

土木施工研究委員会 第7施工小委員会報告

耐震補強・補修事例および耐震診断技術に関するアンケート調査結果

はじめに

土木施工研究委員会は、土木施工技術に関する問題の研究・調査およびこれらの推進を図ることを目的として、1984年10月に建設会社の技術者を中心に設立された委員会である。1995年1月17日の未明に発生した兵庫県南部地震は、近代都市に多くの犠牲者と構造物に多大な被害をもたらした。これを契機に、当委員会では、被災構造物・既設構造物の耐震診断技術・耐震補強補修技術、高度化する耐震構造技術に関して、施工の立場からの調査・研究を目的とした第7施工小委員会を1996年4月に発足させた。現在、当小委員会は橋梁・基礎分科会、地盤・土構造物分科会および地中構造物分科会の3分科会で構成され、被災構造物（の復旧仕様の調査研究）、震災後に見直しされる基準類（の調査研究）、耐震補強・補修事例（の調査研究）および耐震診断技術の調査研究を実施している。

本小委員会報告は、これらの活動の一環として昨年12月に土木施工研究委員会参加の29社を対象に実施した耐震補強・補修事例および耐震診断技術に関するアンケート調査を集計したものである。なお、アンケート調査は、実際に行われた耐震補強・補修事例の収集、これらの施工に当たっての苦勞した点、工夫した点とこれらの施工経験を通じて今後必要と思われた技術の調査、および各社が保有する耐震調査・耐震性評価技術に関する情報の収集を目的としている。

1. 橋梁下部工の補修・補強事例調査結果（橋梁・基礎分科会担当）

橋梁・基礎分科会では、橋脚、橋脚基礎、橋台および橋台基礎の復旧工事および耐震補強工事を対象とし、①補修・補強方法、②施工上の問題点および改善点、③今後研究開発が望まれる技術を調査した。

1.1 調査結果

(1) 事業者別分類

アンケート回答は84件であった。事業者別では、図1.1に示すように、阪神高速道路公団が27件、JR（JR西日本、JR東海、JR東日本）が16件、神戸市港湾局（現 港湾整備局）が11件、日本道路公団が9件、民間鉄道会社（阪急電鉄、京成電鉄、京王帝都鉄道、西部鉄道）が6件、建設省が4件、首都高速道路公団が4件、その他の自治体が7件であり、84件中75件が阪神・淡路大震災の復旧工事に関連するものであった。

(2) 補修・補強方法

橋脚、橋台の補修・補強方法としては、図1.2に示すように、鋼板巻立、RC巻立、繊維巻立、RC・鋼板巻立、PC導入、耐震壁増設が実施されている。また、著しい損壊を受けた場合には取り替え（再構築）が行われている。橋脚基礎、橋台基礎の補修・補強方法としては、図1.3に示すように、杭とフーチングに関して増設や補修材の注入事例が非常に多く、周辺の地盤改良も多数実施されている。また、その他の方法として鋼矢板締切工、グラウンドアンカー工が採用され、著しい損壊を受けて取り替え（再構

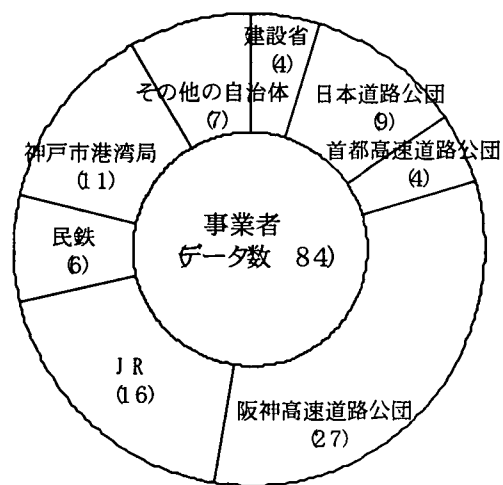


図 1.1 事業者別件数

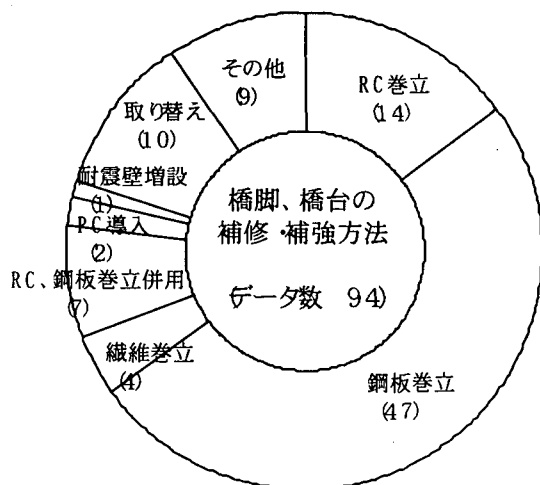


図 1.2 橋脚、橋台の補修・補強方法

築)を行った事例も数件ある。

(3) 施工上の問題点および変更・改善点

施工上の問題点および変更・改善点は、図 1.4 に示すように、大きく分けて施工上の制約、協議・調整および工法・仕様変更の3種類に分類された。その中で、施工上の制約が全体の 2/3 を占めている。その内容としては、交通規制、作業時間規制、部材重量・寸法の制限、工期が短い、施工場所が狭い、作業員の確保、資機材の確保、騒音・振動・粉塵問題、廃棄場所が遠い、低空頭下での施工、既存構造物の障害などがあげられる。協議・調整としては、上下部で施工業者が異なるための調整、関係機関との協議、設計と施工の調整があげられる。工法・仕様変更の内容としては、土留め工の変更、地下水の処理方法の変更、ひび割れ補修方法の変更、既設鉄筋の位置確認方法、アンカー筋の根入れ長さ、既設構造物の表面処理方法、鋼板の突き合わせの凹凸、ジベルの高さおよび間隔、充填厚、主筋の継手方法、せん断補強筋の加工形状および継手方法などがあった。

(4) 今後開発が望まれる技術

今後開発が望まれる技術は、図 1.5 および表 1.1 に示すように、機械・仮設材、被害調査・探査技術、工法、材料および施工手法の5種類に分類できる。機械としては、鋼板巻立て機械、小型で掘削力の大きい杭打ち機、ストロークが長く安定感のある油圧ジャッキ、無塵・無振動で軽量のコンクリート破砕機、狭い場所でも施工可能なコンクリート削孔機などの開発が望まれている。被害調査・探査技術としては、基礎杭・コンクリート構造物の損傷度の非破壊調査技術、高精度な鉄筋探査技術、損傷評価技術、土中における障害物の探査方法、橋脚の出来形の詳細検測装置がある。材料としては、安価・軽量で高品質な注入材の開発、高強度・高流動コンクリートの開発が望まれている。工法としては低振動・低騒音の橋脚、上部工工法、スペースをとらない施工性の良い基部補強工法、安価で施工性のよい補強工法、既設地下構造物の省力化耐震補強工法、既設構造物に付加する免震・制震工法、中間拘束筋に替わる既設橋梁のせん断補強工法、既設構造物下の地盤改良工法、高強度・排泥の出ないジェットグラウト工法などの数多くの工法の開発が望まれている。開発が望まれる施工手法としては、安くて施工が簡単な鉄筋継手、全自動溶接機による鋼板横方向の溶接方法、施工性のよい溶接方法、溶接部の簡便な仕上げ方法、低騒音で安価な既設構造物表面処理方法、既設・新設コンクリートの確実で簡単な一体化の方法、短時間で施工できる鋼矢板継手方法などがある。

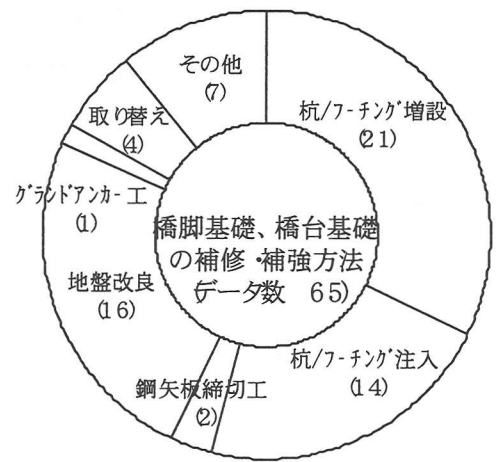


図 1.3 橋脚基礎、橋台基礎の補修・補強方法

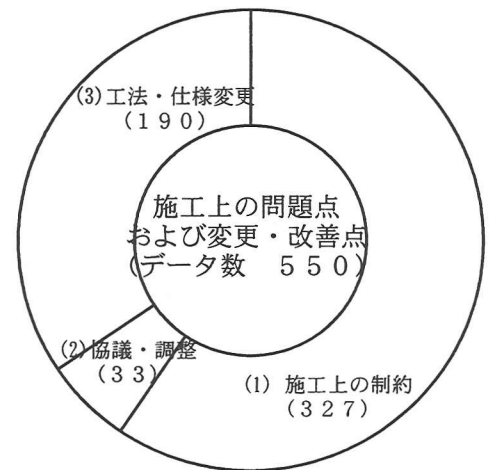


図 1.4 施工上の問題点および変更・改善点

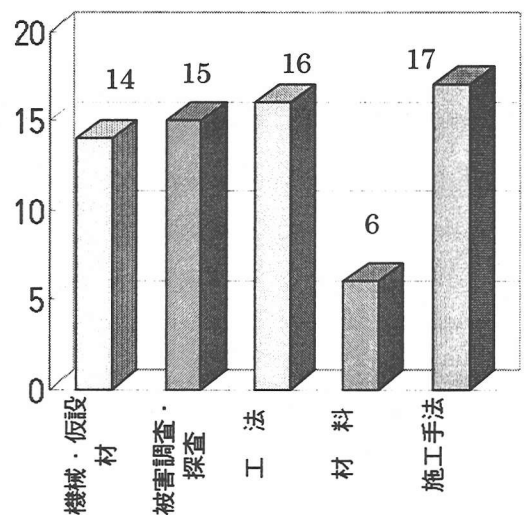


図 1.5 今後開発が望まれる技術

表1.1 今後開発が望まれる技術

工 法	16件	被害調査・探査	15件
・低振動・低騒音の橋脚、上部工工法	1件	・基礎杭・コンクリート構造損傷度の非破壊調査技術	6件
・スペースをとらない施工性の良い基部補強工法	1件	・高精度な鉄筋探査技術	5件
・安価で鋼板以外の施工性の良い補強工法	5件	・損傷評価技術	2件
・既設地下構造物の省力化耐震補強工法	3件	・土中における障害物の探査方法	1件
・既設構造物に付加する免震・制震工法	1件	・橋脚の出来形の詳細検測装置	1件
・中間拘束筋に替わる既設橋梁のせん断補強工法	1件	機械・仮設材	14件
・既設構造物下の地盤改良工法	2件	・狭い場所での施工性の良い足場	4件
・高強度・排泥の出ないジェットグラウト工法	2件	・鋼板巻立て機械	3件
施工手法	17件	・小型で掘削力の大きい杭打ち機	1件
・安くて施工が簡単な鉄筋継手	7件	・ストロークが長く安定感のある油圧ジャッキ	1件
・全自動溶接機による横方向の溶接方法	2件	・無塵・無振動の軽量なコンクリート破碎機	1件
・施工性の良い溶接方法	1件	・狭い場所でも施工可能なコンクリート削孔機	2件
・接合部の簡便な仕上げ方法	1件	・小型・高能率の障害物撤去機械	2件
・低騒音で安価な既設構造物表面処理方法	1件	材 料	2件
・既設・新設コンクリートの確実な一体化の方法	2件	・安価・軽量で高品質な注入材	1件
・短時間で施工できる鋼矢板継手方法	3件	・高強度・高流動コンクリート	1件

2. 地盤・土構造物の震災復旧工事および既設補強工事例調査結果（地盤・土構造物分科会担当）

地盤・土構造物分科会では、地盤・土構造物に関する震災復旧工事および既設の被災していない構造物の補強工事について、施工上工夫した点や今後開発が望まれる技術などを整理・分析した。

2.1 調査対象

調査内容は、各社が施工した主な震災復旧工事を対象に、その構造物の被災状況、復旧状況、今後望まれる施工技術などで、回答は当時の工事担当者に依頼した。ここで、調査の対象とした地震および構造物は以下の通りである。

- ・対象地震：①兵庫県南部地震（1995年1月17日、M=7.3）
 ②北海道東方沖地震（1994年10月4日、M=8.1）
 ③北海道南西沖地震（1993年7月12日、M=7.8）
 ④釧路沖地震（1993年1月15日、M=7.8）
- ・対象構造物：①港湾（護岸、岸壁）、②河川（堤防）

また、これらの構造物に対する既設補強工事についても併せて調査した。

2.2 調査結果

アンケート調査の結果、港湾（護岸、岸壁）44件、河川（堤防）13件、その他（道路および鉄道盛土）3件、合計60件の回答が得られた（図2.1）。このうち57件が本復旧工事の事例であり、仮復旧（2件）、既設補強（1件）の回答事例は少ない。また、本復旧の中の52件が耐震性の向上を図った補強工事である。被災地震別に分類すると、兵庫県南部地震での復旧工事が42件、その他の地震（北海道東方沖地震、北海道南西沖地震、釧路沖地震）が17件である。

以下では、主に港湾（護岸、岸壁）における震災復旧工事についての調査結果を示す。

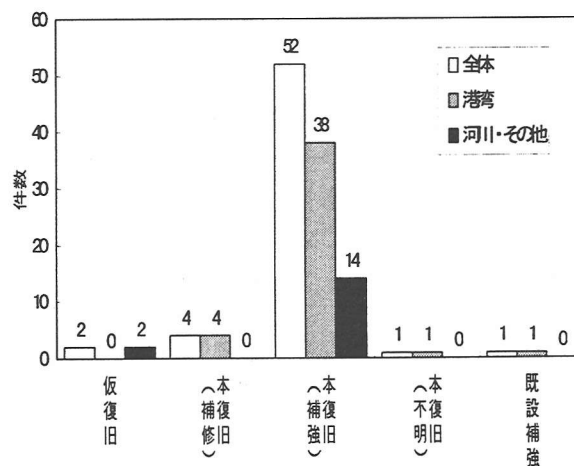


図 2.1 復旧種類別回答件数

(1) 設計震度

原設計の設計震度と復旧時の設計震度を図2.2に示した。図は兵庫県南部地震の港湾構造物での設計震度の調査結果であるが、全体の傾向として原設計での設計震度 0.15 が、復旧時に 0.2 に高められている様子がみて取れる。これは神戸港の岸壁の復旧方針¹⁾と符合する。

(2) 復旧方法

図2.3に港湾構造物の復旧方法に関する調査結果を示す。港湾構造物の復旧方法は被災の程度、周囲の状況に応じて各種の復旧方法が採られているが、兵庫県南部地震では前面矢板・控え杭、ケーソン前出し、栈橋前出しなど岸壁法線を海側に変更しての復旧方法が多く採られている。

(3) 工法選定理由

図2.4に港湾構造物の工法選定理由に関する調査結果を示す。兵庫県南部地震以外では工期の制約と作業空間の制約が同数であるが、兵庫県南部地震では工期の制約から工法を選定したと答えた事例が非常に多いことが特徴である。

(4) 施工上工夫した点

図2.5に施工上工夫した点（港湾）に関する結果を示す。構造物・基礎の撤去、コンクリートの施工、プレキャスト化・プレハブ化、矢板・杭の打設に関する工夫が多く、ケーソンの撤去、地中障害物の撤去に苦労したことが、工期が厳しく施工の効率化に努力がなされたことがこの結果からわかる。

(5) 今後開発が望まれる技術

図2.6に今後開発が望まれる技術に関する調査結果を示す。地中障害物のある所での施工技術、被災した構造物の撤去技術の開発を望む声が多く、地盤・土構造物では地中の障害物に対処できる、あるいは地中障害物に左右されない施工技術の開発が今後の課題であるといえる。

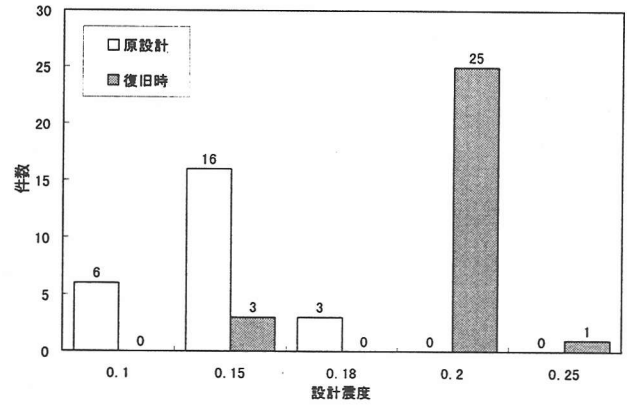


図 2.2 復旧前後の設計震度 (港湾、兵庫県南部地震)

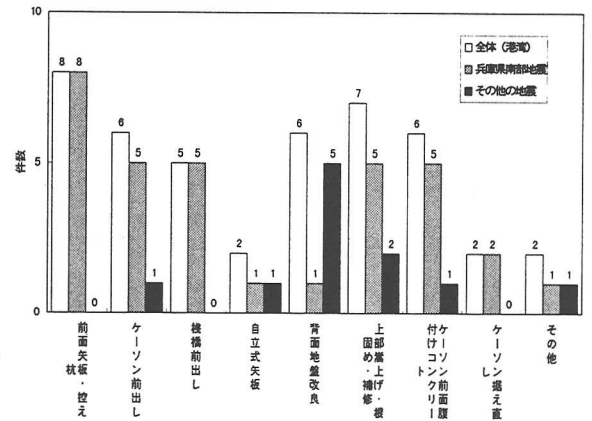


図 2.3 復旧方法 (港湾)

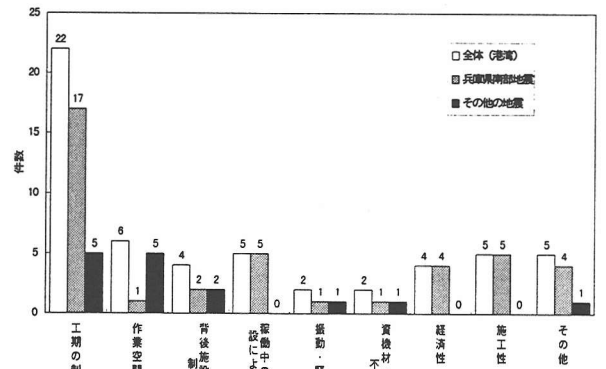


図 2.4 工法選定理由 (港湾)

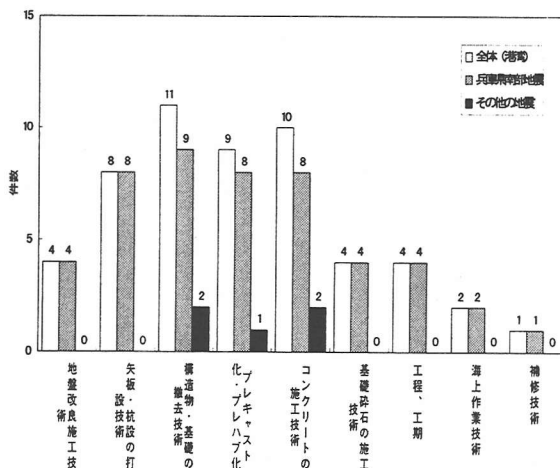


図 2.5 施工上工夫した点 (港湾)

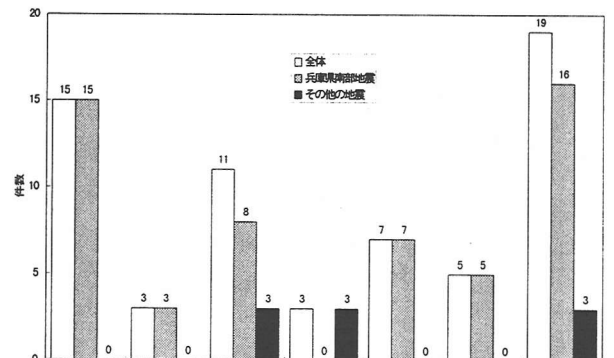


図 2.6 今後開発が望まれる技術

3. 地中構造物の耐震補強・復旧工事事例調査結果（地中構造物分科会担当）

地中構造物の耐震補強・復旧工事における施工事例のアンケート調査を行い、施工上の問題点を洗い出し整理した。本調査は、地中構造物に関する阪神・淡路大震災時の復旧工事およびその後の大都市圏における耐震補強工事を対象に、工事概要、被災概要、被災調査、復旧工事、施工技術等の項目について実施したものである。

3.1 調査結果

(1) 補強・補修別分類、構造種別分類結果

アンケート回答は合計 23 件である。これらを補強・復旧別、構造種別件数に分類した一覧表を表 3.1 に示す。補強・復旧別分類結果は、震災復旧工事；14 件、再構築工事；1 件、補強工事；8 件となっている。また、構造種別分類では、鉄道；13 件、下水道；5 件、水道；3 件、水路、河川；各 1 件であり、鉄

表 3.1 調査件数一覧表

構造物用途	構造物名称	復旧	再構築	補強	合計
鉄道	カルバート・トンネル	6	0	7	13
下水道	処理場・管路・立坑	5	0	0	5
水道	沈澱池	3	0	0	3
水路	排水路	0	0	1	1
河川	トンネル	0	1	0	1
合計		14	1	8	23

道施設が 60%弱を占める。構造物の種類は、鉄道はカルバート構造物（地下鉄道の駅部、線路部）、下水道は下水処理場の処理施設、管路施設、立坑であり、水道施設は沈澱池、送水管である。

(2) 補強・復旧工事概要

補強・復旧工事の概要は以下のとおりである。

① 鉄道施設

地下のカルバート構造物の震災復旧工事では、特に被害の大きかった側壁、中柱に対しては再構築、また被害の小さなものについては、樹脂注入による補修とともに鋼板巻立てあるいは炭素繊維を用いた補強が行われている。耐震補強工事ではほとんどが鋼板巻立てによる補強を実施している。

② 下水道施設

下水処理場の各構造物の損壊が著しい場合は基礎工を含めて再構築している。被害の大きな管路は既設管路内部に FRPM 管を設置し、被害の小さな管路は止水ゴム等による止水工を実施している。また、被害が著しかった人孔は、再使用が不可能と判断されたため、新設を前提として止水注入による補修を実施している。

③ 水道施設

浄水場の沈澱池の伸縮目地の目開きは補修を行い、再使用不可能な基礎杭は横方向地盤反力増加のための地盤改良工事を行っている。また、小口径管路は切断、欠損部の応急復旧後取り替えている。

④ 河川構造物

河川用のトンネル構造物では被害が著しかったため、再使用が不可能と判断され、再構築を行っている。

(3) 施工技術

施工技術についての主なアンケート項目を整理すると以下のとおりである。なお、以下の項目の他に、仮設材の本体利用、旧部材の利用、建設副産物の利用、新技術の採用などがあげられている。

① 撤去解体方法

コンクリート構造物の撤去・解体には、従来のブレーカー、クラッシャー等の施工機械が使用されており、粉塵対策としてのハイウォッシャー、シート、騒音対策としての防音シートが併用されている。ただし、工事によっては、粉塵、騒音防止向上のために、ワイヤーソー、ウォールソー等が使用されている。

② 省力化技術および高速施工技術

カルバート中柱補強工事においては、鋼板の加工寸法の均一化、現場加工時間の短縮のための工場加工、および巻立て用鋼板の分割数低減を行っている。また、中柱外周に角型鋼管を用い中詰めコンクリートを充填す

る角型鋼板補強RC柱も使用されている。移動時間の短縮のために、簡便に移動可能なJSGマシン搭載移動台車が使用されている。また、作業足場の撤去・設置の工程短縮のために、モーターカーと台車を利用したタワー足場が使用されている。カルバートコンクリート解体時の空間確保、工期短縮のために、山留め支保工として切梁を使用せずに、グラウンドアンカーを使用しているケースもある。

③今後開発が望まれる技術

実際の工事では採用されなかったが、今後同種の工事を行う場合に必要と思われた施工技術として表3.2に示す技術があげられた。

表 3.2 今後開発が望まれる技術

対象	コンクリート構造物	鉄筋、アンカー関連	柱補強
必要と思われた施工技術	安価で、早く、無騒音、無粉塵の解体方法	高解像度の鉄筋探知機	鋼板に替わる、軽量、施工能力向上が図れる新素材
	確実な非破壊検査方法	残置アンカー位置確認技術	早くてシンプルな方法
		床版切断鉄筋の接合、代替方法	柱と鋼管の空隙を確実に充填する充填材料、充填技術
			鋼板の容易な溶接または接続方法
			鋼板取り付け機械

(4) 施工上の問題点と成功要因

①施工上の問題点

施工上の問題点として取り上げられた項目とその件数を表3.3に示す。上水道・下水処理場、地下鉄などの緊急性を要する構造物が被害を受けた現場では、工程や工期を制約される傾向にあった。また、地下鉄の柱を鋼板で巻き立て補強する時のトラブルで、溶接熱による鋼板の変形によるものが多かった。安全面では、災害復旧で近接した工事や倒壊家屋の近くの工事であったことや作業員が固定しないことで気をつかった現場もあった。

②成功要因

周辺環境が劣悪であったにもかかわらず工事が成功した要因を表3.4に示す。成功要因として特に多かったのが、本支店からの応援や協力業者を含めて現場における体制づくりを挙げる現場が多かった。また、早期の復旧には施主や地元の協力も欠かせない。資材や機材の搬入に船を利用したことを挙げる現場もあった。

表 3.3 施工上の問題点

項目	件数
工程、工期が制約された	4
鋼板巻き立て時のトラブル	4
施工場所が狭い	3
近接工事の発注、施工時期の調整が必要	1
図面類（竣工図、施工図、計画書）がない	1
図面と現況が異なっている	1
材料の搬入が人力によった	1
作業員が固定せず安全面に気をつかう	1
倒壊家屋近傍の作業で安全に気をつかう	1
合計	17

表 3.4 成功要因

項目	件数
体制づくりがうまくいった	8
地元の協力があつた	4
施主の協力があつた	2
同じ敷地内で別工事を施工中で、早期の応急復旧が可能	2
船を利用した資材、機材の搬入が可能であつた	1
合計	17

4. 耐震診断技術調査結果

耐震診断技術のアンケート調査を行った。回答の件数は31件であった。

表 4.1 耐震調査システム

No.	名 称	対象構造物	調査目的	開発年	会社名
1	杭の形状推定・動的支持力測定システム(D PAS)	基礎杭	杭の長さや形状、杭の支持力	1991	(株)鴻池組
2	小型カメラによる既製杭の損傷撮影	中空既製杭	損傷状況の把握。概略のクラック幅の推定。	1995	大成建設(株)
3	特殊傾斜計による杭の曲がり測定	中空既製杭	既製杭の曲がり状況調査	1995	大成建設(株)
4	杭基礎の健全性診断技術	基礎構造物(杭、ケーソン)	損傷の深度、程度の把握。既製杭の曲がり性状の把握。	1995	大成建設(株)
5	地盤調査技術	地盤	貫入抵抗値 q_c と間隙水圧 u_d 。標準貫入試験のN値に相当する N_{d0} 。	1988	東急建設(株)
6	杭傾斜計(孔内傾斜計)	既製杭(構造物基礎)	既製杭の傾斜角・変形量・たわみ量の測定	1995	清水建設(株)
7	AE法による基礎杭の破損診断システム	コンクリート杭	基礎杭に生じた損傷、破損の有無と位置の特定	1995	飛鳥建設(株)
8	コンクリート構造物のひびわれ計測システム	コンクリート構造物	構造物の維持管理や劣化診断に必要なひびわれの調査	1990	鹿島建設(株)
9	コンクリート構造物のひびわれ深さ測定装置	コンクリート構造物	コンクリートに発生したひびわれ深さを非破壊で測定	1988	鹿島建設(株)
10	配筋非破壊検査システム	RC構造物	鉄筋のかぶり厚さ、鉄筋径を非破壊で検出	1989	鹿島建設(株)
11	鉄筋腐食診断システム	RC構造物	コンクリート構造物中の鉄筋の健全箇所と腐食箇所を非破壊で選別	1990	鹿島建設(株)
12	GEO-EXPLORER(地盤調査車)	地盤	地盤構造、液状化強度、S波速度構造などを連続的に調査	1994	鹿島建設(株)

表 4.2 耐震性評価システム

No.	名 称	対象構造物	診断レベル	診断目的	会社名
1	RCラーメン橋脚耐震診断システム	橋梁	詳細	既設RCラーメン橋脚の補強断面の検討	(株)奥村組
2	地震危険度解析システム<ERISA>	基礎、ダム、地盤	概略	設計用入力地震動強さの評価	西松建設(株)
3	既存建築物の耐震診断システム	建築物	概略、詳細	既存建築構造物の耐震性能チェック	東洋建設(株)
4	鉄筋コンクリート橋脚耐震診断システム	橋梁	詳細	復旧仕様に基づく鉄筋コンクリート橋脚の耐震性能	日産建設(株)
5	タンク・基礎地盤の安全性診断システム	タンク	詳細	「旧法タンクの安全性確保のための政令等の一部改正」による安全性診断	日産建設(株)
6	耐震補強工法選定システム	橋梁	詳細	既設橋脚の補強の必要性を判断し、最適な補強工法を選定	(株)鴻池組
7	SRM(地震リスクマネジメント)	その他	概略	信頼性解析手法に基づく地震リスクの評価	大成建設(株)
8	既設地下構造物の耐震検討	地下構造物	詳細	既設地下構造物の現状を踏まえた耐震性のチェック	大成建設(株)
9	地盤の耐震性評価技術	地盤	詳細	地盤の耐震性を詳細に診断し、有効な対策工の選定とその効果を評価	東急建設(株)
10	鉄筋コンクリート橋脚耐震診断	橋梁	詳細	復旧仕様に基づく耐震照査および補強設計	(株)青木建設
11	旧法タンク総合診断システム(TEET)	基礎、地盤	概略	消防法技術基準に基づく既設石油タンク(旧法タンク)基礎・地盤の安全性チェック	清水建設(株)
12	鉄筋コンクリート橋脚耐震診断システム	橋梁	詳細	復旧仕様に基づく鉄筋コンクリート橋脚の耐震性能チェック	三井建設(株)
13	鉄筋コンクリート橋脚の非線形動的解析システム	橋梁	詳細	震災後の道路・鉄道の設計指針に基づく鉄筋コンクリート橋脚の耐震性能チェック	(株)間組
14	微動観測を利用した表層地盤の評価技術	地盤	概略	比較的単純な構造を有する表層地盤の地震危険度評価	(株)熊谷組
15	杭式構造物の保有水平耐力評価	杭式棧橋	詳細	杭式構造物の非線形挙動を把握し、地震の頻度や対策コストを含めた総合的な地震対策の検討	東亜建設工業(株)
16	港湾構造物の耐震診断システム	護岸、岸壁、棧橋	概略、詳細	護岸・岸壁の現行基準による耐震性の概略評価、想定地震動を踏まえた耐震性能の詳細評価及び補強工法の提案	鹿島建設(株)
17	RC構造物の耐震診断システム	橋脚など	概略、詳細	目視主体の現地調査結果に基づく概略評価による詳細診断対象の絞り込み、非破壊検査結果に基づく想定地震動を踏まえた耐震性能の詳細評価	鹿島建設(株)
18	石油タンクの安全性評価検討システム	石油タンク	概略、詳細	消防法技術基準に基づく既設石油タンク(旧法タンク)基礎・地盤の安全性チェック	鹿島建設(株)
19	地震危険度解析システム<SEIRA>	特定しない	概略	設計用入力地震動強さの評価	鹿島建設(株)

4.1 調査結果

今回の調査では、原位置において構造物がどのような状態にあるのかを調査する「耐震調査システム」に12件、調査結果をもとに構造物の耐震性能を評価する「耐震性評価システム」に19件の回答があった。

(1) 耐震調査システム

耐震調査システムでは、阪神・淡路大震災以後、杭の調査技術が5件開発されているのが注目される。

(2) 耐震性評価システム

耐震性評価システムでは、主として橋梁・橋脚を対象とするRC構造物の耐震診断システムが7件で最も多く、次いで旧法タンクの診断システム、地盤の耐震性評価システムなどが多い。

今回のアンケートでは、短期間に回答をお願いしたため、各社が保有する技術を全て集められているかどうか疑問である。この調査は、各社が保有している技術を集め、資料集を作成することが目的であるため、新たに開発した技術等で今回の調査から漏れている技術があれば、追加していく予定である。

おわりに

本報告は、実施したアンケート調査の中から特に耐震補強・補修工事における施工上の問題点、苦勞した点、工夫した点および今後望まれる施工技術を中心にそのまとめの概要を示したものである。その中で復旧工事におけるこれらの項目は大震災の教訓と今後の対応という観点から、資料として残すことは貴重なものであると考えられる。ただし、今回のアンケート調査結果は、収集件数が十分とはいえ、ある意味で偏りのあるデータであることをご理解を頂きたい。

また、耐震診断技術の調査では、本文に示したようにまだ十分でなく、関係各位のご協力をお願いしたい。

最後に、このアンケート結果が今後の施工技術の向上に役立てば幸いである。また、ご多忙中、アンケート調査にご回答して頂いた方々に感謝致します。

【参考文献】

- 1) 及川研、輪湖建雄、松永康男、成瀬英治：神戸港の港湾施設の復旧・復興、阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集、pp.501-508、1996年1月。