

建築研究資料

Kenchiku Kenkyu Shiryo

No. 90

August 1997

建築基礎の被災度区分判定指針及び復旧技術例

Damage Grade Classification Manual of Building Foundations and
Some Examples of Repair Techniques

二木 幹夫 上之菌 隆志 中田 慎介 編

by Mikio FUTAKI Takashi KAMINOSONO and Shinsuke NAKATA

建設省建築研究所

Published

by

Building Research Institute, Ministry of Construction

はしがき

本研究資料は、建設省建築研究所において実施した兵庫県南部地震に関連した研究成果のうち、地震後の被災建築物の復旧技術に関連して得られた建築物の基礎・地盤に関する研究成果を取りまとめたものである。

被災した建築物の復旧技術については、上部構造に関連して被災構造物の被災度区分判定や復旧技術の研究が行われ、兵庫県南部地震においても震災直後からの被災建物の危険度の判定や復旧に寄与している。しかし、基礎構造については、基礎が地盤内に埋もれている関係から、被害の程度が地表から簡単に観察できないことにより、一連の研究の内でも、当初からこの分野の研究が立ち遅れていた感がある。

兵庫県南部地震においては、基礎構造や地盤にも多くの被害が発生しその被害調査が行なわれている。

本研究資料は、これらの被害調査によって得られた被害事例を参考に、基礎構造及び地盤についての被害度を判定する目安を示し、実際に行なわれた復旧事例を紹介したものである。

ここでの成果は、現在も行われている復旧工事や今後の地震被害調査に貴重な資料を提供するものと考えられるが、ここに、諸賢の御意見、御指導をお願いする次第である。

最後に、本研究は建築基礎補修技術検討委員会(委員長：阪口 理 近畿大学教授)を設けて実施されたものであり、委員各位に多くの御協力を頂いた。ここに厚くお礼申し上げたい。

平成9年7月

建設省建築研究所長
島 崎 勉

建築基礎の被災度区分判定指針及び復旧技術例

建設省建築研究所第四研究部 二木 幹夫
同 上之菌隆志
高知工科大学社会システム工学科長・教授 中田 慎介

< 概 要 >

平成7年の兵庫県南部地震においては、多くの建築物に被害が発生した。これに比例するように、建築物の基礎構造にも多くの被害が確認されている。兵庫県南部地震以前の経験から、上部構造では被害を受けた建築物の被害程度を客観的に評価する方法（建築物の被災度区分判定）が既に準備されており、兵庫県南部地震の時にもその成果が活用された。これに対し、基礎構造は、これまでの地震において確認された事例が少ないこと、被害調査に際して、外部からの観察では被害調査を行うことが困難であるなどの理由により、上部構造と同程度の内容の被災度判定のための資料が準備されていない。本資料は、兵庫県南部地震による基礎構造の被害事例から、被害の程度を判定するための手法を提案し、今後の基礎構造に関する被害程度度の判定に資することを目的とする。また、合わせて、基礎構造の被害の補修事例について紹介したものである。

A Damage Grade Classification Manual of Building Foundations and Some Examples of Repair Techniques

BY

Mikio Futaki, Takashi Kaminosono and Shinsuke Nakata

ABSTRACT

We had a lot of damages of buildings by Hyogoken-Nambu Earthquake, 17 January in 1995. Many damages were also recognized on building foundations. Through the past experience of earthquakes, there exists the manual how to classify the damage grade of buildings by earthquakes. This was used to investigate building damages in this earthquake. As contrasted with this, we have no guide to judge the classification of foundation damages, because of the less experiences of foundation damages and difficulties to investigate the foundation damage under the ground. This report presents the manual how to investigate the foundation damage and some repair techniques of foundations which were applied to damaged foundations during the Hyogoken-Nambu Earthquake.

まえがき

平成7年の兵庫県南部地震においては、多くの建築物に被害が発生した。これに比例するように、建築物の基礎構造にも多くの被害が確認されている。兵庫県南部地震以前の経験から、上部構造では被害を受けた建築物の被害程度を客観的に評価する方法（建築物の被災度区分判定）が既に準備されており、兵庫県南部地震の時にもその成果が活用された。これに対し、基礎構造は、これまでの地震において確認された事例が少ないこと、被害調査に際して、外部からの観察では被害調査を行うことが困難であるなどの理由により、上部構造と同程度の内容の被災度判定のための資料が準備されていない。本資料は、兵庫県南部地震による基礎構造の被害事例から、被害の程度を判定するための手法を提案し、今後の基礎構造に関する被害程度度の判定に資することを目的とする。また、合わせて、基礎構造の被害の補修事例について紹介したものである。

なお、本研究を実施した建築基礎補修技術検討委員会は、建築研究所の委託を受けて、平成8年度より設置され、そのメンバーは下記の通りである。

建築基礎補修技術検討委員会

（順不同・敬称略、所属：平成9年3月現在）

（委員長）

阪口 理 近畿大学理工学部建築学科

（委員）

林 理 建設省大臣官房官庁営繕部

嶋津 伸一 建設省近畿地方建設局営繕部

沢井 布兆 住宅・都市整備公団建築部

中川 宏人 旭化成建材株式会社パイル・土木資材技術部

奥藪 敏文 （株）構造計画研究所構造計画部

加倉井 正昭 （株）鴻池組技術研究所

佐竹 啓一 （株）竹中工務店技術研究所生産研究開発部

朝妻 雅博 （社）コンクリートパイル建設技術協会

沼上 清 東急建設株式会社技術研究所建築研究部

漆畑 勇 日本コンクリート工業株式会社技術開発部

谷川 雅一 日特建設株式会社技術本部筑波研究所

嶋谷 欣巳 丸五基礎工業株式会社技術研究所

林 啓司 株式会社阿部工業所建築工事部

間瀬 哲 （株）間瀬コンサルタント

中田 慎介 建設省建築研究所国際地震工学部（当時）

（現 高知工科大学社会システム工学科）

二木 幹夫 建設省建築研究所第四研究部

上之藪 隆志 建設省建築研究所第四研究部

（事務局） 社団法人 建築研究振興協会

目 次

第1編 被災度区分判定

1. 目的	1
2. 用語の定義	2
3. 適用範囲	2
4. 被災状況調査と被災度区分判定	3
4.1 掘出し調査の要否の判定	3
4.2 被災状況の調査	6
4.2.1 建物の沈下と基礎梁、基礎フーチングの調査	8
4.2.2 杭基礎の調査	9
4.2.3 支持地盤および周辺地盤の調査	10
4.3 基礎の被災度区分判定	11
4.3.1 基礎構造の損傷割合による判定	11
4.3.2 基礎傾斜、沈下による判定	28
4.3.3 支持地盤の変状による判定	32
4.3.4 被災度区分判定	33
5. 補強等の要否について	35
6. 復旧設計	36
6.1 復旧計画	36
6.2 復旧目標の設定	37

第2編 復旧技術資料集

1. 兵庫県南部地震における基礎被害調査結果総括表	38
2. 調査結果の統計処理にみる基礎被害の概要	42
3. 基礎補修工法のまとめ	50
3.1 基礎補修工法の概要	50
3.2 基礎部材の補修要領	50
3.2.1 杭	50
3.2.2 基礎梁・基礎フーチング	51
3.3 基礎補修要領シート	55

第1編 被災度区分判定

1. 目的

本マニュアルは、地震で被災した建築物基礎について、その被災度区分を判定し、基礎の再使用を目的とした場合の復旧技術例（第2編）を示すことにより、建築物の速やかな復旧に資することを目的とする。

[解説]

基礎の被害は、対象部分が地下部分に埋もれている関係上、肉眼によって直接確認することが簡単ではない。そこで、基礎の被害の多くは、建築物が傾斜や不同沈下した場合の対策を講じる段階において、追加的に行われる掘り出し調査によって発見される場合が多い。

基礎構造の被害の復旧を考える上で、もっとも大切なことは、被害状況の把握と被害原因の究明である。上部構造と異なり、基礎構造の被害の復旧には、構造躯体と地盤の双方の対策が必要な場合がある。従って、対策工法は基礎および地盤の双方の観点から決定され、場合によっては、上部構造の建築物としての使用年数や耐用年数、復旧に必要な費用など、経済性との関係から建物全体が解体される場合もありうる。

基礎構造の被災補修を考える上では、建築物が傾斜や沈下をしているか否かが非常に重要である。建物が傾斜や沈下を生じている場合には、建物の構造的な被災の程度（損傷度）とは別に、生活に伴う使用上の制約や周辺設備との接続の確保からも不陸調整を中心とした補修や修復を必要とする。この場合、基礎構造の形式によって、その内容が少し異なる。また、建築物の沈下や傾斜については、上部構造の部分と基礎部分とのそれを分離して評価することが、被害の内容を把握する上で大切である。

直接基礎の建物では、基礎梁やフーチングが破損することによって、建築物が傾斜・沈下している場合はまれであり、そのほとんどが、基礎の支持地盤の過大な変形に起因している。兵庫県南部地震では、支持地盤の過大な変形は、斜面地の変状地盤全体の液状化や部分液状化あるいは間隙水圧の上昇による支持力の低下などによることが考えられている。これに対し、杭基礎によって支持されている建物の場合では、杭、基礎梁やフーチングに構造的な重大な損傷を生じている場合が多く、余震や将来の地震に対応するうえからも早急な検討が要求される。摩擦杭などでは、傾斜・沈下が生じていても、構造的な被害が軽微な場合も確認されているので、沈下や傾斜が必ずしも、構造的な被害と結びついていない場合もありうる。

建物が傾斜していない場合には、取りあえず使用上の不便さが少ないことから、基礎の構造的な被害が知られないまま復旧が長期間行なわれない場合がある。直接基礎の場合には、このような場合を無被害として判断しても将来的な問題はないものと考え

られる。しかし、杭基礎の場合には、上部構造の損傷度や周辺建物の被害状況、周辺地盤の変状の様子から、基礎構造の損傷を疑って見ることも大切である。沈下・傾斜が生じていない建物の調査結果で、杭にひび割れ（鉄筋破断）が生じている例が発見されている。なお、被災した基礎構造の補修に伴い、非常に判断が困難な問題を含む事柄としては、

①傾斜や沈下が生じていない建築物の基礎の被害

②地中部の杭の被害

などが考えられる。

基礎の役割は、通常の荷重条件下では、鉛直支持力を確保することであり、基礎構造の損傷が、必ずしも鉛直支持力の低下につながらない場合があることが、基礎補修の問題を複雑にしていると思われる。これらの問題が整理されるには、基礎構造（特に杭）と地盤との複合地盤の支持力特性の評価が行われなければならない。本マニュアルでは、被害を受けた基礎の被災度を判定する方法及び復旧に際した基本的な考え方を示す。また、復旧方法については、現時点では一般的な工法を提示することは困難であるので、復旧事例を示すに留めた。

2. 用語の定義

本マニュアルでは、下記の用語を次のように定義する。

- ・補修；被災により低下した建築基礎あるいは支持地盤の性能を被災前とほぼ同等になるようにすること
- ・補強；被災により低下した建築物基礎あるいは支持地盤の性能を被災前の状態よりも高くすること
- ・復旧；被災した建築物基礎あるいは支持地盤に補修，補強を施して再使用に耐えるようにすること
- ・被災度（被害度）；建築物基礎あるいは支持地盤が受けた被害の物的度合をいい，被災度区分判定基準では小破・中破・大破の3ランクとする
- ・損傷度；基礎の構造的な被災程度をいい，被災程度の小さい順にレベルⅠからレベルⅤまでの5段階とする

3. 適用範囲

本マニュアルは、地震被害を受けた杭基礎または直接基礎等の基礎構造あるいは支持地盤の被災度区分判定及び復旧に適用する。

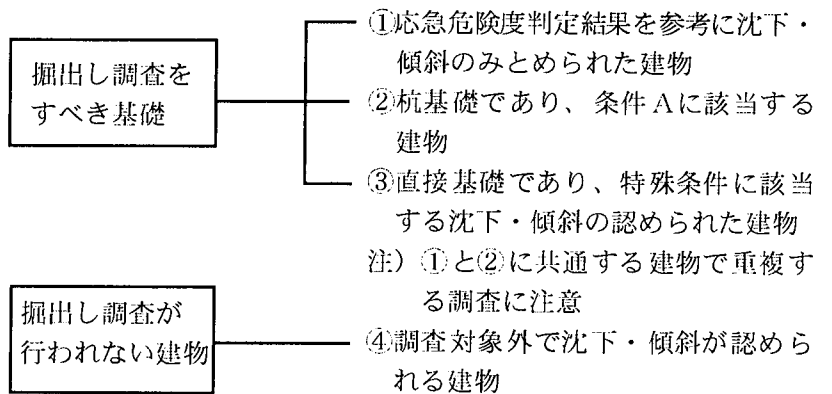
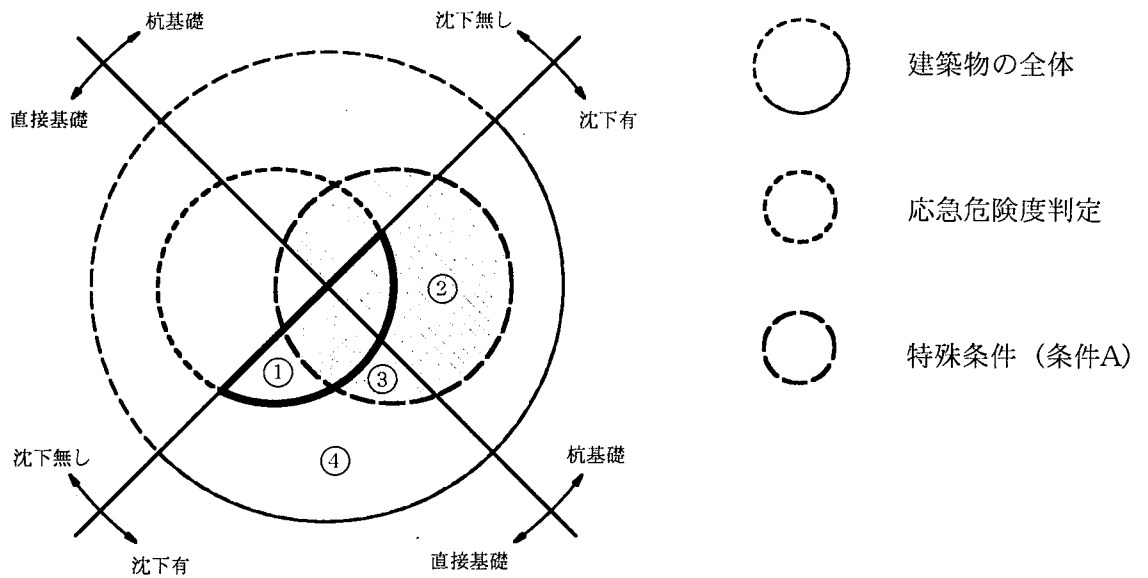
4. 被災状況調査と被災度区分判定

基礎の被災度区分判定は、基礎の構造的な損傷度と傾斜・沈下及び周辺地盤の変状などの被災度を加味して行われる。基礎の損傷度を判断するためには、基礎部分を直接調査する必要がある。通常、基礎部分は、地下部分に埋もれているため、この部分を調査するためには、掘出し作業を伴う。しかし、この作業は、一般の外観調査と比較して高額な調査費用を必要とし、また、危険を伴うこともあり得るので、ここでは、掘出し調査を行って、基礎の損傷度を判断するケースに条件を設けている。

4.1 掘出し調査の要否の判定

基礎の掘出し調査を行って、基礎の損傷度の判定を行う場合として2通りを考える。第一に、上部構造の応急危険度判定が行なわれる機会に、基礎の傾斜・沈下が認められた場合であり、第二には、地盤条件や地震動の強さなどの条件から、基礎の専門家が調査を行う範囲を設定し、その中から調査建物を選定する場合である（図4.1.1）。前者については、応急危険度判定時に上部構造の沈下や傾斜とは別に基礎構造の傾斜や沈下を把握することは一般には困難ではあるが、この点に関する情報を受けて行われる。応急危険度判定では、沈下・傾斜に関し（無し、小、大）程度の判定が行われていることが望ましいと考えられ、その判断から、原則として多少とも基礎の沈下・傾斜が認められるものについては、その後、基礎の専門家による建物基礎の再調査が行われ、掘出し調査建物の洗いだしを行う（図4.1.1-①）。後者の場合には、斜面地や液状化地盤、アスペクト比の大きな建築物など特殊条件（条件A）によって、基礎に相当な負担が加わったと判断される建物を対象に調査物件の選定が行われる（図4.1.1-②、③）。掘出し調査の対象は、建物に傾斜・沈下が認められる場合が多いと考えられるが、震度VI+以上で、上部構造に被害が認められる場合などの特殊な場合には、傾斜・沈下に関係なく、杭基礎については掘出し調査が原則として行われる（図4.1.1-②）。但し、地下室が深い場合や、沈下・傾斜の量、建物形状、階高、地盤特性、周辺地盤の被害状況など、事前に対象建築物の安全性について、総合的な判断が必要な場合も有り得るので、この場合には詳細な事前調査を実施し、基礎の掘り出し調査の要否を判定する。（図4.1.2）。また、沈下・傾斜が生じている建物で、被災度区分判定の調査が行われない建物については、この指針（案）を参考に、各々被災度区分の判定を行うことが望ましい。

*基礎の専門家：建築物の構造設計者及び基礎杭の専門技術者など



特に基礎の被害が予測される建物の条件（条件A）
（以下のいずれかに該当する場合）

- ・ 斜面地の移動や液状化による地盤流動が認められる地域にある建物
- ・ 自ら被災していなくても、震度VI+以上の地域にあって周辺建物の被害が大きい建物
- ・ 震度V+以上の地域にあって、アスペクト比が2.5以上の建物

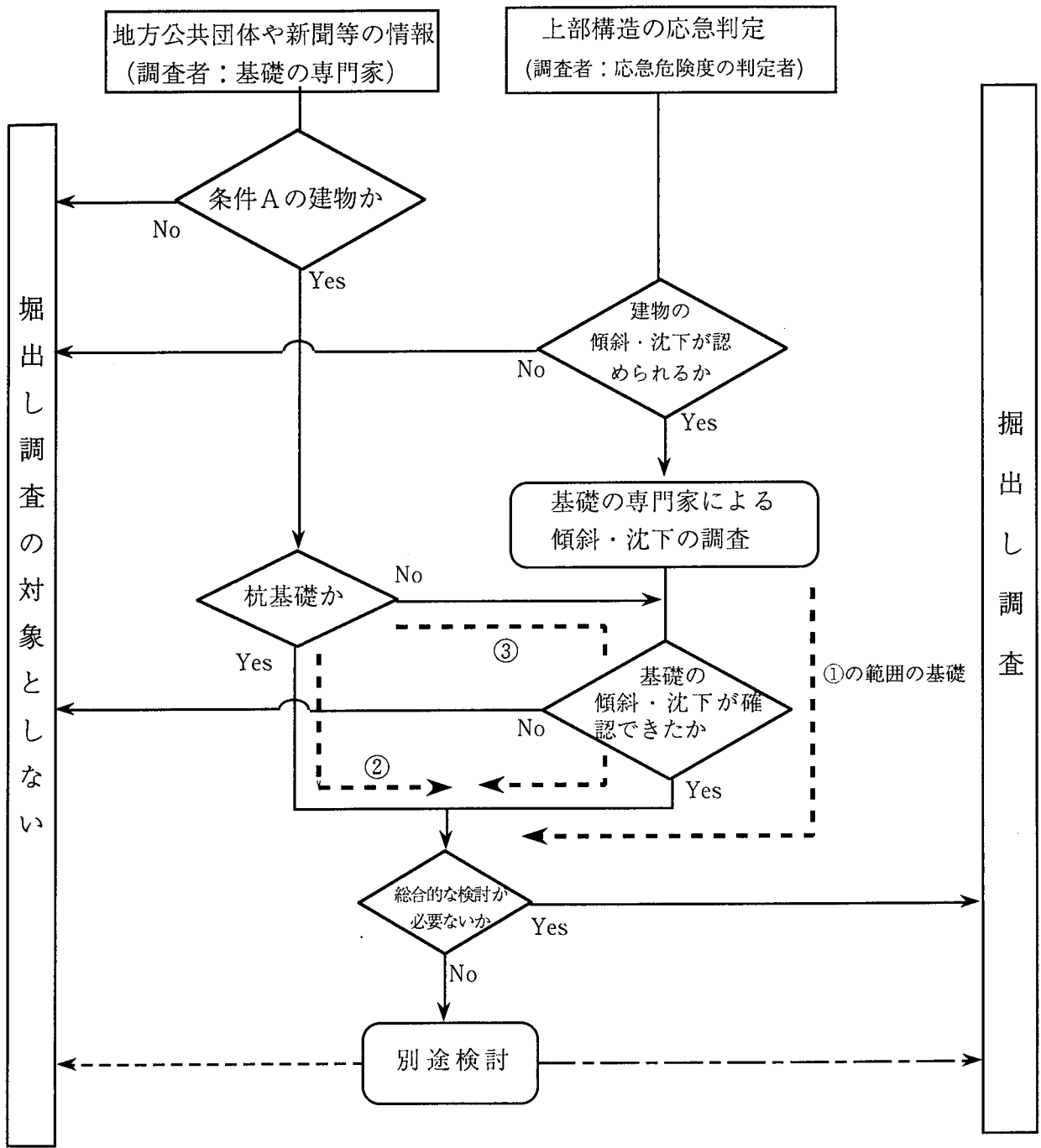


図4.1.2 掘出し調査を行うまでのフロー

4.2 被災状況の調査

基礎の被災状況や被害調査の方法は、基礎形式によって異なる。すなわち、直接基礎で建物が支持されている場合には、建物が不同沈下しても基礎全体として傾いているだけで、基礎の構造的被害は軽微な場合が少なくない。また、直接基礎は地中部分が比較的浅いので、建物下を掘削して、その健全性を目視確認することが容易である。これに対して杭基礎の場合、直接杭の健全性を確認するためには、掘出し調査や載荷試験が必要となる。このため、建物全体の杭基礎の被災状況を詳細に調査することが困難な場合が少なくない。杭基礎で支持された建物が沈下や傾斜が生じた場合、それが杭基礎の支持力不足によるものなのか、または杭体の損傷に起因するものなのかを調査によって判定する必要がある。したがって、被災状況の調査項目としては、大別して、建物直下部分および、地中部分の2つに分けられ、直接基礎の場合は、前者のみの調査となる。

表4.2.1に、これまでに実績のある各種調査方法の概要を示す。また、図4.2.1に、基礎の被害調査表の一例を示す。

表4.2.1 基礎の被災状況調査方法

調査方法	具体的方法	特徴・概要	確認項目
目視観察	基礎部分を掘出し、直接観察する。	被災状況を直接観察できる。	・クラック、損傷箇所 ・沈下、傾斜状態
インテグリティ試験	杭頭部をハンマで軽打し、杭頭加速度応答を測定する。	弾性波動理論に基づいて、杭長・杭形状やクラック位置などを推定する。	・杭長、断面形状 ・クラック、損傷箇所
ボアホールカメラ	防水小型ビデオカメラで杭体コンクリートの状態を観察する。	杭中空部分や杭体ボアホールのクラック、切断箇所を特定する。	・クラック、損傷箇所
傾斜計	挿入式傾斜計により、杭体の傾斜角を杭頭から連続的に測定する。	傾斜角の不連続性から杭のクラック、切断箇所を推定する。	・杭体の屈曲状態 ・切断損傷箇所
A E測定器 (アコースティックエミッション)	破損した杭体コンクリートより発する超音波領域弾性波(AE波)を測定する。	A E発生源のヒストグラムから、杭体の破損箇所を推定する。	・切断損傷箇所

基礎の被害調査表 (例)

整理番号 _____	調査日時 _____ 年 _____ 月 _____ 日
	調査者 _____ 所属 _____

建物の概要	建物名称		建築年代		
	所在地	都道府県	市区町村	丁目	
	構造種別	<input type="checkbox"/> SRC, <input type="checkbox"/> RC, <input type="checkbox"/> S, <input type="checkbox"/> その他()			
	構造形式	<input type="checkbox"/> 壁式, <input type="checkbox"/> ラーメン			
	建物用途	<input type="checkbox"/> 住宅, <input type="checkbox"/> 店舗, <input type="checkbox"/> 事務所 <input type="checkbox"/> 学校, <input type="checkbox"/> 倉庫, <input type="checkbox"/> その他			
	建物規模	階数	地上 _____ 階, 地下 _____ 階, 軒高 _____ m		
		平面	約 _____ × _____ m, _____ 形		
基礎形式	<input type="checkbox"/> 杭基礎, <input type="checkbox"/> 直接基礎				

基礎の概要	杭種	<input type="checkbox"/> RC, <input type="checkbox"/> PC, <input type="checkbox"/> AC, <input type="checkbox"/> PHC, <input type="checkbox"/> 鋼管, <input type="checkbox"/> 場所打 <input type="checkbox"/> その他()		
	杭径			
	杭長			
	本数			
	直接基礎	<input type="checkbox"/> ベタ基礎, <input type="checkbox"/> 布基礎, <input type="checkbox"/> 独立基礎		
	フチの深さ			

地盤の概要	地形	<input type="checkbox"/> 平地, <input type="checkbox"/> 傾斜地, <input type="checkbox"/> 台地 <input type="checkbox"/> 低地, <input type="checkbox"/> 埋立て地, <input type="checkbox"/> その他		
	沖積層厚	<input type="checkbox"/> 砂質土 _____ m, <input type="checkbox"/> 粘性土 _____ m		
	支持層	深度 _____ m, 土質 _____		
	記事(柱状図の添付)			

周辺の地震被害	震度階			
	建物被害	<input type="checkbox"/> 倒壊, <input type="checkbox"/> 傾斜, <input type="checkbox"/> 沈下, <input type="checkbox"/> 移動, <input type="checkbox"/> その他 状況(距離)		
	地盤被害	<input type="checkbox"/> 沈下, <input type="checkbox"/> 地割れ, <input type="checkbox"/> 噴砂・堆砂 <input type="checkbox"/> 移動, <input type="checkbox"/> 斜面崩壊, <input type="checkbox"/> その他 状況(距離)		
	擁壁被害	<input type="checkbox"/> 倒壊, <input type="checkbox"/> 傾斜, <input type="checkbox"/> 沈下, <input type="checkbox"/> 移動 <input type="checkbox"/> その他 状況(距離)		

建物の被害概要	沈下	最大 _____ mm, 状況 _____
	傾斜	最大 _____ rad, 状況 _____
	水平移動	最大 _____ mm, 状況 _____
	柱	<input type="checkbox"/> なし, <input type="checkbox"/> あり, 程度 _____
	壁	<input type="checkbox"/> なし, <input type="checkbox"/> あり, 程度 _____
	外壁	<input type="checkbox"/> なし, <input type="checkbox"/> あり, 程度 _____
	付属構造	<input type="checkbox"/> なし, <input type="checkbox"/> あり, 部位 _____

基礎の被害概要	杭	損傷度(最大)	<input type="checkbox"/> V, <input type="checkbox"/> IV, <input type="checkbox"/> III, <input type="checkbox"/> II, <input type="checkbox"/> I		
		損傷パターン	<input type="checkbox"/> 曲げ, <input type="checkbox"/> せん断, <input type="checkbox"/> 軸力		
		損傷部位	<input type="checkbox"/> 杭頭部, <input type="checkbox"/> 地中部		
		被災本数		調査本数	
		深い位置の被害	IT, ボアホールの観察結果など		
	状況(写真添付)				
基礎梁	基礎梁	損傷度(最大)	<input type="checkbox"/> V, <input type="checkbox"/> IV, <input type="checkbox"/> III, <input type="checkbox"/> II, <input type="checkbox"/> I		
		状況(写真添付)			
		損傷度(最大)	<input type="checkbox"/> V, <input type="checkbox"/> IV, <input type="checkbox"/> III, <input type="checkbox"/> II, <input type="checkbox"/> I		
		状況(写真添付)			

敷地地盤の被害概要	<input type="checkbox"/> 沈下, <input type="checkbox"/> 地割れ, <input type="checkbox"/> 噴砂・堆砂, <input type="checkbox"/> 移動, <input type="checkbox"/> 斜面崩壊, <input type="checkbox"/> 擁壁, <input type="checkbox"/> その他
	状況(写真, スケッチ等)

基礎の補修方針(後日記入)

関係資料の有無	<input type="checkbox"/> 柱状図	<input type="checkbox"/> 基礎(杭)伏図	<input type="checkbox"/> 地形図	<input type="checkbox"/> 設計資料	<input type="checkbox"/> 応急危険度判定
---------	------------------------------	----------------------------------	------------------------------	-------------------------------	----------------------------------

4.2.1 建物の沈下と基礎梁、基礎フーチングの調査

建物に沈下・傾斜が生じた場合、建物直下の基礎の掘出し調査に先立ち、建物全体の変状状態を把握しておく必要がある。建物の傾斜は、原則として建物4隅8点（図4.2.2）の上下端に鉛直にマーキングしたポイントを基準とし、図4.2.3に示す要領で建物上下端の相対水平変位を光学測量器によって計測して求めるか、または、クリノメータ（傾斜計）などの測定機材を利用して測定する。

建物の沈下量は、1階床高さに相当する建物の水平目地などを利用して、隅角部の1点を基準にした他3隅角部の相対レベルを求めて算定する。なお、建物基礎の沈下は、1階室内床における数カ所のレベル測量結果などを基に、平面的な相対沈下量として求める。

なお、これらの沈下・傾斜に関する測定は、被災直後から定期的に行い、沈下・傾斜量の増加やその収束状態を把握して、基礎の掘出し調査を安全に行えるかどうか判断するための資料とする。

掘出し調査の位置は、原則として建物の沈下・傾斜量が最も大きいところおよび建物四隅とする。また、対比のために沈下・傾斜が小さい部位についても掘削・観察することが望ましい。

基礎フーチングや基礎梁の目視観察では、小さなひび割れやクラックがある場合、クラックゲージなどを用いて各部位のひび割れ幅を計測する。ただし、コンクリートの剥落や鉄筋の露出、さらに鉄筋の曲がりや破断を生じている場合には、それらの状況を克明に観察し、損傷度の大きさを判定する。いずれの場合にも、写真撮影やスケッチなどを行い、第三者が損傷度を判断するための資料として観察記録を残す必要がある。

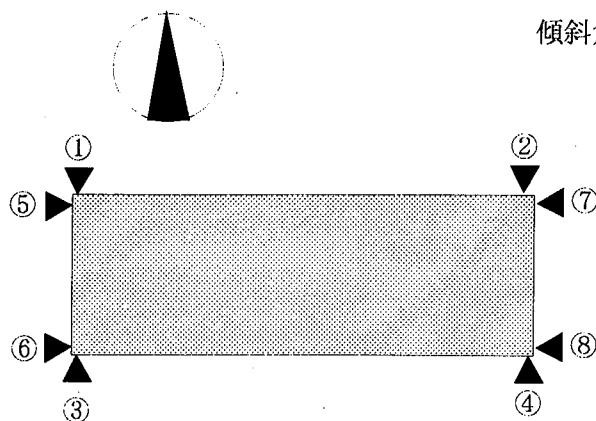


図4.2.2 建物傾斜の測定位置

$$\text{傾斜角 } \theta = \frac{L}{H}$$

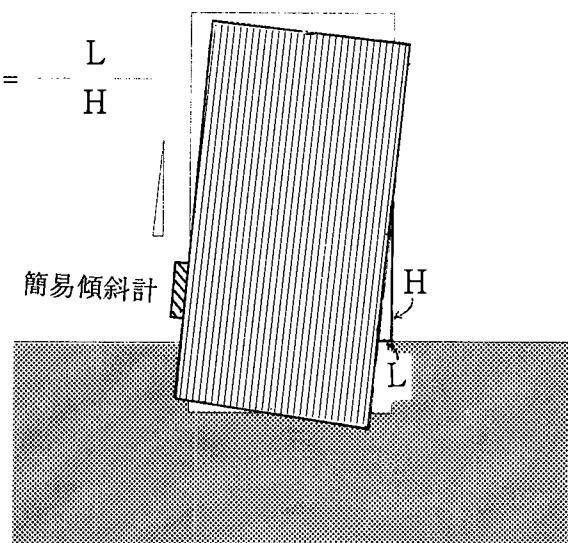


図4.2.3 建物傾斜の測定方法

4.2.2 杭基礎の調査

掘出し調査による杭頭部の観察において、杭体にひび割れを確認した場合には、そのひび割れ角度によって、損傷の主要因（軸力・曲げ・せん断）を判定する。一般に、ひび割れ角度が 45° から水平に近い場合は、軸力と曲げ応力が主要因であり、同角度が 45° から鉛直に近い場合は、軸力とせん断応力が主要因であると判定できる。また、これらに対して、水平ひび割れのみが確認された場合には、軸力（引張り力）が主要因であると判定できる。いずれの場合にも、ひび割れ幅の計測やひび割れ本数の確認、さらにコンクリートの剥落や鉄筋の座屈・折れ曲がりなどを観察し、損傷度の判定資料として、写真・スケッチなどに記録する。

目視観察できない地中部の杭体の健全性や損傷の部位・程度を調べる方法としては、主に下記のような、非破壊試験法や載荷試験などがある。

1) 低ひずみの弾性波動を用いた方法（インテグリティ試験）

この試験は、杭頭部付近を小型ハンマで打撃し、杭先端部や損傷箇所からの反射波を杭頭部に取り付けた加速度計で測定する方法である。杭体が健全であれば、杭先端部からの反射波のみが検出されるが、杭中間の反射波が大きく、先端からの反射波が不明確な場合などには、杭体のクラックや断面欠損などの可能性を評価できる。

ただし、この試験は、杭頭部にフーチングが接合され、既存建物を支持した状態で行う場合には、杭からの反射波のみでなく、上部のフーチングや柱からの反射波も混入して測定されるため、これらの影響を考慮した測定方法や解釈が必要となる。

2) 杭の中空部や杭体内ボアホールなどを用いて測定する方法

既成杭の中空部分や場所打ちコンクリート杭の削孔ボアホールなどを利用して、各種の計測を行い、杭体の被害状況を直接的に把握する方法がある。ただし、これらの調査は、基本的に杭頭部がフリーである場合に有効であり、フーチングなどがあればこれらを削孔する必要がある。なお、一般的には杭全数に対してこれらの調査を行うことは困難であるため、先の弾性波動を用いた方法と併用して、実施することが多い。

この方法では、次のような測定器が実際に利用されている。（表4.2.1参照）

- ・ボアホールカメラ
- ・傾斜計

3) その他の調査

被災状況の調査の他、杭基礎の補修や再利用の可能性を検討するために載荷試験を行うことがある。建物の基礎として実際に使用されていた杭に対し、載荷試験を行う場合には、その杭が負担していた鉛直荷重を仮受けしてから試験を行う必要がある。この仮受けとしては、一般にフーチングを反力として、鋼管をジャッキ圧入する方法が採られる。また、載荷試験の反力は、フーチング上の荷重や周辺の杭に負担させる。

4.2.3 支持地盤および周辺地盤の調査

直接基礎の建物が沈下する主な原因は、支持地盤の地耐力不足である。特に砂地盤では、液状化現象によって地耐力が大きく低下するため、被災した建物周囲の噴砂や地割れ状況を踏査によって確認する必要がある。また、臨海部などでは、地盤全体が側方流動して建物基礎に過大な外力が作用する可能性もあるため、被災前後の周辺地形の変化などを踏査や震災後の地盤変状に関する文献情報などに基づいて確認することも必要である。なお、液状化現象などによる地盤の大まかな沈下量は、杭基礎（支持杭）の抜上がり量などから推定することができる。

さらに斜面地では、既往地震に多く見られた傾斜地盤のはらみ出し、亀裂、崩壊、落石などの被害形態や、斜面地に付帯する擁壁などの構造物の亀裂、移動、陥没状況などを調査し、写真撮影する。図4.2.4には、斜面地における地盤および擁壁の調査項目を示した。

なお、現地踏査などによる目視を主体とした調査のみでは、被災形態やその規模、さらに被災の主要因を検討するのに必要な地盤構成を把握できないことがある。この場合には、既往の地盤調査資料の見直しや簡易なサウンディング試験装置による地盤調査、さらに必要があれば、基礎の補修工法を検討するためのボーリング調査を実施することもある。

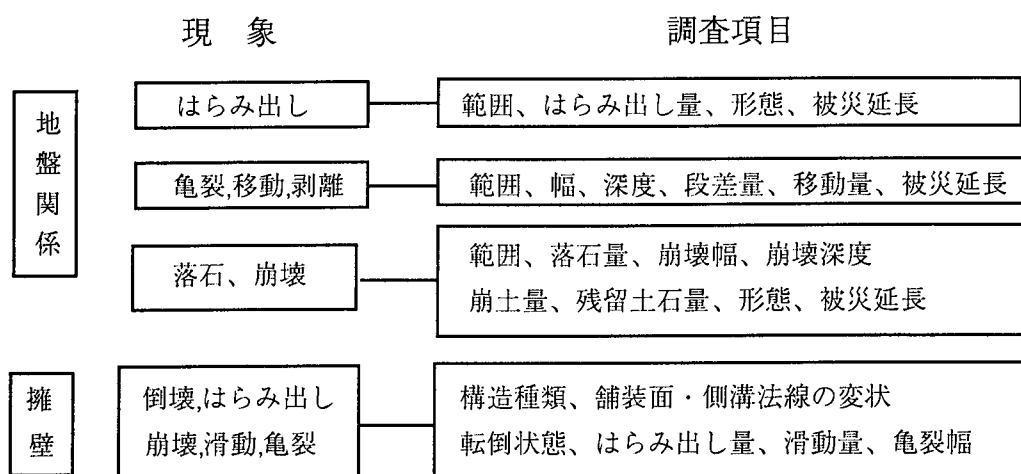


図4.2.4 斜面地（地盤・擁壁）の調査項目

4.3 基礎の被災度区分判定

4.3.1 基礎構造の損傷割合による判定

- (1) 基礎構造の損傷割合 D_i (i は部材の損傷度 I ~ V を表す) の合計値 (D) により、被災度区分を次のように判定する。

$$\text{[小破]} \quad 5 < D = \sum D_i$$

$$\text{[中破]} \quad 10 < D < 50$$

$$\text{[大破]} \quad 50 \leq D$$

- (2) 損傷割合 D_i の計算方法

- a) 基礎の総数 A_0 と調査可能な基礎の数 A を求める。
b) (3)項の分類基準に従い、基礎の損傷度 (I ~ V) を判定し、同一の損傷度に分類された基礎の数 B_i を各損傷度ごとに求める。
c) A と B_i の値を基にして、次式により D_i を計算する。

$$D_1 = 10 \times B_1 / A \quad (B_1 / A \leq 0.5 \text{ の時})$$

$$= 5 \quad (B_1 / A > 0.5 \text{ の時})$$

$$D_2 = 26 \times B_2 / A \quad (B_2 / A \leq 0.5 \text{ の時})$$

$$= 13 \quad (B_2 / A > 0.5 \text{ の時})$$

$$D_3 = 60 \times B_3 / A \quad (B_3 / A \leq 0.5 \text{ の時})$$

$$= 30 \quad (B_3 / A > 0.5 \text{ の時})$$

$$D_4 = 100 \times B_4 / A \quad (B_4 / A \leq 0.5 \text{ の時})$$

$$= 50 \quad (B_4 / A > 0.5 \text{ の時})$$

$$D_5 = 1000/7 \times B_5 / A \quad (B_5 / A \leq 0.35 \text{ の時})$$

$$= 50 \quad (B_5 / A > 0.35 \text{ の時})$$

(3) 基礎の損傷度分類基準

a) 基礎の損傷度は、その基礎を構成している杭及び基礎スラブ及び基礎梁の損傷度のうち、最も大きいものを採用する。

また、杭が複数ある場合の杭の損傷度は最も大きい損傷度を採用する。基礎梁についても同様とする。

b) 杭の損傷度の分類はその残余耐震性能を考慮の上、適切に決定する。

表4.3.1.1 杭の損傷度分類の基準
(場所打ちコンクリート杭)

損傷度	被害の種類	軸力と曲げによる被害 (ひび割れが45°から水平に近い場合)	軸力とせん断による被害 (ひび割れが45°から鉛直に近い場合)	軸力による被害 (水平ひび割れのみ発生している場合)
I		<ul style="list-style-type: none"> 細い曲げひび割れ(水平ひび割れ)0.2mm以下 細い曲げせん断ひび割れ(45°ひび割れ)0.2mm以下 1.5D以内に片側1~3本程度 コンクリートの剥落なし 	<ul style="list-style-type: none"> 細いひびわれ 0.2mm以下 1~3D以内に1本程度 コンクリートの剥落なし 	<ul style="list-style-type: none"> 細い水平ひび割れ 0.2mm以下 ひび割れ間隔 1D程度以上 コンクリートの剥落なし
II		<ul style="list-style-type: none"> 水平ひび割れ 1mm程度 45°ひび割れ 1mm程度 1.5D以内に片側1~3本程度 コンクリートの剥落なし、または表面剥離 鉄筋は見えない 	<ul style="list-style-type: none"> 細いひび割れ 1mm程度 1~3D以内に1本程度 コンクリートの剥落なし 	<ul style="list-style-type: none"> 細い水平ひび割れ 1mm以下 ひび割れ間隔 0.5~1D以下 コンクリートの剥落なし
III		<ul style="list-style-type: none"> 水平ひび割れ 1~2mm程度 45°ひび割れ 1~2mm程度 1.5D以内に3本程度、またはひび割れ間隔20~30cm程度 局所的な表面コンクリートの剥落、高さにして約10cmまたは0.2D 鉄筋は少し見えてもよい 	<ul style="list-style-type: none"> ひび割れ 1~2mm程度 1~3D以内に1~2本程度 斜めひび割れの上端部でわずかにコンクリートが剥落している 横筋は見えない 	<ul style="list-style-type: none"> 水平ひび割れ 2mm程度 ひび割れ間隔 0.5~1D以下 コンクリート剥落はひび割れに沿ってわずか10cm幅程度 鉄筋はコンクリート剥落部分からわずかに見える
IV		<ul style="list-style-type: none"> 水平ひび割れ 2mm以上 45°ひび割れ 2mm以上 1.5D以内に5本程度 ひび割れ間隔20~30cm程度 表面コンクリートの剥落 約20~30cm程度または0.5D程度 鉄筋内側のコンクリートは残っている 鉄筋が局部的に座屈している 縦ひび割れが発生している 	<ul style="list-style-type: none"> ひび割れ 2mm以上 1~3D以内に2~3本程度 斜めひび割れに沿ったコンクリートの剥落がある 斜めひび割れに沿った鉄筋が見える 鉄筋は座屈していない 	<ul style="list-style-type: none"> コンクリートの剥落がひび割れに沿って生じている10cm幅程度 コンクリートの剥落に沿って鉄筋が露出している 杭頭とフーチングが離れ、定着鉄筋が見える
V		<ul style="list-style-type: none"> 杭が軸方向に縮んでいる コンクリートがはじけ、鉄筋がすべて座屈している 鉄筋が破断している 	<ul style="list-style-type: none"> 斜めひび割れに沿って鉄筋が座屈している 鉛直方向に縮んでいる 鉄筋が破断している 	<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋が座屈している 軸方向に縮んでいる 杭が折れ曲がっている 鉄筋が破断している

注) 表中のDは杭径を表わす

損傷度	I	II	III	IV	V
軸力と曲げによる被害	基礎スラブ 1.5D 以内に 1~3本 0.2mm以下 D	基礎スラブ 1.5D 以内に 1~3本 1mm程度 表面剥離 鉄筋は見えない D	基礎スラブ 1.5D 以内に 3本程度 約10cm または 0.2D 1~2mm程度 局所的な剥落 鉄筋が少し見えてもよい D	基礎スラブ 表面コンクリートの剥落 縦ひび割れ 鉄筋が局部的に座屈 D	基礎スラブ 軸方向に縮んでいる 鉄筋がすべて座屈 鉄筋の破断 D
杭	基礎スラブ 1~3D 0.2mm以下 D	基礎スラブ 1~3D 1mm程度 D	基礎スラブ 1~3D コンクリートの剥落 鉄筋は見えない 1~2mm程度 D	基礎スラブ 1~3D コンクリートの剥落 2mm以上 鉄筋が見える 鉄筋は座屈していない D	基礎スラブ 軸方向に縮んでいる 鉄筋が座屈 鉄筋の破断 D
基礎	基礎スラブ 1D程度以上 0.2mm以下 D	基礎スラブ 0.5~1D 以下 1mm以下 D	基礎スラブ 0.5~1D 以下 鉄筋がわずかに見える コンクリートの剥落 10cm幅程度 (わずかに) 2mm程度 D	基礎スラブ フーチングと離れる 定着鉄筋が見える コンクリートの剥落 鉄筋の露出 D	基礎スラブ 軸方向に縮んでいる 鉄筋が座屈 鉄筋が破断 杭の折れ曲がり D

図4.3.1.1 場所打ちコンクリート杭の損傷度と損傷パターン

- c) 基礎スラブの損傷度の分類はその残余耐震性能を考慮の上、適切に決定する。
- d) 基礎梁の損傷度の分類は別途定められた梁の分類基準による。

[解説]

(1) 上部構造に顕著な被害がないにも拘わらず建築物に全体傾斜が観察される場合には、基礎構造に被害が生じている可能性が高い。被災度区分判定は、その目的が基礎の被災後の残余耐震性能の調査結果に基づく基礎に対する補修あるいは補強の要否の判定にあるため、基本的には基礎全てについての損傷度調査がなされるべきである。しかしながら、基礎構造については一般に調査が困難で、調査にかなりの経費を要することが多い。従って被災度区分判定レベルの調査では調査不能の構造部材がありうることを前提としているが、調査部材数が少なれば調査結果が判定に及ぼす精度・信頼度の問題も生じてくるので、調査率（調査した基礎数を全基礎数で除した値）はできるだけ高い方が望ましい。調査率が低い場合でも、少なくとも建物隅角部（出隅部）の基礎については調査が必要である。また、調査率が低く、補強の要否の判定がボーダーラインに近い場合には、さらに調査数を増やすなど、適切な対応が必要である。

- (2) 直接基礎の場合の基礎の損傷度は、その基礎を構成している基礎スラブ及び基礎梁の損傷度のうち、最も大きいものを採用する。
- (3) 表4.3.1.1及び図4.3.1.1は場所打ちコンクリート杭の損傷度分類基準及び損傷パターンを示している。また、既製コンクリート杭(PC,PHC,PRC)ではプレストレスが導入されているため、場所打ちコンクリート杭に比較して、損傷度を高めに評価するとした損傷度分類の例を表4.3.1.2に示す。なお、RC杭は場所打ちコンクリート杭に準ずる。

表4.3.1.2 既製コンクリート杭(PC,PHC,PRC)の損傷度分類の一例

損傷度	被害の種類		
	軸力と曲げによる被害 (ひび割れが水平から45°に近い場)	軸力とせん断による被害 (ひび割れが45°から鉛直に近い場合)	軸力による被害 (水平ひび割れのみ発生している場合)
I	<ul style="list-style-type: none"> ・ 細い曲げひび割れ(水平ひび割れ) 0.1mm以下 ・ 細い曲げせん断ひび割れ(45°ひび割れ) 0.1mm以下 ・ 1.5D以内に片側1~3本程度 ・ コンクリートの剥落なし 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 細いひび割れ 0.1mm以下 ・ 3D以内に片側1本程度 ・ コンクリートの剥落なし 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 細い水平ひび割れ 0.1mm以下 ・ ひび割れ間隔 0.5D程度以上 ・ コンクリートの剥落なし
III	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水平ひび割れ 1mm程度以下 ・ 45°ひび割れ 1mm程度以下 ・ 1.5D以内に片側3本程度、またひび割れ間隔20~30cm程度以下 ・ 局所的な表面コンクリートの剥落、高さにして約10cmまたは0.2Dがあってもよい ・ 鋼材は少し見えてもよい 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 細いひび割れ 0.5mm程度以下 ・ 3D以内に片側3本程度以下 ・ コンクリートの剥落なし 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水平ひび割れ 1mm程度以下 ・ ひび割れ間隔 0.5D以下 ・ コンクリート剥落はひび割れに沿ってわずか10cm幅程度以下
V	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水平ひび割れ 1mmを越える ・ 45°ひび割れ 1mmを越える ・ 1.5D以内に片側5本程度以上 ・ ひび割れ間隔20~30cm程度以下 ・ 鋼材が局所的に座屈または破断している ・ 縦ひび割れが発生している ・ 杭が軸方向に縮んでいる ・ コンクリートがはじけている 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ひび割れ 0.5mmを越える ・ 3D以内に片側3本程度以上 ・ 斜めひび割れに沿ったコンクリートの剥落がある ・ 斜めひび割れに沿って鋼材が座屈または破断している ・ 杭が軸方向に縮んでいる 	<ul style="list-style-type: none"> ・ コンクリートの剥落がひび割れに沿って生じている10cm幅程度以上 ・ コンクリートの剥落に沿って鋼材が露出している ・ 杭とフーチングが離れ、定着鉄筋が見える ・ 鋼材が座屈または破断している ・ 杭が軸方向に縮んでいる ・ 杭が折れ曲がっている

注) 表中のDは杭径を表わす

(4) 例として、表4.3.1.3及び図4.3.1.2に基礎スラブの損傷度分類基準及び損傷パターンを示す。

表4.3.1.3 基礎スラブの損傷度分類の基準

損 傷 度	損 傷 内 容
I	<ul style="list-style-type: none"> ・ 細いひび割れ0.2mm以下。 ・ コンクリートの剥落なし。
II	<ul style="list-style-type: none"> ・ ひび割れ0.2～1mm程度。 ・ コンクリートの剥落なし。 ・ わずかな表面剥落，鉄筋は見えない。
III	<ul style="list-style-type: none"> ・ ひび割れ1～2mm程度。 ・ コンクリートの剥落は、極くわずかである。 ・ 鉄筋は少し見えてもよい。
IV	<ul style="list-style-type: none"> ・ ひび割れ2mm以上。 ・ コンクリートの剥落が厳しい。 ・ 鉄筋がかなり露出。
V	<ul style="list-style-type: none"> ・ 鉄筋が曲がり、内部のコンクリートも崩れ落ちている。 ・ 基礎スラブの高さ方向の変形が生じている。 ・ 沈下や傾斜が見られる。 ・ 鉄筋の破断が生じている場合もある。

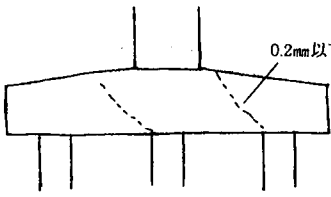
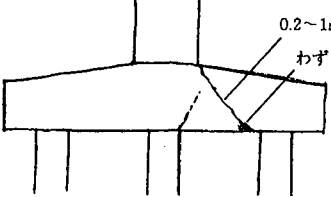
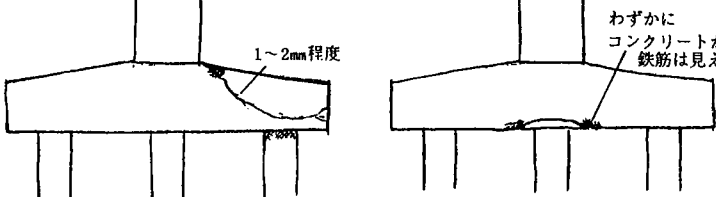
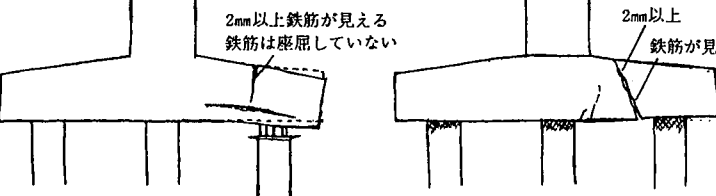
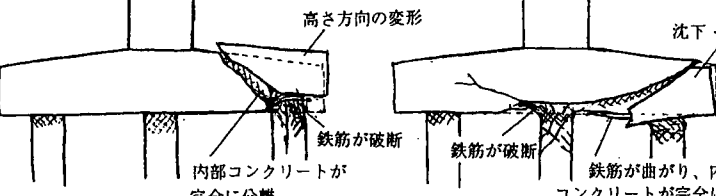
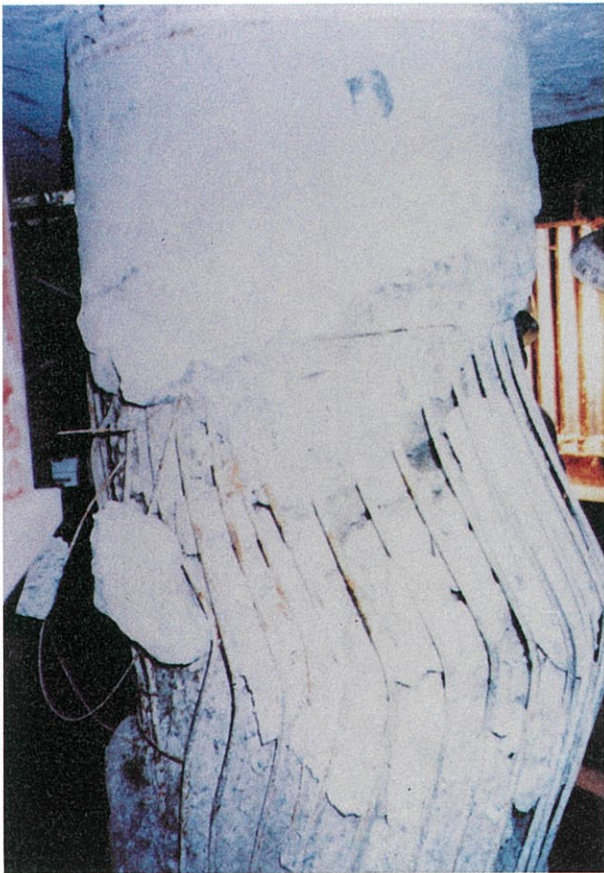
損傷度	損傷内容
I	 <p>0.2mm以下</p>
II	 <p>0.2~1mm程度 わずかな表面剥離 鉄筋は見えない</p>
III	 <p>1~2mm程度 わずかに コンクリートが剥落 鉄筋は見えない</p>
IV	 <p>2mm以上鉄筋が見える 鉄筋は座屈していない 2mm以上 鉄筋が見える</p>
V	 <p>高さ方向の変形 沈下・傾斜 鉄筋が破断 鉄筋が破断 内部コンクリートが完全に分離 鉄筋が曲がり、内部のコンクリートが完全に分離</p>

図4.3.1.2 基礎スラブの損傷度と損傷パターン

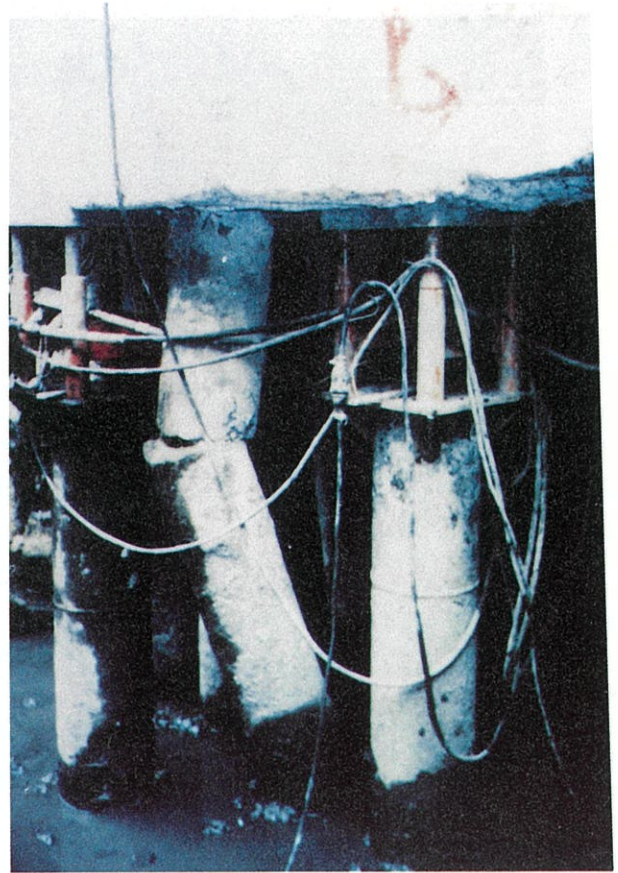
(5) 杭、基礎スラブ及び基礎梁の各損傷度に対応する被災例の写真を以下に示す。



損傷度 V



損傷度 V



損傷度 V

杭の被災例



損傷度 V

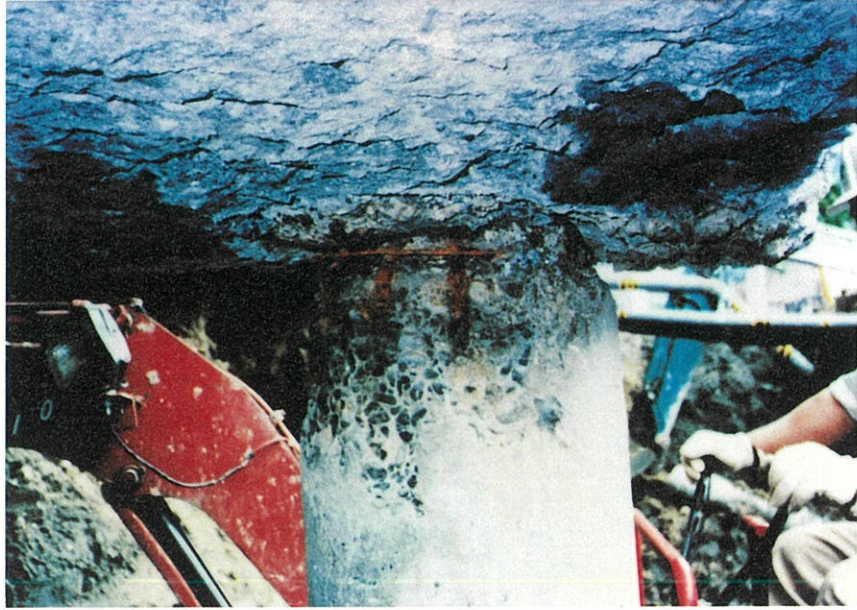


損傷度 V

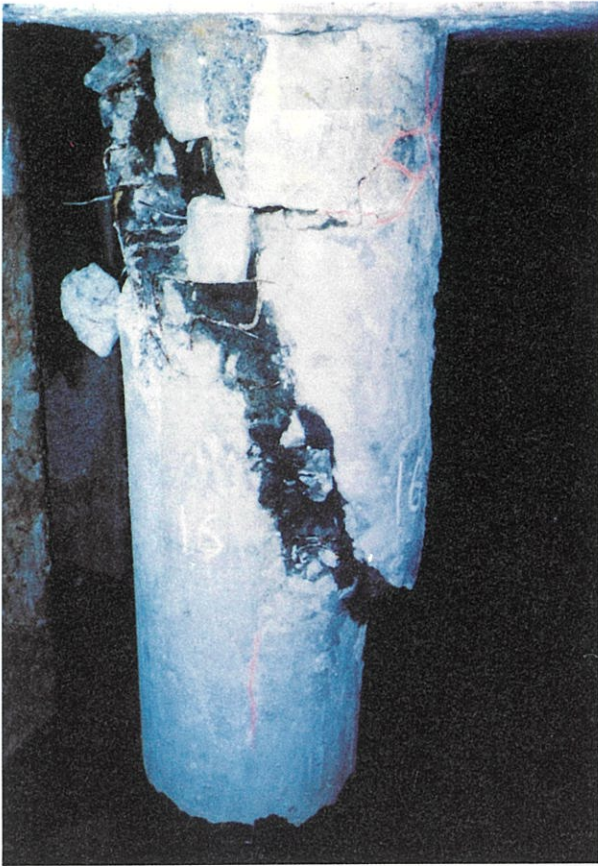


損傷度 V

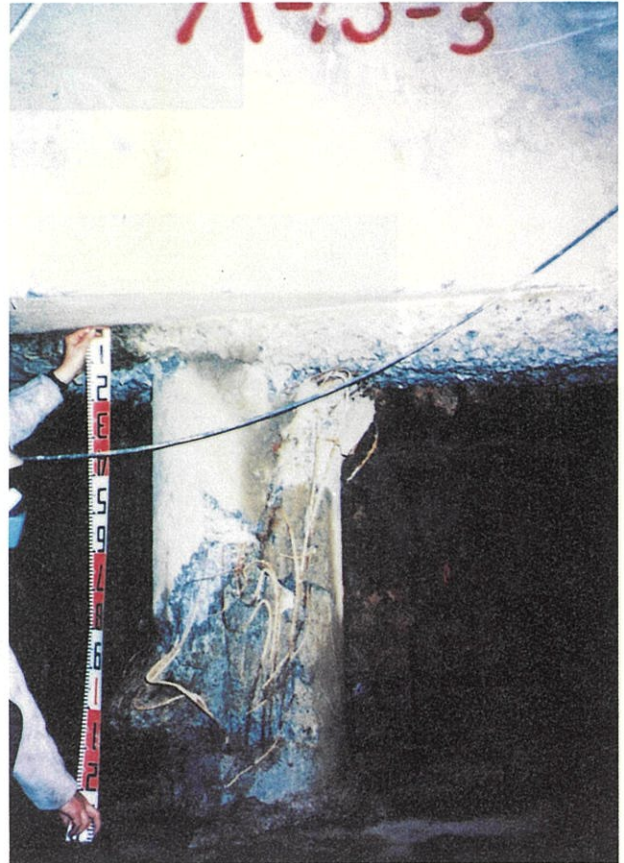
杭の被災例



損傷度Ⅴ



損傷度Ⅴ

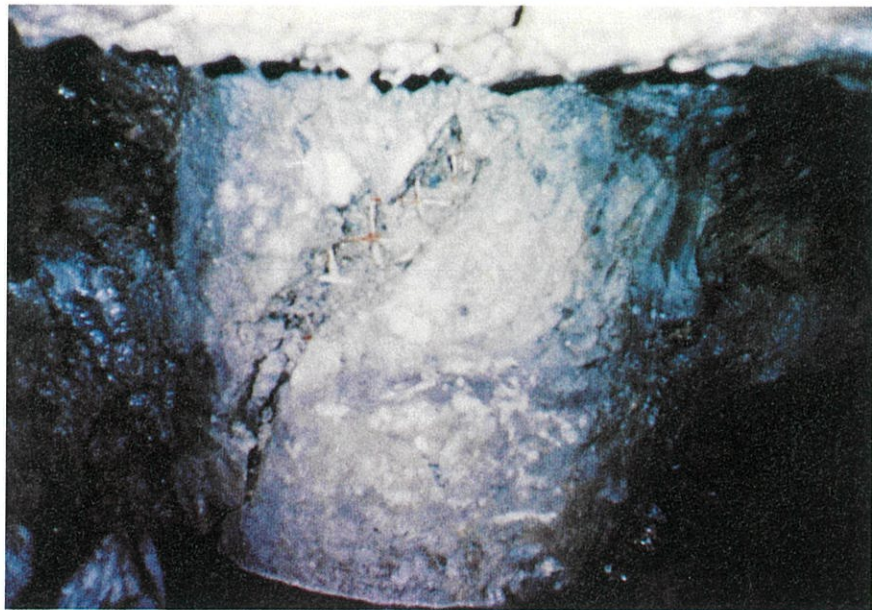


損傷度Ⅴ

杭の被災例



損傷度V



損傷度V

杭の被災例

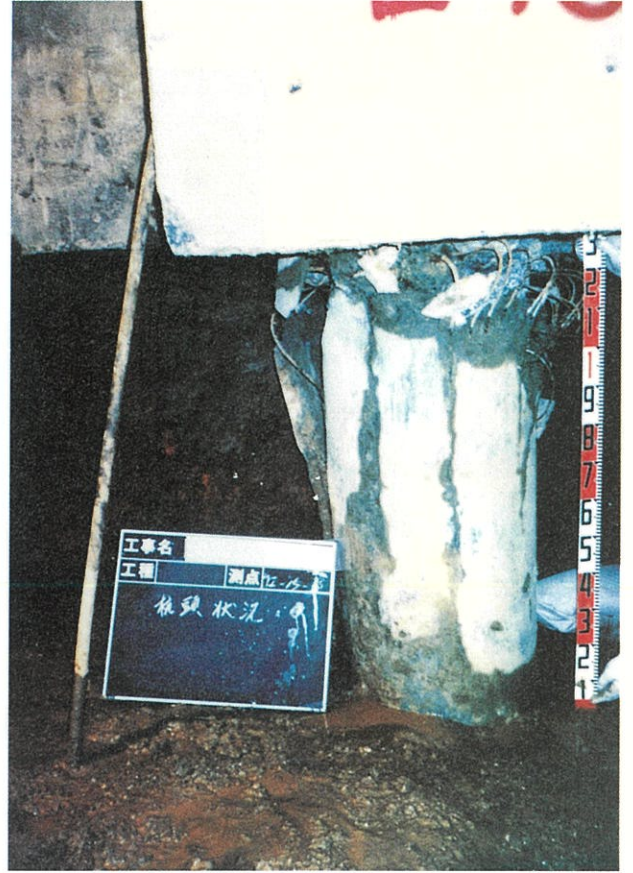


損傷度V



損傷度V

杭の被災例



杭の被災例(損傷度V)



損傷度Ⅳ

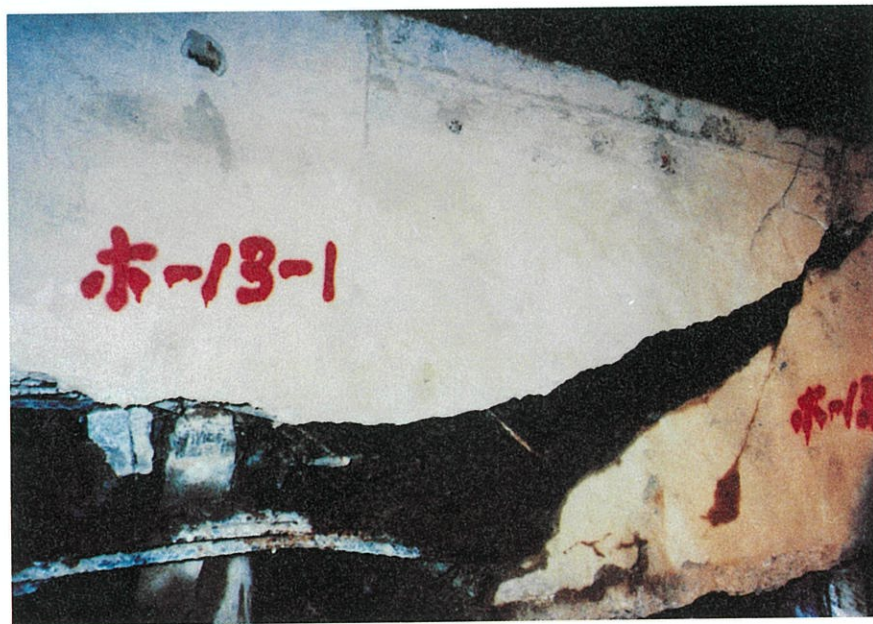


損傷度Ⅴ

基礎梁の被災例



損傷度Ⅴ



損傷度Ⅴ

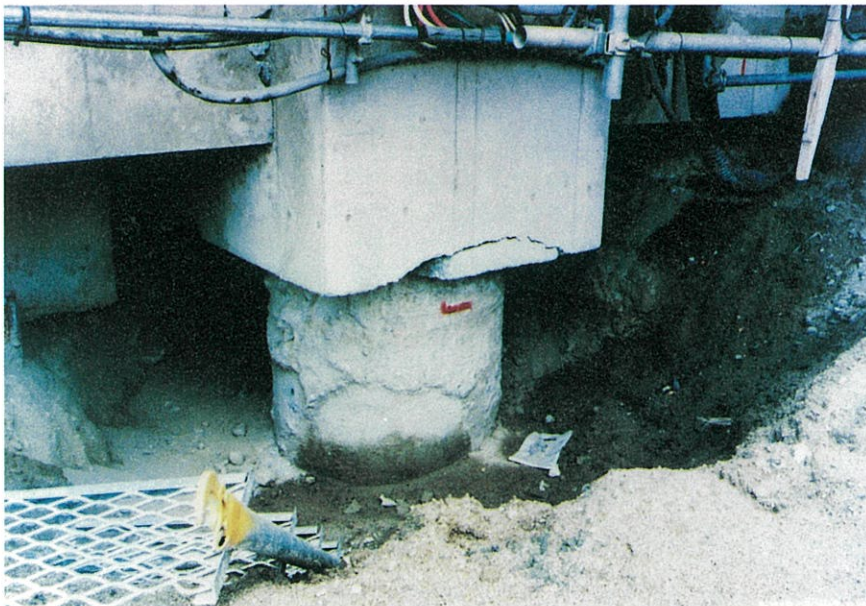
基礎スラブの被災例



損傷度Ⅳ

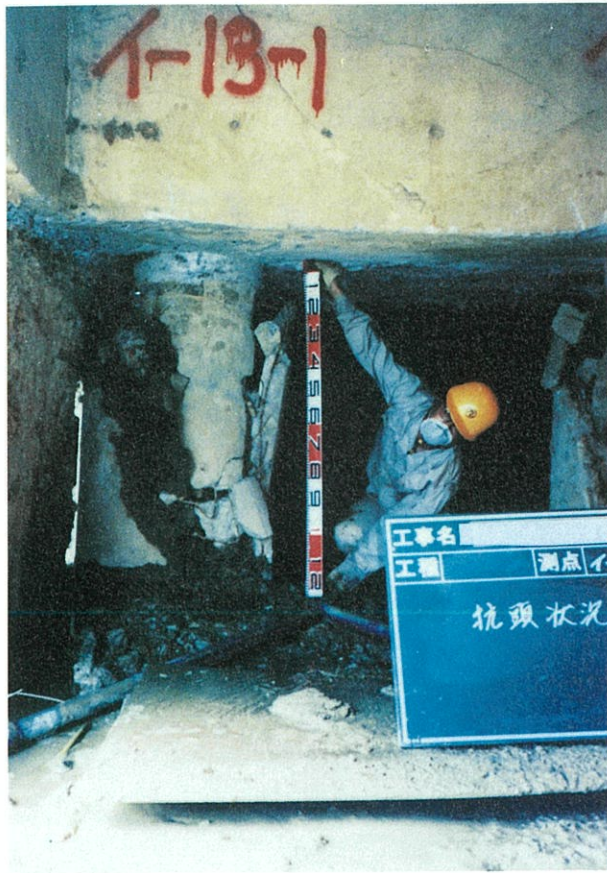


損傷度Ⅴ



損傷度Ⅲ

基礎スラブの被災例

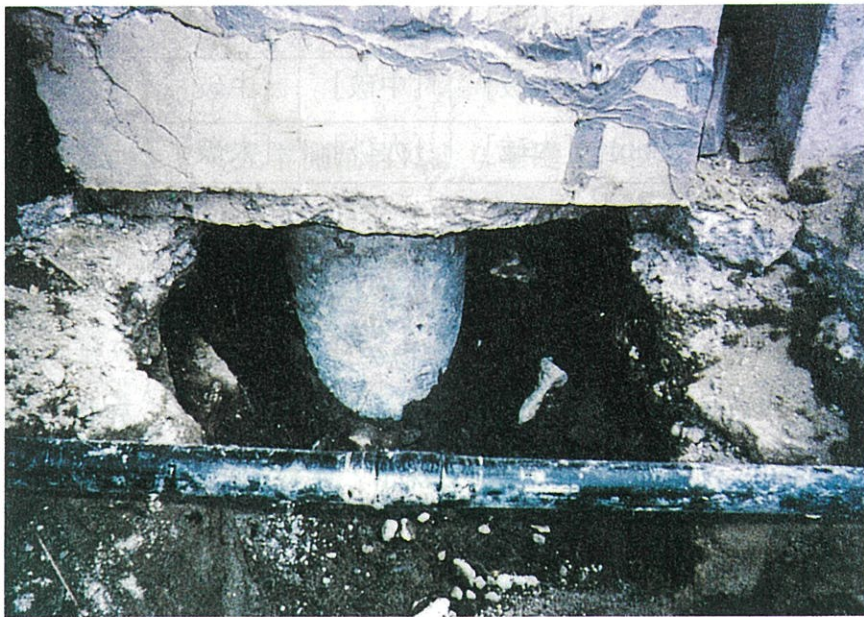
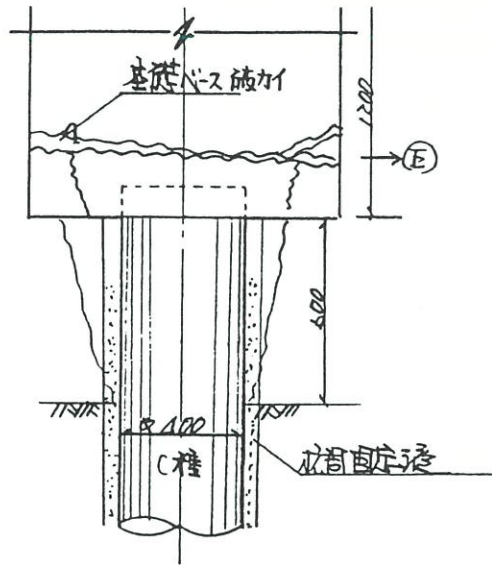
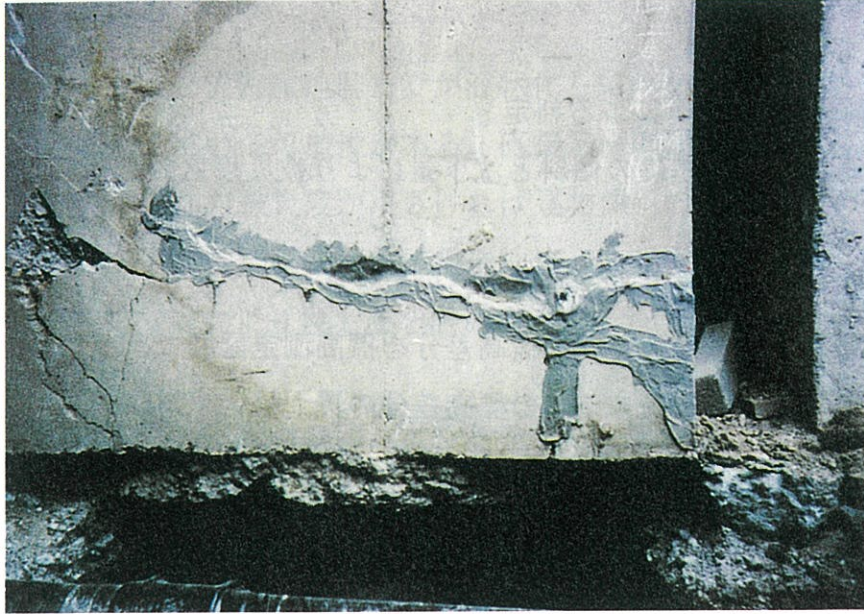


損傷度Ⅱ



損傷度Ⅲ

基礎スラブの被災例



被災した基礎スラブ（損傷度Ⅳ）の応急復旧状況

4.3.2 基礎傾斜，沈下による判定

建物の基礎形式と基礎の傾斜と沈下量により被災度区分を表4.3.2.1，4.3.2.2のように判定する。

基礎形式は，杭基礎と直接基礎とに区分する。

基礎の傾斜は，基礎スラブの標高差分を標高測定区間で割った値の最大値とする。

基礎の沈下量は，基礎スラブの標高差分の最大値とする。

地盤沈下により基礎が突出した場合には，突出量と傾斜により判定する。

表4.3.2.1 杭基礎建物の基礎の傾斜と沈下量による被災度区分

		基礎の沈下量(m)			
		0	0.1	0.3	
基礎 の 傾 斜	1/300	[無被害]	[小破]	[中破]	
		[小破]	[中破]	[中破]	[大破]
	1/150 1/75 (radian)	[中破]	[中破]	[大破]	[大破]
		[大破]	[大破]	[大破]	[大破]

表4.3.2.2 直接基礎建物の基礎の傾斜と沈下量による被災度区分

		基礎の沈下量(m)			
		0.05	0.1	0.3	
基礎 の 傾 斜	1/150	[無被害]	[小破]		
		[小破]	[中破]	[中破]	
	1/75 1/30 (radian)	[中破]	[中破]	[中破]	[大破]
		[大破]	[大破]	[大破]	[大破]

[解説]

基礎スラブ，杭から構成される基礎構造物や，支持地盤の破壊によって建物全体が地表面から沈下した被害の状況を「建物の沈下」と定義し，建物の沈下に伴って建物全体が傾斜した被害の状況を「建物の傾斜」と定義する。建物の傾斜や沈下のうち基礎スラブの傾斜・沈下を基礎の傾斜・沈下と定義する。

被災した基礎の安全性が基礎の傾斜，周辺地盤の沈下量により大きく影響されることが考えられるため，基礎スラブ，杭の損傷度とは別に基礎の傾斜や沈下により被災度区分を判定する。

支持杭を用いた建物では、杭先端地盤までが液状化していない限り傾斜や沈下があるものは杭体に被害が生じている可能性がある。直接基礎の建物では、大きな傾斜や沈下があっても上部構造躯体の被災度が小さければ建物傾斜の修正により復旧を終了するものがほとんどである。このように基礎構造物により被災の状況や復旧の方法が異なるため杭基礎と直接基礎により被災度を区別する。

1) 基礎傾斜による判定

基礎の傾斜は、原則として光学測量器により測定した基礎スラブの標高差を標高測定区間で割って求めるが、簡易な測量器を用いるなど他に適当な方法を用いてもよい。

杭が損傷して基礎スラブ間に相対沈下量の差異が生じた場合、全体傾斜で判定すると傾斜角が小さくなり杭の損傷による傾斜を見落とすことがある。このため基礎の傾斜は、標高差を標高測定区間で割って求める傾斜の最大値とした。

被災した建物の基礎の掘出し調査結果^{2),3),4)}によると、傾斜角 $1/100$ 以上はすべての事例、 $1/100 \sim 1/300$ でも $2/3$ の事例の基礎杭は損傷を受けている³⁾。また、上部構造の損傷割合の合計値を求める方法⁶⁾により計算した杭の損傷割合は傾斜角の大きい建物ほど大きく補強する事例が多い⁴⁾ため、杭基礎建物は傾斜角が $1/300$ 以上を被災有と判定し、これ以上の傾斜角を3段階に区分し判定する。

直接基礎の場合には、基礎スラブの損傷により基礎スラブに相対沈下が生ずることは少なく、基礎の傾斜・沈下による被災度は建物全体傾斜角で判定しても良い。また、基礎スラブが損傷してもその被災度を目視で確認できる場合が多い。

被災した建物の基礎の掘出し調査結果^{2),5)}によると、傾斜角が $1/150$ 以下の直接基礎では補修した事例はない。このため、傾斜角が $1/150$ 以上を被災有と判定し、これ以上の傾斜角を3段階に区分し判定する。

2) 沈下量による判定

建物の沈下量は、原則として光学測量器により基礎スラブの標高と地盤の標高を測定して求めるが、簡易な測量器を用いるなど他に適当な方法を用いてもよい。

絶対沈下量は、沈下を生じる前の基準点が押さえにくく測定が難しい。このため、基礎の沈下量は基礎スラブの標高差分の最大値とする。

被災した建物の沈下量と杭の損傷度との調査結果^{2),3),4)}では、沈下量が 0.1m を超えたものでは杭頭に大きな損傷を負っているものがあり、沈下量が 0.3m を超えると杭は大きな損傷を負い³⁾、非破壊テストで杭中間部が損傷している物も発見されている⁴⁾。このため、沈下量 0.1 と 0.3m により判定を区分する。

直接基礎では、沈下量の大きい被災した建物でも傾斜の修正により復旧しているも

のが多い。上部構造の被災度が小さければ建物の傾斜が復旧工事の目安となる。対沈下量が0.05mを超えた建物で無補修の物はないことから、沈下量0.05mを基準とした。

3) 判定

・杭基礎建物

杭基礎建物の基礎の傾斜と沈下量による被災度区分は、基礎の傾斜による判定と基礎の沈下による判定の大きい被災度区分を採用する。傾斜および沈下の判定が同じ場合には無被害を除き被災度を1ランク上げる。

杭基礎建物の基礎の傾斜と沈下量による被災度区分を解説表4.3.2.1に示す。なお、沈下量が0.3m以上で傾斜角が1/300以下となることは想定できないので適用外とする。

解説表4.3.2.1 杭基礎建物の基礎の傾斜と沈下量による被災度区分

		基礎の沈下量(m)				
		0		0.1	0.3	
		[無被害]	[小破]	[中破]	[大破]	
基礎の傾斜	1/300	[無被害]	[無被害]	無・小 [小破]	無・中 [中破]	N.A.
		[小破]	小・無 [小破]	小・小 [中破]	小・中 [中破]	小・大 [大破]
	1/150	[中破]	中・無 [中破]	中・小 [中破]	中・中 [大破]	中・大 [大破]
		[大破]	大・無 [大破]	大・小 [大破]	大・中 [大破]	大・大 [大破]

・直接基礎建物

傾斜と沈下量による被災度区分は、基礎の傾斜による判定と基礎の沈下による判定の大きい被災度区分を採用する。傾斜および沈下による判定が同じ場合には無被害を除き被災度を1ランク上げる。

基礎の傾斜と沈下量による被災度区分を解説表4.3.2.2に示す。なお、沈下量が0.1m以上で傾斜角が1/150以下、沈下量が0.3m以上で傾斜角が1/75以下となることは想定できないので適用外とする。

解説表4.3.2.2 直接基礎建物の基礎の傾斜と沈下量による被災度区分

		基礎の沈下量(m)				
		0.05	0.1	0.3		
		[無被害]	[小破]	[中破]	[大破]	
基礎の傾斜	1/150	[無被害]	[無被害]	無・小 [小破]	N.A.	N.A.
		[小破]	小・無 [小破]	小・小 [中破]	小・中 [中破]	N.A.
	1/75	[中破]	中・無 [中破]	中・小 [中破]	中・中 [大破]	中・大 [大破]
		[大破]	大・無 [大破]	大・小 [大破]	大・中 [大破]	大・大 [大破]

基礎の傾斜と沈下量測定例を図4.3.2.1に示す。

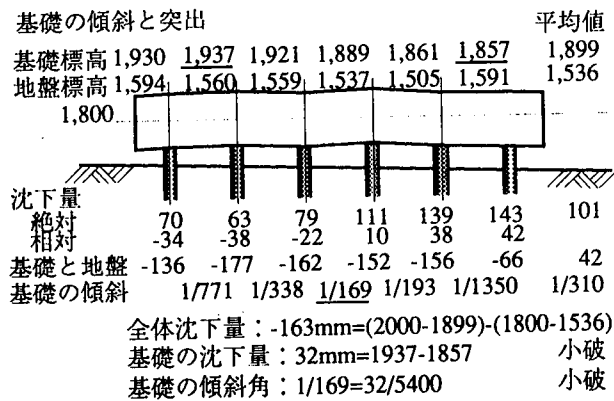
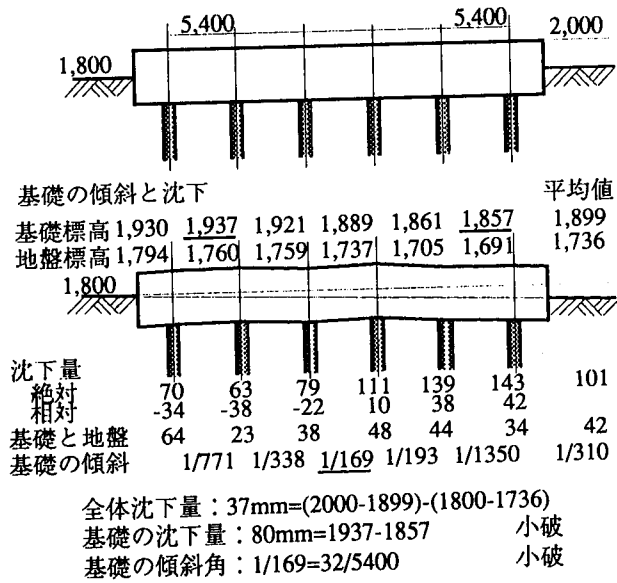


図4.3.2.1 基礎の傾斜と沈下量測定例

4.3.3 支持地盤の変状による判定

建物周辺で地盤の変状を確認した場合、基礎形式に合わせ被災度区分を表4.3.3.1のように判定する。

表4.3.3.1 支持地盤の変状と基礎形式による被災度区分

支持地盤の変状度合		基礎形式	
		直接基礎	杭基礎
斜面地	擁壁，斜面崩壊	[大破]	[大破]
	擁壁・施設の沈下・変位，亀裂	[小破]	[小破]

[解説]

被災度区分を判定する際、地盤沈下・側方流動・液状化および斜面崩壊の基礎への影響を考慮する必要がある。

斜面や擁壁の崩壊など斜面変状があった場合、斜面上の建物や斜面に近接する建物は適切な機能と安全性を保持するための斜面の安全対策が取られるまで斜面崩壊や土砂災害が進む可能性があり基礎あるいは支持地盤が受けた被害の物的度合とは別の判定が必要である。

被災した直接基礎の被害形態とその要因分類²⁾⁵⁾では、液状化により建物が沈下・傾斜する事例が多く、次に斜面地での地盤のすべりと水際線での側方流動となっている。液状化や水際線での側方流動による建物基礎の被災度は沈下・傾斜測定により判定できるため、支持地盤の変状度合を判定する項目として斜面地の地盤変状に着目する。なお、直接基礎の被害形態調査は建物よりおおよそ60m以内の範囲で行なわれている。

図-4.3.3.1 に示すような擁壁や斜面の崩壊により基礎スラブや杭が露出している場合や、基礎構造物を含む建物敷地が崩壊している場合には建物の沈下や傾斜がない場合でも支持地盤が崩壊しているため大破とする。

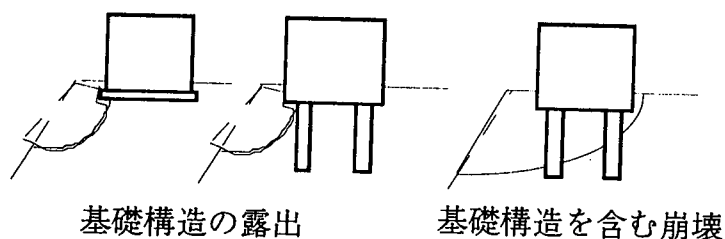


図-4.3.3.1 大破と判定する地盤崩壊例

なお、液状化の有無は、噴砂現象、亀裂、埋設施設の浮き上がりなどにより確認でき、液状化により地盤沈下を生ずることが多い。

地盤沈下により基礎が突出した場合には、突出量を地盤面からの負の数値で表す。この、突出量の絶対値を測定することが難しいうえ震災による液状化によるものと地盤沈下により生じていたものとの区別が難しい。また、基礎が突出した場合、地震の液状化を考慮して液状化が予想される地層の水平地盤反力や摩擦力を低減している場合でも耐震性能や変形特性が変化することが予想されるのでこれらについての検討も必要である。

なお、斜面や擁壁の崩壊や土砂災害に対する危険度は動態観測などにより判定する。

4.3.4 被災度区分判定

基礎構造物の損傷度、基礎傾斜・沈下、支持地盤の変状度合いの被災度区分のうち最も高い区分を基礎構造物の被災度区分結果とする。

なお、建物傾斜がある場合、基礎構造物の被災度区分とは別に用途、機能から別途被災度を判定する。

以下に機能上からの判定例を示す。

[無被害]	$\theta \leq 1/600$ (radian)
[小破]	$1/600$ (radian) $< \theta \leq 1/300$ (radian)
[中破]	$1/300$ (radian) $< \theta \leq 1/150$ (radian)
[大破]	$\theta > 1/150$ (radian)

[解 説]

基礎構造物の損傷度、建物傾斜、沈下、支持地盤の変状度合いの4項目の被災度区分のうち最も被災度の高い区分を建築物の被災度区分結果とする。

解説表4.3.4.1 被災度区分判定

被災度区分判定	被災度区分
[大破]	「被災度区分 [大破] 」が1以上
[中破]	「被災度区分 [大破] 」がなく「被災度区分 [中破] 」1以上
[小破]	「被災度区分 [大破] 」および「被災度区分 [中破] 」がない

参考・引用文献

- 1) 時松孝次：地盤および基礎構造から見た建物被害，土と基礎，Vol.44，No.2,pp14-18，1996.
- 2) 丸岡正夫，加倉井正昭，宮川治雄，三苫孝文，渡辺哲夫，小島政章：兵庫県南部地震における建物基礎の被害(その1)-被害調査の概要-．日本建築学会学術講演梗概集．1996.9
- 3) 青木雅路，佐藤英二，平井芳雄，丸岡正夫：兵庫県南部地震における建物基礎の被害(その2)-杭頭部の損傷度評価-．日本建築学会学術講演梗概集．1996.9
- 4) 佐藤英二，丸岡正夫，青木雅路，平井芳雄：兵庫県南部地震における建物基礎の被害(その3)-杭基礎の損傷と建物の傾斜-．日本建築学会学術講演梗概集．1996.9
- 5) 平井芳雄，丸岡正夫，山下清，青木雅路，佐藤英二：兵庫県南部地震における建物基礎の被害(その4)-直接基礎建物の沈下・傾斜と被災度-．日本建築学会学術講演梗概集．1996.9
- 6) 日本建築防災協会編：震災建築物等の被災度区分判定規準および復旧技術指針（鉄筋コンクリート造編），1991.7
- 7) 急傾斜地崩壊防止工事技術指針作成委員会：斜面崩壊防止工事の設計と実例-急傾斜地崩壊防止工事指針-(本編)，全国治水砂防協会，建設省河川局砂防部監修，1977.7

5. 補強等の要否について

被災した基礎構造の復旧に際しては、基本的には、被災以前の状態に復旧することを前提とする。従って、復旧は補修を原則とする。しかし、被災した基礎構造をどの程度のレベルにまで復旧するかについては、被災した時の地震動レベルや、上部構造の耐震性のレベルを考慮して決定されねばならない。これまでの基礎の設計は、一次設計レベル以下で行われているものが、ほとんどであり、二次設計まで行われた上部構造を有する建築物との設計上の整合性が取られていない場合もある。このような場合の復旧の判断は簡単ではないが、地盤条件や被災した地震動レベル、将来予想される地震動レベルまでを総合的に判断し、必要に応じて補強による復旧を考慮することも大切である。

6. 復旧設計

6.1 復旧計画

復旧計画にあたり、基礎構造の耐震性能の確保に加え、復旧後の基礎としての機能ならびに施工性、工期、経済性および関係法令に配慮する。

[解説]

基礎の補修・補強の方法は、対象となる基礎部材の損傷度、地盤の被災度、建物の傾斜・沈下等を総合的に考慮して決定する。

建築物全体および基礎部材（杭・フーチング・地中梁）の補修・補強の具体的な方法としては、下表に示すものがある。

表 6.1.1 補修・補強の方法

対 象	建 築 物 全 体	基 礎 部 材	
		杭	基礎スラブ・地中梁
方 法	1. 地盤改良 2. 杭の増設 3. 耐圧板の設置 4. アンダーピニング	1. 樹脂注入 2. 繊維シートの貼付け 3. 巻立て (鉄筋コンクリート・銅板)	1. 樹脂注入 2. 巻立て (鉄筋コンクリート・銅板)

建築物全体を対象とした補修の場合は、建築物の立地条件、土質条件、施工性、経済性に配慮しなければならない。

基礎部材を対象とした場合は以下の点に注意しなければならない。

①樹脂注入で補修する場合。

- 1) エポキシ樹脂を注入する場合、ひび割れ幅に適応した粘度および施工時期に応じた可使用時間を有する材料を選定する。粘性によっては、対象となるひび割れに十分注入する事が出来ない場合があるので注意しなければならない。エポキシ樹脂に対して溶剤の量を多くすることは、粘性を小さくし、施工性をし易くするが接着力の低下を招くことがあるので、注意しなければならない。また、一般的に用いられている注入用のエポキシ樹脂は、有機塩素化合物が数千ppm含まれている。理論的には水掛りの部位においてはアルカリ水中で加水分解を起こし、析出した塩素イオンや酸が鉄筋の腐食を起す可能性もあるので、湿潤面や基礎構造物には、ポリマーセメントスラリーや水中接着性・耐水性に優れた変性アクリル樹脂系の接着剤等を使用する。
- 2) 樹脂注入要領は、樹脂の通り道を確保させるために下部から上部に順次行うよう配慮しなければならない。

3) 表面ひび割れだけでなく、内部もひび割れが分散していること、鉄筋の降伏によって鉄筋周辺に隙間が生じるなどの理由から、樹脂注入量が通常のひび割れ補修の場合より2～4倍の量を必要とする事がある。

②繊維シートの貼付けの場合

繊維の方向に注意し、十分に樹脂が繊維に含浸するようにしなければならない。

また、使用する樹脂は硬化環境を考慮し、選択しなければならない。

③鉄筋コンクリートおよび鋼板の巻立ての場合

鉄筋コンクリートおよび鋼板の巻立ての場合は部材の剛性が変化することに留意しなければならない。鋼板を巻立てる場合は、隙間を樹脂、無収縮モルタル等で充填しなければならない。

6.2 復旧目標の設定

復旧設計を検討する場合、その耐震目標は原則として「地震力に対する建築物の基礎の設計指針」（日本建築センター）のレベルと同等とする。

[解説]

地震力を受ける建築物の基礎は、上部構造と同等の構造安全性を保持するように設計かつ施工されねばならない。この場合の構造安定性とは、上部構造において1次設計を行う場合の基礎構造の安全性を原則とするが、建築年度、構造形式等によっては被災により低下した建築物基礎の構造性能が被災前とほぼ同等になるように補修される場合も含まれる。

第2編 復旧技術資料集

1. 兵庫県南部地震における基礎被害調査結果総括表

2. 調査結果の統計処理にみる基礎被害の概要

1) 竣工年代別の基礎被害

(1) 竣工年代別の基礎の被災頻度

図-1.1 a) に示す竣工年代別の被災件数を見ると、被害は、70年代、80年代に竣工した建物に集中している。しかし、90年代の件数に施工中のものを加えると、70年代以降の建物とほぼ同件数の被害が発生していると見ることが出来る。

(2) 竣工年別被災率の推移

基礎構造の被害は、72年から91年に竣工した建物に大きく発生している。上部構造については、図-1.1 b) に示すように、71年および91年を境に被災率の抑制が着実に進んでおり、基礎構造の被災率分布と異なる傾向が認められる。

2) 地上階数別の被災率

基礎および建物被害について地上階数別の被災率を示したものが図-2.1である。この図より基礎構造の被害率と、上部構造の被害率を比べると地上階数の高い建物に基礎の被害が片寄る傾向が認められる。特に、7階以上の建物においては、その傾向が顕著である。

3) 基礎形式と上部構造種別ごとの被災率

図-3.1に示す上部構造種別毎の被災率をみると、基礎形式の違いによる差異はほとんど認められない。

4) アスペクト比と基礎被害

(1) アスペクト比別の基礎の被災頻度

図-4.1 a) に示した建物のアスペクト比と基礎の被災件数をみると、アスペクト比の大小による差異は少なく、アスペクト比2.5を境に被災頻度がやや低下する傾向が認められる。アスペクト比別の被災率を2.5に着目して示したものが図-4.1 b) である。今回の調査結果からは、アスペクト比の大小と基礎の被災率との明確な関係は得られておらず、他の調査結果との比較検討も含めて今後の課題とする必要がある。

(2) アスペクト比と被災建物の傾斜度

図-4.2に示す建物のアスペクト比と被災建物の傾斜度の関係を見ると、アスペクト比が大きいほど傾斜度が小さくなる傾向が認められる。この結果は、一般に説明されるアスペクト比と建物被害の関係に合致するものとは言い難い。しかし、アスペクト比と杭種の関係および杭種と傾斜度の関係をあわせて考え

ると、アスペクト比の小さい建物にはRC杭やPC杭などの既製杭が多用されており、これらの杭は、被災した場合に比較的大きな傾斜度を発現することが考えられるため、先に述べたようなアスペクト比の小さな建物において、相対的に大きな傾斜度が観測される一因となる可能性が指摘できる。

5) 沈下・傾斜と基礎の被災率

(1) 建物の沈下量別の被災率

建物の沈下量別の被災率と今回提案している被災度区分の関係を示したものが図-5.1である。基礎の傾斜度が0.01ラジアンにおける被災度区分を今回の調査結果に適用すると杭基礎において [大破] と判定されるものがおよそ64%、直接基礎において [大破] と判定されるものがおよそ56%である。

(2) 建物の傾斜度別の被災率

建物の傾斜度別の被災頻度を示したものが図-5.2 a) , b) である。図中には沈下量の場合と同様に沈下量0~100mmにおける被災度区分を示した。これによると [大破] の判定は、杭基礎で31%、直接基礎で0%となり、直接基礎において [大破] の判定が得られにくいという今回の神戸における被災実態を十分に反映できていない面も伺える。なお、直接基礎と杭基礎の傾斜度別被災率は、図-5.3に示すとおり両者に有意な差は認められない。

6) 杭種の違いによる基礎の被災部位の相違

基礎スラブの被災率は、RC杭、PC杭、PHC杭、場所打ち杭との組み合わせの順に被災率が上がっており、特に場所打ち杭との組み合わせでは、基礎スラブに被害が発生する可能性が50%を越えている。一方、杭体の被害のおよそ3分の2以上は、既製杭の基礎において発生していることが判る。

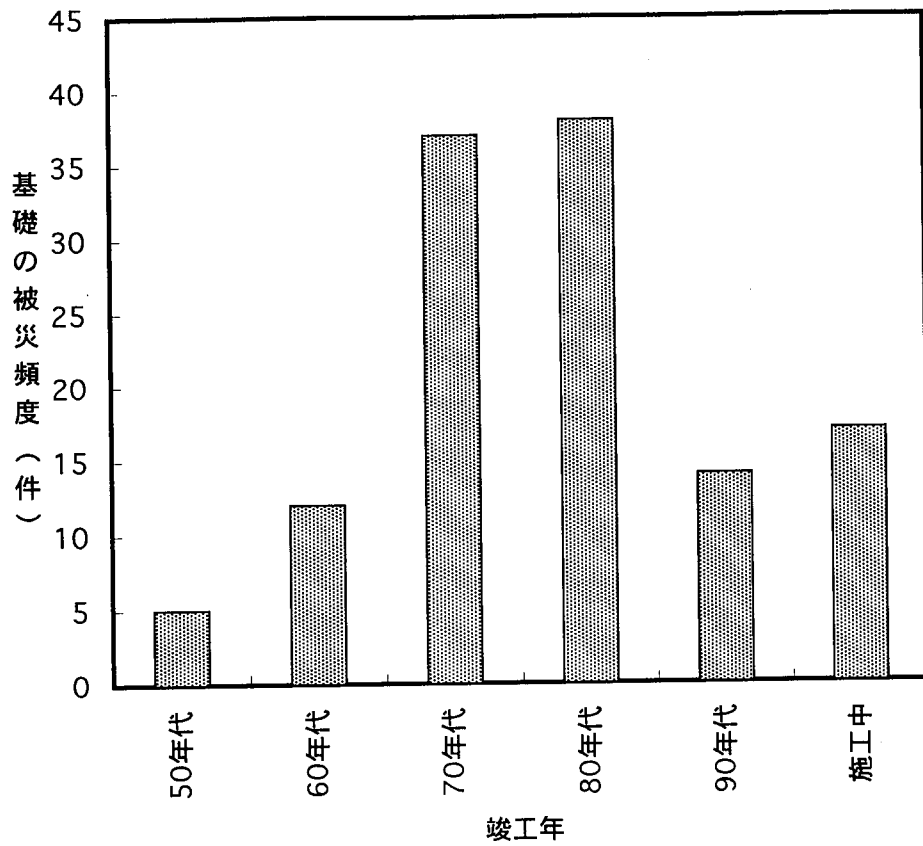


図-1.1 a) 竣工年代別の基礎の被災頻度分布

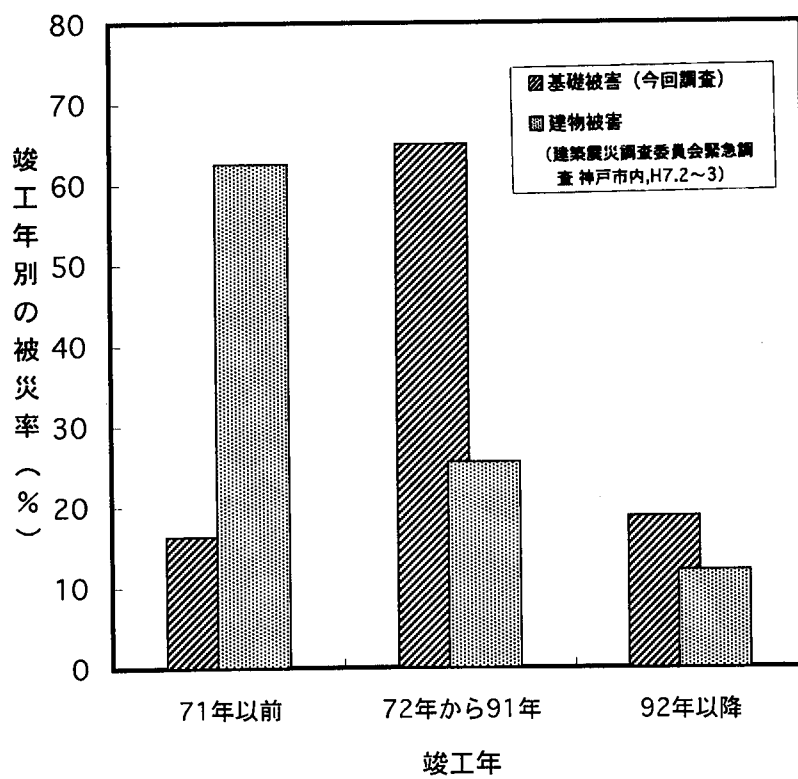


図-1.1 b) 竣工年別被災率の推移

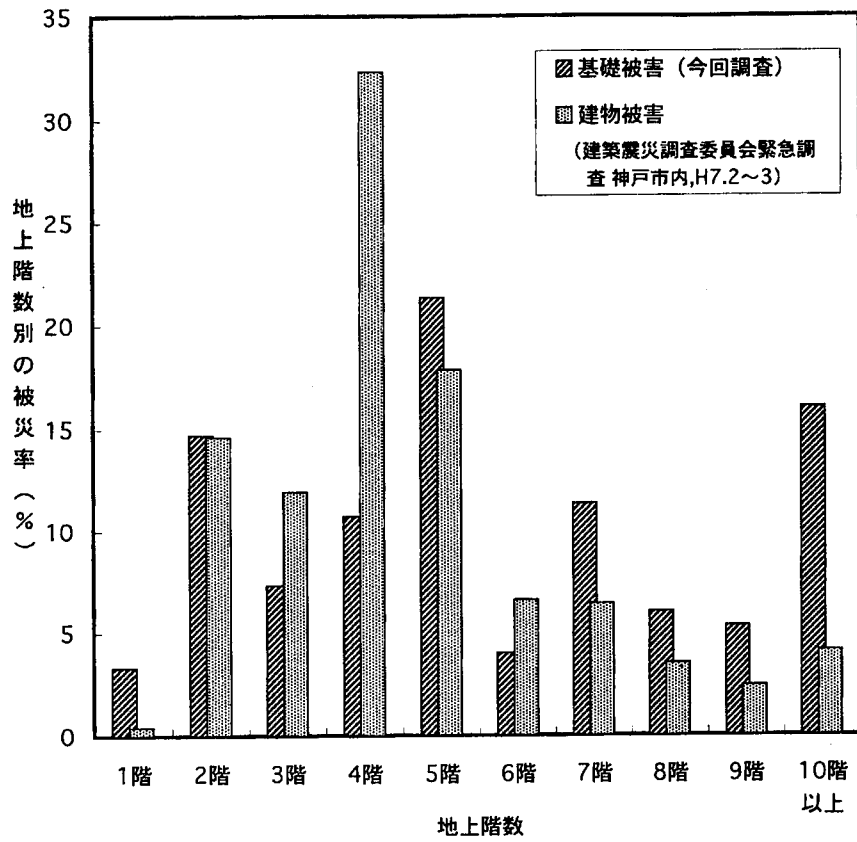


図-2.1 基礎構造と上部構造の地上階数別の被災率

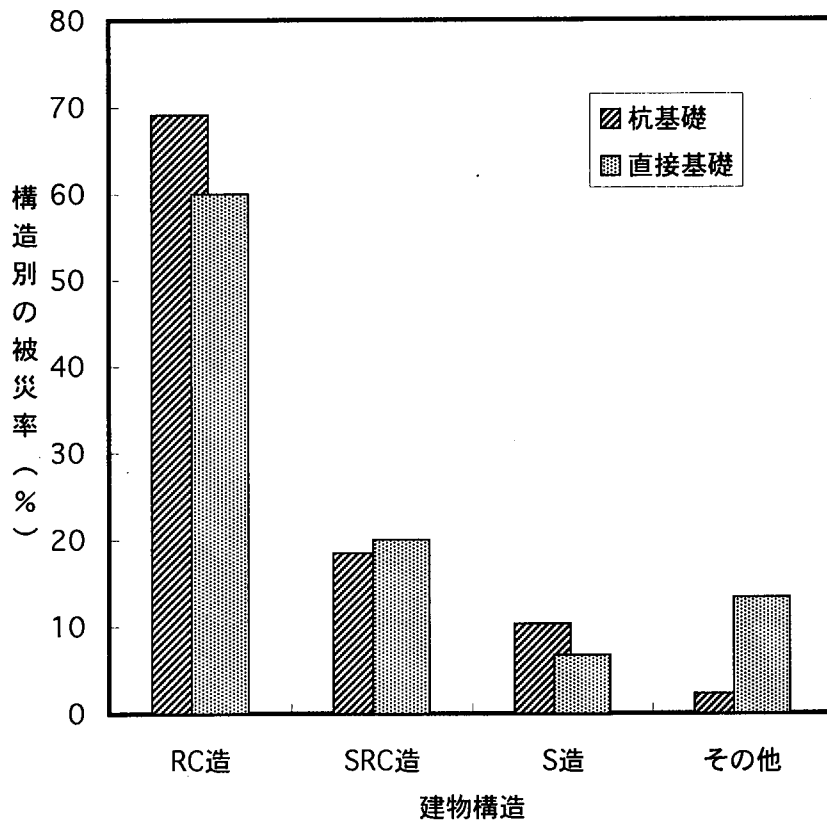


図-3.1 基礎形式の違いによる上部構造種別毎の被災率

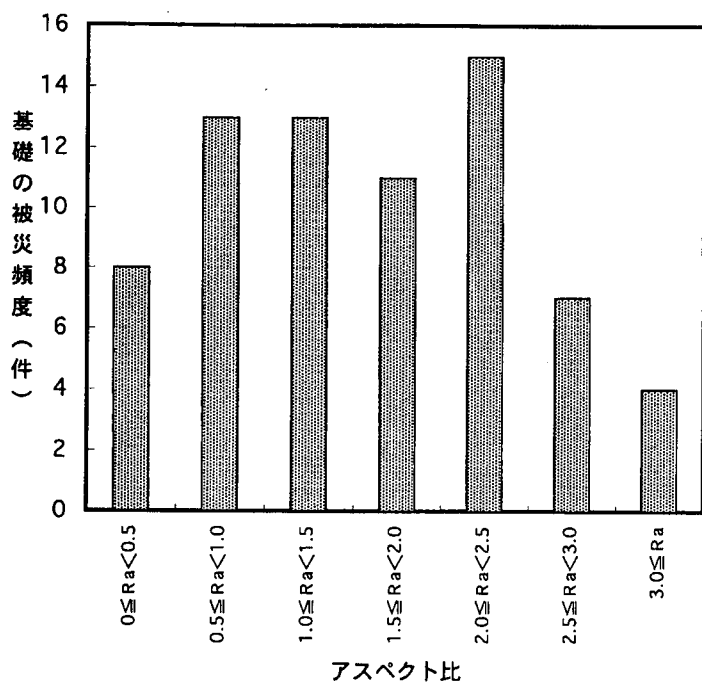


図-4.1 a) アスペクト比別の基礎の被災頻度

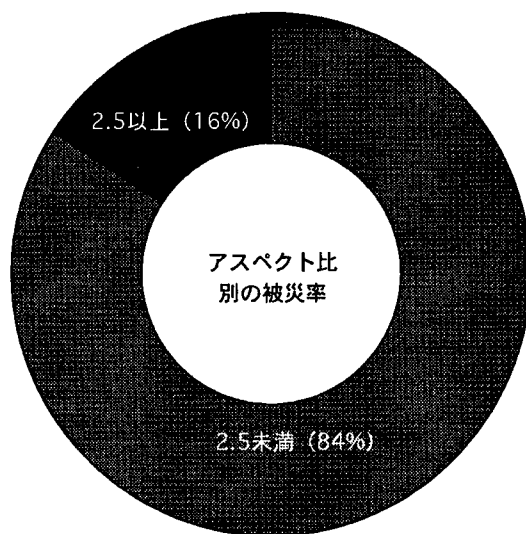


図-4.1 b) アスペクト比別の被災率

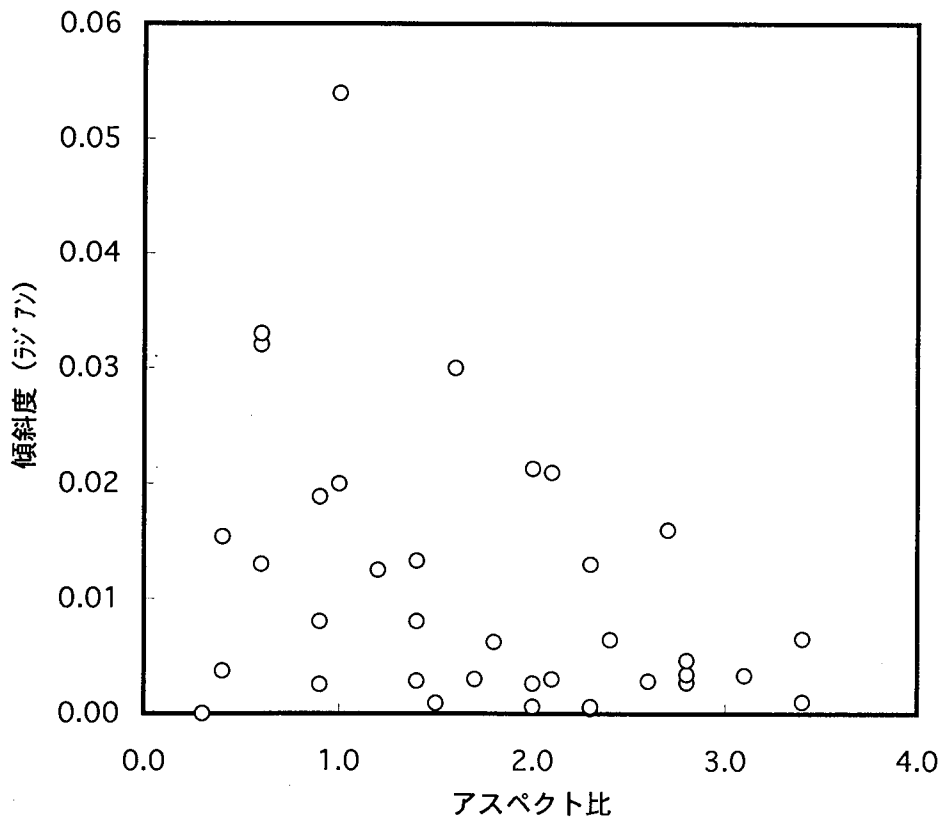


図-4.2 建物のアスペクト比と傾斜

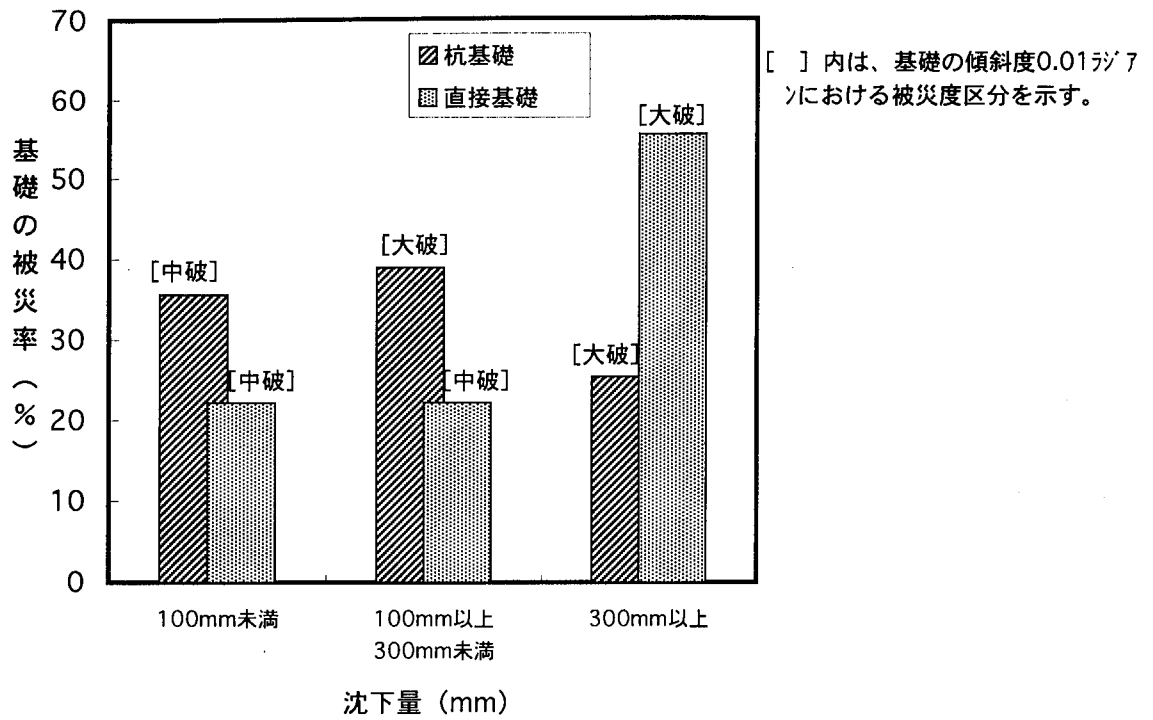


図-5.1 a) 建物の沈下量別の被災率と被災度区分

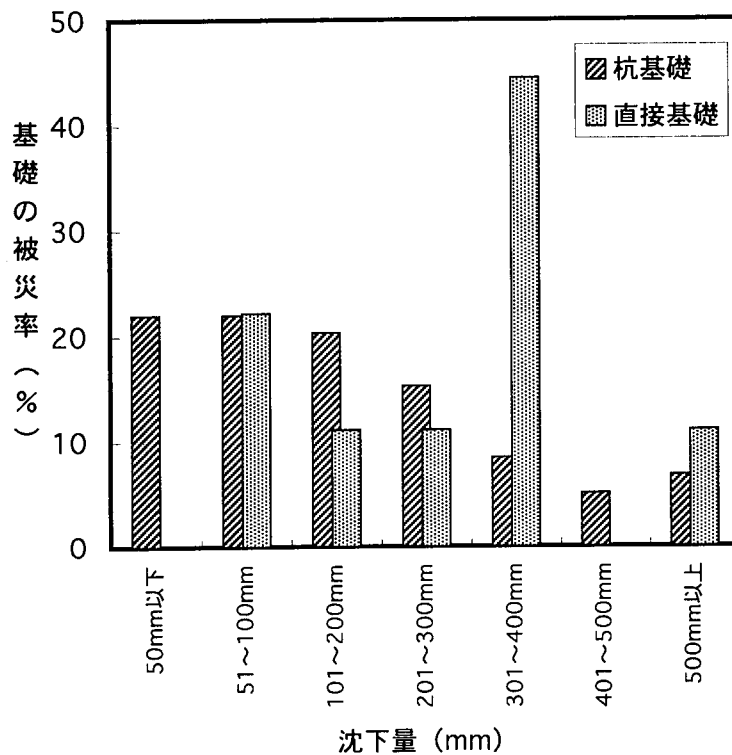


図-5.1 b) 建物の沈下量別の被災率

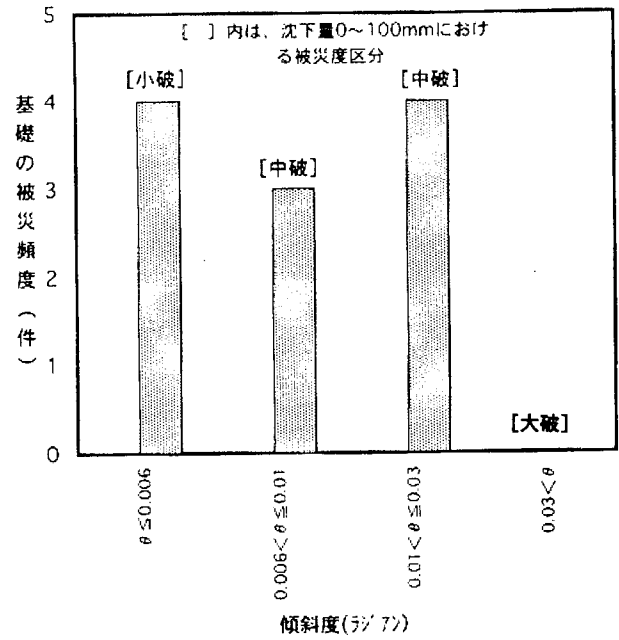
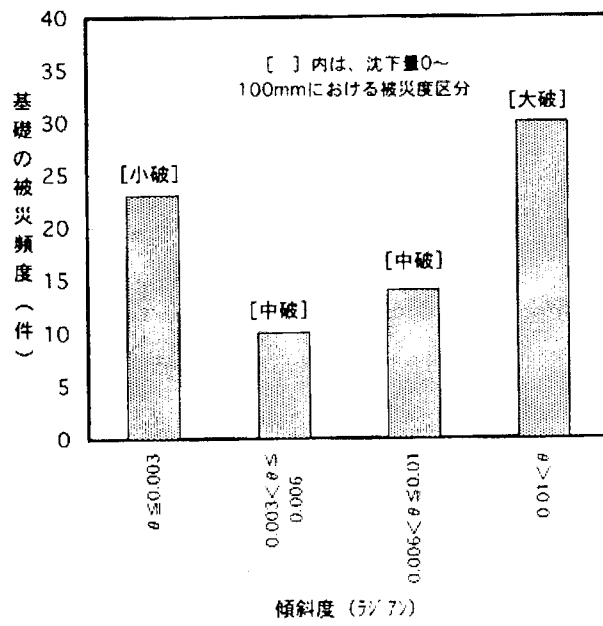


図5.2 a) 建物の傾斜度別被災頻度と杭基礎の被災度区分 図5.2 b) 建物の傾斜度別被災頻度と直接基礎の被災度区分

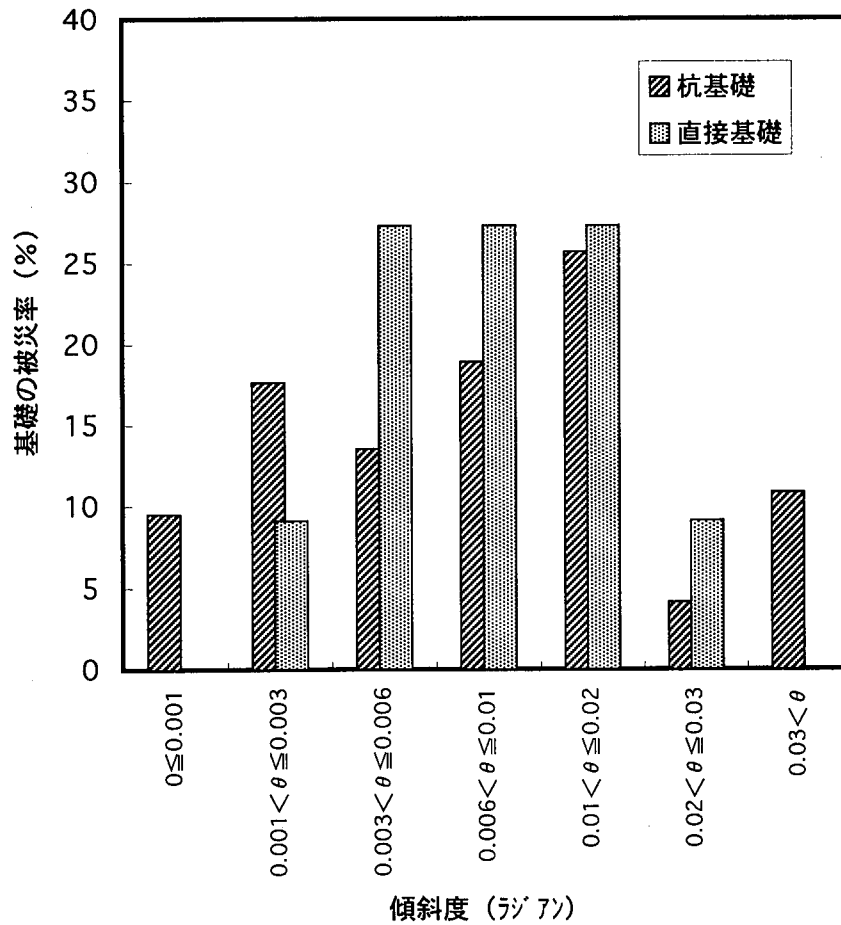


図5.3 建物の傾斜度別の被災率

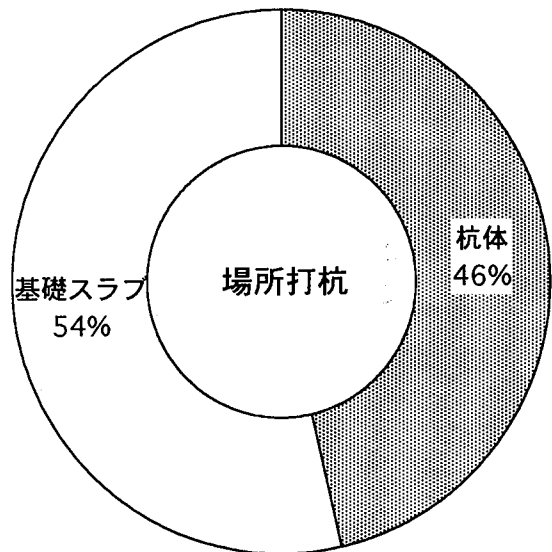
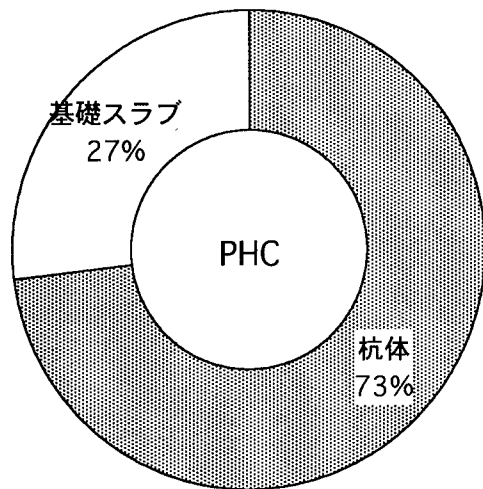
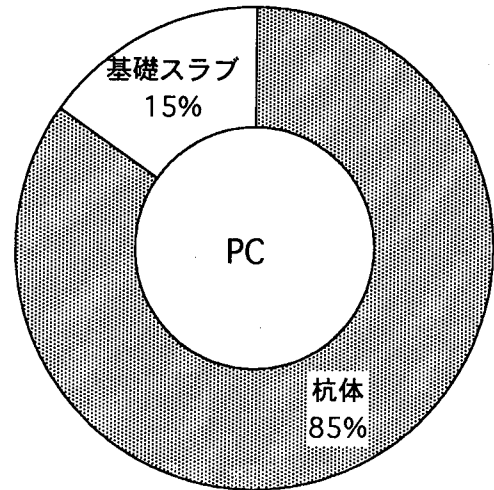
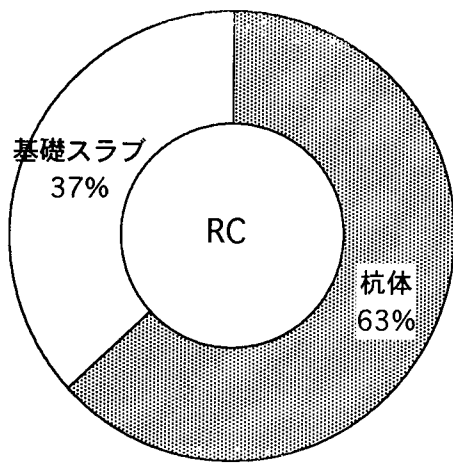


図-6.1 杭種による基礎被害の発生部位の相違

3. 基礎補修工法のまとめ

3.1 基礎補修工法の概要

基礎補修工法は、基礎構造全体の被災度および部材の損傷度に応じて決定されるが、原則として被災前の性能を回復させることを目的としている。ただし、基礎の傾斜や損傷度の大きい部材については、補強的な要素を加味する必要があるので増し杭や鋼管巻きなどの補強工法を用いる場合もある。これまでの復旧事例調査結果から被災度や損傷度に応じた基礎の補修の考え方を以下のように整理する。なお、資表3.1.1.1に主な基礎の補修工法を示す。

① 基礎構造全体の沈下修正

- ・適切な仮受けを配置し、建物への影響を最小限にするよう慎重に沈下修正を行う。
- ・沈下修正後の基礎下の空隙をコンクリート等により十分に充填する。

② 基礎構造全体の支持力確保

- ・地盤，杭，基礎フーチング等を補強することにより支持力の回復を図る。
- ・被災度に応じて、増し杭，フーチングの拡大，地盤改良等を組合せる。
- ・補修方法の選択，補修効果の判定は基礎構造の設計担当者が行う。

③ 損傷度Ⅲ以下の基礎部材の補修

- ・樹脂注入により被災前の性能を回復させ、欠損部は付着性のよい材料で回復を図る。

④ 損傷度ⅣあるいはⅤの基礎部材の補修

- ・樹脂注入により被災前の性能を回復させ、欠損部はその大きさにより補修工法を変える。
- ・補修方法の選択は基礎構造の設計担当者が行う。
- ・支持力を失いかけている杭がある場合には、工事に先駆け仮受けを配置する。
- ・損傷度に応じた補強筋の配置およびコンクリート断面の増大を図る。主筋の切断、圧接などは必要最小限に抑える。

3.2 基礎部材の補修要領

3.2.1 杭

杭の補修は被災前と同等な強度、靱性、および剛性を確保することを目標とする。資料3.2.1.1に杭の損傷度に応じた補修要領を示す。

杭の補修方法は、ひび割れに樹脂を注入する方法とコンクリートやモルタルを打ち直す方法に大別される。損傷度Ⅲ程度以下の杭に対しては、ひび割れに樹脂を注入（要領シート⑪）したり、部分的にコンクリートが剥落したところに

高強度モルタルなどを充填する方法（要領シート⑫）が採用されることが多い。

杭の損傷度がⅢを越える場合の補修には、ひび割れに対する樹脂注入とコンクリートが剥落した部分の大きさに応じてコンクリートあるいはモルタルが打ち直されたりする。また、鋼管巻き、繊維シート巻き付けなどが併用されたりすることがある。

コンクリート（あるいはモルタル）の打ち直し工法には大別して次の3つの工法がある。

- i) かぶりコンクリートあるいは損傷の著しい部分のみを除去し、内部のコンクリートに樹脂などの注入補修を行い、二つ割り鋼管を巻き立ててモルタルを充填し打ち直す方法（要領シート⑬）
- ii) 破壊した部分のコンクリートを内部まで完全に解体除去し、補強筋を配筋して、新しいコンクリートを打ち直す方法（要領シート⑭）
- iii) 破壊が進行した部分のコンクリートを残したままでひび割れに対する樹脂注入、欠損部への無収縮モルタルの充填を行い、繊維シート巻き付けによる補修方法（要領シート⑮）

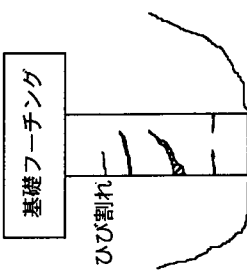
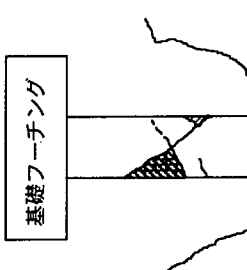
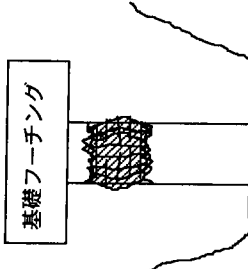
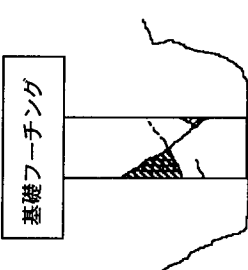
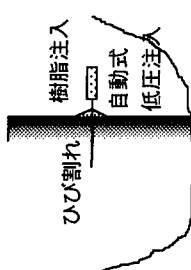
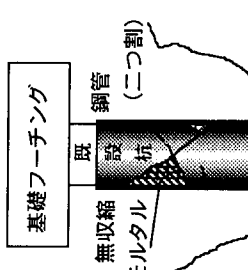
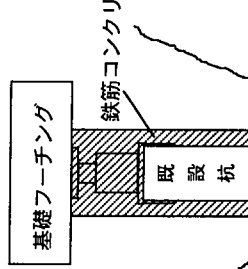
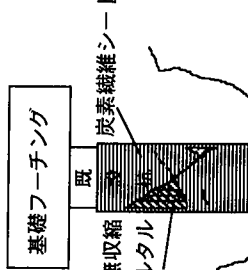
3.2.2 基礎梁・基礎フーチング

基礎梁、基礎フーチングについても杭と同様、補修は被災前と同等な強度と靱性、および剛性が確保できることを目標とする。資表3.2.2.1に基礎梁および基礎フーチングの損傷度に応じた補修要領を示す。

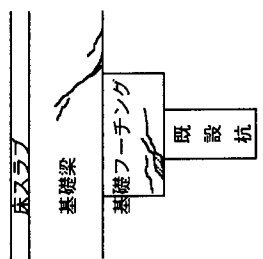
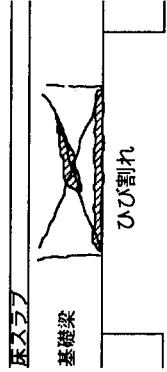
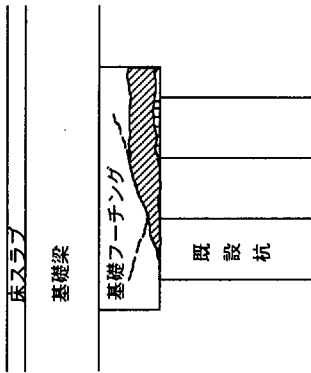
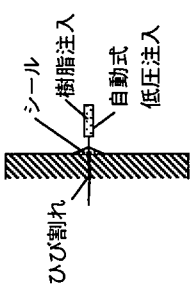
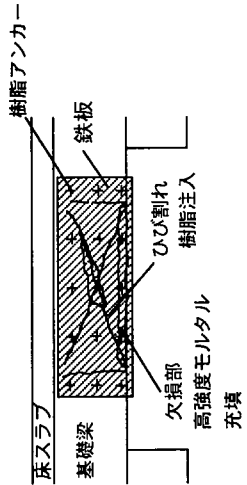
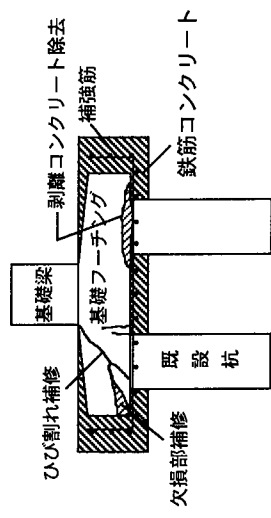
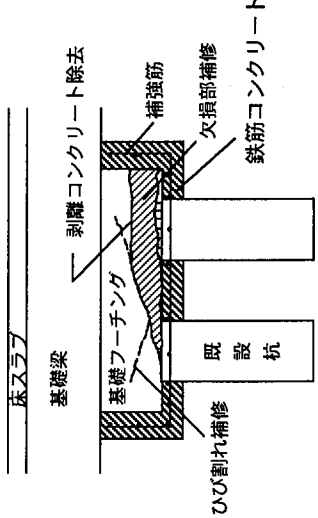
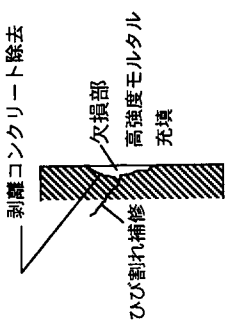
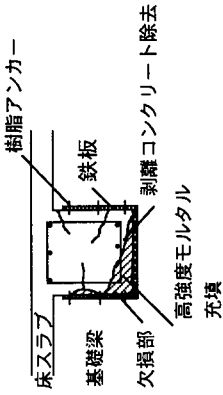
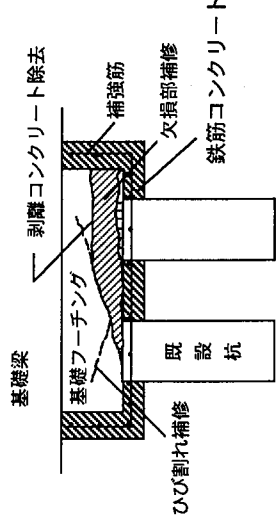
資表3.1.1.1 基礎の復旧方法

補修対象	補修目的	補修法	施工法	要領シート番号	
基礎構造全体	沈下修正	鋼管圧入による仮受け	仮受け鋼管杭の設置＋ジャッキアップ＋定着コンクリート打設	①	
		耐圧版による仮受け	耐圧版設置＋ジャッキアップ＋軽量モルタル充填	②	
		注入による方法	注入管の設置＋ソイルモルタル圧入	③	
	支持力の確保	地盤改良		コラムジェットグラウトによる既設杭を囲む擬似ケーソンの設置	④
				深層混合処理工法によるケーソンの巻立て	⑤
				気泡モルタルの充填による地盤の水平抵抗の確保	⑥
		鋼管圧入による杭の新(増)設	基礎フーチング等を反力とした鋼管の圧入による杭の設置	⑦	
		深礎杭の新(増)設	耐圧版仮受け後、深礎杭の新設	⑧	
		基礎フーチングの増設	耐圧版、台座コンクリートと既設フーチングとの間を鉄筋コンクリートにより定着	⑨	
		基礎梁の増設	増設基礎梁により杭頭部を連結	⑩	
基礎部材	杭	ひび割れ補修	樹脂注入	自動式低圧注入による樹脂注入	⑪
		欠損部補修	高強度モルタル等の充填	高強度モルタルの充填による断面修復	⑫
		曲げ，せん断，軸力補強	鋼管巻き	既設杭の鋼管による巻立てとモルタル注入	⑬
			鉄筋コンクリート巻き	鉄筋コンクリートによる断面補強	⑭
		せん断，軸力補修	繊維シート巻き付け	炭素繊維等の巻き付けによる補修	⑮
	基礎梁・基礎フーチング	ひび割れ補修	樹脂注入	自動式低圧注入による樹脂注入	⑪
		欠損部補修	高強度モルタル等の充填	高強度モルタルの充填による断面補修	⑫
		曲げ，せん断補修	鉄板巻き	補強鉄板の固定と無収縮モルタルの注入	⑯
			鉄筋コンクリート巻き	補強筋の配筋と無収縮モルタルの注入	⑰

資表3.2.1.1.1 杭の補修要領

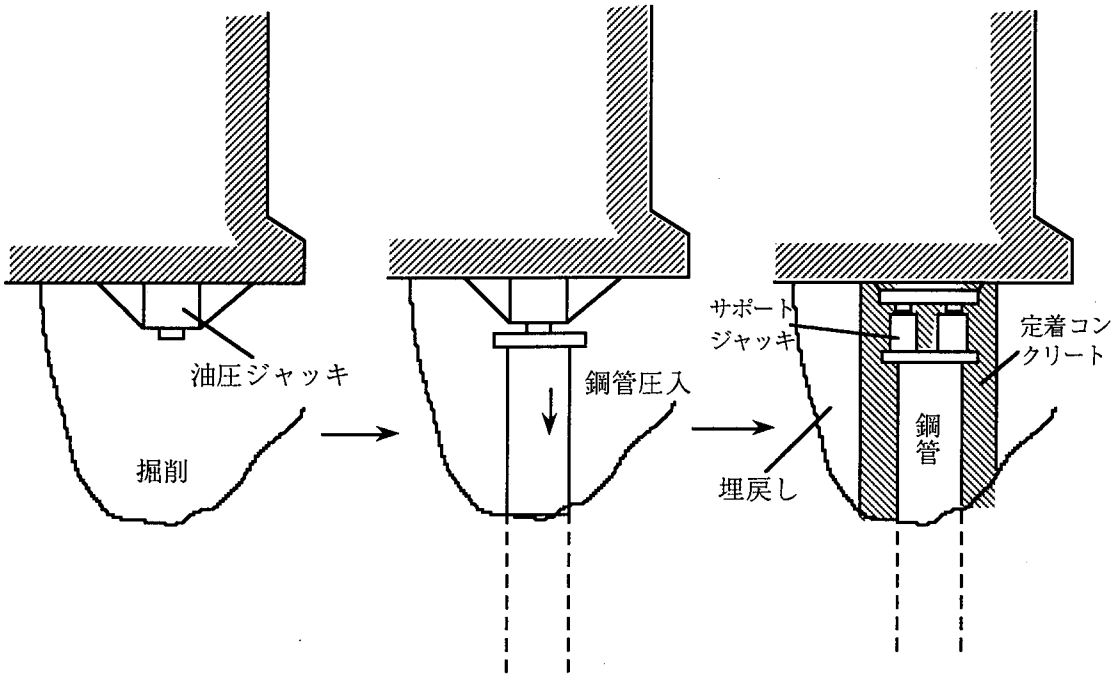
損傷度	III 以下	IV あるいは V		
損傷度のイメージ	 <p>基礎フーチング ひび割れ</p>	 <p>基礎フーチング</p>	 <p>基礎フーチング</p>	 <p>基礎フーチング</p>
補修法	 <p>樹脂注入 自動式 低圧注入 ひび割れ 要領シート (11)</p>	 <p>基礎フーチング 既設杭 鋼管 無収縮モルタル 欠損部補修 ひび割れ補修 要領シート (13)</p>	 <p>基礎フーチング 既設杭 鉄筋 補強筋 鉄筋コンクリート ひび割れ補修 要領シート (14)</p>	 <p>基礎フーチング 既設杭 無収縮モルタル 炭素繊維シート 欠損部補修 ひび割れ補修 炭素繊維シート巻き付け補修 要領シート (15)</p>

資表3.2.2.1 基礎梁，基礎フーチングの補修要領

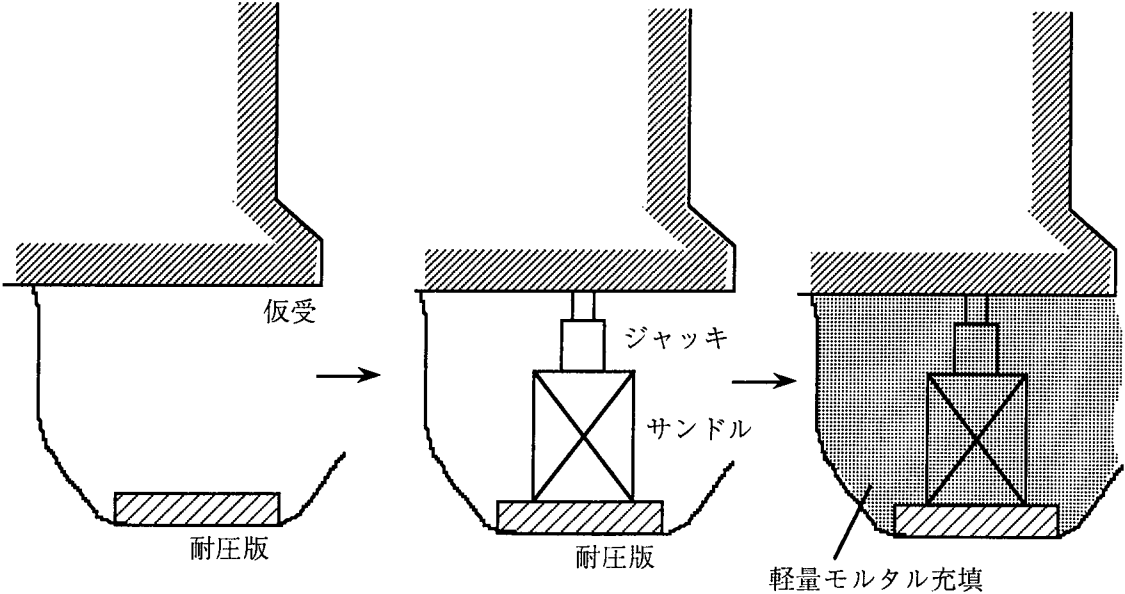
損傷度	III 以下	IV あるいは V	
損傷度のイメージ 			
補修法 ひび割れ補修 要領シート (11) 			
欠損部補修 要領シート (12) 	鉄板巻き補修 要領シート (16) 	鉄筋コンクリート巻き補修 要領シート (17) 	鉄筋コンクリート巻き補修 要領シート (17)

3.3 基礎補修要領シート

基礎補修要領シート

補修方法	鋼管圧入による仮受け	シート番号	①
補修目的	1. 沈下修正 2. 支持力確保 3. 性能回復（曲げ・せん断・軸力） 4. 耐久性回復 5. 美観回復		
参考図			
施工法・施工手順	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;"> <pre> graph TD START([START]) --> A[ジャッキ設置] A --> B[鋼管圧入] B --> C[沈下修正] C --> END([END]) </pre> </div> <div style="flex: 2; padding-left: 20px;"> <p>建物の自重を利用してジャッキで鋼管を圧入し、建物全体を仮受けした状態で沈下修正を行う。この方法は、支持層があまり深くなく、沈下を緊急に止める必要がある場合に有効な工法で、鋼管の圧入と同時に沈下を止めることができる。なお、定着コンクリートによって基礎フーチングの増設を行う場合にはシート番号⑨を参照されたい。</p> </div> </div>		

基礎補修要領シート

補修方法	耐圧版による仮受け	シート番号	②
補修目的	1.沈下修正 2.支持力確保 3.性能回復(曲げ・せん断・軸力) 4.耐久性回復 5.美観回復		
参考図			
施工法・施工手順	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <pre> graph TD START([START]) --> A[仮受サンドル組] A --> B[耐圧版設置] B --> C[沈下修正] C --> D[軽量盛土材充填] D --> END([END]) </pre> <p style="text-align: center;">施工フロー</p> </div> <div style="width: 50%;"> <p>沈下修正は、サンドル上に油圧ジャッキを設置し、ジャッキアップにより行う。定着コンクリートについては、支持地盤への荷重軽減と沈下修正による基礎下の空隙の充填を考慮して軽量盛土材（発泡モルタル）を使用する。なお、定着コンクリートによって基礎フーチングの増設を行う場合にはシート番号⑨を参照されたい。</p> </div> </div>		

基礎補修要領シート

補修方法	注入による方法 (ソイルモルタル圧入工法)	シート番号	③
補修目的	1.沈下修正 2.支持力確保 3.性能回復 (曲げ・せん断・軸力) 4.耐久性回復 5.美観回復		
模式図	<p>ソイルモルタル圧入</p> <p>ステップアップ圧入 完成</p> <p>沈下修正</p> <p>スラブ</p> <p>注入管</p> <p>ソイルモルタル塊</p>		
施工法・施工手順	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;"> <pre> graph TD START([START]) --> A[プラント設置] A --> B[注入管の設置] B --> C[ソイルモルタル圧入] C --> D[沈下修正] D --> END([END]) </pre> <p style="text-align: center;">施工フロー</p> </div> <div style="flex: 2; padding-left: 20px;"> <p>ソイルモルタル圧入工法による沈下修正の原理は、きわめて流動性の小さいソイルモルタルを地盤中に圧入し、球根状の固結体を造成することにより地表に現われる変位を利用するものである。この際、周辺の地盤を圧縮強化する効果がある。</p> </div> </div>		

基礎補修要領シート

補修方法	地盤改良 (コラムジェットグラウトによる擬似ケーソンの形成)	シート番号	④
補修目的	1. 沈下修正 2. 支持力確保 3. 性能回復 (曲げ・せん断・軸力) 4. 耐久性回復 5. 美観回復		

参考図

<コラムジェットグラウトによる復旧 (例) >

公共工事適用例

施工法・施工手順

地盤改良による直接杭基礎の設計フロー(例)

```

    graph TD
      A[フーチング下端における外力の計算] --> B[基礎の安定度照査]
      B --> C[フーチングの応力度照査]
      C --> D[改良体の安定度の照査]
      D --> E[改良体のせん断応力度の検討]
      E --> F[既設杭を無視した場合の基礎の安定度照査]
    
```

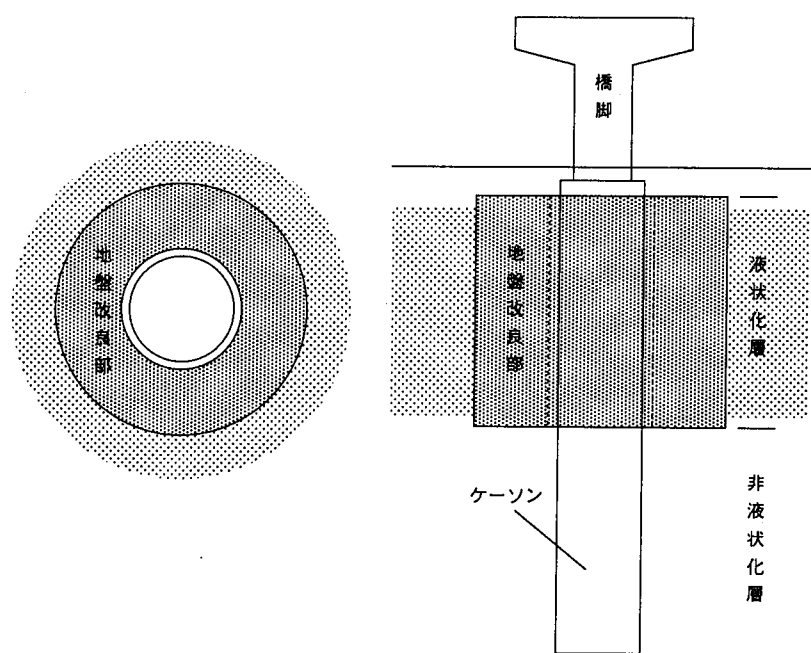
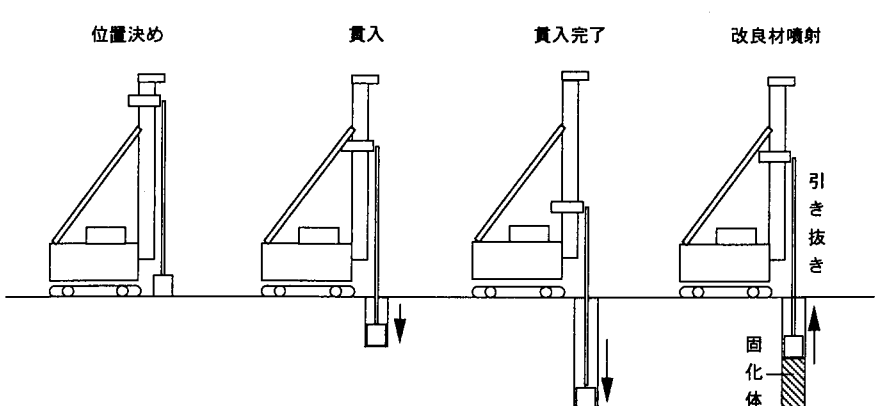
道路橋の基礎の復旧は増し杭を基本とするが、用地等の制約から増し杭を設けられない場合も多い。その場合フーチング下をコラムジェットグラウト等の固化工法で地盤改良し、直接基礎形式へ変更する。ただし、既設杭の存在がマイナスに作用することがあるため、安定性の照査は、既設杭が鉛直力を受け持つと考えた場合と、既設杭を無視した場合との両方で行う。

```

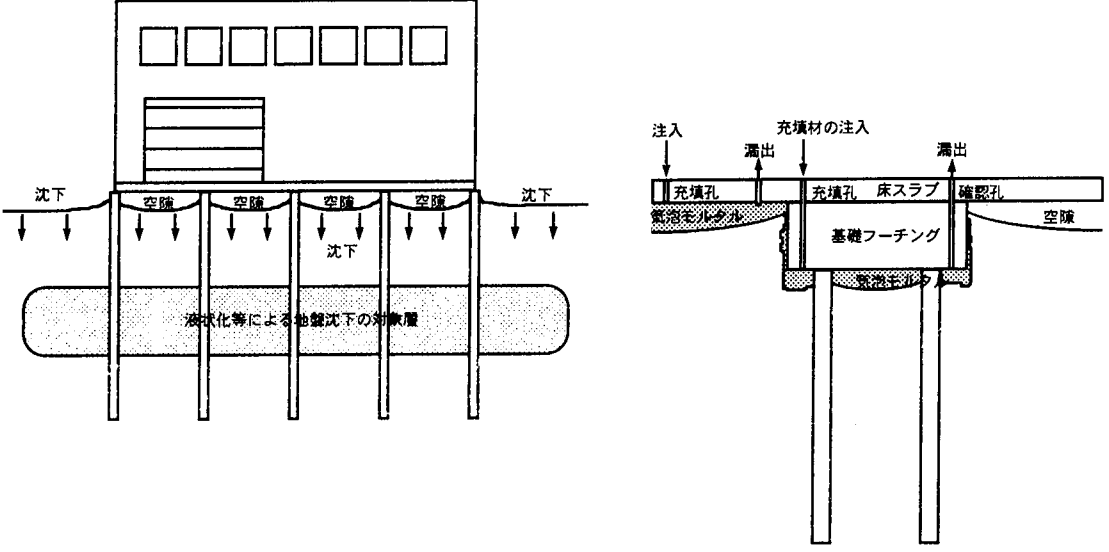
    graph TD
      START([START]) --> A[フーチングの削孔]
      A --> B[コラムジェットグラウト]
      B --> C[チェックボーリング]
      C --> D{固化体の品質}
      D -- N --> A
      D -- Y --> END([END])
    
```

施工フロー

基礎補修要領シート

補修方法	地盤改良（深層混合処理工法によるケーソンの巻立て）	シート番号	⑤
補修目的	1. 沈下修正 2. 支持力確保 3. 性能回復（曲げ・せん断・軸力） 4. 耐久性回復 5. 美観回復		
参考図	<p><ケーソンの復旧（例）></p>  <p>公共工事適用例</p>		
施工法・施工手順	<p>ケーソンの周囲を深層混合処理工法によるドーナツ状の固化体で巻立てることで、液状化による水平支持力の低下を抑える。地震時に固化体との共振を防ぐため、ケーソンと固化体との間に隙間を設ける。ただし、現状では固化工法による液状化対策の設計法が確立していないため、改良幅の決定に際しては、実験、解析の両面から検討することが望ましい。</p> 		

基礎補修要領シート

補修方法	地盤改良 (気泡モルタルの充填による地盤水平抵抗の確保)	シート番号	⑥
補修目的	1. 沈下修正 2. 支持力確保 3. 性能回復 (曲げ・せん断・軸力) 4. 耐久性回復 5. 美観回復		
参考図			
施工法・施工手順	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;"> <pre> graph TD START([START]) --> A[掘削] A --> B[充填・確認孔削孔] B --> C[発泡プラント設置] C --> D[充填] D --> END([END]) </pre> <p style="text-align: center;">施工フロー</p> </div> <div style="flex: 2; padding-left: 20px;"> <p>気泡モルタル注入の施工方法は、基礎の上面まで掘削し、充填孔および空隙にモルタルが充填されたことを確認する確認孔を削孔する。現場に発泡プラントを設置し、生コン工場で製造したベースモルタルに気泡を混練してエアモルタルを製造する。気泡モルタルは、グラウトポンプを用いて圧送する。充填は、確認孔から気泡モルタルが溢れるまで続ける。順次、基礎下の空隙の充填作業を繰り返す。</p> </div> </div>		

基礎補修要領シート

補修方法	鋼管圧入による杭の新増設	シート番号	⑦
補修目的	1. 沈下修正 2. 支持力確保 3. 性能回復（曲げ・せん断・軸力） 4. 耐久性回復 5. 美観回復		
参考図			
施工法・施工手順	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;"> <pre> graph TD START([START]) --> A[掘削] A --> B[ジャッキ設置] B --> C[鋼管圧入] C --> D[定着コンクリート] D --> END([END]) </pre> <p style="text-align: center;">施工フロー</p> </div> <div style="flex: 2; padding-left: 20px;"> <p>建物周囲から基礎下へと掘削を行う。掘削にともない建物の沈下の恐れがある場合には、別途仮受けを行う。基礎の下面にジャッキを設置し、基礎を反力として鋼管を圧入する。所定の支持力を確認した後、鋼管杭頭部に配筋して定着コンクリートを打設する。</p> </div> </div>		

基礎補修要領シート

補修方法	深礎杭の新(増)設	シート番号	⑧
補修目的	1. 沈下修正 2. 支持力確保 3. 性能回復(曲げ・せん断・軸力) 4. 耐久性回復 5. 美観回復		
参考図			
施工法・施工手順	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;"> <pre> graph TD START([START]) --> A[掘削] A --> B[耐圧版設置] B --> C[基礎の仮受け] C --> D[深礎杭工事] D --> E[補強梁設置] E --> F[埋戻し] F --> END([END]) </pre> </div> <div style="flex: 2; padding-left: 20px;"> <p>既設杭の耐力不足を補うために深礎杭を新設し、基礎梁によって深礎杭頭を連結させて基礎構造全体を補強する。施工は、建物周囲から基礎下へと掘削し、耐圧版を打設する。耐圧版上に鉄筋コンクリートブロックでサンドル組をし、仮受けする。深礎掘削中は、建物のレベル測定と、油圧ジャッキの監視を実施し、沈下管理を行う。深礎工事完了後、杭頭を連結させるように新設基礎梁を構築する。さらに深礎杭の即時沈下を催促するためのプレロードを行う。</p> </div> </div>		

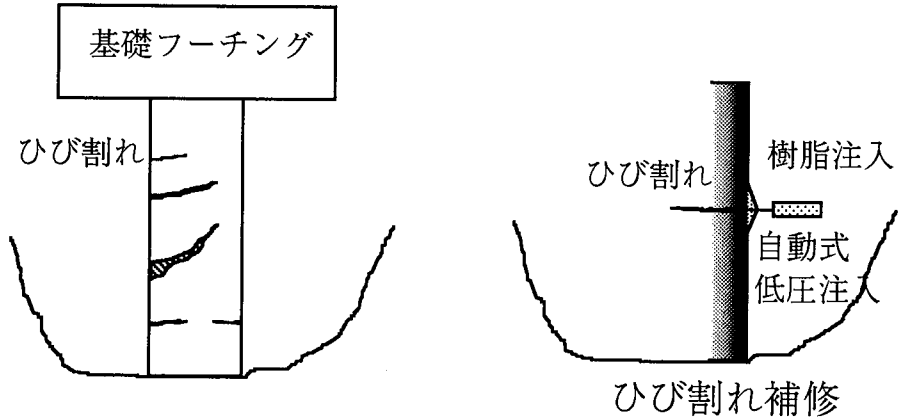
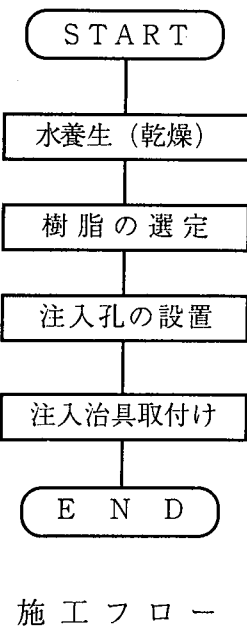
基礎補修要領シート

補修方法	基礎フーチングの増設	シート番号	⑨
補修目的	1. 沈下修正 2. 支持力確保 3. 性能回復（曲げ・せん断・軸力） 4. 耐久性回復 5. 美観回復		
参考図			
施工法・施工手順	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;"> <pre> graph TD START([START]) --> Excavation[掘削] Excavation --> Installation[耐圧版・台座 コンクリートの設置] Installation --> Temporary[仮受け・沈下修正] Temporary --> Reinforcement[配筋] Reinforcement --> Concrete[コンクリート打設] Concrete --> END([END]) </pre> <p style="text-align: center;">施工フロー</p> </div> <div style="flex: 2; padding-left: 20px;"> <p>鋼管圧入あるいは、既設杭の補修後、基礎フーチングに定着し、杭との併用で建物を支持する場合があります。施工の一般的な手順は、基礎下を掘削し、耐圧版を打設する。フーチングの下に台座コンクリートを築造し、建物の仮受けを行う。沈下修正等の後、フーチング下に配筋を行って定着コンクリートを打設する。</p> </div> </div>		

基礎補修要領シート

補修方法	基礎梁の増設	シート番号	⑩
補修目的	1. 沈下修正 2. 支持力確保 3. 性能回復（曲げ・せん断・軸力） 4. 耐久性回復 5. 美観回復		
参考図			
施工法・施工手順	<p>鋼管圧入杭あるいは深礎杭の増設等に伴い、基礎梁を増設して杭頭部を連結する。なお、施工方法等は、シート番号⑩⑪を参照されたい。</p>		

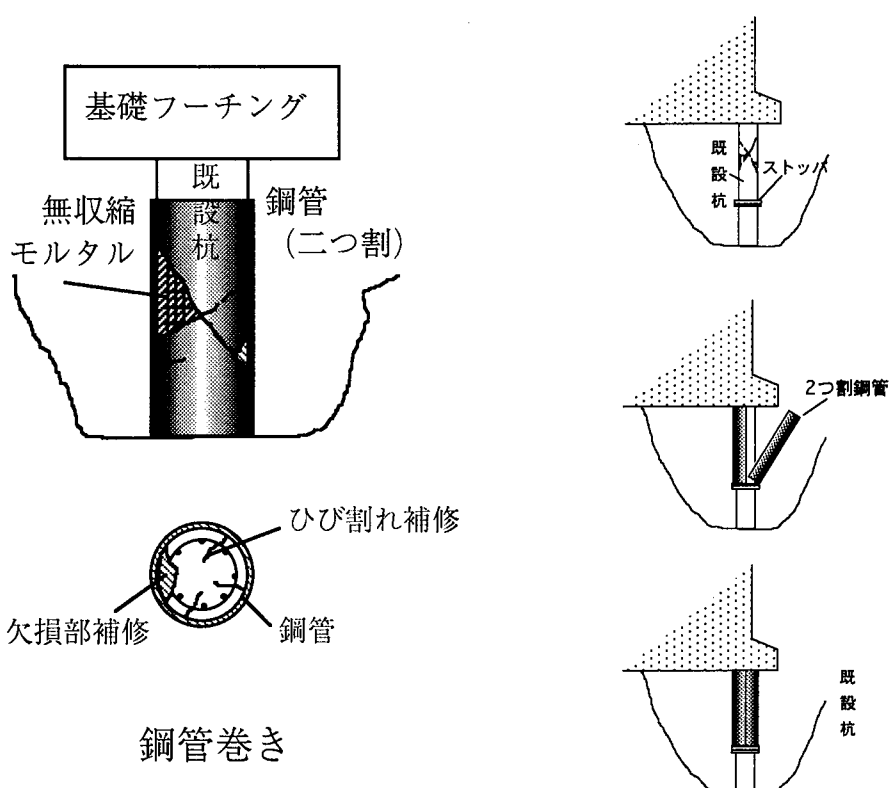
基礎補修要領シート

補修方法	ひび割れ補修（樹脂注入）	シート番号	⑪
補修目的	1.沈下修正 2.支持力確保 3.性能回復（曲げ・せん断・軸力）4. 耐久性回復 5.美観回復		
参考図			
施工法・施工手順	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;">  <p style="text-align: center;">施工フロー</p> </div> <div style="width: 50%;"> <ul style="list-style-type: none"> ・ひび割れ補修は、樹脂注入を原則とする。 ・樹脂注入にあたっては、ひび割れの幅、コンクリートの水分、施工環境、部材寸法、注入状況の確認方法等を考慮して工法、材料の選定を行う。 ・コンクリートの下地が濡れている場合は水滴等の養生を行い、ひび割れ部が乾燥するのを見計らって注入する。 ・杭や基礎梁、基礎フーチングの注入にあたっては、自動式低圧注入方式を採用し、注入治具の取り付け間隔を200mm程度以下とする。 ・樹脂注入の順序は、ひび割れ内部の樹脂の注入経路が確保できるように片面の最下部から始め、他の面に樹脂が漏れ出すのを確認する。 ・ひび割れとコンクリートの欠損が混在する場合は、ひび割れ部の注入を行った後、高強度モルタルの充填を行う。 </div> </div>		

基礎補修要領シート

補修方法	欠損部補修（高強度モルタル充填）	シート番号	⑫
補修目的	1.沈下修正 2.支持力確保 3.性能回復（曲げ・せん断・軸力）4. 耐久性回復 ⑤.美観回復		
参考図			
施工法・施工手順	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;"> <pre> graph TD START([START]) --> A[下地の処理] A --> B[ポリマーペースト塗布] B --> C[モルタル充填] C --> D[脱型] D --> END([END]) </pre> </div> <div style="flex: 2;"> <ul style="list-style-type: none"> ・ コンクリート欠損部の補修は、高強度モルタルもしくはコンクリートで断面修復することを基本とする。 ・ 欠損部の補修においては、欠損部の大きさ、打ち継ぎ部の処理方法、施工環境等を考慮して工法・材料を選定する。 ・ 油脂分、汚れ、水分、湿潤状態、塩化物イオン等の下地条件を確認し、補修に影響のない状況まで処理する。 ・ モルタル、コンクリートの充填に先立って付着強度を確保する目的でポリマーセメントペーストを下地面に塗布する。 ・ ひび割れとコンクリートの欠損が混在する場合は、ひび割れ部の注入を行った後、モルタル、コンクリートの充填を行う。 ・ モルタル、コンクリートの充填後3日以降に型枠を脱型する。 ・ 脱型時に打ち継ぎ面のひび割れを確認し、ひび割れ部は、樹脂注入による補修を行う。 </div> </div>		

基礎補修要領シート

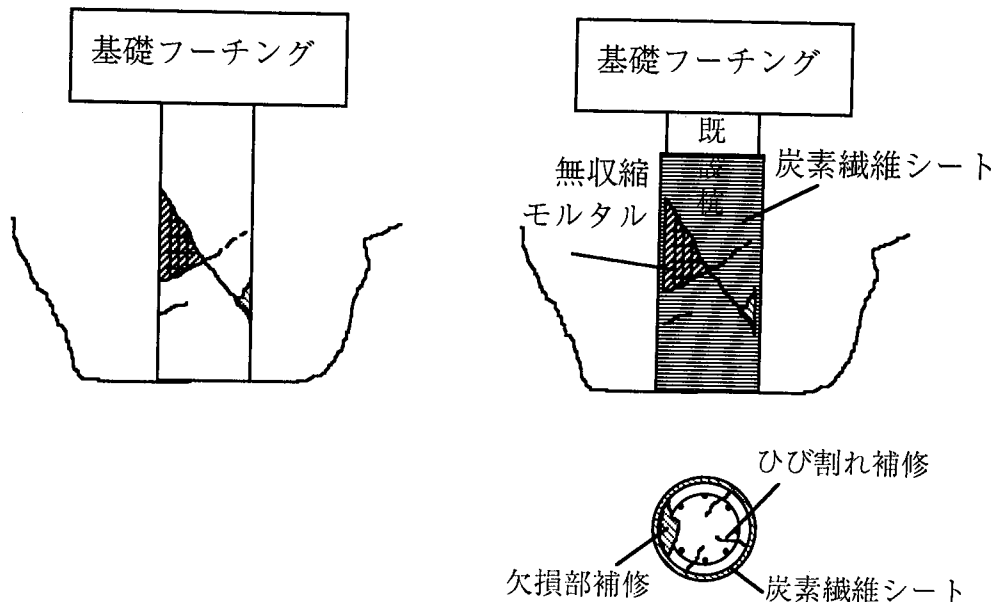
補修方法	鋼管巻き (杭)	シート番号	⑬
補修目的	1. 沈下修正 2. 支持力確保 3. 性能回復 (曲げ・せん断・軸力) 4. 耐久性回復 5. 美観回復		
参考図	 <p style="text-align: center;">鋼管巻き</p>		
施工法・施工手順	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;"> <pre> graph TD START([START]) --> Excavation[掘削] Excavation --> Stopper[ストッパー取付け] Stopper --> Mold[2つ割りモールド取付け] Mold --> Mortar[Mortar注入] Mortar --> Backfill[埋戻し] Backfill --> END([END]) </pre> <p style="text-align: center;">施工フロー</p> </div> <div style="flex: 2; padding-left: 20px;"> <p>2つ割り鋼管による補修は、被害が杭頭部のみで、残余耐がやや劣化した程度の場合に有効である。施工は、建物周囲から基礎下への掘削、ストッパーの取付け、2つ割り鋼管のはめ込み、ボルト又は溶接による取付け、および既設杭と鋼管との隙間へのモルタル注入である。なお、施工に先立ち、既設杭のひび割れおよび欠損部の補修は十分に行う。</p> </div> </div>		

補修方法	鉄筋コンクリート巻き (杭)	シート番号	⑭
補修目的	1. 沈下修正 2. 支持力確保 3. (性能回復 (曲げ・せん断・軸力)) 4. 耐久性回復 5. 美観回復		
参考図	<p style="text-align: center;">鉄筋コンクリート巻き</p>		
施工法・施工手順	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <pre> graph TD START([START]) --> A[掘削] A --> B[杭頭部処理] B --> C[既設杭圧入] C --> D[配筋] D --> E[コンクリート打設] E --> F[埋戻し] F --> END([END]) </pre> <p style="text-align: center;">施工フロー</p> </div> <div style="width: 50%;"> <p>鉄筋コンクリート巻きによる補修は、被害が杭頭部のみで、残余耐力の無い部位が局所である場合に有効である。施工では、破壊した部分のコンクリートを内部まで完全に解体除去し、補強筋を配筋して新しいコンクリートを打ち直す。このとき、既設杭はプレロードをかけて再圧入し所定の支持力を確保する。この方法は、鋼管巻きに比べて残余耐力の劣化の著しい杭に適用できる。</p> </div> </div>		

基礎補修要領シート

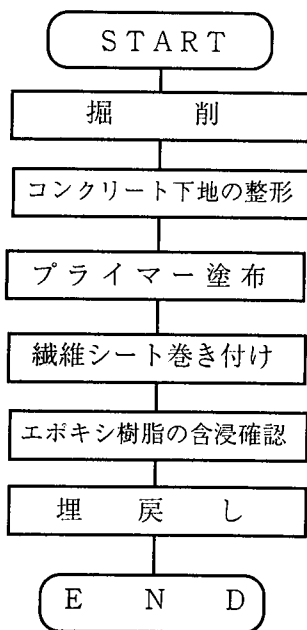
補修方法	繊維シート巻付け (杭)	シート番号	⑮
補修目的	1. 沈下修正 2. 支持力確保 3. 性能回復 (せん断・軸力) 4. 耐久性回復 5. 美観回復		

参考図



炭素繊維シート巻き付け

施工法・
施工手順



施工フロー

繊維シート巻き付けによる杭の補修は、繊維シートによる閉鎖型フープを杭の外側に密着して作るものである。素材としては、炭素繊維が用いられることが多い。炭素繊維にはシートとストライドの形状のものがあるが、人力で施工でき、狭隘な場所での施工が可能なシートを使用する。この方法は、鋼管巻きと同様に被害が杭頭部のみで、残余耐力がやや劣化した程度の場合に有効である。

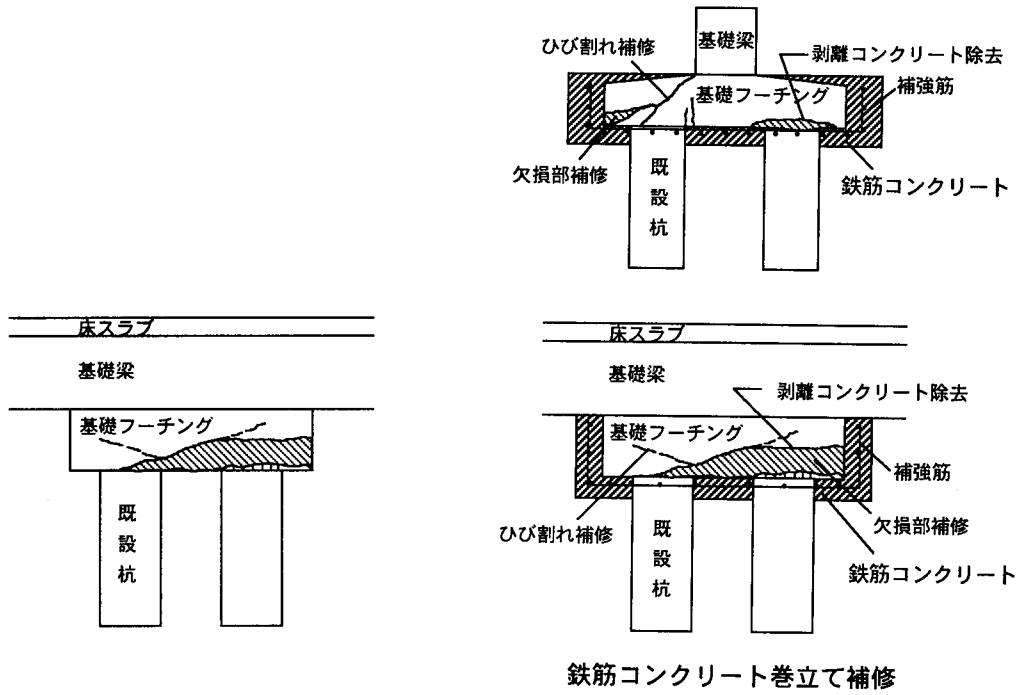
基礎補修要領シート

補修方法	鉄板巻き	シート番号	⑬
補修目的	1. 沈下修正 2. 支持力確保 3. 性能回復（曲げ・せん断） 4. 耐久性回復 5. 美観回復		
参考図	<p style="text-align: center;">鉄板巻立て補修</p>		
施工法・施工手順	<div style="text-align: center;"> <p>START</p> <p>掘削</p> <p>鉄板囲い込み</p> <p>溶接</p> <p>モルタル注入</p> <p>埋戻し</p> <p>END</p> <p>施工フロー</p> </div> <p style="margin-left: 200px;">基礎梁・基礎フーチングの曲げせん断補修では、杭の補強で用いられる閉鎖型のせん断補強筋を形成する手法が取りにくい場合が多い。このため、スラブ付きの基礎梁などでは、スラブを貫通するボルト、一般部の鉄板または配筋で閉鎖型せん断補強筋を形成することが望ましい。</p>		

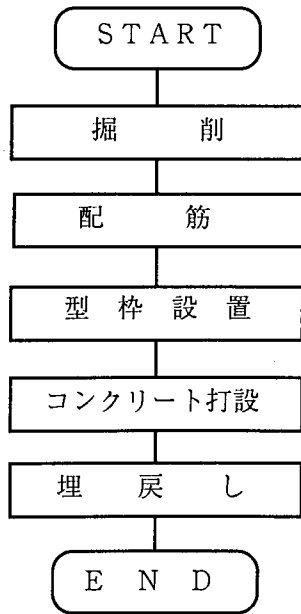
基礎補修要領シート

補修方法	鉄筋コンクリート巻き (基礎梁、基礎フーチング)	シート番号	⑰
補修目的	1. 沈下修正 2. 支持力確保 3. 性能回復 (曲げ・せん断) 4. 耐久性回復 5. 美観回復		

参考図



施工法・
施工手順



施工フロー

鉄板巻きによる補修と同様、閉鎖型せん断補強筋を形成することが望ましい。せん断補強筋が閉鎖型でない場合は、コンクリート躯体にせん断補強筋の応力を定着する必要があるが、この定着性能は、コンクリートにひび割れが生じると、あまり大きいとは考えにくい。また、変形が大きくなると、躯体にひび割れがかなり生じることが予想されるので曲げ靱性の向上に閉鎖型でないせん断補強筋が寄与することは期待しにくい。

◎ 建築研究資料 第90号

平成9年8月8日 印刷

平成9年8月8日 発行

編集 建設省建築研究所
発行

〒305 茨城県つくば市立原1番地

電話 (0298) 64-2151(代)

FAX (0298) 64-2989
