd}+0.12} + 0.85\sqrt{p_w\sigma_{wy}} + 0.1\sigma_0 \right\} b \cdot j$$

ここで、

p_t : 引張鉄筋比(%)

M/Qd : せん断スパン比。1以下の場合は1とし、3以上の場合は3とする。

p_w : せん断補強筋比。0.012以上の時は0.012とする。

σ_{wy} : せん断補強筋降伏強度(N/mm²)

σ_0 : 柱の軸応力度

j : 応力中心間距離(mm)

2) 基礎梁

- 曲げ終局強度

基礎梁の曲げ終局強度は、以下の式を用いて計算を行った。

$$M_u = 0.9a_t\sigma_y d$$

ここで、

a_t : 引張鉄筋断面積(mm²)

σ_y : 引張鉄筋の降伏強度(N/mm²)

d : はり有効せい(mm)

- せん断終局強度

基礎梁のせん断終局強度は、以下に示す。

$$Q_{su} = \left\{ \frac{0.053p_t^{0.23}(18+F_c)}{\frac{M}{Qd}+0.12} + 0.85\sqrt{p_w\sigma_{wy}} + 0.1\sigma_0 \right\} b \cdot j$$

各記号は柱のせん断終局強度と同じ。

3) 杭頭接合面曲げ終局強度

杭頭接合面の曲げ終局強度は、図 3.1.2-60 に示す「支圧面抵抗力」と「埋込部抵抗力」との和として算出する。「支圧面抵抗力」は円環断面による抵抗力や杭頭定着筋による抵抗力などを考慮し、杭頭定着筋を

主筋とした円形断面について、Response-2000 で曲げ解析 Response-2000^[3-6]で曲げ解析（コンクリート：Collins モデル^[3-7]，鉄筋：ひずみ硬化域を考慮した3直線でモデル化）を行い算出した。その際、既往の研究の結果を踏まえ、コンクリート支圧強度を 2.4 倍して計算した。また「埋込部抵抗力」は、鉄筋コンクリート基礎構造部材の耐震設計指針（案）・同解説^[3-8]に記載されている以下の式を用いて算出した。

$${}_uM_{ph} = F_c \left(\frac{Dh^2L}{6L + 4h} \right)$$

ここで、

${}_uM_{ph}$: パイルキャップへの杭埋込め込み部前・後面のコンクリート支圧による安全限界曲げ

強度(N・mm)

D : 杭外径(mm)

h : 杭のパイルキャップへの埋込長さ(mm)

L : 杭頭の曲げモーメントとせん断力の比

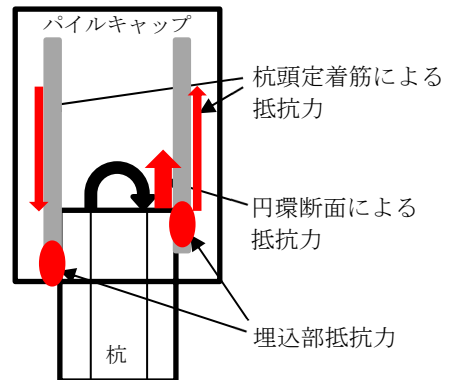


図 3.1.2-60 杭頭接合面に作用する力

4) パイルキャップ

- せん断終局強度

パイルキャップせん断終局強度は、既往の研究で提案された2種類の式を用いて算出した。

a. 実験に基づく実験式

荒川 mean 式を参考に岸田研究室が提案したパイルキャップせん断終局強度式^[3-9]を以下に示す。

$$Q_{su} = \left\{ \frac{0.068 p_t^{0.23} (F_c + 18)}{\frac{M}{Qd} + 0.12} + 0.85 \sqrt{c p_w c \sigma_{wy} + p_c p_w p_c \sigma_{wy} + 0.1 \sigma_0} \right\} b_j$$

ここで、

$c p_w$: 柱せん断補強筋比

$c \sigma_{wy}$: 柱せん断補強筋降伏強度(N/mm²)

$p_c p_w$: パイルキャップせん断補強筋比

$p_c \sigma_{wy}$: パイルキャップせん断補強筋降伏強度(N/mm²)

b. トラス・アーチ理論に基づく理論式

トラス・アーチ理論に基づくパイルキャップせん断強度式^[3-10] (以下、理論式) を示す。

パイルキャップせん断強度 V_u

$v_0 \sigma_B - c \sigma_t < 0$ のとき

V_u は次のうち小さい値とする

$$V_u = \begin{cases} \frac{\lambda_c v_0 \sigma_B + c p_{we} c \sigma_{we}}{3} c b_e c j_e \\ \frac{\lambda_c v_0 \sigma_B}{2} c b_e c j_e \end{cases}$$

$v_0 \sigma_B - c \sigma_t \geq 0$ かつ $v_0 \sigma_B - c \sigma_t - p_c \sigma_t < 0$ のとき

$$c V_t = 2 c p_{we} c \sigma_{wy} c b_e c j_e$$

$p_c V_t$ は次のうち小さい値とする

$$p_c V_t = \begin{cases} \frac{\lambda_{pc} (v_0 \sigma_B - c \sigma_t) + p_c p_{we} p_c \sigma_{we}}{3} p_c b_e p_c j_e \\ \frac{\lambda_{pc} (v_0 \sigma_B - c \sigma_t)}{2} p_c b_e p_c j_e \end{cases}$$

$$V_u = c V_t + p_c V_t$$

$v_0 \sigma_B - c \sigma_t - p_c \sigma_t \geq 0$ のとき

$$c V_t = 2 c p_{we} c \sigma_{wy} c b_e c j_e$$

$$p_c V_t = 2 p_c p_{we} p_c \sigma_{wy} p_c b_e p_c j_e$$

$$V_a = (v_0 \sigma_B - c\sigma_t - pc\sigma_t) \frac{b x_n}{2} \sin 2\theta$$

$$V_u = cV_t + pcV_t + V_a$$

v_0 :コンクリート圧縮強度の有効係数 σ_B :コンクリート圧縮強度(N/mm²)
 cp_{we} :柱有効補強筋比 $c\sigma_{wy}$:柱補強筋降伏応力(N/mm²) cb_e :柱トラス有効幅(mm)
 cj_e :柱トラス有効せい(mm) λ_c :柱トラス有効係数 $c\sigma_t$:柱トラス圧縮力(N/mm²)
 pcp_{we} :パイルキャップ有効補強筋比 $pc\sigma_{wy}$:パイルキャップ補強筋降伏応力(N/mm²)
 pcb_e :パイルキャップトラス有効幅(mm) pcj_e :パイルキャップトラス有効せい(mm)
 λ_{pc} :パイルキャップトラス有効係数 $pc\sigma_t$:パイルキャップトラス圧縮力(N/mm²)
 b :接合部有効幅(mm) x_n :アーチ中立軸位置(mm) θ :アーチ角度

$$v_0 = 2.3\sigma_B^{-0.33}$$

v_0 :コンクリート圧縮強度の有効係数 σ_B :コンクリート圧縮強度(N/mm²)

$$x_n = \frac{D}{4}(1 + 2\eta)$$

x_n :アーチ機構の中立軸位置 D :接合部有効せい(mm) η :接合部軸力比

$$x_n = \frac{D}{4}(1 + 2\eta)$$

x_n :アーチ機構の中立軸位置 D :接合部有効せい(mm) η :接合部軸力比

$$\tan \theta = \frac{D - x_n}{L} \quad \sin 2\theta = \frac{2 \tan \theta}{1 + \tan^2 \theta}$$

θ :アーチ機構の圧縮束の角度 L :部材長さ

$$cp_{we} = \frac{ca_w}{cb_e L}$$

cp_{we} :柱有効補強筋比 ca_w :柱有効補強筋総断面積(mm²)

cb_e :柱トラス有効幅(mm) L :部材長さ(mm)

$$c\sigma_t = \frac{5 cp_{we} c\sigma_{wy}}{\lambda_c}$$

$c\sigma_t$:柱トラス圧縮応力(N/mm²)

$$s_c = \frac{L}{m_c}$$

s_c :柱補強筋間隔 m_c :柱補強筋組数

$$\lambda_c = 1 - \frac{s_c}{2 cb_e} - \frac{cj_e}{4}$$

λ_c :柱トラス機構の有効係数 cj_e :柱トラス有効せい(mm)

$$pcp_{we} = \frac{pc a_w}{pc b_e L}$$

pcp_{we} :パイルキャップ有効補強筋比 $pc a_w$:パイルキャップ有効補強筋総断面積(mm²)

$p_c b_e$: パイルキャップトラス有効幅(mm) L : 部材長さ(mm)

$$p_c \sigma_t = \frac{5 p_c \rho_{we} p_c \sigma_{wy}}{\lambda_{pc}}$$

$p_c \sigma_t$: パイルキャップトラス圧縮応力(N/mm²)

$$s_{pc} = \frac{L}{m_{pc}}$$

s_{pc} : パイルキャップ補強筋間隔 m_{pc} : パイルキャップ補強筋組数

$$\lambda_{pc} = 1 - \frac{s_{pc}}{2 p_c b_e} - \frac{p_c b_e}{4 p_c j_e}$$

λ_{pc} : パイルキャップトラス機構の有効係数 $p_c j_e$: パイルキャップトラス有効せい(mm)

5) 部材設計まとめ

各試験体の部材設計時の計算結果を表 3.1.2-55 に示す。

試験体 D-3 および D-4 とともに杭頭接合部破壊になるように設計した。

表 3.1.2-55 計算結果

層せん断力(kN)			D-3	D-4
柱	曲げ終局強度 ³⁾		228.3	263.9
	せん断終局強度 ³⁾		203.9	238.3
梁	曲げ終局強度 ³⁾		290.3	241.9
	せん断終局強度 ³⁾		278.7	326.8
パイル キャッ	せん断終局 ⁴⁾ ※1 (余裕度考慮)	正：1.17倍	166.4	166.4
		負：1.11倍	175.3	178.7
杭頭 接合面	曲げ終局 ²⁾	正：支圧3倍※2	120.5	120.4
		負：支圧2.4倍※2	123.2	125.3

※1 余裕度考慮：実験式の実験値に対する余裕度のこと

※2 支圧3倍，2.4倍：支圧抵抗力を計算する際に使用したコンクリート支圧強度のこと

3.1.3 実験結果

(1) 実験結果一覧 Q-R 関係

表 3.1.3-1 に正載荷, 負載荷時におけるピーク荷重及び, 各ピーク時における層間変形角の表, 表 3.1.3-2~3 に諸現象を、写真・図 3.1.3-1 (試験体 D-3), 図 3.1.3-2 (試験体 D-4) は最終破壊性状と層せん断力-層間変形角関係 (Q-R 関係) を示す。また、グラフ中の×印は最大耐力を, (+1.0%)は層間変形角+1.0%に向かうサイクル時に現象が発生したことを示す。試験体正面を南面としている。試験体は全て正載荷から正負交番繰り返し載荷としている。

表 3.1.3-1 ピーク荷重及び層間変形

Cycle	D-3		Cycle	D-3	
	Q(kN)	R(%)		Q(kN)	R(%)
+1	33.9	0.124	-1	-7.9	-0.128
+2	49.7	0.251	-2	-28.2	-0.252
+3	61.8	0.501	-3	-56.1	-0.506
+4	60.3	0.501	-4	-53.6	-0.508
+5	84.7	1.001	-5	-74.7	-1.004
+6	72.7	1.009	-6	-65.6	-1.004
+7	66.8	2.000	-7	-64.4	-2.011
+8	50.8	2.004	-8	-54.1	-2.034
+9	51.1	3.015	-9	-55.8	-3.005
+10	37.9	3.008	-10	-47.8	-3.005

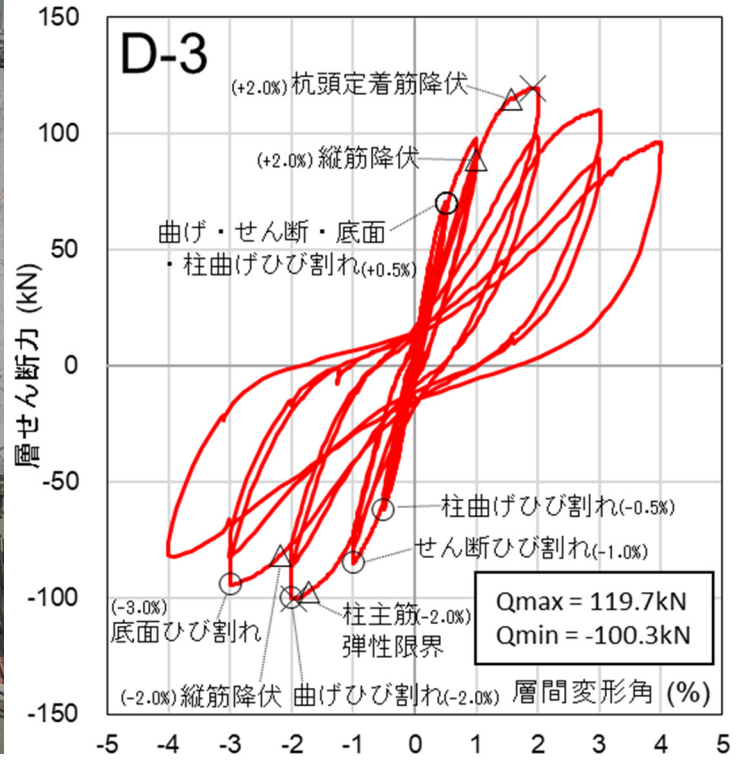
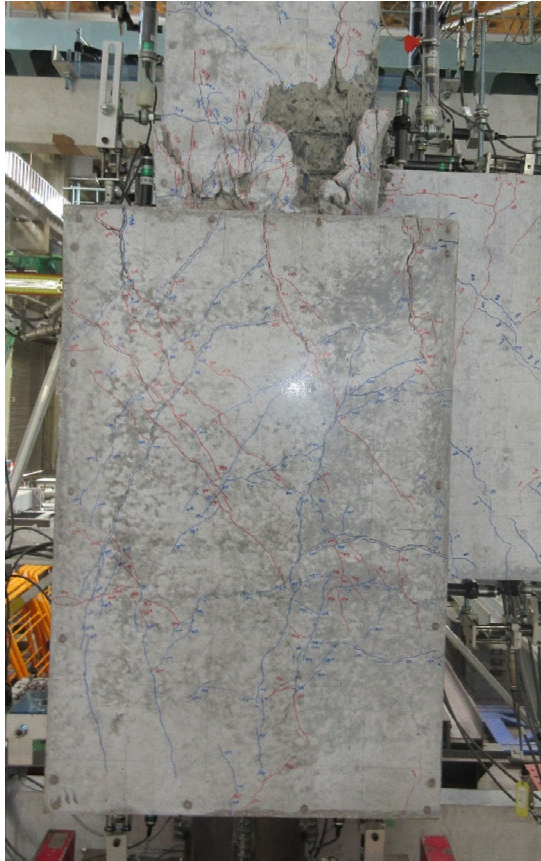
Cycle	D-4		Cycle	D-4	
	Q (kN)	R (%)		Q (kN)	R (%)
+1	36.2	0.125	-1	-12.9	-0.125
+2	52.3	0.251	-2	-37.5	-0.253
+3	80.2	0.501	-3	-68.8	-0.503
+4	77.9	0.504	-4	-67.3	-0.507
+5	112.0	1.007	-5	-101.7	-1.008
+6	105.0	1.004	-6	-96.1	-1.001
+7	132.4	2.007	-7	-125.5	-2.011
+8	113.5	2.013	-8	-107.2	-2.007
+9	119.9	3.012	-9	-116.7	-3.012
+10	98.1	3.025	-10	-99.4	-3.033
+11	83.6	4.012	-11	-98.5	-4.008
+12	58.5	4.019	-12	-80.2	-4.031

表 3.1.3-2 試験体 D-3 諸現象発生一覧

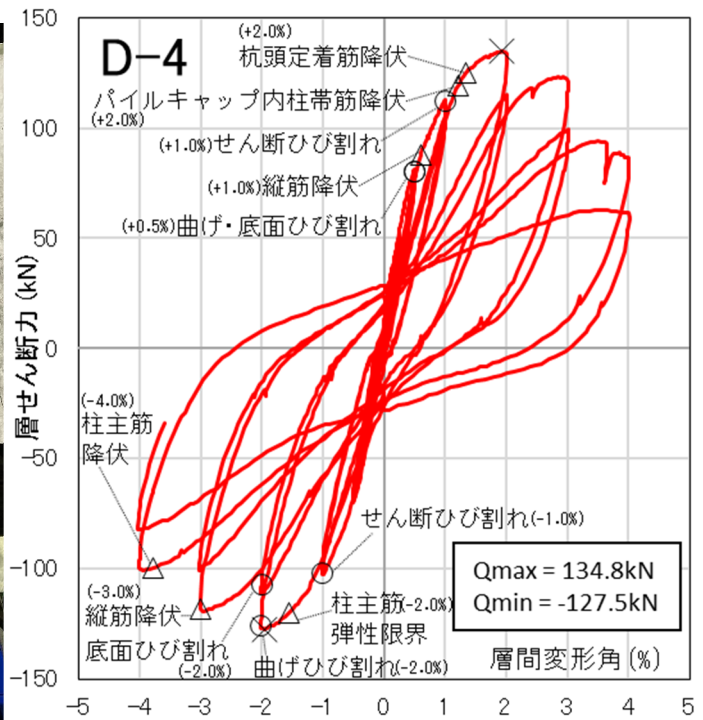
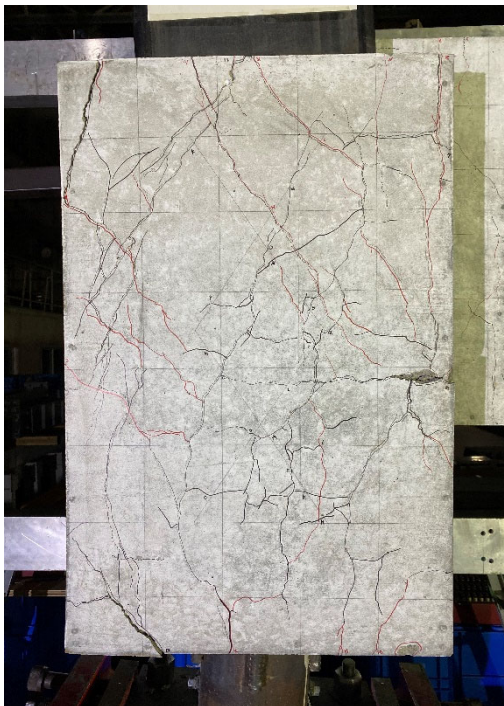
試験体D-3	諸現象	Step	Cycle	Q (kN)	R (%)	ゲージ位置	
柱	曲げひび割れ発生	325 (正)	+3 (+0.5%)	70.3	0.511		
		404 (負)	-3 (-0.5%)	-61.8	-0.504		
	せん断ひび割れ発生	617 (正)	+5 (+1.0%)	97.8	1.000		
		721 (負)	-5 (-1.0%)	-84.5	-0.998		
	主筋	弾性限界時	なし				CM-1-2
		降伏時	なし				
	補強筋	弾性限界時	なし				CS-1-f
		降伏時	なし				
	補強筋(接合部内)	弾性限界時	1367 (正)	+9 (+3.0%)	102.1	2.375	CS-4-f
		降伏時	1460 (負)	-9 (-3.0%)	-67.2	-1.710	CS-3-f
	基礎梁	曲げひび割れ発生	52 (正)	+1 (+0.125%)	27.6	0.126	
			110 (負)	-1 (-0.125%)	-18.2	-0.128	
曲げせん断ひび割れ発生		174 (正)	+2 (+0.25%)	45.9	0.254		
		241 (負)	-2 (-0.25%)	-36.4	-0.252		
主筋		弾性限界時	なし				
		降伏時	なし				
パイルキャップ	曲げひび割れ発生	325 (正)	+3 (+0.5%)	70.3	0.511		
		1129 (負)	-7 (-2.0%)	-99.7	-2.002		
	せん断ひび割れ発生	325 (正)	+3 (+0.5%)	70.3	0.511		
		721 (負)	-5 (-1.0%)	-84.5	-0.998		
	底面ひび割れ発生	325 (正)	+3 (+0.5%)	70.3	0.511		
		1502 (負)	-9 (-3.0%)	-93.9	-3.003		
	上面ひび割れ発生	617 (正)	+5 (+1.0%)	97.8	1.000		
		721 (負)	-5 (-1.0%)	-84.5	-0.998		
	側面(西側)ひび割れ発生	617 (正)	+5 (+1.0%)	97.8	1.000		
		1129 (負)	-7 (-2.0%)	-99.7	-2.002		
	側面(東側)ひび割れ発生	325 (正)	+3 (+0.5%)	70.3	0.511		
		861 (負)	-6 (-1.0%)	-77.9	-1.003		
	縦筋(90度)	弾性限界時	972 (正)	+7 (+2.0%)	117.9	1.783	V-B-3
			1474 (負)	-9 (-3.0%)	-85.0	-2.319	V-D-2
		降伏時	1360 (正)	+9 (+3.0%)	96.4	2.170	V-B-3
			1854 (負)	-11 (-4.0%)	-46.7	-1.862	V-D-2
	縦筋(45度)	降伏時	920 (正)	+7 (+2.0%)	88.4	1.007	V-C-2
			1469 (負)	-9 (-3.0%)	-81.5	-2.176	V-G-2
帯筋	降伏時	なし					
中子筋	弾性限界時	1769 (正)	+11 (+4.0%)	89.1	3.438	11-5	
	降伏時	なし					
杭	杭頭定着筋	降伏時	956 (正)	+7 (+2.0%)	115.0	1.580	A-3-5
		降伏時	なし				

表 3.1.3-3 試験体 D-4 諸現象発生一覧

試験体D-4	諸現象		Step	Cycle	Q (kN)	R (%)	ゲージ位置
柱	主筋	弾性限界時	なし				
			1404 (負)	-7 (-2.0%)	-120.2	-1.555	Gd-5
		降伏時	なし				
			2338 (負)	-11 (-4.0%)	-99.6	-3.783	Gc-4
	補強筋	弾性限界時	なし				
		降伏時	なし				
	補強筋(接合部内)	弾性限界時	812 (正)	+5 (+1.0%)	108.4	0.907	SCc-1
			1404 (負)	-7 (-2.0%)	-120.2	-1.555	SCa-2
		降伏時	1264 (正)	+7 (+2.0%)	119.0	1.206	SCc-1
			なし				
基礎梁	曲げひび割れ発生		115 (正)	+1 (+0.125%)	36.2	0.125	
			385 (負)	-2 (-0.25%)	-37.5	-0.253	
	曲げせん断ひび割れ発生		115 (正)	+1 (+0.125%)	36.2	0.125	
			385 (負)	-2 (-0.25%)	-37.5	-0.253	
	主筋	弾性限界時	なし				
		降伏時	なし				
パイルキャップ	曲げひび割れ発生		489 (正)	+3 (+0.5%)	80.2	0.501	
			1421 (負)	-7 (-2.0%)	-125.5	-2.011	
	せん断ひび割れ発生		825 (正)	+5 (+1.0%)	112.0	1.007	
			928 (負)	-5 (-1.0%)	-101.7	-1.008	
	底面ひび割れ発生		489 (正)	+3 (+0.5%)	80.2	0.501	
			1653 (負)	-8 (-2.0%)	-107.2	-2.007	
	上面ひび割れ発生		1300 (正)	+7 (+2.0%)	132.4	2.007	
			709 (負)	-4 (+0.5%)	-67.3	-0.507	
	側面(西側)ひび割れ発生		115 (正)	+1 (+0.125%)	36.2	0.125	
			565 (負)	-3 (-0.5%)	-68.8	-0.503	
	側面(東側)ひび割れ発生		489 (正)	+3 (+0.5%)	80.2	0.501	
			709 (負)	-4 (+0.5%)	-67.3	-0.507	
	縦筋(90度)	弾性限界時	1293 (正)	+7 (+2.0%)	134.8	1.929	Pj-2
			2325 (負)	-11 (-4.0%)	-86.5	-3.004	Pk-4
		降伏時	1996 (正)	+10 (+3.0%)	99.3	3.021	Pi-2
			なし				
	縦筋(45度)	降伏時	787 (正)	+5 (+1.0%)	87.9	0.597	Pc-3
			1882 (負)	-9 (-3.0%)	-118.4	-3.003	Ph-5
	帯筋	降伏時	なし				
	中子筋	弾性限界時	1990 (正)	+10 (+3.0%)	94.4	2.753	SSc-2
			なし				
		降伏時	なし				
杭	杭頭定着筋	降伏時	1269 (正)	+7 (+2.0%)	125.2	1.333	b-2
		なし					



写真・図 3.1.3-1 試験体 D-3 最終破壊状況及び Q-R 関係

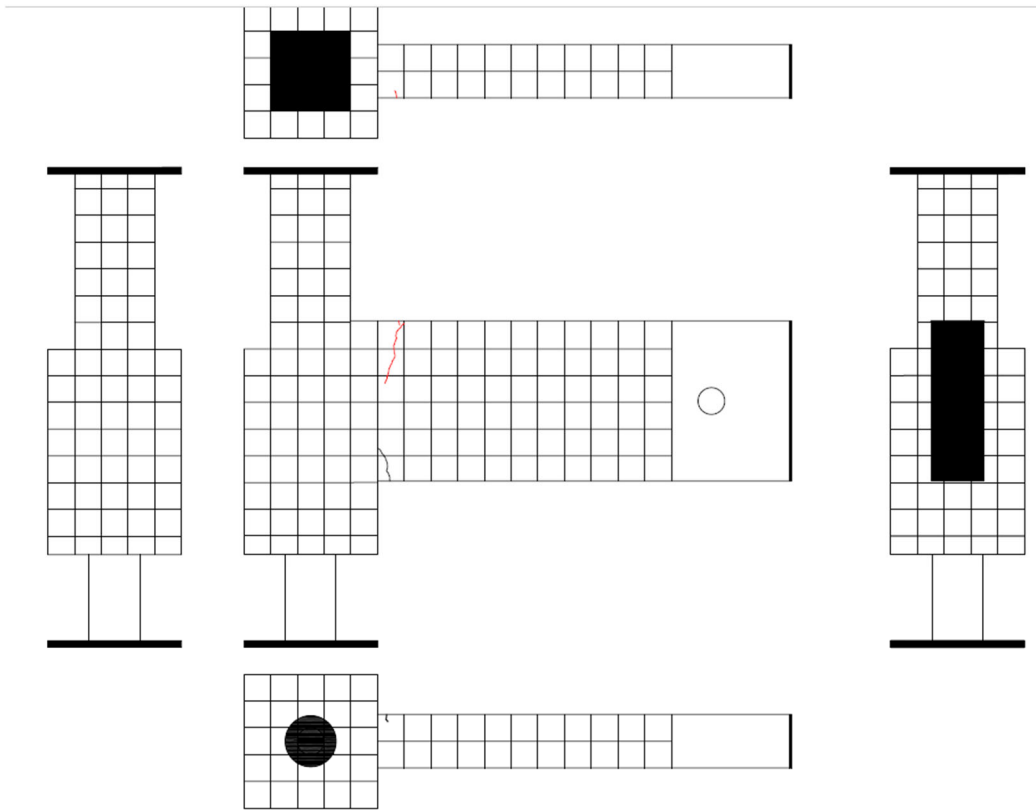


写真・図 3.1.3-2 試験体 D-4 最終破壊状況及び Q-R 関係

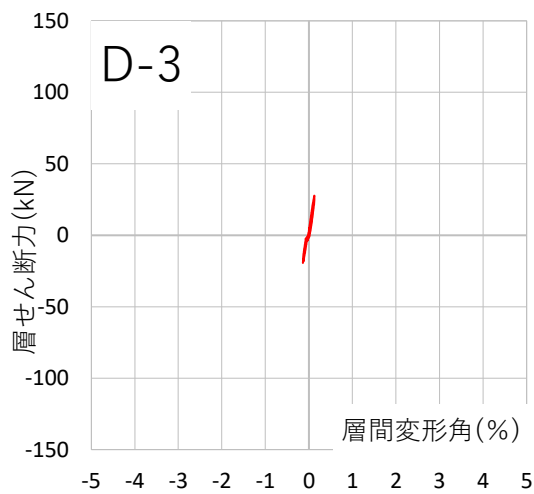
(2) ひび割れ状況

図・写真 3.1.3-3~13 に試験体 D-3, 図・写真 3.1.3-14~25 に試験体 D-4 に発生したひび割れ状況の図, ピーク時の荷重と層間変形角, そのサイクルの除荷までの層せん断力-層間変形角関係(Q-R 関係), ピーク時の部材写真を示す。正載荷時に発生, 進展したひび割れを黒線, 負載荷時に発生, 進展したひび割れを赤線, 初期ひび割れを灰色の線で表す。

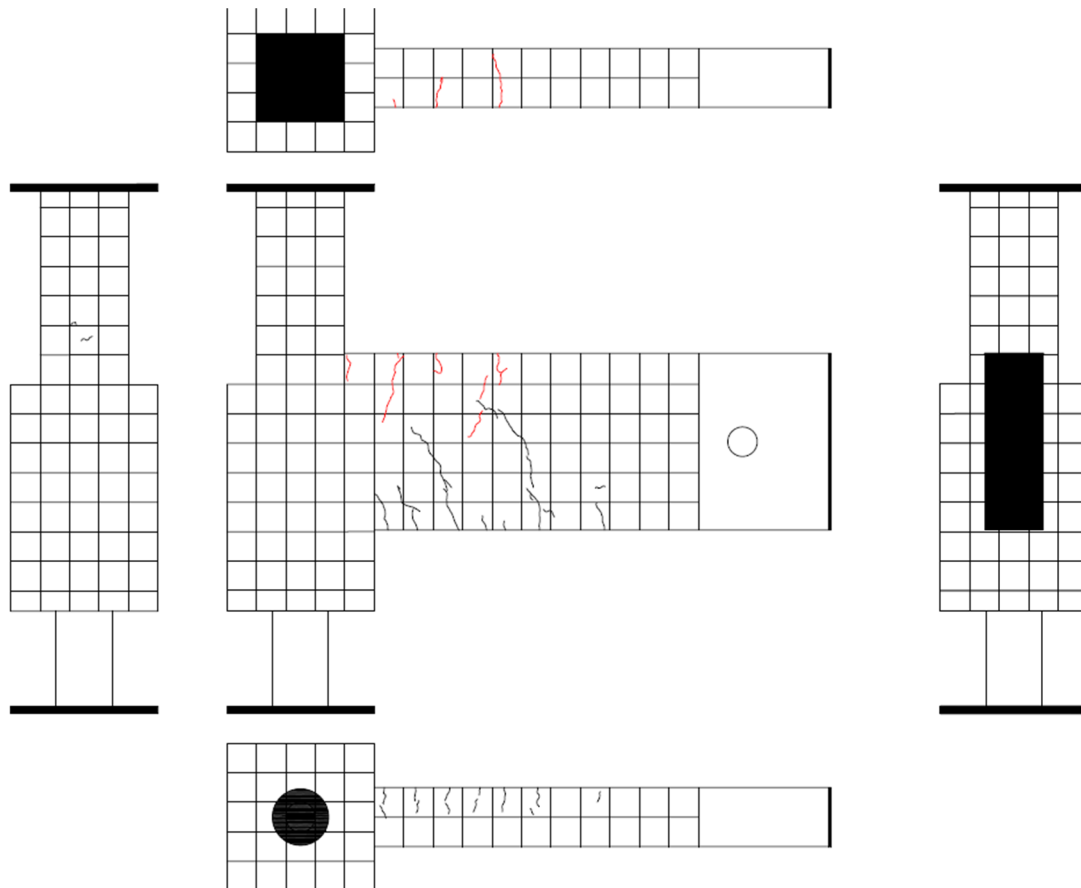
・試験体 D-3



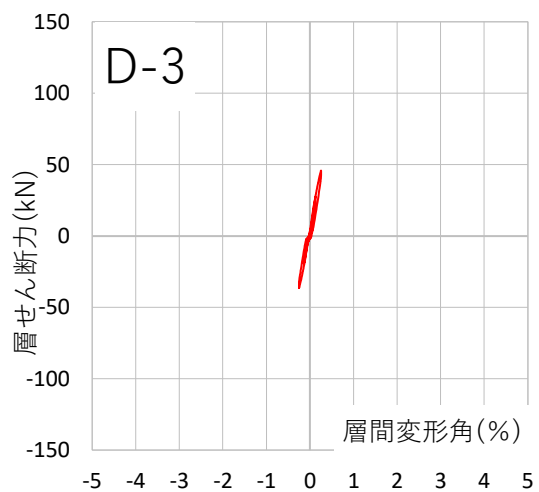
Cycle	D-3	
	Q (kN)	R (%)
+1	27.6	0.126
-1	-18.2	-0.128



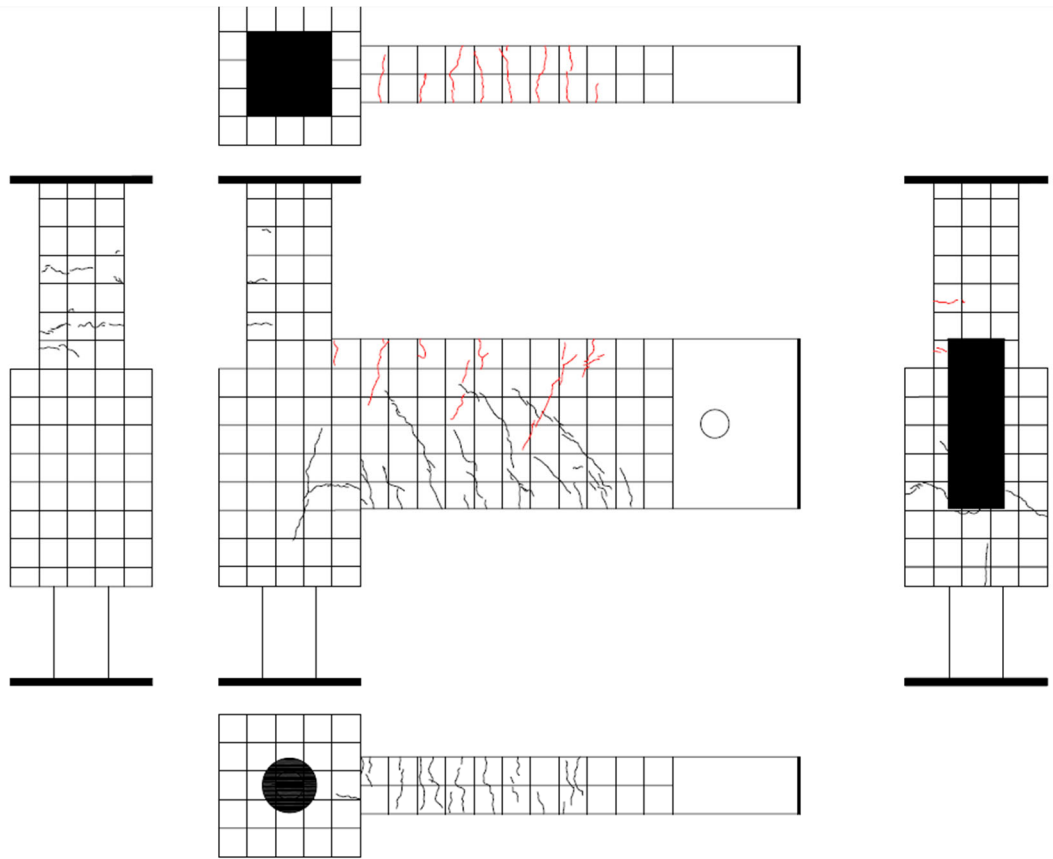
図・写真 3.1.3-3 試験体 D-3 ひび割れ状況 (1Cycle)



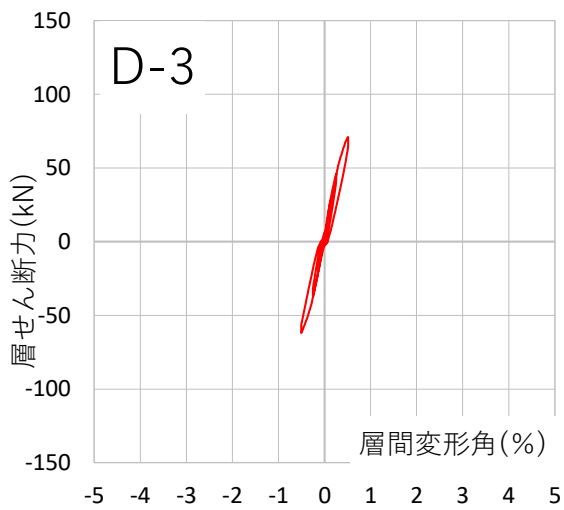
Cycle	D-3	
	Q (kN)	R (%)
+2	45.9	0.254
-2	-36.4	-0.252



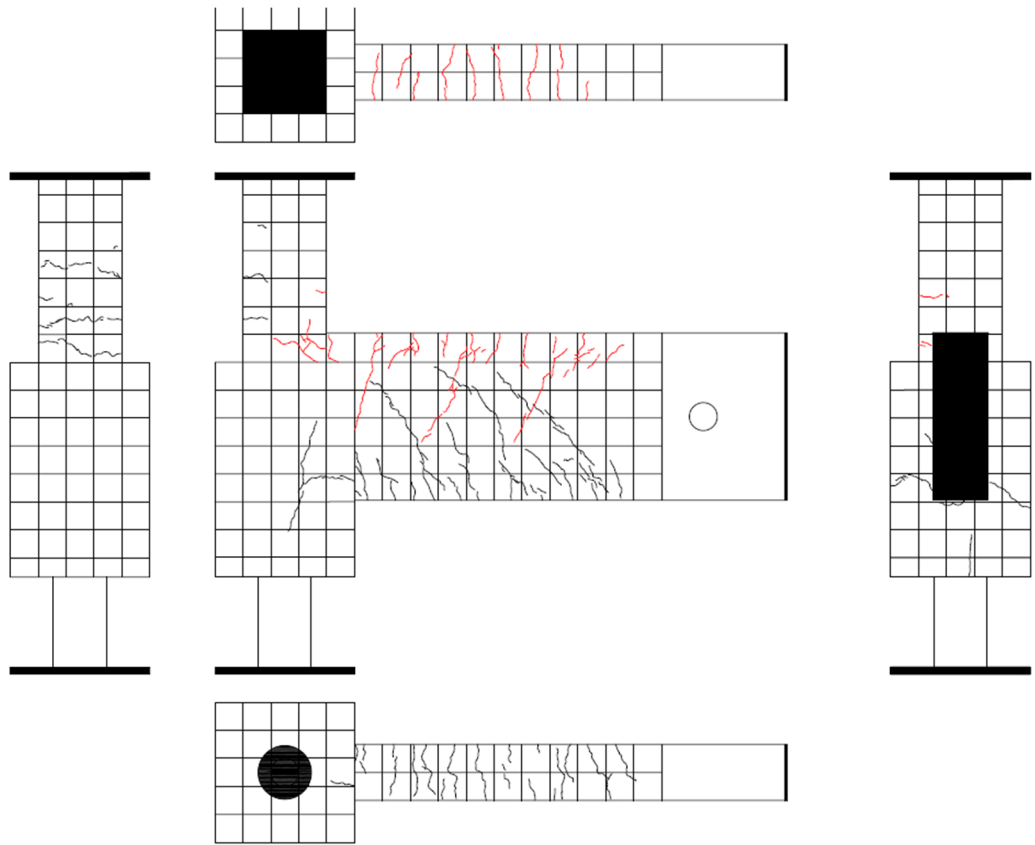
図・写真 3.1.3-4 試験体 D-3 ひび割れ状況 (20cycle)



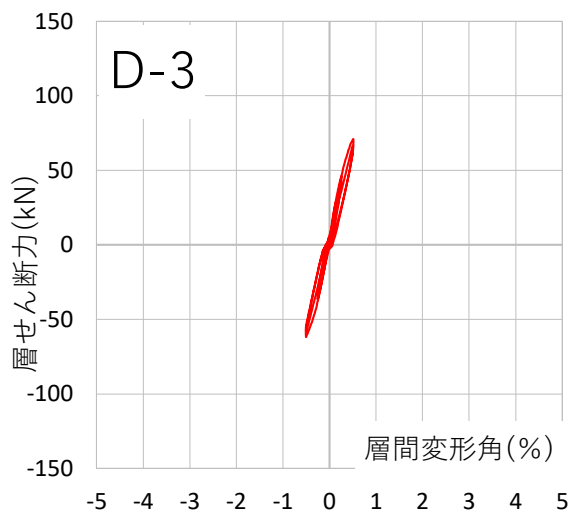
Cycle	D-3	
	Q (kN)	R (%)
+3	70.3	0.511
-3	-61.8	-0.504



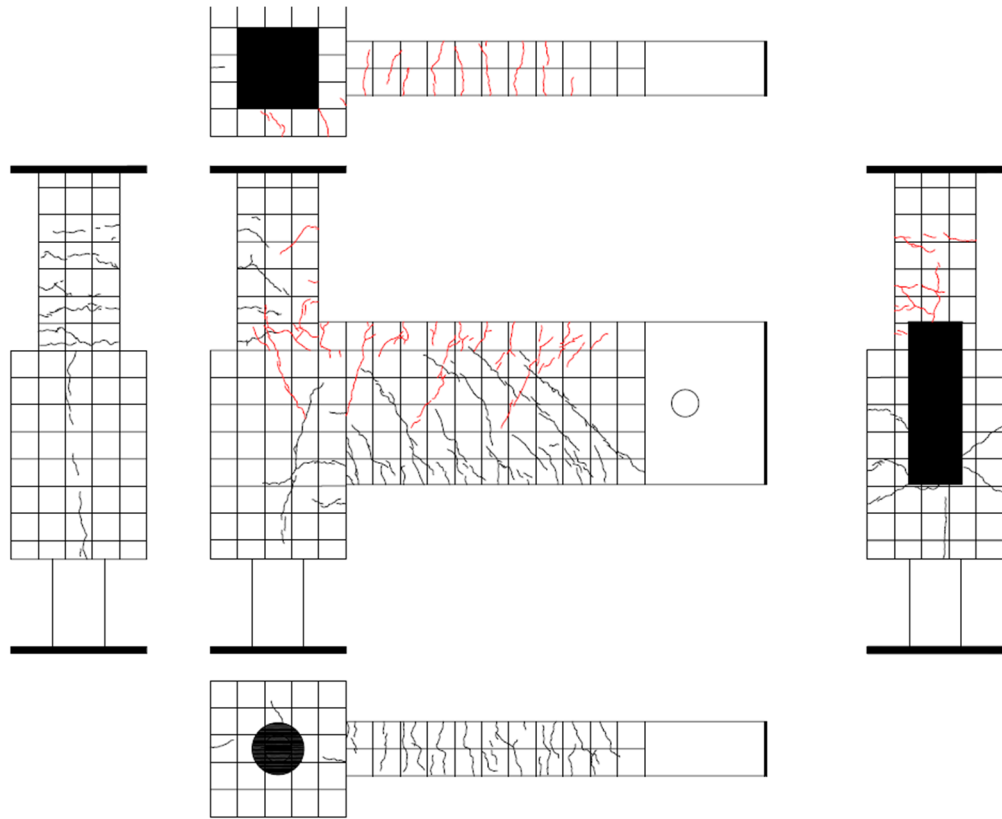
図・写真 3. 1. 3-5 試験体 D-3 ひび割れ状況 (3Cycle)



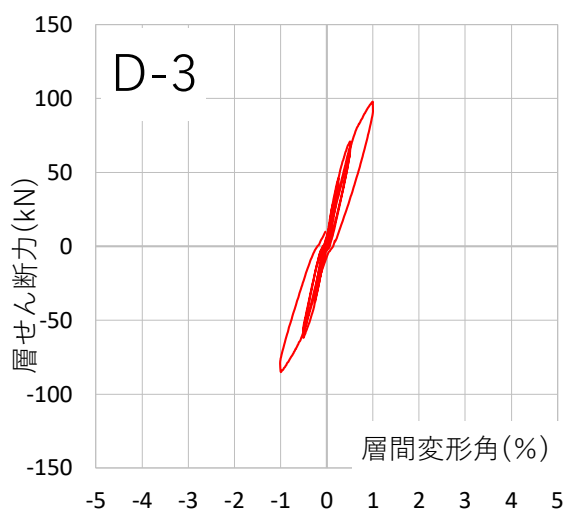
Cycle	D-3	
	Q (kN)	R (%)
+4	66.4	0.502
-4	-58.2	-0.502



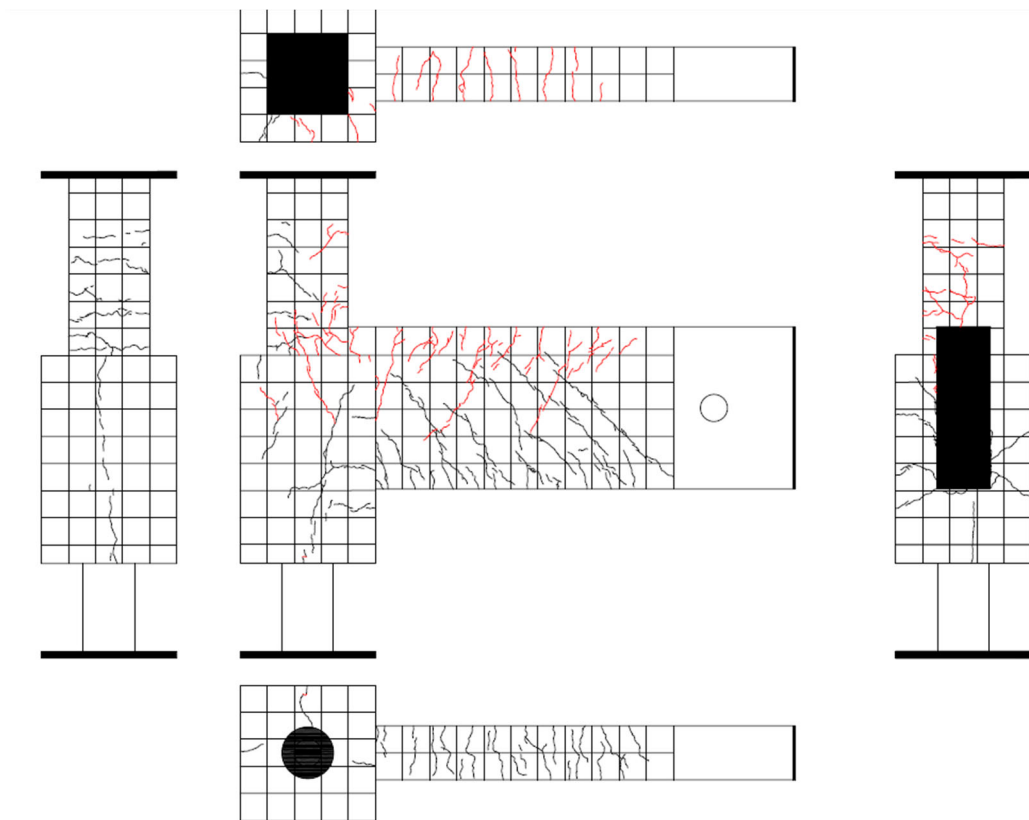
図・写真 3.1.3-6 試験体 D-3 ひび割れ状況 (4Cycle)



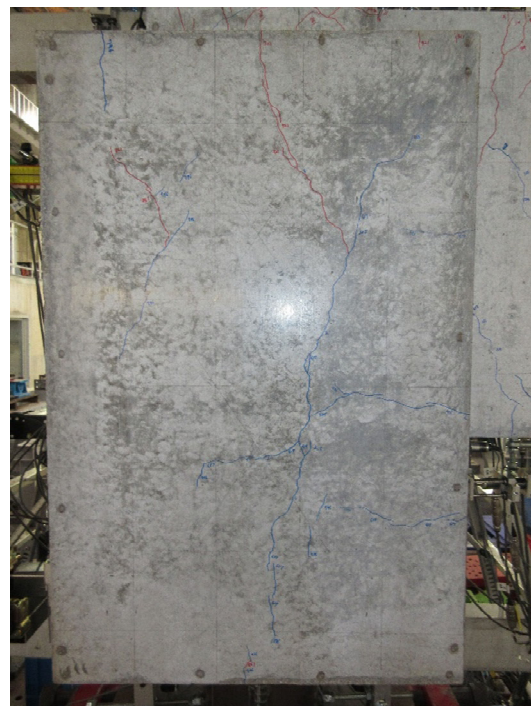
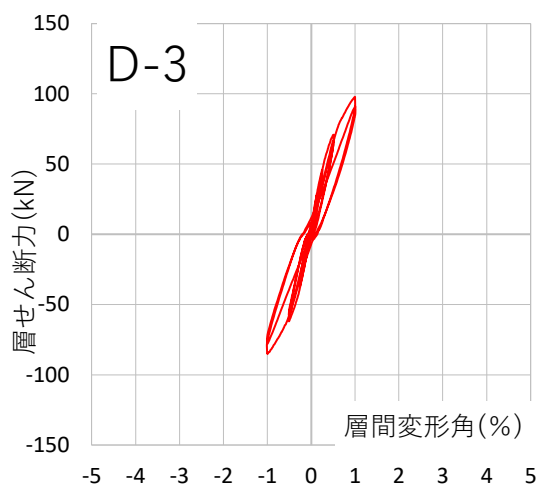
Cycle	D-3	
	Q (kN)	R (%)
+5	97.8	1.000
-5	-84.5	-0.998



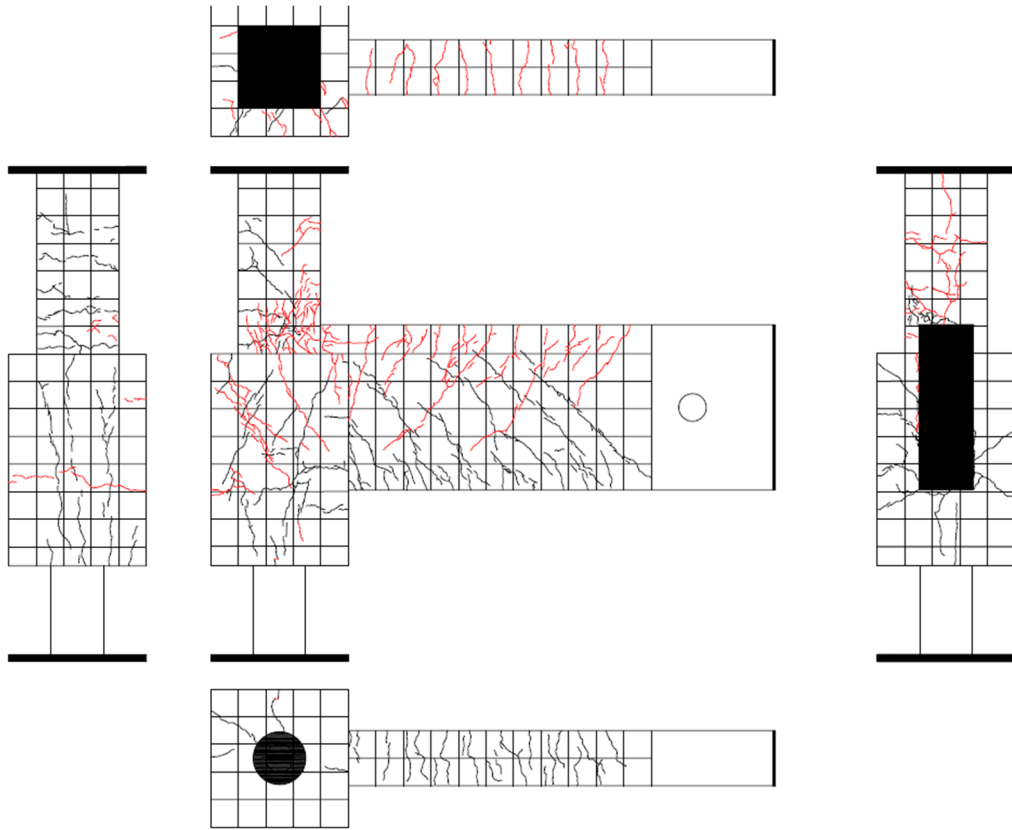
図・写真 3.1.3-7 試験体 D-3 ひび割れ状況 (5Cycle)



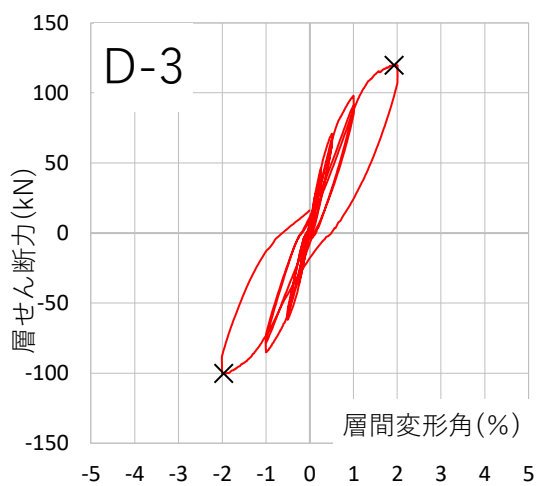
Cycle	D-3	
	Q (kN)	R (%)
+6	91.1	1.005
-6	-77.9	-1.003



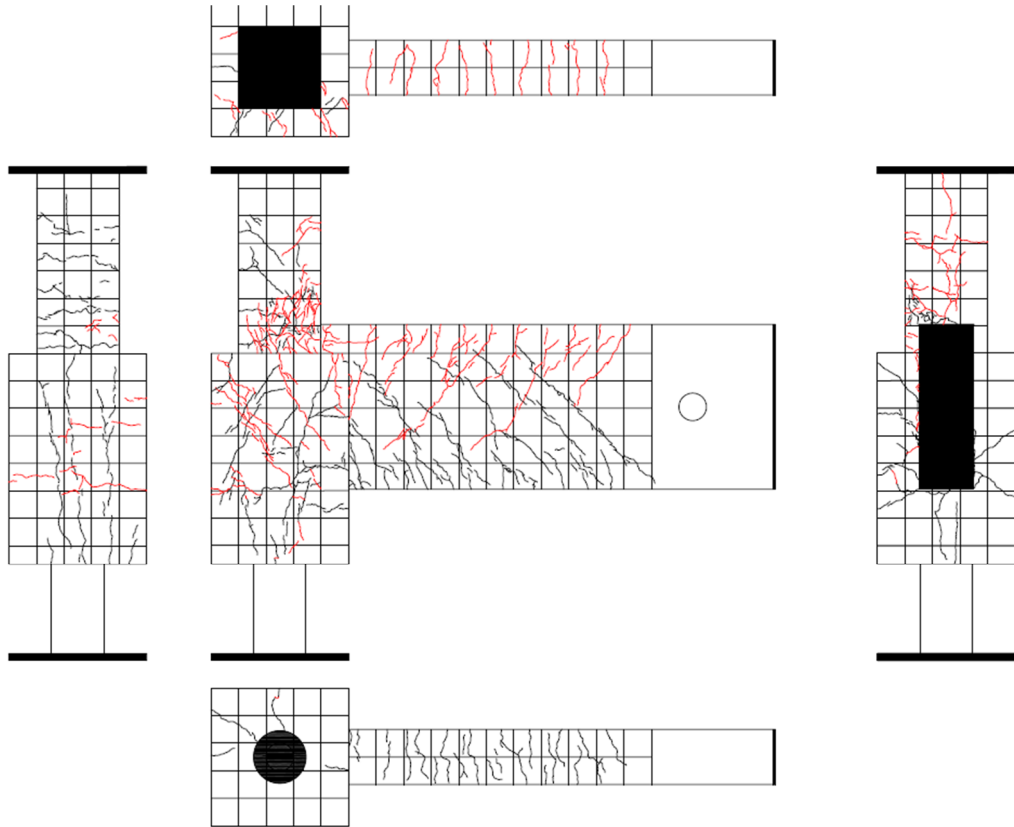
図・写真 3.1.3-8 試験体 D-3 ひび割れ状況 (6Cycle)



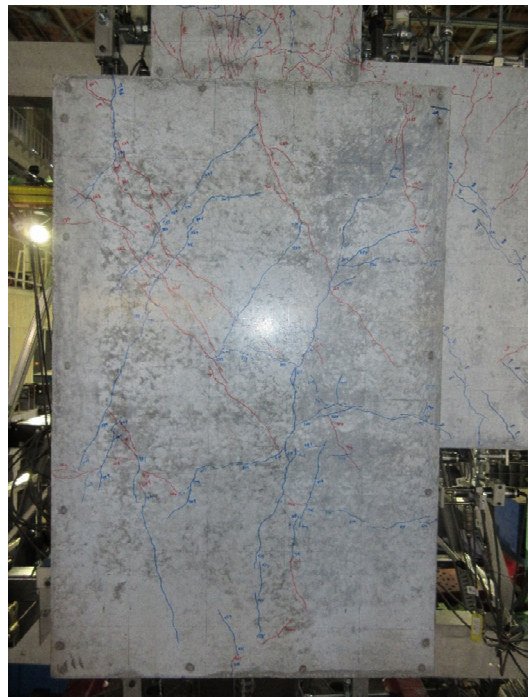
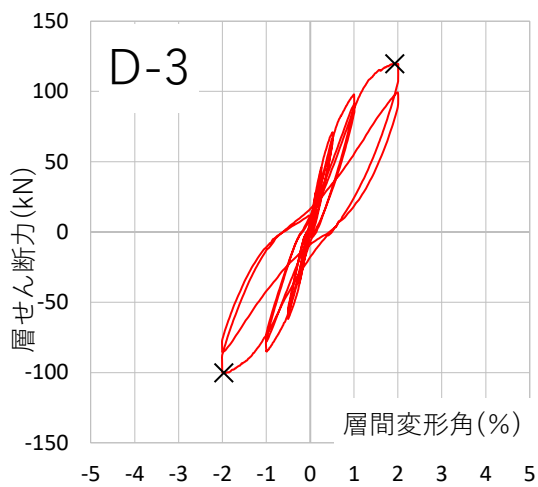
Cycle	D-3	
	Q (kN)	R (%)
+7	119.4	2.006
-7	-99.7	-2.002



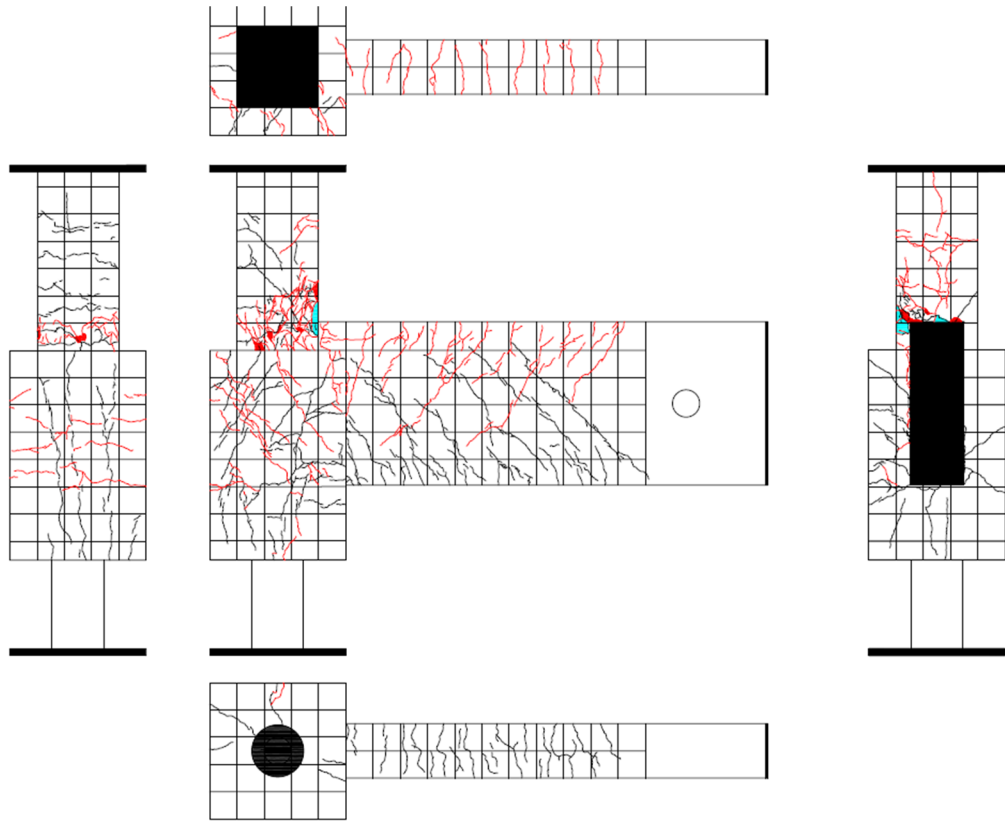
図・写真 3.1.3-9 試験体 D-3 ひび割れ状況 (7Cycle)



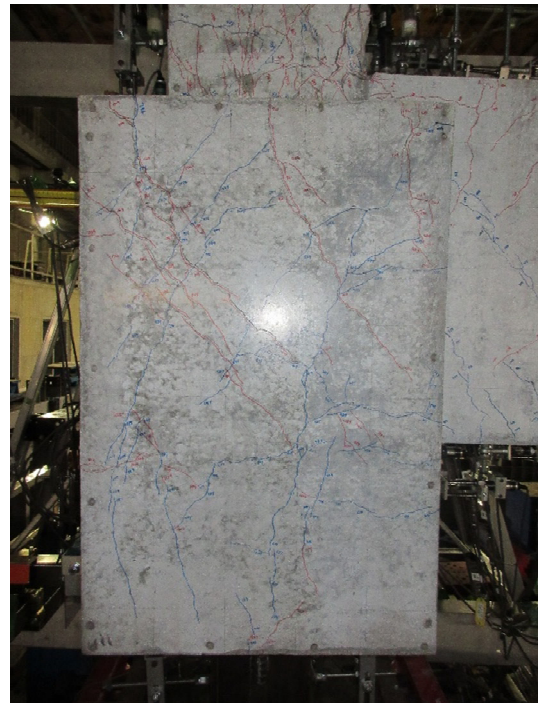
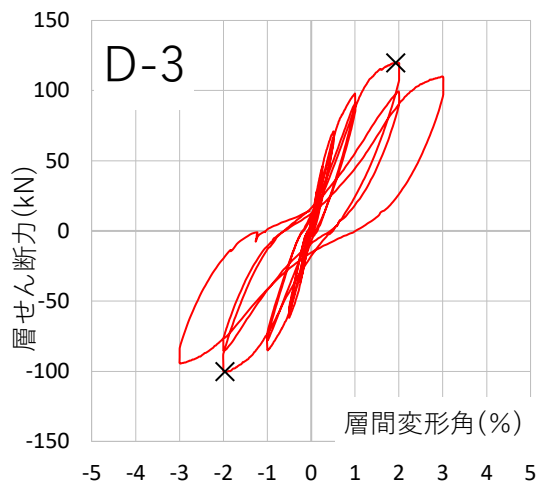
Cycle	D-3	
	Q (kN)	R (%)
+8	97.8	2.002
-8	-85.3	-2.002



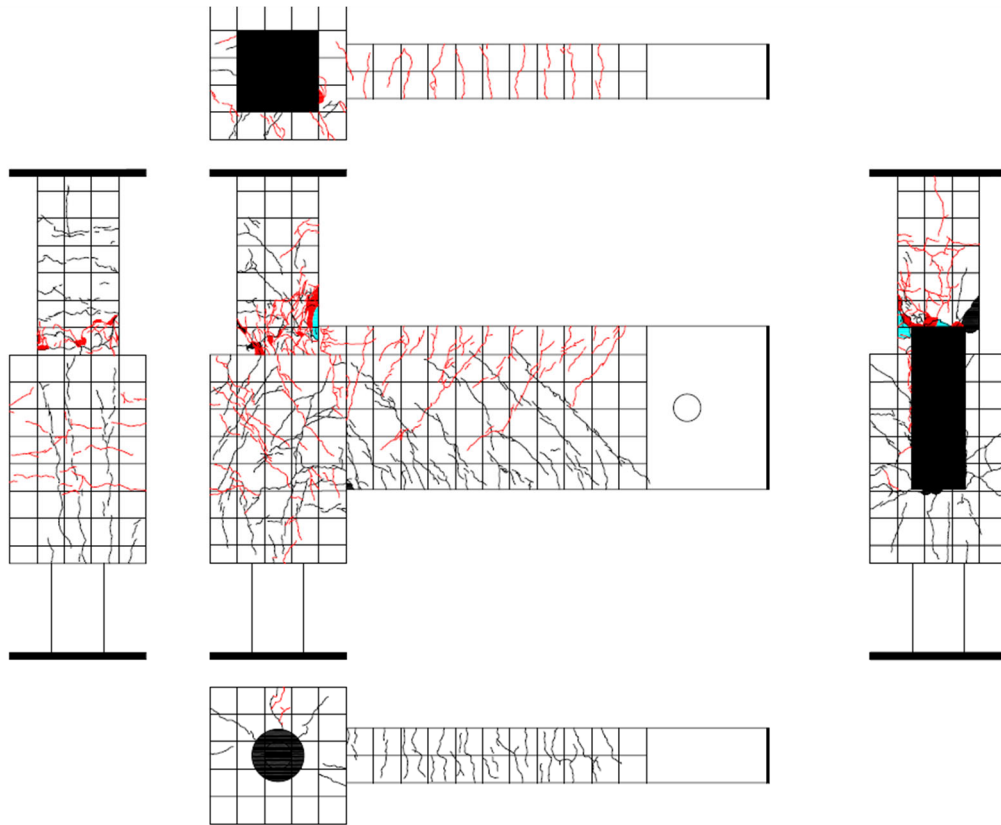
図・写真 3. 1. 3-10 試験体 D-3 ひび割れ状況 (8Cycle)



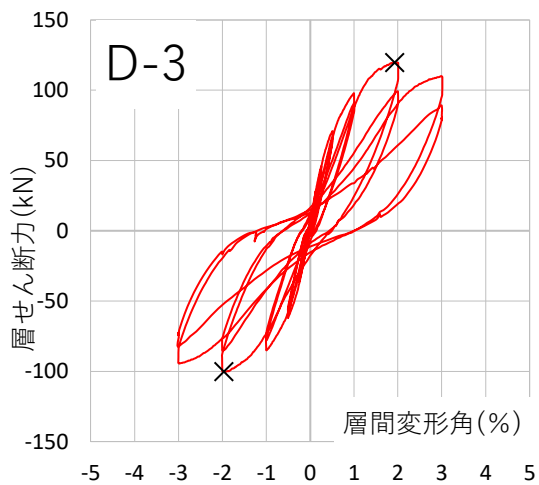
Cycle	D-3	
	Q (kN)	R (%)
+9	109.3	3.012
-9	-93.9	-3.003



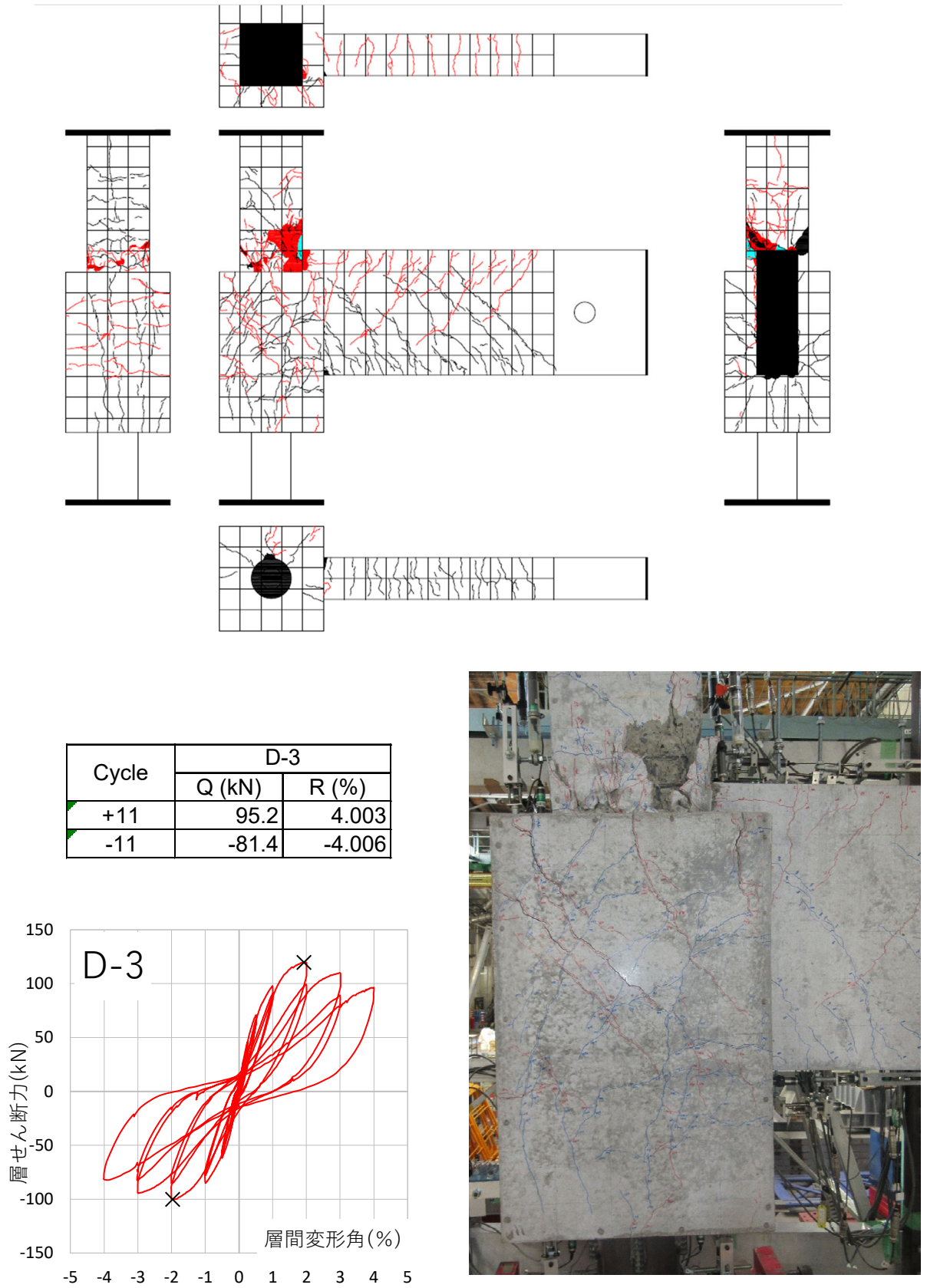
図・写真 3. 1. 3-11 試験体 D-3 ひび割れ状況 (9Cycle)



Cycle	D-3	
	Q (kN)	R (%)
+10	88.1	3.002
-10	-81.4	-3.022

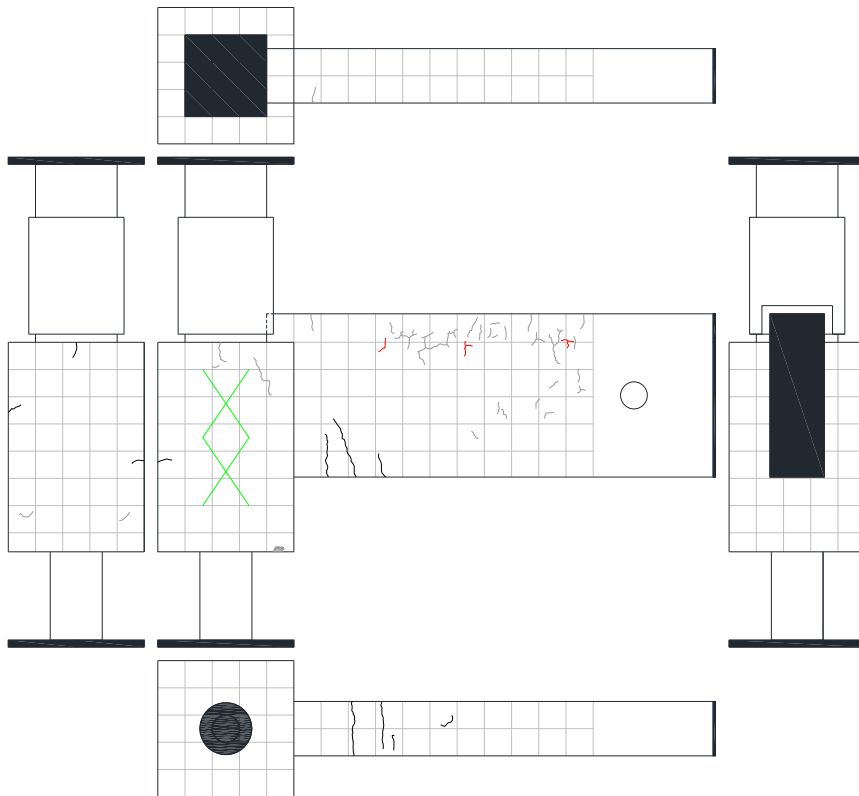


図・写真 3.1.3-12 試験体 D-3 ひび割れ状況 (10Cycle)

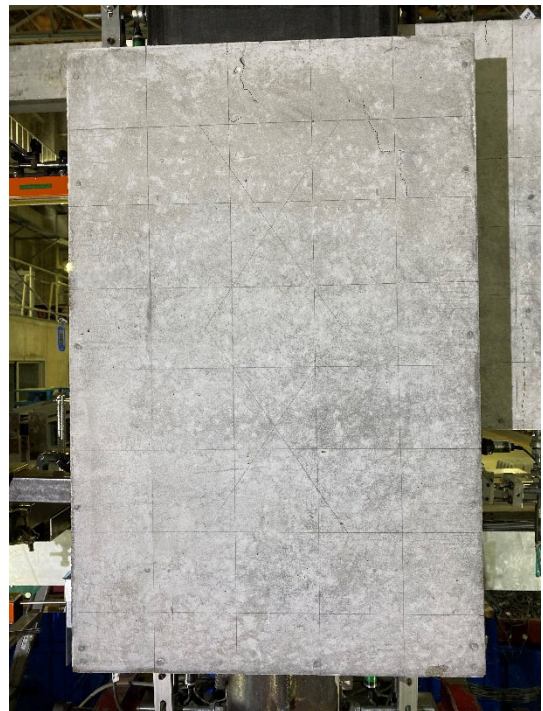
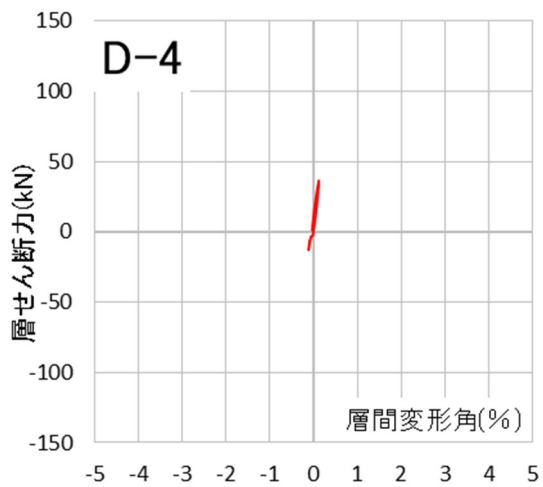


図・写真 3.1.3-13 試験体 D-3 ひび割れ状況 (11Cycle)

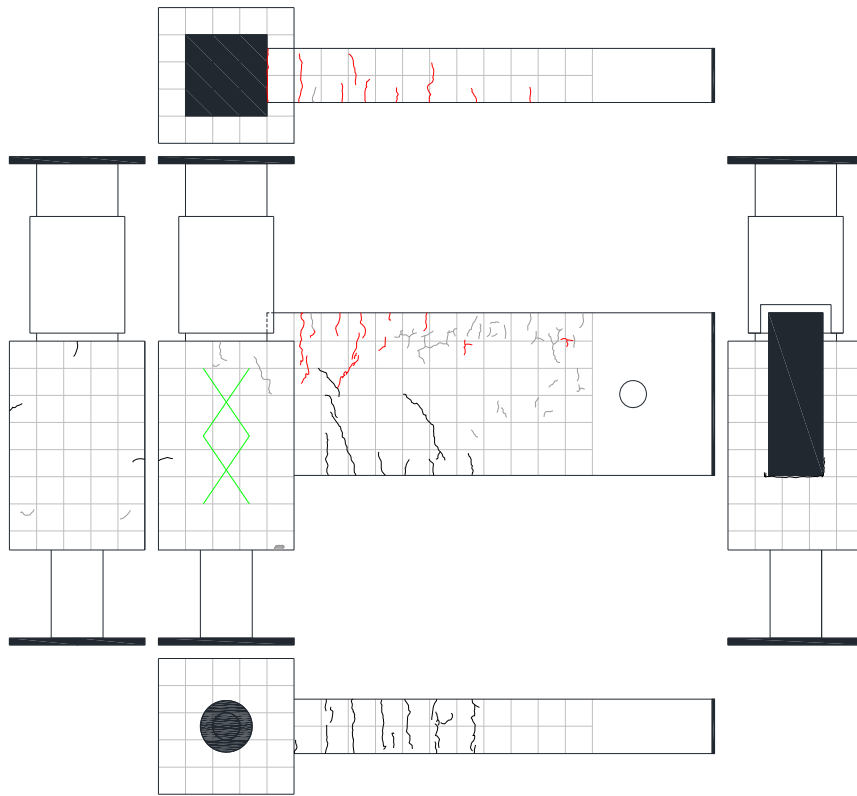
・試験体 D-4



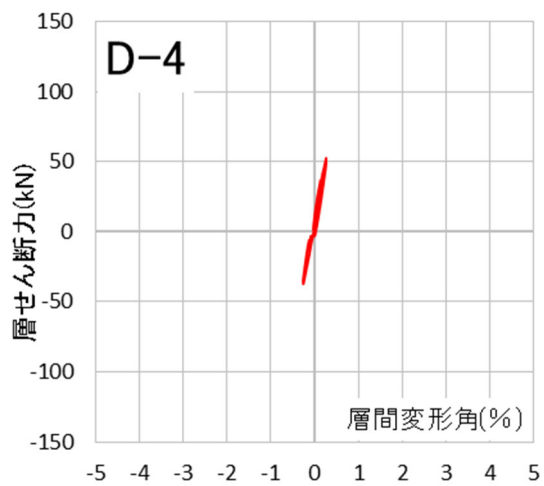
Cycle	D-4	
	Q (kN)	R (%)
+1	36.2	0.125
-1	-12.9	-0.125



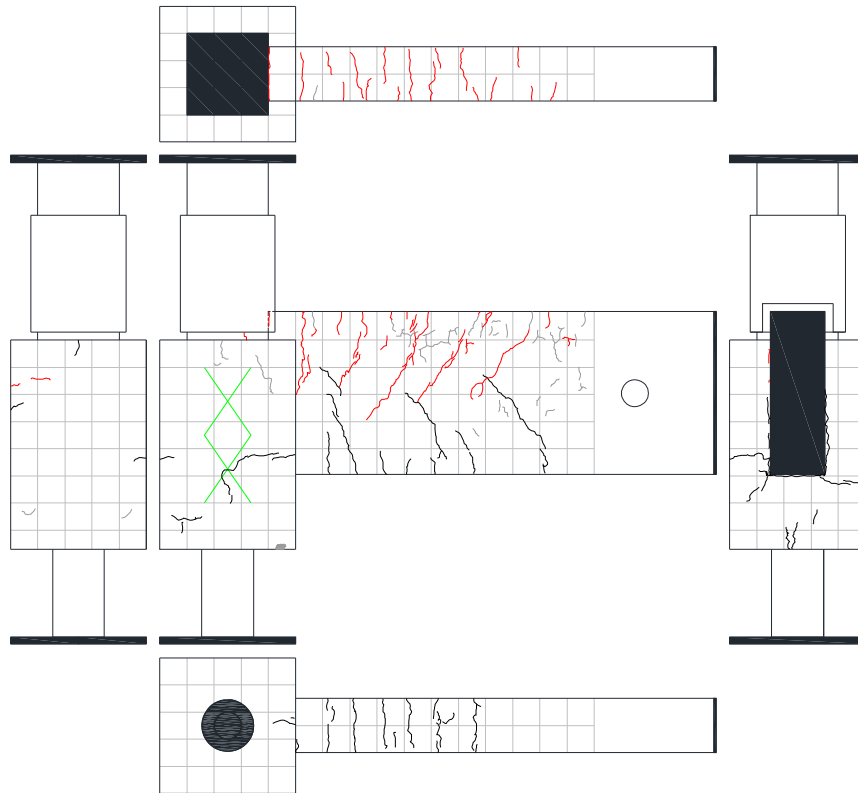
図・写真 3.1.3-14 試験体 D-4 ひび割れ状況 (1Cycle)



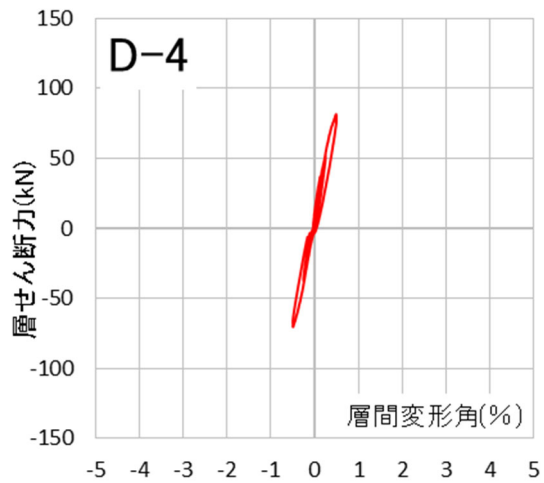
Cycle	D-4	
	Q (kN)	R (%)
+2	52.3	0.251
-2	-37.5	-0.253



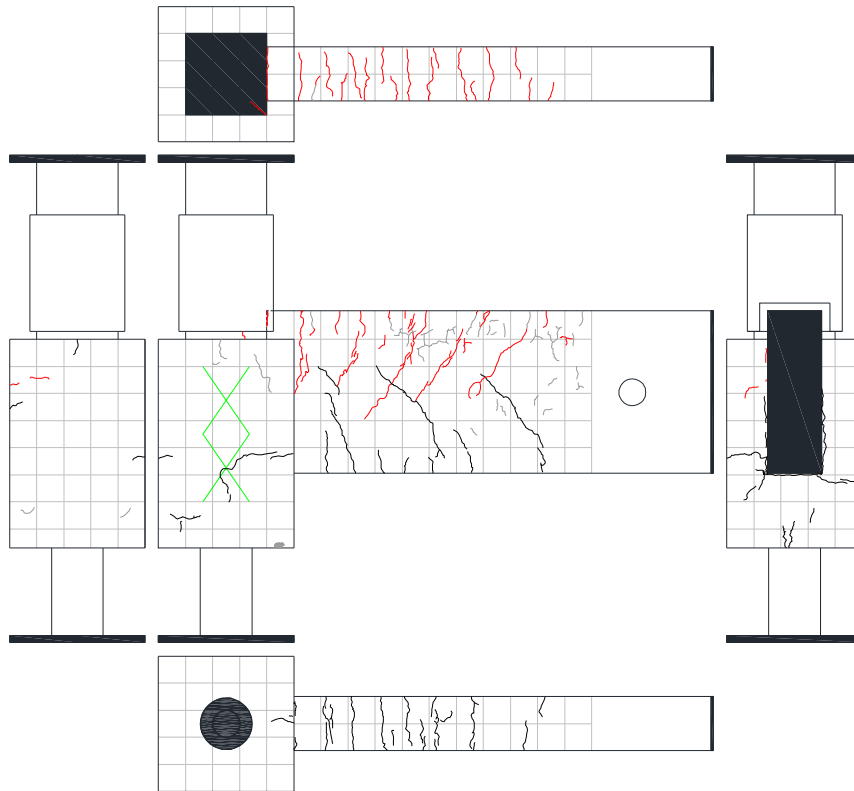
図・写真 3.1.3-15 試験体 D-4 ひび割れ状況 (2Cycle)



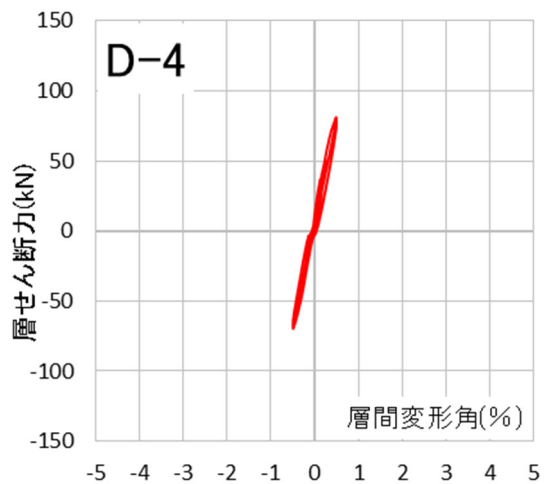
Cycle	D-4	
	Q (kN)	R (%)
+3	80.2	0.501
-3	-68.8	-0.503



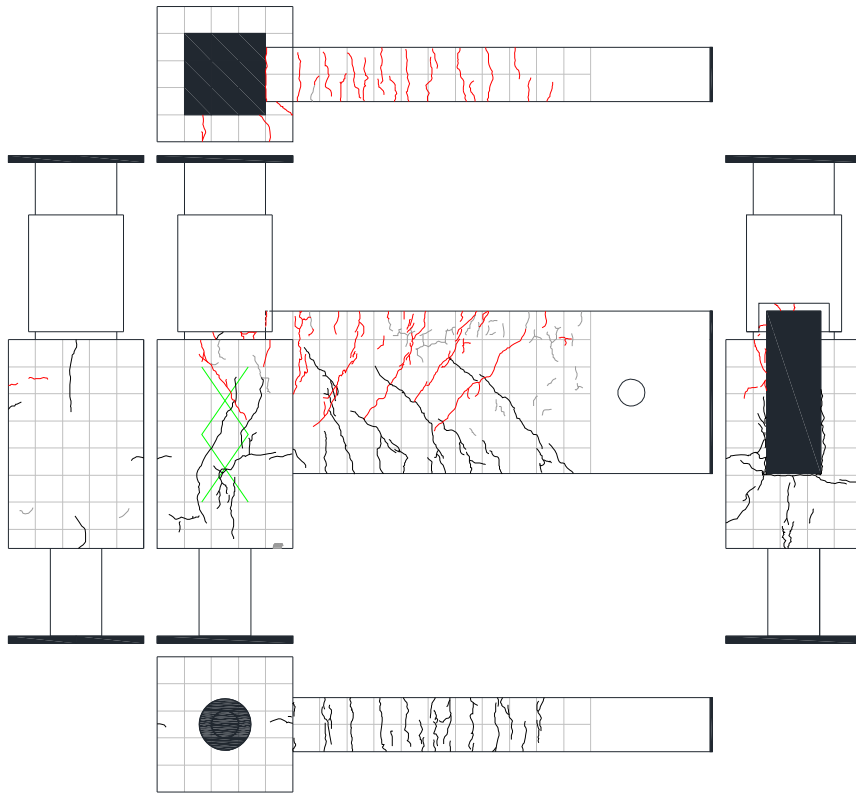
図・写真 3.1.3-16 試験体 D-4 ひび割れ状況 (3Cycle)



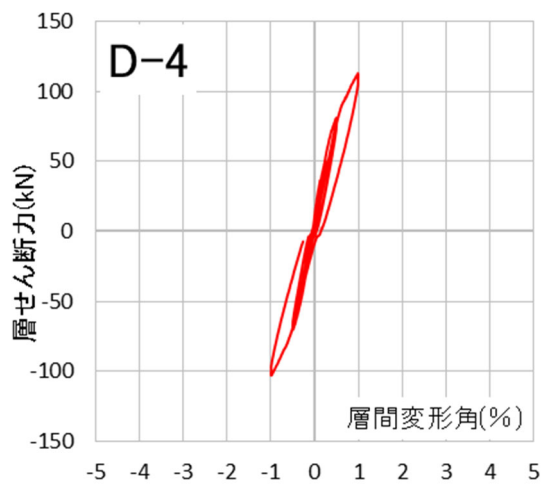
Cycle	D-4	
	Q (kN)	R (%)
+4	77.9	0.504
-4	-67.3	-0.507



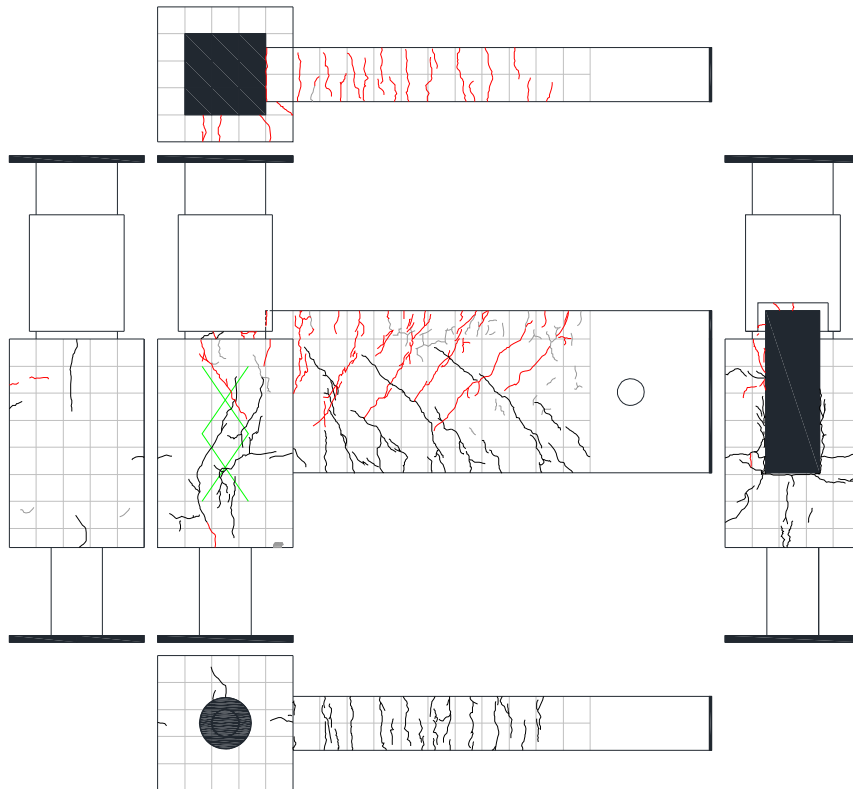
図・写真 3. 1. 3-17 試験体 D-4 ひび割れ状況 (4Cycle)



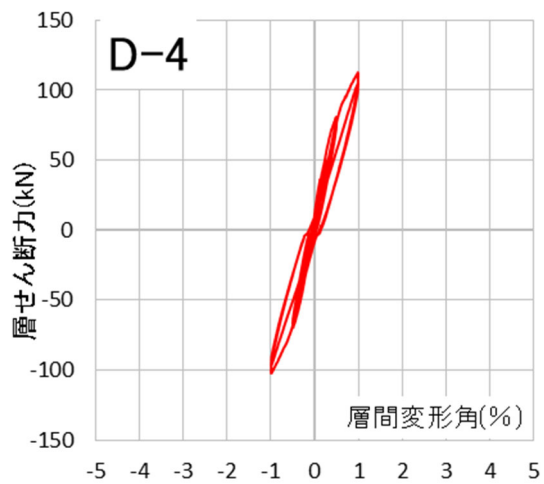
Cycle	D-4	
	Q (kN)	R (%)
+5	112.0	1.007
-5	-101.7	-1.008



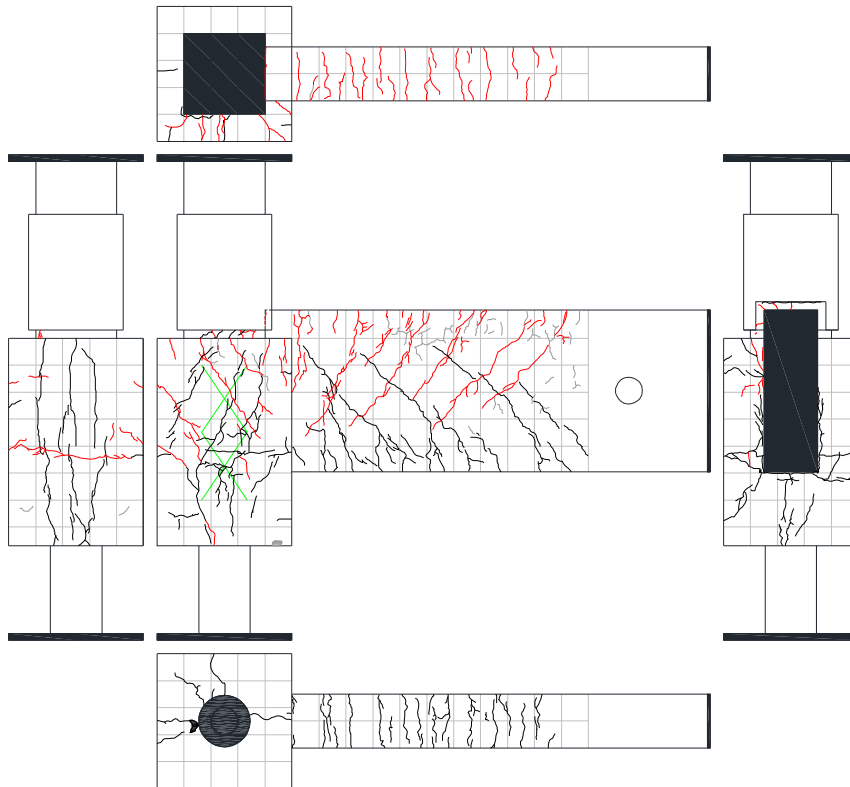
図・写真 3.1.3-18 試験体 D-4 ひび割れ状況 (5Cycle)



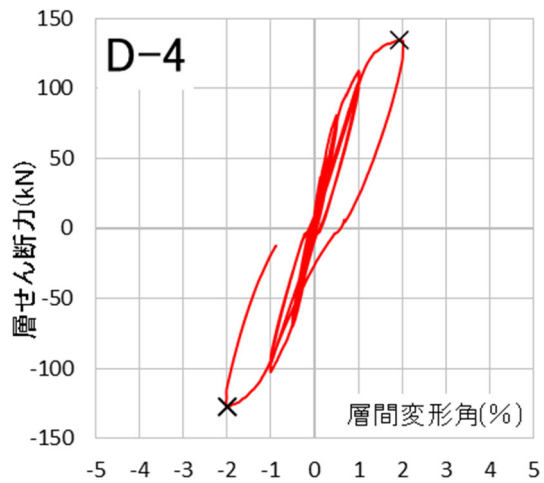
Cycle	D-4	
	Q (kN)	R (%)
+6	105.0	1.004
-6	-96.1	-1.001



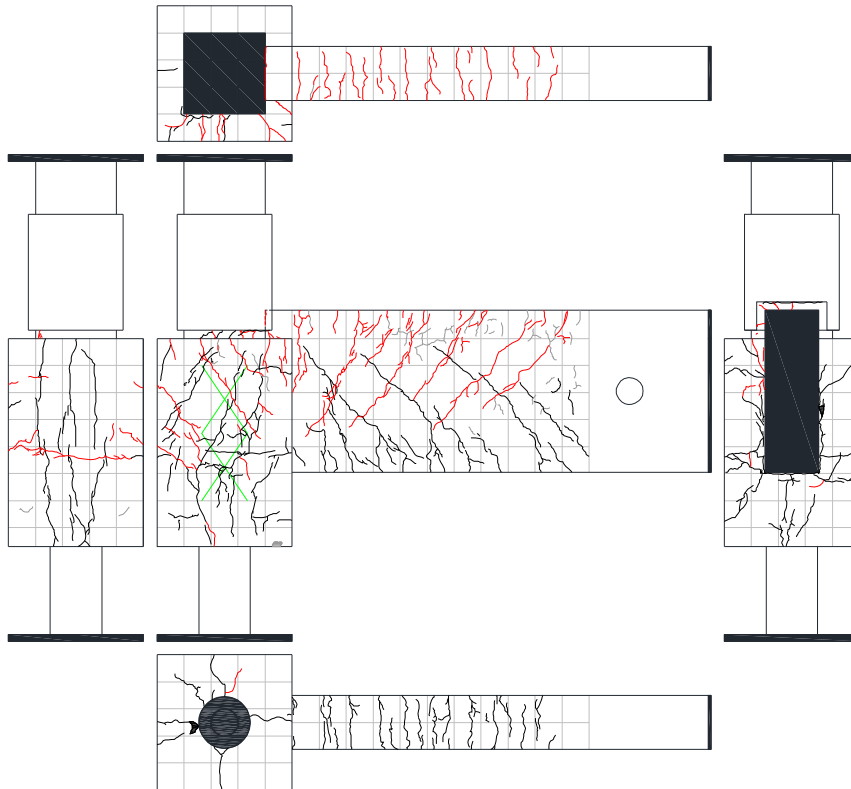
図・写真 3.1.3-19 試験体 D-4 ひび割れ状況 (6Cycle)



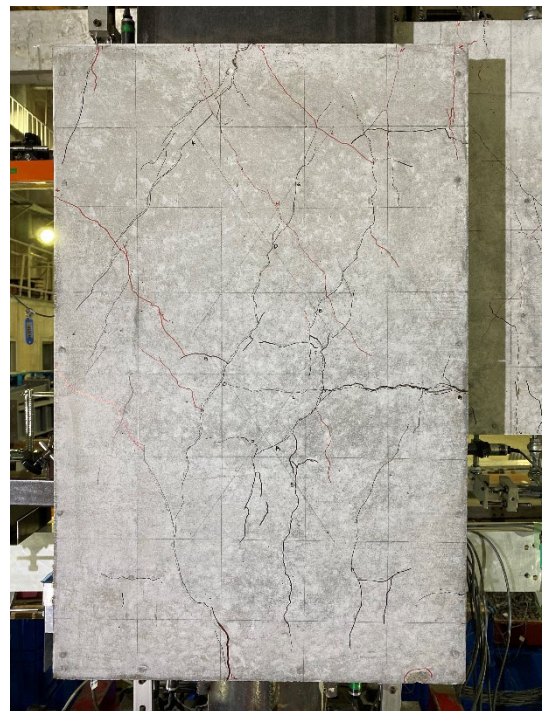
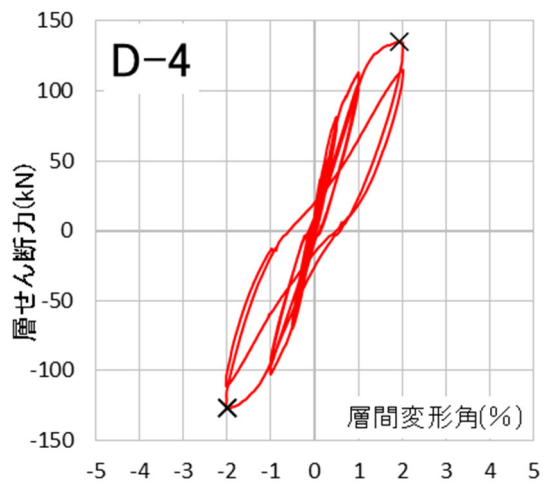
Cycle	D-4	
	Q (kN)	R (%)
+7	132.4	2.007
-7	-125.5	-2.011



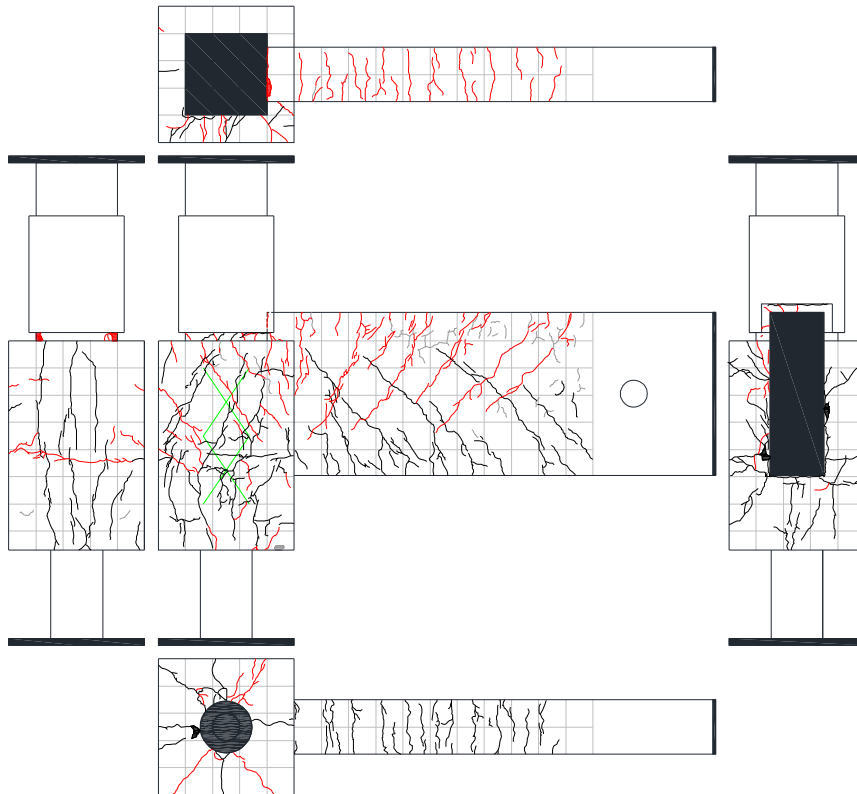
図・写真 3.1.3-20 試験体 D-4 ひび割れ状況 (7Cycle)



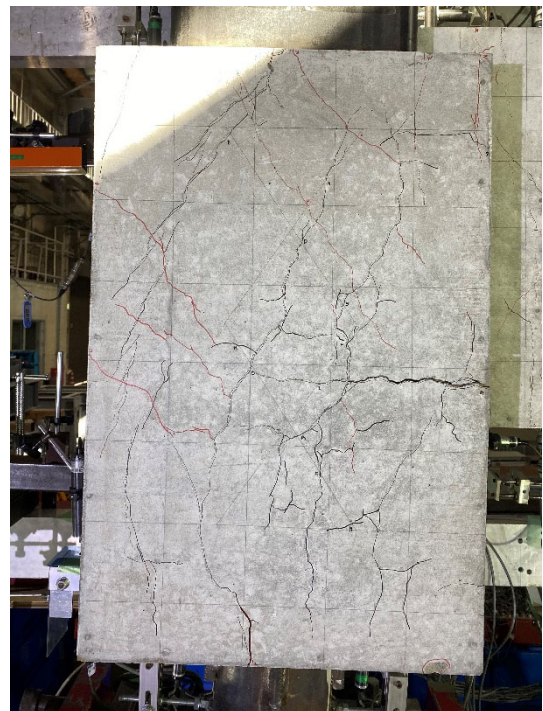
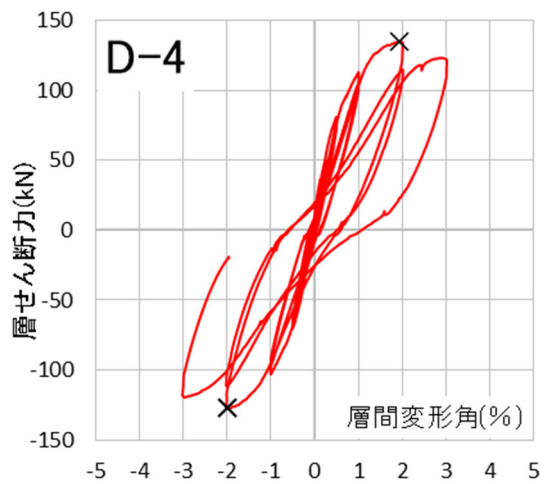
Cycle	D-4	
	Q (kN)	R (%)
+8	113.5	2.013
-8	-107.2	-2.007



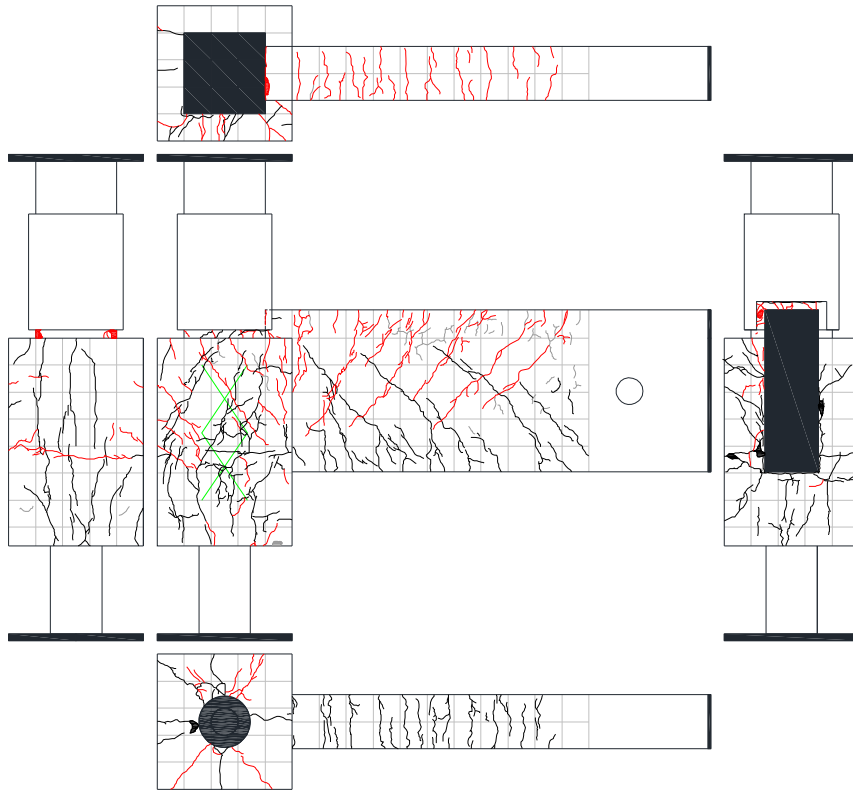
図・写真 3. 1. 3-21 試験体 D-4 ひび割れ状況 (8Cycle)



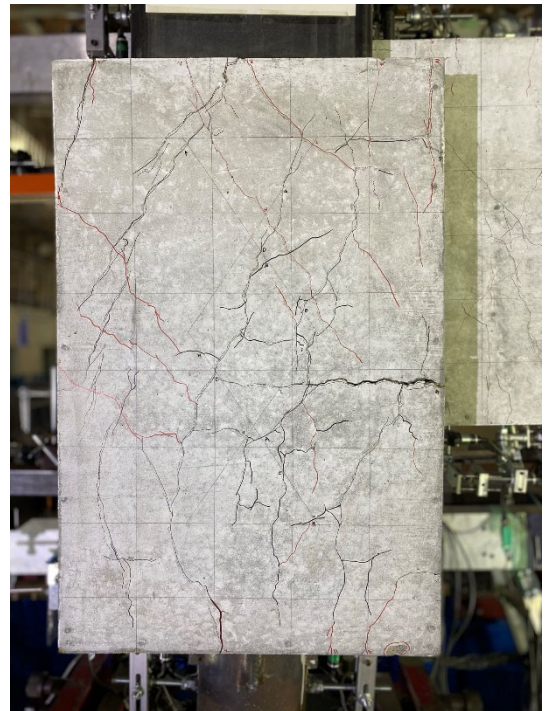
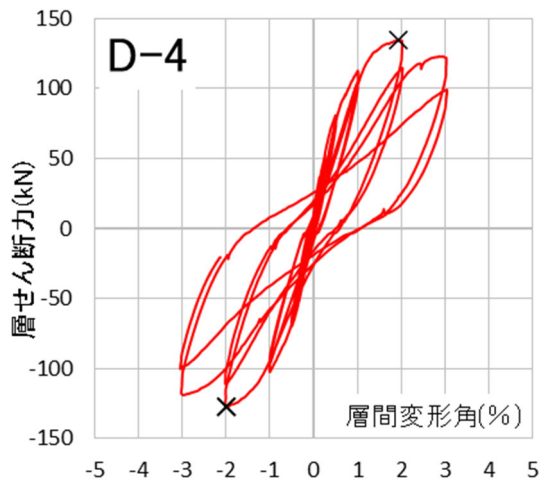
Cycle	D-4	
	Q (kN)	R (%)
+9	119.9	3.012
-9	-116.7	-3.012



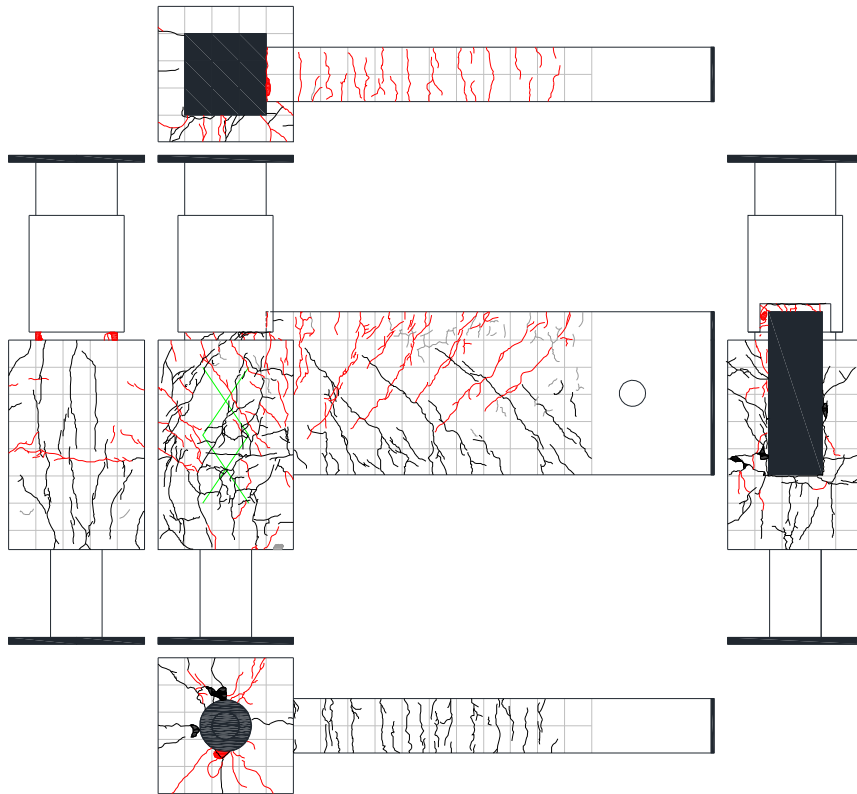
図・写真 3. 1. 3-22 試験体 D-4 ひび割れ状況 (9Cycle)



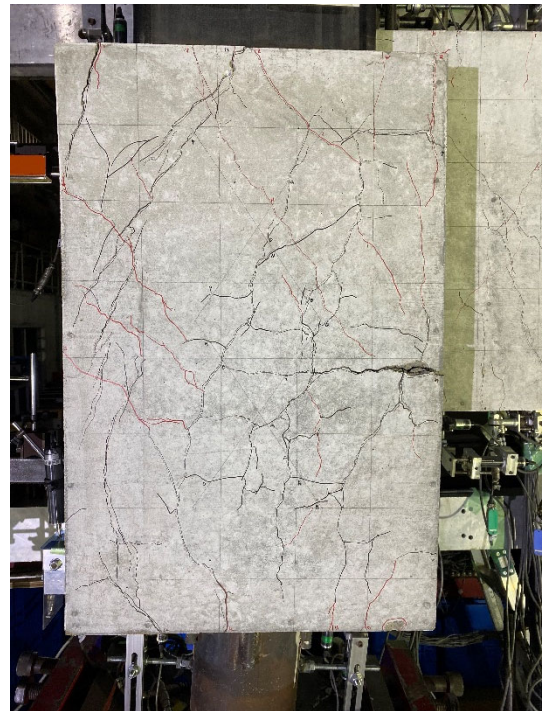
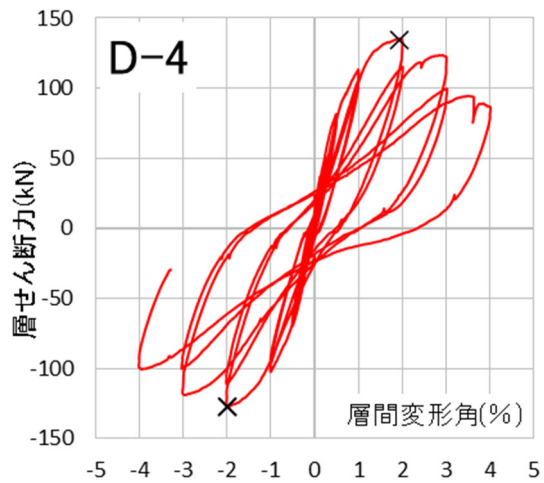
Cycle	D-4	
	Q (kN)	R (%)
+10	98.1	3.025
-10	-99.4	-3.033



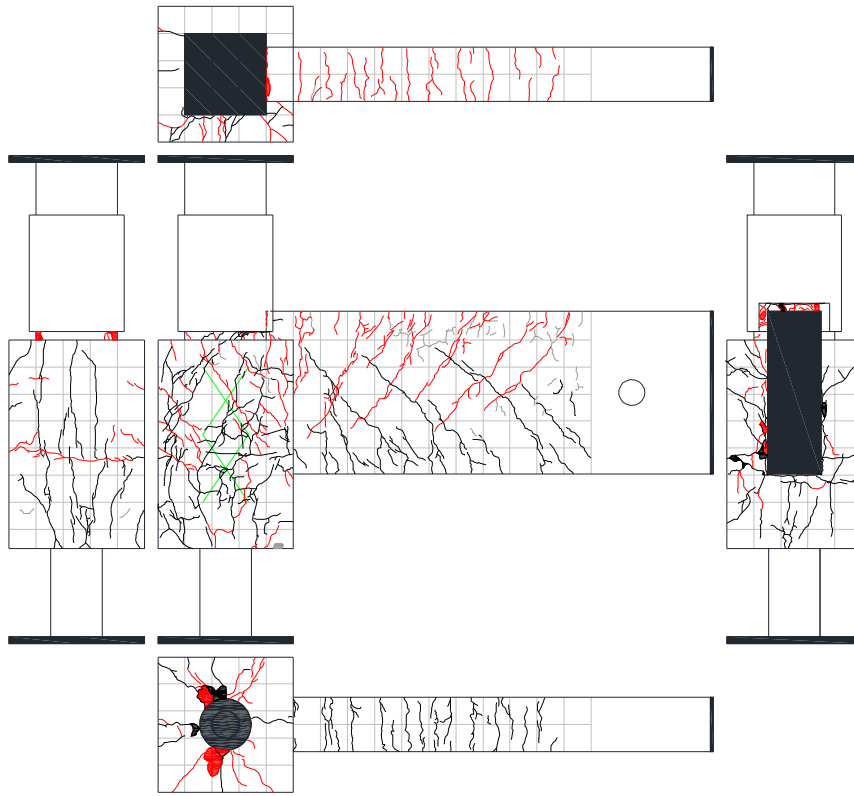
図・写真 3. 1. 3-23 試験体 D-4 ひび割れ状況 (10Cycle)



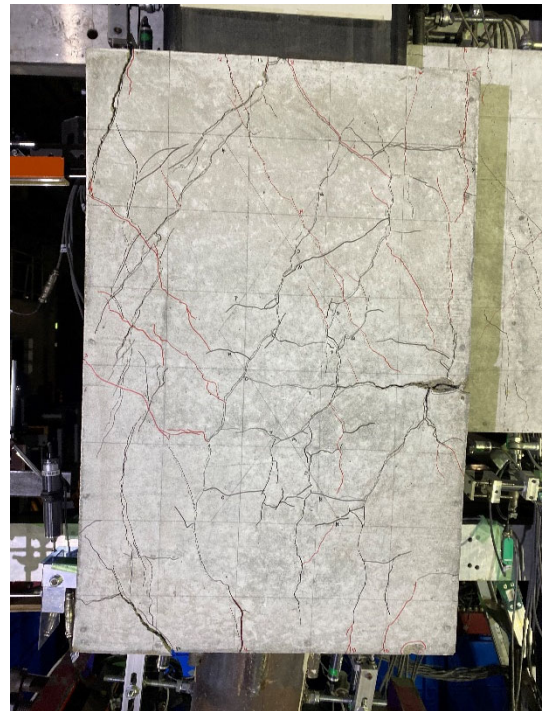
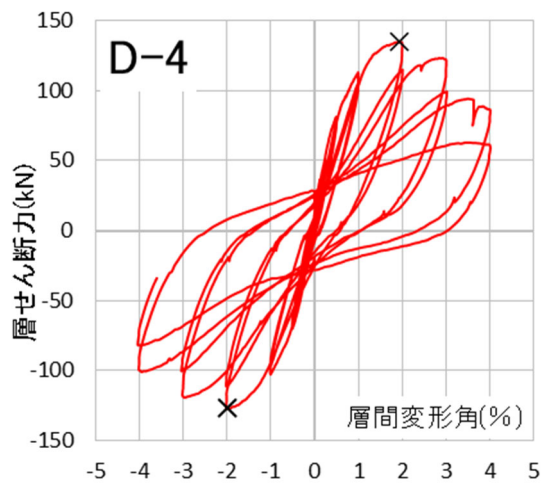
Cycle	D-4	
	Q (kN)	R (%)
+11	83.6	4.012
-11	-98.5	-4.008



図・写真 3. 1. 3-24 試験体 D-4 ひび割れ状況 (11Cycle)



Cycle	D-4	
	Q (kN)	R (%)
+12	58.5	4.019
-12	-80.2	-4.031



図・写真 3. 1. 3-25 試験体 D-4 ひび割れ状況 (12Cycle)

(3) 層間変形角-各部材の変形関係

図 3.1.3-26～図 3.1.3-49 に試験体 D-3 (図 3.1.3-26～37) および D-4 (図 3.1.3-38～49) に設置した変位計の層間変形角-変形関係を示す。

試験体の正面を南面とし、変位計位置を示す図は北面 (試験体の裏) からみたものである。

○ 試験体 D-3

- 部材変位

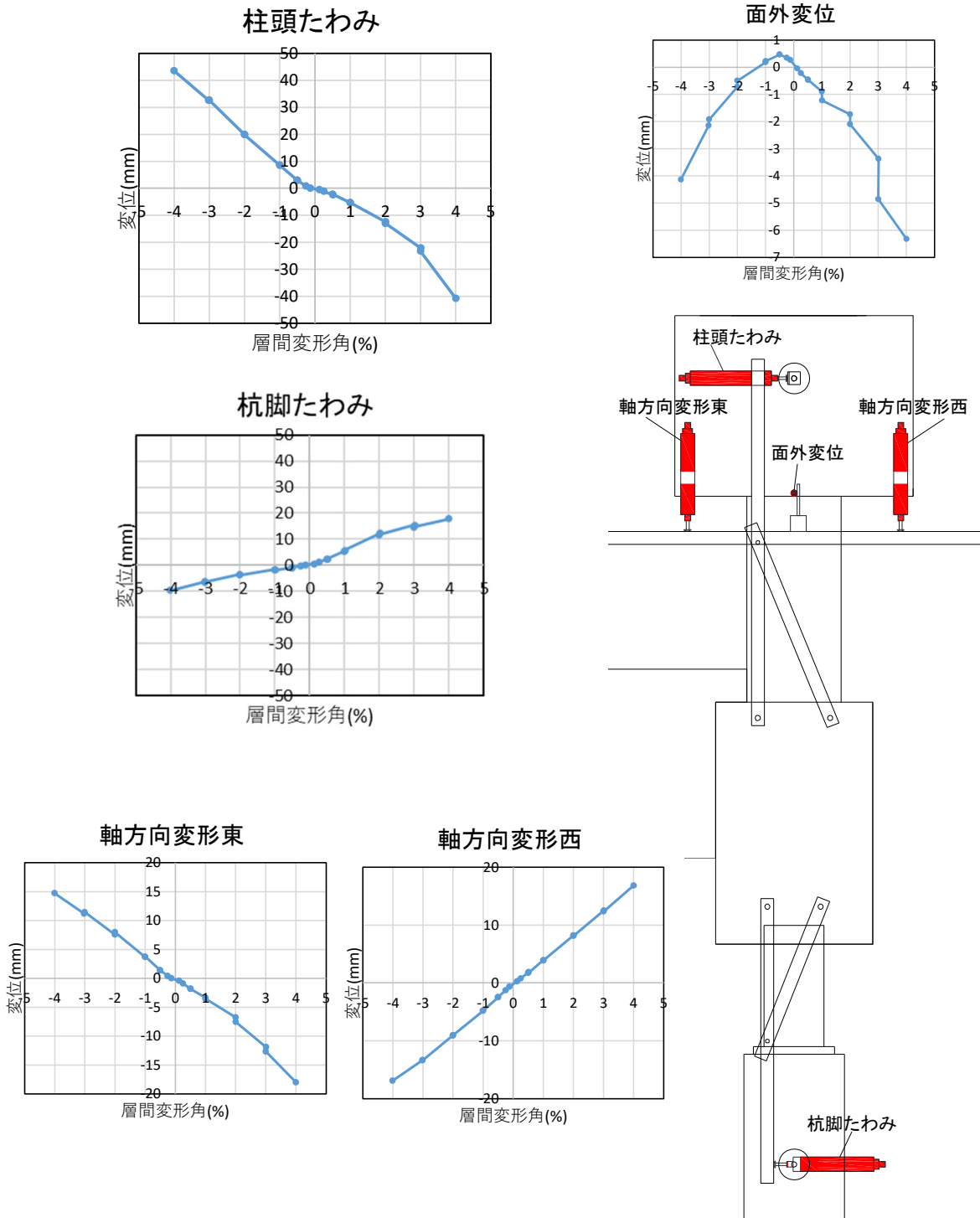


図 3.1.3-26 試験体 D-3 部材変位 層間変形角-変形関係

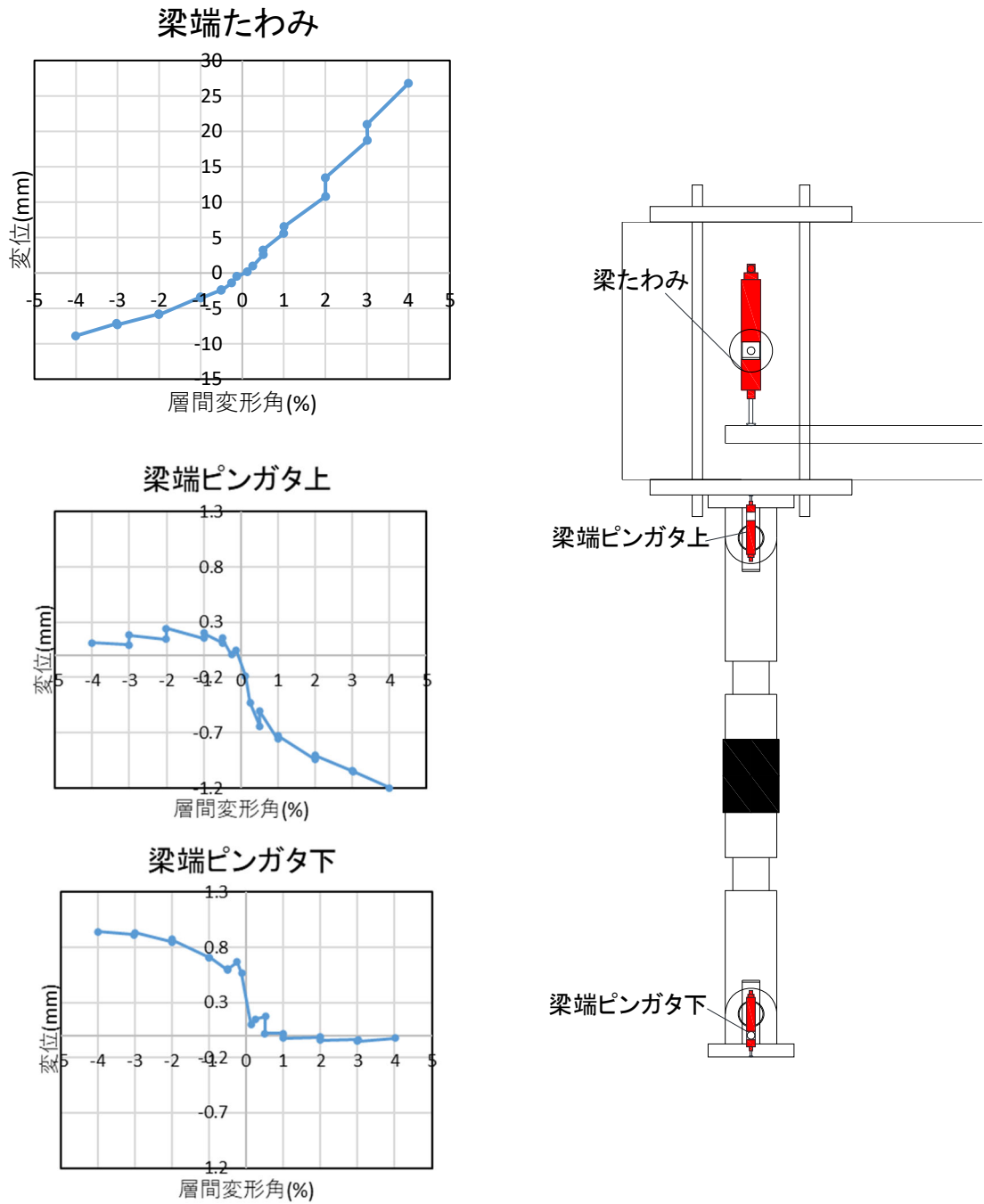
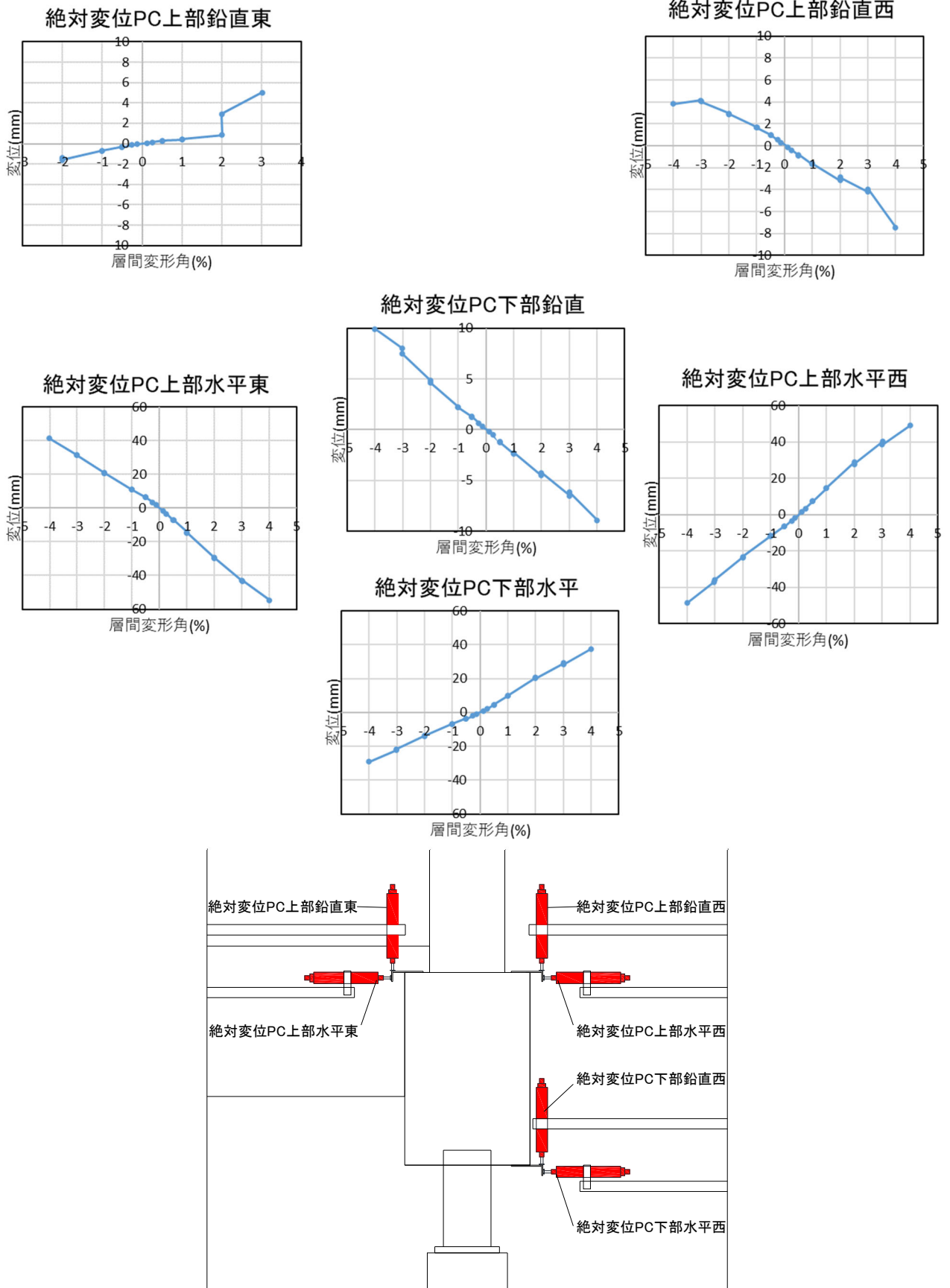


図 3.1.3-27 試験体 D-3 部材変位 層間変形角-変形関係

- 部材絶対変位



基礎梁変位

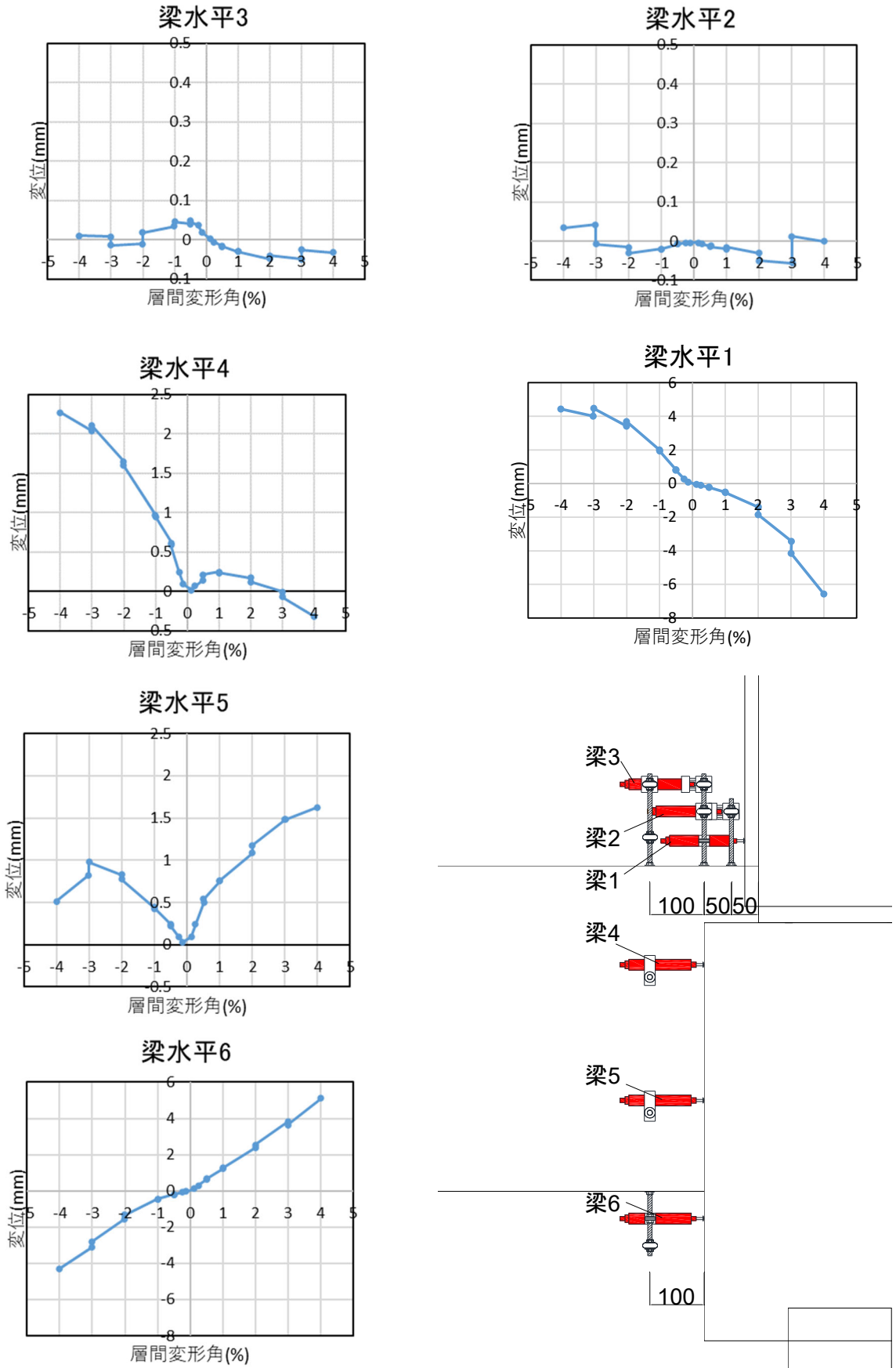
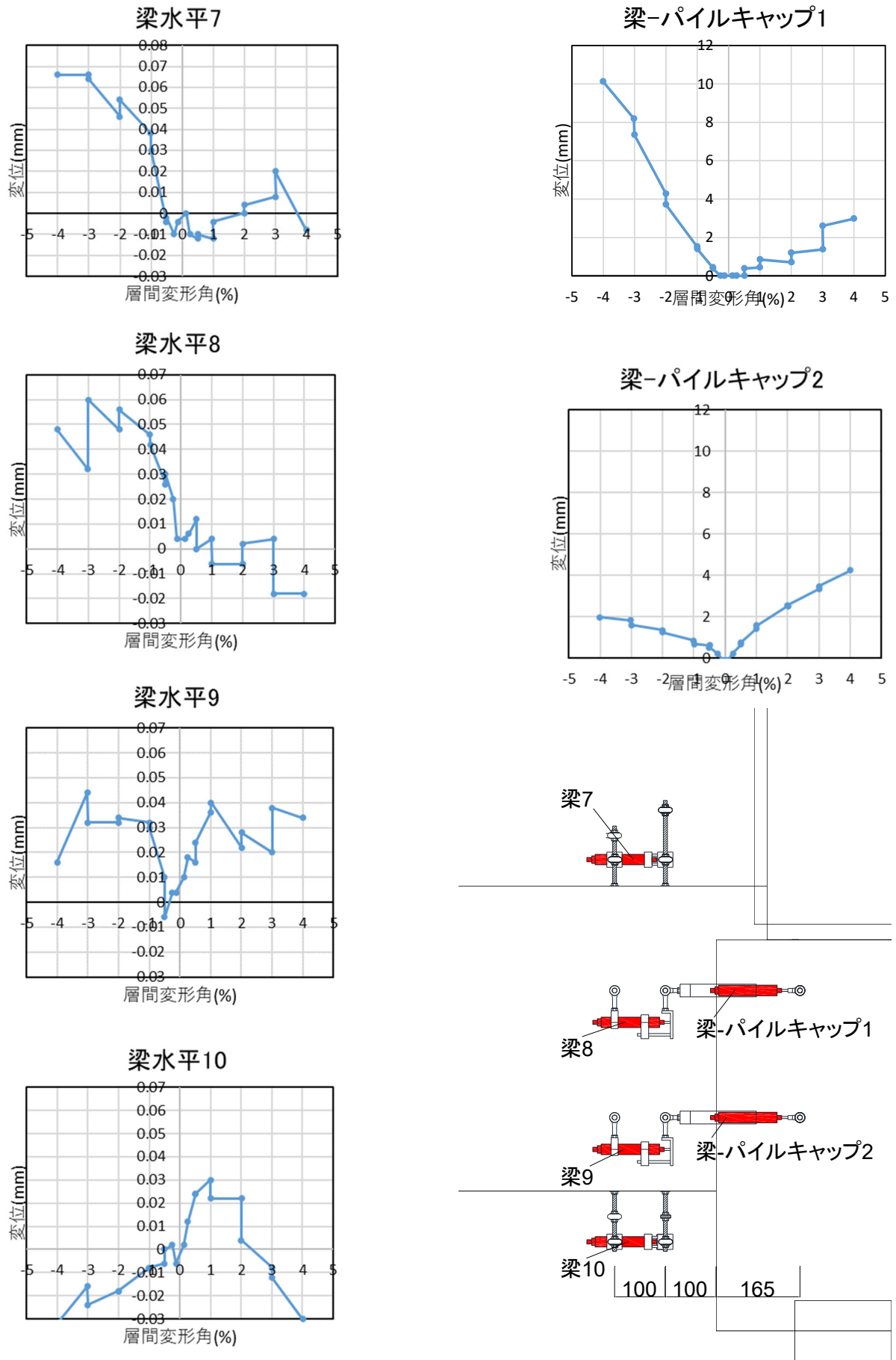


図 3.1.3-29 試験体 D-3 基礎梁変位 層間変形角-変形関係 1



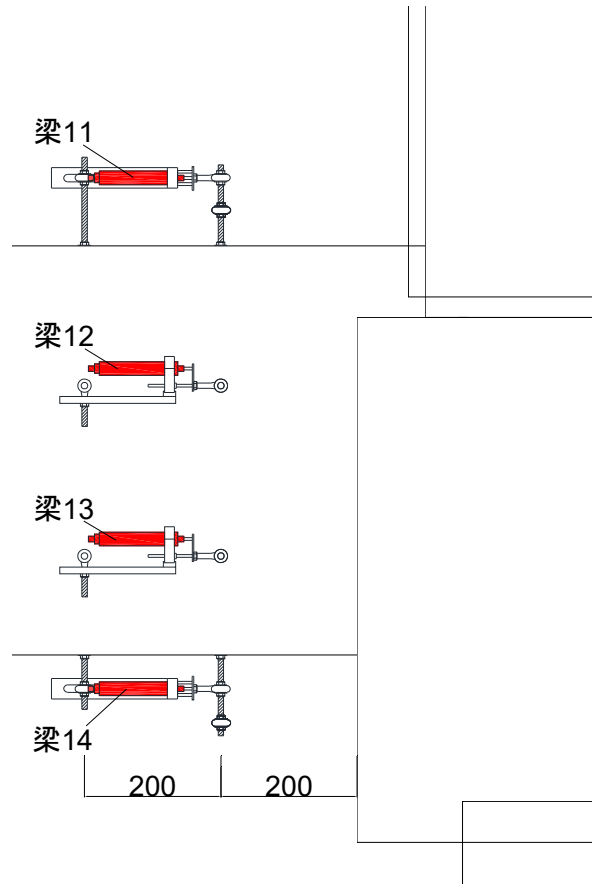
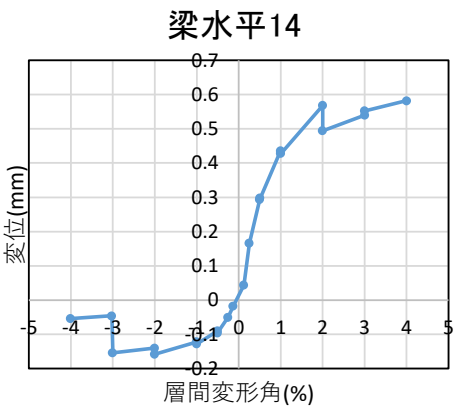
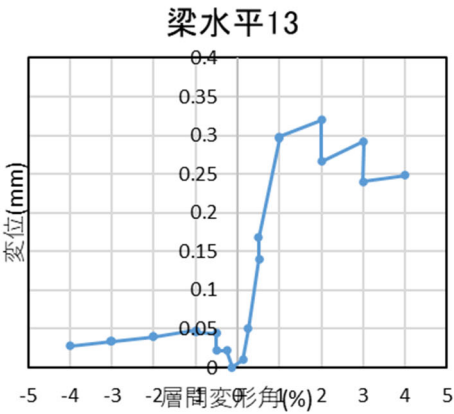
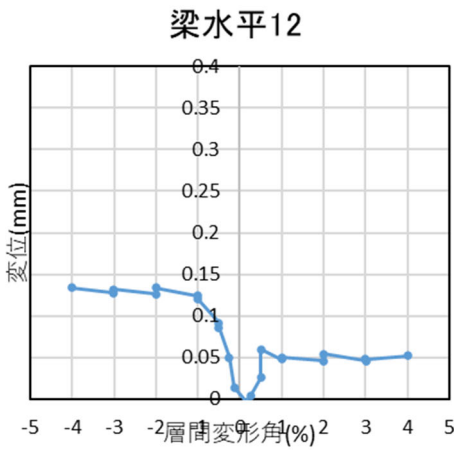
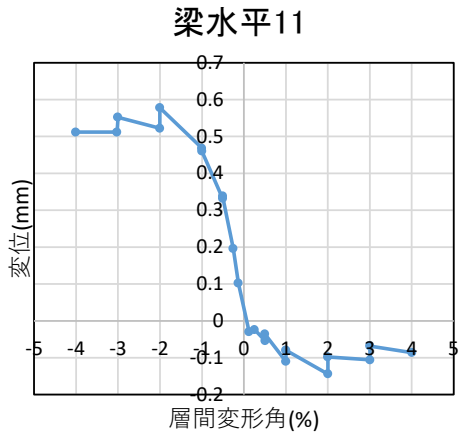


図 3.1.3-31 試験体 D-3 基礎梁変位 層間変形角-変形関係 3

- 柱変位

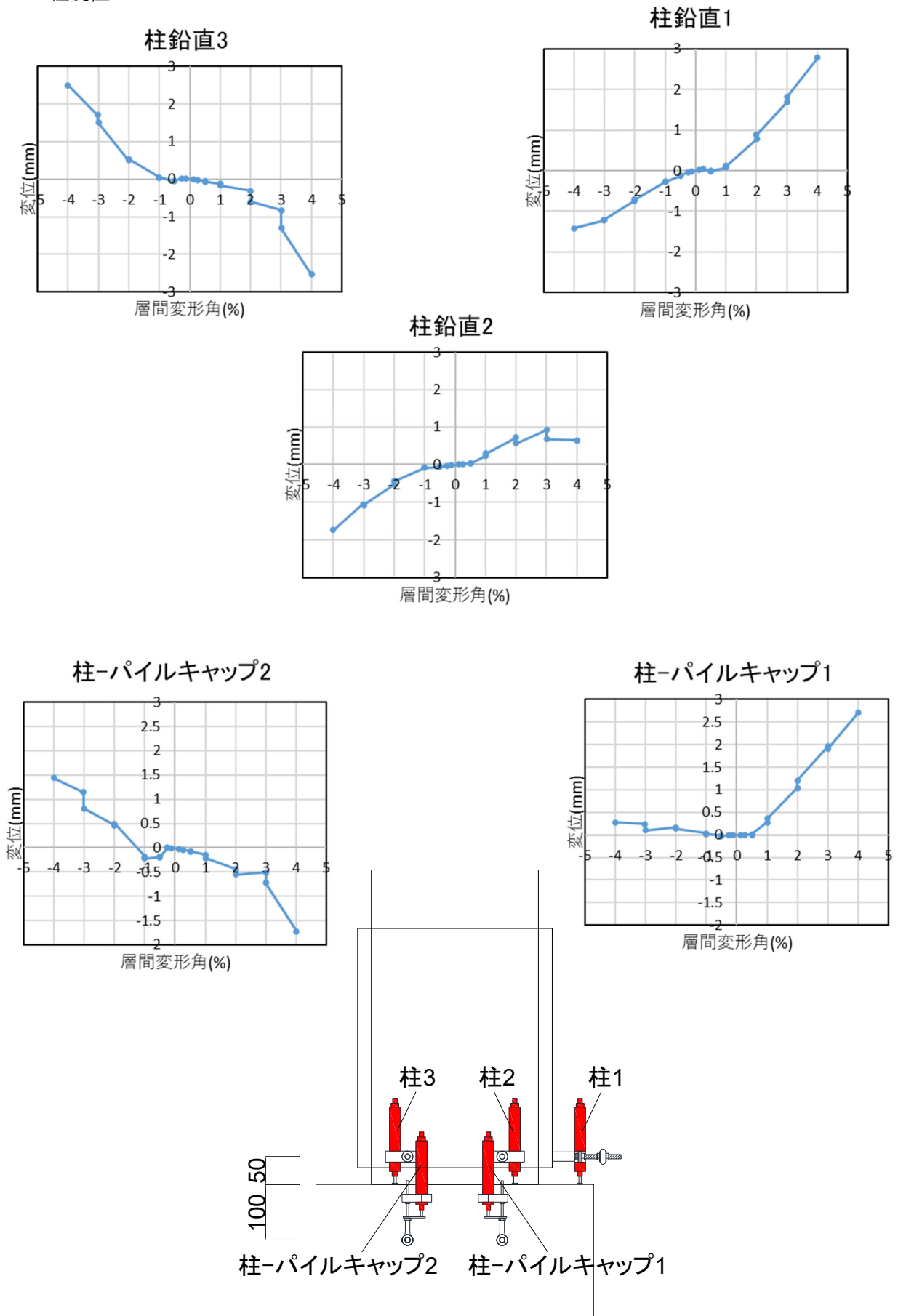


図 3.1.3-32 試験体 D-3 柱変位 層間変形角-変形関係 1

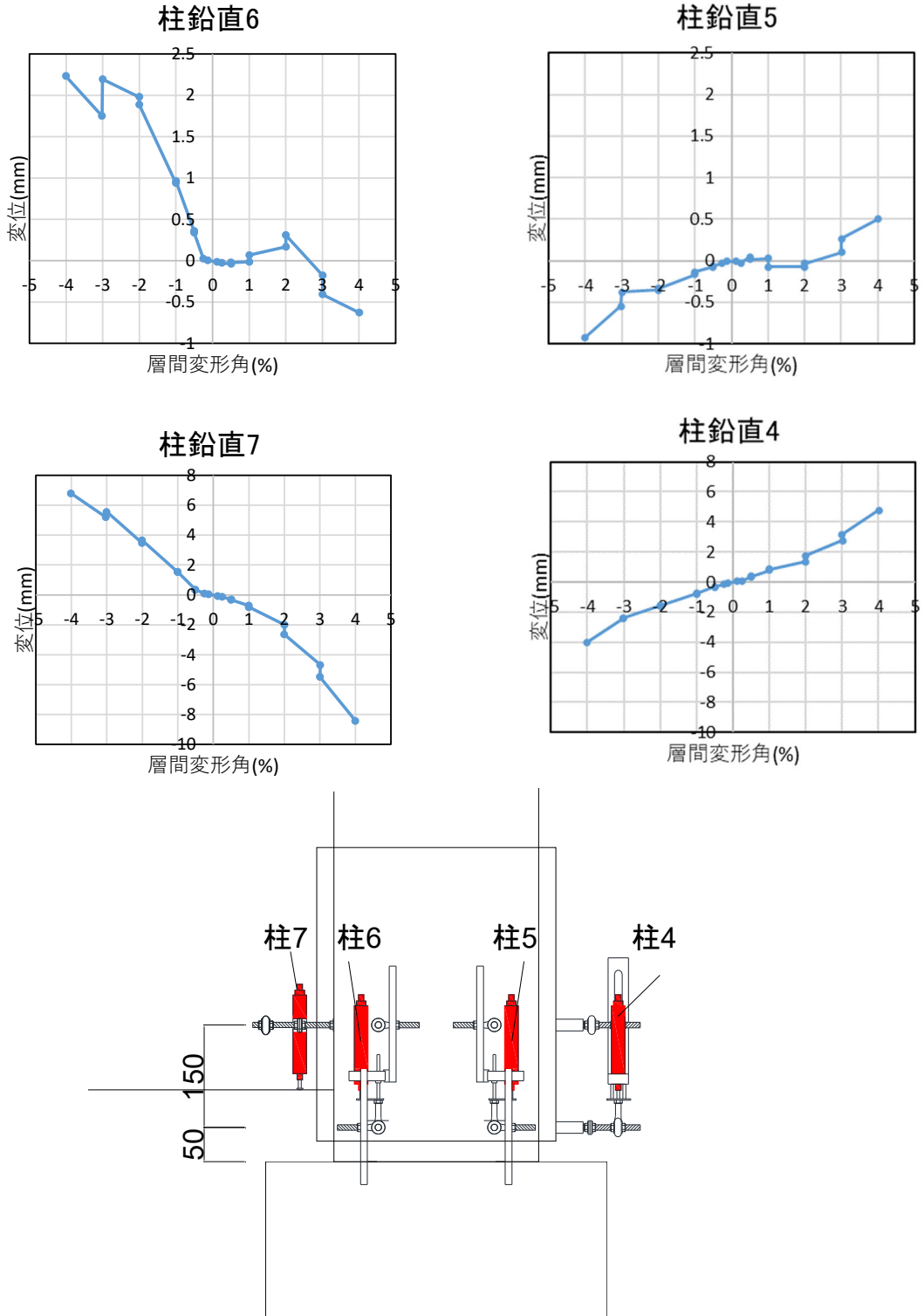


図 3.1.3-33 試験体 D-3 柱変位 層間変形角-変形関係 2

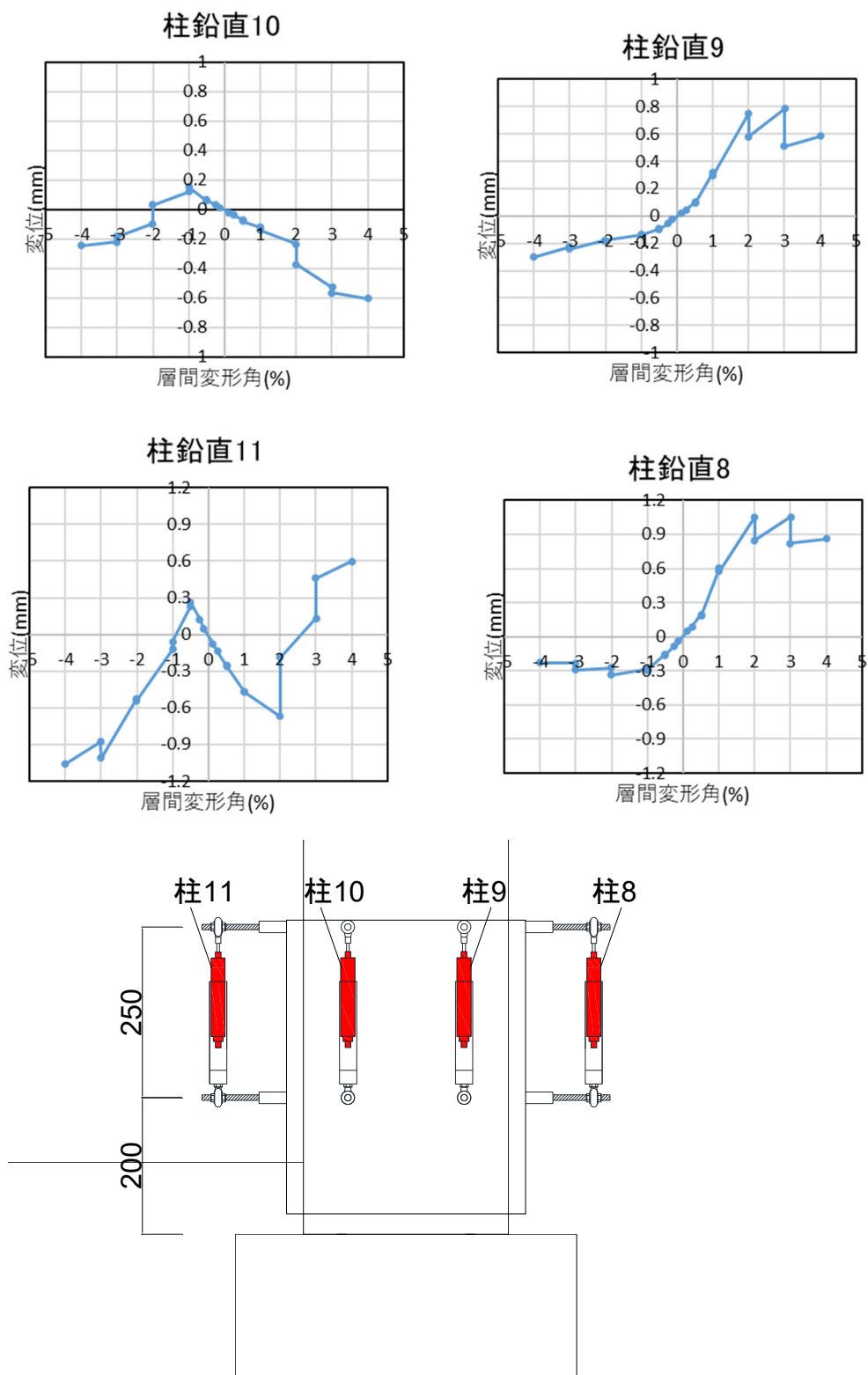


図 3.1.3-34 試験体 D-3 柱変位 層間変形角-変形関係 3

• パイルキャップ変位

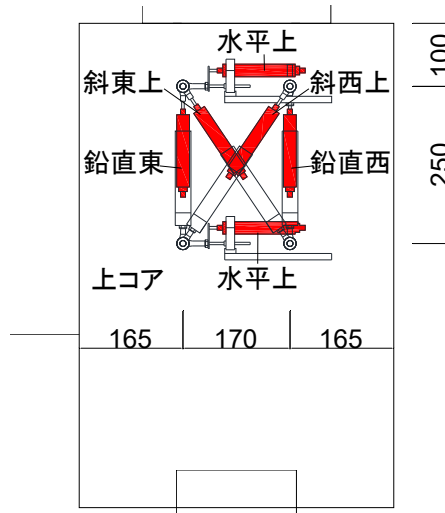
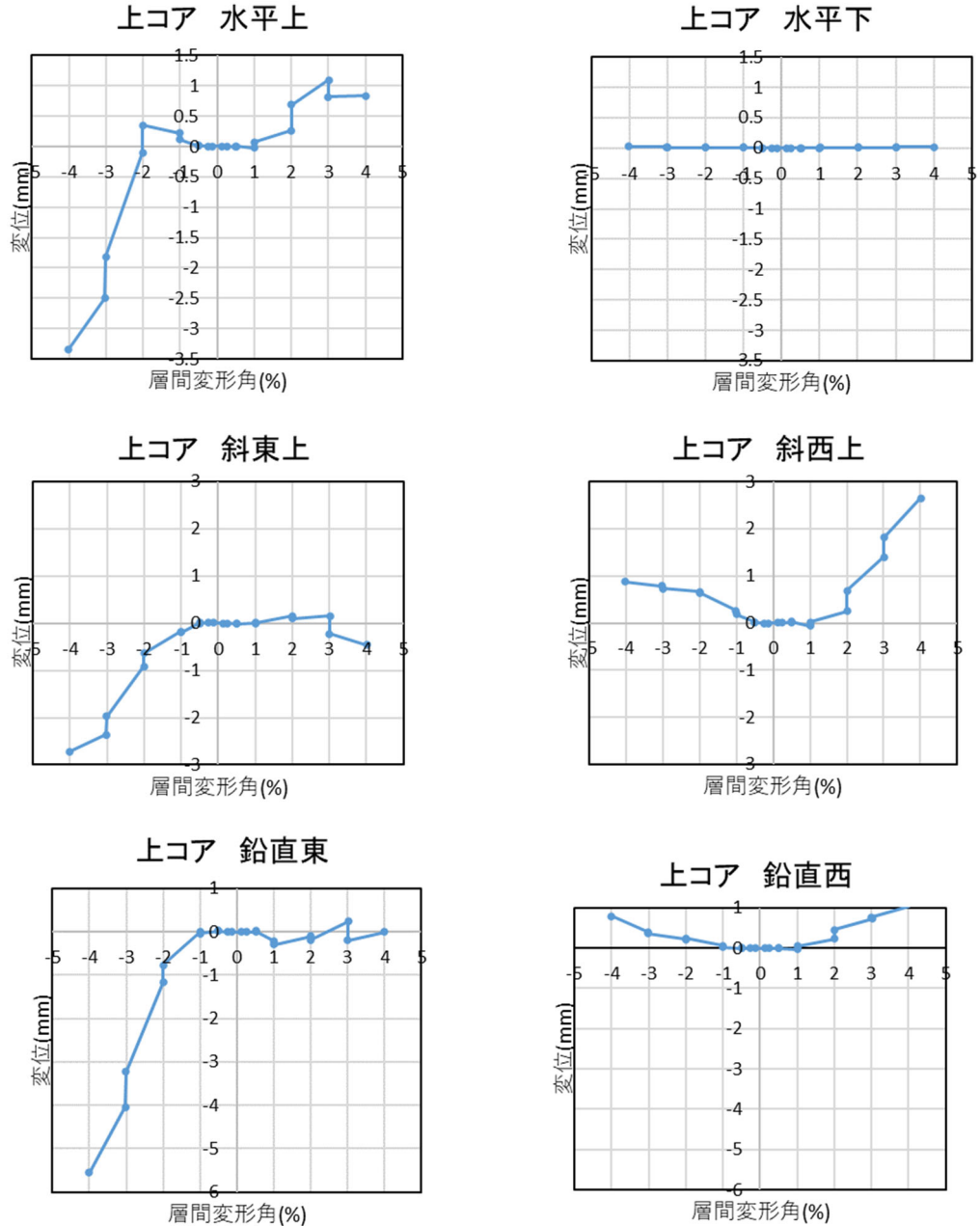


図 3.1.3-35 試験体 D-3 パイルキャップ変位 層間変形角-変形関係 1

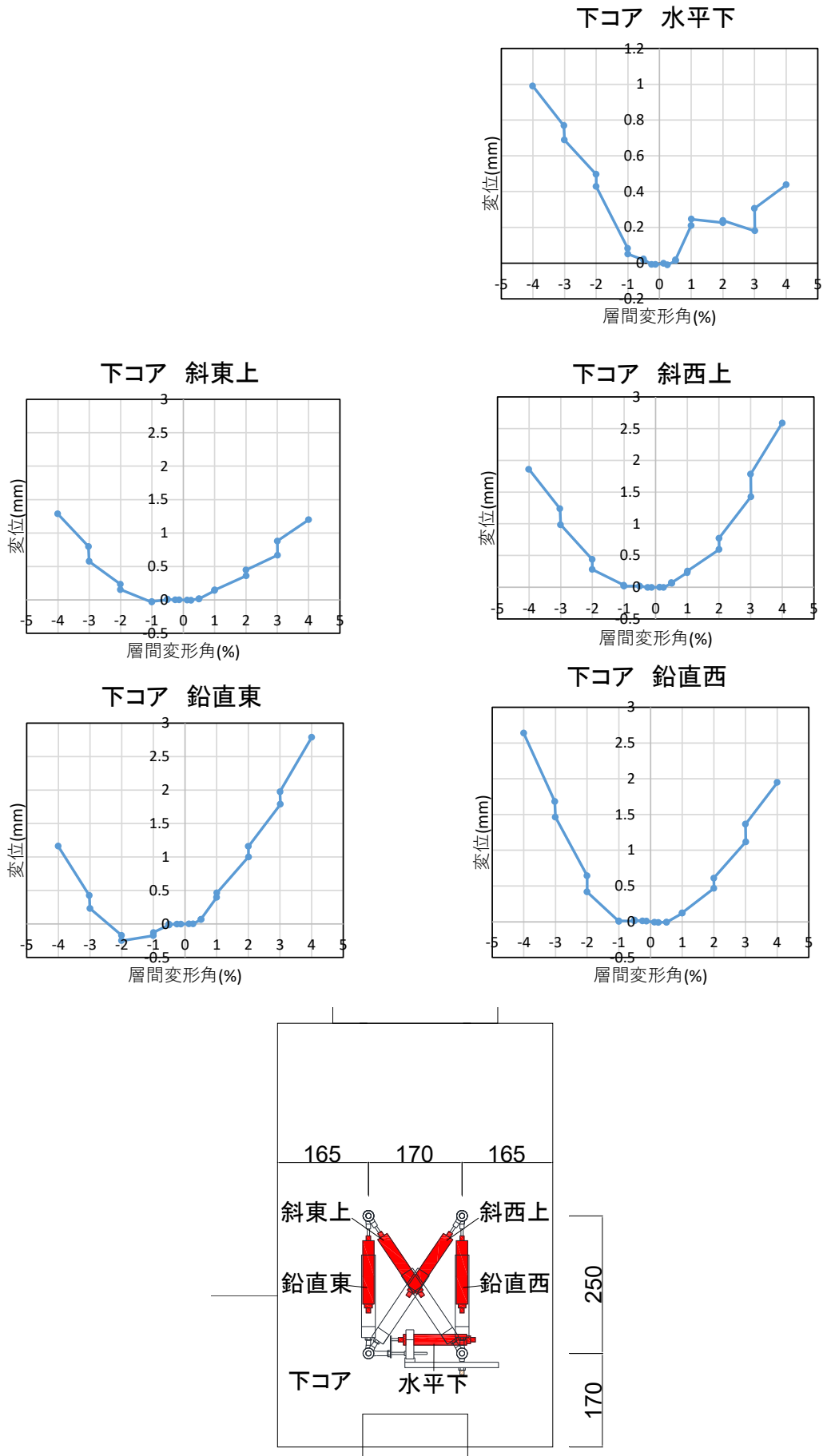


図 3.1.3-36 試験体 D-3 パイルキャップ変位 層間変形角-変形関係 2

- 杭変位

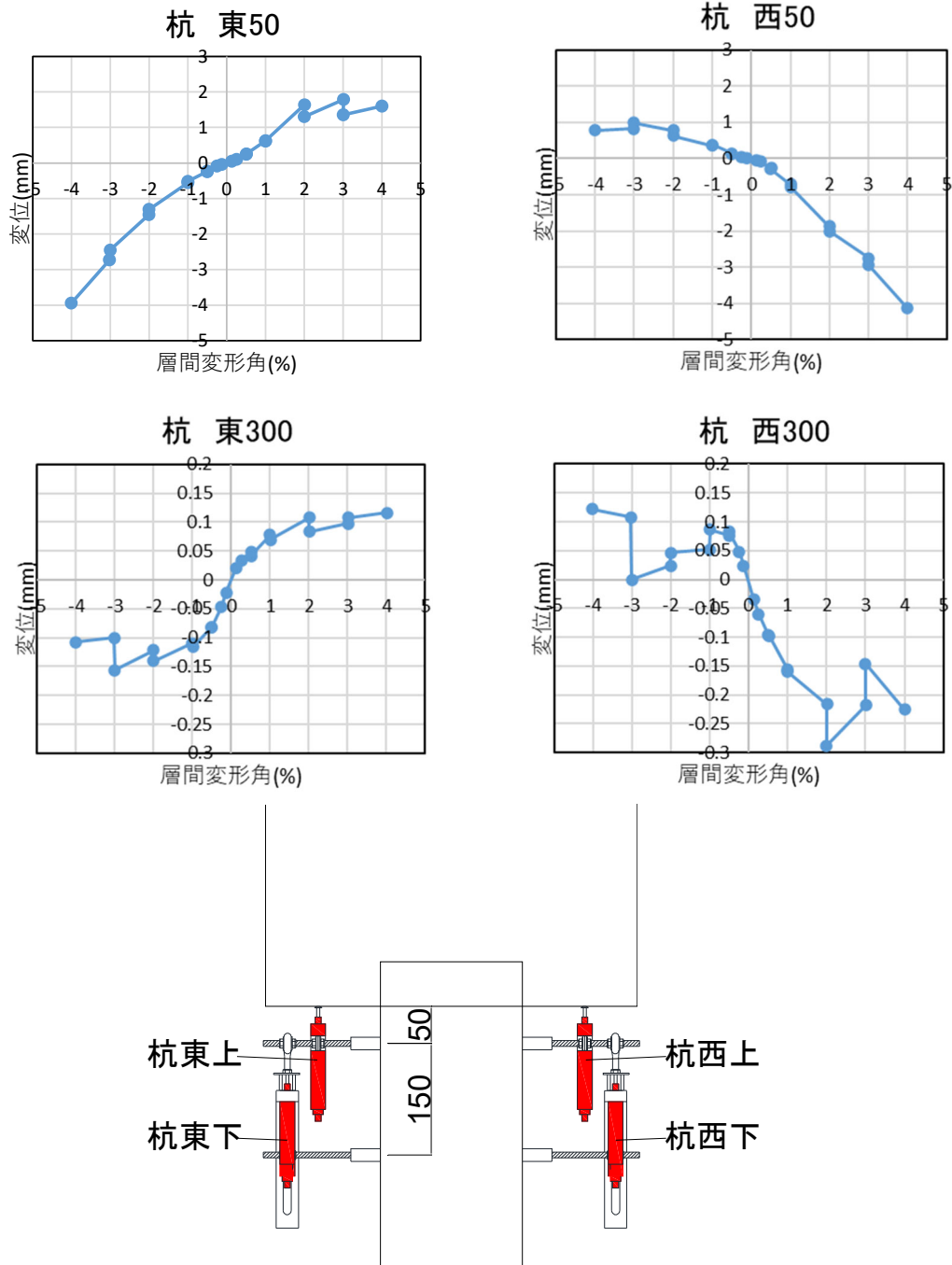


図 3.1.3-37 試験体 D-3 杭変位 層間変形角-変形関係

試験体 D-4

- 部材変位

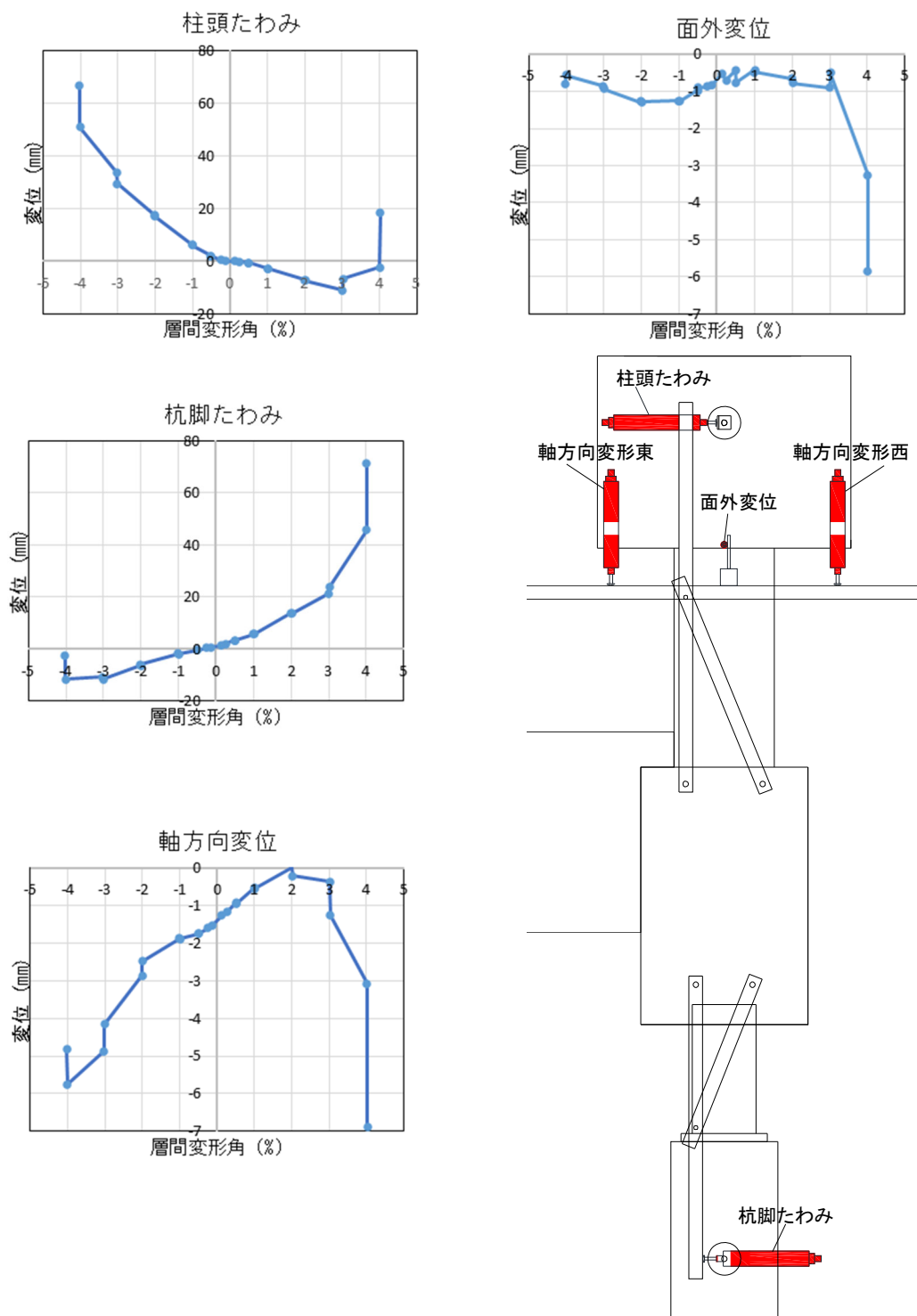


図 3.1.3-38 試験体 D-4 部材変位 層間変形角-変形関係 1

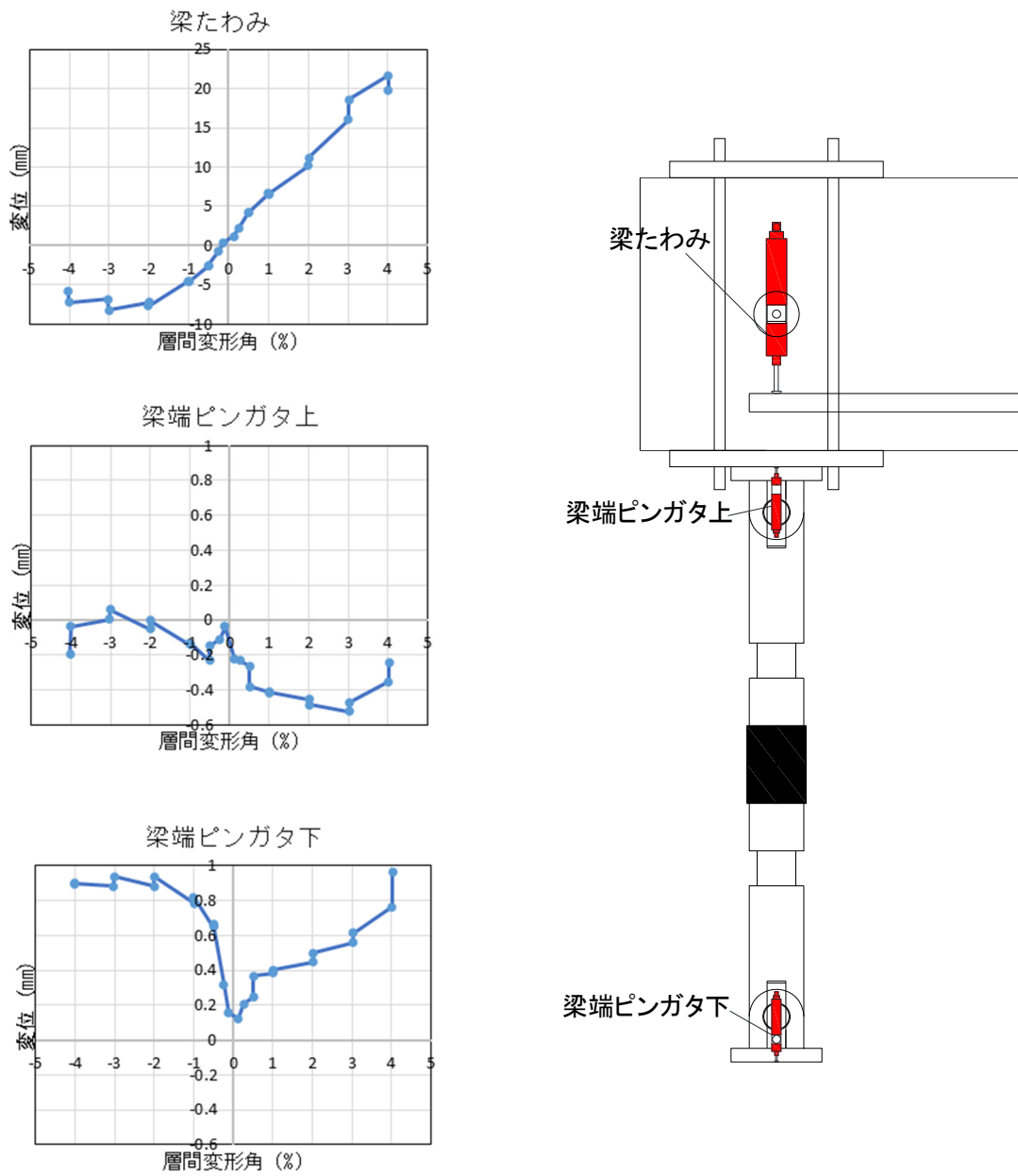


図 3.1.3-39 試験体 D-4 部材変位 層間変形角-変形関係 2

- 部材絶対変位

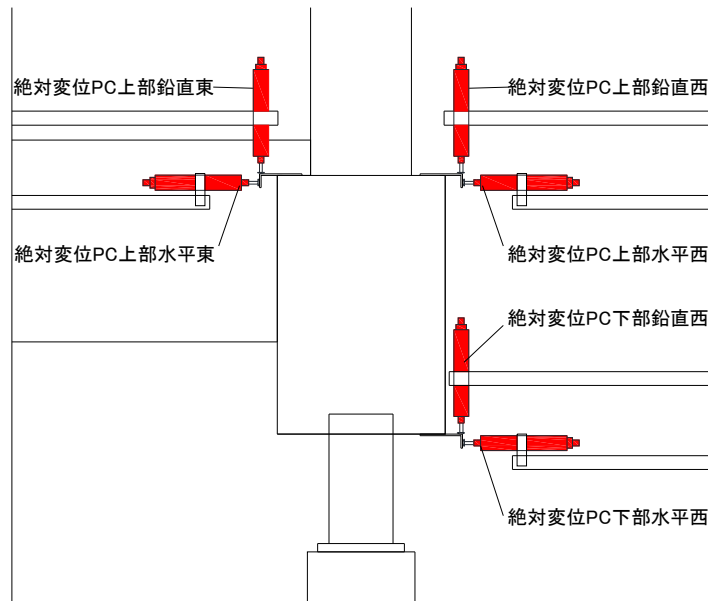
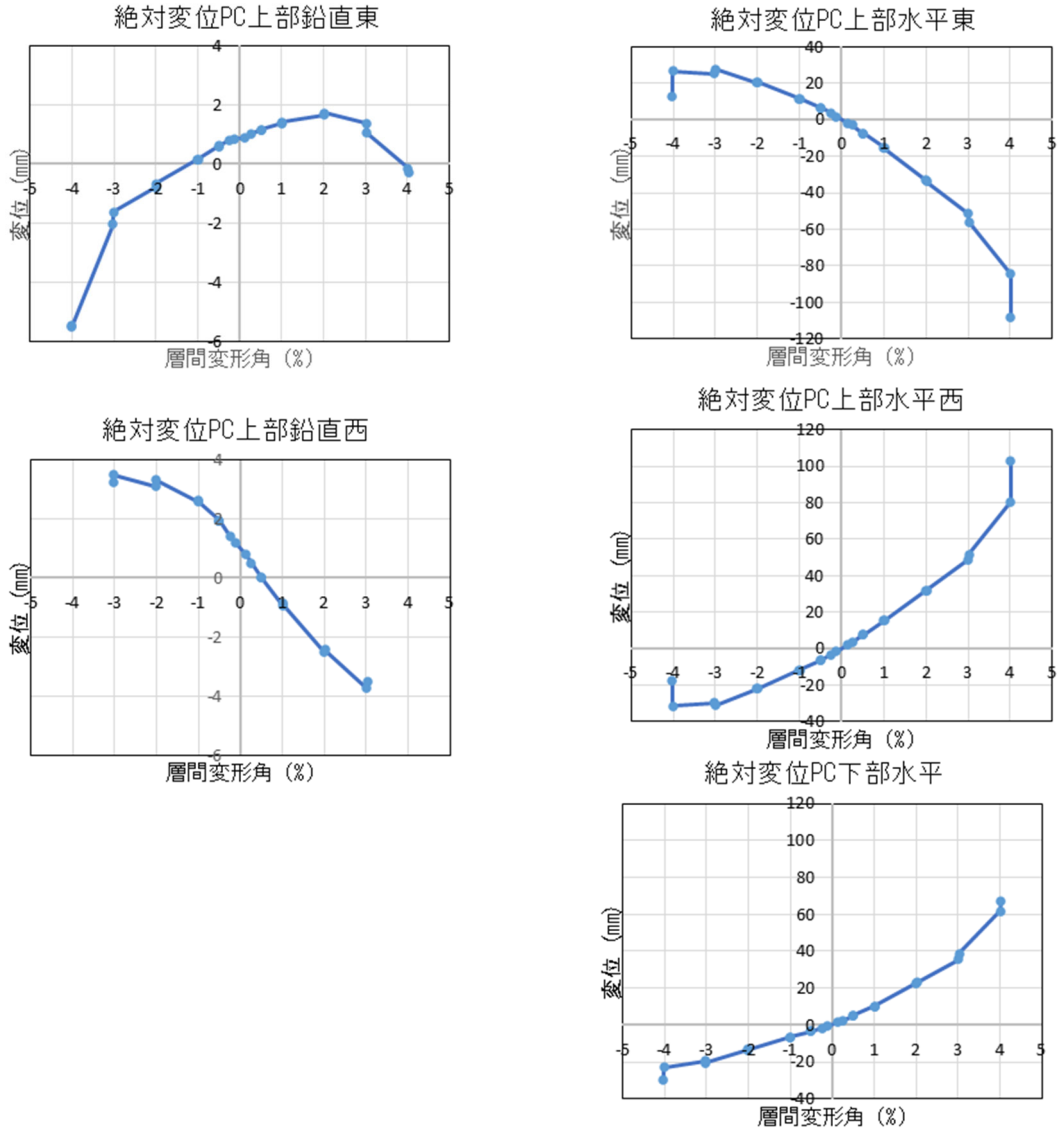


図 3.1.3-40 試験体 D-4 部材絶対変位 層間変形角-変形関係

基礎梁変位

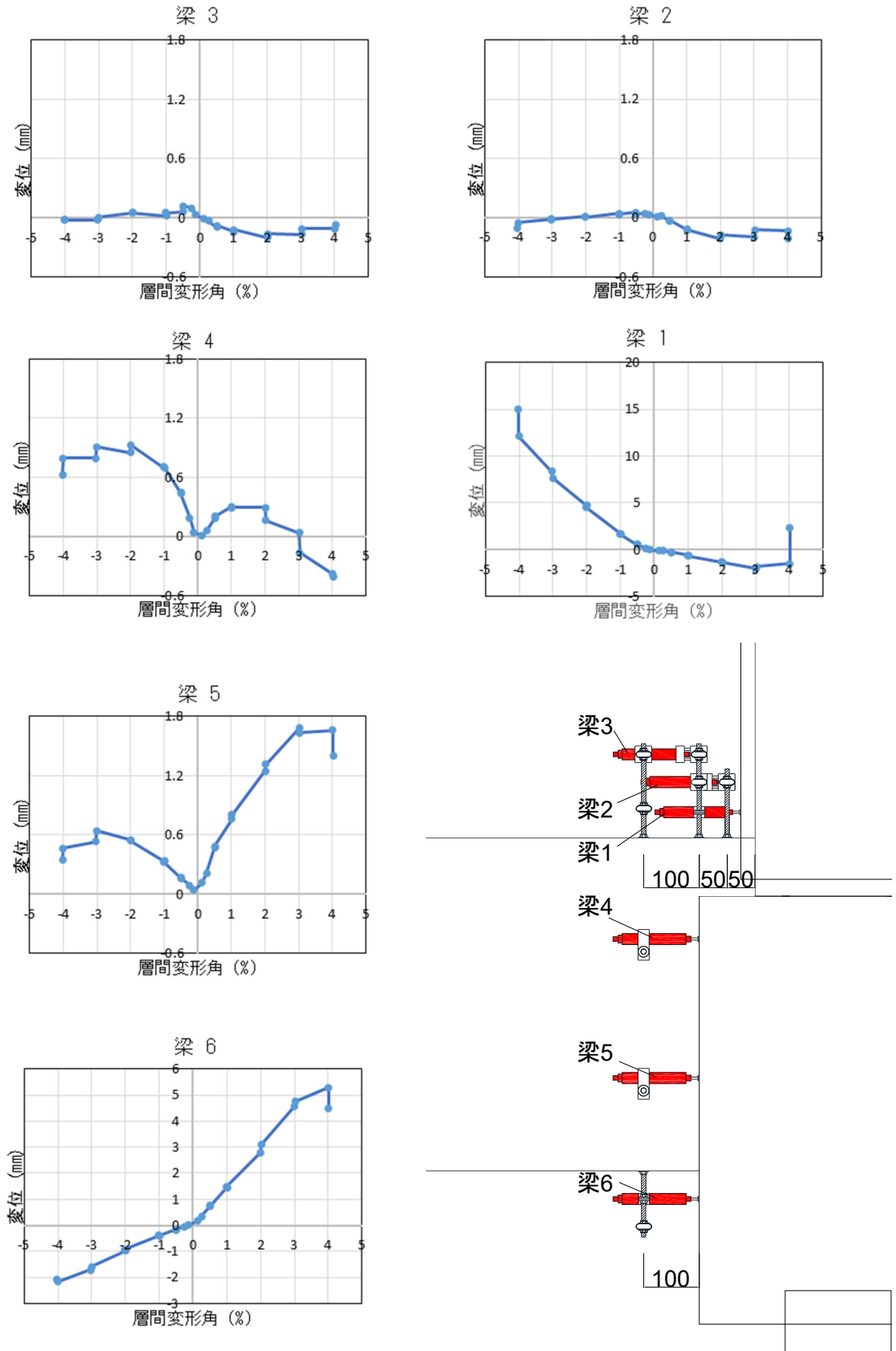


図 3.1.3-41 試験体 D-4 基礎梁変位 層間変形角-変形関係 1

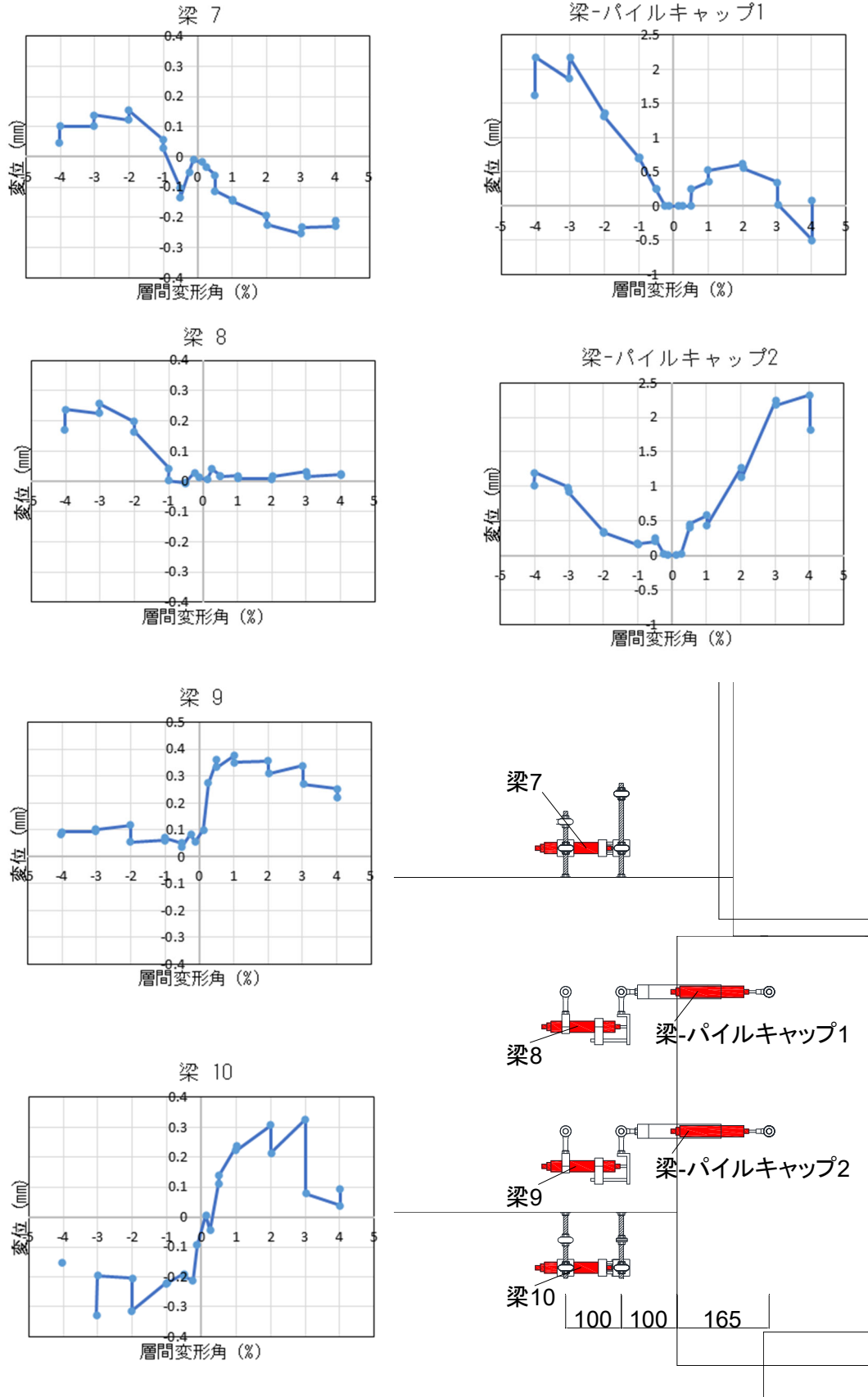


図 3.1.3-42 試験体 D-4 基礎梁変位 層間変形角-変形関係 2

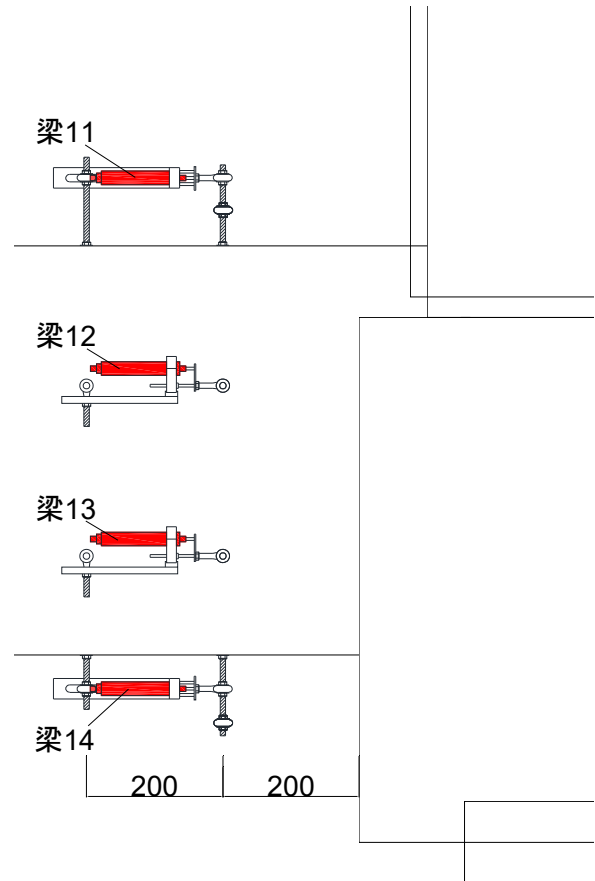
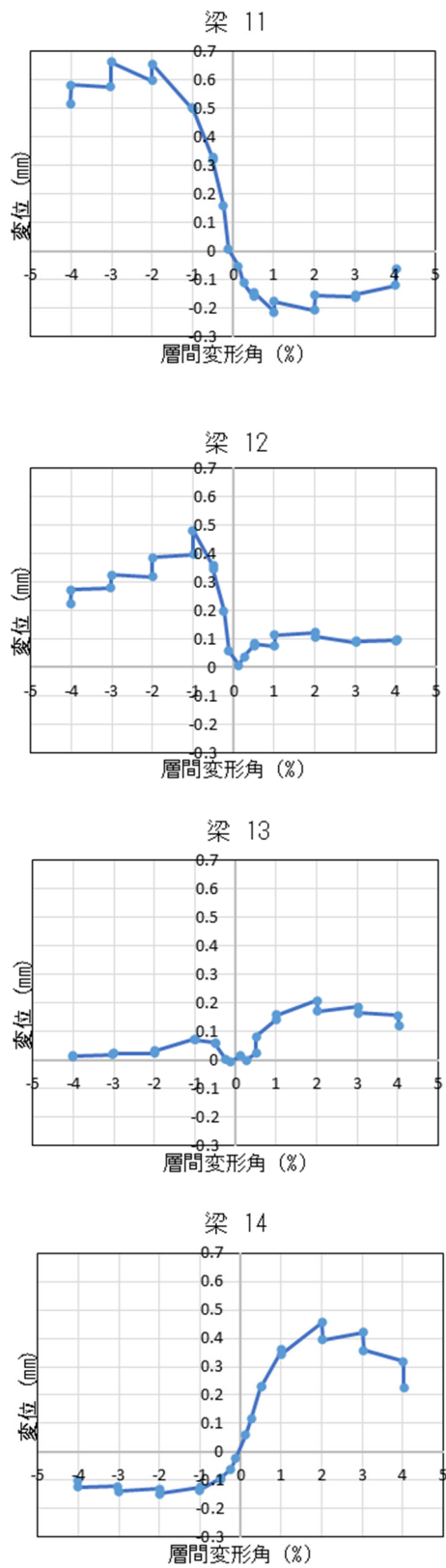


図 3.1.3-43 試験体 D-4 基礎梁変位 層間変形角-変形関係 3

- 柱変位

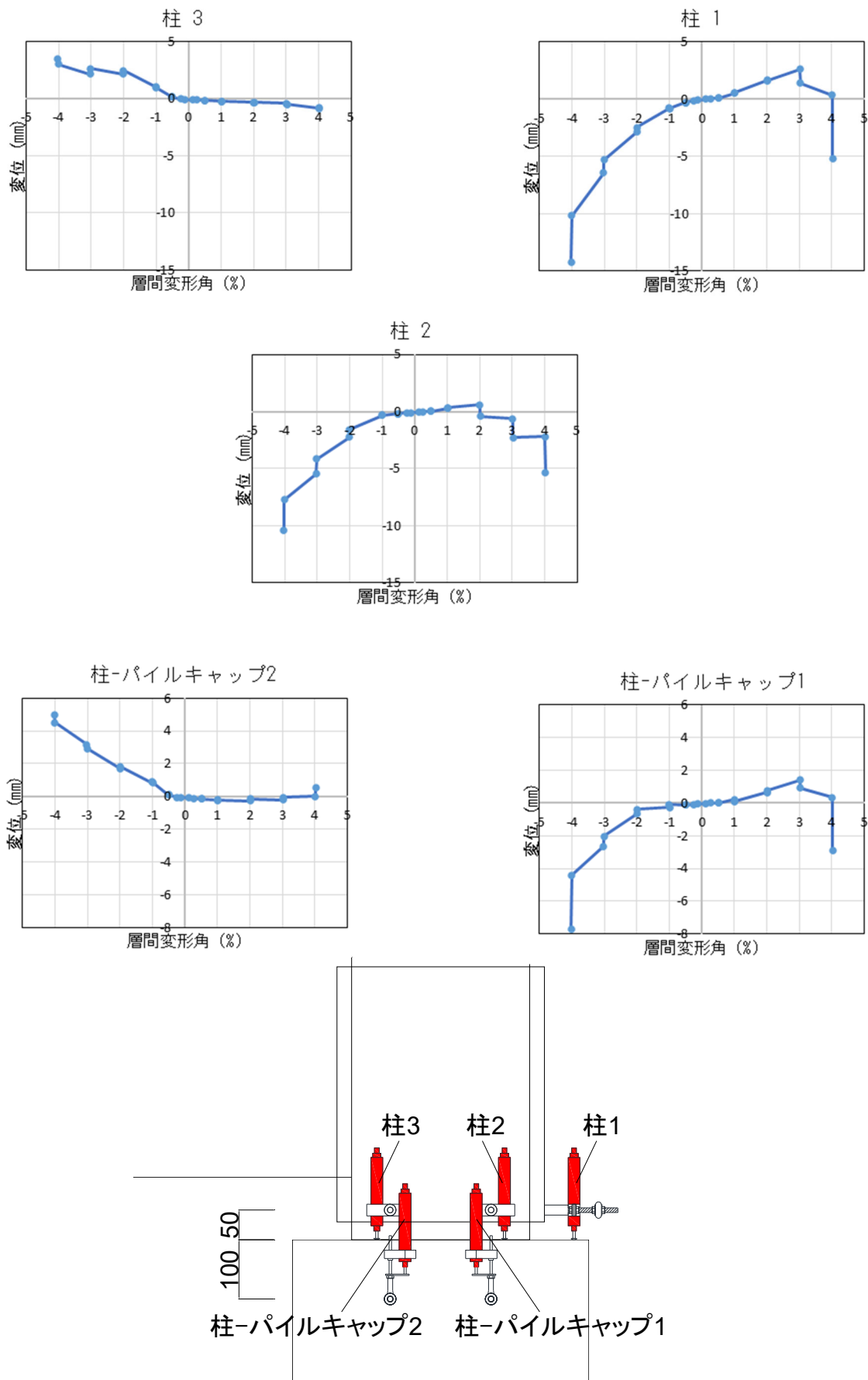


図 3.1.3-44 試験体 D-4 柱変位 層間変形角-変形関係 1

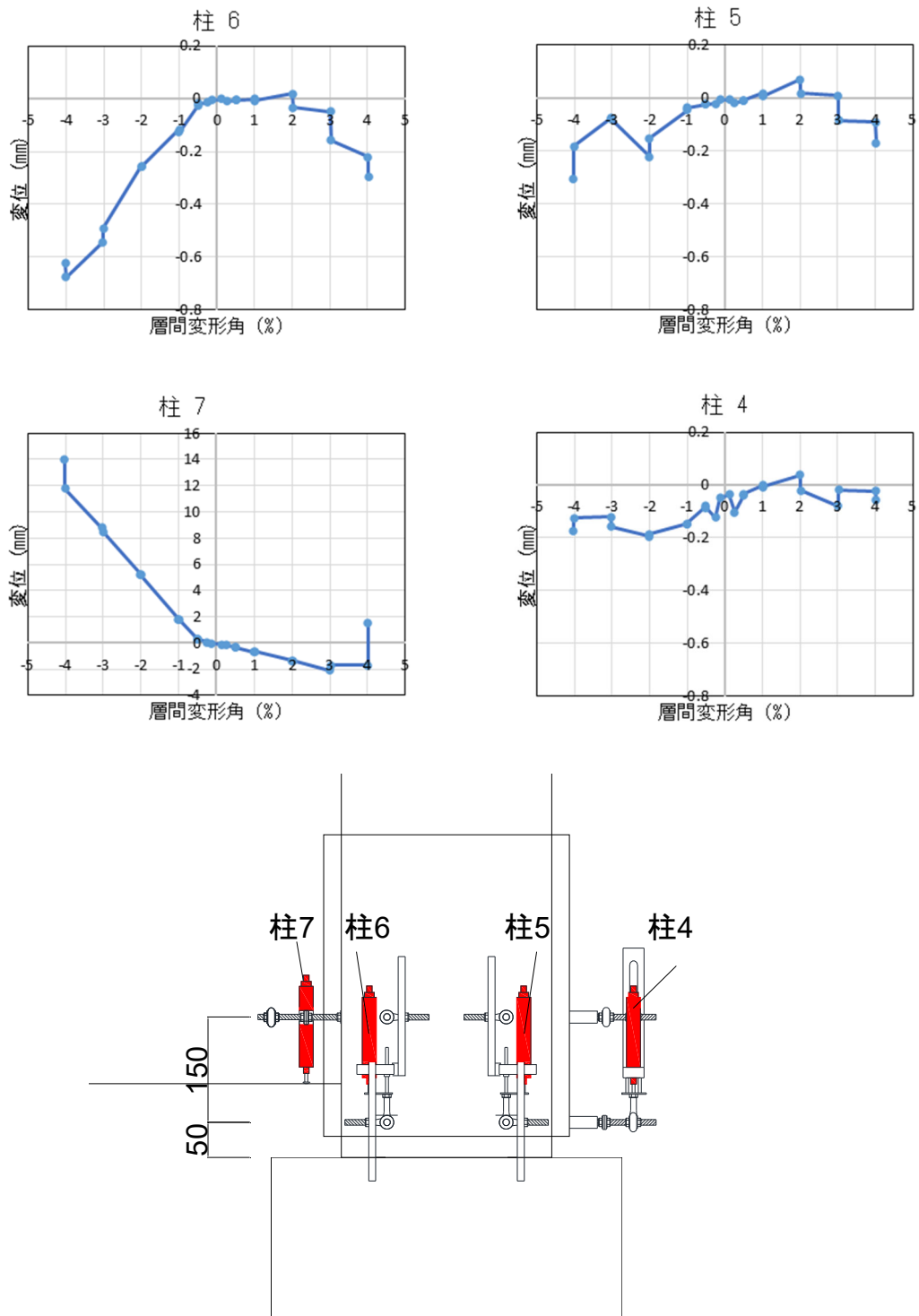


図 3.1.3-45 試験体 D-4 柱変位 層間変形角-変形関係 2

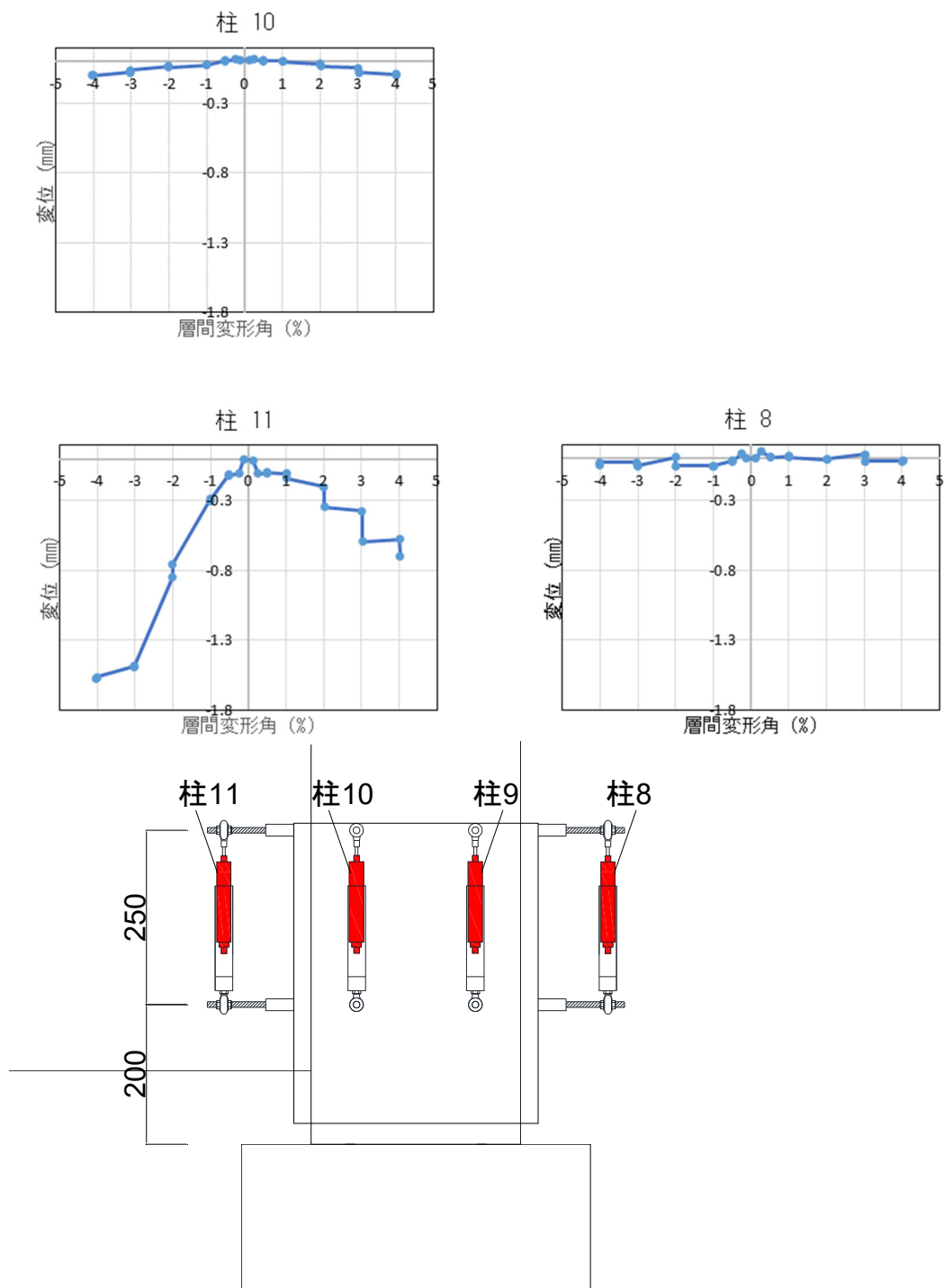


図 3.1.3-46 試験体 D-4 柱変位 層間変形角-変形関係 3

• パイルキャップ変位

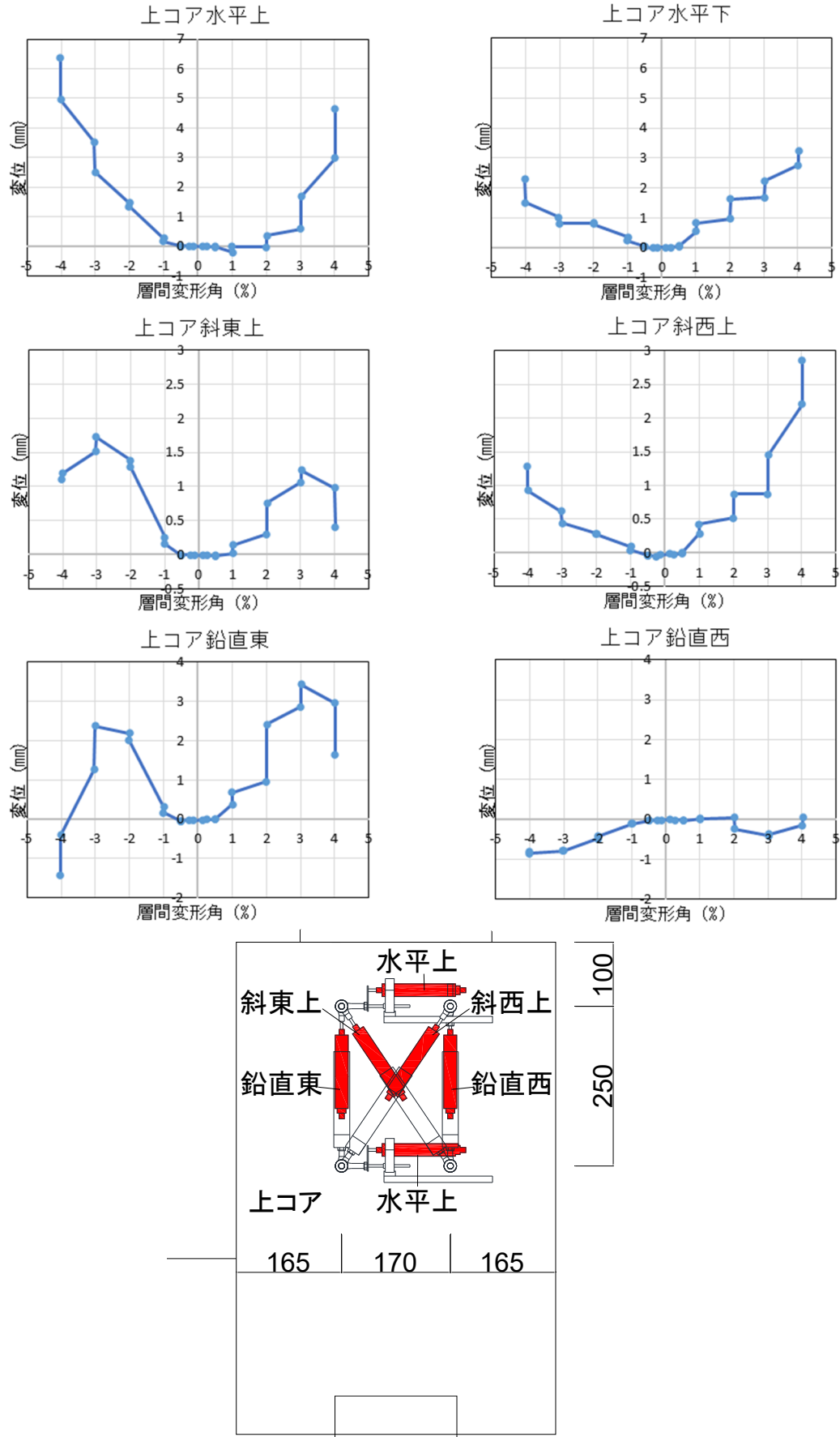


図 3.1.3-47 試験体 D-4 パイルキャップ変位 層間変形角-変形関係 1

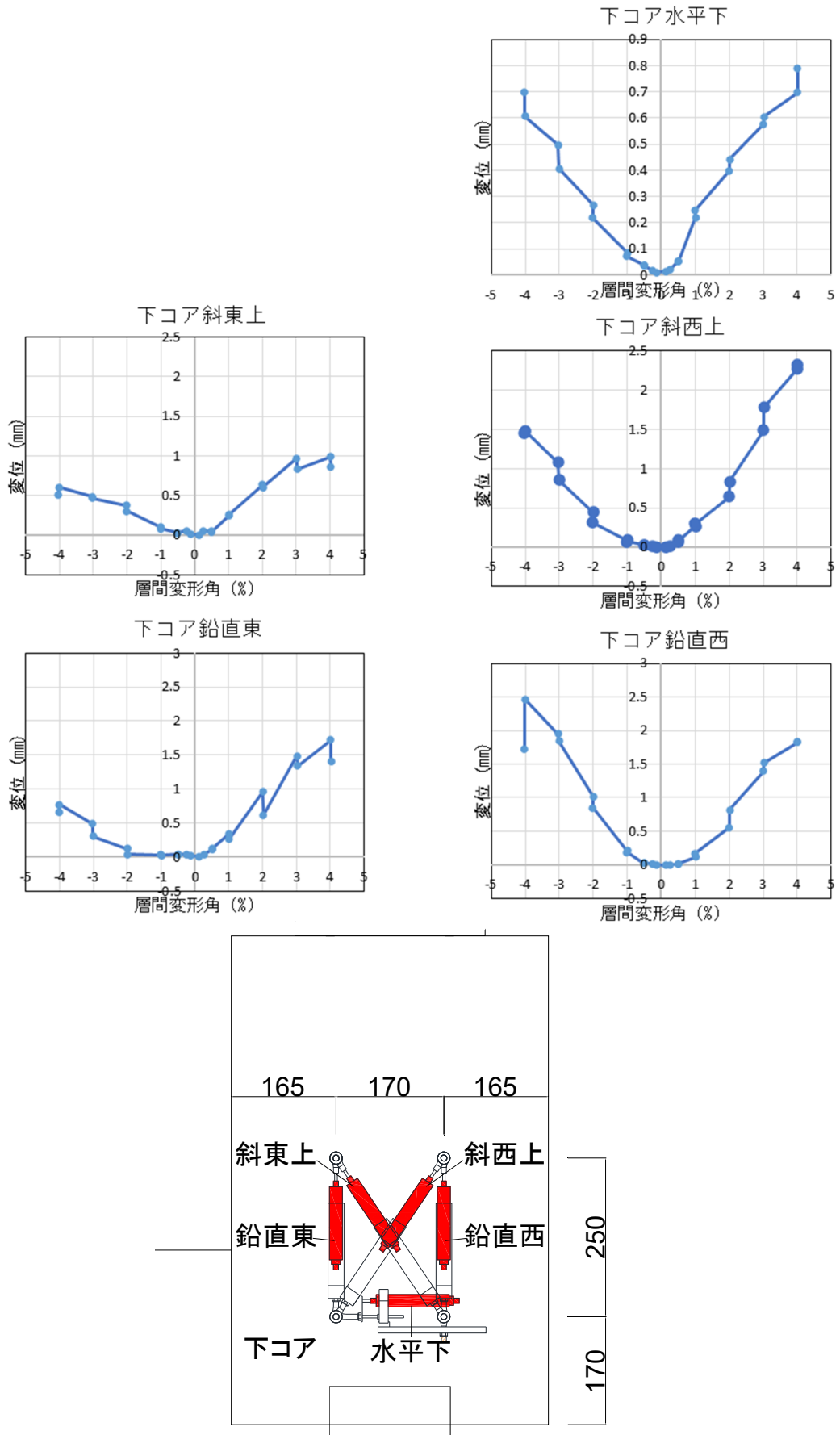


図 3.1.3-48 試験体 D-4 パイルキャップ変位 層間変形角-変形関係 2

• 杭変位

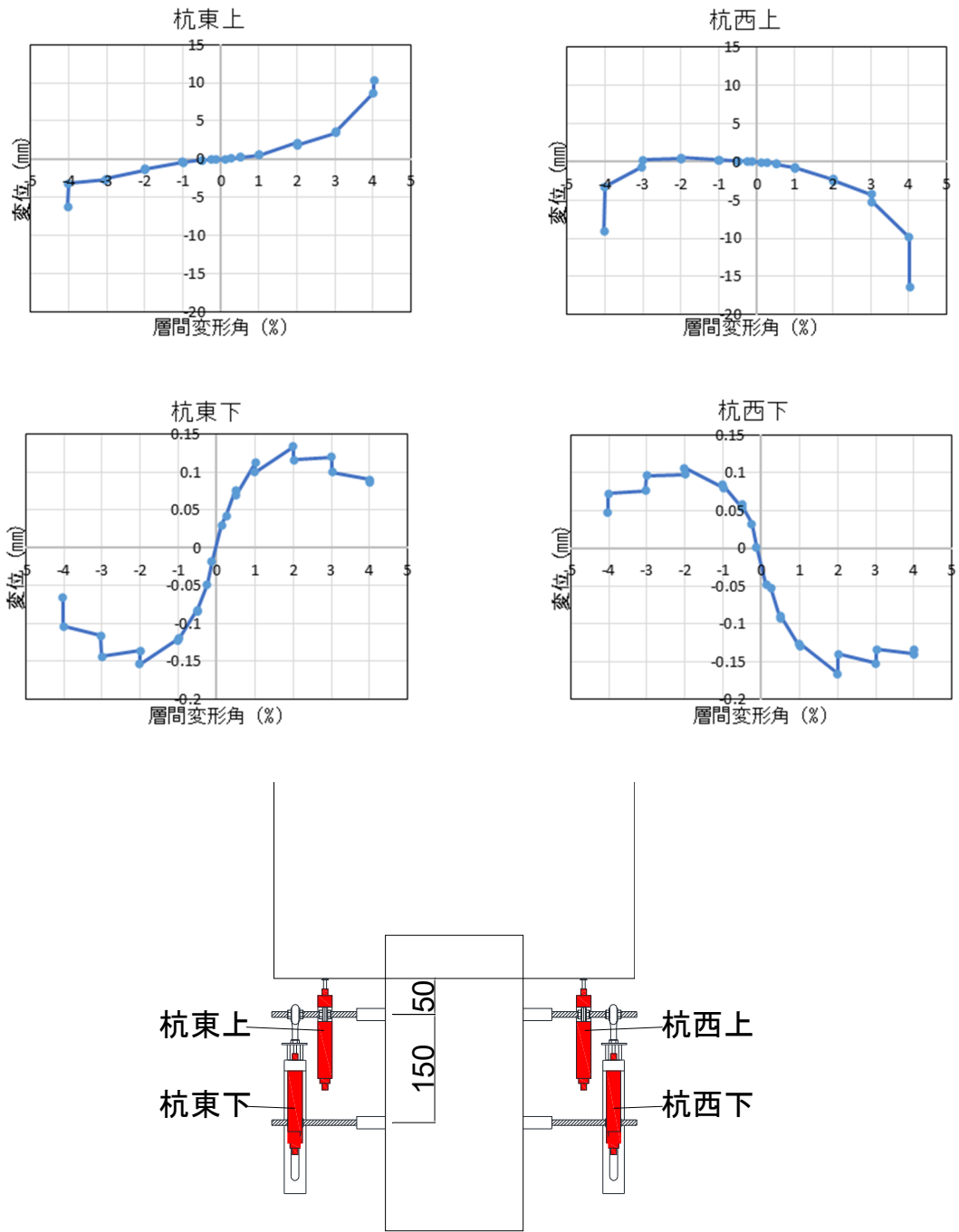


図 3.1.3-49 試験体 D-4 杭変位 層間変形角-変形関係

(4) 各鉄筋ひずみ分布

○ 試験体 D-3

図 3.1.3-50～図 3.1.3-58 に基礎梁主筋各ピーク時のひずみ分布を，図 3.1.3-59 に柱主筋各ピーク時のひずみ分布を，図 3.1.3-60 に柱補強筋各ピーク時のひずみ分布を，図 3.1.3-61 に杭各ピーク時のひずみ分布を，図 3.1.3-62, 図 3.1.3-63 に杭頭定着筋各ピーク時のひずみ分布を，図 3.1.3-64～図 3.1.3-66 にパイルキャップ縦筋各ピーク時のひずみ分布を，図 3.1.3-67～図 3.1.3-68 にパイルキャップ補強筋各ピーク時のひずみ分布を，図 3.1.3-69 にコンクリート各ピーク時のひずみ分布を示す。

○ 試験体 D-4

図 3.1.3-70～図 3.1.3-72 に基礎梁主筋各ピーク時のひずみ分布を，図 3.1.3-73, 図 3.1.3-74 に柱主筋各ピーク時のひずみ分布を，図 3.1.3-75 に柱補強筋各ピーク時のひずみ分布を，図 3.1.3-76 に杭各ピーク時のひずみ分布を，図 3.1.3-77, 図 3.1.3-78 に杭頭定着筋各ピーク時のひずみ分布を，図 3.1.3-79～図 3.1.3-82 にパイルキャップ縦筋各ピーク時のひずみ分布を，図 3.1.3-83～図 3.1.3-84 にパイルキャップ補強筋各ピーク時のひずみ分布を，図 3.1.3-85 にコンクリート各ピーク時のひずみ分布を示す。

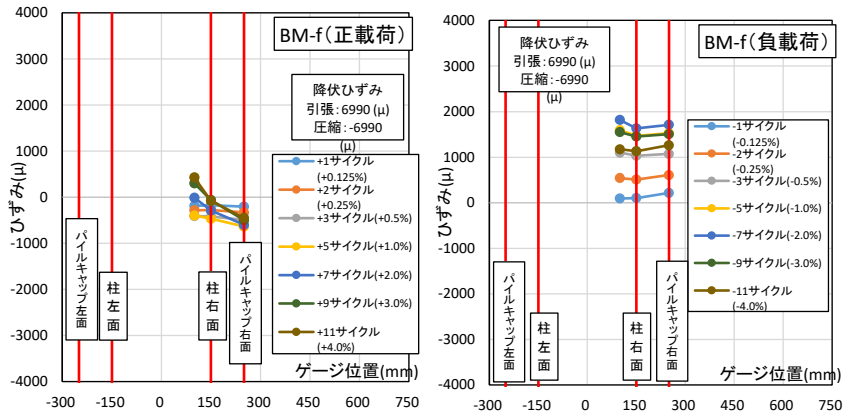
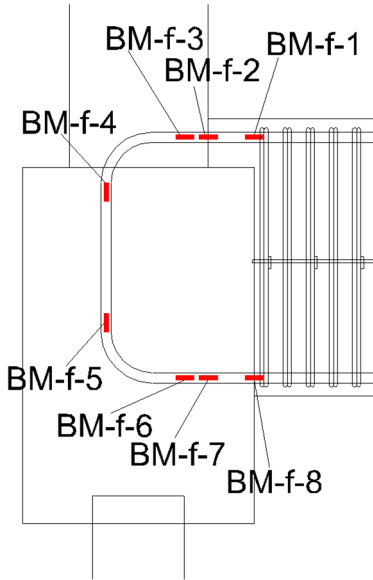


図 3. 1. 3-50 試験体 D-3 基礎梁主筋上端ひずみ分布 (前)

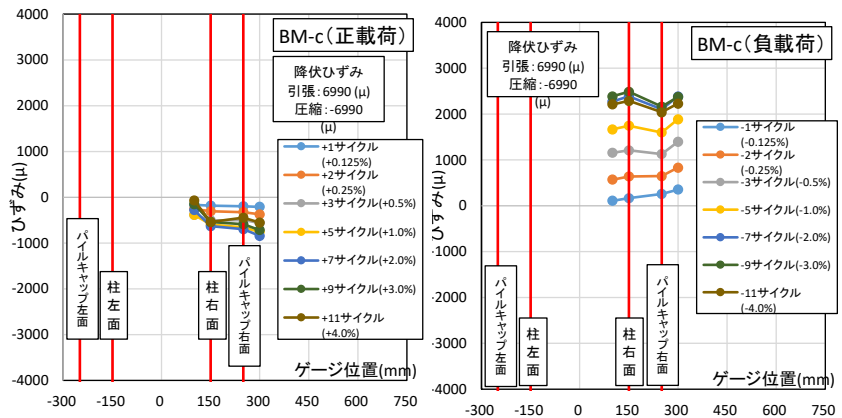
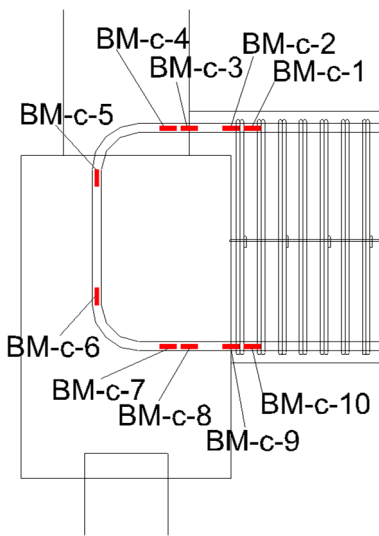


図 3. 1. 3-51 試験体 D-3 基礎梁主筋上端ひずみ分布 (中央)

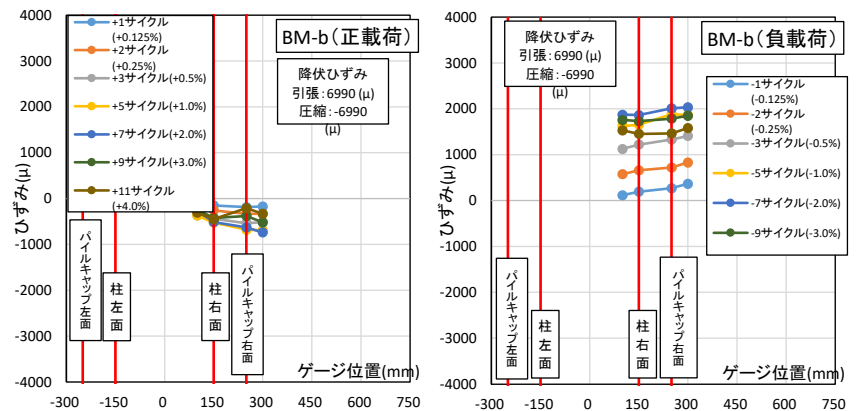
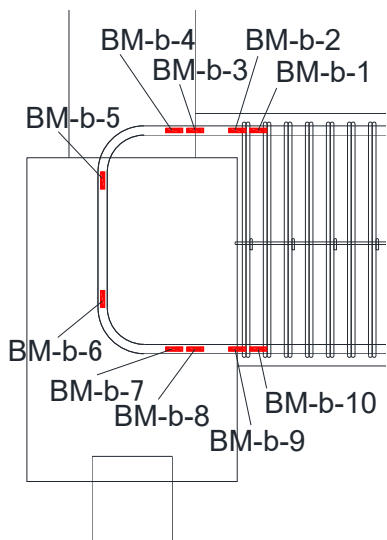


図 3. 1. 3-52 試験体 D-3 基礎梁主筋上端ひずみ分布 (後)

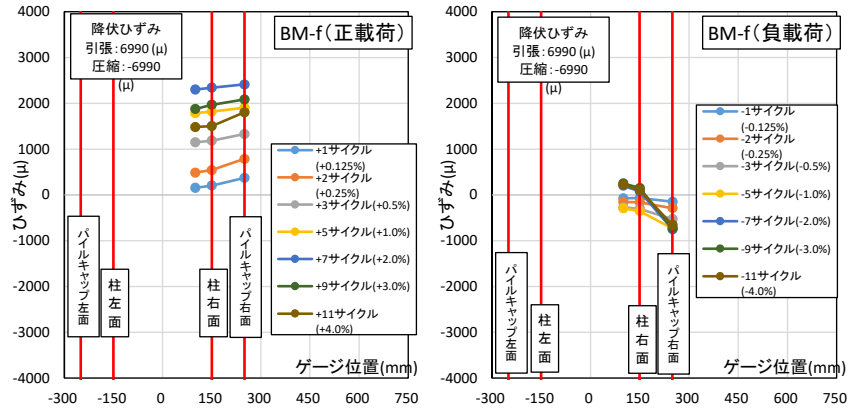
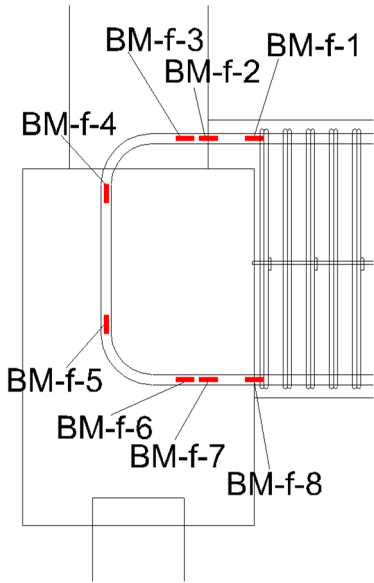


図 3. 1. 3-53 試験体 D-3 基礎梁主筋上端ひずみ分布(前)

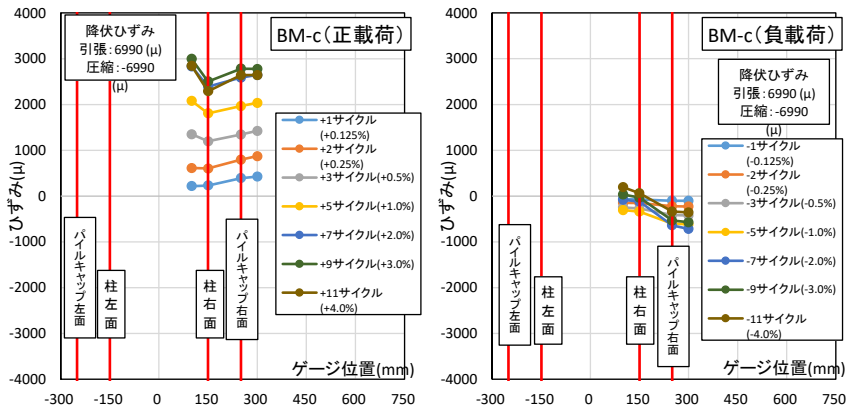
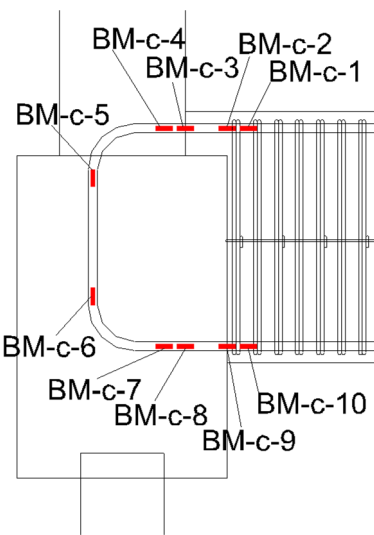


図 3. 1. 3-54 試験体 D-3 基礎梁主筋上端ひずみ分布(中央)

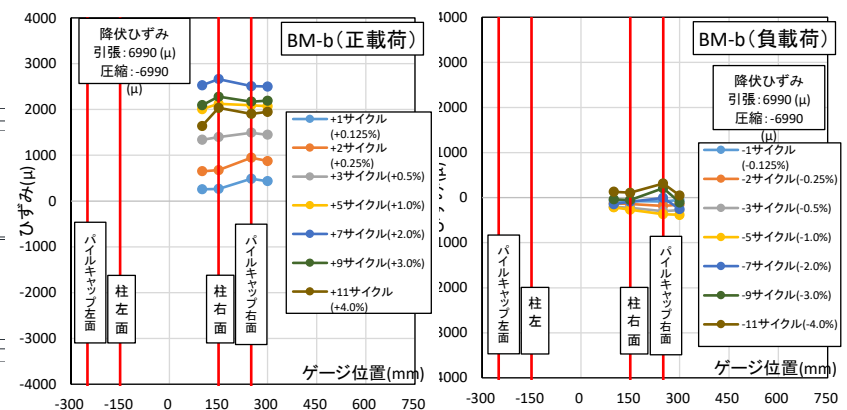
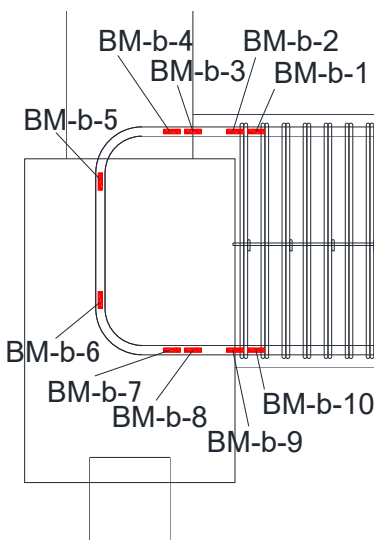


図 3. 1. 3-55 試験体 D-3 基礎梁主筋折り曲げ部ひずみ分布(後)

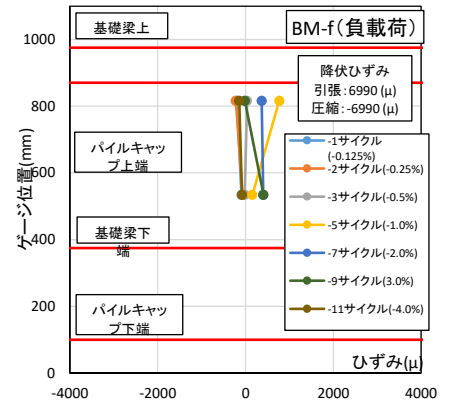
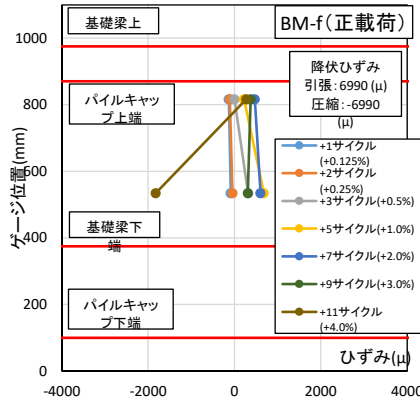
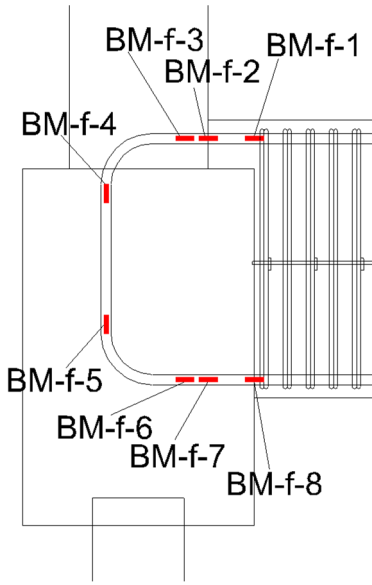


図 3.1.3-56 試験体 D-3 基礎梁主筋折り曲げ部ひずみ分布(前)

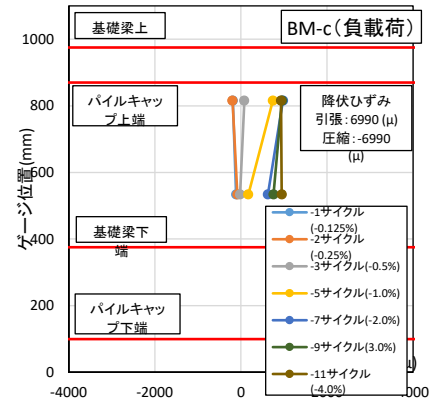
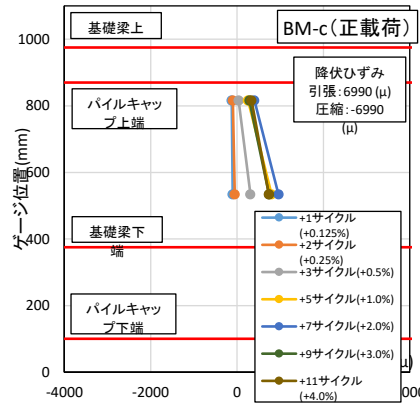
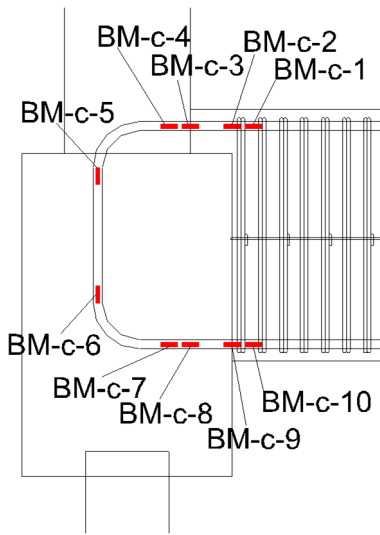


図 3.1.3-57 試験体 D-3 基礎梁主筋折り曲げ部ひずみ分布(中央)

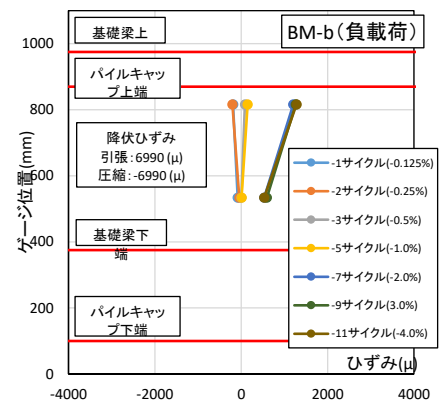
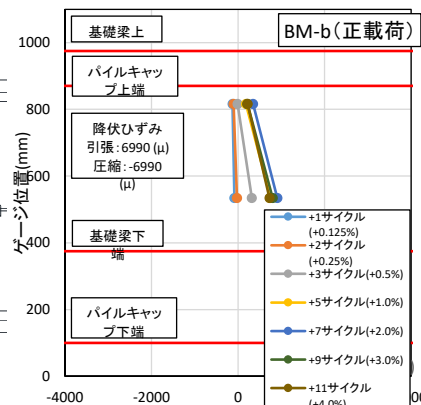
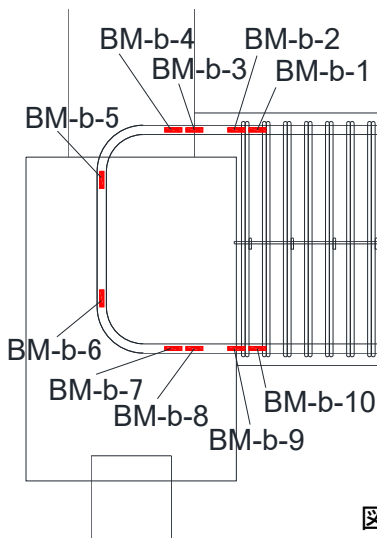


図 3.1.3-58 試験体 D-3 基礎梁主筋折り曲げ部ひずみ分布(後)

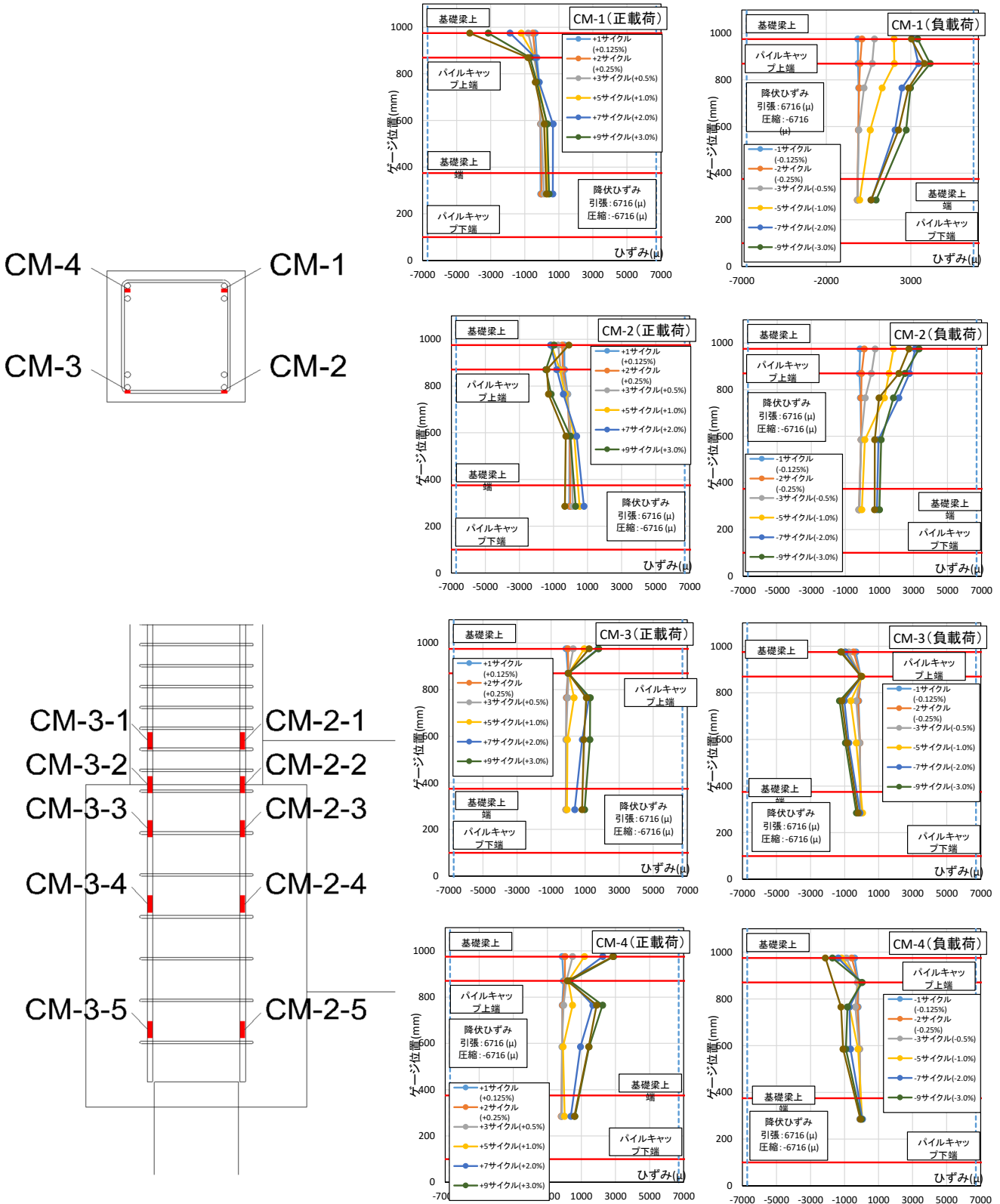


図 3.1.3-59 試験体 D-3 柱主筋ひずみ分布

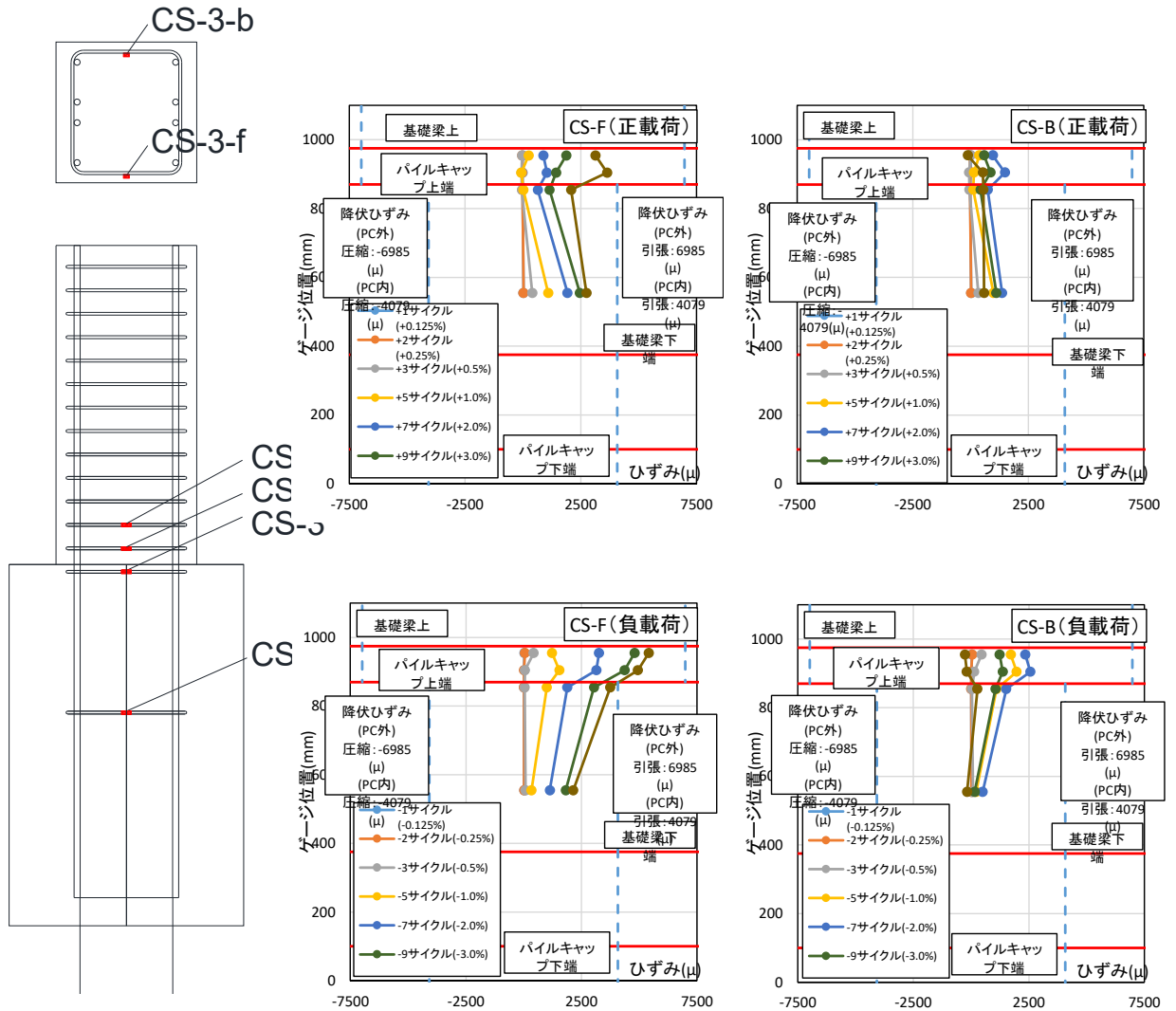


図 3.1.3-60 試験体 D-3 柱補強筋ひずみ分布

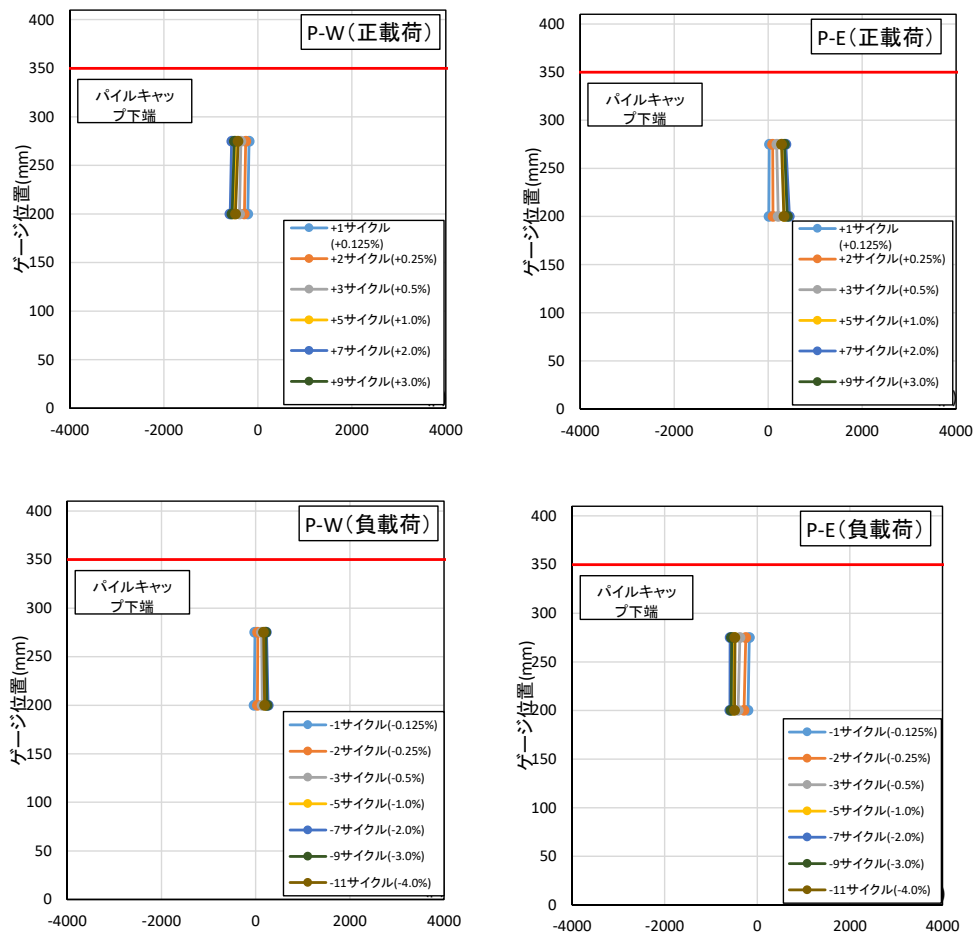
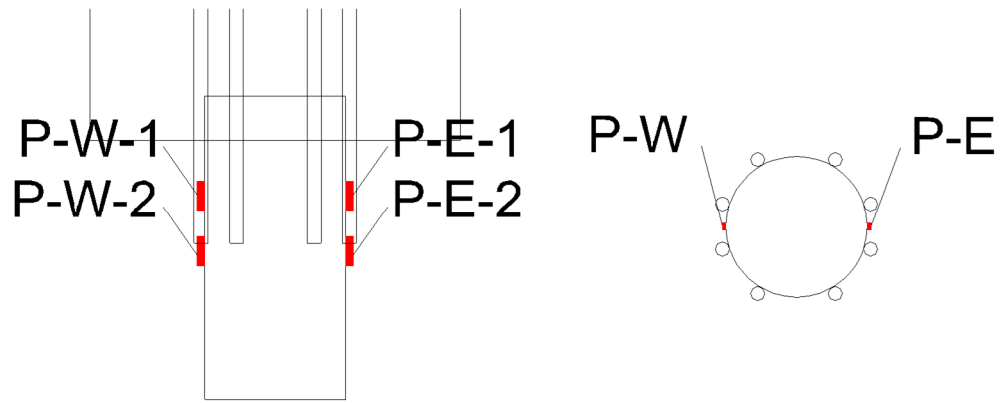


図 3. 1. 3-61 試験体 D-3 杭体ひずみ分布

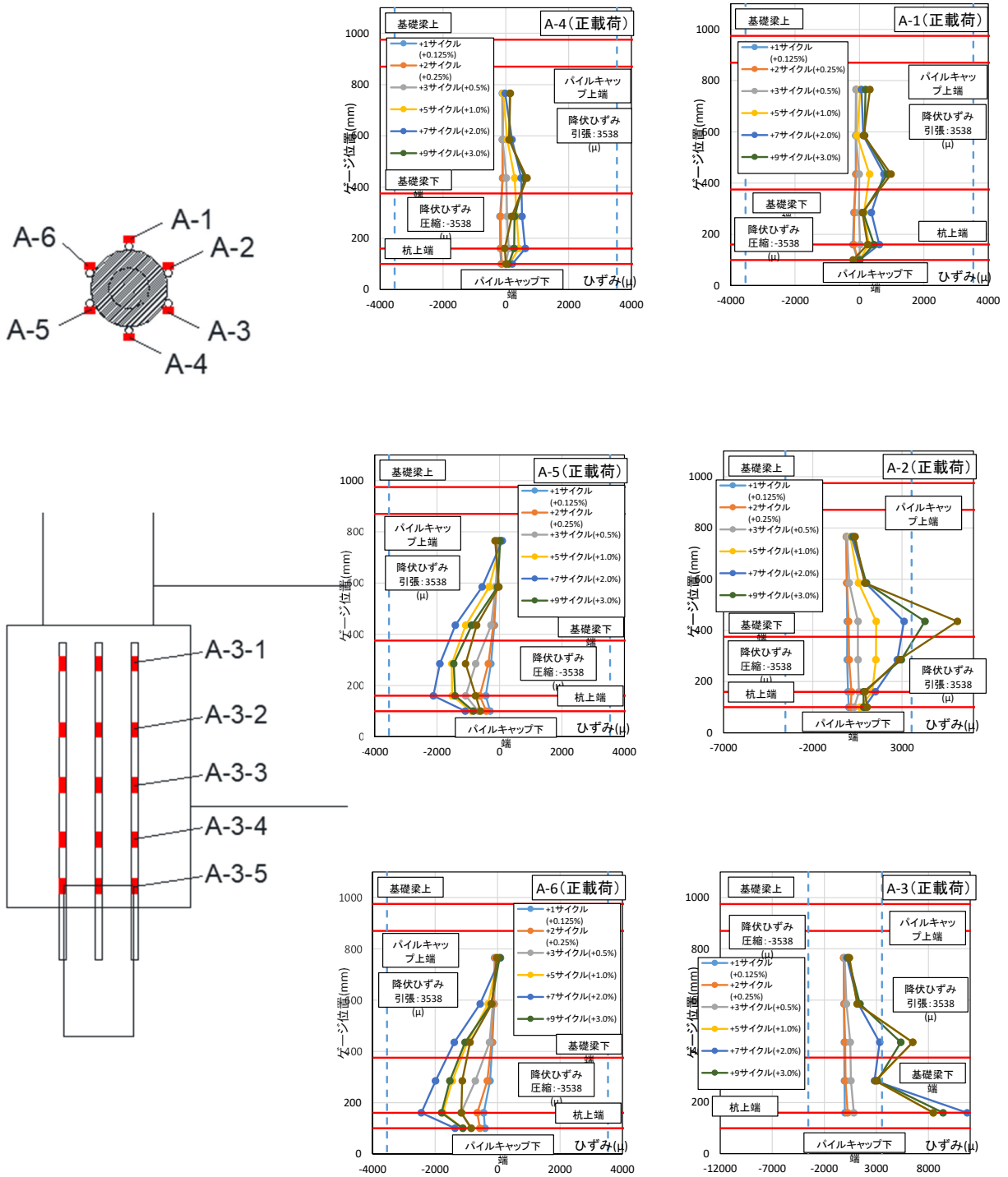


図 3.1.3-62 試験体 D-3 杭頭定着筋ひずみ分布 (正載荷)

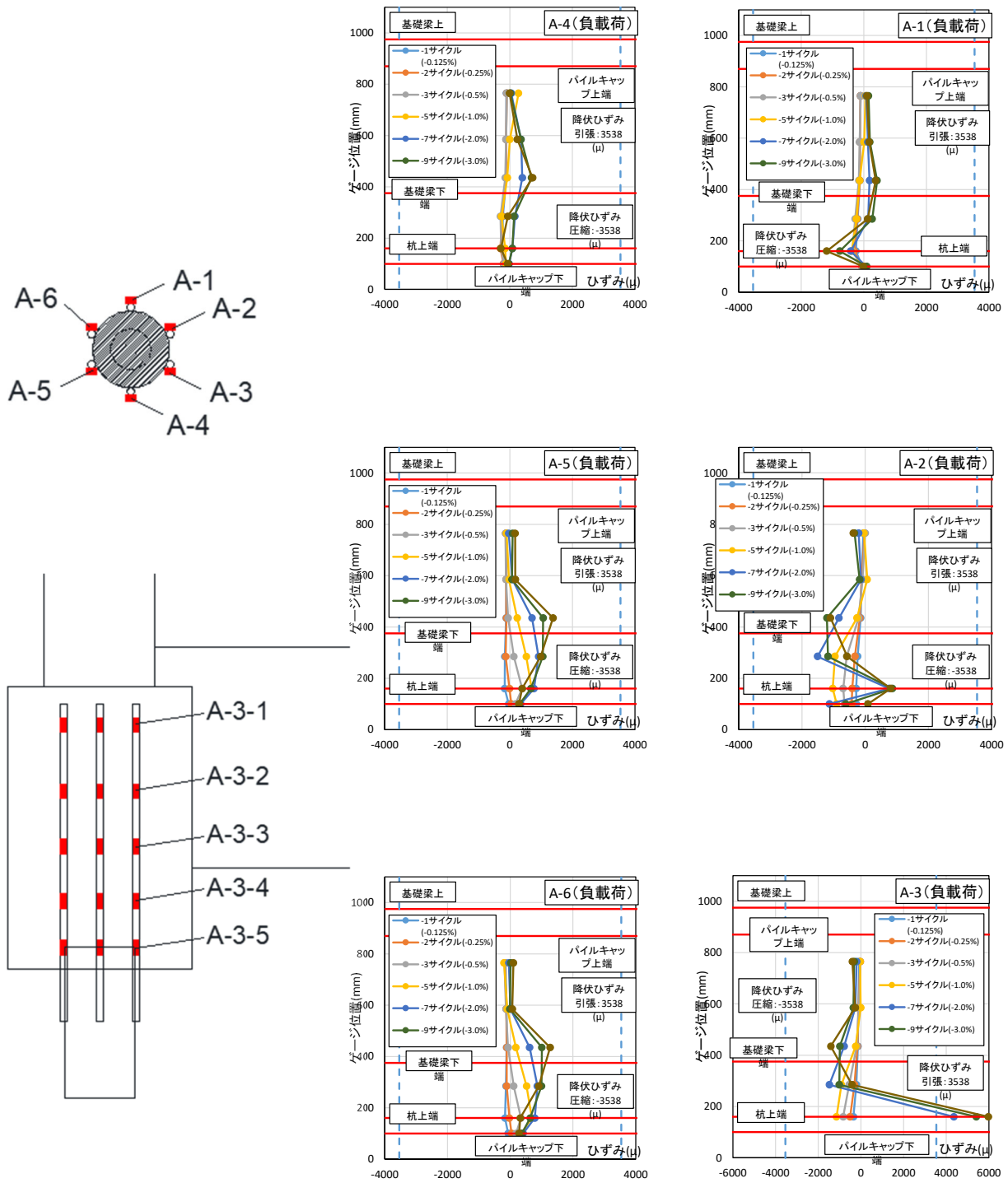


図 3. 1. 3-63 試験体 D-3 杭頭定着筋ひずみ分布(負荷)

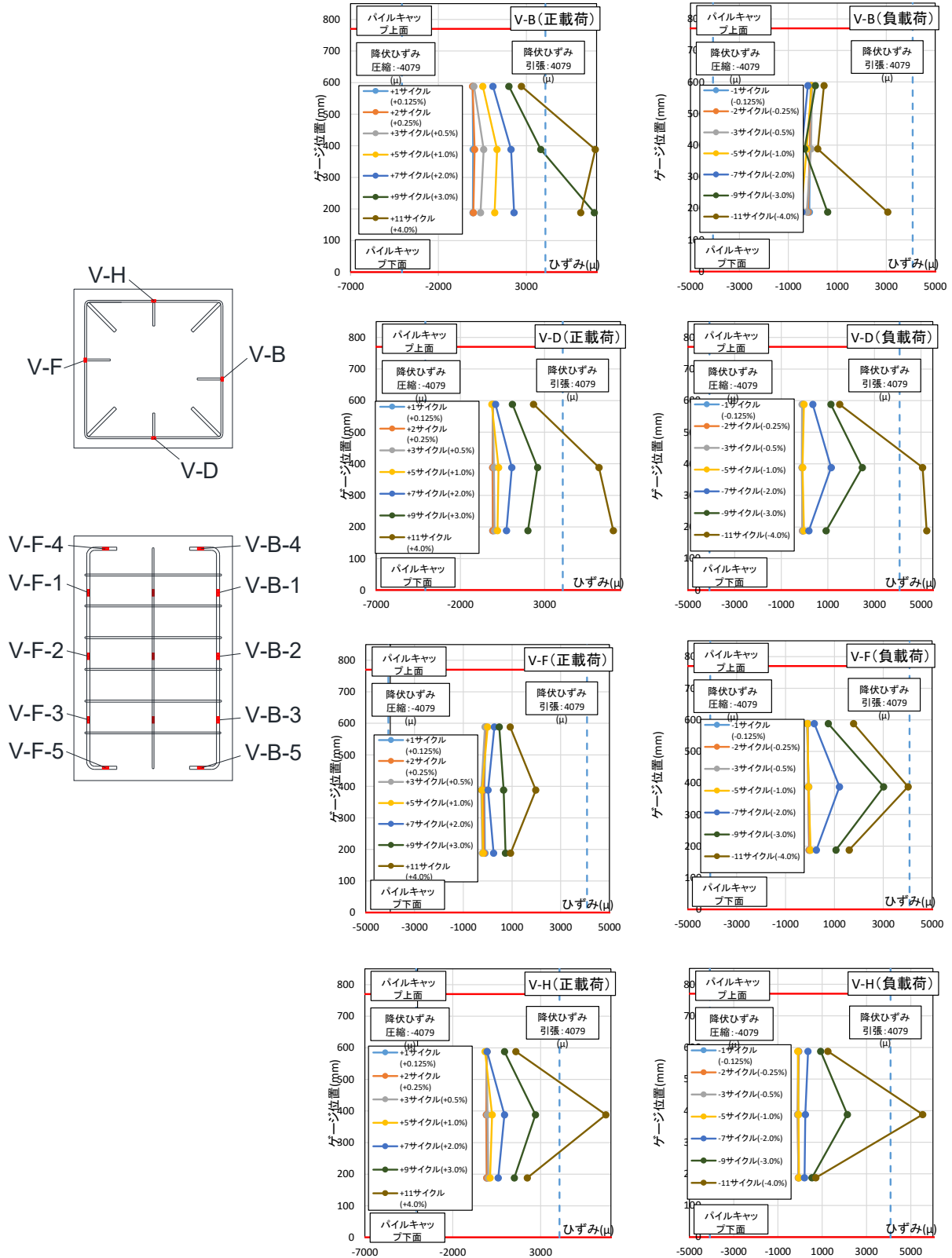


図 3.1.3-65 試験体 D-3 パイルキャップ縦筋ひずみ分布(対面部)

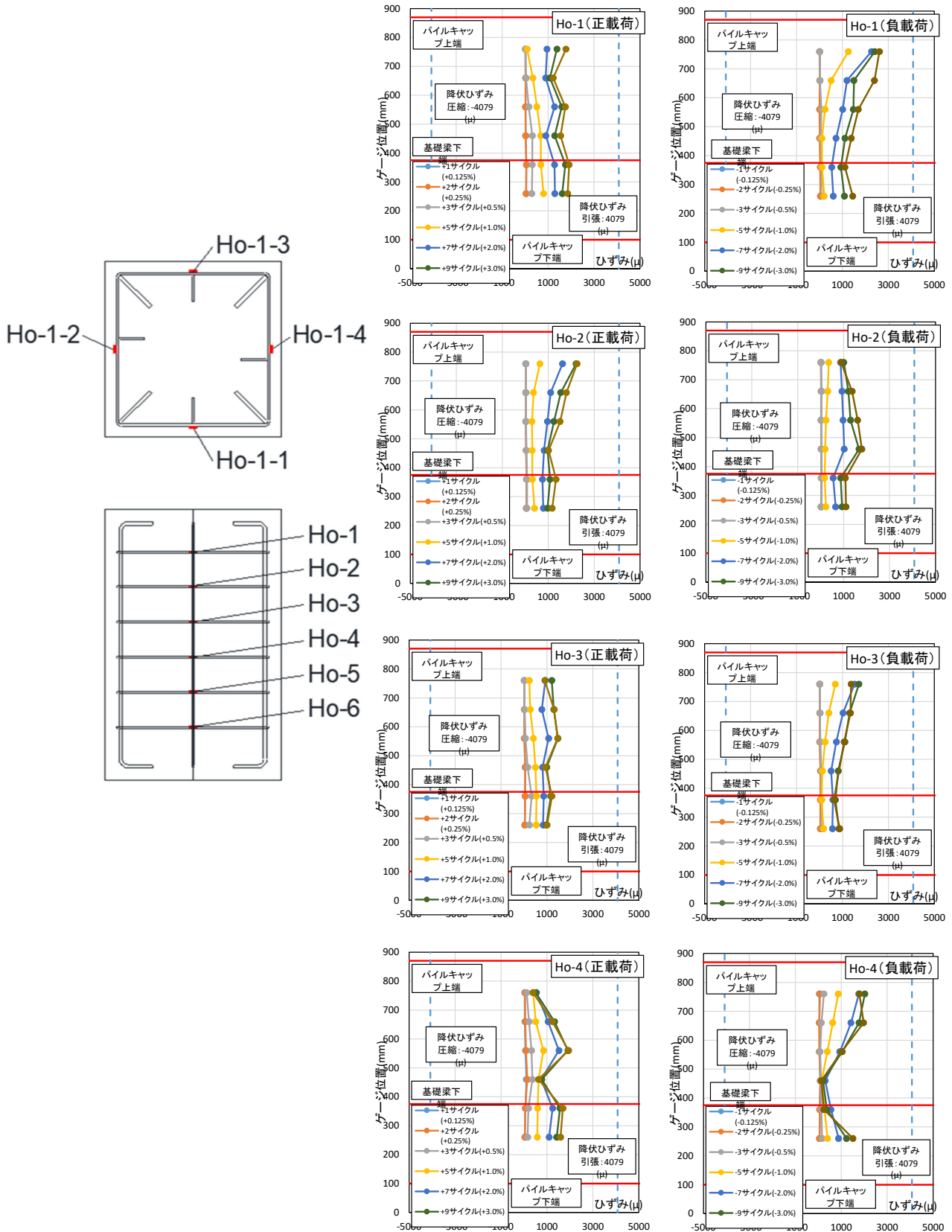


図 3.1.3-66 試験体 D-3 パイルキャップ帯筋ひずみ分布

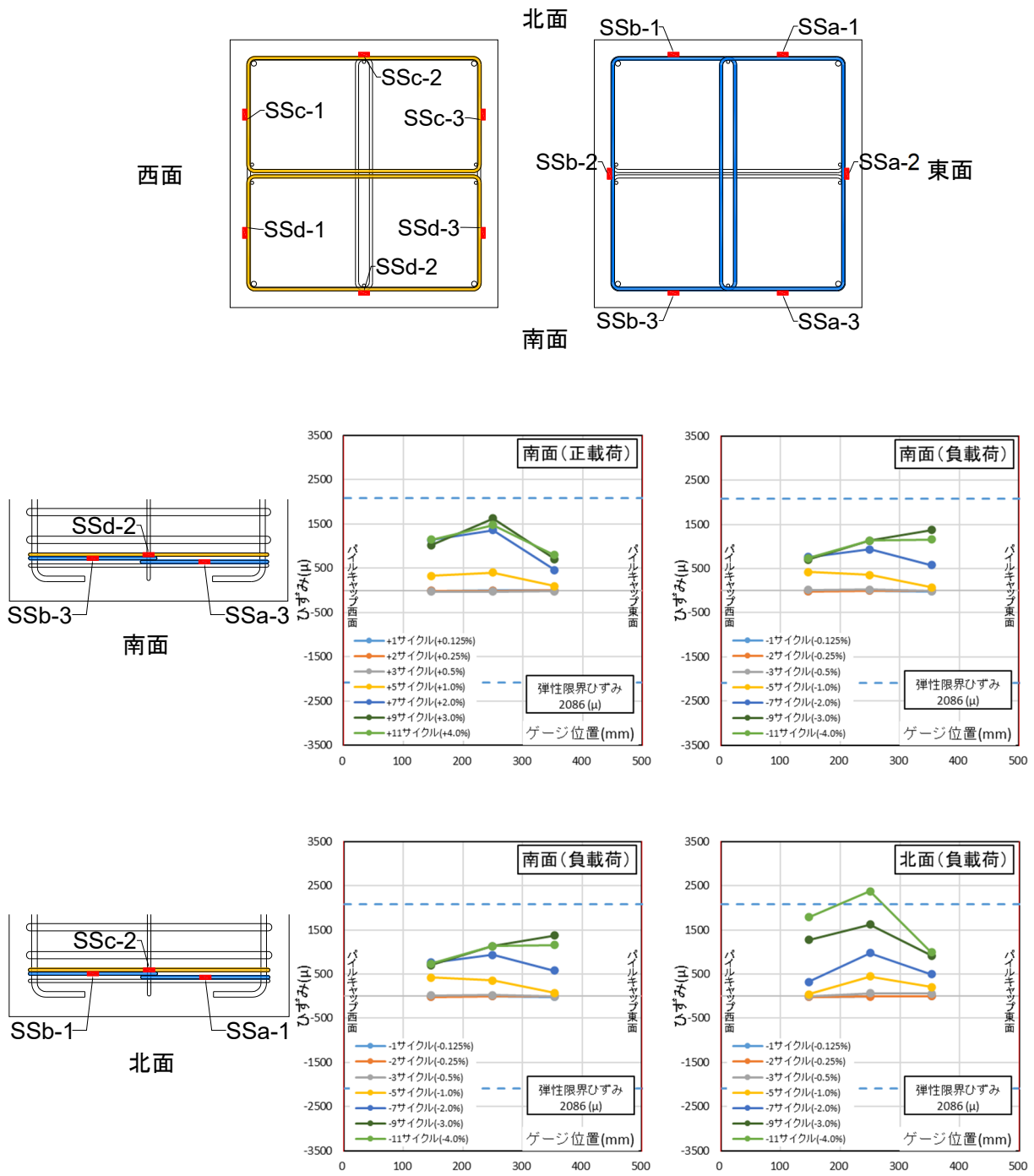


図 3.1.3-67 試験体 D-3 パイルキャップ埋込補強筋ひずみ分布(南面,北面)

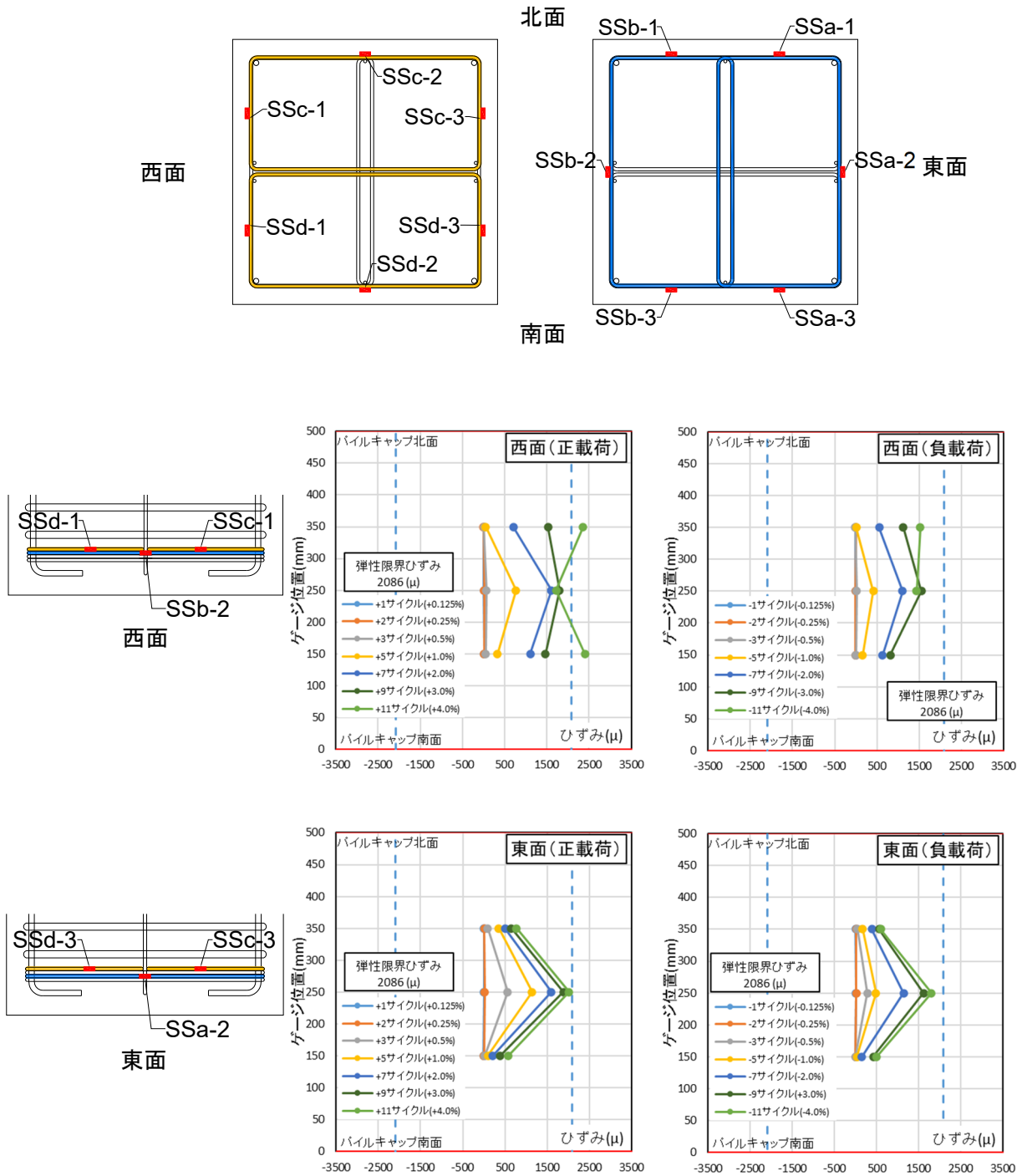


図 3.1.3-68 試験体 D-3 パイルキャップ埋込補強筋ひずみ分布 (西面, 東面)

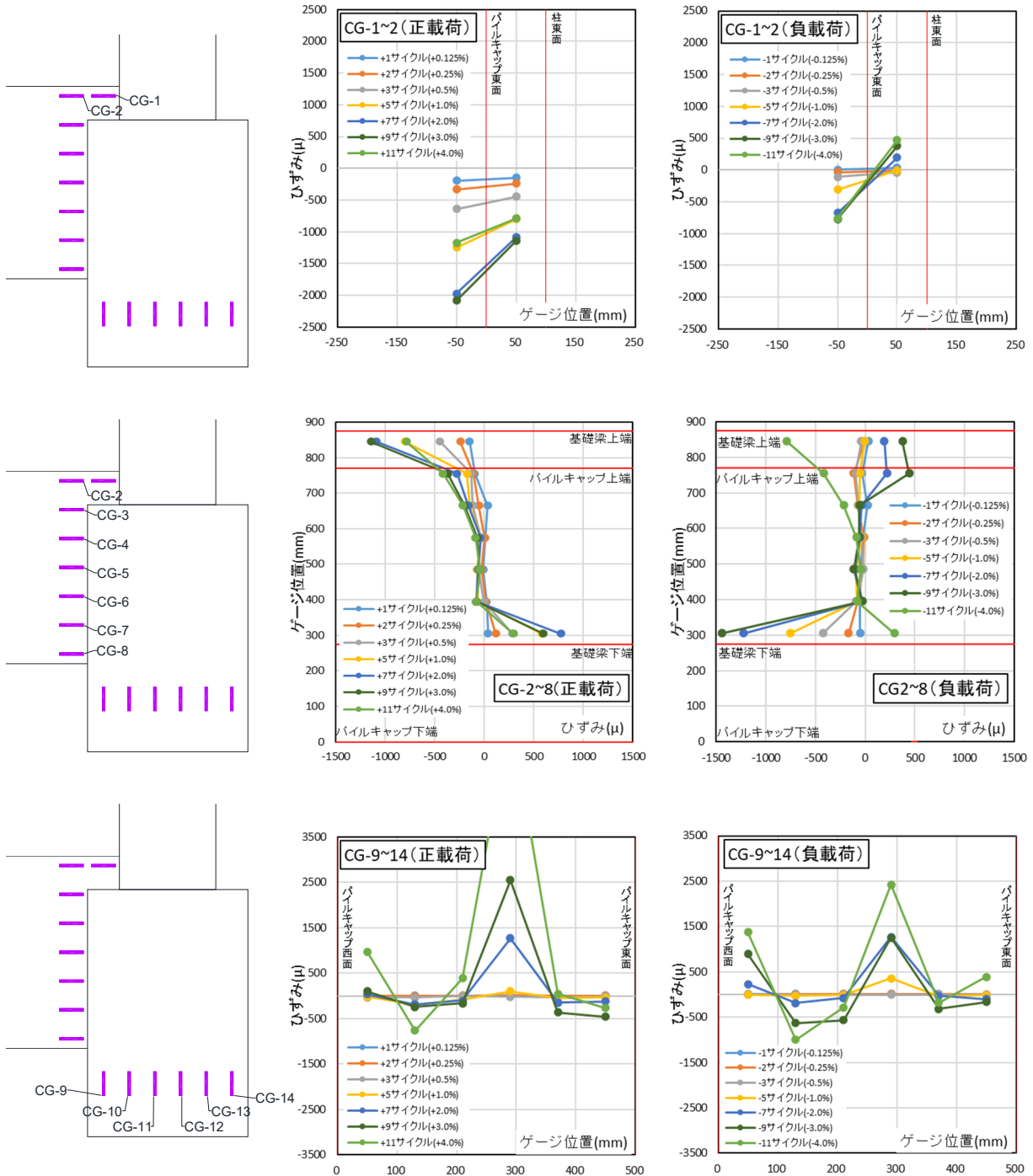


図 3.1.3-69 試験体 D-3 コンクリートひずみ分布

○ 試験体 D-4

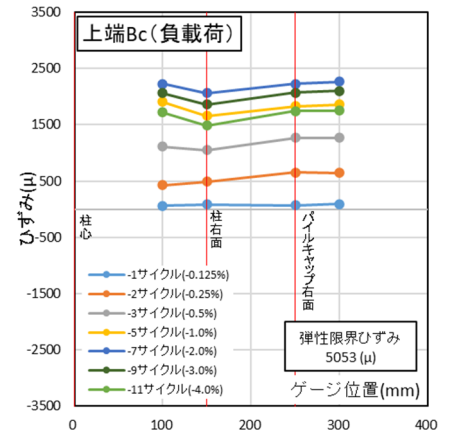
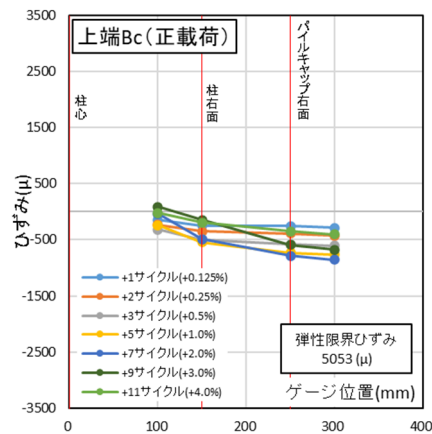
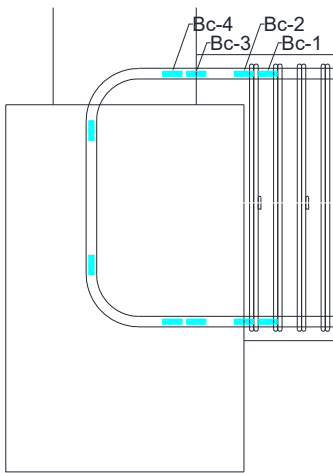
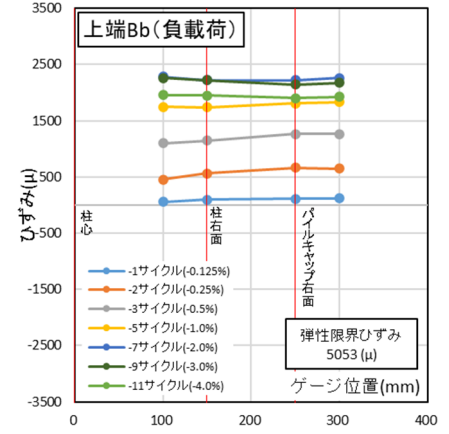
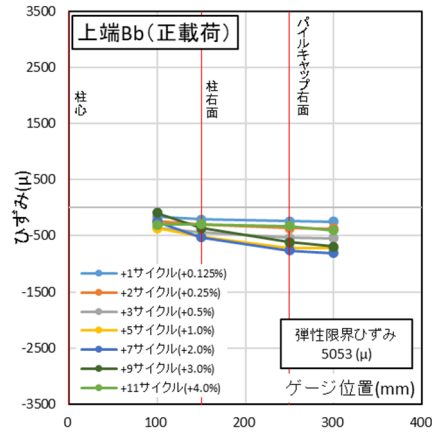
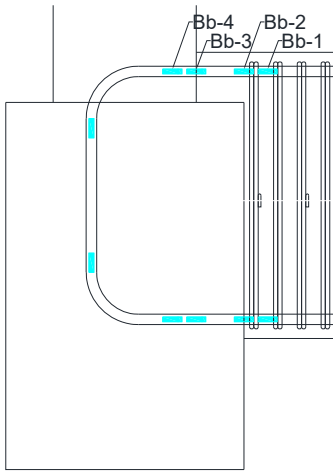
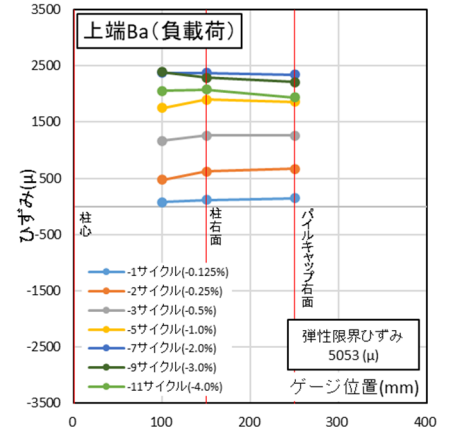
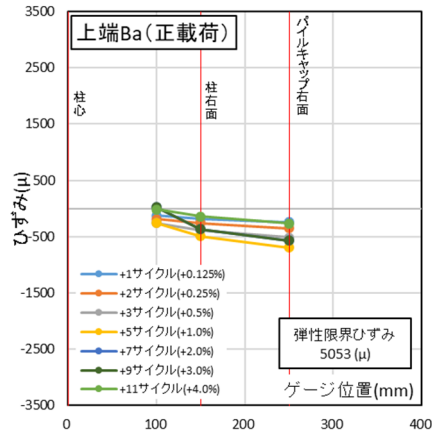
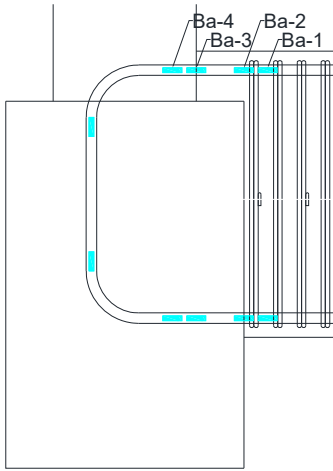


図 3.1.3-70 試験体 D-4 基礎梁主筋上端ひずみ分布

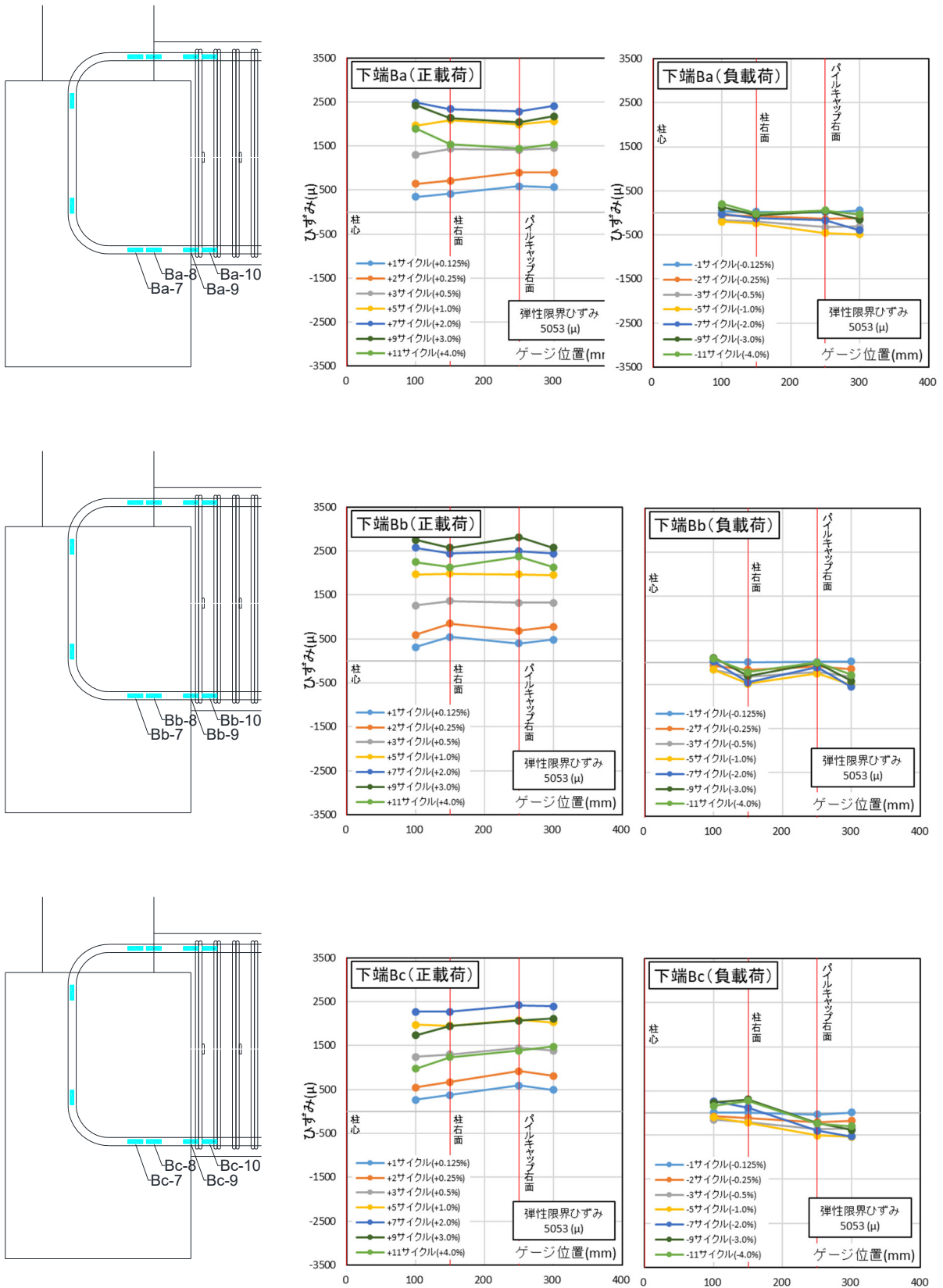


図 3.1.3-71 試験体 D-4 基礎梁主筋下端ひずみ分布

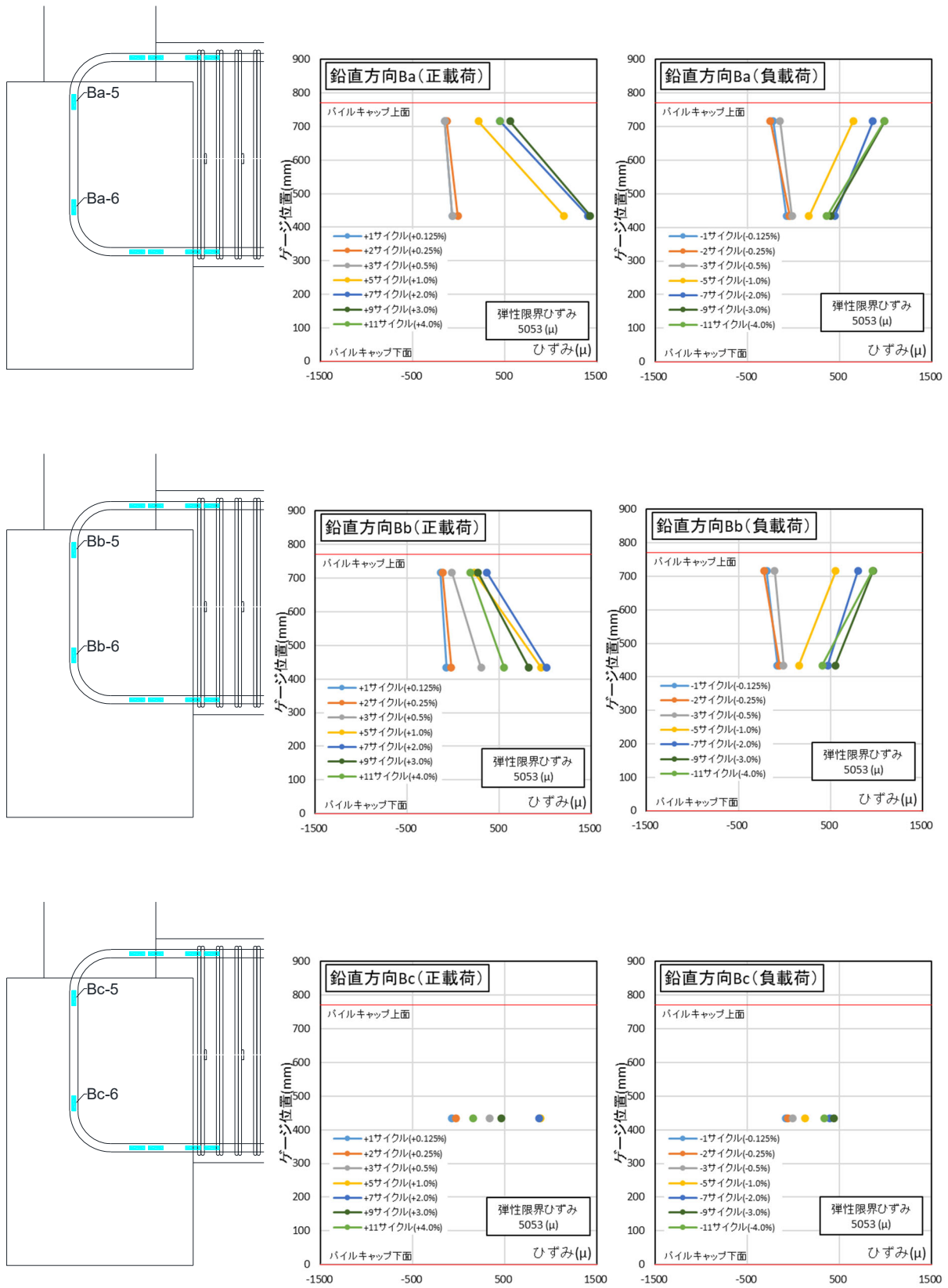


図 3. 1. 3-72 試験体 D-4 基礎梁主筋折り曲げ部ひずみ分布

第3章 既製杭を対象とした靱性のある杭頭接合面降伏の実現可能性を確認するための実験

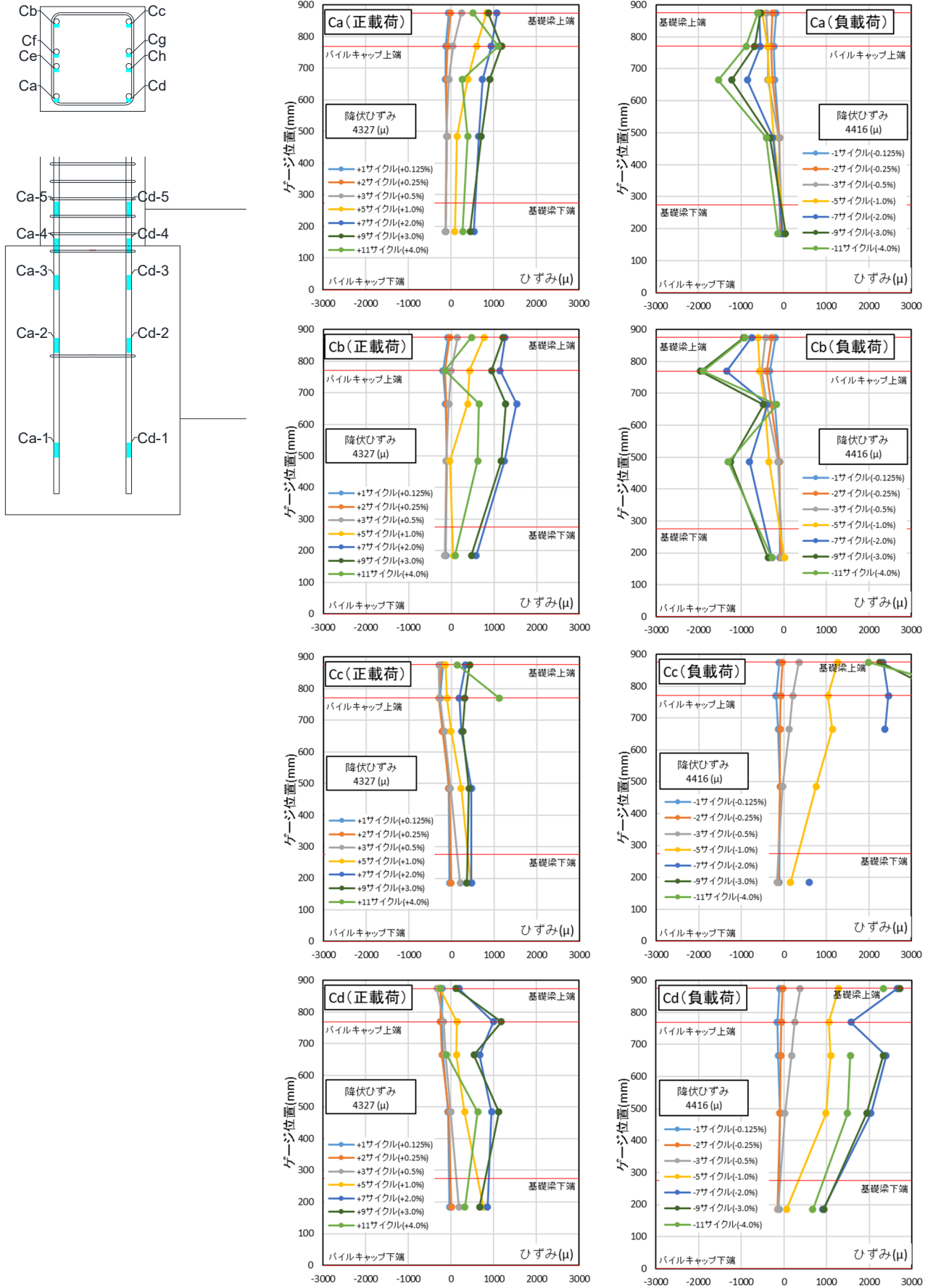


図 3.1.3-73 試験体 D-4 柱主筋ひずみ分布 (Ca~Cd)

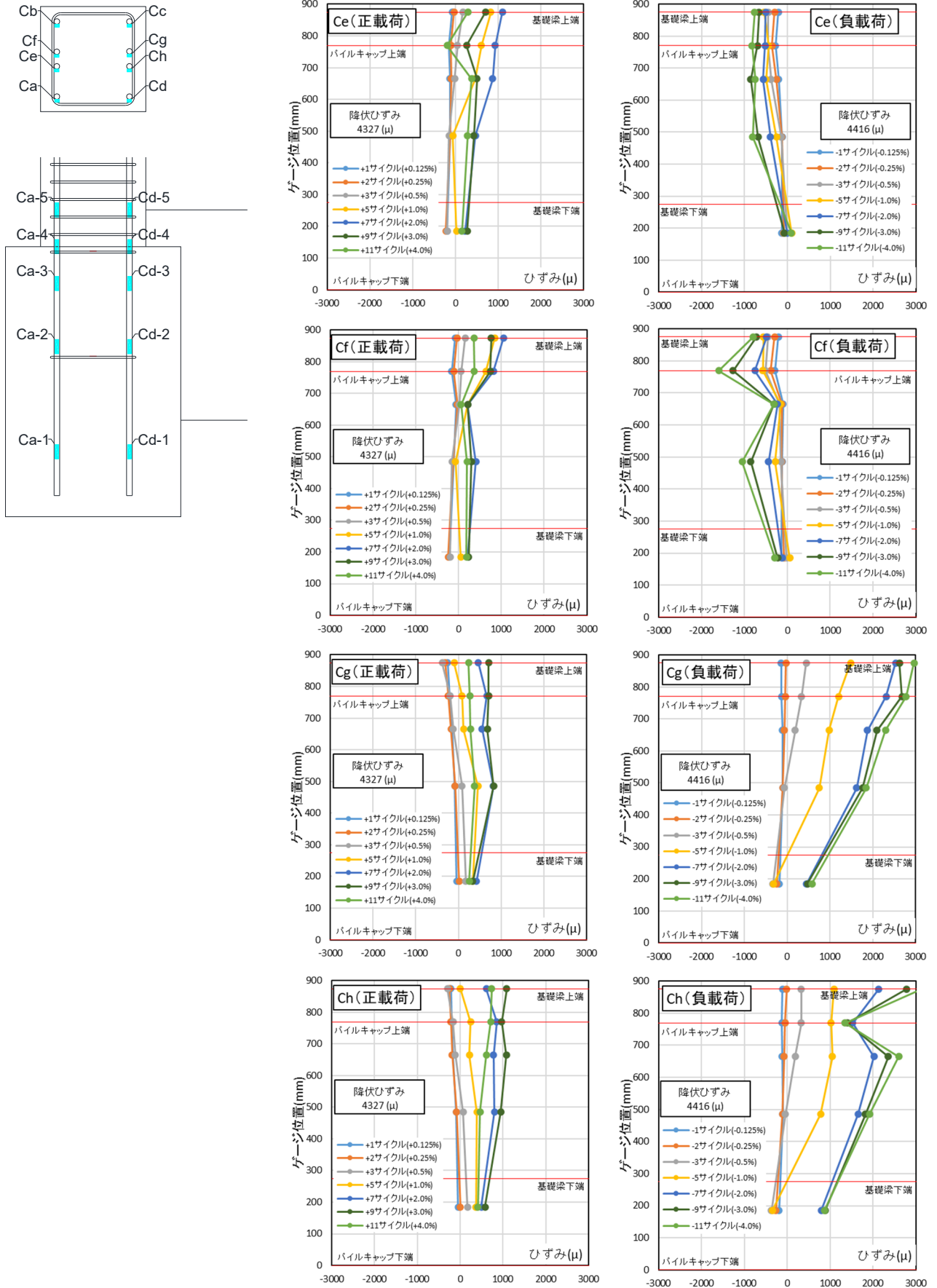


図 3.1.3-74 試験体 D-4 柱主筋ひずみ分布 (Ce~Ch)

第3章 既製杭を対象とした靱性のある杭頭接合面降伏の実現可能性を確認するための実験

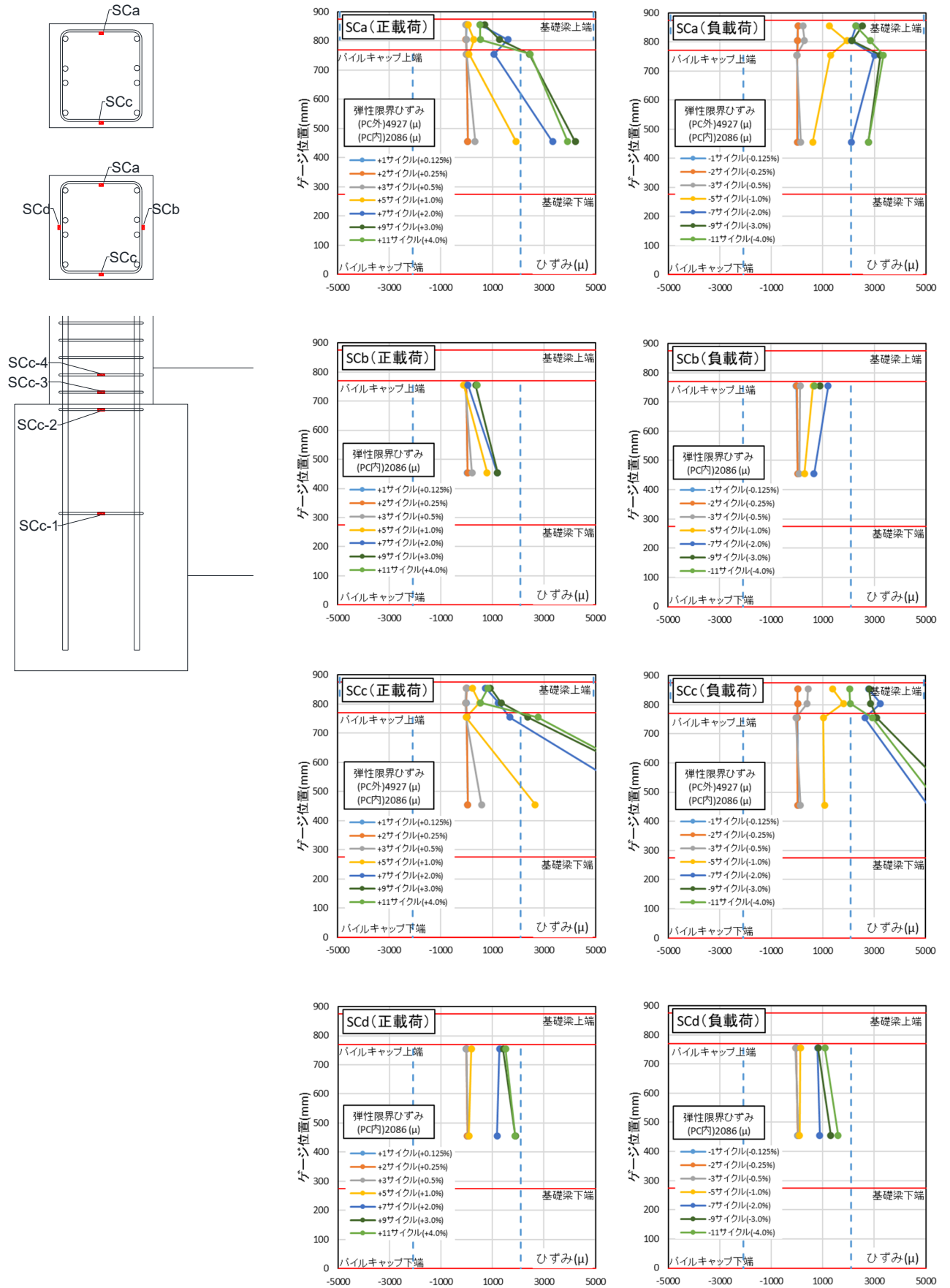


図 3.1.3-75 試験体D-4 柱帯筋ひずみ分布

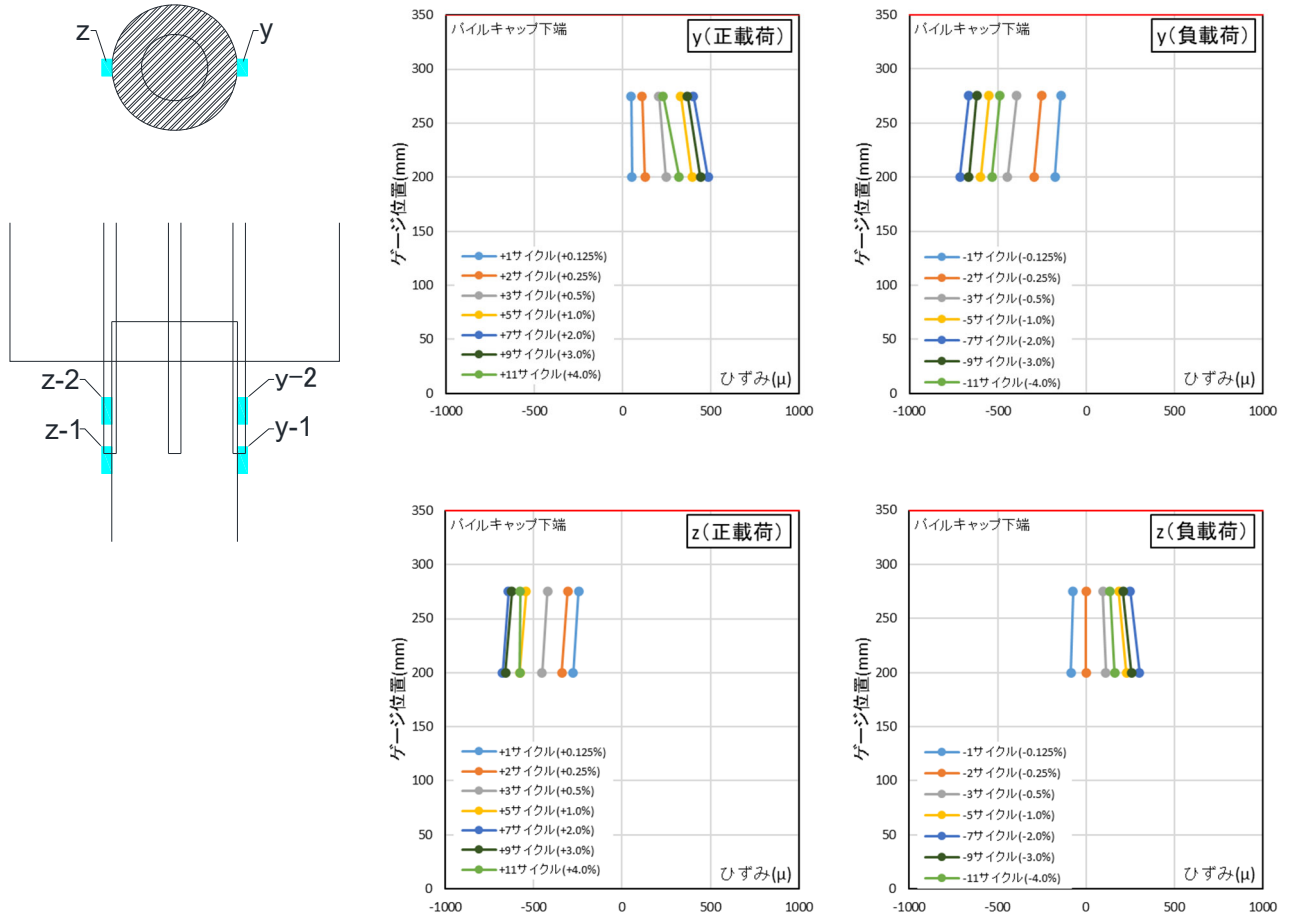


図 3.1.3-76 試験体 D-4 杭体ひずみ分布

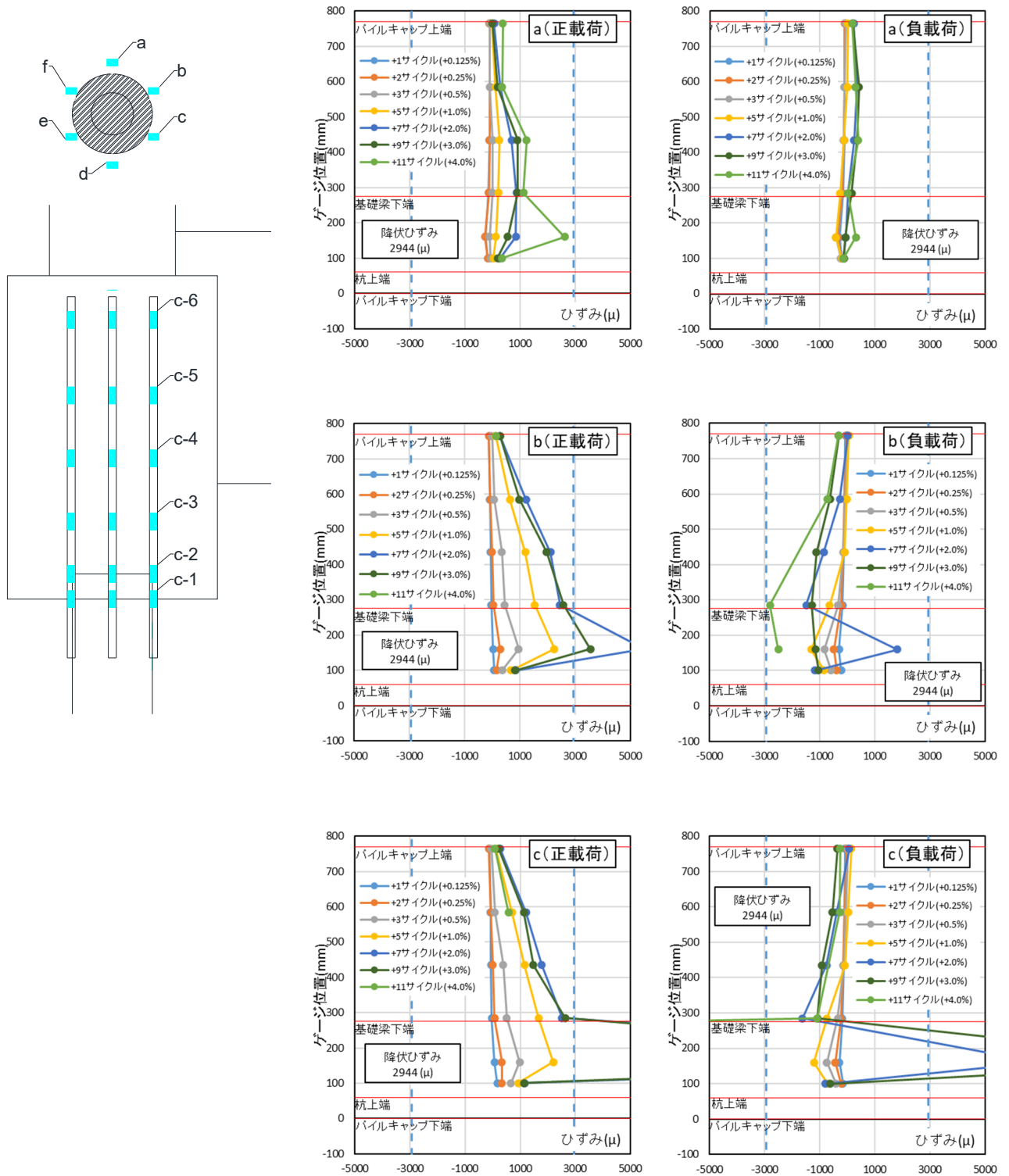


図 3.1.3-77 試験体 D-4 アンカー筋ひずみ分布 (a~c)

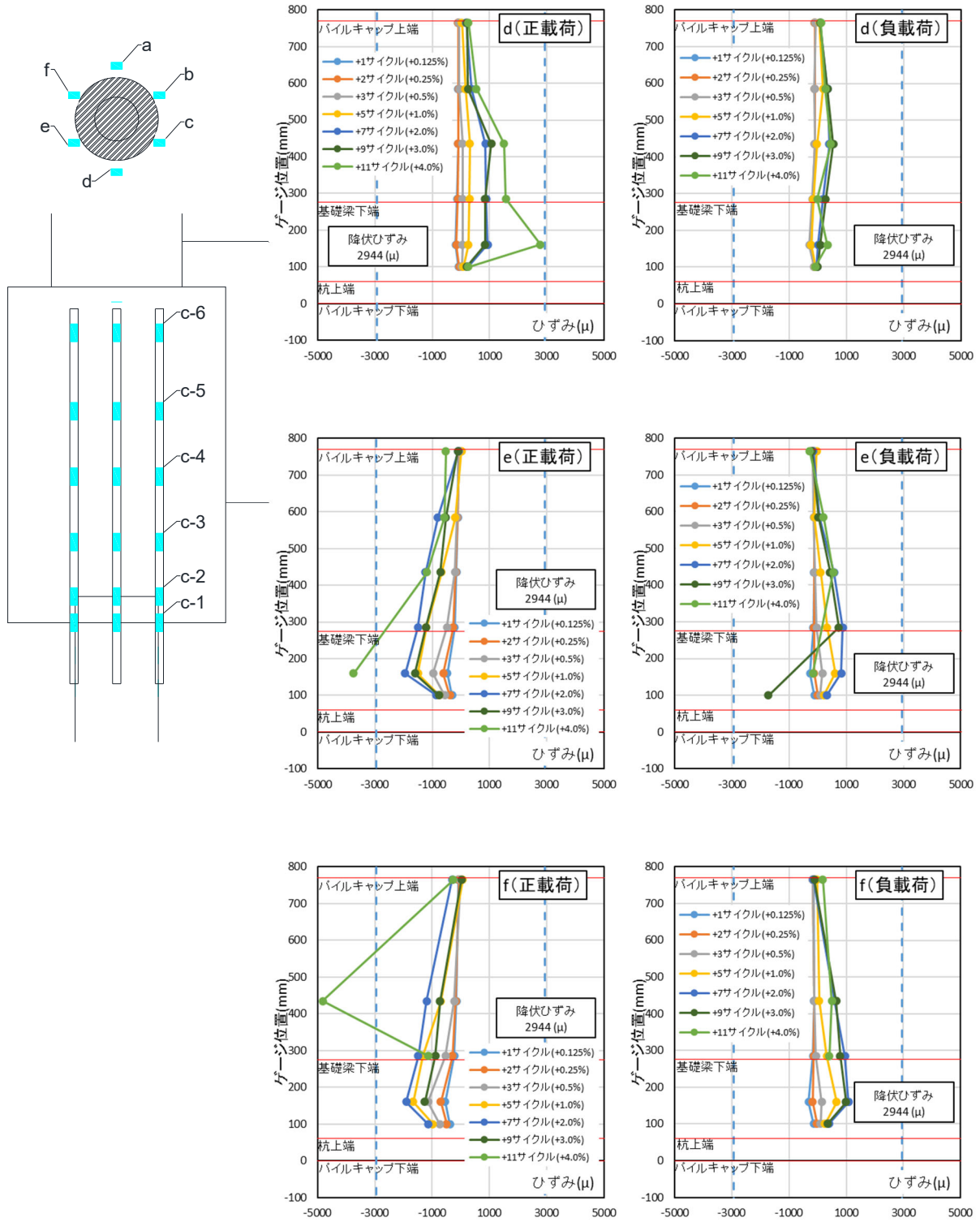


図 3.1.3-78 試験体 D-4 アンカー筋ひずみ分布 (d~f)

第3章 既製杭を対象とした靱性のある杭頭接合面降伏の実現可能性を確認するための実験

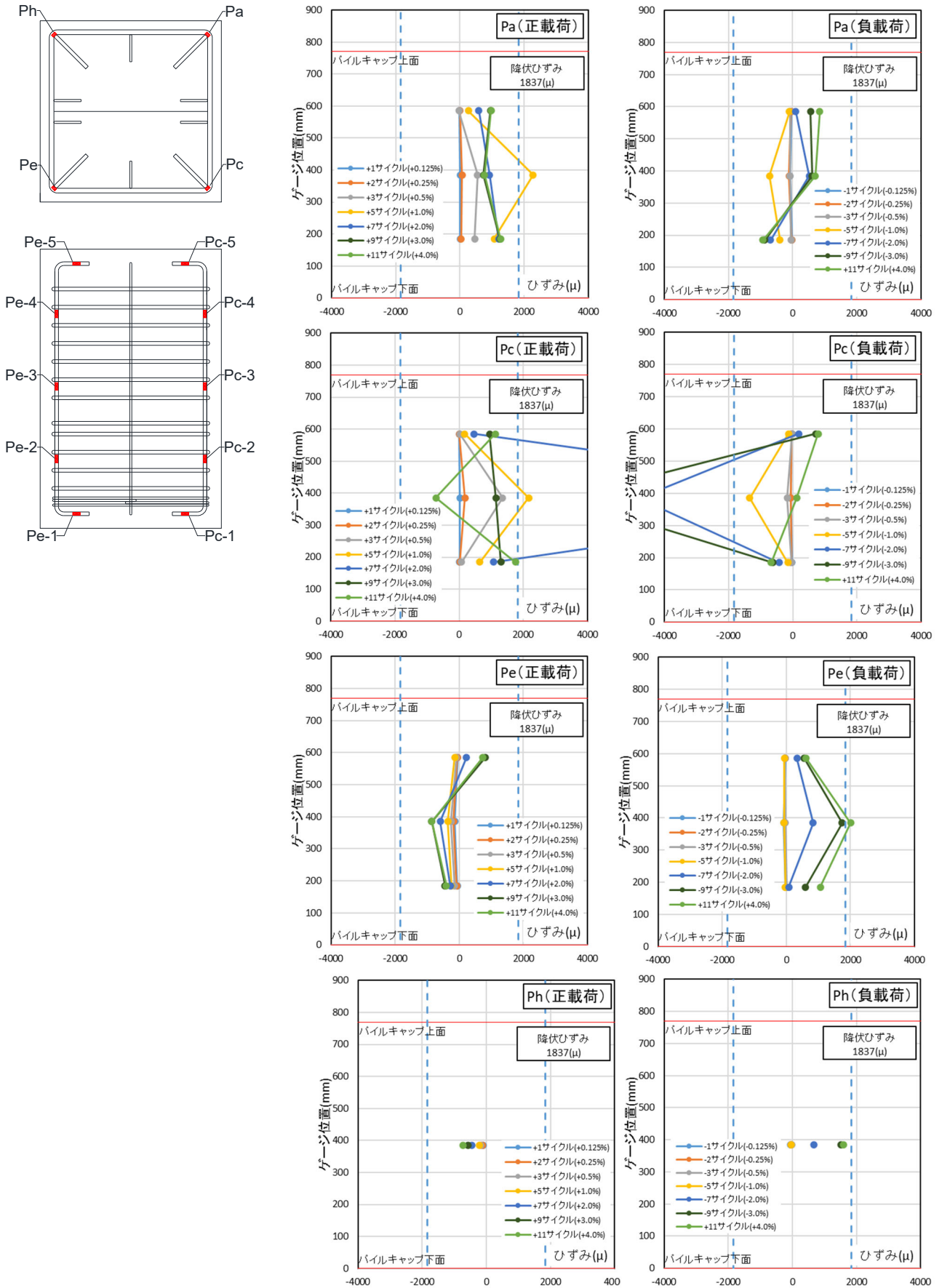


図 3.1.3-79 試験体 D-4 パイルキャップ縦筋(対角)ひずみ分布

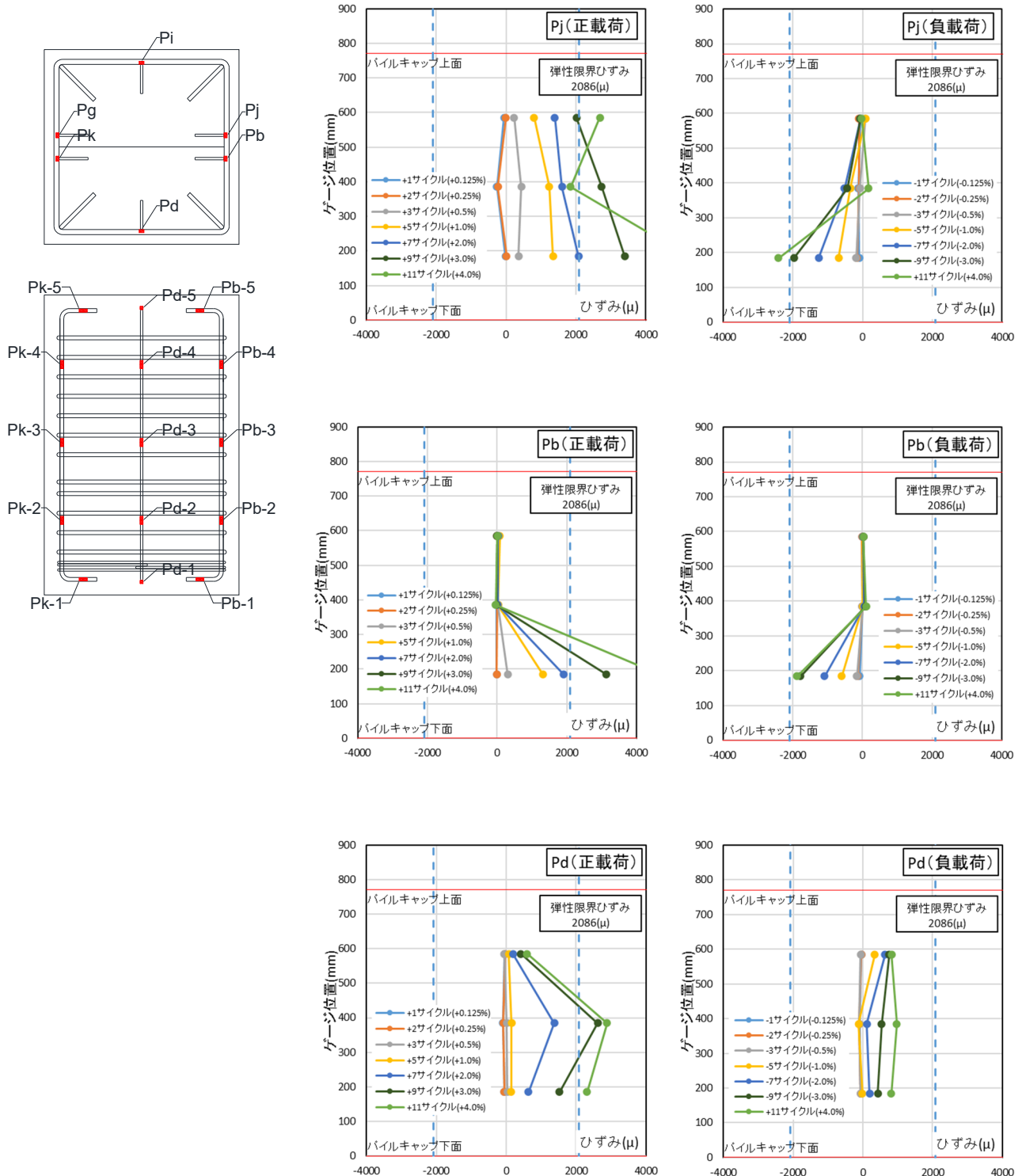


図 3.1.3-80 試験体 D-4 パイルキャップ縦筋(対面)ひずみ分布 (Pj, Pb, Pd)

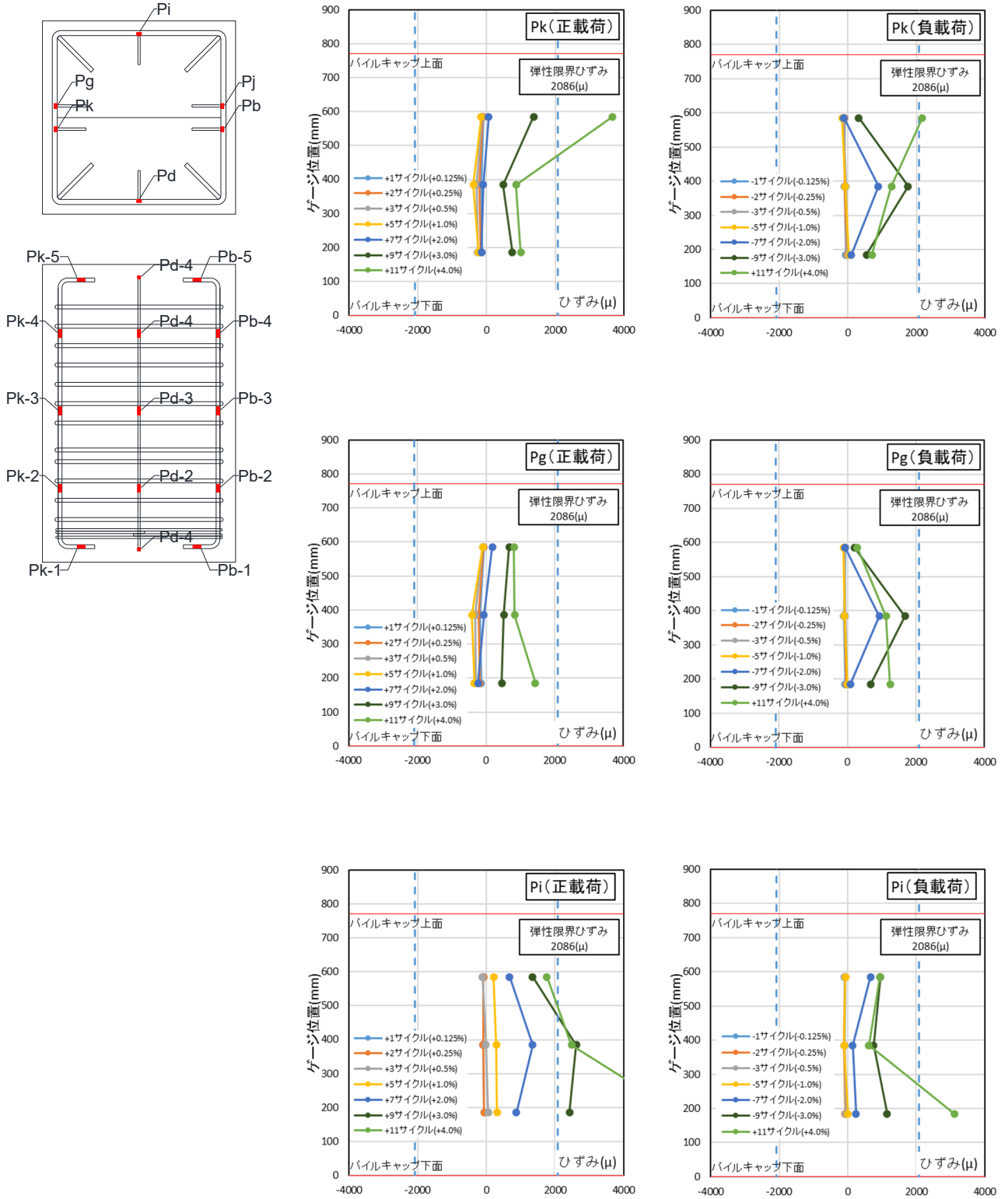


図 3.1.3-81 試験体 D-4 パイルキャップ縦筋(対面)ひずみ分布 (Pk, Pg, Pi)

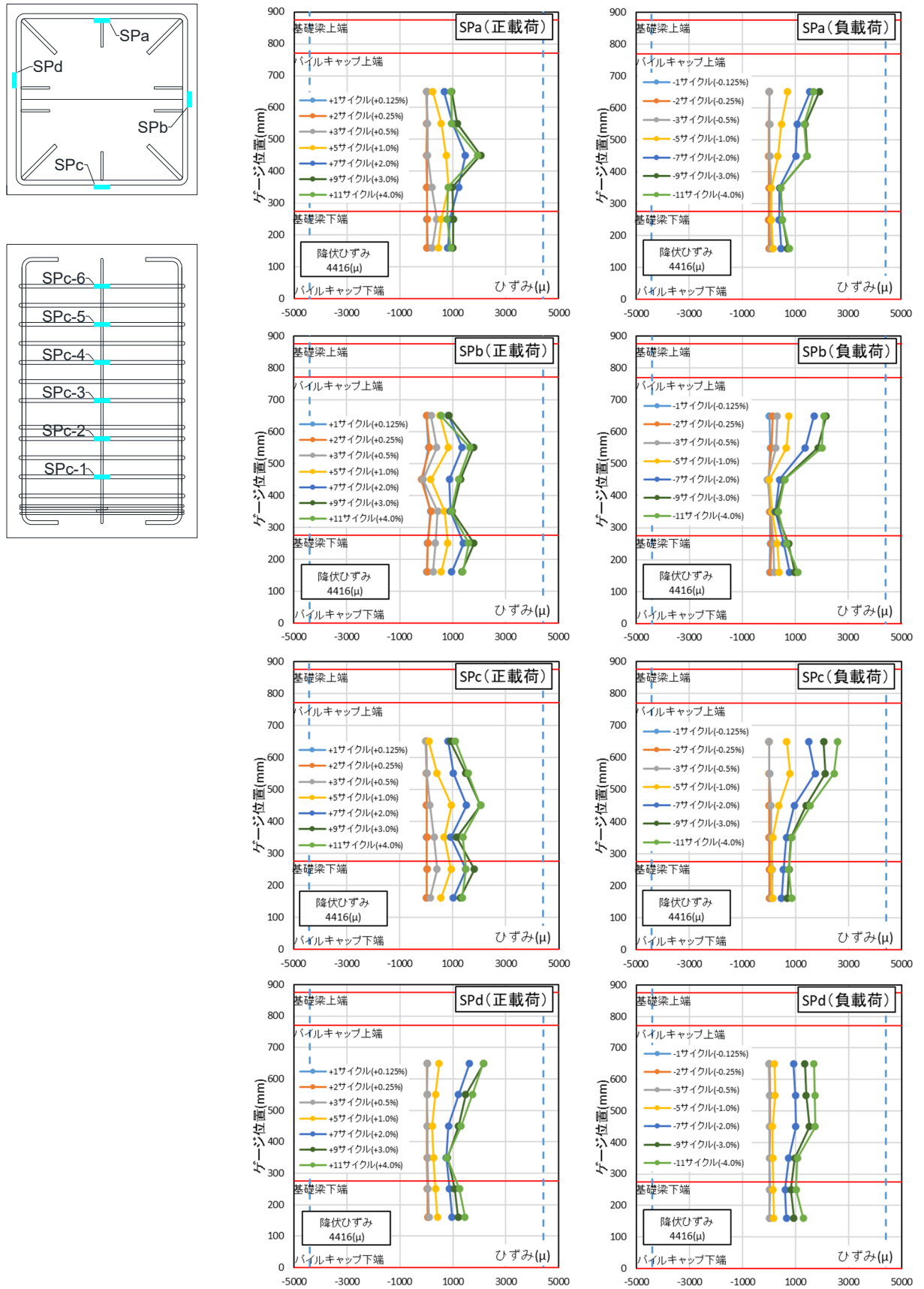


図 3.1.3-82 試験体 D-4 パイルキャップ帯筋ひずみ分布

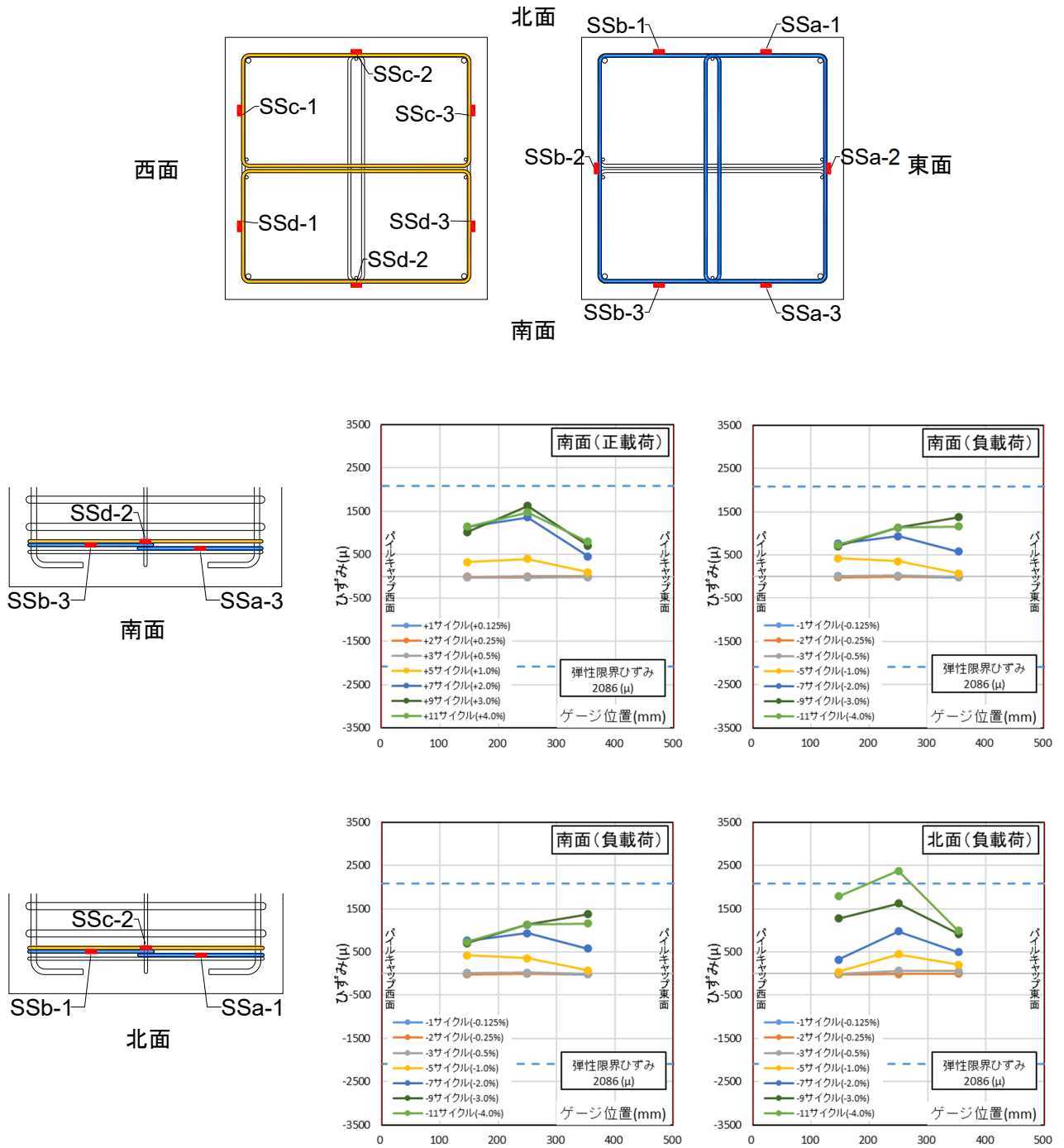


図 3.1.3-83 試験体 D-4 パイルキャップ埋込補強筋ひずみ分布(南面,北面)

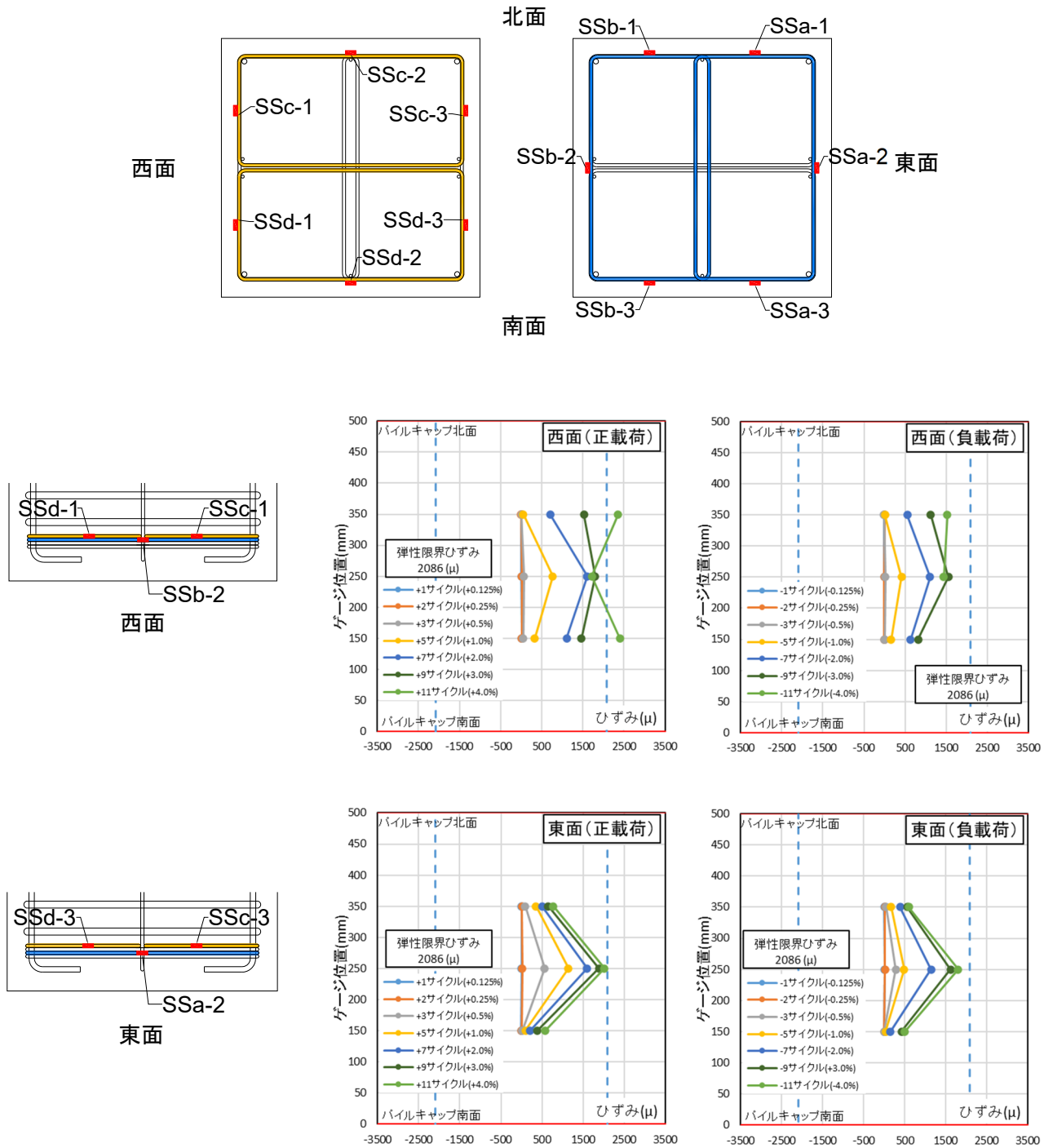


図 3.1.3-84 試験体 D-4 パイルキャップ埋込補強筋ひずみ分布 (西面, 東面)

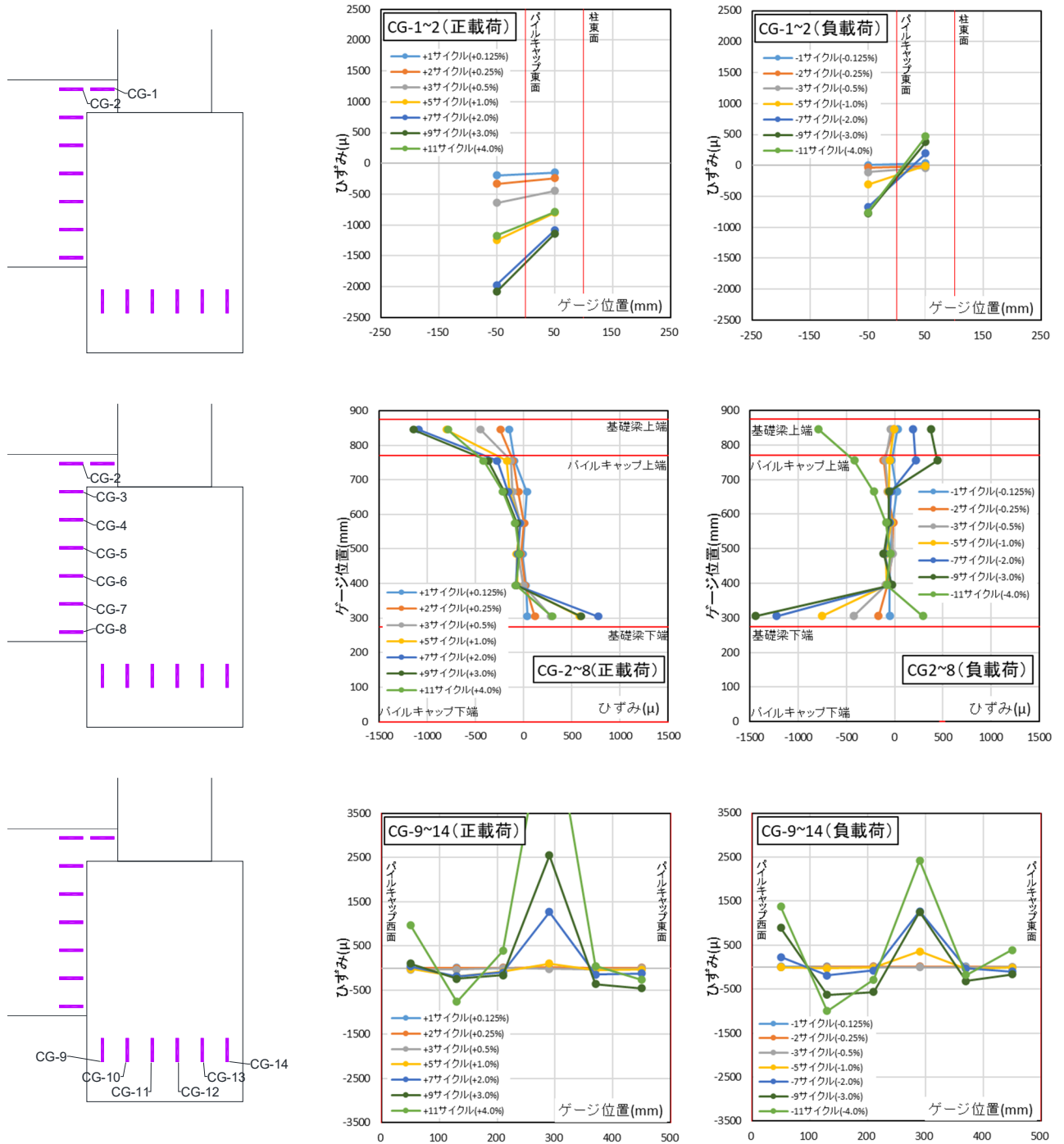


図 3.1.3-85 試験体 D-4 コンクリートひずみ分布

(5) コンクリートのひずみ分布

図 3.1.3-86～図 3.1.3-89 に試験体 D-4 の各ピーク時のひずみ分布を、図 3.1.3-90～図 3.1.3-93 に試験体 D-3 の各ピーク時のひずみ分布を示す。

○ 試験体 D-4

・ 梁 (正載荷時)

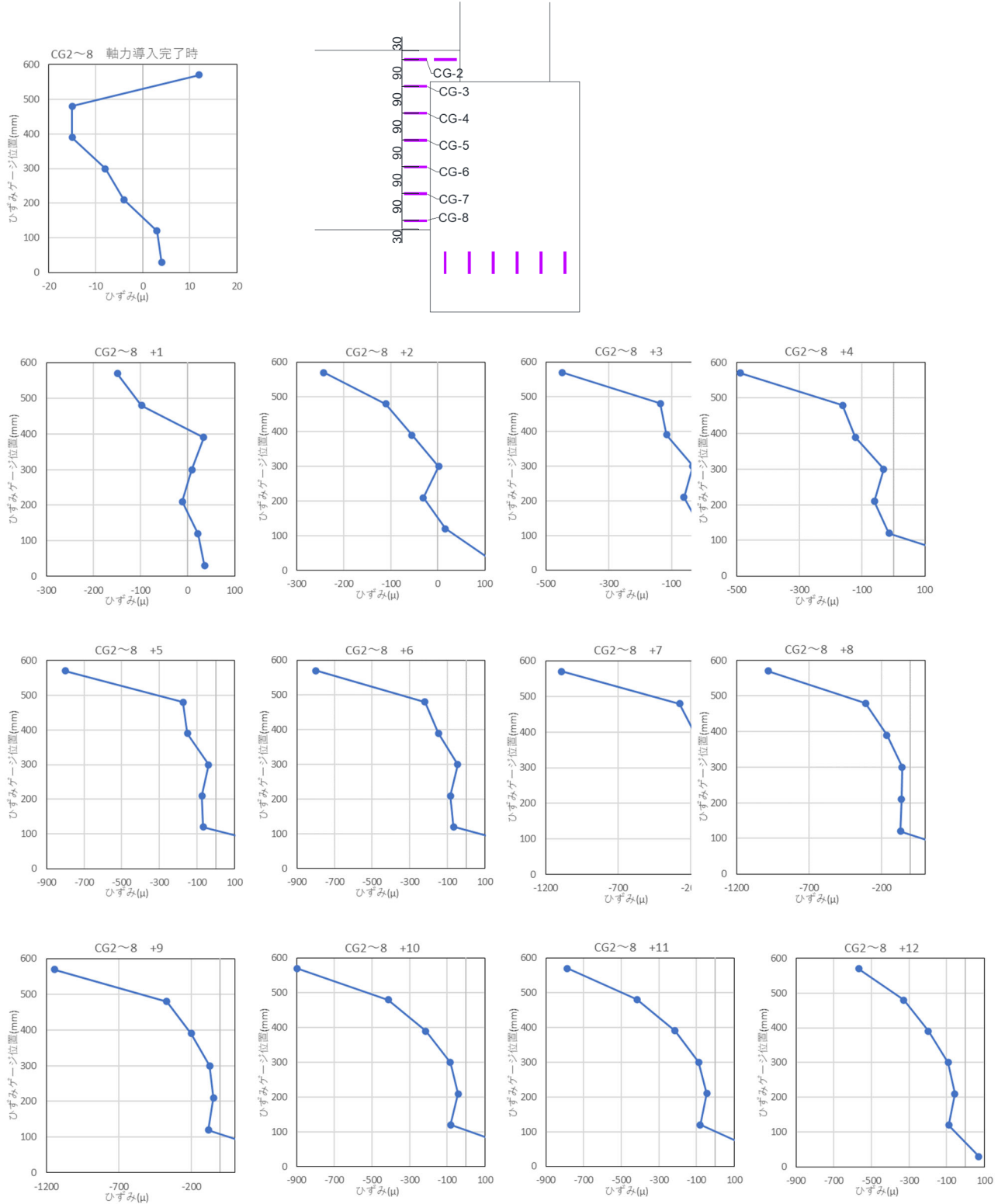


図 3.1.3-86 試験体 D-4 各ピーク時ひずみ (正載荷)

・梁（負荷荷時）

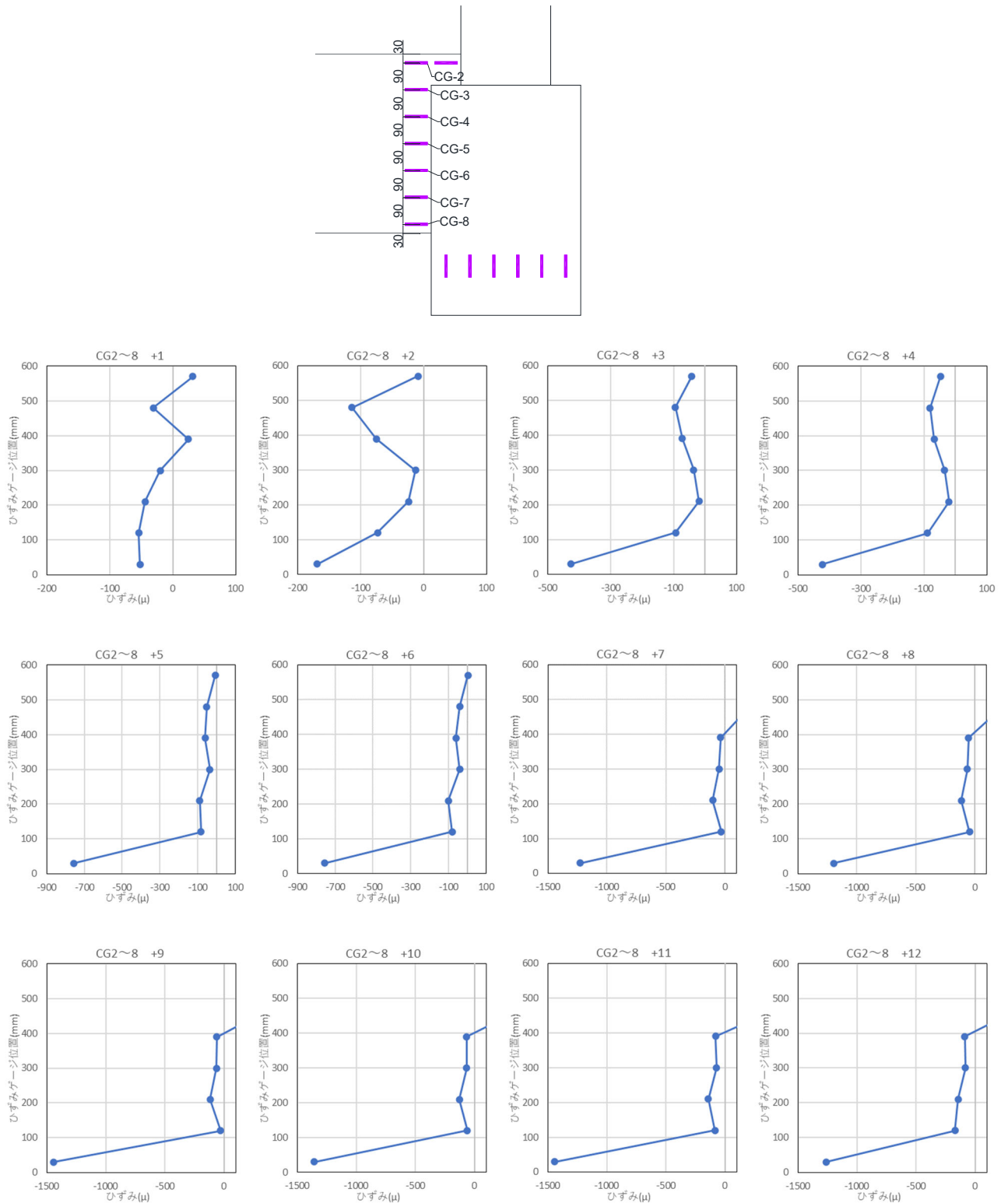


図 3.1.3-87 試験体 D-4 各ピーク時ひずみ(負荷荷)

・パイルキャップ（正載荷時）

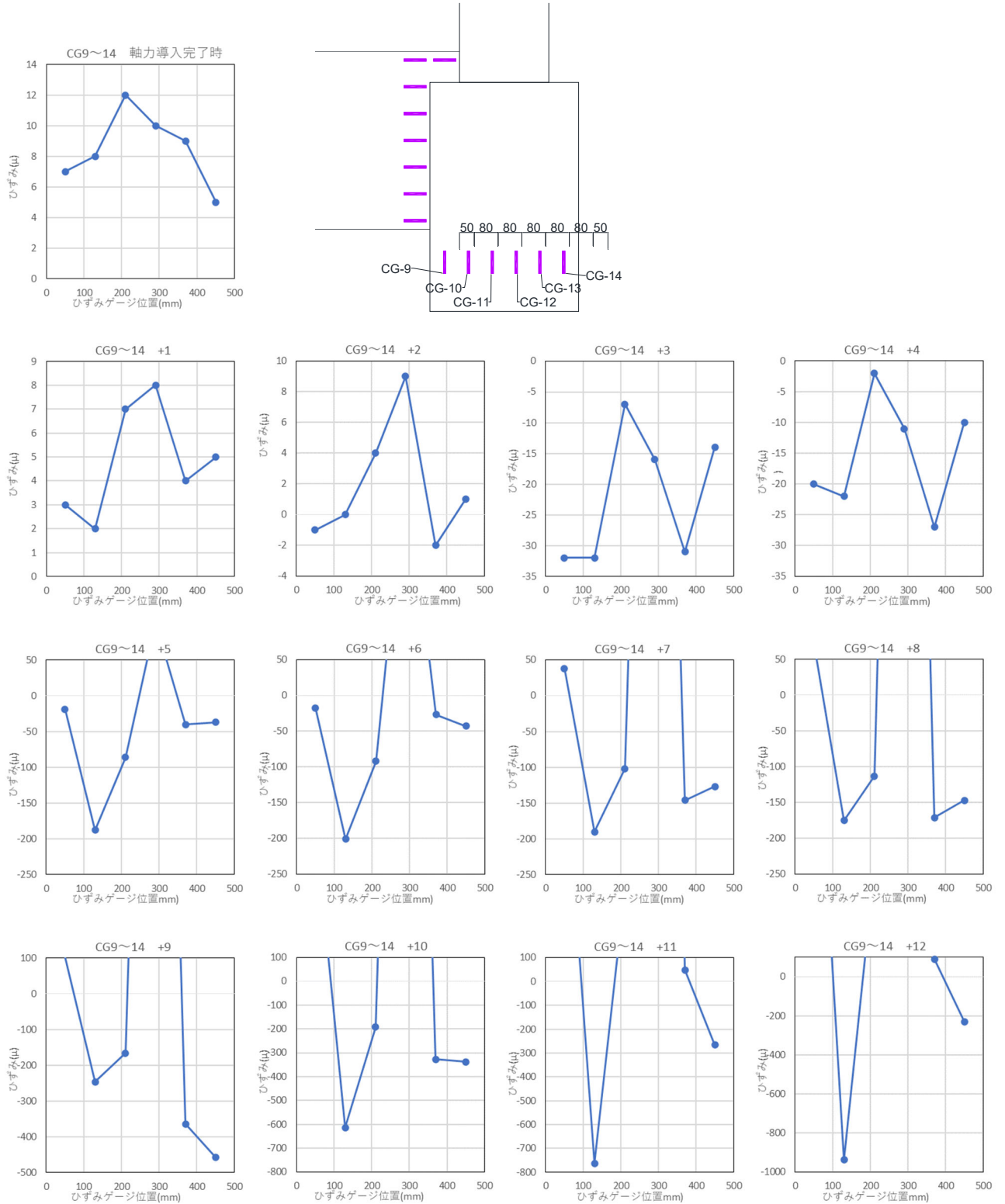


図 3.1.3-88 試験体 D-4 各ピーク時ひずみ(正載荷)

・パイルキャップ (負荷荷時)

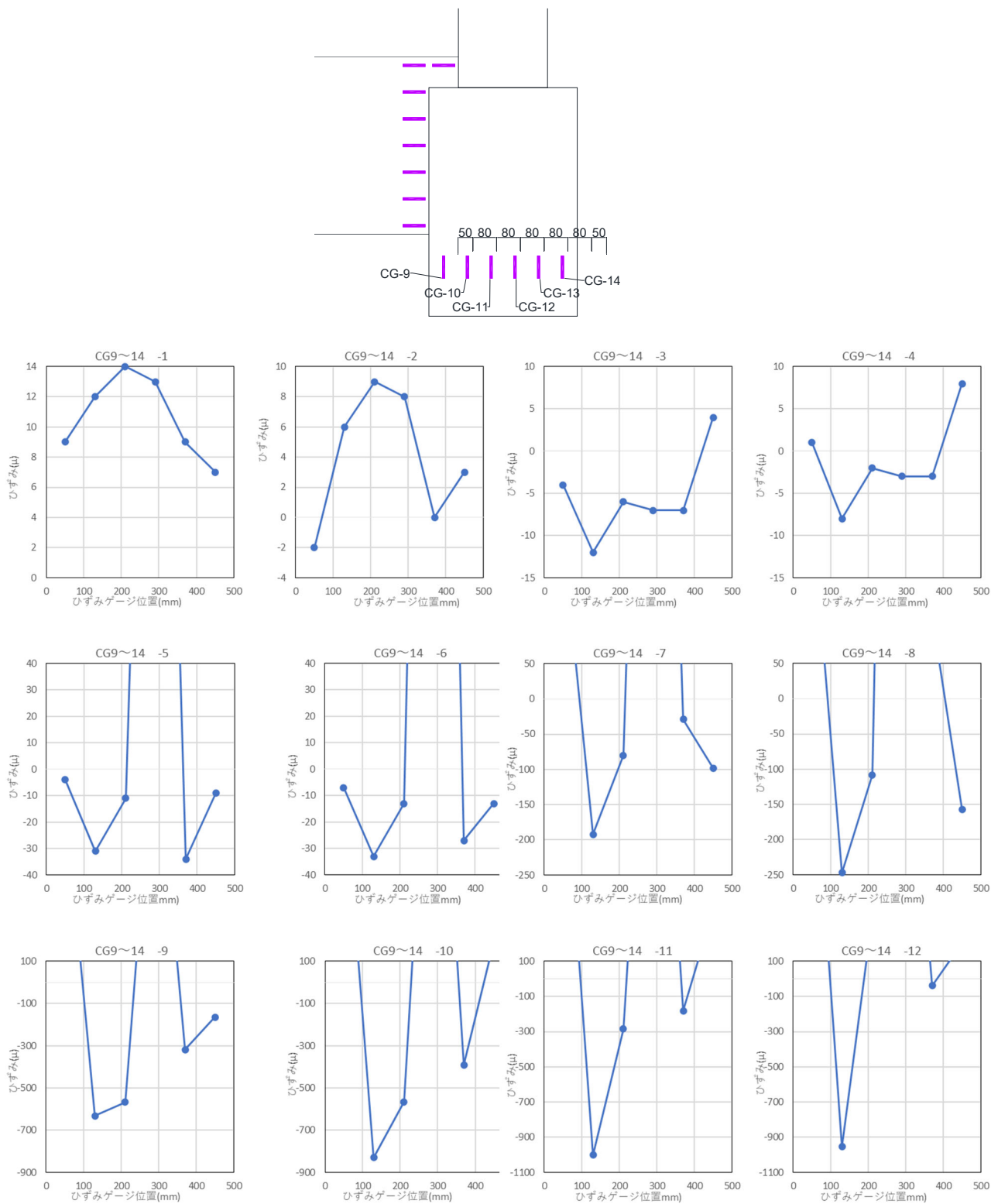


図 3.1.3-89 試験体 D-4 各ピーク時ひずみ(負荷荷)

○ 試験体 D-3

・ 梁 (正載荷時)

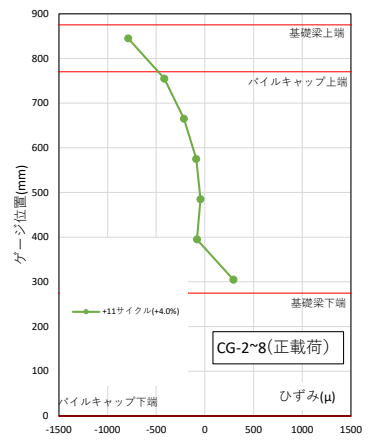
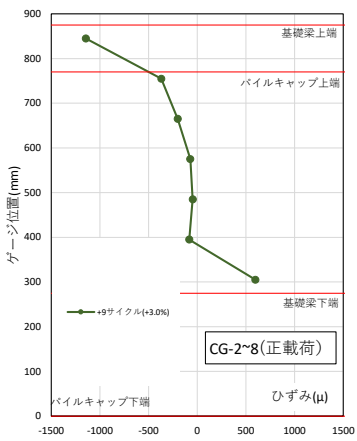
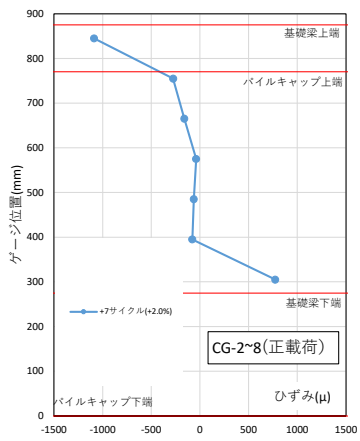
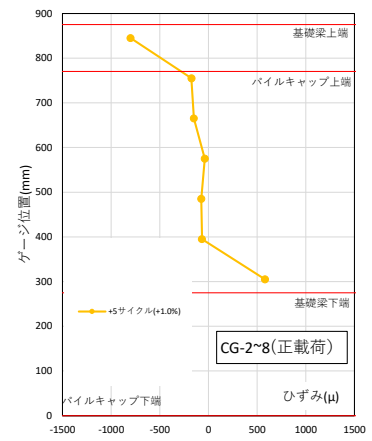
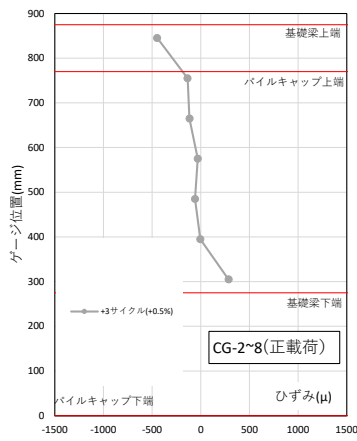
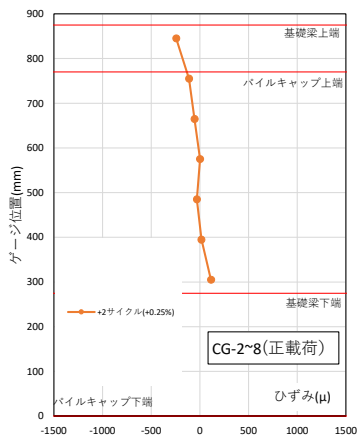
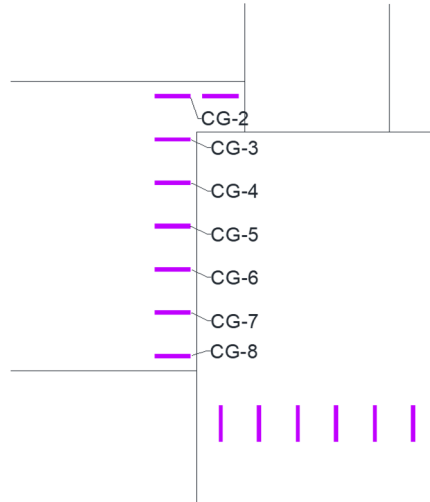
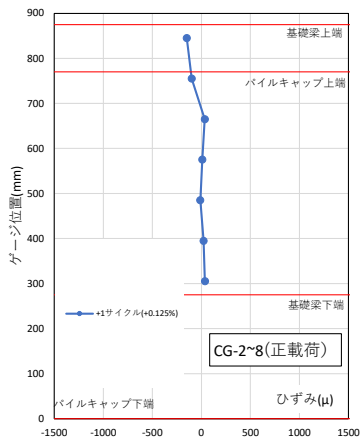


図 3.1.3-90 試験体 D-3 各ピーク時ひずみ(正載荷)

○ 試験体 D-3

・ 梁（負荷荷時）

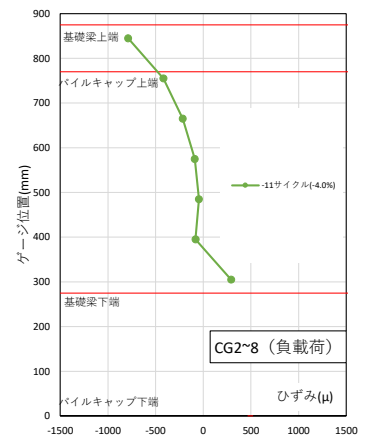
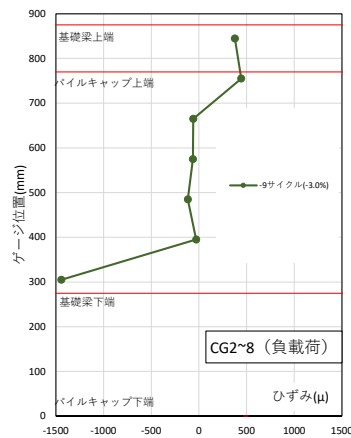
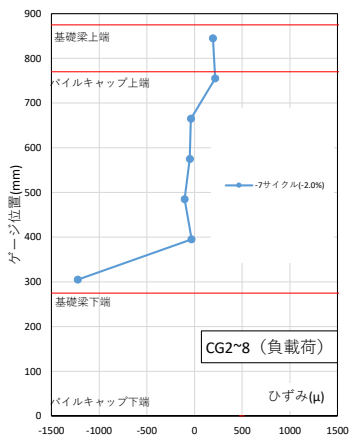
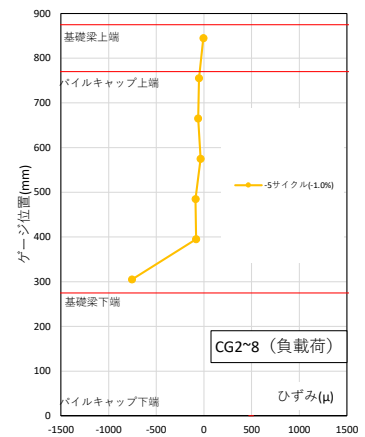
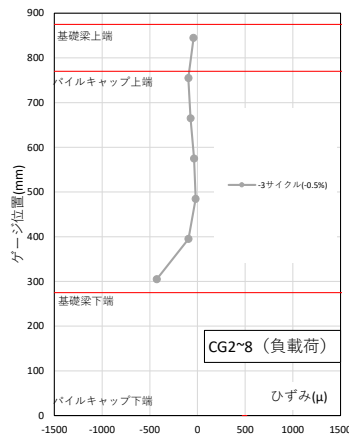
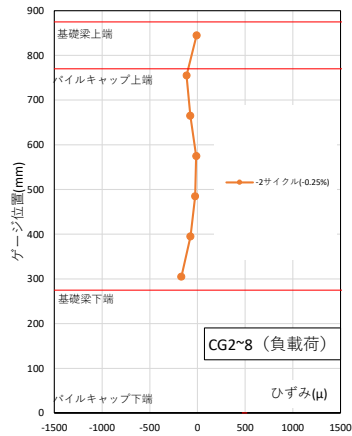
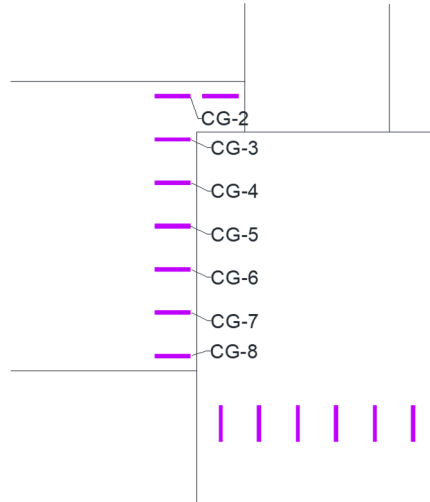
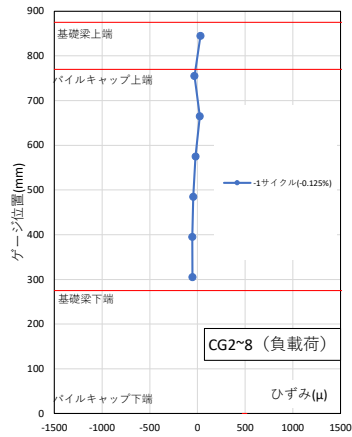


図 3.1.3-91 試験体 D-3 各ピーク時ひずみ(負載荷)

・パイルキャップ（正載荷時）

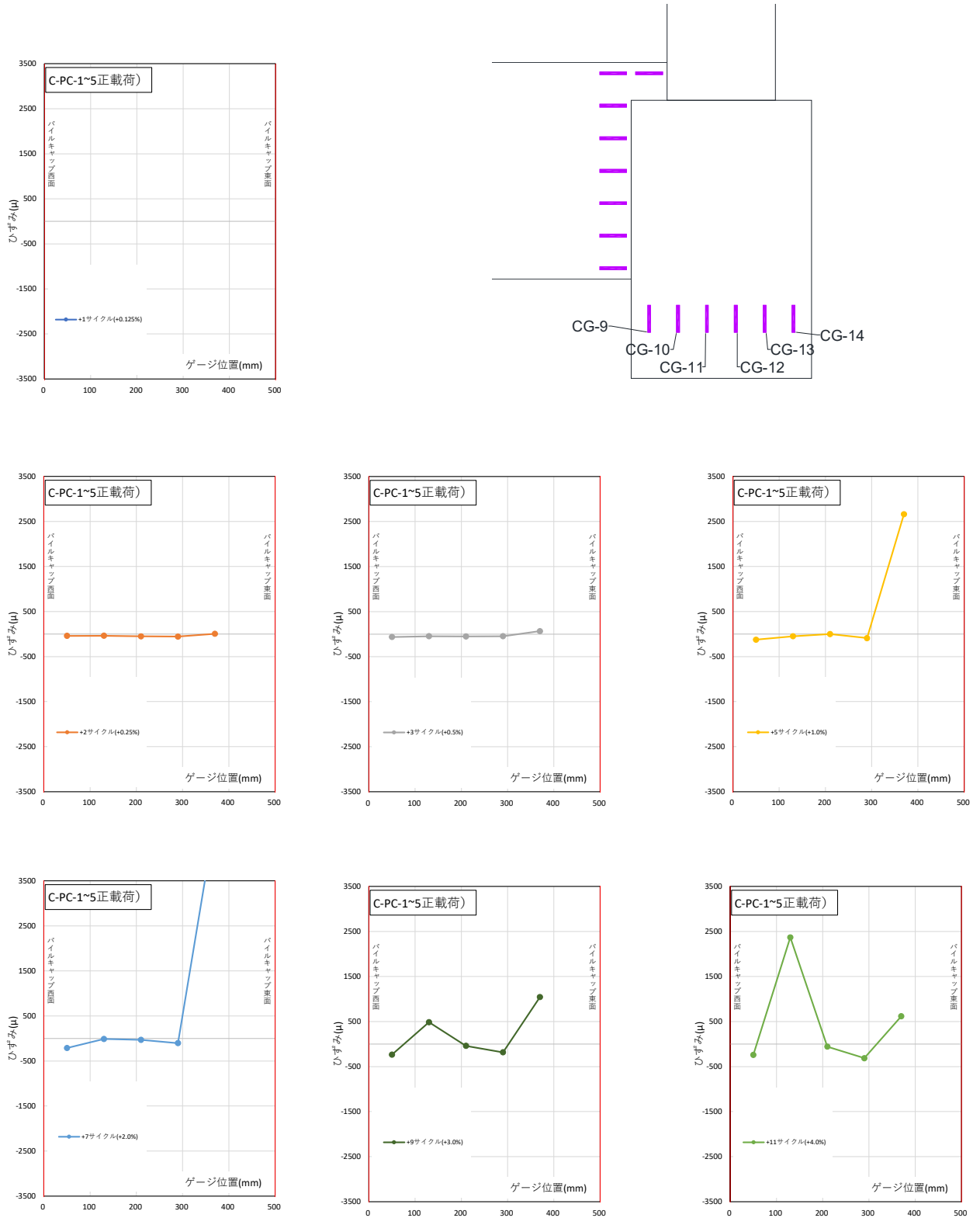


図 3.1.3-92 試験体 D-3 各ピーク時ひずみ (正載荷)

第3章 既製杭を対象とした靱性のある杭頭接合面降伏の実現可能性を確認するための実験

・パイルキャップ（負荷荷時）

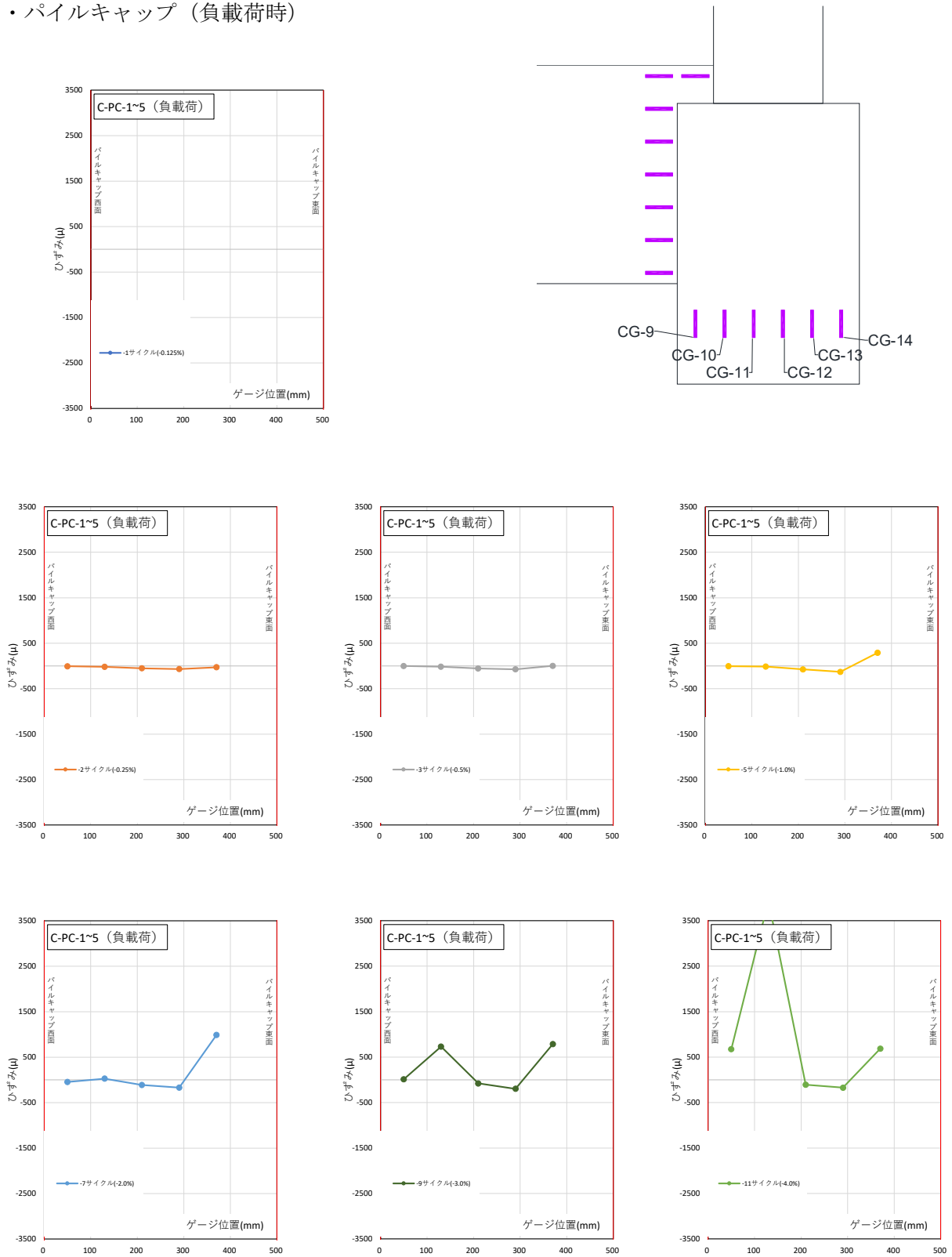


図 3.1.3-93 試験体 D-3 各ピーク時ひずみ(負荷荷)

3.1.4 考察

本項では、試験体 D-3 と試験体 D-4 について、実験結果を用いた検討を実施した。なお、試験体 D-3 では、一部の検討を実施していない。下記に、それぞれの試験体で検討した内容を示す。

	D-3	D-4
(1) 層せん断力 Q-層間変形角 R 関係	○	○
(2) ひび割れ幅	×	○
(3) 等価粘性減衰定数	○	○
(4) 変形成分の検討	○	○
(5) モールのひずみ円	○	○
(6) 接合部パネルにおける変形状	×	○
(7) 基礎梁主筋の定着	×	○
(8) 鉄筋の付着強度	×	○
(9) パイルキャップの鉄筋ひずみ分布	×	○
(10) 破壊性状の決定	○	○
(11) パイルキャップの軸方向変形	○	○

(1) 層せん断力 Q-層間変形角 R 関係の検討

図 3.1.4-1 に試験体 D-4、試験体 D-3 の層せん断力-層間変形角関係を示す。また、グラフ中の ×印は最大耐力を、(+1.0%)は層間変形角+1.0%に向かうサイクル時に現象が発生したことを示す。試験体正面を南面としている。

○ 試験体 D-4, D-3

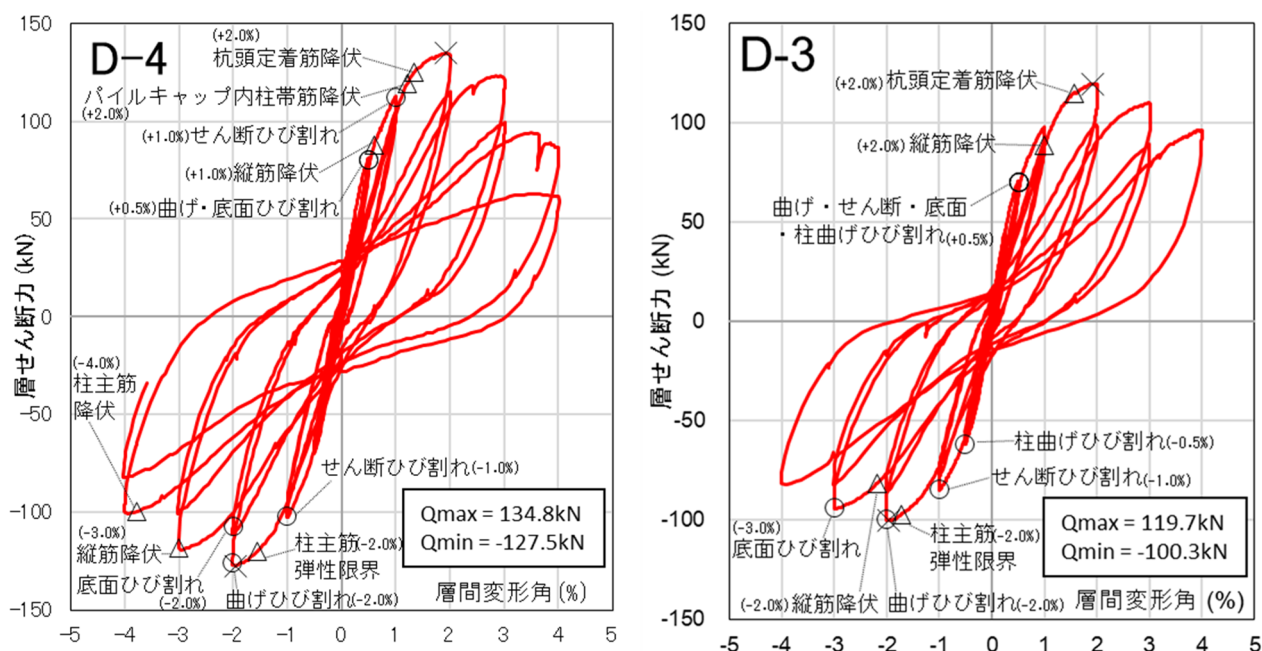


図 3.1.4-1 試験体 D-3,D-4 層せん断力-層間変形角関係

○ 試験体 D-3

最大耐力は $R=2.0\%$ で 119.7kN , $R=-2.0\%$ で 100.3kN となった。正載荷では, $R=0.5\%$ でパイルキャップにせん断ひび割れが発生し, $R=2.0\%$ のサイクルの $R=1.0\%$ 時に縦筋が降伏した。 $R=1.6\%$ 時に杭頭定着筋が降伏した。負載荷では, $R=-1.0\%$ でパイルキャップにせん断ひび割れが発生し, $R=-1.7\%$ で柱主筋が弾性限界に達した。 $R=-2.0\%$ 時にパイルキャップに曲げひび割れが発生し, 最大耐力後の $R=-2.2\%$ 時に縦筋が降伏した。

○ 試験体 D-4

最大耐力は層間変形角 $R=1.95\%$ で 134.8kN , $R=-1.964\%$ で 127.5kN となった。正載荷では, $R=+0.5\%$ のサイクルでパイルキャップ正面に曲げひび割れ, 底面にひび割れが発生し, $R=+0.597\%$ に曲げひび割れが発生した付近で縦筋が降伏した。 $R=+1.0\%$ のサイクルでせん断ひび割れが発生し, $R=+1.206\%$ にパイルキャップ内中央の柱帯筋, $R=+1.278\%$ に杭頭面位置で杭頭定着筋が降伏した。負載荷では, $R=-1.0\%$ のサイクルでせん断ひび割れ, $R=-2.0\%$ のサイクルでパイルキャップ西面にひび割れが発生した。最大耐力後は, $R=-2.0\%$ サイクルで底面にひび割れが発生し, $R=3.003\%$ で縦筋が降伏した。

(2) ひび割れ幅

以下にひび割れ幅について示す。表 3.1.4-1～3.1.4-6, 図 3.1.4-2～3.1.4-13 に示す。

計測方法については、クラックスケールを用いて目視で測定した。繰り返し载荷を行ったサイクルにおいては1回目にひび割れ幅の測定を行った。試験体 D-4 のみ検討した。

(なお, 試験体 D-3 について, 測定値はあるが, 測定位置が不明なために記述をしていない。)

○ 試験体 D-4

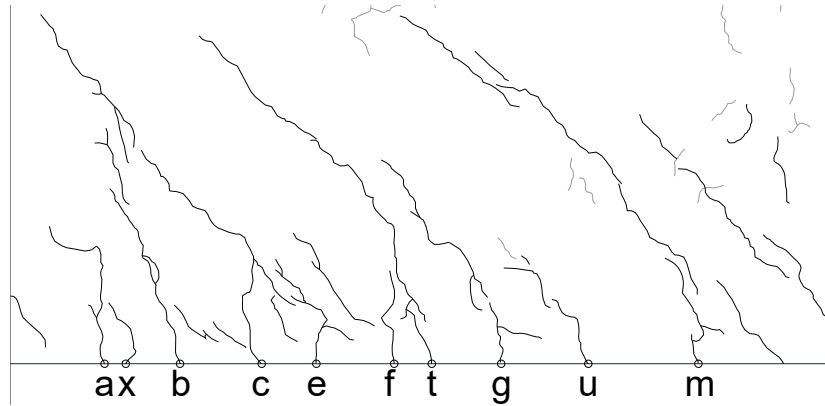


図 3.1.4-2 基礎梁ひび割れ幅測定位置(試験体 D-4 正載荷)

表 3.1.4-1 基礎梁ひび割れ幅-層間変形角関係(試験体 D-4 正載荷)

サイクル	変形角(%)	基礎梁端部 正載荷ひび割れ									
		a	b	c	e	f	g	m	t	u	x
+1サイクル	+0.125	0.05	0.05	0.05							
+1除荷		0.00	0.00	0.00							
+2サイクル	+0.25	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05				
+2除荷		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
+3サイクル	+0.50	0.05	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05			
+3除荷		0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0			
+5サイクル	+1.0	0.10	0.10	0.15	0.10	0.05	0.10	0.05	0.05	0.05	
+5除荷		0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0	0	0.05	
+7サイクル	+2.0	0.10	0.15	0.10	0.05	0.05	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05
+7除荷		0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00
+9サイクル	+3.0	0.05	0.15	0.15	0.05	0.05	0.10	0.10	0.05	0.10	0.05
+9除荷		0.00	0.05	0.05	0.05	0.00	0.05	0.00	0.00	0.05	0.00
+11サイクル	+4.0	0.10	0.15	0.10	0.05	0.05	0.10	0.05	0.05	0.10	0.05
+11除荷		0.00	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0.00	0.05	0.00

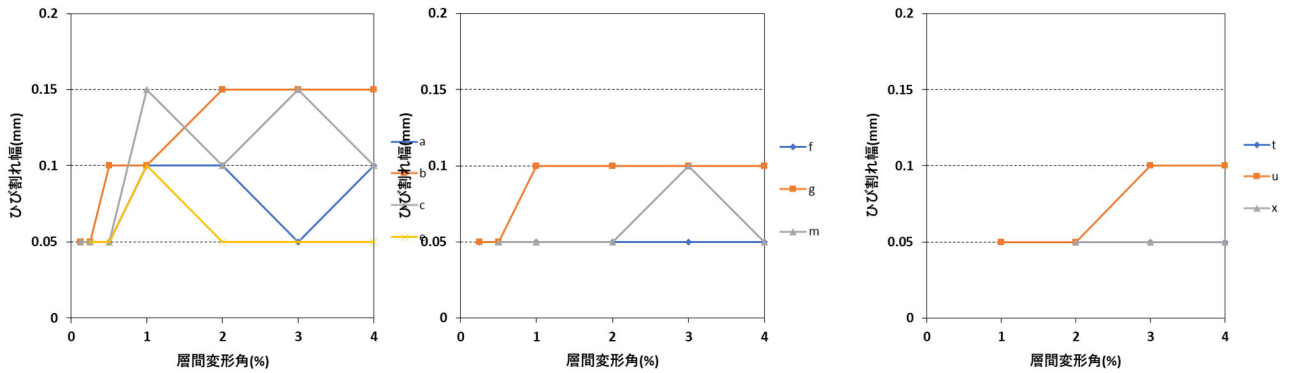
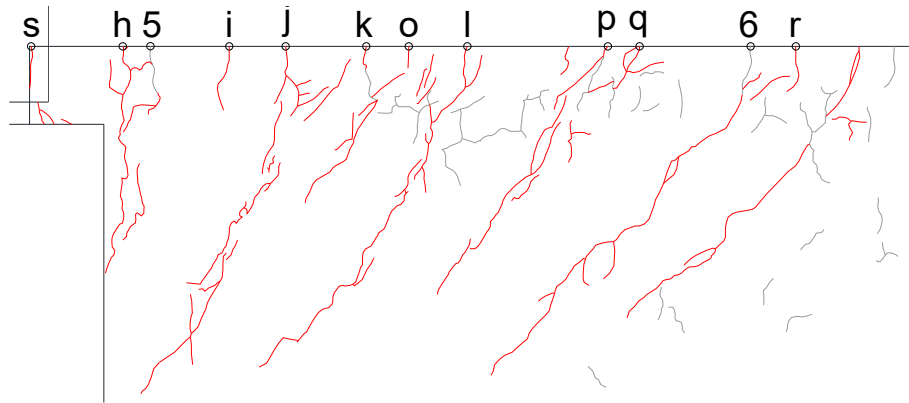


図 3.1.4-3 ピーク時 基礎梁ひび割れ幅-層間変形角関係(試験体 D-4 正載荷)



3. 1. 4-4 基礎梁ひび割れ幅測定位置 (試験体 D-4 負荷荷)

表 3. 1. 4-2 基礎梁ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 D-4 負荷荷)

サイクル	変形角(%)	基礎梁端部 負荷荷ひび割れ											
		h	i	j	k	l	o	p	q	r	s	5	6
-1サイクル	-0.125												
-1除荷													
-2サイクル	-0.25	0.05	0.05	0.10	0.05	0.05							
-2除荷		0.00	0.00	0.05	0.00	0.00							
-3サイクル	-0.50	0.05	0.05	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.3		
-3除荷		0.05	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0		
-5サイクル	-1.0	0.10	0.05	0.10	0.05	0.10	0.00	0.05	0.05	0.05	0.95		
-5除荷		0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0	0.05	0	0.45		
-7サイクル	-2.0	0.15	0.05	0.15	0.10	0.10	0.00	0.05	0.10	0.05	3.00	0.10	0.05
-7除荷		0.05	0.00	0.05	0.05	0.05	0.00	0.00	0.05	0.00	2.00	0.05	0.05
-9サイクル	-3.0	0.10	0.10	0.15	0.10	0.05	0.00	0.05	0.05	0.05	5.00	0.10	0.05
-9除荷		0.05	0.00	0.05	0.05	0.05	0.00	0.00	0.05	0.00	4.00	0.05	0.00
-11サイクル	-4.0	0.10	0.05	0.10	0.05	0.10	0.00	0.00	0.10	0.05	10.00	0.05	0.05
-11除荷		0.05	0.00	0.05	0.05	0.05	0.00	0.00	0.05	0.05	8.00	0.05	0.00

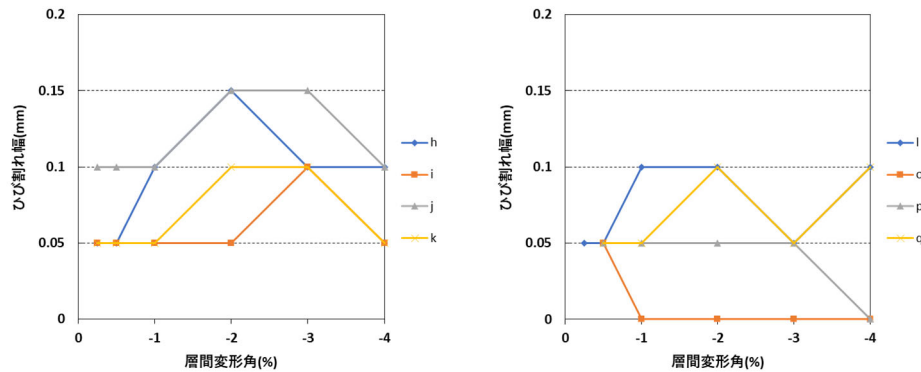


図 3. 1. 4-5 ピーク時 基礎梁ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 D-4 負荷荷)

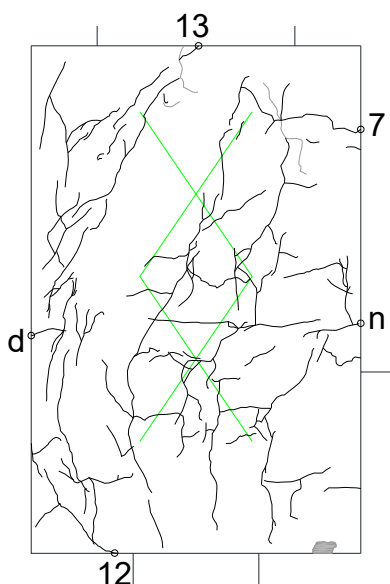


図 3.1.4-6 パイルキャップ端部ひび割れ幅測定位置 (試験体 D-4 正載荷)

表 3.1.4-3 パイルキャップ端部ひび割れ幅-層間変形角関係(試験体 D-4 正載荷)

サイクル	変形角(%)	パイルキャップ端部 正載荷ひび割れ						
		d	n	7	12	13	8西	9東
+1サイクル	+0.125	0.05						
+1除荷		0.00						
+2サイクル	+0.25	0.00						
+2除荷		0.00						
+3サイクル	+0.50	0	0.2					
+3除荷		0	0.05					
+5サイクル	+1.0	0	0.9					
+5除荷		0.05	0.2					
+7サイクル	+2.0	0.00	2.50					
+7除荷		0.00	1.10					
+9サイクル	+3.0	0.00	5.00	0.10			0.35	0.40
+9除荷		0.00	3.50	0.10			0.20	0.10
+11サイクル	+4.0	0.00	6.00	0.25	1.30	1.40	1.50	0.45
+11除荷		0.00	5.00	0.25	1.30	0.90	1.20	0.25

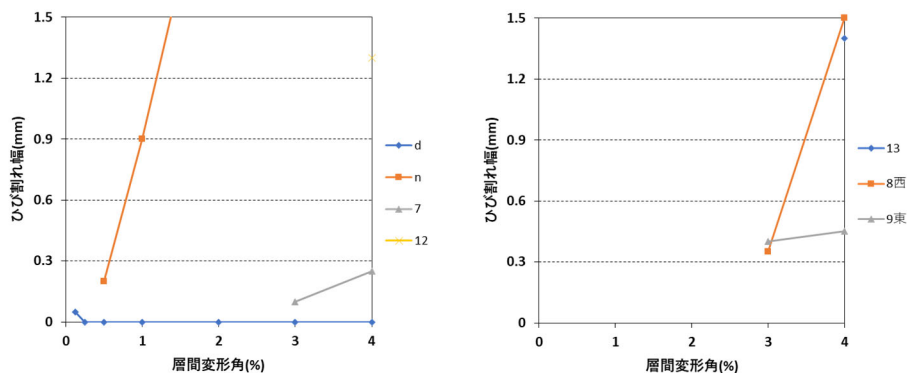


図 3.1.4-7 ピーク時 パイルキャップ端部ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 D-4 正載荷)

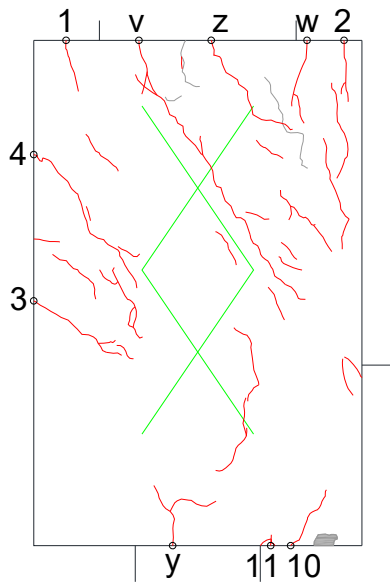


図 3. 1. 4-8 パイルキャップ端部ひび割れ幅測定位置 (試験体 D-4 負載荷)

表 3. 1. 4-4 パイルキャップ端部ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 D-4 負載荷)

サイクル	変形角(%)	パイルキャップ端部 負載荷ひび割れ										
		v	w	y	z	1	2	3	4	10	11	
-1サイクル	-0.125											
-1除荷												
-2サイクル	-0.25											
-2除荷												
-3サイクル	-0.50											
-3除荷												
-5サイクル	-1.0	0.1	0.05									
-5除荷		0.1	0.05									
-7サイクル	-2.0	0.35	0.05	0.10	0.35	0.05	0.20	0.05	0.10			
-7除荷		0.20	0.05	0.10	0.05	0.05	0.10	0.05	0.05			
-9サイクル	-3.0	0.35	0.10	0.15	0.45	0.20	1.40	0.05	0.10	0.10	0.05	
-9除荷		0.40	0.05	0.10	0.30	0.15	1.10	0.00	0.05	0.05	0.05	
-11サイクル	-4.0	0.60	0.05	0.10	0.80	2.00	4.00	0.05	0.05	0.15	0.05	
-11除荷		0.65	0.05	0.05	0.65	1.90	3.00	0.00	0.05	0.10	0.00	

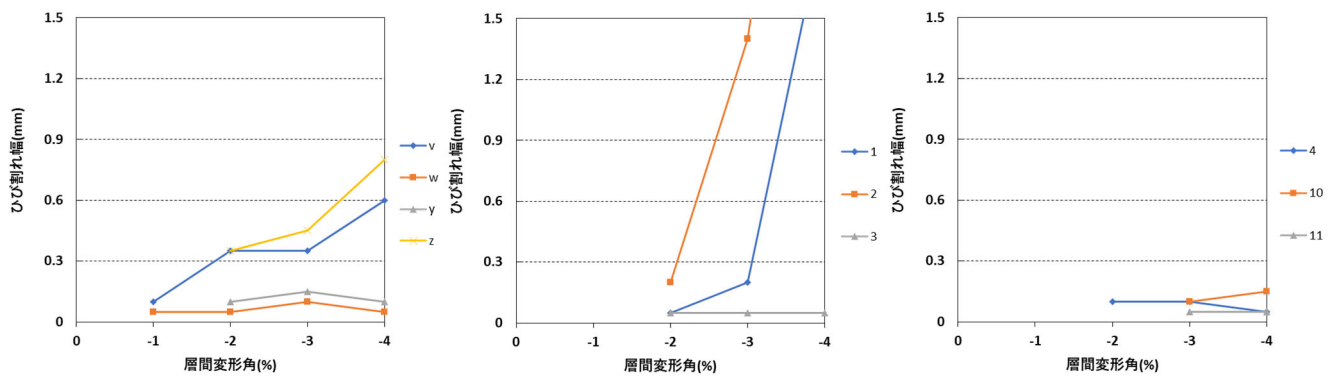


図 3. 1. 4-9 ピーク時 パイルキャップ端部ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 D-4 正載荷)

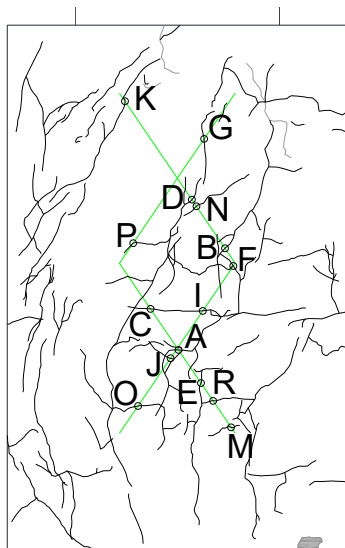


図 3.1.4-10 パイルキャップ危険断面位置ひび割れ幅測定位置 (試験体 D-4 正載荷)

表 3.1.4-5 パイルキャップ危険断面位置ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 D-4 正載荷)

サイクル	変形角(%)	パイルキャップ危険断面 正載荷ひび割れ															
		A	B	C	D	E	F	G	I	J	K	M	N	O	P	Q	R
+1サイクル	+0.125																
+1除荷																	
+2サイクル	+0.25																
+2除荷																	
+3サイクル	+0.50	0.05															
+3除荷	0																
+5サイクル	+1.0	0.05	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05									
+5除荷		0.05	0.05	0.1	0	0	0.05	0									
+7サイクル	+2.0	0.15	0.10	0.30	0.10	0.05	0.20	0.05	0.20	0.05	0.05						
+7除荷		0.05	0.05	0.15	0.05	0.05	0.10	0.05	0.05	0.00	0.00						
+9サイクル	+3.0	0.30	0.10	0.45	0.20	0.10	0.50	0.10	0.40	0.15	0.10	0.05	0.2				
+9除荷		0.20	0.10	0.30	0.10	0.05	0.35	0.05	0.25	0.05	0.10	0.00	0.05				
+11サイクル	+4.0	0.35	0.10	0.45	0.25	0.10	0.70	0.05	0.35	0.15	0.30	0.10	0.15	0.05	0.05	0.20	0.1
+11除荷		0.35	0.10	0.35	0.20	0.10	0.55	0.15	0.30	0.10	0.20	0.05	0.1	0.05	0	0.1	0.05

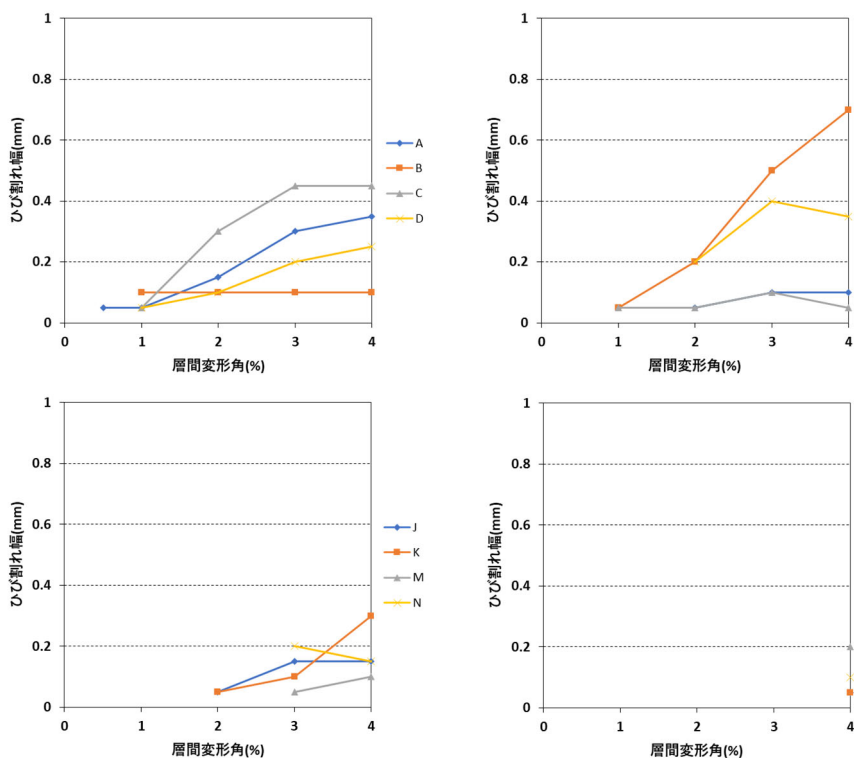


図 3.1.4-11 ピーク時 パイルキャップ危険断面位置ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 D-4 正載荷)

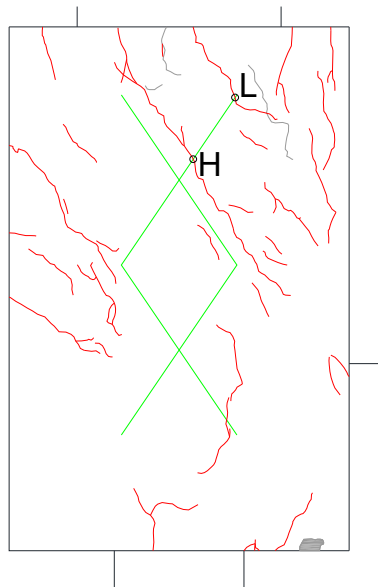


図 3.1.4-12 パイルキャップ危険断面位置ひび割れ幅測定位置 (試験体 D-4 負荷荷)

表 3.1.4-6 パイルキャップ危険断面位置ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 D-4 負荷荷)

サイクル	変形角(%)	パイルキャップ危険断面		負荷荷ひび割れ	
		H	L		
-1サイクル	-0.125				
-1除荷					
-2サイクル	-0.25				
-2除荷					
-3サイクル	-0.50				
-3除荷					
-5サイクル	-1.0	0.1			
-5除荷		0.05			
-7サイクル	-2.0	0.30	0.05		
-7除荷		0.15	0.05		
-9サイクル	-3.0	0.60	0.15		
-9除荷		0.35	0.10		
-11サイクル	-4.0	0.80	0.30		
-11除荷		0.60	0.50		

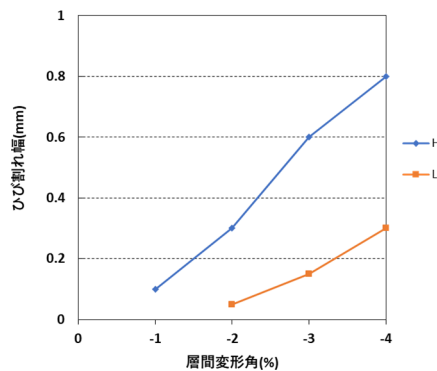


図 3.1.4-13 ピーク時 パイルキャップ危険断面位置ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 D-4 負荷荷)

○ 試験体 D-4

パイルキャップのひび割れについて、正載荷、負載荷ともに上下端のひび割れ幅が大きくなった。正載荷では、東面のひび割れ幅が増大した。

(3) 等価粘性減衰定数(h_{eq})

図 3.1.4-14 に等価粘性減衰定数の算出方法を示す。始めの正負 2Cycle は 1 回のみで評価、その他のサイクルについては繰り返し载荷 2 回目で評価した。

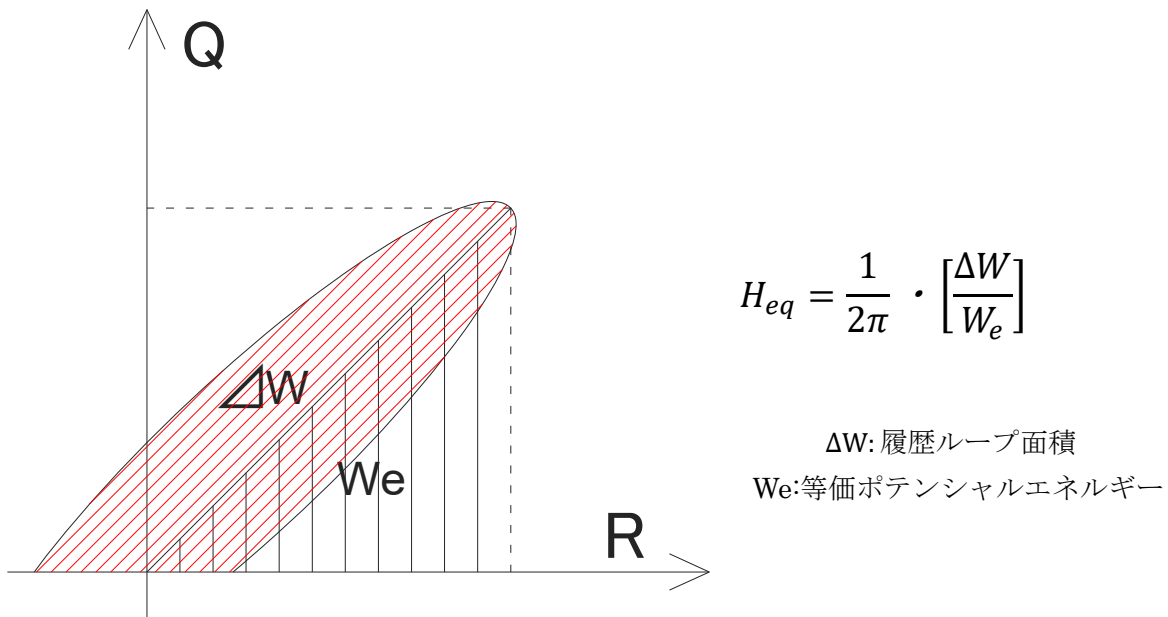


図 3.1.4-14 等価粘性減衰定数の算出方法

○ 試験体 D-4

○

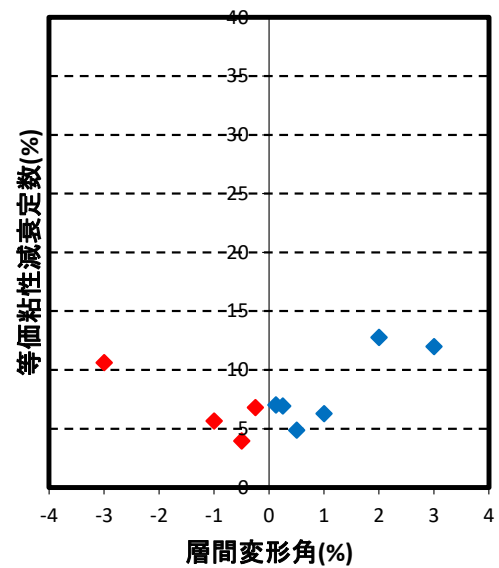
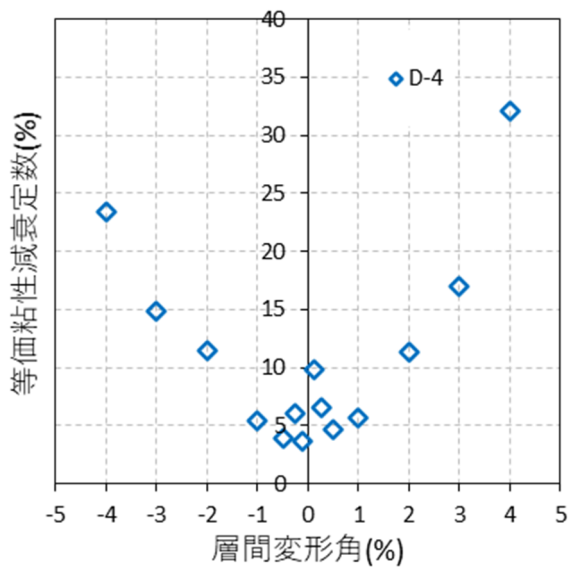


図 3.1.4-15 等価粘性減衰定数 (試験体 D-4) 図 3.1.4-16 等価粘性減衰定数比較 (試験体 D-3)

試験体 D-4 は負载荷より正载荷の方が等価粘性減衰定数が高い。試験体 D-3 と比較すると、R=3.0%時、試験体 D-3 は等価粘性減衰定数が低いことから、エネルギー吸収率が低いといえる。

(4) 各変形成分の検討

柱、基礎梁、杭及びパイルキャップの各部材が層間変形角に占める割合を算出するため、各部材変形成分の算出方法を図 3.1.4-17、各試験体の変形成分の割合を図 3.1.4-18, 20 に、変形成分を図 3.1.4-19, 21 に示す。杭については剛体と仮定し、杭の抜けだし変形として算出を行った。

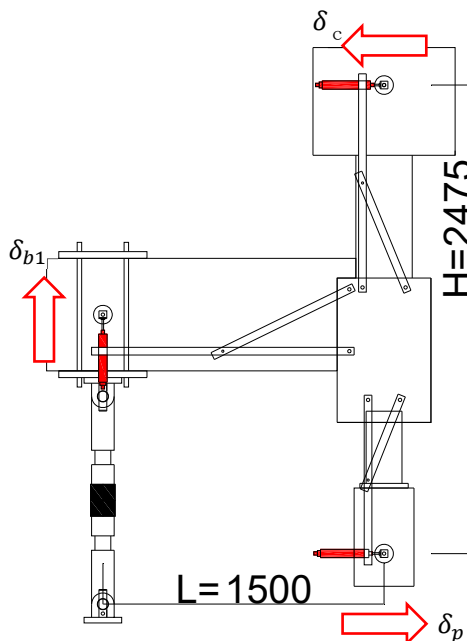


図 3.1.4-17 試験体 D-4 (ト形)
各部材の変形

杭の変形成分: δ_p (mm)

柱の変形成分: δ_c (mm)

梁の変形成分: δ_b (mm)

ト形
$$\delta_b = \delta_{b1} \cdot \frac{H}{L}$$

パイルキャップの変形成分: δ_{pc} (mm)

$$\delta_{pc} = \delta - \delta_p - \delta_c - \delta_b$$

ただし、 δ は層間変位であり、 $\delta_{pc} < 0$ のときは $\delta_{pc} = 0$ とした。

○ 試験体 D-4

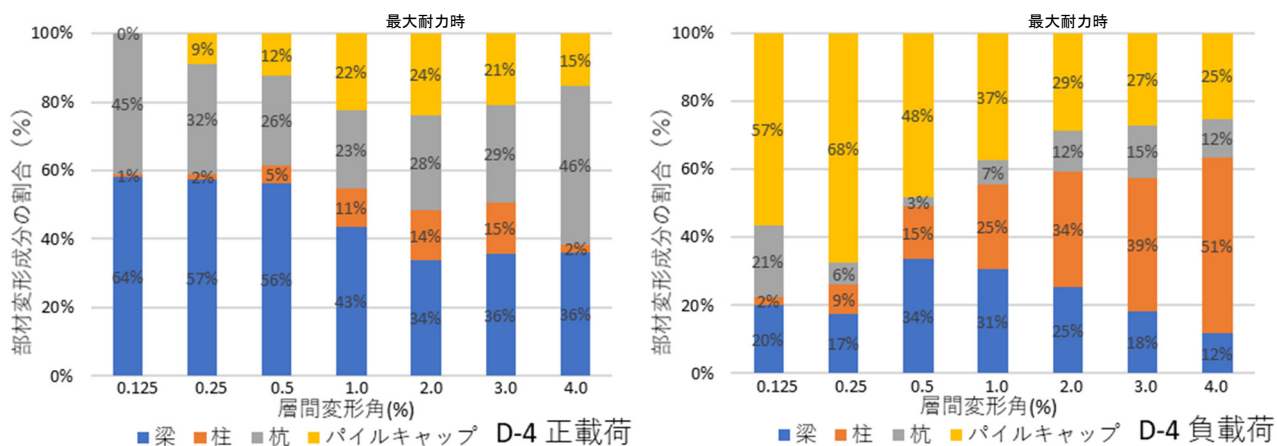


図 3.1.4-18 試験体 D-4 各変形成分の割合

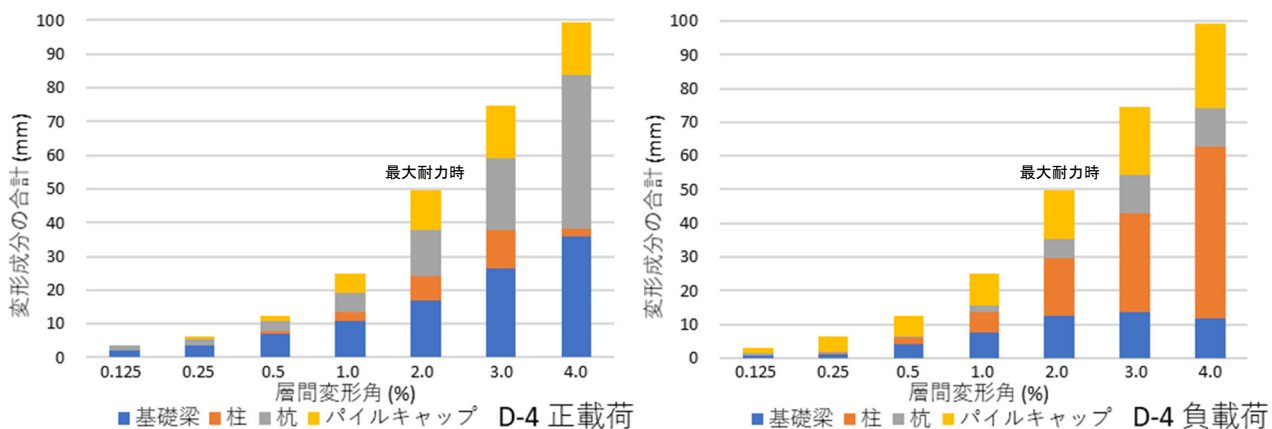


図 3.1.4-19 試験体 D-4 各変形成分

○ 試験体 D-4

正載荷時においては、杭の変形が多くを占めている。最大耐力時以降では、パイルキャップの変形成分が小さくなり、杭の変形成分が増加している。負載荷ではパイルキャップの変形成分が減少し、柱の変形成分が増加している。

○ 試験体 D-3

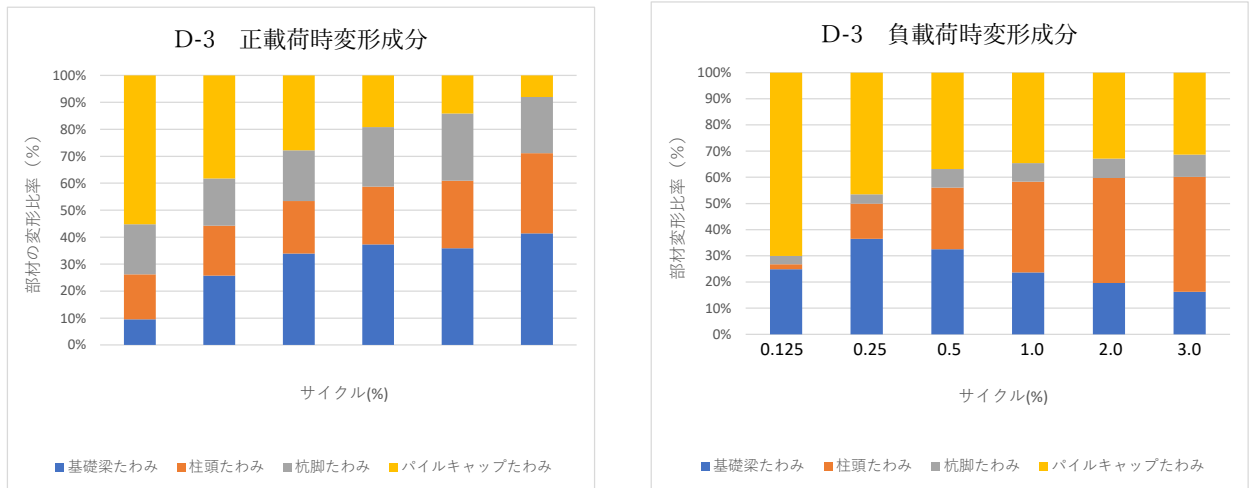


図 3.1.4-20 試験体 D-3 各変形成分の割合

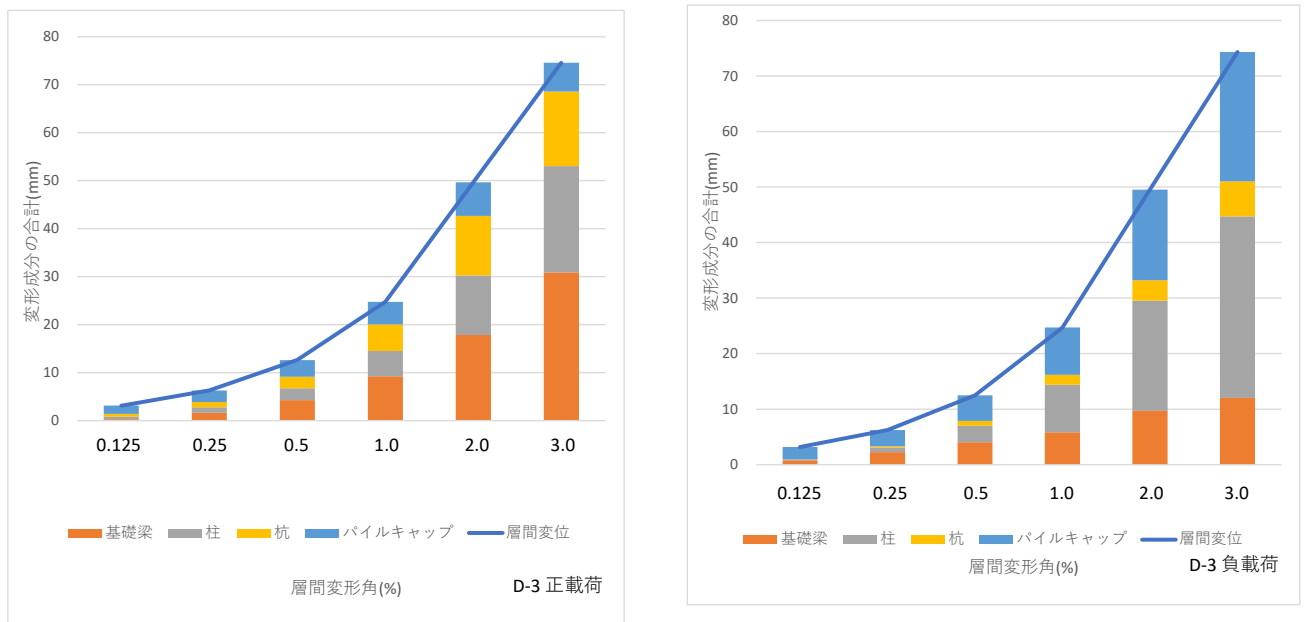


図 3.1.4-21 試験体 D-3 各変形成分

○ 試験体 D-3

正載荷時ではパイルキャップの変形成分が減少し、
負載荷時では基礎梁の変形成分が減少し、柱の変形成分が増加している。

(5) モールのひずみ円

パイルキャップの損傷状態を把握するため、モールのひずみ円を作成した。モールのひずみ円の作図方法を図 3.1.4-22 に示す。パイルキャップ内の変位計各コアの水平変位計により計測した値の平均値を横方向ひずみ ϵ_x とし、横座標に図 3.1.4-22 (a)の直線 OX の時計回り方向の回転 γ_{xy} の 1/2 を正の縦座標とする。また各コアの鉛直変位計により計測した値の平均値を縦方向ひずみ ϵ_y とし、横座標に図 3.1.4-22 (a)の直線 OY の反時計回り方向の回転 γ_{xy} の 1/2 を負の縦座標とすると、図 3.1.4-22 (b)の円上の点 D,D'を得る。直線 DD'を引くと中心 C が定まり、図 3.1.4-22 (b)のようなモールのひずみ円を描くことができる。このモールのひずみ円の大きさは接合部パネルの平均的な損傷を表し、ひずみ円が大きいほど接合部パネルの損傷が激しいことを示す。また円の中心が横座標の正側に推移すると、接合部パネルは引張を受けていることになる。ここで各試験体の接合部のコアを図 3.1.4-23 に示す。

パイルキャップの損傷状態を把握する目的でモールのひずみ円を作図した。図 3.1.4-24~35 にモールのひずみ円、表 3.1.4-7~18 に計算結果を示す。繰り返し载荷を行う場合は二回目のサイクルを対象にしている。試験体 D-2, D-3 および D-4 について検討した。

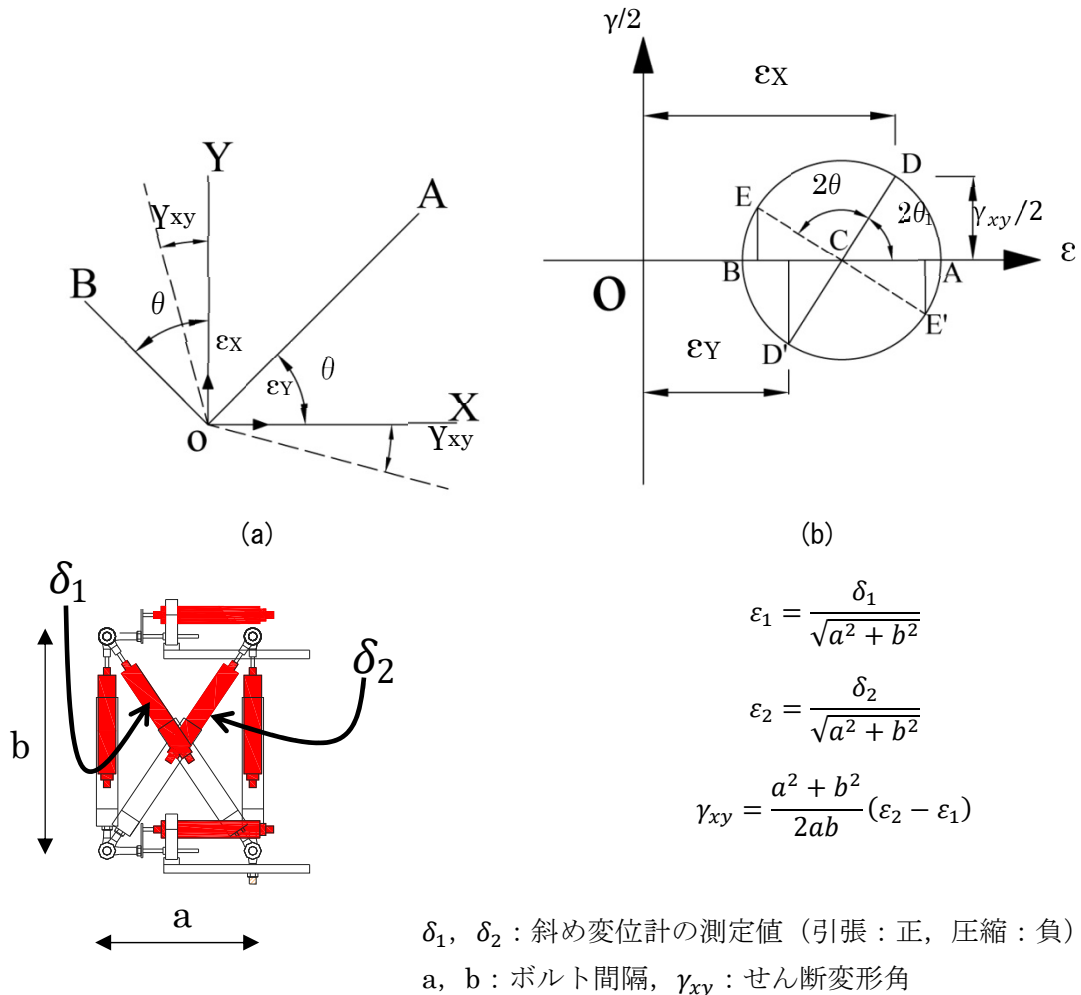


図 3.1.4-22 モールのひずみ円作成方法

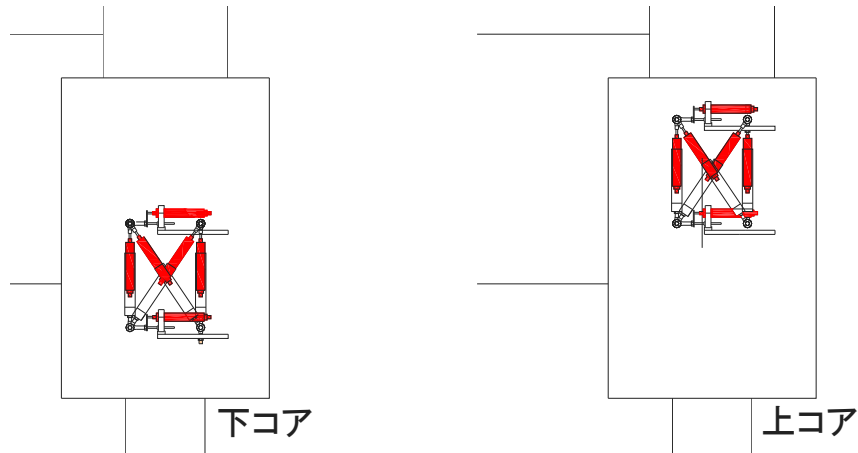


図 3.1.4-23 各コアの位置

- 試験体 D-4
- 上コア (正載荷)

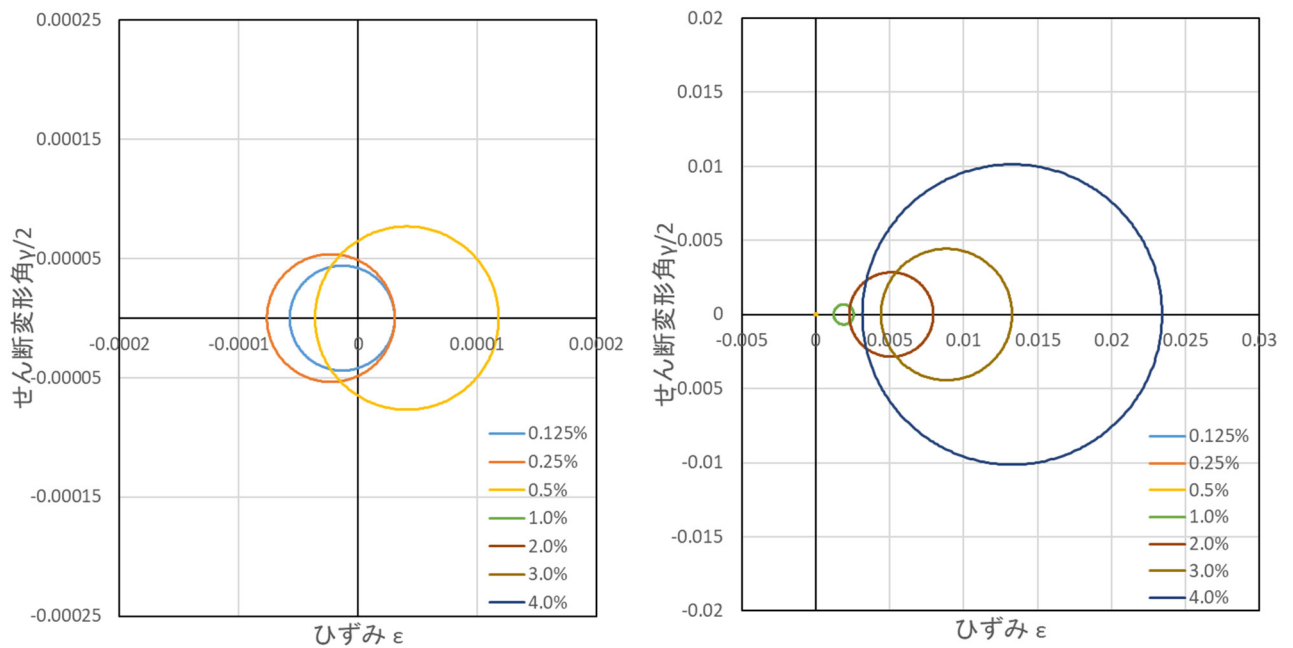


図 3.1.4-24 試験体 D-4 コア モールのひずみ円 (正載荷)

(左側 : R=0.125%から 0.5%, 右側 : R=1.0%から 4.0%)

表 3.1.4-7 試験体 D-4 上コア 計算結果 (正載荷)

層間変形角(%)	中心(μ)	直径(μ)
0.125	-13	88
0.25	-23	107
0.50	41	154
1.00	1888	1353
2.00	5106	5691
3.0	8836	8866
4.0	11266	11581

- 上コア（負荷荷）

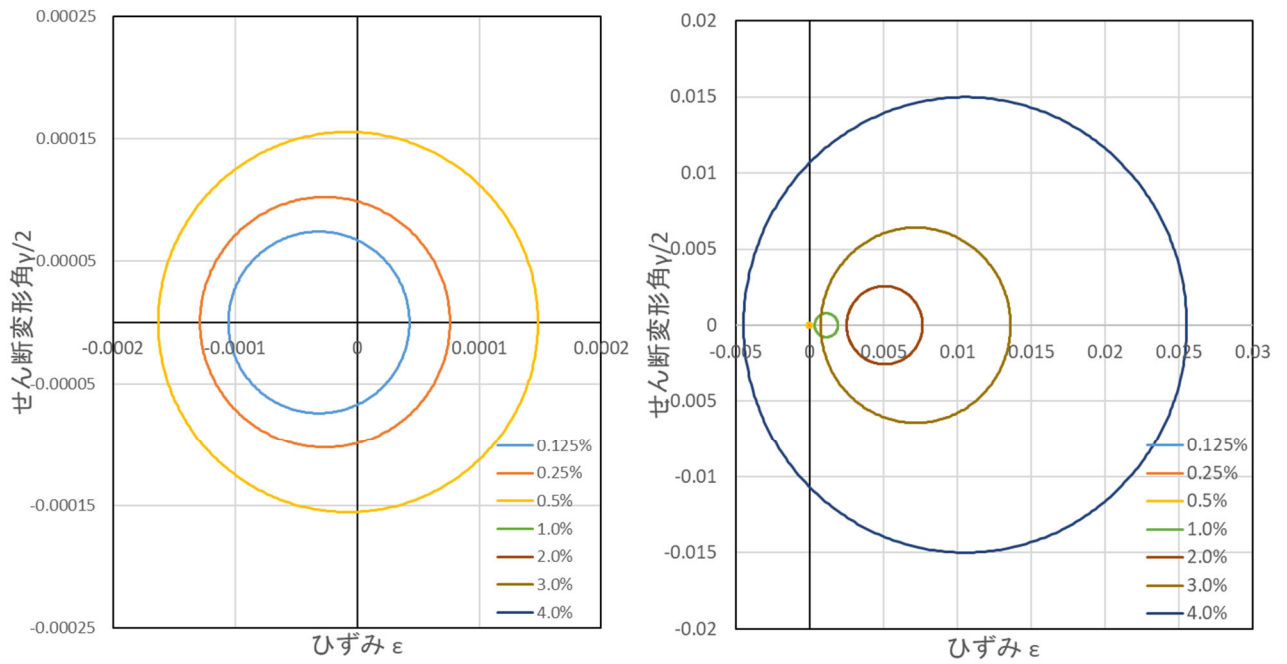


図 3.1.4-25 試験体 D-4 上コア モールのひずみ円（負荷荷）
 （左側：R=-0.125%から-0.5%，右側：R=-1.0%から-4.0%）

表 3.1.4-8 試験体 D-4 上コア 計算結果（負荷荷）

層間変形角(%)	中心(μ)	直径(μ)
0.125	-31	148
0.25	-26	205
0.50	-7	311
1.00	1140	1564
2.00	5084	5136
3.0	7179	12836
4.0	8245	21542

- 下コア（正載荷）

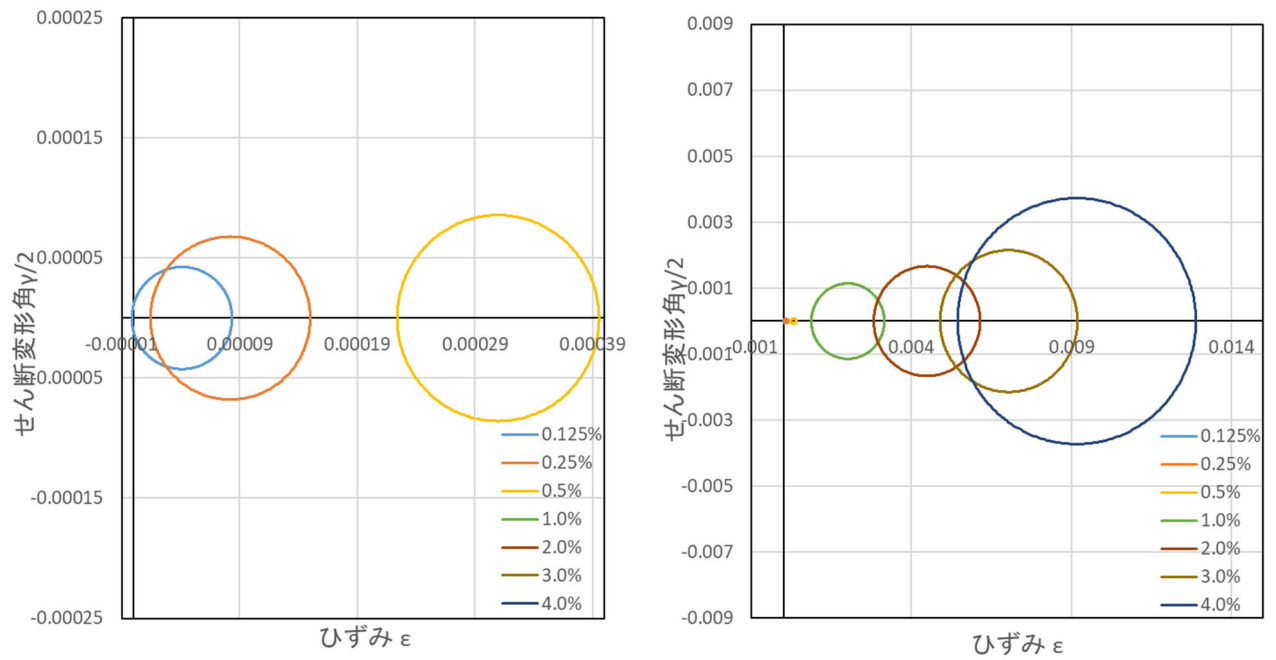


図 3.1.4-26 試験体 D-4 下コア モールのひずみ円（正載荷）
 （左側：R=0.125%から0.5%，右側：R=1.0%から4.0%）

表 3.1.4-9 試験体 D-4 下コア 計算結果（正載荷）

層間変形角(%)	中心(μ)	直径(μ)
0.125	41	85
0.25	82	136
0.50	310	171
1.00	2010	2280
2.00	4486	3328
3.0	7043	4297
4.0	8646	5511

• 下コア（負荷荷）

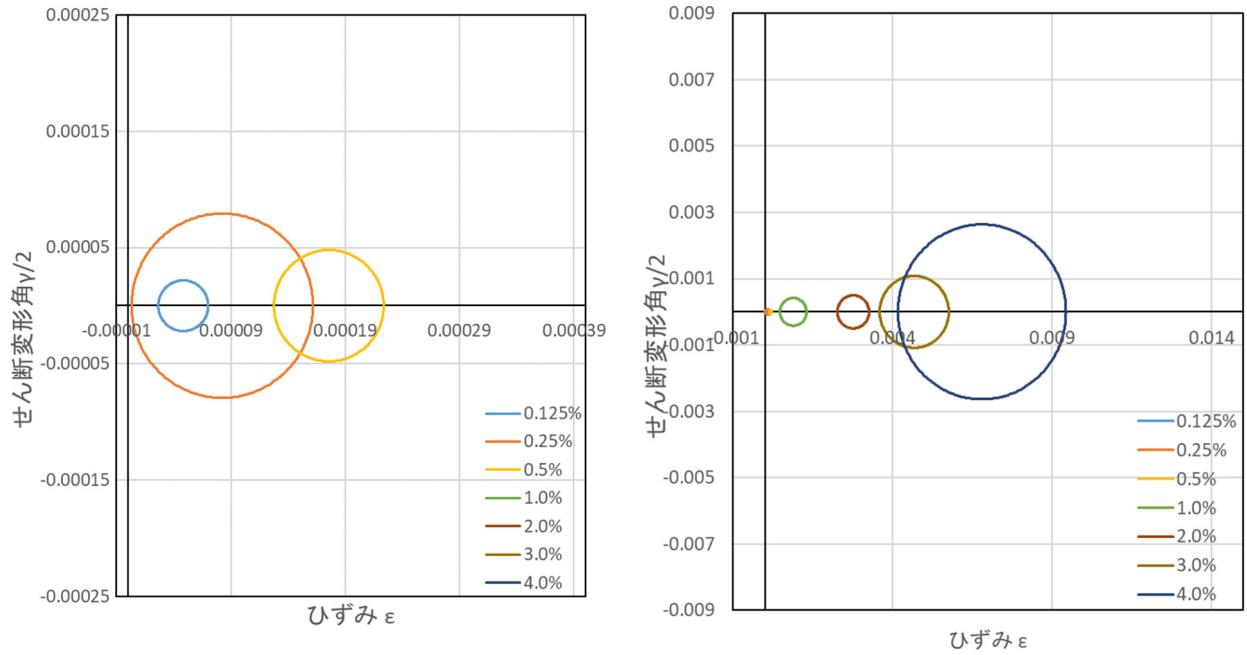


図 3.1.4-27 試験体 D-4 下コア モールのひずみ円（負荷荷）
 （左側：R=-0.125%から-0.5%，右側：R=-1.0%から-4.0%）

表 3.1.4-10 試験体 D-4 下コア 計算結果（負荷荷）

層間変形角(%)	中心(μ)	直径(μ)
0.125	48	44
0.25	83	159
0.50	176	96
1.00	884	833
2.00	2766	995
3.0	4680	2166
4.0	6337	3129

- 試験体 D-3
 - 上コア (正載荷)

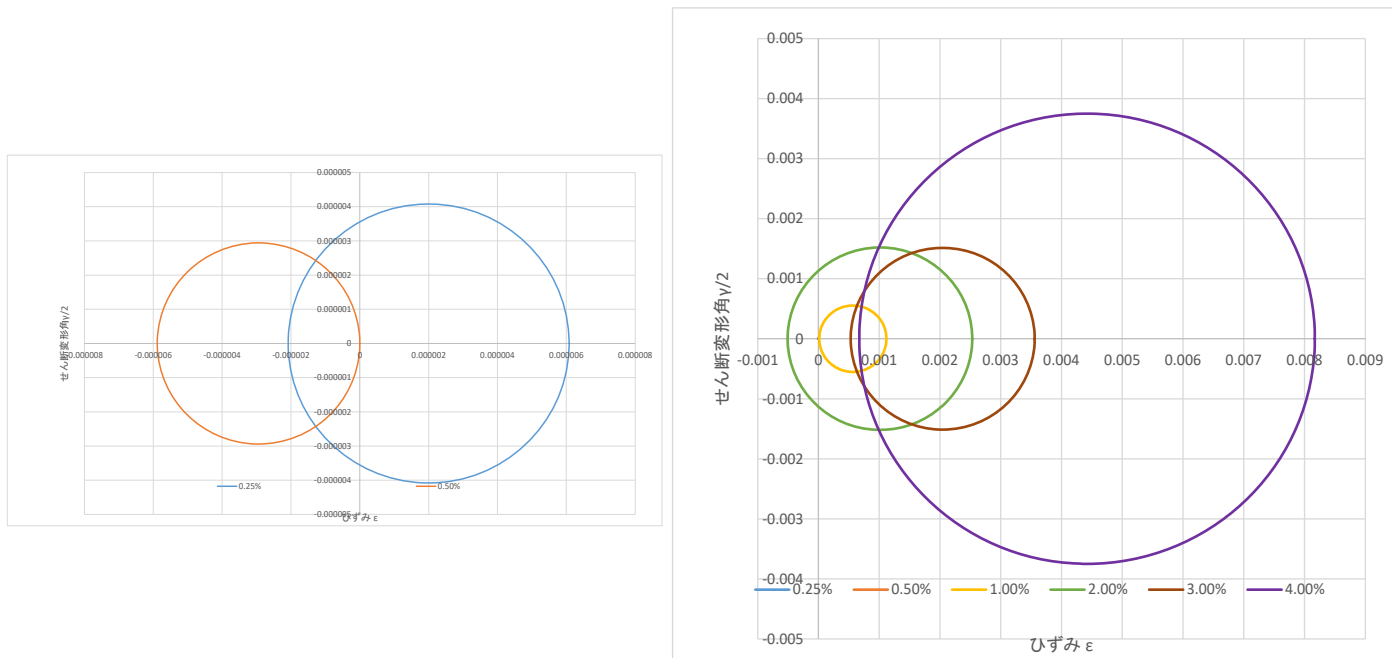


図 3.1.4-28 試験体 D-3 コア モールのひずみ円 (正載荷)

表 3.1.4-11 試験体 D-3 上コア 計算結果 (正載荷)

層間変形角(%)	中心(μ)	直径(μ)
0.125	2	8
0.25	-3	6
0.50	567	1105
1.0	1013	3038
2.0	2045	3027
3.0	2992	2429
4.0	5430	9360

- 上コア (負荷荷)

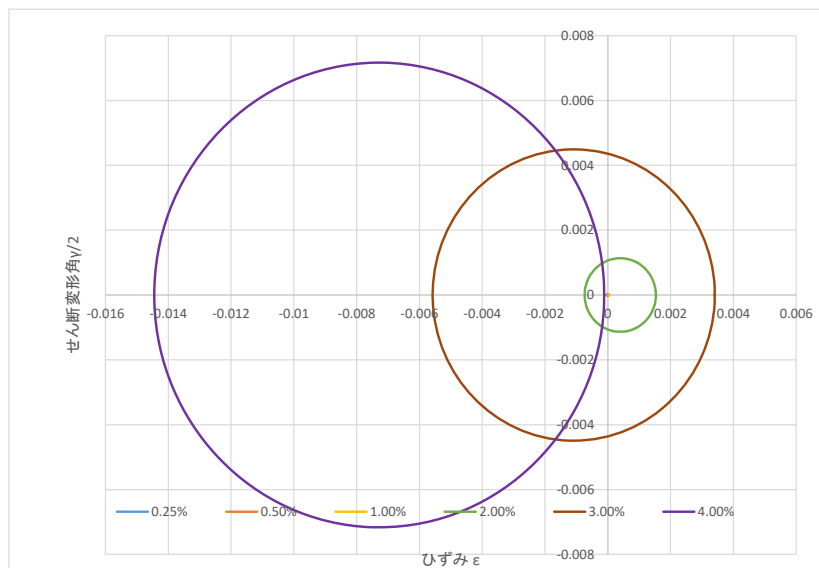
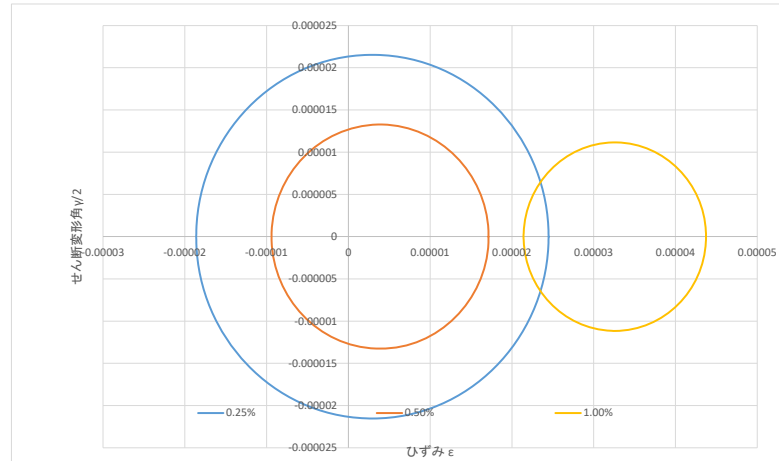


図 3.1.4-29 試験体 D-3 上コア モールのひずみ円 (負荷荷)

表 3.1.4-12 試験体 D-3 上コア 計算結果 (負荷荷)

層間変形角(%)	中心(μ)	直径(μ)
0.125	3	43
0.25	4	27
0.50	33	22
1.0	396	2270
2.0	-1086	8987
3.0	-5515	12933
4.0	-9633	15601

- 下コア（正載荷）

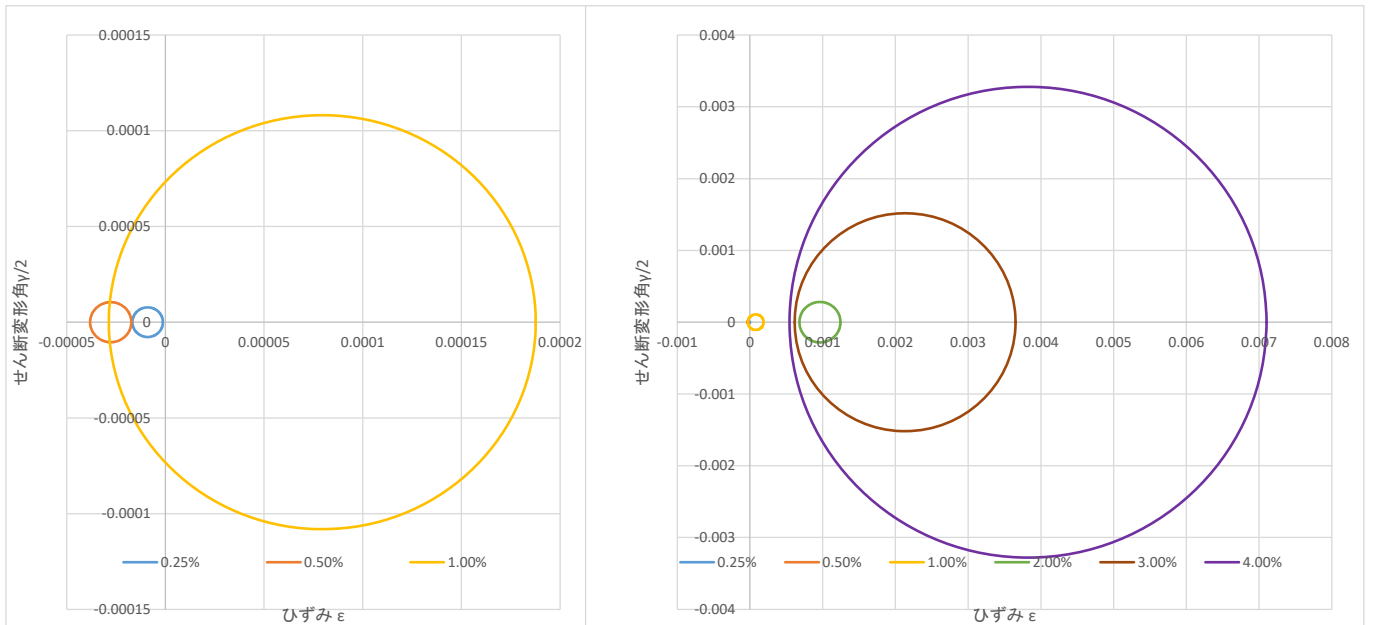


図 3.1.4-30 試験体 D-3 下コア モールのひずみ円（正載荷）

表 3.1.4-13 試験体 D-3 下コア 計算結果（正載荷）

層間変形角(%)	中心(μ)	直径(μ)
0.125	-9	15
0.25	-28	21
0.50	80	216
1.0	962	564
2.0	2133	3037
3.0	3185	5908
4.0	5414	9509

- 下コア（負荷荷）

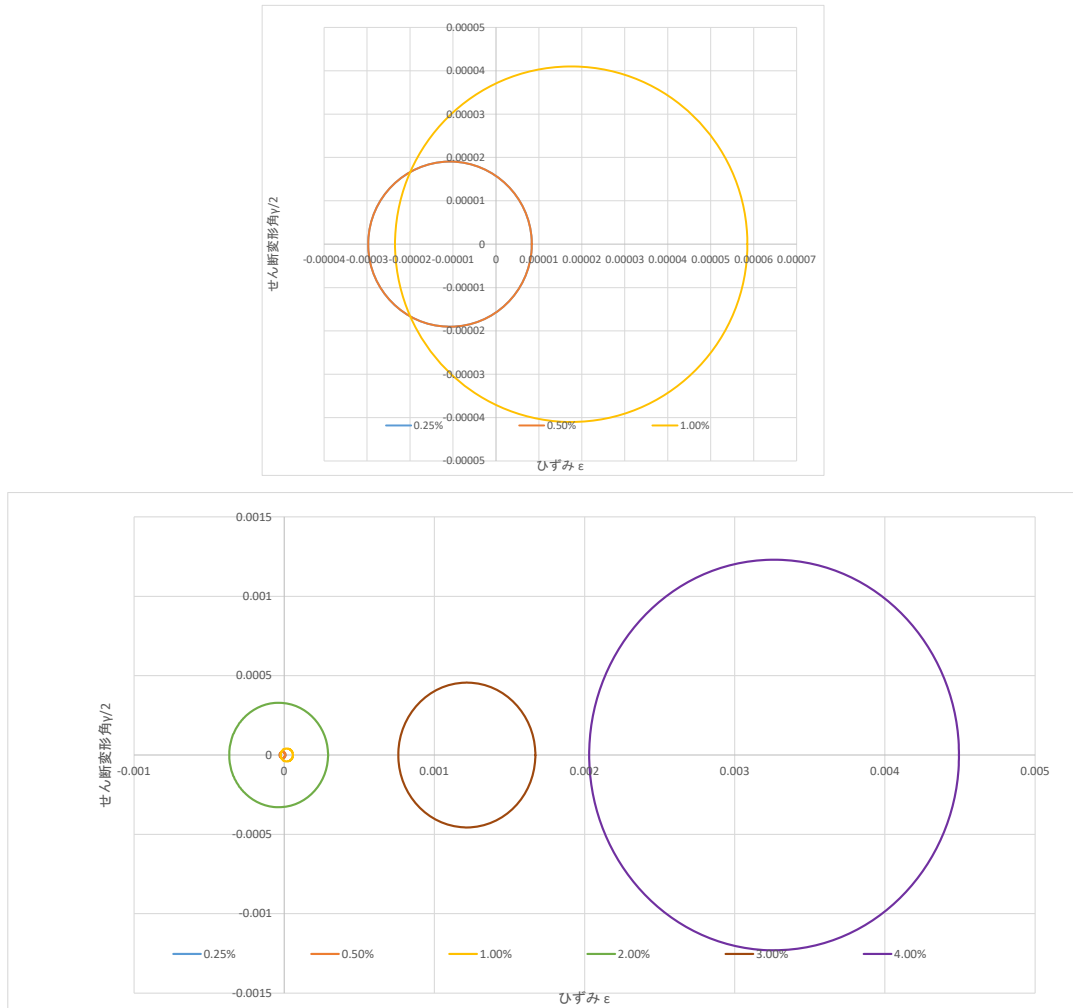


図 3.1.4-31 試験体 D-3 下コア モールのひずみ円（負荷荷）

表 3.1.4-14 試験体 D-3 下コア 計算結果（負荷荷）

層間変形角(%)	中心(μ)	直径(μ)
0.125	-11	38
0.25	-11	38
0.50	18	82
1.0	-37	658
2.0	1216	913
3.0	2723	1973
4.0	5299	5039

○ 試験体 D-2 (2018 年度)

- 上コア (正載荷)

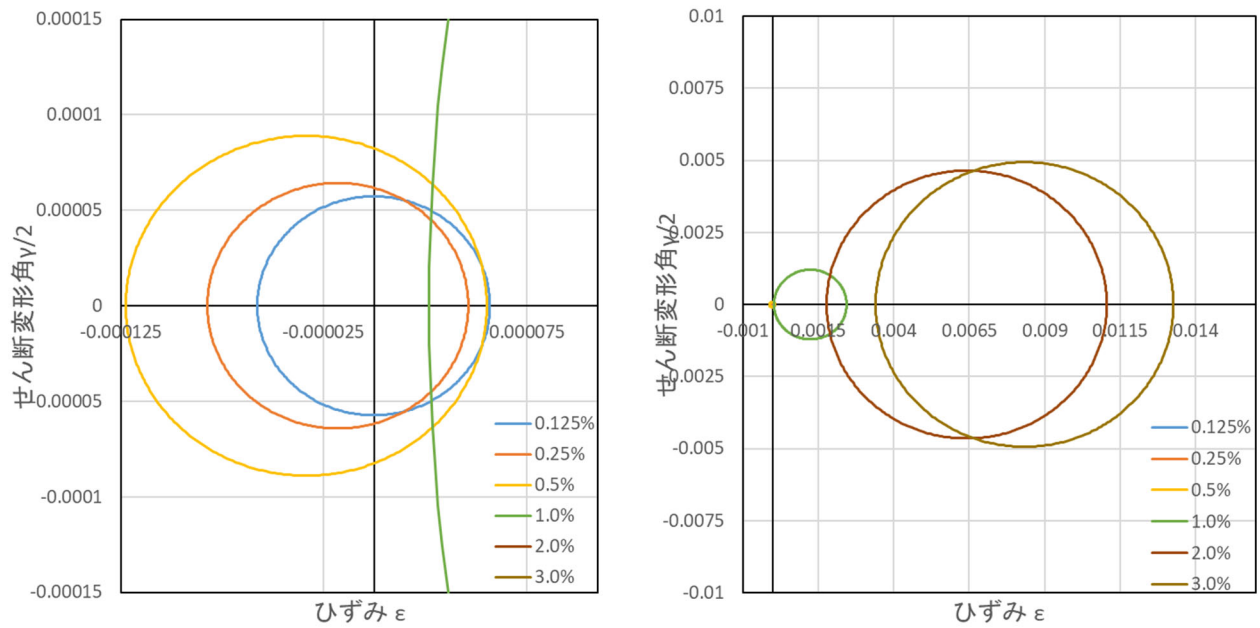


図 3.1.4-32 試験体 D-2 コア モールのひずみ円 (正載荷)

(左側 : R=0.125%から 0.5%, 右側 : R=1.0%から 3.0%)

表 3.1.4-15 試験体 D-2 上コア 計算結果 (正載荷)

層間変形角(%)	中心(μ)	直径(μ)
0.125	0	115
0.25	-18	129
0.50	-34	178
1.00	1231	2409
2.00	6416	9289
3.0	8335	9873

- 上コア（負荷荷）

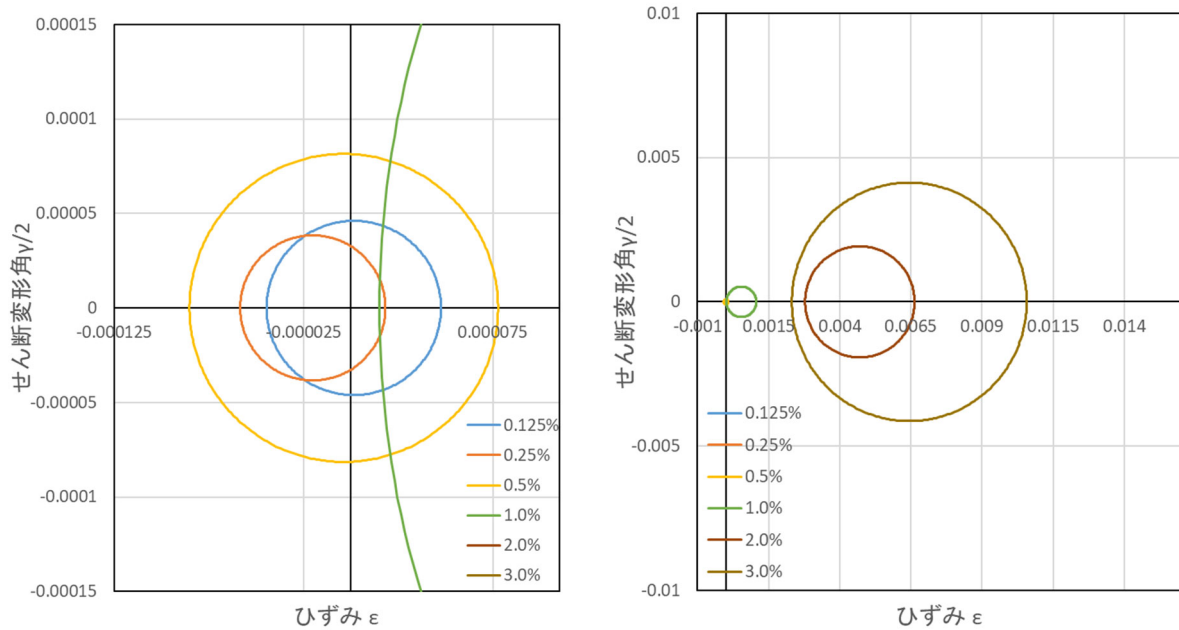


図 3.1.4-33 試験体 D-2 上コア モールのひずみ円（負荷荷）
 （左側：R=-0.125%から-0.5%，右側：R=-1.0%から-3.0%）

表 3.1.4-16 試験体 D-2 上コア 計算結果（負荷荷）

層間変形角(%)	中心(μ)	直径(μ)
0.125	2	92
0.25	-20	77
0.50	-4	163
1.00	540	1051
2.00	4706	3849
3.0	6445	8256

- 下コア（正載荷）

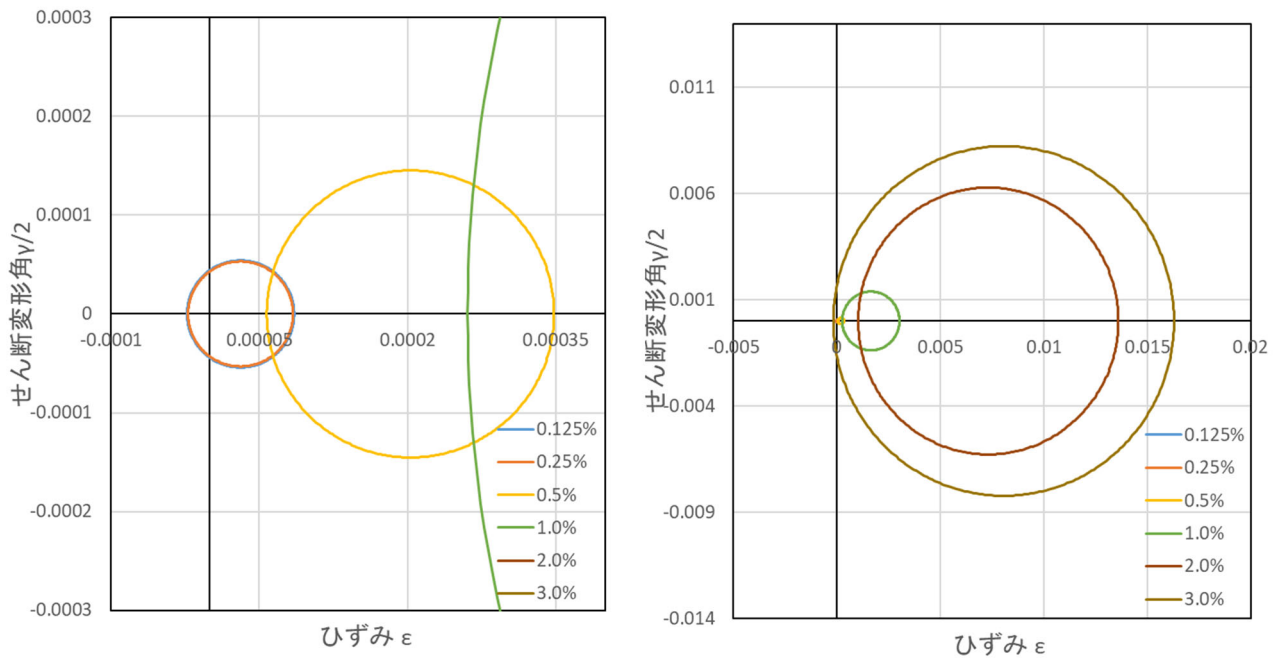


図 3.1.4-34 試験体 D-2 下コア モールのひずみ円（正載荷）
 （左側：R=0.125%から0.5%，右側：R=1.0%から3.0%）

表 3.1.4-17 試験体 D-2 下コア 計算結果（正載荷）

層間変形角(%)	中心(μ)	直径(μ)
0.125	31	108
0.25	31	106
0.50	203	290
1.00	1644	2766
2.00	7320	12571
3.0	8068	16467

• 下コア (負荷荷)

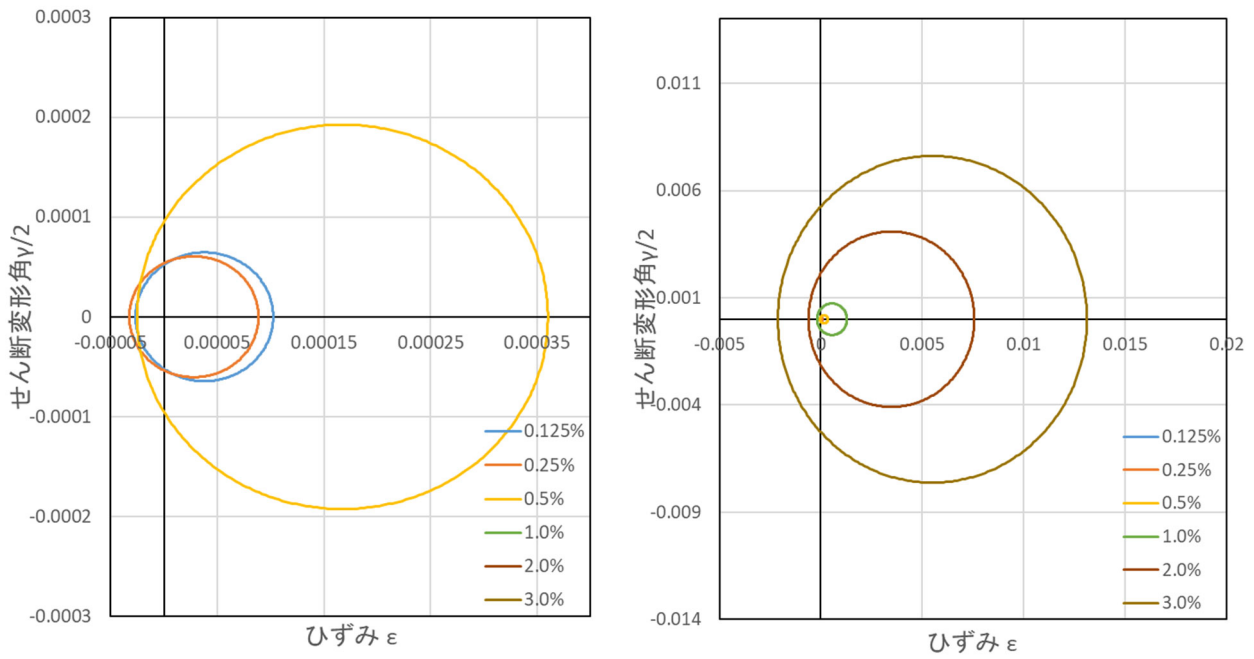


図 3.1.4-35 試験体 D-2 下コア モールのひずみ円 (負荷荷)
 (左側 : R=-0.125%から-0.5%, 右側 : R=-1.0%から-3.0%)

表 3.1.4-18 試験体 D-2 下コア 計算結果 (負荷荷)

層間変形角(%)	中心(μ)	直径(μ)
0.125	38	129
0.25	28	121
0.50	167	385
1.00	554	1469
2.00	3483	8175
3.0	5503	15231

○ 試験体 D-4

正載荷では、層間変形角 $R=1.0\%$ まで上コアより下コアのひずみが大きく、引張力も大きくなっている。 $R=2.0\%$ から下コアより上コアでのひずみが大きく、引張力も大きくなっている。負載荷では、上コアのひずみが大きく、 $R=1.0\%$ から引張力も大きくなっている。

○ 試験体 D-3

正載荷では、層間変形角 $R=1.0\%$ まで上コアより下コアのひずみが大きく、引張力も大きくなっている。

負載荷では、上コアのひずみが大きく、 $R=1.0\%$ から引張力も大きくなっている。

試験体 D-3 と D-4 とでは、モールのひずみ円の円の大きさが D-3 の方が小さかった。破壊性状がことなっていることが考えられる。

○ 試験体 D-4 と試験体 D-2

試験体 D-2 と比較して試験体 D-4 は、上コアの正載荷時と下コアでは変形が大きくなるにつれてひずみが小さくなっている。上コアの負載荷時では試験体 D-4 の方がひずみが大きく、引張力も大きい。

(6) 接合部パネルにおける変形状

図 3.1.4-36 にパイルキャップ裏に取り付けた変位計及び測定変位の各インサート位置の変位の扱いを示す。パイルキャップ裏に取り付けた変位計より各サイクル（繰り返し载荷の場合は 1 回目の値）における接合部パネルの変形状の把握を行った。

各変位計より計測された区間の変位を 2 分割し、各インサート位置における変位を算出した。各インサート位置における変位の算出式を表 3.1.4-19 に示す。なお、試験体 D-3 については検討していない。

図 3.1.4-37～図 3.1.4-40 に各試験体の接合部パネル変形を示す。

各試験体の接合部パネル変形による検討を行い、パイルキャップ部の変形成分の考察を行う。

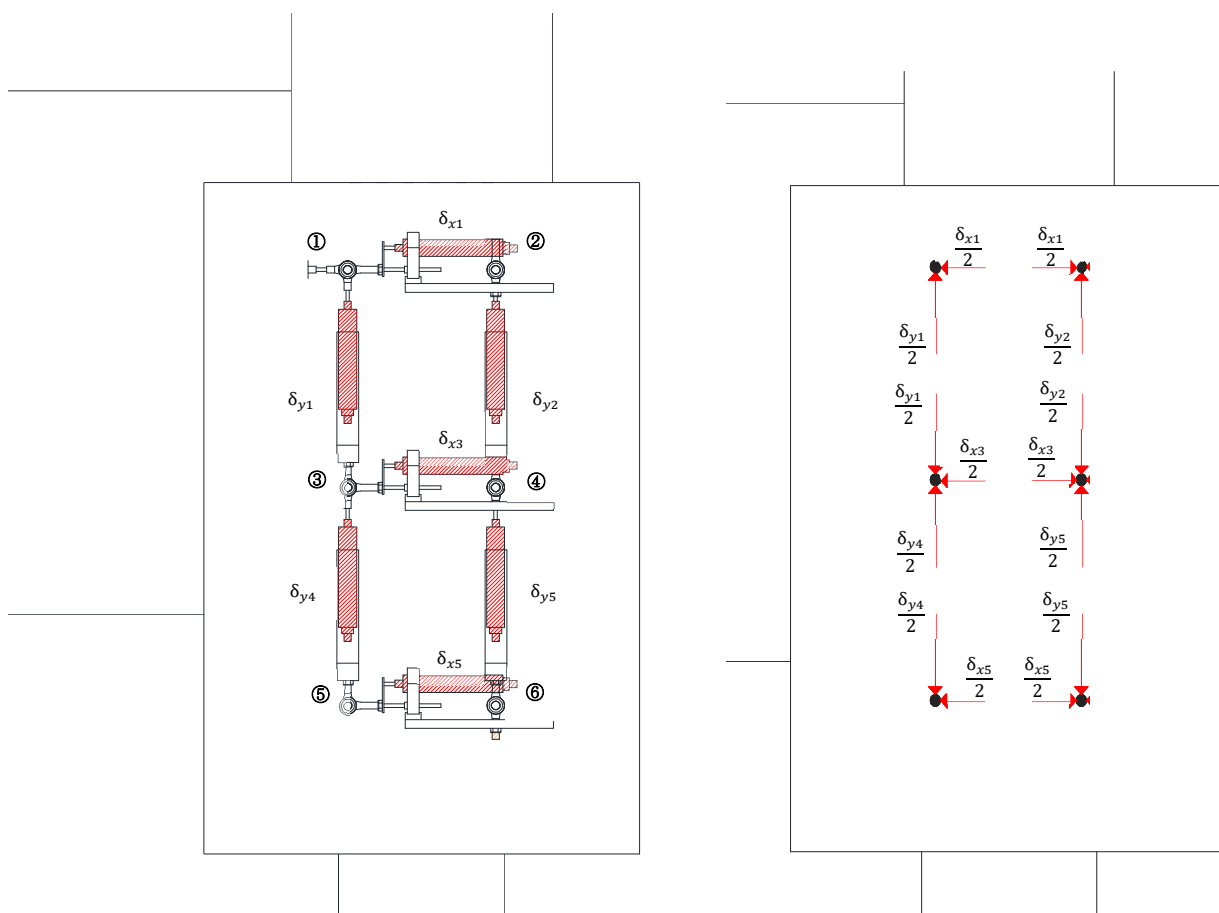


図 3.1.4-36 パイルキャップ内における変位計の変位の扱い

表 3.1.4-19 パイルキャップのインサート変位計算式

① $(x,y)=(-\frac{\delta_{x1}}{2}, \frac{\delta_{y1}}{2})$	② $(x,y)=(\frac{\delta_{x1}}{2} - \frac{\delta_{x2}}{2}, \frac{\delta_{y2}}{2})$
③ $(x,y)=(-\frac{\delta_{x3}}{2}, -\frac{\delta_{y1}}{2} + \frac{\delta_{y4}}{2})$	④ $(x,y)=(\frac{\delta_{x3}}{2} - \frac{\delta_{x4}}{2}, -\frac{\delta_{y2}}{2} + \frac{\delta_{y5}}{2})$
⑤ $(x,y)=(-\frac{\delta_{x5}}{2}, -\frac{\delta_{y4}}{2})$	⑥ $(x,y)=(\frac{\delta_{x5}}{2} - \frac{\delta_{x6}}{2}, -\frac{\delta_{y5}}{2})$

○ 試験体 D-4

パネル変形(正載荷) (※なお, 見やすくするために実際の変形に対して一定の拡大率(40倍)をかけて表現している。)

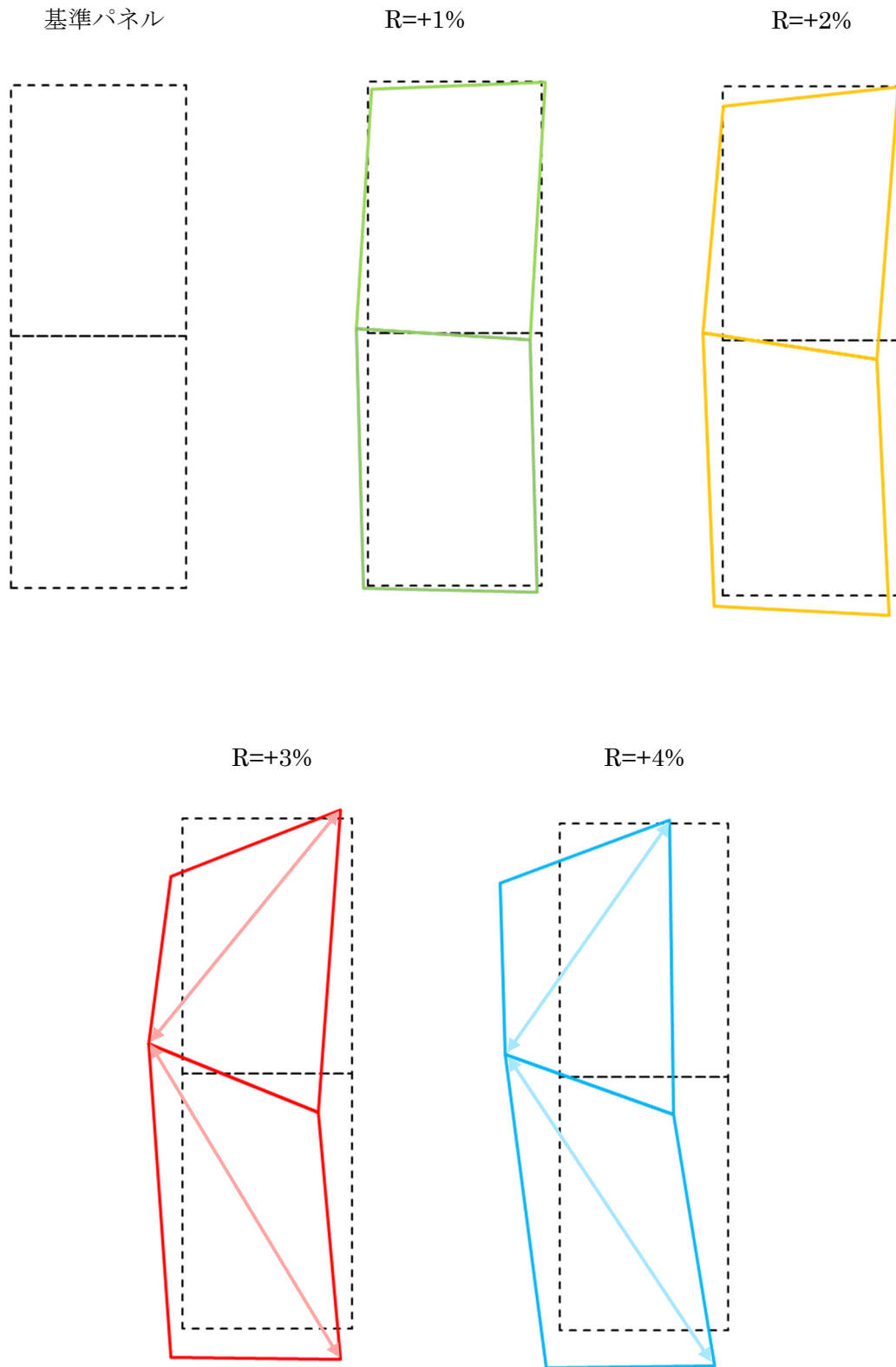
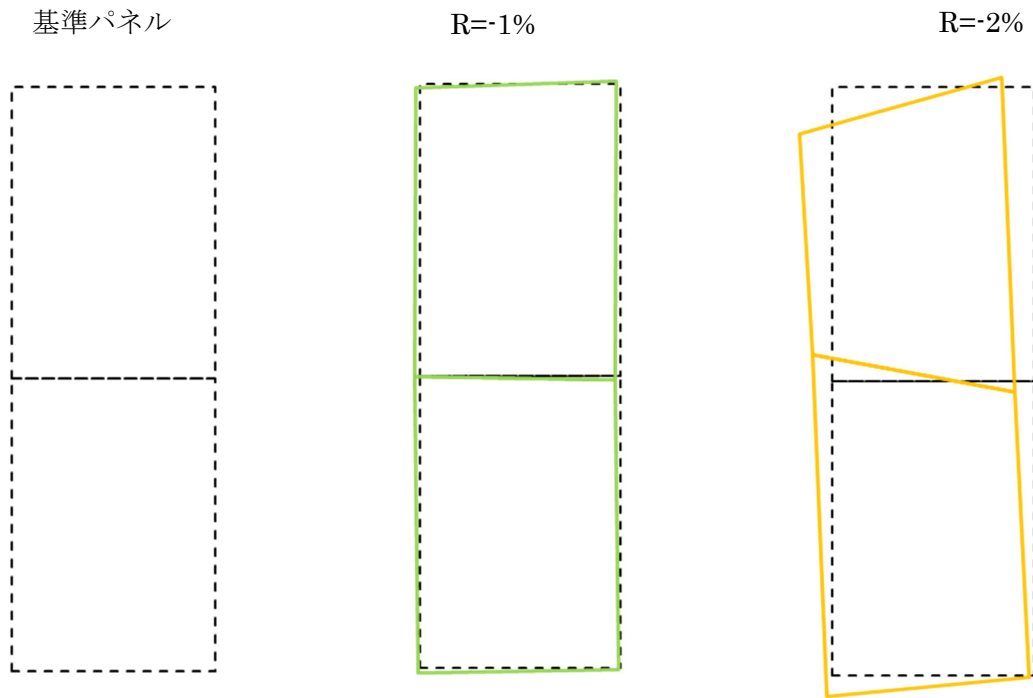


図 3.1.4-37 試験体 D-4 正載荷時パネル変形

パネル変形(負荷荷)



R=1%時までパネルの変形は小さい

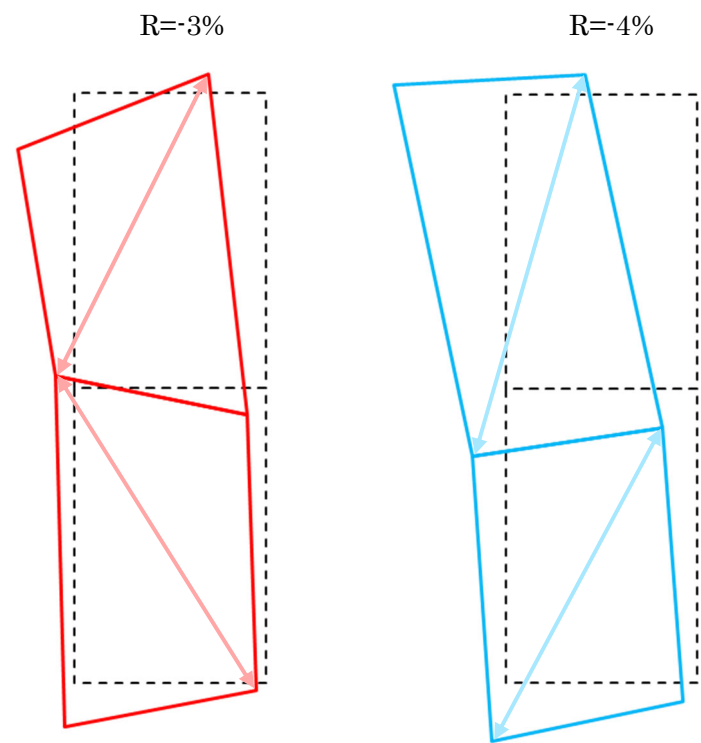
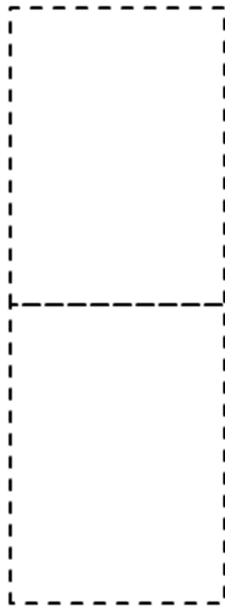


図 3.1.4-38 試験体 D-4 負荷荷時パネル変形

○ 試験体 D-2

パネル変形(正載荷)

基準パネル

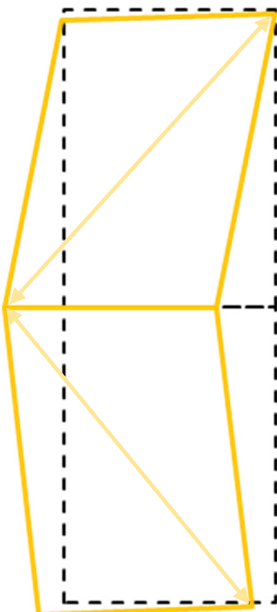


R=+1%

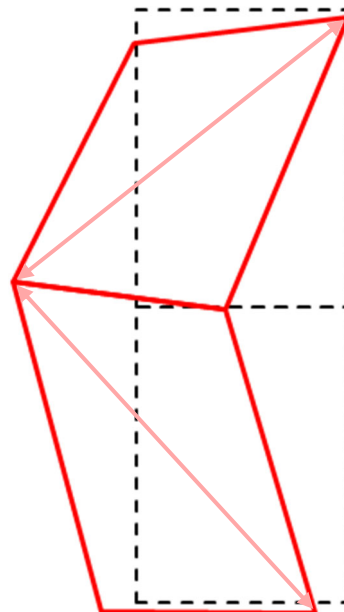


R=1%時までパネルの変形は小さい

R=+2%



R=+3%

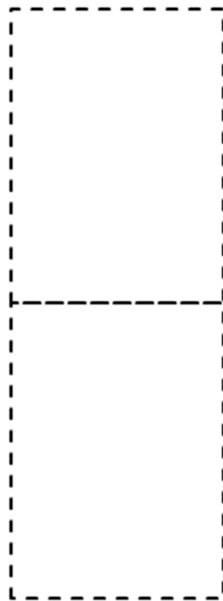


上下コア共に変形が増大し、上部コアは収縮する傾向が見られ、下部コアは膨張する傾向が見られた。

図 3.1.4-39 試験体 D-2 正載荷時パネル変形

パネル変形(負荷荷)

基準パネル

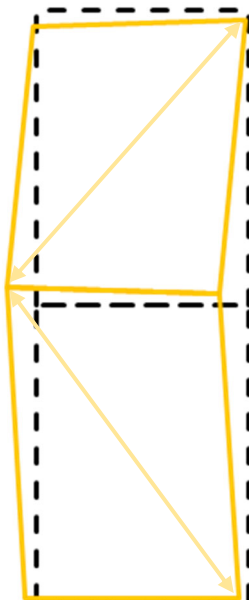


R=-1%

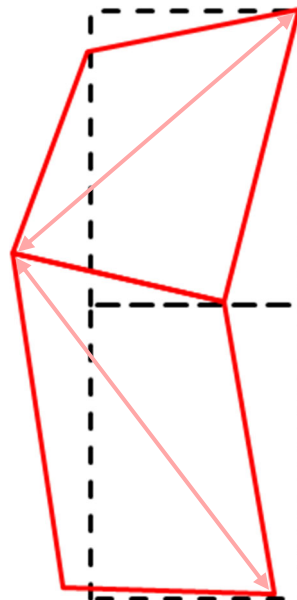


R= -1%時までパネルの変形は小さい

R=-2%



R=-3%



上下コア共に変形が増大し、上部コアは収縮する傾向が見られ、下部コアは膨張する傾向が見られた。

図 3.1.4-40 試験体 D-2 負荷荷時パネル変形

○ 試験体 D-4

試験体 D-4 と試験体 D-2 を比較すると、正載荷は同じ変形をするが、負載荷では $R=1.0\%$ から異なる変形をしている。

(7) 基礎梁主筋の定着

基礎梁主筋の折曲げ部直下のコンクリートには大きな支圧応力が作用し、この領域でコンクリートが割れ裂かれることによる支圧破壊が生じたか、さらに掻き出し破壊が生じたか、計算値と実験値を比較して検討する。なお、試験体 D-4 のみ検討した。

1) 基礎梁主筋折り曲げ定着強度

基礎梁主筋折り曲げ定着強度は、式(4.7-1)で求めた。

ト形柱梁接合部における梁主筋の折曲げ定着強度 f_u は、

$$f_u = 210 \cdot k_c \cdot k_j \cdot k_d \cdot k_s \cdot \sigma_B^{0.4} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (4.7-1)$$

ここで、

σ_B : コンクリート圧縮強度

k_c : 側面かぶり厚さの効果を評価する係数

$$k_c = 0.4 + \frac{0.1 \cdot C_0}{d_b} \quad (\leq 1.0)$$

k_j : 折曲げ位置の効果を評価する係数

$$k_j = 0.6 + \frac{0.4 \cdot l_{dh}}{j} \quad (\leq 1.0)$$

k_d : 定着投影長さの効果を評価する係数

$$k_d = 0.5 + \frac{l_{dh}}{30d_b} \quad (\leq 1.0)$$

k_s : 横補強筋の効果を評価する係数

$$k_s = 0.7 + \frac{0.5 \cdot d_s^2}{d_b^2} \quad (\leq 1.0)$$

ここで、

d_b : 定着筋の公称径

C_0 : 定着鉄筋心までの側面かぶり厚さ

l_{dh} : 定着投影長さ

(定着応力算定断面から折曲げ開始点までの直線部+折り曲げ内法半径+鉄筋公称径)

j : 梁危険断面の応力中心距離

d_s : 定着部に配される横補強筋径

(折曲げ内法直径内に外周横補強筋が配されている場合)

参考文献[3-11] : 鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説, 1999,

2) 基礎梁主筋の掻き出し定着耐力

基礎梁主筋掻き出し定着耐力は、式(4.7-2)で求めた。掻き出し破壊定着耐力に関する記号の定義を図3.1.4-41に示す。

梁主筋掻き出し定着耐力 T_{cu} は、

$$T_{cu} = k_n \cdot (T_c + T_w) \quad (4.7-2)$$

$$T_c = \frac{2l_a \cdot b_e \cdot 0.313 \cdot \sqrt{F_c} \cdot \sqrt{(l_a^2 + j_{ctg}^2)}}{j_{ctg}}$$

$$b_e = b_s + C_{e1} + C_{e2}$$

$$T_w = 0.7 \cdot A_w \cdot \sigma_{wy}$$

$$k_n = 1 + \sqrt{\frac{\sigma_o}{F_c}} \leq (0.1 + 0.016F_c)$$

$$\sigma_o = \frac{N_c}{B_c \cdot D_c}$$

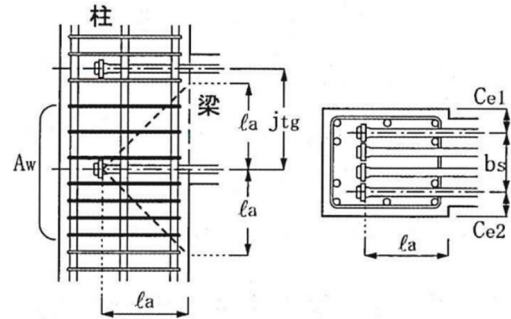


図 3.1.4-41 掻き出し破壊定着耐力に関する記号の定義

ここで、

l_a : 定着長さ

F_c : コンクリート設計基準強度 (N/mm²)

j_{ctg} : 梁上下主筋の重心間距離

b_e : 柱有効幅

C_{e1}, C_{e2} : 最外縁の定着筋中心からの柱側面かぶり厚さ ($\leq 0.8l_a$)

b_s : 最外縁に配置された定着筋の中心間距離

A_w : 梁定着筋列より柱上下方向にそれぞれ l_a の範囲および柱有効幅 b_e の範囲内に配置された横補強筋の全断面積

σ_{wy} : 接合部および柱の横補強筋の降伏強度

$\sigma_{wy} = \min(\sigma_{wyo}, 55\sqrt{F_c})$ ($F_c \geq 60$ N/mm² の時は, $F_c = 60$ N/mm² とする)

ここで, σ_{wyo} : 接合部および柱の横補強筋の規格降伏点

k_n : 柱軸圧縮応力度

N_c : 地震時柱軸力 ($N_c \leq 0$ の時は, $N_c = 0$ とする)

B_c, D_c : 柱断面幅およびせい

参考文献[3-11] : 日本建築学会 : 鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説, pp.265

3) 引張応力度および支圧応力度の実験値

基礎梁主筋のひずみゲージにより引張応力度，支圧応力度を算出した。支圧応力度は折曲げ始点と終点を結ぶ線と鉄筋径で作成される長方形を仮定し，この面に垂直に作用する圧縮応力とした。また，折曲げ内側コンクリートにかかる支圧力に関して，支圧応力が大きくなる領域は鉄筋径の3倍程度の幅を持つと考えられることから，算出した支圧応力度を3で除した。このときの算定式を式(4.7-3)に，支圧応力度算定断面を図3.1.4-42に示す。

$$\sigma_l = \frac{\frac{P_1}{\sqrt{2}} + \frac{P_2}{\sqrt{2}}}{\sqrt{2}r \cdot d} = \frac{P_1 + P_2}{2rd} \quad (4.7-3)$$

ここで，

σ_l ：支圧応力度

P_1, P_2 ：折曲げ開始点，終点の梁主筋力

d ：梁主筋径

r ：折曲げ半径

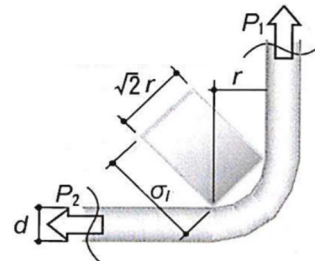


図 3.1.4-42 支圧応力度算定断面

参考文献[3-12]：RC 造 90° 折曲げ定着における折曲げ近傍の応力性状に関する 3次元 FEM 解析,2006

4) 基礎梁主筋の定着の検討

試験体 D-4 の基礎梁主筋折り曲げ定着強度および各サイクルにおける引張応力度を表 3.1.4-20~21, 図 3.1.4-43~44 に, 最大耐力時とその次のサイクルの基礎梁主筋掻き出し定着耐力および各サイクルにおける引張力を表 3.1.4-22~23, 図 3.1.4-45~46 に, 各サイクルにおける支圧応力度を表 3.1.4-23~25, 図 3.1.4-47~48 に示す。試験体 D-4 のみ検討した。

表 3.1.4-20 折り曲げ定着強度と引張応力度
(正載荷)

ゲージ		Ba-6	Bb-6	Bc-6
折り曲げ定着強度(N/mm ²)		529.3	529.3	529.3
基礎梁主筋 引張応力度 (N/mm ²)	+1	-14.1	-14.5	-14.7
	+2	-1.6	-4.2	-5.3
	+3	65.5	60.2	66.3
	+4	81.2	74.4	79.8
	+5	225.1	189.3	176.4
	+6	213.4	162.6	150.3
	+7	276.8	200.8	173.1
	+8	216.6	140.0	112.7
	+9	282.5	162.6	92.5
	+10	-	120.2	53.1
	+11	-	109.5	30.9
	+12	-	-	25.5

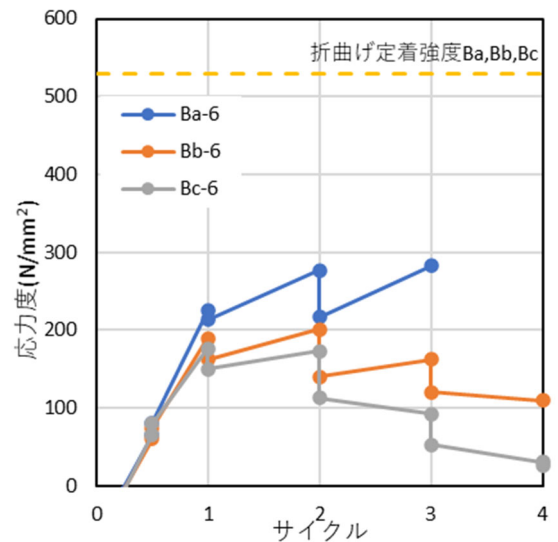


図 3.1.4-43 折り曲げ定着強度と引張応力度
(正載荷)

表 3.1.4-21 折り曲げ定着強度と引張応力度
(負載荷)

ゲージ		Ba-4	Bb-4	Bc-4
折り曲げ定着強度(N/mm ²)		331.1	409.2	331.1
基礎梁主筋 引張応力度 (N/mm ²)	-1	15.0	12.1	11.7
	-2	94.2	89.7	84.5
	-3	231.9	218.8	221.2
	-4	230.5	216.8	221.8
	-5	347.7	346.1	378.0
	-6	336.6	326.7	361.5
	-7	471.2	452.4	441.7
	-8	425.1	405.9	381.0
	-9	474.0	448.7	408.7
	-10	409.7	392.8	344.7
	-11	407.9	388.5	340.4
	-12	337.6	320.8	293.0

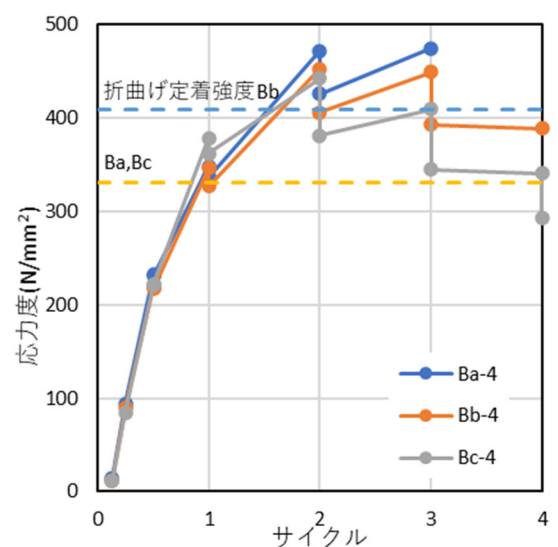


図 3.1.4-44 折り曲げ定着強度と引張応力度
(負載荷)

表 3. 1. 4-22 掻き出し定着耐力と引張力
(正載荷)

掻き出し定着耐力(kN)	最大耐力時	273.4
	+8ピーク	273.3
基礎梁主筋引張力(kN)	+1	71.6
	+2	136.6
	+3	292.5
	+4	292.3
	+5	452.9
	+6	430.7
	+7	562.5
	+8	500.3
	+9	529.7
	+10	445.8
	+11	392.6
	+12	306.1

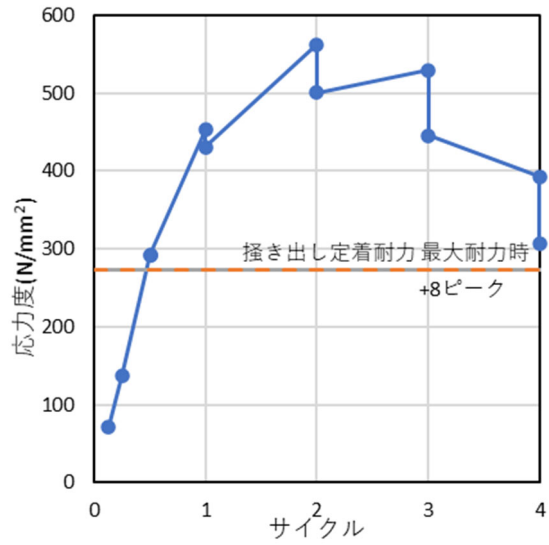


図 3. 1. 4-45 掻き出し定着耐力と引張力
(正載荷)

表 3. 1. 4-23 掻き出し定着耐力と引張力
(負載荷)

掻き出し定着耐力(kN)	最大耐力時	321.2
	-8ピーク	321.2
基礎梁主筋引張力(kN)	-1	-47.5
	-2	-54.0
	-3	-29.2
	-4	-20.5
	-5	138.8
	-6	133.4
	-7	191.0
	-8	172.9
	-9	224.4
	-10	196.9
	-11	223.3
	-12	189.9

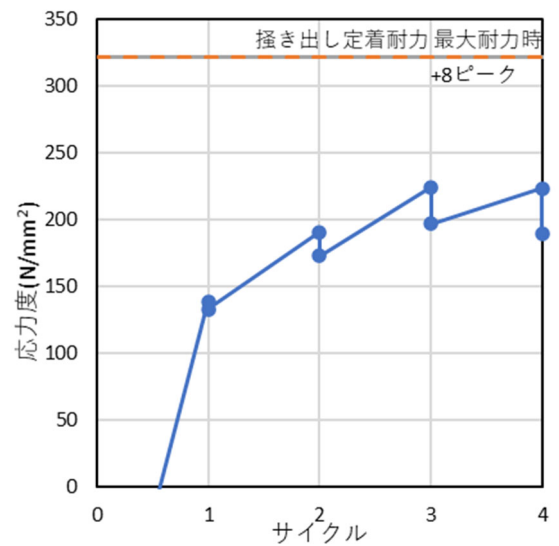


図 3. 1. 4-46 折曲げ定着強度と引張応力度
(負載荷)

表 3.1.4-24 支圧応力度 (正載荷)

サイクル	支圧応力度 (N/mm ²)		
	Ba	Bb	Bc
+1	1.9	1.6	1.3
+2	4.2	3.8	3.4
+3	10.8	10.3	10.4
+4	11.3	10.8	11.0
+5	20.5	19.3	18.9
+6	19.4	17.9	17.4
+7	25.7	23.7	20.8
+8	22.2	20.6	15.9
+9	25.4	23.6	14.5
+10	-	20.3	10.0
+11	-	18.5	7.5
+12	-	-	5.5

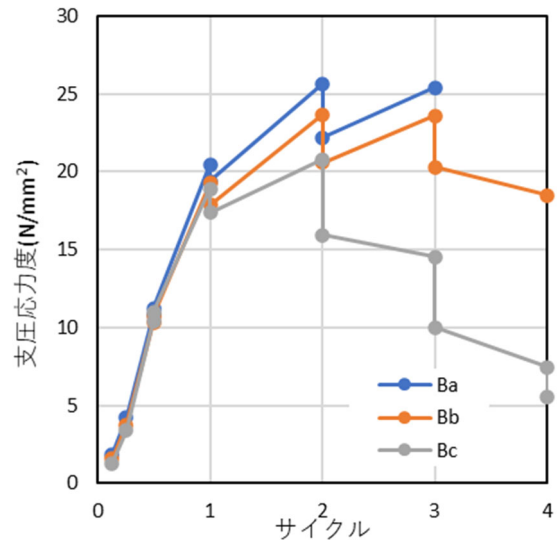


図 3.1.4-47 支圧応力度 (正載荷)

表 3.1.4-25 支圧応力度 (正載荷)

サイクル	支圧応力度 (N/mm ²)		
	Ba	Bb	Bc
-1	-1.0	-0.9	-
-2	1.5	1.5	-
-3	6.8	6.6	-
-4	7.0	6.8	-
-5	15.9	15.2	-
-6	15.4	14.4	-
-7	21.4	20.3	-
-8	19.3	18.3	-
-9	22.3	21.3	-
-10	19.3	18.7	-
-11	20.1	19.3	-
-12	17.0	15.9	-

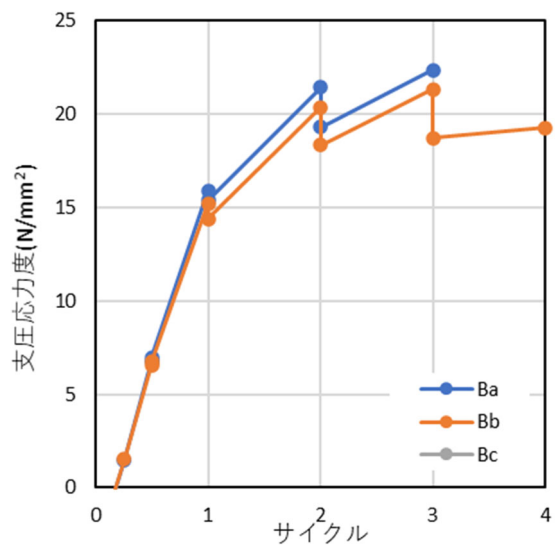


図 3.1.4-48 支圧応力度 (正載荷)

(8) 鉄筋の付着強度

鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説^[3-11]より、柱および梁部材では終局限界状態における主筋の付着強度が付着信頼強度を下回る事（付着強度の確保）を原則としている。

以下に試験体の付着信頼強度の算出方法及び付着強度の実験値の算出方法を示す。また、計算結果を表 3.1.4-26, 27 に示す。なお計算結果は引張側鉄筋（正載荷は下端筋，負載荷は上端筋）の中で最も大きい付着力となった鉄筋の値を示す。試験体 D-4 のみ検討した。

1) 付着信頼強度

柱および梁の1段目主筋の付着信頼強度は、式(4.9.1)によることができる。

$$\tau_{bu} = \alpha_t \{ (0.086b_i + 0.11) \sqrt{\sigma_B} + k_{st} \} \quad (\sigma_B \text{の単位は } \text{N/mm}^2 \text{ とする}) \quad (4.9.1)$$

ここで、 α_t は上端筋に対する付着強度低減係数で次式による。

$$\alpha_t = \begin{cases} 0.75 + \frac{\sigma_B}{400} & \text{(梁の上端主筋)} \\ 1 & \text{(上記以外の主筋)} \end{cases}$$

b_i は、割裂線長さ比で次式による。

$$b_i = \min(b_{si}, b_{ci})$$

$$b_{si} = (b - N_1 d_b) / (N_1 d_b)$$

$$b_{ci} = \{ \sqrt{2}(d_{cs} + d_{ct}) - d_b \} / d_b$$

b :部材の幅, N_1 :1段目主筋の本数, d_{cs} :主筋の中心から側面までのかぶり厚さ,

d_{ct} :主筋の中心から底面までのかぶり厚さ

k_{st} は、横補強筋の効果で次式による。

$$k_{st} = \begin{cases} (56 + 47N_w/N_1)(b_{si} + 1)p_w & (b_{ci} \geq b_{si} \text{のとき}) \\ 146A_w - (d_b s) & (b_{ci} < b_{si} \text{のとき}) \end{cases}$$

N_w :1組の横補強筋の足の数(= $N_s + 2$)、 p_w :横補強筋比、 A_w :横補強筋1本の断面積

s :横補強筋間隔、 N_s :中子筋の本数

本試験体の基礎梁は多段配筋ではないので、2段目の計算は省略する。

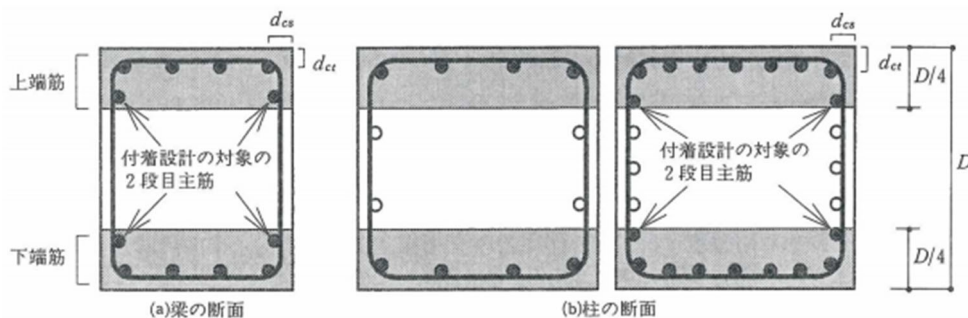


図 3.1.4-49 付着強度の確保の対象となる主筋

2) 付着強度の実験値

梁に貼り付けたひずみゲージにより測定されたひずみを用いて、応力度を算出する。

$$\tau = \frac{T_2 - T_1}{\pi D l}$$

D : 基礎梁主筋直径 l : ひずみゲージ間距離 T : 鉄筋にかかる応力
鉄筋にかかる応力は鉄筋ひずみに主筋断面積とヤング係数を乗した物とする。

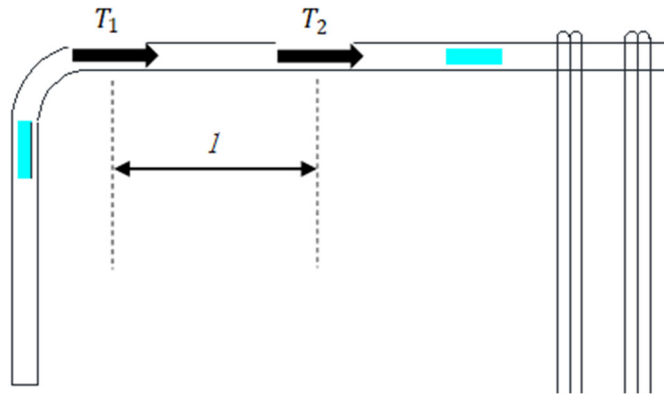


図 3.1.4-50 付着強度実験値の算出方法

表 3.1.4-26 計算結果（正載荷）

試験体	D-4	F-1	
部材	基礎梁下端	西基礎梁上端	東基礎梁下端
付着信頼強度	48.41		
+1	5.17	0.47	8.85
+2	5.63	4.32	12.07
+3	2.88	14.51	13.48
+4	2.62	14.73	12.33
+5	2.84	25.24	16.21
+6	2.26	23.64	13.53
+7	3.26	39.75	16.61
+8	5.32	33.05	12.71
+9	6.28	34.20	10.02
+10	6.94	26.04	7.65
+11	8.03		
+12	8.07		

表 3.1.4-27 計算結果（負載荷）

試験体	D-4	F-1	
部材	基礎梁上端	西基礎梁下端	東基礎梁上端
付着信頼強度	48.41		
-1	0.95	7.34	0.55
-2	3.19	7.32	1.29
-3	2.45	6.17	3.77
-4	2.34	5.86	3.64
-5	5.61	6.59	6.59
-6	5.32	5.88	6.01
-7	3.64	8.41	11.44
-8	2.91	7.90	10.07
-9	4.48	23.58	10.85
-10	5.72	21.11	9.03
-11	5.19		
-12	5.06		

以上より，十分な付着強度を有していたことから，両試験体付着破壊をしたとは考えられない。

(9) パイルキャップの鉄筋ひずみ分布

図 3.1.4-51 に試験体 D-4 のパイルキャップの縦筋ひずみゲージ位置を、図 3.1.4-52~61 に試験体 D-4 の縦筋のひずみ分布を示す。試験体 D-4 のみ検討した。

○ 試験体 D-4

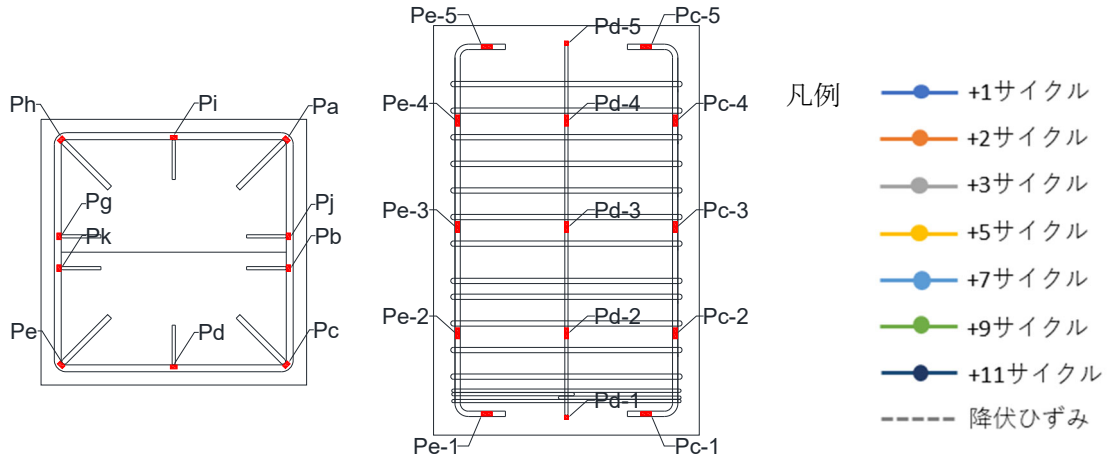


図 3.1.4-51 試験体 D-4 縦筋ひずみゲージ位置

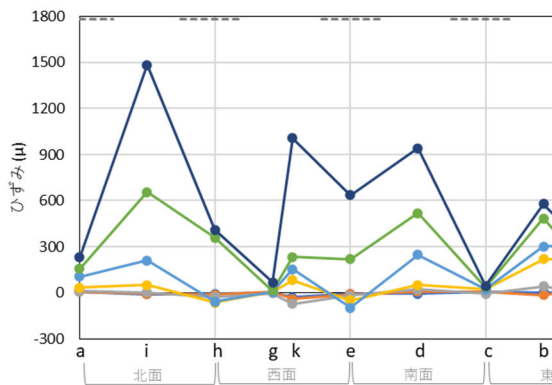


図 3.1.4-52 縦筋 1 分布(正載荷)

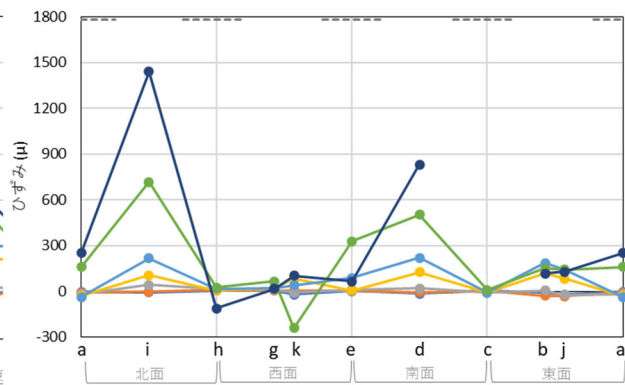


図 3.1.4-53 縦筋 1 分布(負載荷)

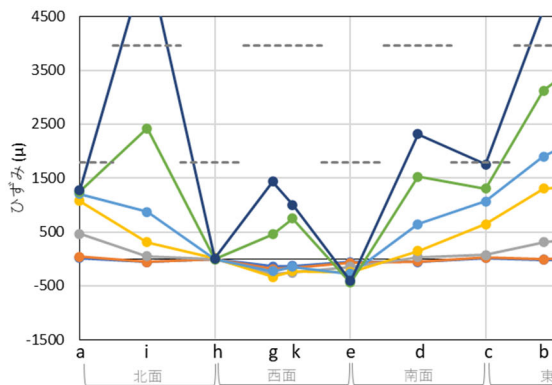


図 3.1.4-54 縦筋 2 分布(正載荷)

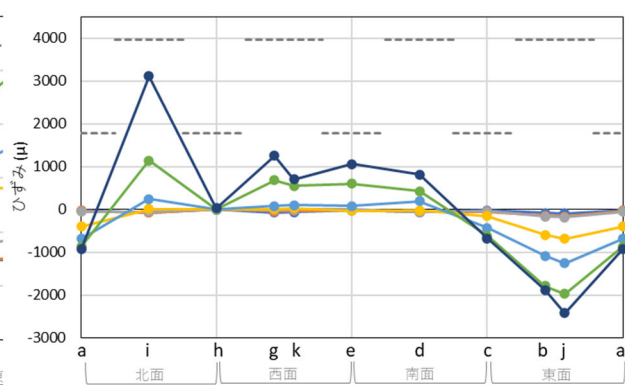


図 3.1.4-55 縦筋 2 分布(負載荷)

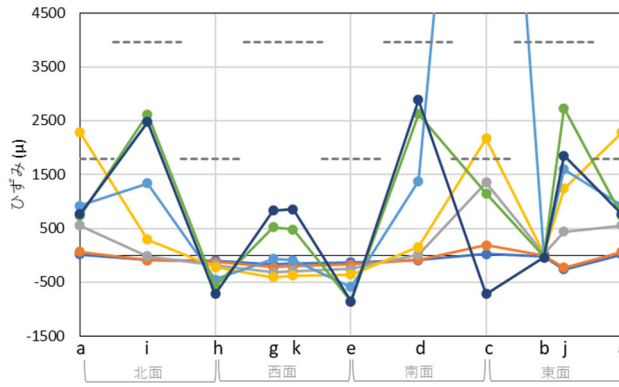


図 3.1.4-56 縦筋 3 分布 (正載荷)

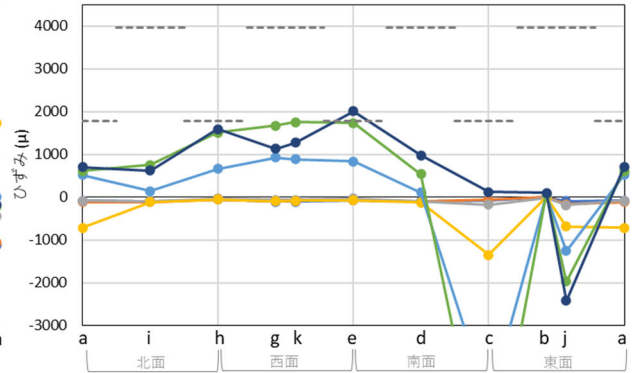


図 3.1.4-57 縦筋 3 分布 (負載荷)

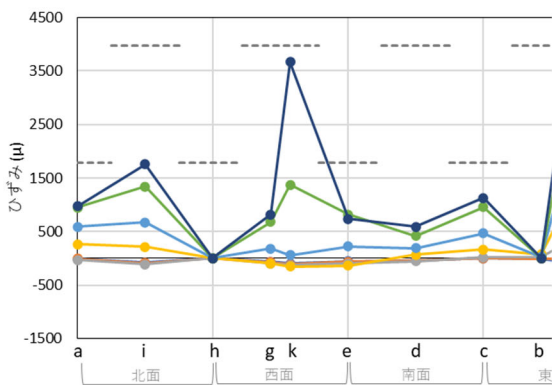


図 3.1.4-58 縦筋 4 分布 (正載荷)

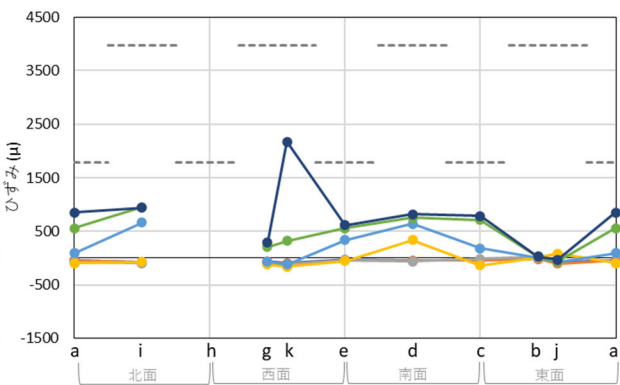


図 3.1.4-59 縦筋 4 分布 (負載荷)

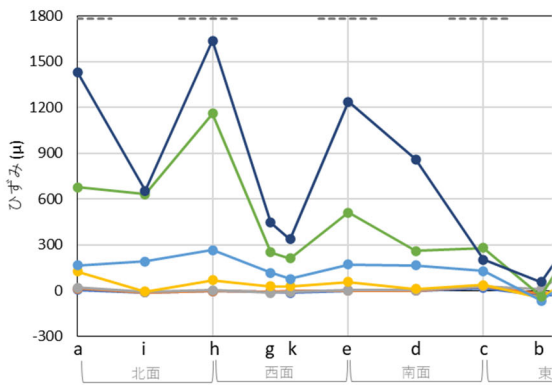


図 3.1.4-60 縦筋 5 分布 (正載荷)

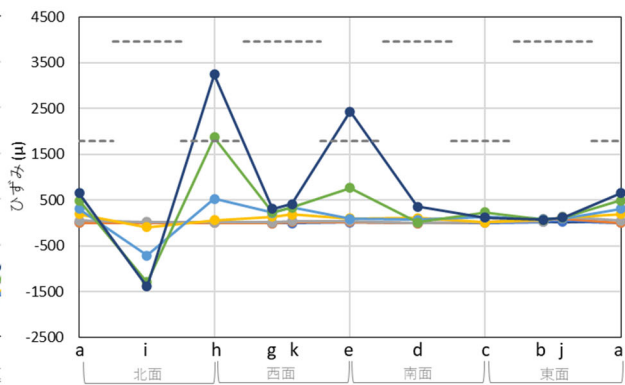


図 3.1.4-61 縦筋 5 分布 (負載荷)

(10) 破壊性状の決定

○ 試験体 D-4

表 3.1.4-28 最大耐力の要因・最終破壊性状

試験体D-4	最大耐力の要因	最終破壊性状
正載荷	杭頭定着筋の降伏	杭頭埋込部破壊
負載荷	柱主筋の降伏	柱脚曲げ圧壊

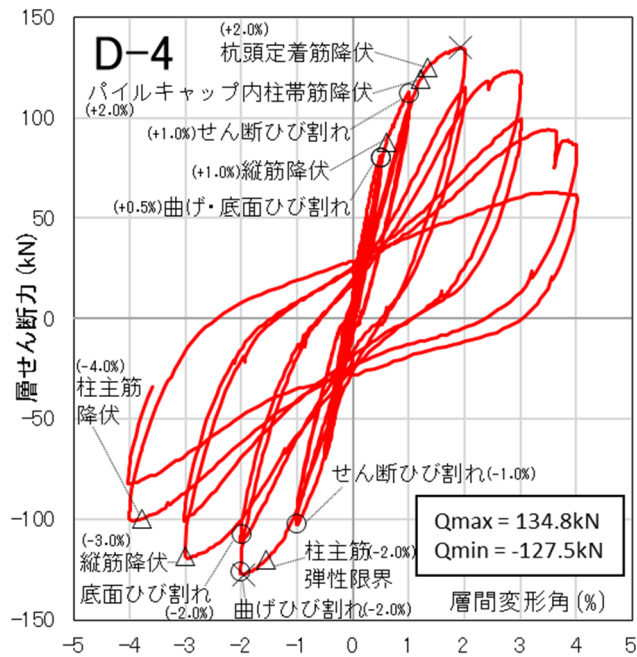


図 3.1.4-62 Q-R 図

● 最大耐力の要因

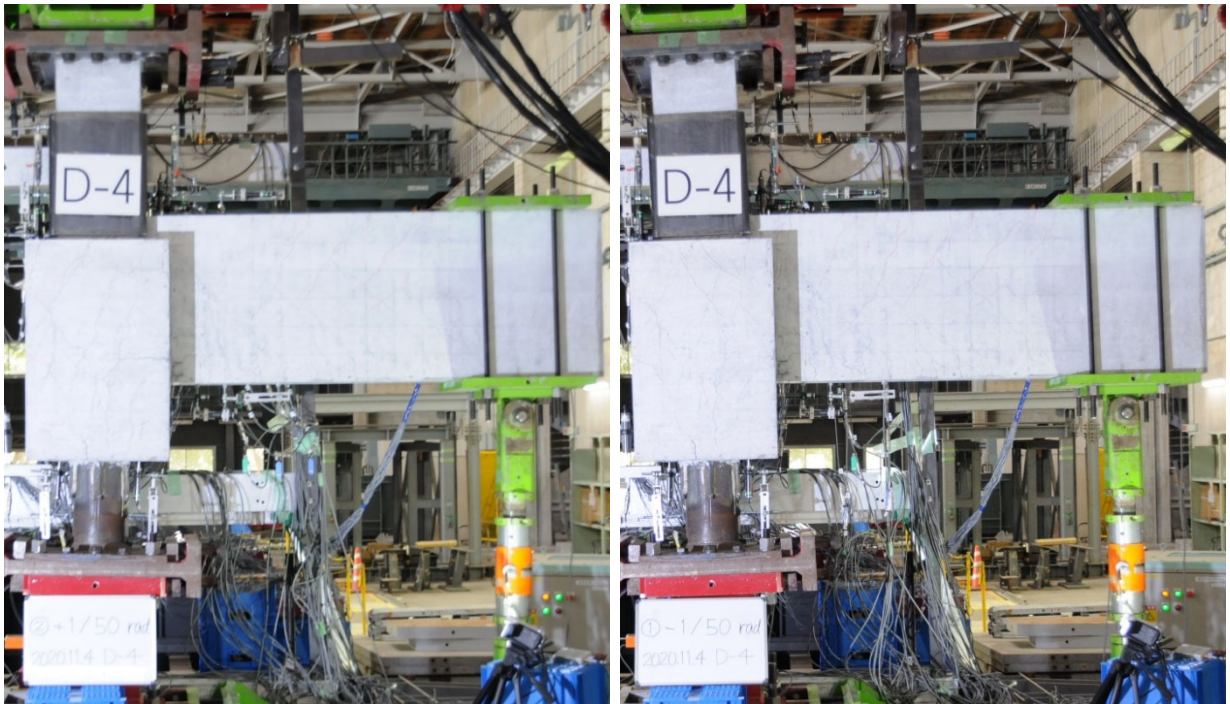
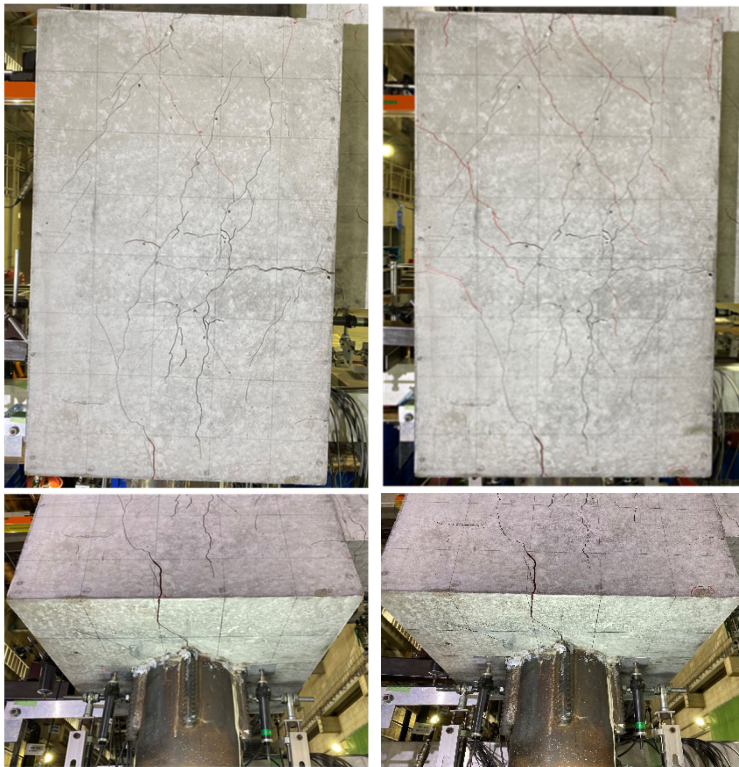


写真 3.1.4-1 最大耐力時ひび割れ状況 (左 : R=+2.0%、右 : R=-2.0%)



正載荷では、図 3.1.4-63, 64 より、杭頭定着筋が降伏して最大耐力を迎えたことから、最大耐力は杭頭定着筋の降伏で決まったと判断した。

負載荷では、図 3.1.4-65, 66 より、柱主筋(D16 SD785 使用)が弾性限界に達して最大耐力を迎えたことから、最大耐力は柱主筋降伏で決まったと判断した。

写真 3.1.4-2 最大耐力時ひび割れ状況
(左 : R=+2.0%、右 : R=-2.0%)

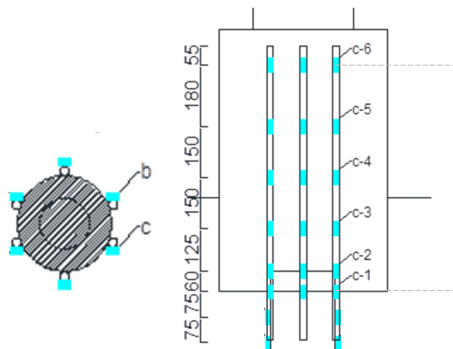


図 3.1.4-63 アンカー筋ひずみゲージ図

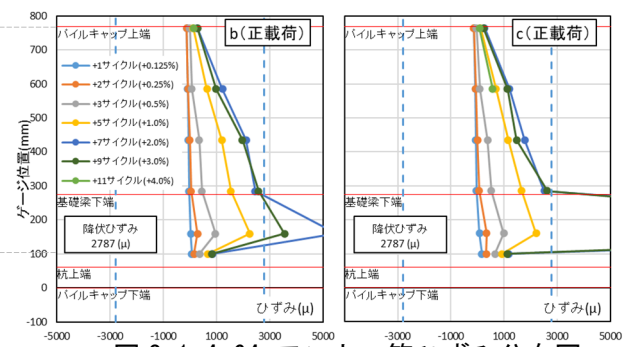


図 3.1.4-64 アンカー筋ひずみ分布図

(左 : b、右 : c)

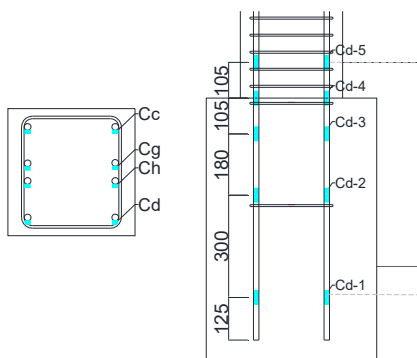


図 3.1.4-65 柱主筋ひずみゲージ図

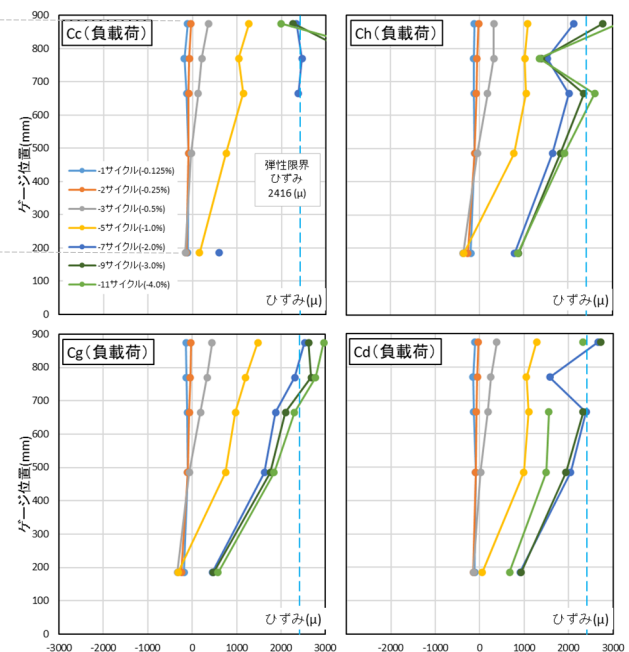


図 3.1.4-66 柱主筋ひずみ分布図

(左上 : Cc、右上 : Ch)

(左下 : Cg、右下 : Cd)

• 最終破壊性状

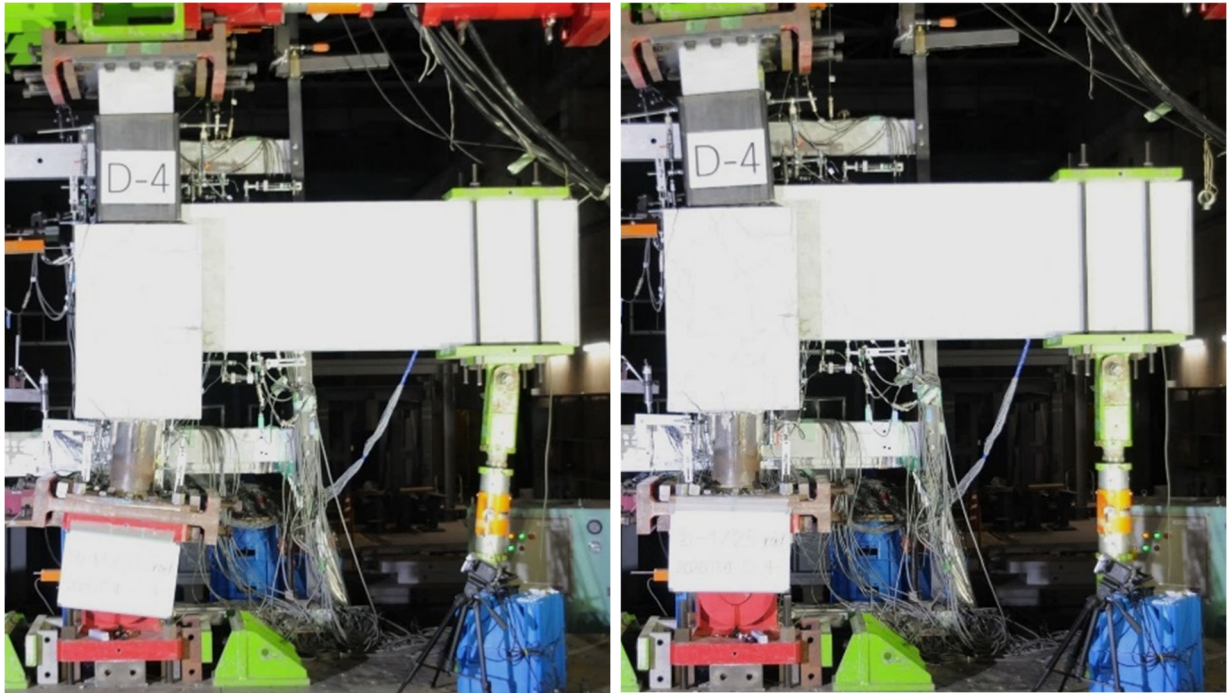


写真 3. 1. 4-3 最終変形時ひび割れ状況（左：R=+4.0%、右：R=-4.0%）

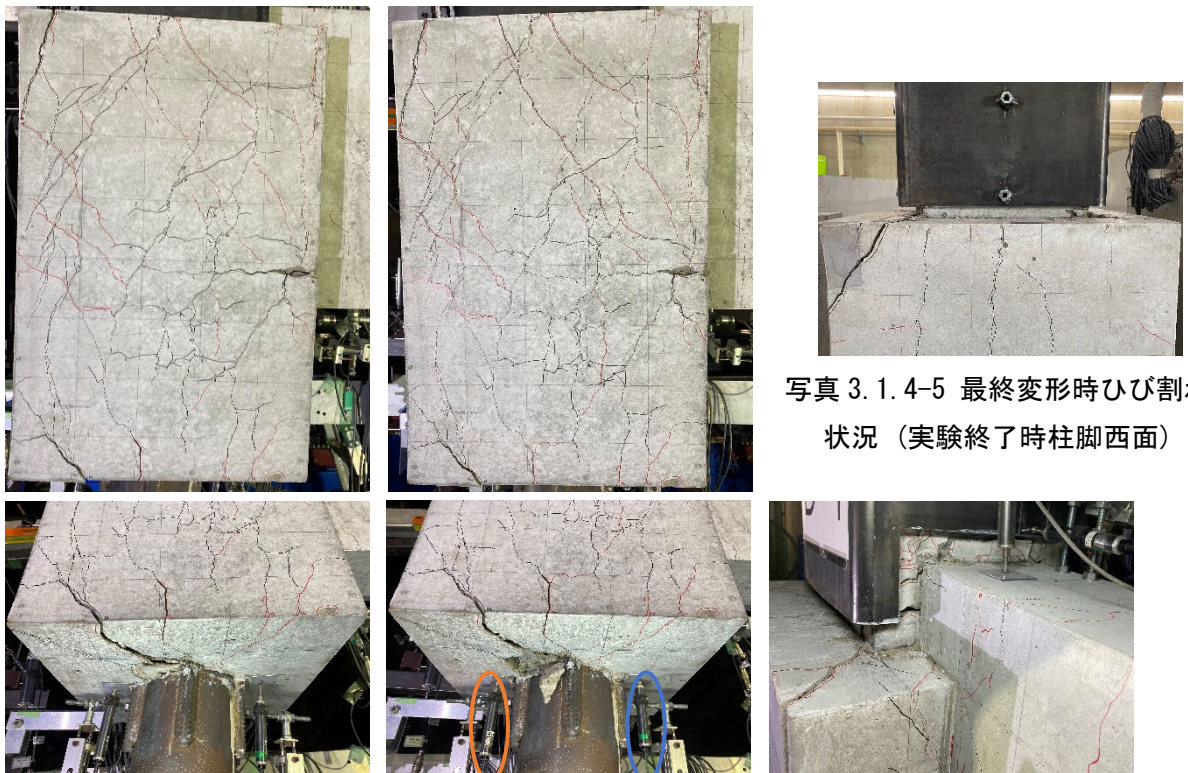


写真 3. 1. 4-5 最終変形時ひび割れ状況（実験終了時柱脚西面）

写真 3. 1. 4-4 最終変形時ひび割れ状況（左：R=+4.0%、中央：R=-4.0%、右：R=-4.0%柱脚東面）

正載荷では、図 3. 1. 4-67 より、杭がパイルキャップに対して変形し、ひび割れ幅がさらに広がったことから、最終破壊性状は杭頭接合部破壊とした。

負載荷では、図 3. 1. 4-69 より柱の変形成分の割合が大きく、柱主筋の引張側(Cc,Cg,Ch,Cd)が降伏していることから、最終破壊性状は柱の曲げ圧壊と判断した。図 3. 1. 4-67, 68 より、パイルキャップが沈下した。

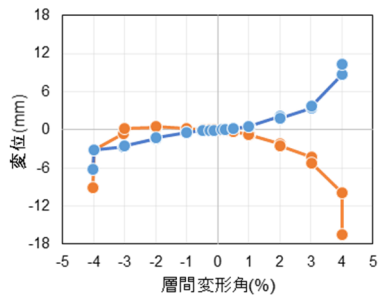


図 3.1.4-67 杭-イルキャップ変位

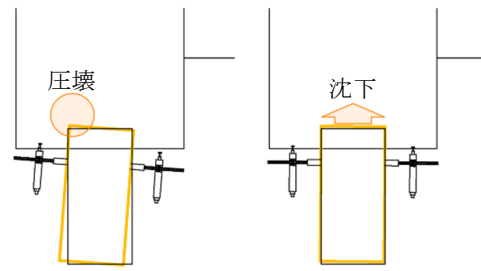


図 3.1.4-68 杭-イルキャップ変形状況
(左 : R=+4.0%、右 : R=-4.0%)

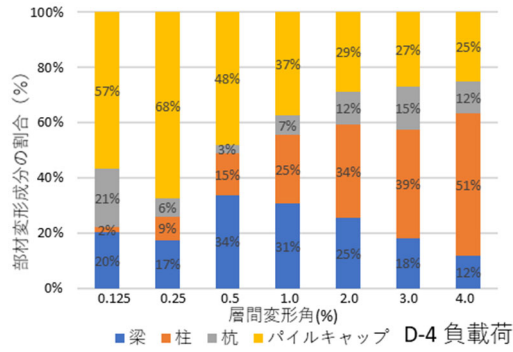


図 3.1.4-69 部材変形成分の割合

○ 試験体 D-3

表 3.1.4-29 最大耐力の要因・最終破壊性状

試験体 D-3	最大耐力の要因	最終破壊性状
正載荷	杭頭定着筋の降伏	柱脚曲げ圧壊
負載荷	柱脚の曲げ圧壊	柱脚曲げ圧壊

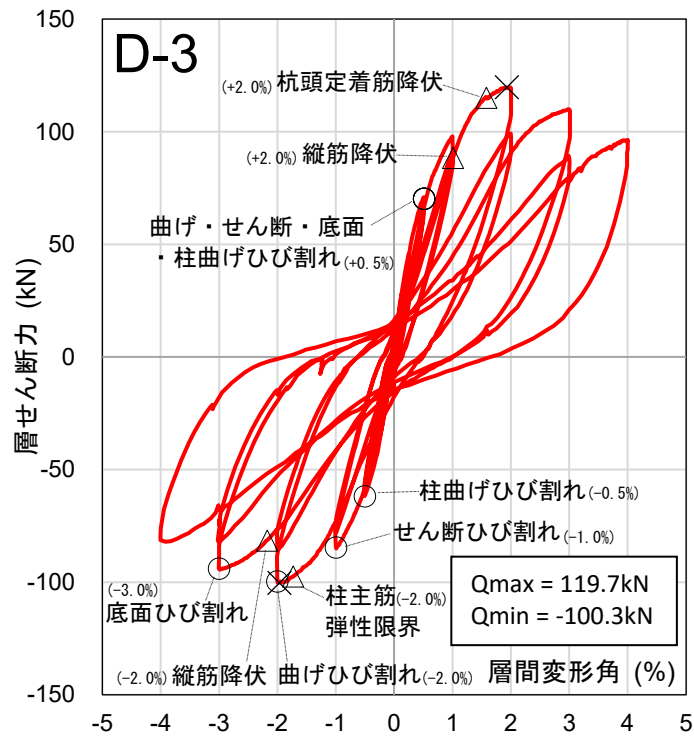


図 3.1.4-70 Q-R 図

• 最大耐力の要因

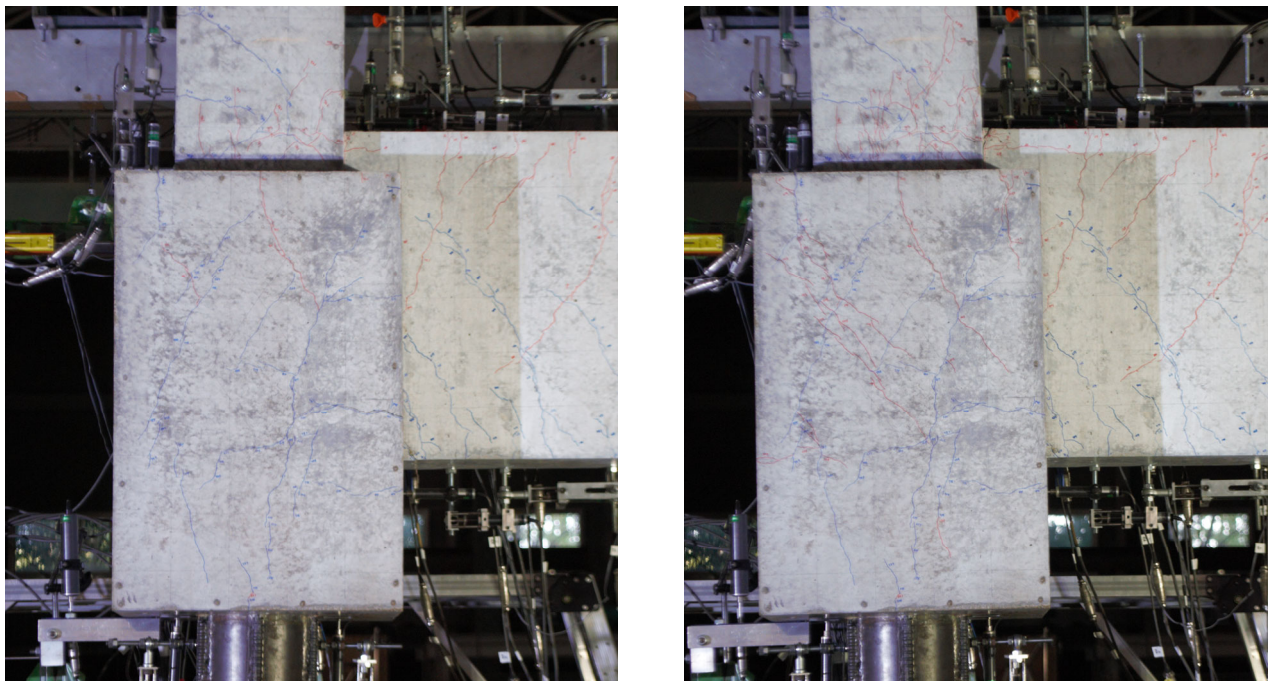


写真 3.1.4-6 最大耐力時ひび割れ状況 (左 : R=+2.0%、右 : R=-2.0%)

正載荷では、図 3.1.4-70, 71, 72 より、杭頭定着筋が降伏して最大耐力を迎えたことから、最大耐力は杭頭定着筋の降伏で決まったと判断した。

負載荷では、図 3.1.4-70, 73 より、柱主筋(D16 SD785 使用)が弾性限界に達して最大耐力を迎え、圧縮側のコンクリートが圧壊したことから、最大耐力は柱脚部の曲げ圧壊で決まったと判断した。

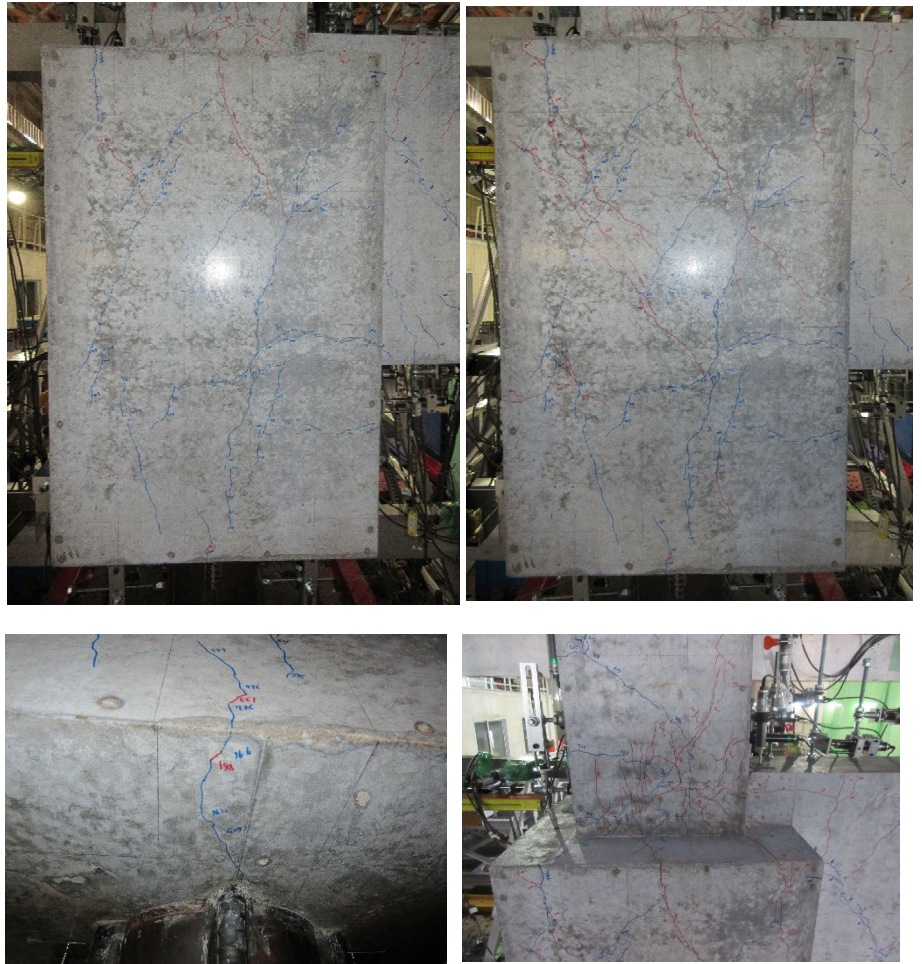


写真 3.1.4-7 最大耐力時ひび割れ状況
(左 : R=+2.0%、右 : R=-2.0%)

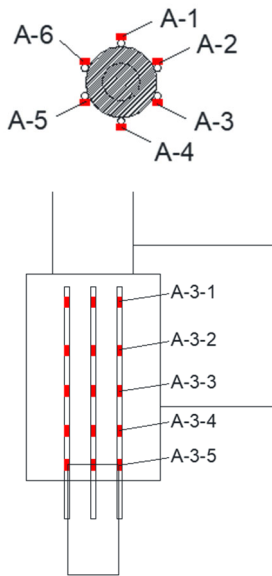


図 3.1.4-71 アンカー筋ひずみゲージ図

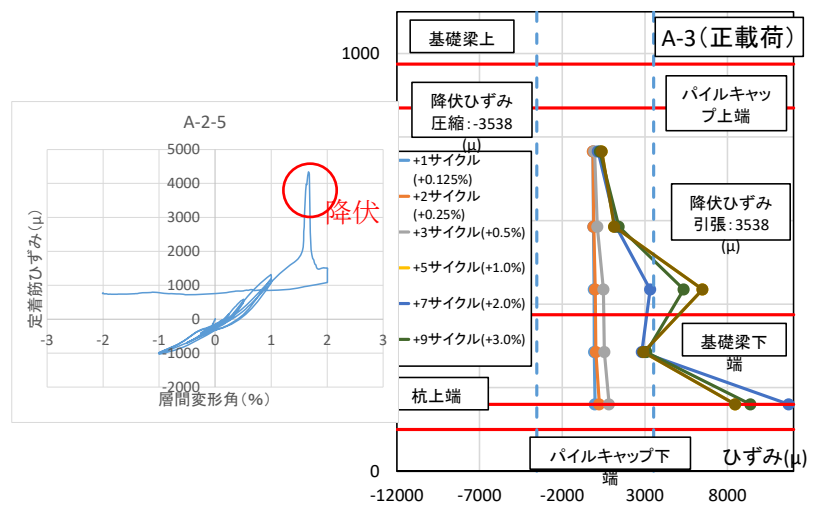


図 3.1.4-72 アンカー筋ひずみ分布図

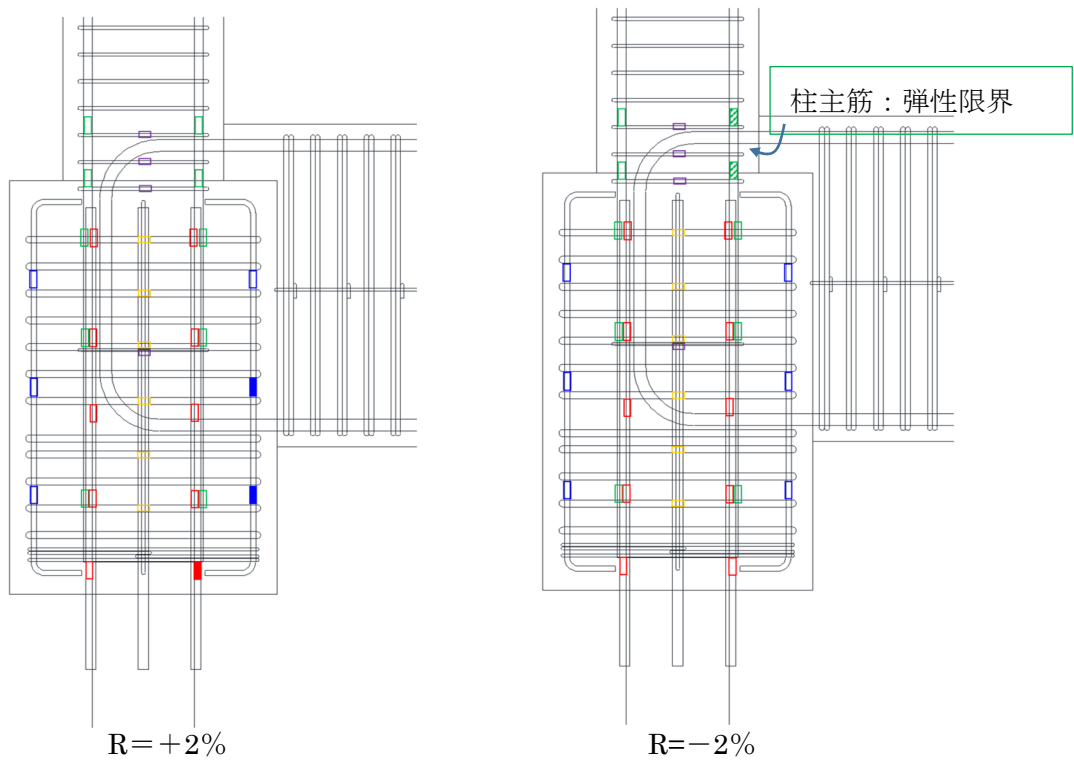


図 3.1.4-73 パイルキャップ内の鉄筋降伏状況

• 最終破壊性状

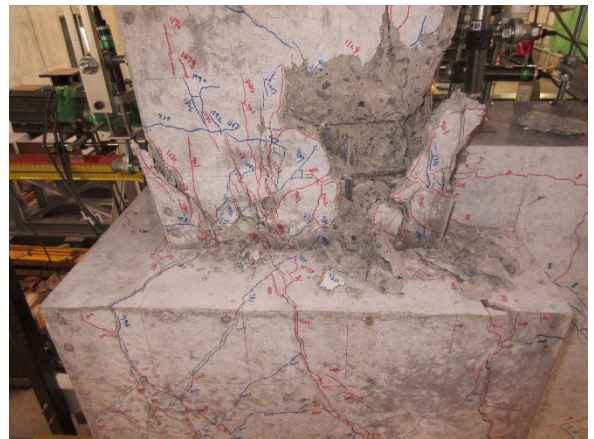
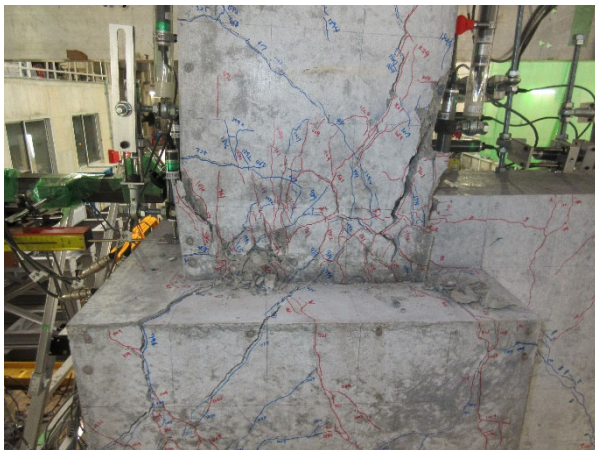
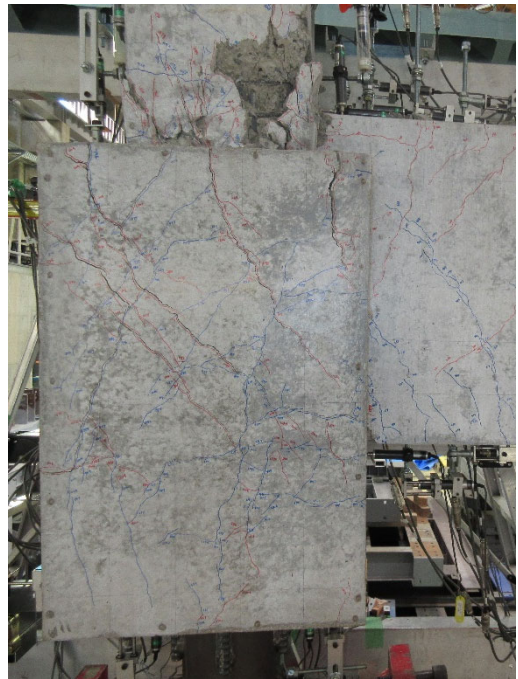
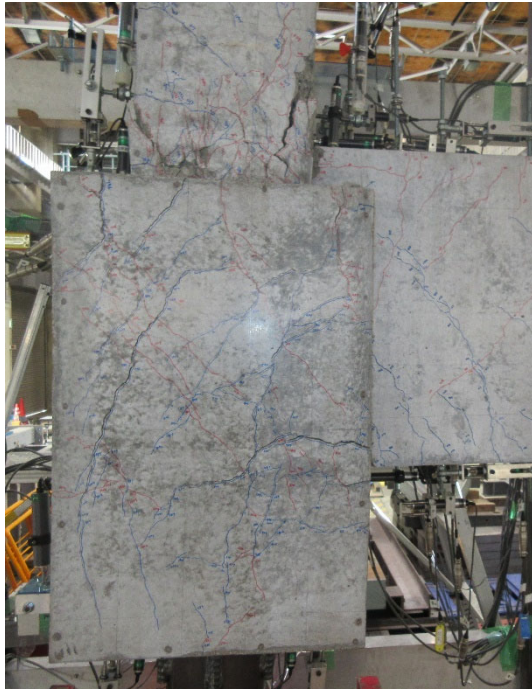
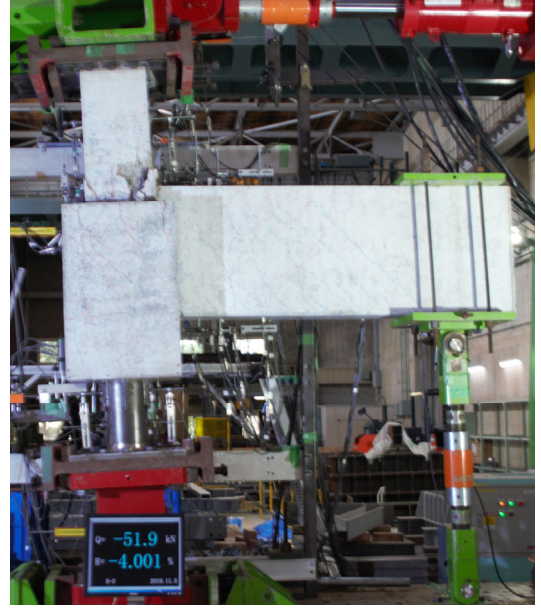
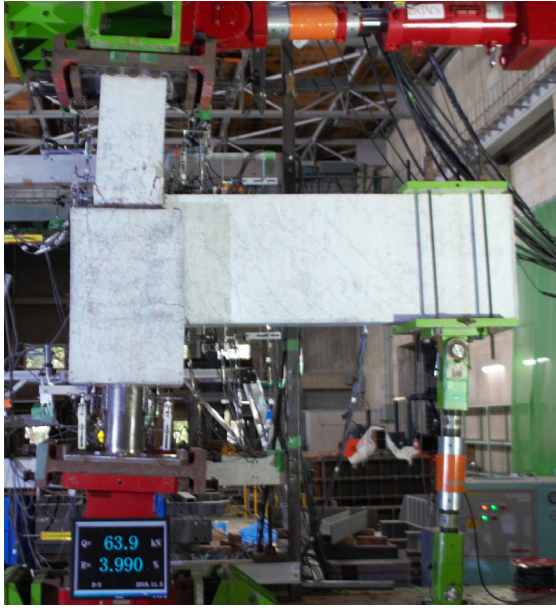


写真 3. 1. 4-8 最終変形時ひび割れ状況 (左 : R=+4. 0%、右 : R=-4. 0%)

試験体 D-3 においては、最大耐力時以降に杭から 45 度方向にパイルキャップ縁向かってひび割れが発生したが、ひび割れ幅が拡幅することは無かった。試験体 D-4 においては、45 度方向のひび割れやパイルキャップ縁からのひび割れ等が発生しており、他の試験体よりひび割れ本数が多かった。最大耐力以降、正載荷に圧縮側となる 45 度方向のひび割れ幅が拡幅し、杭側のコンクリートが圧壊した。負載荷時においても同様の個所が損傷していた。

正負ともに基礎梁上端部の曲げひび割れの発生が顕著であった。さらに、最大耐力時では、正載荷時においては、引張側の曲げひび割れが拡がっており、負載荷時においては圧縮側の圧縮ひび割れが顕著に見られた。最大耐力時以降試験体 D-4 以外、圧縮側のコンクリートが激しく圧壊した。

最終変形時における破壊形式は試験体 D-3 の正側が杭頭部破壊から柱脚部の曲げ圧壊と変化した。これは、変形の増大に伴って柱脚のコンクリートが剥落し、耐力を保持できなかったと考える。埋込補強筋を配筋することでパイルキャップ下側（底面を含む）のコンクリートが抑制され、パイルキャップ帯筋のひずみ値も小さくなりひび割れの発生が抑えられた。一方、柱脚から派生したひび割れがパイルキャップ上部に進展し、ひび割れ幅が拡幅した。今回の実験範囲のパイルキャップ最小寸法の場合には補強筋が必要となる。あるいはパイルキャップ断面寸法を大きくする必要はある。

【資料】

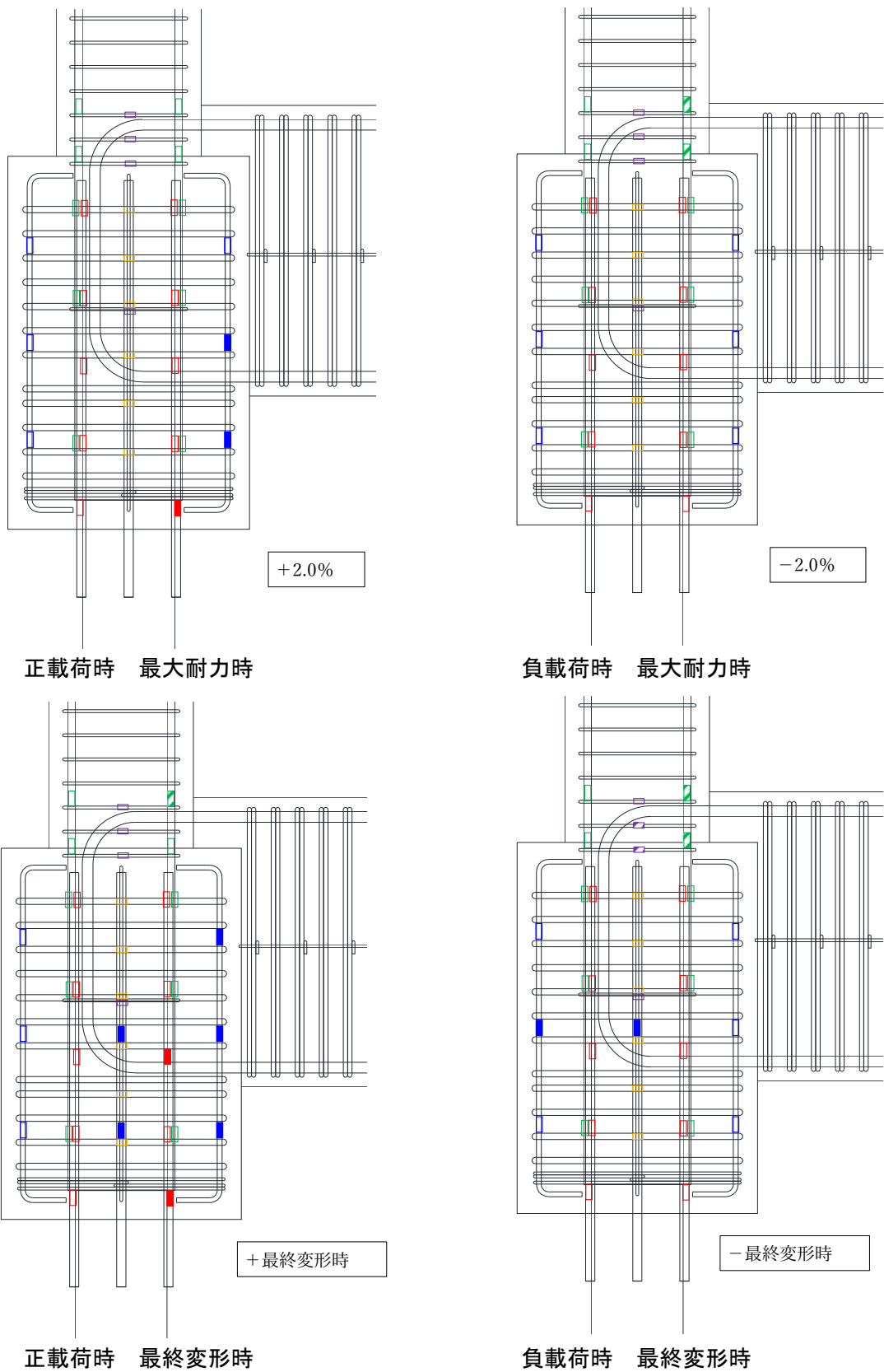


図 3.1.4-74 パイルキャップ内降伏状況 (試験体 D-3)

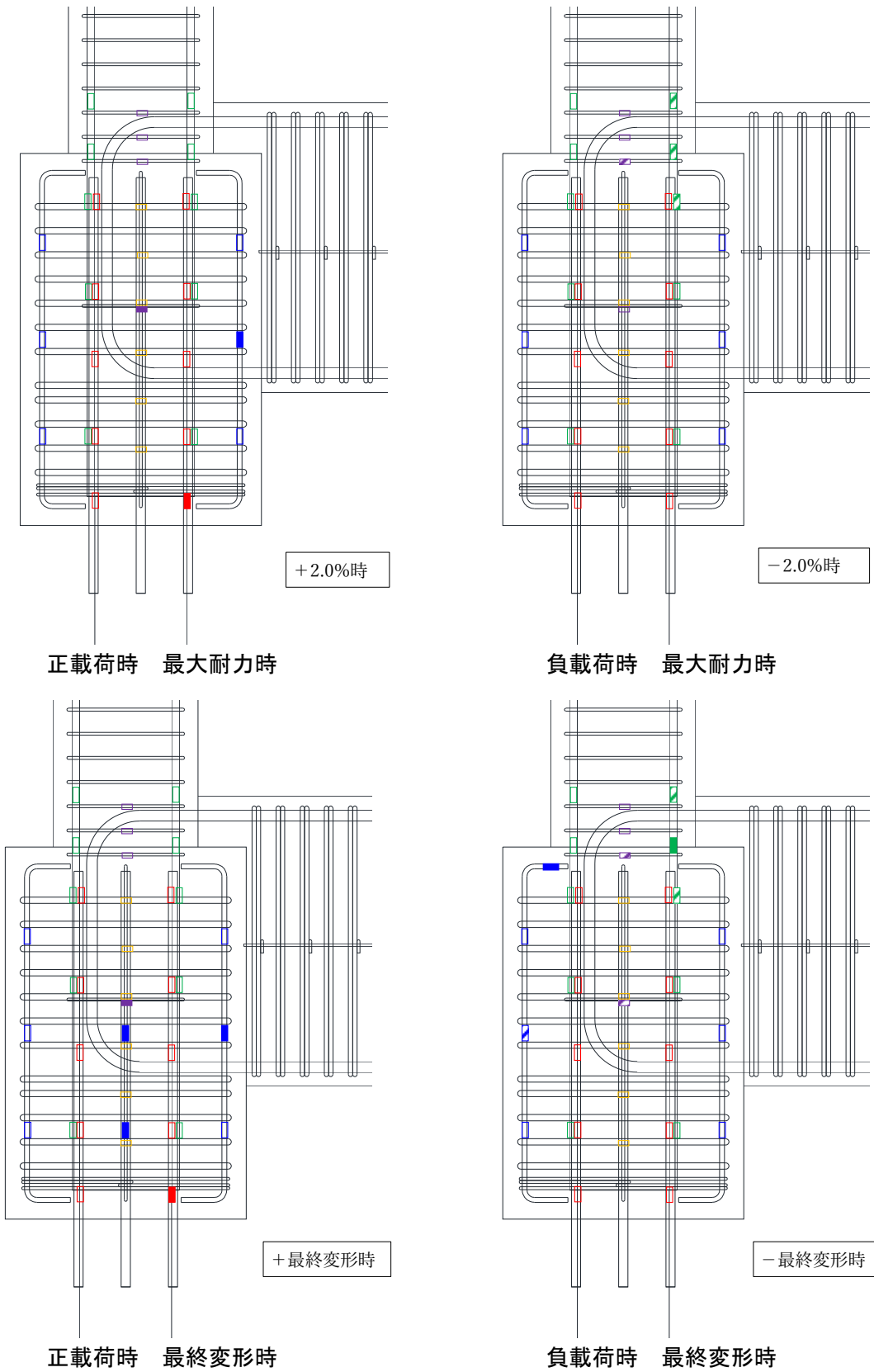
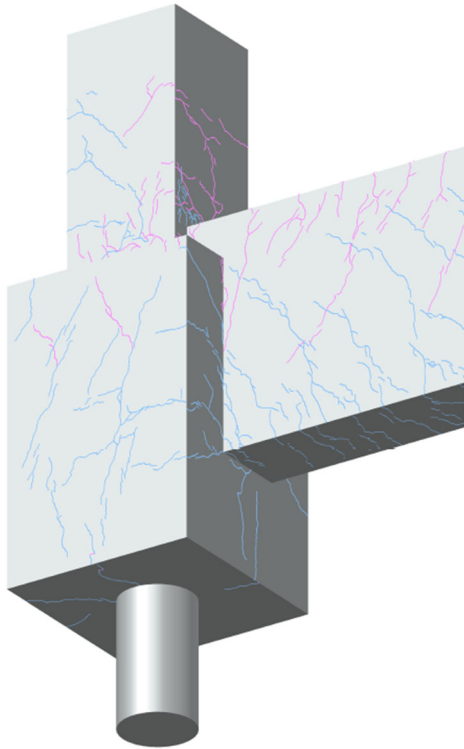


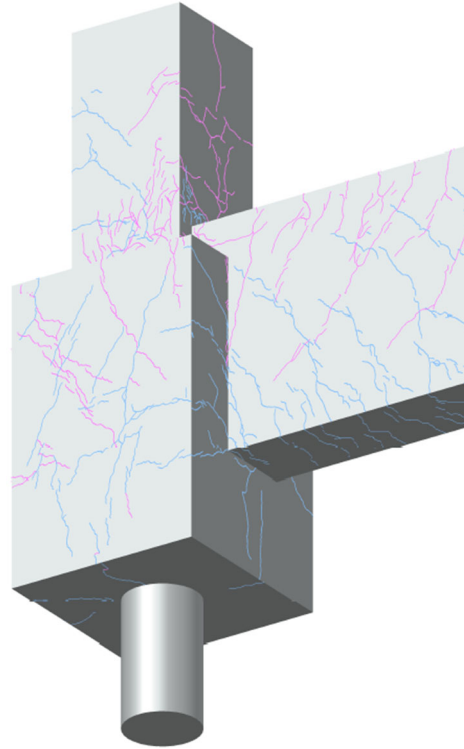
図 3.1.4-75 パイルキャップ内降伏状況 (試験体 D-4)

試験体 D-3

+7 ピーク時 部材変形角 (2%)

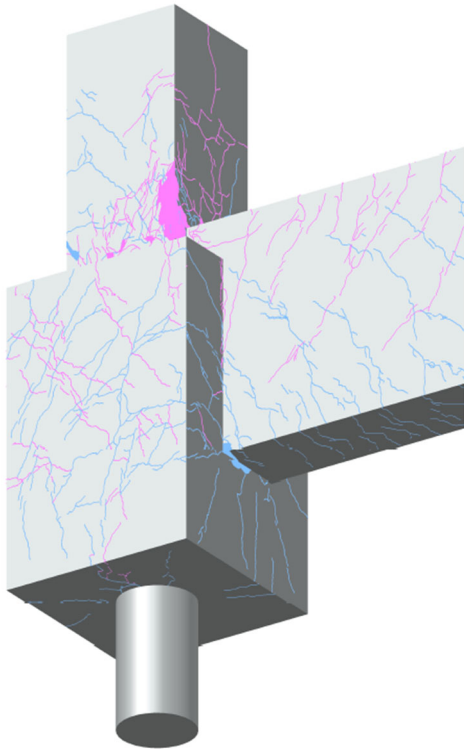


-7 ピーク時 部材変形角 (-2%)



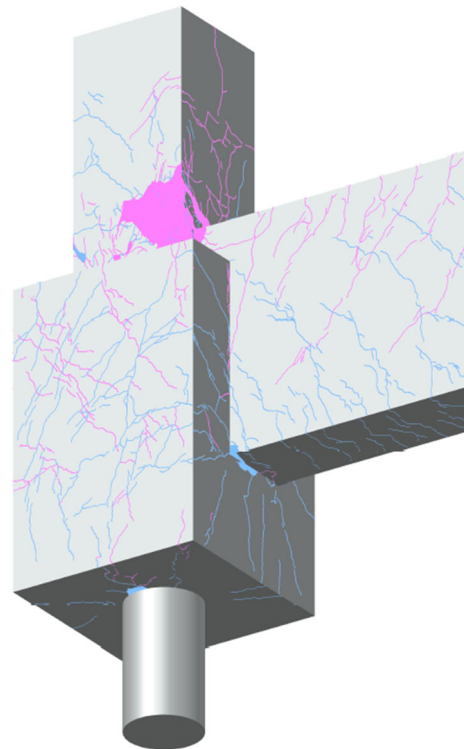
正載荷 最大耐力時ひび割れ

+11 ピーク時 部材変形角 (4%)



負載荷 最大耐力時ひび割れ

-11 ピーク時 部材変形角 (-4%)



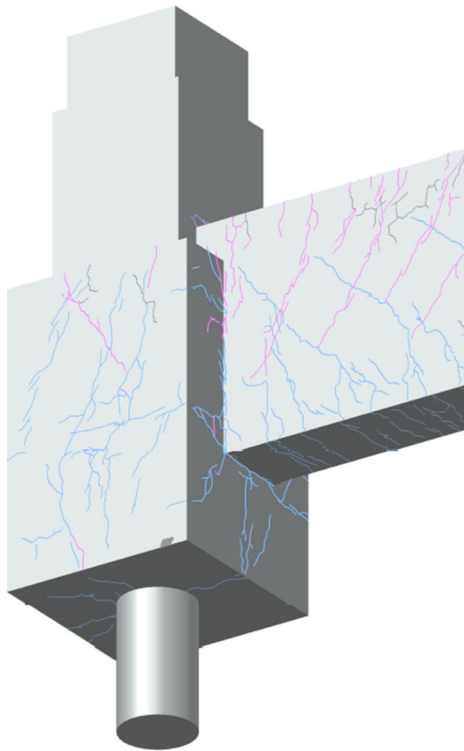
正載荷 最大耐力時ひび割れ

負載荷 最大耐力時ひび割れ

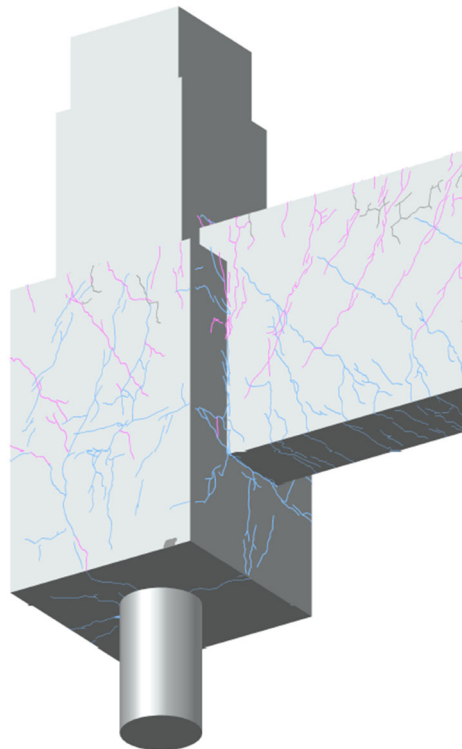
図 3.1.4-76 パイルキャップ内降伏状況 (試験体 D-3)

試験体 D-4

+7 ピーク時 部材変形角 (2%)

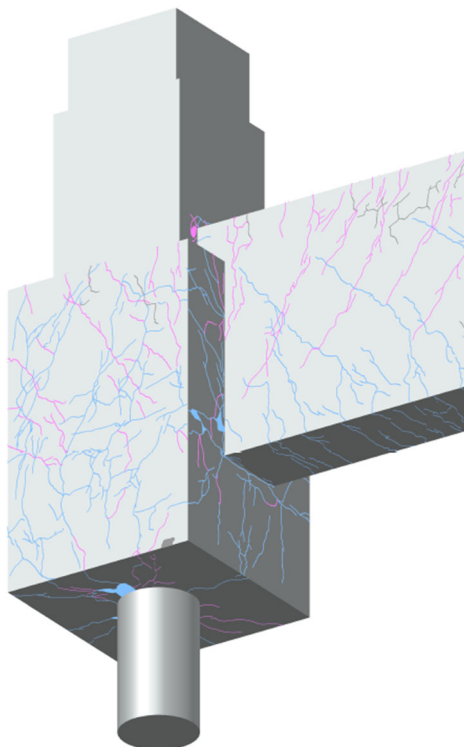


-7 ピーク時 部材変形角 (-2%)



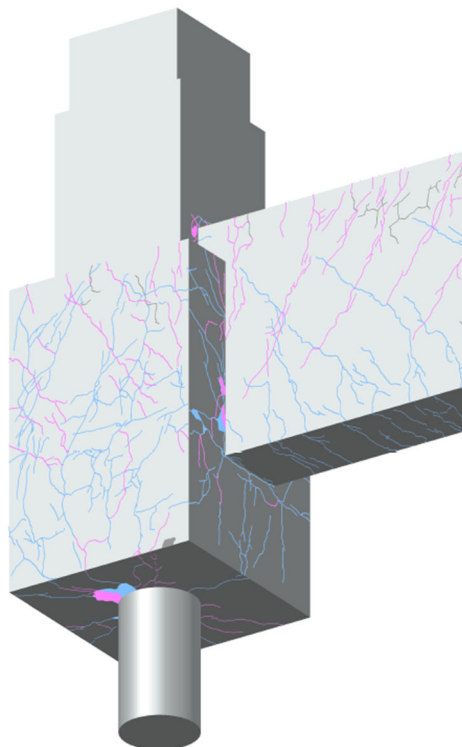
正載荷 最大耐力時ひび割れ

+12 ピーク時 部材変形角 (4%)



負載荷 最大耐力時ひび割れ

-12 ピーク時 部材変形角 (-4%)



正載荷 最大耐力時ひび割れ

負載荷 最大耐力時ひび割れ

図 3.1.4-77 パイルキャップ内降伏状況 (試験体 D-4)

(11) 軸方向変形

図 3. 1. 4-78, 79 に試験体 D-3 および D-4 のパイルキャップの軸方向変形の分布を示す。

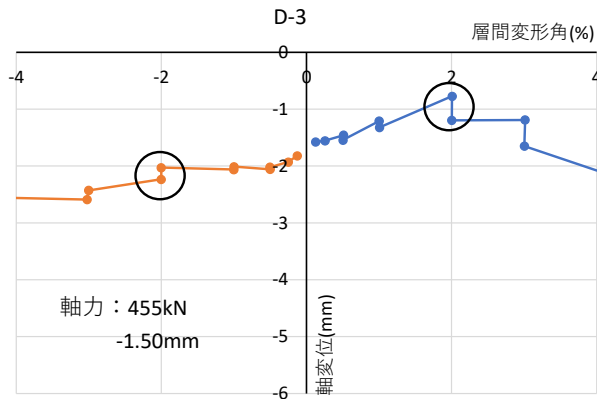


図 3. 1. 4-78 試験体 D-3 の軸方向変形

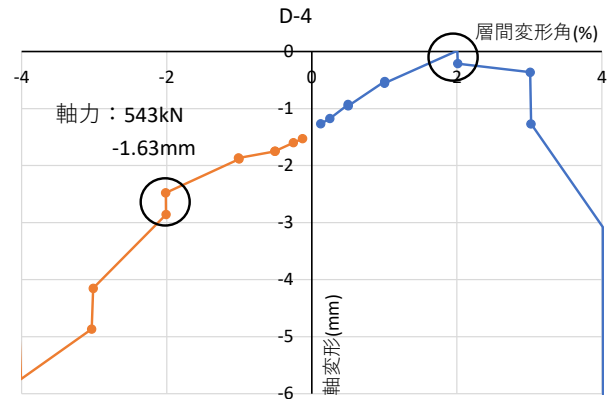


図 3. 1. 4-79 試験体 D-4 の軸方向変形

図より、正載荷時においては最大耐力時以降、伸び量から縮み量に変化している。試験体 D-3 の負荷荷側の軸方向の変形量は小さかったが、試験体 D-4 においては、 $R=4.0\%$ まで軸方向の変形量が大きくなっていった。この変形量は試験体全体の軸方向の変形量なので、どの部位の軸方向の変形量が大きくなったのかは、詳細な検討が必要である。

この結果だけを見ると、試験体 D-4 の方が破壊の状況は激しかったと推察できる。

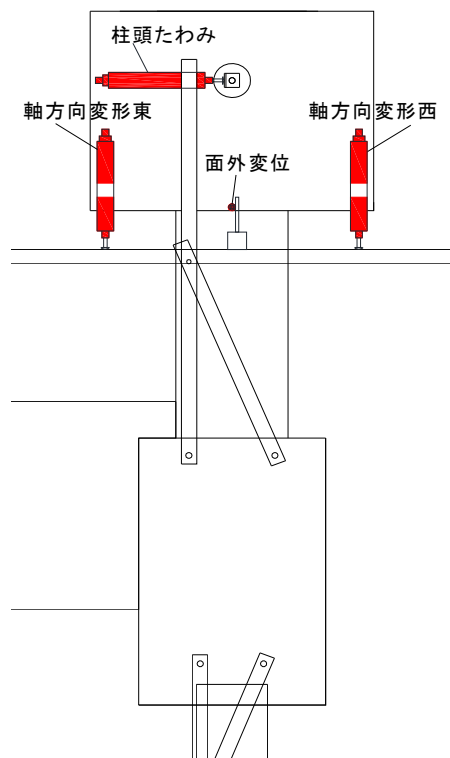


図 3. 1. 4-80 軸方向変形の変位計設置図

3.1.5 結論

(1) まとめ

○ 試験体 D-4

- (1) 試験体 D-4 の最大耐力は正載荷ではアンカー筋の降伏、負載荷では柱主筋の降伏によって決定し、最終破壊性状は正載荷では杭頭埋込部破壊、負載荷では柱の曲げ圧壊と判断した。
- (2) 埋込補強筋の量が多いほど杭頭接合部が強化され、杭の変形が抑えられると考えられる。

○ 試験体 D-3

- (1) 正載荷時においては、杭頭部の定着筋が降伏し、基礎梁側の縦筋が降伏したが、負載荷時においては、パイルキャップ内の鉄筋の降伏は見られず、柱脚部の柱主筋が弾性限界ひずみに達していた。
- (2) 正負ともに縦筋の降伏した個所が増加した。なお、試験体 D-3 の正載荷時に定着筋の降伏が基礎梁下端主筋位置でみられた。

最終変形時における破壊形式は試験体 D-3 の正側が杭頭埋込部破壊から柱脚部の曲げ圧壊と変化した。これは、変形の増大に伴って柱脚のコンクリートが剥落し、耐力を保持できなかったと考える。埋込補強筋を配筋することでパイルキャップ下側（底面を含む）のコンクリートが拘束され、パイルキャップ帯筋のひずみ値も小さくなりひび割れの発生が抑えられた。一方、柱脚から発生したひび割れがパイルキャップ上部に進展し、ひび割れ幅が拡幅した。以上より、パイルキャップ埋込部の破壊・ひび割れを防ぐには、今回の実験範囲のようにパイルキャップ寸法（杭径 190.7 mm, パイルキャップ断面 500 × 500 mm）の場合には杭頭埋込部には補強筋が必要となる。あるいはパイルキャップ断面寸法を大きくする必要がある。

(2) 今後の課題

- (1) 杭頭接合部の計算（学会基礎構造指針における杭頭接合面の曲げ終局強度計算式）の支圧応力度の係数を見直す。
- (2) 杭頭埋込部の補強筋量の定量化
- (3) パイルキャップに対する基礎梁位置における杭頭埋込部の配筋方法

3.2 靱性のある杭頭接合面降伏時挙動の検証

3.2.1 研究背景と目的

前節では杭頭接合部でのコンクリート支圧応力度の算出方法について、課題が残る結果となっていた。

本研究では、既製杭を用いた杭基礎部分架構試験体の杭頭接合面での曲げ挙動の観測実験及び既製杭を想定した杭基礎部分架構試験体の杭頭埋込部の曲げ挙動および曲げ耐力評価を目的とし、5体の試験体を作成し、杭基礎部分架構試験体の静的繰返し載荷実験を行った。

3.2.2 実験概要

(1) 試験体概要

1) 試験体計画案

既製杭を用いたパイルキャップを有する杭頭接合部のト型架構を模擬した試験体と、同じく既製杭を用いたパイルキャップを有する杭頭接合部の十字型架構を模擬した試験体、合計2体作成する。

両試験体 DR-1, DR-5 は鉄筋コンクリート基礎構造部材の耐震設計指針(案)の提案に基づく実施設計を行った。

2) 試験体諸元

柱, 基礎梁, 杭, パイルキャップにより構成された約 1/3 スケールの試験体を 5 体作成した。

表 3.2.2-1 に試験体諸元を示す。

表 3.2.1-1 試験体諸元

試験体諸元		DR-1	DR-2	DR-3	DR-4	DR-5
杭体	杭径D(mm)(鋼材種)	168.3(S45C)				
	鋼管厚 t_f (mm)	35				
	杭頭定着筋	6-D16 (SD295)				
	杭頭埋込長さ比 (埋込長さmm)	0.75D(126.2)	1.5D(252.5)	0D(0)	0.75D(126.2)	0.75D(126.2)
パイル キャップ	幅Bb(mm)	770				
	せいDb(mm)	770				
	高さHb(mm)	875				
	縦筋	24-D13(SD295)				
	せん断補強筋	12-D13×4@50(MK785)				
	杭頭補強筋	D13×2@40(MK785)				
柱	幅Bc (mm)	300				
	せいDc (mm)	300				
	主筋	12-D16 (SD785)				
	せん断補強筋	D6@50(SKK785) (パイルキャップ内: D6@75(SKK785))				
袖壁	幅Bc (mm)	150				
	せいDc (mm)	450				
	主筋	拘束域4-D13(SD490)、拘束域以外8-D10(SD490)				
	せん断補強筋	D10@50(SD490)				
梁	幅Bc (mm)	250				
	せいDc (mm)	600				
	主筋	6-D22、USD590				6-D22、SD390
	せん断補強筋	U9.0@50、SBPD1275				
外力情報	軸力N(kN)(軸力比) (圧縮: 正, 引張: 負)	328(0.354)	-86.9~82.7~326 (-0.210)~(0.09)~(0.354)	323(0.354)	-86.9~83.2~327.5 (-0.210)~(0.09)~(0.354)	332(0.354)

3) 試験体概形

鉄筋コンクリート造地上 10 階建ての高層建築側柱下を想定した。

図 3.2.2-1 に DR-1, 図 3.2.2-2 に DR-2, 図 3.2.2-3 に DR-3, 図 3.2.2-4 に DR-4, 図 3.2.2-5 に DR-5 の試験体概形を示す。

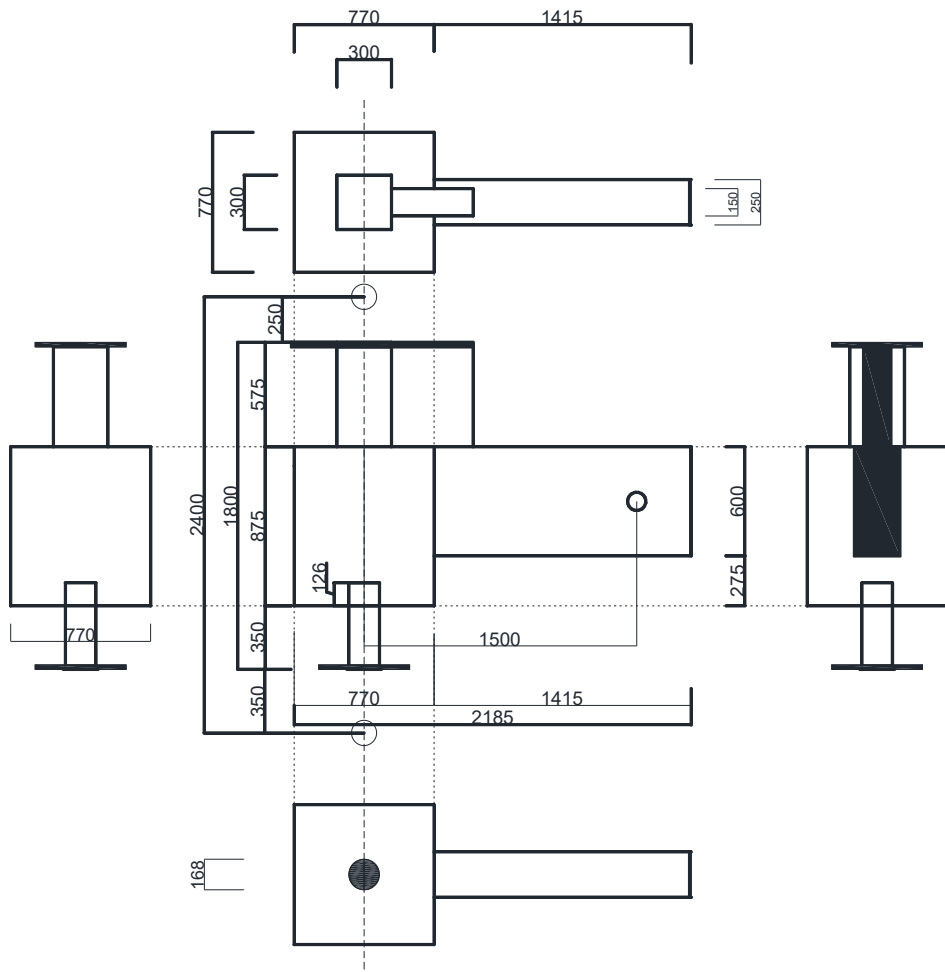


图 3.2.2-1 DR-1 試驗体概形

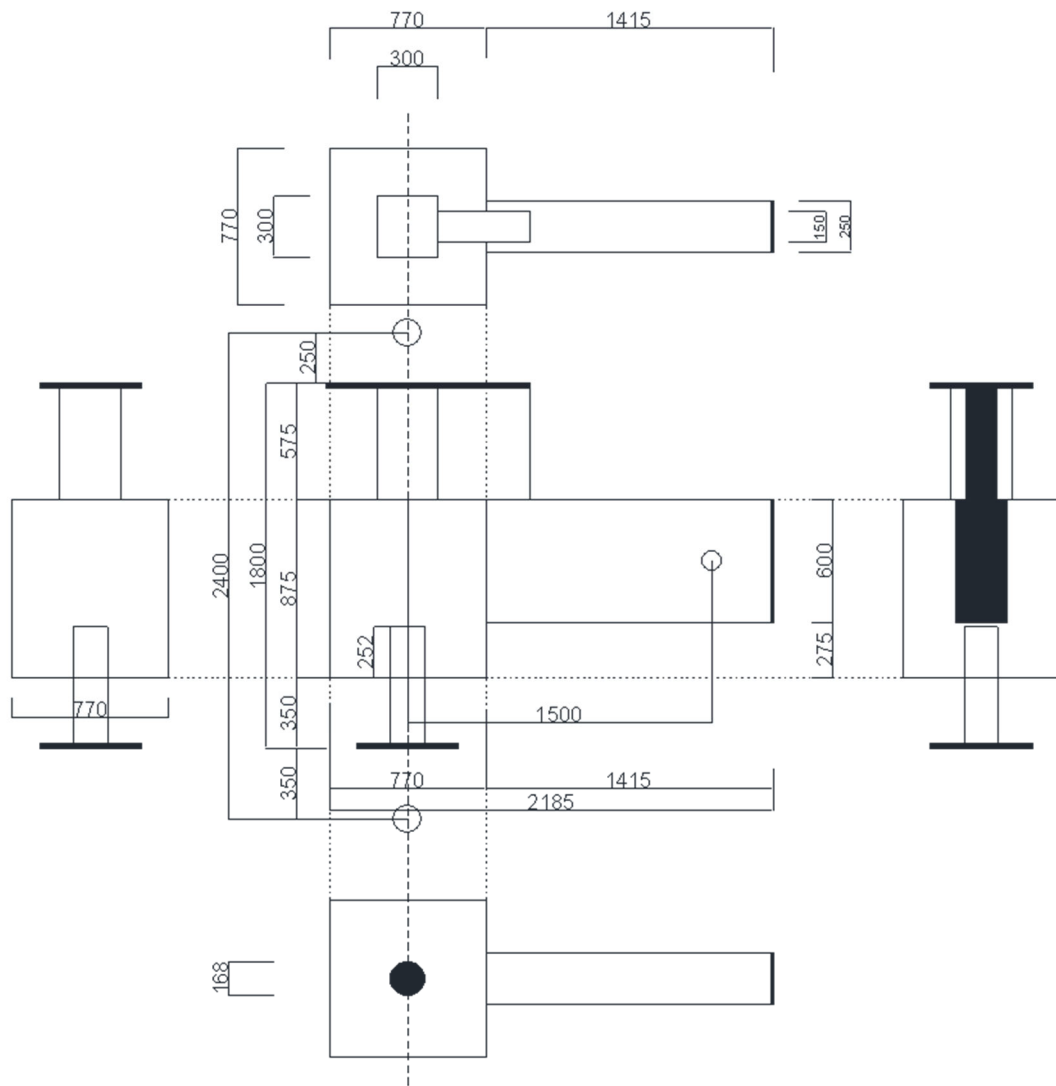


图 3.2.2-2 DR-2 試驗体概形

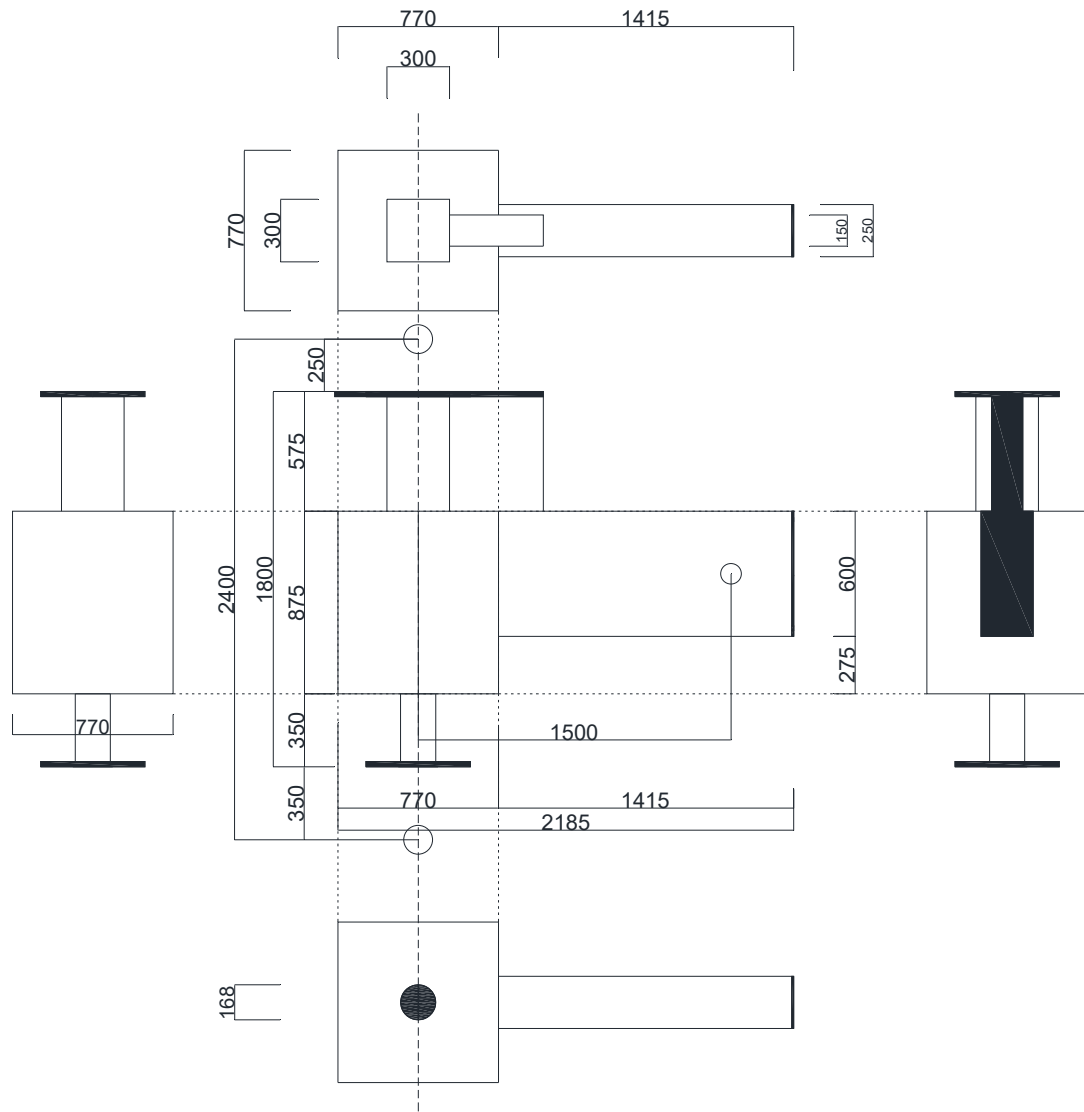


图 3.2.2-3 DR-3 試驗体概形

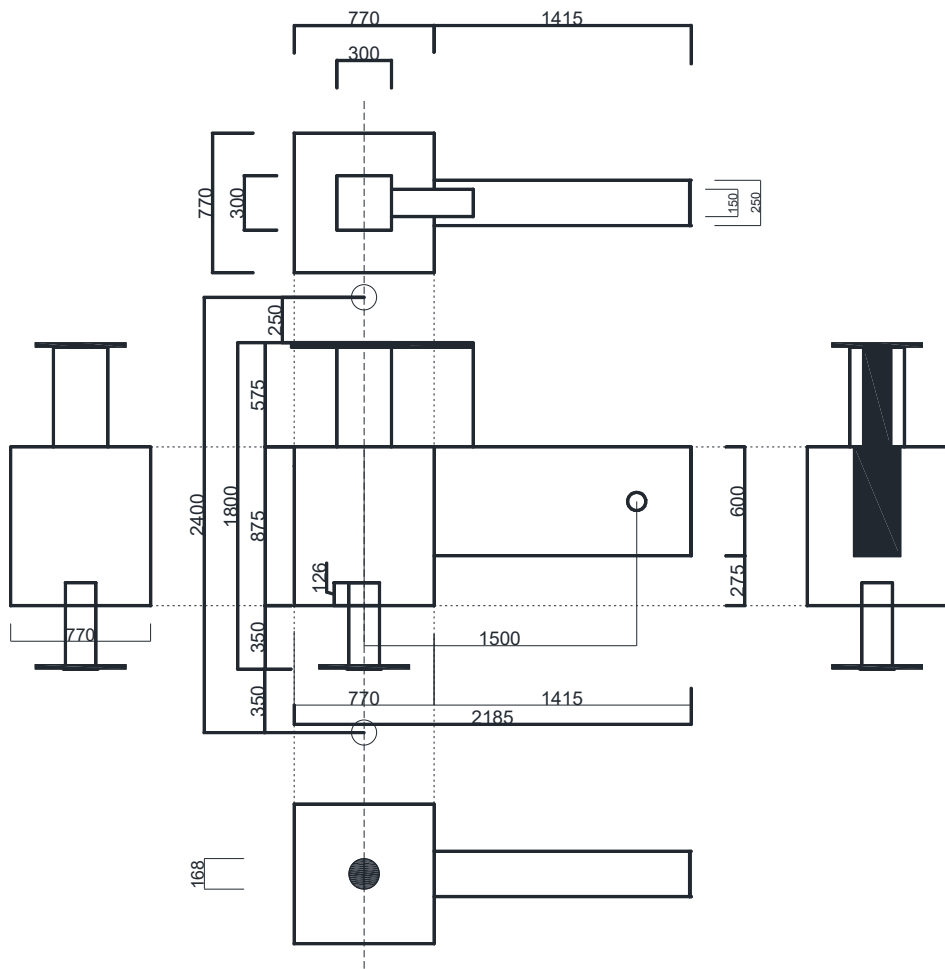


图 3.2.2-4 DR-4 試驗体概形

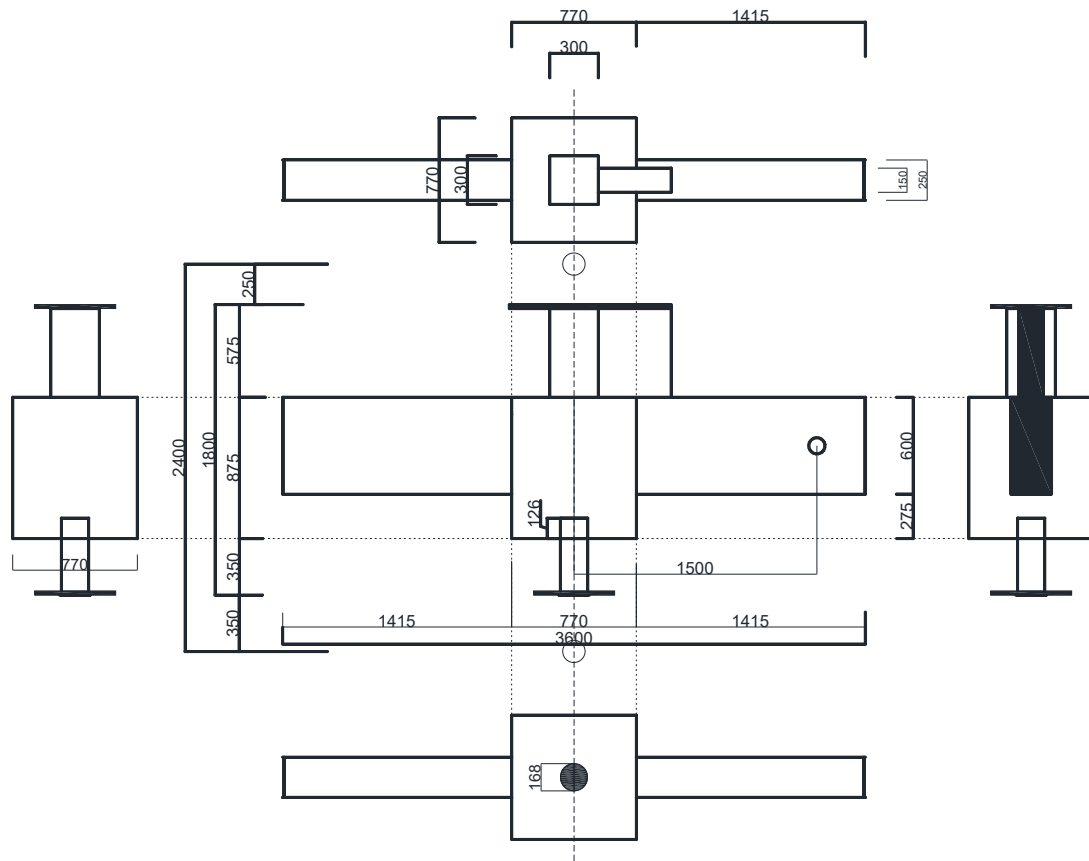


図 3.2.2-5 DR-5 試験体概形

4) 試験体寸法

(a) 杭

$\phi=168.3\text{mm}$, 厚さ $t=35\text{mm}$ で全試験体共通である。杭鋼管内は中空になっている。

図 3.2.2-6 に杭体寸法を示す。

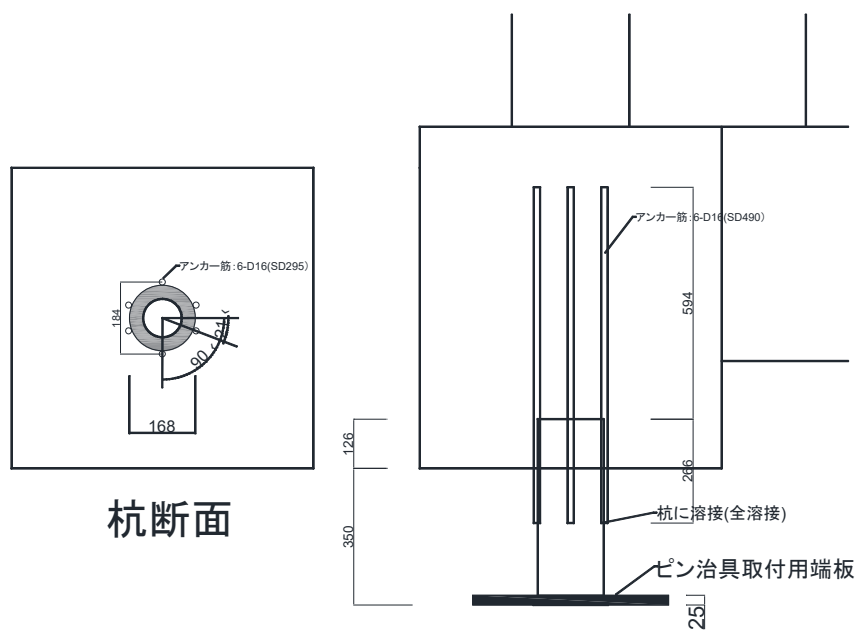


図 3.2.2-6 杭体寸法

(b) パイルキャップ

770mm × 770mm × 875mm で全試験体共通である。

実施設計に基づき全試験体共通とする。(図 3.2.2-7)

杭頭埋込部にてこ作用による押し力に対して杭頭埋込部が十分に抵抗できることを意図して、杭頭補強筋を配筋した。

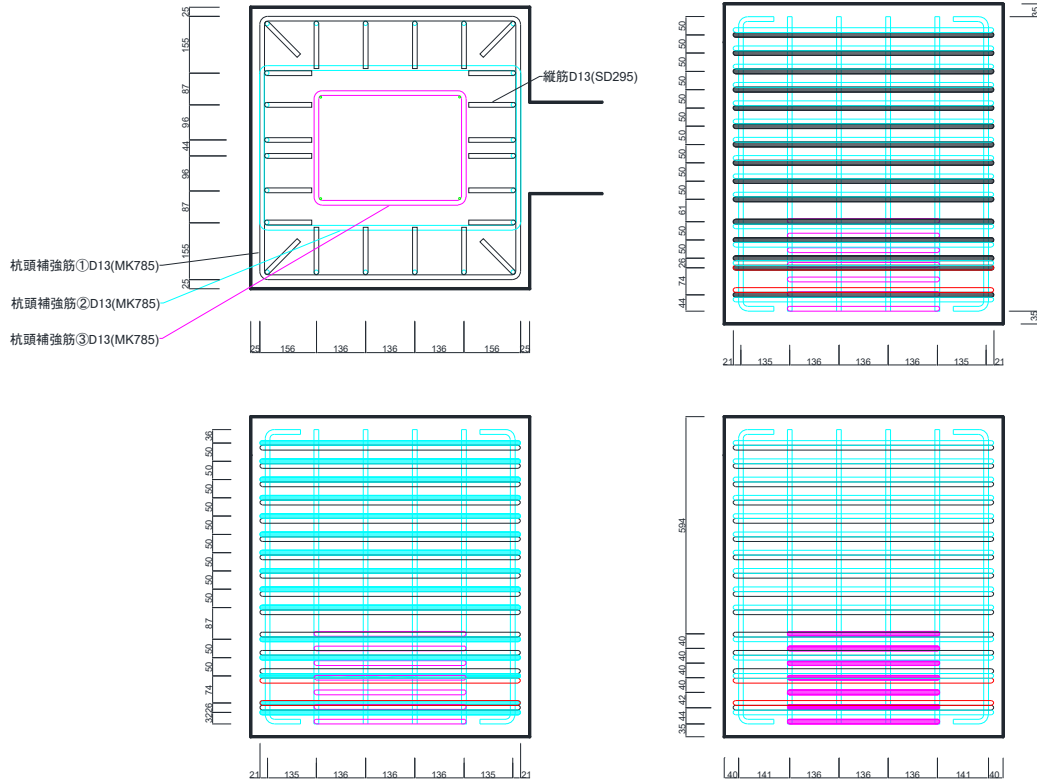


図 3.2.2-7 パイルキャップ断面図

(左上:パイルキャップ断面図 右上:杭頭補強筋①立断面図

左下:杭頭補強筋②立断面図 右下:杭頭補強筋③立断面図)

(c) 柱

330mm × 330mm で全試験体共通である。

実施設計に基づき全試験体共通とする。(図 3.2.2-8)

柱補強筋の間隔は柱体内においては 50mm であるが、パイルキャップ内においては 75mm である。

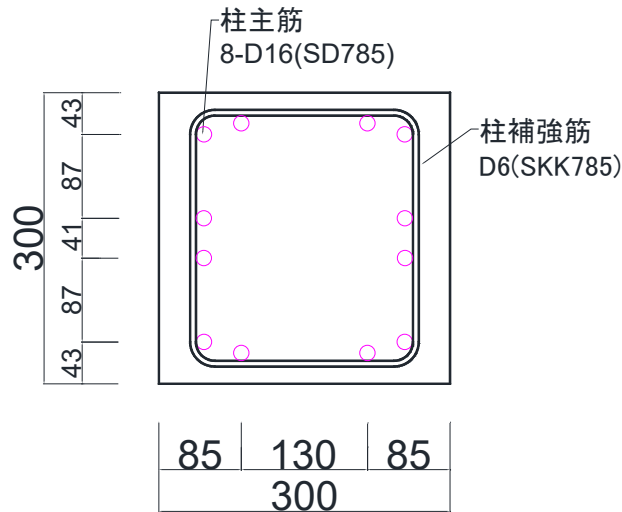


図 3.2.2-8 柱断面図

(d) 袖壁

150mm × 450mm で全試験体共通である。

実施設計に基づき全試験体共通とする。(図 3.2.2-9)

過去の実験時、柱脚部分において圧壊が発生してしまった為、意図した破壊性状が表れなかった事が起こった。それを防ぐ為、柱の片側に袖壁を取り付けている。

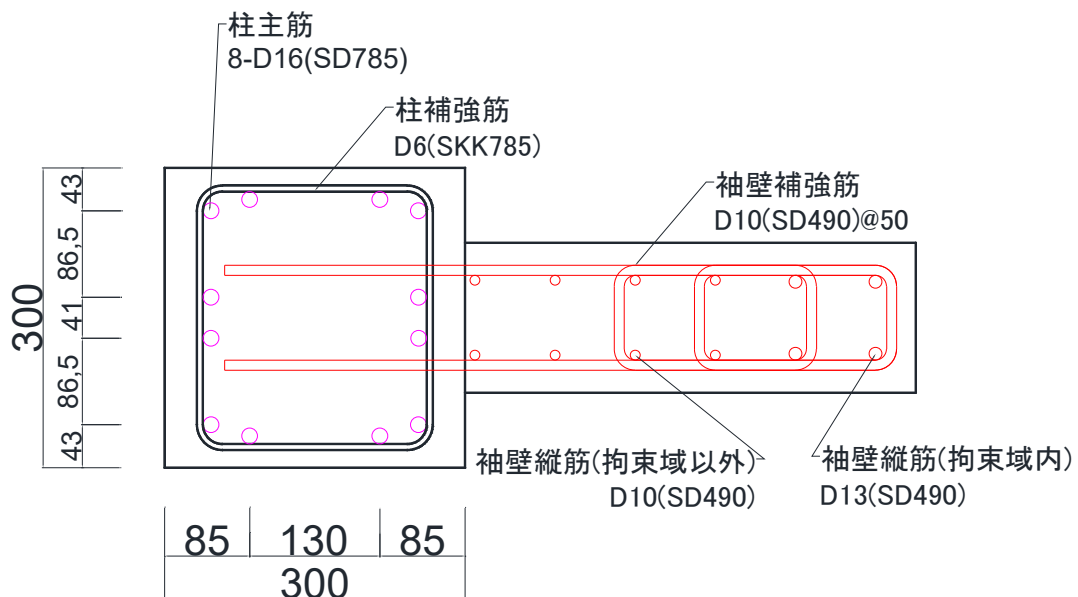


図 3.2.2-9 袖壁断面図

(e) 基礎梁

250mm × 600mm で全試験体共通である。

実施設計に基づき全試験体共通とする。(図 3.2.2-10)

基礎梁補強筋の間隔は 50mm を基準にしているが、端部においては施工上の関係により基準外の間隔で配筋を行った。

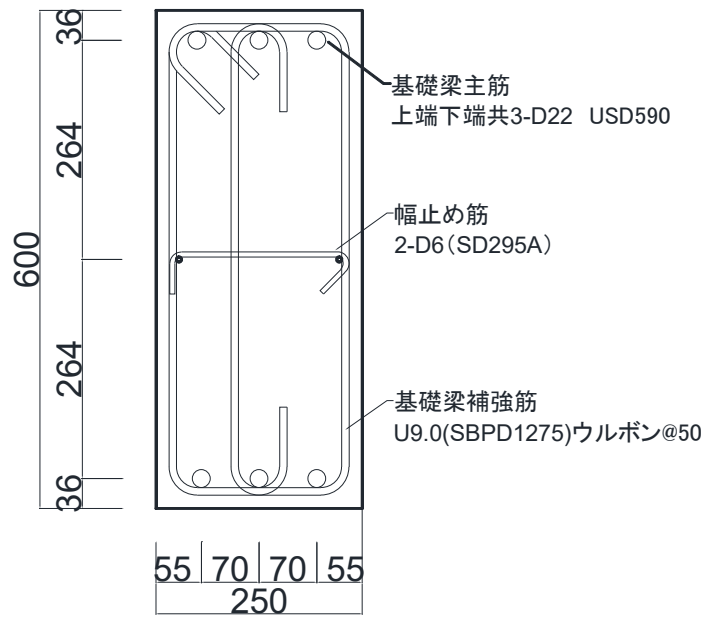


図 3. 2. 2-10 基礎梁断面図

(2) 材料特性

1) コンクリート

コンクリートは、セメントに普通セメント、細骨材に砂(陸砂)、細骨材に砕石(最大径 13mm)を使用した。コンクリートの打設方向は縦打ちでパイルキャップ、基礎梁と柱、袖壁に分けて打設を行った。試験体の養生方法は気中養生、コンクリートの材料試験用テストピースは封緘養生とした。

配合の設計条件を表 3.2.1-2、レディーミクストコンクリート配合表を表 3.2.1-3、フレッシュコンクリートの試験結果を表 3.2.1-4 に示す。コンクリートの受け入れ調査記録を写真 3.2.1-1, 3.2.1-2 に示す。

コンクリートの圧縮試験、割裂試験ともにアムスラー材料試験機にて行い、コンクリートのテストピースは直径 $d=100\text{mm}$ 、全長 $l=200\text{mm}$ とした。測定は、コンプレッソメータを用いて測定を行った。

JIS A 1149「コンクリートの静弾性係数試験方法」での算出方法に倣い、図 3.2.1-11 のように行った。

$$E_c = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\mu_1 - 50\mu}$$

E_c : コンクリートのヤング係数(N/mm^2)

σ_1 : 最大荷重の 1/3 に相当する応力 (N/mm^2)

σ_2 : 50μ 時の応力(N/mm^2)

μ_1 : 応力 σ_1 時のひずみ(μ)

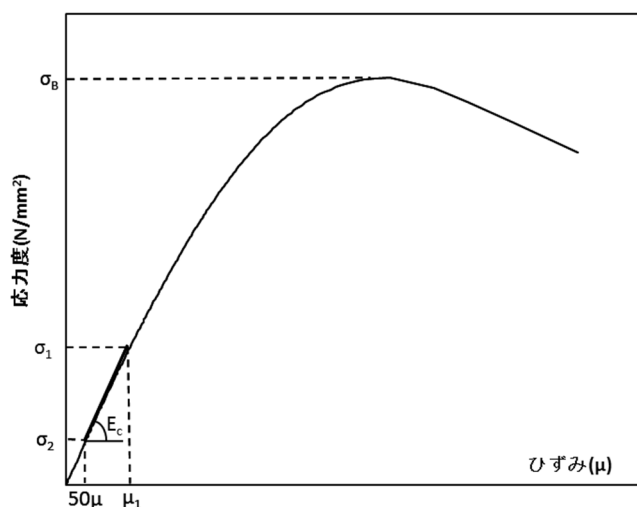


図 3.2.2-11 コンクリートの圧縮応力度—ひずみ関

コンクリートの材料試験 1 回につき、圧縮試験、引張試験ともに 3 回ずつ行い、その平均値を試験結果とした。

コンクリート圧縮試験結果を表 3.2.1-5~8、図 3.2.1-12~15、参考資料を表 3.2.1-9~12、図 3.2.1-16~ に示す。

コンクリート割裂試験結果を表 3.2.1-13~16 に示す。

表 3.2.1-2 配合設計条件

部材	コンクリートの種類による記号	呼び強度 (N/mm ²)	スランプ、スランプフロー (cm)	粗骨材の最大寸法 (mm)	セメントの種類による記号
パイルキャップ 基礎梁	普通	24	18	13	N
柱	普通	50	50	13	N

表 3.2.1-3 レディーミクストコンクリート配合表

部材	スランプ、スランプフロー (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	外気温度 (°C)
パイルキャップ 基礎梁	17.5	5.5	31.0	29.5
柱	44.0×44.0	1.7	34.0	32.0

表 3.2.1-4 フレッシュコンクリート試験結果

部材	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	水 (kg/m ³)	セメント (kg/m ³)	細骨材 (kg/m ³)	粗骨材 (kg/m ³)	混和剤 (kg/m ³)
パイルキャップ 基礎梁	59.4	51.4	190	320	873	856	3.2
柱	37.9	49	185	488	791	853	6.34



写真 3.2.1-1 パイルキャップ、基礎梁
コンクリート受入れ調査記録
(打設日 2021 年 7 月 30 日)



写真 3.2.1-2 柱
コンクリート受入れ調査記録
(打設日 2020 年 9 月 3 日)

・試験体 DR-1~4 に使用したコンクリート

表 3.2.1-5 材齢 53 日コンクリート強度 (打設日 2021 年 7 月 30 日)
(基礎梁・パイルキャップに使用)

DR-1 基礎梁・パイルキャップ				
材齢 (日)	No.	圧縮強度 σ_B (N/mm ²)	ひずみ ϵ_{max} (μ)	ヤング率 $\times 10^4$ (N/mm ²)
53	C10	35.1	2583	2.58
	C11	35.1	2610	2.61
	C12	34.5	2660	2.59
	平均	34.9	2618	2.60

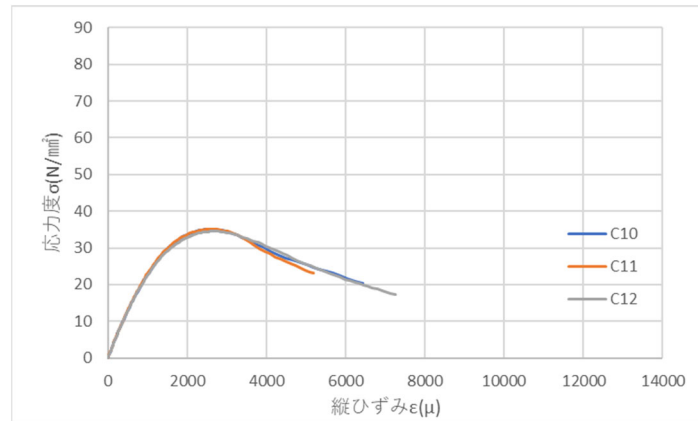


図 3.2.1-12 材齢 53 日コンクリート強度 (打設日 2021 年 7 月 30 日)
(基礎梁・パイルキャップに使用)

表 3.2.1-6 材齢 46 日コンクリート強度 (打設日 2021 年 8 月 6 日)
(柱・袖壁に使用)

DR-1 柱・袖壁				
材齢 (日)	No.	圧縮強度 σ_B (N/mm ²)	ひずみ ϵ_{max} (μ)	ヤング率 $\times 10^4$ (N/mm ²)
46	C22	82.5	2920	3.69
	C23	83.0	2910	3.80
	C24	83.3	2838	4.04
	平均	82.9	2889	3.84

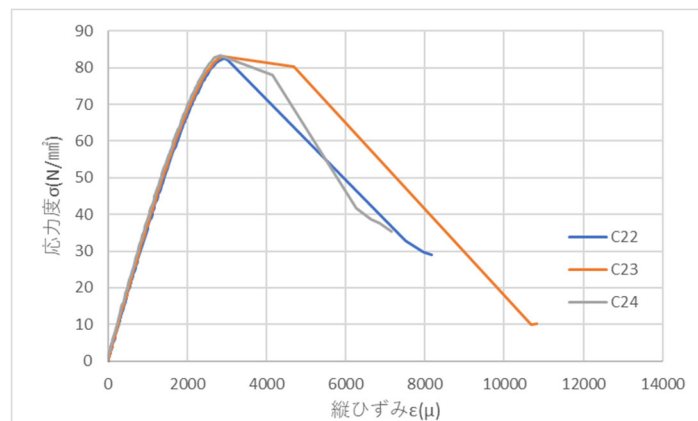


図 3.2.1-13 材齢 46 日コンクリート強度 (打設日 2021 年 8 月 6 日)
(柱・袖壁に使用)

・試験体 DR-5 に使用したコンクリート

表 3.2.1-7 材齢 68 日コンクリート強度 (打設日 2021 年 7 月 30 日)
(基礎梁・パイルキャップに使用)

DR-5 基礎梁・パイルキャップ				
材齢 (日)	No.	圧縮強度 σ_B (N/mm ²)	ひずみ ϵ_{max} (μ)	ヤング率 $\times 10^4$ (N/mm ²)
82	C4	36.6	2523	2.65
	C5	35.8	2608	2.61
	C6	35.0	2430	2.64
	平均	35.8	2520	2.63

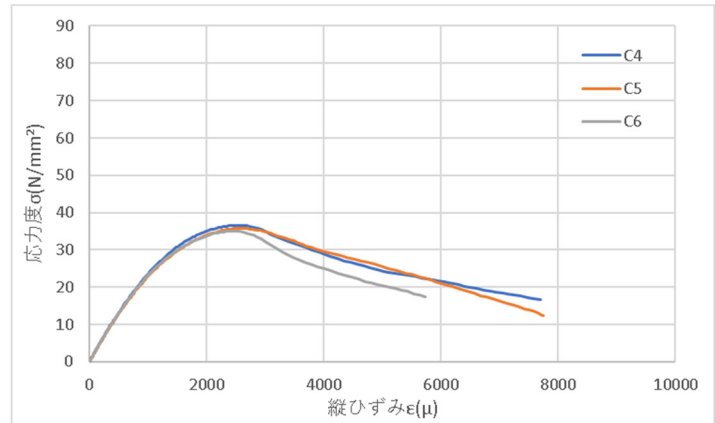


図 3.2.1-14 材齢 68 日コンクリート強度 (打設日 2021 年 7 月 30 日)
(基礎梁・パイルキャップに使用)

表 3.2.1-8 材齢 61 日コンクリート強度 (打設日 2021 年 8 月 6 日)
(柱・袖壁に使用)

DR-5 柱・袖壁				
材齢 (日)	No.	圧縮強度 σ_B (N/mm ²)	ひずみ ϵ_{max} (μ)	ヤング率 $\times 10^4$ (N/mm ²)
75	C34	83.8	2933	3.70
	C35	86.3	2980	3.69
	C36	87.5	3118	3.68
	平均	85.8	3010	3.69

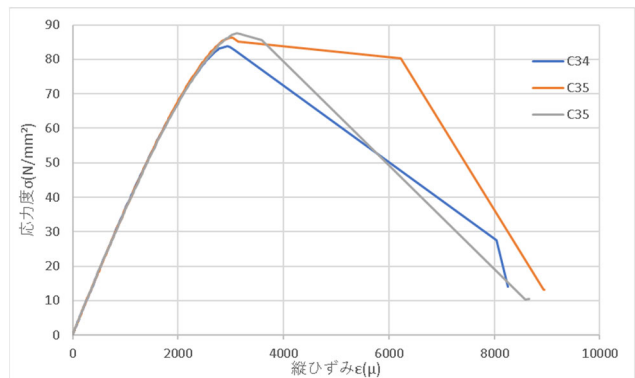


図 3.2.1-15 材齢 61 日コンクリート強度 (打設日 2021 年 8 月 6 日)
(柱・袖壁に使用)

以下、参考資料

- ・パイルキャップ、基礎梁に使用したコンクリート

表 3.2.1-9 コンクリート圧縮強度-材齢関係

試験体	試験日	材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)
DR-1	2021/9/21	53	34.9
DR-5	2021/10/20	82	35.8

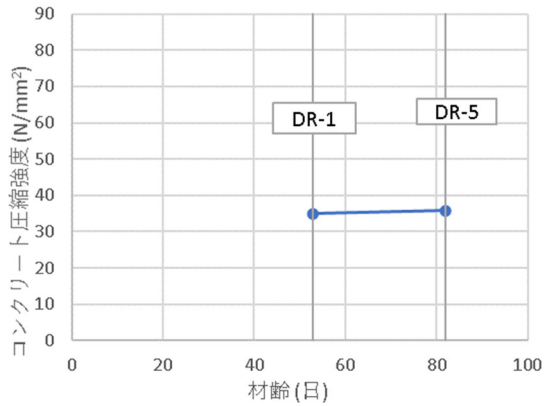


図 3.2.1-16 コンクリート圧縮強度-材齢関係

表 3.2.1-10 コンクリート引張強度-材齢関係

試験体	試験日	材齢 (日)	引張強度 (N/mm ²)
DR-1	2021/9/21	53	2.25
DR-5	2021/10/20	82	2.38

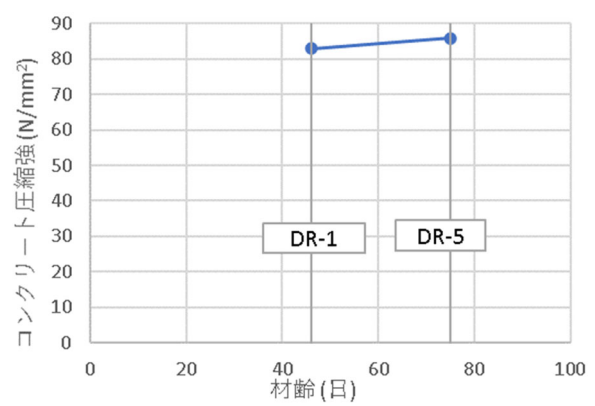


図 3.2.1-17 コンクリート引張強度-材齢関係

- ・柱、袖壁に使用したコンクリート

表 3.2.1-11 コンクリート圧縮強度-材齢関係

試験体	試験日	材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)
DR-1	2021/9/21	46	82.9
DR-5	2021/10/20	75	85.8

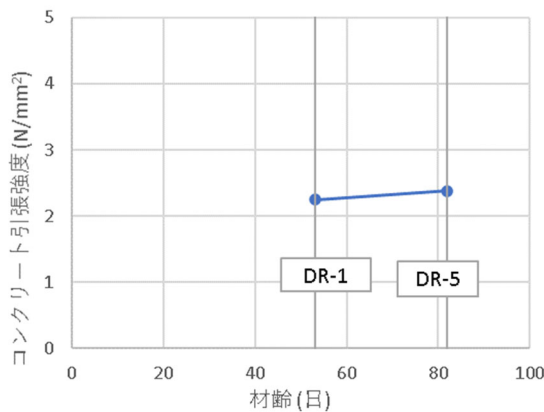


図 3.2.1-18 コンクリート圧縮強度-材齢関係

表 3.2.1-12 コンクリート引張強度-材齢関係

試験体	試験日	材齢 (日)	引張強度 (N/mm ²)
DR-1	2021/9/21	46	3.51
DR-5	2021/10/20	75	3.9

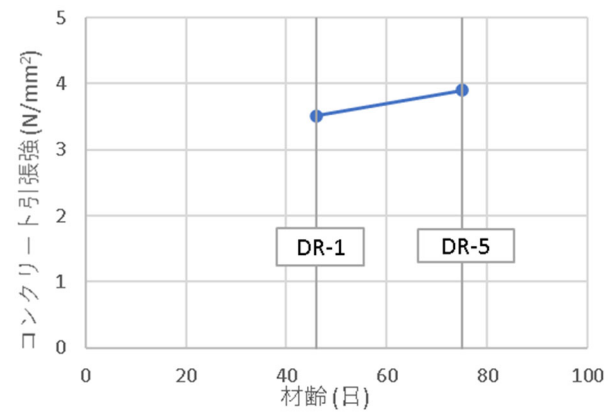


図 3.2.1-19 コンクリート引張強度-材齢関係

・試験体 DR-1~4 に使用したコンクリート

表 3.2.1-13 材齢 53 日コンクリート引張強度
(基礎梁・パイルキャップに使用)

材齢 (日)	No.	引張強度 σ_t (N/mm ²)
53	T10	2.40
	T11	2.00
	T12	2.35
	平均	2.25

表 3.2.1-14 材齢 46 日コンクリート引張強度
(柱・袖壁に使用)

材齢 (日)	No.	引張強度 σ_t (N/mm ²)
46	T22	3.15
	T23	3.78
	T24	3.59
	平均	3.51

・試験体 DR-5 に使用したコンクリート

表 3.2.1-15 材齢 82 日コンクリート引張強度
(基礎梁・パイルキャップに使用)

材齢 (日)	No.	引張強度 σ_t (N/mm ²)
82	T4	2.35
	T5	2.30
	T6	2.50
	平均	2.38

表 3.2.1-16 材齢 75 日コンクリート引張強度
(柱・袖壁に使用)

材齢 (日)	No.	引張強度 σ_t (N/mm ²)
75	T34	3.97
	T35	3.62
	T36	4.09
	平均	3.90

2) 鋼材

各部材に使用した鉄筋は、試験体 2 体とも共通である。

使用した鉄筋は、柱主筋には D16(SD785)、柱補強筋に D6(SKK785) (パイルキャップ内柱補強筋も共通) を使用した。基礎梁主筋にはト形試験体 DR-1 には D22(USD590)、十字形試験体 DR-5 は D22(USD390) を使用した。基礎梁補強筋に U9.0(SBPD1275)、基礎梁の組立筋として幅止め筋に D6(SD295) を使用した。基礎梁補強筋、組立筋は全試験体共通である。杭頭定着筋には D16(SD295) を使用した。パイルキャップについては、かご筋型の縦筋に D13(SD295)、帯筋に D13(MK785)、中子筋に D13(MK785) を使用した。袖壁主筋には拘束域に D13(SD490)、拘束域以外に D10(SD490) を使用した。袖壁補強筋には D10(SD490) を使用した。

鉄筋の引張試験はアムスラー試験機を用いて行った。ひずみゲージを 2 枚貼付した供試験体を 3 体、ひずみゲージを貼付しないことで断面欠損が発生しない供試験体を 3 体用意した。鉄筋のひずみは貼付した 2 枚のひずみゲージの平均とした。最大強度はひずみゲージを貼付しない供試験体から得られたデータとする。鉄筋の引張強度結果を表 3.2.1-17~27 に、各鉄筋の引張応力度-ひずみ関係を図 3.2.1-20~30 に示す。降伏棚の平均を鉄筋の降伏強度とし、明確な降伏棚が確認されない場合には

0.2%オフセット法により降伏強度を算出した。鉄筋のヤング係数は、弾性範囲内の一部区間において算出を行った。また、各鉄筋の降伏判断は、降伏棚がある鉄筋に関しては材料のばらつきを考慮して降伏ひずみの0.97倍の値、降伏棚がない鉄筋に関しては降伏ひずみから2000 μ 減じた値を弾性限界ひずみとし、その値を0.97倍した値を用いて判断を行った。

また、ひずみゲージを貼付した供試体はゲージを貼付するために断面をやすりで削るために、断面が欠損し最大強度がひずみゲージを貼付しない供試体と比べ小さくなる。そこで、ひずみゲージを貼付しない供試体の最大強度をひずみゲージを貼付した供試体の最大強度で除した係数を α とし、降伏応力度とヤング率はひずみゲージを貼付した供試験体から得られたデータに α を乗じたものとする。

表 3.2.1-17 鉄筋 D16 (SD785) 引張試験結果 (柱主筋に使用)

D16 SD785	公称断面 (mm ²)	降伏応力度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)	最大強度 (kN)	ヤング率 $\times 10^5$ (N/mm ²)	ひずみ硬化開始 時ひずみ (μ)
ID13-1	198.6	832.89	4148	202.60	2.07	12409
ID13-2		839.22	4257	202.70	2.03	10685
ID13-3		865.00	4392	202.85	2.04	13135
平均	198.6	845.70	4266	202.7	2.04	12076

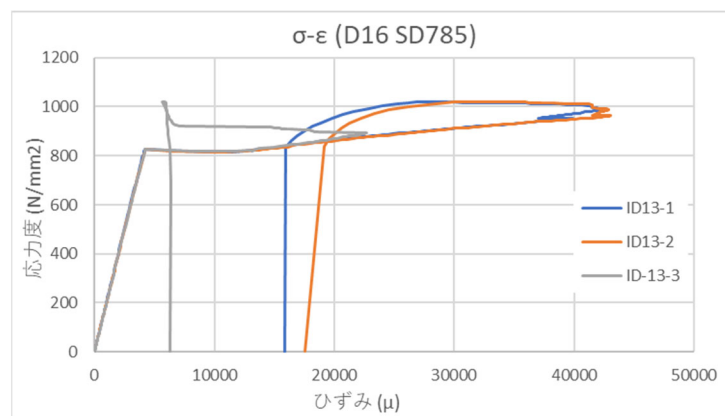


図 3.2.1-20 鉄筋 D16 (SD785) (柱主筋に使用)

表 3.2.1-18 鉄筋 D6 (SKK785) 引張試験結果 (柱補強筋に使用)

D6 SKK785	公称断面 (mm ²)	降伏応力度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)	最大強度 (kN)	ヤング率 $\times 10^5$ (N/mm ²)	弾性限界 ひずみ (μ)
ID1-1	31.7	943.14	7165	35.65	1.83	5165
ID1-2		902.29	6921	35.14	1.83	4921
ID1-3		931.05	6876	35.52	1.92	4876
平均	31.7	925.49	6987	35.44	1.86	4987

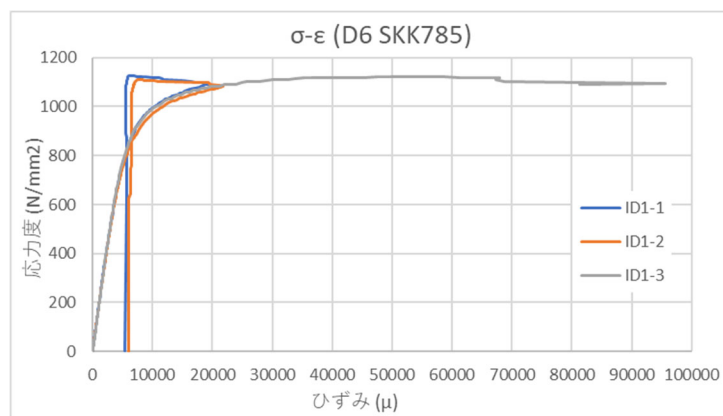


図 3. 2. 1-21 鉄筋 D6 (SKK785) (柱補強筋に使用)

表 3. 2. 1-19 鉄筋 D22 (USD590) 引張試験結果 (DR-1 梁主筋に使用)

D22 USD590	公称断面 (mm ²)	降伏応力度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)	最大強度 (kN)	ヤング率 × 10 ⁵ (N/mm ²)	ひずみ硬化開始 時ひずみ (μ)
ID15-1	387.1	618.92	3407	299.70	1.84	11764
ID15-2		627.61	3514	301.70	1.86	10931
ID15-3		628.16	3541	300.05	1.94	12499
ID15-5		620.79	3430	294.50	1.88	7913
ID15-6		613.55	3370	292.80	1.85	8411
平均	387.1	621.80	3453	297.75	1.88	10303

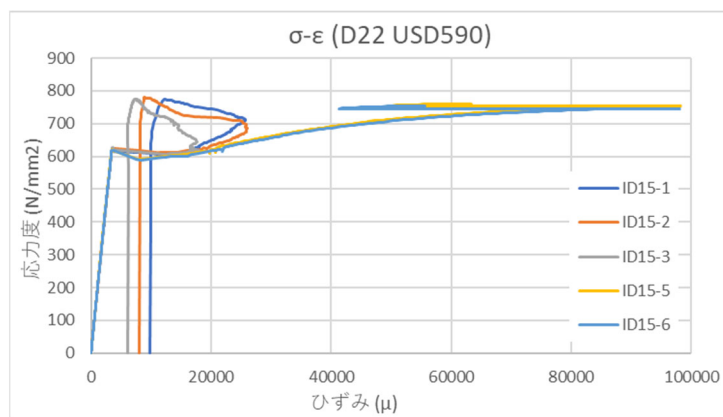


図 3. 2. 1-22 鉄筋 D22 (USD590) (DR-1 梁主筋に使用)

表 3. 2. 1-20 鉄筋 D22 (USD390) 引張試験結果 (DR-5 梁主筋に使用)

D22 USD390	公称断面 (mm ²)	降伏応力度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)	最大強度 (kN)	ヤング率 × 10 ⁵ (N/mm ²)	ひずみ硬化開始 時ひずみ (μ)
ID14-1	387.1	455.83	2528.06	240.5	0.181251963	16107
ID14-2		459.86	2499.61	240.5	0.184641079	12045
ID14-3		459.58	2499.58	241.5	0.183775601	12767
平均	387.1	458.42	2509.0833	240.83333	183.222881	13640

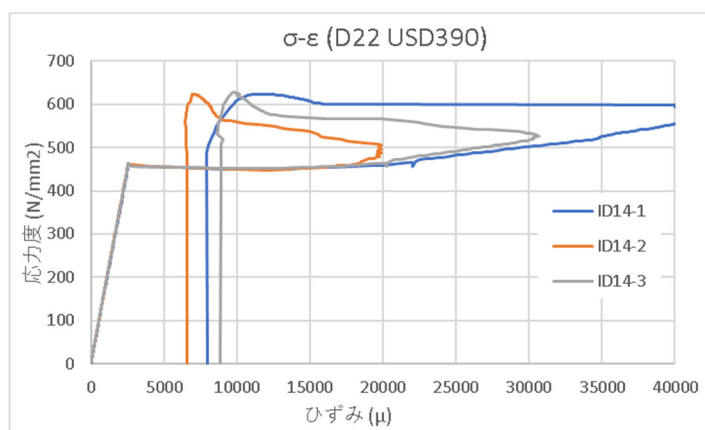


図 3. 2. 1-23 鉄筋 D22 (USD390) (DR-5 梁主筋に使用)

表 3. 2. 1-21 鉄筋 U9.0 (SBPD1275) 引張試験結果 (梁補強筋に使用)

U9.0 SBPD1275	公称断面 (mm ²)	降伏応力度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)	最大強度 (kN)	ヤング率 × 10 ⁵ (N/mm ²)	弾性限界 ひずみ (μ)
ID3-1	63.6	1406.94	9010	89.03	2.08	7010
ID3-2		1415.44	8732	89.52	2.06	6732
ID3-3		1330.99	9189	86.76	2.05	7189
平均	63.6	1384.45	8977	88.44	2.06	6977

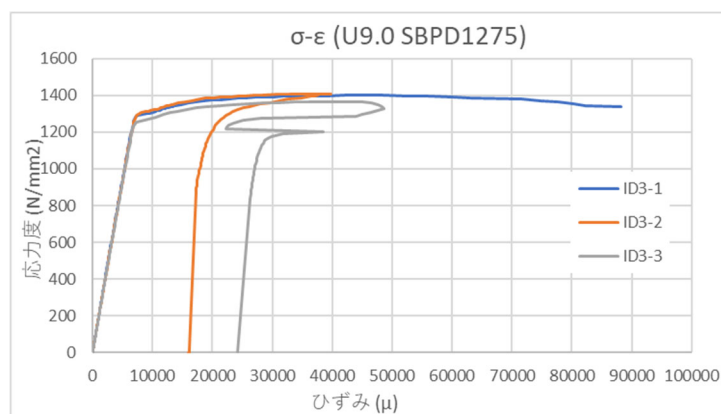


図 3. 2. 1-24 鉄筋 U9.0 (SBPD1275) (梁補強筋に使用)

表 3. 2. 1-22 鉄筋 D6 (SD295) 引張試験結果 (梁幅止め筋に使用)

D6 SD295	公称断面 (mm ²)	降伏応力度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)	最大強度 (kN)	ヤング率 × 10 ⁵ (N/mm ²)	ひずみ硬化開始 時ひずみ (μ)
ID5-1	31.7	387.80	2450	16.09	1.91	4066
ID5-2		408.59	2569	16.56	1.91	5993
ID5-3		383.42	2872	15.89	1.90	5002
平均	31.7	393.27	2630	16.18	1.91	5020

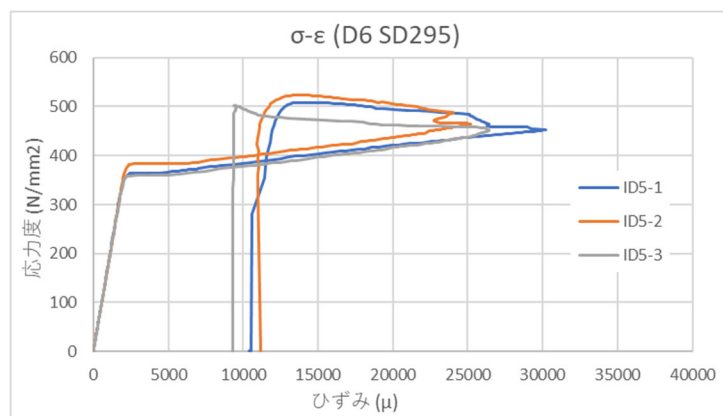


図 3. 2. 1-25 鉄筋 D6 (SD295) (梁幅止め筋に使用)

表 3. 2. 1-23 鉄筋 D16 (SD295) 引張試験結果 (杭頭定着筋に使用)

D16 SD295	公称断面 (mm ²)	降伏応力度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)	最大強度 (kN)	ヤング率 × 10 ⁵ (N/mm ²)	ひずみ硬化開始 時ひずみ (μ)
ID12-1	198.6	348.90	1881	97.28	1.86	23572
ID12-2		350.74	1869	97.56	1.89	24645
ID12-3		349.41	1877	97.52	1.87	25909
平均	198.6	349.68	1875	97.45	1.87	24709

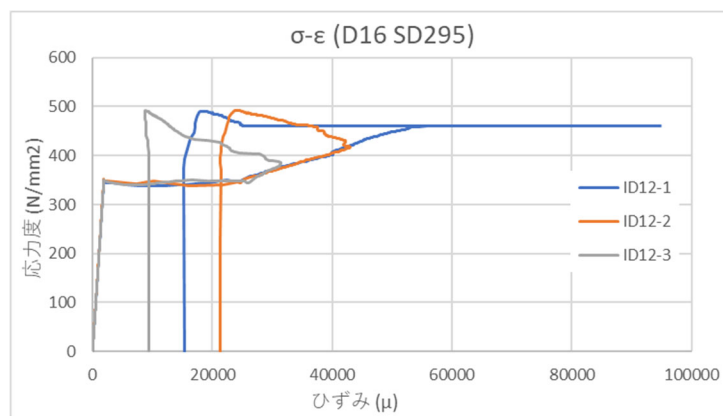


図 3. 2. 1-26 鉄筋 D16 (SD295) (杭頭定着筋に使用)

表 3. 2. 1-24 鉄筋 D13 (SD295) 引張試験結果 (パイルキャップ縦筋に使用)

D13 SD295	公称断面 (mm ²)	降伏応力度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)	最大強度 (kN)	ヤング率 × 10 ⁵ (N/mm ²)	ひずみ硬化開始 時ひずみ (μ)
ID8-1	126.7	343.35	1863	60.14	1.85	18750
ID8-2		343.35	1827	60.16	1.88	15428
ID8-3		350.70	1843	60.52	1.88	11557
平均	126.7	345.80	1844	60.27	1.87	15245

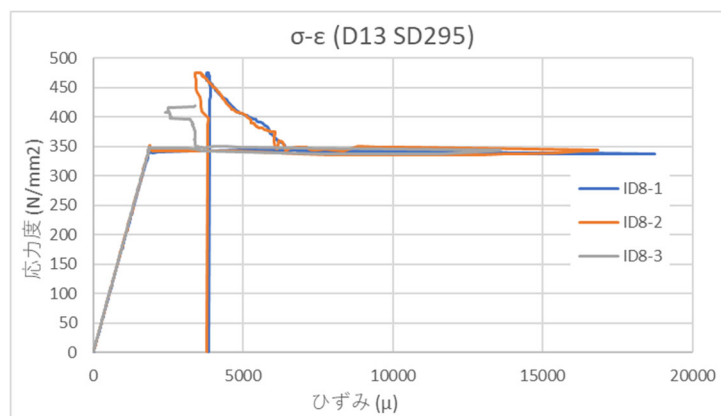


図 3. 2. 1-27 鉄筋 D13 (SD295) (パイルキャップ縦筋に使用)

表 3. 2. 1-25 鉄筋 D13 (MK785) 引張試験結果 (パイルキャップ補強筋, 中子筋に使用)

D13 MK785	公称断面 (mm ²)	降伏応力度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)	最大強度 (kN)	ヤング率 × 10 ⁵ (N/mm ²)	ひずみ硬化開始 時ひずみ (μ)
ID9-1	126.7	803.43	4137	126.08	1.99	11343
ID9-2		795.88	4073	124.12	1.99	11392
ID9-3		810.52	4141	125.84	1.99	11069
平均	126.7	803.28	4117	125.35	1.99	11268

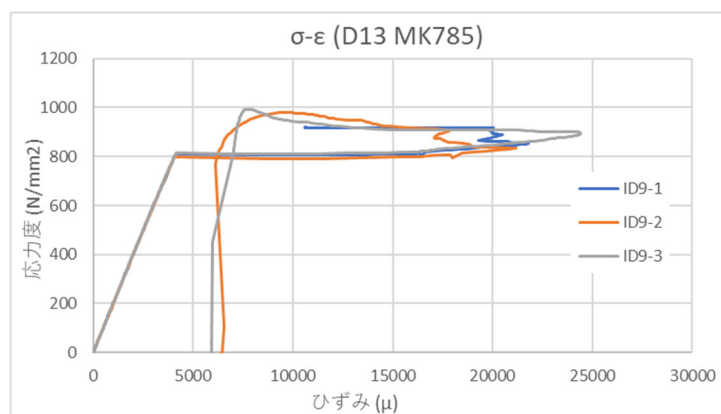


図 3. 2. 1-28 鉄筋 D13 (MK785) (パイルキャップ補強筋, 中子筋に使用)

表 3. 2. 1-26 鉄筋 D13 (SD490) 引張試験結果 (袖壁主筋 拘束域に使用)

D13 SD490	公称断面 (mm ²)	降伏応力度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)	最大強度 (kN)	ヤング率 × 10 ⁵ (N/mm ²)	ひずみ硬化開始 時ひずみ (μ)
ID11-1	126.7	549.08	3057	91.52	1.92	8179
ID11-2		544.79	3254	91.82	1.90	8627
ID11-3		544.95	3110	91.80	1.89	12095
平均	126.7	546.27	3140	91.71	1.90	9634

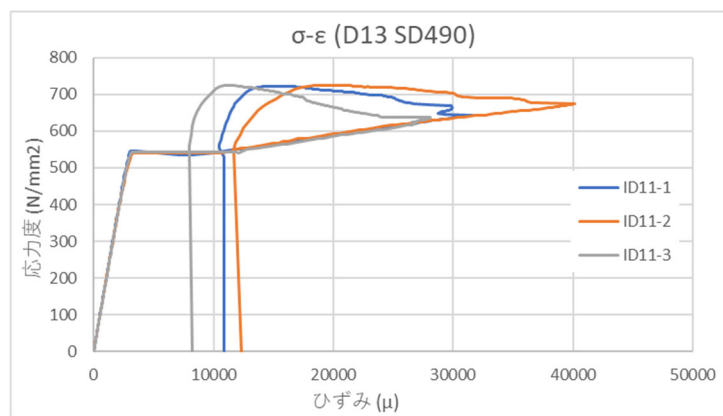


図 3. 2. 1-29 鉄筋 D13 (SD490) (袖壁主筋 拘束域に使用)

表 3. 2. 1-27 鉄筋 D10 (SD490) 引張試験結果 (袖壁主筋 拘束域以外, 袖壁補強筋に使用)

D10 SD490	公称断面 (mm ²)	降伏応力度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)	最大強度 (kN)	ヤング率 × 10 ⁵ (N/mm ²)	ひずみ硬化開始 時ひずみ (μ)
ID6-1	71.3	511.72	2854	48.90	1.90	15318
ID6-2		527.51	2969	49.08	1.89	12607
ID6-3		532.63	2991	48.84	1.89	11450
平均	71.3	523.95	2938	48.94	1.89	13125

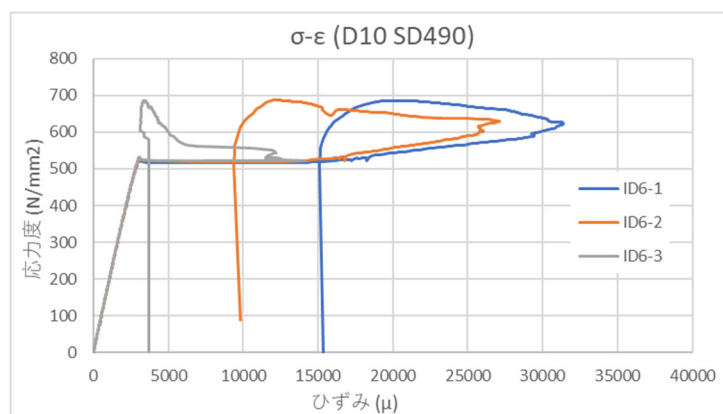


図 3. 2. 1-30 鉄筋 D10 (SD490) (袖壁主筋 拘束域以外, 袖壁補強筋に使用)

3) 材料特性まとめ

材料特性を以下の表 3.2.1-28, 表 3.2.1-29 に示す。

表 3.2.1-28 鉄筋材料特性

試験体	鉄筋種類	使用部材	降伏応力度 (N/mm ²)	ヤング率 × 10 ⁵ (N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)	弾性限界 (μ)
DR-1 DR-5	D16 (SD785)	柱主筋	845.7	2.04	4266	-
	D6 (SKK785)	柱補強筋	925.5	1.86	6987	4987
	D22 (USD590)	梁主筋(DR-1)	621.8	1.88	3453	-
	D22 (USD390)	梁主筋(DR-5)	458.4	1.83	2509	-
	U9.0 (SBPD1275)	梁補強筋	1384.5	2.06	8977	6977
	D6 (SD295)	梁幅止め筋	393.3	1.91	2630	-
	D16 (SD295)	杭頭定着筋	349.7	1.87	1875	-
	D13 (SD295)	パイルキャップ縦筋	345.8	1.87	1844	-
	D13 (MK785)	パイルキャップ補強筋, 中子筋	803.3	1.99	4117	-
	D13 (SD490)	袖壁主筋 (拘束域)	546.3	1.90	3140	-
	D10 (SD490)	袖壁主筋 (拘束域以外), 袖壁補強筋	524.0	1.89	2938	-

*0.2%オフセットにより弾性限界ひずみを算出した

表 3.2.1-29 コンクリート材料特性

圧縮強度 (N/mm ²)		
試験体	基礎梁・パイルキャップ	柱・袖壁
DR-1	34.9	82.9
DR-5	35.8	85.8

引張強度 (N/mm ²)		
試験体	基礎梁・パイルキャップ	柱・袖壁
DR-1	2.2	3.5
DR-5	2.4	3.9

(3) 載荷方法

1) 載荷装置

載荷装置図面を図 3.2.1-31 に、実際の写真を写真 3.2.1-3 に示す。

試験体の支承部は、杭・柱はピン支持、基礎梁端はピンローラー支持とした。軸力は柱頭より鉛直ジャッキより導入し、その後水平ジャッキにより加力をした。柱と杭の反曲点位置は 2400mm、パイルキャップ芯から基礎梁反曲点までは 1500mm である。

DR-1 試験体及び DR-5 試験体ともに軸力比 0.354 の一定軸力とした。層間変形角は柱頭の水平変位を柱頭加力点から杭脚支持点までの距離で除した物とした。

水平力は柱頭のピンの位置での層間変形角にて制御し、正負交番繰り返し載荷とした。

なお、軸力導入時に作用するせん断力に関しては特に制御を行わずに加力を行った。

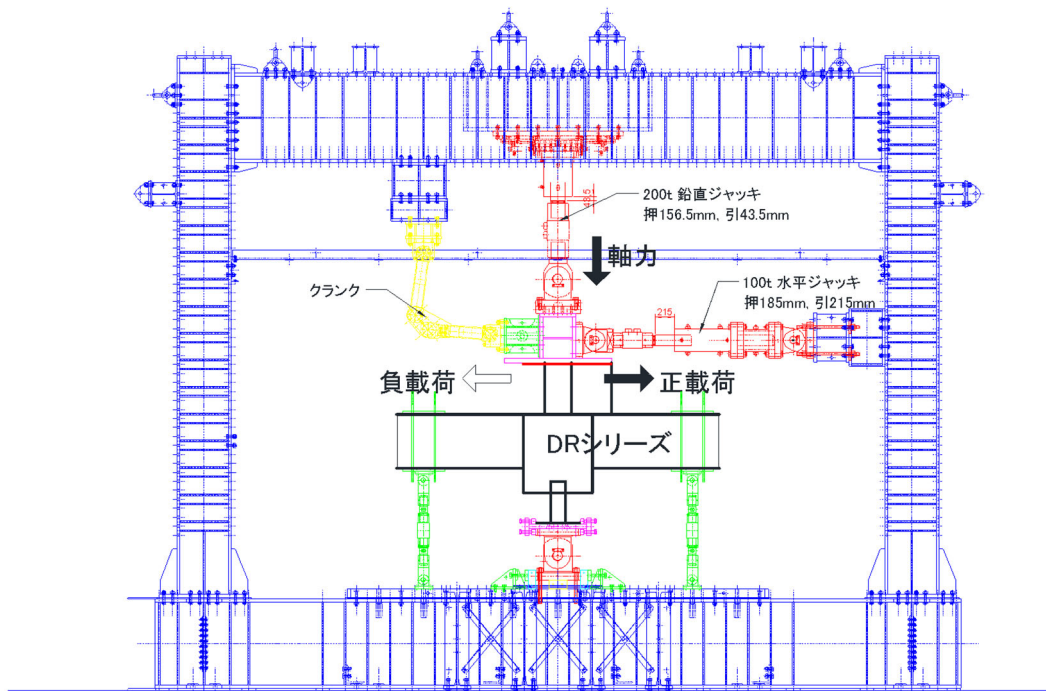


図 3.2.1-31 載荷装置図

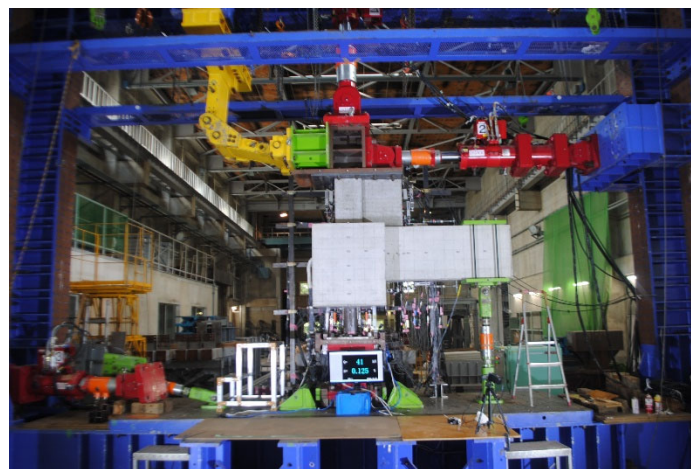


写真 3.2.1-3 載荷装置

2) 載荷スケジュール

加力は変位制御として柱頭位置での層間変形角を用いた。正負交番繰り返し載荷をして、層間変形角 $R=0.125\%$, 0.25% を 1 回ずつ、 0.5% , 1.0% , 2.0% , 3.0% を 2 回ずつ行い、それぞれ除荷を行った。DR-1, DR-5 共に 3.0% の 2 回目まで行った。

図 3. 2. 1-32 に載荷スケジュールを示す。

載荷スケジュール

○+1Cycle : 層間変形角 $R = 0.125\%$

○+2Cycle : 層間変形角 $R = 0.25\%$

○+3Cycle : 層間変形角 $R = 0.5\%$

●+4Cycle : 層間変形角 $R = 0.5\%$

○+5Cycle : 層間変形角 $R = 1.0\%$

●+6Cycle : 層間変形角 $R = 1.0\%$

○+7Cycle : 層間変形角 $R = 2.0\%$

●+8Cycle : 層間変形角 $R = 2.0\%$

○+9Cycle : 層間変形角 $R = 3.0\%$

●+10Cycle : 層間変形角 $R = 3.0\%$

○+11Cycle : 層間変形角 $R = 4.0\%$

○-1Cycle : 層間変形角 $R = 0.125\%$

○-2Cycle : 層間変形角 $R = 0.25\%$

○-3Cycle : 層間変形角 $R = 0.5\%$

●-4Cycle : 層間変形角 $R = 0.5\%$

○-5Cycle : 層間変形角 $R = 1.0\%$

●-6Cycle : 層間変形角 $R = 1.0\%$

○-7Cycle : 層間変形角 $R = 2.0\%$

●-8Cycle : 層間変形角 $R = 2.0\%$

○-9Cycle : 層間変形角 $R = 3.0\%$

●-10Cycle : 層間変形角 $R = 3.0\%$

○-11Cycle : 層間変形角 $R = 4.0\%$

○: 処女載荷 ●: 繰り返し Cycle

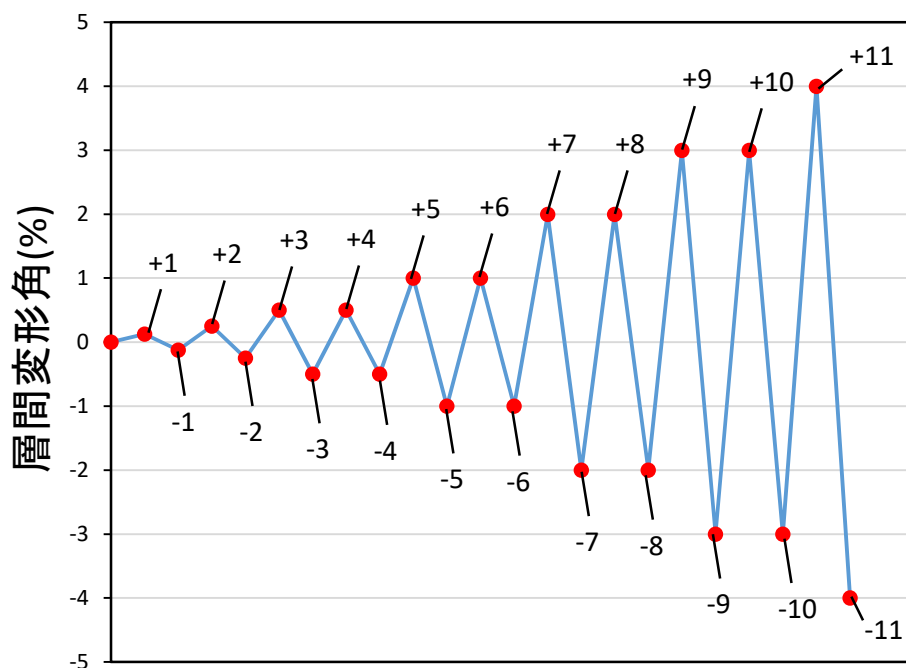


図 3. 2. 1-32 載荷スケジュール

(4) 測定方法

1) せん断力及び軸力

軸力は軸力加圧ジャッキより測定し、層せん断力は基礎梁せん断力からモーメントの釣り合いより変換した。図 3. 2. 1-33 に荷重装置図よりせん断力及び軸力を示す。

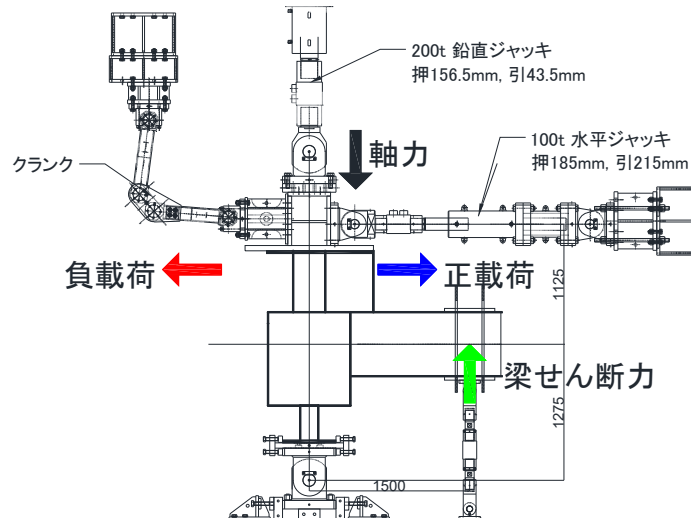


図 3. 2. 1-33 せん断力及び軸力

2) 変位の測定方法

● 層間変形角

実験時、層間変位は柱頭加力位置で変位計 (CDP-200) によって計測した値を用いた。

層間変形角 R は、層間変位 δ を柱頭加力地点から杭脚支持点までの距離 H で除した物とした。算出方法を図 3. 2. 1-34 に示す。

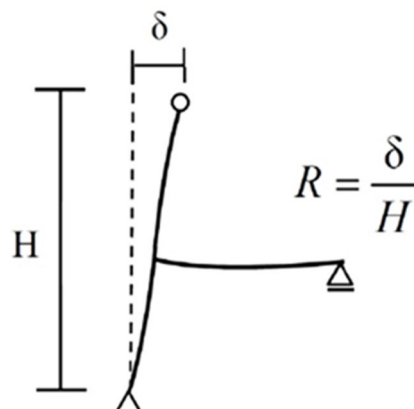


図 3. 2. 1-34 層間変形角 R の算出

●各変形部材

図 3.2.1-35~47, 写真 3.2.1-4~6 各試験体のインサート及び変位計取り付け位置を示す。

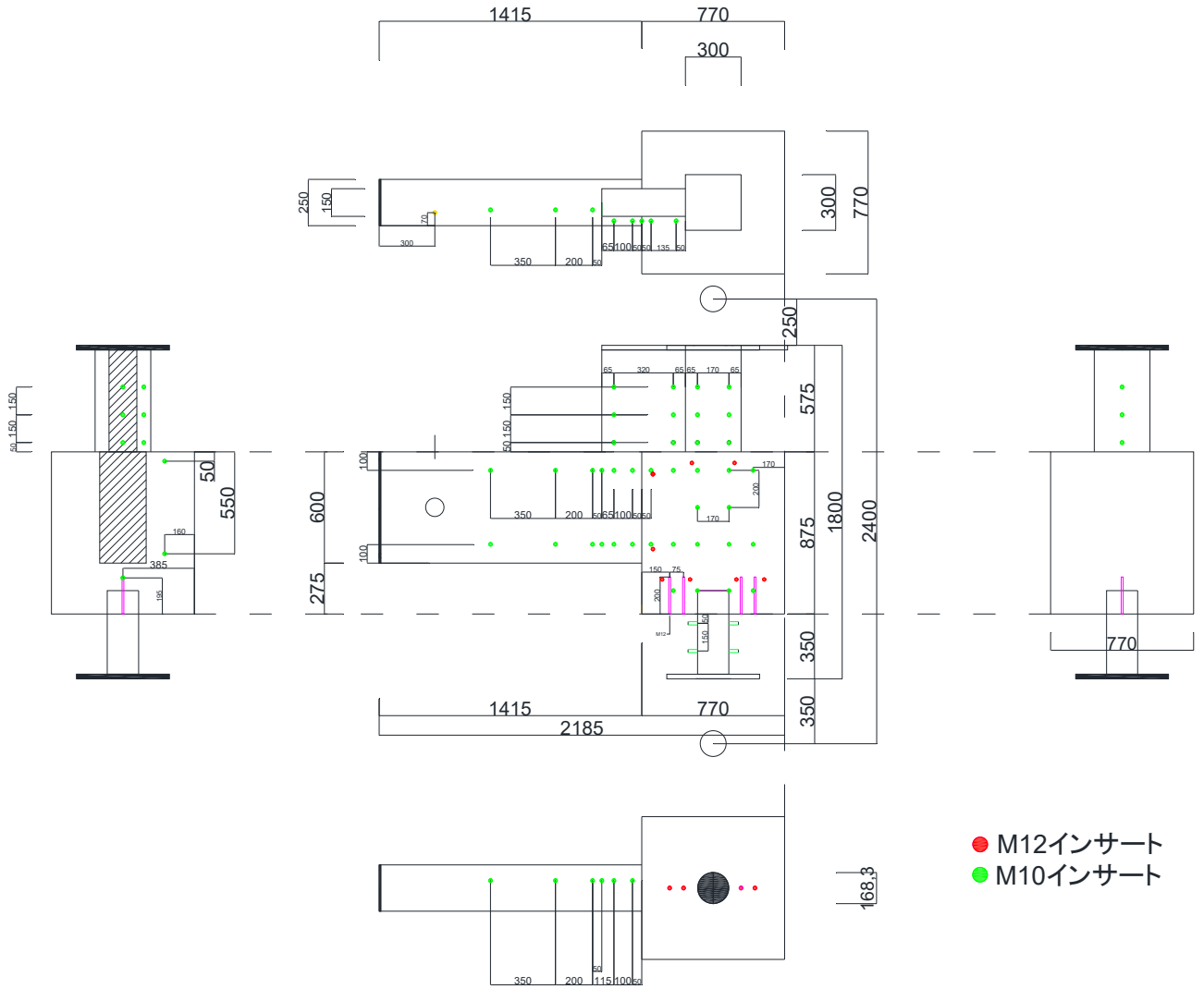


図 3.2.1-35 DR-1~4 インサート図

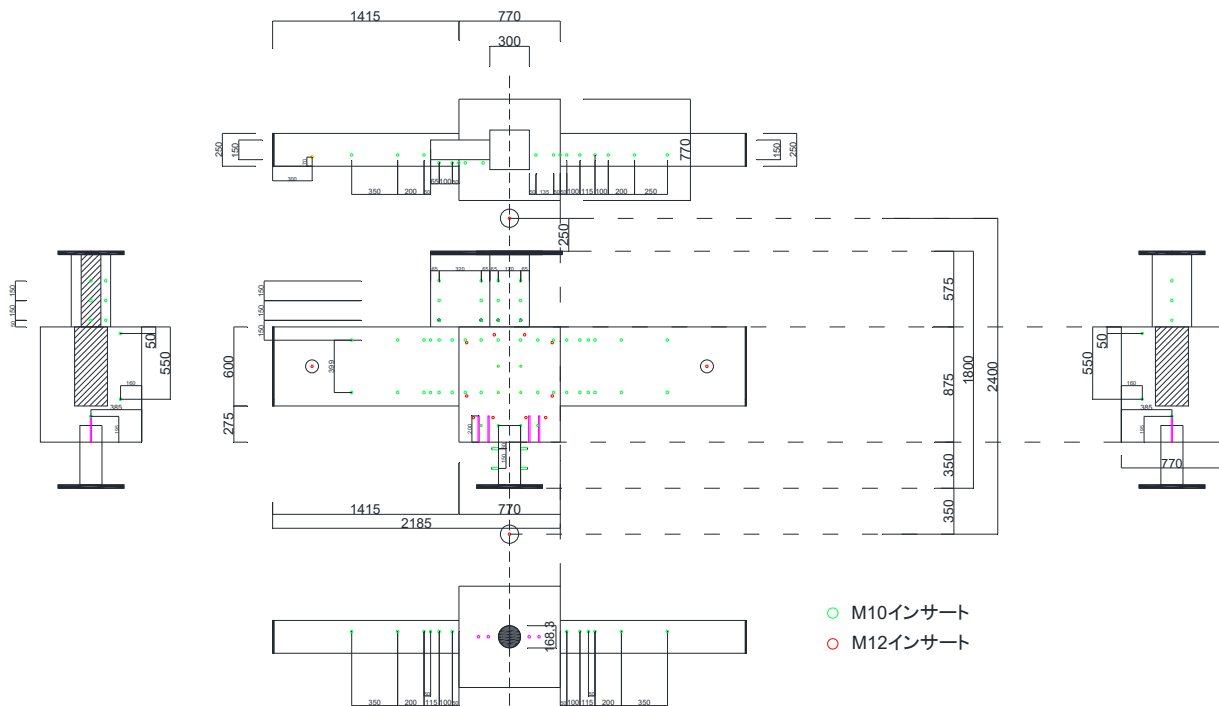


図 3.2.1-36 DR-5 インサート図

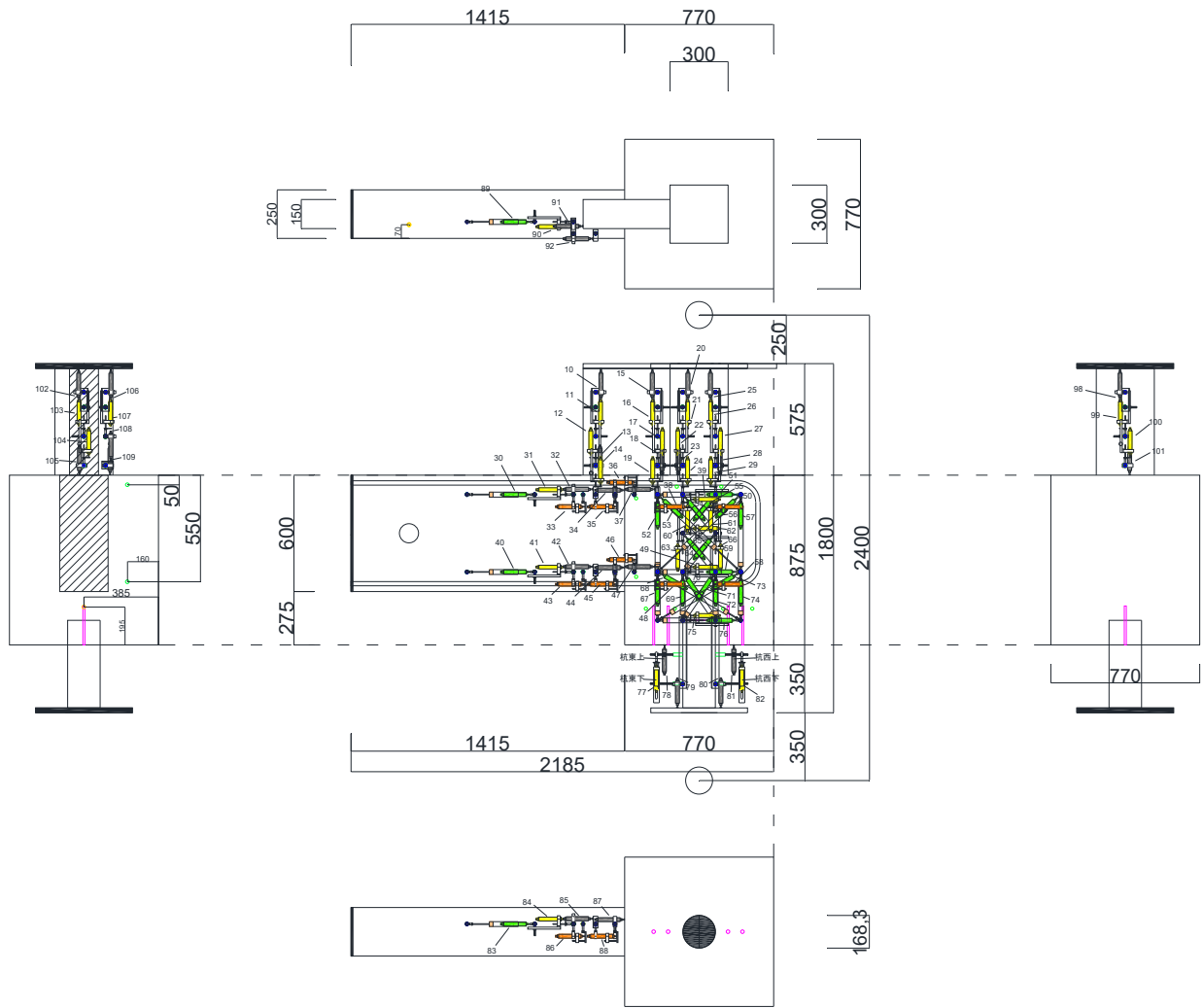


图 3.2.1-36 DR-1~4 変位計図

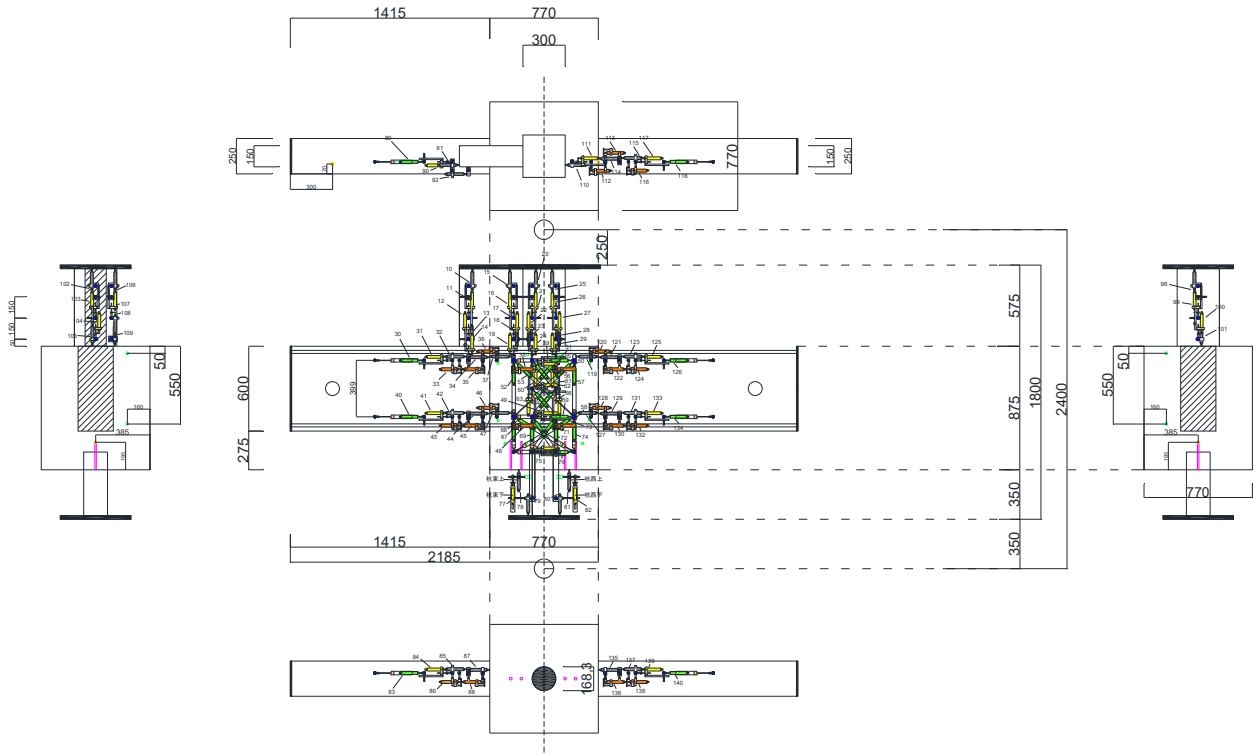



图 3.2.1-37 DR-5 变位计图



写真 3. 2. 1-4 アクリルパイプ

アクリルパイプ治具


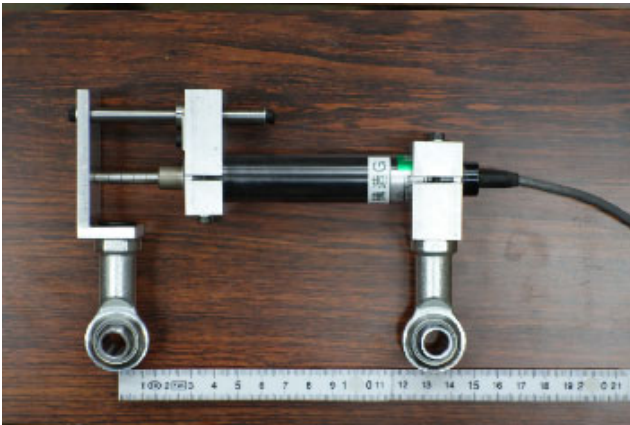
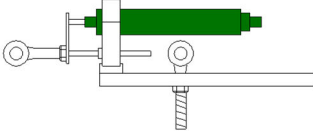


写真 3. 2. 1-5 短区間用治具 ver. 1

短区間用治具ver.1


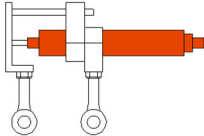
短区間用治具ver.2




写真 3. 2. 1-6 短区間用治具 ver. 2

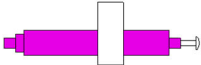
ホルダー


図 2. 4. 2-6 変位計取り付け治具

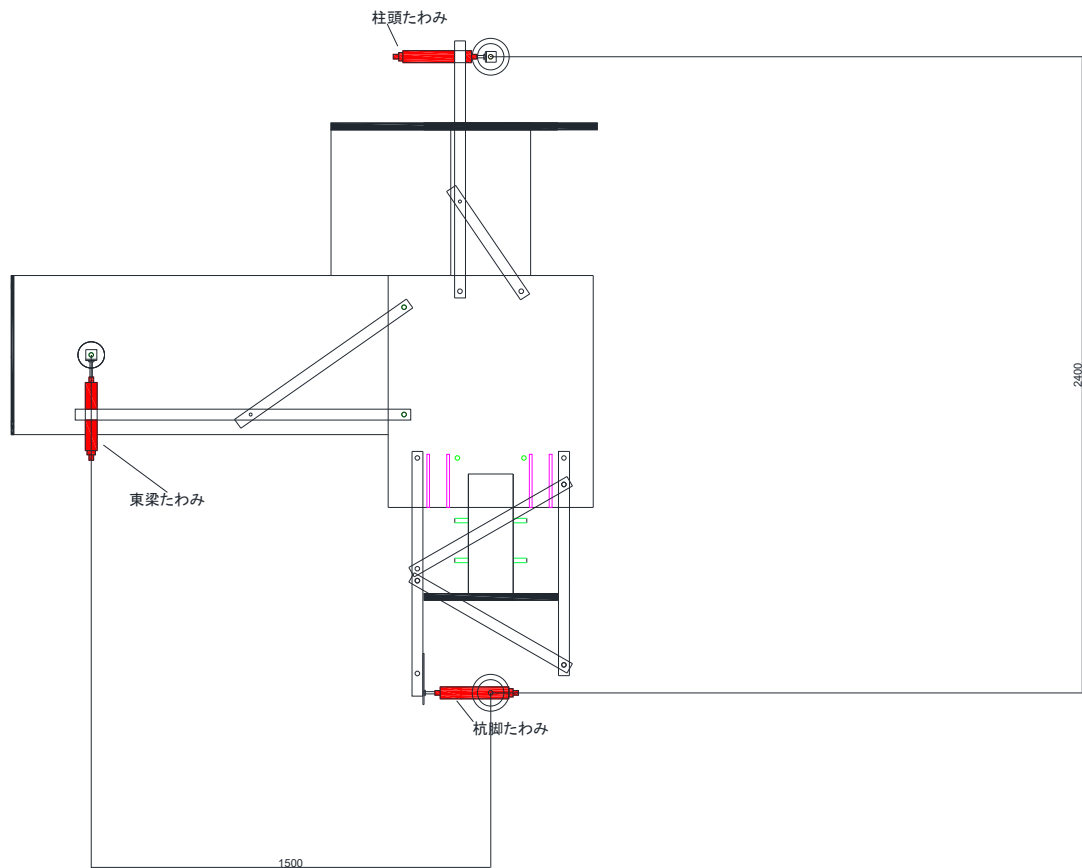


図 3.2.1-38 DR-1~4 試験体治具図面 (GDP200)

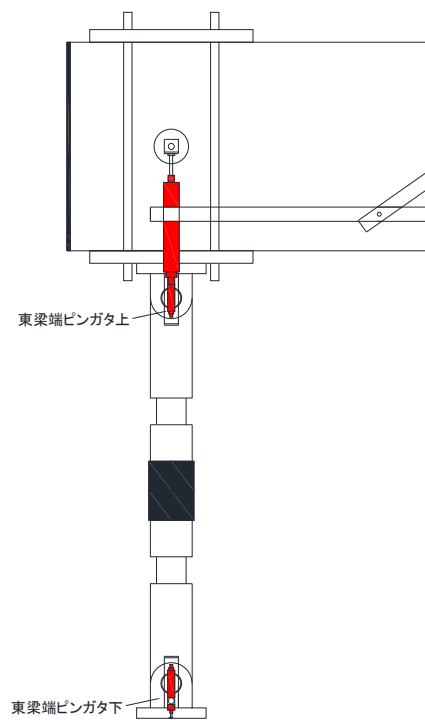


図 3.2.1-39 DR-1~4 基礎梁端変位計治具図面

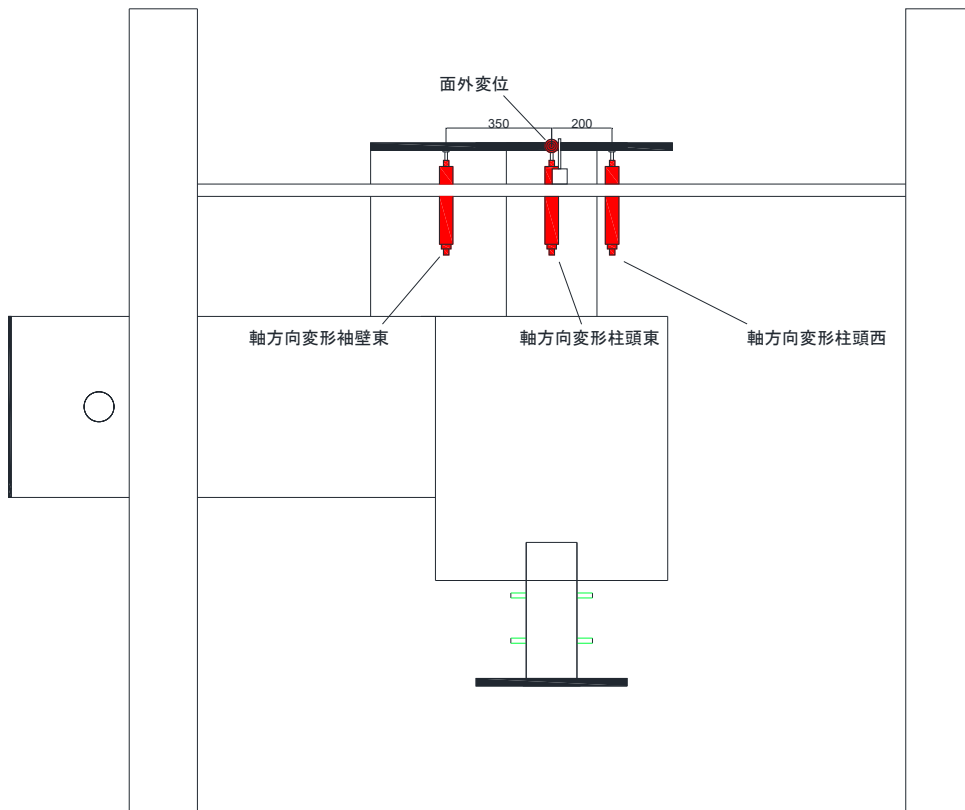


図 3.2.1-40 DR-1~4 軸方向変位計治具図面

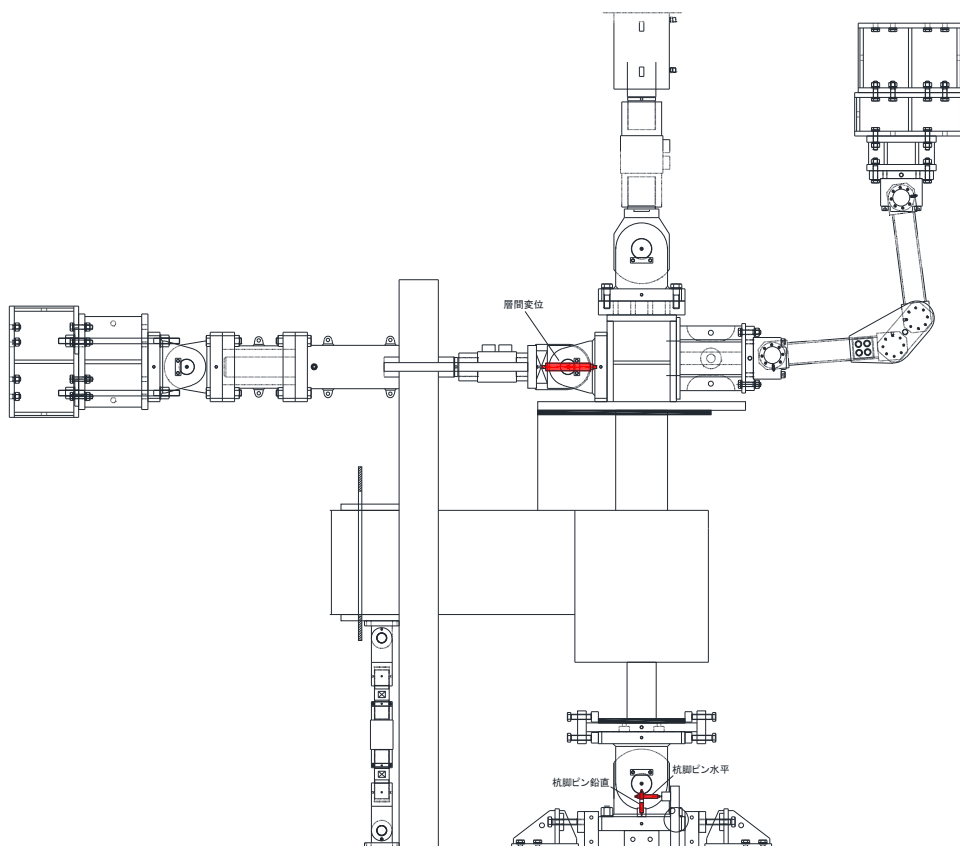


図 3.2.1-41 DR-1~4 載荷装置取り付け変位計治具図面

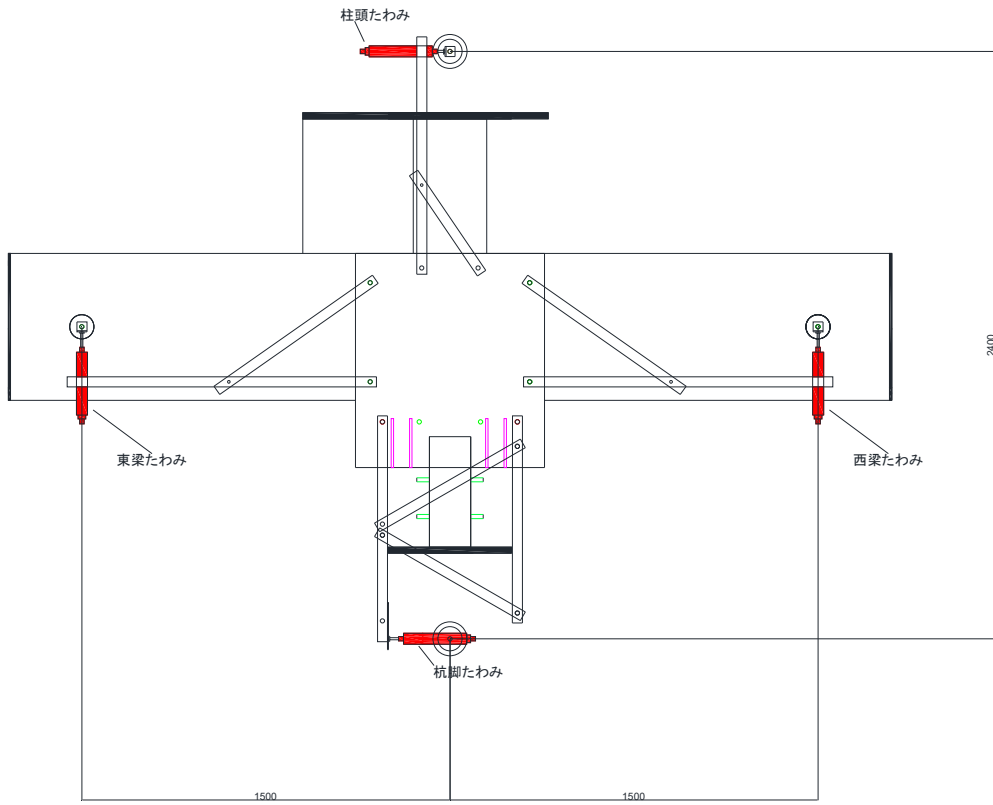


図 3.2.1-42 DR-5 試験体治具図面 (CDP200)

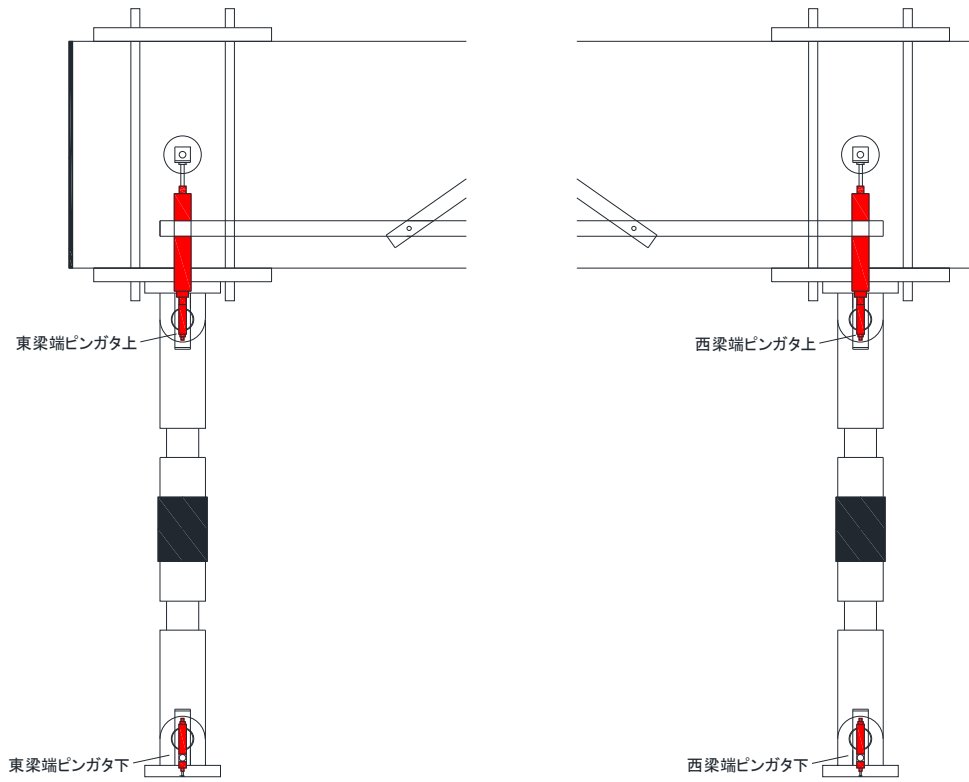


図 3.2.1-43 DR-5 基礎梁端変位計治具図面

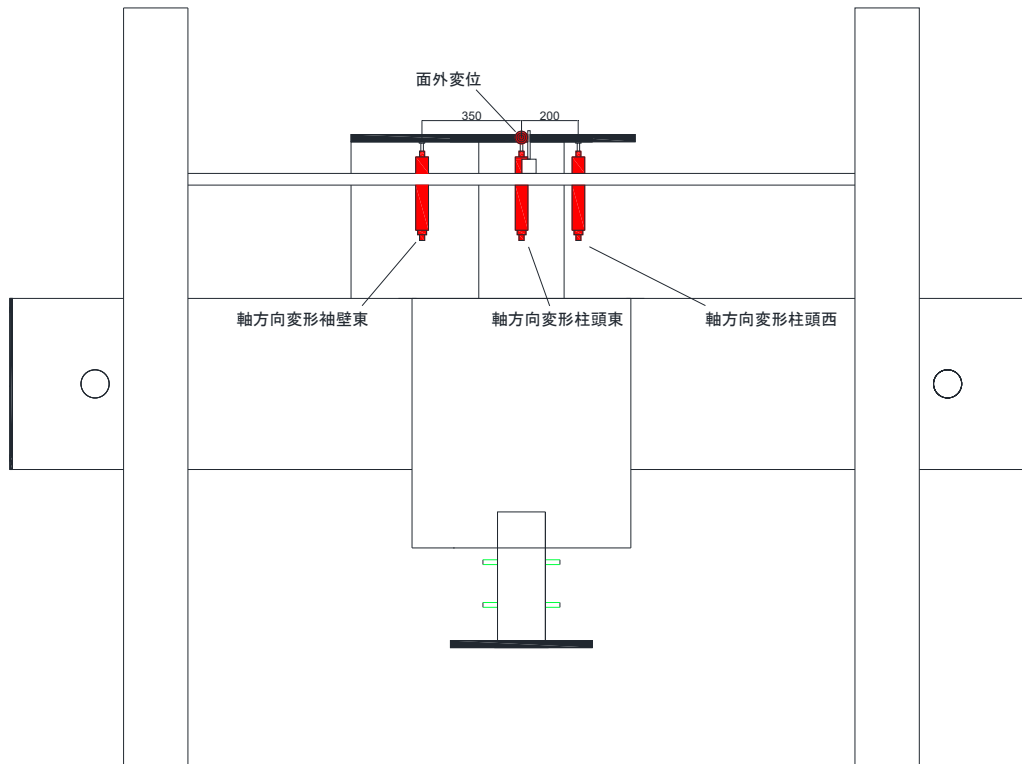


図 3.2.1-44 DR-5 軸方向変位計治具図面

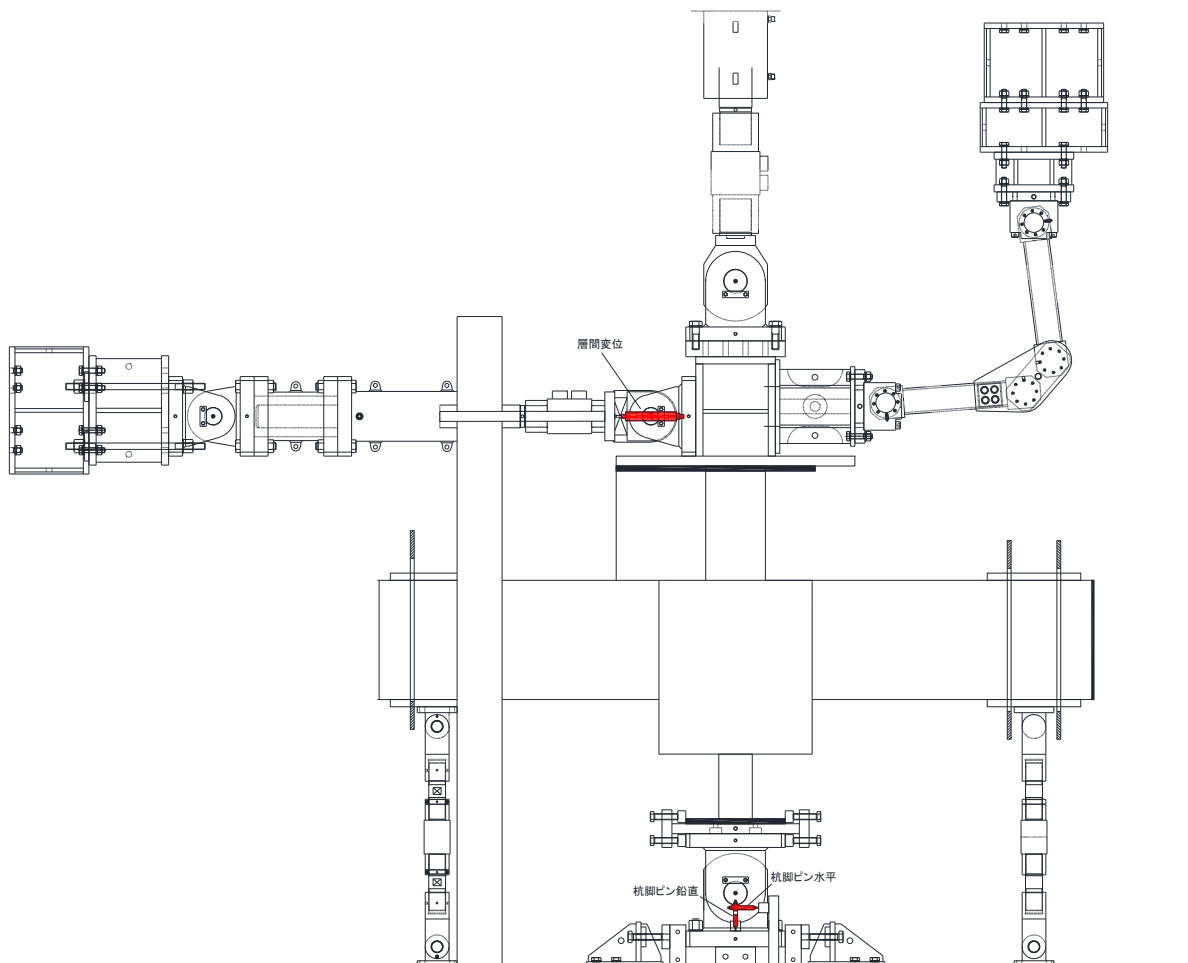


図 3.2.1-45 DR-5 荷装置取付け変位計治具図面

3) ひずみ測定位置

図 3.2.1-46~58 にひずみゲージ貼り付け位置を示す。

鉄筋に張り付けたひずみゲージは全て FLK-2-11-5LT を使用した。

● 杭ゲージ貼り付け位置

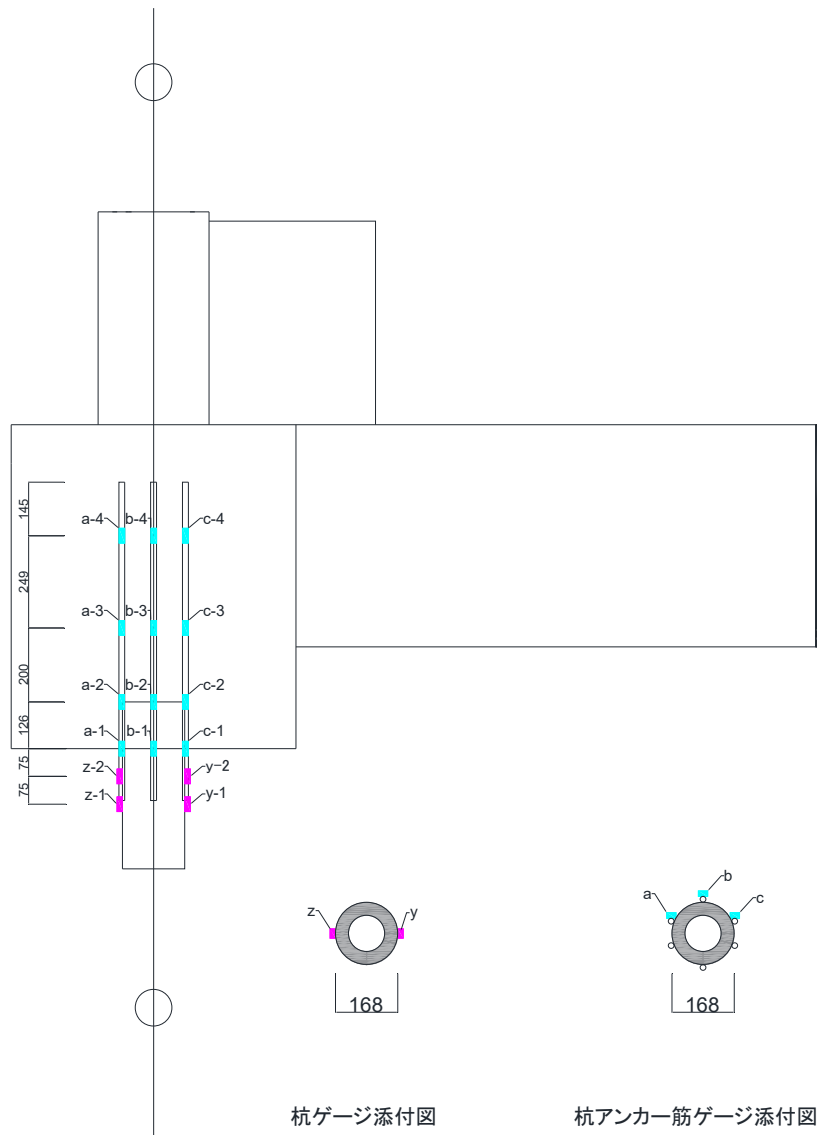


図 3.2.1-46 杭ゲージ貼り付け位置(全試験体共通)

●柱ゲージ貼り付け位置

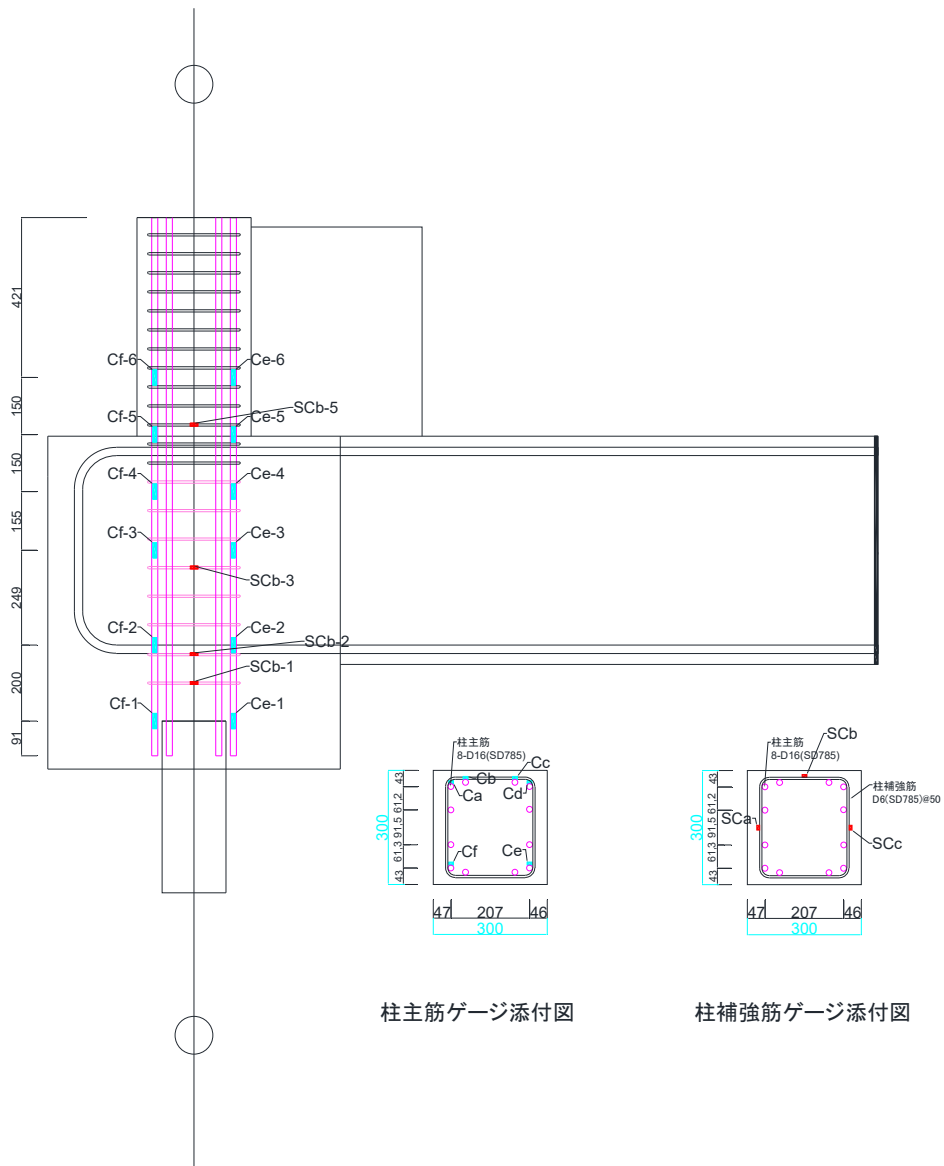


図 3.2.1-47 柱ゲージ貼り付け位置(全試験体共通)

●基礎梁ゲージ貼り付け位置

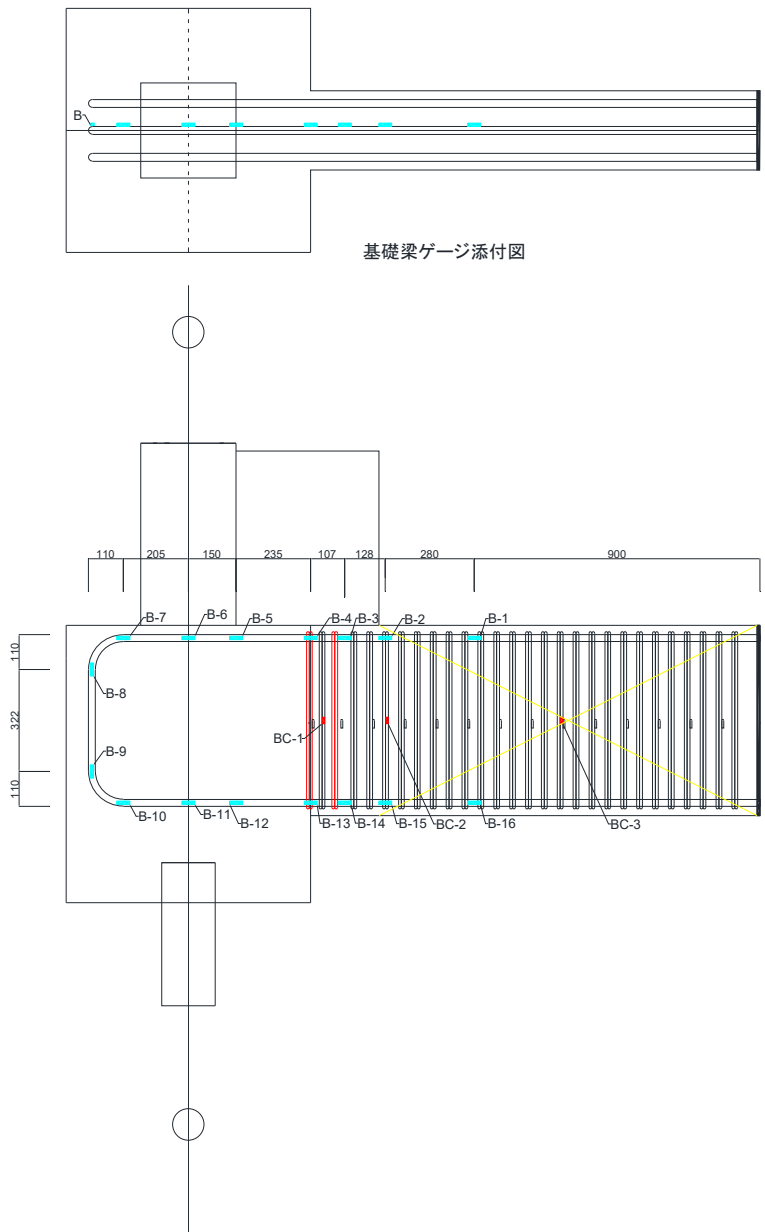


図 3. 2. 1-48 DR-1~4 基礎梁ゲージ貼り付け位置

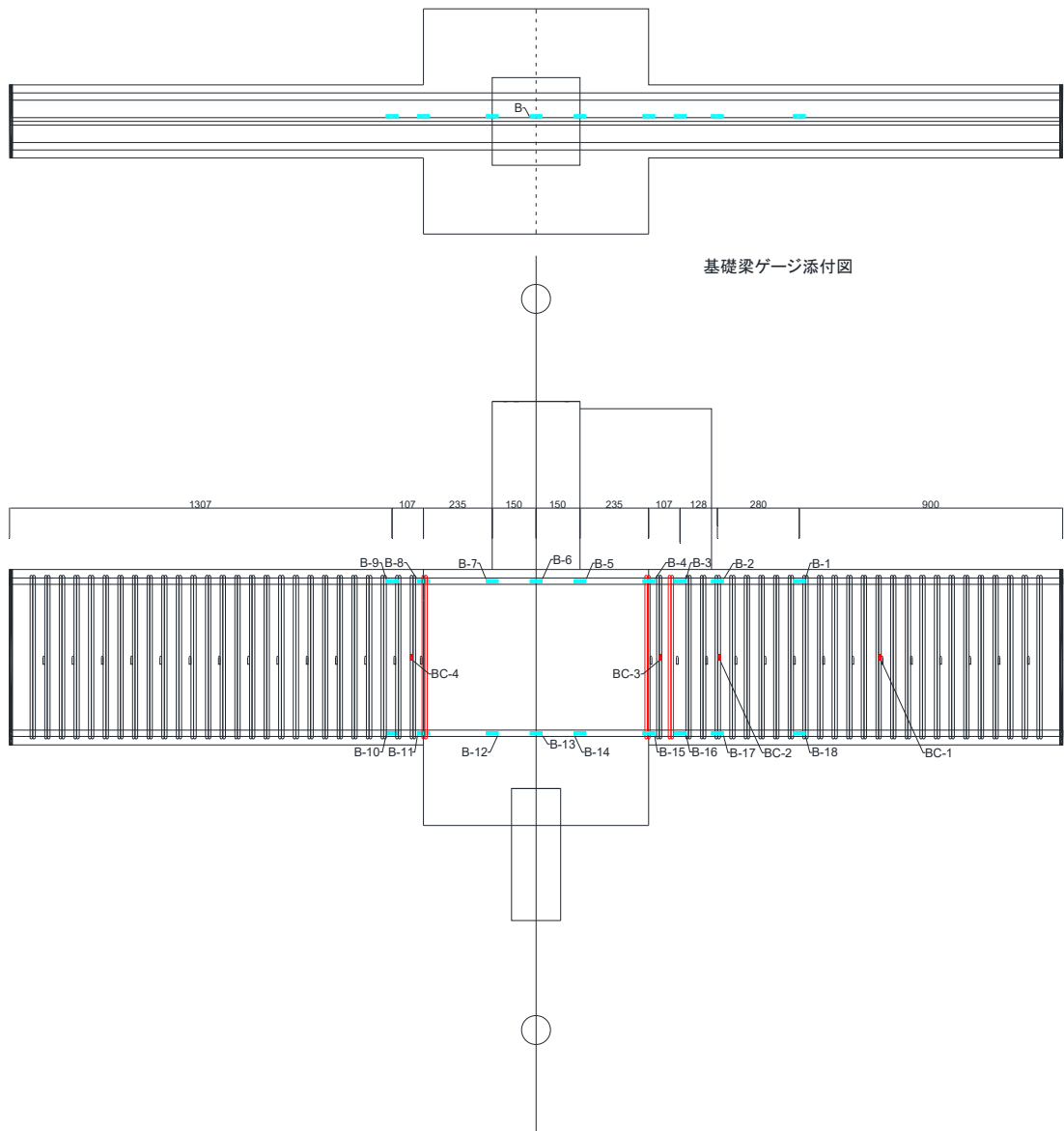
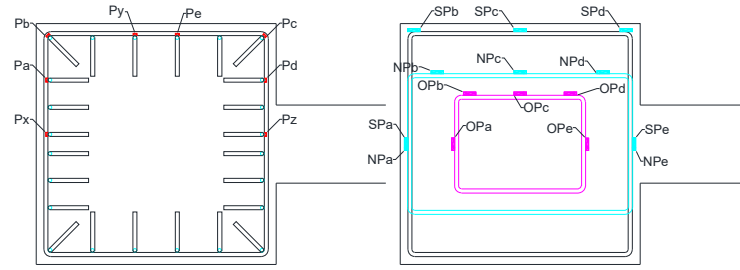


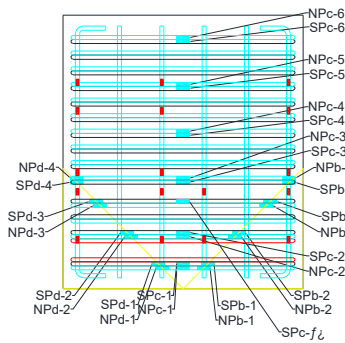
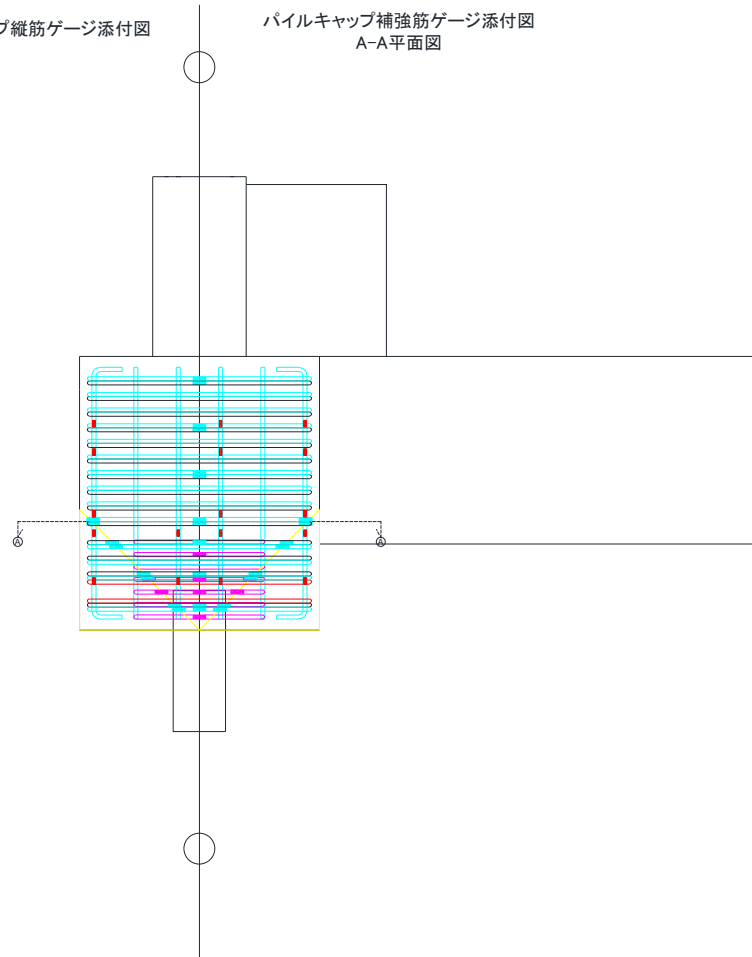
図 3.2.1-49 DR-5 基礎梁ゲージ貼り付け位置

● パイルキャップゲージ貼り付け位置

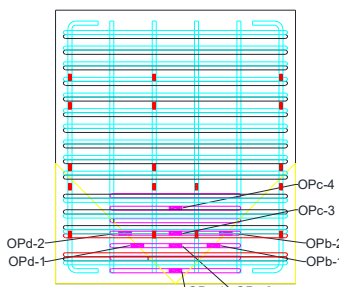


パイルキャップ縦筋ゲージ添付図

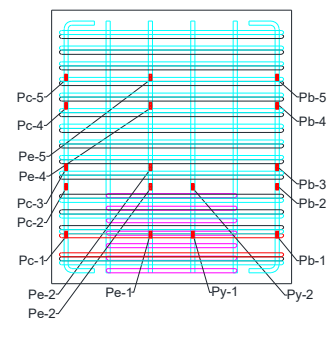
パイルキャップ補強筋ゲージ添付図
A-A平面図



パイルキャップ東面 補強筋ゲージ添付図



パイルキャップ東面 中子筋ゲージ添付図



パイルキャップ東面 縦筋ゲージ添付図

図 3.2.1-50 パイルキャップゲージ貼り付け位置 (全試験体共通)

● 袖壁ゲージ貼り付け位置

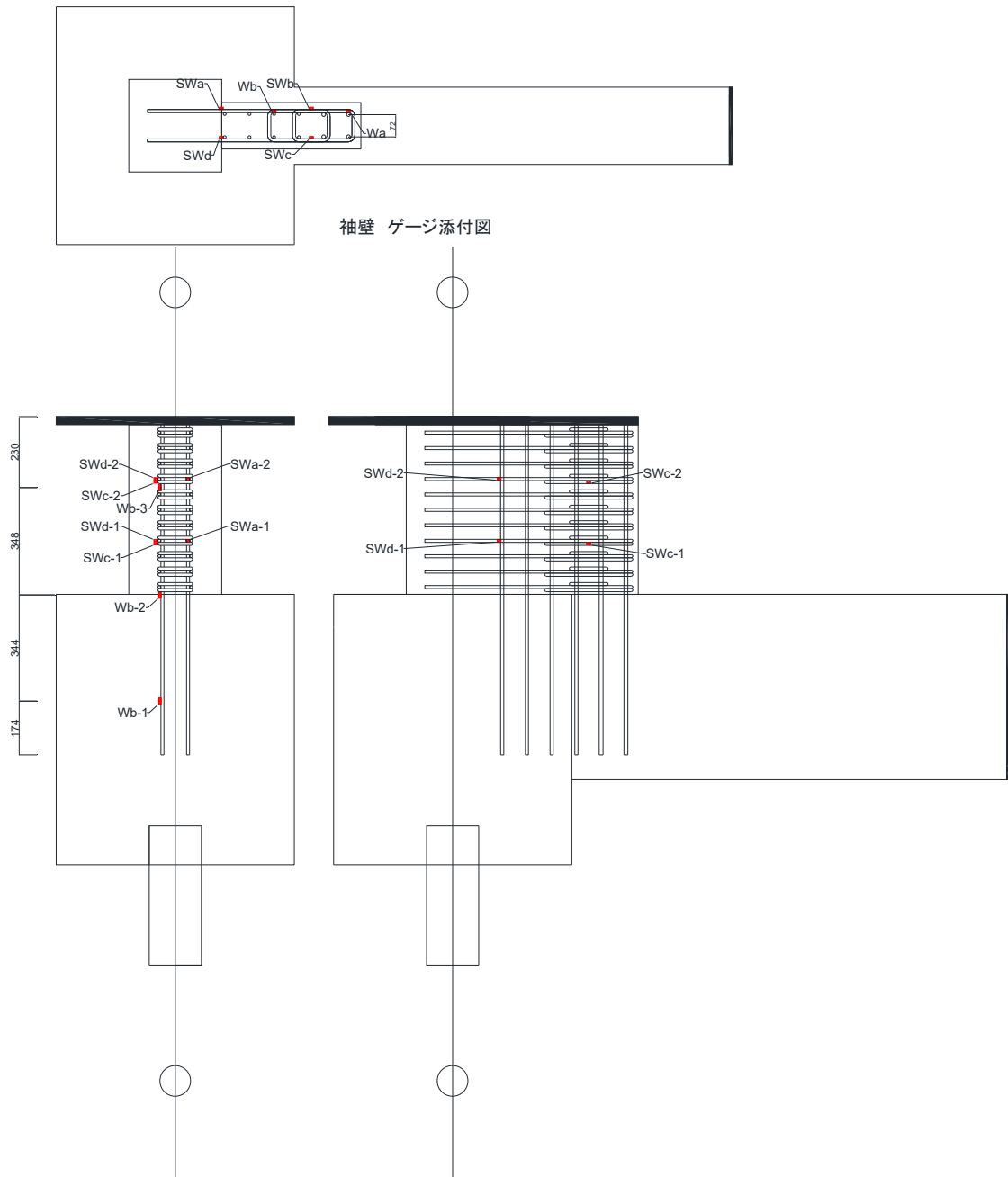


図 3.2.1-51 袖壁ゲージ貼り付け位置(全試験体共通)

●コンクリートゲージ貼り付け位置
 ゲージは PL-60-11 を使用した。

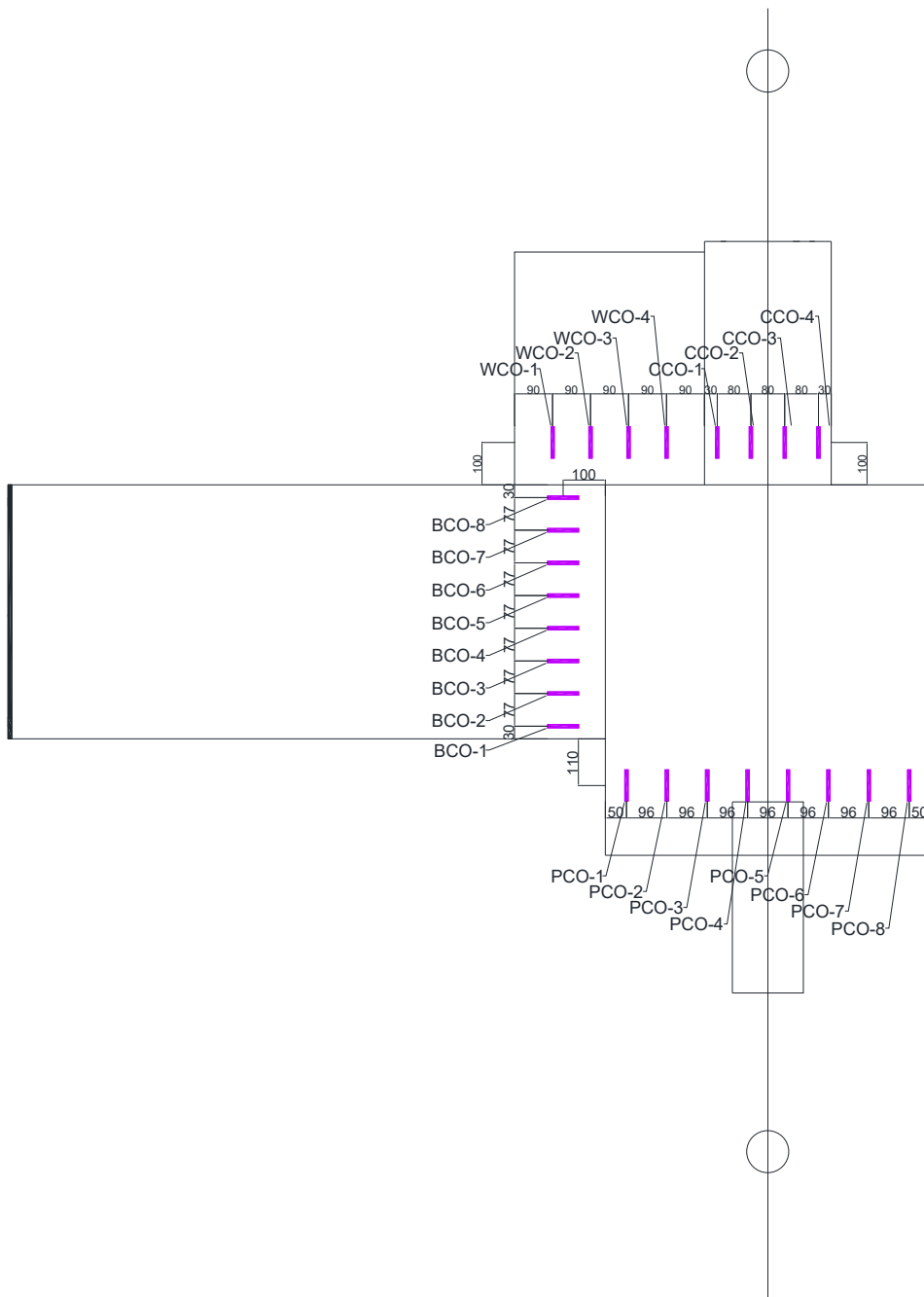


図 3. 2. 1-52 DR-1~4 コンクリートゲージ貼り付け位置

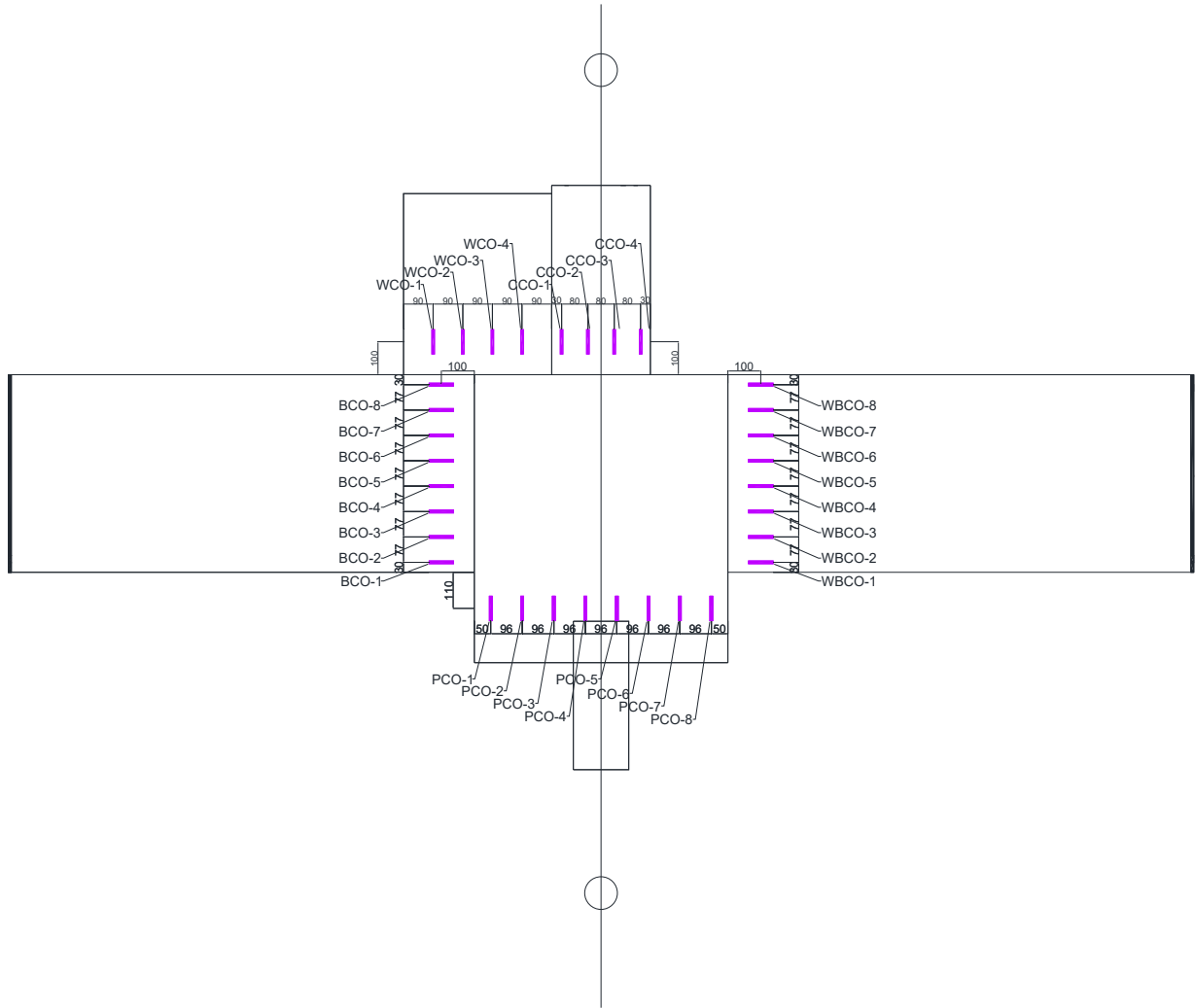


図 3.2.1-53 DR-5 コンクリートゲージ貼り付け位置

●杭鋼管周りひずみゲージ貼り付け位置

後述するモールドゲージを取り付ける為、試験体 DR-1, 2, 4 の杭鋼管に D6 の鉄筋を溶接した。

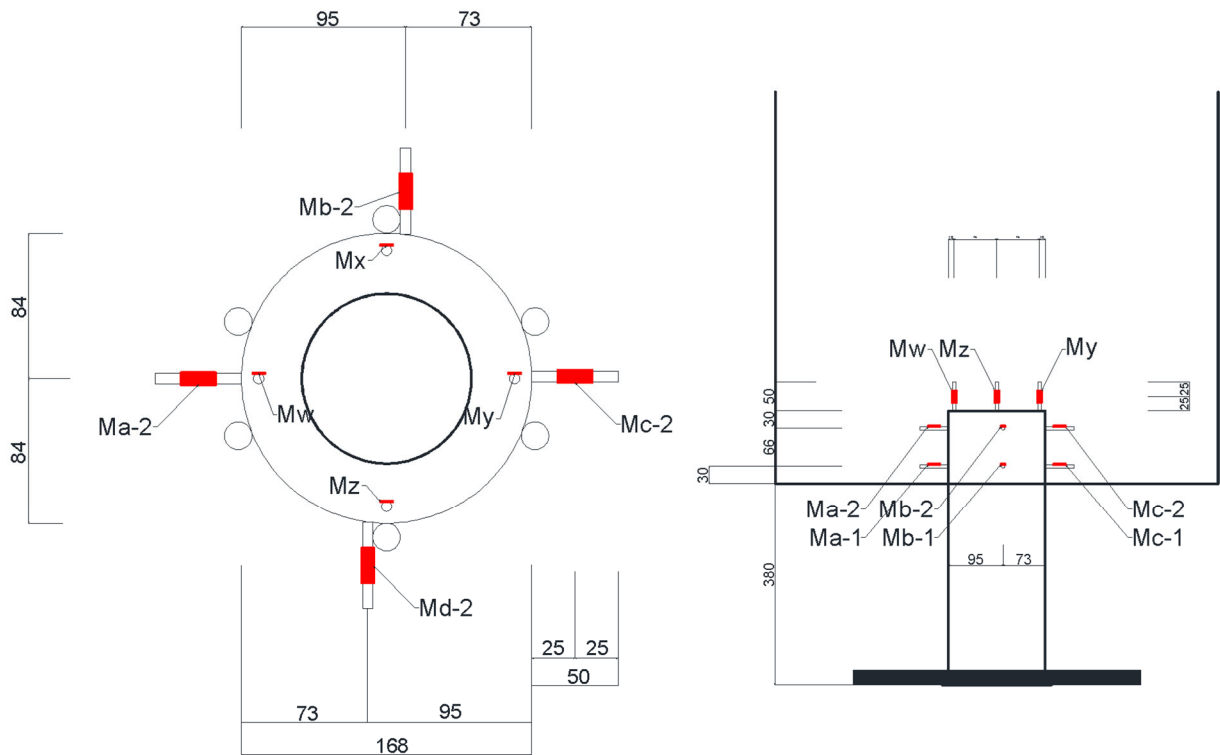


図 3.2.1-55 DR-1, 4 杭鋼管周りひずみゲージ貼り付け位置

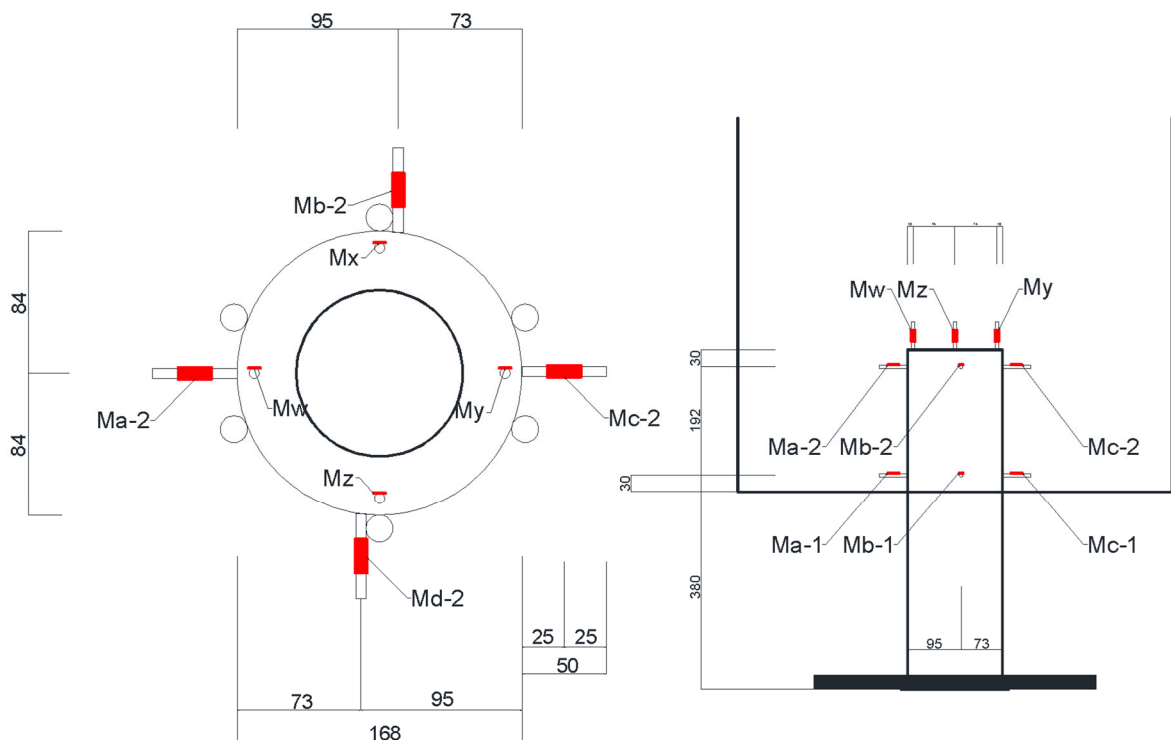


図 3.2.1-56 DR-2 杭鋼管周りひずみゲージ貼り付け位置

●杭鋼管周りモールドゲージ貼り付け位置

杭鋼管周りのコンクリートのひずみを測る目的で、試験体DR-1, 2, 4においてモールドゲージを取り付けた。

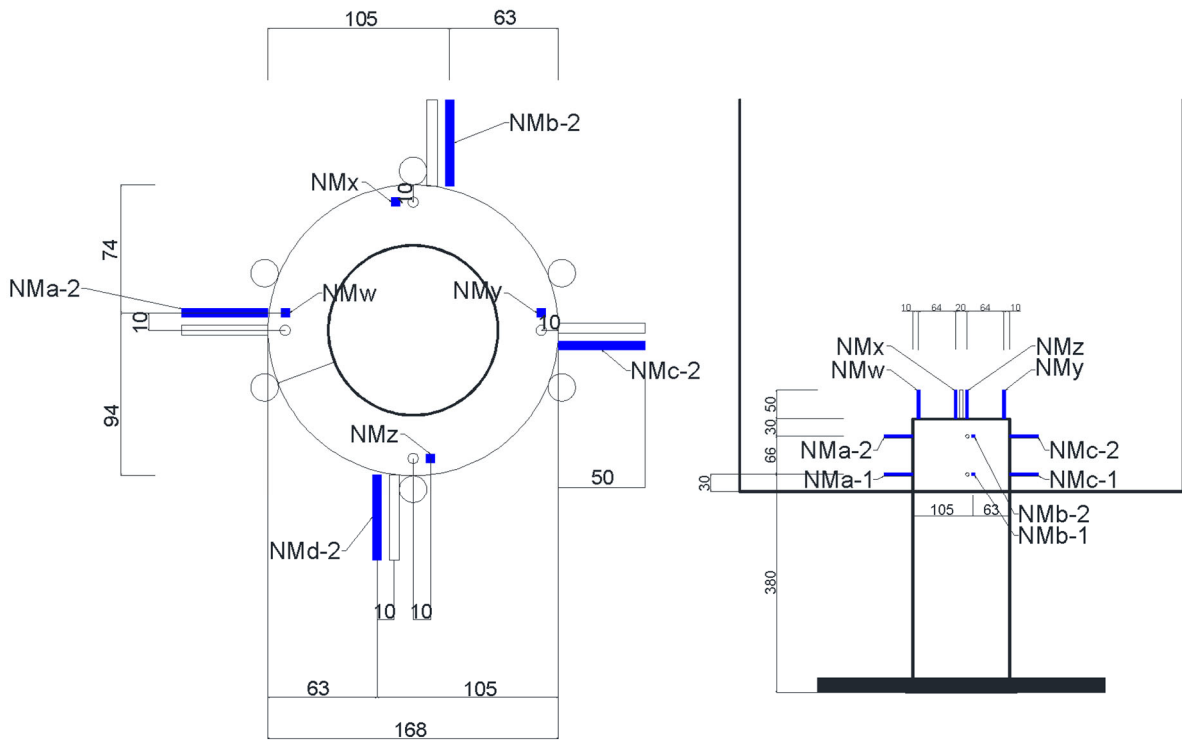


図 3.2.1-57 DR-1, 4 杭鋼管周りモールドゲージ貼り付け位置

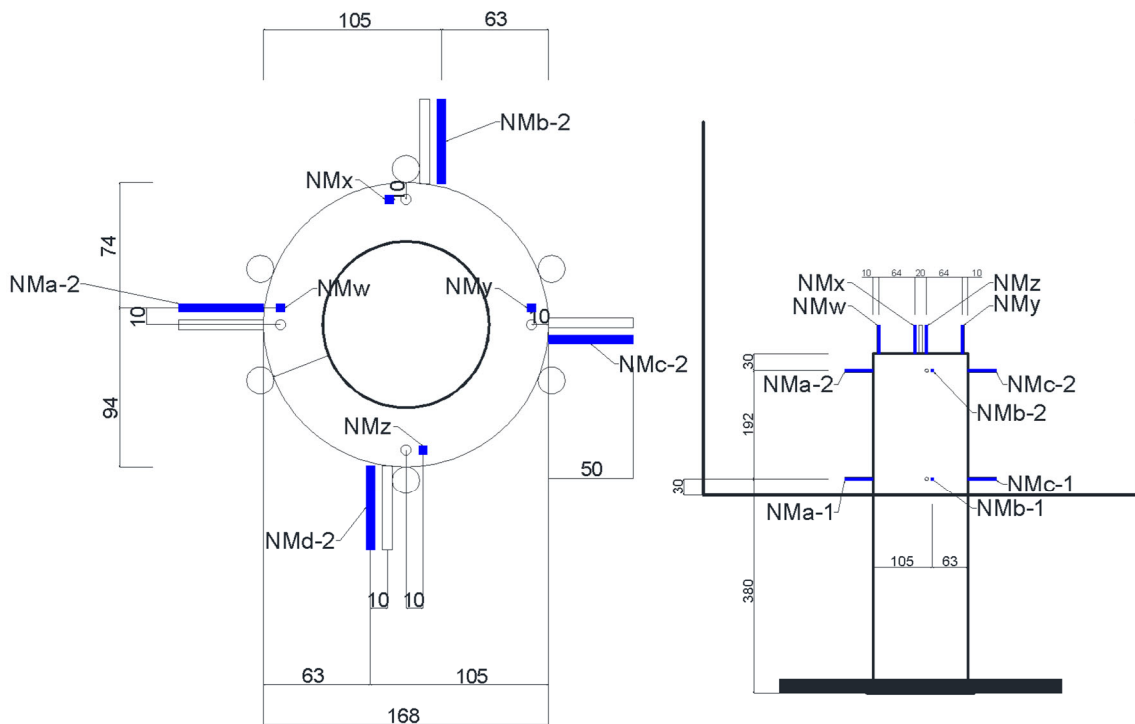


図 3.2.1-58 DR-1, 4 杭鋼管周りモールドゲージ貼り付け位置

● モーションキャプチャ計測

試験体に、ターゲットマーカを貼付し、赤外線カメラを用いたモーションキャプチャ計測を実施した。図 3.2.1-59~61 にターゲットマーカ配置図、赤外線カメラの様子を示す。ターゲットマーカは、樹脂製の直径 19mm マーカとし、試験体正面側のコンクリート表面や、治具表面に貼付した。赤外線カメラは、Optitrack 社の Prime X13 を使用し、カメラ 6 台を高さ方向、幅方向に分散して配置した。Optitrack 社の解析ソフトウェア Motive を使用して、ターゲットマーカの空間座標系の位置を逐次計測し、データ収録ソフトウェアの Tastic において、他の変位計・ゲージ等のデータ取得と同タイミングでモーションキャプチャのデータも取得している。

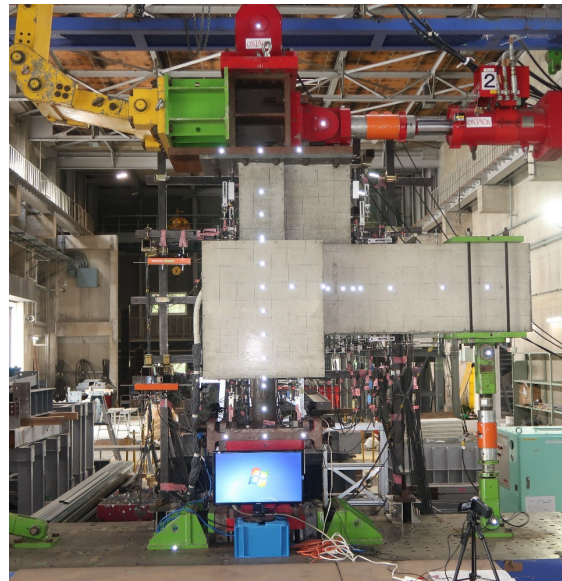
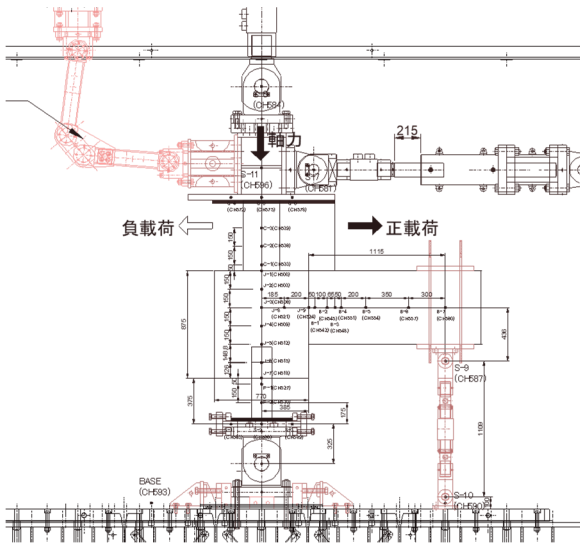


図 3.2.1-59 ターゲットマーカの配置 (DR-1~4)

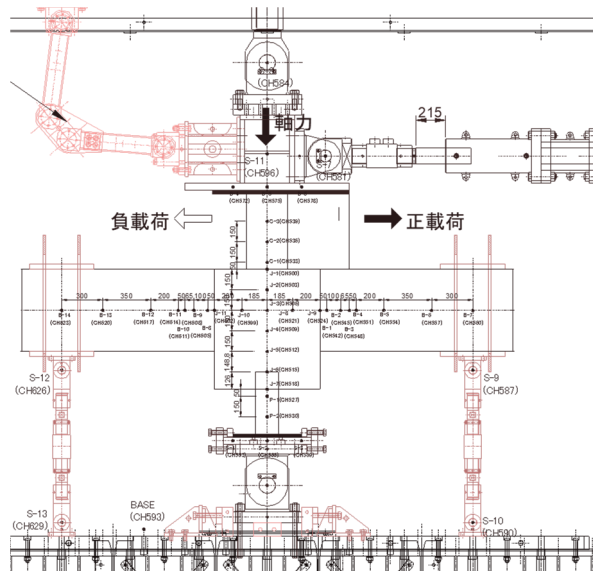


図 3.2.1-60 ターゲットマーカの配置 (DR-5)



図 3.2.1-61 赤外線カメラの設置状況

(5) 部材設計

各部材の部材設計に用いた評価式を示す。

全試験体において、杭頭接合面曲げ破壊が先行するように設計した。また杭頭接合面曲げ破壊の次に小さい耐力は、基礎梁の曲げ強度となるようにした。

1) 袖壁付き柱

●曲げ終局強度

各試験体で断面解析を用いて算出した。以下(式 3. 2. 1-1)によって算出した。

$$M_u = (0.9 + \beta) \cdot a_t \cdot \sigma_y \cdot D + 0.5N \cdot D \left\{ 1 + 2\beta - \frac{N}{b_e \times D \times F_c} \left(1 + \frac{a_t \times \sigma_y}{N} \right)^2 \right\} \quad (\text{式 3. 2. 1-1})$$

ここで、

a_t : 引張鉄筋の断面積(mm²)

σ_y : 引張鉄筋の材料強度 柱主筋(N/mm²)

D : 柱せい(mm)

F_c : 材試のコンクリート圧縮強度(N/mm²)

b_e : $\Sigma A/l_w$ (mm²)

ΣA : 袖壁柱全断面積(mm²)

β : β = 圧縮側袖壁長さ/D(mm)

l_w : 袖壁柱全長さ(mm)

N : 柱軸力(N)

●せん断終局強度

日本建築学会が発行する「鉄筋コンクリート基礎構造部材の耐震設計指針」より技術基準式(分割累加式)を用いた。以下(式 3. 2. 1-2) (式 3. 2. 1-3)によって算出した。

$${}_{sw}Q_{su2} = Q_{suw} + Q_{suc} + 0.1N$$

$$Q_{suw} = \left\{ \frac{0.053 p_{twe}^{0.23} (F_c + 18)}{M / (Q \cdot d_w) + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_{wh} \cdot \sigma_{why}} \right\} t \cdot j_w \quad (\text{式 3. 2. 1-2})$$

$$Q_{suc} = \left\{ \frac{0.053 p_{tce}^{0.23} (F_c + 18)}{M / (Q \cdot d_{ce}) + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_{cwe} \cdot \sigma_{cwy}} \right\} b_{ce} \cdot j_{ce} \quad (\text{式 3. 2. 1-3})$$

$$p_{twe} = \frac{100 a_{tw}}{t_w \cdot d_w} : \text{壁縦筋の引張鉄筋比 (\%)}$$

$$p_{wh} = \frac{a_{wh}}{t_w \cdot s_w} : \text{壁の補強筋比 (少数)}$$

$$p_{tce} = \frac{100 a_{tc}}{(B-t) \cdot d_{ce}} : \text{柱等価引張鉄筋比 (\%)}$$

$$p_{cwe} = \frac{a_w}{b_{ce} \cdot s} : \text{柱等価帯筋比 (壁横筋が柱を通して配筋されている場合) (少数)}$$

$$p_{cwe} = \frac{a_w \cdot p_{wh} \cdot t \cdot s}{b_{ce} \cdot s} : \text{柱等価帯筋比 (壁横筋が柱に定着されている場合) (少数)}$$

ここで、

N : 袖壁付き柱に作用する軸力(N)

F_c : コンクリート強度(N/mm²)

tw : 袖壁厚さ(mm)
 jw : 柱を含む壁要素の応力中心間距離(mm)
 L : 柱を含む壁要素の全長さ(mm)
 l1 : 袖壁長さ(mm)
 D : 柱せい(mm)
 ce : 柱要素の断面幅(mm)
 jc : 柱要素の応力中心間距離(mm)
 B : 柱幅(mm)
 ptwe : 壁要素の引張鉄筋比(%)
 dw : 柱を含む壁部材全長さの有効せい(mm)
 atw : 引張端部壁筋の断面積, 端部 0.2L 範囲内の縦筋断面積(mm²)
 ptce : 柱要素の引張鉄筋比(%)
 atc : 引張側端部の柱主筋断面積, 1 段目または 0.2D 範囲内の主筋断面積(mm²)
 dce : 柱部分有効せい(mm)
 pcwe : pcwe=aw/(bce*s) 柱等価帯筋比 (袖壁横筋が柱を通して配筋されている場合)
 aw : 柱帯筋 1 組の断面積(mm²)
 s : 柱帯筋間隔(mm)
 pwh : 袖壁横筋比
 σ cwy : 柱帯筋の規格降伏点(N/mm²)
 σ why : 袖壁横筋の規格降伏点(N/mm²)
 M/Q : 袖壁付き柱の崩壊形形成時の応力によるせん断スパン

各試験体の袖壁付き柱の計算諸元を表 3. 2. 1-30 に示す。

表 3. 2. 1-30 袖壁付き柱計算諸元

		DR-1		DR-2		DR-3		DR-4		DR-5	
		層せん断力(kN)									
		正	負	正	負	正	負	正	負	正	負
袖壁付き柱	曲げ終局強度	652		421.8	650.5	649.3		421.9	651.8	655.1	
	せん断終局強度	607.7		562.1	603.4	608		567.3	608.8	618.9	

2) 基礎梁

●基礎梁の曲げ終局強度

基礎梁のまげ終局強度は以下(式 3. 2. 1-4)によって算出した。

$$M_u = 0.9a_t\sigma_y d$$

(式 3. 2. 1-4)

ここで,

a_t : 引張鉄筋断面積(mm²)

σ_y : 引張鉄筋の降伏強度(N/mm²)

d : はり有効せい(mm)

●基礎梁のせん断終局強度

基礎梁のせん断終局強度は、荒川式(式 3.2.1-5)を用いて算出した。

$$Q_{su} = \left\{ \frac{0.053 p_t^{0.23} (18 + F_c)}{\frac{M}{Qd} + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_w \sigma_{wy}} \right\} b \cdot j \quad (\text{式 3.2.1-5})$$

※各記号は、柱のせん断終局強度算出式と同じ。

各試験体の基礎梁の計算諸元を表 3.2.1-31 に示す。

表 3.2.1-31 基礎梁計算諸元

		DR-1		DR-2		DR-3		DR-4		DR-5	
		層せん断力(kN)									
		正	負	正	負	正	負	正	負	正	負
基礎梁	曲げ終局強度	366.5		366.5		366.5		366.5		270.2	
	せん断終局強度	693.8		638.6		636.9		639.5		642.5	

3) パイルキャップ

● パイルキャップせん断終局強度

パイルキャップせん断終局強度を以下(式 3.2.1-6)に示す。

$$Q_{su} = \left\{ \frac{0.068 p_t^{0.23} (F_c + 18)}{\frac{M}{Qd} + 0.12} + 0.85 \sqrt{c p_w c \sigma_{wy} + p_c p_w p_c \sigma_{wy} + 0.1 \sigma_0} \right\} b_j \quad (\text{式 3.2.1-6})$$

ここで、

$c p_w$: 柱せん断補強筋比

$c \sigma_{wy}$: 柱せん断補強筋降伏強度(N/mm²)

$p_c p_w$: パイルキャップせん断補強筋比

$p_c \sigma_{wy}$: パイルキャップせん断補強筋降伏強度(N/mm²)

理論式を以下に示す。

パイルキャップせん断強度 V_u

$v_0 \sigma_B - c \sigma_t < 0$ のとき

V_u は次のうち小さい値とする

$$V_u = \begin{cases} \frac{\lambda_c v_0 \sigma_B + \frac{c p_w e c \sigma_{we}}{3}}{c b_e c j_e} \\ \frac{\lambda_c v_0 \sigma_B}{2} c b_e c j_e \end{cases}$$

$v_0 \sigma_B - c \sigma_t \geq 0$ かつ $v_0 \sigma_B - c \sigma_t - p_c \sigma_t < 0$ のとき

$$c V_t = 2 c p_w e c \sigma_{wy} c b_e c j_e$$

$p_c V_t$ は次のうち小さい値とする

$$p_c V_t = \begin{cases} \frac{\lambda_{pc}(\nu_0 \sigma_B - c\sigma_t) + p_c p_{we} p_c \sigma_{we}}{3} p_c b_e p_c j_e \\ \frac{\lambda_{pc}(\nu_0 \sigma_B - c\sigma_t)}{2} p_c b_e p_c j_e \end{cases}$$

$$V_u = c V_t + p_c V_t$$

$\nu_0 \sigma_B - c\sigma_t - p_c \sigma_t \geq 0$ のとき

$$c V_t = 2 c p_{we} c \sigma_{wy} c b_e c j_e$$

$$p_c V_t = 2 p_c p_{we} p_c \sigma_{wy} p_c b_e p_c j_e$$

$$V_a = (\nu_0 \sigma_B - c\sigma_t - p_c \sigma_t) \frac{b x_n}{2} \sin 2\theta$$

$$V_u = c V_t + p_c V_t + V_a$$

ν_0 : コンクリート圧縮強度の有効係数

σ_B : コンクリート圧縮強度(N/mm²)

$c p_{we}$: 柱有効補強筋比

$c \sigma_{wy}$: 柱補強筋降伏応力(N/mm²)

$c b_e$: 柱トラス有効幅(mm)

$c j_e$: 柱トラス有効せい(mm)

λ_c : 柱トラス有効係数

$c \sigma_t$: 柱トラス圧縮力(N/mm²)

$p_c p_{we}$: パイルキャップ有効補強筋比

$p_c \sigma_{wy}$: パイルキャップ補強筋降伏応力(N/mm²)

$p_c b_e$: パイルキャップトラス有効幅(mm)

$p_c j_e$: パイルキャップトラス有効せい(mm)

λ_{pc} : パイルキャップトラス有効係数

$p_c \sigma_t$: パイルキャップトラス圧縮力(N/mm²)

b : 接合部有効幅(mm)

x_n : アーチ中立軸位置(mm)

θ : アーチ角度

柱 計算要素

$$c p_{we} = \frac{c a_w}{c b_e L}$$

$c p_{we}$: 柱有効補強筋比

$c a_w$: 柱有効補強筋総断面積(mm²)

$c b_e$: 柱トラス有効幅(mm)

L : 部材長さ(mm)

$$c \sigma_t = \frac{5 c p_{we} c \sigma_{wy}}{\lambda_c}$$

$c \sigma_t$: 柱トラス圧縮応力(N/mm²)

$$s_c = \frac{L}{m_c}$$

s_c :柱補強筋間隔 m_c :柱補強筋組数

$$\lambda_c = 1 - \frac{s_c}{2 c b_e} - \frac{c b_e}{4 c j_e}$$

λ_c :柱トラス機構の有効係数 j_e :柱トラス有効せい(mm)

パイルキャップ 計算要素

$$p_c p_{we} = \frac{p_c a_w}{p_c b_e L}$$

$p_c p_{we}$:パイルキャップ有効補強筋比

$p_c a_w$:パイルキャップ有効補強筋総断面積(mm²)

$p_c b_e$:パイルキャップトラス有効幅(mm)

L :部材長さ(mm)

$$p_c \sigma_t = \frac{5 p_c p_{we} p_c \sigma_{wy}}{\lambda_{pc}}$$

$p_c \sigma_t$:パイルキャップトラス圧縮応力(N/mm²)

$$s_c = \frac{L}{m_c}$$

s_c :パイルキャップ補強筋間隔 m_c :パイルキャップ補強筋組数

$$\lambda_{pc} = 1 - \frac{s_{pc}}{2 p_c b_e} - \frac{p_c b_e}{4 p_c j_e}$$

λ_{pc} :パイルキャップトラス機構の有効係数

$p_c j_e$:パイルキャップトラス有効せい(mm)

各試験体のパイルキャップ計算諸元を表 3. 2. 1-32 に示す。

表 3. 2. 1-32 基礎梁計算諸元

	DR-1		DR-2		DR-3		DR-4		DR-5	
	層せん断力(kN)									
	正	負	正	負	正	負	正	負	正	負
パイルキャップ せん断終局強度	1015.8	956.3	998.3	952.9	1006.3	947.9	1001.1	955.4	1095.5	1029.6

4) 杭

本報告書 3-40 ページと同様に、「埋込部抵抗力」は、鉄筋コンクリート基礎構造部材の耐震設計指針(案)・同解説^[3-8]に記載されている以下(式 3. 2. 1-7)を用いて算出した。杭頭接合面の曲げ終局強度は、(式 3. 2. 1-6)のように「支圧面抵抗力」と「埋込部抵抗力」との和として算出した。

$$u M_{ph} = F_c \left(\frac{D h^2 L}{6L + 4h} \right) \quad (\text{式 3. 2. 1-7})$$

$$M_u = M_t + M_a \quad (\text{式 3. 2. 1-8})$$

ここで,

D : 杭外径(mm)

h : 杭の埋込長さ(mm)

L : 杭頭の曲げモーメントとせん断力の比(杭部せん断力スパン)(mm)

F_c : パイルキャップコンクリートの設計基準強度(N/mm²)

M_u : 埋込部下面位置の曲げ耐力

M_t : 埋込部下面位置のてこ機構による曲げ耐力

M_a : 埋込部下面位置の定着機構による曲げ耐力

各試験体の杭頭接合面の曲げ耐力計算諸元を表 3.2.1-33 に示す。(各試験体、軸力は規定長期軸力比である 0.354 とする。)

表 3.2.1-33 杭頭接合面計算諸元

		DR-1		DR-2		DR-3		DR-4		DR-5	
		層せん断力(kN)									
		正	負	正	負	正	負	正	負	正	負
杭頭接合面	曲げ終局強度	74.6	92	81.2	127.4	65.8	75	54.8	91.7	84.5	86.2

以下表 3.2.1-34 に各試験体の計算諸元を示す。

表 3.2.1-34 各試験体計算諸元

		DR-1		DR-2		DR-3		DR-4		DR-5	
		層せん断力(kN)									
		正	負	正	負	正	負	正	負	正	負
袖壁付き柱	曲げ終局強度	652		421.8	650.5	649.3		421.9	651.8	655.1	
	せん断終局強度	607.7		562.1	603.4	608		567.3	608.8	618.9	
基礎梁	曲げ終局強度	366.5		366.5		366.5		366.5		270.2	
	せん断終局強度	693.8		638.6		636.9		639.5		642.5	
パイルキャップ	せん断終局強度	1015.8	956.3	998.3	952.9	1006.3	947.9	1001.1	955.4	1095.5	1029.6
杭頭接合面	曲げ終局強度	74.6	92	81.2	127.4	65.8	75	54.8	91.7	84.5	86.2

3.2.3 実験結果

(1) 実験結果一覧 層せん断力 Q-層間変形角 R 関係

1) 諸現象発生及び層せん断力 Q-層間変形角 R 関係

表 3.2.3-1 に正載荷, 負載荷時におけるピーク荷重及び, 各ピーク時における層間変形角の表, 表 3.2.3-2~6 に諸現象を, 写真・図 3.2.3-1~5 は最終破壊性状と層せん断力-層間変形角関係 (Q-R 関係) を示す。また, グラフ中の×印は最大耐力を, △印は鉄筋の降伏を, ○印はひび割れの発生を示す。試験体観測面を西面としている。試験体は全て正載荷から正負交番繰り返し載荷としている。

表 3.2.3-1 ピーク荷重及び層間変形

(a) 正載荷時

Cycle	DR-1		DR-2		DR-3		DR-4		DR-5	
	Q(kN)	R(%)	Q(kN)	R(%)	Q(kN)	R(%)	Q(kN)	R(%)	Q(kN)	R(%)
+1	40.8	0.124	32.1	0.125	34.9	0.127	26.9	0.128	55.8	0.125
+2	69.6	0.251	53.0	0.252	54.7	0.253	46.4	0.249	93.5	0.251
+3	113.3	0.499	93.3	0.502	68.0	0.503	84.6	0.498	141.4	0.500
+4	110.0	0.50	90.9	0.50	68.3	0.509	80.2	0.494	135.0	0.500
+5	146.3	0.996	158.8	1.0	73.8	1.001	113.8	0.989	168.8	1.000
+6	136.6	0.967	156.3	1.001	71.3	1.006	105.0	1.003	152.4	1.014
+7	145.6	1.999	217.8	2.0	73.3	2.008	123.4	2.008	150.9	2.002
+8	125.5	2.00	218.9	2.01	70.5	2.01	84.6	2.000	132.7	2.003
+9	96.4	2.998	243.0	3.081	64.3	2.983	89.1	3.003	96.3	3.001
+10	62.2	2.998	236.4	3.001	64.3	2.984	48.6	3.000	54.4	3.004
+11			242.4	4.002	55.9	3.997				
+12			227.1	4.002						
+13			156.8	6.013						

(b) 負載荷時

Cycle	DR-1		DR-2		DR-3		DR-4		DR-5	
	Q(kN)	R(%)	Q(kN)	R(%)	Q(kN)	R(%)	Q(kN)	R(%)	Q(kN)	R(%)
-1	-28.1	-0.125	-27.8	-0.133	-23.6	-0.128	-21.9	-0.129	-44.6	-0.125
-2	-50.0	-0.248	-50.6	-0.259	-45.2	-0.257	-44.7	-0.255	-81.0	-0.250
-3	-92.2	-0.498	-91.8	0.501	-72.4	-0.503	-87.4	-0.508	-134.1	-0.500
-4	-88.0	-0.499	-89.9	-0.50	-68.9	-0.504	-86.1	-0.509	-128.8	-0.502
-5	-152.2	-0.999	-172.5	-1.001	-83.4	-1.003	-149.6	-1.014	-170.2	-1.000
-6	-143.1	-1.00	-175.5	-1.03	-79.4	-1.0	-140.8	-1.012	-157.8	-1.014
-7	-159.4	-2.023	-243.3	-1.995	-82.2	-2.011	-154.3	-2.005	-136.1	-2.001
-8	-125.9	-2.013	-235.9	-2.003	-77.1	-2.003	-123.1	-2.008	-109.1	-2.002
-9	-111.9	-3.034	-254.6	-3.0	-71.9	-2.993	-124.7	-3.003	-96.4	-3.000
-10	-93.4	-3.036	-242.1	-3.001	-61.8	-3.005	-96.8	-3.002	-38.8	-3.003
-11			-246.8	-4.002	-56.3	-4.005				
-12			-230.3	-4.002						
-13										

表 3.2.3-2 試験体 DR-1 諸現象発生一覧

DR-1	諸現象	Step	Cycle	Q(kN)	R(%)	降伏ゲージ位置
柱	曲げひび割れ発生	観測されなかった				
	主筋降伏時	降伏なし				
	補強筋降伏時	降伏なし				
基礎梁	曲げひび割れ発生	213	+2	69.56	0.2508	
		301	-2	-50	-0.2483	
	曲げせん断ひび割れ発生	451	+3	113.31	0.4992	
		574	-3	-92.19	-0.4979	
	主筋降伏時	降伏なし				
	補強筋降伏時	降伏なし				
パイルキャップ	せん断ひび割れ発生	観測されなかった				
	底面ひび割れ発生	451	+3	113.31	0.4992	
		574	-3	-92.19	-0.4979	
	上面ひび割れ発生	観測されなかった				
	側面(北面)	933	+5	-88	-0.4992	
		(正載荷時のみ)				
	側面(南面、基礎梁側)	663	+4	110	0.5	
		(正載荷時のみ)				
縦筋降伏時	降伏なし					
帯筋降伏時	降伏なし					
袖壁	曲げひび割れ発生	1707	-7	-159.38	-2.0233	Wa-3
	主筋降伏時	995	-5	-1.5625	0.2817	
	補強筋降伏時	降伏なし				
杭頭定着筋	引張降伏時	432	+3	108.438	0.4575	c-2
	圧縮降伏時	891	+5	139.875	0.7475	a-2

表 3.2.3-3 試験体 DR-2 諸現象発生一覧

DR-2	諸現象	Step	Cycle	Q(kN)	R(%)	降伏ゲージ位置	
柱	曲げひび割れ発生	789	+5	158.75	1		
	主筋降伏時	降伏なし					
	補強筋降伏時	降伏なし					
基礎梁	曲げひび割れ発生	165	+2	53	0.2517		
		93	-1	-27.81	-0.1325		
	曲げせん断ひび割れ発生	332	+3	93.31	0.5017		
		226	-2	-50.63	-0.2588		
	主筋降伏時	1425	-7	-222.06	-1.333		B-2
	補強筋降伏時	降伏なし					
パイルキャップ	せん断ひび割れ発生	1305	+7	217.81	2		
		(正載荷時のみ)					
	底面ひび割れ発生	165	+2	53	0.2517		
		924	-5	-172.5	-1.0008		
	上面ひび割れ発生	(負載荷時のみ)					
		226	-2	-50.63	-0.2588		
	側面(北面)	1305	+7	217.81	2		
		226	-2	-50.63	-0.2588		
	側面(南面、基礎梁側)	540	+4	91.25	0.5		
		1458	-7	-243.31	-1.995		
	縦筋降伏時	1564	+8	212.69	1.844		Pd-2
帯筋降伏時	2956	+13	181.88	5.27	OPa-1		
袖壁	曲げひび割れ発生	442	-3	-91.75	-0.5008		
	主筋降伏時	1422	-7	-203.75	-1.208		Wa-2
	補強筋降伏時	降伏なし					
杭頭定着筋	引張降伏時	791	+5	150.81	0.995	c-3	
	圧縮降伏時	1898	-9	-245.63	-2.178	c-4	

表 3.2.3-4 試験体 DR-3 諸現象発生一覧

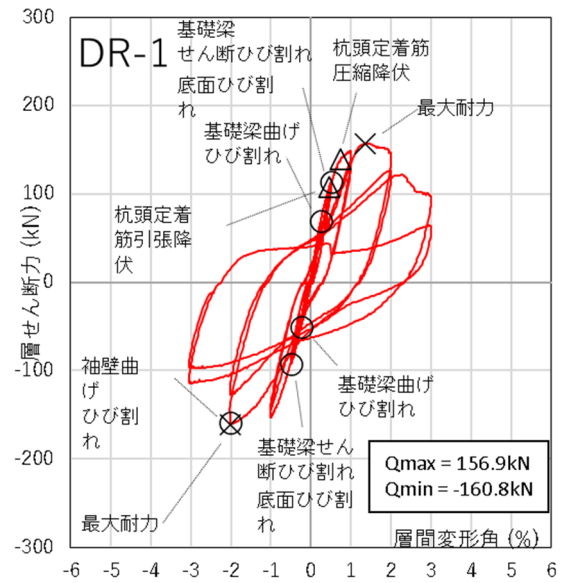
DR-3	諸現象	Step	Cycle	Q(kN)	R(%)	降伏ゲージ位置
柱	曲げひび割れ発生	なし				
	主筋降伏時	降伏なし				
	補強筋降伏時	降伏なし				
基礎梁	曲げひび割れ発生	187	+2	54.69	0.2525	
		246	-2	-45.19	-0.2567	
	曲げせん断ひび割れ発生	346	+3	68	0.5025	
		441	-3	-72.38	-0.525	
	主筋降伏時	降伏なし				
	補強筋降伏時	降伏なし				
パイルキャップ	せん断ひび割れ発生	なし				
	底面ひび割れ発生	524	+4	68.31	0.5092	
		1018	-5	-83.44	-1.0025	
	上面ひび割れ発生	801	+5	73.75	1.0008	
		(正載荷時のみ)				
	側面(北面)	524	+4	68.31	0.5092	
		(正載荷時のみ)				
	側面(南面、基礎梁側)	なし				
	縦筋降伏時	降伏なし				
	帯筋降伏時	降伏なし				
袖壁	曲げひび割れ発生	なし				
	主筋降伏時	降伏なし				
	補強筋降伏時	降伏なし				
杭頭定着筋	引張降伏時	429	-3	-66.75	-0.415	a-1
	圧縮降伏時	312	+3	61.56	0.325	a-1

表 3.2.3-5 試験体 DR-4 諸現象発生一覧

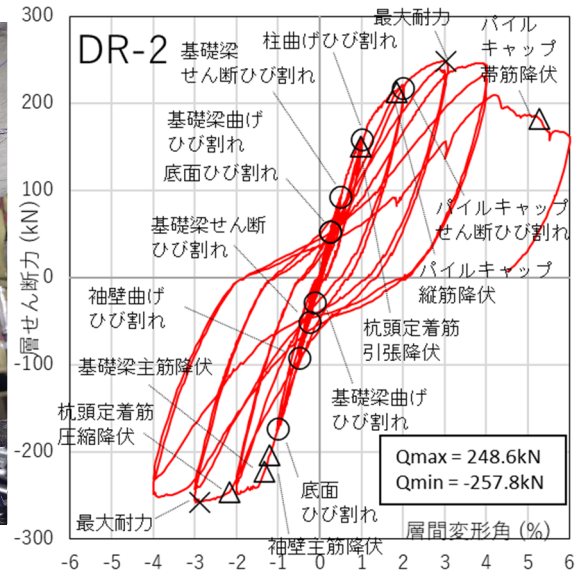
DR-4	諸現象	Step	Cycle	Q(kN)	R(%)	降伏ゲージ位置
柱	曲げひび割れ発生	観測されなかった				
	主筋降伏時	降伏なし				
	補強筋降伏時	降伏なし				
基礎梁	曲げひび割れ発生	203	+2	46.44	0.2492	
		316	-2	-44.69	-0.2554	
	曲げせん断ひび割れ発生	435	+3	84.56	0.4983	
		577	-3	-87.38	-0.5075	
	主筋降伏時	降伏なし				
	補強筋降伏時	降伏なし				
パイルキャップ	せん断ひび割れ発生	観測されなかった				
	底面ひび割れ発生	435	+3	84.56	0.4983	
		1440	-7	-154.25	-2.0054	
	上面ひび割れ発生	観測されなかった				
	側面(北面)	967	+5	113.75	0.9892	
		(正載荷時のみ)				
	側面(南面、基礎梁側)	967	+5	113.75	0.9892	
		(正載荷時のみ)				
縦筋降伏時	降伏なし					
帯筋降伏時	降伏なし					
袖壁	曲げひび割れ発生	1100	-5	-149.56	-1.0142	
	主筋降伏時	降伏なし				
	補強筋降伏時	降伏なし				
杭頭定着筋	引張降伏時	422	+3	76.44	0.4217	c-2
	圧縮降伏時	961	+5	116.25	0.9775	a-2

表 3.2.3-6 試験体 DR-5 諸現象発生一覧

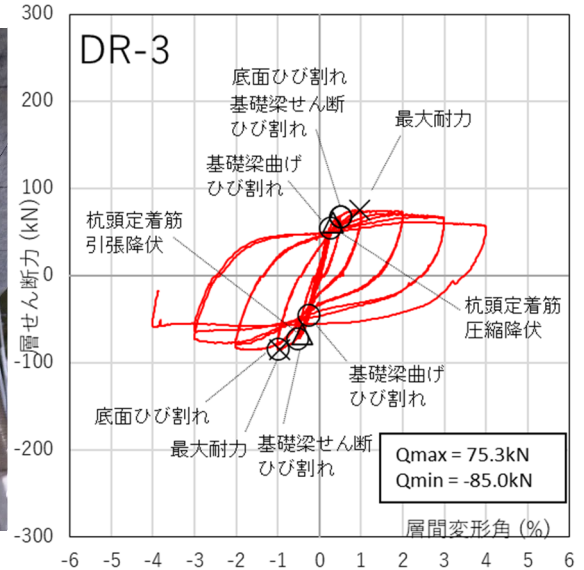
DR-5	諸現象	Step	Cycle	Q(kN)	R(%)	降伏ゲージ位置
柱	曲げひび割れ発生	観測されなかった				
	主筋降伏時	降伏なし				
	補強筋降伏時	降伏なし				
基礎梁	曲げひび割れ発生	135	+2	93.5	0.2508	
		181	-2	-81	-0.2504	
	曲げせん断ひび割れ発生	237	+3	141.44	0.5	
		289	-3	-134.06	-0.5004	
	主筋降伏時	降伏なし				
	補強筋降伏時	降伏なし				
パイルキャップ	せん断ひび割れ発生	観測されなかった				
	底面ひび割れ発生	237	+3	141.44	0.5	
		289	-3	-134.06	-0.5004	
	上面ひび割れ発生	135	+2	93.5	0.2508	
		(正載荷時のみ)				
	側面(北面)	289	+4	135	0.4996	
		(正載荷時のみ)				
	側面(南面)	445	+5	168.75	1.0042	
		378	-4	-128.81	-0.5107	
	縦筋降伏時	降伏なし				
帯筋降伏時	降伏なし					
袖壁	曲げひび割れ発生	506	-5	-170.19	-1.0004	
	主筋降伏時	降伏なし				
	補強筋降伏時	降伏なし				
杭頭定着筋	引張降伏時	217	+3	121.9375	0.361667	c-2
	圧縮降伏時	234	+3	142.38	0.4967	a-2



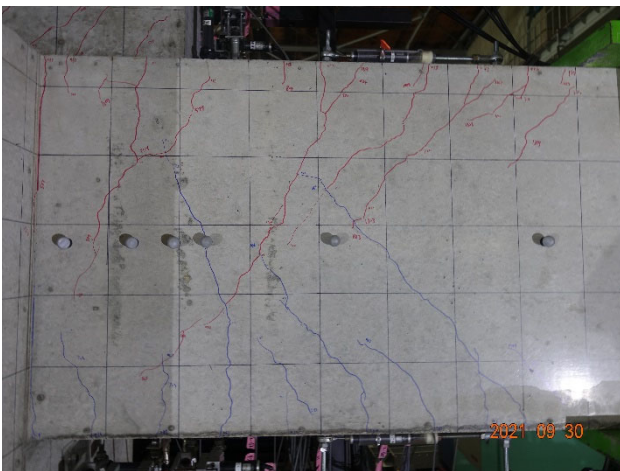
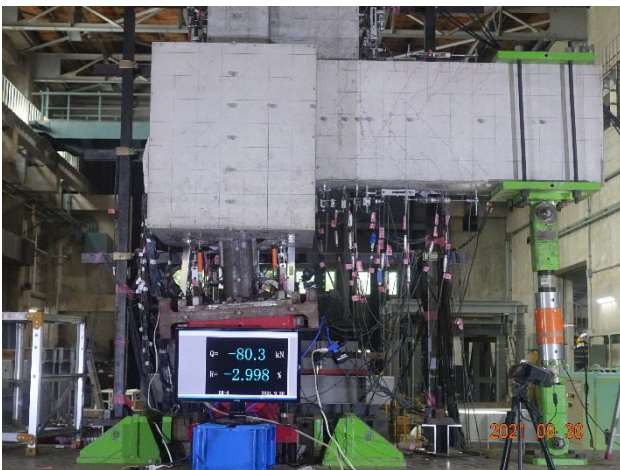
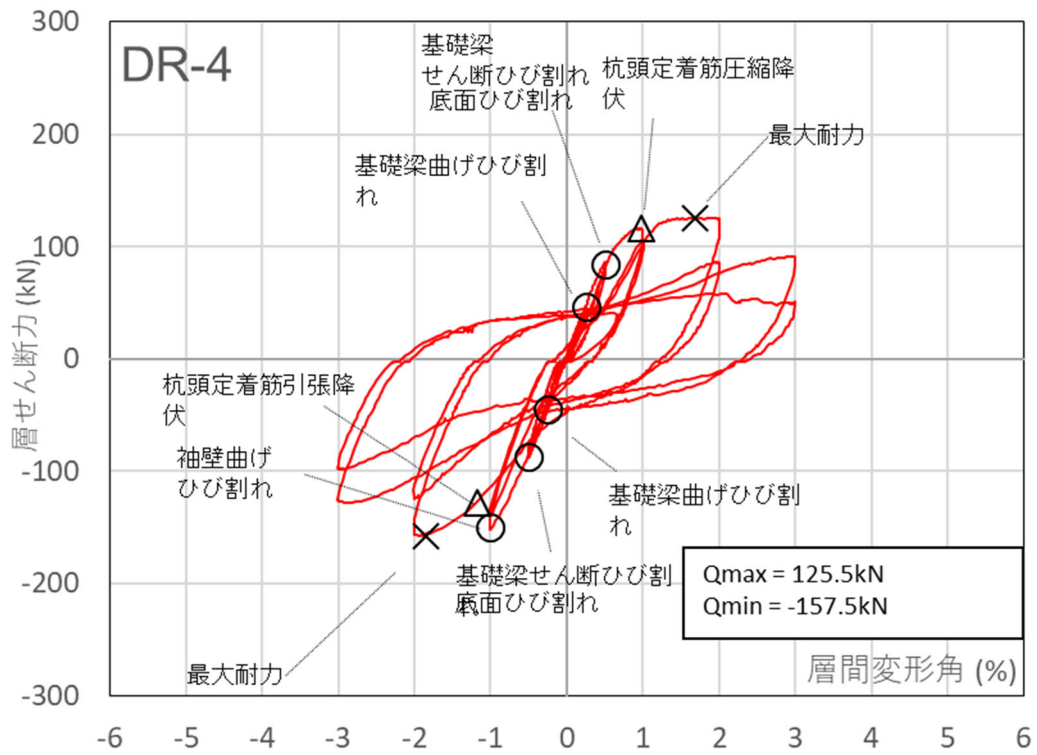
写真・図 3.2.3-1 試験体 DR-1 最終破壊状況及び Q-R 関係



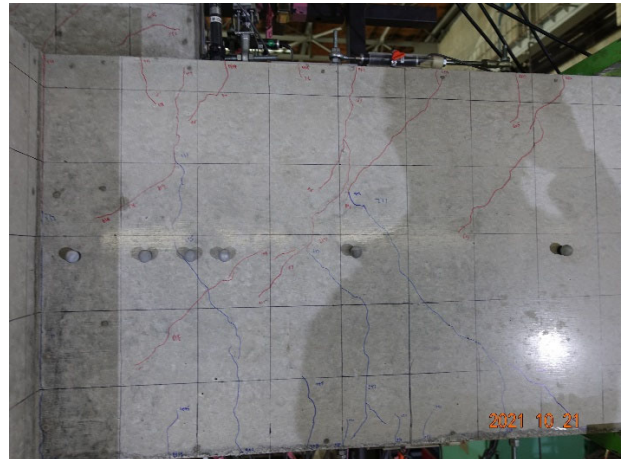
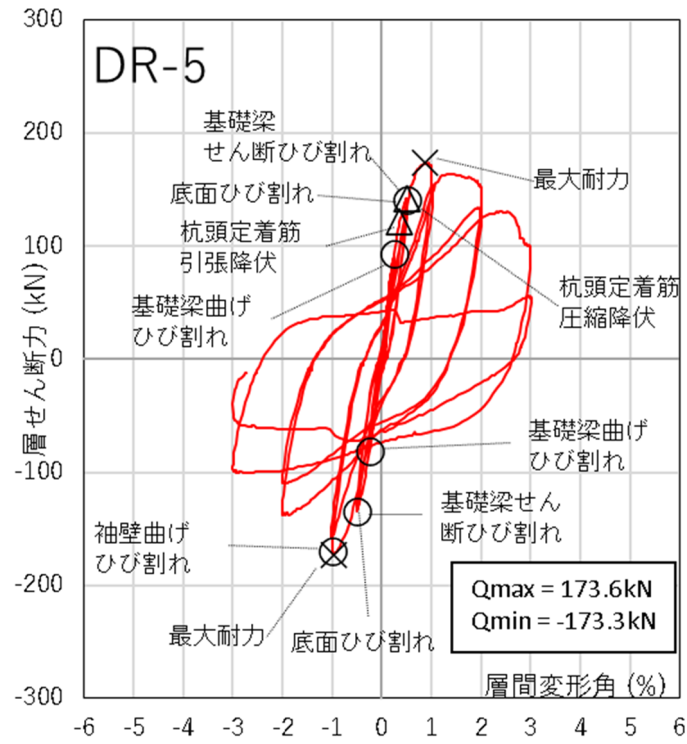
写真・図 3.2.3-2 試験体 DR-2 最終破壊状況及び Q-R 関係



写真・図 3.2.3-3 試験体 DR-3 最終破壊状況及び Q-R 関係



写真・図 3. 2. 3-4 DR-4 最終破壊形態および Q-R 関係



図, 写真 3. 2. 3-5 DR-5 における Q-R 図及び最終破壊状況写真

2) 変形角の比較

本実験において層間変形角を変位計とモーションキャプチャによって、杭部材角と杭頭回転角を変位計によってそれぞれ計測した。図 3. 2. 3-6~10 に水平荷重-層間変形角関係、杭頭曲げモーメント-杭各変形角関係を示す。水平荷重-層間変形角関係において、赤線、青線が変位計による層間変形角、緑線がモーションキャプチャによる層間変形角である。なお変位計による層間変形角測定については、元々青線によって計測していたが、実験を行う途中でより正確に測定できる位置に変位計を新たに赤線の変位計を取り付けた。杭頭曲げモーメント-杭各変形角関係は杭頭回転角、杭部材角共に変位計によって測定した。実験中に剝離したパイルキャップ底面のコンクリートが、層間変形角 3%時点で全試験体において、杭頭回転角を計測していた変位計に接触していた。

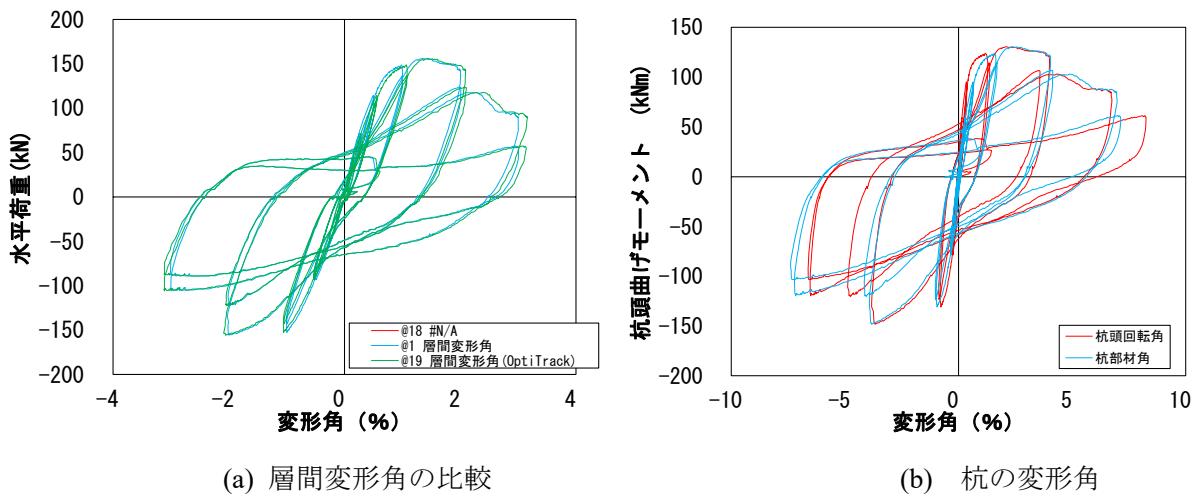


図 3. 2. 3-6 DR-1 試験体

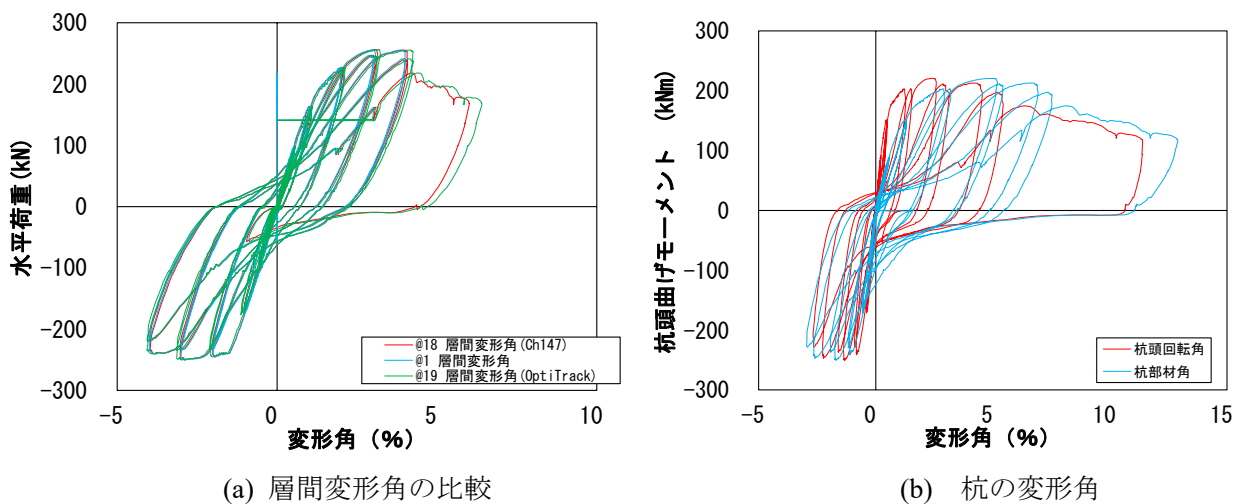
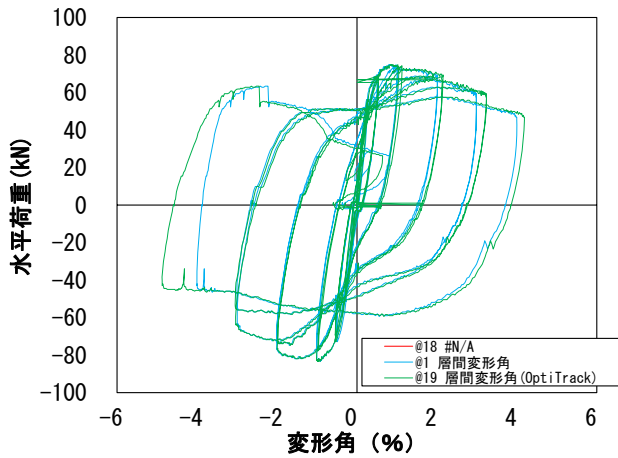
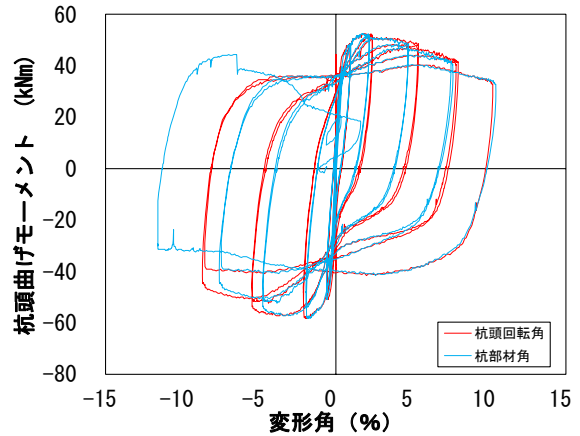


図 3. 2. 3-7 DR-2 試験体

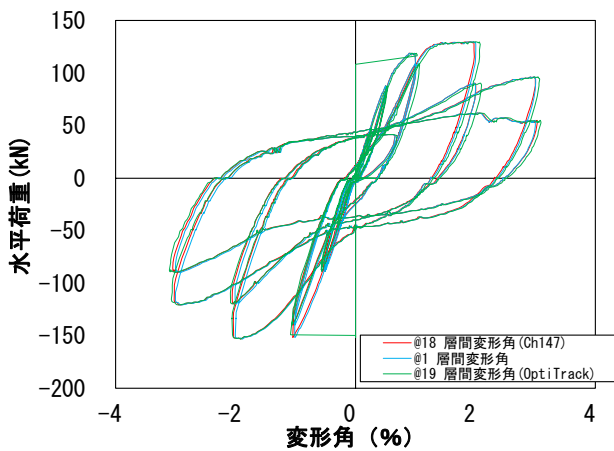


(a) 層間変形角の比較

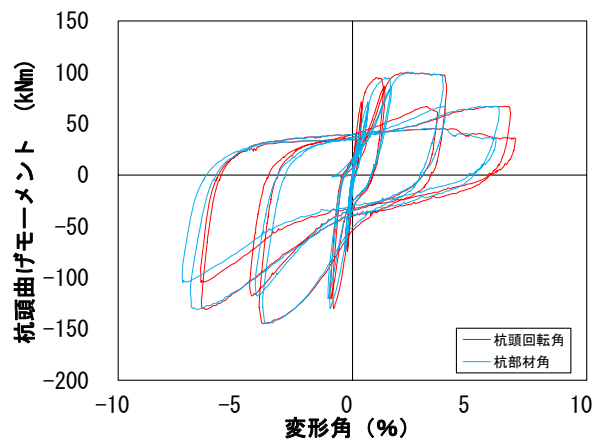


(b) 杭の変形角

図 3. 2. 3-8 DR-3 試験体

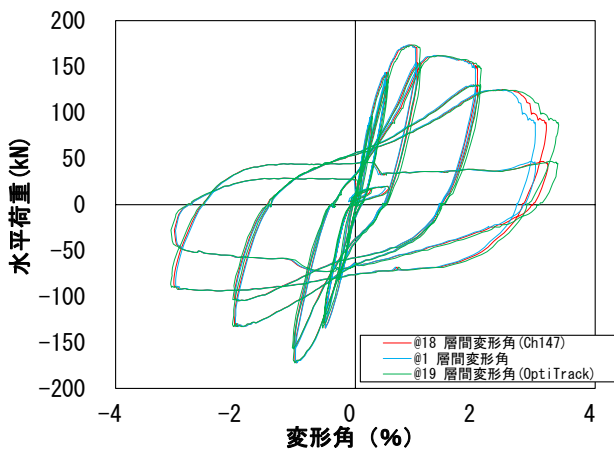


(a) 層間変形角の比較

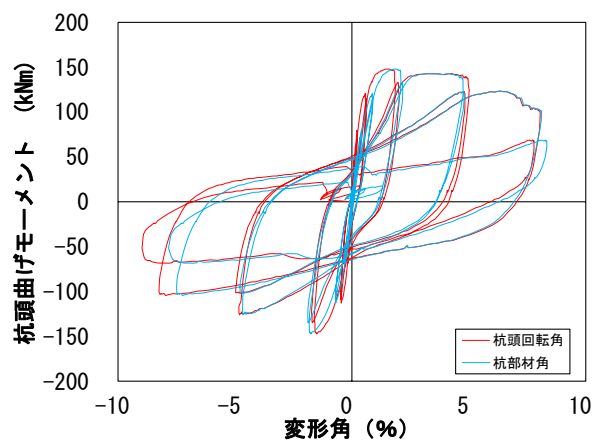


(b) 杭の変形角

図 3. 2. 3-9 DR-4 試験体



(a) 層間変形角の比較



(b) 杭の変形角

図 3. 2. 3-10 DR-5 試験体

(2) ひび割れ状況

図・写真 3.2.3-11~20 に試験体 DR-1 に発生したひび割れ状況の図，ピーク時の荷重と層間変形角，そのサイクルの除荷までの層せん断力-層間変形角関係(Q-R 関係)，ピーク時の部材写真を示す。

図・写真 3.2.3-21~32 に試験体 DR-2 に発生したひび割れ状況の図，ピーク時の荷重と層間変形角，そのサイクルの除荷までの層せん断力-層間変形角関係(Q-R 関係)，ピーク時の部材写真を示す。図・写真

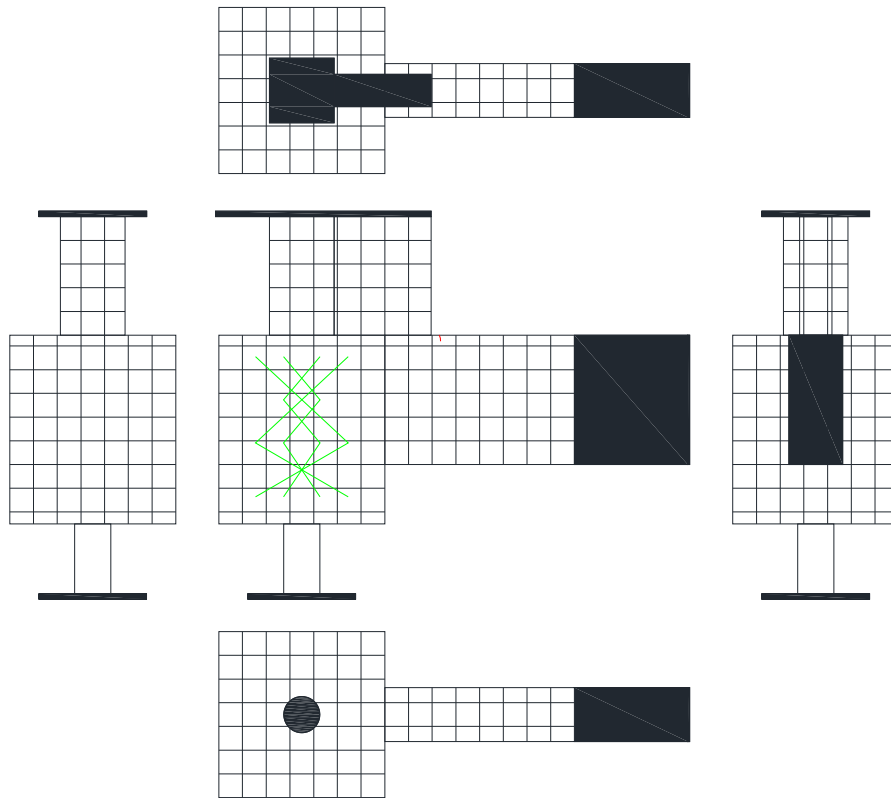
3.2.3-33~43 に試験体 DR-3 に発生したひび割れ状況の図，ピーク時の荷重と層間変形角，そのサイクルの除荷までの層せん断力-層間変形角関係(Q-R 関係)，ピーク時の部材写真を示す。図・写真

3.2.3-44~53 に試験体 DR-4 に発生したひび割れ状況の図，ピーク時の荷重と層間変形角，そのサイクルの除荷までの層せん断力-層間変形角関係(Q-R 関係)，ピーク時の部材写真を示す。図・写真

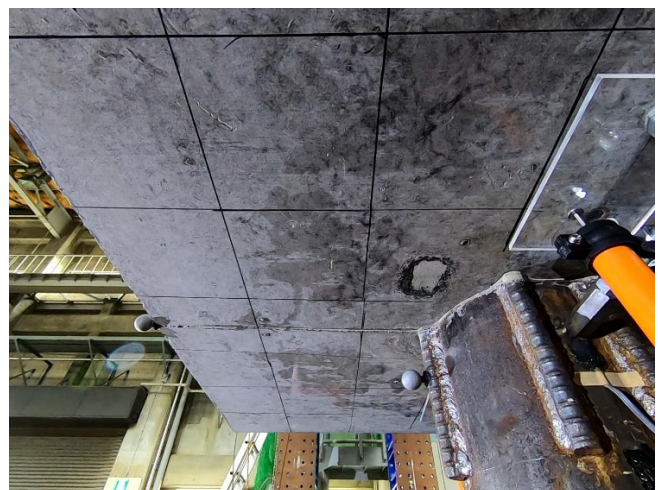
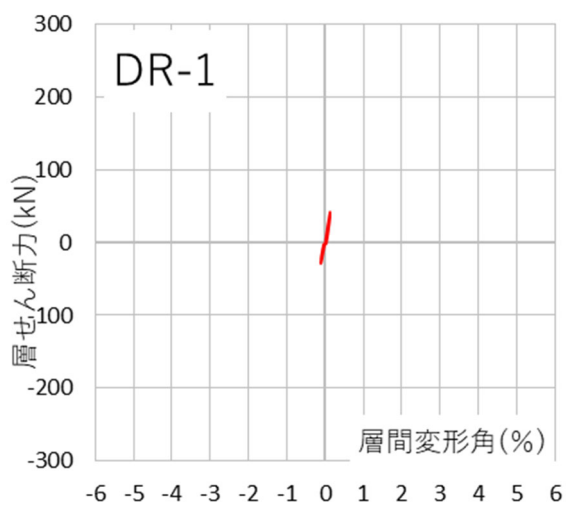
3.2.3-54~63 に試験体 DR-5 に発生したひび割れ状況の図，ピーク時の荷重と層間変形角，そのサイクルの除荷までの層せん断力-層間変形角関係(Q-R 関係)，ピーク時の部材写真を示す。

正載荷時に発生，進展したひび割れを黒線，負載荷時に発生，進展したひび割れを赤線，初期ひび割れを灰色の線で表す。

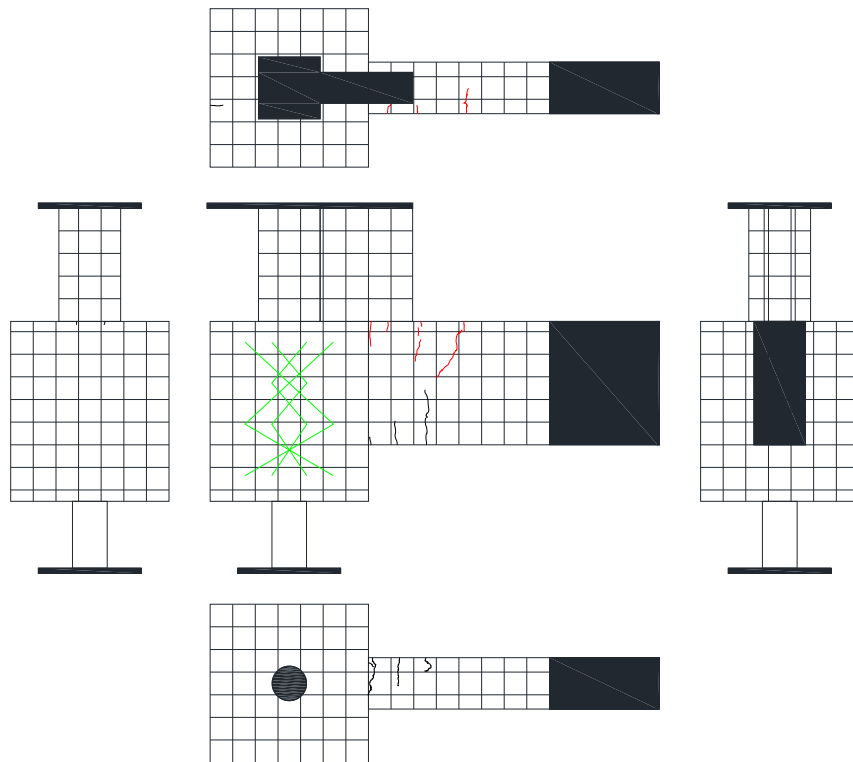
● 試験体 DR-1



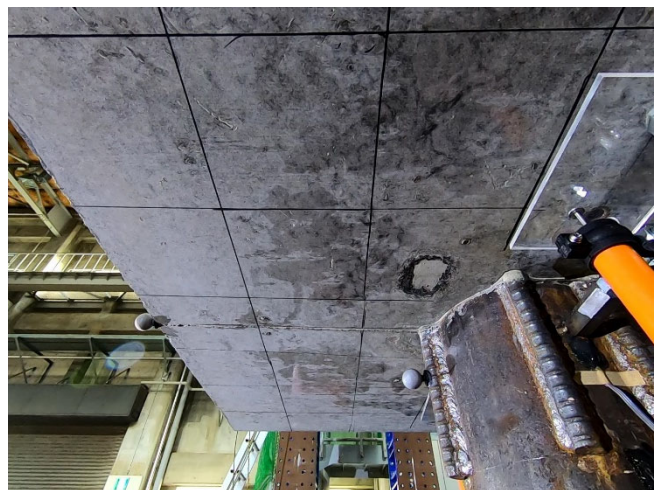
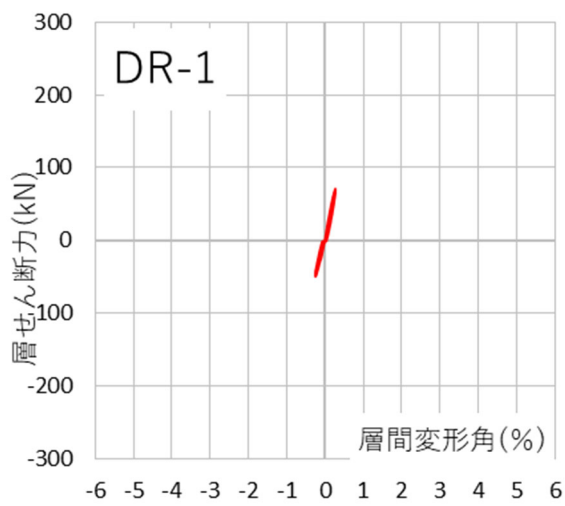
Cycle	DR-1	
	Q (kN)	R (%)
+1	40.8	0.124
-1	-28.1	-0.125



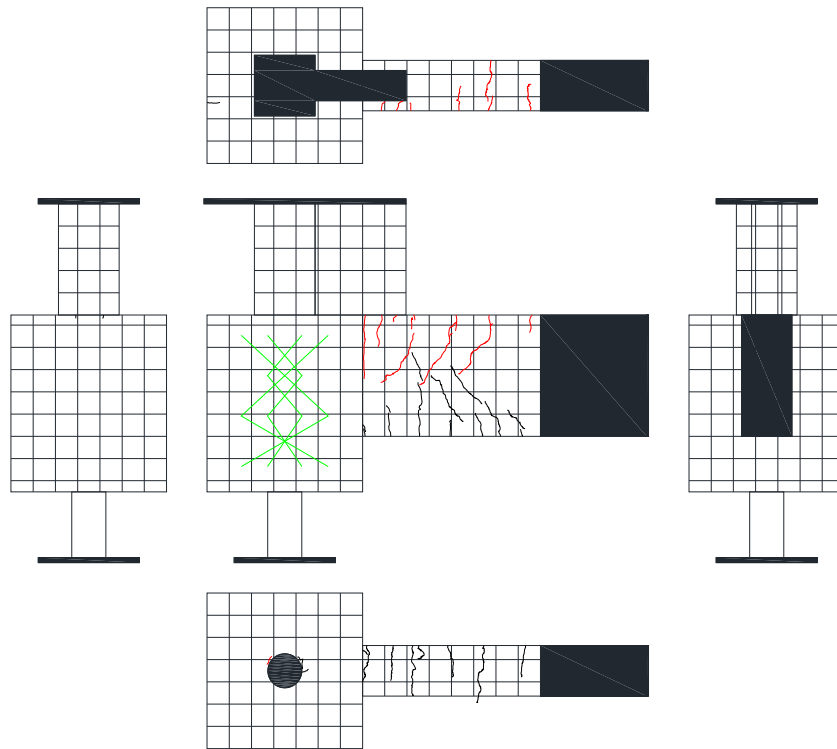
図・写真 3.2.3-11 試験体 DR-1 ひび割れ状況 (1Cycle)



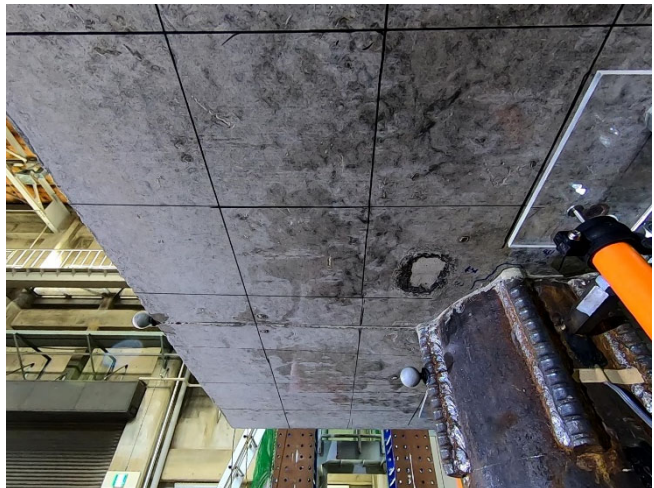
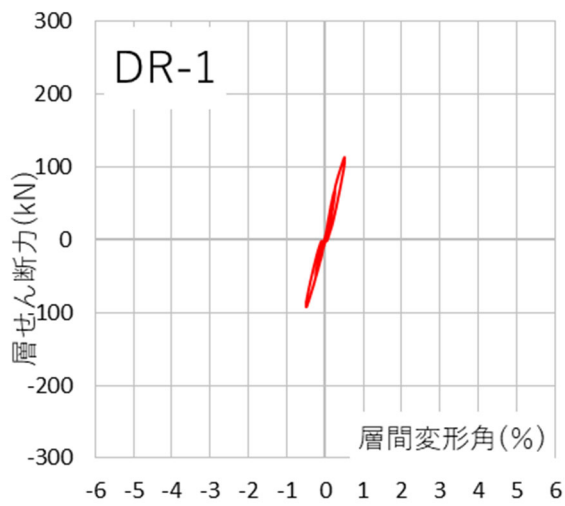
Cycle	DR-1	
	Q (kN)	R (%)
+2	69.6	0.251
-2	-50.0	-0.248



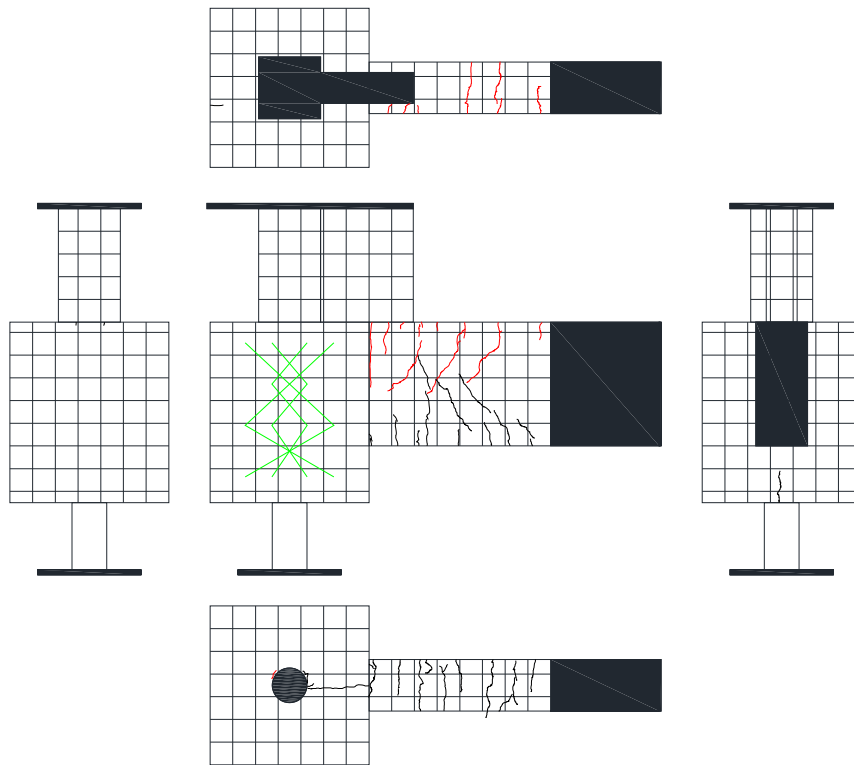
図・写真 3.2.3-12 試験体 DR-1 ひび割れ状況 (2Cycle)



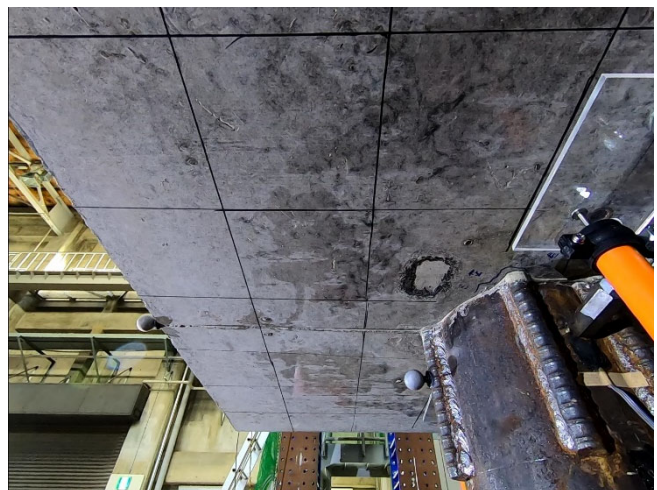
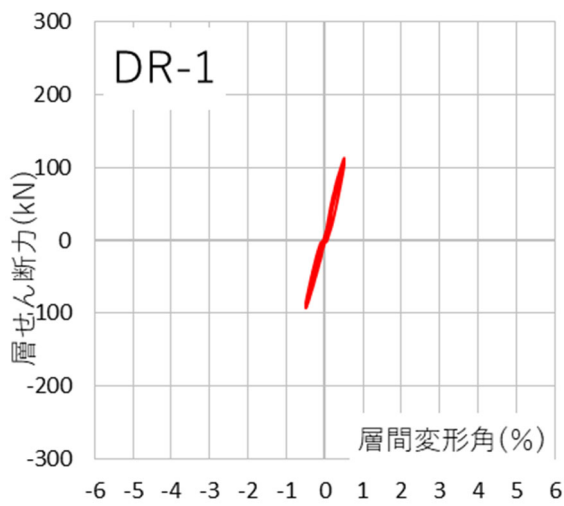
Cycle	DR-1	
	Q (kN)	R (%)
+3	113.3	0.499
-3	-92.2	-0.498



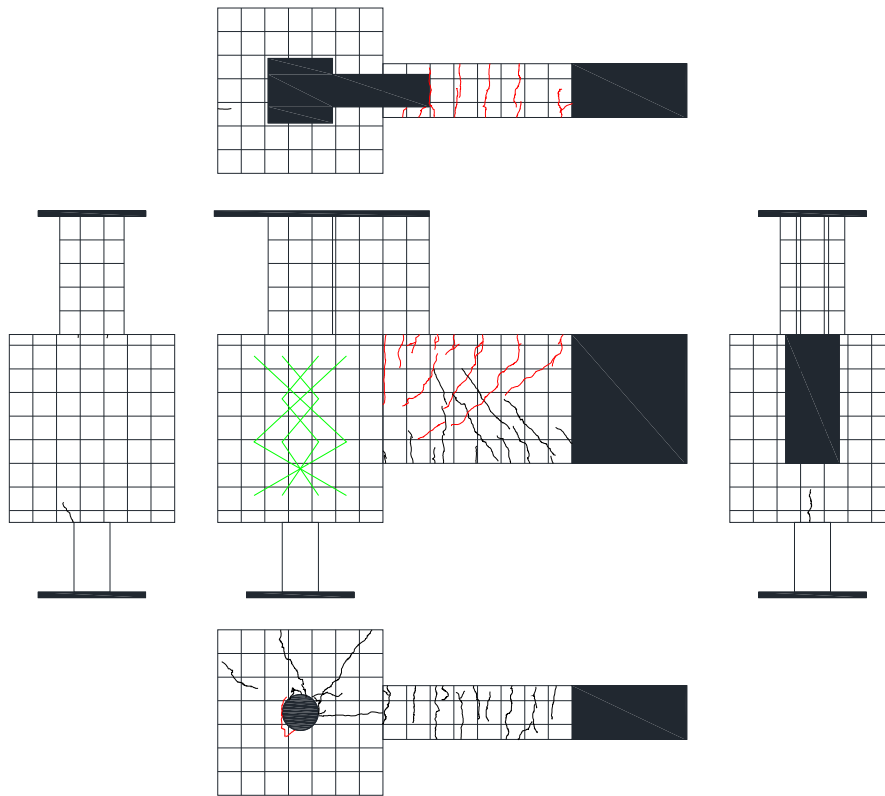
図・写真 3. 2. 3-13 試験体 DR-1 ひび割れ状況 (3Cycle)



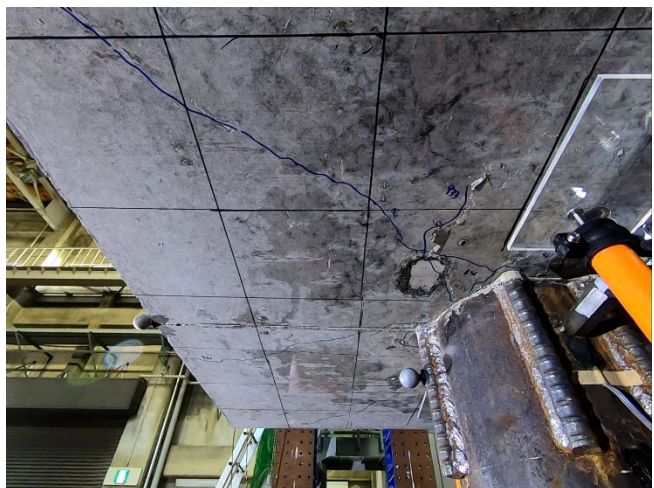
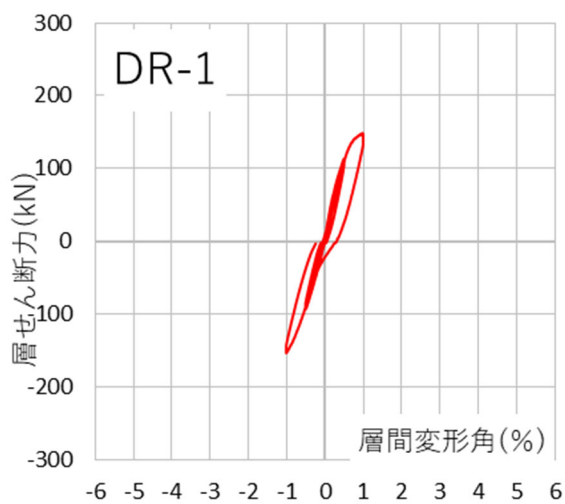
Cycle	DR-1	
	Q (kN)	R (%)
+4	110.0	0.50
-4	-88.0	-0.499



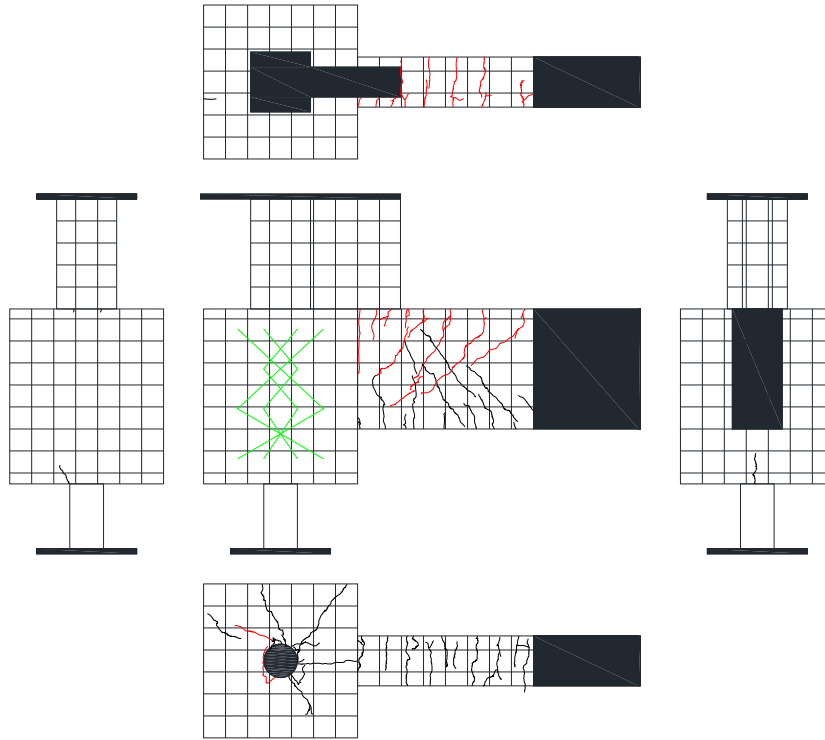
図・写真 3.2.3-14 試験体 DR-1 ひび割れ状況 (4Cycle)



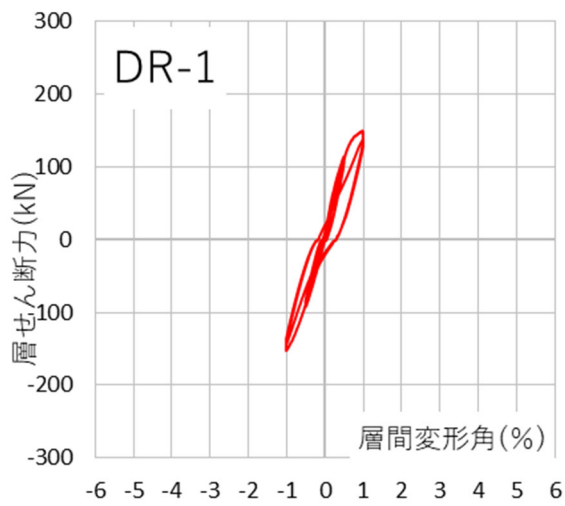
Cycle	DR-1	
	Q (kN)	R (%)
+5	146.3	0.996
-5	-152.2	-0.999



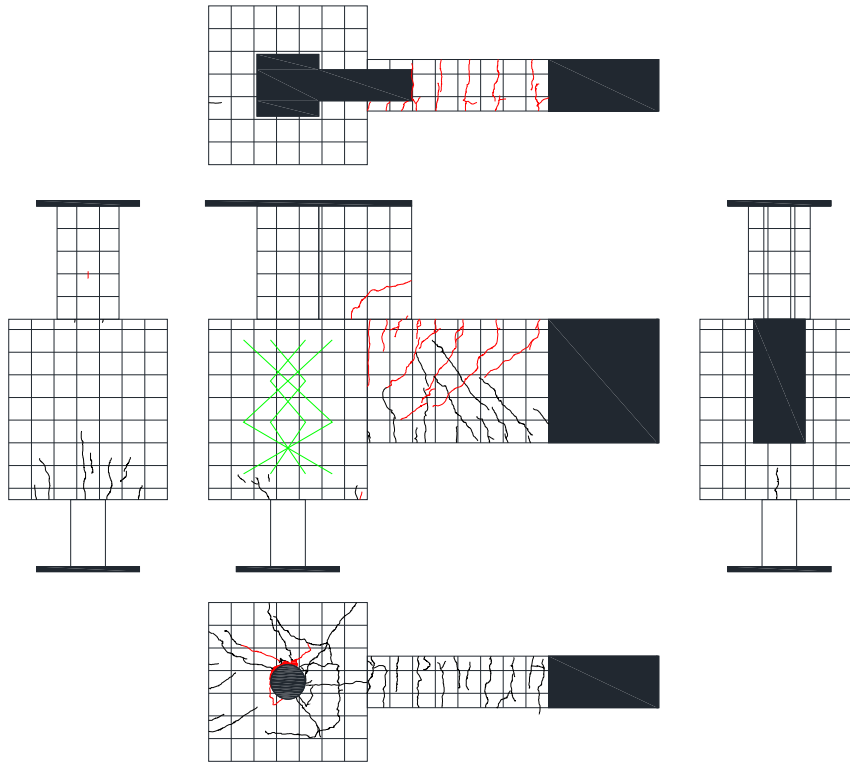
図・写真 3. 2. 3-15 試験体 DR-1 ひび割れ状況 (5Cycle)



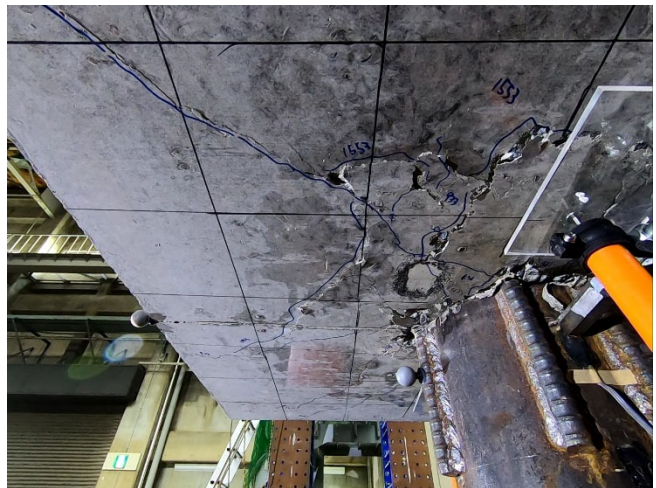
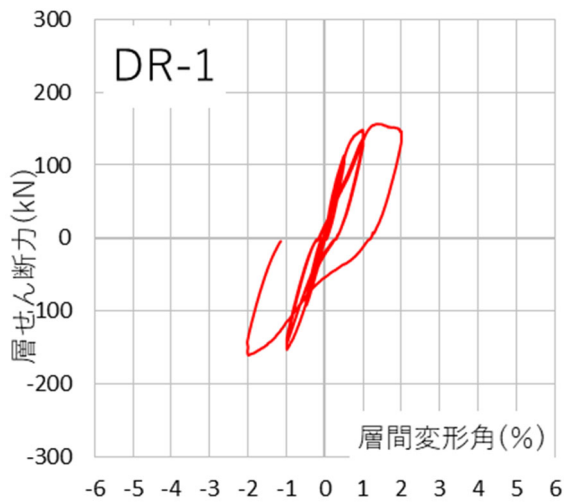
Cycle	DR-1	
	Q (kN)	R (%)
+6	136.6	0.967
-6	-143.1	-1.00



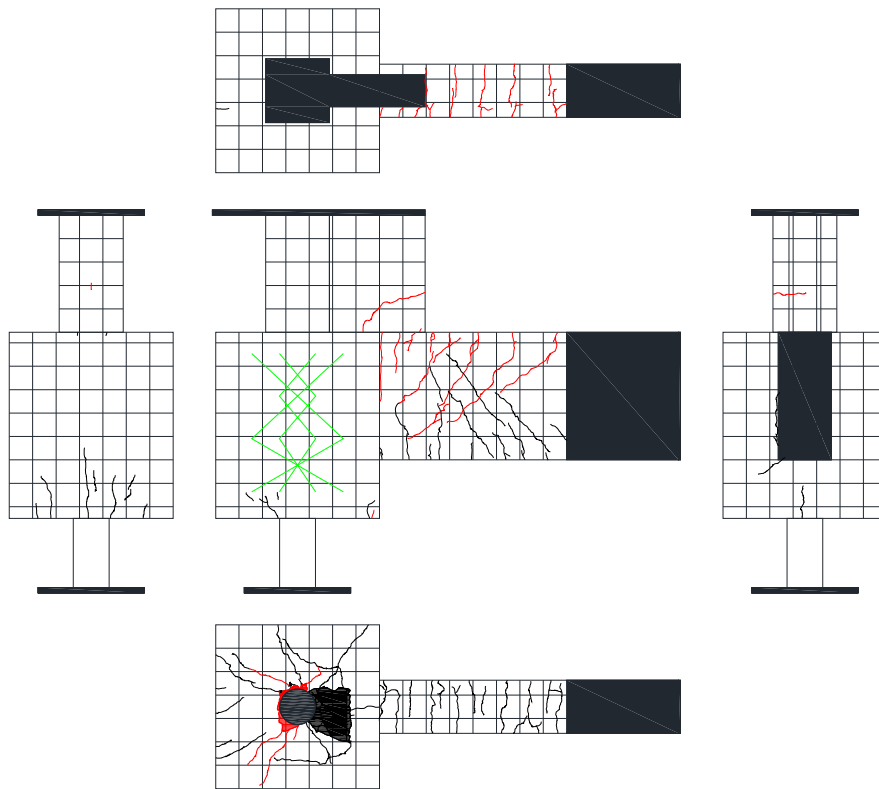
図・写真 3.2.3-16 試験体 DR-1 ひび割れ状況 (6Cycle)



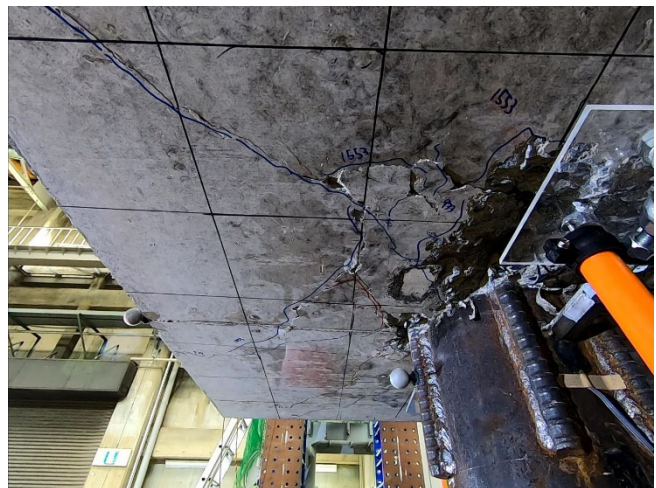
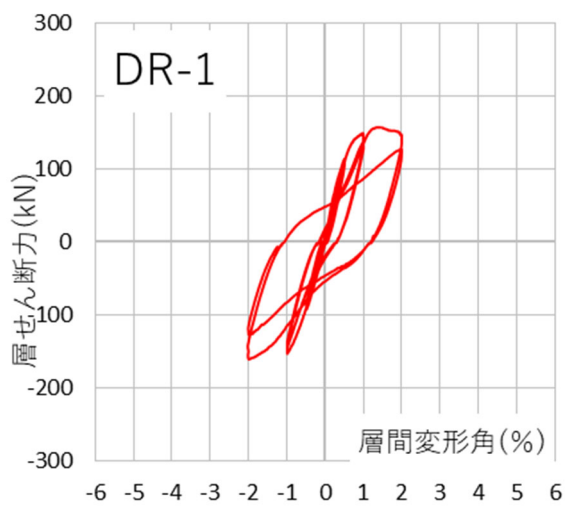
Cycle	DR-1	
	Q (kN)	R (%)
+7	145.6	1.999
-7	-159.4	-2.023



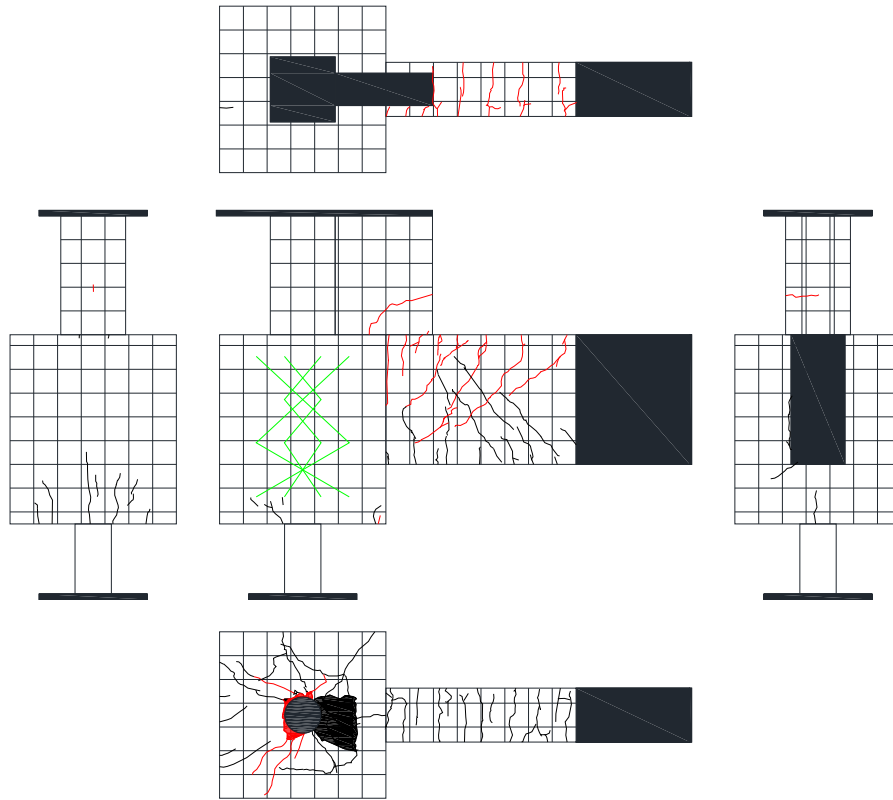
図・写真 3.2.3-17 試験体 DR-1 ひび割れ状況 (7Cycle)



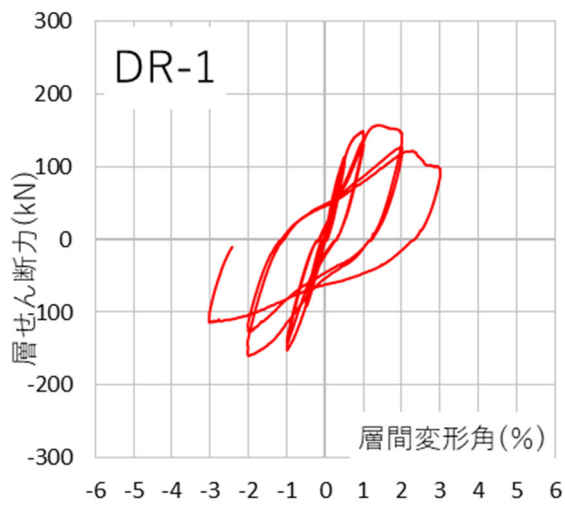
Cycle	DR-1	
	Q (kN)	R (%)
+8	125.5	2.00
-8	-125.9	-2.013



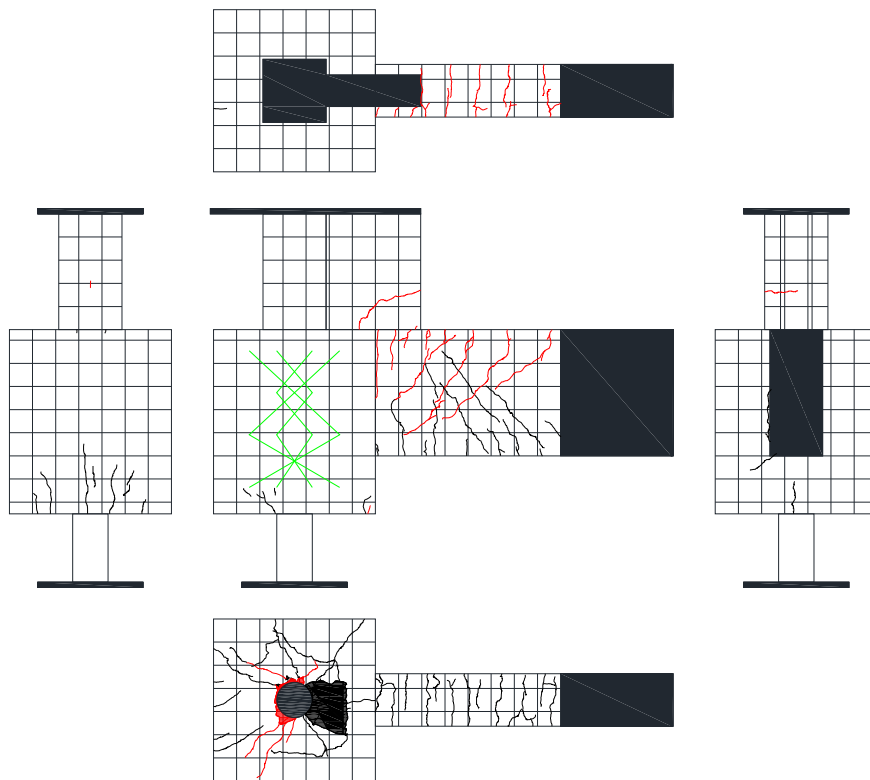
図・写真 3.2.3-18 試験体 DR-1 ひび割れ状況 (8Cycle)



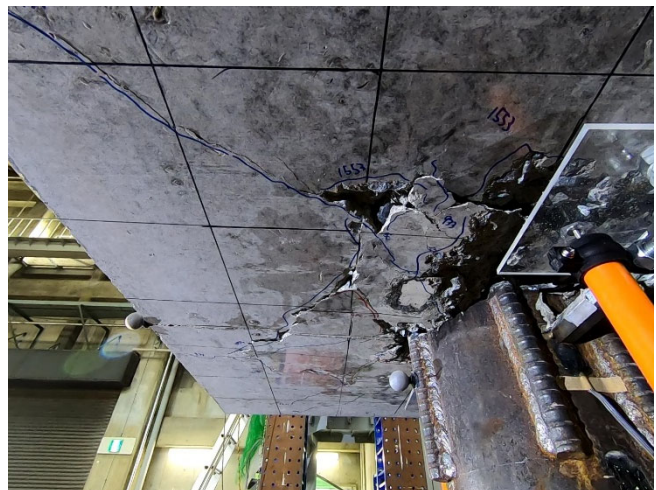
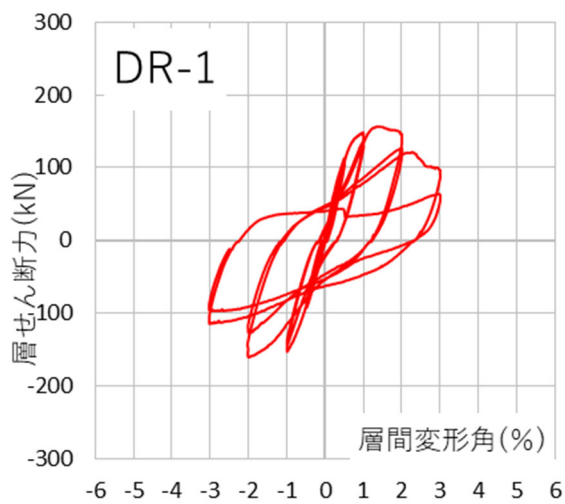
Cycle	DR-1	
	Q (kN)	R (%)
+9	96.4	2.998
-9	-111.9	-3.034



図・写真 3.2.3-19 試験体 DR-1 ひび割れ状況 (9Cycle)

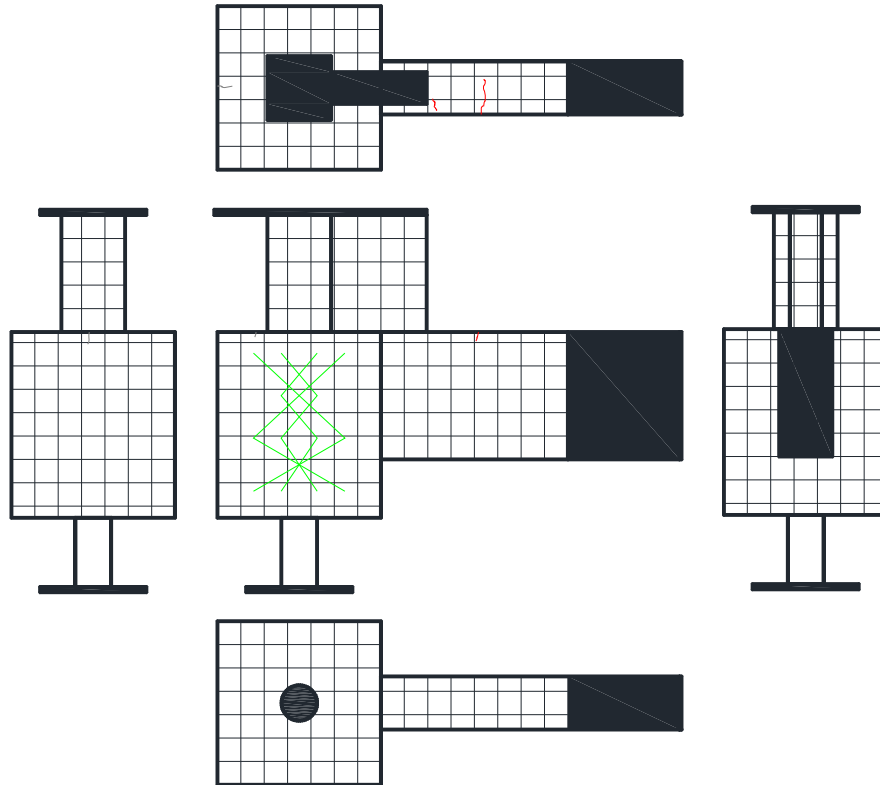


Cycle	DR-1	
	Q (kN)	R (%)
+10	62.2	2.998
-10	-93.4	-3.036

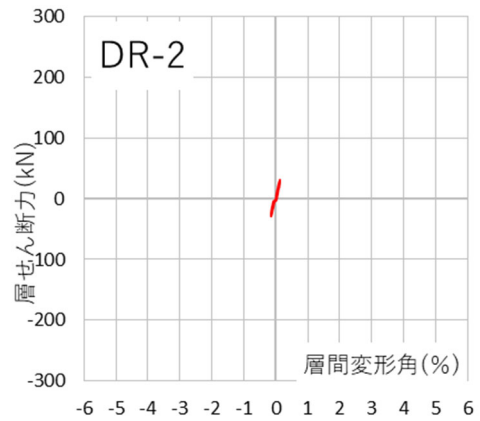


図・写真 3.2.3-20 試験体 DR-1 ひび割れ状況 (10Cycle)

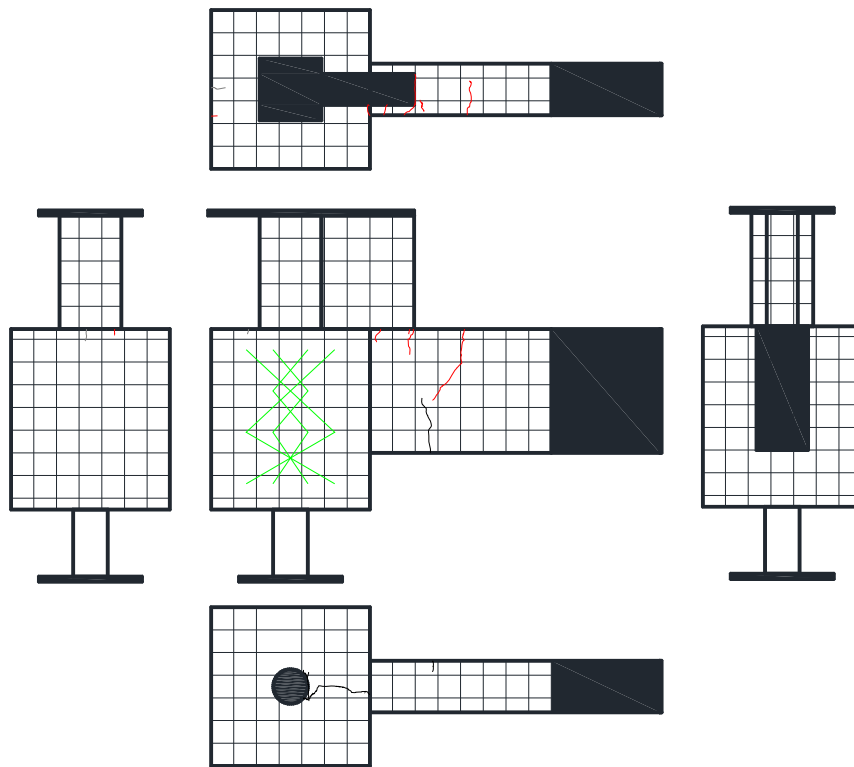
● 試験体 DR-2



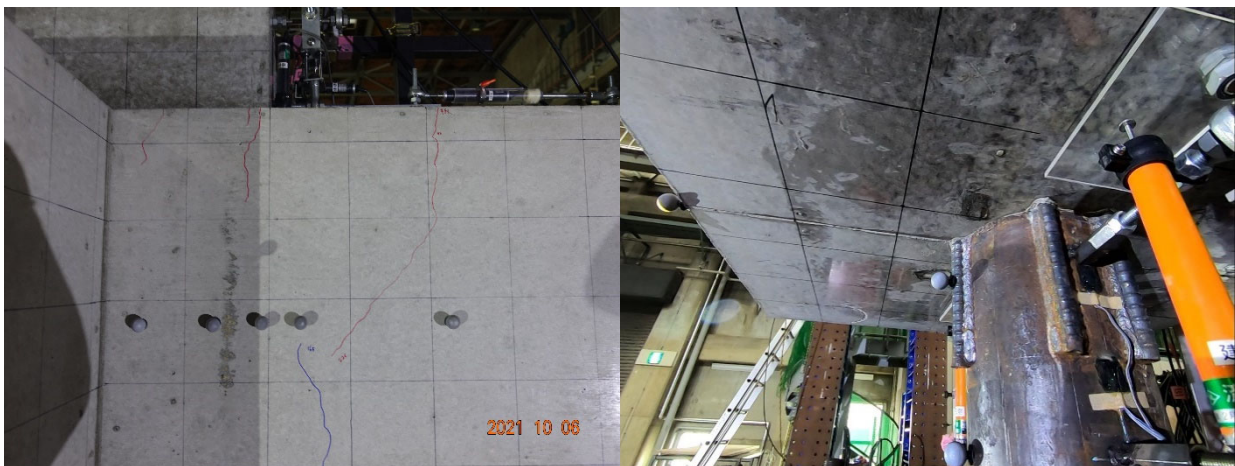
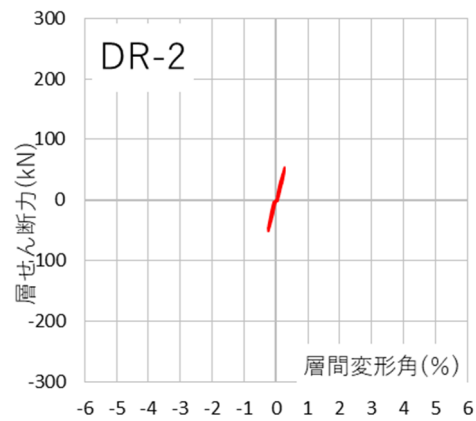
Cycle	DR-2	
	Q (kN)	R (%)
+1	32.1	0.125
-1	-27.8	-0.133



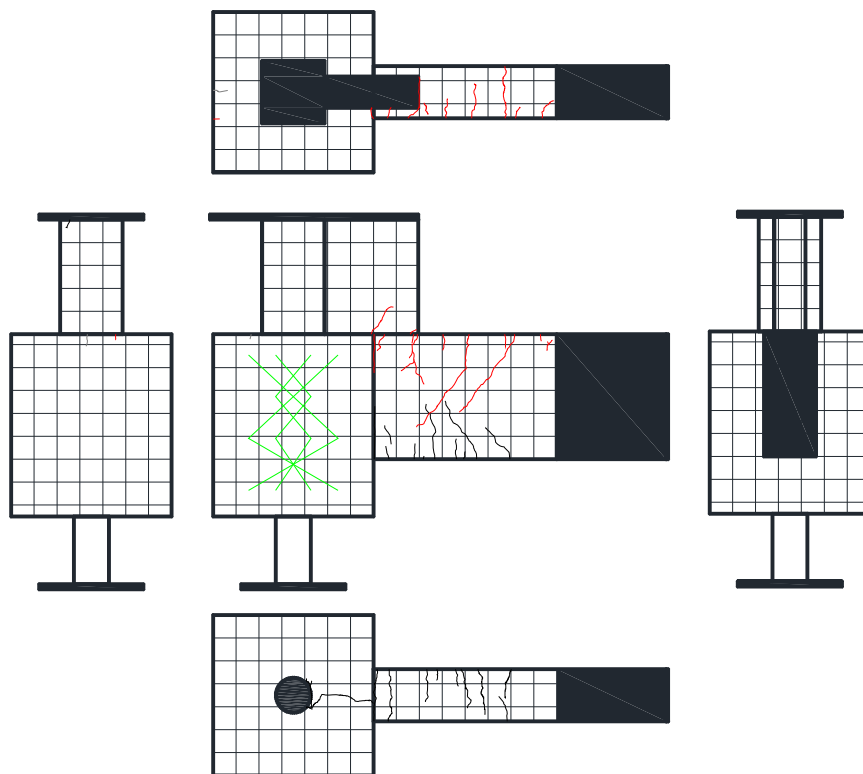
図・写真 3.2.3-21 試験体 DR-2 ひび割れ状況 (1Cycle)



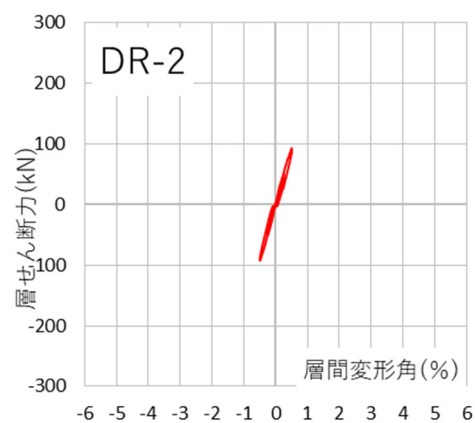
Cycle	DR-2	
	Q (kN)	R (%)
+2	53.0	0.252
-2	-50.6	-0.259



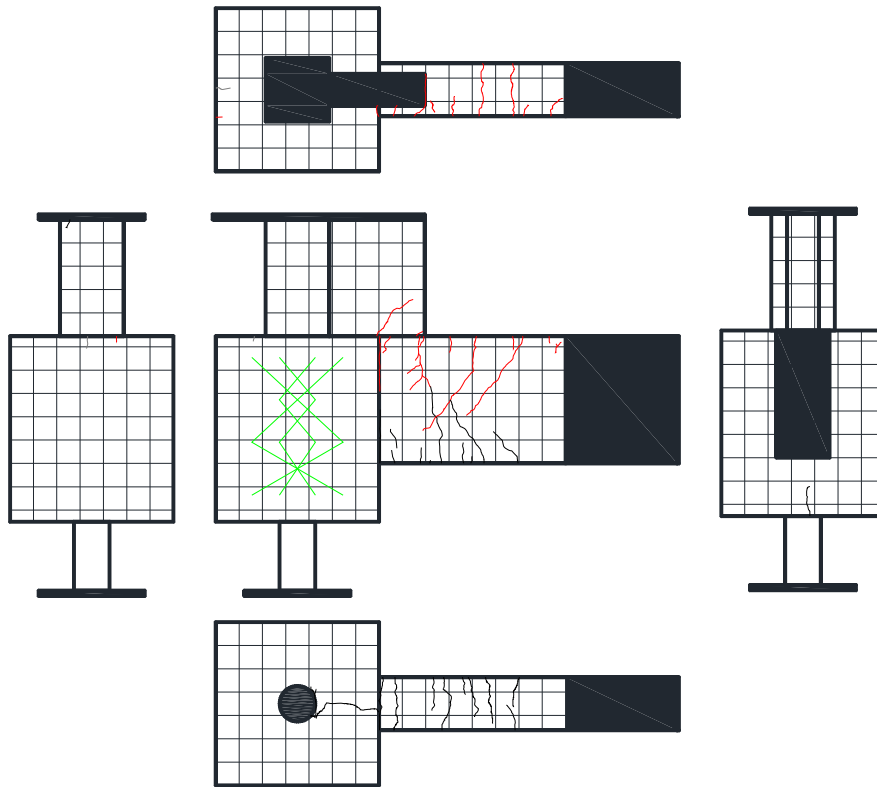
図・写真 3.2.3-22 試験体 DR-2 ひび割れ状況 (2Cycle)



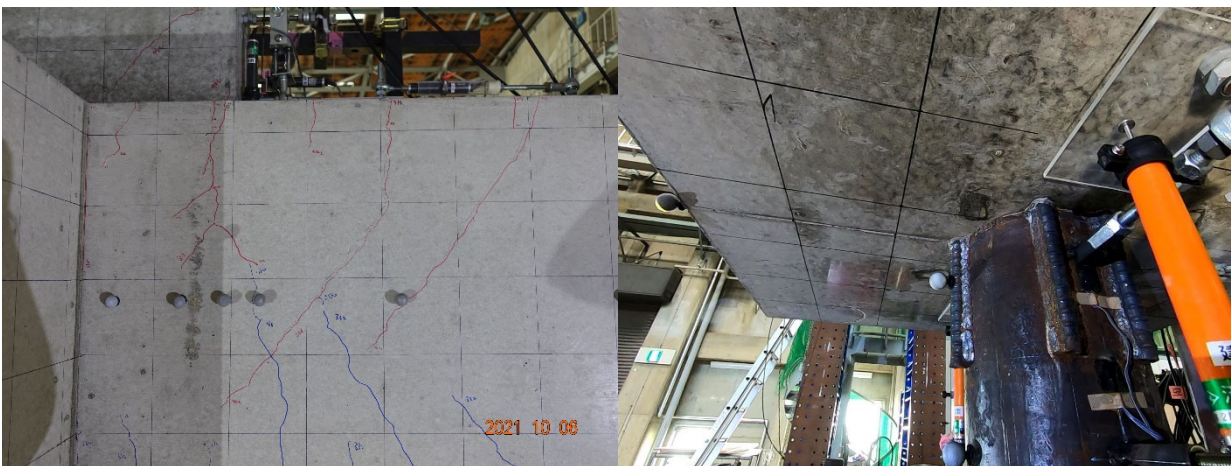
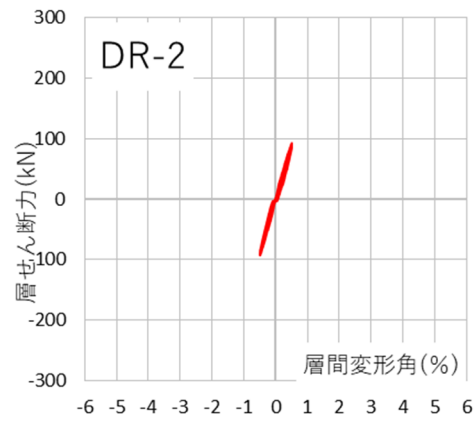
Cycle	DR-2	
	Q (kN)	R (%)
+3	93.3	0.502
-3	-91.8	0.501



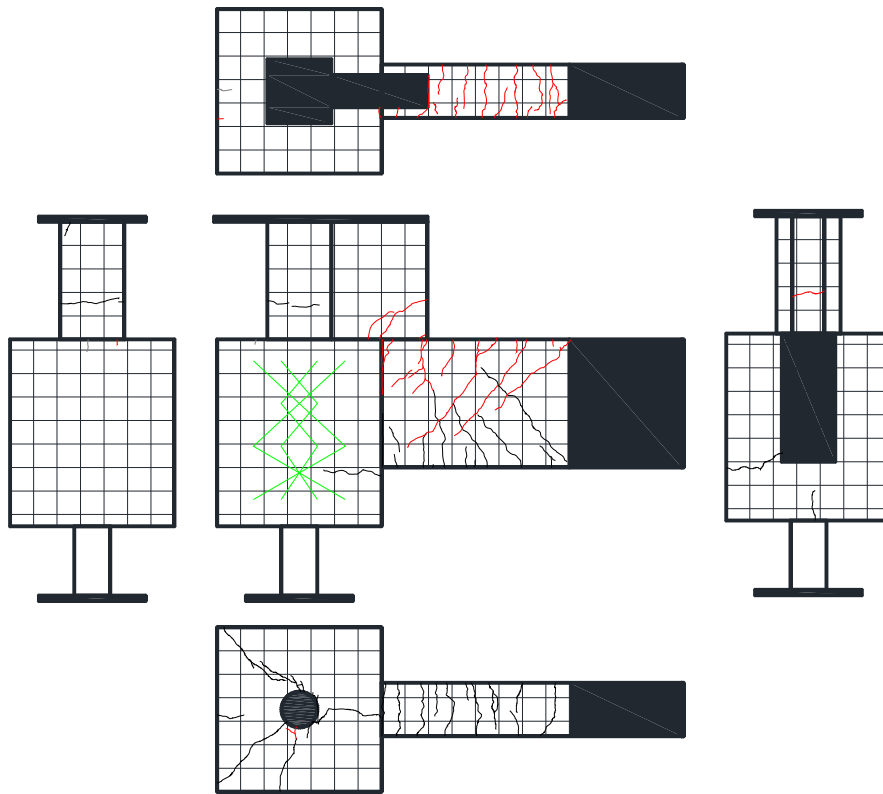
図・写真 3. 2. 3-23 試験体 DR-2 ひび割れ状況 (3Cycle)



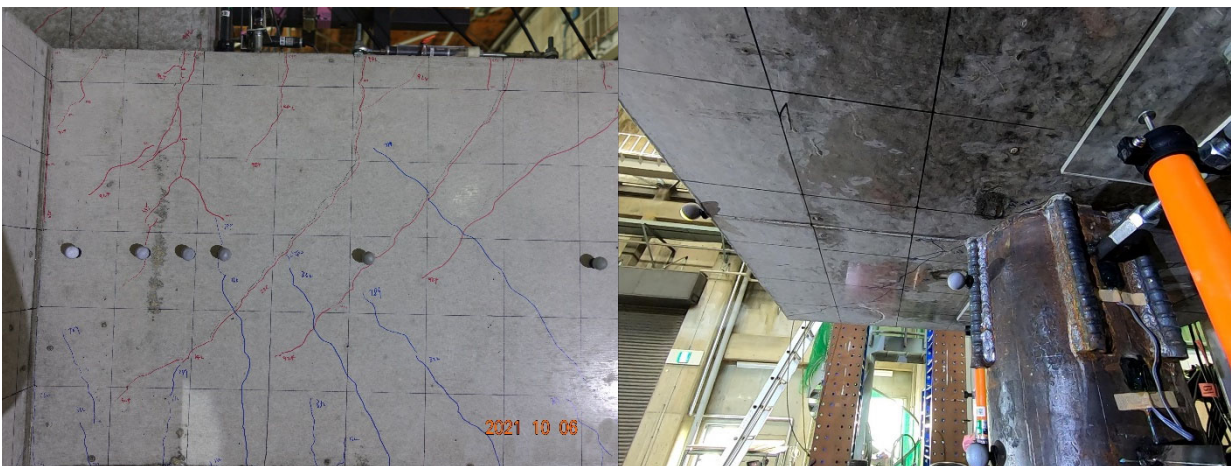
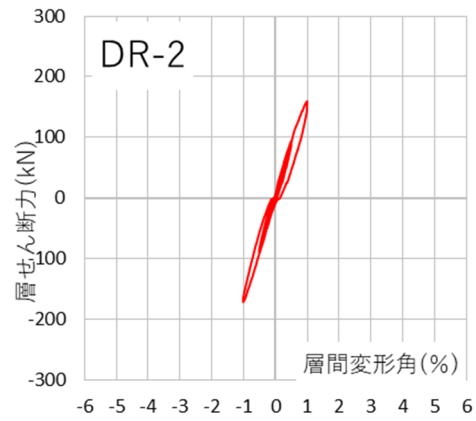
Cycle	DR-2	
	Q (kN)	R (%)
+4	90.9	0.50
-4	-89.9	-0.50



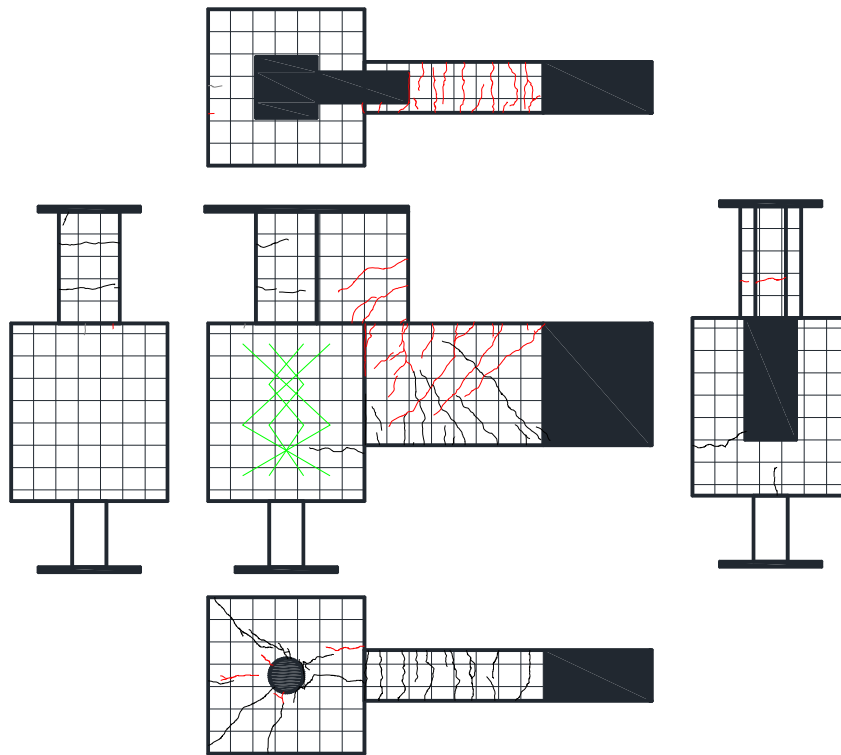
図・写真 3. 2. 3-24 試験体 DR-2 ひび割れ状況 (4Cycle)



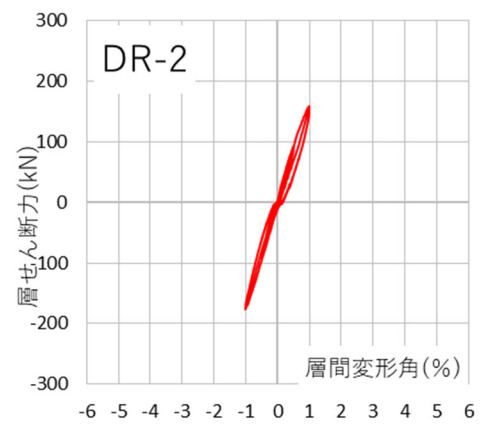
Cycle	DR-2	
	Q (kN)	R (%)
+5	158.8	1.0
-5	-172.5	-1.001



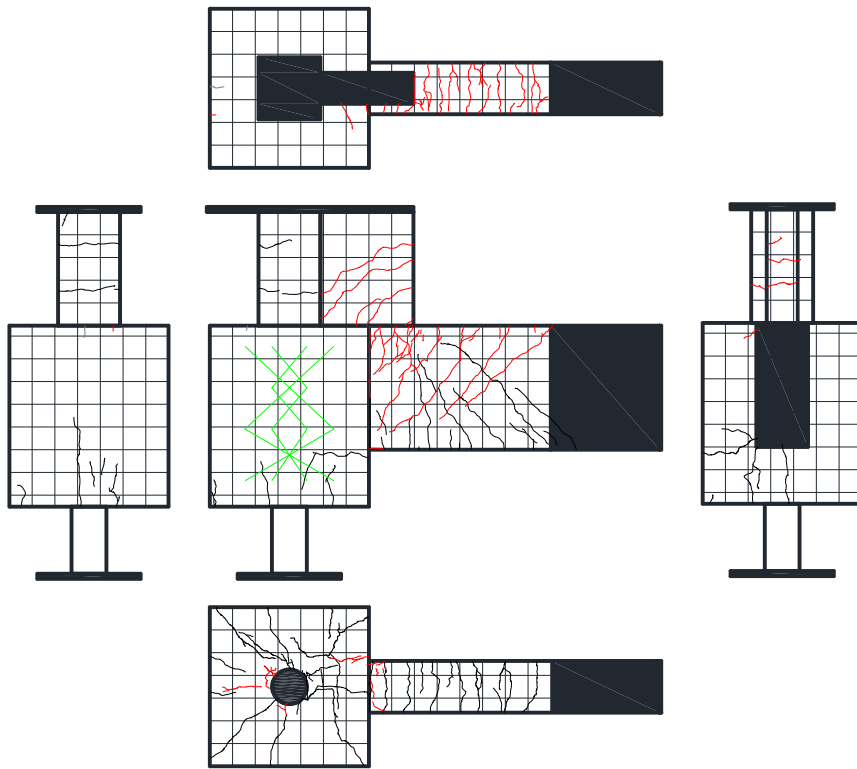
図・写真 3. 2. 3-25 試験体 DR-2 ひび割れ状況 (5Cycle)



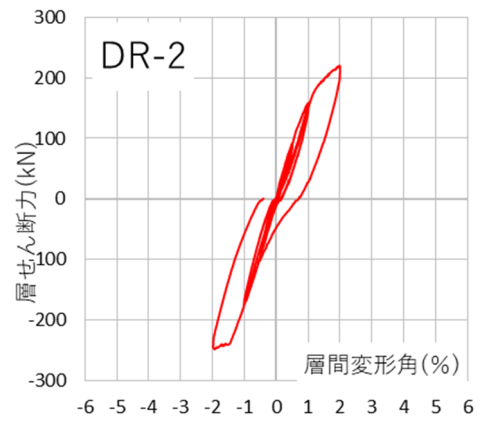
Cycle	DR-2	
	Q (kN)	R (%)
+6	156.3	1.001
-6	-175.5	-1.03



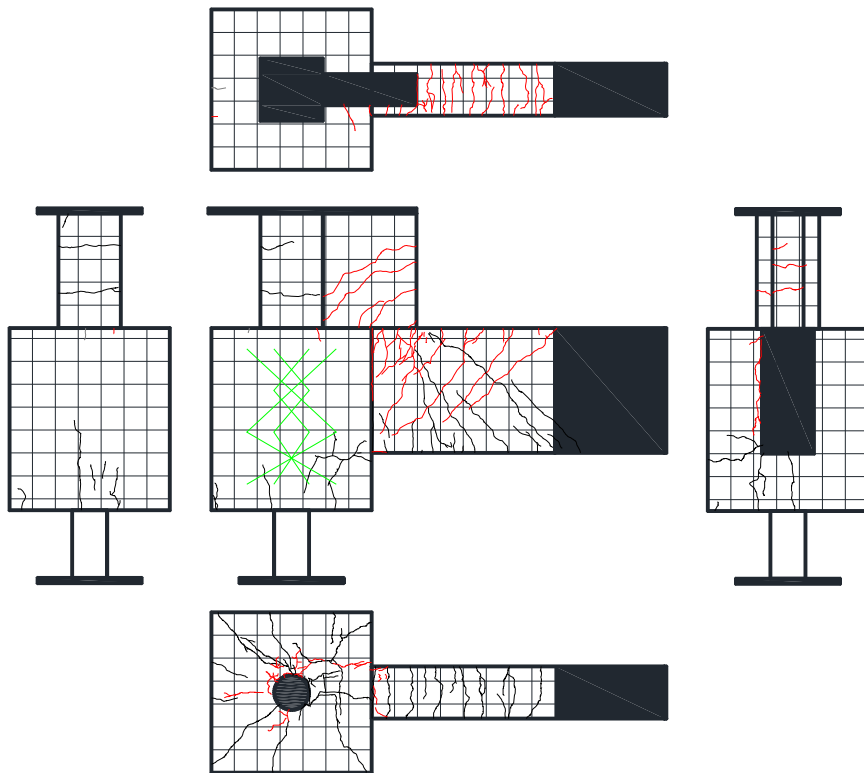
図・写真 3.2.3-26 試験体 DR-2 ひび割れ状況 (6Cycle)



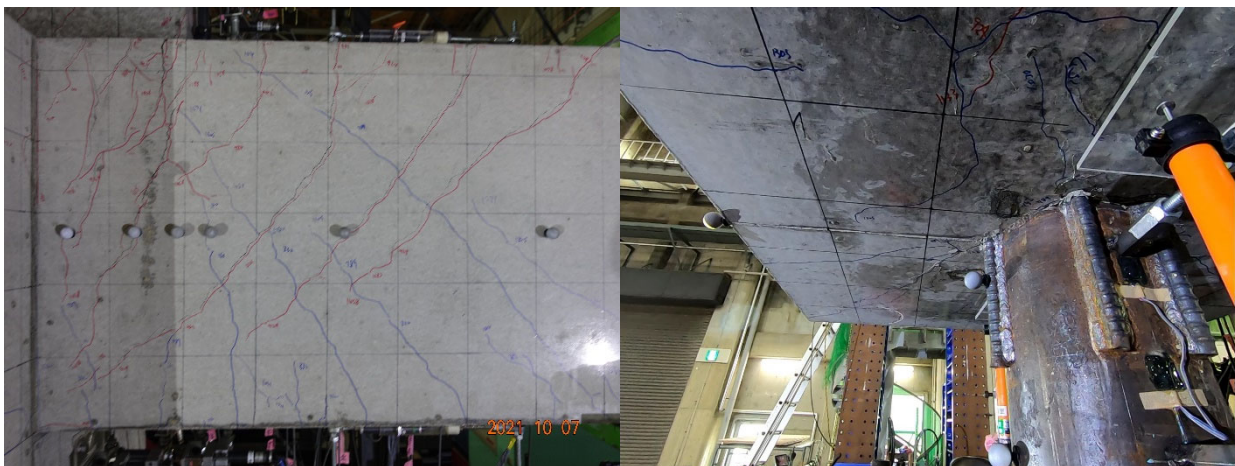
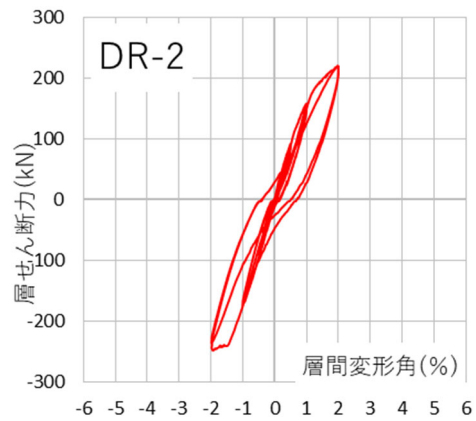
Cycle	DR-2	
	Q (kN)	R (%)
+7	217.8	2.0
-7	-243.3	-1.995



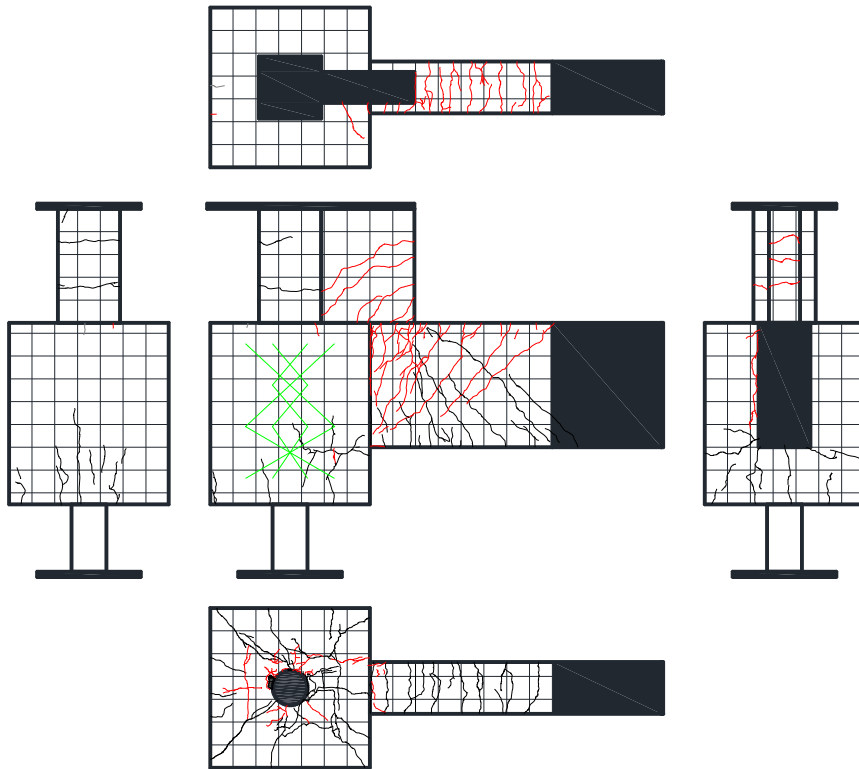
図・写真 3. 2. 3-27 試験体 DR-2 ひび割れ状況 (7Cycle)



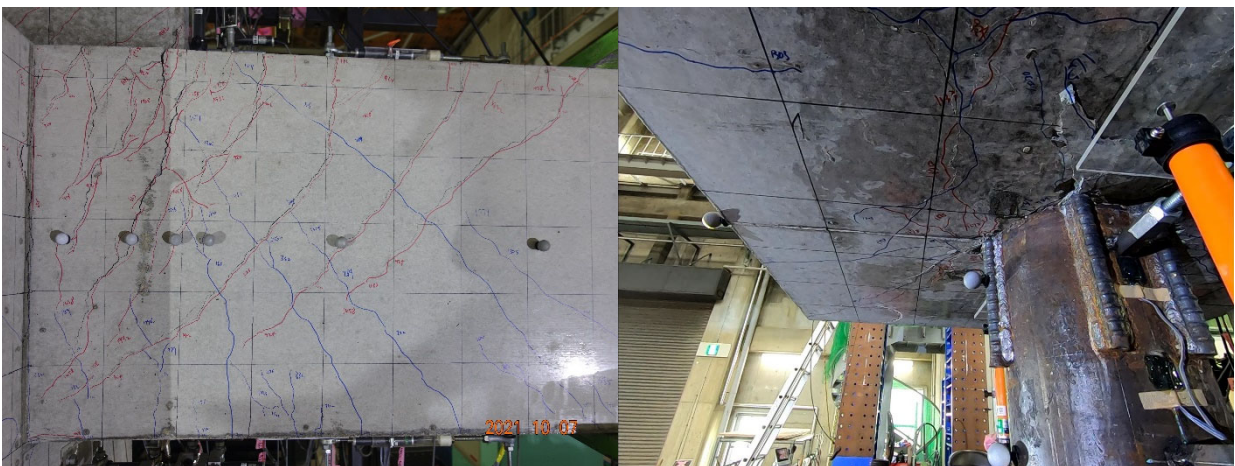
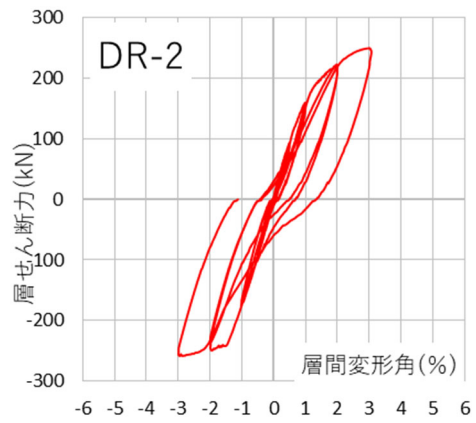
Cycle	DR-2	
	Q (kN)	R (%)
+8	218.9	2.01
-8	-235.9	-2.003



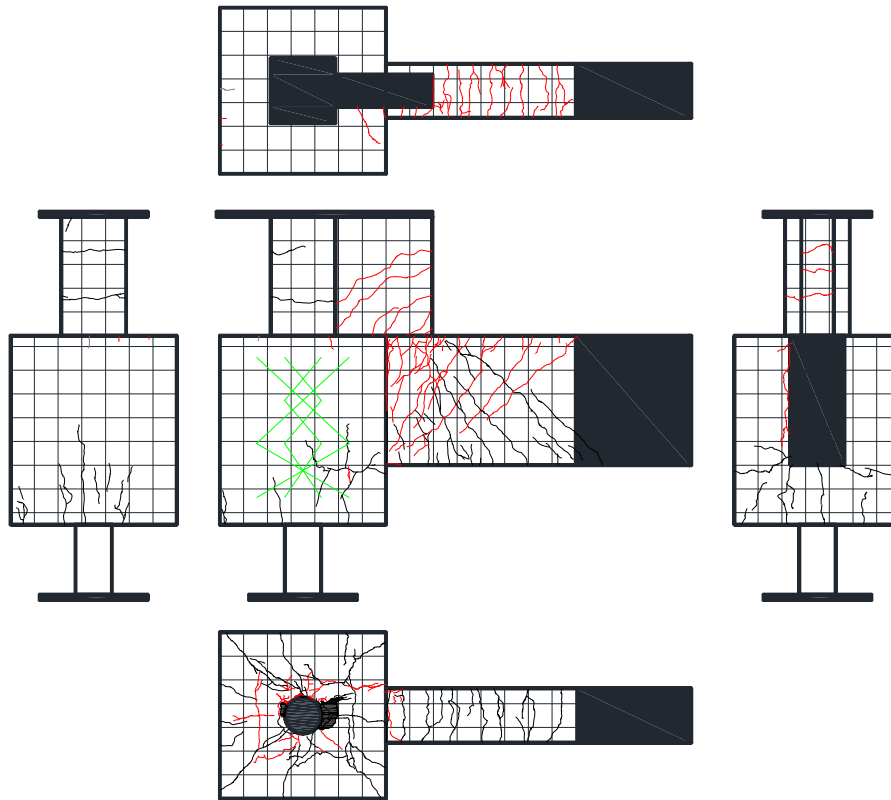
図・写真 3.2.3-28 試験体 DR-2 ひび割れ状況 (8Cycle)



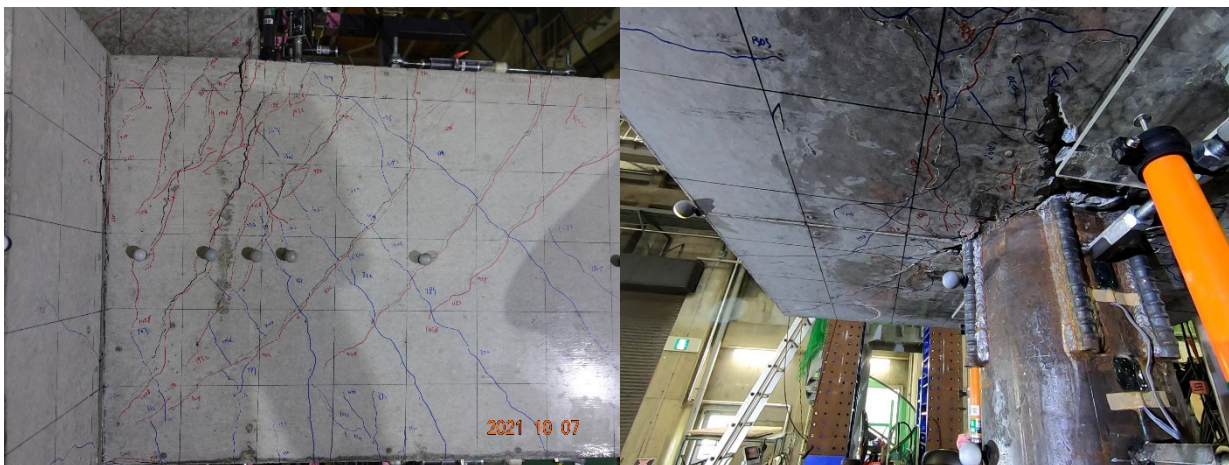
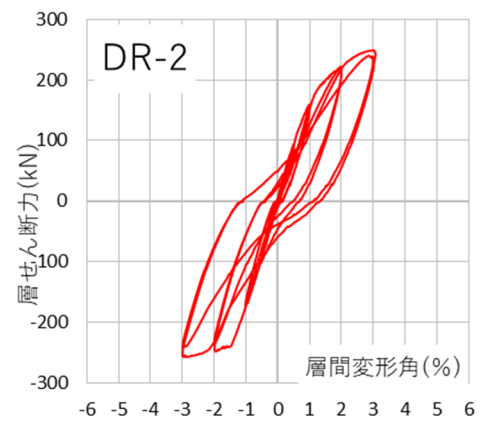
Cycle	DR-2	
	Q (kN)	R (%)
+9	243.0	3.081
-9	-254.6	-3.0



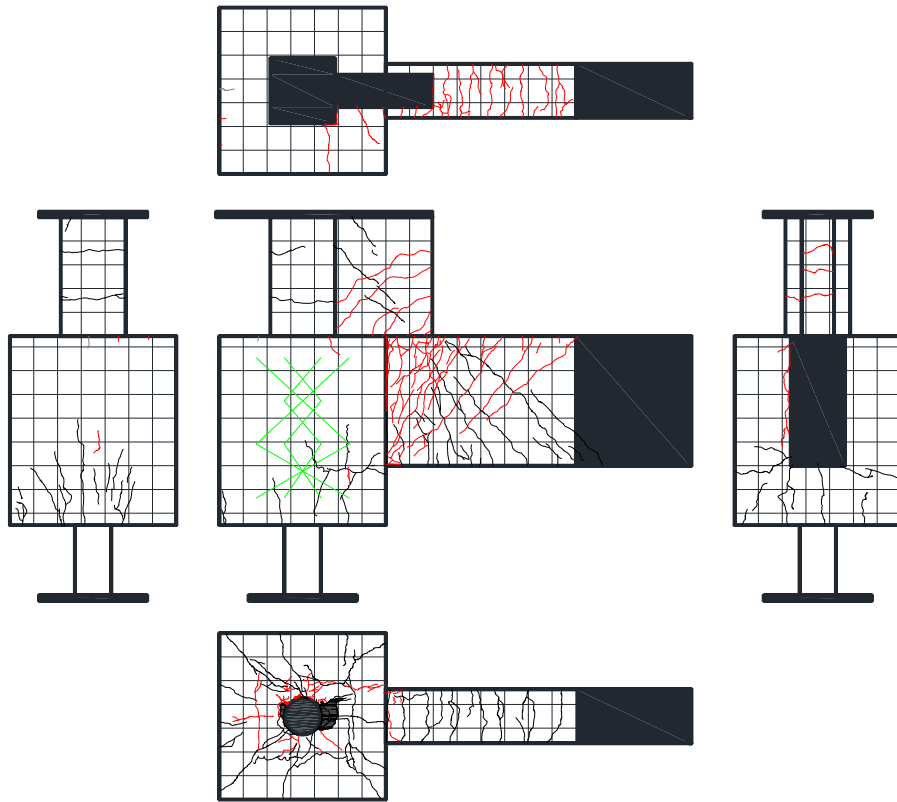
図・写真 3.2.3-29 試験体 DR-2 ひび割れ状況 (9Cycle)



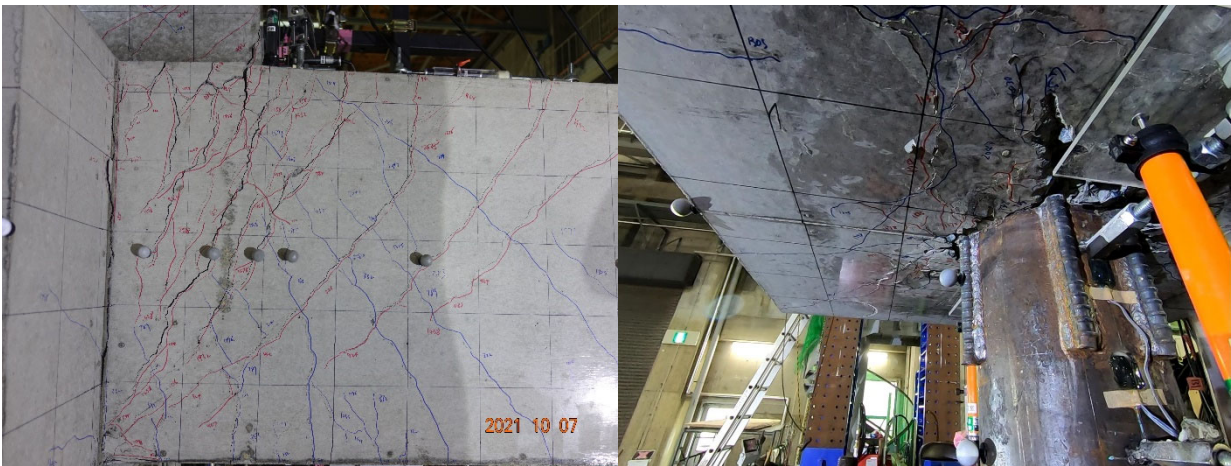
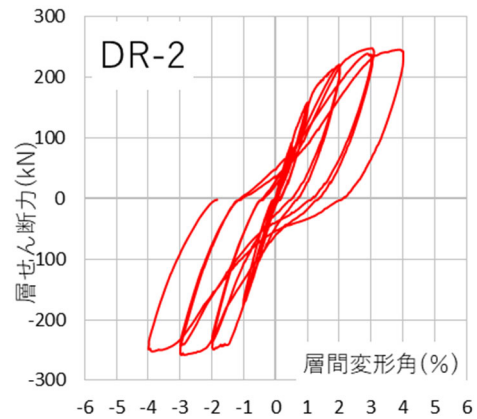
Cycle	DR-2	
	Q (kN)	R (%)
+10	236.4	3.001
-10	-242.1	-3.001



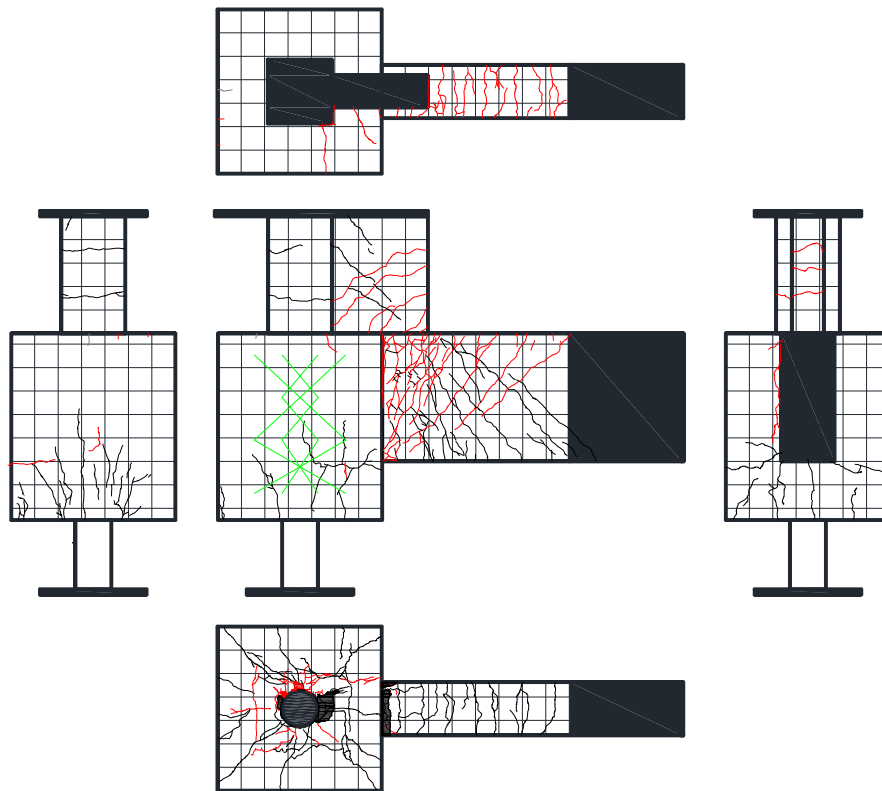
図・写真 3.2.3-30 試験体 DR-2 ひび割れ状況 (10Cycle)



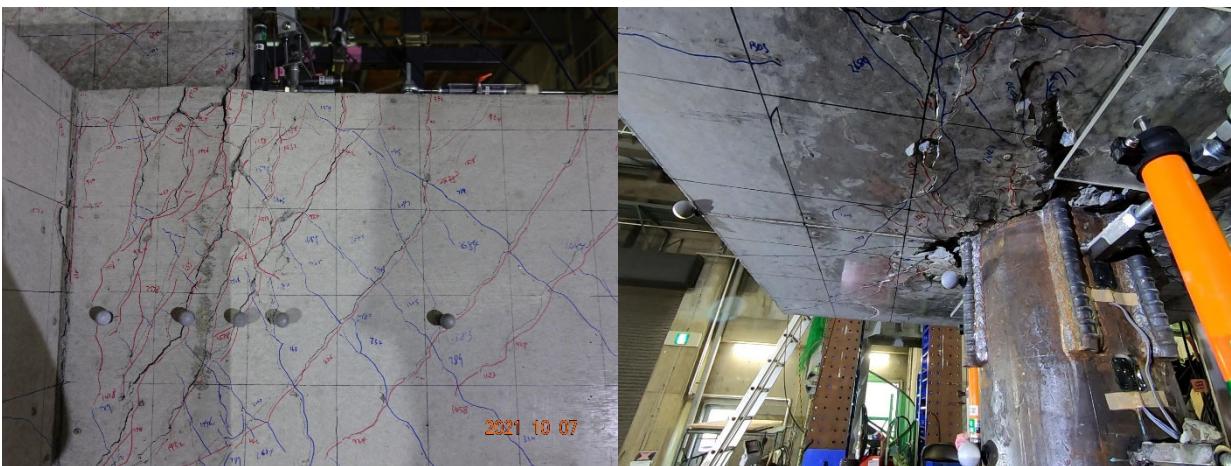
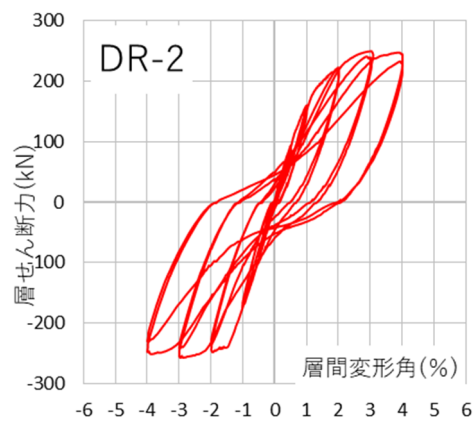
Cycle	DR-2	
	Q (kN)	R (%)
+11	242.4	4.002
-11	-246.8	-4.002



図・写真 3.2.3-31 試験体 DR-2 ひび割れ状況 (11Cycle)

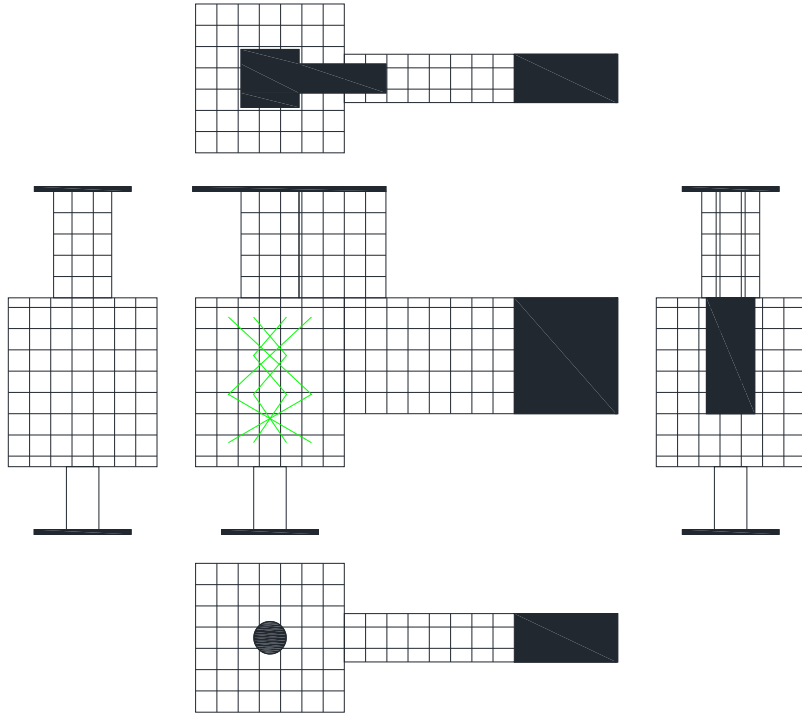


Cycle	DR-2	
	Q (kN)	R (%)
+12	227.1	4.002
-12	-230.3	-4.002

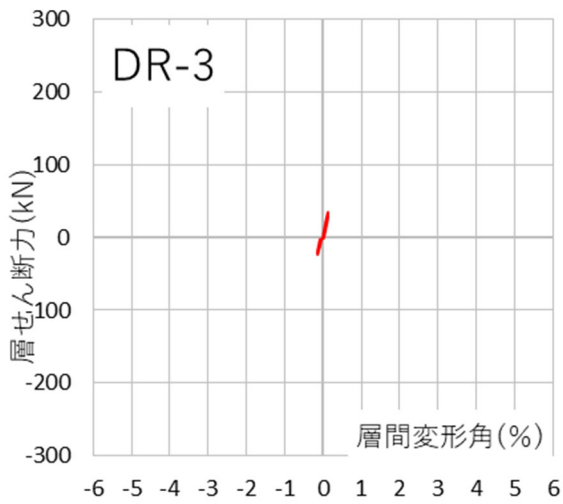


図・写真 3.2.3-32 試験体 DR-2 ひび割れ状況 (12Cycle)

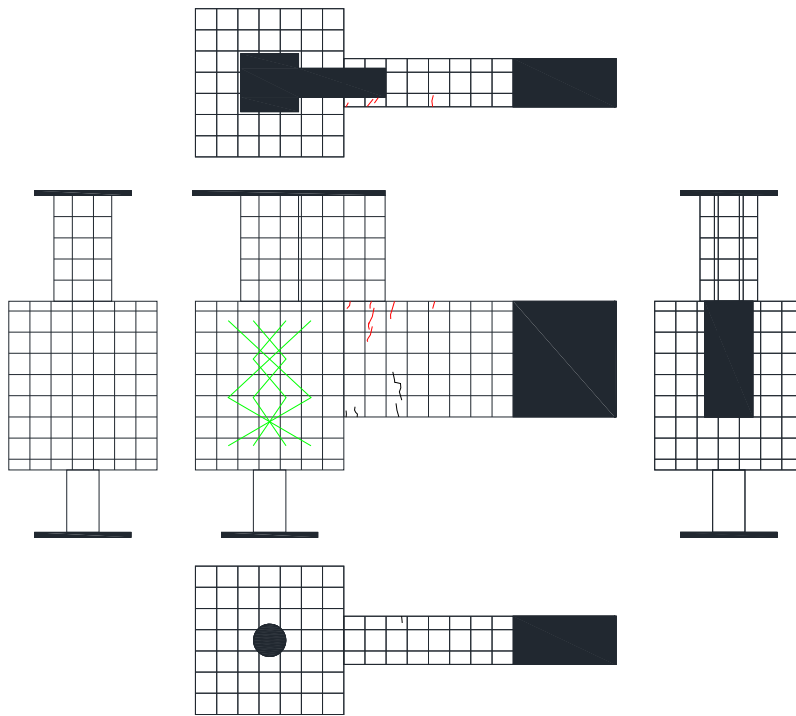
● 試験体 DR-3



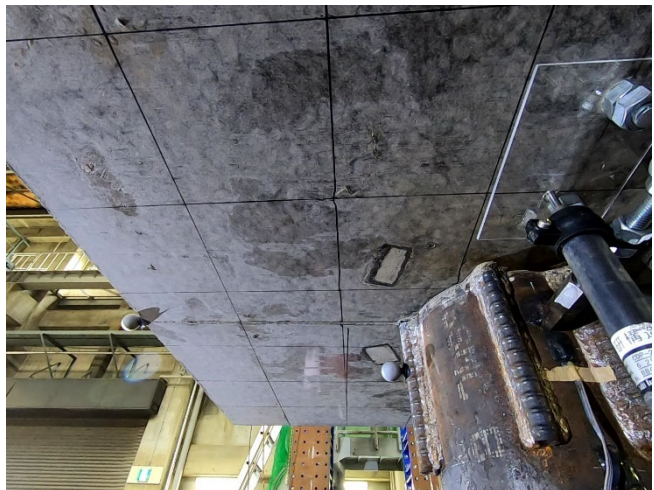
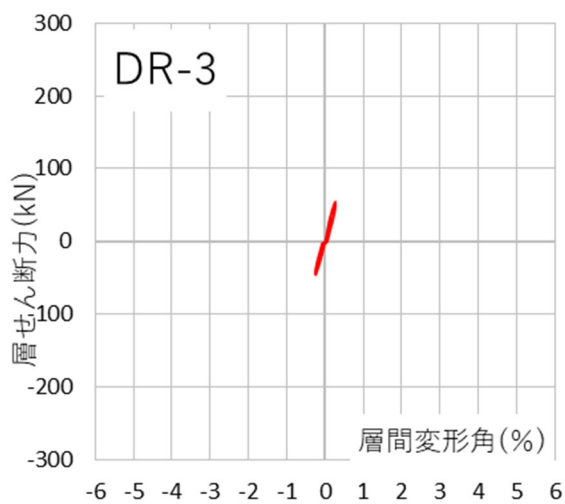
Cycle	DR-3	
	Q (kN)	R (%)
+1	34.9	0.127
-1	-23.6	-0.128



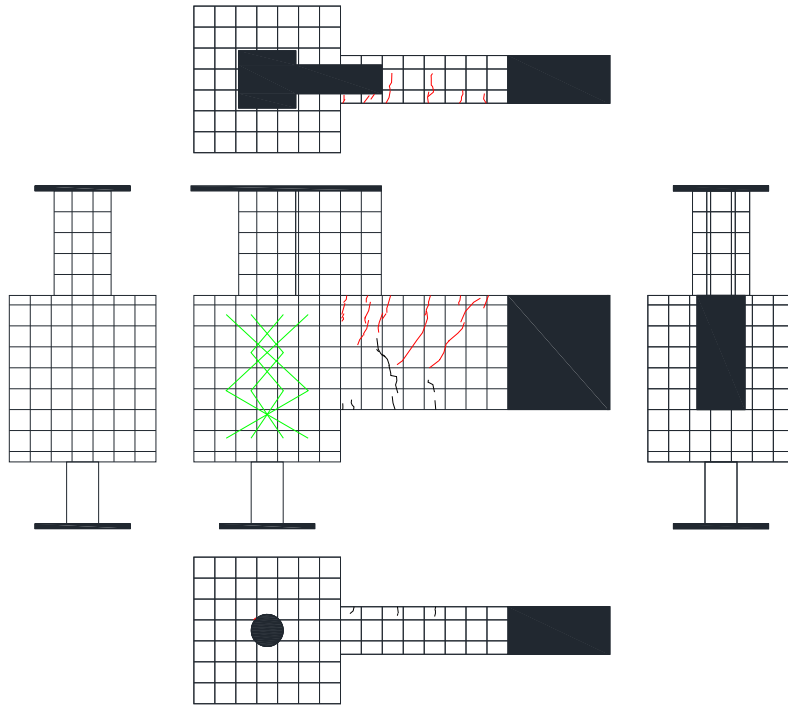
図・写真 3. 2. 3-33 試験体 DR-3 ひび割れ状況 (1Cycle)



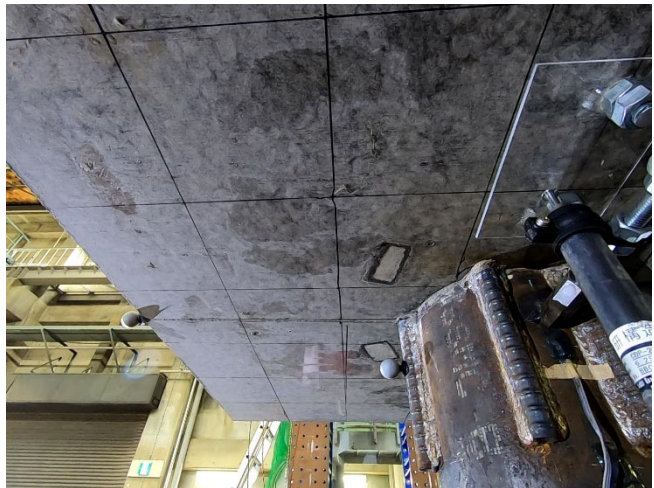
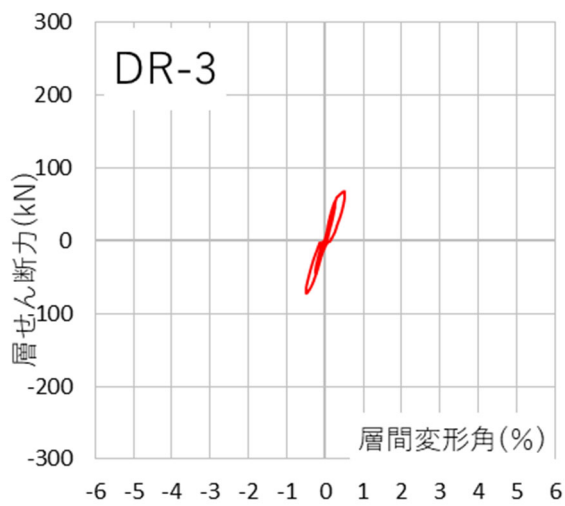
Cycle	DR-3	
	Q (kN)	R (%)
+2	54.7	0.253
-2	-45.2	-0.257



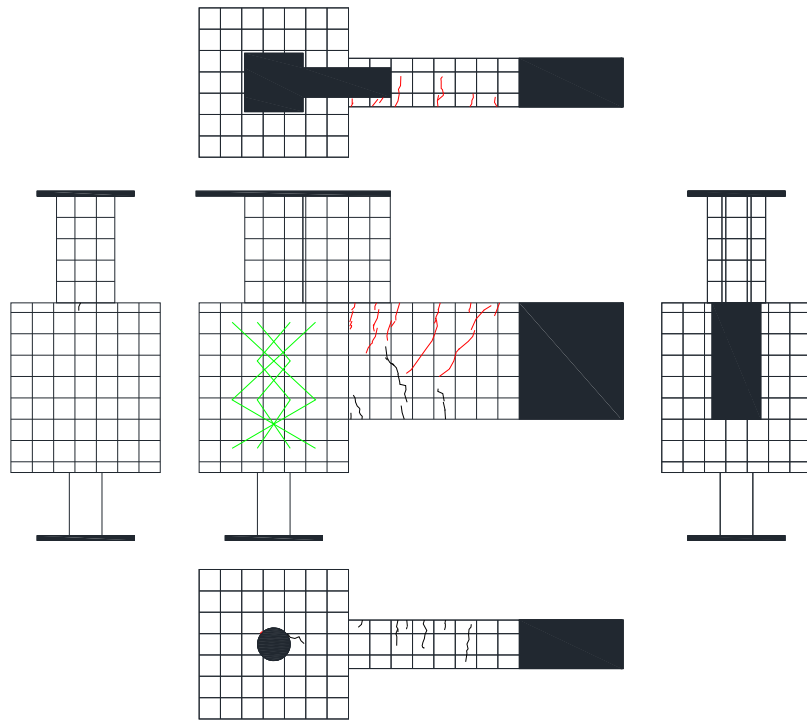
図・写真 3. 2. 3-34 試験体 DR-3 ひび割れ状況 (2Cycle)



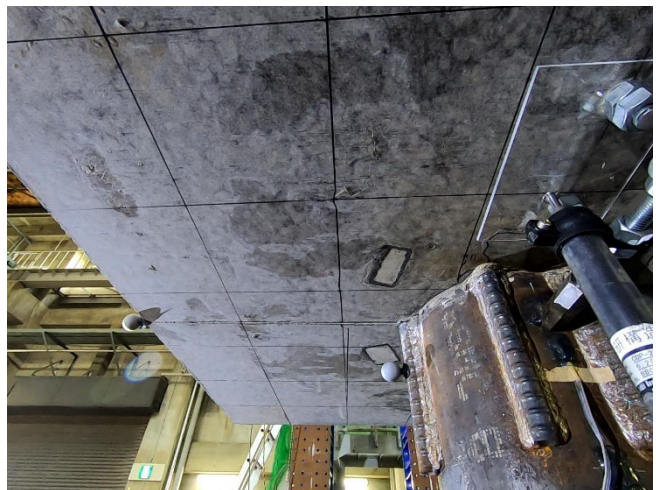
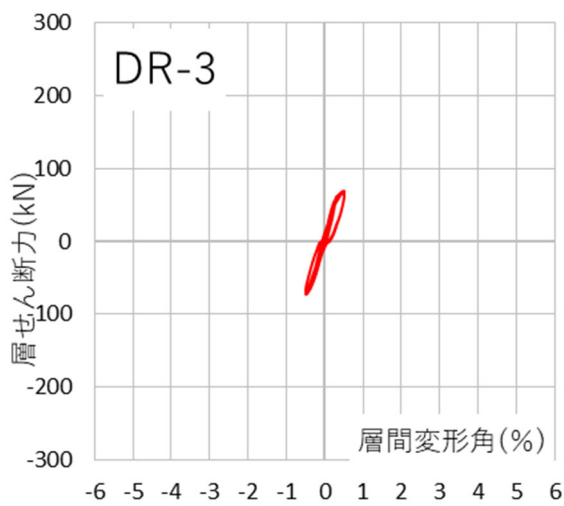
Cycle	DR-3	
	Q (kN)	R (%)
+3	68.0	0.503
-3	-72.4	-0.503



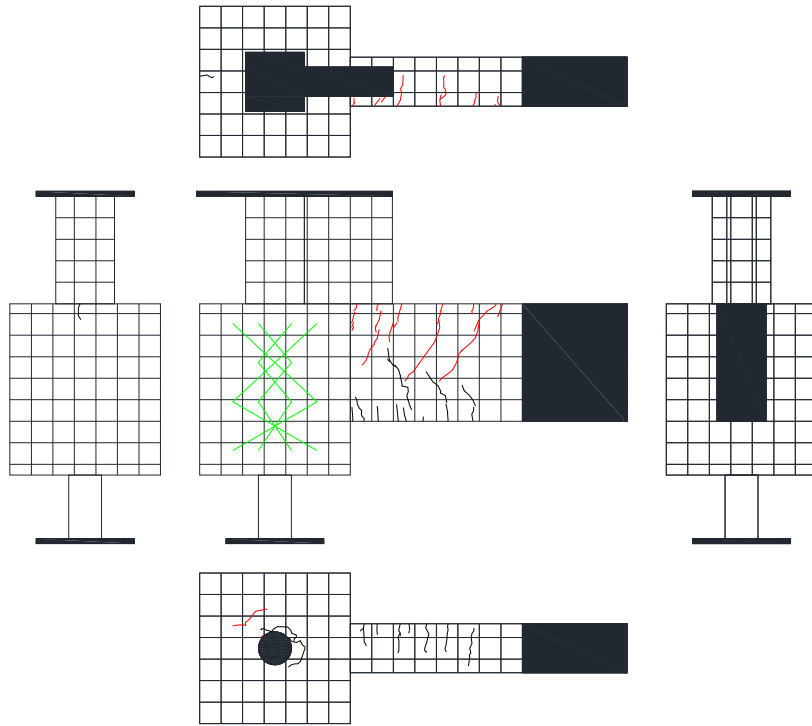
図・写真 3. 2. 3-35 試験体 DR-3 ひび割れ状況 (3Cycle)



Cycle	DR-3	
	Q (kN)	R (%)
+4	68.3	0.509
-4	-68.9	-0.504



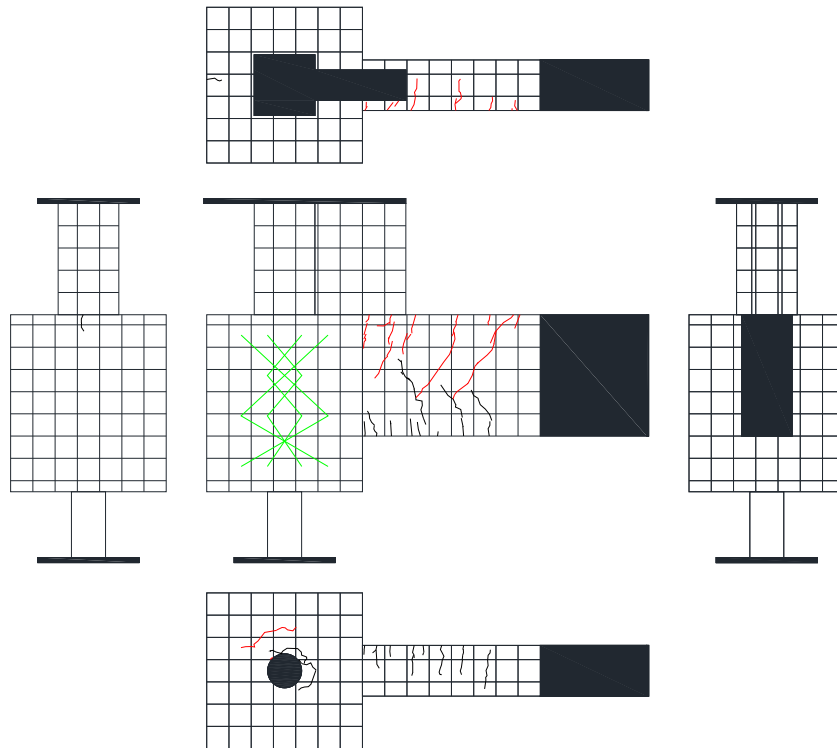
図・写真 3.2.3-36 試験体 DR-3 ひび割れ状況 (4Cycle)



Cycle	DR-3	
	Q (kN)	R (%)
+5	73.8	1.001
-5	-83.4	-1.003



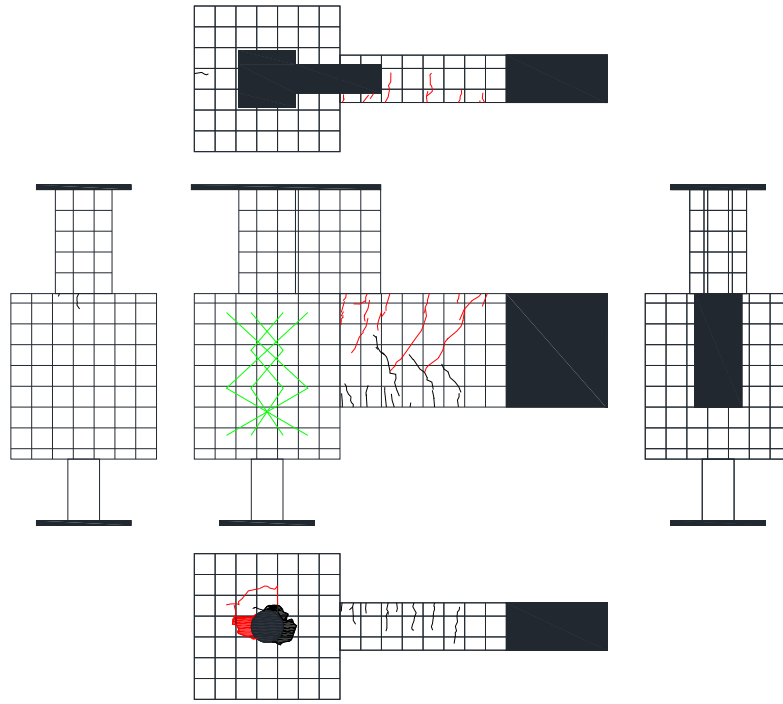
図・写真 3. 2. 3-37 試験体 DR-3 ひび割れ状況 (5Cycle)



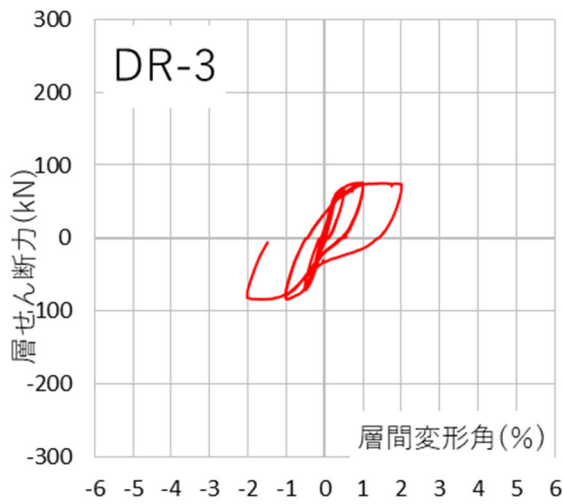
Cycle	DR-3	
	Q (kN)	R (%)
+6	71.3	1.006
-6	-79.4	-1.0



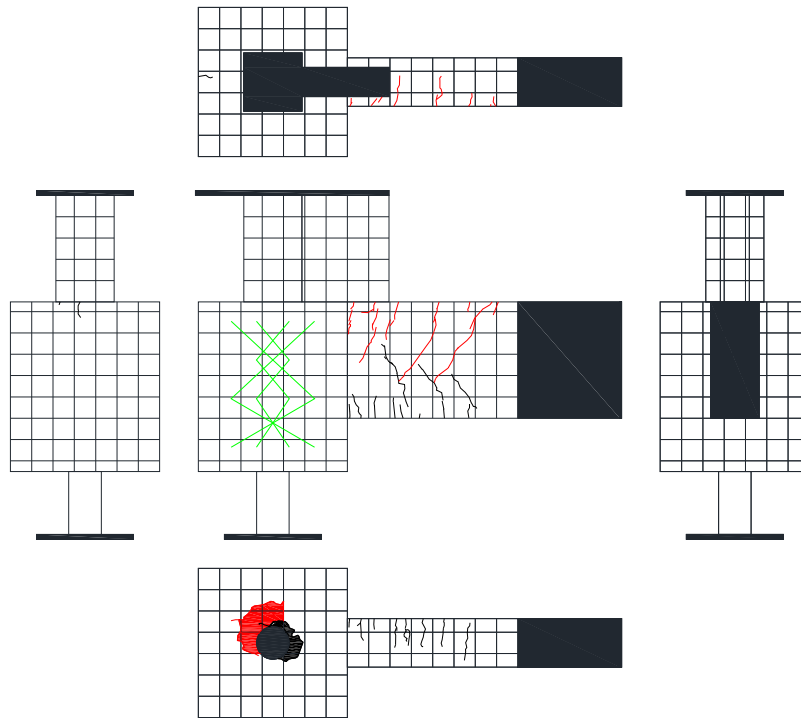
図・写真 3. 2. 3-38 試験体 DR-3 ひび割れ状況 (6Cycle)



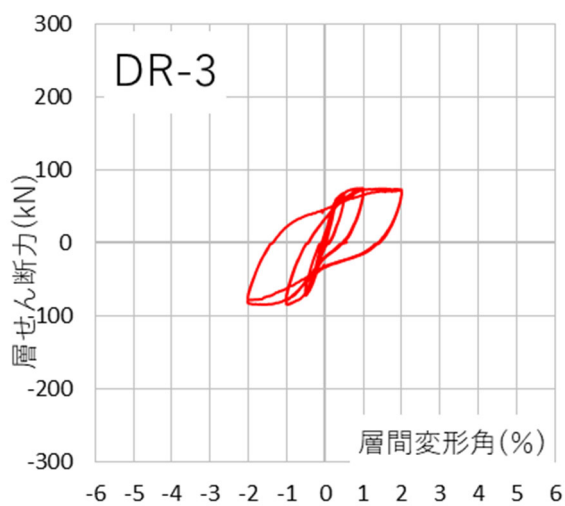
Cycle	DR-3	
	Q (kN)	R (%)
+7	73.3	2.008
-7	-82.2	-2.011



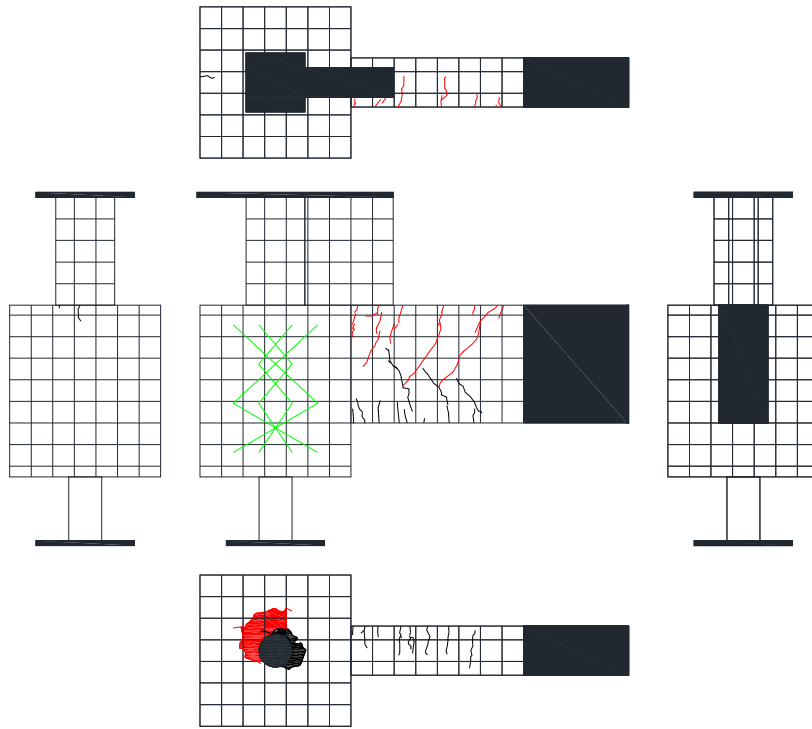
図・写真 3.2.3-39 試験体 DR-3 ひび割れ状況 (7Cycle)



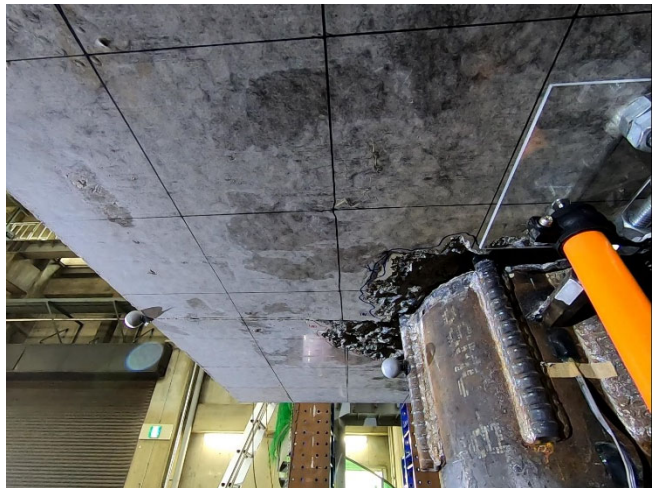
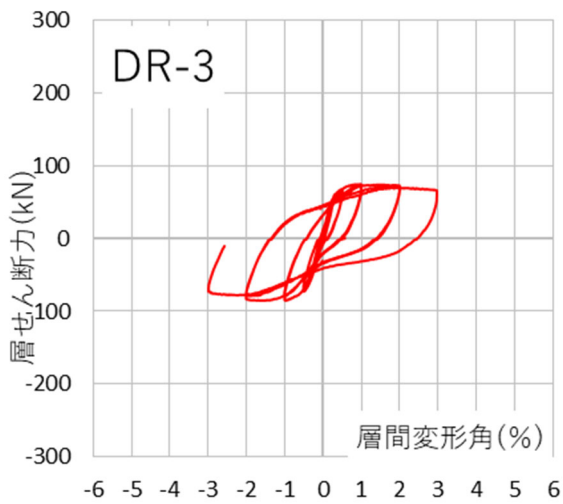
Cycle	DR-3	
	Q (kN)	R (%)
+8	70.5	2.01
-8	-77.1	-2.003



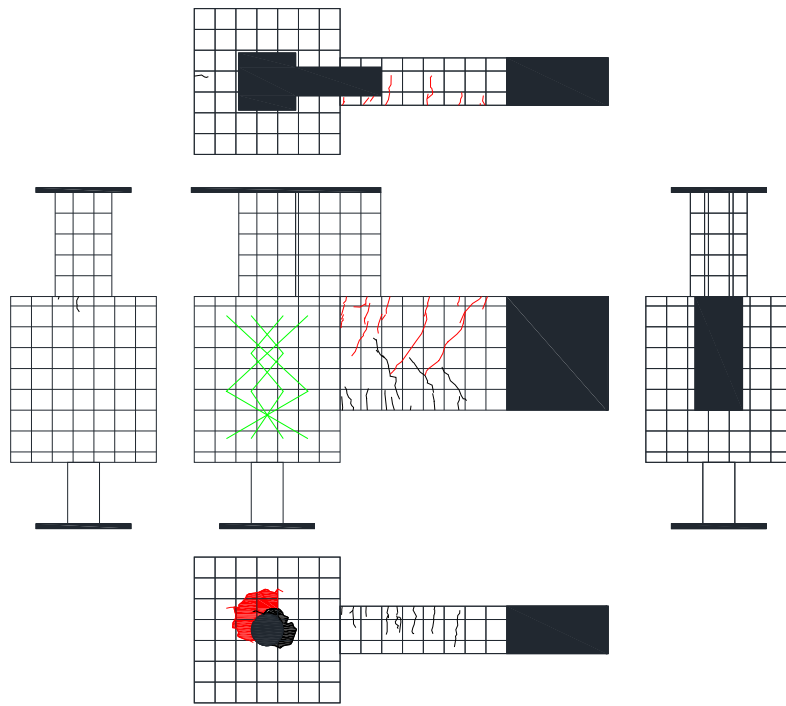
図・写真 3.2.3-40 試験体 DR-3 ひび割れ状況 (8Cycle)



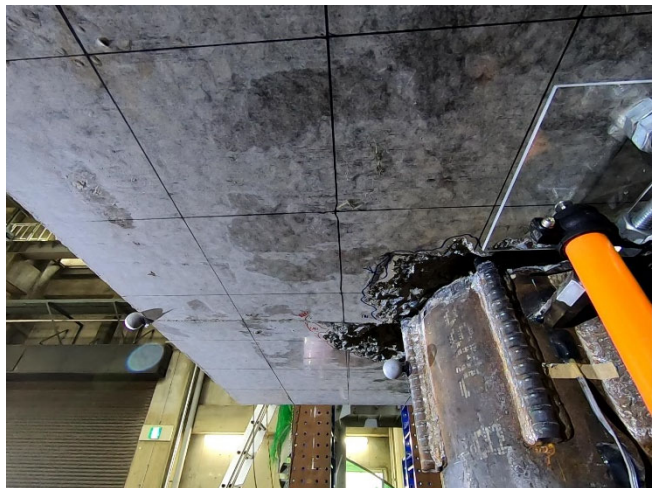
Cycle	DR-3	
	Q (kN)	R (%)
+9	64.3	2.983
-9	-71.9	-2.993



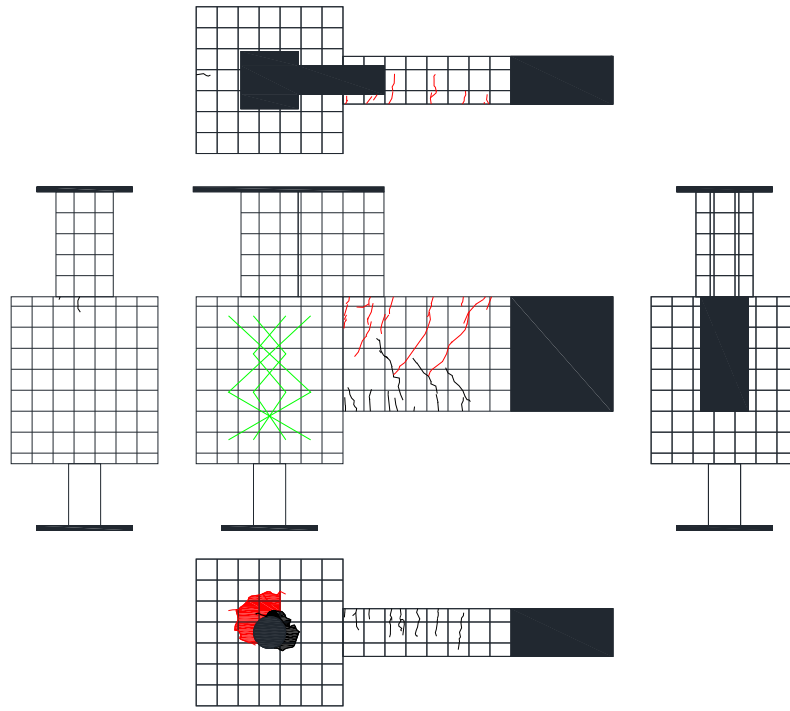
図・写真 3. 2. 3-41 試験体 DR-3 ひび割れ状況 (9Cycle)



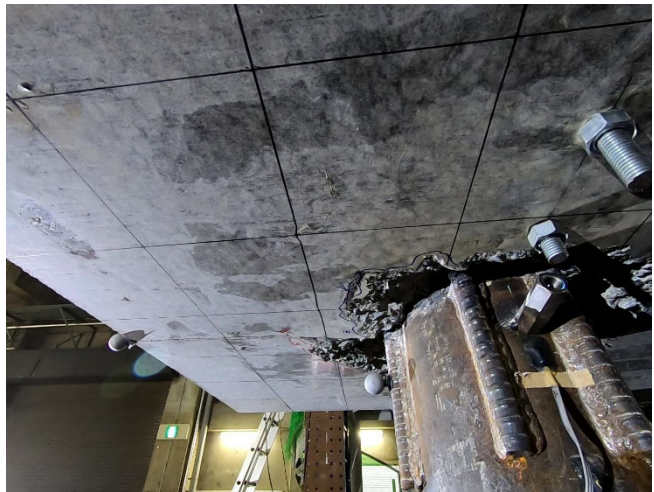
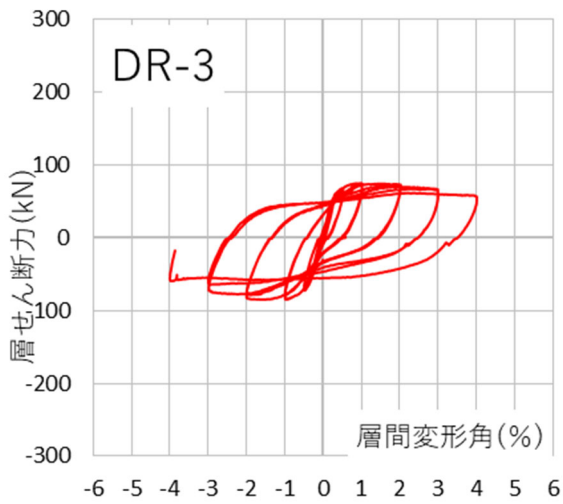
Cycle	DR-3	
	Q (kN)	R (%)
+10	64.3	2.984
-10	-61.8	-3.005



図・写真 3.2.3-42 試験体 DR-3 ひび割れ状況 (10Cycle)

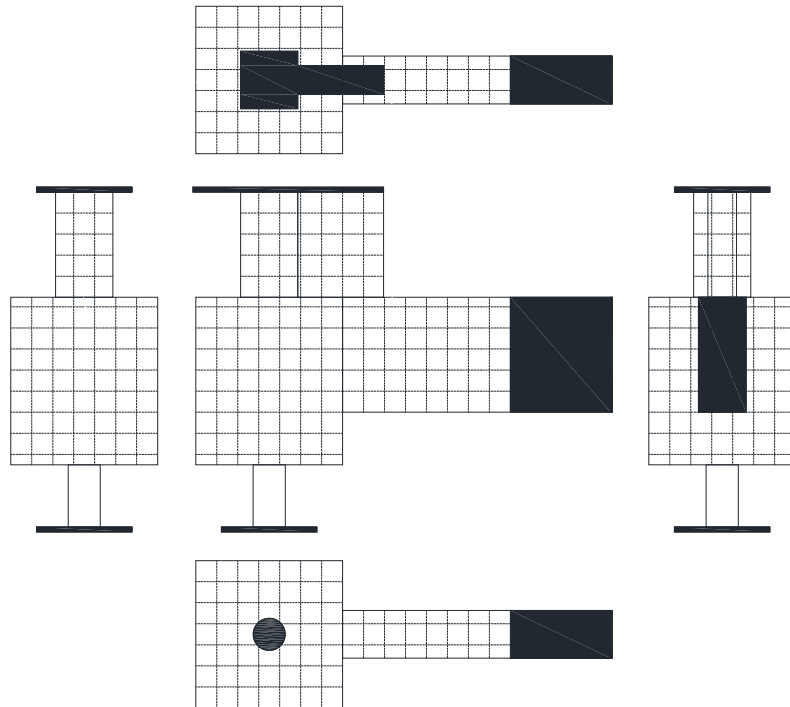


Cycle	DR-3	
	Q (kN)	R (%)
+11	55.9	3.997
-11	-56.3	-4.005

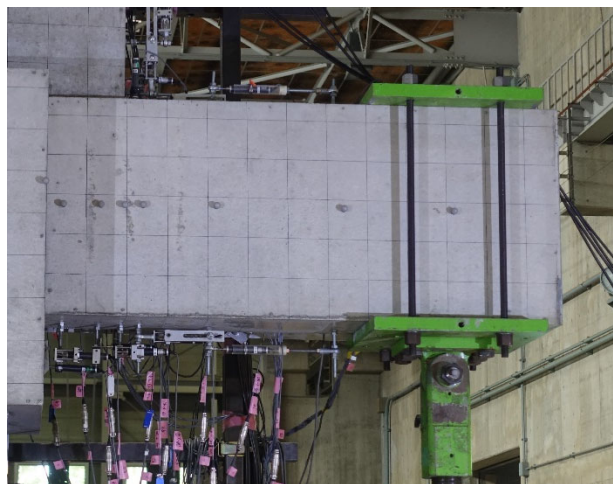
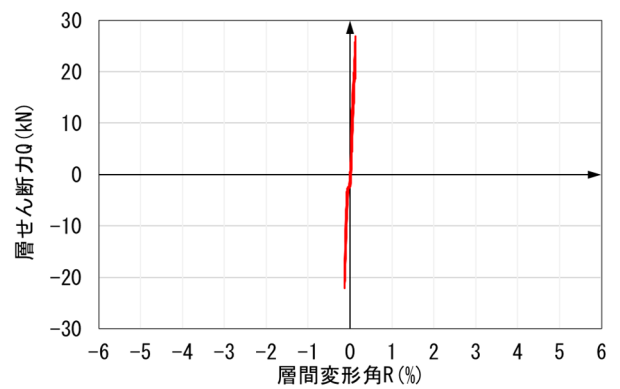


図・写真 3. 2. 3-43 試験体 DR-3 ひび割れ状況 (11Cycle)

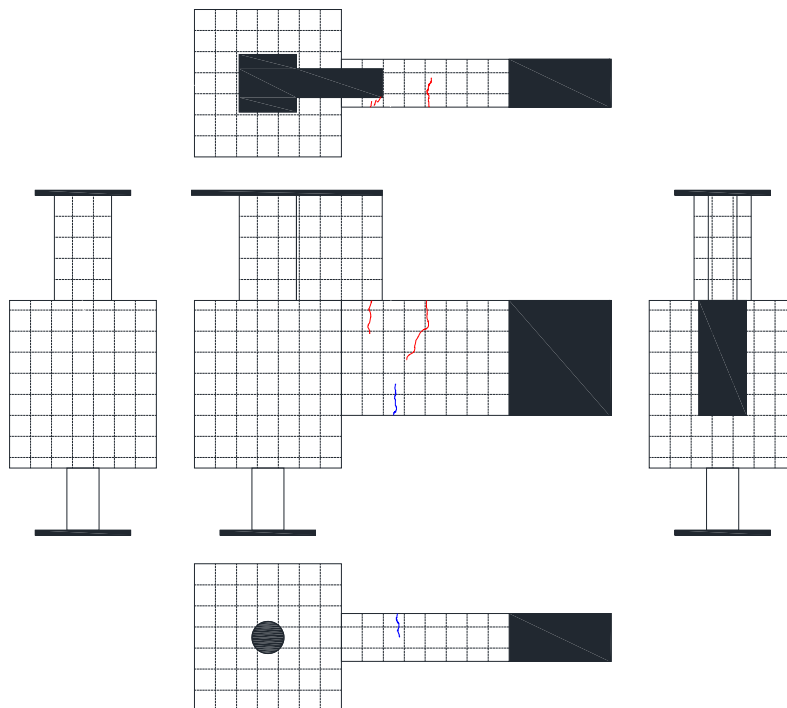
● 試験体 DR-4



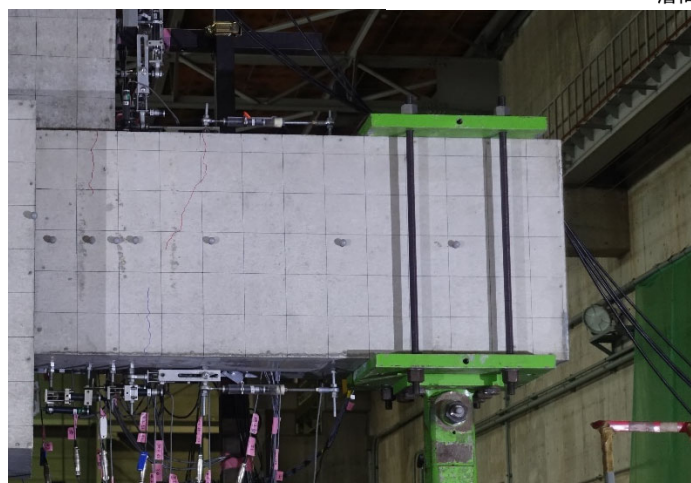
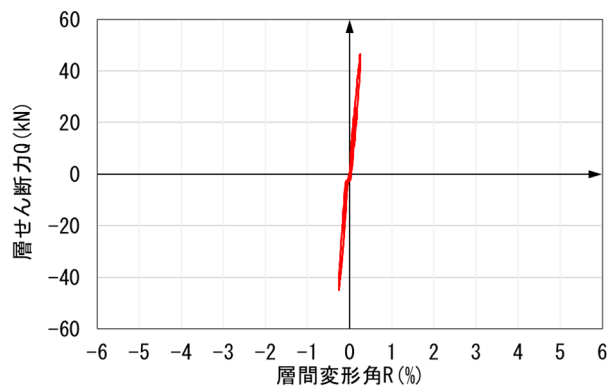
Cycle	DR-4	
	Q(kN)	R(%)
+1	26.875	0.128333
-1	-21.875	-0.12875



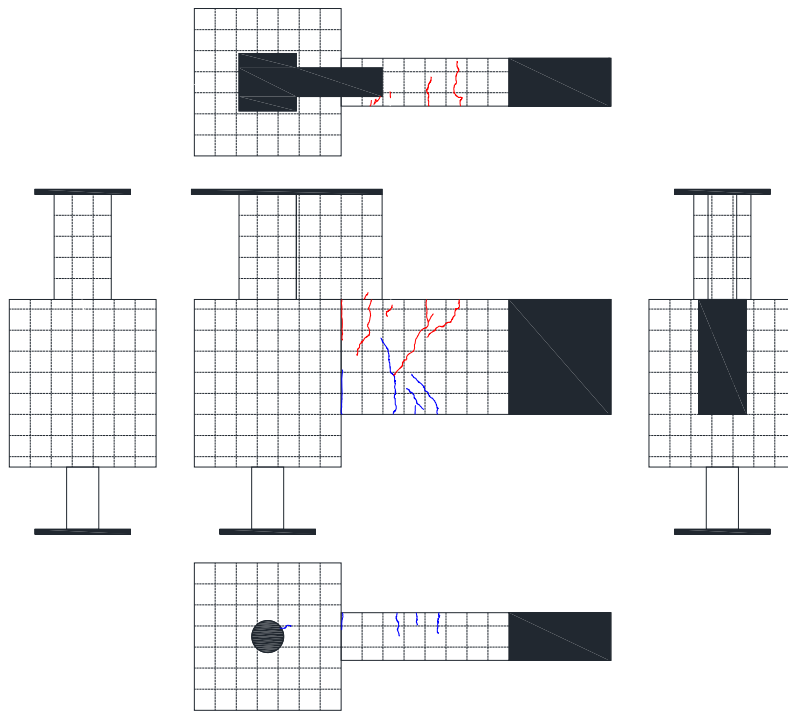
図・写真 3.2.3-44 試験体 DR-4 ひび割れ状況 (1Cycle)



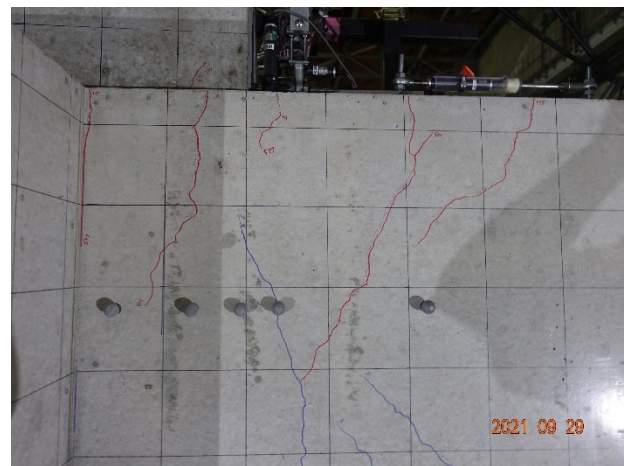
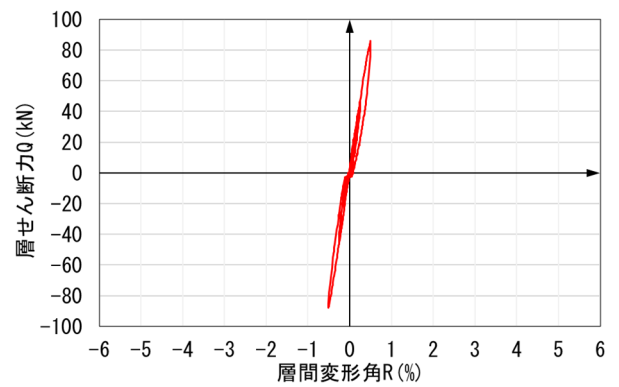
Cycle	DR-4	
	Q(kN)	R(%)
+2	46.4375	0.249167
-2	-44.6875	-0.25542



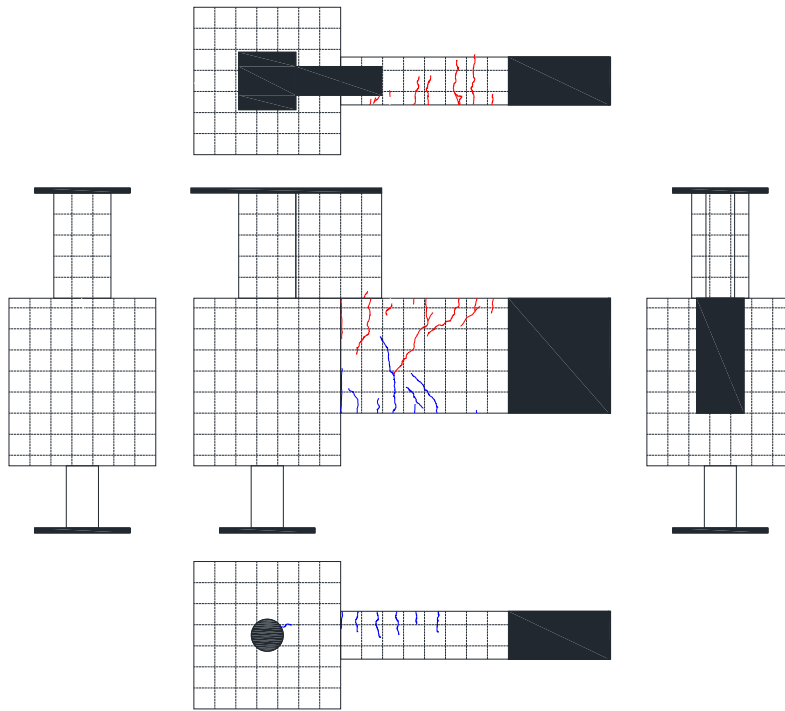
図・写真 3. 2. 3-45 試験体 DR-4 ひび割れ状況 (2Cycle)



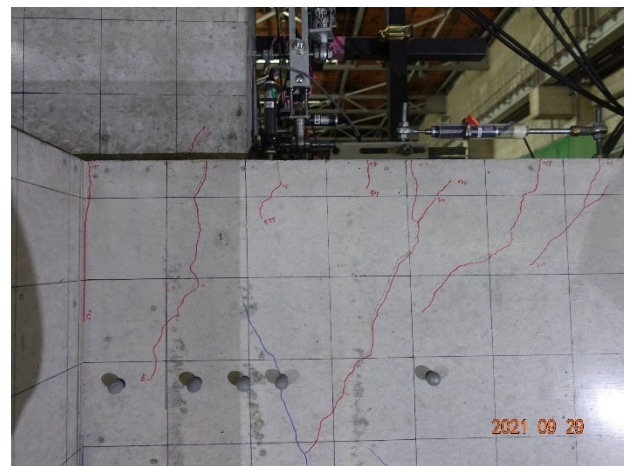
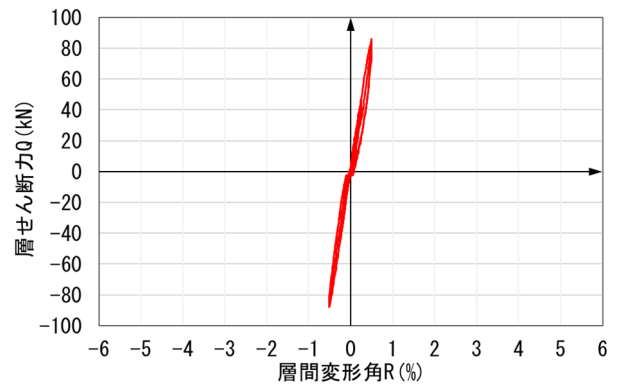
Cycle	DR-4	
	Q(kN)	R(%)
+3	84.5625	0.498333
-3	-87.375	-0.5075



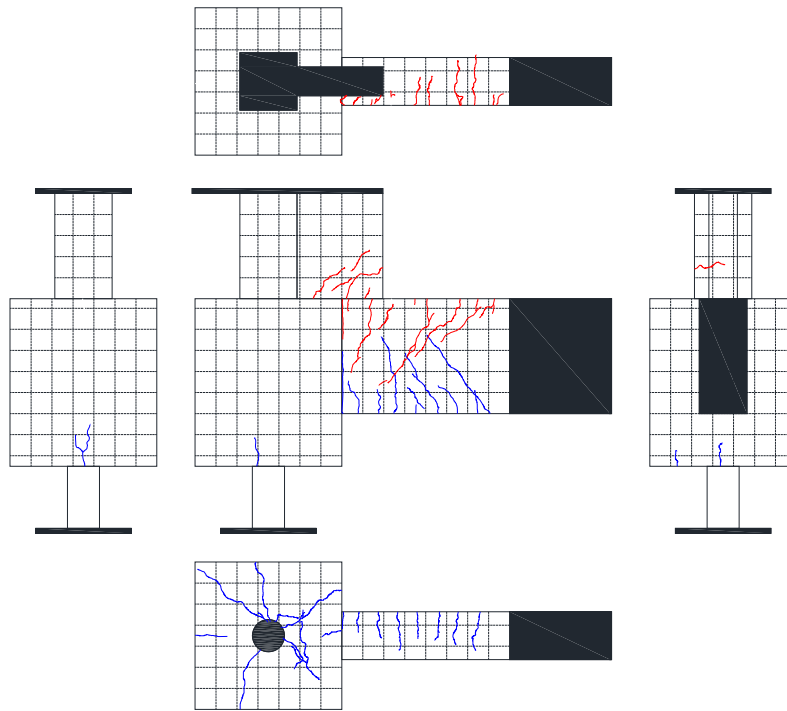
図・写真 3. 2. 3-46 試験体 DR-4 ひび割れ状況 (3Cycle)



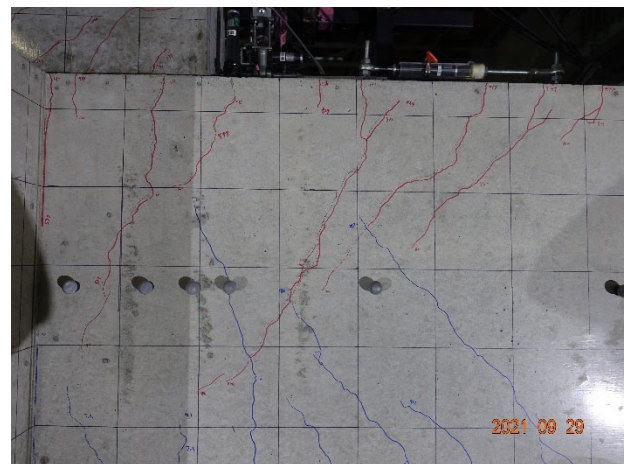
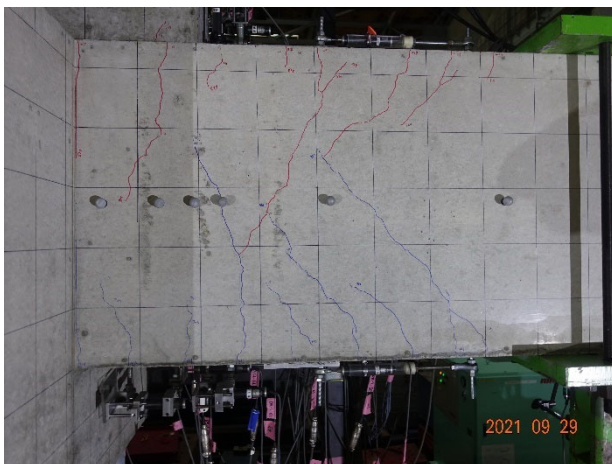
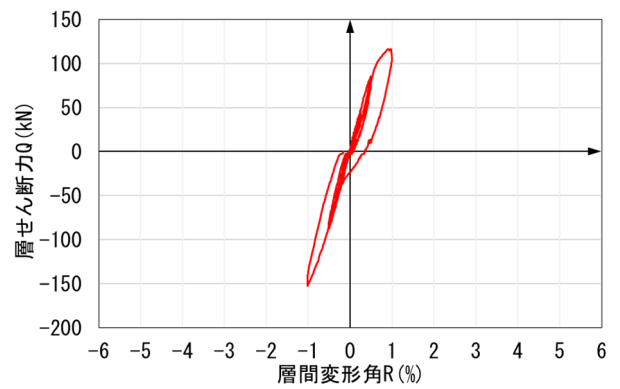
Cycle	DR-4	
	Q(kN)	R(%)
+4	80.1875	0.494167
-4	-86.125	-0.50917



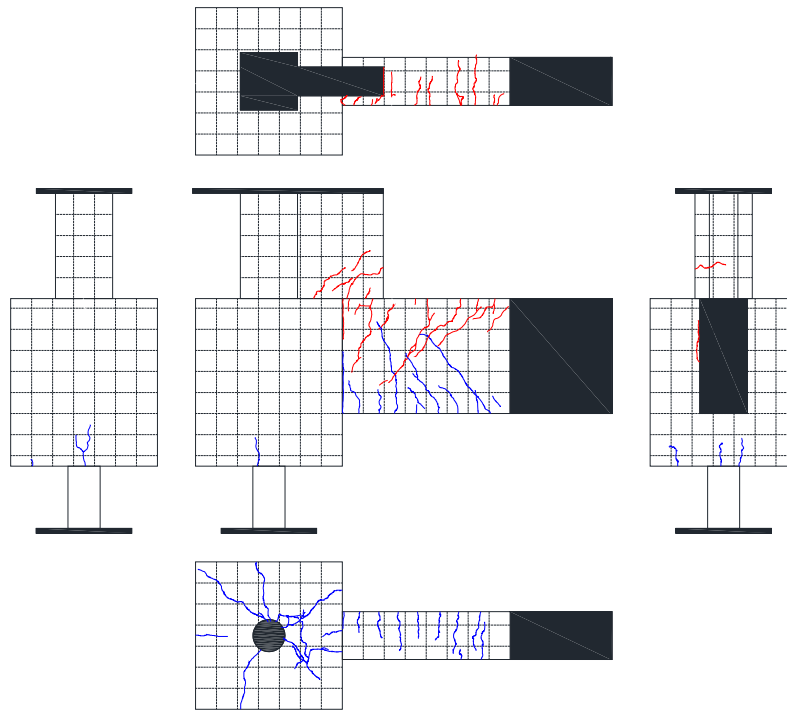
図・写真 3. 2. 3-47 試験体 DR-4 ひび割れ状況 (4Cycle)



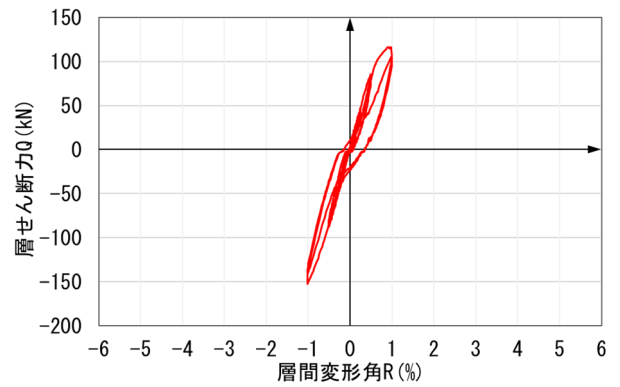
Cycle	DR-4	
	Q(kN)	R(%)
+5	113.75	0.989167
-5	-149.563	-1.01417



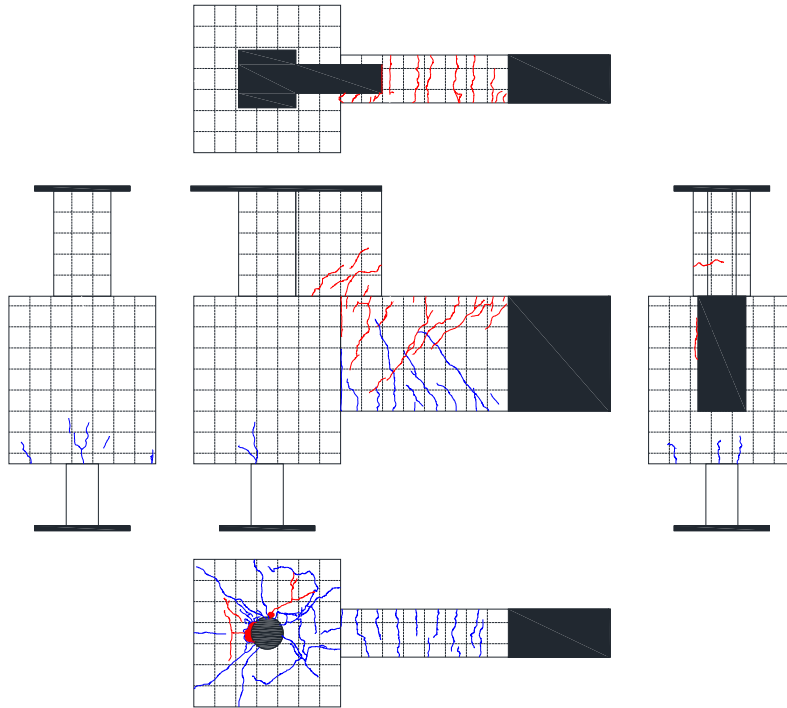
図・写真 3. 2. 3-48 試験体 DR-4 ひび割れ状況 (5Cycle)



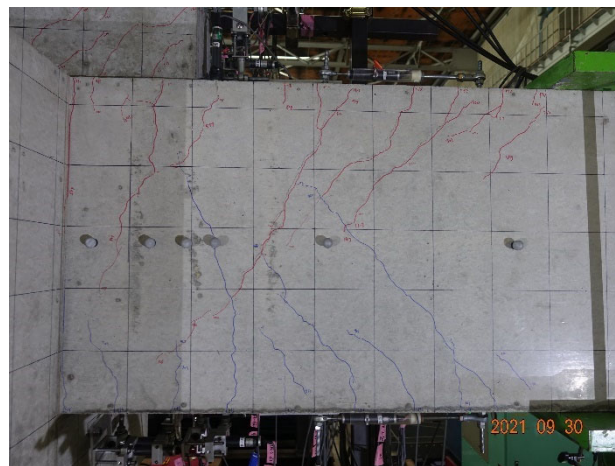
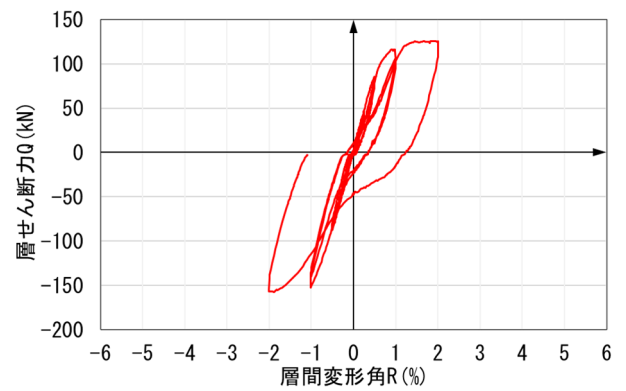
Cycle	DR-4	
	Q(kN)	R(%)
+6	105	1.0025
-6	-140.813	-1.01208



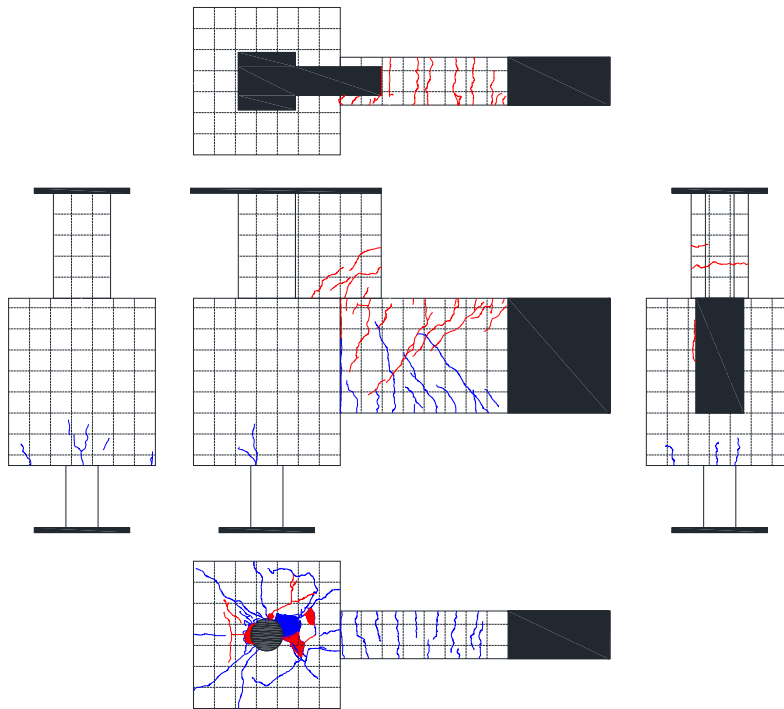
図・写真 3. 2. 3-49 試験体 DR-4 ひび割れ状況 (6Cycle)



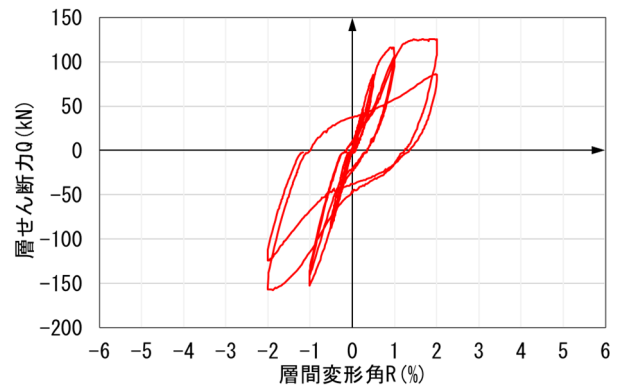
Cycle	DR-4	
	Q(kN)	R(%)
+7	123.4375	2.007917
-7	-154.25	-2.00542



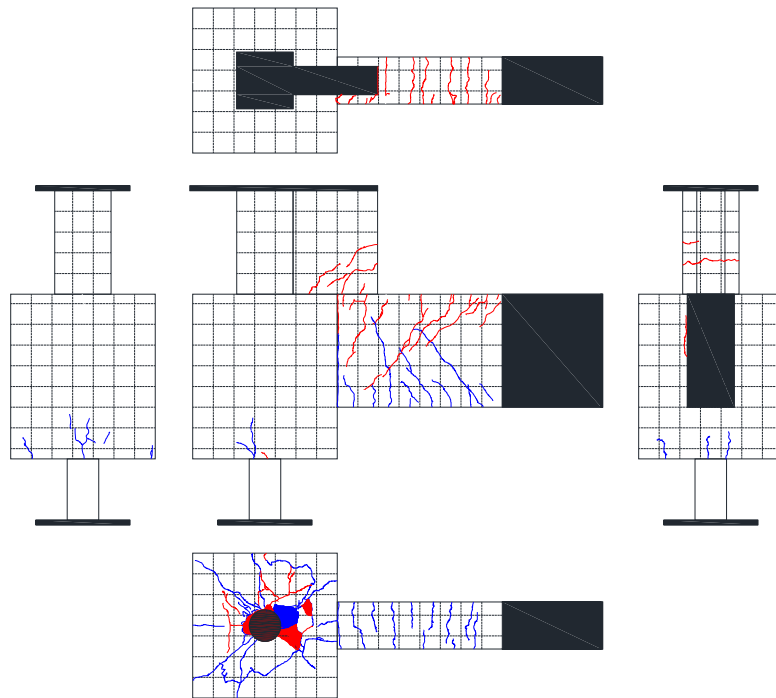
図・写真 3. 2. 3-50 試験体 DR-4 ひび割れ状況 (7Cycle)



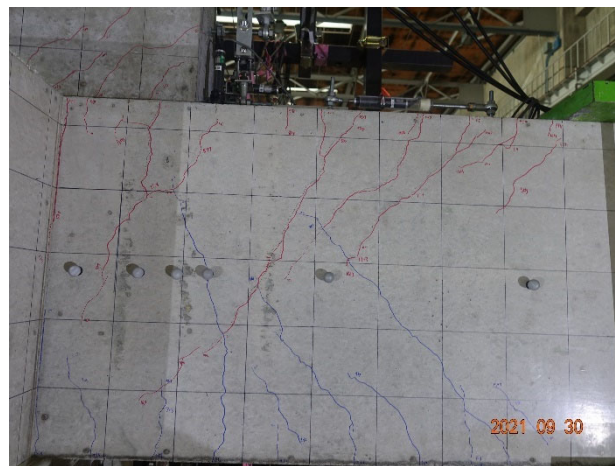
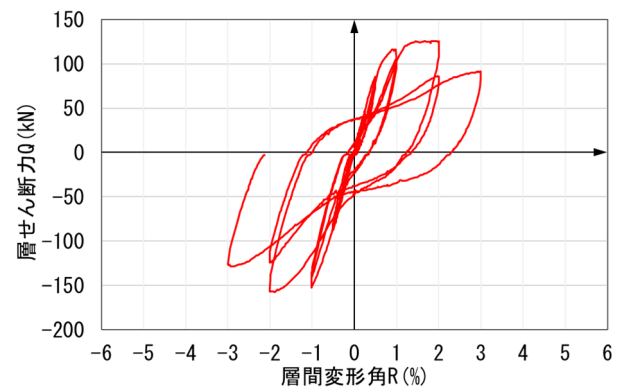
Cycle	DR-4	
	Q(kN)	R(%)
+8	84.5625	1.999583
-8	-123.125	-2.00792



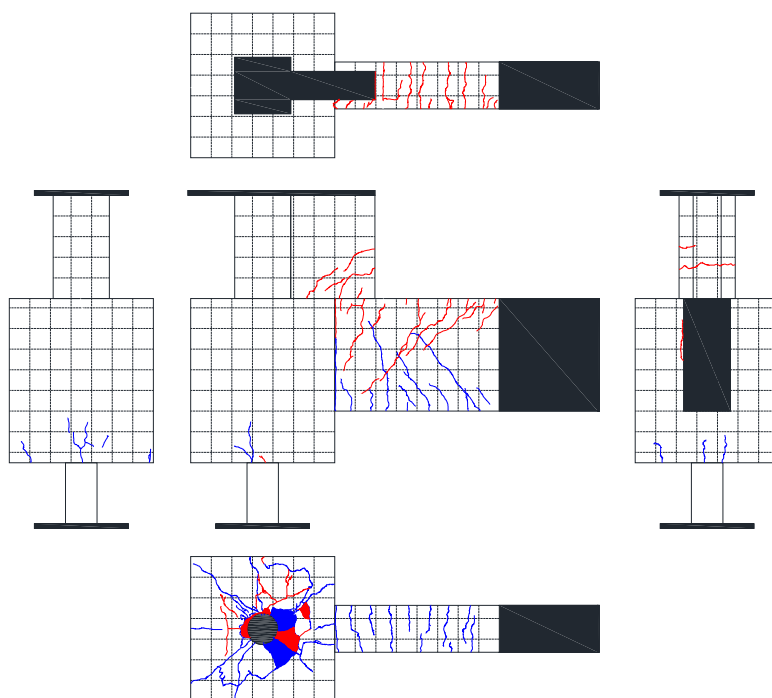
図・写真 3. 2. 3-51 試験体 DR-4 ひび割れ状況 (8Cycle)



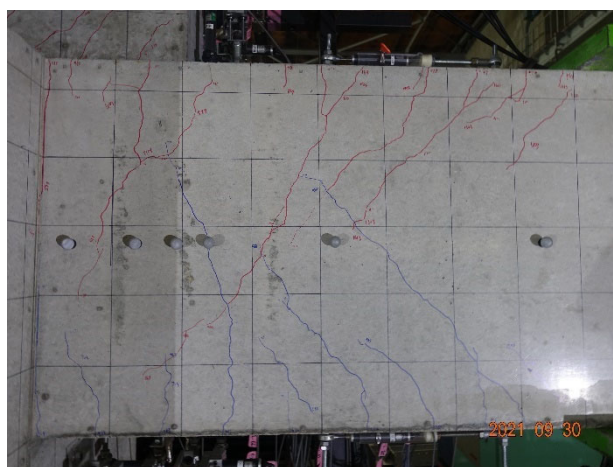
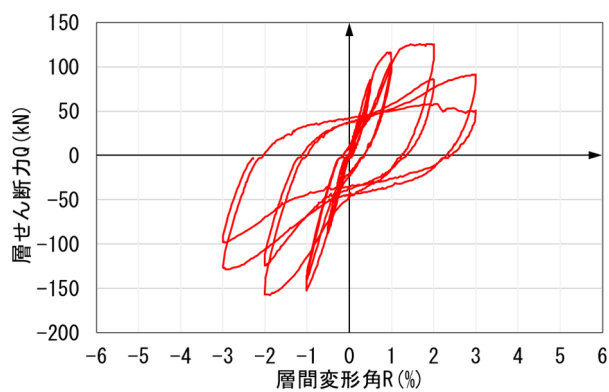
Cycle	DR-4	
	Q(kN)	R(%)
+9	89.0625	3.002917
-9	-124.688	-3.00333



図・写真 3. 2. 3-52 試験体 DR-4 ひび割れ状況 (9Cycle)

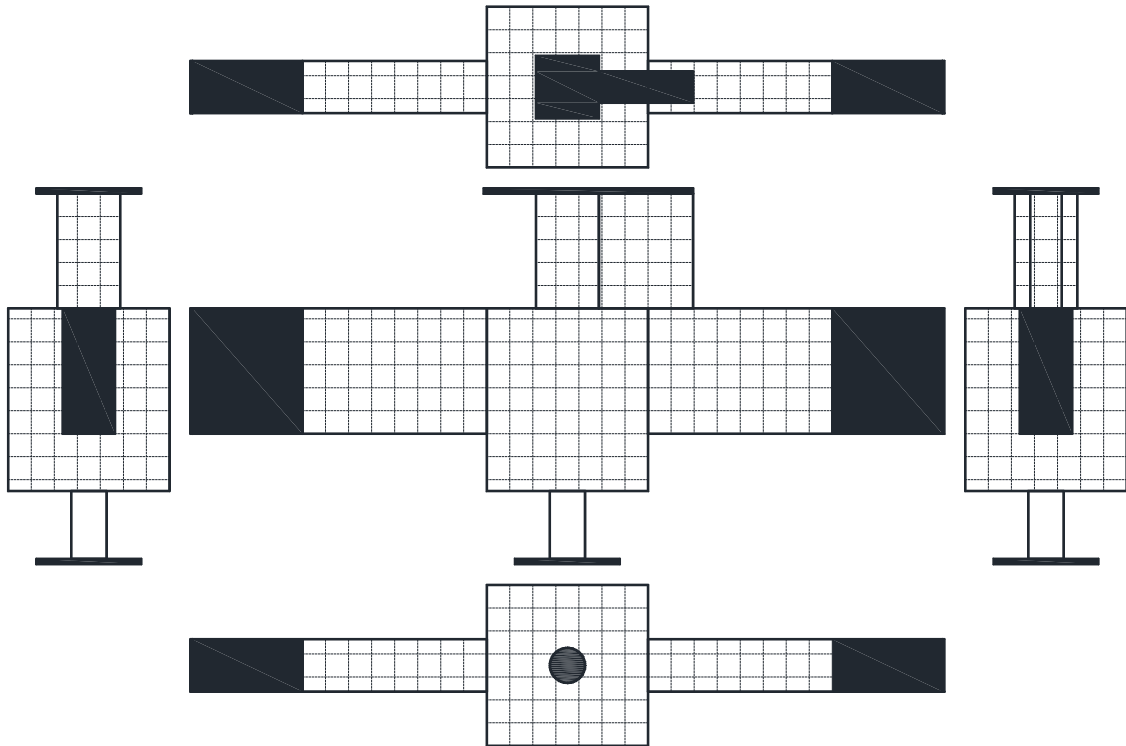


Cycle	DR-4	
	Q(kN)	R(%)
+10	48.625	2.999583
-10	-96.75	-3.00167

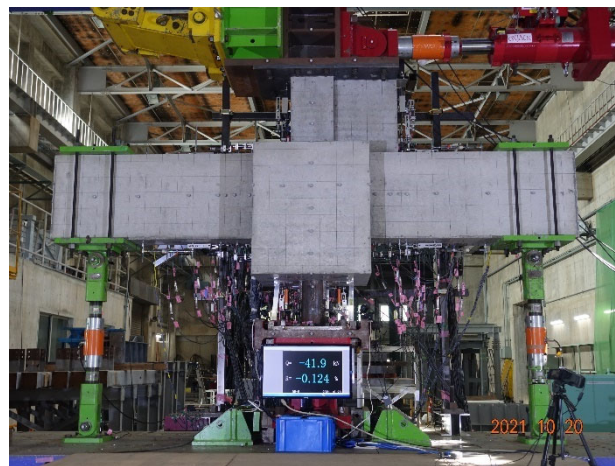
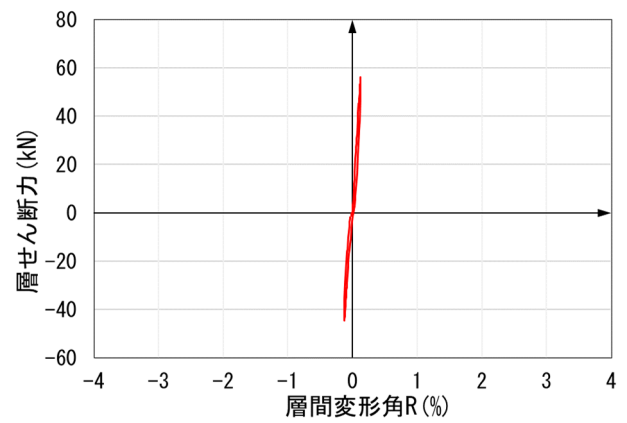


図・写真 3. 2. 3-53 試験体 DR-4 ひび割れ状況 (10Cycle)

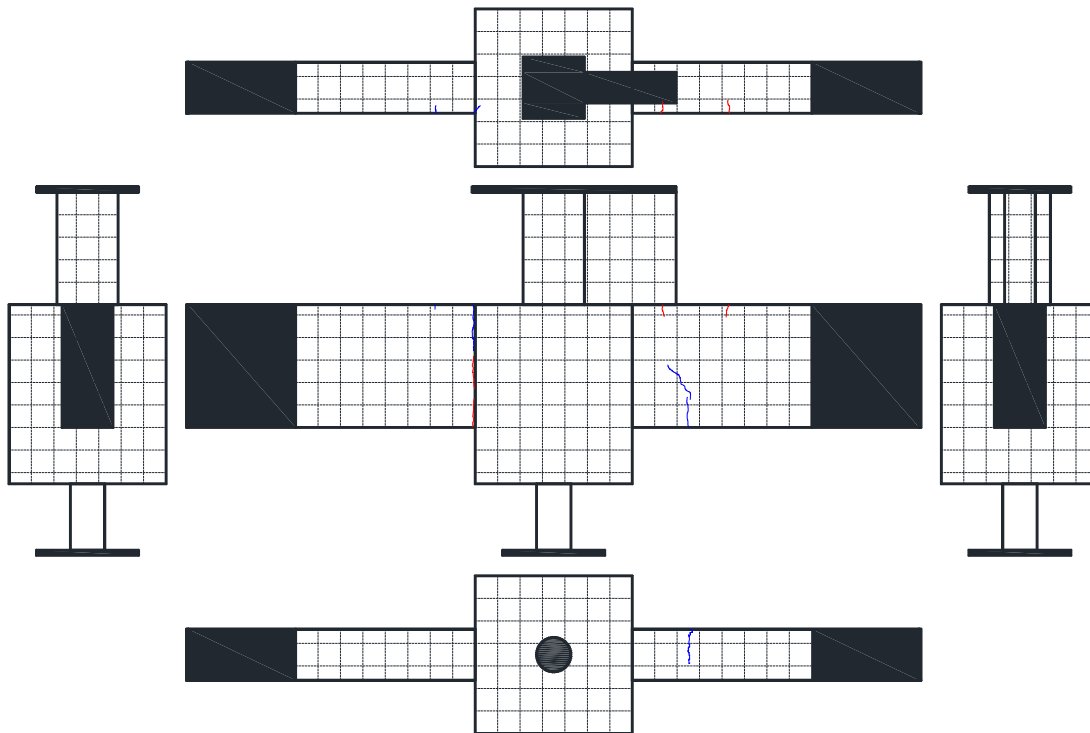
● 試験体 DR-5



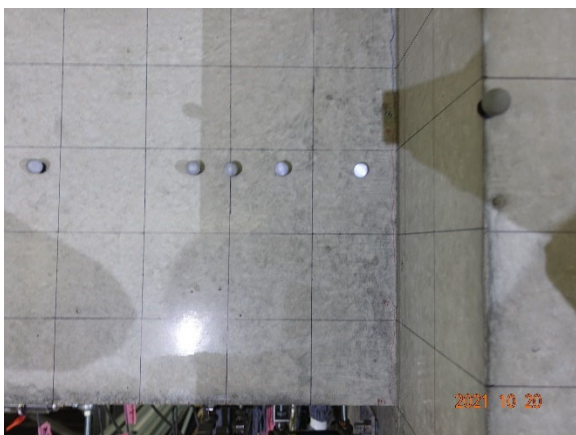
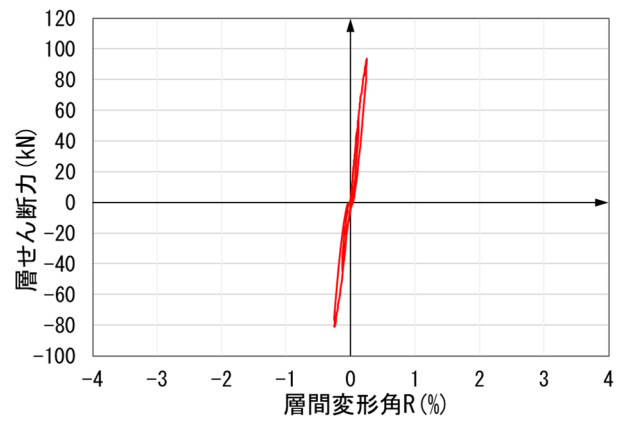
Cycle	DR-5	
	Q(kN)	R(%)
+1	55.8125	0.125
-1	-44.5625	-0.12458



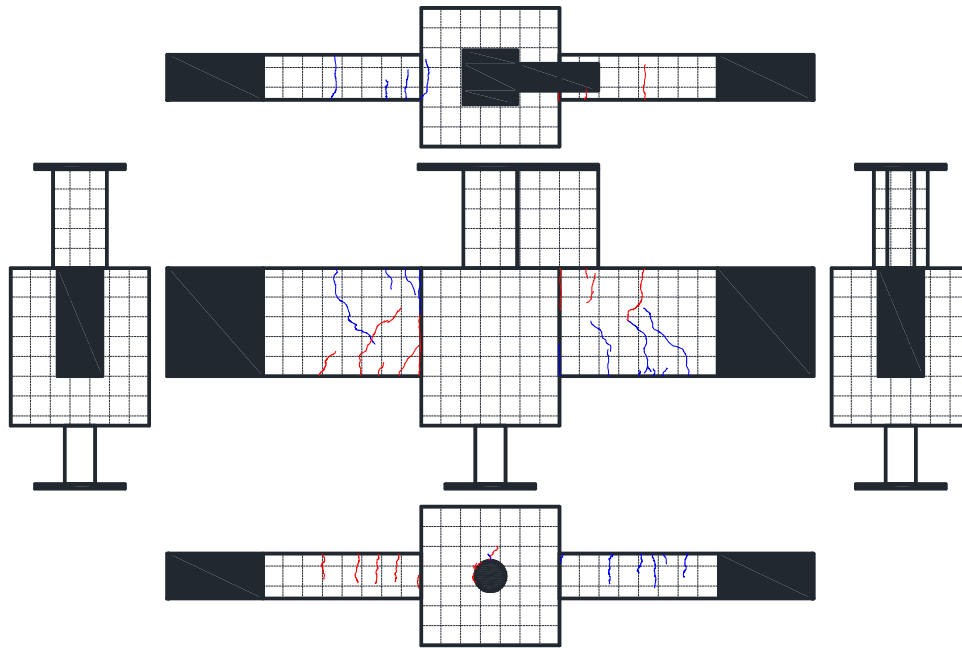
図・写真 3.2.3-54 試験体 DR-5 ひび割れ状況 (1Cycle)



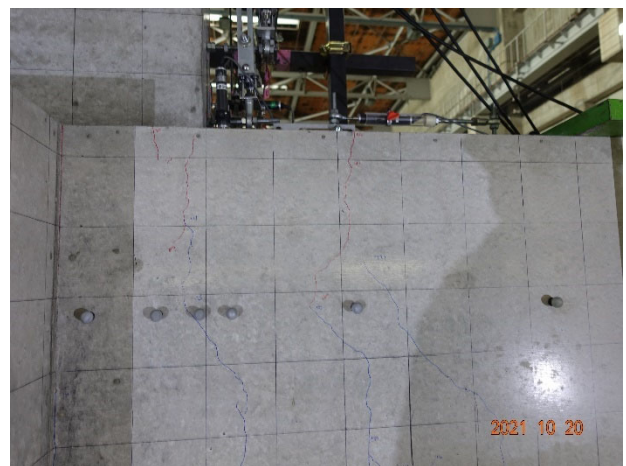
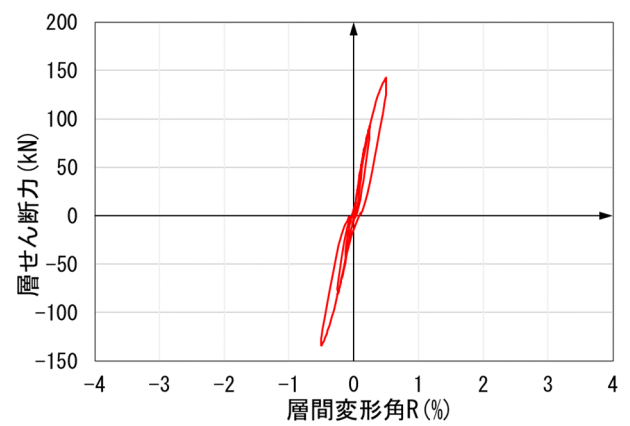
Cycle	DR-5	
	Q(kN)	R(%)
+2	93.5	0.250833
-2	-81	-0.25042



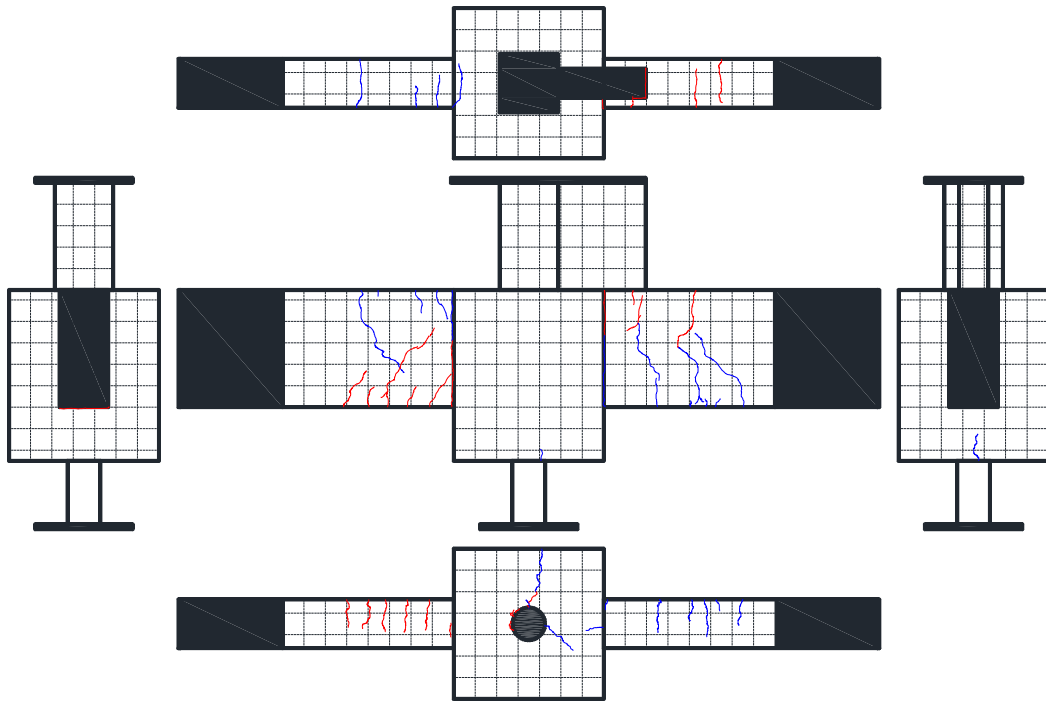
図・写真 3. 2. 3-55 試験体 DR-5 ひび割れ状況 (2Cycle)



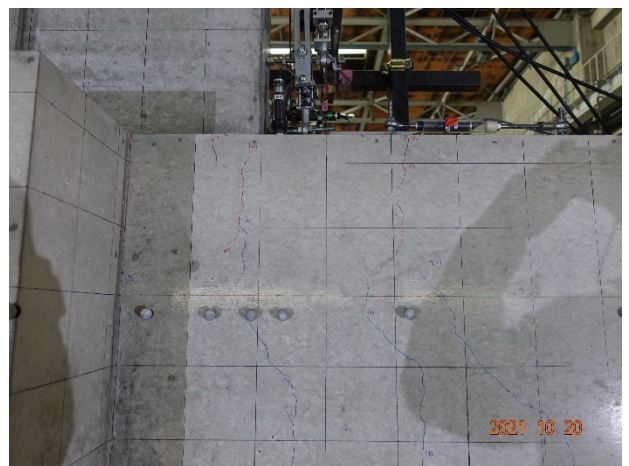
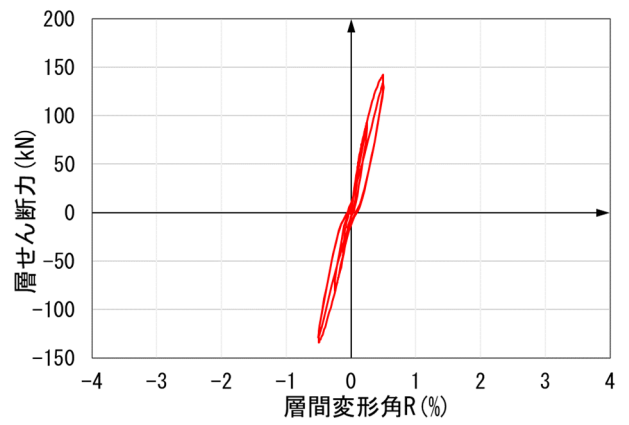
Cycle	DR-5	
	Q(kN)	R(%)
+3	141.4375	0.5
-3	-134.063	-0.50042



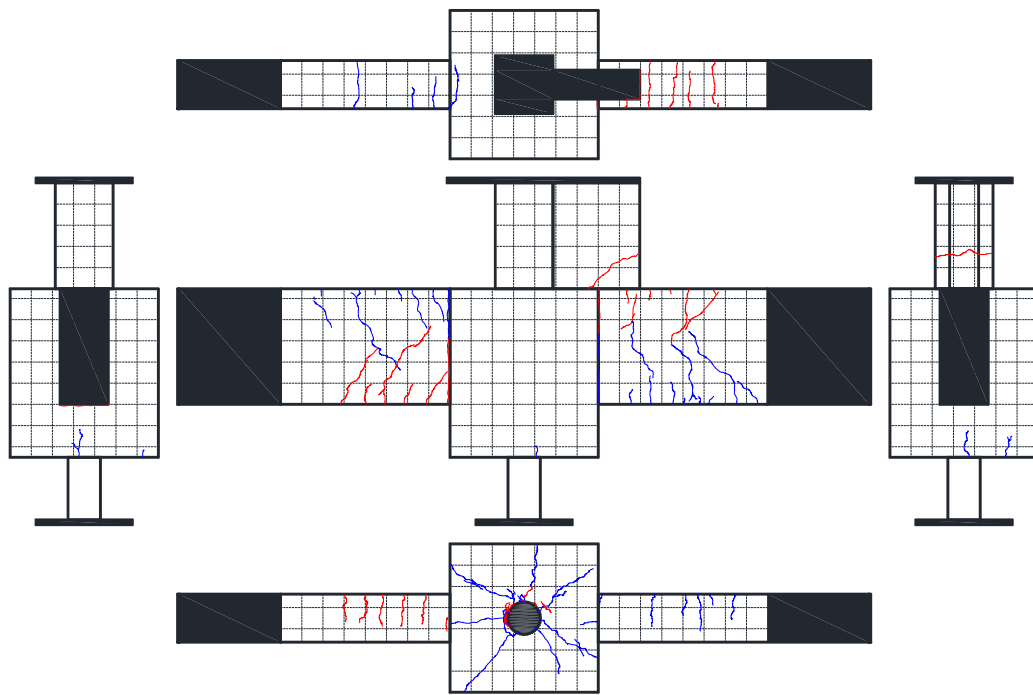
図・写真 3. 2. 3-56 試験体 DR-5 ひび割れ状況 (3Cycle)



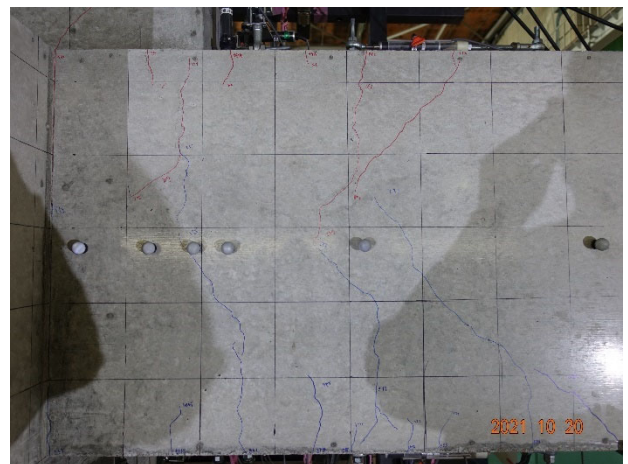
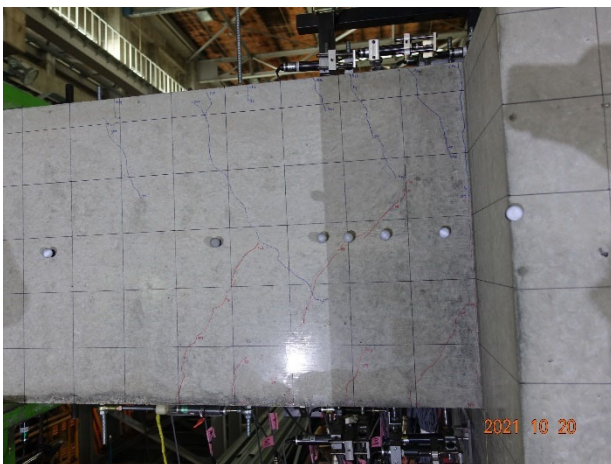
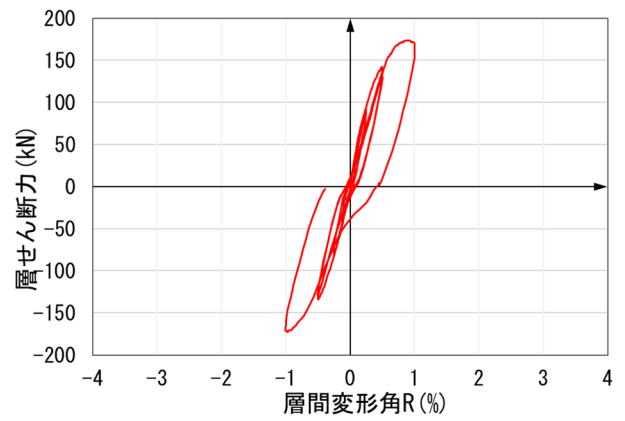
Cycle	DR-5	
	Q(kN)	R(%)
+4	135	0.499583
-4	-128.813	-0.50167



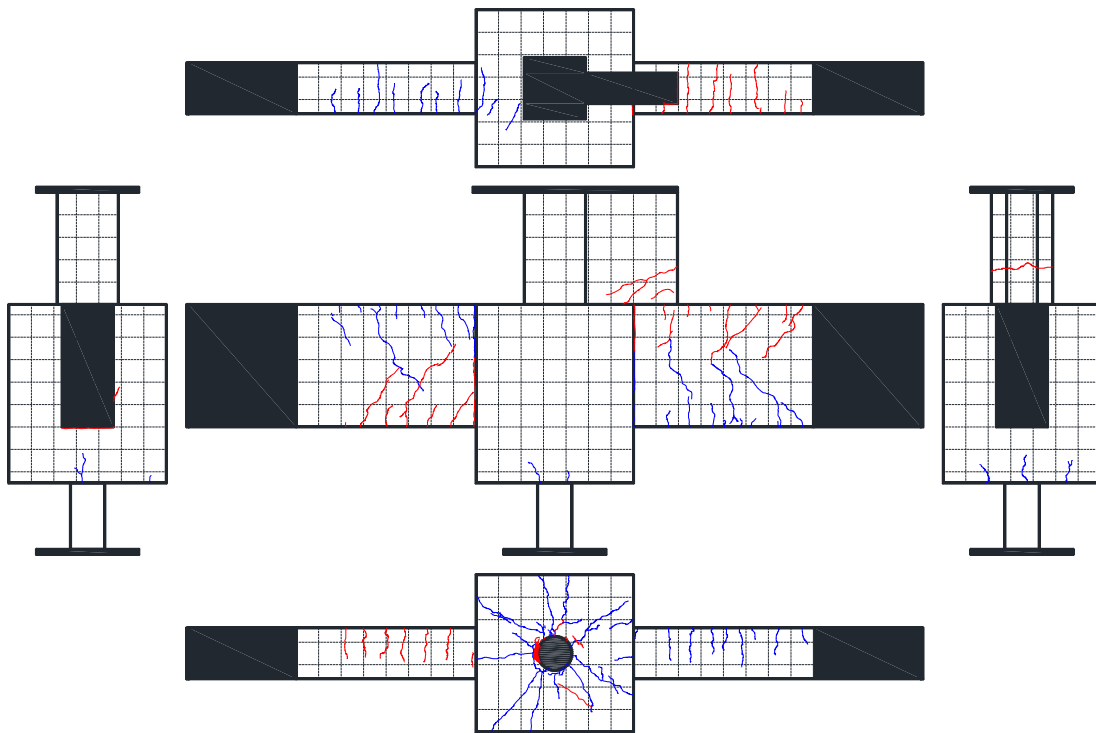
図・写真 3. 2. 3-57 試験体 DR-5 ひび割れ状況 (40cycle)



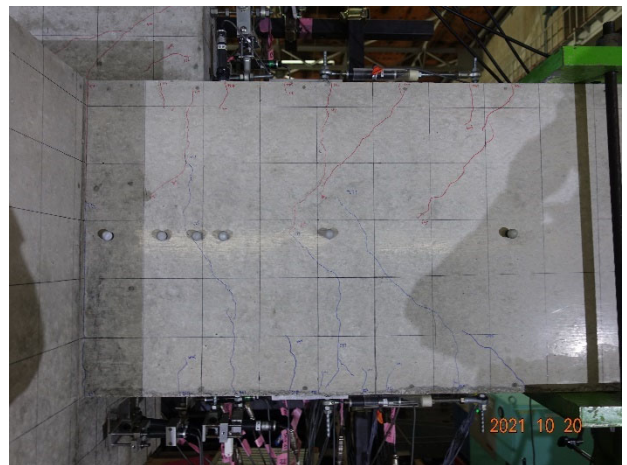
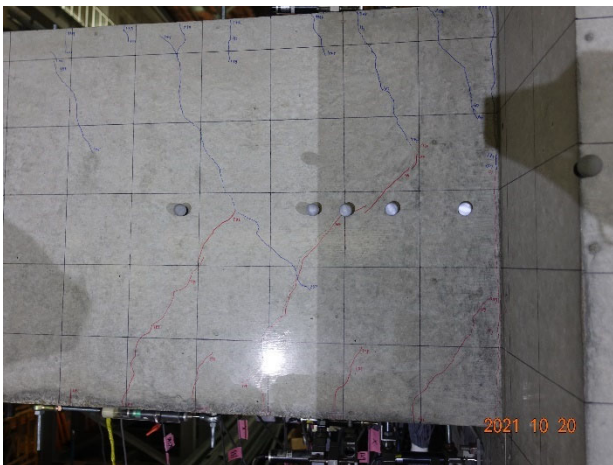
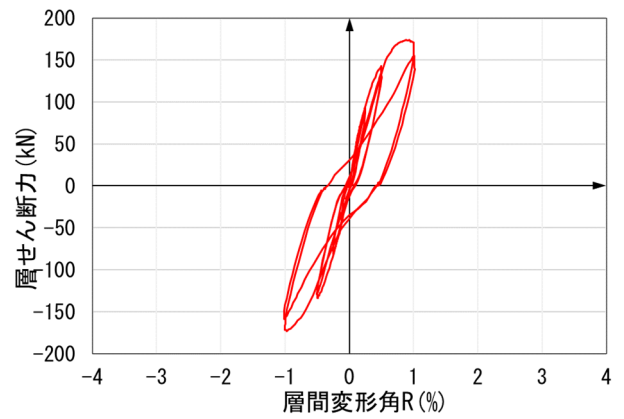
Cycle	DR-5	
	Q(kN)	R(%)
+5	168.75	1.000417
-5	-170.188	-1.00042



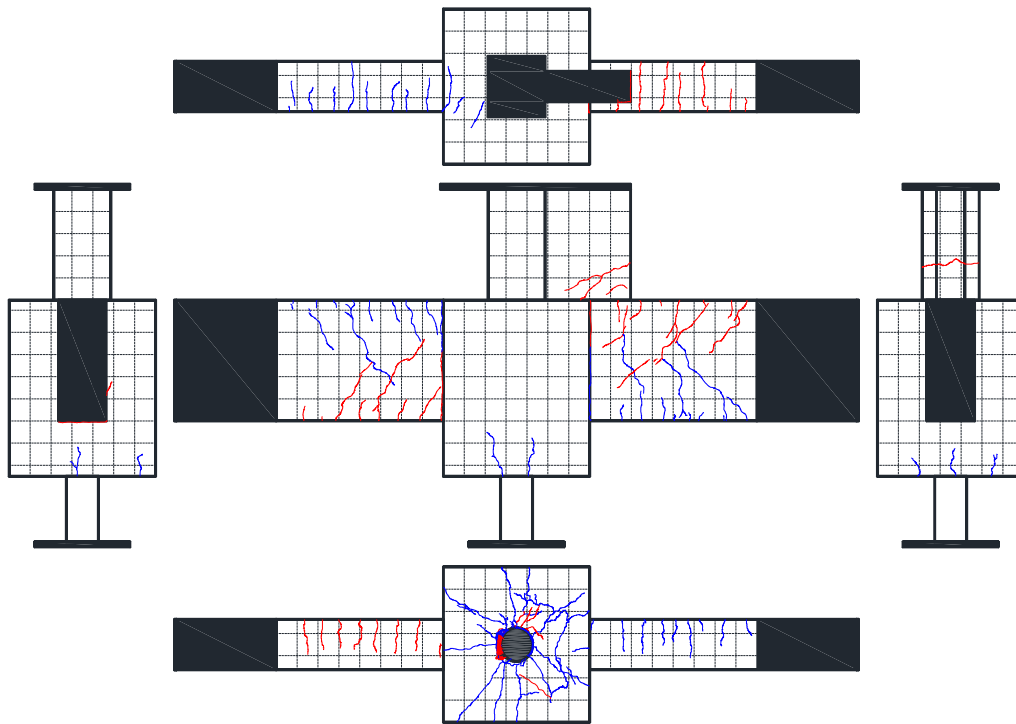
図・写真 3. 2. 3-58 試験体 DR-5 ひび割れ状況 (5Cycle)



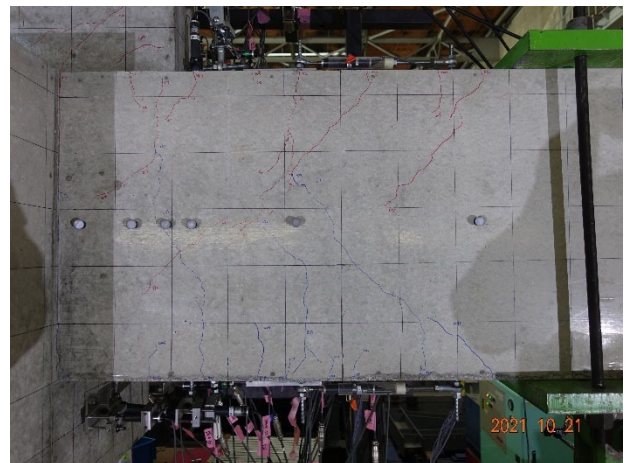
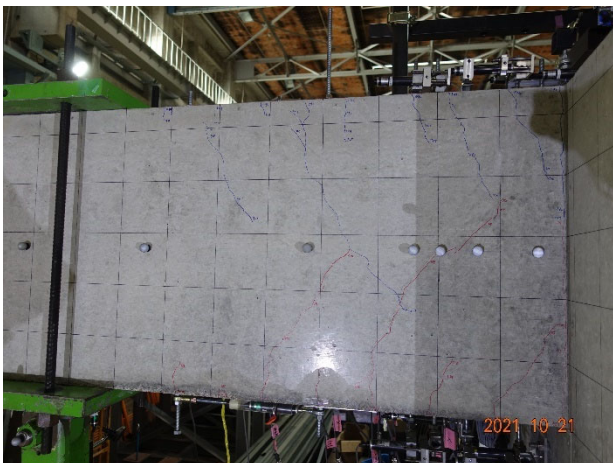
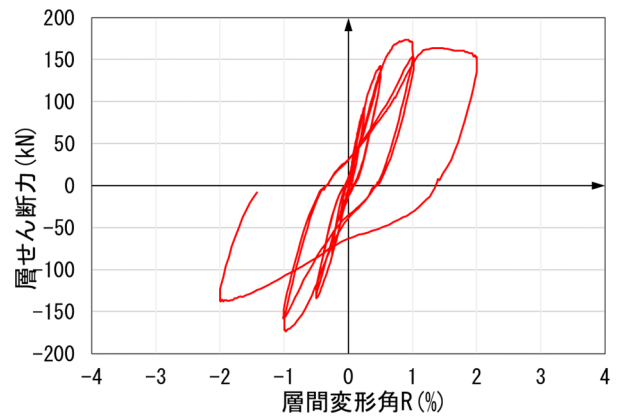
Cycle	DR-5	
	Q(kN)	R(%)
+6	152.375	1.014167
-6	-157.813	-1.01375



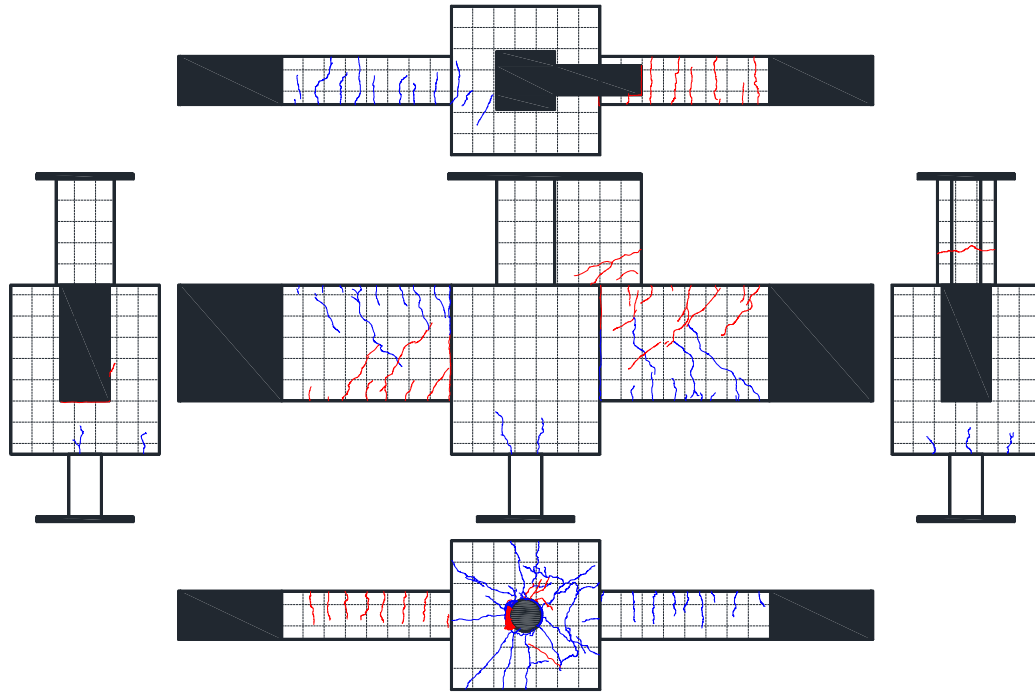
図・写真 3. 2. 3-59 試験体 DR-5 ひび割れ状況 (6Cycle)



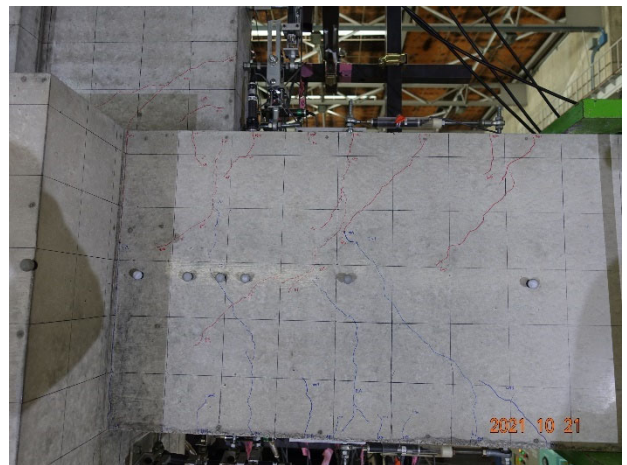
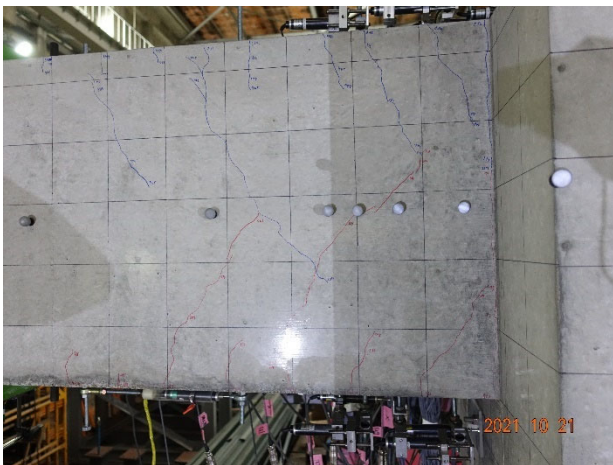
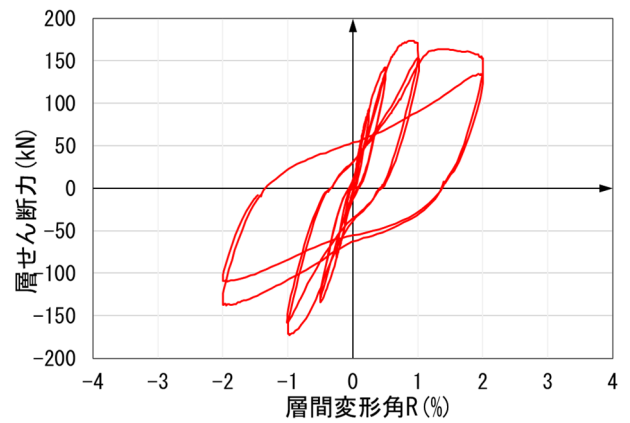
Cycle	DR-5	
	Q(kN)	R(%)
+7	150.9375	2.002083
-7	-136.125	-2.00083



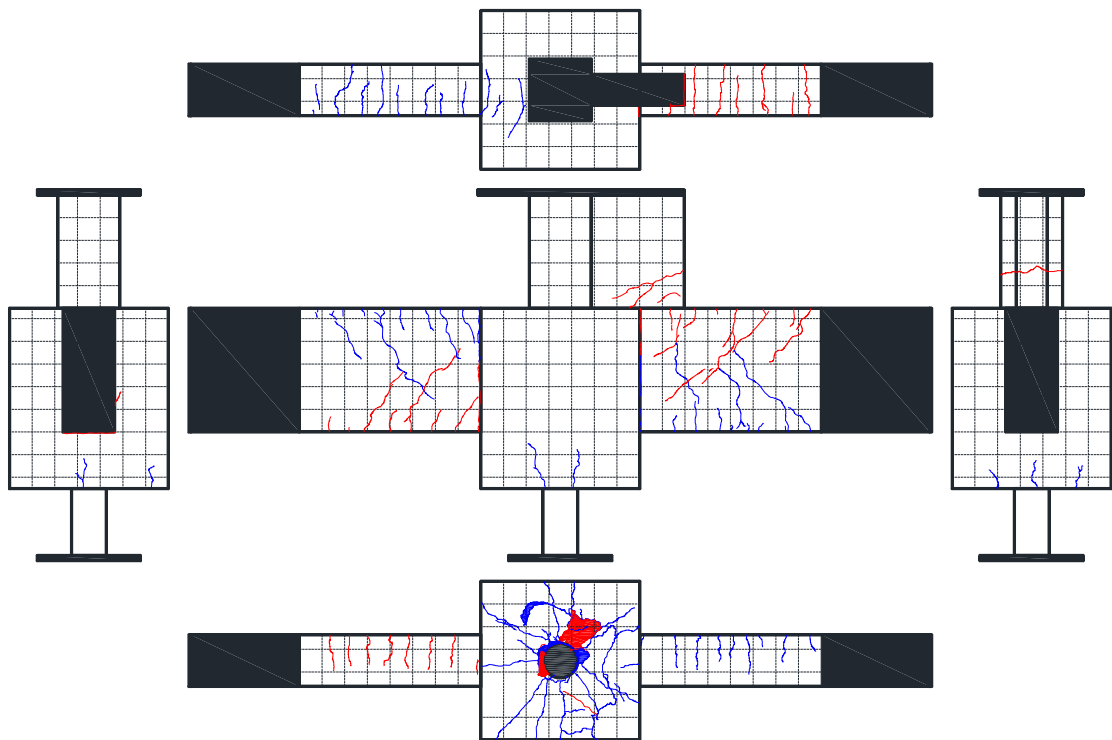
図・写真 3.2.3-60 試験体 DR-5 ひび割れ状況 (7Cycle)



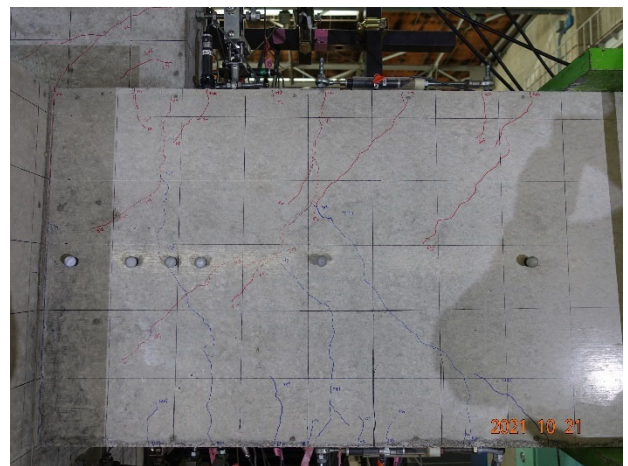
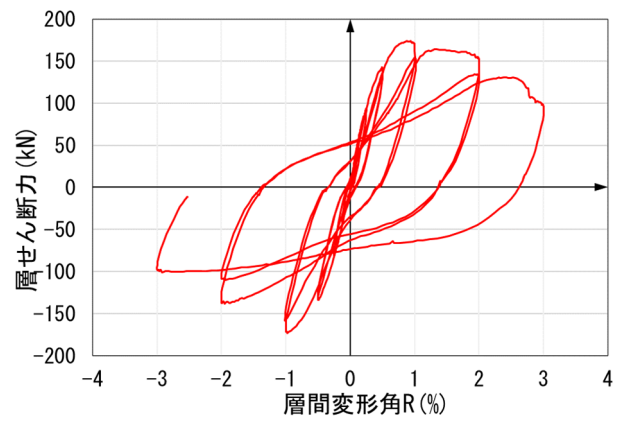
Cycle	DR-5	
	Q(kN)	R(%)
+8	132.6875	2.0025
-8	-109.063	-2.00167



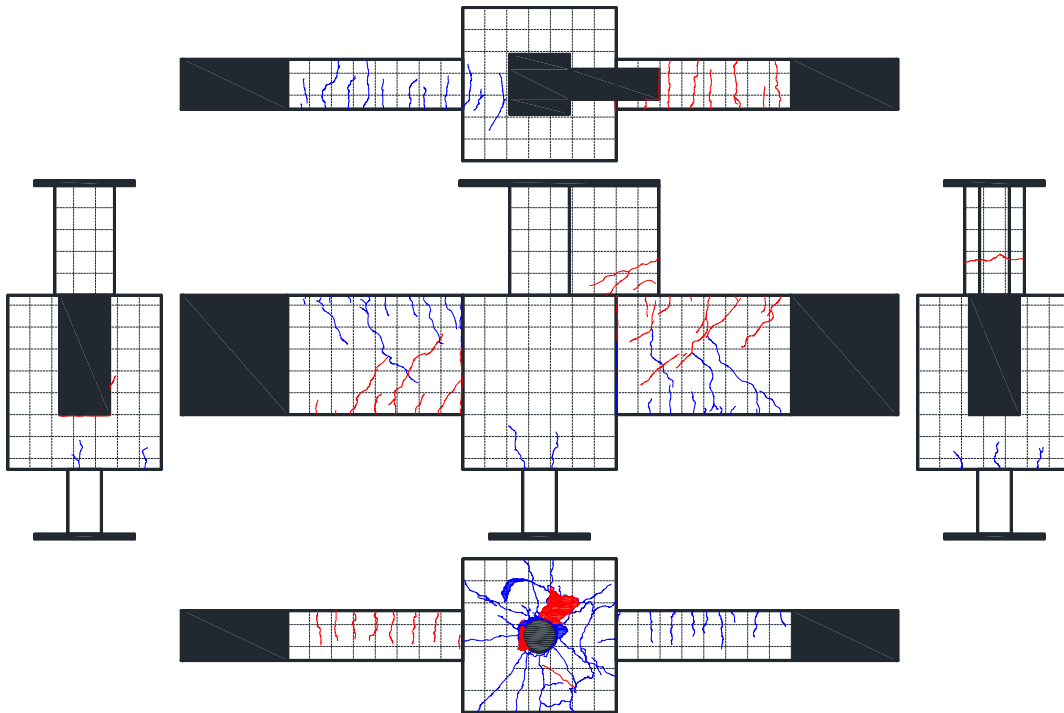
図・写真 3. 2. 3-61 試験体 DR-5 ひび割れ状況 (8Cycle)



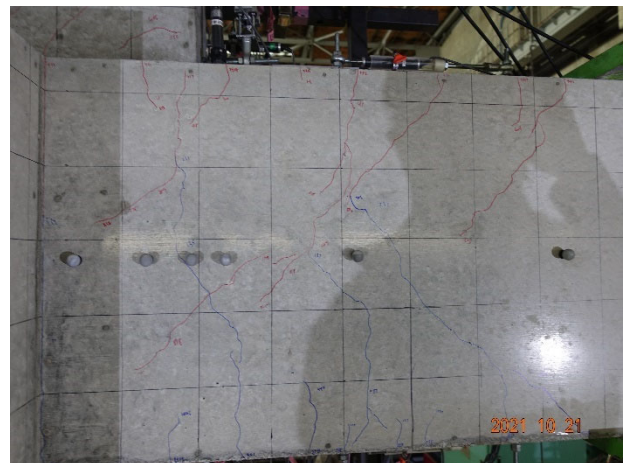
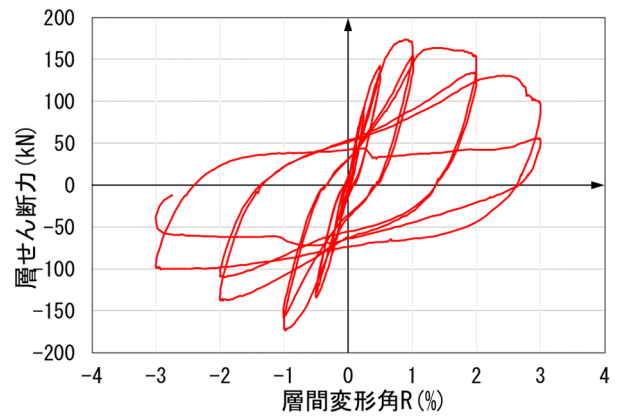
Cycle	DR-5	
	Q(kN)	R(%)
+9	96.25	3.00125
-9	-96.4375	-3.00042



図・写真 3. 2. 3-62 試験体 DR-5 ひび割れ状況 (9Cycle)



Cycle	DR-5	
	Q(kN)	R(%)
+10	54.375	3.00375
-10	-38.75	-3.0025



図・写真 3.2.3-63 試験体 DR-5 ひび割れ状況 (10Cycle)

(3) ひび割れ幅

以下にひび割れ幅について示す。表 3.2.3-7~10, 図 3.2.3-64~73 に試験体 DR-1 を, 表 3.2.3-11~14, 図 3.2.3-74~86 に試験体 DR-2 を, 表 3.2.3-15~18, 図 3.2.3-87~94 に試験体 DR-3 を, 表 3.2.3-19~21, 図 3.2.3-95~103 に試験体 DR-4 を, 表 3.2.3-22~25, 図 3.2.3-104~114 に試験体 DR-5 を示す。

計測方法については, クラックスケールを用いて目視で測定した。繰り返し载荷を行ったサイクルにおいては 1 回目にひび割れ幅の測定を行った。

パイルキャップ底面については, ひび割れ幅の最も大きかった場所を計測したため, 同じ位置で計測を行っていない。

また, 試験体 DR-2 以外について, パイルキャップ側面部のひび割れは危険断面位置までひび割れが達していないため, ひび割れ幅の計測は行っていない。

正载荷時に発生, 進展したひび割れを黒線, 負载荷時に発生, 進展したひび割れを赤線, 初期ひび割れを灰色の線で表す。

● 試験体 DR-1

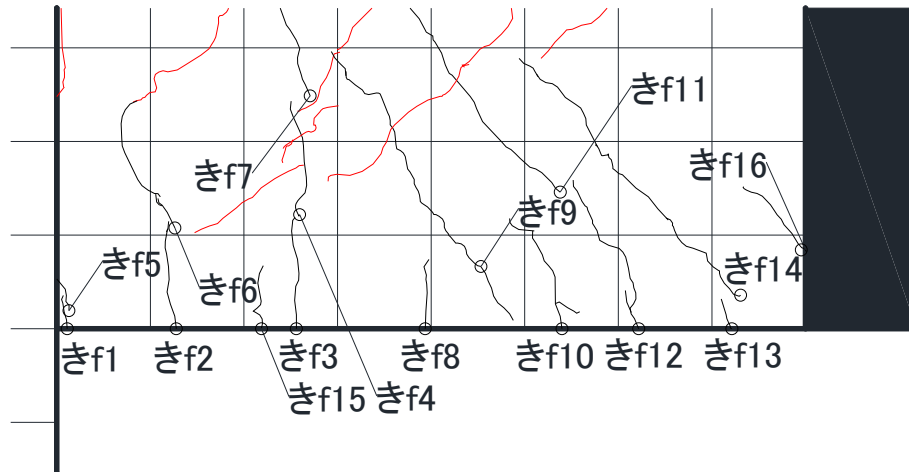


図 3. 2. 3-64 基礎梁ひび割れ幅測定位置(試験体 DR-1 +7.0 サイクル 観測面)

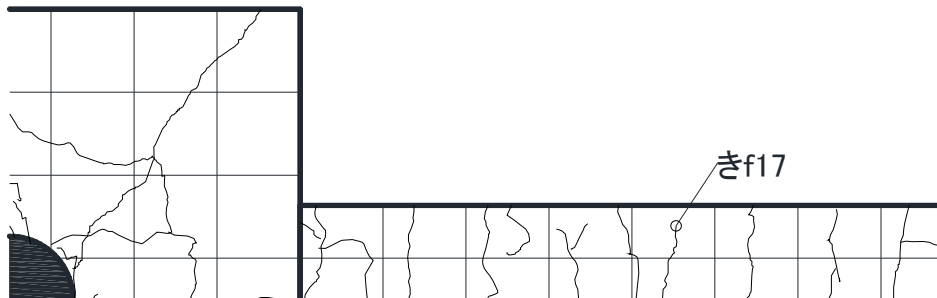
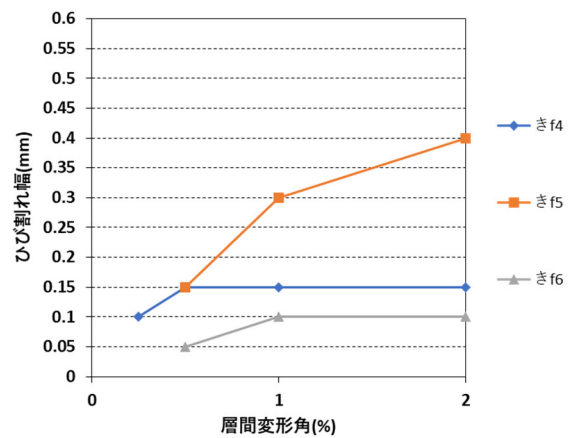
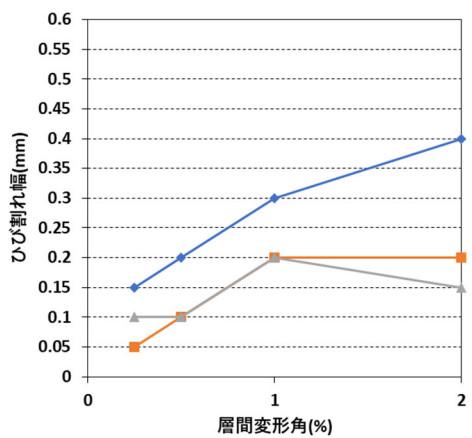


図 3. 2. 3-65 基礎梁ひび割れ幅測定位置(試験体 DR-1 +7.0 サイクル 下面)

表 3. 2. 3-7 基礎梁ひび割れ幅-層間変形角関係(試験体 DR-1 正載荷 ピーク時)

DR-1		基礎梁 正載荷ひび割れ ピーク時																
cycle	%	きf1	きf2	きf3	きf4	きf5	きf6	きf7	きf8	きf9	きf10	きf11	きf12	きf13	きf14	きf15	きf16	きf17
+1サイクル	0.125																	
+2サイクル	0.25	0.15	0.05	0.10	0.10													
+3サイクル	0.5	0.20	0.10	0.10	0.15	0.15	0.05	0.10	0.10	0.15	0.05	0.10	0.10	0.05	0.05	0.10		
+5サイクル	1	0.30	0.20	0.20	0.15	0.30	0.10	0.15	0.15	0.20	0.10	0.15	0.15	0.10	0.15	0.15	0.05	0.05
+7サイクル	2	0.40	0.20	0.15	0.15	0.40	0.10	0.15	0.20	0.20	0.10	0.20	0.15	0.10	0.20	0.10	0.10	0.10



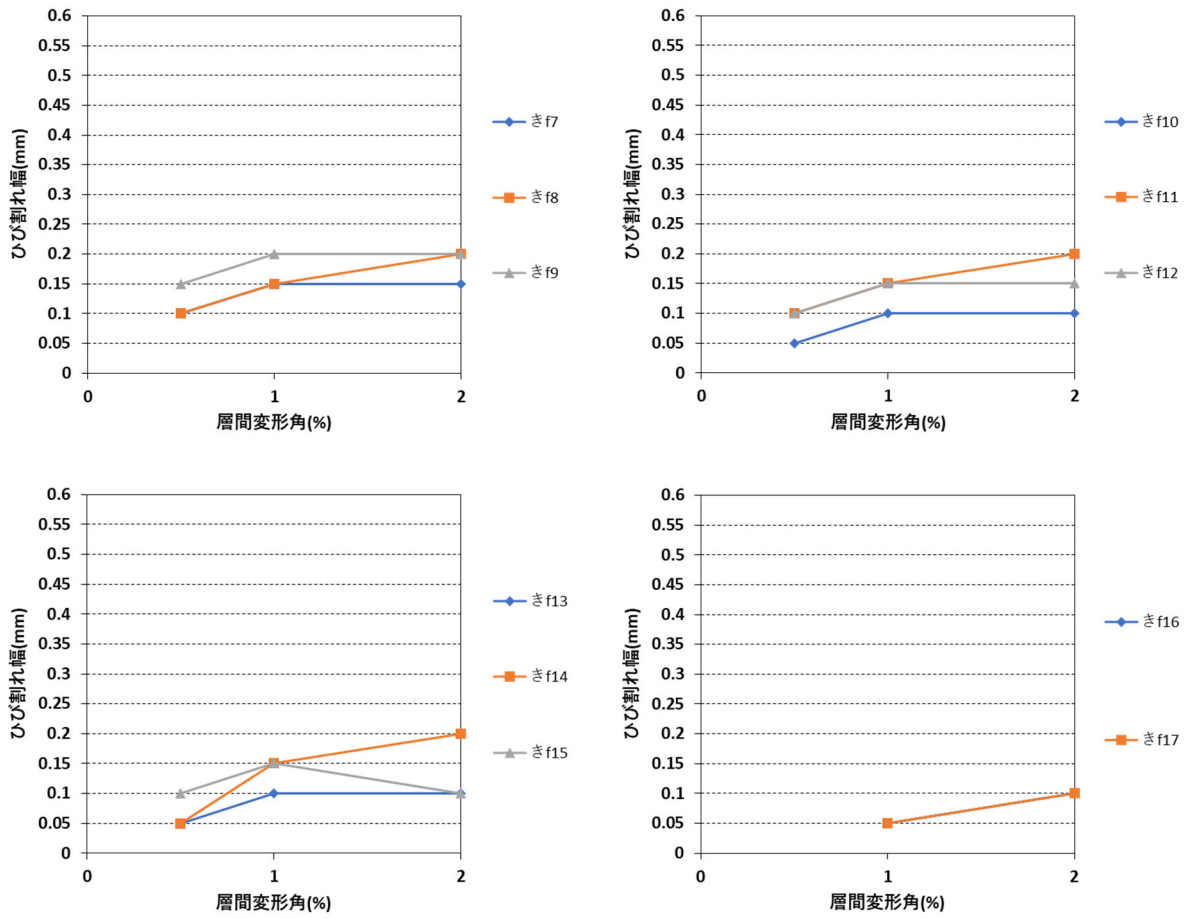


図 3. 2. 3-66 基礎梁ひび割れ幅-層間変形角関係(試験体 D-1 正載荷 ピーク時)

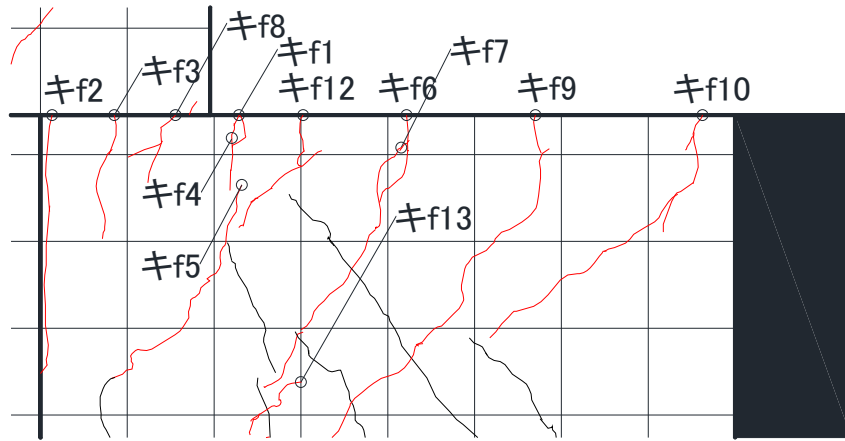


図 3.2.3-67 基礎梁ひび割れ幅測定位置(試験体 DR-1 -7.0 サイクル 観測面)

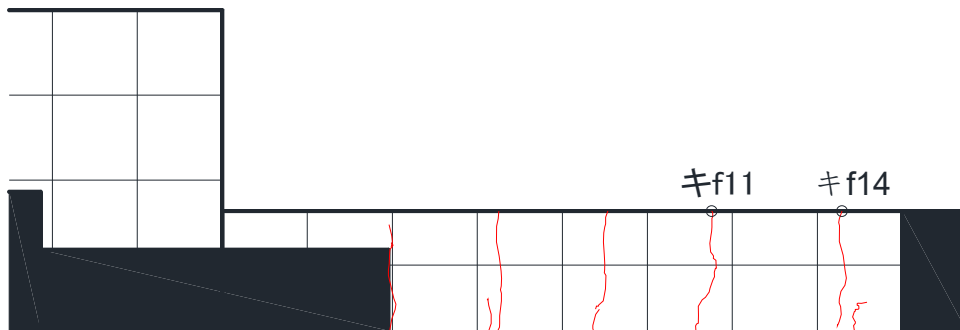
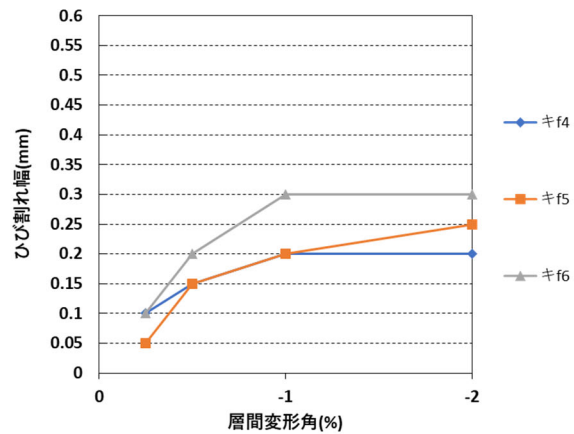
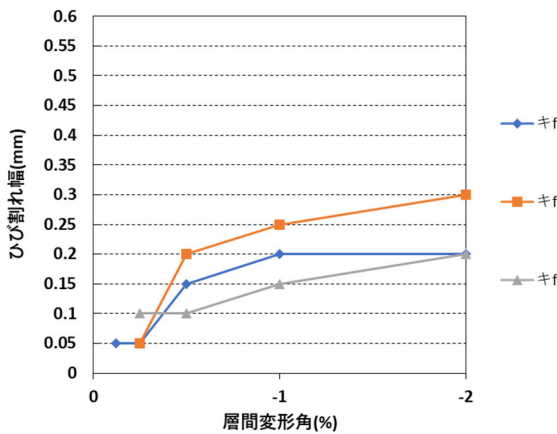


図 3.2.3-68 基礎梁ひび割れ幅測定位置(試験体 DR-1 -7.0 サイクル 上面)

表 3.2.3-8 基礎梁ひび割れ幅-層間変形角関係(試験体 DR-1 負荷荷 ピーク時)

DR-1		基礎梁 負荷荷ひび割れ ピーク時													
cycle	%	キf1	キf2	キf3	キf4	キf5	キf6	キf7	キf8	キf9	キf10	キf11	キf12	キf13	キf14
-1サイクル	-0.125	0.05													
-2サイクル	-0.25	0.05	0.05	0.10	0.10	0.05	0.10	0.05							
-3サイクル	-0.5	0.15	0.20	0.10	0.15	0.15	0.20	0.20	0.10	0.15	0.05	0.10			
-5サイクル	-1	0.20	0.25	0.15	0.20	0.20	0.30	0.30	0.30	0.15	0.15	0.15	0.60		
-7サイクル	-2	0.20	0.30	0.20	0.20	0.25	0.30	0.30	0.30	0.20	0.20	0.15	0.70	0.20	0.05



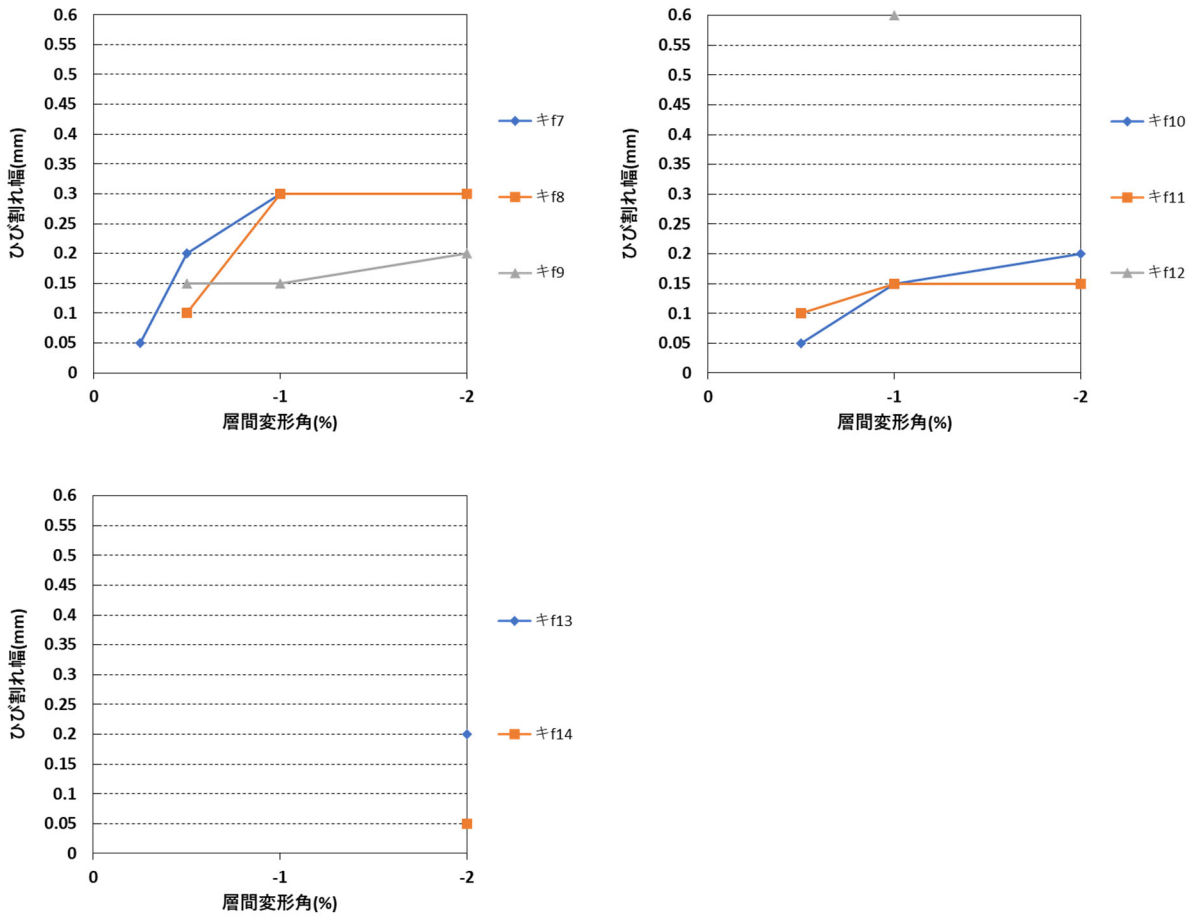


図 3.2.3-69 基礎梁ひび割れ幅-層間変形角関係(試験体 DR-1 負荷荷 ピーク時)

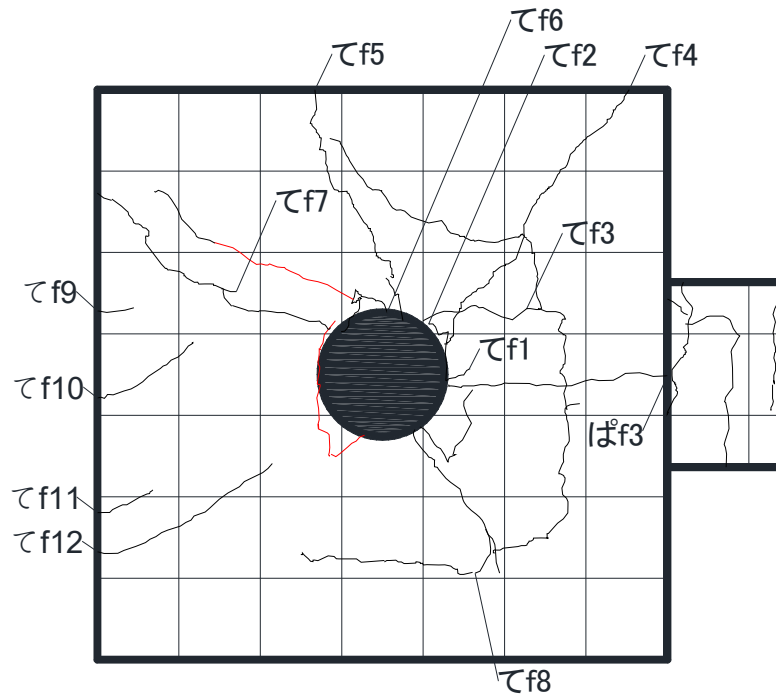
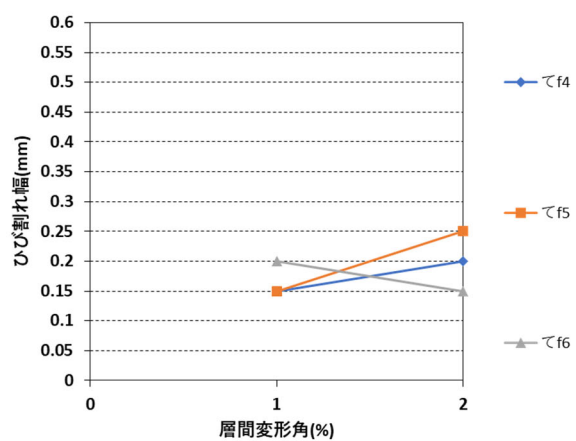
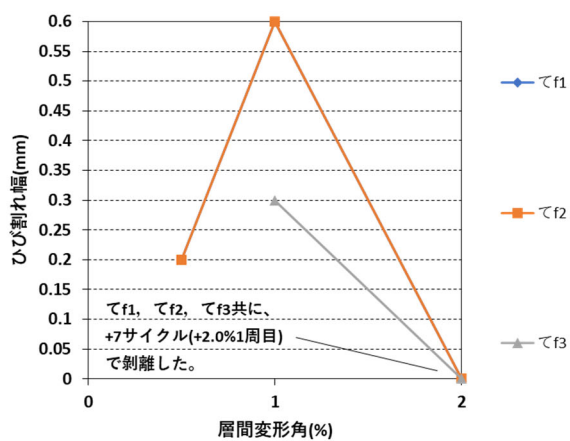


図 3.2.3-70 パイルキャップ底面ひび割れ幅測定位置 (試験体 DR-1 +7.0 サイクル)

表 3.2.3-9 パイルキャップ底面ひび割れ幅-層間変形角関係(試験体 DR-1 正載荷 ピーク時)

DR-1		パイルキャップ底面 正載荷ひび割れ ピーク時											
cycle	%	てf1	てf2	てf3	てf4	てf5	てf6	てf7	てf8	てf9	てf10	てf11	てf12
+1サイクル	0.125												
+2サイクル	0.25												
+3サイクル	0.5	0.20	0.20										
+5サイクル	1	0.60	0.60	0.30	0.15	0.15	0.20	0.10					
+7サイクル	2	剥離した	剥離した	剥離した	0.20	0.25	0.15	0.15	剥離した	0.05	0.10	0.05	0.10



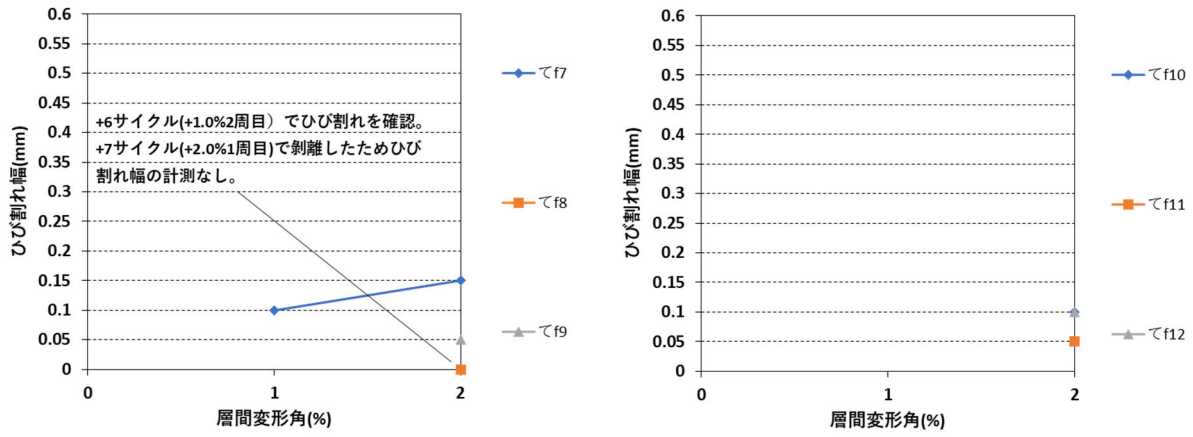
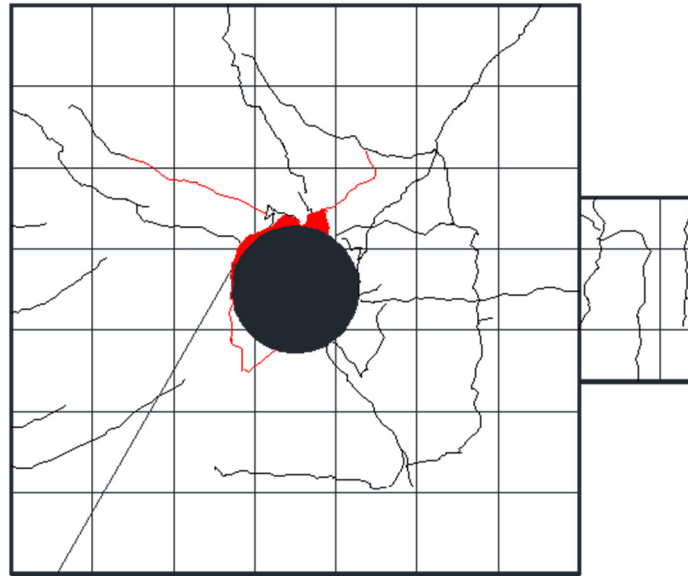


図 3.2.3-71 パイルキャップ底面ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 DR-1 正載荷 ピーク時)



テf1は-5サイクル(-1.0%1周目)ではく離した。

図 3. 2. 3-72 パイルキャップ底面ひび割れ幅測定位置 (試験体 DR-1 -7.0 サイクル)

表 3. 2. 3-10 パイルキャップ底面ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 DR-1 負荷荷 ピーク時)

DR-1		パイルキャップ底面 負荷荷ひび割れ ピーク時			
cycle	%	テf1	テf2		
-1サイクル	-0.125				
-2サイクル	-0.25				
-3サイクル	-0.5	0.10			
-5サイクル	-1	剥離した	剥離した		
-7サイクル	-2	剥離した	剥離した		

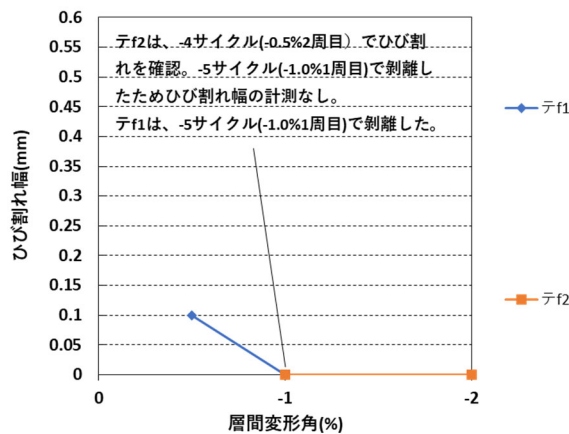


図 3. 2. 3-73 パイルキャップ底面ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 DR-1 負荷荷 ピーク時)

● 試験体 DR-2

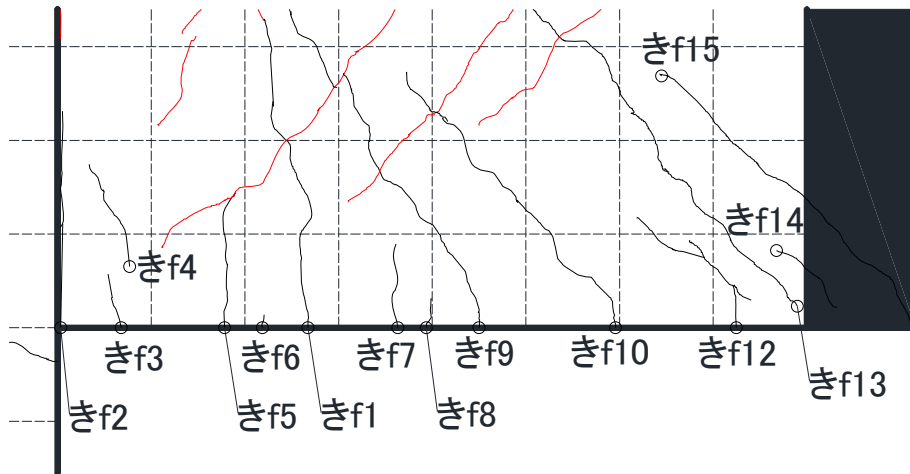


図 3.2.3-74 基礎梁ひび割れ幅測定位置(試験体 DR-2 +7.0 サイクル 観測)

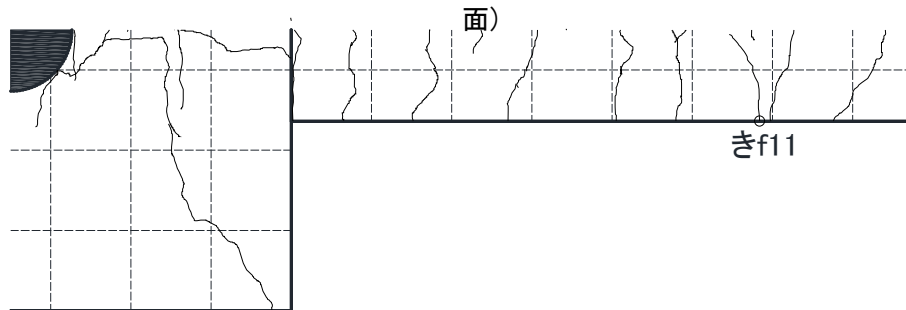
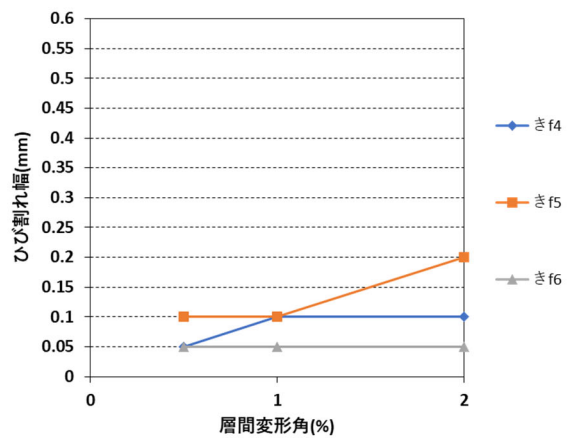
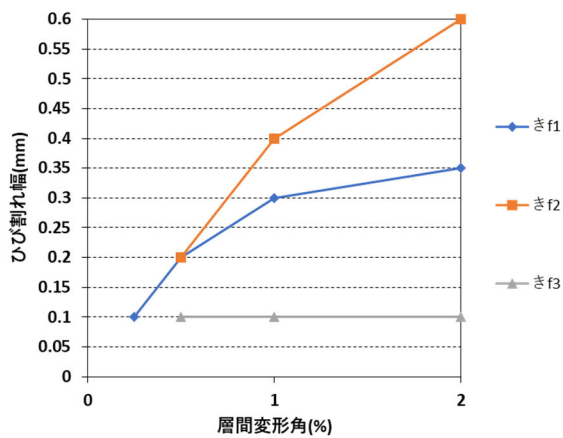


図 3.2.3-75 基礎梁ひび割れ幅測定位置(試験体 DR-2 +7.0 サイクル 下面)

表 3.2.3-11 基礎梁ひび割れ幅-層間変形角関係(試験体 DR-2 正載荷 ピーク時)

DR-2		基礎梁 正載荷ひび割れ ピーク時														
cycle	%	きf1	きf2	きf3	きf4	きf5	きf6	きf7	きf8	きf9	きf10	きf11	きf12	きf13	きf14	きf15
+1サイクル	0.125															
+2サイクル	0.25	0.10														
+3サイクル	0.5	0.20	0.20	0.10	0.05	0.10	0.05	0.05	0.05	0.15	0.10	0.10				
+5サイクル	1	0.30	0.40	0.10	0.10	0.10	0.05	0.05	0.05	0.15	0.15	0.15	0.10	0.15		
+7サイクル	2	0.35	0.60	0.10	0.10	0.20	0.05	0.10	0.10	0.30	0.30	0.30	0.15	0.20	0.10	0.10



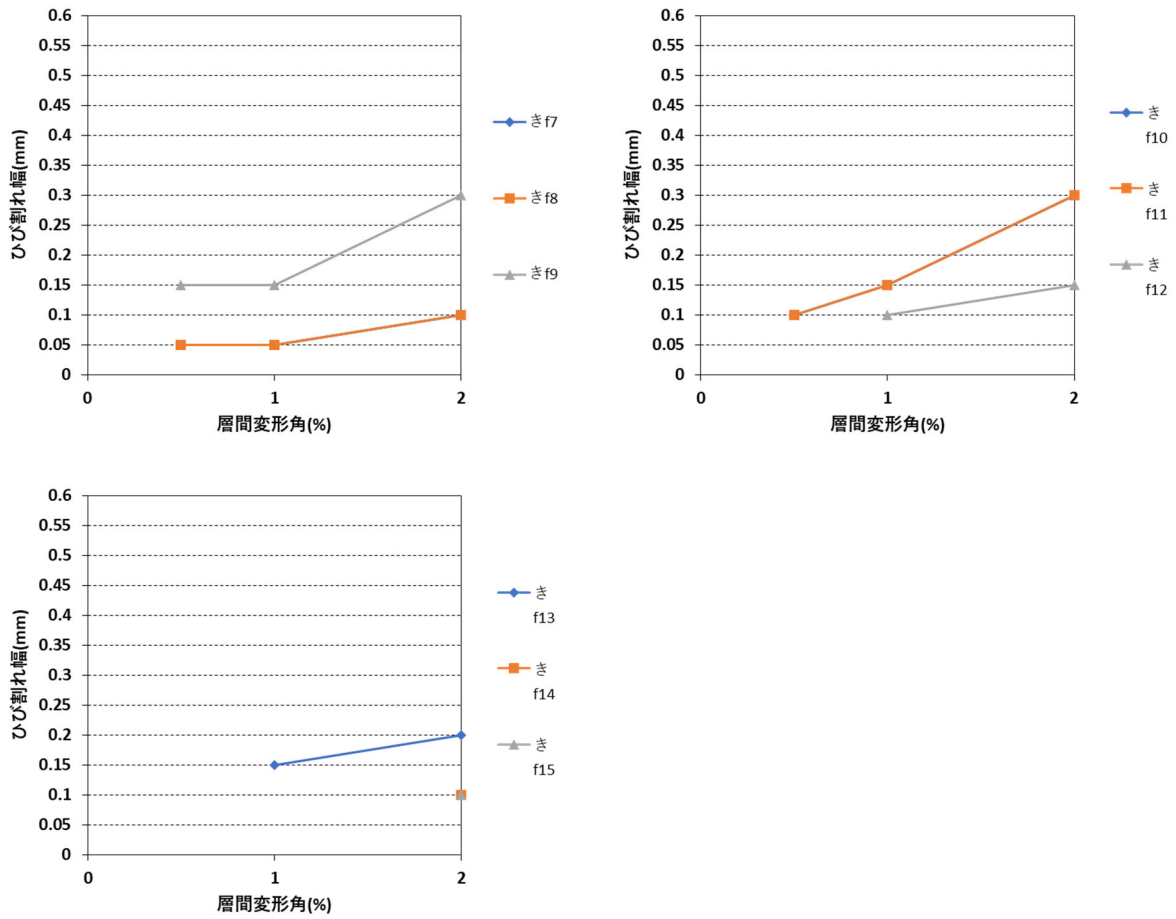


図 3.2.3-76 基礎梁ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 DR-2 正載荷 ピーク時)

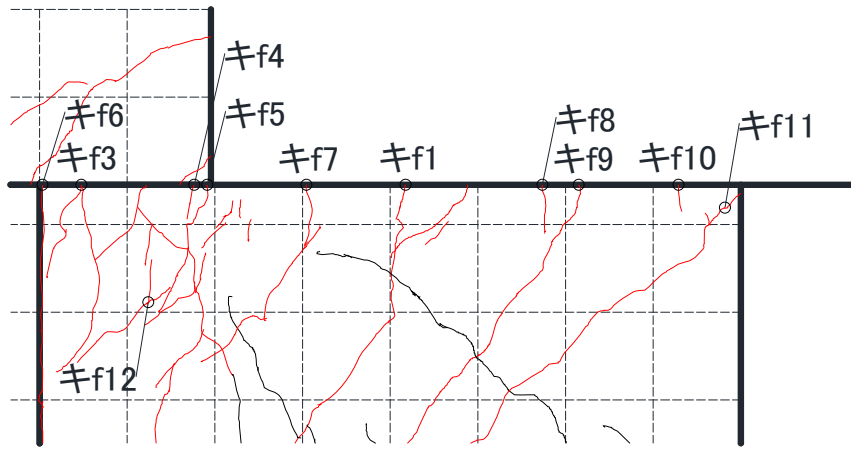


図 3.2.3-77 基礎梁ひび割れ幅測定位置(試験体 DR-2 -7.0 サイクル 観測面)

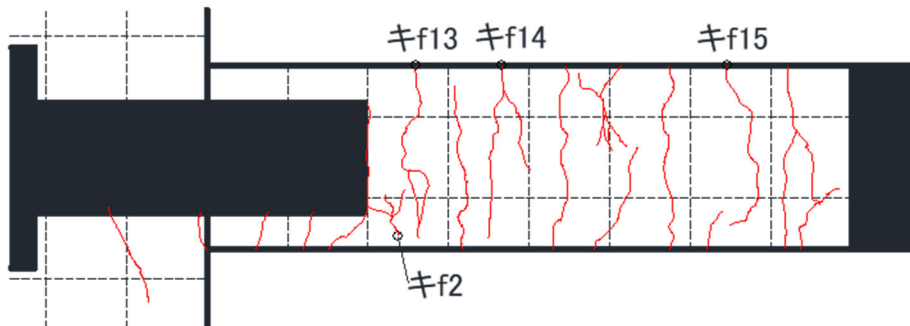
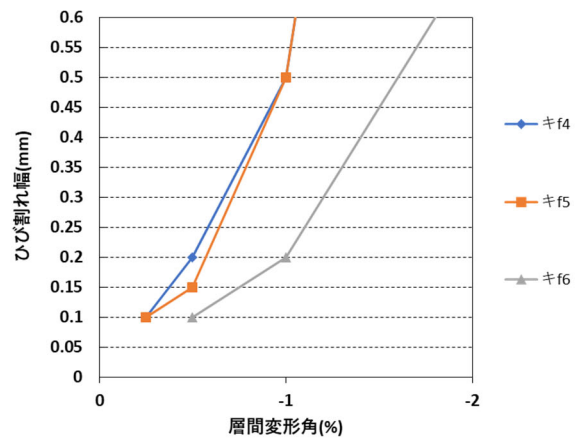
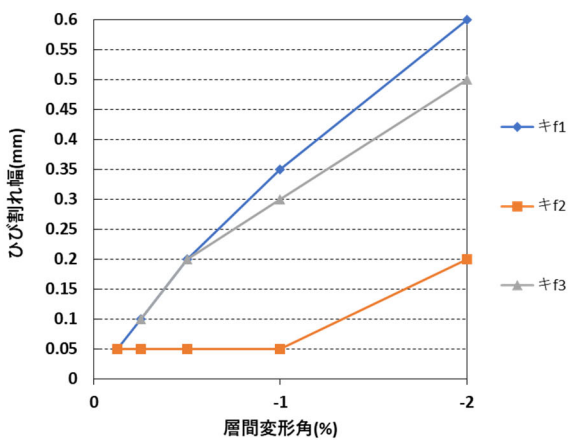


図 3.2.3-78 基礎梁ひび割れ幅測定位置(試験体 DR-2 -7.0 サイクル 上面)

表 3.2.3-12 基礎梁ひび割れ幅-層間変形角関係(試験体 DR-2 負荷荷 ピーク時)

DR-2		基礎梁 負荷荷ひび割れ ピーク時														
cycle	%	キf1	キf2	キf3	キf4	キf5	キf6	キf7	キf8	キf9	キf10	キf11	キf12	キf13	キf14	キf15
-1サイクル	-0.125	0.05	0.05													
-2サイクル	-0.25	0.10	0.05	0.10	0.10	0.10										
-3サイクル	-0.5	0.20	0.05	0.20	0.20	0.15	0.10	0.10	0.10	0.15	0.05	0.05				
-5サイクル	-1	0.35	0.05	0.30	0.50	0.50	0.20	0.15	0.10	0.20	0.10	0.20	0.10	0.10	0.05	0.05
-7サイクル	-2	0.60	0.20	0.50	2.50	2.50	0.70	0.50	0.20	0.30	0.15	0.40	2.50	0.20	0.10	0.10



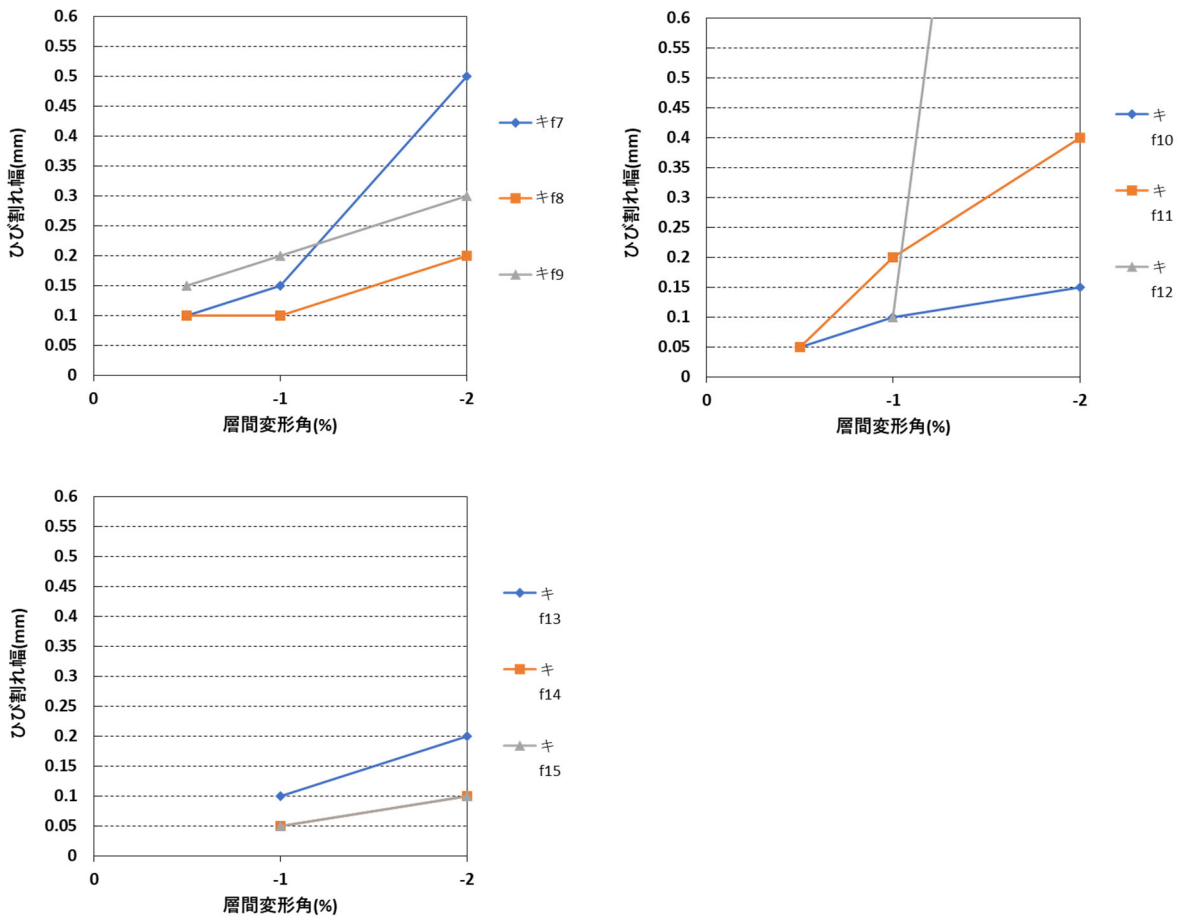


図 3. 2. 3-79 基礎梁ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 DR-2 負荷荷 ピーク時)

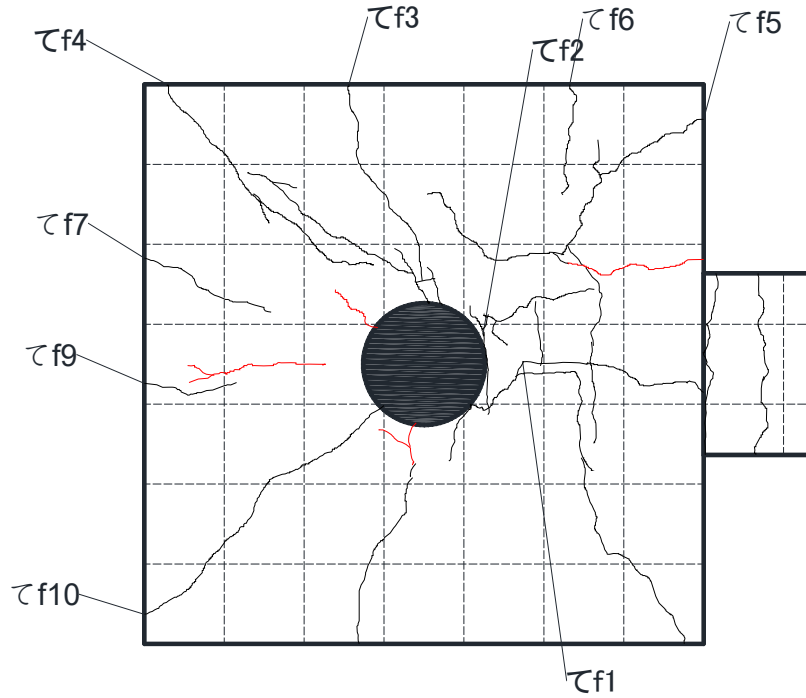
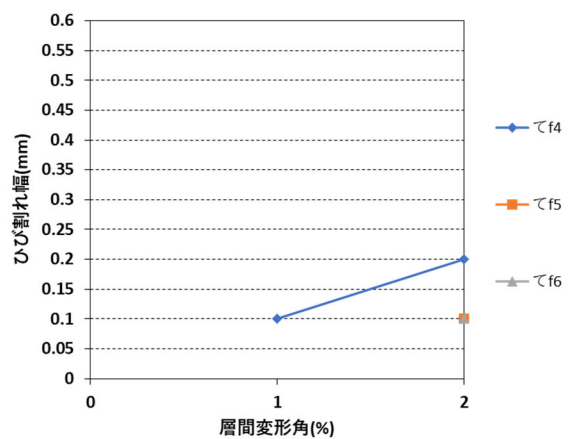
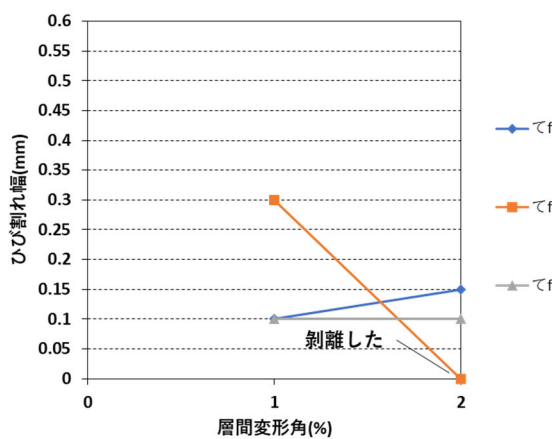


図 3.2.3-80 パイルキャップ底面ひび割れ幅測定位置 (試験体 DR-2 +7.0 サイクル)

表 3.2.3-12 パイルキャップ底面ひび割れ幅-層間変形角関係(試験体 DR-2 正載荷 ピーク時)

DR-2		パイルキャップ底面 正載荷ひび割れ ピーク時								
cycle	%	てf1	てf2	てf3	てf4	てf5	てf6	てf7	てf9	てf10
+1サイクル	0.125									
+2サイクル	0.25									
+3サイクル	0.5									
+5サイクル	1	0.10	0.30	0.10	0.10					
+7サイクル	2	0.15	剥離した	0.10	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15



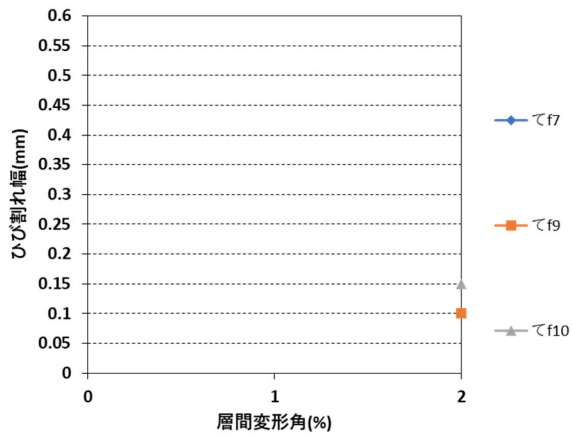


図 3. 2. 3-81 パイルキャップ底面ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 DR-2 正載荷 ピーク時)

て f8 は、パイルキャップ底面部のひび割れが f1 がパイルキャップ側面に延長したひび割れであるため、パイルキャップ側面で記載する。

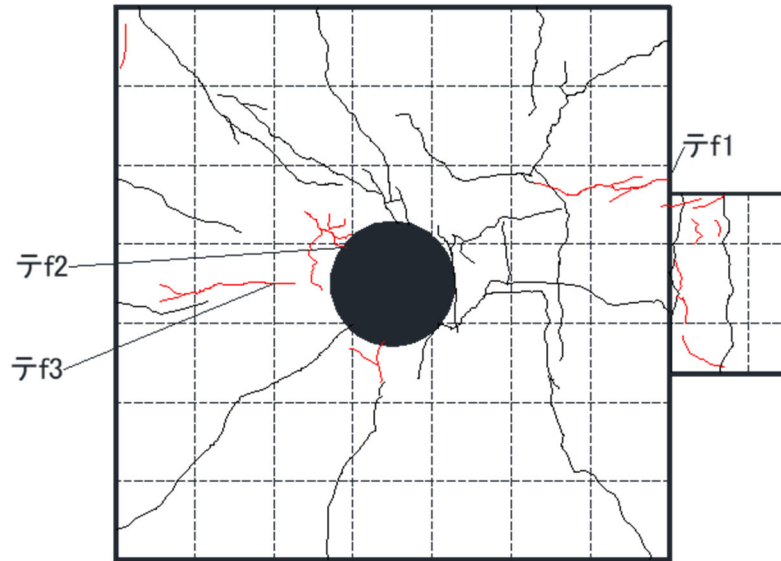


図 3. 2. 3-82 パイルキャップ底面ひび割れ幅測定位置 (試験体 DR-2 -7.0 サイクル)

表 3. 2. 3-13 パイルキャップ底面ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 DR-2 負荷荷 ピーク時)

DR-2		パイルキャップ底面 負荷荷ひび割れ ピーク時			
cycle	%	テf1	テf2	テf3	
-1サイクル	-0.125				
-2サイクル	-0.25				
-3サイクル	-0.5				
-5サイクル	-1	0.05			
-7サイクル	-2	0.10	剥離した	0.05	

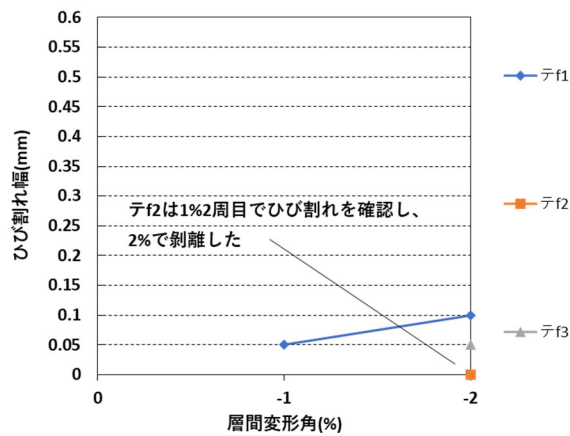


図 3. 2. 3-83 パイルキャップ底面ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 DR-2 負荷荷 ピーク時)

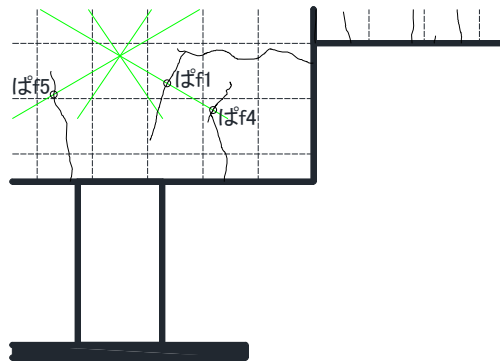


図 3.2.3-84 パイルキャップ側面ひび割れ幅測定位置 危険断面位置
(試験体 DR-2 +7.0 サイクル 観測面)

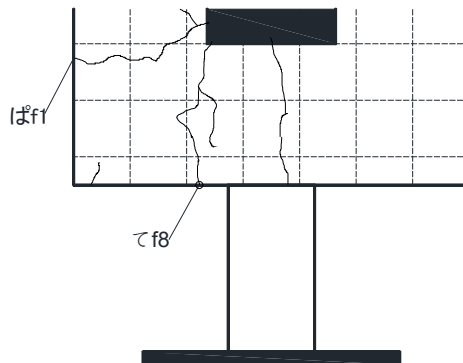


図 3.2.3-85 パイルキャップ側面ひび割れ幅測定位置 (試験体 DR-2 +7.0 サイクル 基礎梁側)

表 3.2.3-14 パイルキャップ側面ひび割れ幅-層間変形角関係(試験体 DR-2 正載荷 ピーク時)

DR-2		パイルキャップ側面 正載荷ひび割れ				ピーク時
cycle	%	ばf1	ばf4	ばf5	てf8	
+1サイクル	0.125					
+2サイクル	0.25					
+3サイクル	0.5					
+5サイクル	1					
+7サイクル	2	0.20	0.10	0.10	0.10	

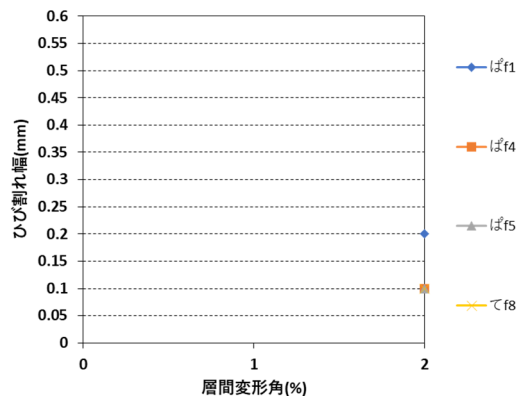


図 3.2.3-86 パイルキャップ側面ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 DR-2 正載荷 ピーク時)

ば f2 とば f3 は、ひび割れが危険断面位置まで進展していなかったため記載していない。ば f1 は、+5 サイクルでひび割れを確認し、+7 サイクルで危険断面位置に達した。

● 試験体 DR-3

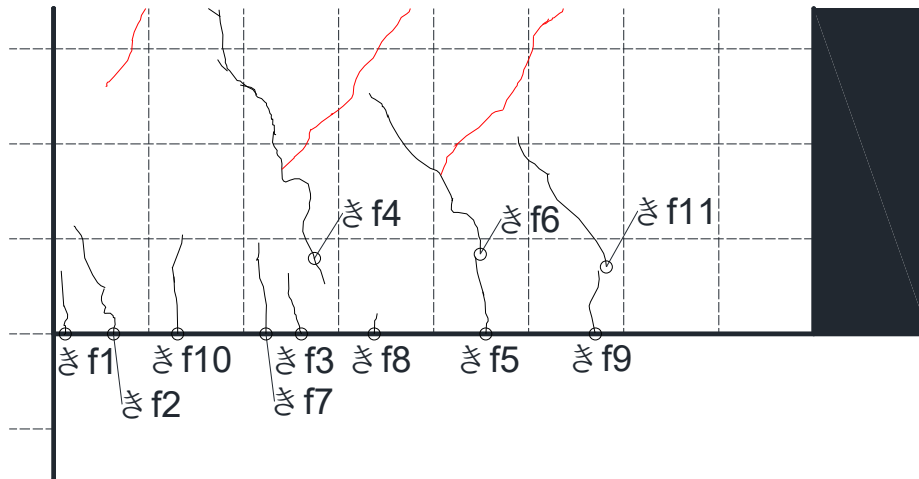


図 3.2.3-87 基礎梁ひび割れ幅測定位置 (試験体 DR-3 +7.0 サイクル 観測面)

表 3.2.3-15 基礎梁ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 DR-3 正載荷 ピーク時)

DR-3		基礎梁 正載荷ひび割れ ピーク時										
cycle	%	きf1	きf2	きf3	きf4	きf5	きf6	きf7	きf8	きf9	きf10	きf11
+1サイクル	0.125											
+2サイクル	0.25	0.05	0.05	0.05	0.10							
+3サイクル	0.5	0.05	0.05	0.10	0.20	0.05	0.05					
+5サイクル	1	0.10	0.05	0.10	0.20	0.10	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
+7サイクル	2	0.10	0.05	0.05	0.15	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.10

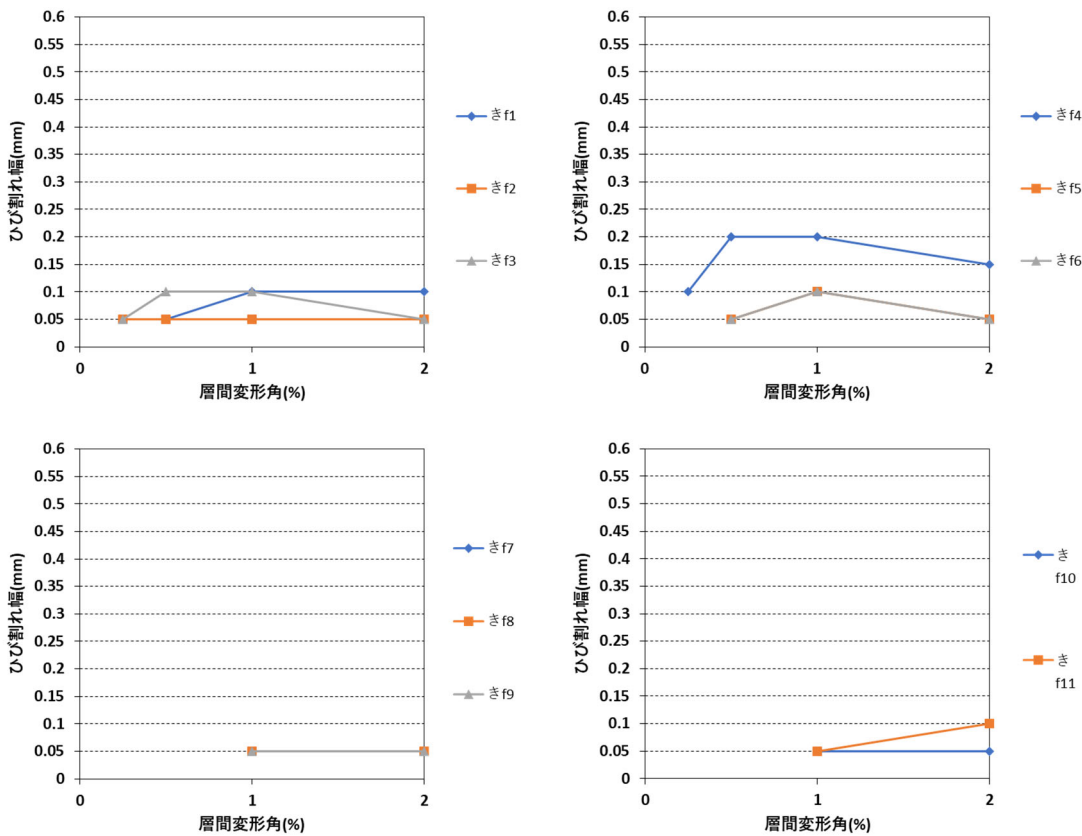


図 3.2.3-88 基礎梁ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 DR-3 正載荷 ピーク時)

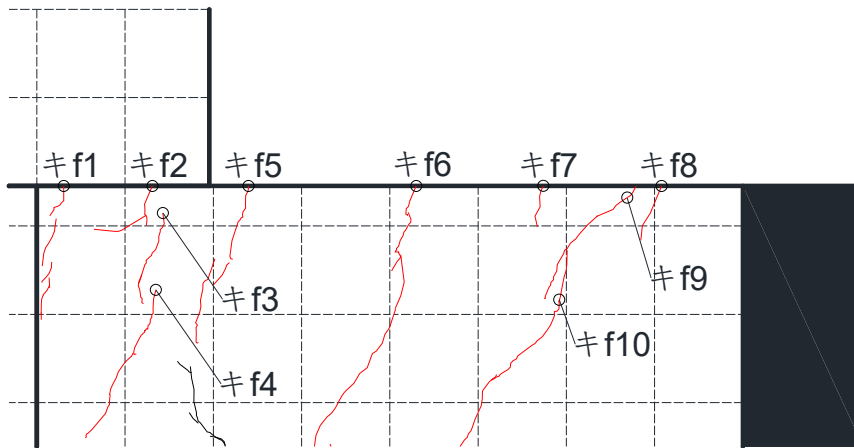


図 3. 2. 3-89 基礎梁ひび割れ幅測定位置 (試験体 DR-3 -7.0 サイクル 観測面)

表 3. 2. 3-16 基礎梁ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 DR-3 負荷荷 ピーク時)

DR-3		基礎梁 負荷荷ひび割れ ピーク時									
cycle	%	キf1	キf2	キf3	キf4	キf5	キf6	キf7	キf8	キf9	キf10
-1サイクル	-0.125										
-2サイクル	-0.25	0.05	0.10	0.10	0.05	0.05	0.05				
-3サイクル	-0.5	0.10	0.20	0.15	0.10	0.10	0.10	0.05	0.05	0.10	0.10
-5サイクル	-1	0.15	0.20	0.15	0.10	0.10	0.10	0.05	0.05	0.15	0.15
-7サイクル	-2	0.10	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.05	0.05	0.10	0.10

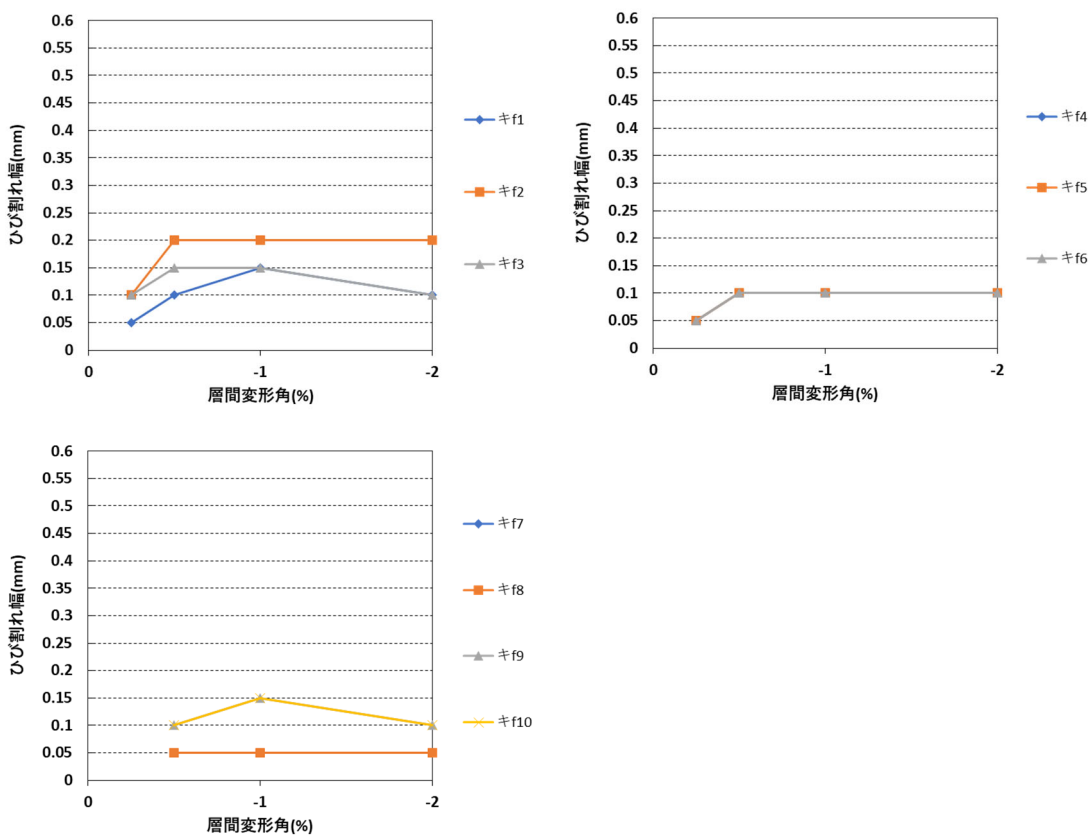


図 3. 2. 3-90 基礎梁ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 DR-3 負荷荷 ピーク時)

てf1は+5サイクル(+1.0%1周目)ではなく離した。

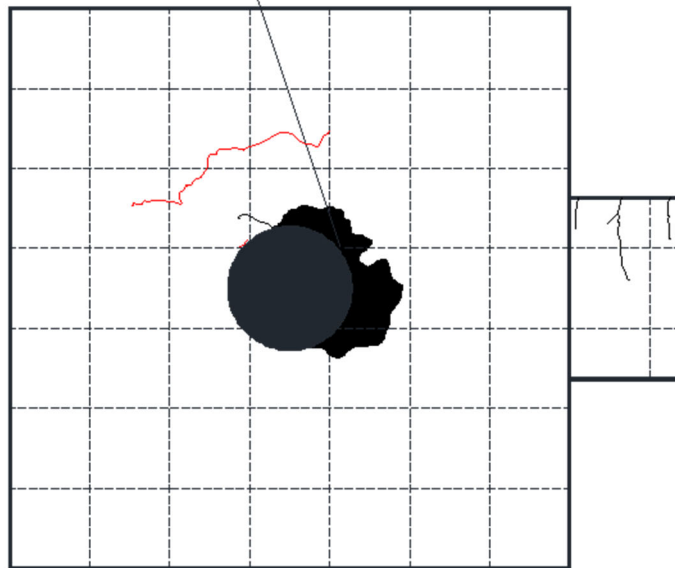


図 3.2.3-91 パイルキャップ底面ひび割れ幅測定位置 (試験体 DR-3 +7.0 サイクル)

表 3.2.3-17 パイルキャップ底面ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 DR-3 正載荷 ピーク時)

DR-3		パイルキャップ底面	正載荷ひび割れ	ピーク時		
cycle	%	てf1				
+1サイクル	0.125					
+2サイクル	0.25					
+3サイクル	0.5					
+5サイクル	1	剥離した				
+7サイクル	2					

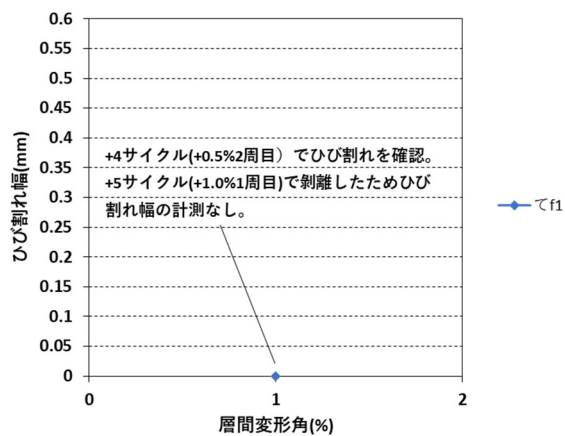


図 3.2.3-92 パイルキャップ底面ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 DR-3 正載荷 ピーク時)

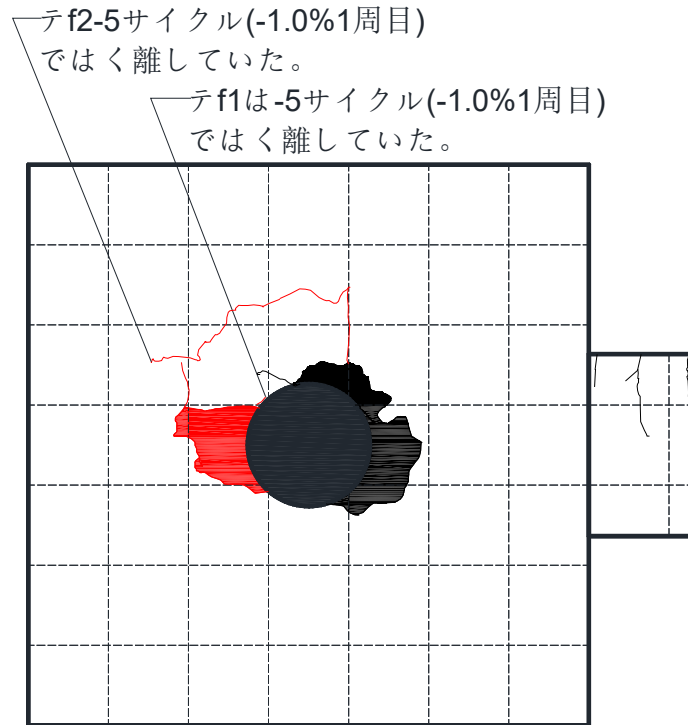


図 3. 2. 3-93 パイルキャップ底面ひび割れ幅測定位置 (試験体 DR-3 -7.0 サイクル)

表 3. 2. 3-18 パイルキャップ底面ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 DR-3 負荷荷 ピーク時)

DR-3		パイルキャップ底面 負荷荷ひび割れ ピーク時			
cycle	%	テf1	テf2		
-1サイクル	-0.125				
-2サイクル	-0.25				
-3サイクル	-0.5	0.10			
-5サイクル	-1	剥離した	剥離した		
-7サイクル	-2				

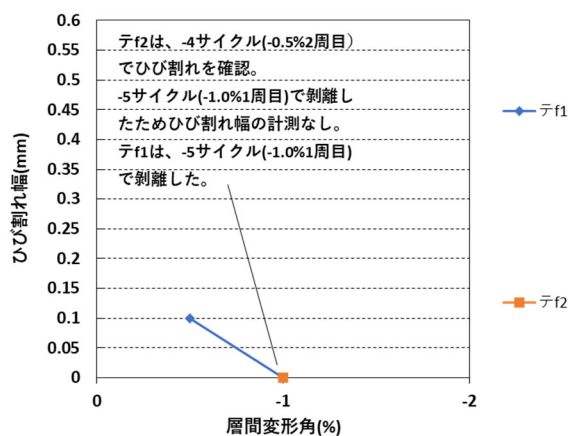


図 3. 2. 3-94 パイルキャップ底面ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 DR-3 負荷荷 ピーク時)

● 試験体 DR-4

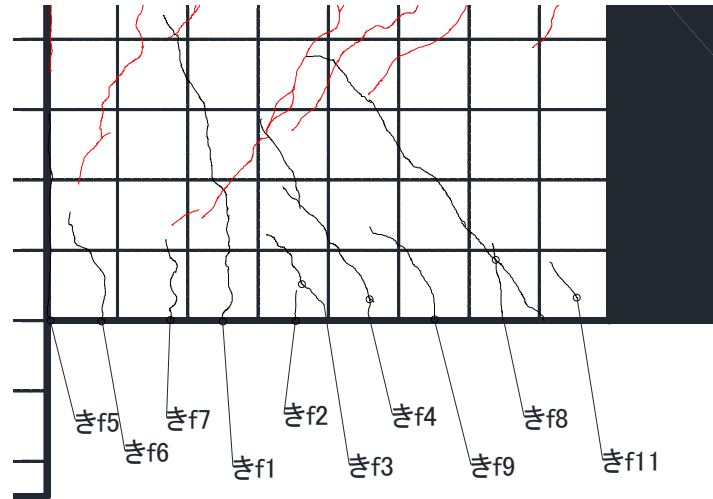


図 3.2.3-95 基礎梁ひび割れ幅測定位置 (試験体 DR-4 +7.0 サイクル 観測面)

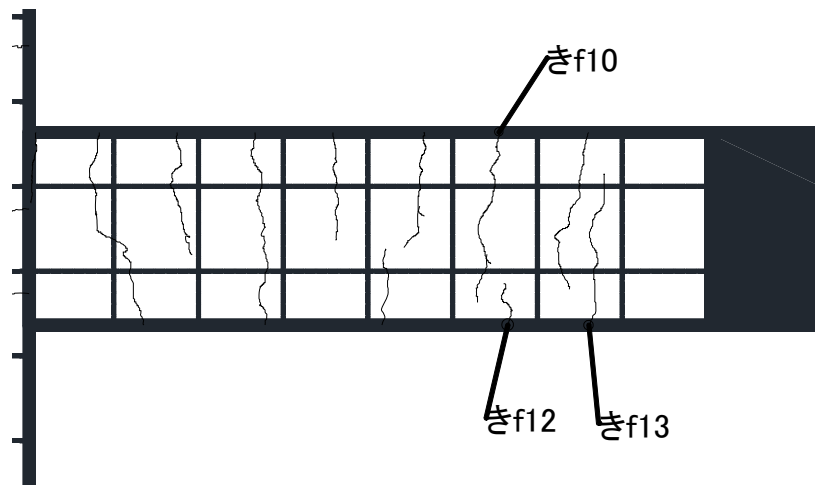
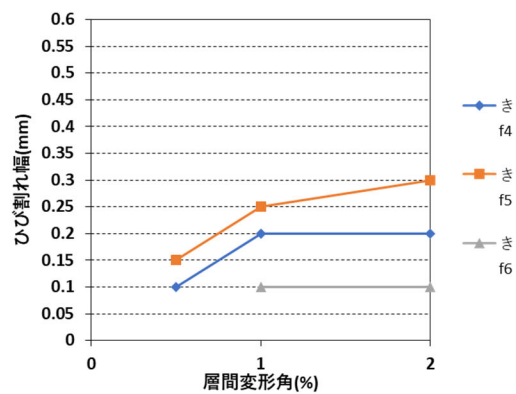
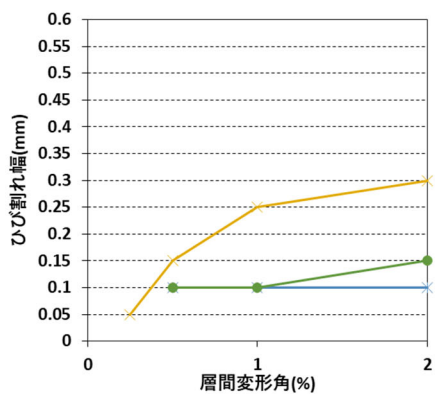


図 3.2.3-96 基礎梁ひび割れ幅測定位置 (試験体 DR-4 +7.0 サイクル 下面)

表 3.2.3-19 基礎梁ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 DR-4 正載荷 ピーク時)

DR-4		基礎梁 正載荷ひび割れ												
cycle	%	きf1	きf2	きf3	きf4	きf5	きf6	きf7	きf8	きf9	きf10	きf11	きf12	きf13
+1サイクル	0.125													
+2サイクル	0.25	0.05												
+3サイクル	0.5	0.15	0.10	0.10	0.10	0.15								
+5サイクル	1	0.25	0.10	0.10	0.20	0.25	0.10	0.10	0.20	0.10	0.10			
+7サイクル	2	0.30	0.10	0.15	0.20	0.30	0.10	0.10	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15



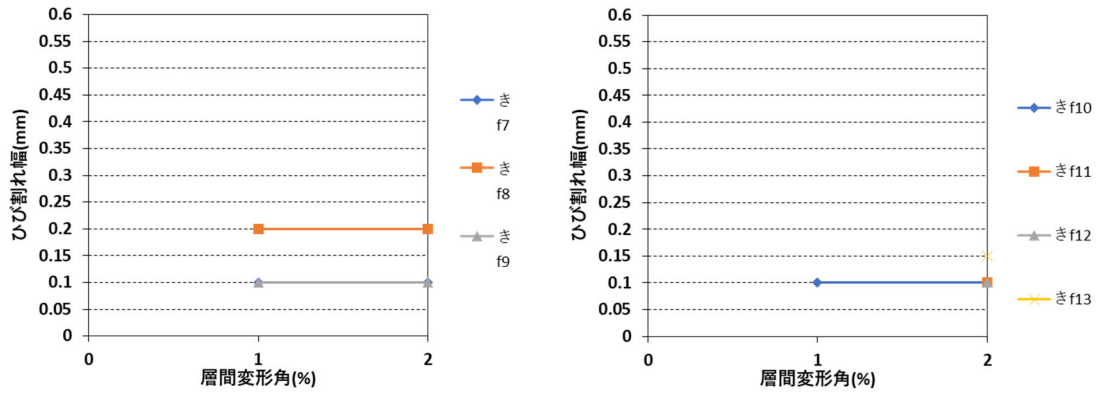


図 3. 2. 3-97 基礎梁ひび割れ幅-層間変形角関係(試験体 DR-4 正載荷 ピーク時)

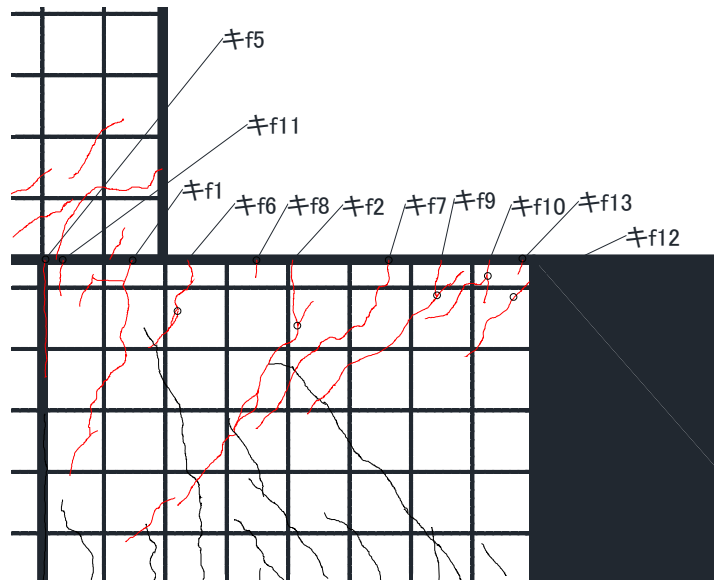


図 3.2.3-98 基礎梁ひび割れ幅測定位置 (試験体 DR-4 -7.0 サイクル 観測面)

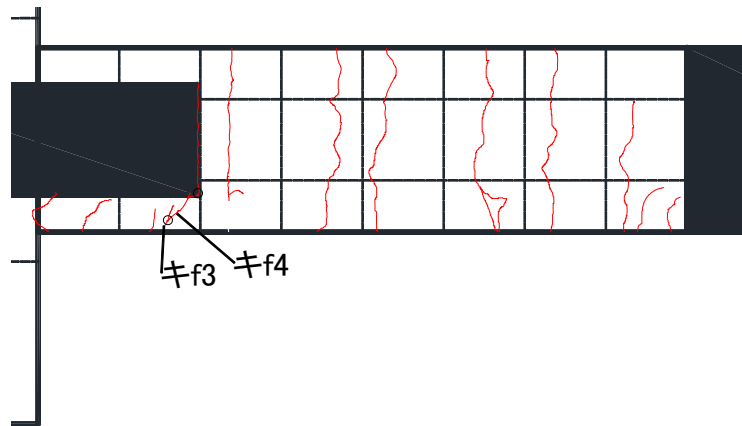


図 3.2.3-99 基礎梁ひび割れ幅測定位置 (試験体 DR-4 -7.0 サイクル 上面)

表 3.2.3-20 基礎梁ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 DR-4 負荷荷 ピーク時)

DR-4		基礎梁 負荷荷ひび割れ												
cycle	%	キf1	キf2	キf3	キf4	キf5	キf6	キf7	キf8	キf9	キf10	キf11	キf12	キf13
-1サイクル	0.125													
-2サイクル	0.25	0.10	0.05	0.10	0.10									
-3サイクル	0.5	0.20	0.20	0.20	0.20	0.15	0.10	0.15						
-5サイクル	1	0.50	0.30	0.50	0.50	0.20	0.20	0.20	0.05	0.20	0.10	0.10		
-7サイクル	2	0.50	0.30	0.50	0.50	0.30	0.20	0.20	0.10	0.20	0.15	0.15	0.10	0.10

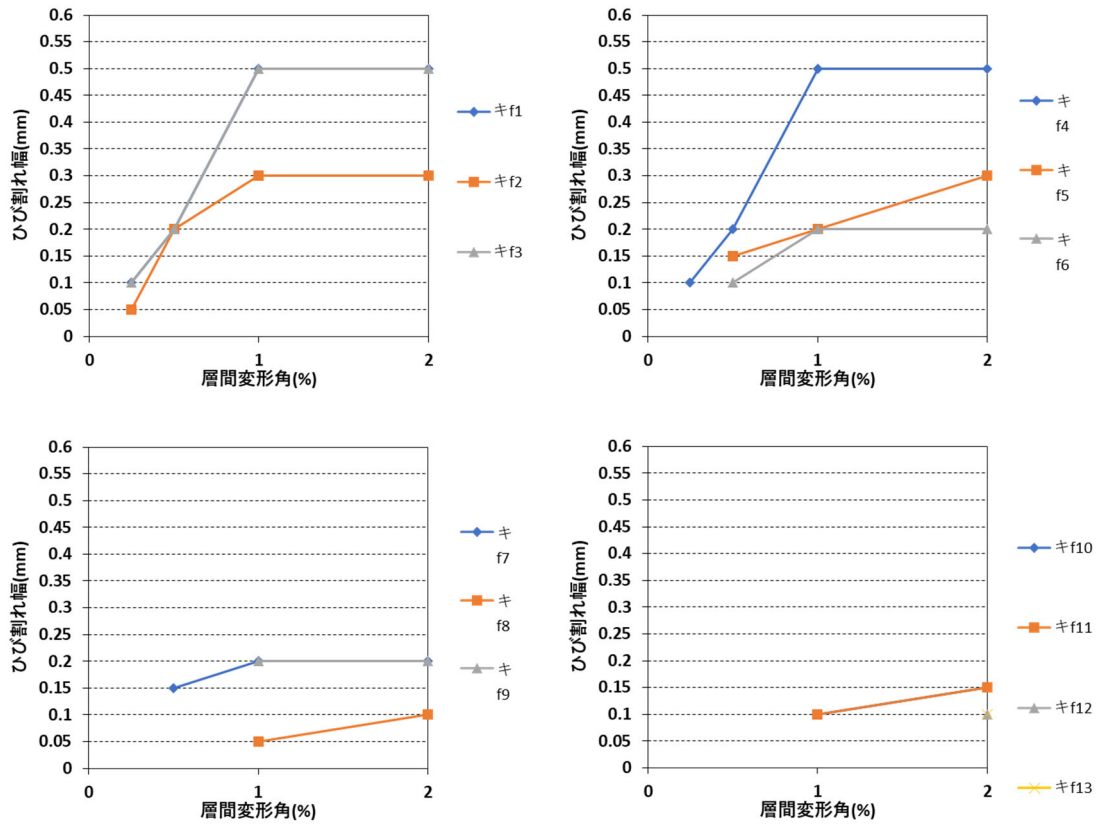


図 3. 2. 3-100 基礎梁ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 DR-4 負荷荷 ピーク時)

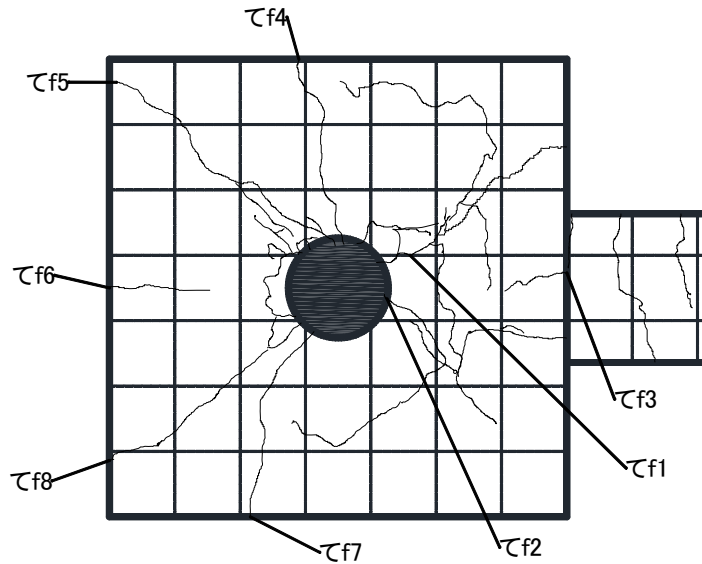


図 3. 2. 3-101 パイルキャップ底面ひび割れ幅測定位置 (試験体 DR-4 +7.0 サイクル)

表 3. 2. 3-21 パイルキャップ底面ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 DR-4 正載荷 ピーク時)

DR-4		パイルキャップ底面 正載荷ひび割れ							
cycle	%	て f 1	てf2	てf3	てf4	てf5	てf6	てf7	てf8
+1サイクル	0.125								
+2サイクル	0.25								
+3サイクル	0.5	0.05							
+5サイクル	1	0.15	0.10	0.10	0.30	0.20	0.10	0.15	
+7サイクル	2	0.30	0.10	0.15	0.20	0.30	0.20	0.10	0.30

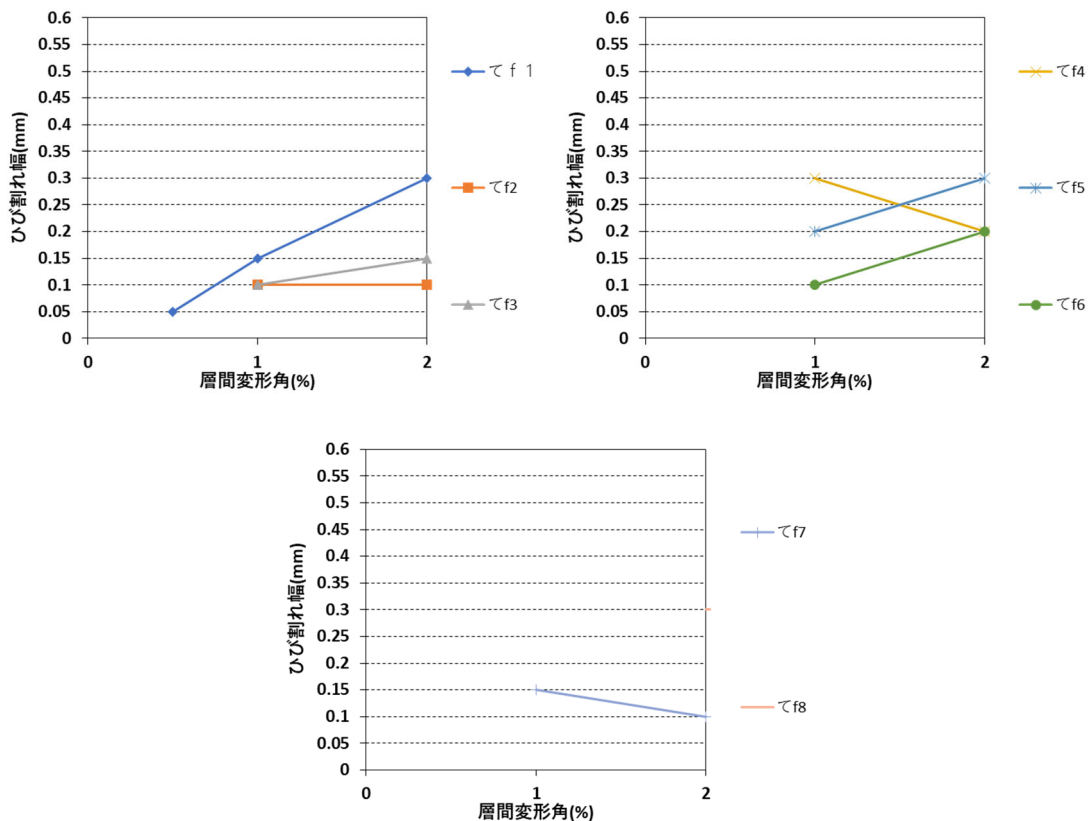


図 3. 2. 3-102 パイルキャップ底面ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 DR-4 正載荷 ピーク時)

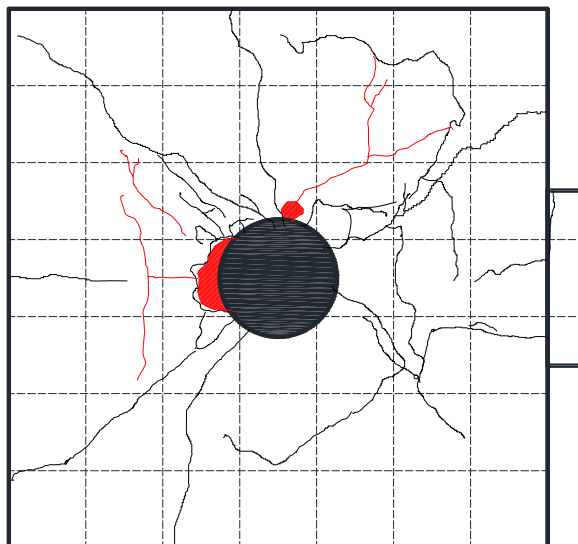


図 3. 2. 3-103 パイルキャップ底面ひび割れ幅測定位置 (試験体 DR-4 -7.0 サイクル)

表 3. 2. 3-21 イルキャップ底面ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 DR-4 負荷荷 ピーク時)

DR-4		パイルキャップ底面 負荷荷ひび割れ				
cycle	%					
-1サイクル	0.125					
-2サイクル	0.25					
-3サイクル	0.5					
-5サイクル	1					
-7サイクル	2					

負荷荷時については、ひび割れ幅の記録が困難であった為、ひび割れは存在したものの記録はしていない。

● 試験体 DR-5

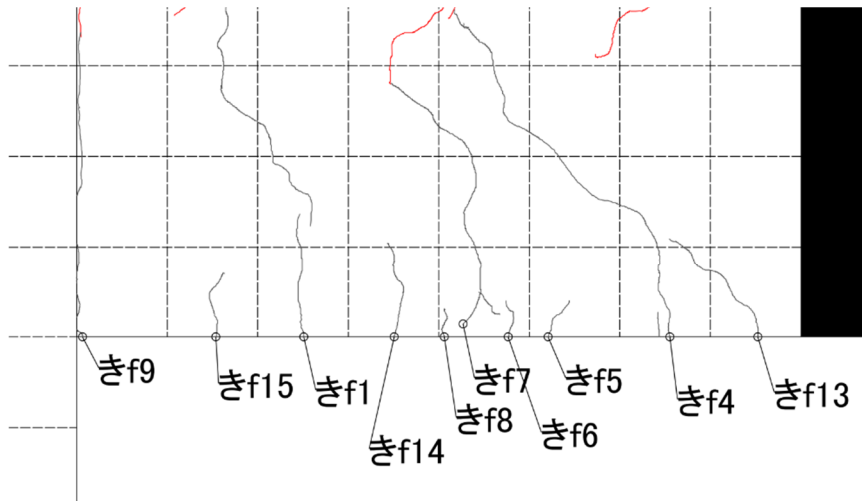


図 3.2.3-104 基礎梁南ひび割れ幅測定位置(試験体 DR-5 +7.0 サイクル 観測面)

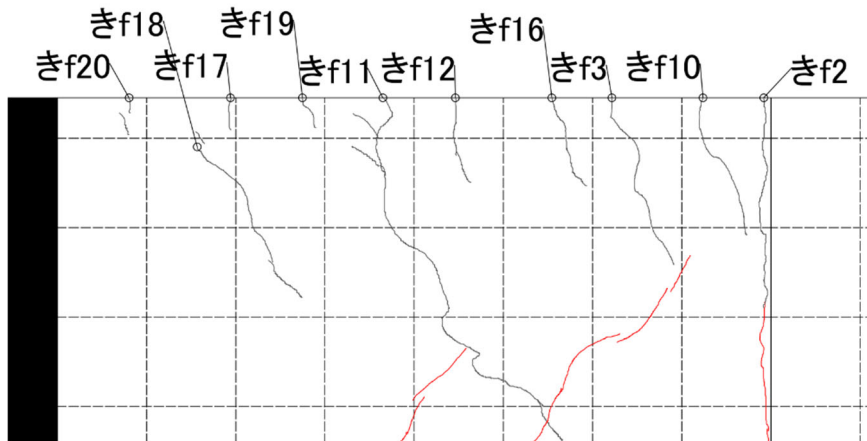
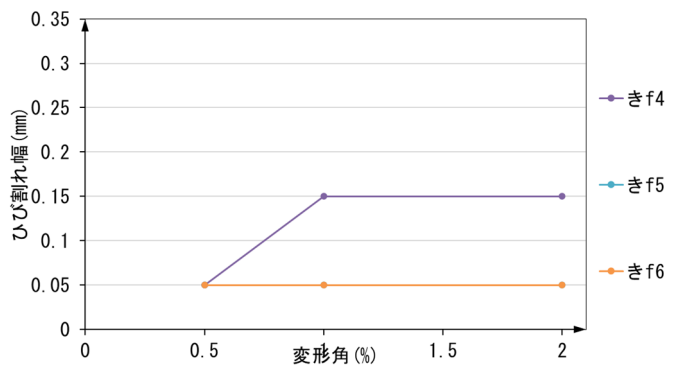
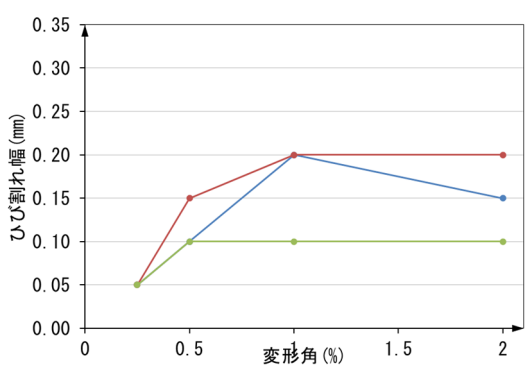


図 3.2.3-105 基礎梁北ひび割れ幅測定位置(試験体 DR-5 +7.0 サイクル 観測面)

表 3.2.3-22 基礎梁ひび割れ幅-層間変形角関係(試験体 DR-5 正載荷 ピーク時)

DR-5		基礎梁 正載荷ひび割れ(ピーク時)																			
cycle	%	ぎf1	ぎf2	ぎf3	ぎf4	ぎf5	ぎf6	ぎf7	ぎf8	ぎf9	ぎf10	ぎf11	ぎf12	ぎf13	ぎf14	ぎf15	ぎf16	ぎf17	ぎf18	ぎf19	ぎf20
+1サイクル	0.125																				
+2サイクル	0.25	0.05	0.05	0.05																	
+3サイクル	0.5	0.1	0.15	0.1	0.05	0.05	0.05	0.1	0.05	0.1	0.1	0.1									
+5サイクル	1	0.2	0.2	0.1	0.15	0.05	0.05	0.1	0.05	0.15	0.1	0.15	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	
+7サイクル	2	0.15	0.2	0.1	0.15	0.05	0.05	0.1	0.05	0.15	0.15	0.2	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.1	0.1	0.05	0.05



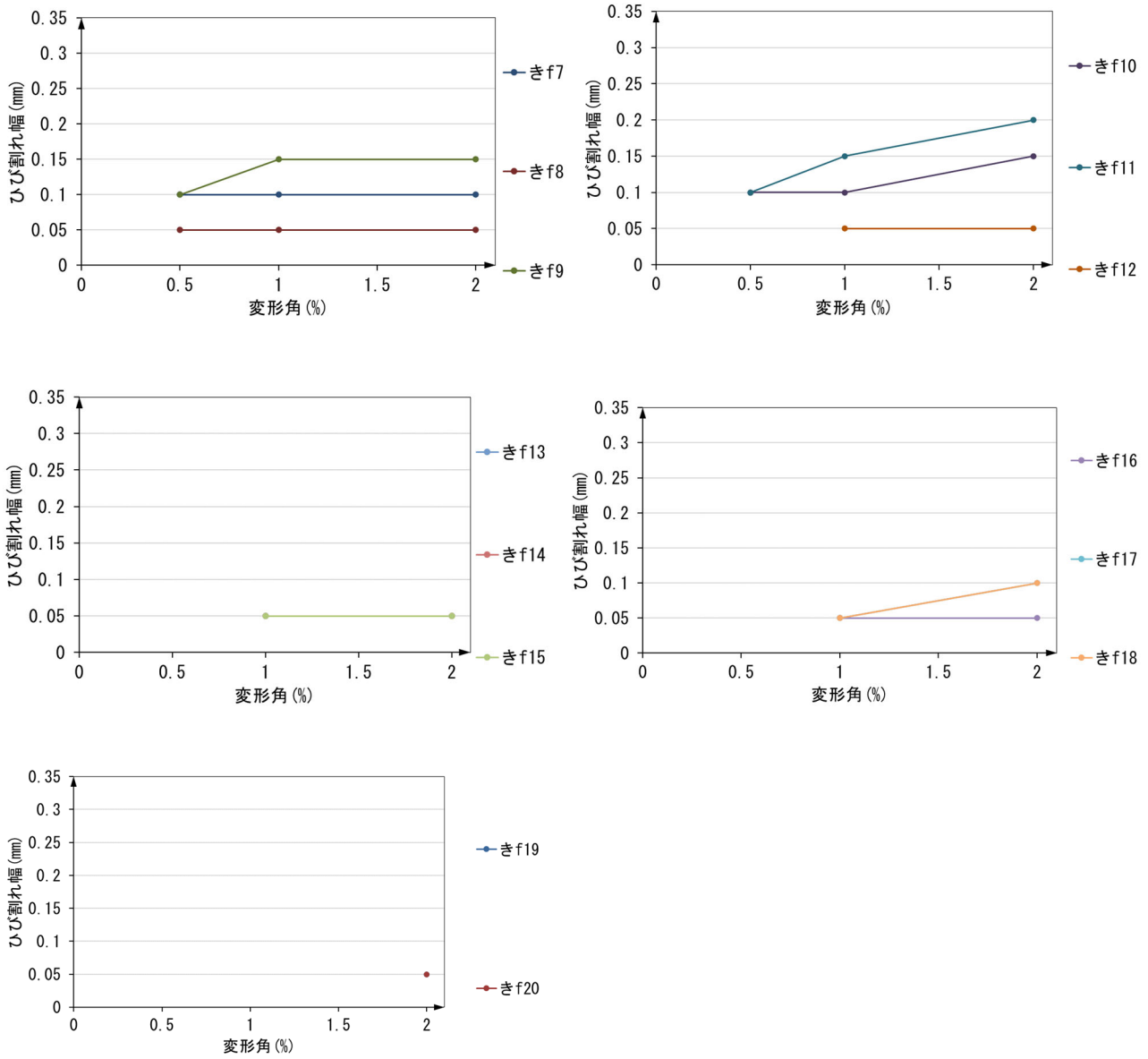


図 3. 2. 3-106 基礎梁ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 DR-5 正載荷 ピーク時)

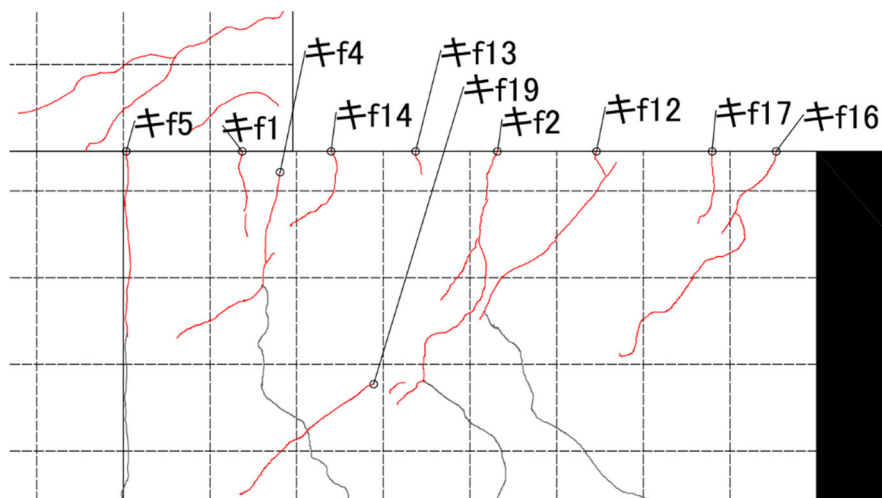


図 3. 2. 3-107 南基礎梁ひび割れ幅測定位置 (試験体 DR-5 -7.0 サイクル 観測面)

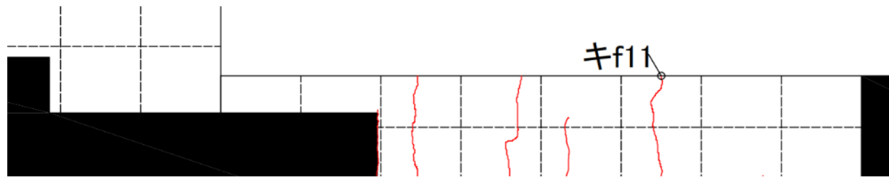


図 3.2.3-108 南基礎梁ひび割れ幅測定位置(試験体 DR-5 -7.0 サイクル 上面)

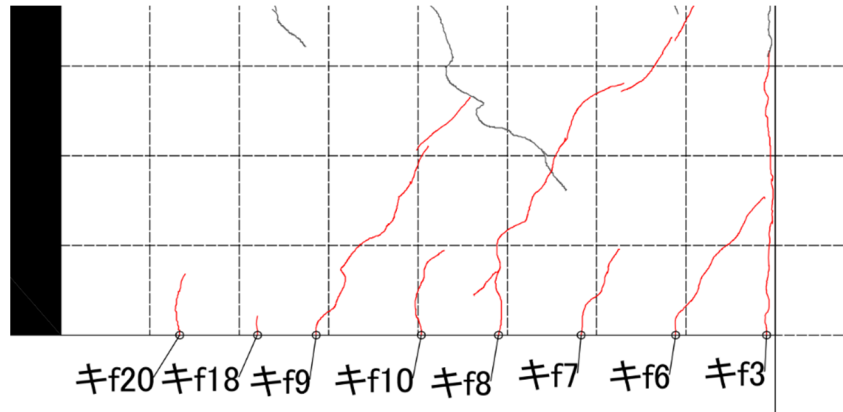
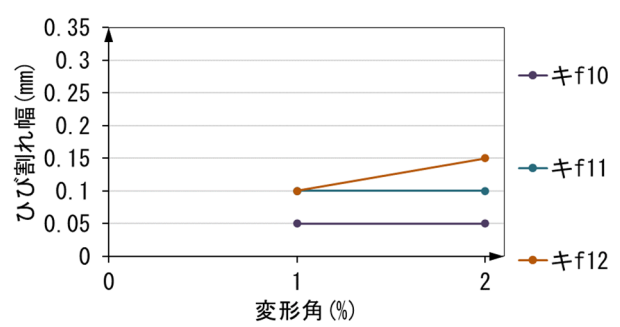
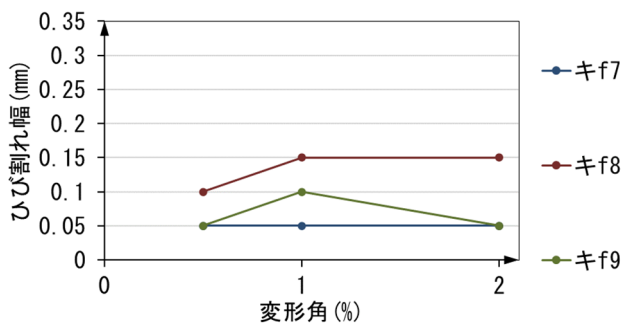
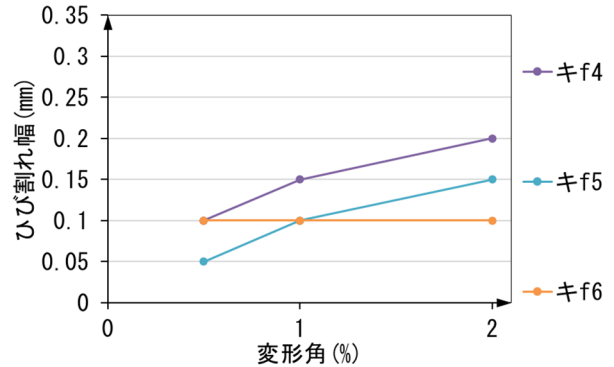
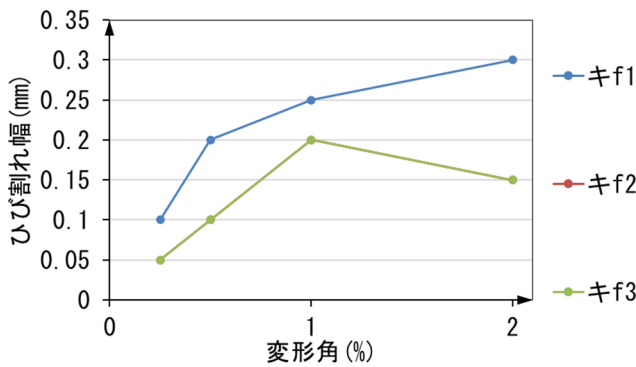


図 3.2.3-109 北基礎梁ひび割れ幅測定位置(試験体 DR-5 -7.0 サイクル 観測面)

表 3.2.3-23 基礎梁ひび割れ幅-層間変形角関係(試験体 DR-5 負荷荷 ピーク時)

DR-5		基礎梁 負荷荷ひび割れ(ピーク時)																			
cycle	%	キf1	キf2	キf3	キf4	キf5	キf6	キf7	キf8	キf9	キf10	キf11	キf12	キf13	キf14	キf16	キf17	キf18	キf19	キf20	
-1サイクル	0.125																				
-2サイクル	0.25	0.1	0.05	0.05																	
-3サイクル	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1	0.05	0.1	0.05	0.1	0.05											
-5サイクル	1	0.25	0.2	0.2	0.15	0.1	0.1	0.05	0.15	0.1	0.05	0.1	0.1	0.05	0.05						
-7サイクル	2	0.3	0.15	0.15	0.2	0.15	0.1	0.05	0.15	0.05	0.05	0.1	0.15	0.05	0.05	0.1	0.05	0.05	0.1	0.05	



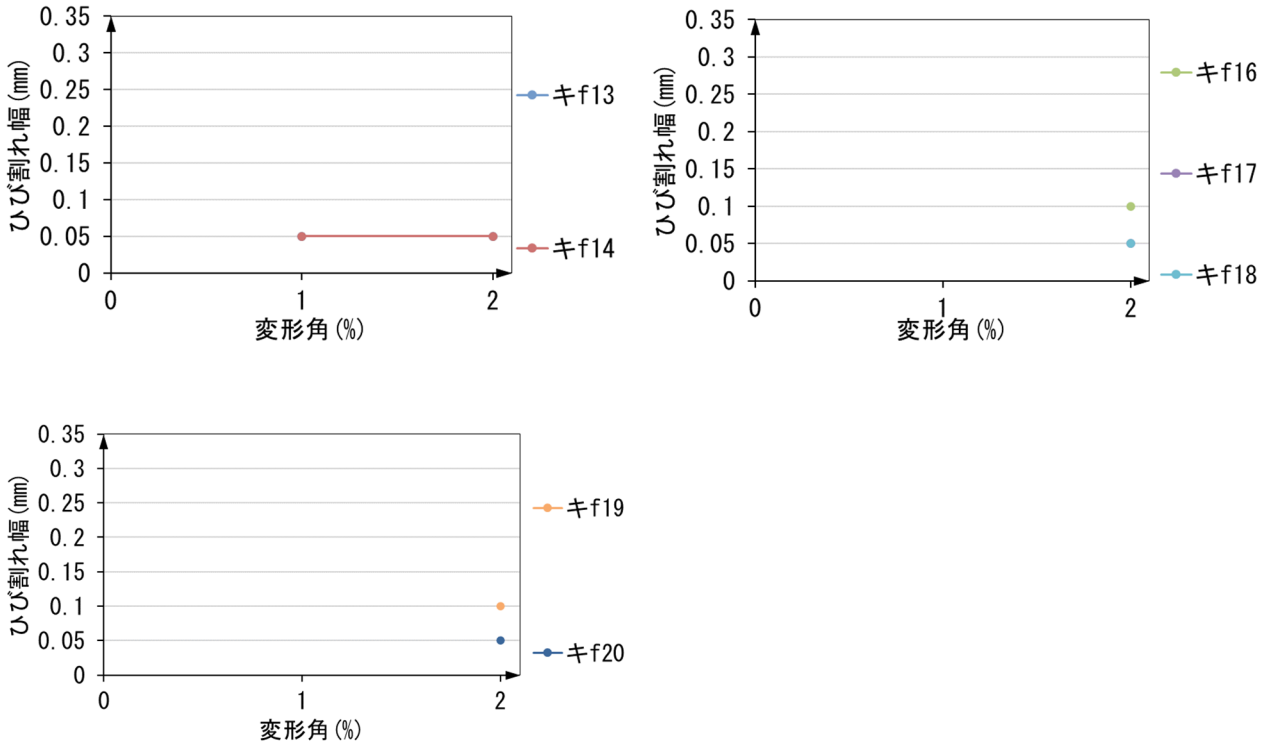


図 3.2.3-110 基礎梁ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 DR-5 負荷 ピーク時)

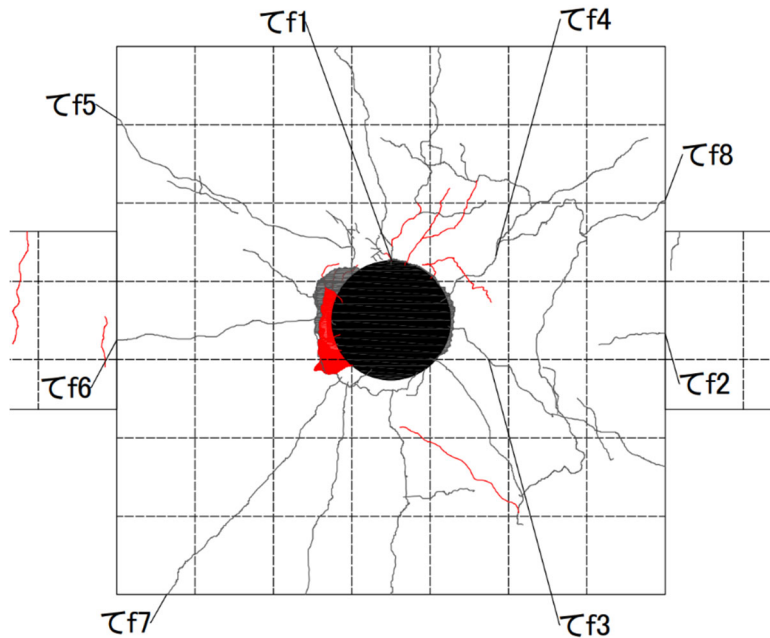


図 3.2.3-111 パイルキャップ底面ひび割れ幅測定位置 (試験体 DR-5 +7.0 サイクル)

表 3.2.3-24 パイルキャップ底面ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 DR-5 正荷荷 ピーク時)

DR-5		パイルキャップ底面 正載荷ひび割れ(ピーク時)						
cycle	%	てf1	てf2	てf3	てf4	てf5	てf6	てf7
+1サイクル	0.125							
+2サイクル	0.25							
+3サイクル	0.5	0.05						
+5サイクル	1	0.05	0.1	0.05	0.05	0.1	0.1	0.05
+7サイクル	2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.25	0.15	0.15

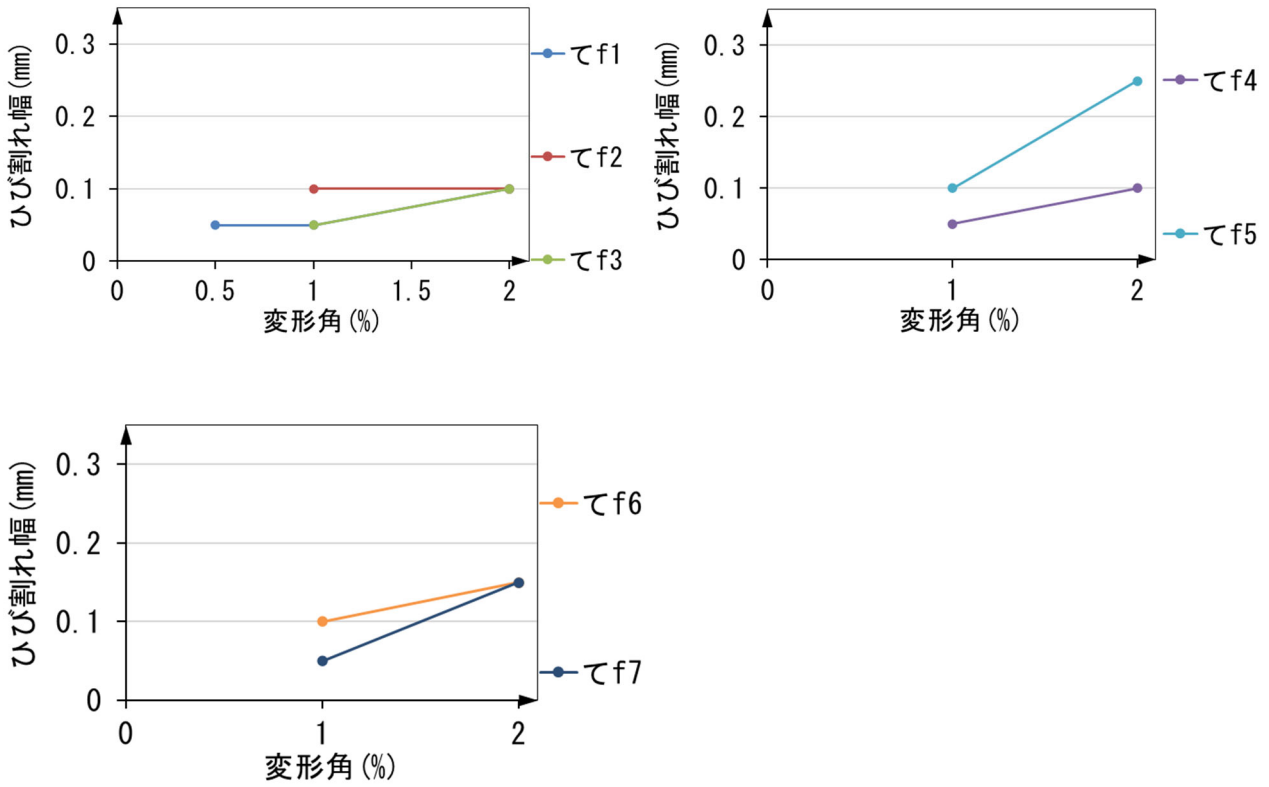


図 3.2.3-112 パイルキャップ底面ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 DR-5 正載荷 ピーク時)

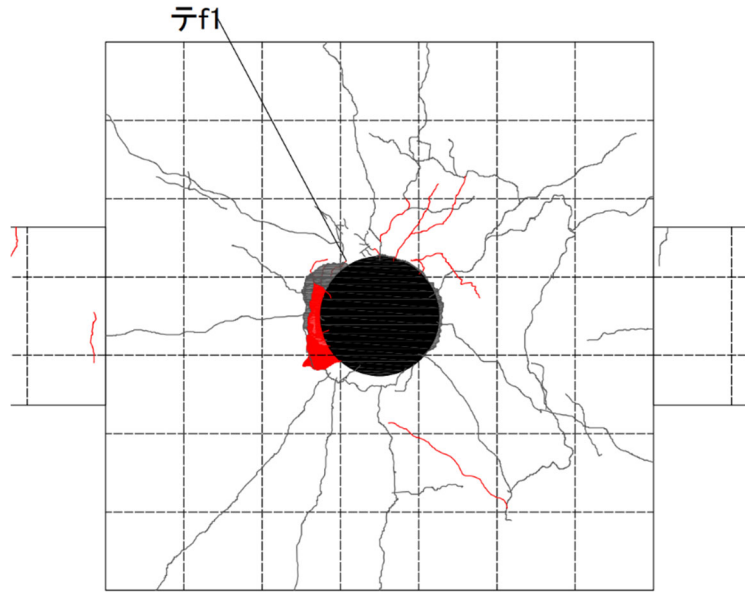


図 3.2.3-113 パイルキャップ底面ひび割れ幅測定位置 (試験体 DR-5 -7.0 サイクル)

表 3.2.3-25 パイルキャップ底面ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 DR-5 負荷荷 ピーク時)

DR-5		パイルキャップ底面 負荷荷ひび割れ(ピーク時)			
cycle	%	テf1			
-1サイクル	0.125				
-2サイクル	0.25				
-3サイクル	0.5	0.1			
-5サイクル	1				
-7サイクル	2				

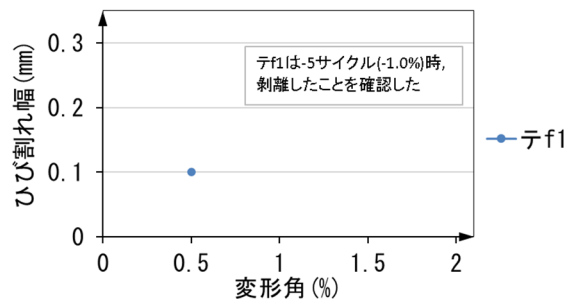


図 3.2.3-114 パイルキャップ底面ひび割れ幅-層間変形角関係 (試験体 DR-5 負荷荷 ピーク時)

● 試験体 DR-1

R=-0.13%サイクルで初めて基礎梁のひび割れを確認した。R=+0.5%の1周目サイクルで初めてパイルキャップ底面部のひび割れを確認し、R=-1.0%の1周目サイクルで剥離し始めた。R=-3.0%の1周目サイクル以降はパイルキャップ底面部のコンクリートの剥離が進展するのみで、他の部材に新しいひび割れは発生しなかった。

● 試験体 DR-2

R=-0.13%サイクルで初めて基礎梁のひび割れを確認した。R=-2.0%の1周目サイクルでは基礎梁の曲げひび割れが拡幅し耐力が低下した。また、パイルキャップと基礎梁の間に圧縮破壊が生じ始めた。R=+0.25%サイクルで初めてパイルキャップ底面部のひび割れを確認し、R=+2.0%の1周目サイクルで剥離し始めた。パイルキャップ底面部のひび割れは試験体 DR-2 が最も進行していた。また、R=+2%の1周目サイクルでは、パイルキャップ底面部のひび割れがパイルキャップ側面へ進行し、危険断面位置に達した。

● 試験体 DR-3

R=+0.25%サイクルで初めて基礎梁のひび割れを確認した。R=+0.5%の1周目サイクルで初めてパイルキャップ底面部のひび割れを確認した。試験体 DR-3 ではパイルキャップ底面部のひび割れはあまり進展することなく、杭頭埋込部周辺のコンクリートのみが剥離した。R=-3.0%の1周目サイクル以降は試験体 DR-1 同様にパイルキャップ底面部のコンクリートの剥離が進展するのみで、他の部材に新しいひび割れは発生しなかった。

● 試験体 DR-4

負荷荷時は試験体 DR-1 と同様に R=-0.13%サイクルで初めてパイルキャップ底面のひび割れを確認した。正荷荷時は試験体 DR-1 より遅い R=+0.5%サイクルで初めてパイルキャップ底面のひび割れを確認した。試験体 DR-1 と同様にパイルキャップ底面のひび割れが進行すると、他部材でのひび割れがほぼ進行しなくなった。

● 試験体 DR-5

パイルキャップ底面のひび割れについて、DR-1 と同じく正荷荷、負荷荷ともに上下端のひび割れ幅が大きくなった。正荷荷では、南基礎梁側のひび割れ幅が増大した。基礎梁について、南基礎梁は正荷荷、負荷荷ともに袖壁端付近のひび割れが大きくなった。北基礎梁については正荷荷、負荷荷ともにパイルキャップと基礎梁間に位置するひび割れが大きくなった。ひび割れが発生した順も南基礎梁は袖壁端付近、北基礎梁はパイルキャップと基礎梁間の位置となっていた。

● 試験体 DR-1, 2, 3 の比較

全試験体でパイルキャップ底面部のひび割れや杭頭埋込部周辺のコンクリートの剥離や剥落が生じた。杭頭接合部底面のひび割れは、杭頭埋込長さを 1.5D とした試験体 DR-2 で最も広がり、杭頭埋込を無しとした試験体 DR-3 では殆ど発生しなかった。また試験体 DR-2 は、試験体 DR-1, DR-3 に比べ、負荷荷時の基礎梁の曲げひび割れが顕著に現れた。

- 試験体 DR-1, 4 の比較

試験体 DR-1 と DR-4 は、パイルキャップのひび割れについて、正載荷、負載荷ともに上下端のひび割れ幅が大きくなった。正載荷では、同じく東面のひび割れ幅が増大した。基礎梁、パイルキャップ底面共にひび割れが入ったが、層間変形角 $R=3.0\%$ 以降は、パイルキャップ底面のひび割れが支配的となった。また、パイルキャップ底面のひび割れは、試験体 DR-1 に比べ、試験体 DR-4 の方が広範囲であった。

- 試験体 DR-1, 5 の比較

パイルキャップ底面のひび割れを比べてみると、DR-5 の方がひび割れの数が多く観測された。ひび割れ幅の大きさは両試験体ともさほど違いはなかった。剝離した範囲は DR-5 の方が多少大きかった。基礎梁のひび割れについては、ほとんど同じような性状であったと評価できた。南基礎梁については正載荷時に、ひび割れ発生順と大きさに違いがあった。

(4) 各鉄筋ひずみ分布

試験体 DR-1

図 3.2.3-115 に杭頭定着筋各ピーク時のひずみ分布を示す。

試験体 DR-2

図 3.2.3-116 に基礎梁主筋各ピーク時のひずみ分布を，図 3.2.3-117 に杭頭定着筋各ピーク時のひずみ分布を示す。

試験体 DR-3

図 3.2.3-118 に杭頭定着筋各ピーク時のひずみ分布を示す。

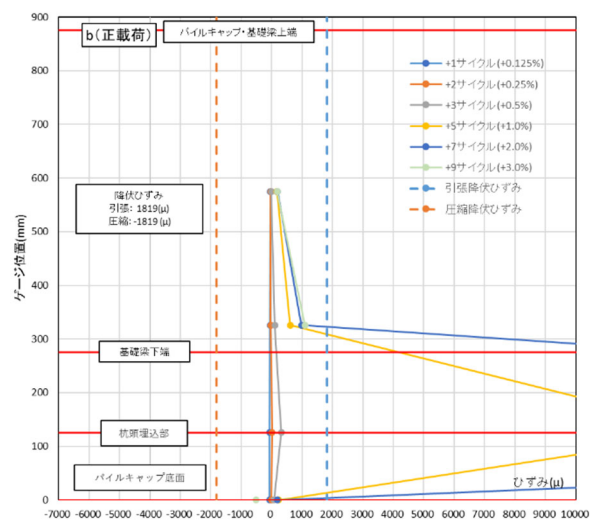
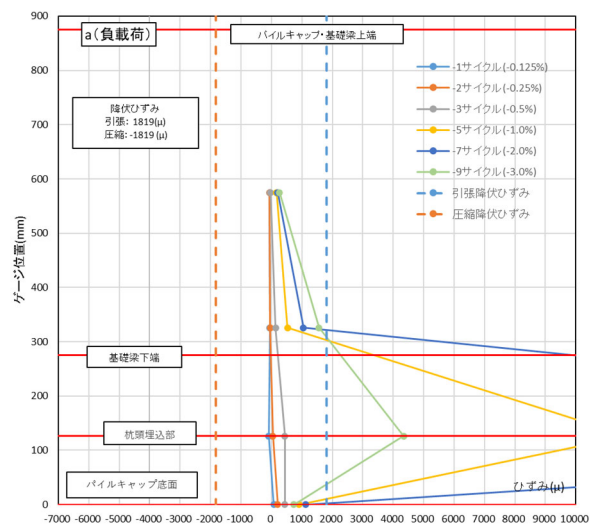
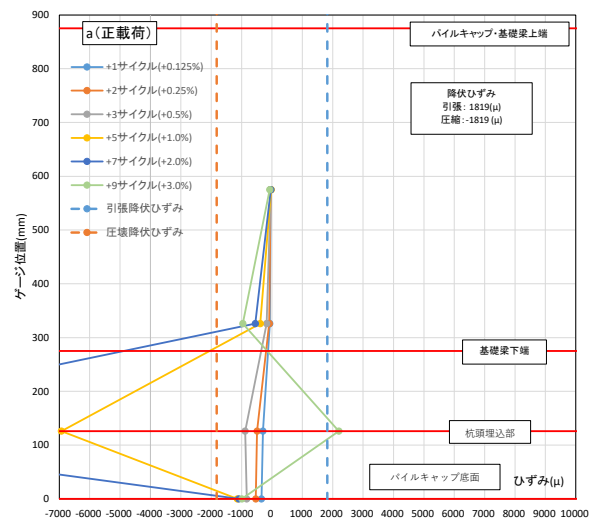
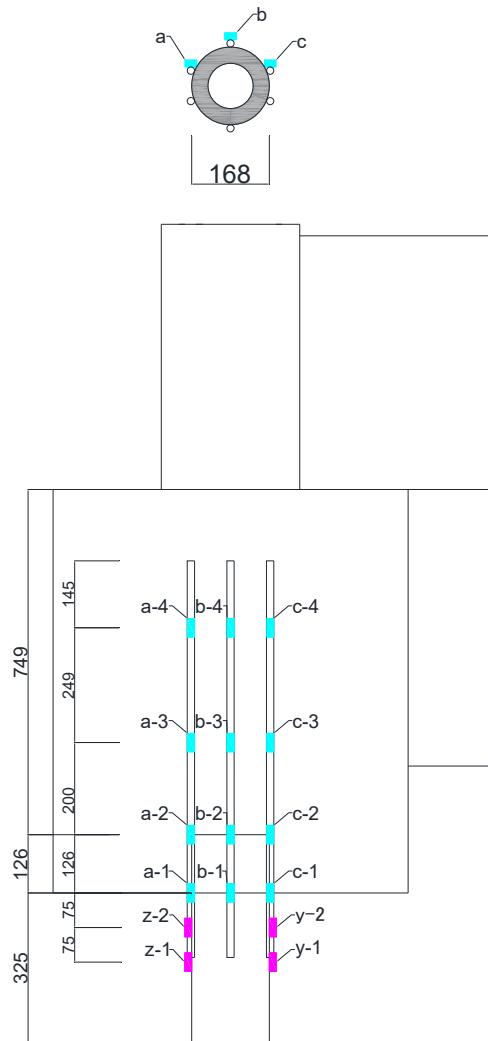
試験体 DR-4

図 3.2.3-119 に杭頭定着筋各ピーク時のひずみ分布を示す。

試験体 DR-5

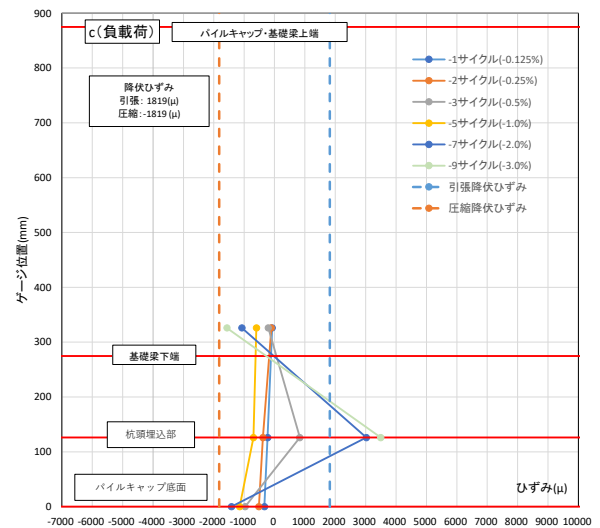
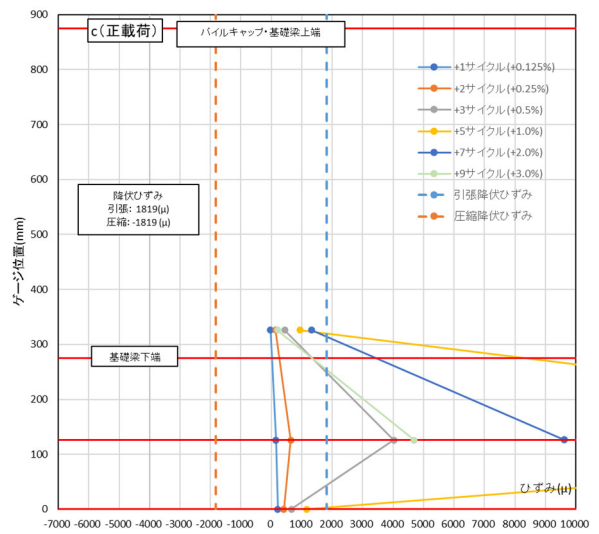
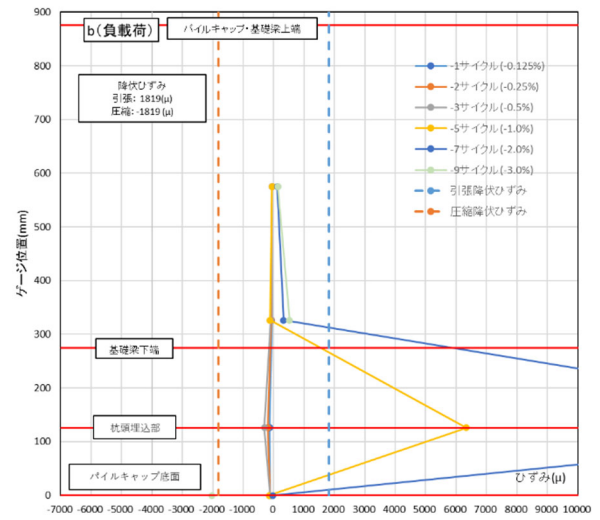
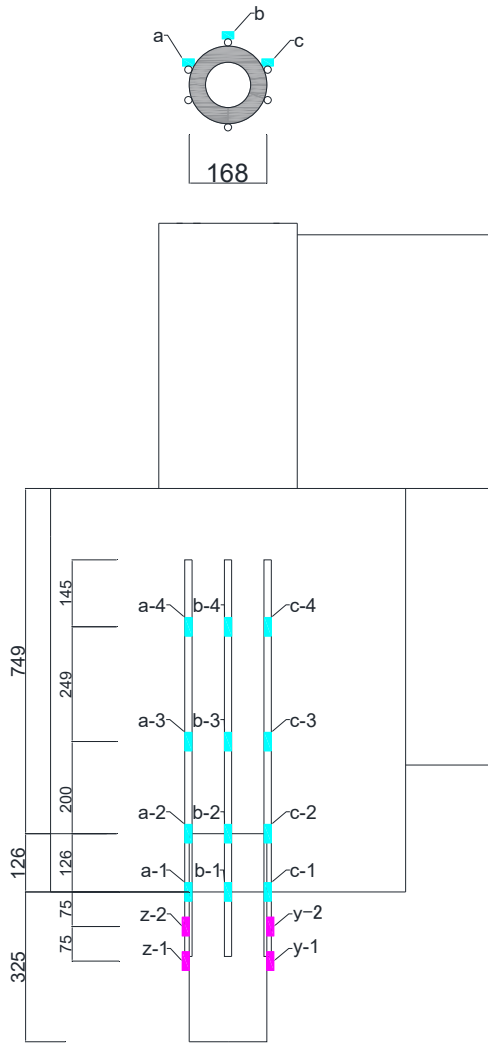
図 3.2.3-120 に杭頭定着筋各ピーク時のひずみ分布を示す。

● 試験体 DR-1



(a) 正載荷側

図 3.2.3-115 試験体 DR-1 杭頭定着筋ひずみ分布



(b) 負荷側

図 3. 2. 3-115 試験体 DR-1 杭頭定着筋ひずみ分布

● 試験体 DR-2

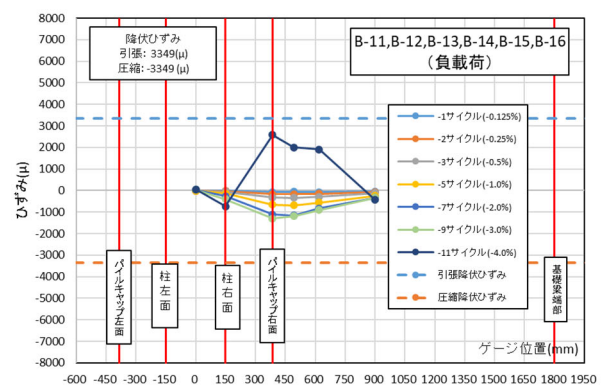
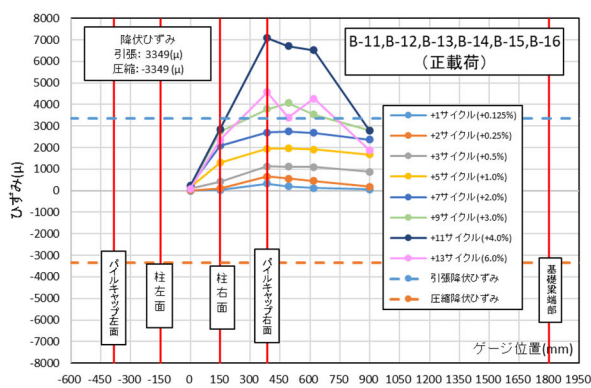
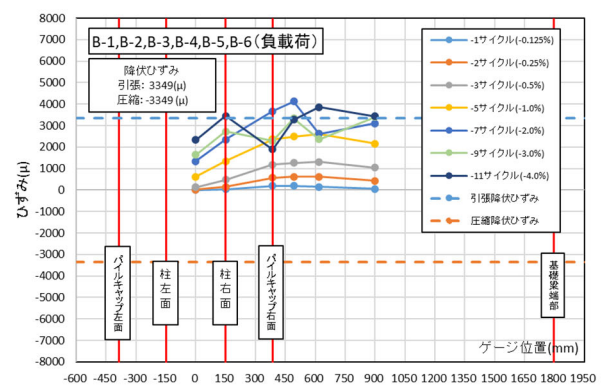
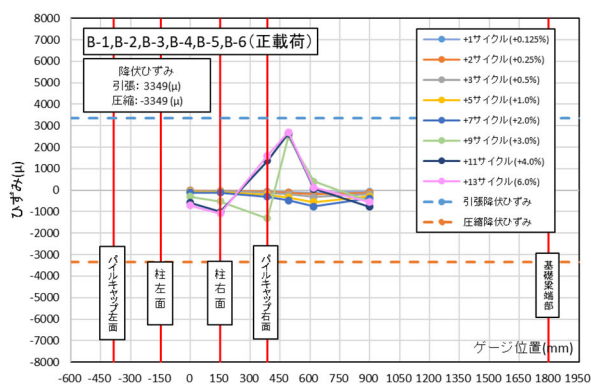
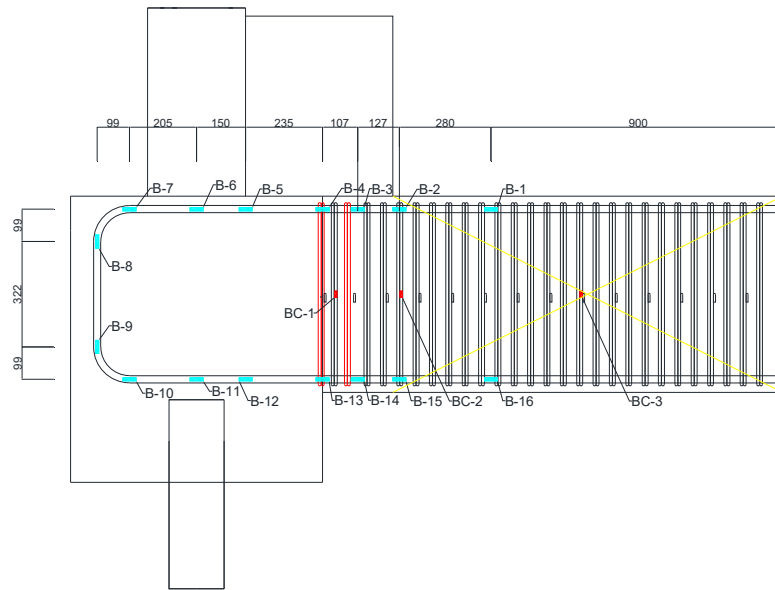
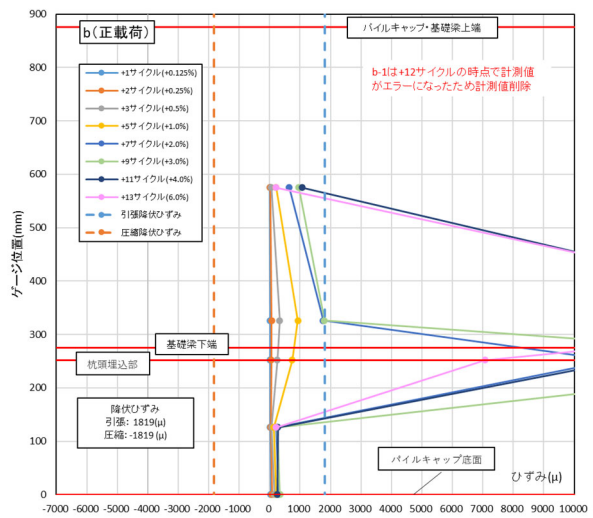
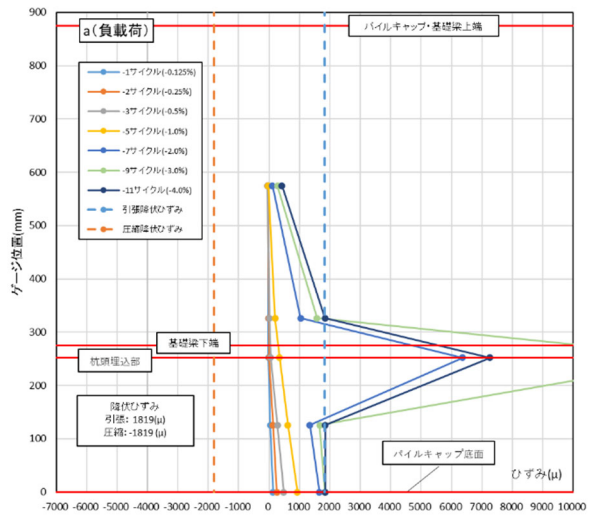
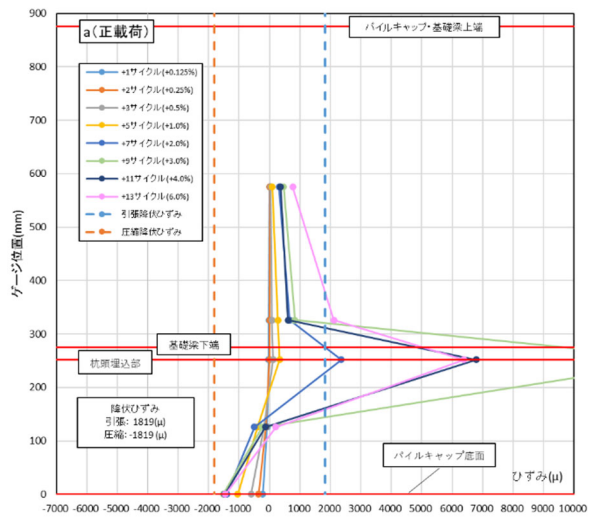
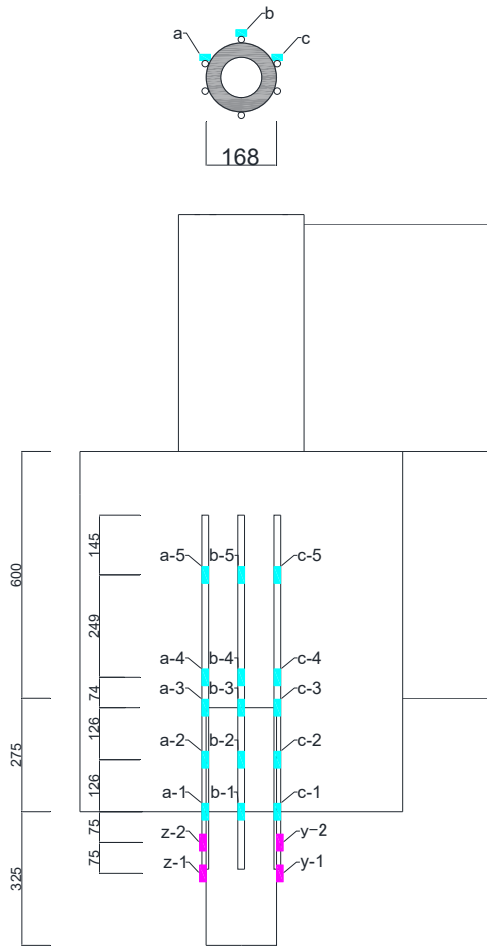


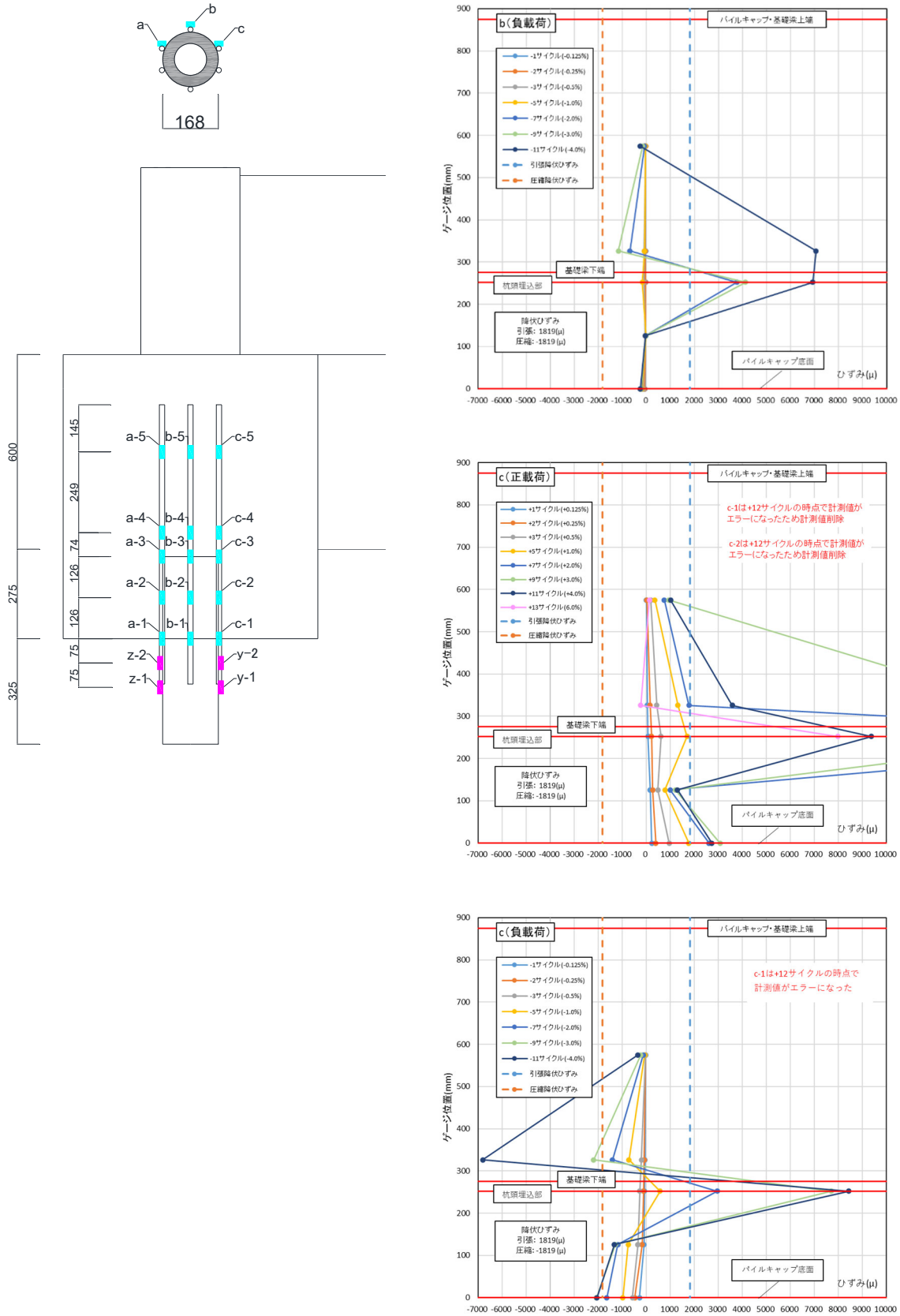
図 3.2.3-116 試験体 DR-2 基礎梁主筋ひずみ分布



(a) 正載荷側

図 3.2.3-117 試験体 DR-2 杭頭定着筋ひずみ分布

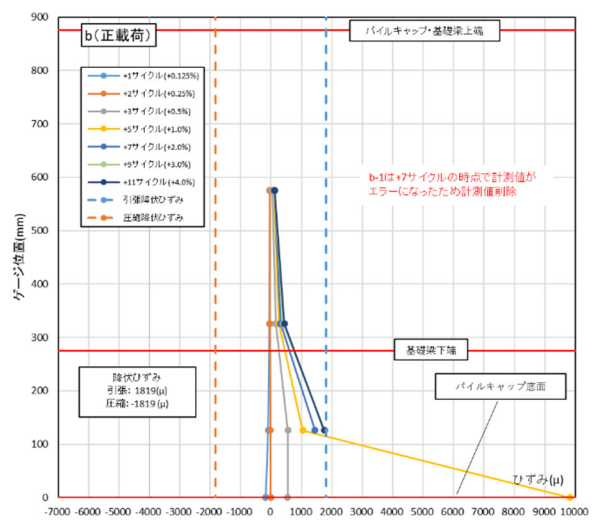
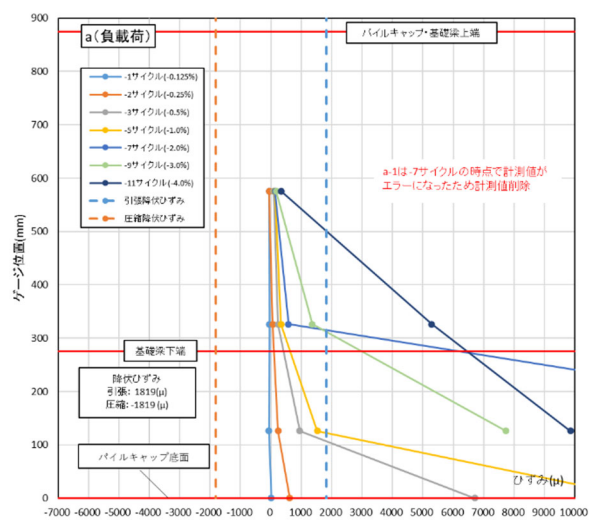
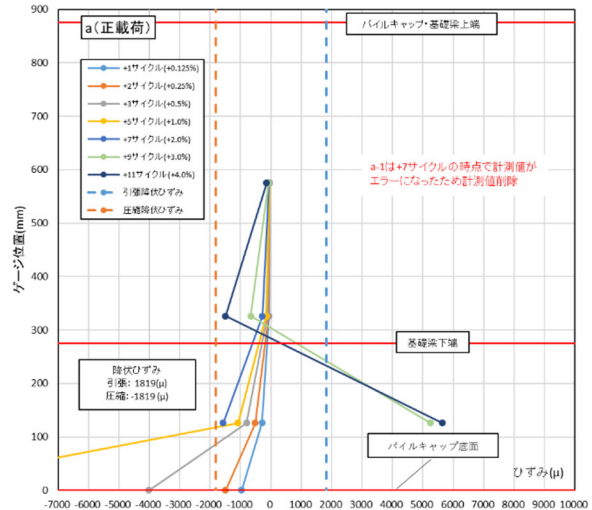
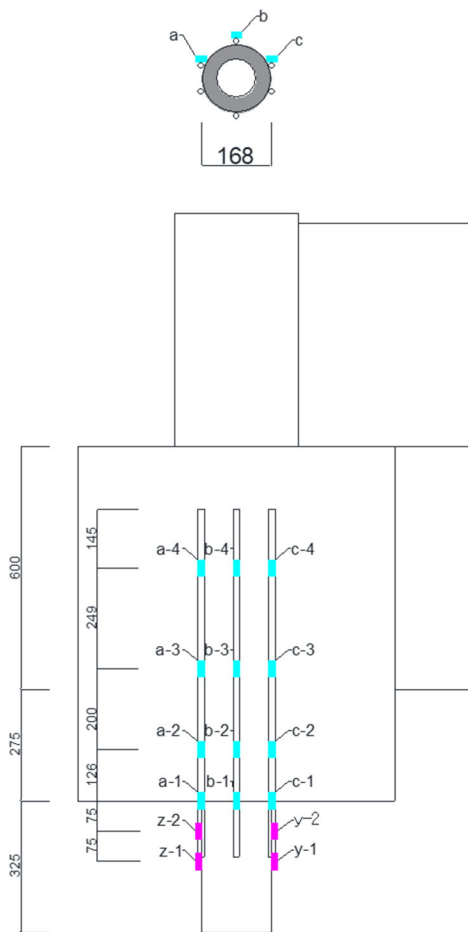
第3章 既製杭を対象とした靱性のある杭頭接合面降伏の実現可能性を確認するための実験



(b) 負荷側

図 3.2.3-117 試験体 DR-2 杭頭定着筋ひずみ分布

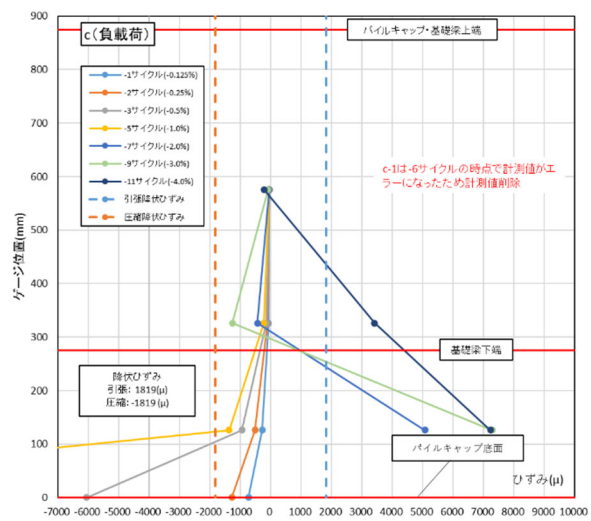
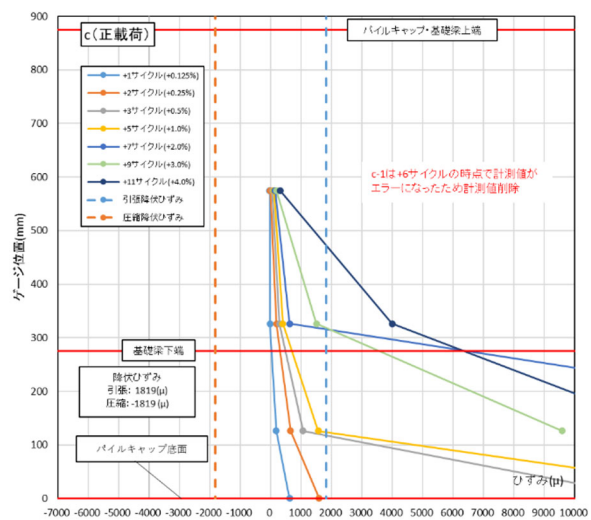
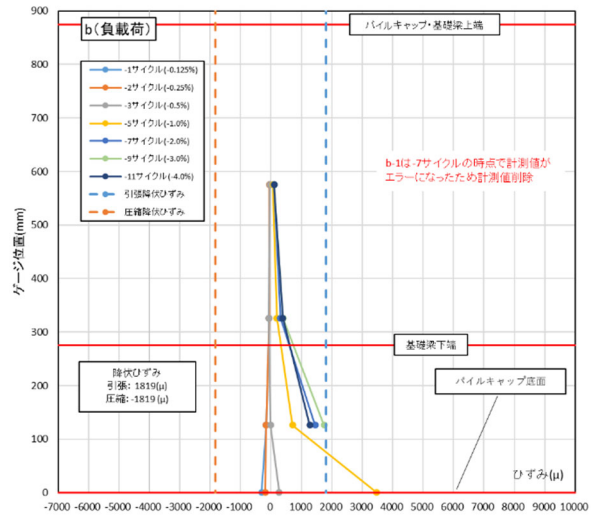
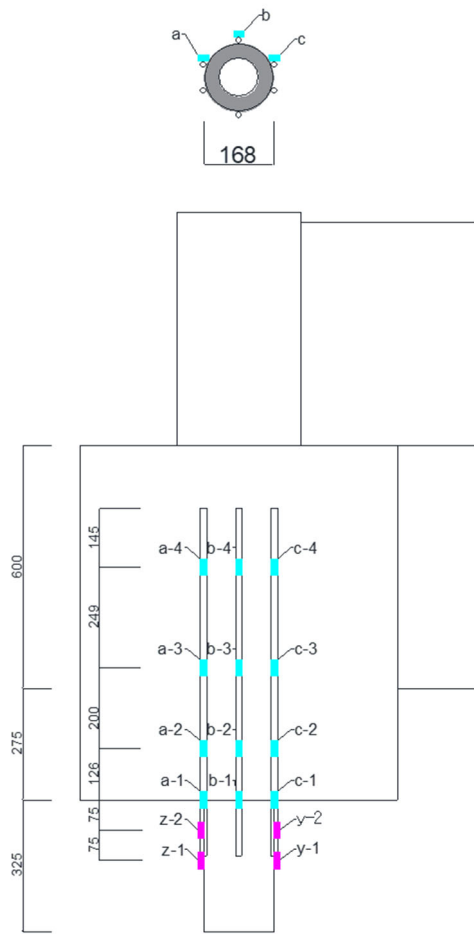
● 試験体 DR-3



(a) 正載荷側

図 3.2.3-118 試験体 DR-3 杭頭定着筋ひずみ分布

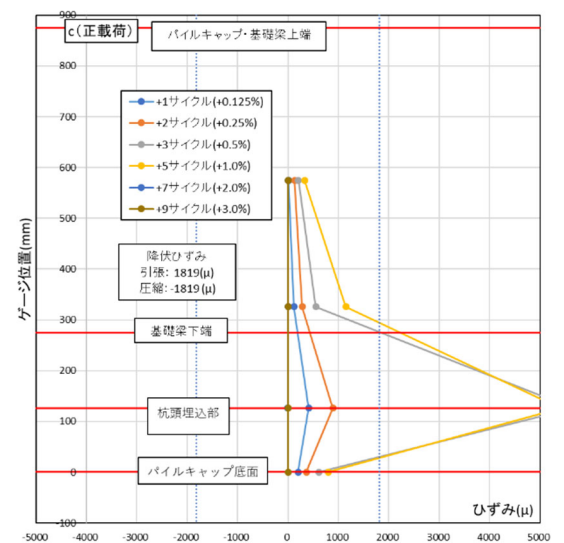
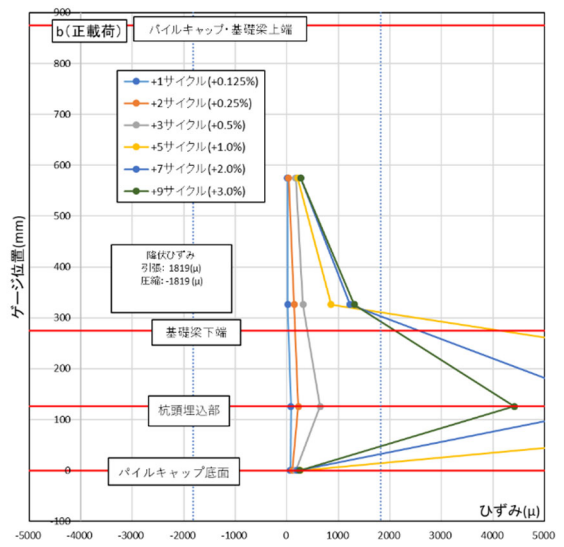
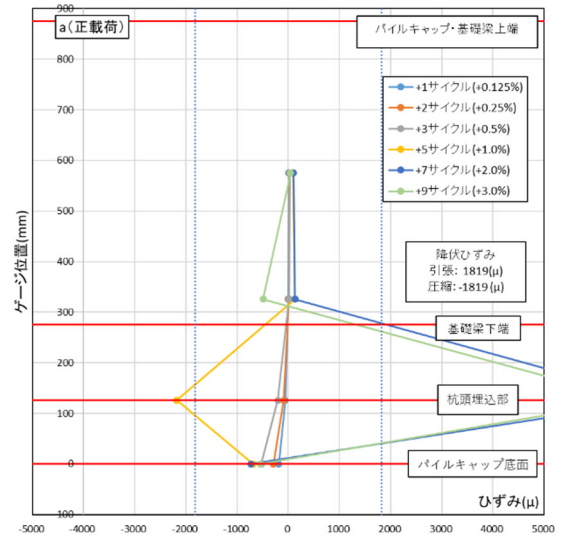
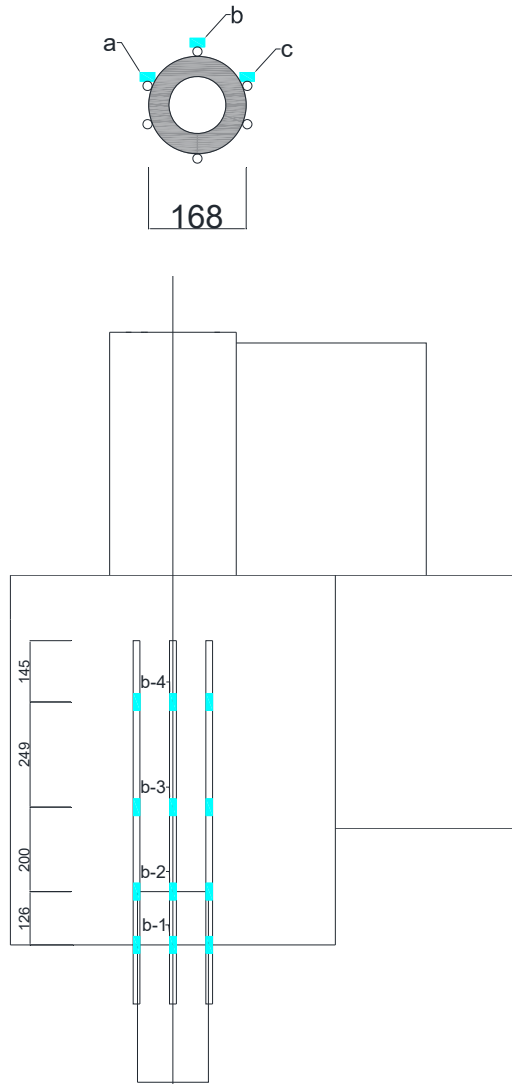
第3章 既製杭を対象とした靱性のある杭頭接合面降伏の実現可能性を確認するための実験



(b) 負荷荷側

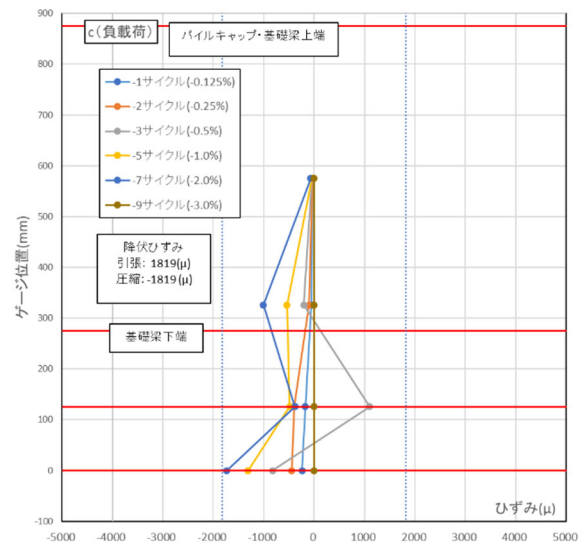
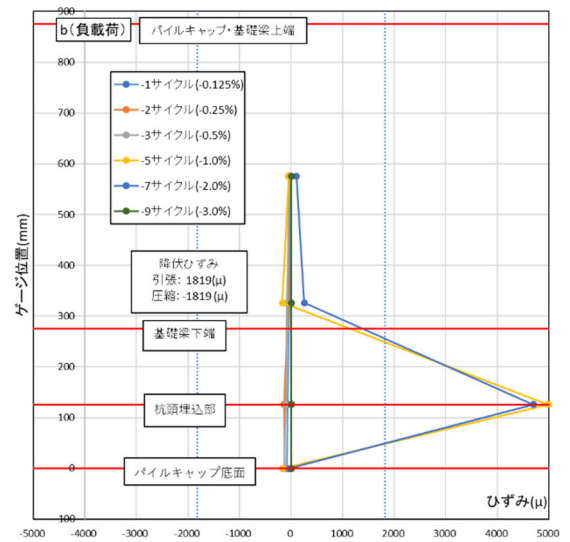
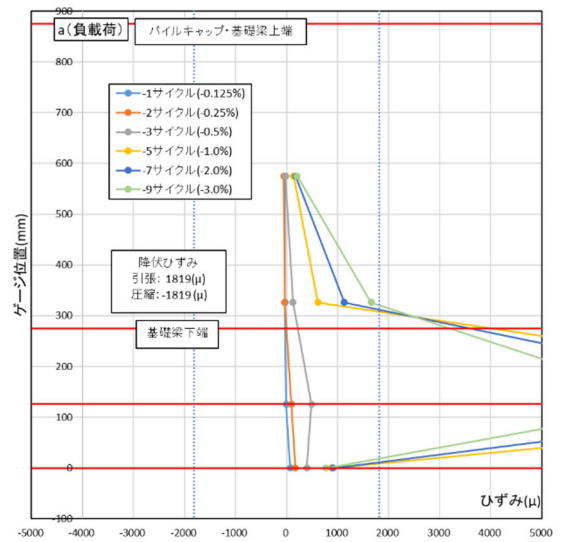
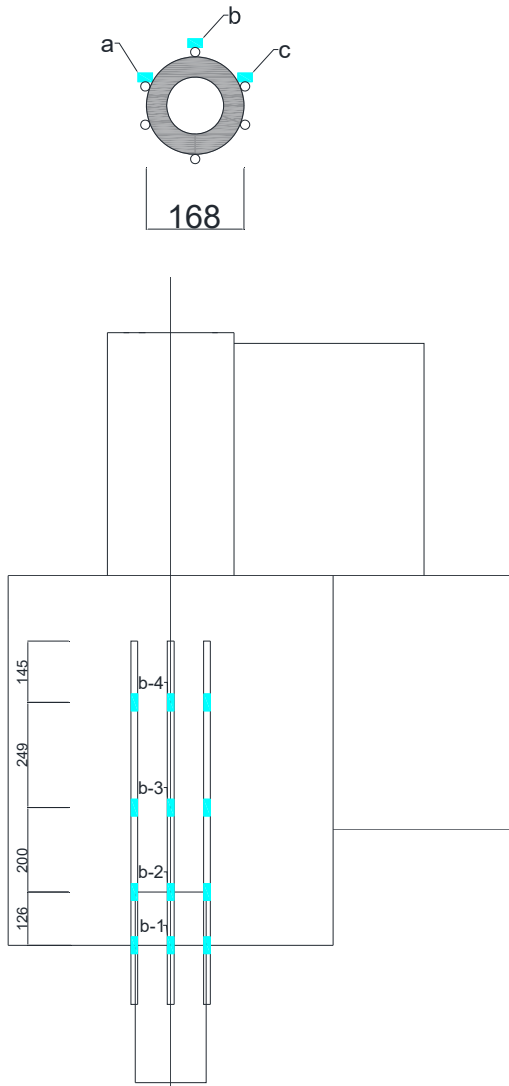
図 3. 2. 3-118 試験体 DR-3 杭頭定着筋ひずみ分布

● 試験体 DR-4



(a) 正載荷側

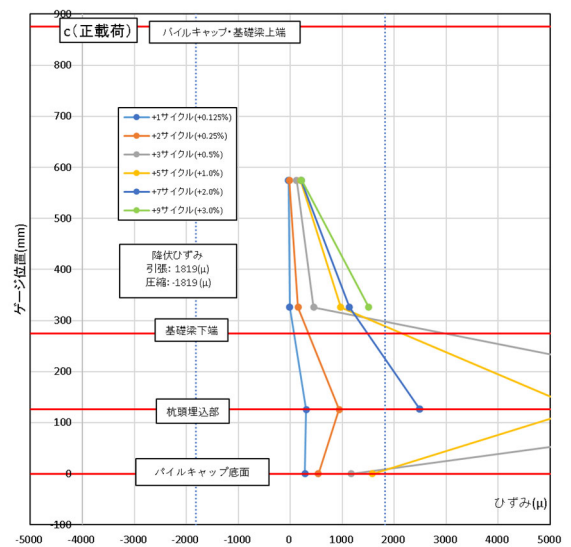
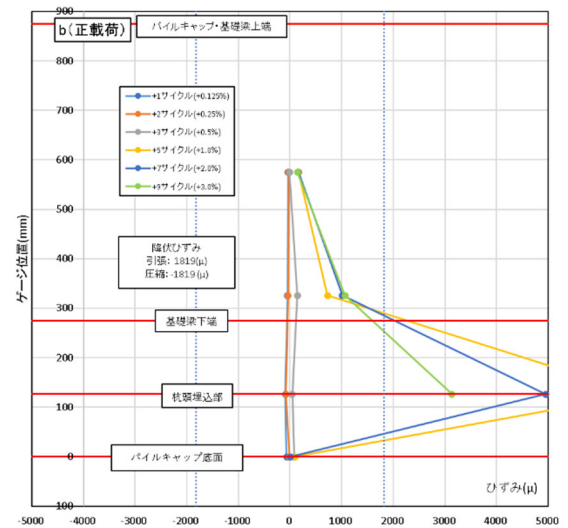
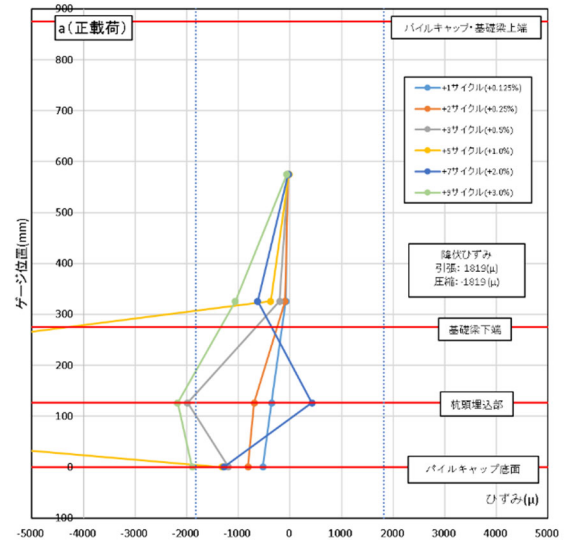
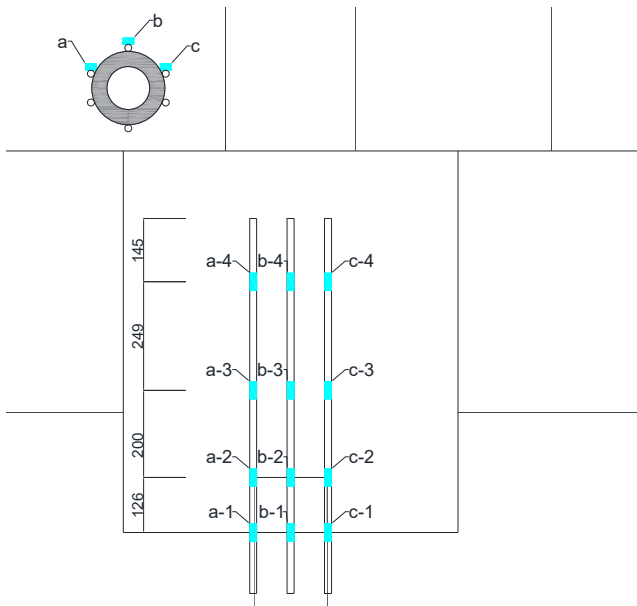
図 3.2.3-119 試験体 DR-4 杭頭定着筋ひずみ分布



(b) 負荷荷側

図 3. 2. 3-119 試験体 DR-4 杭頭定着筋ひずみ分布

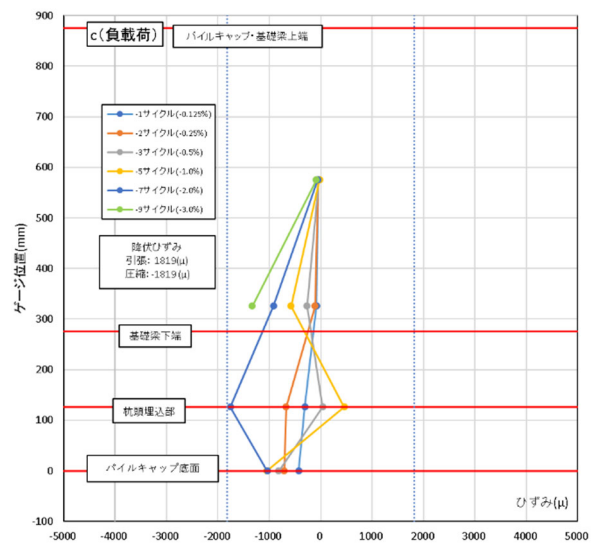
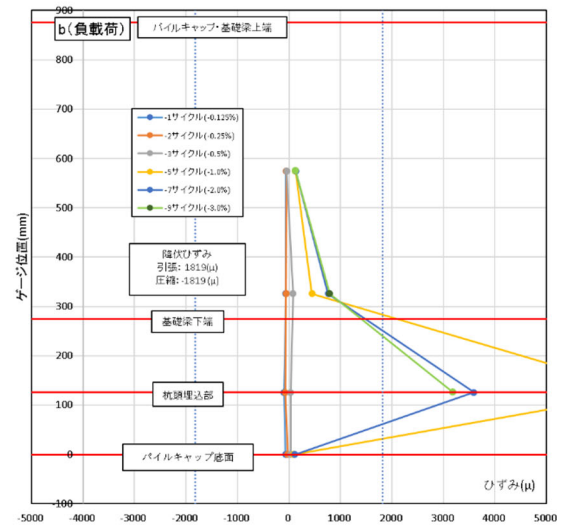
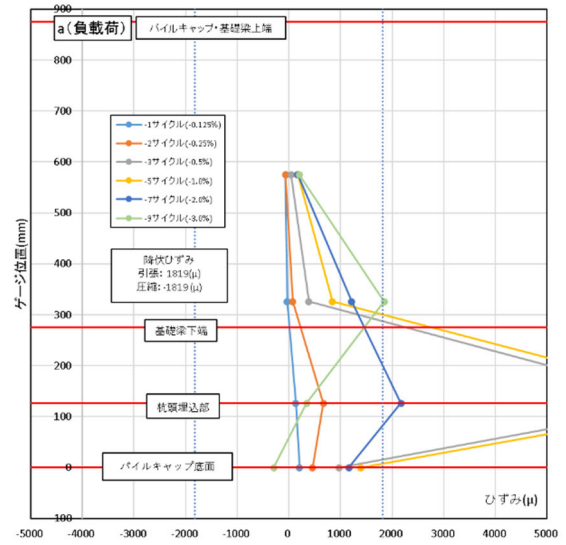
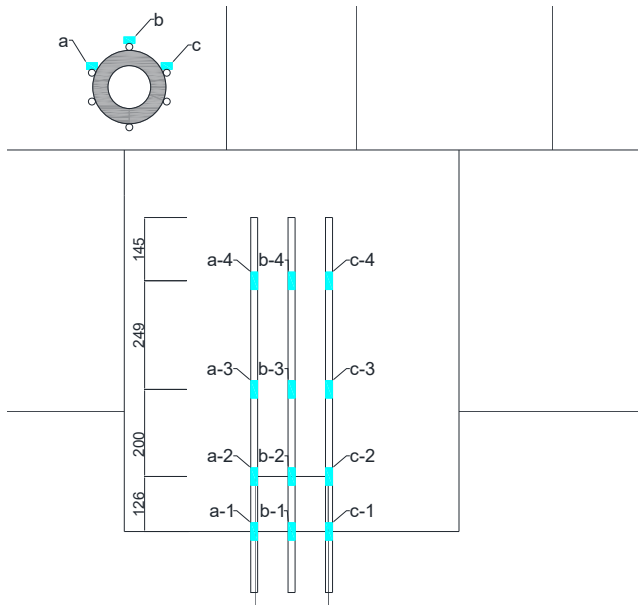
● 試験体 DR-5



(a) 正載荷側

図 3. 2. 3-120 試験体 DR-5 杭頭定着筋ひずみ分布

第3章 既製杭を対象とした靱性のある杭頭接合面降伏の実現可能性を確認するための実験



(b) 負荷側

図 3. 2. 3-120 試験体 DR-5 杭頭定着筋ひずみ分布

(5) 杭頭定着筋の降伏状況

● 試験体 DR-1

表 3. 2. 3-26 に各部材の鉄筋降伏表を示す。また、図 3. 2. 3-121 に杭頭定着筋の降伏位置の推移を示す。

表 3. 2. 3-26 各部材の鉄筋降伏表 (a : 引張 b : 圧縮)

(a)

試験体DR-1	諸現象	Step	Cycle	Q(kN)	R(%)	梁せん断力(kN)	軸力(kN)	ゲージ位置
柱	主筋降伏時	降伏なし						
	補強筋降伏時	降伏なし						
基礎梁	主筋降伏時	降伏なし						
	補強筋降伏時	降伏なし						
パイルキャップ	縦筋降伏時	降伏なし						
	横筋降伏時	降伏なし						
袖壁	主筋降伏時	995 (負)	-5 (-1.0%)	-1.5625	0.281667	2.5	327	Wa-3
	補強筋降伏時	降伏なし						
杭	杭頭定着筋降伏時	1077(負)	-5(-1.0%)	-122.0625	-0.71333	195.3	328	a-2
		2736 (負)	-10 (-3.0%)	-95	-2.36708	152	326	a-3
		891(正)	+5(+1.0%)	139.875	0.7475	-223.8	328	b-2
		432(正)	+3(+0.5%)	108.4375	0.4575	-173.5	326	c-2
		2113 (正)	+9 (+3%)	113.4375	1.867917	-181.5	330	c-3

(b)

試験体DR-1	諸現象	Step	Cycle	Q(kN)	R(%)	梁せん断力(kN)	軸力(kN)	ゲージ位置
柱	主筋降伏時	降伏なし						
	補強筋降伏時	降伏なし						
基礎梁	主筋降伏時	降伏なし						
	補強筋降伏時	降伏なし						
パイルキャップ	縦筋降伏時	降伏なし						
	横筋降伏時	降伏なし						
袖壁	主筋降伏時	降伏なし						
	補強筋降伏時	降伏なし						
杭	杭頭定着筋降伏時	891 (正)	+5 (+1.0%)	139.875	0.7475	-223.8	328	a-2
		2244 (負)	-9 (-3.0%)	-38.75	1.379167	62	327	b-1
		2497 (負)	+9 (+3.0%)	39.6875	-0.1075	-63.5	328	a-1

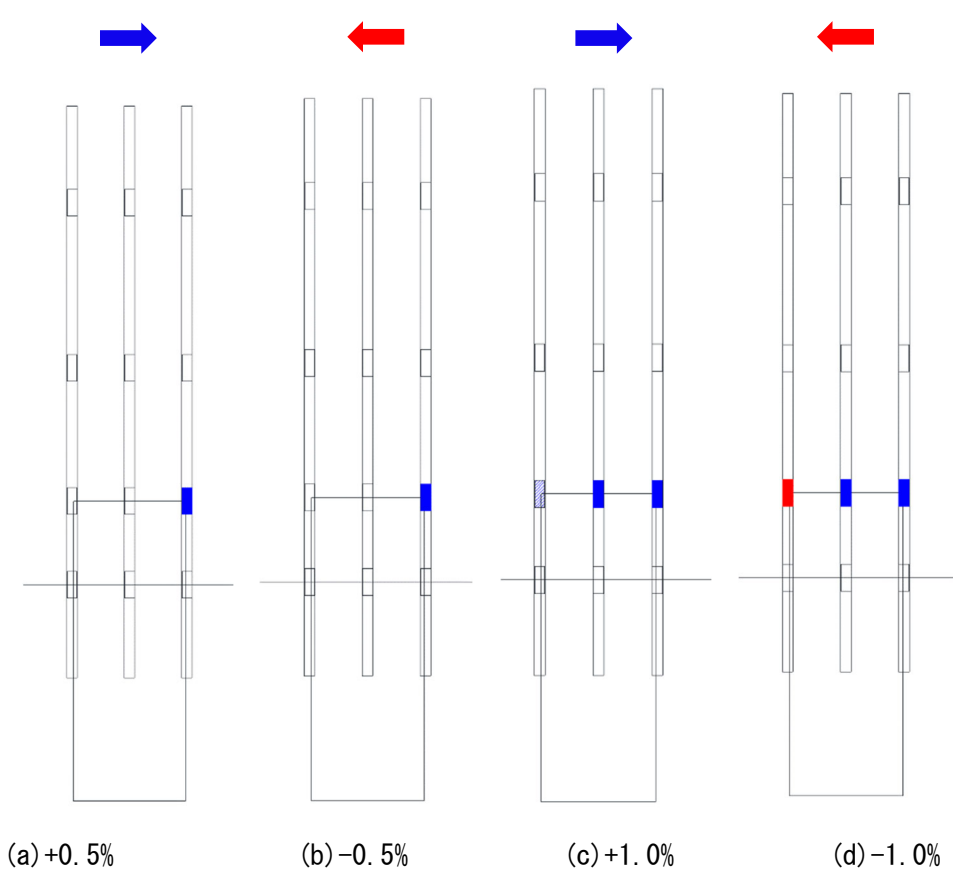
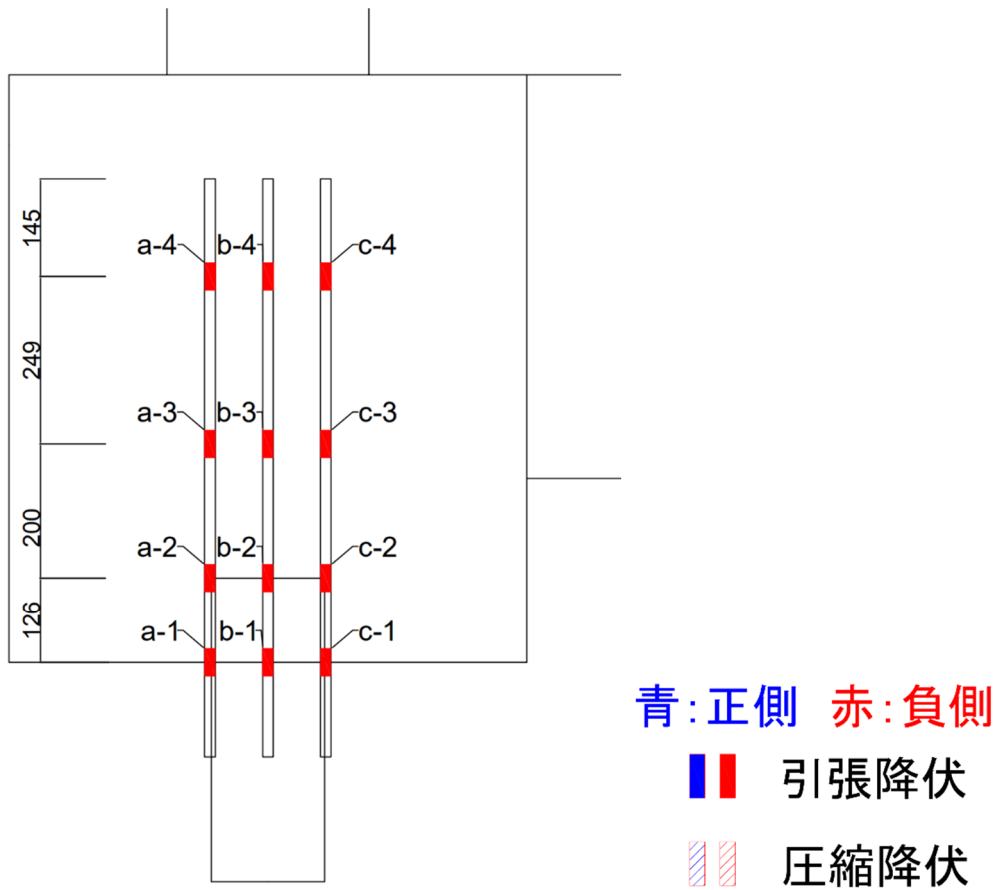


図 3. 2. 3-121 試験体 DR-1 杭頭定着筋の降伏位置の推移

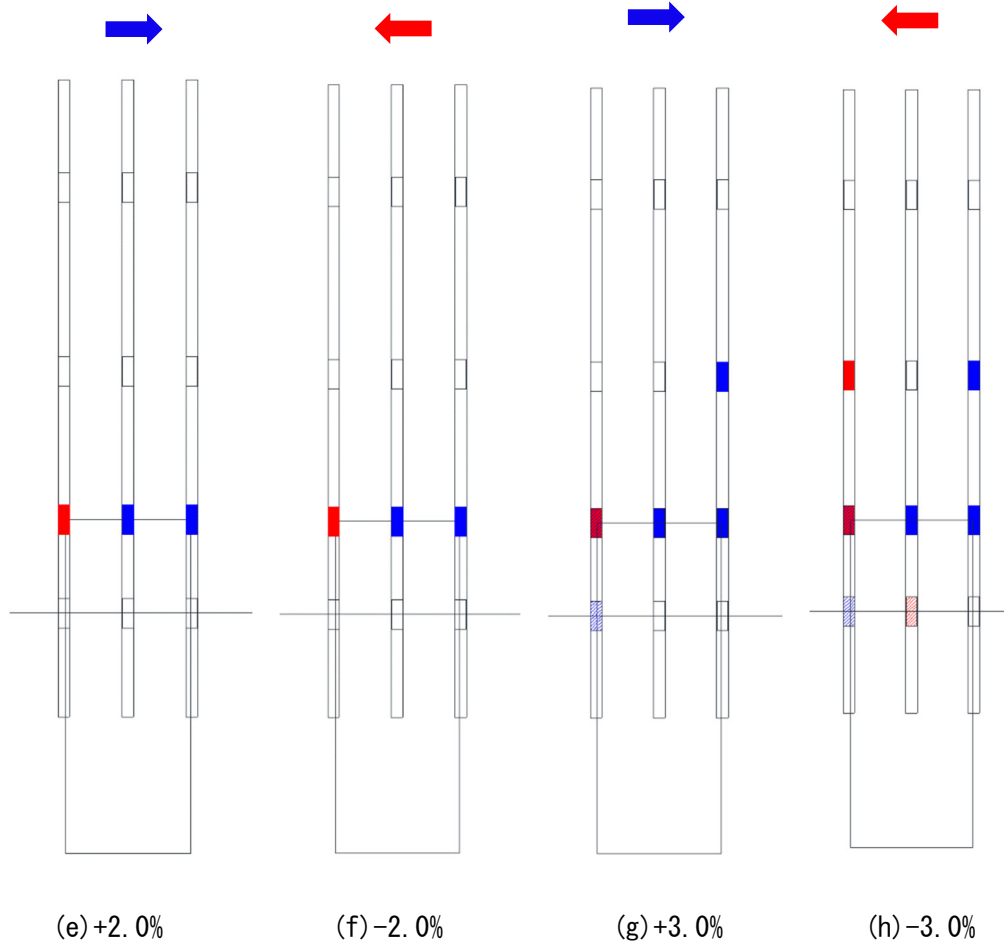


図 3. 2. 3-121 試験体 DR-1 杭頭定着筋の降伏位置の推移

● 試験体 DR-2

以下表 3.2.3-27 に各部材の鉄筋降伏表を示す。また、図 3.2.3-122 に杭頭定着筋の降伏位置の推移を示す。

表 3.2.3-27 各部材の鉄筋降伏表 (a : 引張 b : 圧縮)

(a)

試験体DR-2	諸現象	Step	Cycle	Q(kN)	R(%)	梁せん断力(kN)	軸力(kN)	ゲージ位置
柱	主筋降伏時	降伏なし						
	補強筋降伏時	降伏なし						
基礎梁	主筋降伏時	1425 (負)	-7 (-2.0%)	-222.06	-1.333	355.3	326	B-2
		1426 (負)	-7 (-2.0%)	-231.43	-1.406	370.3	327	B-3
		1427 (負)	-7 (-2.0%)	-239.88	-1.478	383.8	327	B-4
		1779 (正)	+9 (+3.0%)	242.19	2.567	-387.5	-85	B-13
		1774 (正)	+9 (+3.0%)	231.88	2.262	-371	-85	B-14
		1778 (正)	+9 (+3.0%)	240.5	2.505	-384.8	-85	B-15
		1907 (負)	-9 (-3.0%)	-255.5	-2.704	408.8	326	B-1
	2560 (負)	-11 (-4.0%)	-250.19	-3.748	400.3	327	B-5	
	補強筋降伏時	降伏なし						
パイルキャップ	縦筋降伏時	1564 (正)	+8 (+2.0%)	212.69	1.844	-340.3	-84	Pd-2
		1772 (正)	+9 (+3.0%)	227.06	2.142	-363.3	-86	Pd-3
		1792 (正)	+9 (+3.0%)	248.13	2.966	-397	-87	Pz-2
	横筋降伏時	2956 (正)	+13 (+6.0%)	181.88	5.27	-291	-87	OPa-1
		2974 (正)	+13 (+6.0%)	166.88	5.854	-267	-88	OPa-3
		2975 (正)	+13 (+6.0%)	164.88	5.93	-263.8	-88	OPa-2
袖壁	主筋降伏時	1422 (負)	-7 (-2.0%)	-203.75	-1.208	326	326	Wa-2
		2155 (負)	-10 (-3.0%)	-241.13	-2.956	385.8	328	Wb-2
	補強筋降伏時	降伏なし						
杭	杭頭定着筋降伏時	791 (正)	+5 (+1.0%)	150.81	0.995	-241.3	-87	c-3
		1249 (正)	+7 (+2.0%)	168.94	1.111	-270.3	-87	c-1
		1253 (正)	+7 (+2.0%)	177.06	1.183	-283.3	-86	b-3
		1287 (正)	+7 (+2.0%)	213.63	1.812	-341.8	-88	a-3
		1555 (正)	+8 (+2.0%)	153.75	1.241	-246	-83	c-4
		2009 (正)	+10 (+3.0%)	162.5	1.599	-260	-85	b-4
		1910 (負)	-9 (-3.0%)	-257.06	-2.84	411.3	327	a-1
		2544 (負)	-11 (-4.0%)	-223.63	-2.866	357.8	325	a-4
		2558 (負)	-11 (-4.0%)	-248.75	-3.675	398	327	a-2

(b)

試験体DR-2	諸現象	Step	Cycle	Q(kN)	R(%)	梁せん断力(kN)	軸力(kN)	ゲージ位置
柱	主筋降伏時	降伏なし						
	補強筋降伏時	降伏なし						
基礎梁	主筋降伏時	降伏なし						
	補強筋降伏時	降伏なし						
パイルキャップ	縦筋降伏時	降伏なし						
	横筋降伏時	降伏なし						
袖壁	主筋降伏時	降伏なし						
	補強筋降伏時	降伏なし						
杭	杭頭定着筋降伏時	1898 (負)	-9 (-3.0%)	-245.63	-2.178	393	327	c-4
		1899 (負)	-9 (-3.0%)	-248.13	-2.258	397	326	c-1

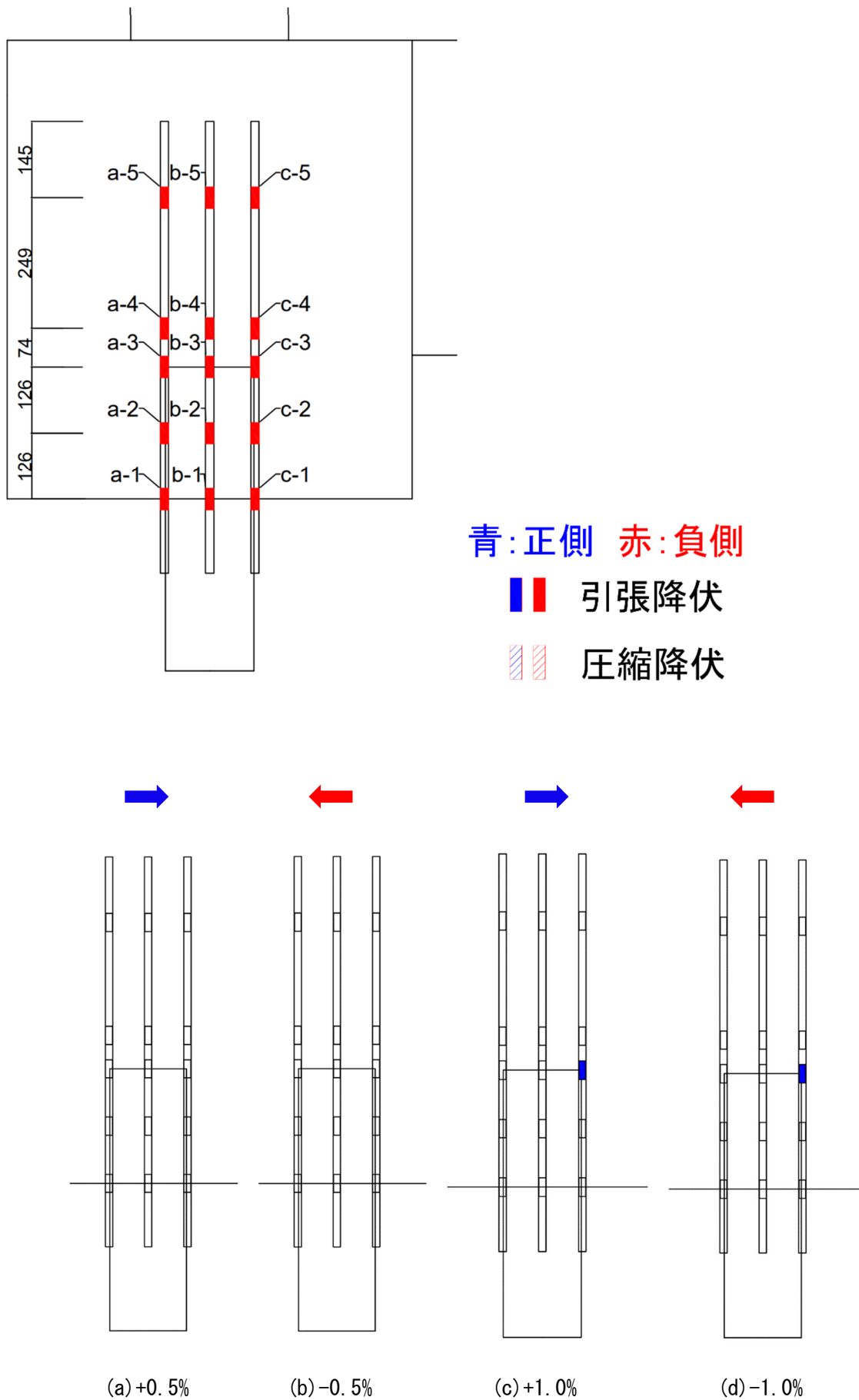


図 3.2.3-122 試験体 DR-2 杭頭定着筋の降伏位置の推移

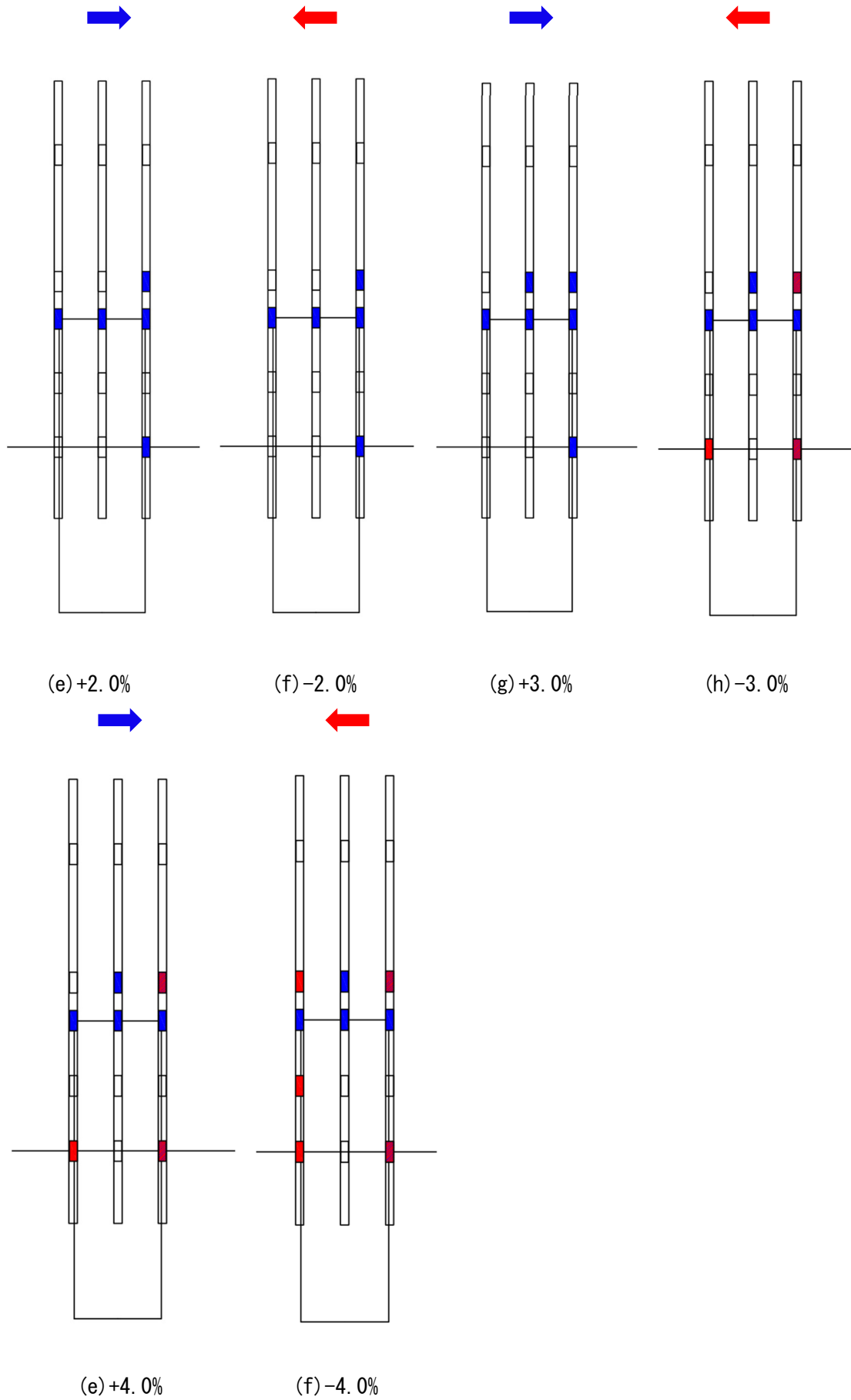


図 3. 2. 3-122 試験体 DR-2 杭頭定着筋の降伏位置の推移

● 試験体 DR-3

以下表 3.2.3-28 に各部材の鉄筋降伏表を示す。また、図 3.2.3-123 に杭頭定着筋の降伏位置の推移を示す。

表 3.2.3-28 各部材の鉄筋降伏表 (a : 引張 b : 圧縮)

(a)

試験体DR-3	諸現象	Step	Cycle	Q(kN)	R(%)	梁せん断力(kN)	軸力(kN)	ゲージ位置
柱	主筋降伏時	降伏なし						
	補強筋降伏時	降伏なし						
基礎梁	主筋降伏時	降伏なし						
	補強筋降伏時	降伏なし						
パイルキャップ	縦筋降伏時	降伏なし						
	横筋降伏時	降伏なし						
袖壁	主筋降伏時	降伏なし						
	補強筋降伏時	降伏なし						
杭	杭頭定着筋降伏時	305 (正)	+3 (+0.5%)	57.19	0.275	-91.5	321	c-1
		429 (負)	-3 (-0.5%)	-66.75	-0.415	106.8	320	a-1
		744 (正)	+5 (+1.0%)	72.06	0.643	-115.3	320	b-1
		1400 (正)	+7 (+2.0%)	63.75	0.665	-102	323	c-2
		1599 (負)	-7 (-2.0%)	-56.25	-0.522	90	320	a-2
		2630 (正)	+10 (+3.0%)	67.06	2.263	-107.3	319	c-3
		2648 (正)	+10 (+3.0%)	66.56	2.893	-106.5	319	b-2
3212 (負)	-11 (-4.0%)	-57.19	-1.104	91.5	320	a-3		

(b)

試験体DR-3	諸現象	Step	Cycle	Q(kN)	R(%)	梁せん断力(kN)	軸力(kN)	ゲージ位置
柱	主筋降伏時	降伏なし						
	補強筋降伏時	降伏なし						
基礎梁	主筋降伏時	降伏なし						
	補強筋降伏時	降伏なし						
パイルキャップ	縦筋降伏時	降伏なし						
	横筋降伏時	降伏なし						
袖壁	主筋降伏時	降伏なし						
	補強筋降伏時	降伏なし						
杭	杭頭定着筋降伏時	312 (正)	+3 (+0.5%)	61.56	0.325	-98.5	322	a-1
		411 (負)	-3 (-0.5%)	-45.63	-0.243	73	322	c-1

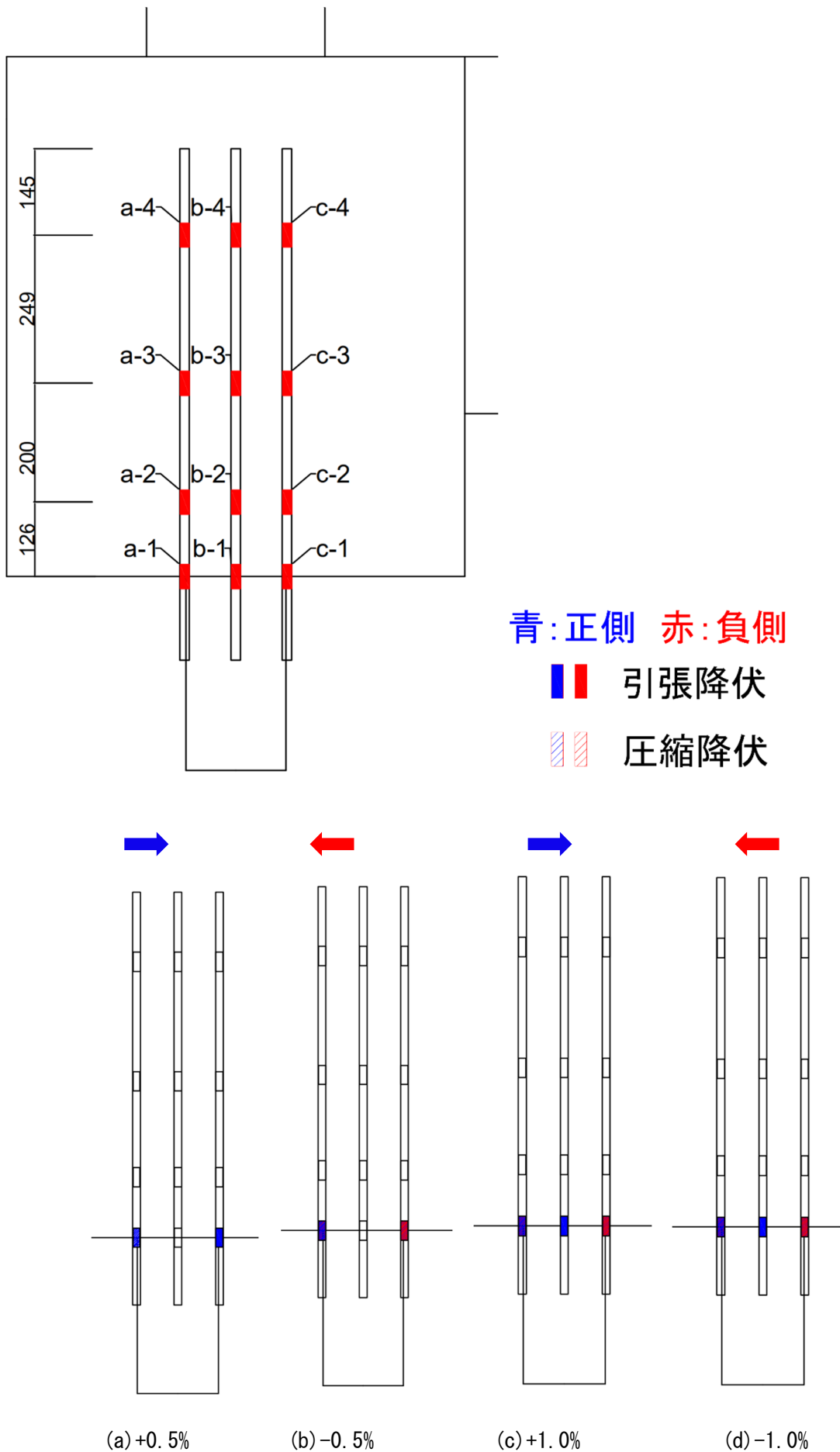


図 3. 2. 3-123 試験体 DR-3 杭頭定着筋の降伏位置の推移

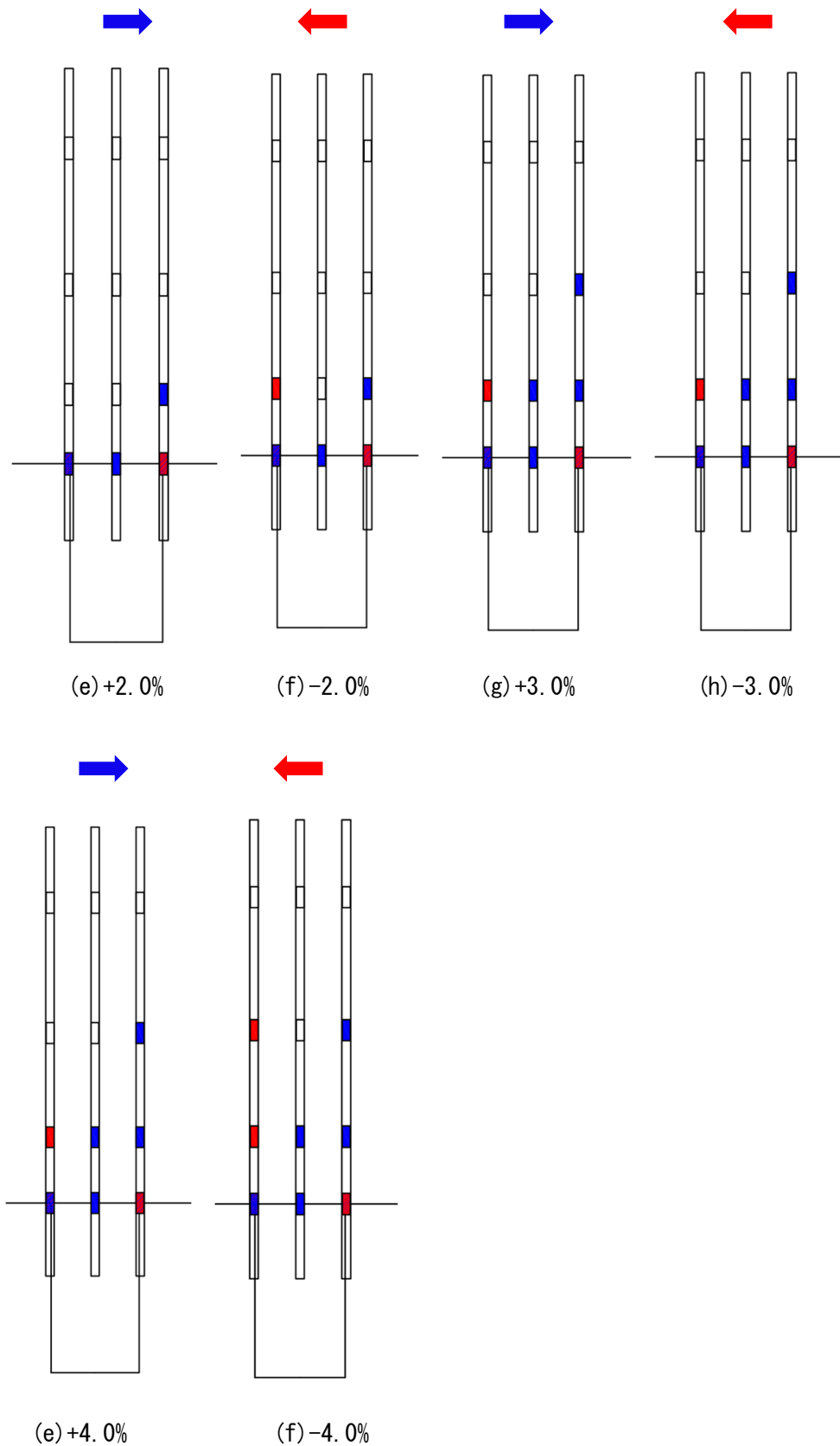


図 3.2.3-123 試験体 DR-3 杭頭定着筋の降伏位置の推移

● 試験体 DR-4

以下表 3.2.3-29 に全鉄筋降伏表を示す。また、図 3.2.3-124 に杭頭定着筋の軸方向鉄筋の降伏位置の推移を示す。

表 3.2.3-29 全鉄筋降伏表(a：引張 b：圧縮)

(a)

試験体DR-4	諸現象	Step	Cycle	Q(kN)	R(%)	梁せん断力(kN)	軸力(kN)	ゲージ位置
柱	主筋降伏時	降伏なし						
	補強筋降伏時	降伏なし						
基礎梁	主筋降伏時	降伏なし						
	補強筋降伏時	降伏なし						
パイルキャップ	縦筋降伏時	降伏なし						
	横筋降伏時	降伏なし						
袖壁	主筋降伏時	降伏なし						
	補強筋降伏時	降伏なし						
杭	杭頭定着筋	422 (正)	+3 (+0.5%)	76.4375	0.421667	-122.3	-86	c-2
		933 (正)	+5 (+1.0%)	97.375	0.61	-155.8	-84	b-2
		1086 (負)	-5 (-1.0%)	-114.6875	-0.70417	183.5	328	a-2
		2049 (正)	+9 (+3.0%)	72.8125	1.874167	-116.5	-85	c-3
		2577 (負)	-10 (-3.0%)	-92.8125	-2.72208	148.5	325	a-3

(b)

試験体DR-4	諸現象	Step	Cycle	Q(kN)	R(%)	梁せん断力(kN)	軸力(kN)	ゲージ位置
柱	主筋降伏時	降伏なし						
	補強筋降伏時	降伏なし						
基礎梁	主筋降伏時	降伏なし						
	補強筋降伏時	降伏なし						
パイルキャップ	縦筋降伏時	降伏なし						
	横筋降伏時	降伏なし						
袖壁	主筋降伏時	降伏なし						
	補強筋降伏時	降伏なし						
杭	杭頭定着筋	961 (正)	+5 (+1.0%)	116.25	0.9775	-186	-85	a-2

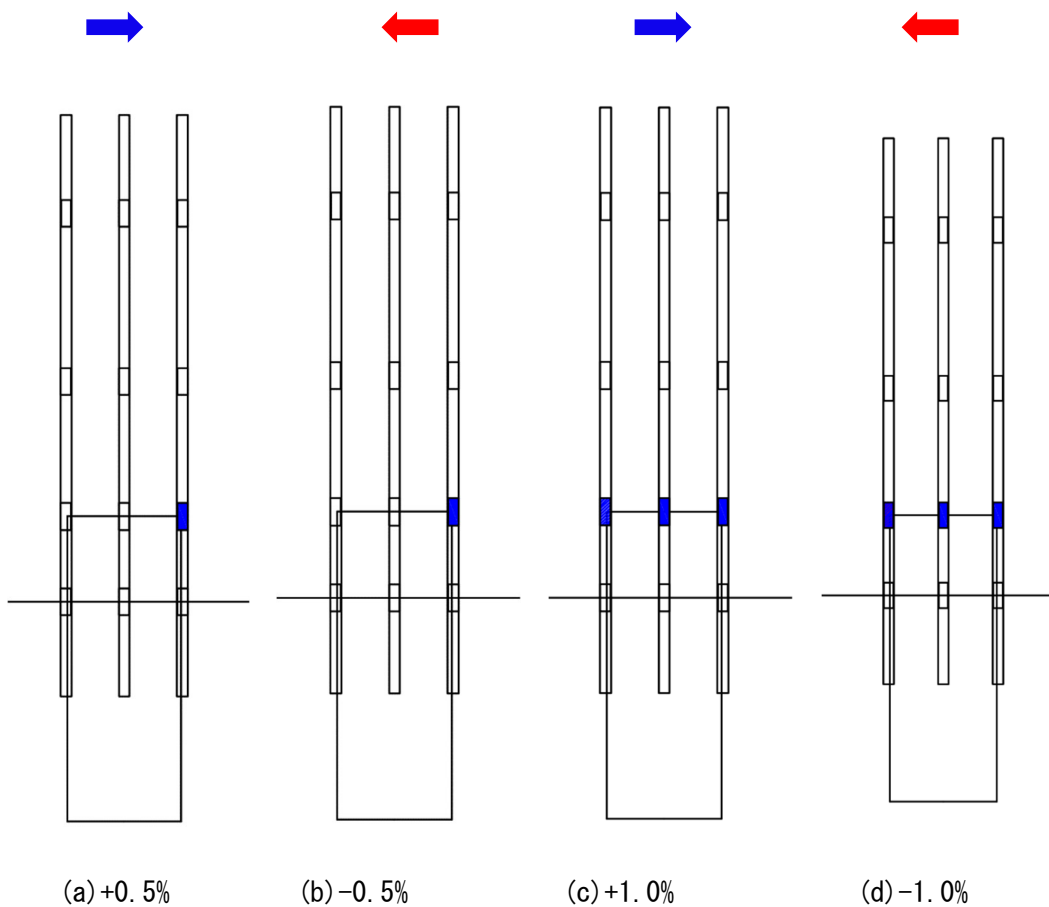
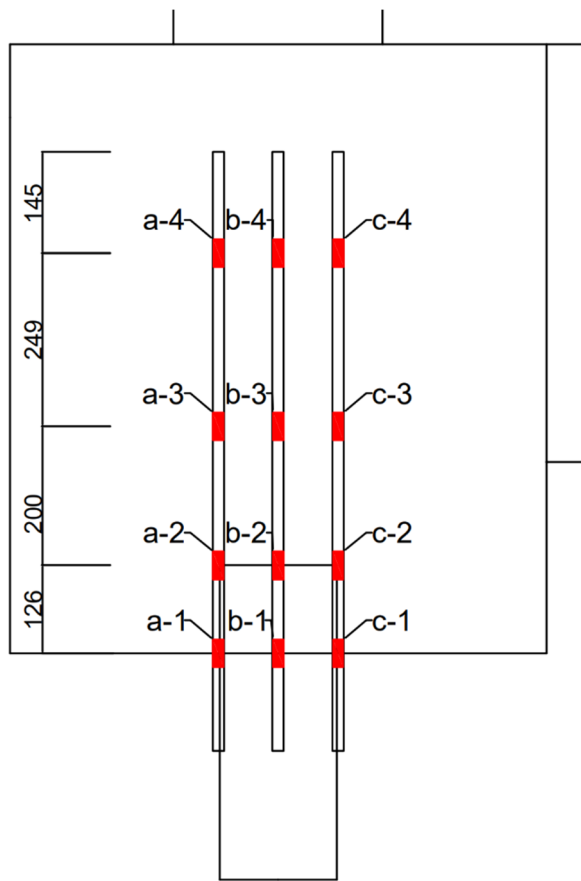


図 3.2.3-124 試験体 DR-4 杭頭定着筋の降伏位置の推移

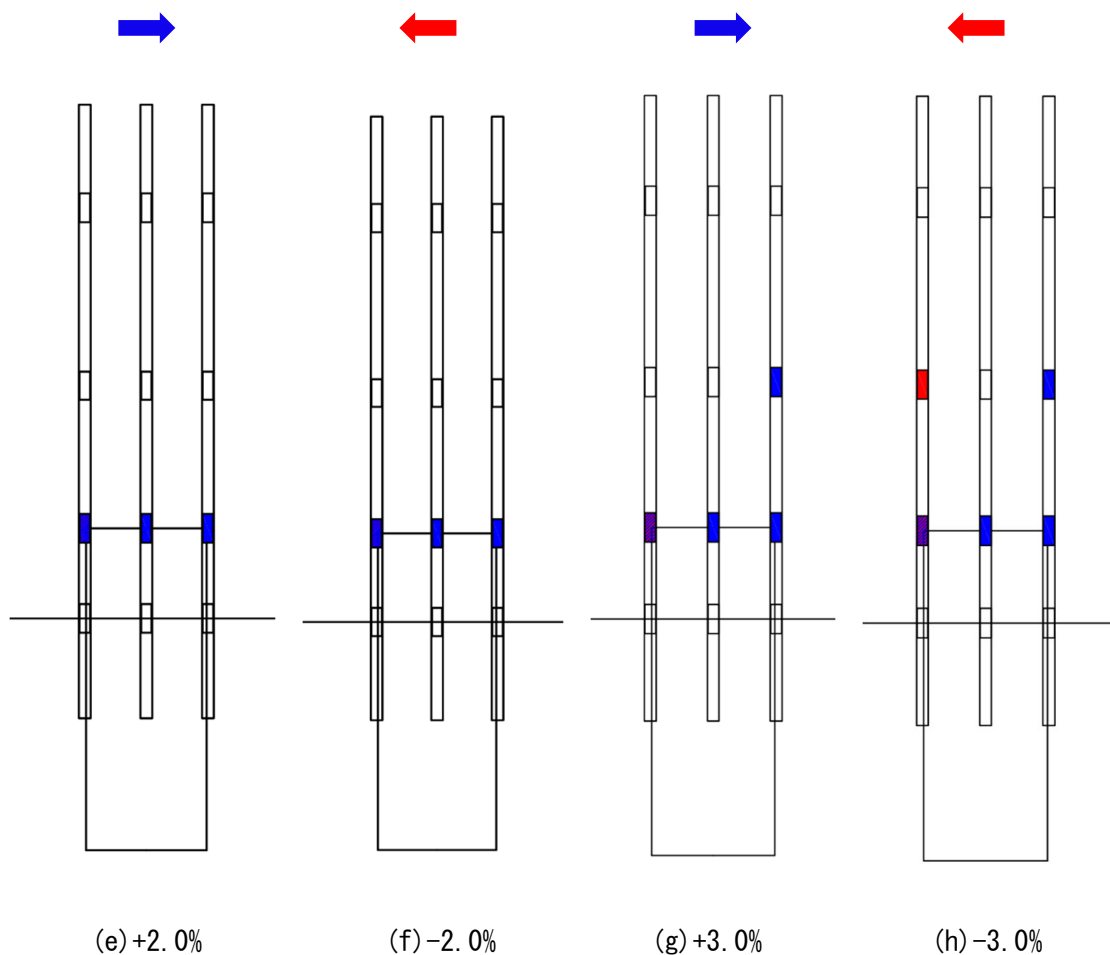


図 3. 2. 3-124 試験体 DR-4 杭頭定着筋の降伏位置の推移

● 試験体 DR-5

以下表 3.2.3-30 に全鉄筋降伏表を示す。また、図 3.2.3-125 に杭頭定着筋の軸方向鉄筋の降伏位置の推移を示す。

表 3.2.3-30 全鉄筋降伏表(a : 引張 b : 圧縮)

(a)

試験体DR-5	諸現象	Step	Cycle	Q(kN)	R(%)	北梁せん断力(kN)	南梁せん断力(kN)	軸力(kN)	ゲージ位置
柱	主筋降伏時	降伏なし							
	補強筋降伏時	降伏なし							
基礎梁	主筋降伏時	降伏なし							
	補強筋降伏時	降伏なし							
パイルキャップ	縦筋降伏時	降伏なし							
	横筋降伏時	降伏なし							
袖壁	主筋降伏時	降伏なし							
	補強筋降伏時	降伏なし							
杭	杭頭定着筋降伏時	217(正)	+3(+0.5%)	121.9375	0.3616667	71.8	-123.3	328	c-2
		279(負)	-3(-0.5%)	-121.125	-0.417917	-106.8	87	331	a-2
		424(正)	+5(+1.0%)	168.3125	0.7408333	108.8	-160.5	331	a-3
		1184(負)	-9(-3.0%)	-100.813	-2.921667	-24.8	136.5	329	b-2

(b)

試験体DR-5	諸現象	Step	Cycle	Q(kN)	R(%)	北梁せん断力(kN)	南梁せん断力(kN)	軸力(kN)	ゲージ位置
柱	主筋降伏時	降伏なし							
	補強筋降伏時	降伏なし							
基礎梁	主筋降伏時	降伏なし							
	補強筋降伏時	降伏なし							
パイルキャップ	縦筋降伏時	降伏なし							
	横筋降伏時	降伏なし							
袖壁	主筋降伏時	降伏なし							
	補強筋降伏時	降伏なし							
杭	杭頭定着筋降伏時	234(正)	+3(+0.5%)	142.375	0.4966667	86.5	-141.3	328	a-2
		788(負)	-7(-2.0%)	-120.063	-1.3075	-75.3	116.8	333	c-2
		1037(正)	+9(+3.0%)	122.6875	1.9483333	110.3	-86	330	a-1
		1291(正)	+10(+3.0%)	38.1875	1.4358333	57.3	-3.8	329	b-2

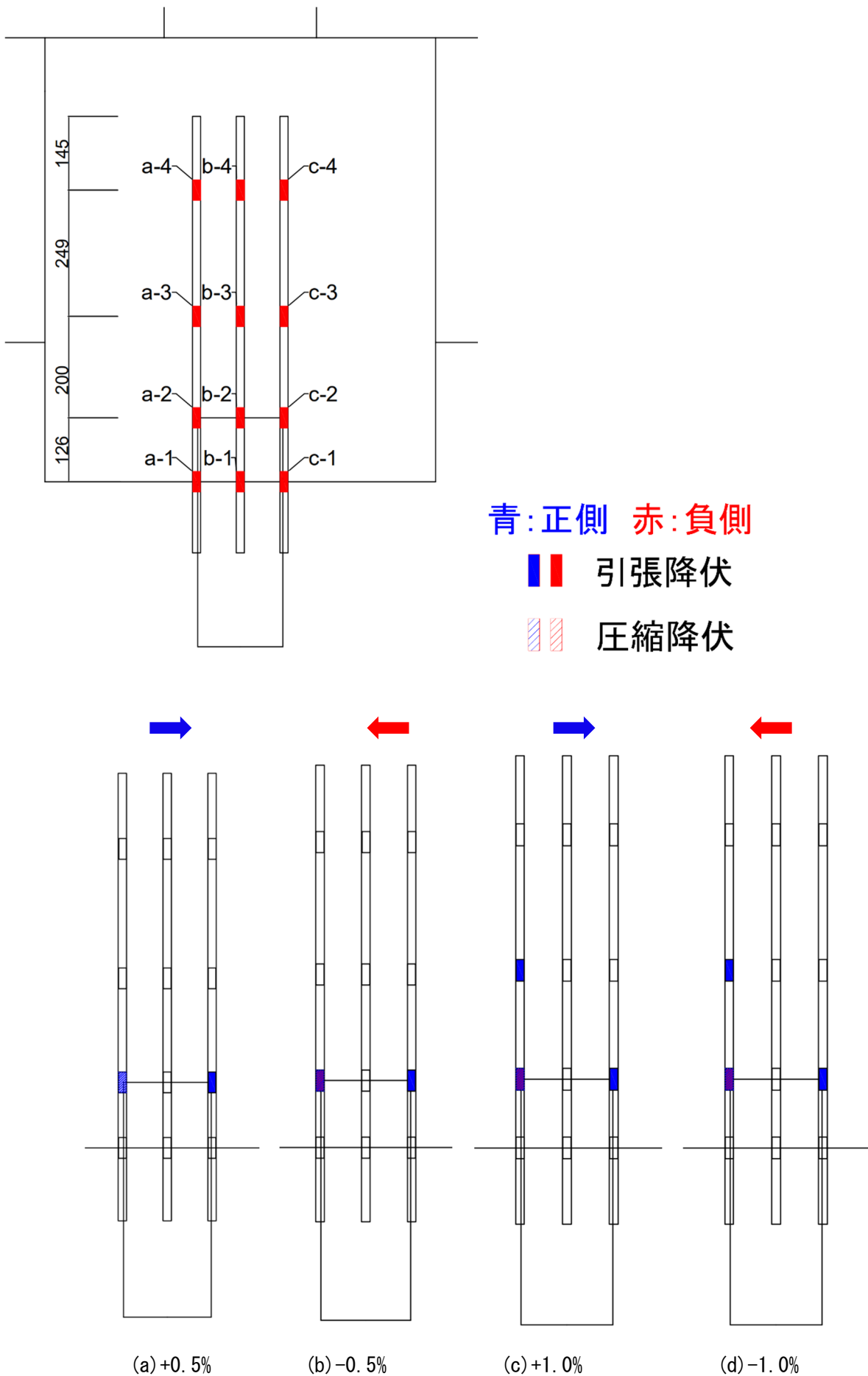


図 3. 2. 3-125 試験体 DR-5 杭頭定着筋の降伏位置の推移

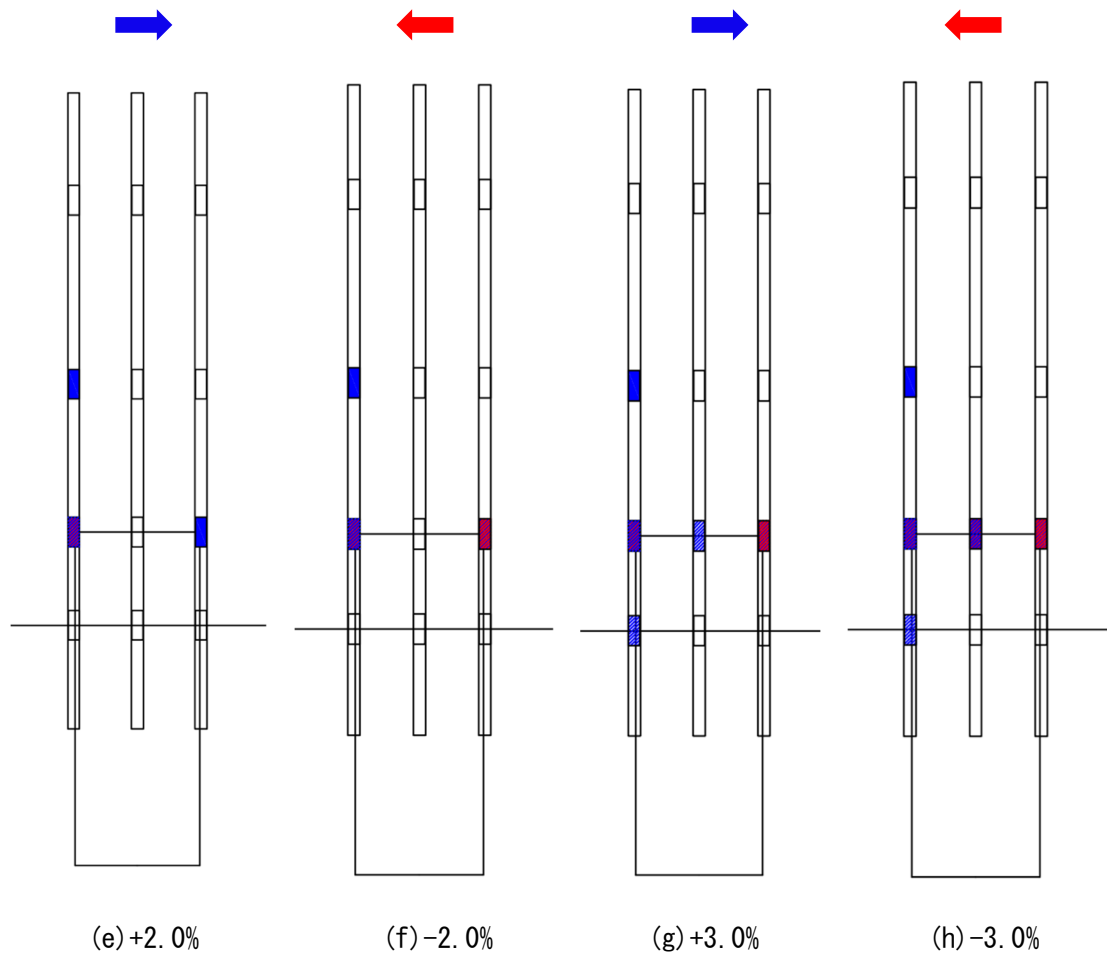
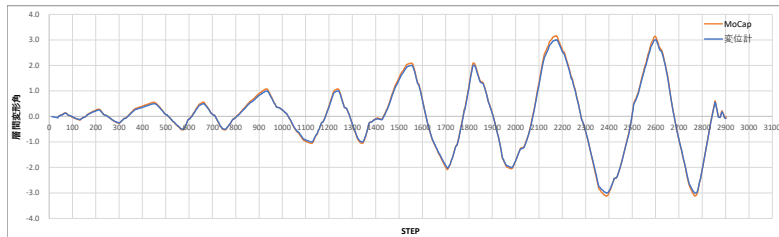


図 3. 2. 3-125 試験体 DR-5 杭頭定着筋の降伏位置の推移

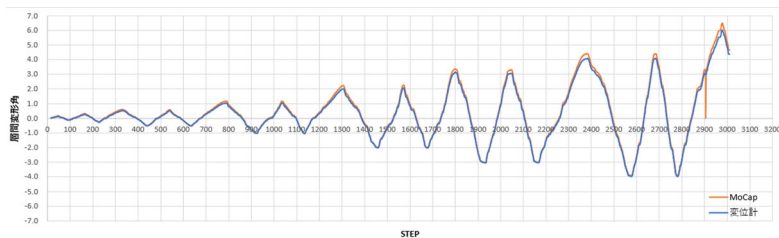
(6) モーションキャプチャによる軸変形計測

1) 変位計計測結果との比較

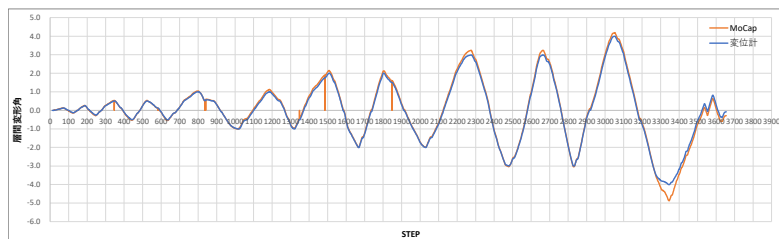
層間変形角（水平載荷点位置の相対水平変位/ピンーピン間高さ 2.4m）について、変位計で計測した結果とモーションキャプチャを用いて計測した結果を比較した図を図 3.2.3-126 に示す。1 体目の試験（DR-3 試験体）では、データ欠損が多く見られるが、損傷観測等でマーカがカメラから隠れるような状態の時にデータ取得を停止することで、状況が改善した。変位計による計測結果と比較すると、最大変形付近でモーションキャプチャの方がやや大きな変形を示す傾向が見られる。



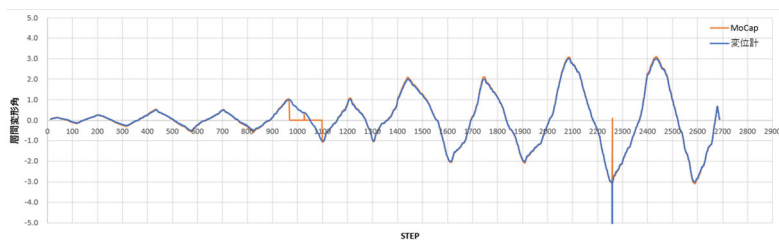
(a) DR-1 試験体



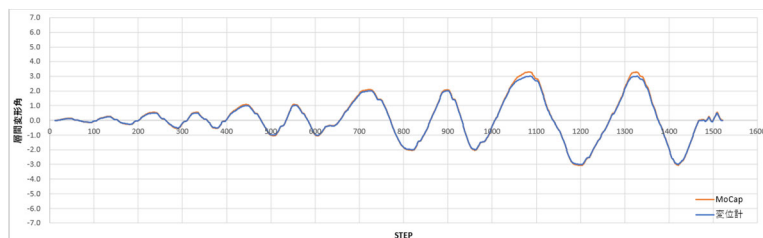
(b) DR-2 試験体



(c) DR-3 試験体



(d) DR-4 試験体



(e) DR-5 試験体

図 3.2.3-126 層間変形角のステップ歴

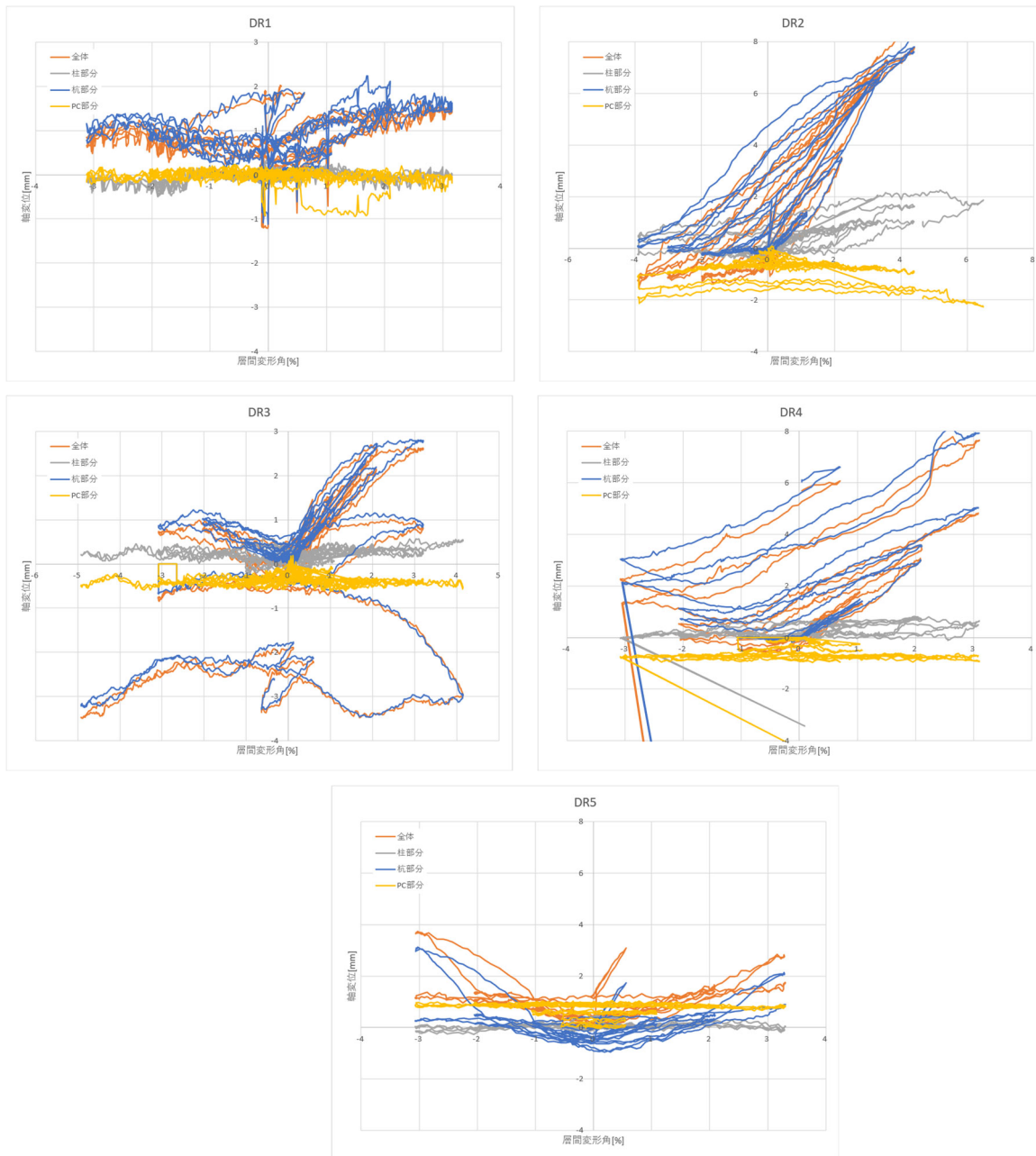


図 3. 2. 3-128 試験体軸変形と層間変形角の関係

3.2.4 考察

(1) 層せん断力 Q-層間変形角 R 関係の検討

図 3.2.4-1 に試験体 DR-1, 図 3.2.4-2 に試験体 DR-2, 図 3.2.4-3 に試験体 DR-3, 図 3.2.4-4 に試験体 DR-4, 図 3.2.4-5 に試験体 DR-5 の層せん断力-層間変形角関係を示す。また, グラフ中の×印は最大耐力を, △印は鉄筋の降伏を, ○印は各部材のひび割れ発生を示す。試験体観測面を西面としている。

- 試験体 DR-1

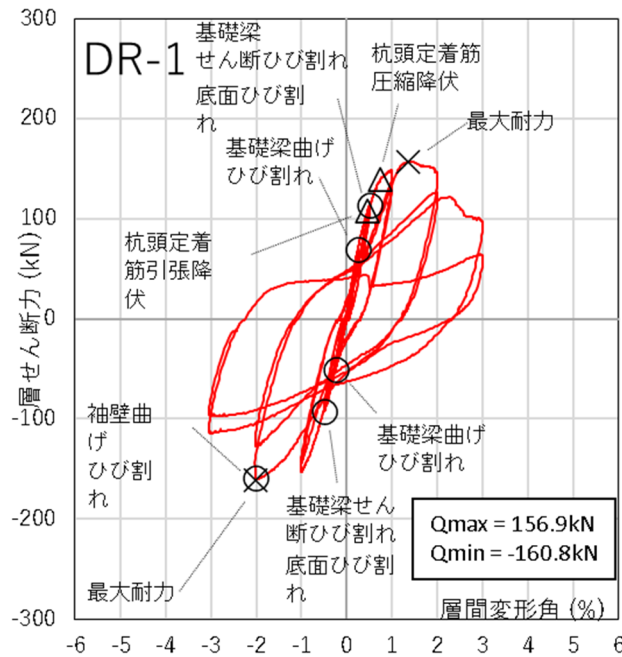


図 3.2.4-1 試験体 DR-1 層せん断力-層間変形角関係

- 試験体 DR-2

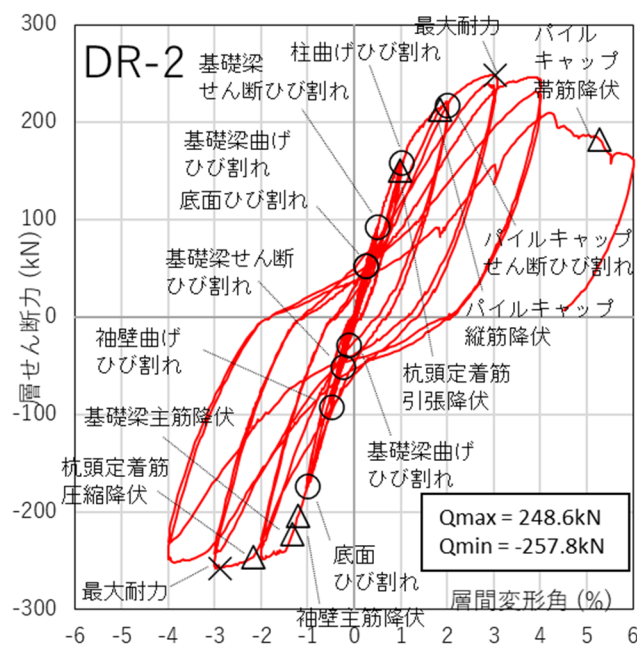


図 3.2.4-2 試験体 DR-2 層せん断力-層間変形角関係

● 試験体 DR-3

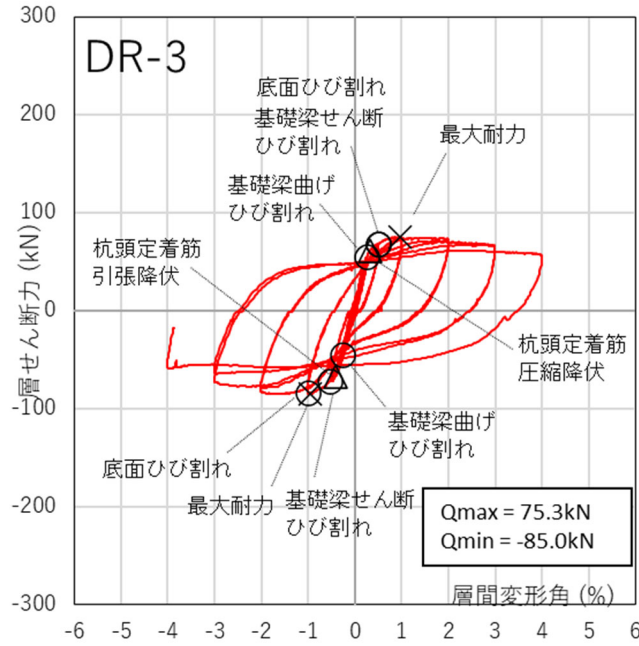


図 3. 2. 4-3 試験体 DR-3 層せん断力-層間変形角関係

● 試験体 DR-4

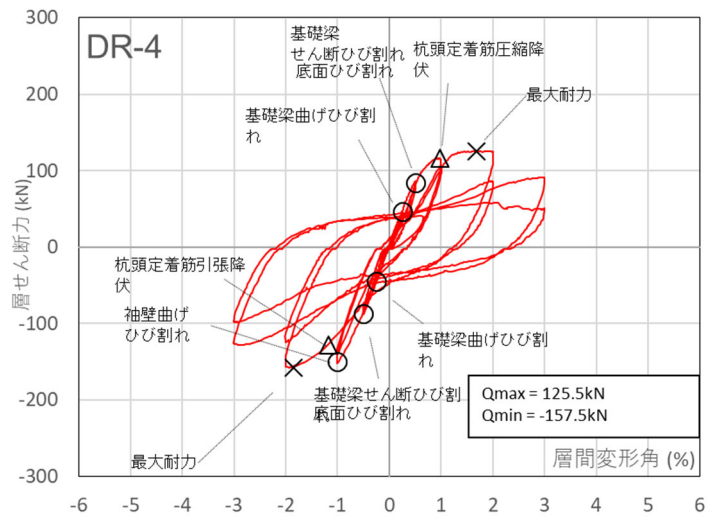


図 3. 2. 4-4 試験体 DR-4 層せん断力-層間変形角関係

● 試験体 DR-5

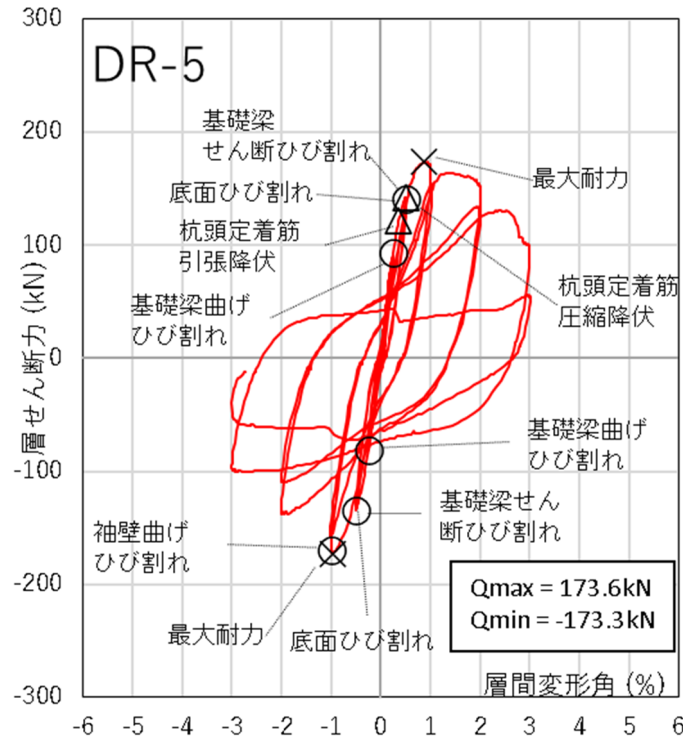


図 3. 2. 4-5 試験体 DR-5 層せん断力-層間変形角関係

○ 試験体 DR-1

最大耐力は正載荷側で層間変形角 $R=+1.36\%$ で 156.9kN ，負載荷側で $R=-2.00\%$ 程で -160.8kN となった。正載荷時で、杭頭定着筋は、 $R=+0.5\%$ の 1 周目サイクル途中で引張降伏した。また、 $R=+1.0\%$ の 1 周目サイクル途中で圧縮降伏した。 $R=+3.0\%$ の 1 周目サイクル途中で層せん断力は低下した。また、 $R=+3.0\%$ の 2 周目サイクルでは、杭頭定着筋が破断した。 $R=+0.5\%$ の 1 周目サイクルでパイルキャップ底面部にひび割れが発生した。 $R=+0.25\%$ サイクルの途中で基礎梁に曲げひび割れが発生した。 $R=+0.5\%$ の 1 周目サイクルの途中で基礎梁にせん断ひび割れが発生した。負載荷時では、 $R=-0.5\%$ の 1 周目サイクルでパイルキャップ底面部にひび割れが発生した。 $R=-0.25\%$ サイクルの途中で基礎梁に曲げひび割れが発生した。 $R=-0.5\%$ の 1 周目サイクルの途中で基礎梁にせん断ひび割れが発生した。 $R=-2.0\%$ の 1 周目サイクルの途中で袖壁に曲げひび割れが発生した。

○ 試験体 DR-2

最大耐力は正載荷側で層間変形角 $R=+3.10\%$ で 248.6kN ，負載荷側で $R=-2.87\%$ 程で -257.8kN となった。試験体 DR-2 では、杭頭定着筋以外の鉄筋降伏が発生しており、正載荷時で杭頭定着筋が引張降伏した後にパイルキャップ縦筋が引張降伏し、その後最大耐力を迎えた。 $R=+1.0\%$ の 1 周目サイクルの途中で柱に曲げひび割れが発生した。 $R=+0.25\%$ サイクルの途中で基礎梁に曲げひび割れが発生した。 $R=+0.5\%$ の 1 周目サイクルの途中で基礎梁にせん断ひび割れが発生した。 $R=+0.25\%$ サイクルの途中でパイルキャップ底面部にひび割れが発生した。 $R=+2.0\%$ の 1 周目サイクルの途中でパイルキャップ底面部からパイルキャップ側面にひび割れが進展し、危険断面位置にせん断ひび割れが発生した。負載荷時では、 $R=-0.13\%$ サイクルの途中で基礎梁に曲げひび割れが発生した。 $R=-0.25\%$ サイクルの途中で基礎梁にせん断ひび割れが発生した。 $R=-1.0\%$ の 1 周目サイクルの途中でパイルキャップ底面部にひび割れ

が発生した。 $R=-0.25\%$ サイクルの途中でパイルキャップ上面にひび割れが発生した。 $R=-0.5\%$ の1周目サイクルの途中で袖壁に曲げひび割れが発生した。 $R=-2.0\%$ の1周目サイクルの途中で基礎梁主筋と袖壁主筋が降伏した。負荷荷時では、杭頭定着筋が圧縮降伏し、袖壁主筋と基礎梁主筋は引張降伏した。

○ 試験体DR-3

試験体DR-3についても正載荷と負載荷の両側で杭頭定着筋の降伏後、最大耐力を迎えた。最大耐力は正載荷側で層間変形角 $R=0.98\%$ で75.3kN、負載荷側で $R=-0.97\%$ 程で85kNとなった。正載荷 $R=+0.25\%$ サイクルの途中で基礎梁に曲げひび割れが発生した。 $R=+0.5\%$ の1周目サイクルの途中で基礎梁にせん断ひび割れが発生した。 $R=+0.5\%$ の2周目サイクルの途中でパイルキャップ底面部にひび割れが発生した。 $R=+1.0\%$ の1周目サイクルの途中でパイルキャップ上面にひび割れが発生した。負載荷時では、 $R=-0.25\%$ サイクルの途中で基礎梁に曲げひび割れが発生した。 $R=-0.5\%$ の1周目サイクルの途中で基礎梁にせん断ひび割れが発生した。 $R=-1.0\%$ の1周目サイクルの途中でパイルキャップ底面部にひび割れが発生した。

○ 試験体DR-4

試験体DR-4では、最大耐力は層間変形角 $R=1.68\%$ で125.5kN、 $R=-1.89\%$ で-157.5kNとなった。 $\pm 0.25\%$ (± 2 サイクル)でパイルキャップと梁の曲げひび割れが入った。その後、主に梁にひび割れが増え、 $+0.5\%$ ($+3$ サイクル)でパイルキャップ底面にひび割れ入り始め、 $+1$ ($+5$ サイクル)でパイルキャップの側面、パイルキャップと梁の接合面のひび割れが大きく開いた。 -1 (-5 サイクル)で袖壁にひび割れが入った。約0.4%でパイルキャップ内の杭頭定着筋が初めに降伏した。一定軸力と変動軸力の杭頭定着筋の圧縮降伏時は近い。変動軸力の引張降伏時が先であった。

○ 試験体DR-5

十字形試験体DR-5でも、 $\pm 0.25\%$ (± 2 サイクル)で基礎梁に曲げひび割れが入った。その後 $\pm 0.5\%$ (± 3 サイクル)で基礎梁に曲げせん断ひび割れと杭頭接合面のひび割れが発生した。 $\pm 1.0\%$ (± 5 サイクル)から杭頭接合面での剥離が起こり始めた。こちらもパイルキャップでのせん断ひび割れは発生しなかった。鉄筋の降伏状況は、柱、基礎梁、パイルキャップ内での降伏は観測されなかった。袖壁主筋は初めから正常な値を記録しており、降伏は起こっていない。杭頭定着筋は $+0.5\%$ ($+3$ サイクル)から杭鋼管埋め込み部分での引張、圧縮降伏が発生した。他部材での降伏が確認されないことから、こちらも最大耐力は杭頭定着筋の降伏による杭頭接合面での破壊によって決まったと考えられる。

○ 試験体DR-1, 2, 3の比較

最大耐力は、杭頭の埋込を無しとした試験体DR-3が最も小さい結果となった。試験体DR-1, DR-3は杭頭定着筋のみが降伏した。試験体DR-2は杭頭定着筋の降伏が最も多く発生し、続けて基礎梁主筋の降伏が多く発生した。

○ 試験体DR-1, 5の比較

両試験体のQ-R関係グラフを比べると変形性状は概ね同様であることがわかる。試験体DR-5の方が、最大耐力が若干大きいことについて北基礎梁せん断力が関係していると考えられる。このことについては、杭のモーメントと柱のモーメントの和と、基礎梁のモーメントとの釣合式を考え、層せん断力

を算出している。この時柱せん断力と杭せん断力の釣合を仮定し、杭のせん断力を層せん断力とし算出する。計算の過程で、ト形試験体と十字形試験体とでは北基礎梁のせん断力の有無の違いがある。この時、基礎梁のモーメント力は北基礎梁のせん断力分大きくなる。その為、試験体 DR-1 より試験体 DR-5 の最大耐力が大きくなっている。北基礎梁のせん断力は、正載荷時は杭頭接合面への圧縮力として、負載荷時は引張力として作用していることが考えられた。

(2) 各試験体のパイルキャップ底面破壊性状の検討

以下に、各試験体の最大耐力時及びにおける損傷状況を示す。

青線が正載荷時、赤線が負載荷時に記録されたひび割れである。また、斜線部分は剝離・剥落した部分を示す。

● 試験体 DR-1

図 3. 2. 4-6 に試験体 DR-1 のパイルキャップ底面の損傷状況を、図 3. 2. 4-7 に最終破壊状況を示す。

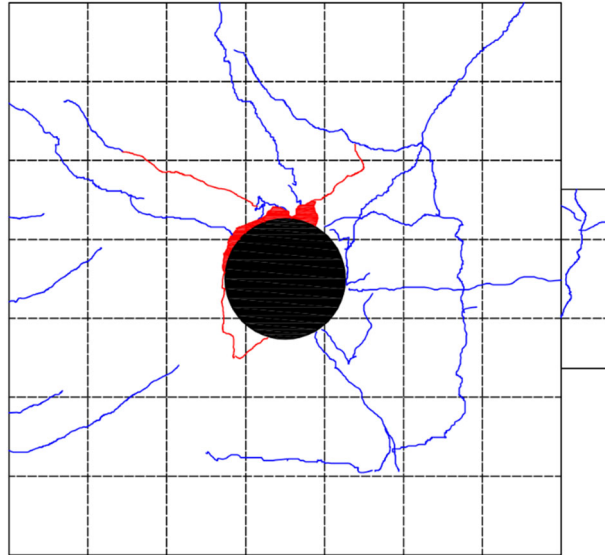


図 3. 2. 4-6 試験体 DR-1 最大耐力時損傷状況 (R=-2.0%時)

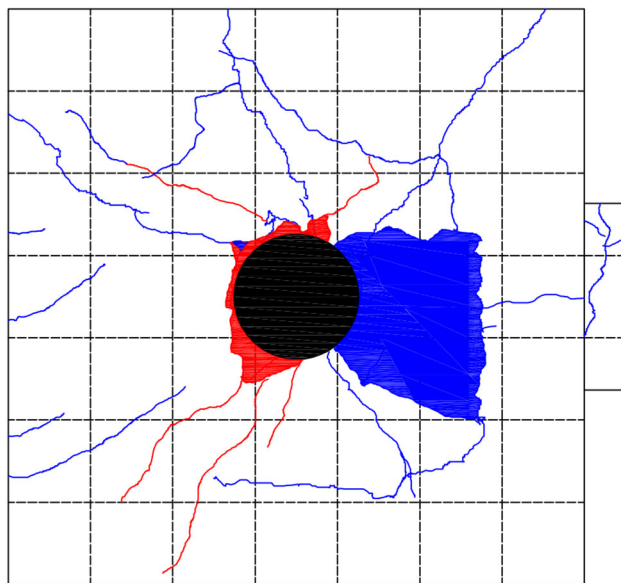


図 3. 2. 4-7 試験体 DR-1 パイルキャップ底面最終損傷状況 (R=-3.0%)

● 試験体 DR-2

図 3. 2. 4-8 に試験体 DR-4 のパイルキャップ底面の損傷状況を, 図 4. 2-2 に最終破壊状況を示す。

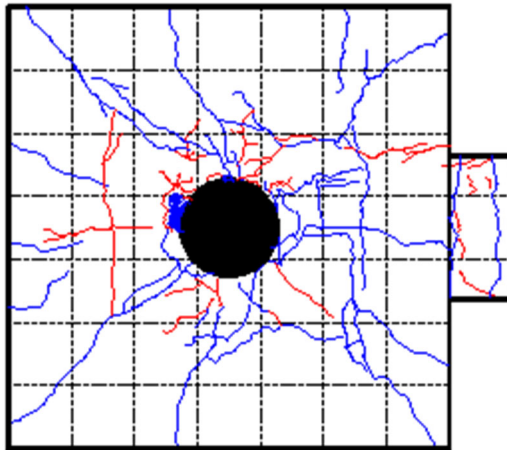


図 3. 2. 4-8 試験体 DR-2 最大耐力時損傷状況 (R=-2.0%時)

● 試験体 DR-3

図 3. 2. 4-9 に試験体 DR-4 のパイルキャップ底面の損傷状況を, 図 4. 2-2 に最終破壊状況を示す。

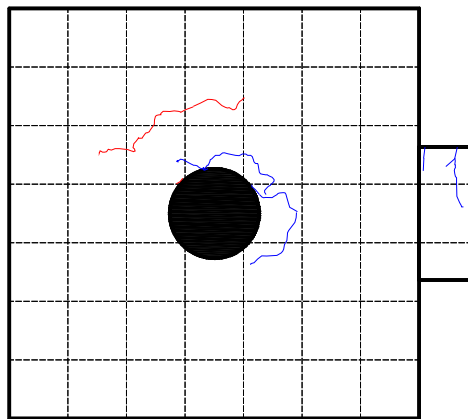


図 3. 2. 4-9 試験体 DR-3 最大耐力時損傷状況 (R=-2.0%時)

● 試験体 DR-4

図 3. 2. 4-10 に試験体 DR-4 のパイルキャップ底面の損傷状況を, 図 4. 2-2 に最終破壊状況を示す。

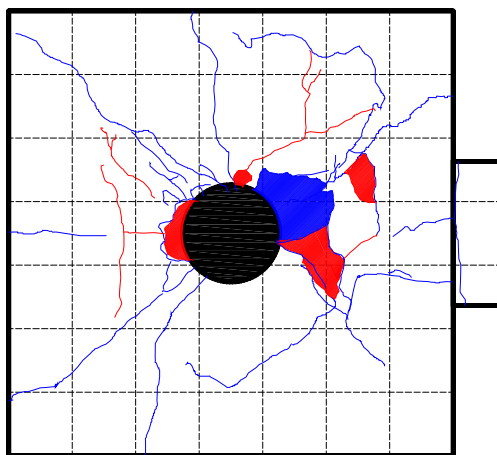


図 3. 2. 4-10 試験体 DR-4 最大耐力時損傷状況 (R=-2.0%時)

● 試験体 DR-5

図 3. 2. 4-11 に試験体 DR-5 のパイルキャップ底面の損傷状況を, 図 3. 2. 4-12 に最終破壊状況を示す。

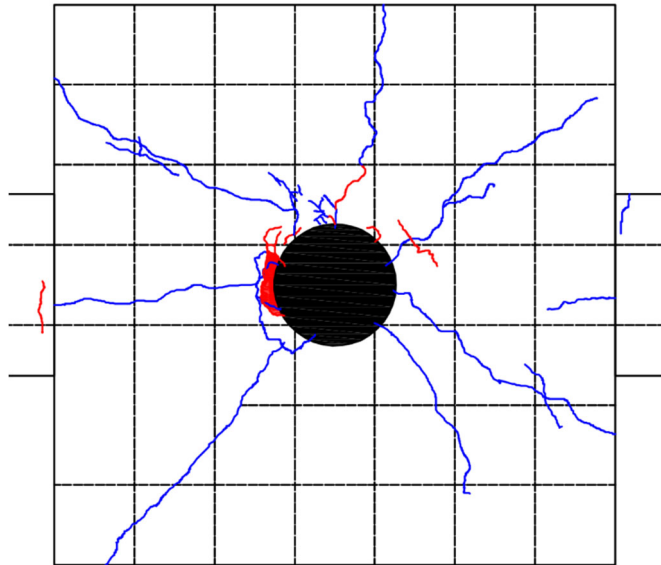


図 3. 2. 4-11 試験体 DR-5 最大耐力時損傷状況 (R=-1.0%時)

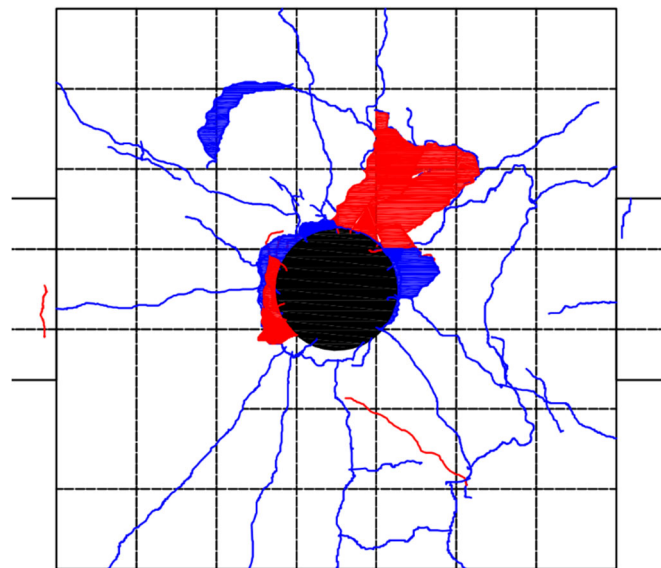


図 3. 2. 4-12 試験体 DR-5 パイルキャップ底面最終損傷状況 (R=-3.0%)

● 試験体 DR-1, 2, 3 の比較

最大耐力時を比較すると、試験体 DR-2 がひび割れの本数が一番多く、斜め 45 度方向のひび割れの範囲も大きい。試験体 DR-3 は杭頭接合面での曲げ破壊が顕著であった為か底面のひび割れの本数は少なくなっていた。試験体 DR-1, 2 はパイルキャップ底面のコンクリートが剥離していたことに対し、試験体 DR-3 ではコンクリートの剥離は起きていなかった。

● 試験体 DR-1, 4 の比較

試験体で杭頭接合部底面のひび割れや杭頭埋込部周辺のコンクリートの剥離や剥落が生じた。杭頭接合部底面のひび割れは、変動軸力の DR-4 が顕著であった。特に、負荷荷時に発生した基礎梁の曲げひび割れ幅は、 $R=-2.0\%$ 経験後の除荷時に最大で 2.0mm を示した。一方、正載荷側では、基礎梁の曲げひび割れは発生しているものの、残留ひび割れ幅の最大値は $R=+2.0\%$ 経験後の除荷時に 0.2mm 以下だった。

● 試験体 DR-1, 5 の比較

最大耐力時においては、ト形試験体 DR-1 は $\pm 2.0\%$ (サイクル ± 7) 最大耐力を迎えた。十字形試験体 DR-5 は $\pm 1.0\%$ (サイクル ± 5) で最大耐力を迎えた。両試験体は最大耐力を迎えたサイクルは違うが、杭頭接合面の破壊状況は大きな違いは見られないと考えられる。最大耐力を迎えたサイクルにおいて、杭体付近で剥離が発生している状況が似ていることや、45 度方向に伸びるひび割れが似通っているように観察できる為である。

また最終破壊状況において、両試験体ともに -3.0% (サイクル 10) の様子を示している。南基礎梁側の正載荷時に発生した半円状のひび割れや、杭体から放射的に発生しているひび割れから、こちらも両試験体ともにひび割れや剥離・剥落の様子は似通っていると考えられる。ひび割れが発生した範囲については、DR-5 の方が端部まで達したひび割れが多いように観察できた。

(3) 変形成分の検討

● 算出方法

柱、基礎梁、杭及びパイルキャップの各部材が層間変形角に占める割合を算出するため、各部材変形成分の算出方法を図 3.2.4-13 に、各試験体の変形成分の割合を図 3.2.4-14, 16, 18, 20, 22 に、変形成分を図 3.2.4-15, 17, 19, 21, 23 に示す。杭については剛体と仮定し、杭の抜けだし変形として算出を行った。

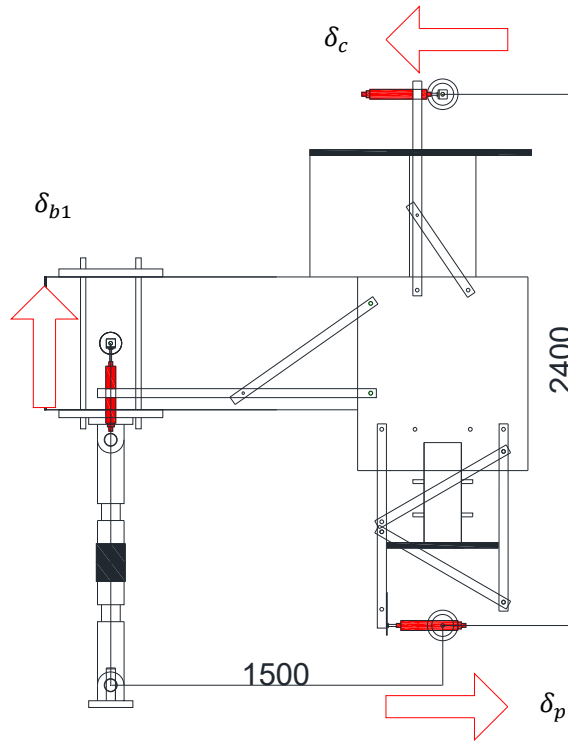


図 3.2.4-13 試験体 DR-1, DR-2, DR-3 (ト形) 各部材の変形

杭の変形成分: δ_p (mm)

柱の変形成分: δ_c (mm)

梁の変形成分: δ_b (mm) ト形 $\delta_b = \delta_{b1} \cdot \frac{H}{L}$

パイルキャップの変形成分: δ_{pc} (mm)

$$\delta_{pc} = \delta - \delta_p - \delta_c - \delta_b$$

ただし、 δ は層間変位であり、 $\delta_{pc} < 0$ のときは $\delta_{pc} = 0$ とした。

● 試験体 DR-1

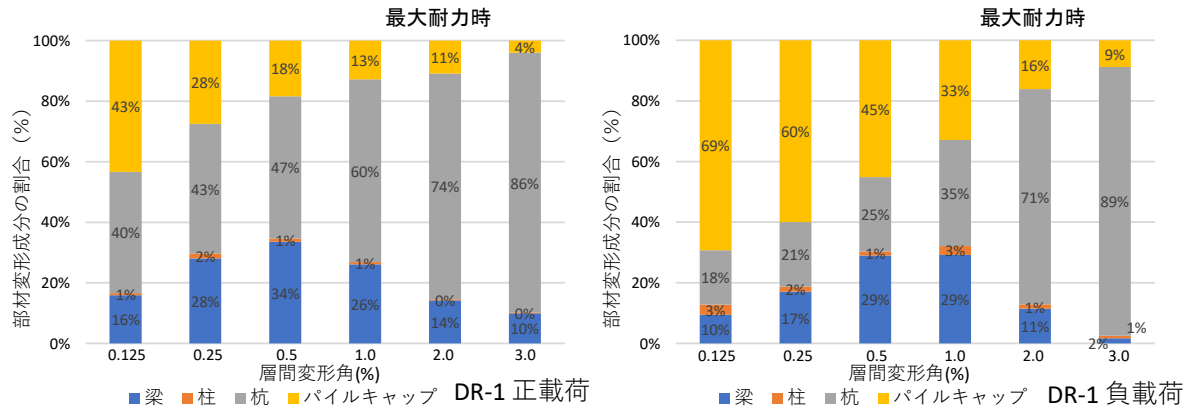


図 3. 2. 4-14 試験体 DR-1 各変形成分の割合

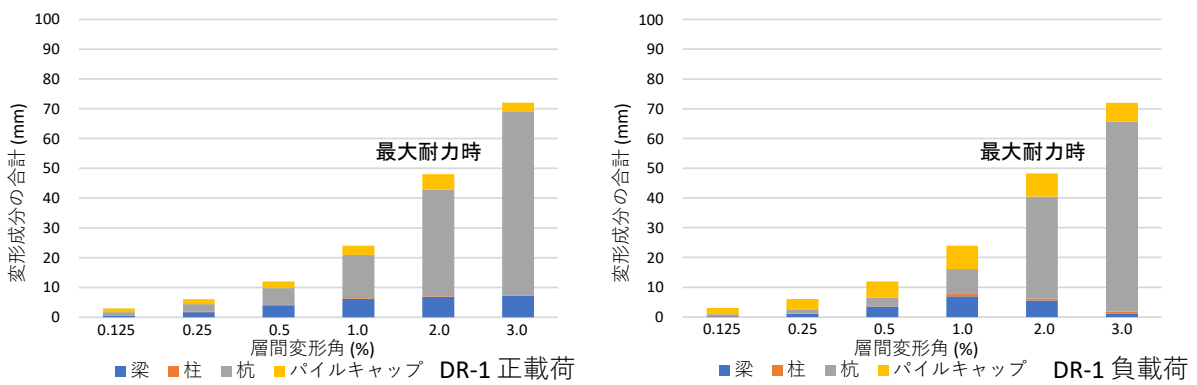


図 3. 2. 4-15 試験体 DR-1 各変形成分

● 試験体 DR-2

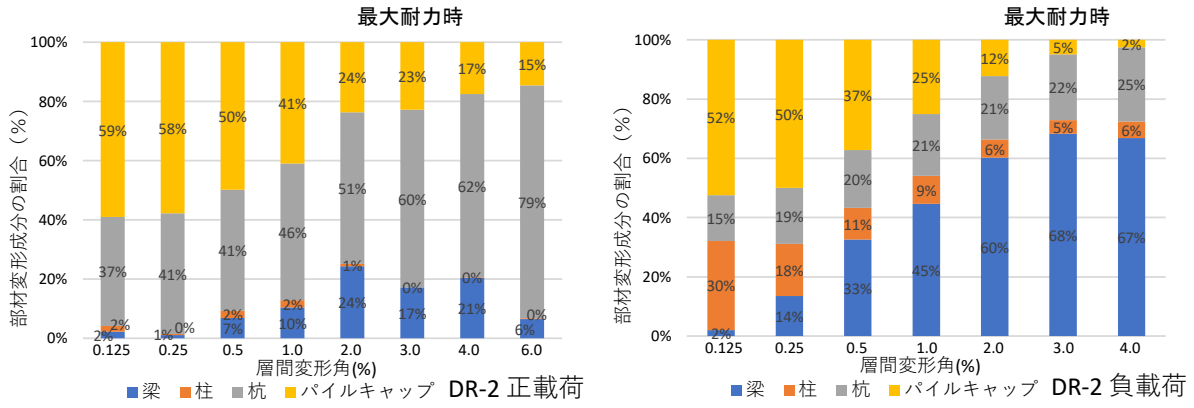


図 3.2.4-16 試験体 DR-2 各変形成分の割合

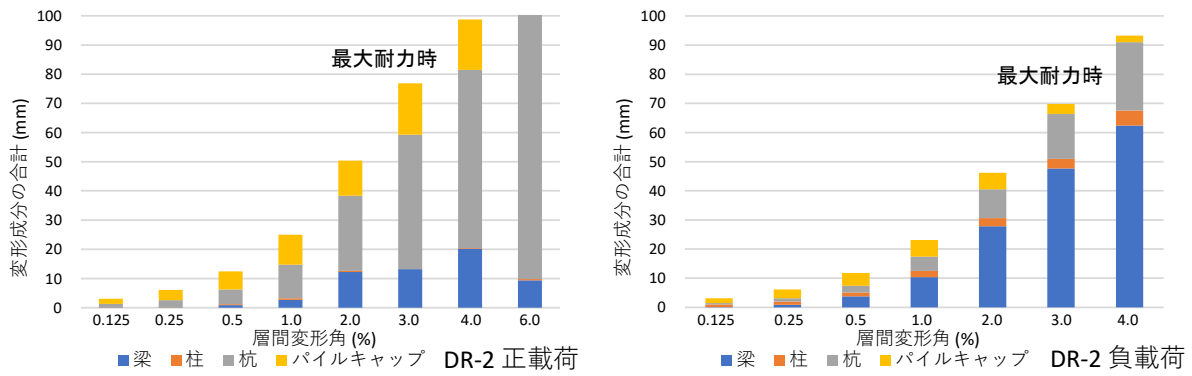


図 3.2.4-17 試験体 DR-2 各変形成分の割合

● 試験体 DR-3

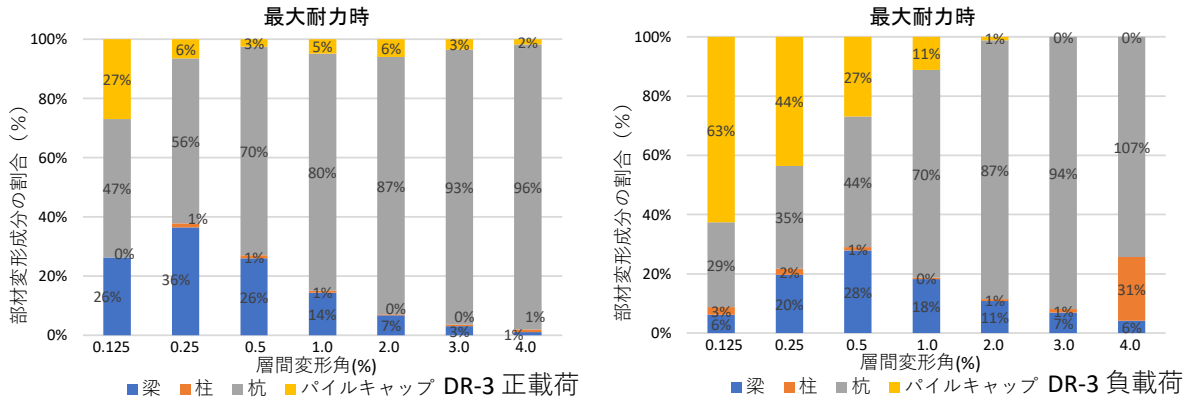


図 3.2.4-18 試験体 DR-3 各変形成分の割合

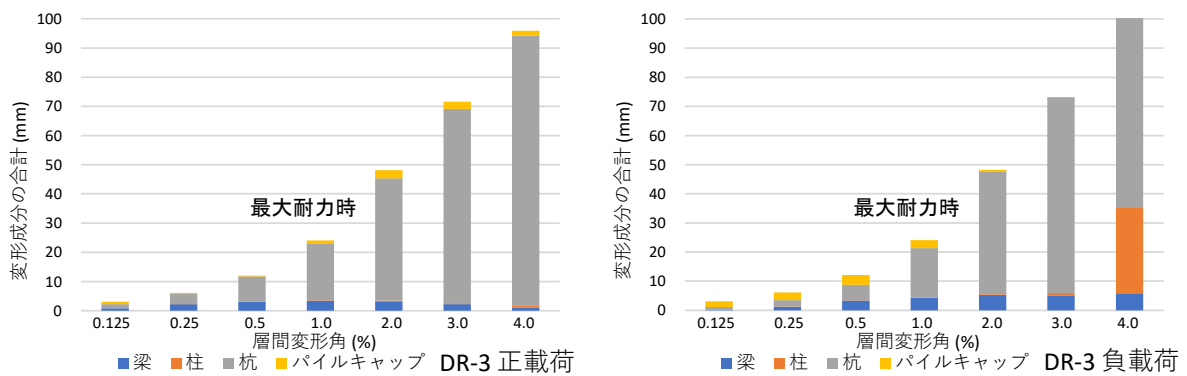


図 3.2.4-19 試験体 DR-3 各変形成分の割合

● 試験体 DR-4

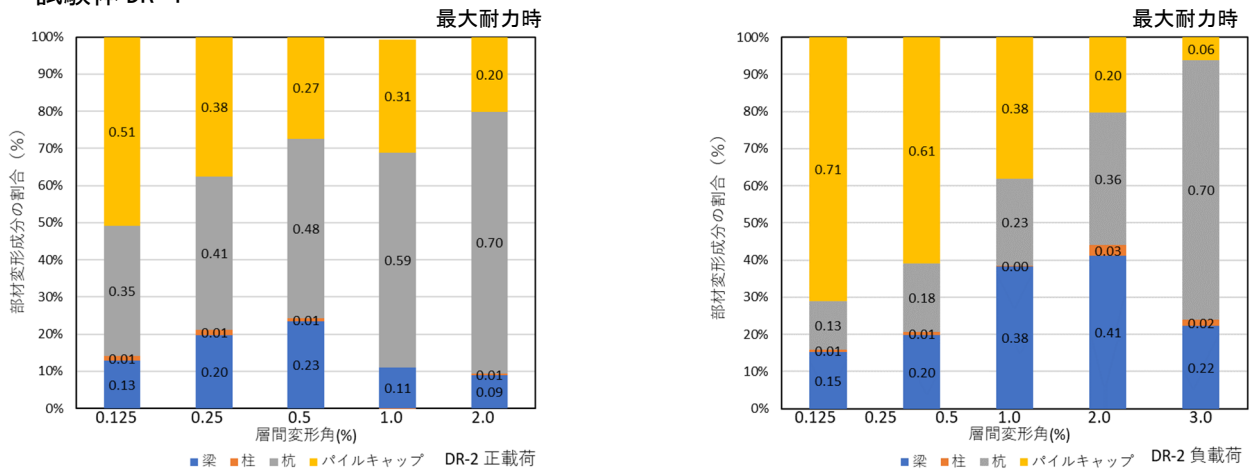


図 3.2.4-20 試験体 DR-4 各変形成分の割合

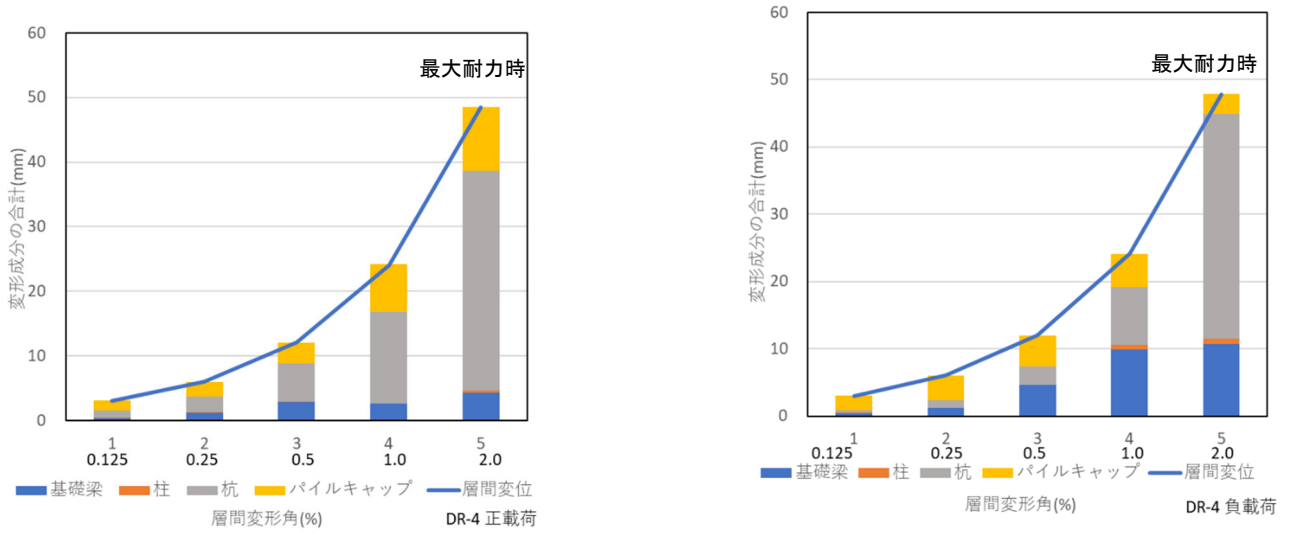


図 3.2.4-21 試験体 DR-4 各変形成分

● 試験体 DR-5

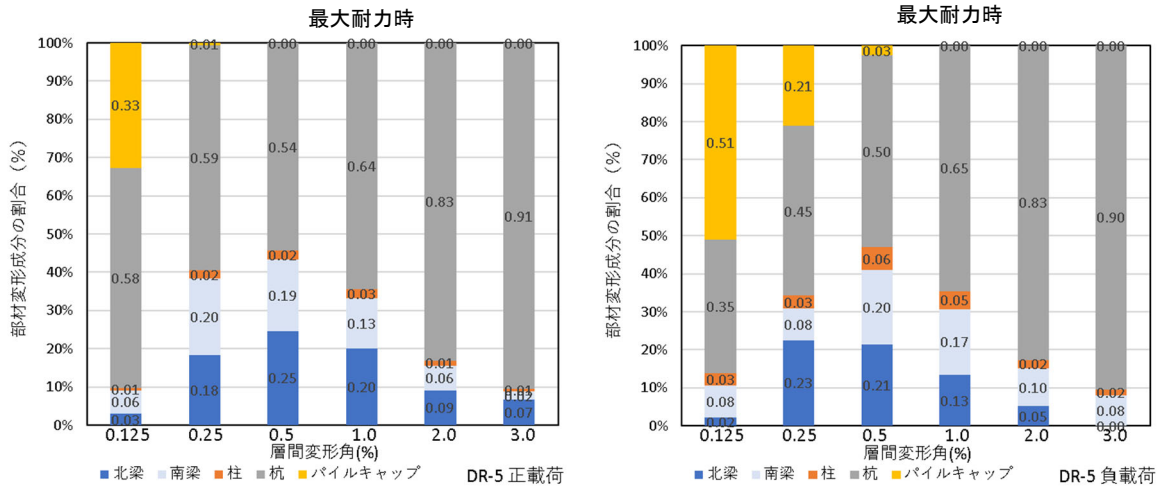


図 3.2.4-22 試験体 DR-5 各変形成分の割合

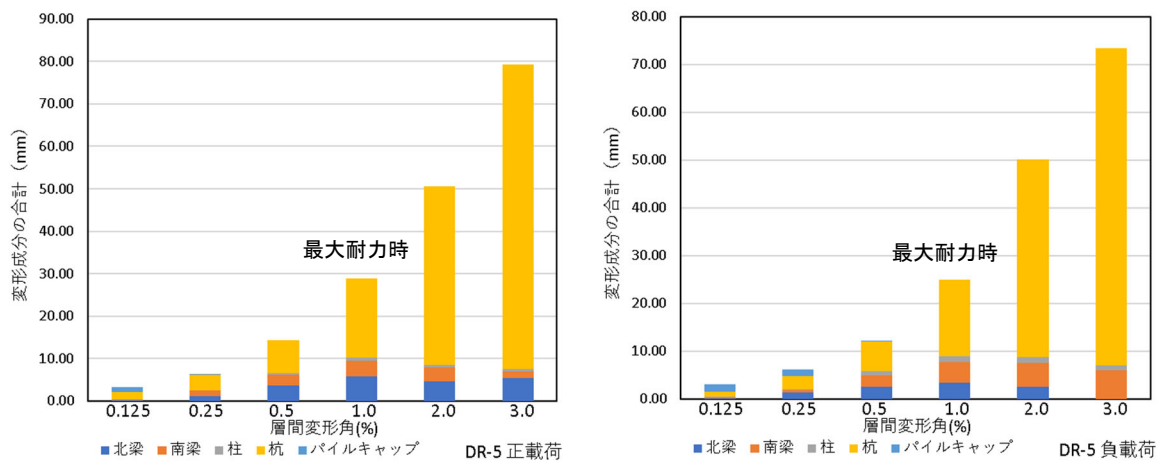


図 3.2.4-23 試験体 DR-5 各変形成分

● 試験体 DR-1

正載荷、負載荷共に最初の方はパイルキャップの割合が大きいですが、次第に杭の変形成分が増加している。

● 試験体 DR-2

正載荷では、パイルキャップの変形成分が減少し、次第に杭の変形成分が増加しているが、負載荷側では基礎梁の変形成分が支配的になっている。これは、負載荷時に基礎梁上端で曲げ破壊が生じたためであると考えられる。負載荷時では基礎梁の曲げ破壊が生じたことで杭の変形成分は小さくなっている。

● 試験体 DR-3

正載荷、負載荷共に杭の変形成分の割合が大きい。試験体 DR-3 では杭頭部の曲げ破壊により杭頭部のみが増形し、その他の部材の変形成分はごくわずかである。また、層間変形角 R=4.0%時に突然柱の変形成分が大きくなった要因は、実験時に柱に大きなひび割れを観測しなかった点から、柱の変形成分を計測する治具が試験体とぶつかってしまったことであると考えられる。

- 試験体 DR-4

試験体 DR-4 の場合、正載荷では最大耐力後の杭の変形成分が大きくなり、負載荷では基礎梁の変形成分が大きくなった。各サイクルのピーク時の部材変形成分の割合、正載荷では、パイルキャップの変形成分の割合が徐々に増加し、杭の割合も増加した。杭の変形成分が大きな割合を占める。柱の割合は全体的に小さい。負載荷では、パイルキャップ変形成分の割合が徐々に減少し、両載荷ともに杭の変形成分の割合が大きくなった。

- 試験体 DR-5

試験体 DR-1 等と同様に正載荷、負載荷時共に $R=\pm 0.125\%$ 時はパイルキャップの変形成分の割合は杭と同程度だが、 $R=\pm 0.5\%$ 以降は杭の変形成分がほとんどの割合を占めている。最大耐力を迎える $R=\pm 1.0\%$ には杭の変形成分が支配的となっている。各変形成分の大きさに注目すると、杭の変形成分は放物線状に増加していることがわかる。

(4) 杭頭埋込部の曲げ挙動

全試験体で、杭頭定着筋の曲げ降伏や杭頭埋込部の損傷が支配的であったため、杭せん断力－杭部材変形角関係を用いて杭頭埋込部の曲げ挙動について考察する。杭せん断力は、軸力による $P-\delta$ を考慮した杭頭定着面の曲げモーメントをせん断スパンで除した値とした。軸力は、柱頭軸力に基礎梁のせん断力を加えた値とした。図 3. 2. 4-24 に杭部材変形角算出に用いた変位計設置図を示す。杭部材変形角は、図 3. 2. 4-24 に示した変位計から得られた値を設置高さ H_{pm} で除した値とした。

図 3. 2. 4-25, 26 に杭せん断力(Q_p)－杭部材変形角関係(R_p)を示す。負荷荷時について、正載荷時との比較を行うために曲線を正載荷時に置き換えて表す。安全限界点は最大耐力の 2 割低下した点とした。

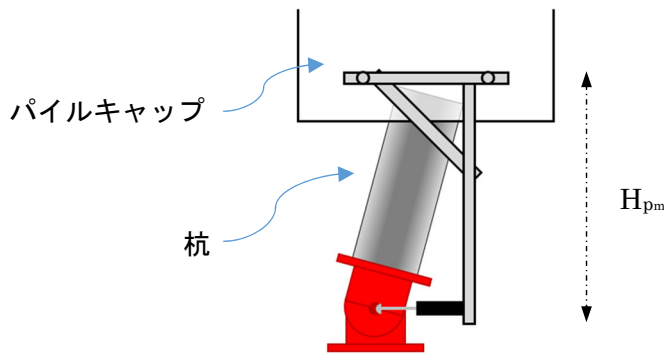


図 3. 2. 4-24 杭部材変形角算出に用いた変位計設置図

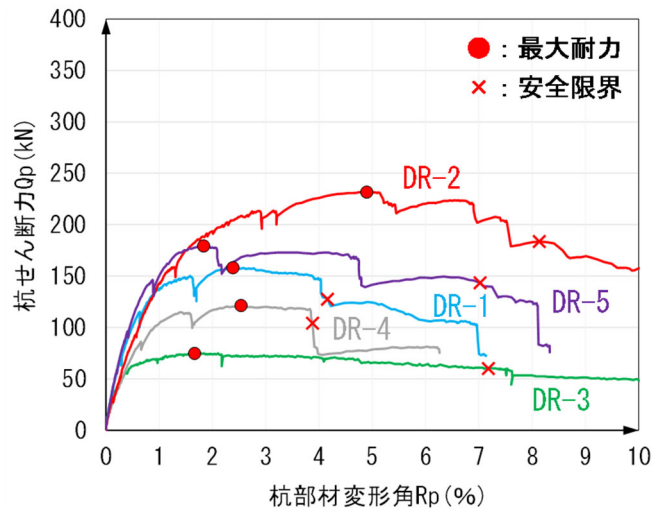


図 3. 2. 4-25 杭せん断力 (Q_p)－杭部材変形角関係 (R_p) 正載荷時

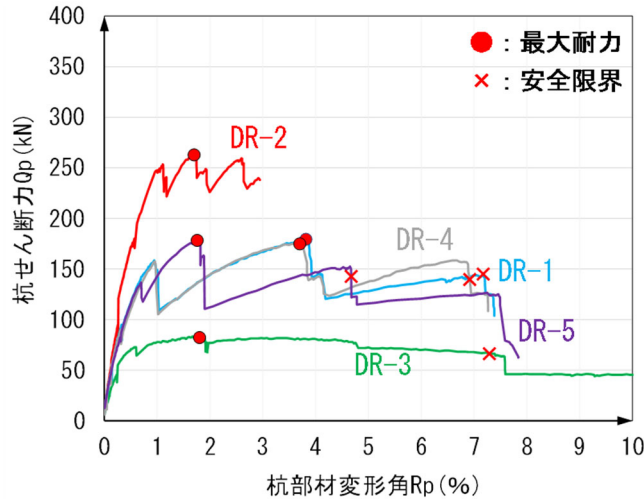


図 3.2.4-26 杭せん断力 (Qp) - 杭部材変形角関係 (Rp) 負荷荷時

正荷荷時では、全試験体で杭の部材角 R_p は大きく、試験体 DR-2 や DR-3 では約 $R_p=10\%$ まで変形していた。また、全試験体で部材角 $R_p=3.88\%$ 程度まで大きな耐力低下は発生せず安定した挙動を示した。試験体 DR-2 では杭頭埋込み長さを $1.5D$ としたことで、最大耐力は他の試験体より大きくなった。また、最大耐力時部材角 R_p は他試験体より大きくなった。試験体 DR-3 では、杭頭部の埋込みを行わないことで他試験体より耐力は小さくなったが、最大耐力後の耐力低下は緩やかであった。試験体 DR-4 は試験体 DR-1 に比べ最大耐力は低く出ている。これは変動軸力による影響が考えられる。また試験体 DR-5 は試験体 DR-1 より最大耐力が大き出ている。これは基礎梁せん断力により杭頭部に作用する圧縮軸力が、試験体 DR-1 より大きかったことが考えられる。

負荷荷で試験体 DR-2 の最大耐力は他の試験体より大きかったが、荷荷終了時の杭部材角 R_p は 3.0% 程で、他の試験体より杭部材角は小さかった。これは負荷荷では、基礎梁の上端で曲げひび割れが大きく発生したことが要因であると考えられる。試験体 DR-3 は、正荷荷時と同様に他の試験体より最大耐力が小さくなったが、最大耐力後の耐力低下は緩やかであった。試験体 DR-1, 4, 5 は負荷荷時で見ればほぼ同じ性状を示していることがわかる。最大耐力後の耐力低下の様子もほぼ同じと考えられる。

全試験体の安全限界に注目すると、試験体 DR-2 の負荷荷時以外では、正荷荷時、負荷荷時共に安全限界が杭部材角 $R_p=4.0\%$ 以上であった。本実験の試験体のような杭頭埋込部曲げ破壊の場合、杭部材角 $R_p=4.0\%$ まで靱性能が発揮されることが考えられる。

(5) 杭頭埋込部曲げ耐力の評価

杭頭埋込部曲げ耐力評価の精度検証を行う。まず、本報告書 3-247 ページにおける杭頭埋込部曲げ終局強度と図 3.2.4-25~27 より、実験により得られた杭頭曲げモーメントの比較を行う。以下表 3.2.4-1 にそれぞれの実験値と計算値、実験値を計算値で除した値を示す。検討方法は参考文献^[3-2]を参考とした。

表 3.2.4-1 杭頭埋込部曲げ終局強度実験値及び計算値の比較

	DR-1		DR-2		DR-3		DR-4		DR-5	
	正	負	正	負	正	負	正	負	正	負
実験値	130.7	148.3	220.8	250.5	52.4	58.3	100.4	144.7	148.2	147.5
計算値	74.6	92.0	81.2	127.4	65.8	75.0	54.9	91.7	84.5	86.2
実験値/ 計算値	1.8	1.6	2.7	2.0	0.8	0.8	1.8	1.6	1.8	1.7

杭頭埋込部でのコンクリート支圧応力度分布を三角形分布と捉えた場合、試験体 DR-3 以外は実験値／計算値の値が大きく 1 を超える結果となった。特に試験体 DR-2 では 2 を超えている。これは杭頭接合面へのてこ作用の評価を過少評価してしまっている為、このように実験値／計算値の値が大きく 1 を超えてしまう結果となっていると考えられる。

また、より精度を増した耐力評価を行う為に松田等^[3-2]の既往評価法を用いての耐力評価も行う。なお、参考文献^[3-2]の対象試験体は杭径 400mm であり、本実験の杭直径（杭径 168.3mm）は参考文献^[3-2]の試験体より小さい。既往評価式は杭頭埋込部曲げ耐力を埋込部周辺に生じるてこ機構と杭頭埋込部定着面の定着機構による曲げ耐力の累加として評価している。てこ機構による曲げ耐力は杭埋込部の支圧応力度分布を矩形分布とし、支圧応力度が支圧強度 $\beta_{te} \times \sigma_{B}$ （支圧係数 $\beta_{te} : 1.5$ ）に達したときを力のつり合いから求めている。定着機構の曲げ耐力は、仮想円形断面（杭径+200mm）を用いた曲げ解析により算出している。このとき、コンクリートと定着筋の材料構成則はバイリニアモデルとし、コンクリートの支圧強度 $\beta_a \times \sigma_{B}$ （ $\beta_a : 1.8$ ）として曲げ耐力を評価している。なお、定着機構の曲げ耐力計算に用いた軸力は、実験の最大耐力時の柱頭軸力と梁せん断力の合計値とした。

図 3.2.4-27 に図 3.2.4-25, 26 示した杭せん断力最大値の実験値と計算値の比較を示す。同図中には、実験値／計算値の平均値と変動係数を示した。なお、基礎梁の損傷が卓越した DR-2 の負荷荷時については、実験値／計算値の平均値と変動係数の評価対象から除外した。正載荷側では実験値／計算値の平均は 1.19 となった。負載荷側では実験値／計算値の平均は 0.834 と危険側になる傾向があった。DR-3 では正載荷および負載荷側の両ケースで 1 を下回る結果となった。これは、仮想円形断面の直径やコンクリートの支圧係数が杭径や軸力比に応じて異なることが原因である可能性がある。また、他に実験値／計算値が 1 を下回った試験体は、DR-1, DR-4 の負載荷側であり、圧縮軸力比が大きい試験体で危険側となる傾向にあった。DR-3 以外の試験体では杭頭部をパイルキャップに埋め込んでいるため定着機構に加え、てこ機構に基づく評価精度が影響していることが予想される。十字形架構とした DR-5 は、正載荷側、負載荷側ともに実験値／計算値は 1.09 と 1.04 となり、精度良く評価できた。

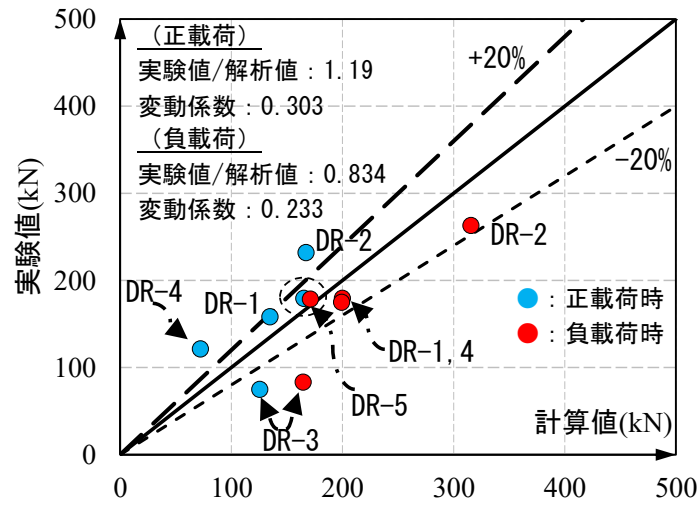


図 3.2.4-27 杭埋込部曲げ耐力時せん断力の実験値および計算値

(6) 杭頭埋込部周辺の挙動の検討

1) パイルキャップ補強筋のひずみ挙動の検討

杭頭埋込部位置に配筋された補強筋のひずみ挙動について検討する。検討する補強筋の高さは、図 3.2.4-27 に示した a-a 高さの位置とした。図 3.2.4-28~32 に試験体 DR-1~5 の a-a 高さ位置における補強筋のひずみ値を示す。層間変形角 $R=4.0\%$ 程まで杭頭埋込部補強筋のひずみは降伏していなかったため、各試験体において $R=3.0\%$ から最終サイクルまでの挙動を確認する。

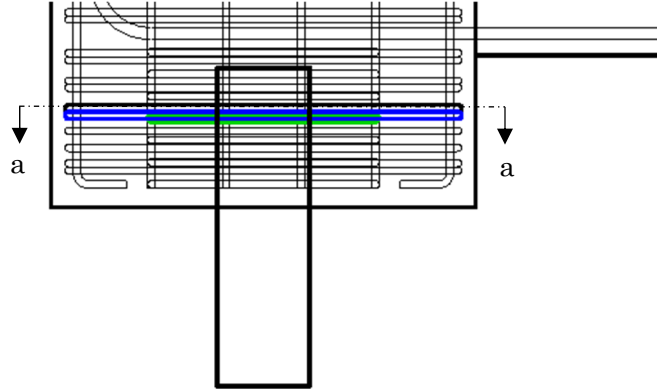


図 3.2.4-27 ひずみ挙動を検討する断面 a-a 高さの位置

● 試験体 DR-1

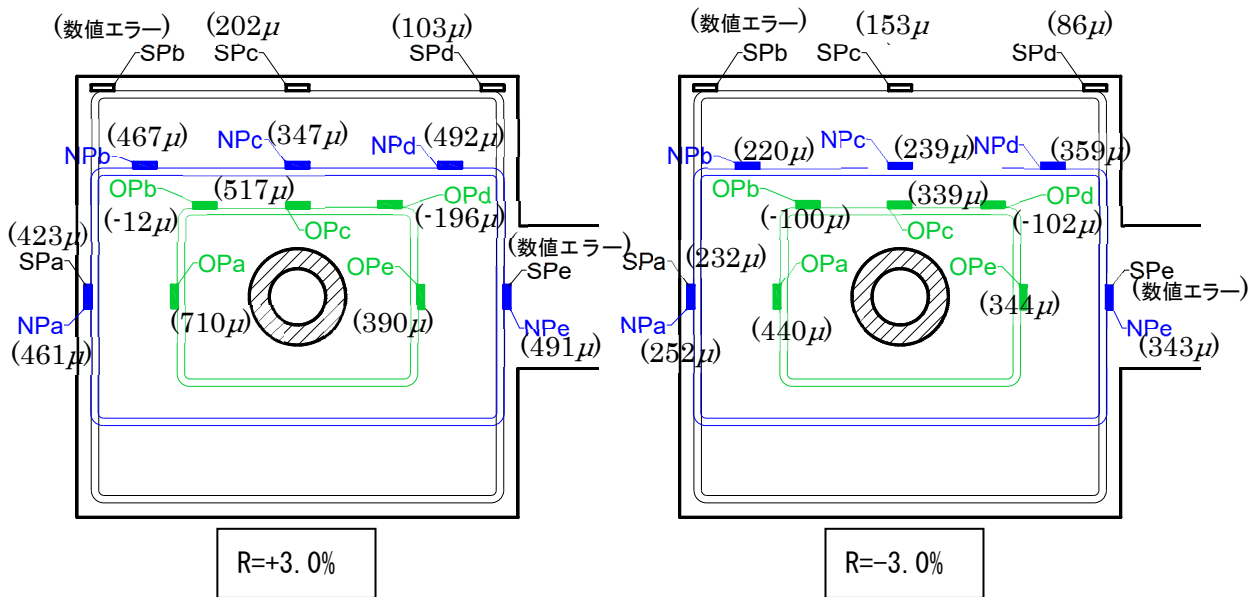


図 3.2.4-28 試験体 DR-1 a-a 断面での補強筋ひずみ分布

● 試験体 DR-2

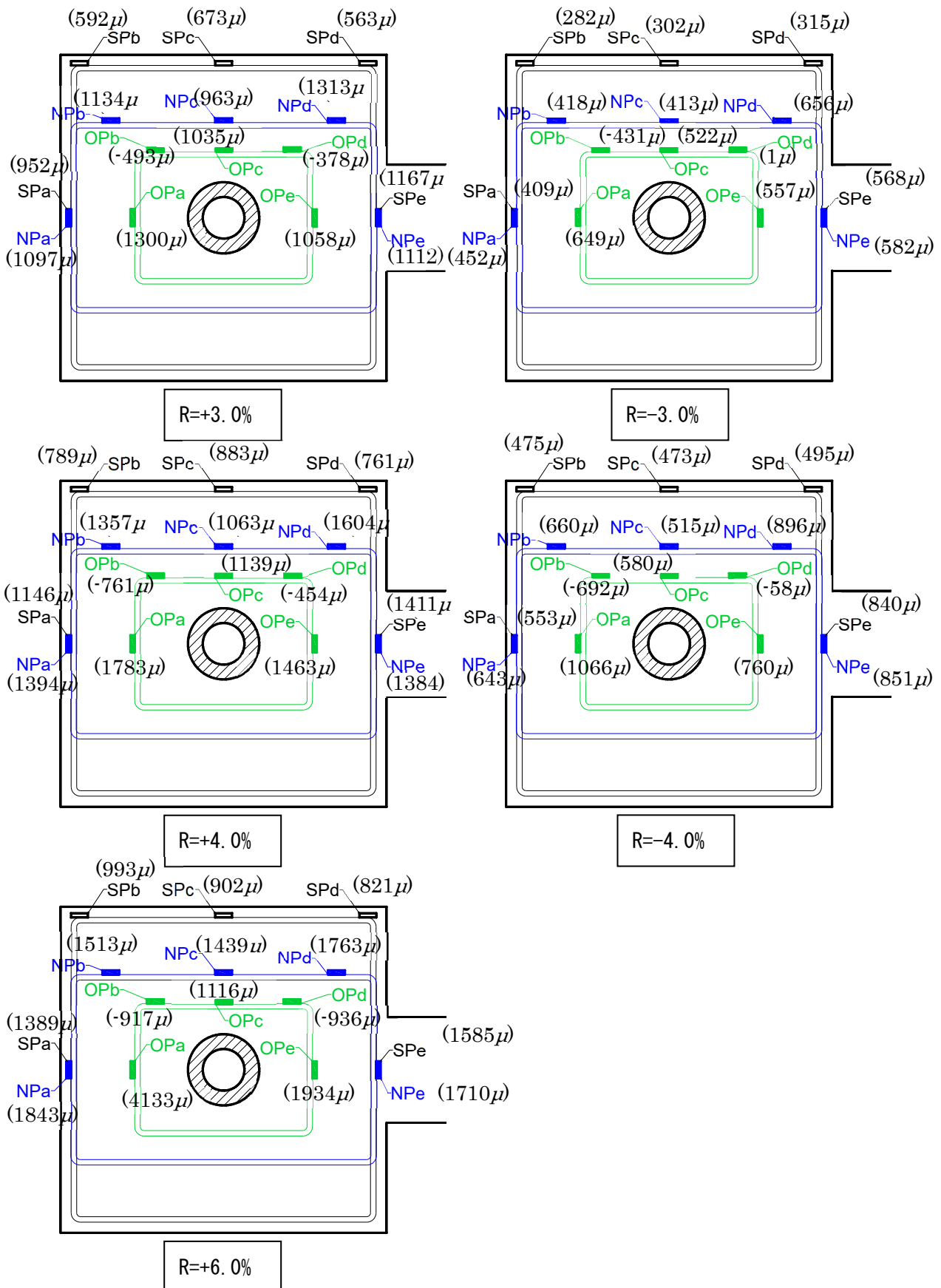


図 3. 2. 4-29 試験体 DR-2 a-a 断面での補強筋ひずみ分布

● 試験体 DR-3

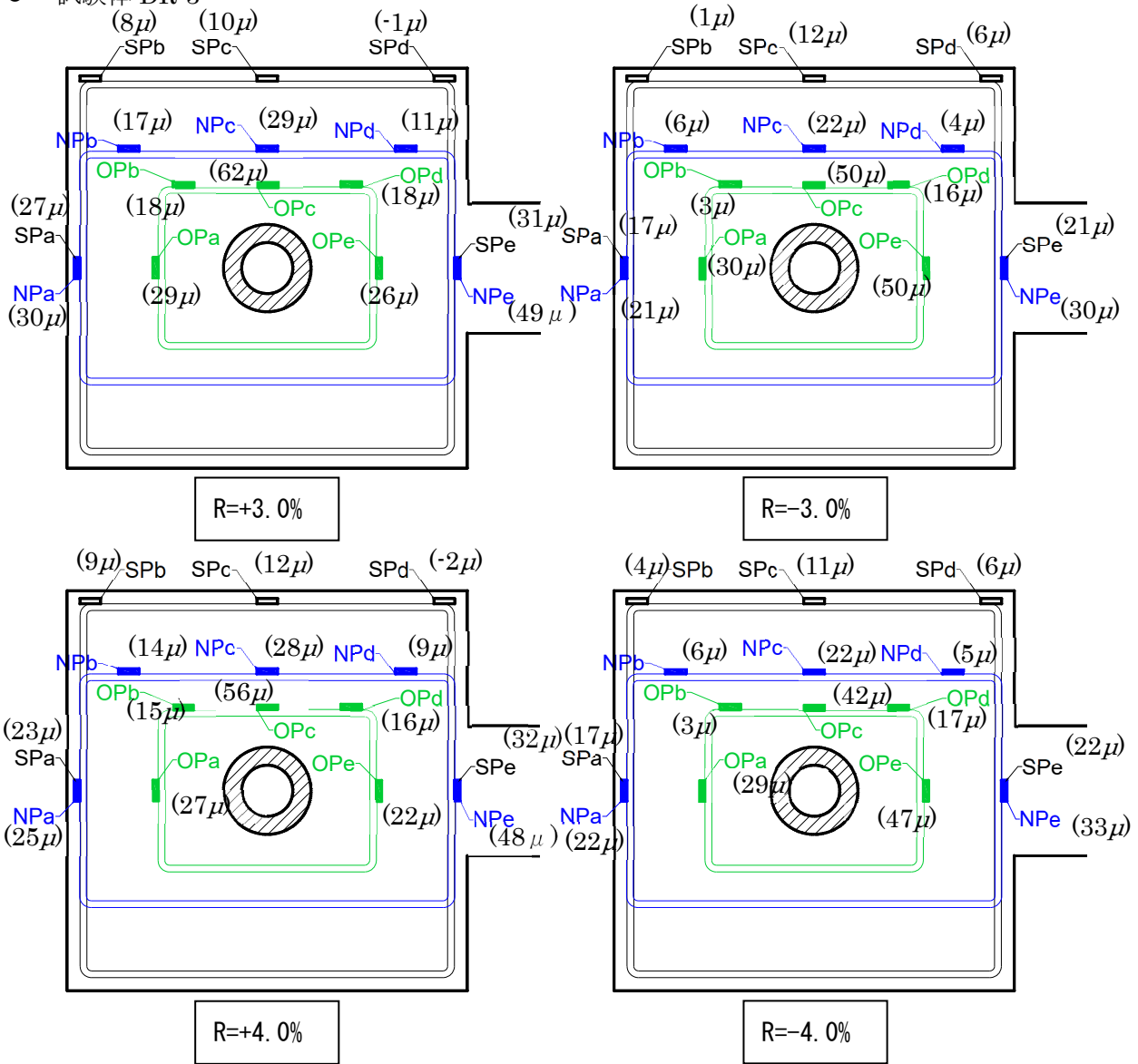


図 3. 2. 4-30 試験体 DR-3 a-a 断面での補強筋ひずみ分布

● 試験体 DR-4

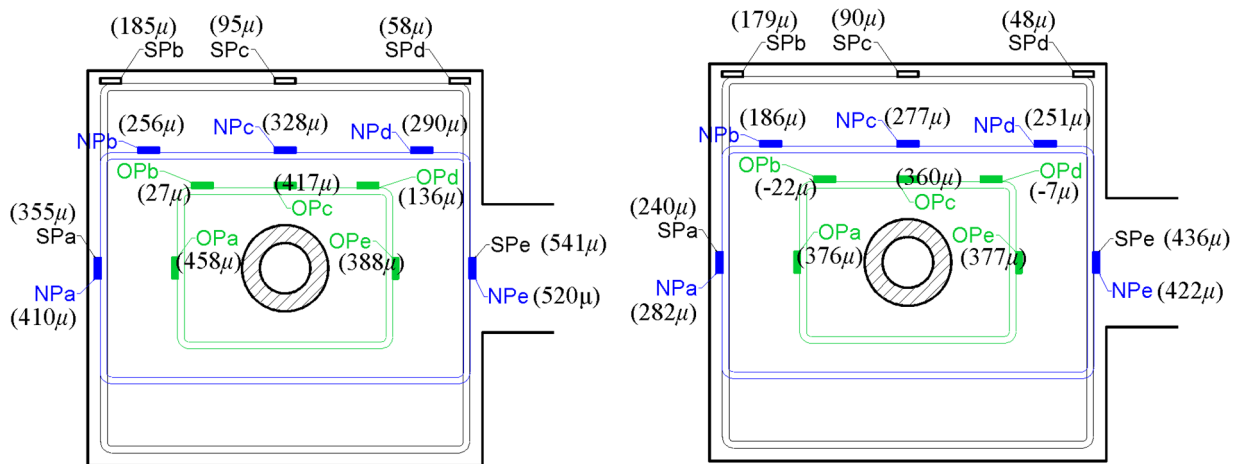


図 3. 2. 4-31 試験体 DR-4 a-a 断面での補強筋ひずみ分布

● 試験体 DR-5

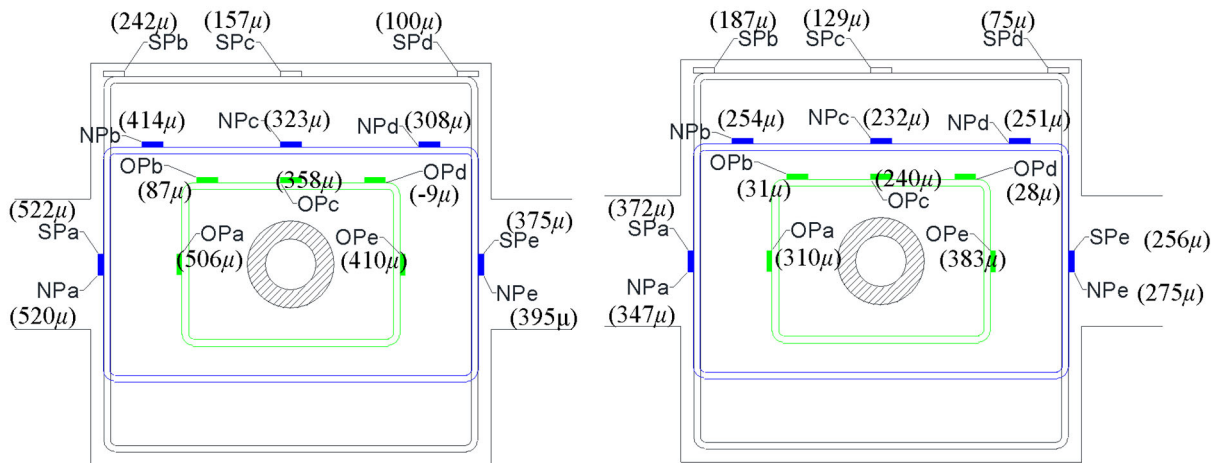


図 3. 2. 4-32 試験体 DR-5 a-a 断面での補強筋ひずみ分布

● 試験体 DR-1, 2, 3 の補強筋ひずみの挙動

試験体 DR-2 において、層間変形角 $R=4.0\%$ まで杭頭埋込部補強筋のひずみは降伏しておらず、各ひずみ値は 1500μ 以下と小さかった。 $R=6.0\%$ では、内側の杭頭埋込部補強筋のひずみが 4000μ 程度示しており、外側のパイルキャップ補強筋より大きいひずみを示した。これは、内側の杭頭埋込部補強筋の範囲において、杭頭埋込部にてこの機構が働き、杭頭埋込部補強筋が引張降伏したためであると考ええる。また、杭頭の埋込を無しとした試験体 DR-3 と、埋込長さを $1.5D$ とした試験体 DR-2 を比較すると試験体 DR-3 の補強筋のひずみは全体的に小さいことが確認できる。試験体 DR-3 は埋込を無しとしているため、この機構による押し出される力が働かず、杭頭埋込部の補強筋は降伏しない結果となったと考える。

2) 切断後の切断面の考察

試験体 3 体の静的加力実験を実施した結果、損傷が試験体の内部（杭頭接合面）で発生したため、損傷を十分に確認することができなかった。そこで、試験体載荷後に損傷の観察及び計測を実施した。その後、試験体の切断を行い、切断面の観察を行った。切断は①, ②, ③の手順で 2 回に分けて実施した。図 3. 2. 4-33 に試験体 DR-1, 3, 4, 5 と試験体 DR-2 の切断位置の図を示す。図 3. 2. 4-34~37 に各試験体の切断後の断面図を示す。

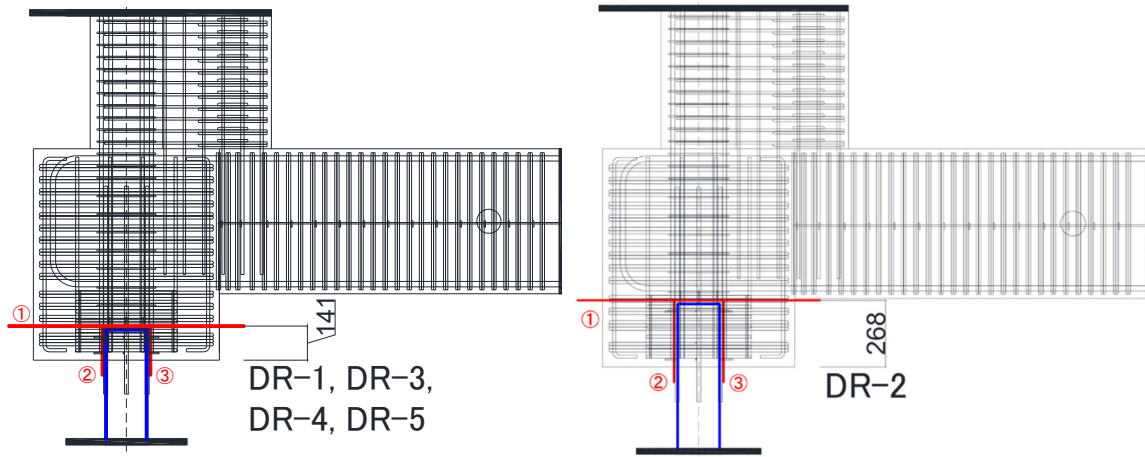
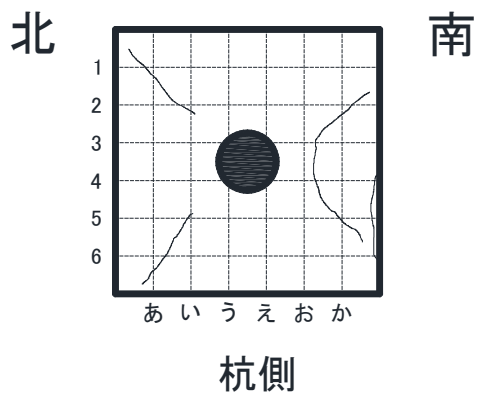
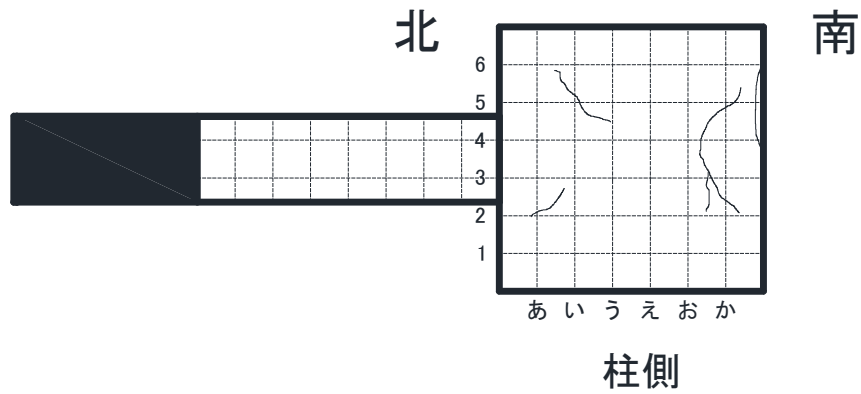


図 3. 2. 4-33 試験体切断位置

(左：試験体 DR-1 試験体・DR-3 切断位置，右：試験体 DR-2 切断位置)



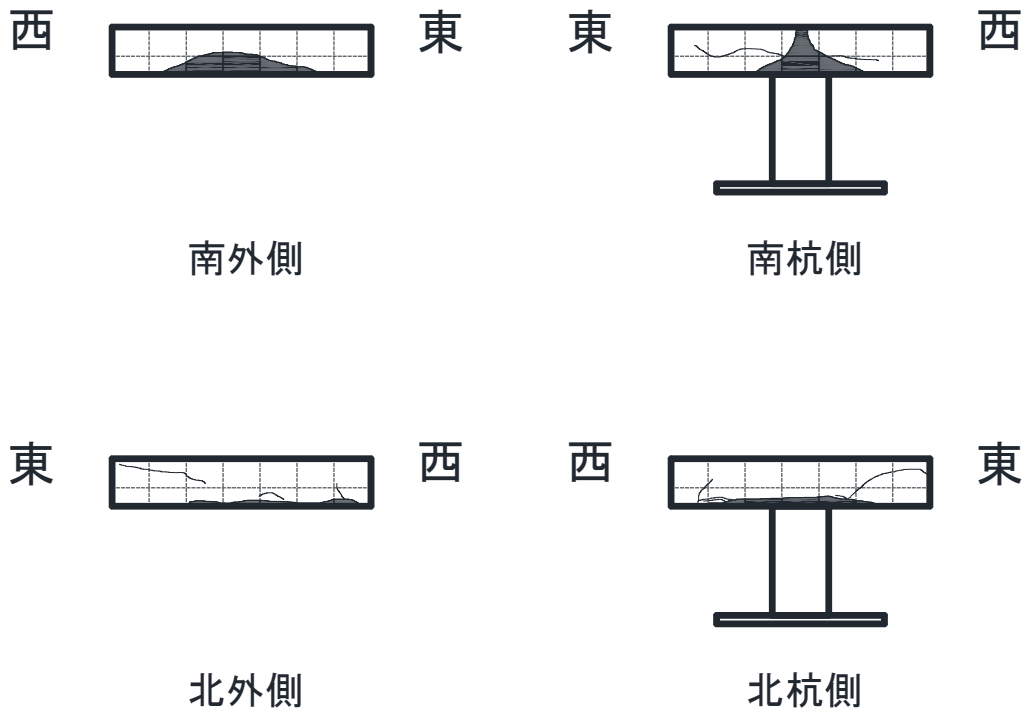
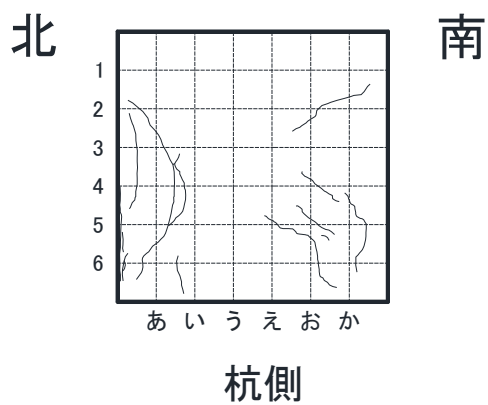
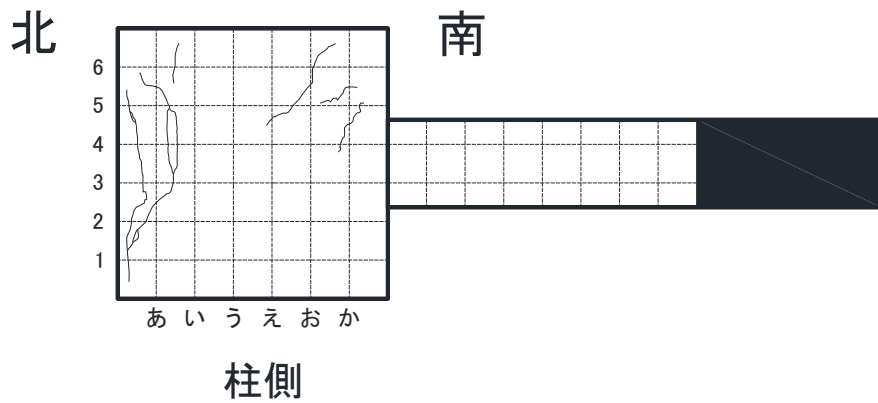


図 3. 2. 4-34 試験体 DR-1 切断後の断面図



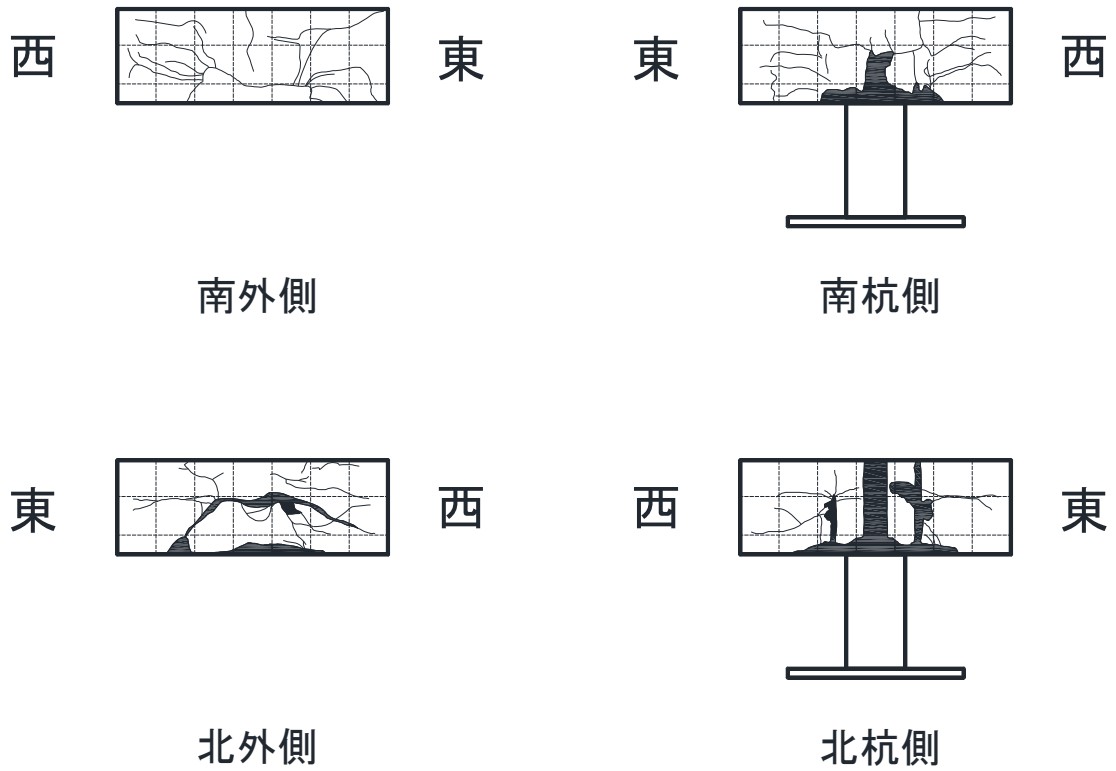
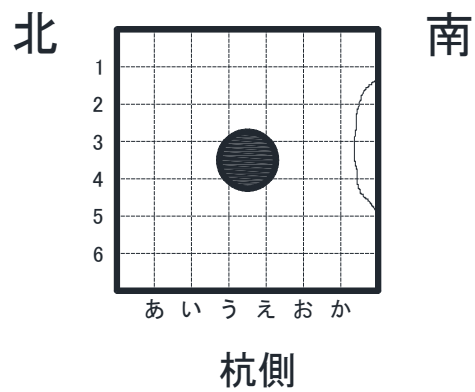
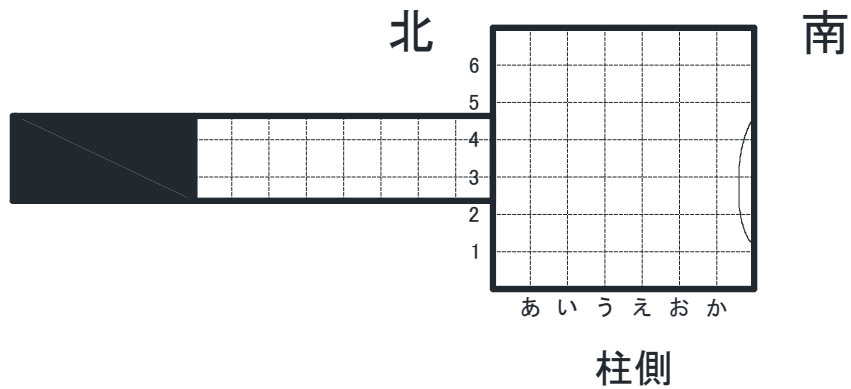


図 3. 2. 4-35 試験体 DR-2 切断後の断面図



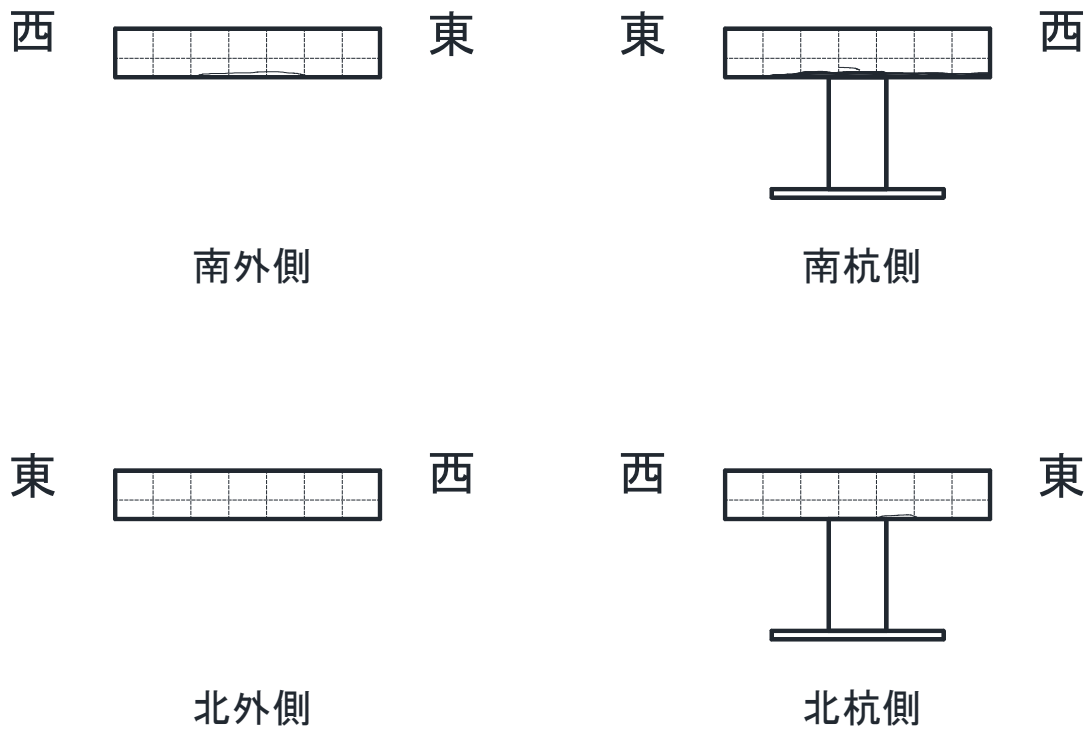
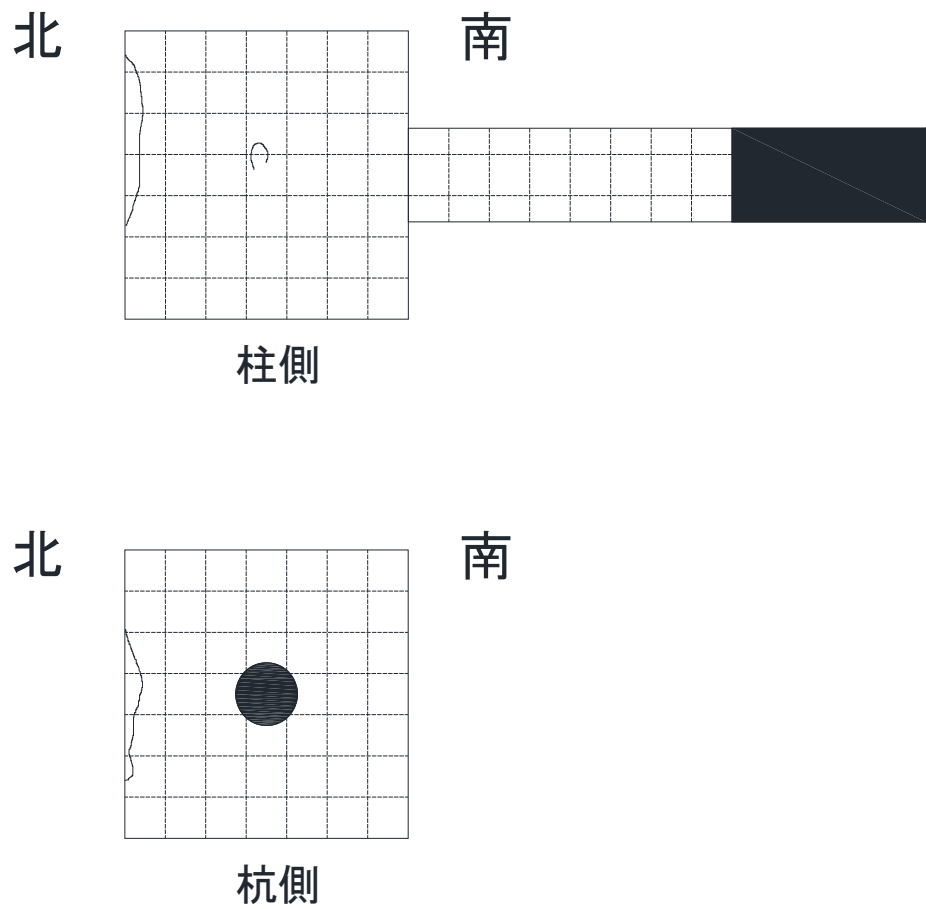


図 3. 2. 4-36 試験体 DR-3 切断後の断面図



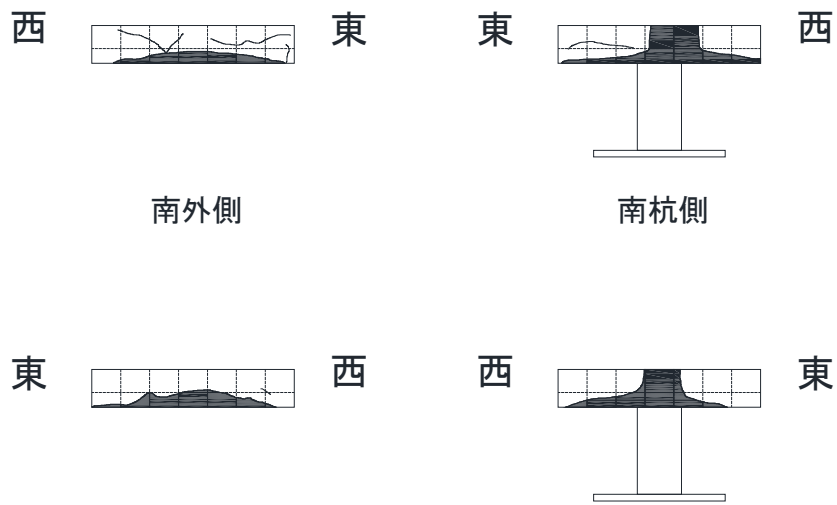
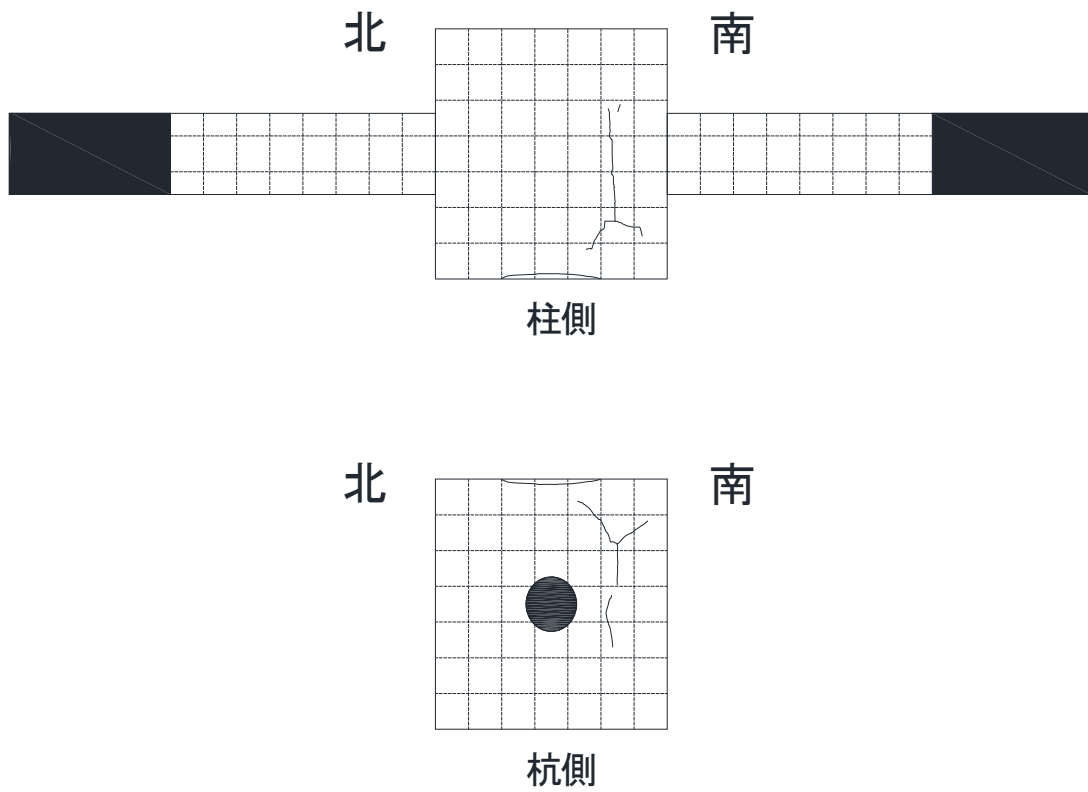


図 3. 2. 4-37 試験体 DR-4 切断ひび割れ状況



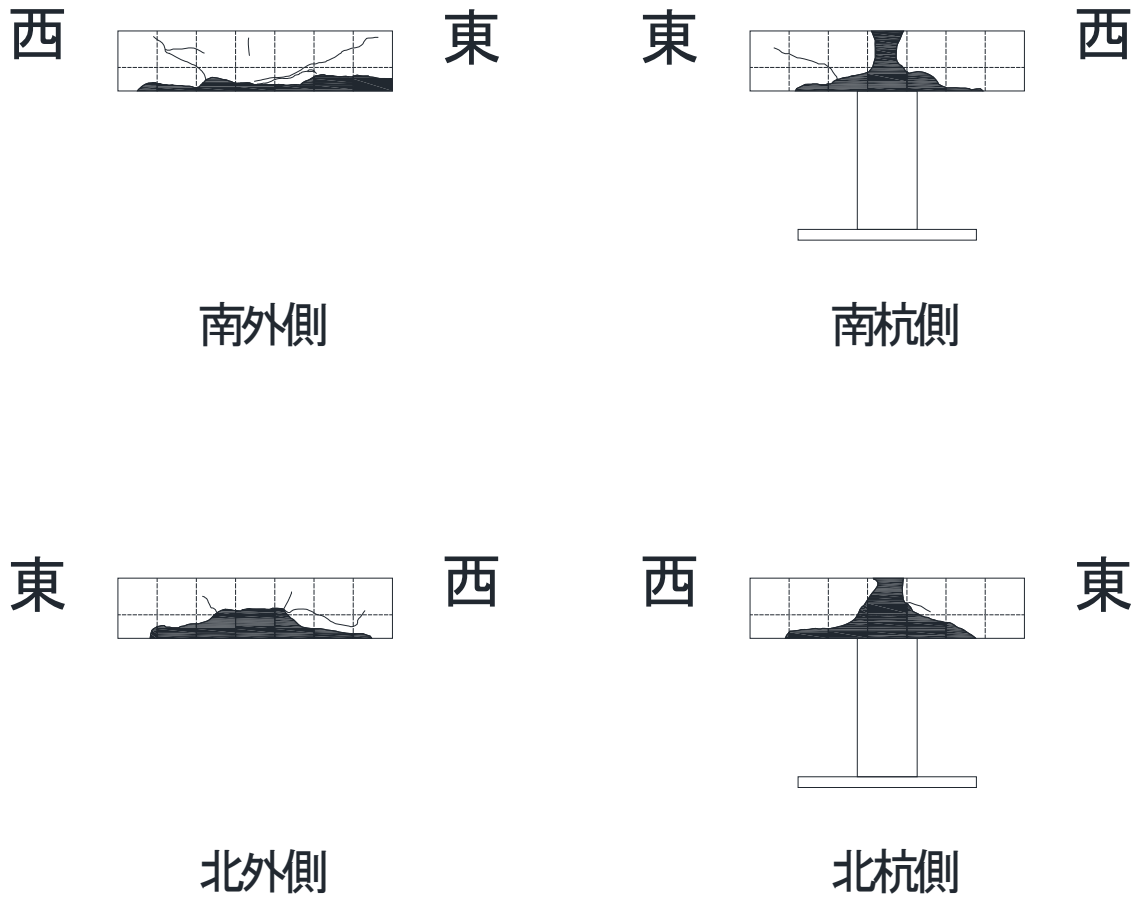


図 3. 2. 4-38 試験体 DR-5 切断面ひび割れ

- 試験体 DR-1, 2, 3 の水平方向の切断面について（切断手順①の部分）

試験体 DR-1, DR-3 では水平方向の切断による切断面において、ひび割れは確認されなかった。杭頭部の埋込長さを $1.5D$ とした試験体 DR-2 では基礎梁の取り付けしている側でひび割れを確認できた。これは正載荷時の杭頭埋込部にてこの機構により生じた圧縮力によるひび割れであると判断した。ひび割れは梁の取り付けしている側のみで発生しているため、基礎梁とこの機構の圧縮力が生じた領域で何かしらの作用が働いていると推測する。また、杭頭部の埋込を無しとした試験体 DR-3 ではこの機構による圧縮力は作用しないため切断面が綺麗であることも確認できた。

- 試験体 DR-1, 5 の比較

いずれの切断面においてもひび割れが発生したが、それらが表面まで達することはなかった。パイルキャップの断面積を $770\text{cm} \times 770\text{cm}$ と大径にしたことによるのではないかと考えられた。底面の剝離・剝落の様子は基礎梁の有無によって浅深が変わっているように観察できた。杭頭定着筋については、両試験体ともに6本中南側の2本が破断していた。

3) 杭頭埋込部周辺のコンクリートひずみ推移

図 3.2.4-39 に杭頭埋込部周辺に設置したモールドゲージ位置を示す。杭頭埋込部周辺には、ひずみゲージを貼付したダミー鉄筋をモールドゲージと隣り合わせに設置し、モールドゲージと同様に杭頭埋込部周辺のひずみを計測した。図 3.2.4-40 に基礎部材指針で想定されている杭頭埋込部周辺の応力状態を示す。

図 3.2.4-41 及び図 3.2.4-42 にモールドゲージおよびダミー鉄筋に貼付したひずみゲージによって計測した杭頭埋込部周辺のコンクリートひずみー杭部材変形角関係を示す。

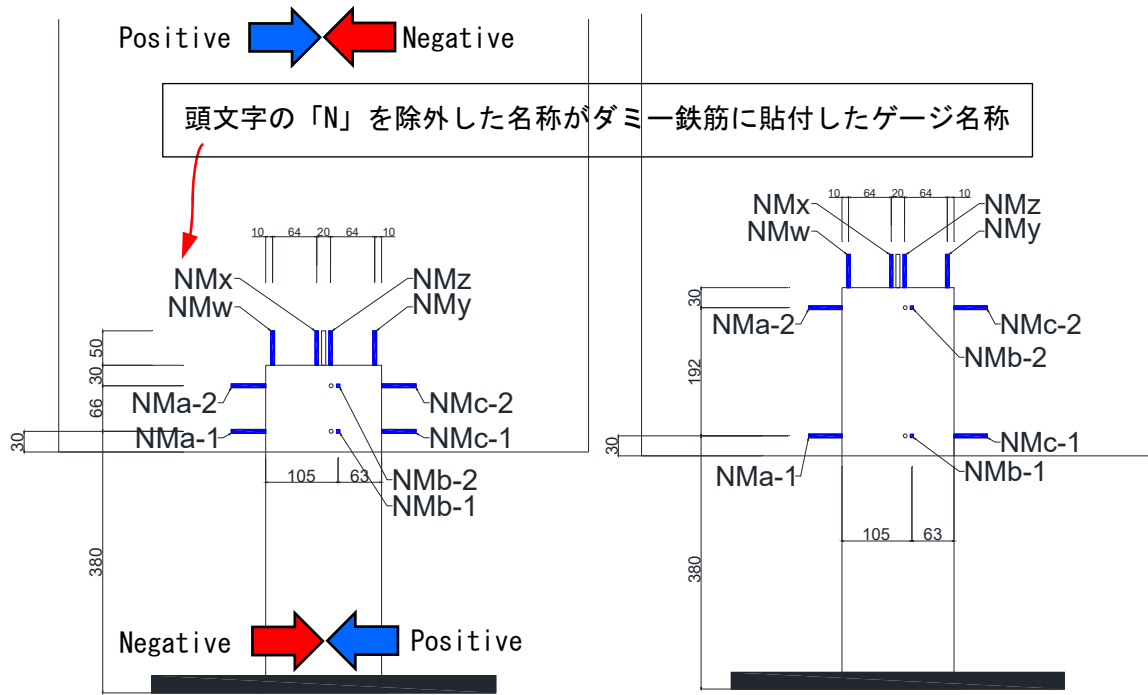
- 杭頭埋込部側面

杭頭埋込部の下端（パイルキャップ底面）で圧縮ひずみが生じた（ゲージ位置：NMa-1 や NMc-1）。

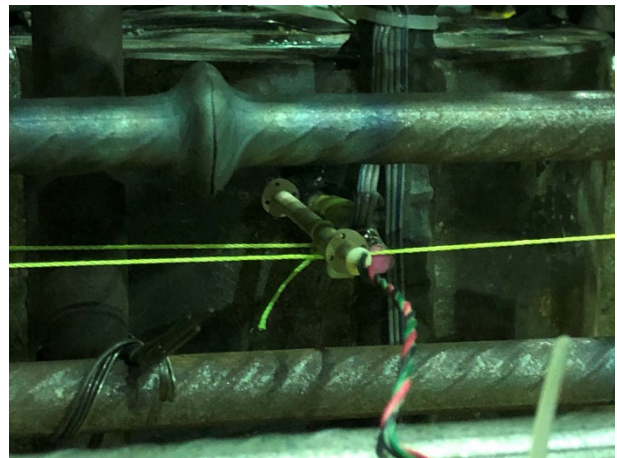
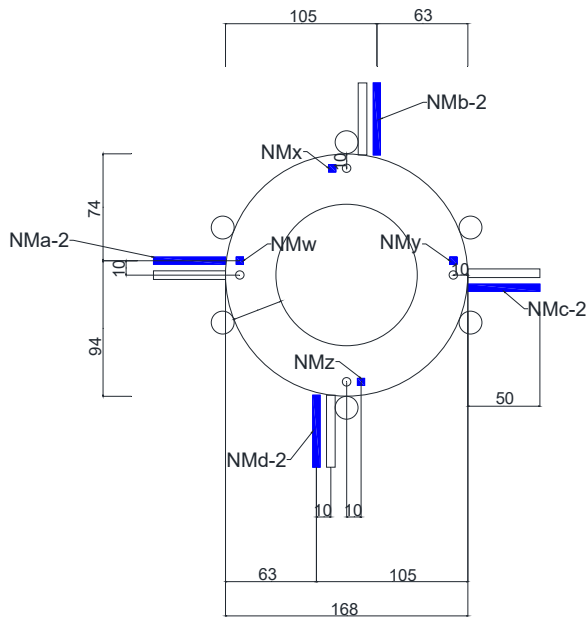
- 杭頭埋込部定着面

試験体 DR-1 では、杭頭埋込部定着面で圧縮力が作用すると考えられる位置で圧縮ひずみが生じた（ゲージ位置：NM_y）。しかし、変動軸力試験体 DR-2 と DR-4 の正載荷側では、圧縮力が作用すると考えられる位置で圧縮ひずみは生じなかった（ゲージ位置：NM_w）。

ダミー鉄筋のひずみは、モールドゲージのひずみと一致しないケースがあった。



(a) モールドゲージ設置位置立面図



(b) モールドゲージ設置位置断面図 (左)、モールドゲージおよびダミー鉄筋配置写真 (右)

図 3.2.4-39 モールドゲージ設置位置概要

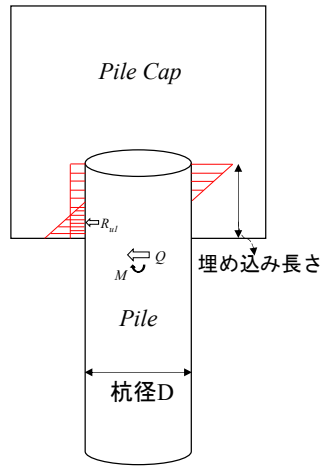
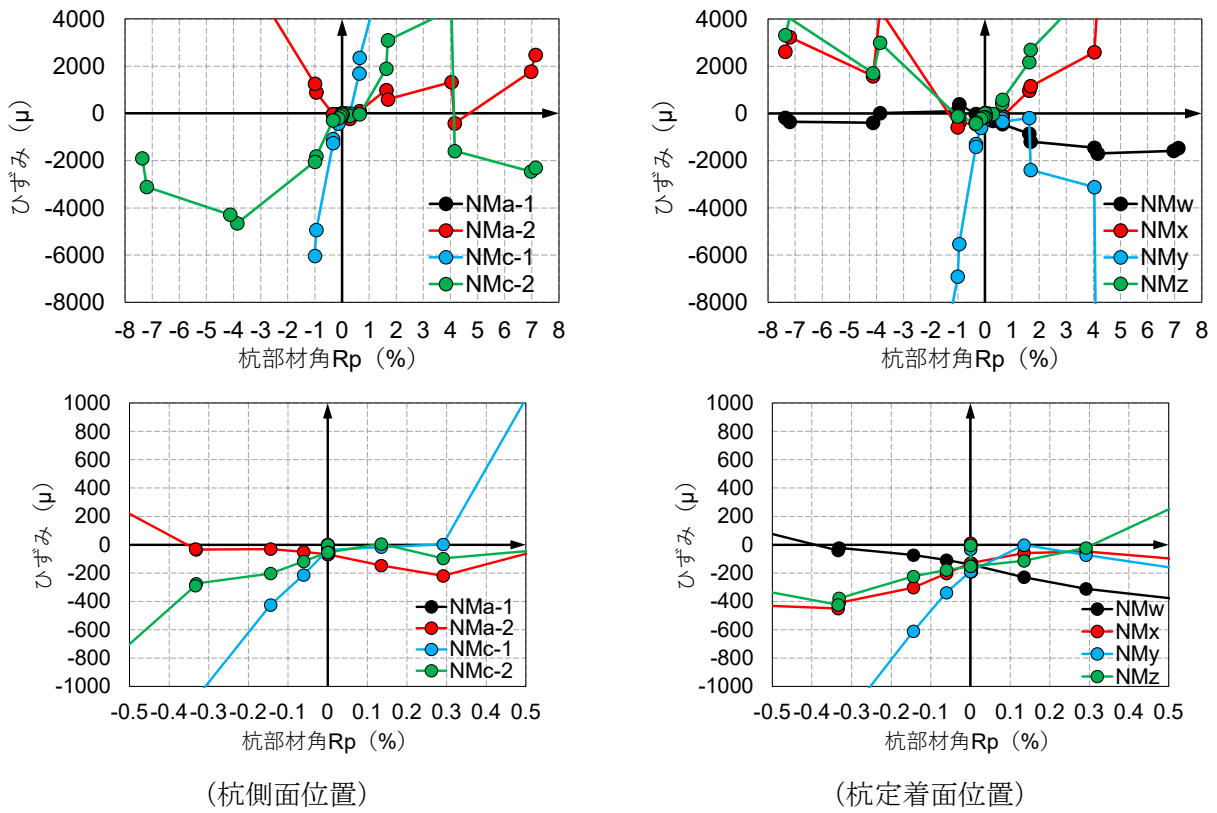
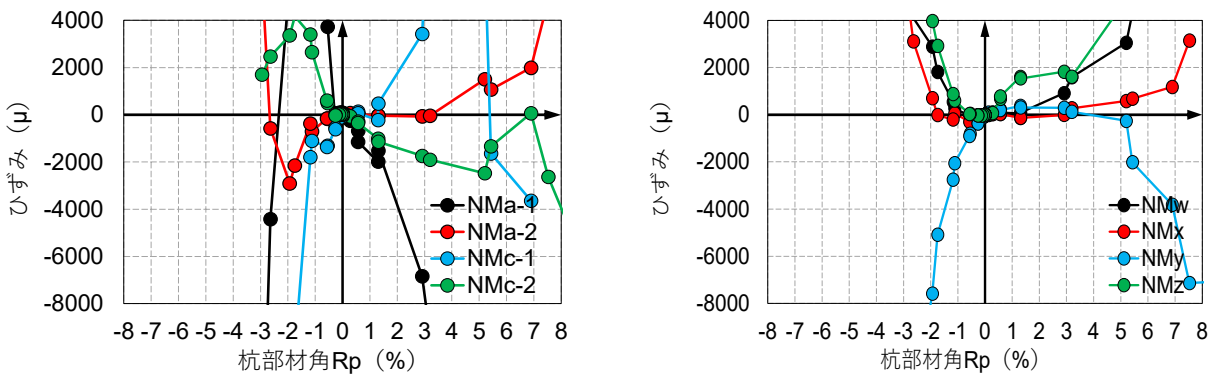


図 3.2.4-40 基礎部材指針で想定されている杭頭埋込部周辺の応力状態



(a) 試験体 DR-1



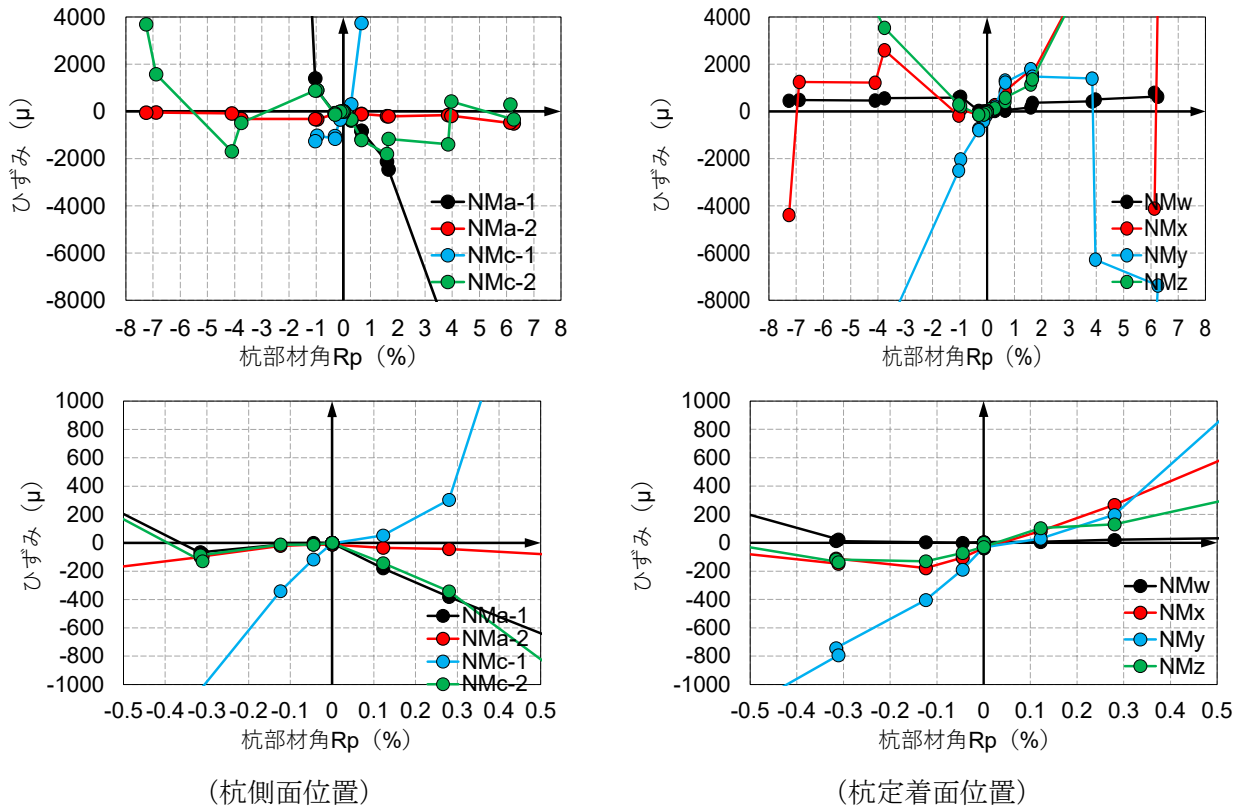
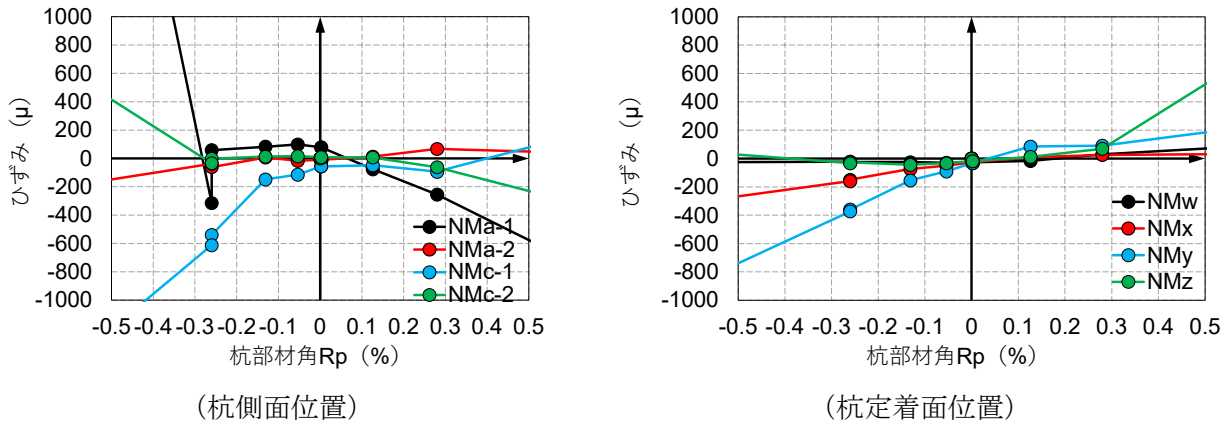
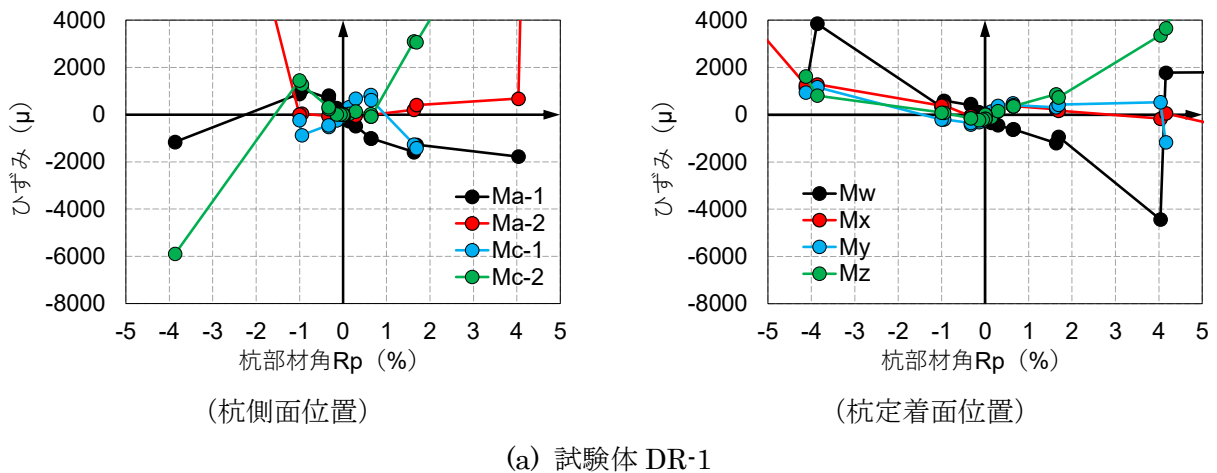


図 3.2.4-41 モールドゲージによるコンクリートひずみー杭部材変形角関係



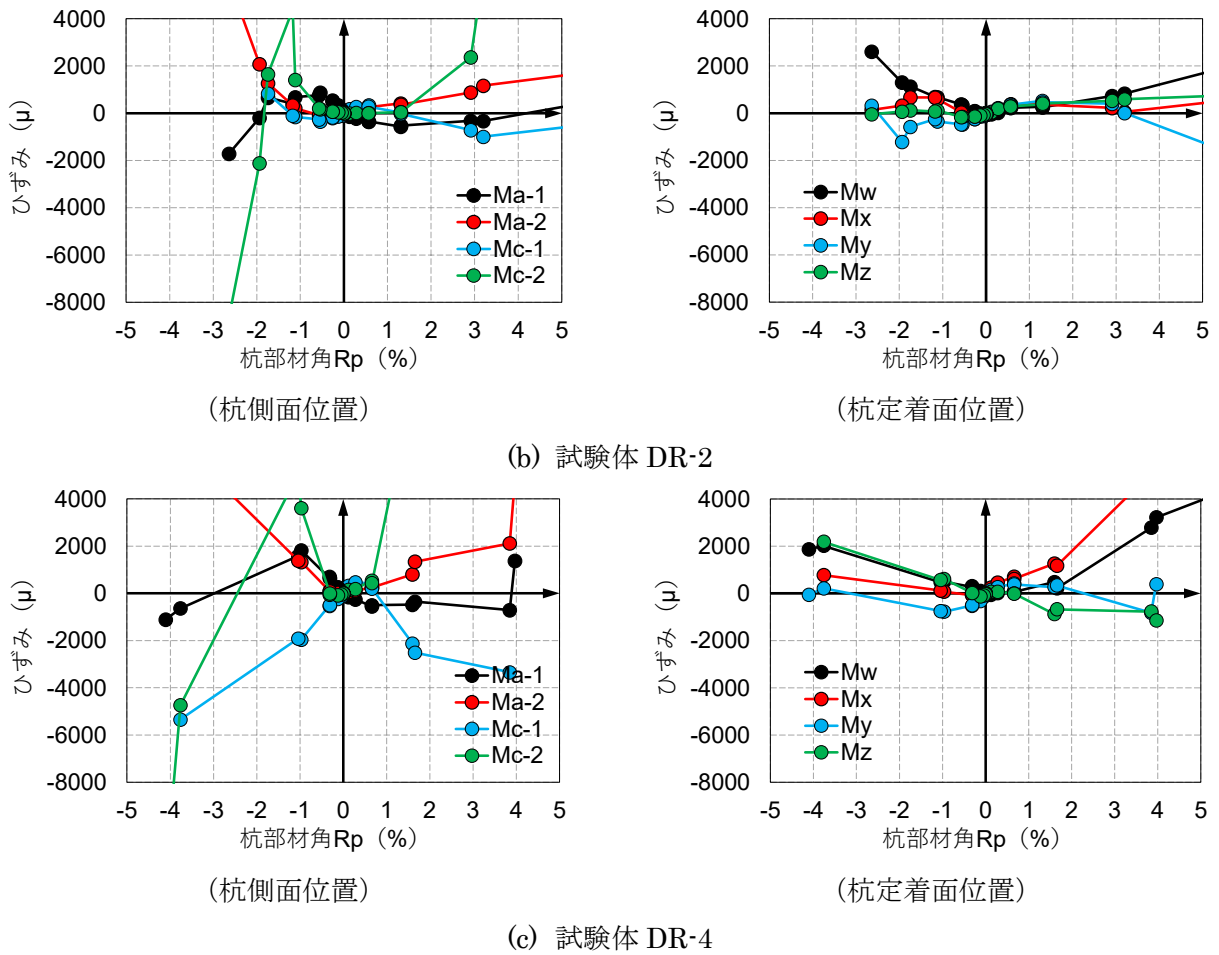


図 3. 2. 4-42 ダミー鉄筋に貼付したひずみゲージによる計測結果

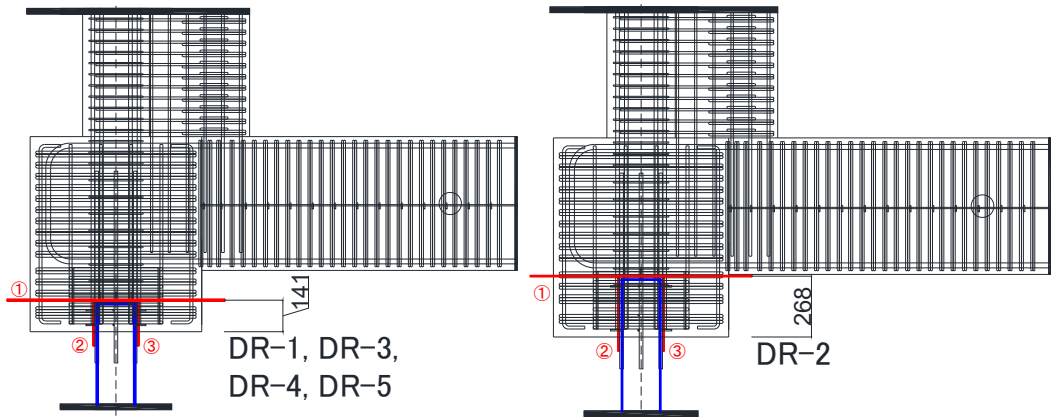


図 3. 2. 4-43 切断位置

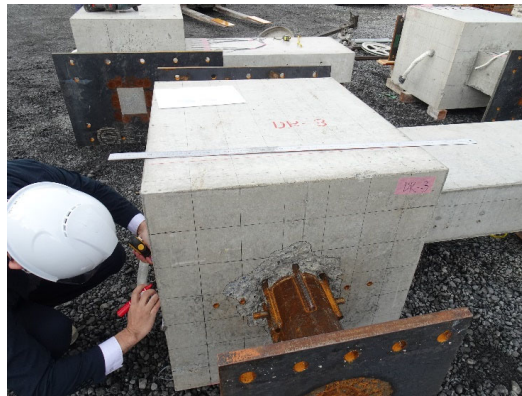
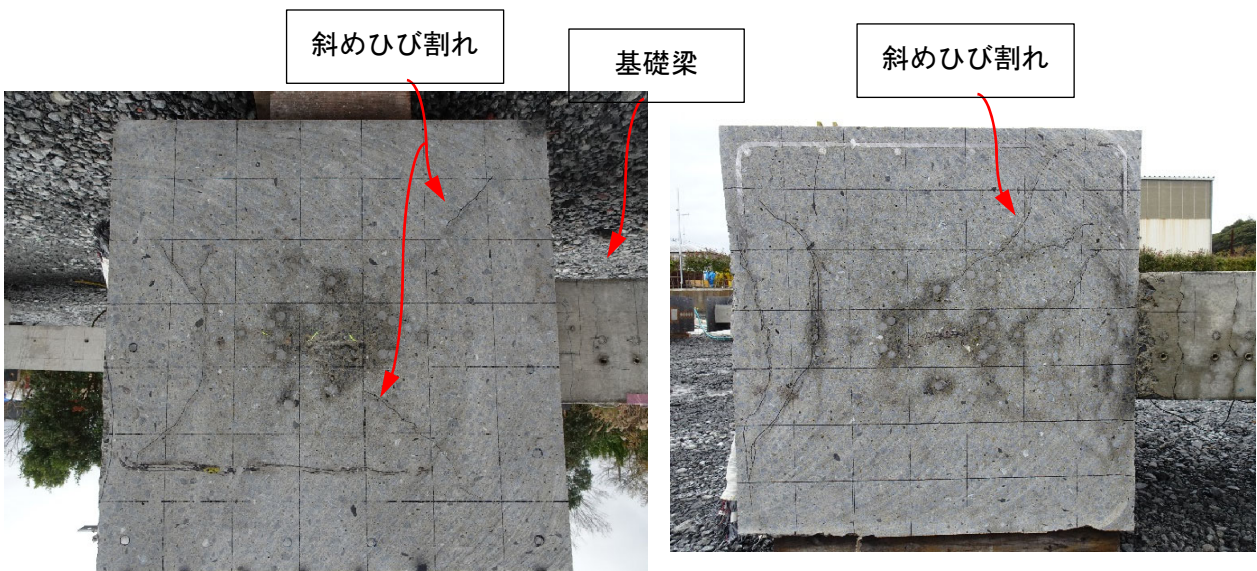
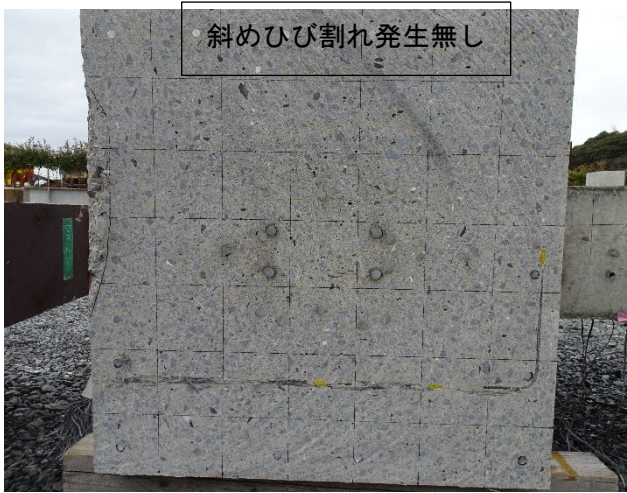


写真 3. 2. 4-1 切断前状況

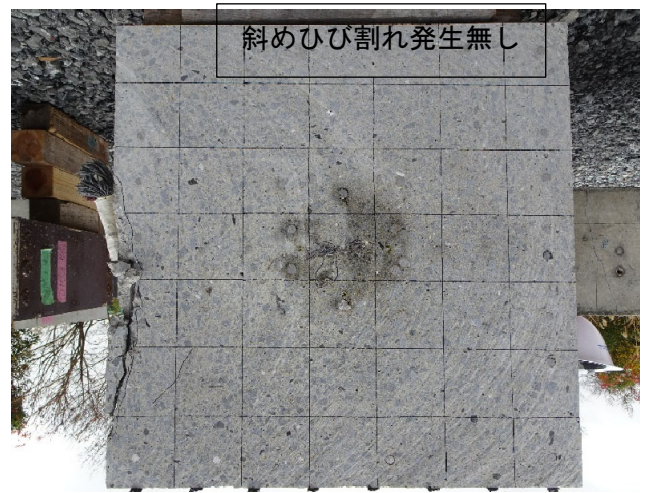


(a) DR-1

(b) DR-2



(c) DR-3



(d) DR-4



(e) DR-5

写真の下方方向が試験体北面である

写真 3.2.4-2 杭頭切断面でのパイルキャップ底面写真

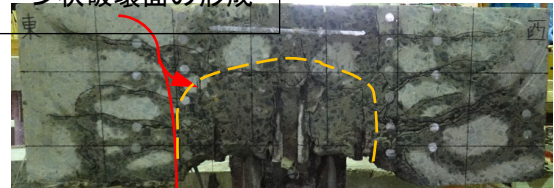


(北面)



(南面)

(a) DR-1

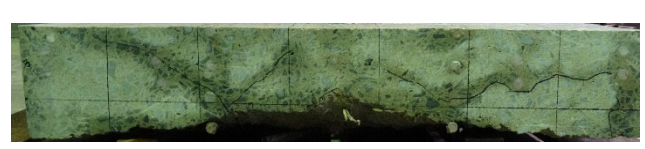


(北面)



(南面)

(b) DR-2



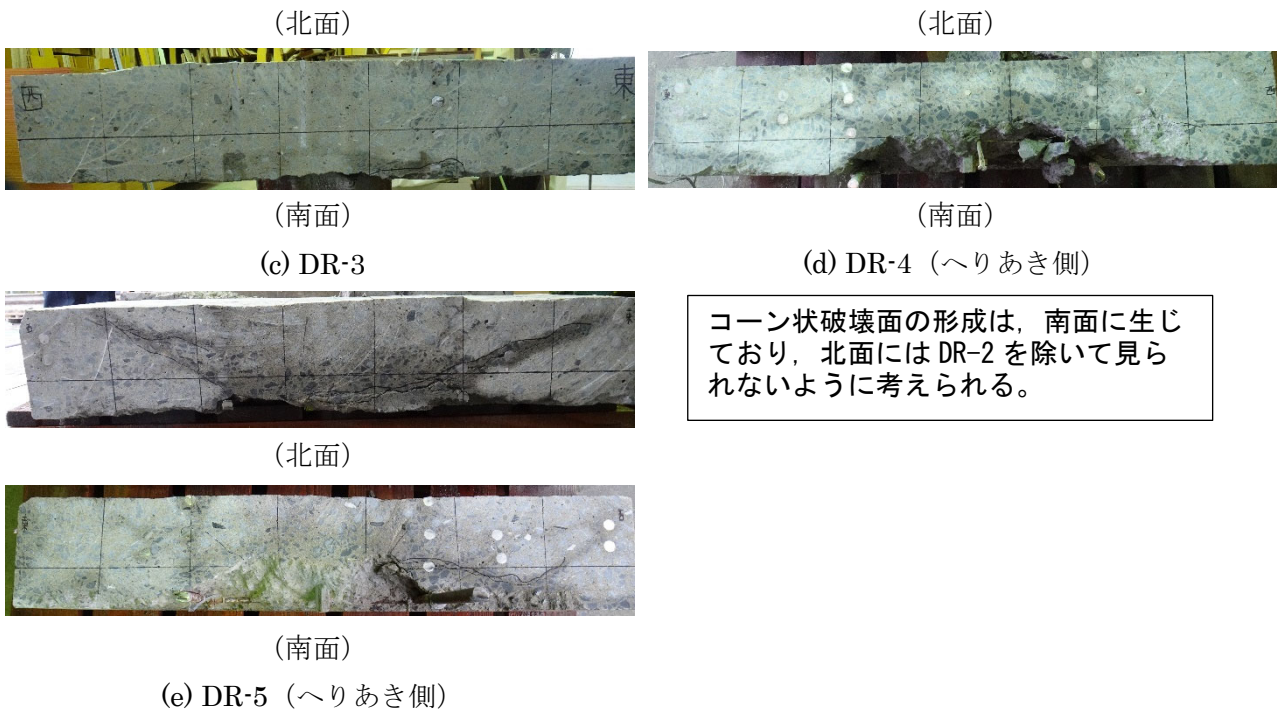


写真 3.2.4-3 杭頭埋込部周辺の切断写真

3.2.5 結論

(1) まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

1) 各試験体の評価

● 試験体 DR-1

- (a) 試験体 DR-1 の最大耐力は正載荷、負載荷共に杭頭定着筋の降伏によって決定し、最終破壊性状は杭頭接合部曲げ破壊と判断した。

● 試験体 DR-2

- (a) 試験体 DR-2 の最大耐力は正載荷では杭頭定着筋の降伏によって決定し、負載荷では基礎梁の主筋の曲げ破壊によって決定、その後杭頭定着筋の降伏により杭頭接合部曲げ破壊が生じたと判断した。よって最終破壊性状は、正載荷側は杭頭接合部曲げ破壊、負載荷側は基礎梁の曲げ破壊後の杭頭接合部曲げ破壊と判断した。
- (b) 杭頭埋込長さを 1.5D とした試験体 DR-2 では、負載荷時の基礎梁の曲げひび割れが顕著であり、基礎梁の曲げ破壊が生じた。その結果、負載荷時の杭部材角は他の試験体に比べ小さくなった。
- (c) 最大耐力時までの杭頭接合部底面のひび割れ、剝離、剝落は、杭頭埋込長さを 1.5D とした試験体 DR-2 が最も顕著であった。

● 試験体 DR-3

- (a) 試験体 DR-3 の最大耐力は正載荷、負載荷共に杭頭定着筋の降伏によって決定し、最終破壊性状は杭頭接合部曲げ破壊と判断した。
- (b) 最大耐力時までの杭頭接合部底面のひび割れ、剝離、剝落は、杭頭の埋込を無しとした試験体 DR-3 ではあまり発生しなかった。
- (c) 埋込無しとした試験体 DR-3 では最大耐力は最も小さいが、その後の耐力低下は緩やかになった。

● 試験体 DR-4

- (a) 最終破壊形態については、試験体 DR-1 と DR-4 の底面のひび割れは、試験体 DR-4 の方が広範囲であった。
- (b) 層せん断力 Q -層間変形角 R 関係について、試験体 DR-1 と DR-4 は最大耐力数値が近かった。DR-1 と DR-4 は杭頭定着筋が降伏した、DR-4 が先に降伏、一定軸力と変動軸力の杭頭定着筋の圧縮降伏時は近い。変動軸力の引張降伏時が先であった。
- (c) 杭頭埋込部の曲げ耐力評価について、既往評価式を用いた場合、高圧縮軸力が作用する試験体で危険側となる結果となった
- (d) 変形成分について、試験体 DR-1 と DR-4 各サイクルのピーク時の部材変形成分の割合が似ていた。両載荷ともに杭の変形成分の割合が大きくなった。試験体 DR-4 は、正載荷では最大耐力後の杭の変形成分が大きくなった。

● 試験体 DR-5

- (a) 最終破壊形態について、正載荷、負載荷時で杭頭接合面での曲げ破壊であった。
- (b) ト形試験体と十字形試験体の最大耐力の差異について、ト形試験体と十字形試験体において、基礎梁

第5章 結論

のモーメントは梁が多い分、十字形試験体の方が大きくなる。その為モーメントの釣合式より層せん断力も大きくなり、最大耐力も十字形試験体の方が大きくなる。十字試験体の方がト形試験体より早く最大耐力を迎えた理由として、基礎梁のモーメントが大きくなれば、それに釣り合う杭のモーメントもト形試験体より大きくなる為、最大耐力を早く迎えたと考えられた。

- (c) 十字形試験体の基礎梁が杭頭接合面に及ぼした影響について、杭頭定着筋の鉄筋降伏状況より、北基礎梁のせん断力は、正載荷時は杭頭接合面への圧縮力として、負載荷時は引張力として作用していることが考えられた。今回の実験では正載荷時の杭頭接合面への圧縮力が大きく作用したと考えられた。
- (d) パイルキャップ底面でのひび割れ・剝離・剝落について、ト形試験体、十字形試験体を比較した結果、概ね同様の破壊形状となった。一方で十字形試験体の方が、ひび割れが発生した範囲は大きいことが観察できた。また実験後の試験体切断観察からも、概ね同様の破壊形状をしていることがわかった。剝落した部分の深さについては、北基礎梁のせん断力の作用によって、十字形試験体の方が、損傷が深いように観察できた。

2) 杭頭埋込曲げ耐力に関する評価

- (a) 杭頭埋込長さ $1.5D$ とした試験体 DR-2 の負載荷側を除いて、全試験体で杭頭埋込部周辺のコンクリートが剝離・剝落し、耐力および剛性の低下が生じた。また、杭部材角 $R_p=3.88\%$ まで大きな耐力低下は生じず安定した挙動を示した。
- (b) 杭頭埋込部の曲げ耐力評価について、既往評価式を用いた場合、高圧縮軸力が作用する試験体 DR-1, 4 の負側で危険側となる結果となった。十字形試験体 DR-5 においては精度よく評価できた。

(2) 今後の課題

- 1) 最大耐力が最も高い結果を示した試験体は埋込長さを $1.5D$ とした試験体 DR-2 であったが、最大耐力後の耐力低下が緩やかであった試験体は埋込無しとした試験体 DR-3 であった。また、試験体 DR-3 では初期のサイクルの段階から杭頭定着筋が降伏していたにもかかわらず、パイルキャップ底面部から杭の埋込部に向かって定着筋が降伏していった。杭自体は耐力が低いにも関わらず内部まで破壊されていった原因の解明が必要である。
- 2) 実験終了後に試験体の切断を行った結果、杭頭部の埋込長さを $1.5D$ にした試験体 DR-2 の切断面から、基礎梁が取り付いている側の領域に、てこ機構によって生じた圧縮力によってひび割れが発生していたことがわかった。パイルキャップ内において、てこ機構によって生じる圧縮力と基礎梁との領域内で、どの様に力が伝達しているか解明することが今後の課題として挙げられる。
- 3) 杭鋼管埋込長さの違う架構に関して、十字形試験体における基礎梁のせん断力は今回の実験と同じように作用するのか検討が必要である。
- 4) 杭頭埋込部の曲げ破壊を部分架構形式で設計した試験体の実験例は少ないため、今後更なる実験データの累積が必要である。

参考文献

- [3-1] 黒正清治ほか：正負交番繰返し水平力を受ける杭と基礎の結合部に関する実験研究その1，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.2323-2324，1981.9
- [3-2] 松田竜ほか：SC 杭頭埋込部の曲げ抵抗機構，日本建築学会構造系論文集，日本建築学会構造系論文集，第85巻，第776号，pp. 1291-1301，2020.10
- [3-3] 松本玄德，岸田慎司，酒井慎二，林静雄：ト形部分架構を有するパイルキャップの耐震性能評価，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 367-368，2009.8
- [3-4] 古川佳純ほか：大地震後の継続使用性を確保するためのコンクリート系杭基礎構造システムの構造性能評価に関する研究 その30,31，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.223-226，2019.9
- [3-5] 日本建築防災協会：2001年度改定版既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・同解説
- [3-6] M.P.Collins：response2000，トロント大学，<http://www.ecf.utoronto.ca/~bentz/r2k.htm>
- [3-7] Collins, M.P. and Mitchell, D., : "Prestressed Concrete Structures", Prentice-Hall 1991, pp.760
- [3-8] 日本建築学会：鉄筋コンクリート基礎構造部材の耐震設計指針（案）・同解説，2017.3
- [3-9] 岸田慎司，向井智久ほか，大地震後の継続使用性を確保するためのコンクリート系杭基礎構造システムの構造性能評価に関する研究（その25 既製杭を用いたト形部分架構におけるパイルキャップせん断終局強度式の再検討），日本建築学会大会学術講演梗概集，構造IV，pp.595-596，2018.9
- [3-10] 岸田慎司，向井智久ほか：大地震後の継続使用性を確保するためのコンクリート系杭基礎構造システムの構造性能評価に関する研究（その29 既製杭を用いたト形部分架構におけるパイルキャップのトラス・アーチ機構による影響），日本建築学会大会学術講演梗概集，構造IV，pp. 221-222，2019.9
- [3-11] 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説，1999
- [3-12] 山本崇行，北野敦則，後藤康明ほか：RC造90°折曲げ定着における折曲げ近傍の応力性状に関する3次元FEM解析，日本コンクリート工学協会，Vol.28，No.2，pp.685-690，2006.7
- [3-13] 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造保有水平耐力計算規準（案）・同解説，2016
- [3-14] 松本玄德ほか：軸力を受けるト形部分架構におけるパイルキャップの耐震性能，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.445-446，2010.9