

付録 3

弱材齡で損傷を受けたコンクリートの材料特性

A3.1 はじめに

4章の実験では、コンクリートが弱材齢時（ここでは90日より前を弱材齢とする。）に1次荷重を実施し、その後補強を施して2次荷重を実施した。2次荷重までの期間が比較的長かったこともあり、2次荷重時の材料試験用のテストピースの強度は1次荷重よりも上昇した。このことを考えると、試験体は損傷を受けた後に強度が上昇していることになるが、損傷を受けた影響が時間経過に伴うコンクリートの強度上昇にどの程度影響するかについてはわかっていない。そこで、弱材齢時に損傷を受けたコンクリートの材料特性を調査することを目的に、下記の計画でコンクリート材料試験を実施した。

A3.2 試験計画

A3.2.1 試験概要

コンクリート材料試験は下記のように実施した。また、表A3.2.1-1に実施概要をまとめる。本付録では、荷重の種類を下記の①～④の種類の荷重を【通常荷重】【1次荷重】【2次荷重】とそれぞれ呼称する。

- ① まず通常の圧縮3本、割裂3本の実験を実施する。【通常荷重】
- ② テストピースを3本用意し、①と同じ日に圧縮試験を実施する。ただし、この実験では①の圧縮強度 σ_B （3本の平均値）の0.67倍となる強度まで荷重を行い、除荷する。このテストピースは試験後保管する。【1次荷重】
- ③ さらにテストピースを3本用意し、①と同じ日に圧縮試験を実施する。ただし、この実験では①の圧縮強度 σ_B （3本の平均値）の0.9倍となる強度まで荷重を行い、除荷する。このテストピースは試験後保管する。【1次荷重】
- ④ 材齢が180日時点で、②、③のテストピースを用いて再度実験を行う。【2次荷重】

表 A3.2.1-1 実施概要

試験日	9月3日	9月10日	10月1日	10月19日	10月26日	11月4日	12月3日	3月2日
	(金)	(金)	(金)	(火)	(火)	(木)	(金)	(水)
材齢	打設日	7日	28日	46日	53日	62日	91日	180日
①通常の材料試験1 (割裂3・圧縮3)		6本	6本	6本	6本	6本	6本	6本
②0.67 σ_B までの圧縮試験 (圧縮3)		3本	3本		3本		3本	
③0.9 σ_B までの圧縮試験 (圧縮3)		3本	3本		3本		3本	
④損傷→養生後の圧縮試験								24本

A3.2.2 計測項目と実施状況

実験は、建築研究所の500tアムスラー型圧縮試験機（図A3.2.2-1）を用いて実施した。試験で使用する供試体は、図A3.2.2-2のように試験機にセットし、試験機の下載荷板は平板、上載荷板は球座付きの平板となっている。供試体の歪みは、図A3.2.2-2のようにコンプレッソメータを用いて計測した。コンプレッソメータは、図A3.2.2-2のように東側と西側に軸方向に設置した変位計がくるようにセットした（図A3.2.2-2は奥方向が北）。また、北側に横ひずみ計測用の変位計（図A3.2.2-3参照）を横方向にセットした。

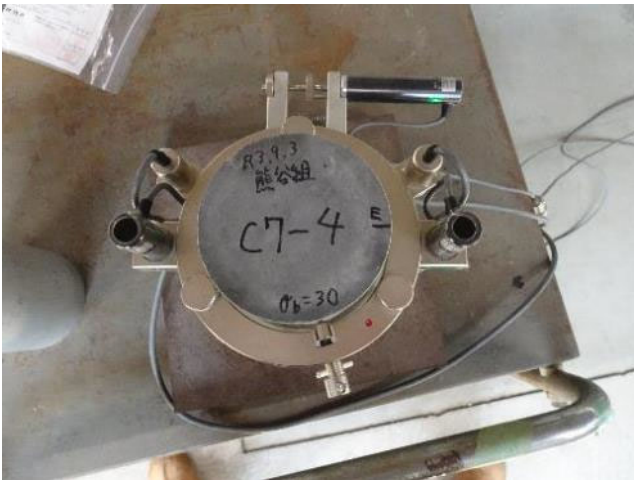
2次载荷は、1次载荷とできるだけ同じ向きで载荷することとし、供試体上面にセットする方角に印を付けた。また、2次载荷が必要な供試体は図A3.2.2-4のように直射日光のあたらない実験棟内の棚で保管した。



図A3.2.2-1 圧縮試験機



図A3.2.2-2 供試体セット状況



図A3.2.2-3 横ひずみ用変位計



図A3.2.2-4 供試体保管状況

A3.2.3 試験体名と供試体名

試実験で実施するコンクリートは、全て同じ日に同じコンクリートミキサー車から採取したテストピースである。試験実施時期によって、表 A3.2.3-1 のように試験体名をつける。なお、試験体名と供試体名とは区別しており、例えば試験体 D7-U では、3本の供試体を用いた圧縮試験ともう3本の供試体を用いた割裂引張試験を実施するため、6体の供試体がありそれぞれに名称が付けられる。

表 A3.2.3-1 試験体名一覧

試験日	9月3日	9月10日	10月1日	10月19日	10月26日	11月4日	12月3日	3月2日
	(金)	(金)	(金)	(火)	(火)	(木)	(金)	(水)
材齢	打設日	7日	28日	46日	53日	62日	91日	180日
①通常の材料試験1 (割裂3・圧縮3)		D7-U	D28-U	D46-U	D53-U	D62-U	D91-U	D180-U
②2/3σBまでの圧縮試験 (圧縮3)		D7-66	D28-66		D53-66		D91-66	D7-66-U, D28-66-U, D53-66-U, D91-66-U
③0.9σBまでの圧縮試験 (圧縮3)		D7-90	D28-90		D53-90		D91-90	D7-90-U, D28-90-U, D53-90-U, D91-90-U

A3.3 試験結果

A3.3.1 データ整理の方法

圧縮実験を実施時に得られるデータを用いて、実験結果として供試体ごとに下記の材料定数を求める。それぞれのデータや材料定数について、計算方法を示す。

1) 断面積 A (単位: mm^2)

載荷直前の供試体の断面積であり、2次載荷を実施する供試体の場合でも載荷直前に再計測する。

2) 荷重 F (単位: N)

圧縮試験機から得られる荷重とする。

3) 応力度 σ (単位: N/mm^2)

圧縮試験機の荷重 F (N) を供試体の載荷前の断面積 A (mm^2) で除した値とする。

4) 軸ひずみ (単位: %)

コンプレッソメータの東西2本の変位計の平均値を計測距離 100mm で除した値に、 100 を乗じた値とする。なお、2次載荷であっても、載荷直前の無負荷状態での変位計を 0 として計測し、1次載荷の残留変形の計測値は引き継がない。

5) 横ひずみ (単位: %)

横方向に取り付けた変位計の計測値を 3 で除して、さらに計測距離 100mm で除した値に、 100 を乗じた値とする。この変位計の治具は、供試体の東西方向直径位置における横変位を 3 倍に増幅して計測できるように設計されているため、このような計算を行う。なお、2次載荷であっても、載荷直前の無負荷状態での変位計を 0 として計測し、1次載荷の残留変形の計測値は引き継がない。

6) 圧縮強度 σ_B または 最大強度 σ_{\max} (単位: N/mm^2)

通常載荷及び2次載荷では、応力度 σ の最大値を圧縮強度 σ_B とする。ただし、1次載荷においては、応力度 σ の最大値を圧縮強度 σ_{\max} とする。

7) ヤング係数 E (単位: N/mm^2)

通常載荷及び2次載荷では、応力度が σ_B の $1/3$ の時の軸歪みと応力度をそれぞれ (ε_1 , σ_1) とし、軸歪みが 0.005% 時の軸歪みと応力度をそれぞれ (ε_2 , σ_2) とした時、ヤング係数 E は (式 A3.3.1-1) で計算する。一方、1次載荷においては、同日に実施した通常載荷の σ_B を用いて $1/3 \sigma_B$ の点を計算する。

$$E = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} \times 100 \quad (\text{式 A3.3.1-1})$$

8) 圧縮強度時ひずみ または 最大強度時ひずみ (単位: %)

圧縮強度時の軸ひずみまたは最大強度時の軸ひずみとする。

9) ポアソン比 ν (単位: なし)

通常載荷及び2次載荷では、応力度が σ_B の1/3の時の軸ひずみと横ひずみをそれぞれ(ε_1 , ε_{11})とし、軸ひずみが0.005%時の軸ひずみと横ひずみをそれぞれ(ε_2 , ε_{22})とした時、ポアソン比 ν は(式A3.3.1-2)で計算する。一方、1次載荷においては、同日の通常材料試験①で実施した σ_B を用いて1/3 σ_B の点を計算する。

$$\nu = \frac{\varepsilon_{11} - \varepsilon_{12}}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} \quad (\text{式 A3.3.1-2})$$

10) 質量 W (単位: t)

載荷直前に質量(t)を計測する。なお、再載荷を実施する供試体の場合でも載荷直前に再計測する。

11) 密度 ρ (単位: t/m³)

計測した質量(t)を供試体の体積で除した値とする。なお、再載荷を実施する供試体の場合でも載荷直前に再計測する。

12) 残留ひずみ ε_r (単位: %)

通常載荷及び2次載荷では、計算しない。1次載荷においては、除荷したあとのひずみを残留ひずみとする。

A3.3.2 材齢ごとの実験結果

(1) 材齢7日目の実験結果

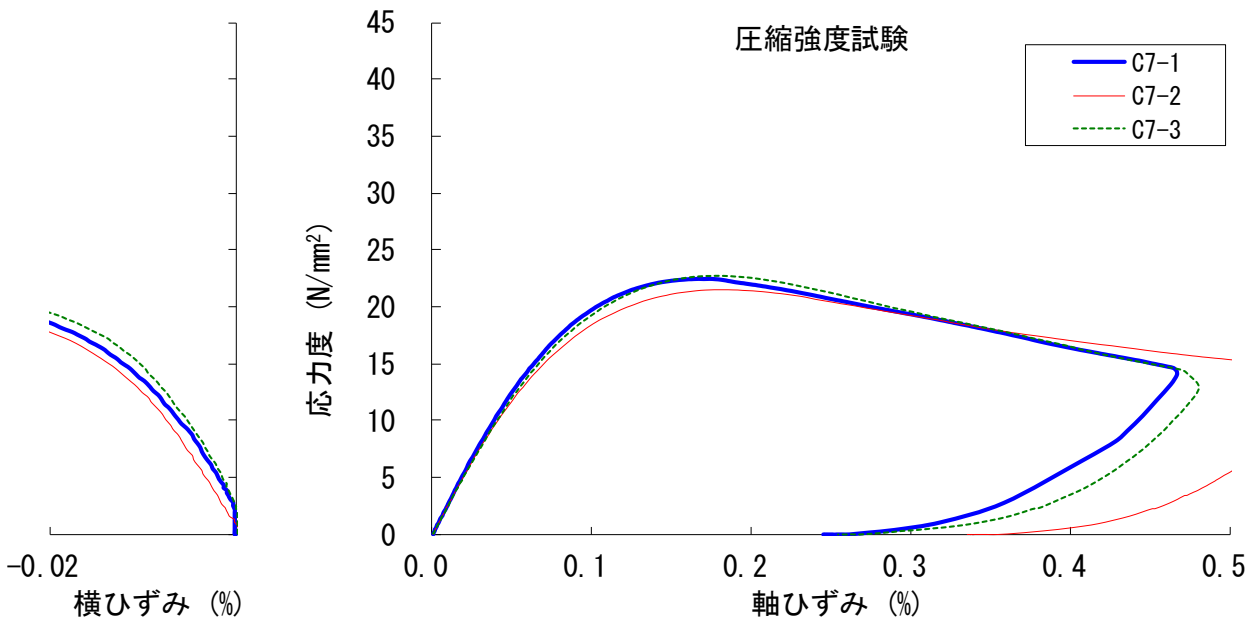
材齢7日目の実験結果を示す。

試験体名	D7-U	打設日	2021/9/3	試験日	2021/9/10
		材齢	7日		

1. 圧縮強度試験

供試体名	直径(mm)		高さ(mm)		質量(kg)	最大荷重(kN)
	Dx	Dy	H1	H2		
C7-1	99.44	99.88	201.50	201.50	3.588	175.0
C7-2	99.93	99.92	201.01	201.71	3.579	169.2
C7-3	99.71	99.89	201.43	201.66	3.593	178.0

供試体名	圧縮強度(N/mm ²)	ヤング係数(N/mm ²)	圧縮強度時ひずみ(%)	ポアソン比	密度(t/m ³)
C7-1	22.4	27393	0.167	0.159	2.28
C7-2	21.6	26573	0.183	0.198	2.27
C7-3	22.8	26555	0.179	0.135	2.28
平均	22.3	26840	0.176	0.164	2.28
標準偏差	0.50	391	0.007	0.026	0.007



2. 割裂引張強度試験

供試体名	直径(mm)		高さ(mm)		質量(kg)	最大荷重(kN)	割裂強度(N/mm ²)	密度(t/m ³)
	D1	D2	H1	H2				
T7-1	99.93	100.07	201.61	201.59	3.588	47.6	1.50	2.27
T7-2	99.89	100.24	201.65	201.62	3.575	67.5	2.13	2.25
T7-3	99.90	100.15	201.67	201.61	3.594	76.5	2.41	2.27
平均							2.02	2.26
標準偏差							0.38	0.01

図 A3.3.2-1 D7-U 試験結果

付録3 弱材齢で損傷を受けたコンクリートの材料特性

試験体名 **D7-66** 打設日 2021/9/3 試験日 2021/9/10
 材齢 7 日

1. 圧縮強度試験

供試体名	直径(mm)		高さ(mm)		質量 (kg)	最大荷重 (kN)
	Dx	Dy	H1	H2		
C7-4	99.90	99.76	201.67	201.64	3.586	116.5
C7-5	99.79	99.89	201.66	201.49	3.579	117.2
C7-6	99.81	99.61	201.61	201.66	3.591	118.2

供試体名	最大強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	最大強度時ひずみ (%)	ポアソン比	密度 (t/m ³)	残留ひずみ (%)
C7-4	14.9	29514	0.060	0.239	2.27	0.008
C7-5	15.0	25287	0.069	0.129	2.27	0.005
C7-6	15.1	24072	0.074	0.148	2.28	0.000
平均	15.0	26291	0.068	0.172	2.27	0.004
標準偏差	0.11	2332	0.006	0.048	0.005	0.003

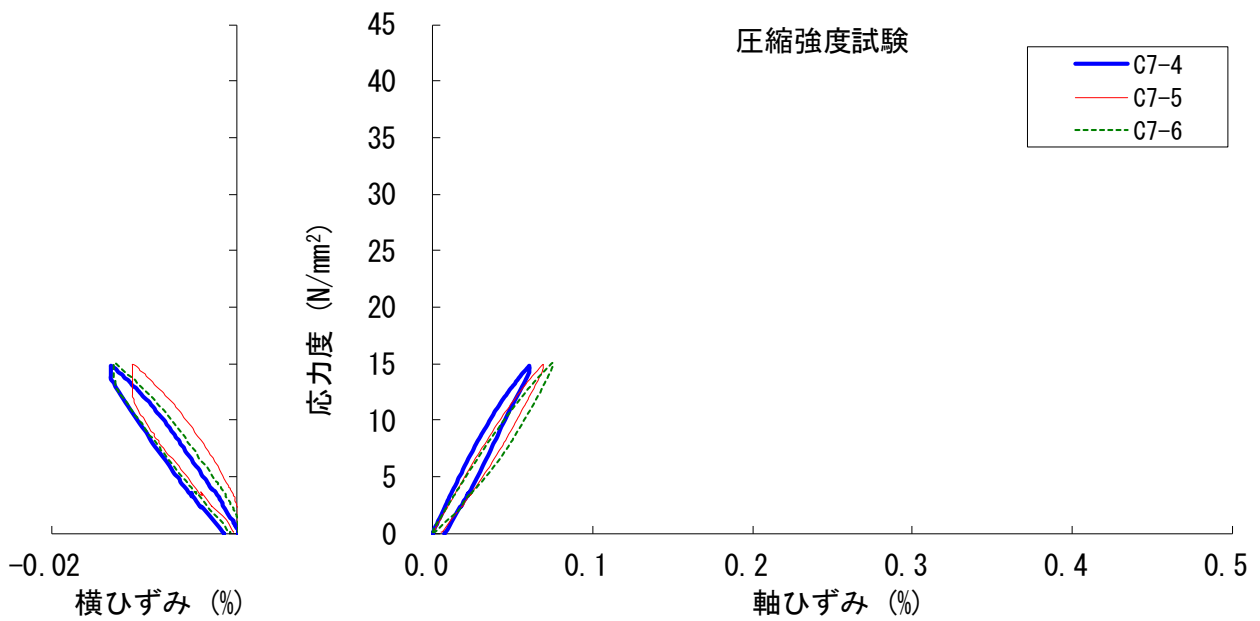


図 A3.3.2-2 D7-66 試験結果

試験体名 **D7-90** 打設日 2021/9/3 試験日 2021/9/10
 材齢 7 日

1. 圧縮強度試験

供試体名	直径(mm)		高さ(mm)		質量(kg)	最大荷重(kN)
	Dx	Dy	H1	H2		
C7-7	99.81	99.88	201.61	201.64	3.572	157.5
C7-8	99.72	99.83	201.59	201.81	3.593	157.7
C7-9	99.87	100.24	201.57	201.75	3.557	158.2

供試体名	最大強度(N/mm ²)	ヤング係数(N/mm ²)	最大強度時ひずみ(%)	ポアソン比	密度(t/m ³)	残留ひずみ(%)
C7-7	20.1	25059	0.127	0.197	2.26	0.010
C7-8	20.2	26903	0.114	0.194	2.28	0.024
C7-9	20.1	24950	0.114	0.153	2.24	0.038
平均	20.1	25638	0.119	0.181	2.26	0.024
標準偏差	0.02	896	0.006	0.020	0.014	0.011

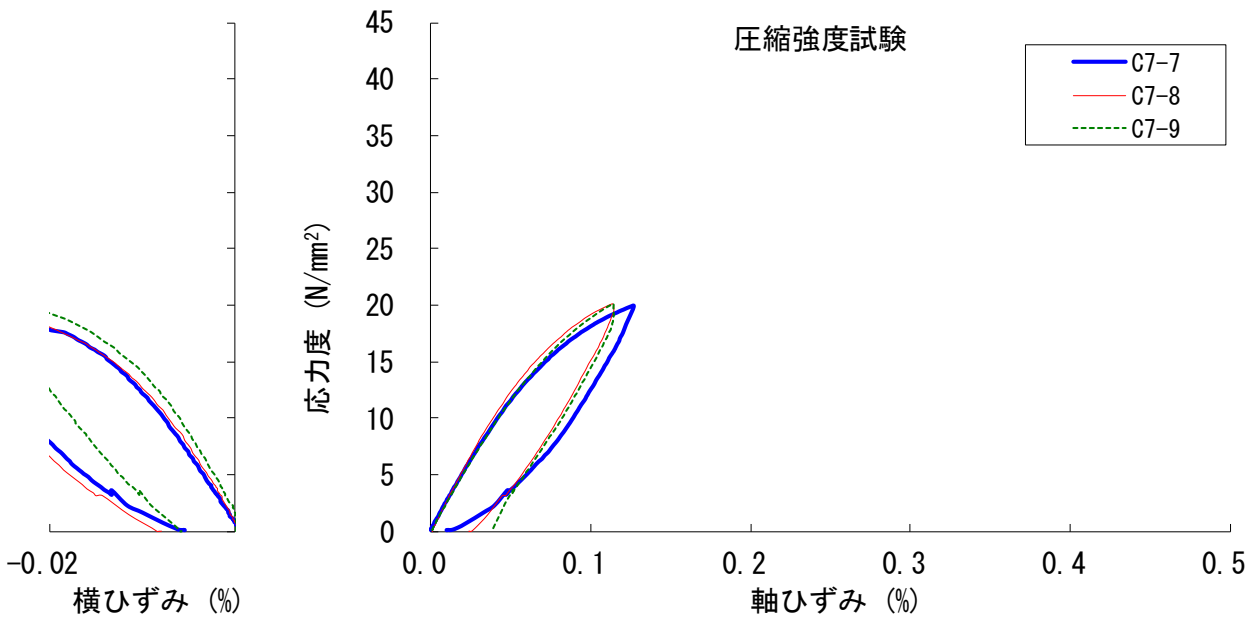


図 A3.3.2-3 D7-90 試験結果

付録3 弱材齢で損傷を受けたコンクリートの材料特性

(2) 材齢 28 日目の実験結果

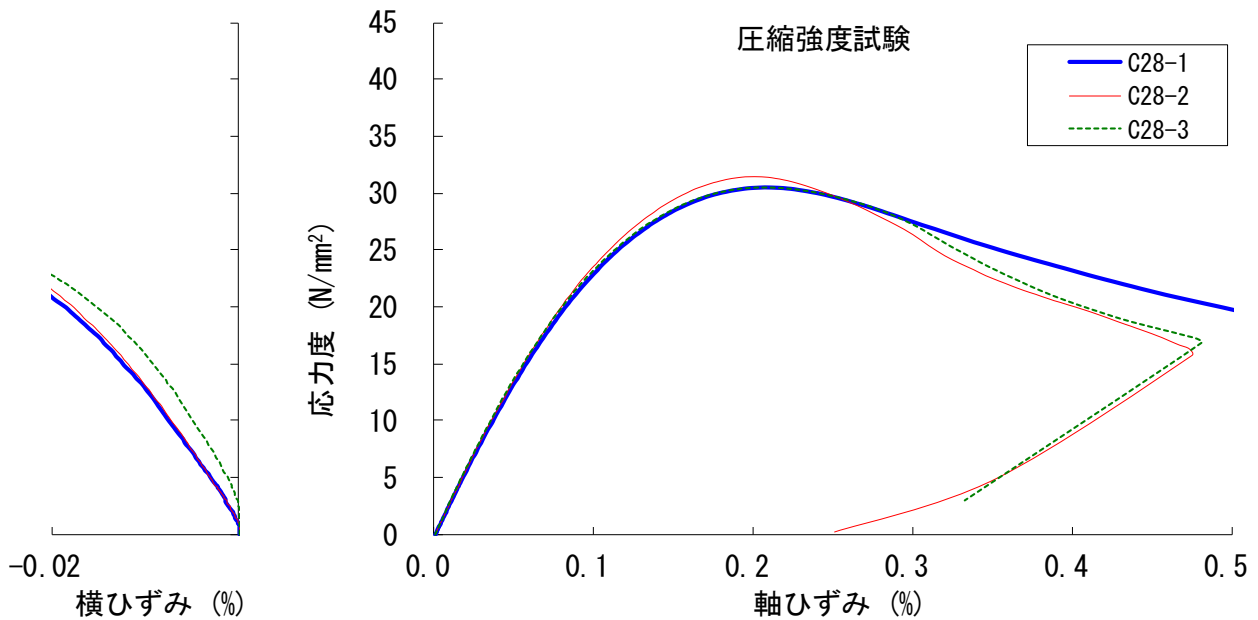
材齢 28 日目の実験結果を示す。

試験体名	D28-U	打設日	2021/9/3	試験日	2021/10/1
		材齢	28 日		

1. 圧縮強度試験

供試体名	直径(mm)		高さ(mm)		質量(kg)	最大荷重(kN)
	Dx	Dy	H1	H2		
C28-1	99.82	99.72	201.61	201.72	3.581	238.5
C28-2	99.87	99.87	201.65	201.53	3.586	246.5
C28-3	99.76	99.55	201.61	201.43	3.572	237.5

供試体名	圧縮強度(N/mm ²)	ヤング係数(N/mm ²)	圧縮強度時ひずみ(%)	ポアソン比	密度(t/m ³)
C28-1	30.5	27526	0.207	0.227	2.27
C28-2	31.5	28570	0.200	0.226	2.27
C28-3	30.4	29602	0.209	0.165	2.27
平均	30.8	28566	0.205	0.206	2.27
標準偏差	0.47	847	0.004	0.029	0.001



2. 割裂引張強度試験

供試体名	直径(mm)		高さ(mm)		質量(kg)	最大荷重(kN)	割裂強度(N/mm ²)	密度(t/m ³)
	D1	D2	H1	H2				
T28-2	100.16	99.82	201.21	201.01	3.590	72.7	2.30	2.27
T28-3	100.18	99.88	201.11	201.98	3.583	72.7	2.30	2.26
					平均	2.30	2.27	
					標準偏差	0.00	0.01	

図 A3.3.2-4 D28-U 試験結果

試験体名 **D28-66** 打設日 2021/9/3 試験日 2021/10/1
 材齢 28 日

1. 圧縮強度試験

供試体名	直径(mm)		高さ(mm)		質量(kg)	最大荷重(kN)
	Dx	Dy	H1	H2		
C28-4	99.82	99.64	201.19	200.96	3.572	161.7
C28-6	99.81	99.66	201.47	200.89	3.583	161.7
T28-1	100.23	99.91	201.21	201.00	3.579	163.7

供試体名	最大強度(N/mm ²)	ヤング係数(N/mm ²)	最大強度時ひずみ(%)	ポアソン比	密度(t/m ³)	残留ひずみ(%)
C28-4	20.7	-	-	-	2.27	-
C28-6	20.7	29799	0.081	0.201	2.28	0.004
T28-1	20.8	29268	0.082	0.193	2.26	0.010
平均	20.7	29533	0.081	0.197	2.27	0.007
標準偏差	0.05	266	0.001	0.004	0.007	0.003

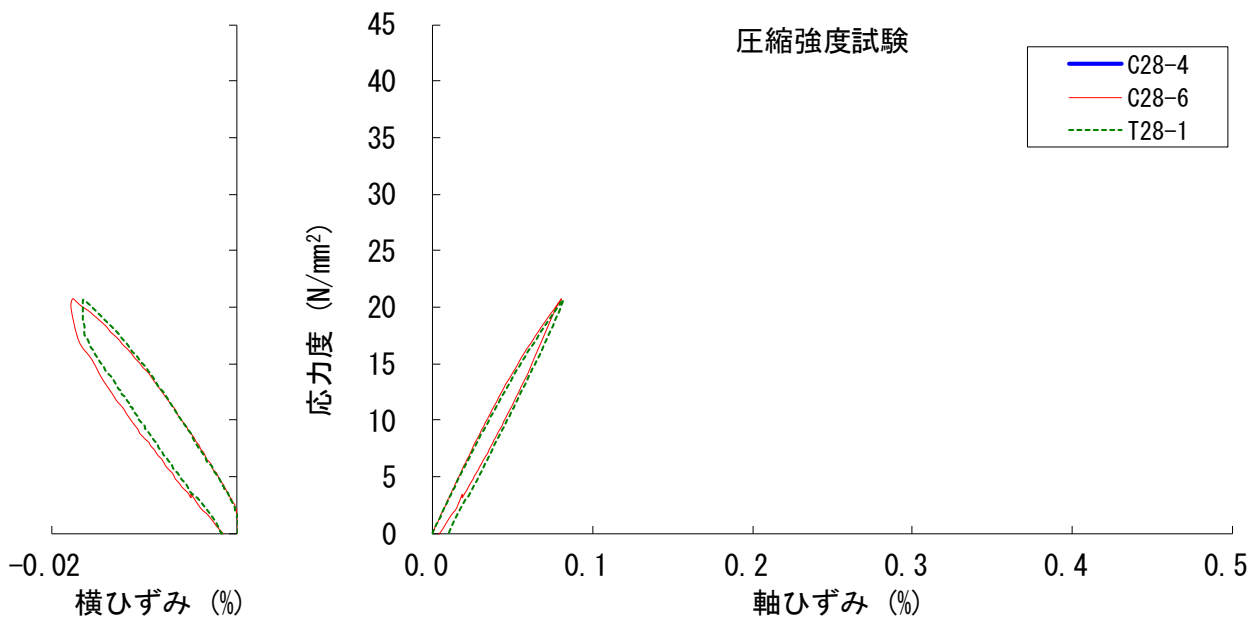


図 A3. 3. 2-5 D28-66 試験結果

付録3 弱材齢で損傷を受けたコンクリートの材料特性

試験体名 **D28-90** 打設日 2021/9/3 試験日 2021/10/1
 材齢 28 日

1. 圧縮強度試験

供試体名	直径(mm)		高さ(mm)		質量 (kg)	最大荷重 (kN)
	Dx	Dy	H1	H2		
C28-7	99.78	99.46	201.20	201.01	3.588	219.0
C28-8	99.85	99.34	201.10	201.05	3.557	219.0
C28-9	99.83	99.89	201.64	201.09	3.597	218.7

供試体名	最大強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	最大強度時ひずみ (%)	ポアソン比	密度 (t/m ³)	残留ひずみ (%)
C28-7	28.1	30296	0.136	0.206	2.29	0.021
C28-8	28.1	28539	0.133	0.204	2.27	0.003
C28-9	27.9	28858	0.133	0.169	2.28	0.020
平均	28.0	29231	0.134	0.193	2.28	0.015
標準偏差	0.09	764	0.001	0.017	0.007	0.008

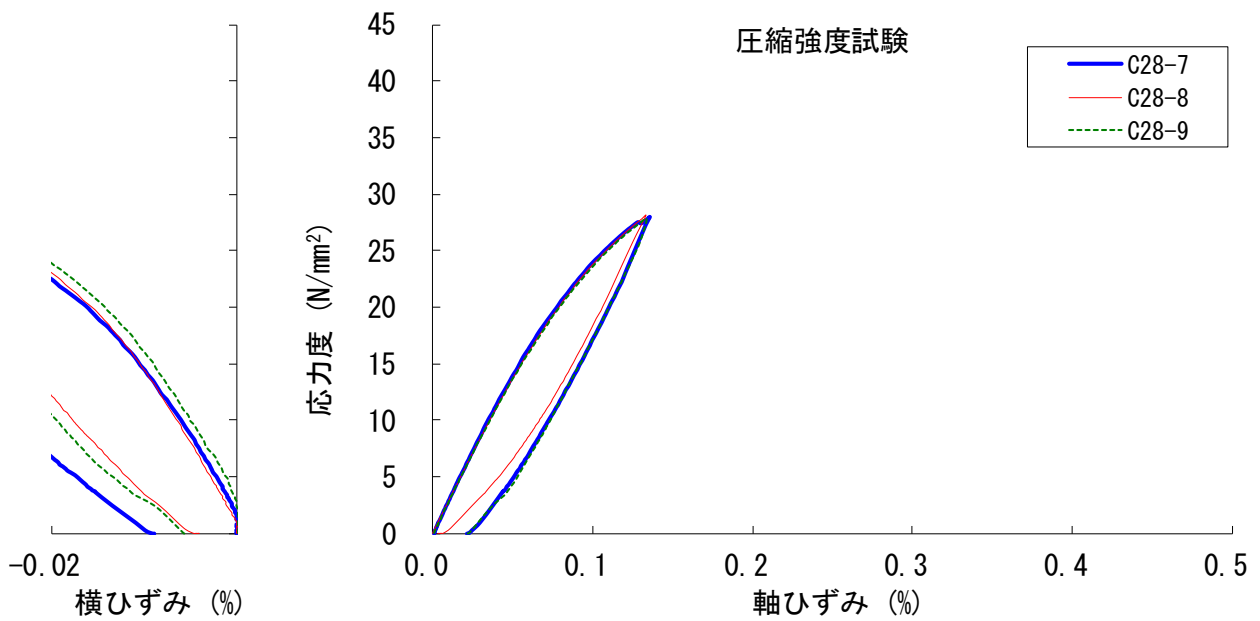


図 A3. 3. 2-6 D28-90 試験結果

(3) 材齢 46 日目の実験結果

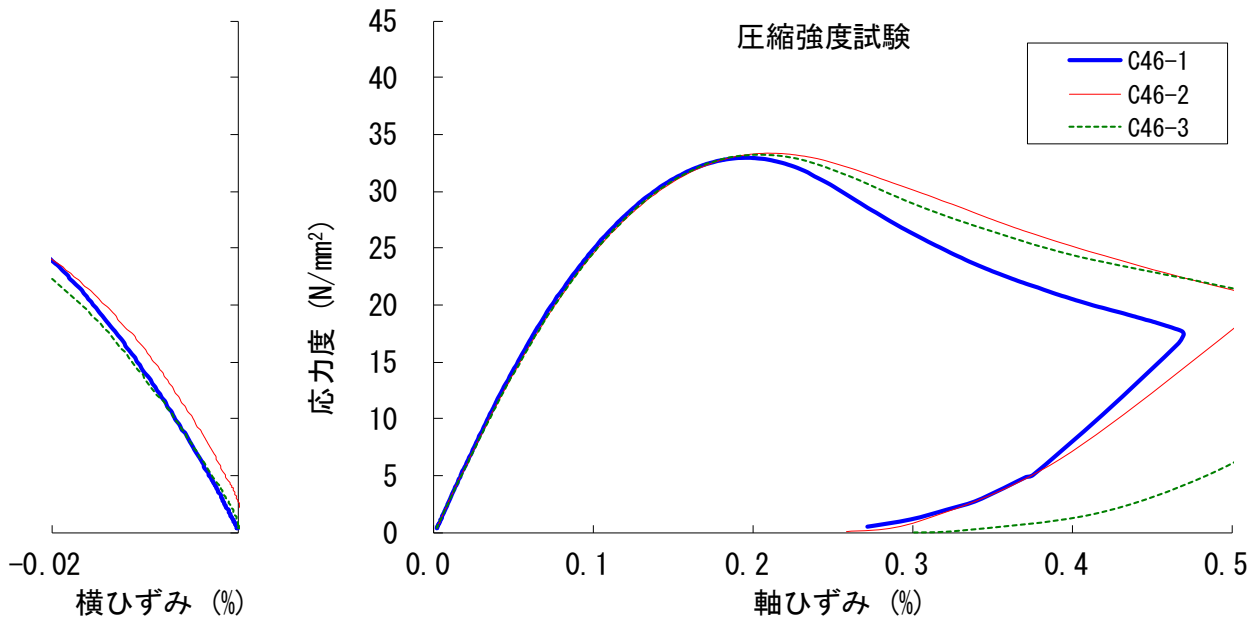
材齢 46 日目の実験結果を示す。

試験体名	D46-U	打設日	2021/9/3	試験日	2021/10/19
		材齢	46 日		

1. 圧縮強度試験

供試体名	直径(mm)		高さ(mm)		質量(kg)	最大荷重(kN)
	Dx	Dy	H1	H2		
C46-1	99.82	99.49	200.90	200.98	3.579	257.0
C46-2	99.90	99.50	201.04	200.99	3.575	260.7
C46-3	99.68	99.71	201.08	200.95	3.577	259.7

供試体名	圧縮強度(N/mm ²)	ヤング係数(N/mm ²)	圧縮強度時ひずみ(%)	ポアソン比	密度(t/m ³)
C46-1	32.9	30438	0.195	0.208	2.28
C46-2	33.4	29393	0.209	0.182	2.28
C46-3	33.3	29726	0.206	0.220	2.28
平均	33.2	29852	0.203	0.203	2.28
標準偏差	0.19	436	0.006	0.016	0.002



2. 割裂引張強度試験

供試体名	直径(mm)		高さ(mm)		質量(kg)	最大荷重(kN)	割裂強度(N/mm ²)	密度(t/m ³)
	D1	D2	H1	H2				
T46-1	100.14	99.86	200.92	201.01	3.550	83.2	2.64	2.25
T46-2	100.01	99.76	200.90	200.99	3.569	74.8	2.37	2.27
T46-3	100.07	99.90	200.92	200.93	3.556	89.0	2.82	2.25
平均							2.61	2.26
標準偏差							0.18	0.01

図 A3. 3. 2-7 D46-U 試験結果

付録3 弱材齢で損傷を受けたコンクリートの材料特性

(4) 材齢 53 日目の実験結果

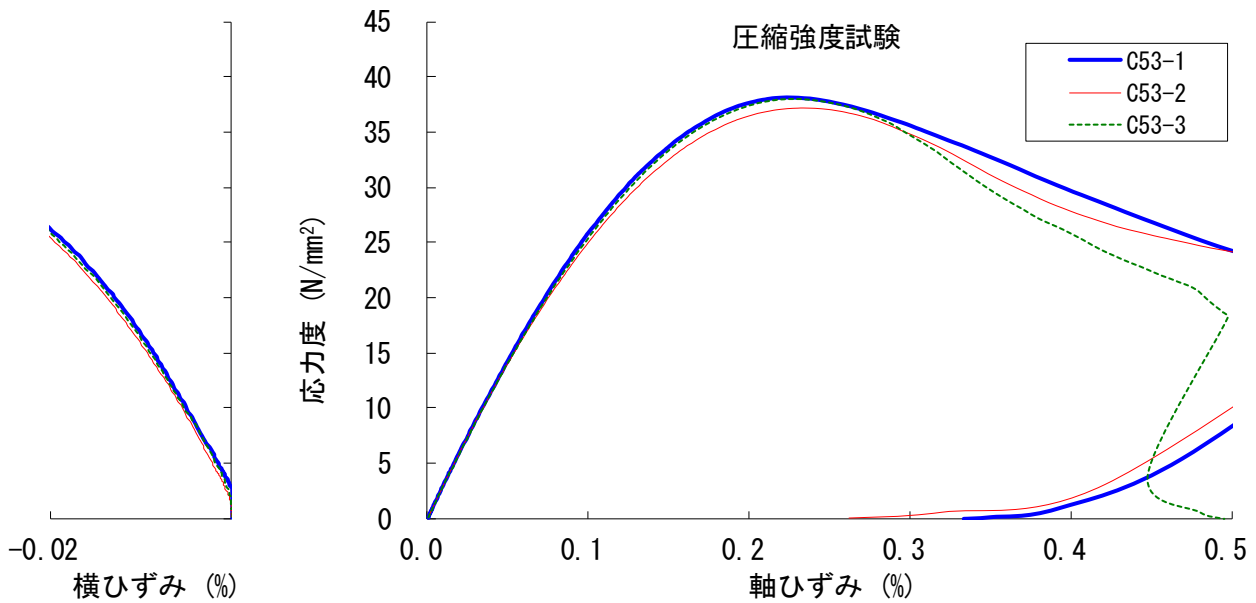
材齢 53 日目の実験結果を示す。

試験体名	D53-U	打設日	2021/9/3	試験日	2021/10/26
		材齢	53 日		

1. 圧縮強度試験

供試体名	直径(mm)		高さ(mm)		質量(kg)	最大荷重(kN)
	Dx	Dy	H1	H2		
C53-1	99.79	99.56	200.99	200.91	3.540	297.0
C53-2	99.85	99.73	200.94	200.86	3.527	290.5
C53-3	99.77	99.31	201.01	200.91	3.535	295.2

供試体名	圧縮強度(N/mm ²)	ヤング係数(N/mm ²)	圧縮強度時ひずみ(%)	ポアソン比	密度(t/m ³)
C53-1	38.1	28706	0.223	0.181	2.26
C53-2	37.1	29139	0.234	0.185	2.24
C53-3	37.9	28342	0.228	0.179	2.26
平均	37.7	28729	0.228	0.182	2.25
標準偏差	0.41	325	0.004	0.002	0.007



2. 割裂引張強度試験

供試体名	直径(mm)		高さ(mm)		質量(kg)	最大荷重(kN)	割裂強度(N/mm ²)	密度(t/m ³)
	D1	D2	H1	H2				
T53-1	100.24	99.99	200.91	201.02	3.585	84.8	2.68	2.27
T53-2	100.03	99.86	200.89	201.03	3.578	86.6	2.74	2.27
T53-3	100.22	99.73	200.92	200.90	3.569	91.1	2.89	2.26
平均							2.77	2.27
標準偏差							0.09	0.00

図 A3. 3. 2-8 D53-U 試験結果

試験体名 **D53-66** 打設日 2021/9/3 試験日 2021/10/26
 材齢 53 日

1. 圧縮強度試験

供試体名	直径(mm)		高さ(mm)		質量(kg)	最大荷重(kN)
	Dx	Dy	H1	H2		
C53-4	99.83	99.72	201.00	200.91	3.572	199.0
C53-5	99.86	99.75	201.05	201.04	3.592	198.7
C53-6	99.86	99.82	201.06	200.92	3.580	198.5

供試体名	最大強度(N/mm ²)	ヤング係数(N/mm ²)	最大強度時ひずみ(%)	ポアソン比	密度(t/m ³)	残留ひずみ(%)
C53-4	25.5	30003	0.099	0.194	2.27	0.014
C53-5	25.4	31467	0.097	0.219	2.28	0.004
C53-6	25.4	29357	0.100	0.127	2.28	0.001
平均	25.4	30276	0.099	0.180	2.28	0.006
標準偏差	0.04	883	0.001	0.039	0.004	0.006

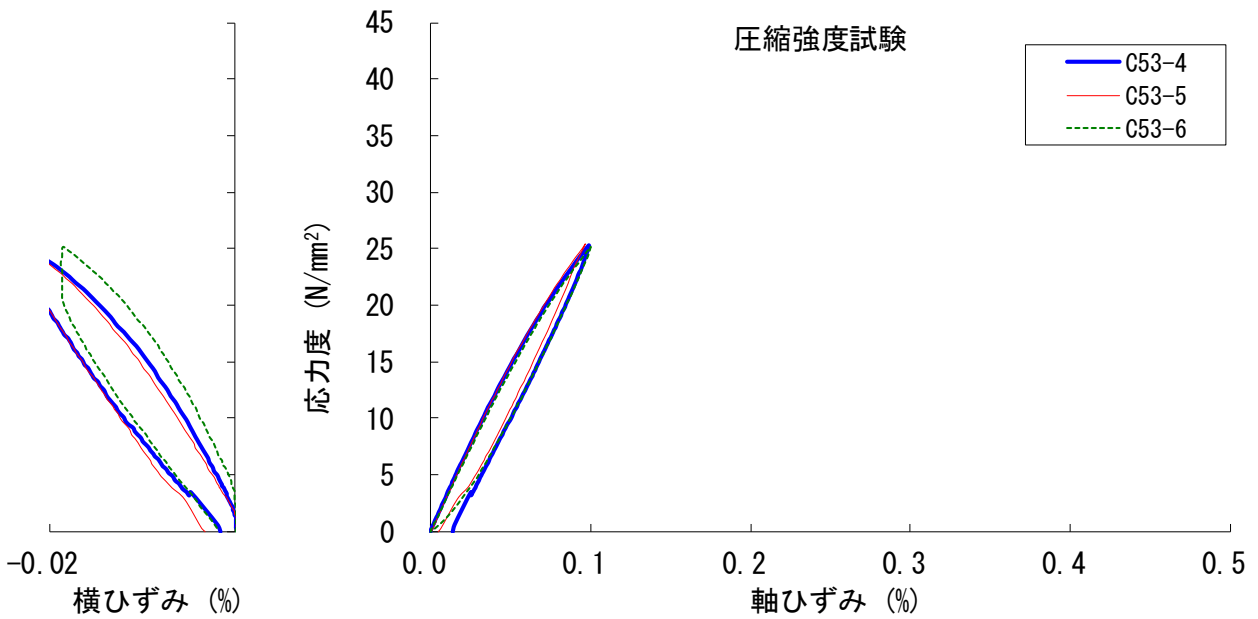


図 A3. 3. 2-9 D53-66 試験結果

付録3 弱材齢で損傷を受けたコンクリートの材料特性

試験体名 **D53-90** 打設日 2021/9/3 試験日 2021/10/26
 材齢 53 日

1. 圧縮強度試験

供試体名	直径(mm)		高さ(mm)		質量 (kg)	最大荷重 (kN)
	Dx	Dy	H1	H2		
C53-7	99.85	99.64	201.09	200.95	3.530	266.7
C53-8	99.84	99.65	200.95	200.94	3.523	266.2
C53-9	99.74	99.71	201.05	200.97	3.543	265.7

供試体名	最大強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	最大強度時ひずみ (%)	ポアソン比	密度 (t/m ³)	残留ひずみ (%)
C53-7	34.1	28940	0.160	0.136	2.25	0.023
C53-8	34.1	27766	0.175	0.113	2.24	0.029
C53-9	34.0	29761	0.159	0.100	2.26	0.033
平均	34.1	28823	0.165	0.116	2.25	0.028
標準偏差	0.05	819	0.008	0.015	0.005	0.004

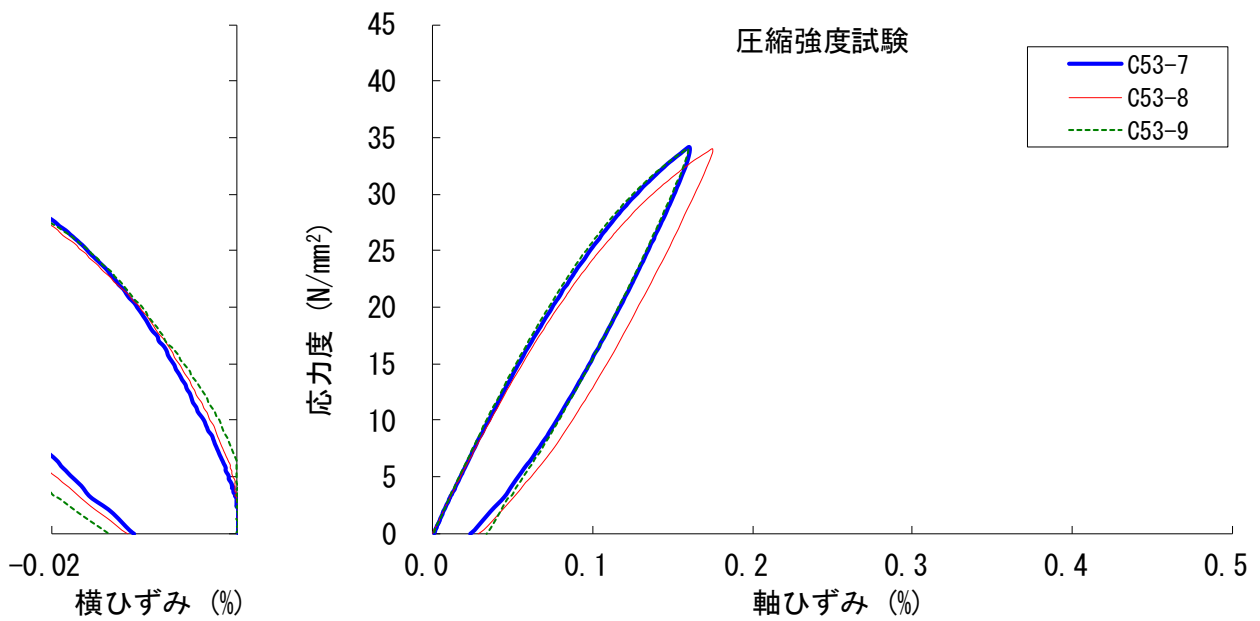


図 A3.3.2-10 D53-90 試験結果

(5) 材齢 62 日目の実験結果

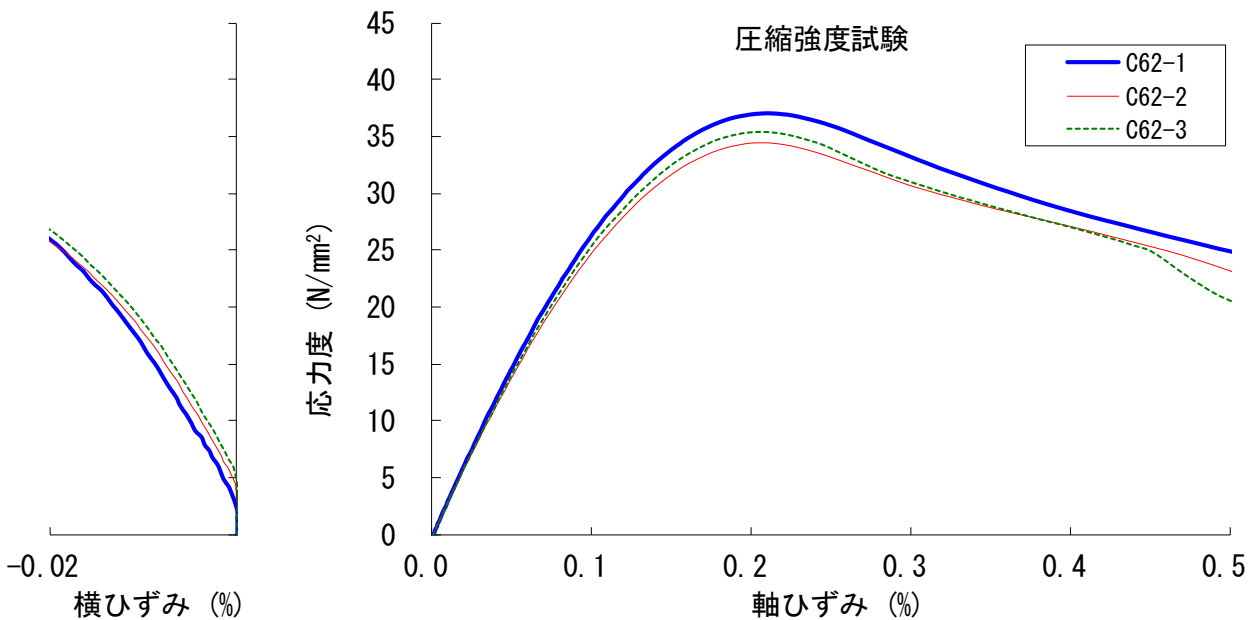
材齢 62 日目の実験結果を示す。

試験体名	D62-U	打設日	2021/9/3	試験日	2021/11/4
		材齢	62 日		

1. 圧縮強度試験

供試体名	直径(mm)		高さ(mm)		質量(kg)	最大荷重(kN)
	Dx	Dy	H1	H2		
C62-1	99.84	99.94	201.02	200.97	3.572	289.7
C62-2	99.84	99.91	200.88	201.19	3.555	270.0
C62-3	99.66	99.90	201.06	200.97	3.582	276.5

供試体名	圧縮強度(N/mm ²)	ヤング係数(N/mm ²)	圧縮強度時ひずみ(%)	ポアソン比	密度(t/m ³)
C62-1	37.0	30783	0.212	0.186	2.27
C62-2	34.5	28835	0.209	0.144	2.26
C62-3	35.4	29033	0.205	0.117	2.28
平均	35.6	29551	0.209	0.149	2.27
標準偏差	1.04	875	0.003	0.028	0.009



2. 割裂引張強度試験

供試体名	直径(mm)		高さ(mm)		質量(kg)	最大荷重(kN)	割裂強度(N/mm ²)	密度(t/m ³)
	D1	D2	H1	H2				
T62-1	100.18	99.97	200.90	201.09	3.559	75.3	2.38	2.25
T62-2	100.27	99.77	200.97	200.97	3.545	54.0	1.71	2.24
T62-3	100.26	99.89	200.96	200.98	3.562	82.0	2.60	2.25
平均							2.23	2.25
標準偏差							0.38	0.00

図 A3.3.2-11 D62-U 試験結果

付録3 弱材齢で損傷を受けたコンクリートの材料特性

(6) 材齢 91 日目の実験結果

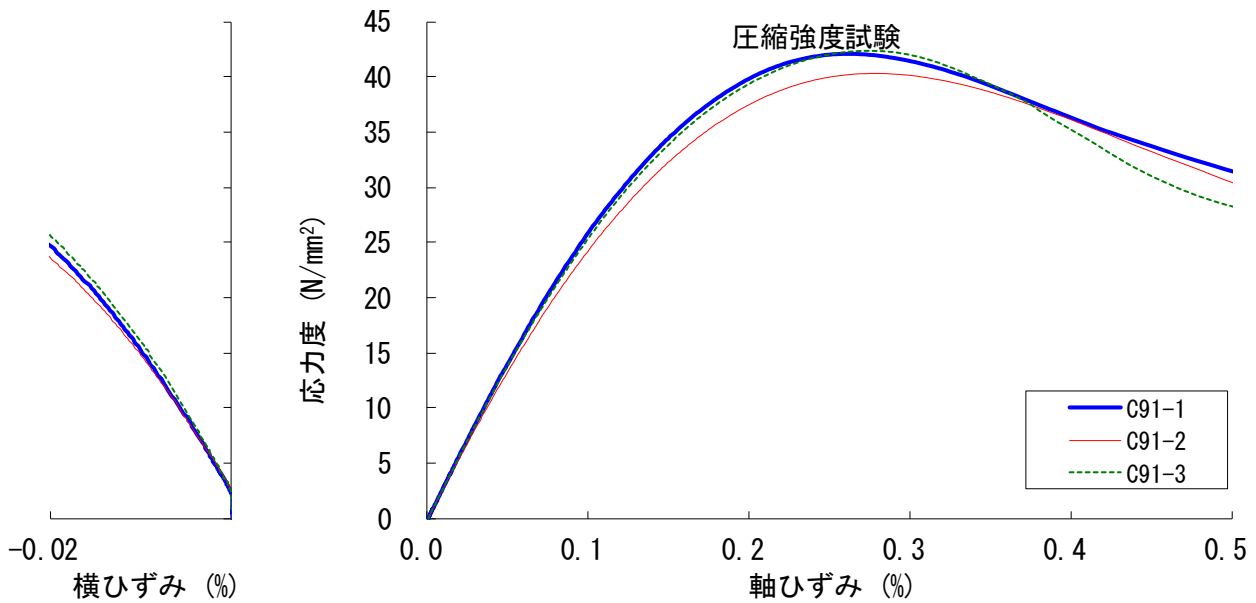
材齢 91 日目の実験結果を示す。

試験体名	D91-U	打設日	2021/9/3	試験日	2021/12/3
		材齢	91 日		

1. 圧縮強度試験

供試体名	直径(mm)		高さ(mm)		質量(kg)	最大荷重(kN)
	Dx	Dy	H1	H2		
C91-1	99.76	99.77	200.81	200.85	3.511	329.0
C91-2	99.78	99.82	201.19	201.22	3.477	315.2
C91-3	99.75	99.73	200.85	200.89	3.498	331.2

供試体名	圧縮強度(N/mm ²)	ヤング係数(N/mm ²)	圧縮強度時ひずみ(%)	ポアソン比	密度(t/m ³)
C91-1	42.1	28475	0.261	0.206	2.24
C91-2	40.3	26445	0.278	0.199	2.21
C91-3	42.4	28172	0.275	0.186	2.23
平均	41.6	27697	0.271	0.197	2.22
標準偏差	0.93	894	0.007	0.008	0.012



2. 割裂引張強度試験

供試体名	直径(mm)		高さ(mm)		質量(kg)	最大荷重(kN)	割裂強度(N/mm ²)	密度(t/m ³)
	D1	D2	H1	H2				
T91-1	100.11	99.85	200.84	200.97	3.490	62.7	1.99	2.21
T91-2	100.24	99.88	200.91	200.90	3.491	67.5	2.14	2.21
T91-3	100.11	99.86	200.83	200.89	3.506	107.7	3.41	2.22
平均							2.51	2.22
標準偏差							0.64	0.01

図 A3.3.2-12 D91-U 試験結果

試験体名 **D91-66** 打設日 2021/9/3 試験日 2021/12/3
 材齢 91 日

1. 圧縮強度試験

供試体名	直径(mm)		高さ(mm)		質量(kg)	最大荷重(kN)
	Dx	Dy	H1	H2		
C91-4	99.79	99.79	201.03	200.97	3.539	217.5
C91-5	99.85	99.88	200.86	200.93	3.532	217.7
C91-6	99.88	99.86	200.97	200.96	3.524	217.5

供試体名	最大強度(N/mm ²)	ヤング係数(N/mm ²)	最大強度時ひずみ(%)	ポアソン比	密度(t/m ³)	残留ひずみ(%)
C91-4	27.8	28345	0.110	0.213	2.25	0.010
C91-5	27.8	27976	0.117	0.171	2.24	0.014
C91-6	27.8	27332	0.119	0.162	2.24	0.014
平均	27.8	27884	0.115	0.182	2.24	0.013
標準偏差	0.02	419	0.004	0.022	0.005	0.002

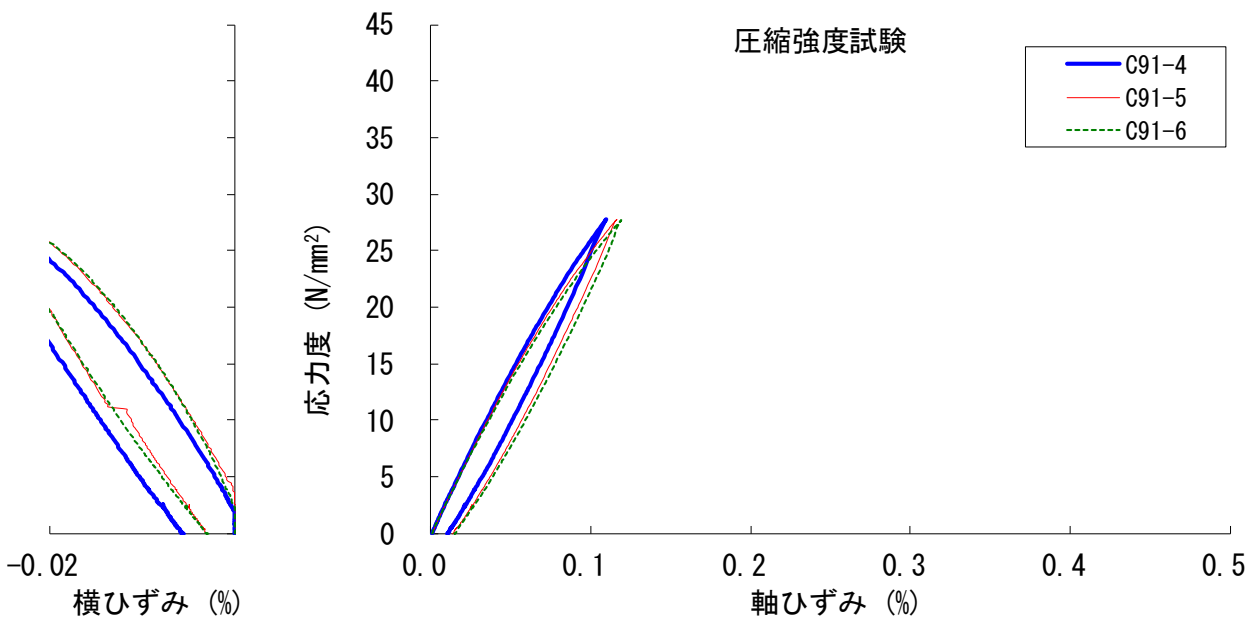


図 A3.3.2-13 D91-66 試験結果

付録3 弱材齢で損傷を受けたコンクリートの材料特性

試験体名 **D91-90** 打設日 2021/9/3 試験日 2021/12/3
 材齢 91 日

1. 圧縮強度試験

供試体名	直径(mm)		高さ(mm)		質量(kg)	最大荷重(kN)
	Dx	Dy	H1	H2		
C91-11	99.70	99.78	200.77	200.78		293.2
C91-8	99.80	99.79	200.88	200.91	3.532	293.2
C91-9	99.91	99.78	200.95	200.91	3.525	293.0

供試体名	最大強度(N/mm ²)	ヤング係数(N/mm ²)	最大強度時ひずみ(%)	ポアソン比	密度(t/m ³)	残留ひずみ(%)
C91-11	37.5	26218	0.209	0.242		0.053
C91-8	37.5	28729	0.199	0.246	2.25	0.042
C91-9	37.4	27801	0.225	0.215	2.24	0.070
平均	37.5	27583	0.211	0.234	2.24	0.055
標準偏差	0.04	1037	0.011	0.014	0.003	0.012

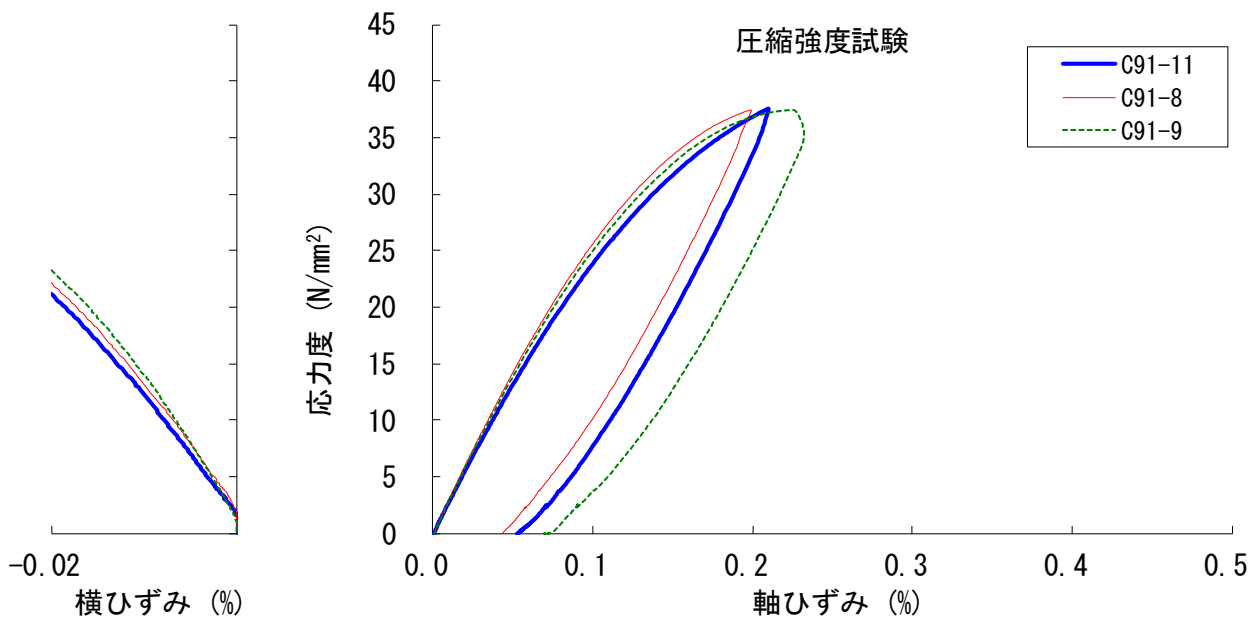


図 A3.3.2-14 D91-90 試験結果

(7) 材齢 180 日目の実験結果

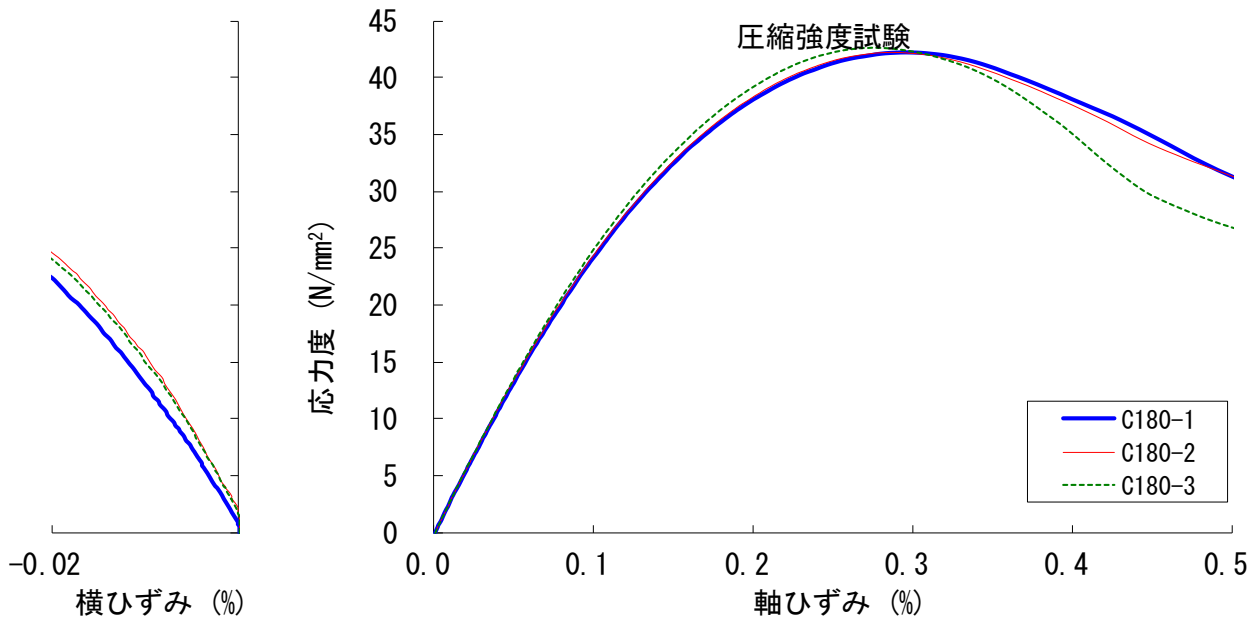
材齢 180 日目の実験結果を示す。

試験体名 **D180-U** 打設日 2021/9/3 試験日 2022/3/2
 材齢 180 日

1. 圧縮強度試験

供試体名	直径(mm)		高さ(mm)		質量 (kg)	最大荷重 (kN)
	Dx	Dy	H1	H2		
C180-1	99.88	99.85	200.98	200.84	3.500	331.2
C180-2	99.72	99.92	200.73	200.89	3.488	331.0
C180-3	99.78	99.84	200.82	200.84	3.475	333.5

供試体名	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	圧縮強度時 ひずみ (%)	ポアソン比	密度 (t/m ³)
C180-1	42.3	27305	0.299	0.219	2.22
C180-2	42.3	27115	0.284	0.182	2.22
C180-3	42.6	27282	0.277	0.197	2.21
平均	42.4	27234	0.287	0.199	2.22
標準偏差	0.16	85	0.009	0.015	0.005



2. 割裂引張強度試験

供試体名	直径(mm)		高さ(mm)		質量 (kg)	最大荷重 (kN)	割裂強度 (N/mm ²)	密度 (t/m ³)
	D1	D2	H1	H2				
T-4	100.17	99.83	200.94	200.94	3.477	89.5	2.84	2.20
T-5	99.95	99.86	200.90	200.90	3.480	98.5	3.12	2.21
T-6	100.07	99.92	200.84	200.86	3.490	92.5	2.93	2.21
平均							2.96	2.21
標準偏差							0.12	0.00

図 A3.3.2-15 D180-U 試験結果

付録3 弱材齢で損傷を受けたコンクリートの材料特性

試験体名 D7-66-U

打設日 2021/9/3

試験日 2022/3/2

材齢 180 日

1. 圧縮強度試験

供試体名	直径(mm)		高さ(mm)		質量 (kg)	最大荷重 (kN)
	Dx	Dy	H1	H2		
C7-4	99.80	99.78	200.92	200.75	3.457	297.2
C7-5	99.73	99.83	200.88	200.80	3.451	296.5
C7-6	99.70	99.70	200.89	200.86	3.475	301.7

供試体名	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	圧縮強度時 ひずみ (%)	ポアソン比	密度 (t/m ³)
C7-4	38.0	28299	0.245	0.188	2.20
C7-5	37.9	28898	0.258	0.138	2.20
C7-6	38.6	28906	0.248	0.105	2.22
平均	38.2	28701	0.250	0.144	2.20
標準偏差	0.33	284	0.006	0.034	0.008

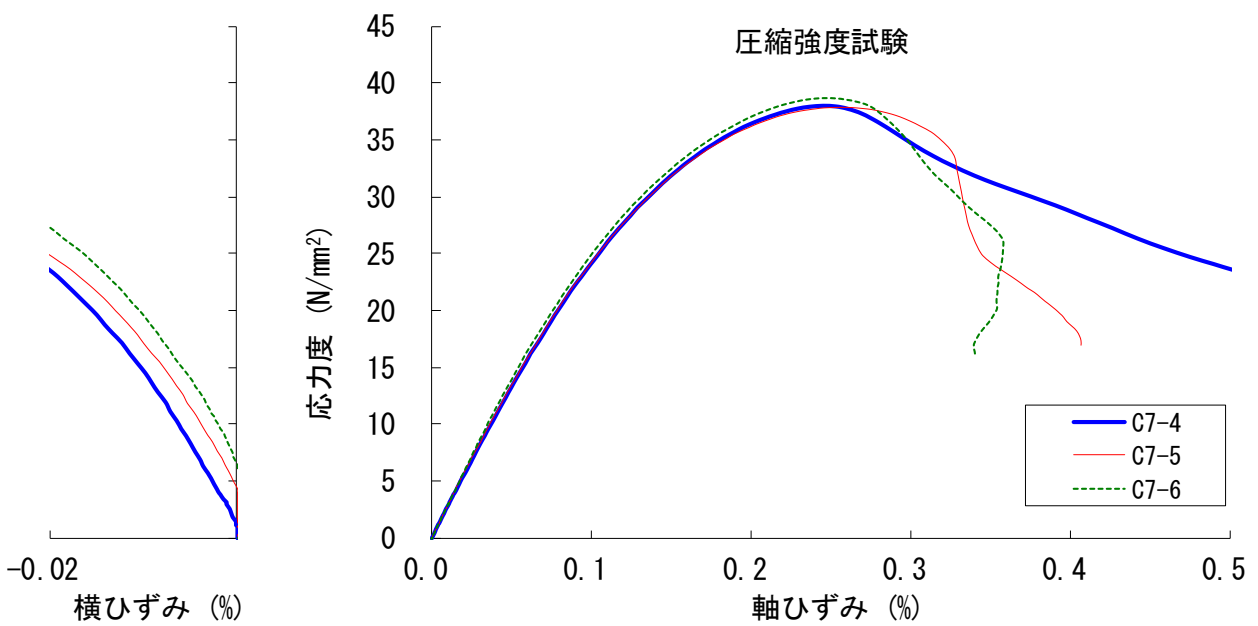


図 A3.3.2-16 D7-66-U 試験結果

試験体名 D7-90-U

打設日 2021/9/3

試験日 2022/3/2

材齢 180 日

1. 圧縮強度試験

供試体名	直径(mm)		高さ(mm)		質量 (kg)	最大荷重 (kN)
	Dx	Dy	H1	H2		
C7-7	99.85	99.82	200.92	200.72	3.452	277.2
C7-8	99.74	99.71	200.76	200.72	3.463	283.7
C7-9	99.79	99.72	200.92	200.74	3.453	273.0

供試体名	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	圧縮強度時 ひずみ (%)	ポアソン比	密度 (t/m ³)
C7-7	35.4	24939	0.236	0.216	2.20
C7-8	36.3	25547	0.253	0.178	2.21
C7-9	34.9	25297	0.238	0.070	2.20
平均	35.6	25261	0.242	0.154	2.20
標準偏差	0.58	250	0.008	0.062	0.005

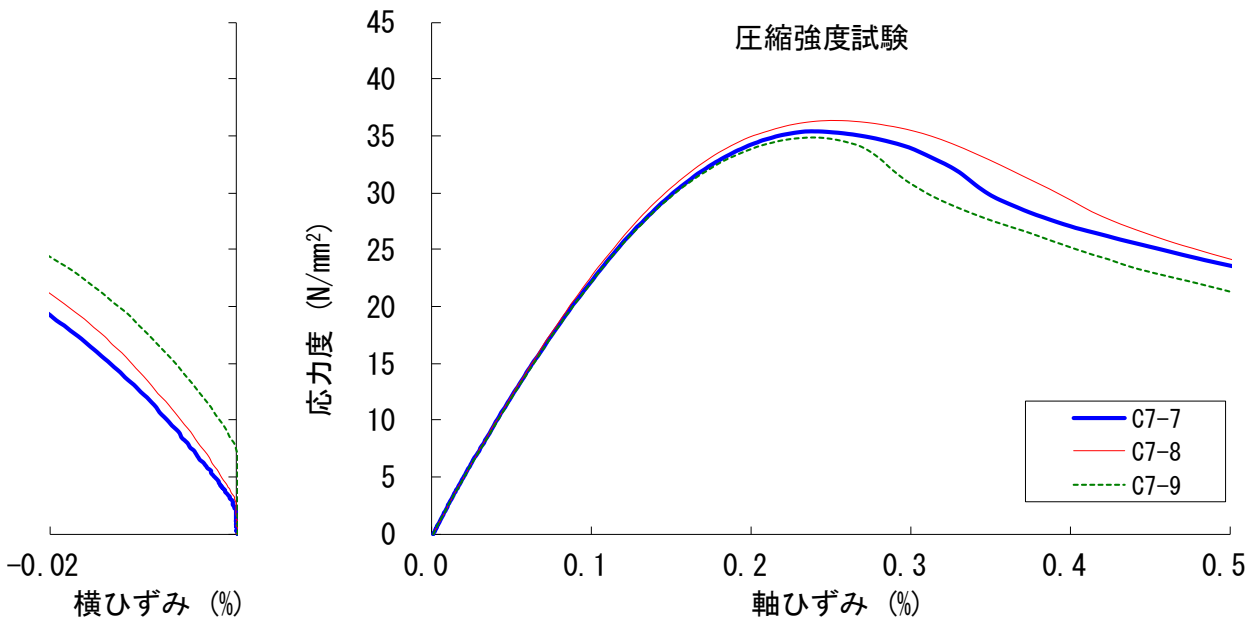


図 A3.3.2-17 D7-90-U 試験結果

付録3 弱材齢で損傷を受けたコンクリートの材料特性

試験体名 **D28-66-U** 打設日 2021/9/3 試験日 2022/3/2
 材齢 180 日

1. 圧縮強度試験

供試体名	直径(mm)		高さ(mm)		質量 (kg)	最大荷重 (kN)
	Dx	Dy	H1	H2		
C28-4	99.80	99.78	200.86	200.82	3.459	318.7
C28-6	99.82	99.87	200.85	200.84	3.466	311.0
T28-1	100.07	99.86	200.90	200.86	3.465	317.7

供試体名	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	圧縮強度時 ひずみ (%)	ポアソン比	密度 (t/m ³)
C28-4	40.7	27186	0.283	0.179	2.20
C28-6	39.7	28143	0.276	0.152	2.20
T28-1	40.5	27570	0.275	0.173	2.20
平均	40.3	27633	0.278	0.168	2.20
標準偏差	0.44	393	0.003	0.012	0.003

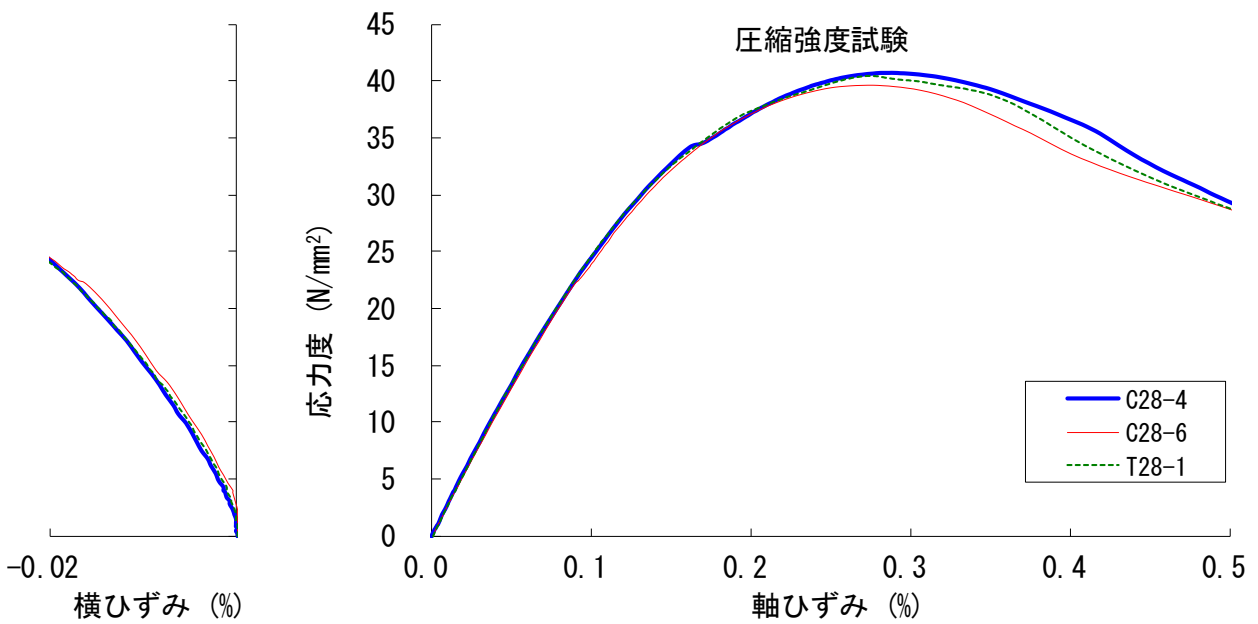


図 A3.3.2-18 D28-66-U 試験結果

試験体名 **D28-90-U**

打設日 2021/9/3

試験日 2022/3/2

材齢 180 日

1. 圧縮強度試験

供試体名	直径(mm)		高さ(mm)		質量 (kg)	最大荷重 (kN)
	Dx	Dy	H1	H2		
C28-7	99.73	99.72	200.98	200.82	3.471	321.7
C28-8	99.70	99.73	200.73	200.87	3.445	329.2
C28-9	99.84	99.86	200.86	200.90	3.477	327.7

供試体名	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	圧縮強度時 ひずみ (%)	ポアソン比	密度 (t/m ³)
C28-7	41.2	26034	0.266	0.207	2.21
C28-8	42.2	27786	0.264	0.158	2.20
C28-9	41.8	28442	0.270	0.215	2.21
平均	41.7	27421	0.266	0.193	2.21
標準偏差	0.40	1017	0.002	0.025	0.007

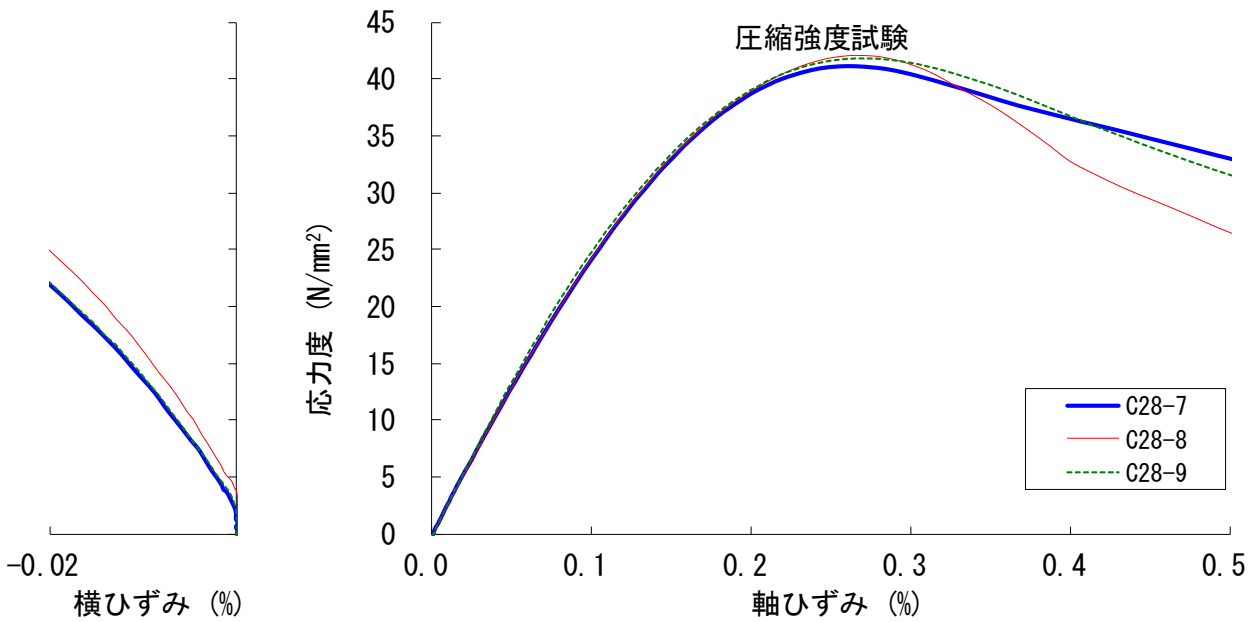


図 A3.3.2-19 D28-90-U 試験結果

付録3 弱材齢で損傷を受けたコンクリートの材料特性

試験体名 **D53-66-U** 打設日 2021/9/3 試験日 2022/3/2
 材齢 180 日

1. 圧縮強度試験

供試体名	直径(mm)		高さ(mm)		質量(kg)	最大荷重(kN)
	Dx	Dy	H1	H2		
C53-4	99.73	99.72	200.92	200.89	3.483	319.0
C53-5	99.74	99.72	200.99	200.94	3.499	329.2
C53-6	99.81	99.83	200.92	200.83	3.479	328.7

供試体名	圧縮強度(N/mm ²)	ヤング係数(N/mm ²)	圧縮強度時ひずみ(%)	ポアソン比	密度(t/m ³)
C53-4	40.8	27981	0.263	0.142	2.22
C53-5	42.1	29318	0.261	0.171	2.23
C53-6	42.0	27301	0.284	0.164	2.21
平均	41.7	28200	0.269	0.159	2.22
標準偏差	0.58	838	0.010	0.013	0.006

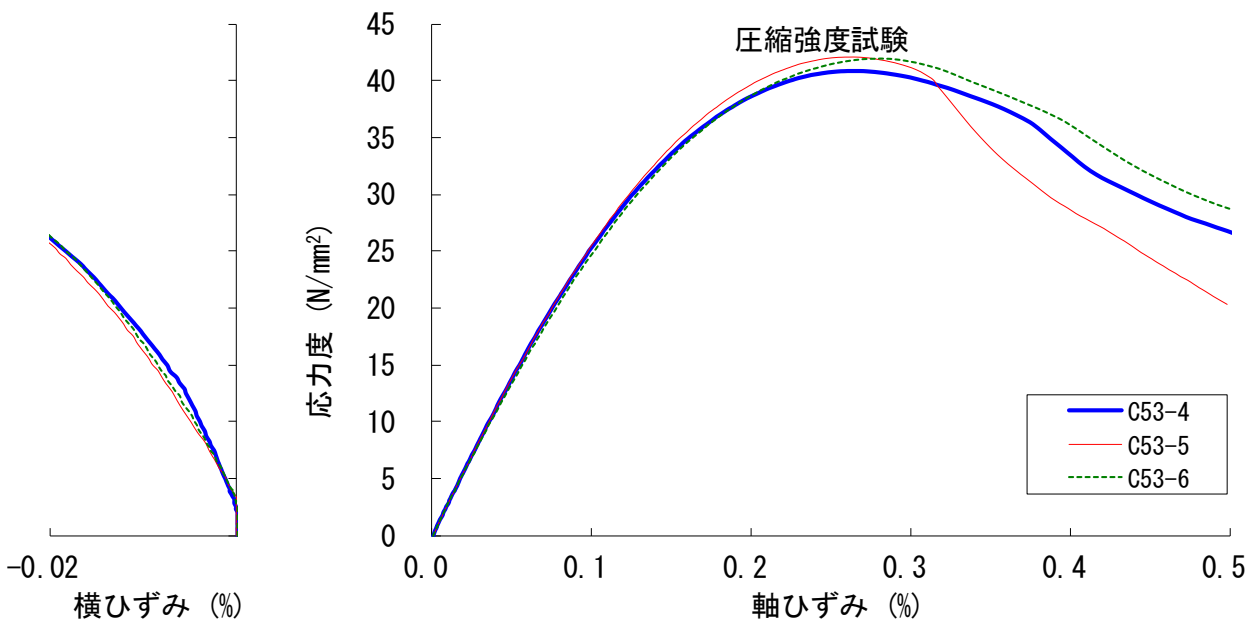


図 A3.3.2-20 D53-66-U 試験結果

試験体名 **D53-90-U**

打設日 2021/9/3

試験日 2022/3/2

材齢 180 日

1. 圧縮強度試験

供試体名	直径(mm)		高さ(mm)		質量 (kg)	最大荷重 (kN)
	Dx	Dy	H1	H2		
C53-7	99.80	99.82	200.97	200.99	3.483	328.7
C53-8	99.84	99.86	200.87	200.90	3.468	328.5
C53-9	99.79	99.70	200.93	200.96	3.486	330.7

供試体名	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	圧縮強度時 ひずみ (%)	ポアソン比	密度 (t/m ³)
C53-7	42.0	26393	0.264	0.167	2.22
C53-8	42.0	23862	0.289	0.201	2.20
C53-9	42.3	24653	0.289	0.191	2.22
平均	42.1	24969	0.281	0.186	2.21
標準偏差	0.16	1057	0.012	0.015	0.006

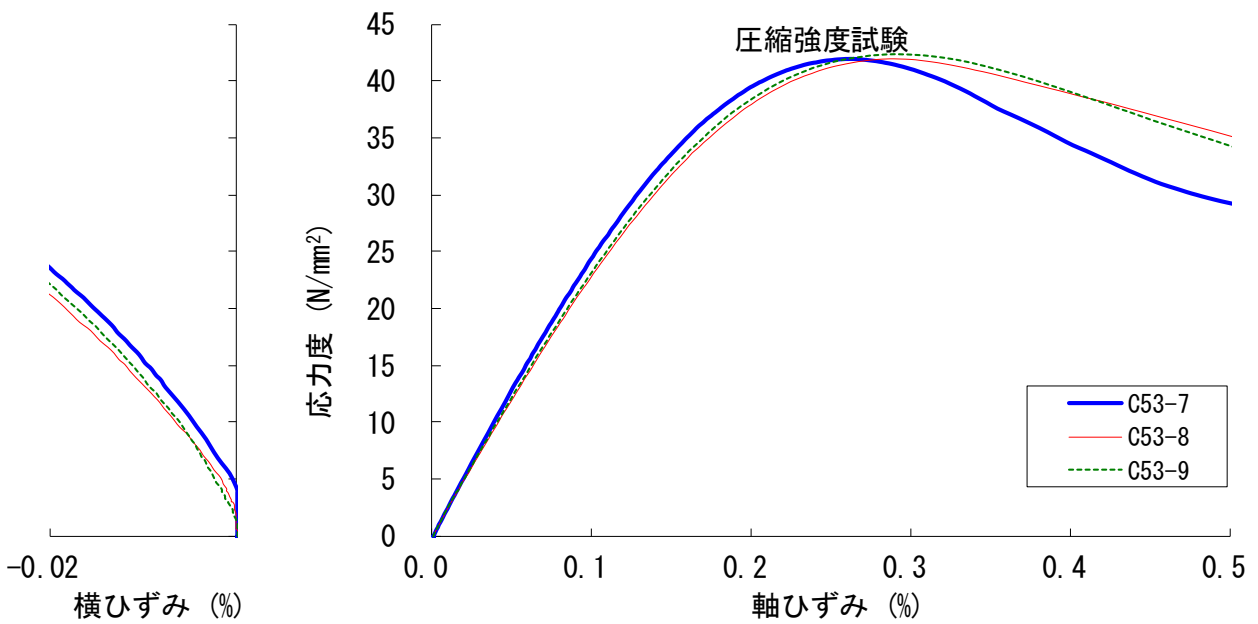


図 A3.3.2-21 D53-90-U 試験結果

付録3 弱材齢で損傷を受けたコンクリートの材料特性

試験体名 **D91-66-U** 打設日 2021/9/3 試験日 2022/3/2
 材齢 180 日

1. 圧縮強度試験

供試体名	直径(mm)		高さ(mm)		質量(kg)	最大荷重(kN)
	Dx	Dy	H1	H2		
C91-4	99.81	99.81	201.02	200.87	3.504	337.5
C91-5	99.80	99.91	200.93	200.82	3.488	328.2
C91-6	99.80	99.82	200.90	200.90	3.474	332.0

供試体名	圧縮強度(N/mm ²)	ヤング係数(N/mm ²)	圧縮強度時ひずみ(%)	ポアソン比	密度(t/m ³)
C91-4	43.1	28718	0.260	0.164	2.23
C91-5	41.9	27365	0.268	0.130	2.22
C91-6	42.4	26164	0.285	0.182	2.21
平均	42.5	27415	0.271	0.159	2.22
標準偏差	0.50	1043	0.011	0.022	0.008

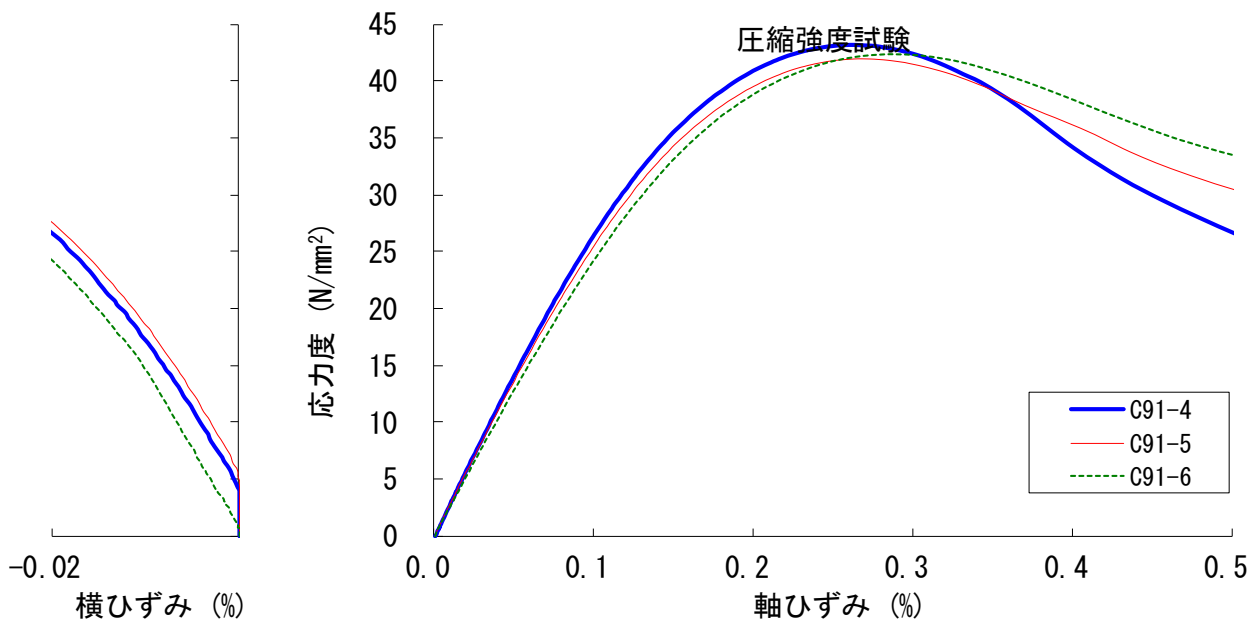


図 A3. 3. 2-22 D91-66-U 試験結果

試験体名 **D91-90-U**

打設日 2021/9/3

試験日 2022/3/2

材齢 180 日

1. 圧縮強度試験

供試体名	直径(mm)		高さ(mm)		質量 (kg)	最大荷重 (kN)
	Dx	Dy	H1	H2		
C91-11	99.65	99.83	200.63	200.65	3.463	330.5
C91-8	99.87	99.84	200.90	200.81	3.491	323.2
C91-9	99.96	99.95	200.65	200.71	3.487	310.5

供試体名	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	圧縮強度時 ひずみ (%)	ポアソン比	密度 (t/m ³)
C91-11	42.3	23349	0.273	0.138	2.21
C91-8	41.3	25063	0.261	0.279	2.22
C91-9	39.6	20827	0.262	0.501	2.21
平均	41.0	23080	0.265	0.306	2.21
標準偏差	1.13	1740	0.005	0.150	0.004

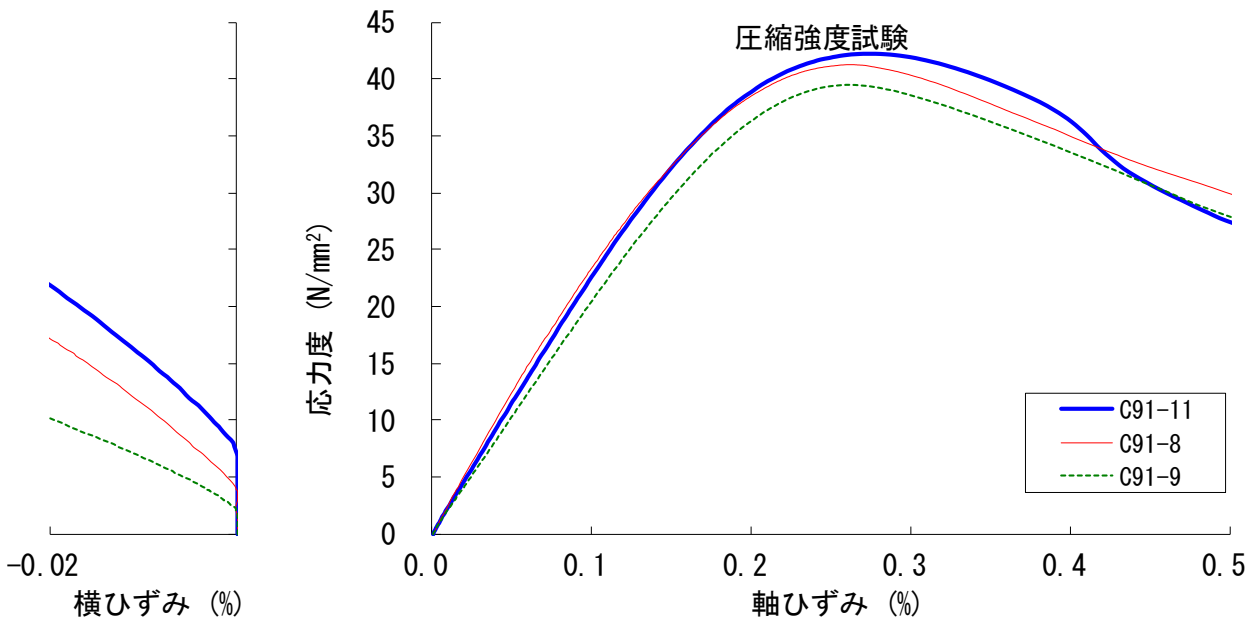


図 A3.3.2-23 D91-90-U 試験結果

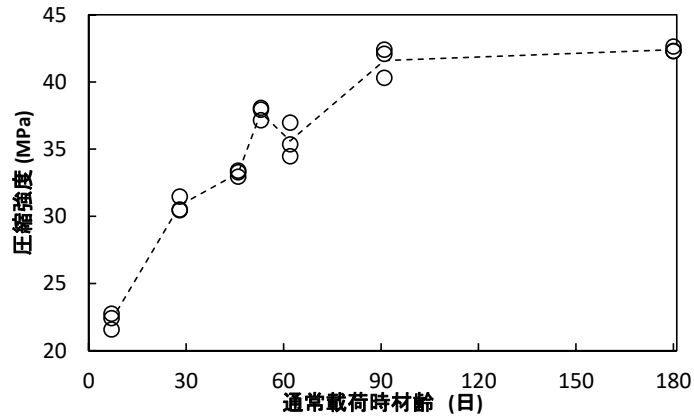
A3.3.3 実験結果のまとめ

材齢ごとの実験結果の一覧を表 A3.3.3-1 に示す。表 A3.3.3-1 では各材齢で3つの供試体の平均値の値を示している。

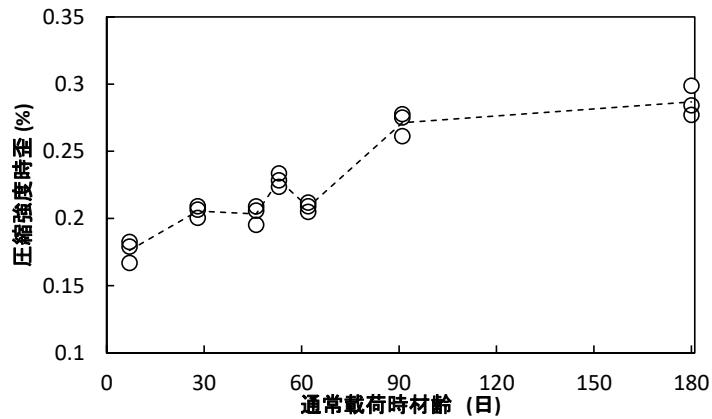
表 A3.3.3-1 材齢ごとの実験結果一覧

試験体	荷重方法	材齢 (日)	圧縮強度 (MPa)	ヤング 係数 (GPa)	圧縮強 度時歪 (%)	割裂引 張強度 (MPa)	ポアソ ン比	密度 (t/m ³)	残留歪 (%)
D7-U	通常荷重	7	22.3	26.8	0.176	2.02	0.16	2.28	
D7-66	1次荷重	7	15.0	26.3	0.068		0.17	2.27	0.0043
D7-90	1次荷重	7	20.1	25.6	0.119		0.18	2.26	0.0241
D28-U	通常荷重	28	30.8	28.6	0.205	2.30	0.21	2.27	
D28-66	1次荷重	28	20.7	29.5	0.081		0.20	2.27	0.0066
D28-90	1次荷重	28	28.0	29.2	0.134		0.19	2.28	0.0149
D46-U	通常荷重	46	33.2	29.9	0.203	2.61	0.20	2.28	
D53-U	通常荷重	53	37.7	28.7	0.228	2.77	0.18	2.25	
D53-66	1次荷重	53	25.4	30.3	0.099		0.18	2.28	0.0064
D53-90	1次荷重	53	34.1	28.8	0.165		0.12	2.25	0.0285
D62-U	通常荷重	62	35.6	29.6	0.209	2.23	0.15	2.27	
D91-U	通常荷重	91	41.6	27.7	0.271	2.51	0.20	2.22	
D91-66	1次荷重	91	27.8	27.9	0.115		0.18	2.24	0.0128
D91-90	1次荷重	91	37.5	27.6	0.211		0.23	2.24	0.0548
D180-U	通常荷重	180	42.4	27.2	0.287	2.96	0.20	2.22	
D7-66-U	2次荷重	180	38.2	28.7	0.250		0.14	2.20	
D7-90-U	2次荷重	180	35.6	25.3	0.242		0.15	2.20	
D28-66-U	2次荷重	180	40.3	27.6	0.278		0.17	2.20	
D28-90-U	2次荷重	180	41.7	27.4	0.266		0.19	2.21	
D53-66-U	2次荷重	180	41.7	28.2	0.269		0.16	2.22	
D53-90-U	2次荷重	180	42.1	25.0	0.281		0.19	2.21	
D91-66-U	2次荷重	180	42.5	27.4	0.271		0.16	2.22	
D91-90-U	2次荷重	180	41.0	23.1	0.265		0.31	2.21	

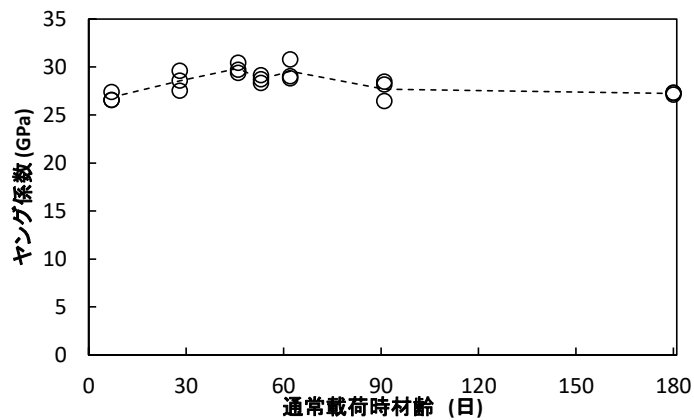
通常载荷の材料特性の推移を図 A3.3.3-1 に示す。材齢ごとのテストピース 3 本の結果を○プロットで示し、3 本のテストピースの平均値の推移を点線で示した。図 A3.3.3-1 (a) (b) に示すように、圧縮強度と圧縮強度時の歪みの値は、ややばらつきはあるものの、材齢が大きくなるに従い値が上昇した。ただし、材齢 180 日の圧縮強度の平均値 (42.4MPa) は、材齢 91 日の圧縮強度の平均値 (41.6MPa) と比べ 2.0%程度の上昇率であり、ほとんど強度上昇しなかった。一方で、ヤング係数は材齢 7 日の値 (26.8GPa) から 180 日 (27.2GPa) まで大きく変化することはなかった。



(a) 圧縮強度



(b) 圧縮強度時歪み



(c) ヤング係数

図 A3.3.3-1 通常载荷時の材料特性の変化

付録3 弱材齢で損傷を受けたコンクリートの材料特性

2次载荷の圧縮強度と1次载荷時の材齢の関係を図A3.3.3-2に、2次载荷の圧縮強度一覧を表A3.3.3-1に示す。図や表には、基準となる180日材齢の通常载荷のD180-Uの結果も示す。ここで、1次载荷で損傷を受けたテストピースの2次载荷時(材齢180日時)の圧縮強度と、通常载荷D180-Uの圧縮強度との比較を行う。図A3.3.3-2に示すように、2次载荷の圧縮強度にはばらつきがあり、このままでは通常载荷D180-Uの圧縮強度と同等かどうかの判断ができない。そこで、通常载荷D180-Uの圧縮強度のばらつきを考慮し、D180-Uの供試体3体の結果から計算した5%下限値(42.1MPa)を、2次载荷の圧縮強度から計算した5%上限値が下回ったときに、1次载荷の影響により強度が低下したと考えることとした。5%下限値と5%上限値の計算は、(式A3.3.3-1)で計算した。

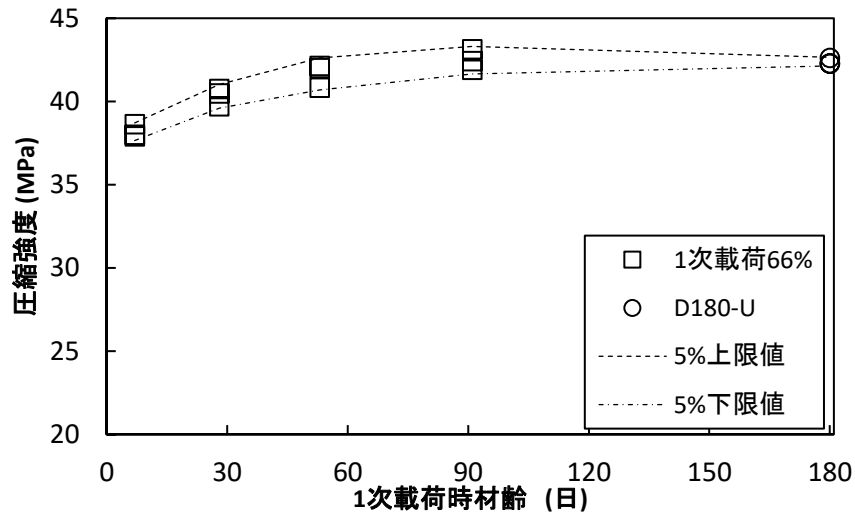
$$\begin{aligned} 5\% \text{上限値} &= \text{平均値} + \text{標準偏差} \times 1.645 \\ 5\% \text{下限値} &= \text{平均値} - \text{標準偏差} \times 1.645 \end{aligned} \quad (\text{式 A3.3.3-1})$$

表A3.3.3-1に示すように、材齢7日と28日で66%の载荷を行ったテストピースや、材齢7日で90%の载荷を行ったテストピースでは、5%上限値の値がD180-Uの5%下限値(42.1MPa)を下回っており、1次载荷の影響により強度が低下したと考えられる。材齢53日未満の状態では、1次载荷によって損傷を与えた場合、その後養生して圧縮強度は上昇するものの、損傷を受けていないテストピースと比べると、材齢180日において強度が低下する可能性があることがわかった。

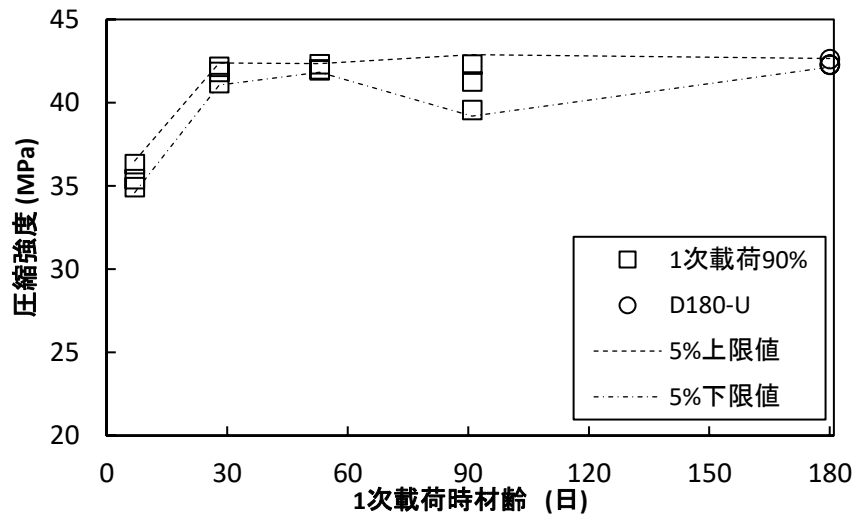
圧縮強度と同様に、圧縮強度時歪みやヤング係数についても、2次载荷の計測値と1次载荷時の材齢の関係を図A3.3.3-3及び図A3.3.3-4に、それぞれの2次载荷の計測値一覧を表A3.3.3-2及び表A3.3.3-3に示す。

表A3.3.3-2に示すように、材齢7日で66%の载荷を行ったテストピースや、材齢7日と28日で90%の载荷を行ったテストピースでは、5%上限値の値がD180-Uの5%下限値(0.272%)を下回っており、1次载荷の影響により圧縮強度時の歪みの値が低下したと考えられる。このことから、圧縮強度と同様に材齢53日未満の状態では、1次载荷によって損傷を与えた場合、その後養生して圧縮強度時の歪みの値は上昇するものの、損傷を受けていないテストピースと比べると、材齢180日において圧縮強度時の歪みの値が低下する可能性があることがわかった。

表A3.3.3-3に示すように、材齢7日、53日、91日で90%の载荷を行ったテストピースでは、5%上限値の値がD180-Uの5%下限値(27.1GPa)を下回っており、1次载荷の影響によりヤング係数が低下したと考えられる。一方で、66%の载荷を行ったテストピースでは、影響が見られなかった。このことから、90%の载荷を行った場合その後養生しても、損傷を受けていないテストピースと比べると、材齢180日においてヤング係数が低下する可能性があることがわかった。



(a) 1次荷重 66%

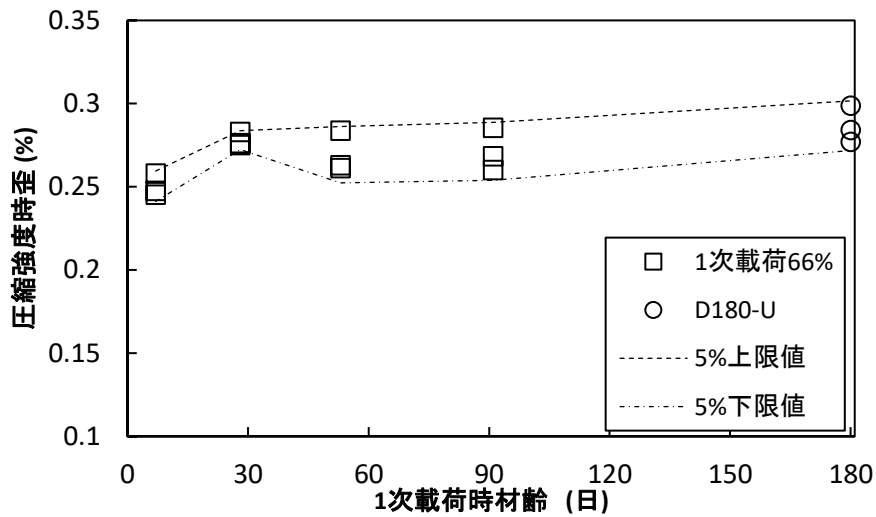


(b) 1次荷重 90%

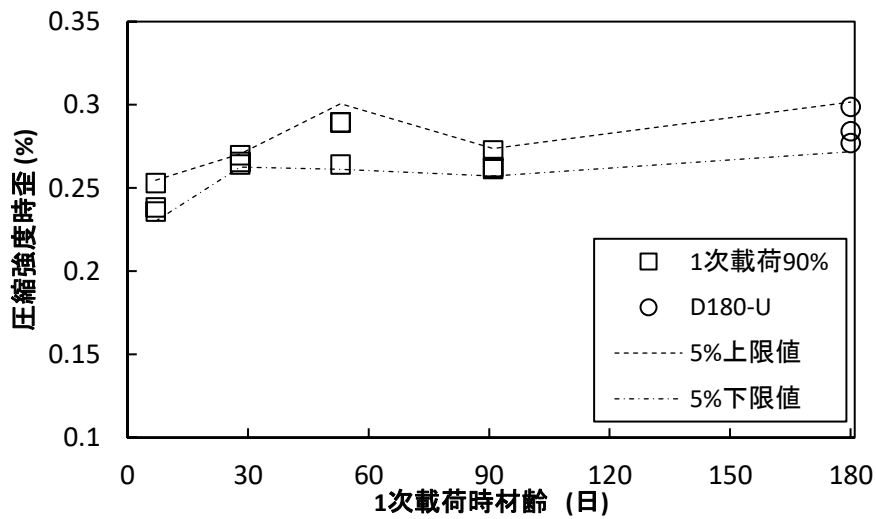
図 A3. 3. 3-2 2次荷重の圧縮強度と1次荷重時の材齢

表 A3. 3. 3-1 2次荷重の圧縮強度一覧

試験体	標準偏差	5%上限値	5%下限値	試験体	標準偏差	5%上限値	5%下限値
	(MPa)	(MPa)	(MPa)		(MPa)	(MPa)	(MPa)
D7-66-U	0.33	38.7	37.7	D7-90-U	0.58	36.5	34.6
D28-66-U	0.44	41.0	39.6	D28-90-U	0.40	42.4	41.1
D53-66-U	0.58	42.6	40.7	D53-90-U	0.16	42.4	41.8
D91-66-U	0.50	43.3	41.7	D91-90-U	1.13	42.9	39.2
D180-U	0.16	42.7	42.1	D180-U	0.16	42.7	42.1



(a) 1次荷重 66%

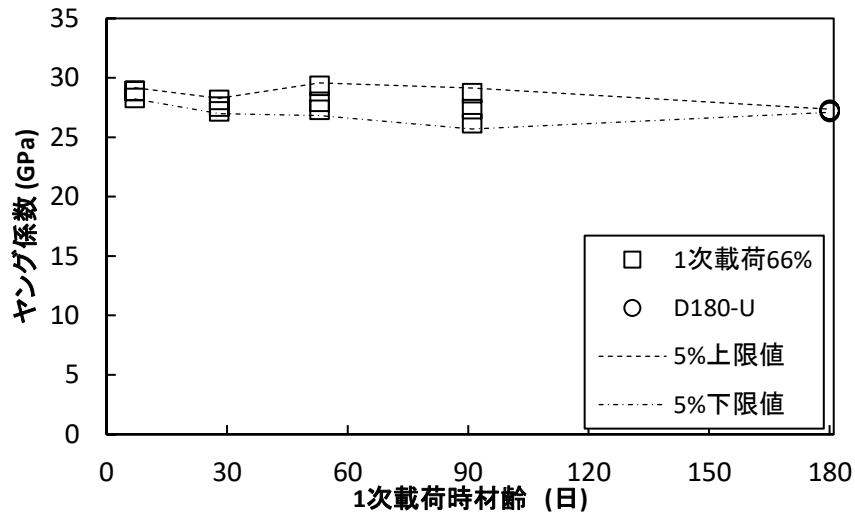


(b) 1次荷重 90%

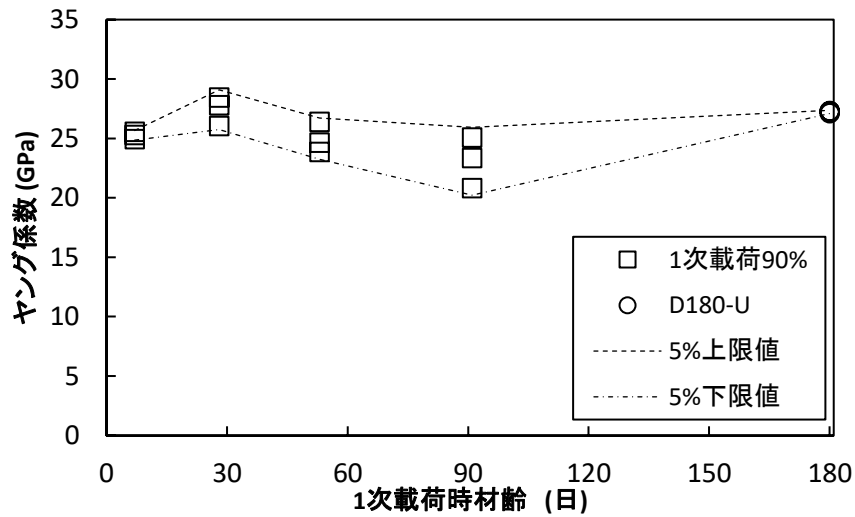
図 A3. 3. 3-3 2次荷重の圧縮強度時歪みと1次荷重時の材齢

表 A3. 3. 3-2 2次荷重の圧縮強度時歪み一覧

試験体	標準偏差	5%上限値	5%下限値	試験体	標準偏差	5%上限値	5%下限値
	(%)	(%)	(%)		(%)	(%)	(%)
D7-66-U	0.006	0.259	0.241	D7-90-U	0.008	0.255	0.230
D28-66-U	0.003	0.284	0.272	D28-90-U	0.002	0.270	0.263
D53-66-U	0.010	0.286	0.252	D53-90-U	0.012	0.301	0.261
D91-66-U	0.011	0.289	0.254	D91-90-U	0.005	0.274	0.257
D180-U	0.009	0.302	0.272	D180-U	0.009	0.302	0.272



(a) 1次荷重 66%



(b) 1次荷重 90%

図 A3.3.3-3 2次荷重のヤング係数と1次荷重時の材齢

表 A3.3.3-3 2次荷重のヤング係数一覧

試験体	標準偏差	5%上限値	5%下限値	試験体	標準偏差	5%上限値	5%下限値
	(GPa)	(GPa)	(GPa)		(GPa)	(GPa)	(GPa)
D7-66-U	0.28	29.2	28.2	D7-90-U	0.25	25.7	24.9
D28-66-U	0.39	28.3	27.0	D28-90-U	1.02	29.1	25.7
D53-66-U	0.84	29.6	26.8	D53-90-U	1.06	26.7	23.2
D91-66-U	1.04	29.1	25.7	D91-90-U	1.74	25.9	20.2
D180-U	0.08	27.4	27.1	D180-U	0.08	27.4	27.1

A3.4 まとめ

弱材齢時に損傷を受けたコンクリートの材料特性を調査した結果、以下の知見を得た。

- 本実験の範囲では、材齢 53 日未満の状態で載荷を行ったテストピースでは、その後養生して圧縮強度や圧縮強度時の歪みは上昇するものの、損傷を受けていないテストピースと比べると、材齢 180 日において値が低下する可能性があることがわかった。
- 本実験の範囲では、90%の載荷を行った場合その後養生しても、損傷を受けていないテストピースと比べると、材齢 180 日においてヤング係数が低下する可能性があることがわかった。