

# 土木施工研究委員会 第7施工小委員会報告

## 耐震補強・補修事例に関するアンケート調査結果

### 1. はじめに

土木施工研究委員会・第7施工小委員会は、阪神・淡路大震災を契機に耐震診断、耐震補強・補修技術ならびに高度化する耐震構造技術に関し、施工の立場からの調査・研究を行うことを目的に、1996年4月に発足した。現在、当委員会は橋梁・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、阪神・淡路大震災後に見直しされた基準類の調査研究、耐震補強・補修事例の調査研究、耐震診断技術の調査研究ならびにシンポジウムの開催などを実施している。

本小委員会報告は、これらの活動の一環として土木施工研究委員会参加企業29社を対象に1998年から1999年に行ったアンケート調査を基に、各分科会の視点で耐震補強・補修技術の現状や課題等について、整理・分析を行ったものである。なお、本委員会では、1996年度にも同様なアンケート調査を行い、阪神・淡路大震災直後の復旧工事を中心とした耐震補強・補修および耐震診断に関する施工上の問題点等について取りまとめて報告を行っている<sup>1)</sup>。その後、各事業主体では、各種耐震基準の改定に伴い、耐震性の向上を目的とした各種の補強工事が積極的に行われてきており、この間に新しい技術で施工されるなど状況が変化しているものと考えられる。今回は、この点に着目し、実際に行われた耐震補強・補修事例を通して、今後の施工上の課題を分析したものである。

### 2. 橋梁・基礎の耐震補強事例調査（橋梁・基礎分科会担当）

橋梁・基礎分科会では、橋梁の上・下部工および基礎工について、耐力や耐震性能等の構造特性を所要の耐震性能に向上させるような補強工事を対象に、①補強工法、②施工環境、③施工技術、④設計方法、⑤新しい耐震補強技術等について調査・検討した。

調査においては、特に施工経験に基づいた内容を全般的に把握することを目的に、アンケート方式を採用した。アンケートの回答数は84件であり、阪神・淡路大震災の被害の教訓を踏まえて各種耐震基準・示方書類が改訂されたことに伴い、耐震性の向上を目的とした各種補強工事が、様々な事業体によって全国各地で実施されていることが伺える。

ここでは、『下部工』、『基礎工』、『落橋防止構造および支承』の3つの部位に分類し、それぞれについて工法選定理由、技術的課題等についてとりまとめるとともに、『設計方針』についてもとりまとめた。なお、ここでは、基部補強を下部工の補強工法として整理した。

#### 2.1 調査対象および調査方法

対象工事は、1996年度実施のアンケート調査（以下、前回調査）と内容が重複することのないよう、1995年以降に実施された橋梁・基礎に関する耐震補強工事とし、各社がそれぞれ施工した中から代表的または新規性が高いと考えられる事例を抽出し回答していただいた。アンケート調査項目を表2-1に示す。

#### 2.2 調査結果

回答をいただいた84件のアンケート調査について集計された事業者の内訳は、図2.1に示すように、阪神高速道路公団27件、地方自治体24件、首都高速道路公団11件、日本道路公団およびJR以外の私鉄各7件、JR（JR西日本、JR東海）5件、水資源開発公団およびその他各1件であった。

##### (1) 下部工の補強

補強工法別にみると、下部工については図2.2に示すように、鋼板巻立て工法が60件と最も多く、RC

表 2.1 橋梁・基礎の耐震補強事例アンケート調査項目

大項目	小項目
橋梁種別	用途、上部工形式、下部工形式、基礎工形式
工事概要	工事名称、発注者、施工業者、施工場所、工事概要、地質概要、工期、工費
補強工法	工法名称、概要、工法決定理由、補強詳細図、同工法の採用例
施工環境	工事の時間帯、資機材搬入方法、施工機械、近隣状況とその対策
補強前構造	築造時期、適用基準、構造図
施工技術	施工上の特徴、技術上の課題、施工上の課題、施工技術関連詳細図
設計方法	準拠基準、設計方針、設計震度、入力地震動、解析手法、解析モデル
関連技術	耐震補強に関する新しい技術等

巻立て工法と炭素繊維シート巻立て工法がそれぞれ 13 件、10 件でこれに次ぎ、前回調査時には事例がなかったアラミド繊維シート巻立て工法とモルタル吹付け工法が今回は数件あった。また、目新しいものとしては、アラミドFRPロッドを用いたプレストレス導入（内ケーブル）工法によるRC壁式橋脚の補強事例が 1 件あった。全体的には前回調査結果とほぼ同様の傾向であったが、繊維シート巻立て工法の比率が全体の 7.4%から 14.6%に増加していること、アラミドFRPロッドの採用など、新材料・新工法が徐々に採用されてきていることが伺い知れる。

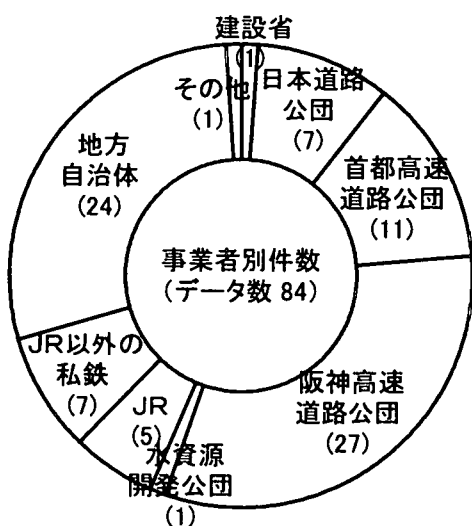


図 2.1 事業者別件数

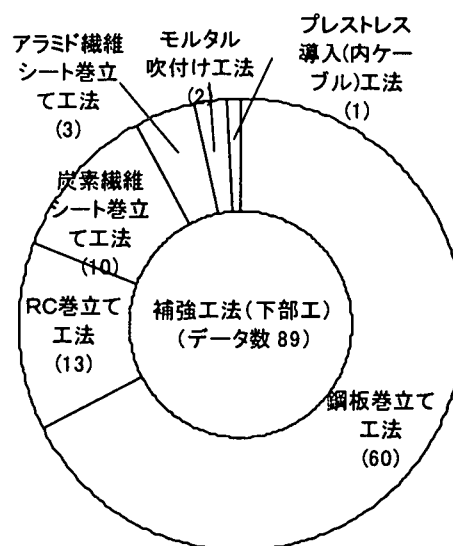


図 2.2 下部工の補強工法

## (2) 基礎工の補強

基礎工については図 2.3 に示すように、フーチング増設工法および杭増設工法あるいは両者の併用工法が最も多く、次いで地盤改良工法等の順であった。震災後の復旧工事が主な対象であった前回調査時の下部工補強事例と基礎工補強事例の割合は約 3 : 2 であったが、今回は約 9 : 2 で、基礎工補強事例が相対的に少なくなっている。現状では、施工が比較的容易で、用地制限、道路占有等の制約条件が比較的少ない下部工の耐震補強に目が向けられているようである。

(3) 落橋防止構造および支承 落橋防止構造および支承については図 2.4 に示すように、変位制限および落橋防止のための移動制限装置設置工法が最も多く、支承取り替え工法や主桁連結工法が散見された。また、

その他に分類したが、床版本体の補強等も行われているようである。

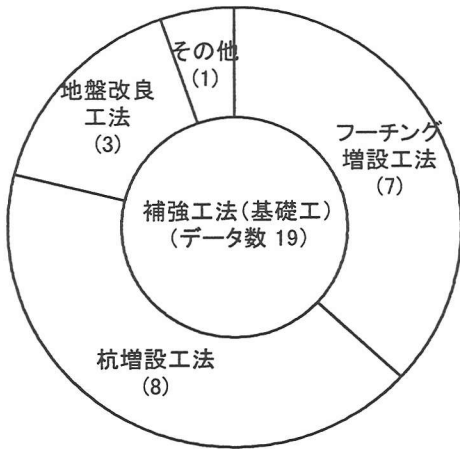


図 2.3 基礎工の補強工法

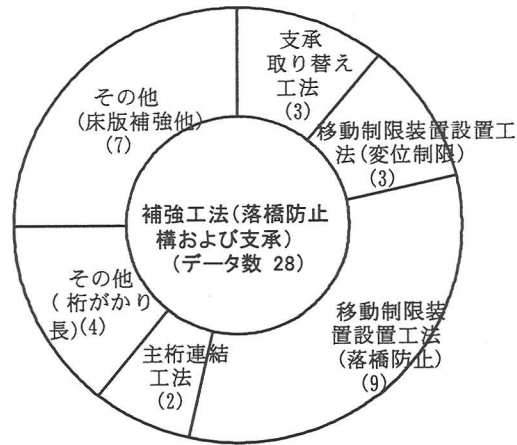


図 2.4 落橋防止構造および支承の補強工法

#### (4) 設計方針

設計方針に目を向けると、従来から行われてきた曲げ耐力やせん断耐力あるいはその両方の向上を目的とした補強のみならず、各種耐震基準・示方書類でじん性設計が取り込まれたこと、および震災後その重要性が見直されてきたことに伴い、曲げ・せん断耐力とバランスをとりつつじん性を向上させることを目的とした補強事例も数多く見受けられた。解析方法については、地震時保有水平耐力法が最も多かったが、地震時挙動が複雑な橋梁等では非線形動的解析を行い、その結果を設計に反映させるといった手法が採られているようである。

#### (5) 事業者別の補強工法

下部工については図 2.5 に示すように、ほとんど全ての事業者で鋼板巻立て工法が採用されていた。阪神高速道路公団が特に多く、次いで首都高速道路公団という傾向は、前回調査結果とほぼ同様である。なお、前述したように前回調査時には事例が挙がっていなかったアラミド繊維シート巻立て工法が首都高速道路公団と地方自治体で、モルタル吹付け工法が日本道路公団とJR以外の私鉄で、それぞれ採用されていた。基礎工については図 2.6 に示すように、今回調査では鉄道関係の事業者等では補強事例がないが、それ以外の事業者では、フーチング増設工法と杭増設工法あるいはその併用工法が採用されていた。

落橋防止構造および支承については図 2.7 に示すよ

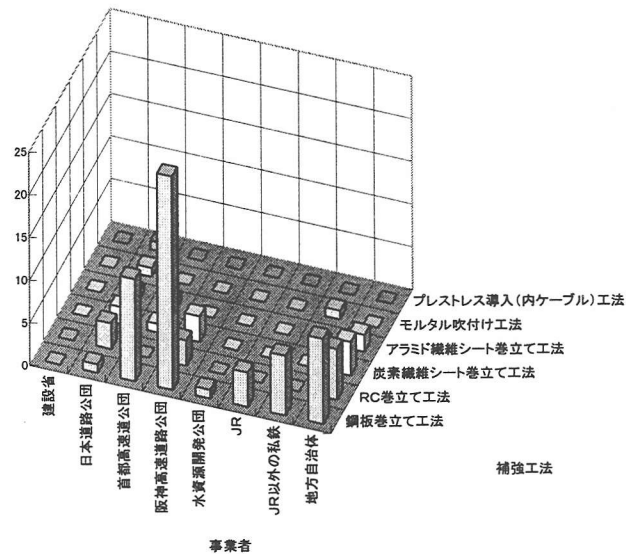


図 2.5 下部工の補強工法(事業者別)

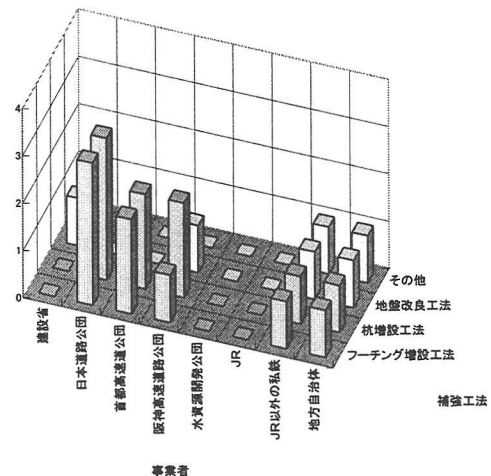


図 2.6 基礎工の補強工法(事業者別)

うに、各地方自治体での補強事例が多かった。工法は多岐に亘っているが、特に移動制限装置設置工法の内、落橋防止が多い。

### 2.3 まとめ

橋梁下部工については、鋼板巻立て工法による補強事例が多く、鋼板等に高強度の材質が使用されるようになってきている。また、構造的に複雑な形状の橋脚の補強事例が増加してきている。これらに対処するため、新工法、新材料が採用されている。

基礎工の補強方法としては、杭・フーチング増設工法が大部分で、一部地盤改良が実施されている。しかし、阪神・淡路大震災後の補修工事と比較して、橋梁の補強工事にしめる基礎部分の補強工事の比率が相対的に減少している。

以上の調査結果より、橋梁下部工については構造的に特殊な部分を除き、ほぼ補強方法が確立しているものと思われる。しかし、基礎工については下部工に比べ対応が遅れており、今後、橋梁基礎部の補強について、指針づくり対策工法の提案が必要と思われる。

さらに、技術上の課題として、基部補強としてフーチングにアンカーを打設する際の鉄筋探査技術の精度の向上を挙げている回答が多い。これは前回アンケート調査においても同様の課題が挙げられていたことから、早急な対応が望まれている。

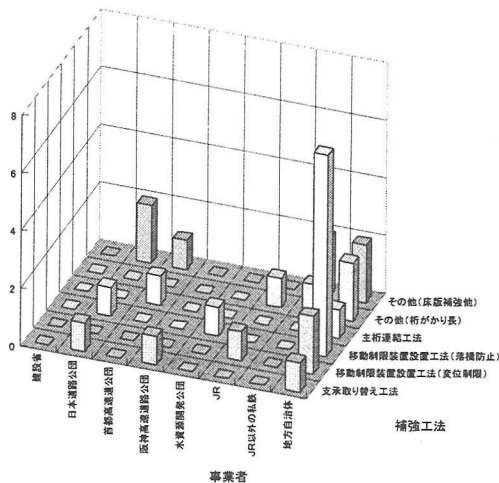


図 2.7 落橋防止構造および支承の補強工法 (事業者別)

## 3. 地盤・土構造物の耐震補強事例調査 (地盤・土構造物分科会担当)

阪神・淡路大震災から5年が経過し、震災後見直された耐震基準に準拠した耐震補強工事の数も増えてきている。そこで、今後の耐震補強工事の参考とするため、改訂された基準に準拠した地盤・土構造物の耐震補強対策、特に液状化・流動化対策を絞って、その事例調査から対策方法、検討段階での問題点、施工段階での問題点などについて検討を加えた。以下、その検討結果を報告する。

### 3.1 調査方法

調査は、以下に示すように大きく2つの内容に分けて実施した。

- ① 液状化・流動化の検討および対策工に関するアンケート
- ② 液状化・流動化 設計・施工事例

①のアンケートは該当する部署の担当者、②の設計・施工事例は各社が担当した工事（現在担当しているもの、および工事未着手のものも含む）の担当者に回答を依頼した。調査対象は阪神・淡路大震災以降に行われた液状化・流動化の検討および対策工事とした。調査項目は、①のアンケートでは実施件数など全般的な内容とし、②の設計・施工事例では個別事例の対策方法、検討段階での問題点、施工段階での問題点など詳細な内容とした。それぞれの調査項目を表3.1、表3.2に示す。

### 3.2 調査結果

①のアンケートに対して20社から、②の設計・施工事例に対して19社から33件の回答が得られた。以下にこれらの分析結果を示す。

表 3.1 液状化・流動化の検討および対策工に関するアンケート調査項目

1. 阪神・淡路大震災以降の液状化検討の実施件数
2. 所有する液状化判定ソフト
3. 動的解析による液状化の検討の有無
4. 阪神・淡路大震災以降の流動化検討の実施件数
5. 阪神・淡路大震災以降の液状化対策工事の実施件数
6. 阪神・淡路大震災以降の流動化対策工事の実施件数
7. 液状化・流動化対策として今後開発が望まれる設計・施工技術
8. 耐震に関して興味あるいは関心のあるテーマ

表 3.2 液状化・流動化 設計・施工事例調査項目

1. 対象構造物
2. 対象地点の状況
3. 検討時に用いた判定基準と判定結果
4. 対策工法と対策工法の規模
5. L2 地震動の設計レベル
6. 新基準を用いての検討段階での問題点
7. 新旧基準の設計比較
8. 対策工法に対する制約条件と施工時に判明した問題点

(1) 液状化・流動化の検討および対策工に関するアンケート調査結果

阪神・淡路大震災以降の液状化検討の実施件数を図 3.1 に示す。液状化検討の実施件数は 10 件以上が 8 社、このうち 20 件以上が 4 社あるが、0 を含め 4 件以下も 7 社あり、会社によって実施件数にばらつきが見られる。図 3.2 に動的解析による液状化の検討の有無を調べた結果を示した。回答のあった 19 社中 13 社が動的解析による検討を実施しており、また使用プログラムに 2次元の有効応力解析などのプログラムを挙げている会社も多い。阪神・淡路大震災後に改訂された耐震基準で設計地震力が見直されたことや、それに伴い高度な解析が必要になったことが影響していると想像できる。図 3.3 には液状化対策工事の実施件数を示した。検討件数に比べ、全体的に工事実施件数の少ない会社が多く、検討の実施件数では 10 件以上の会社が最も多いのに対して対策工事の実施件数は 4~1 件の会社が多い。

図 3.4 に流動化検討の実施件数を示す。流動化検討は液状化検討に比べて実施件数の少ない会社が多く、実施件数 0 の会社が 9 社もある。流動化対策工事となると、実施件数は非常に少なくなり、図 3.5 に示すように回答のあった 16 社中 13 社が実施件数 0 となる。液状化に伴う地盤の流動化は阪神・淡路大震災で大きな問題となったが、この実施件数の少なさは流動化に対する対応が遅れていることを示しているとも考えられる。

図 3.6 に今後開発が望まれる設計・施工技術に関する意見をまとめた。設計では主にレベル 2 地震動あるいは地震動レベルに応じた設計技術の開発を望む声が多く、施工では既設構造物直下ならびに近傍での対策工法の開発を望む声が多い。

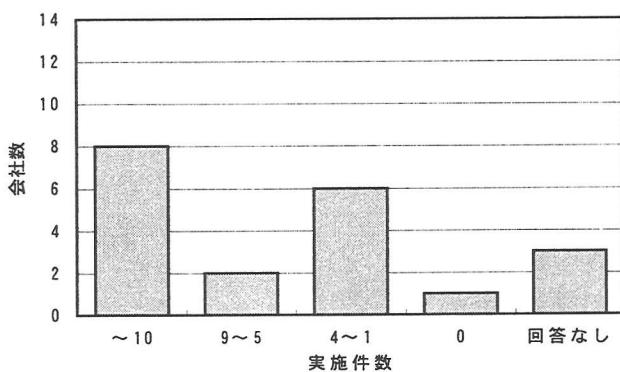


図 3.1 液状化検討実施件数

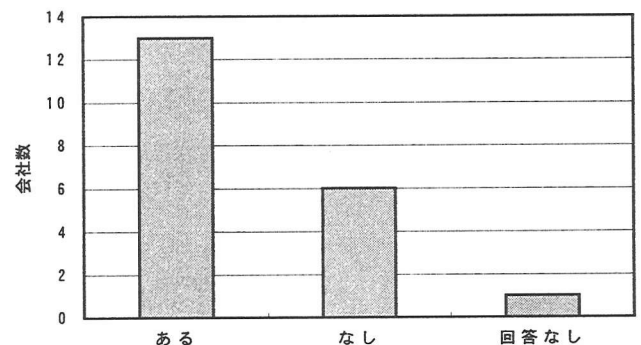


図 3.2 動的解析による液状化検討実施件数

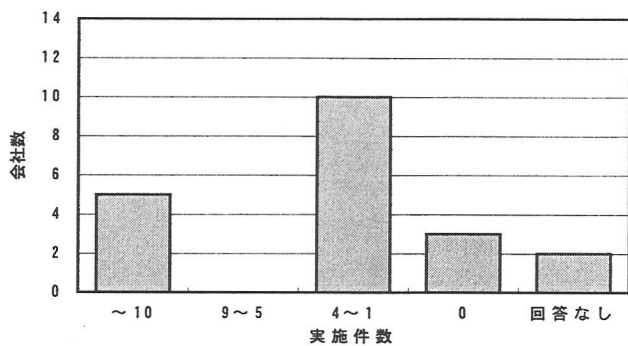


図 3.3 液状化対策工事实施件数

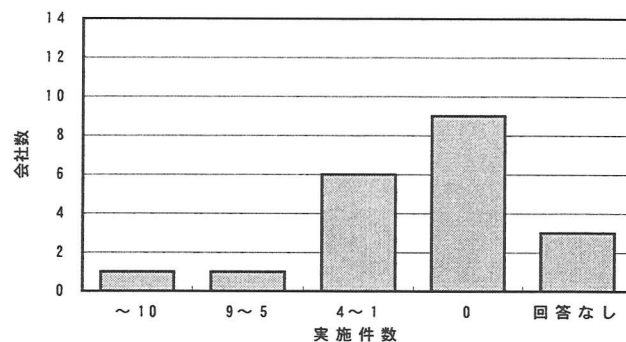


図 3.4 流動化検討実施件数

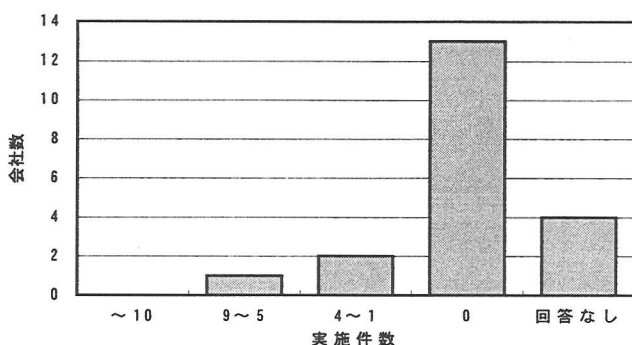


図 3.5 流動化対策工事实施件数

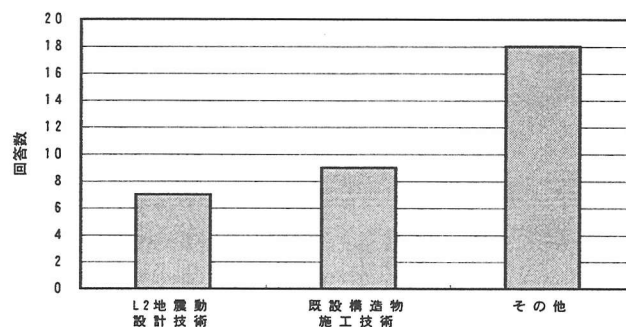


図 3.6 今後開発が望まれる設計・施工技術

## (2) 液状化・流動化 設計・施工事例調査結果

回答された事例の対象施設を新設・既設区分と合わせて図 3.7 に示す。海岸・河川施設が 14 件 (42%)、上下水道施設が 5 件 (15%)、道路施設が 4 件 (12%) で、海岸・河川施設の事例が多い。また、新設構造物が 27 件 (82%) あり、既設構造物に対する事例は少ない。

設計地震力 (レベル 1、レベル 2) に関しては 18 件 (55%) しか回答が得られなかったが、図 3.8 に対象施設ごとに集計結果を示す。阪神・淡路大震災後に改訂された耐震基準にレベル 2 地震動が全面的に打ち出されている割にはレベル 2 地震動の対応事例は回答のあった 18 件のうち 7 件と少ない。また、この大震災では液状化に伴う地盤の流動化も問題となったが、図 3.9 に示すように流動化の対応事例も 2 件 (6%) に過ぎない。検討着手時期をまとめた図 3.10 を見ると、17 件 (51%) が阪神・淡路大震災 (平成 7 年 1 月) から 2 年を経過した以降に着手されている。それにも拘わらず、レベル 2 地震動や流動化に対する事例が少ないのは、耐震基準の改訂に伴い極端に設計地震力が増加したことや、流動化などの検討項目がまだ定着していないことも原因していると想像できる。

検討段階の問題点として、回答件数は少なかったが、改訂された耐震基準では「対応できる対策工法がない。」、「検討に多大な時間を要する。」、「対策規模が大きくなる。」などの意見が比較的多く見られた。すなわち、実務レベルで液状化および流動化対策に対する設計技術が改訂された耐震基準に追いついていないことが考えられる。

図 3.11 に選定された対策工法の工法原理 (複数回答: 延べ 38 件) を示す。今回の調査では固結工法 (14 件、37%) と密度増大工法 (13 件、34%) が大半を占め、レベル 2 地震動対応の事例 7 件のうち 4 件が固結

工法を採用していた。固結工法の割合が大きい特徴が見られるが、これも設計地震力が高められたことの結果とも考えられるが、回答件数が少なく、その関係は明確にはなっていない。

対策工の施工上の制約として、回答件数は少ないものの、既設構造物への影響を挙げている事例が比較的多い。今回は既設構造物を対象とした事例は非常に少なかったが、既設構造物への影響の少ない工法の開発が望まれる結果と言えよう。

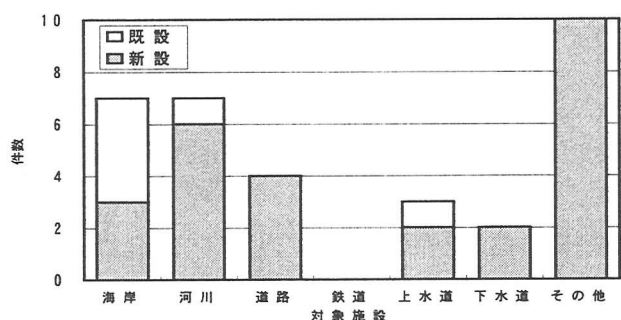


図 3.7 対象構造物の施設別件数（新設・既設区分）

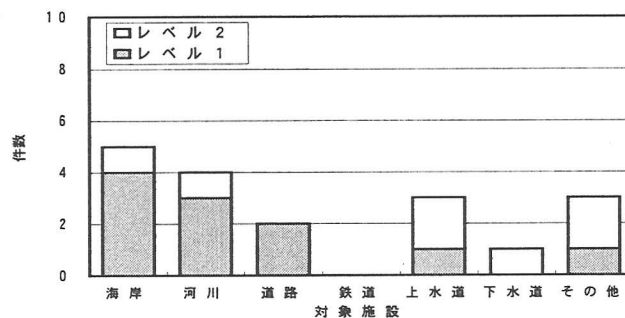


図 3.8 対象構造物の施設別件数（地震力区分）

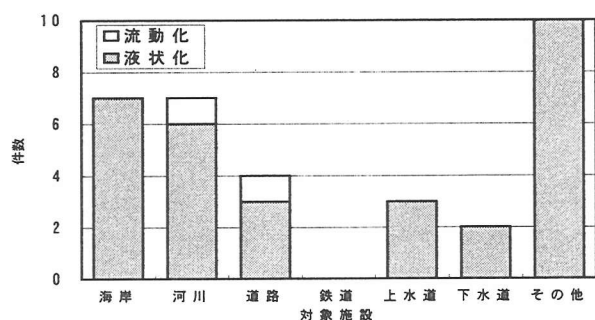


図 3.9 対象構造物の施設別件数（液状化・流動化区分）

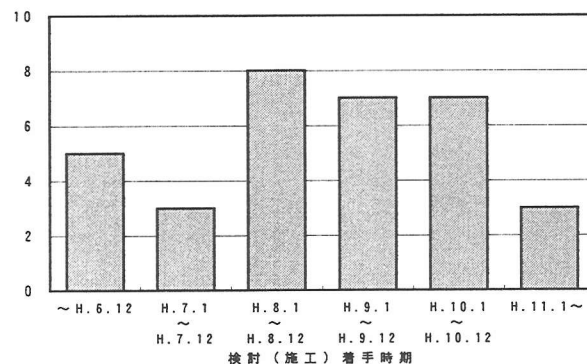


図 3.10 対象構造物の検討（施工）着手時期

### 3.3 まとめ

阪神・淡路大震災をきっかけとして「L2 地震動」および「流動化」の2つのキーワードが大きく取り上げられたが、これら2つに関する事例は意外と少なかった。また、従来<sup>2)</sup>と異なり、対策工法に固結工法が比較的多く採用されていたという興味深い結果が得られた。しかし、今回のアンケート調査は回答件数が少なく、偏ったデータであることは否定できない。また、調査対象を建設会社としたため施工のみの事例が多く、設計に関する情報も得られにくかった。今後は設計会社にもアンケート調査を行い、設計に関する情報を充実させる予定である。

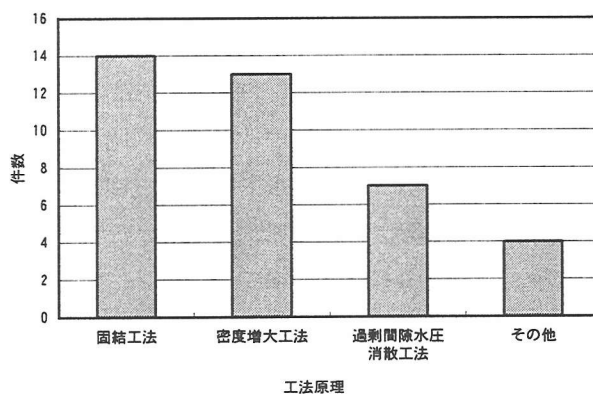


図 3.11 選定された対策工法の工法原理別件数

#### 4. 地中構造物の耐震補強工事事例の調査（地中構造物分科会担当）

地中構造分科会は、阪神淡路大震災以降における大都市圏の地中構造物の耐震補強工事における工事事例のアンケート調査を行い、主に対象構造物の補強方法および施工環境等について調査し、施工的な問題点の洗い出しを行い、整理した。

##### 4.1 調査方法

本調査は、地中構造物の耐震補強工事について、事前調査、補強工事内容、設計方法、施工環境、施工技術等についてアンケート調査を行ったものである。地中構造物としては、地下鉄道、地下駅、シールド、洞道、水路、立坑等の構造物を調査対象とした。

なお調査に際しては、アンケート用紙に記入要項、記入事例を添付し、1995年以降に行った補強工事を記入してもらった。

##### 4.2 調査結果

###### (1) 構造種別、補強箇所別、補強方法別、地区別分類結果

調査件数一覧表を表4.1に示す。調査件数は合計37件であり、全てが鉄道構造物である。対象構造物の種別は、駅部が32件と最も多く、その他は、駅間トンネル：5件、山岳トンネル、シールドトンネルがそれぞれ1件である。（重複する場合あり）

補強対象箇所は、駅部および駅間では全てが中柱であり、シールドトンネルでは二次覆工、山岳トンネルではアーチ部の補強である。

また補強方法は、中柱では、鋼板巻き立て工法が28件と多く、炭素繊維シート巻き立て工法：7件、鋼管補強または鋼管添え補強：3件であり、シールドトンネルでは二次覆工の補強、山岳工法では鋼材アーチ補強が各々1件である。

なお、地区別では、関東地区が17件と最も多く、関西地区：8件、中部地区：6件、北海道地区：4件、九州地区：2件となっている。

表4.1 調査件数一覧表

対象構造物	件数	補強箇所	件数	補強方法	件数	地区	件数
駅 部	32	中 柱	35	鋼板巻き立て	28	関東	17
駅 間	5	二次覆工	1	炭素繊維シート巻き立て	7	関西	8
山岳 トンネル	1	アーチ部	1	鋼管添え、補強	3	中部	6
シールド トンネル	1			二次覆工補強	1	北海道	4
				鋼材アーチ補強	1	九州	2
合 計	39	合 計	37	合 計	40	合 計	37
(重複件数)	2	(重複件数)	0	(重複件数)	3	(重複件数)	0

###### (2) 事前調査

工事開始前の事前調査は駅部、駅間の全てで既設中柱出来形の確認を行っている。その結果、「出来形寸法のバラツキが大きい」の回答が目立った。また、狭い空間で限られた施工時間内での施工となるため、施工運搬機械の作業性調査の事例が多く見られた。

###### (3) 設計方法

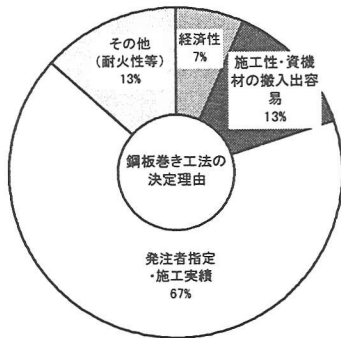
補強設計の準拠基準は、炭素繊維シート巻き立て工法については「炭素繊維シートによる地下鉄RC柱の耐震補強工法・施工指針」の1つだけであるが、鋼板巻き立て工法の準拠基準については運輸省、鉄道総研の基準等、多岐にわたっている。設計方針については、構造上の補強以外に、炭素繊維シート巻き立て工法



についてはトンネル火災（防火）対策についての回答が得られている。設計震度・入力地震動の根拠については無記入が多く、さらに基準類の調査が必要であると考えられる。

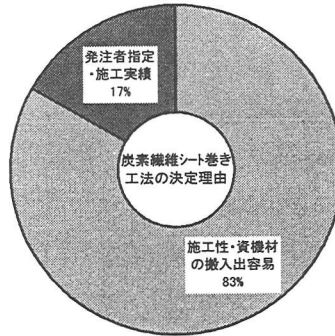
(4) 補強方法

補強方法の決定理由については、施工実績が豊富、安価な工法、施工性が良好であるとの理由が多い。（図4.1 参照）



(デ・タ数：15件)

(a) 鋼板巻き立て工法



(デ・タ数：6件)

(b) 炭素繊維シート巻き工法

図 4.1 補強方法の決定理由

事業者と補強方法の関連については、回答結果がすべて鉄道構造物で運輸省、鉄道総研の基準に準拠して設計されているため、事業者と補強方法についての関連性は見いだせず、鋼板巻き立て工法・炭素繊維シート巻き立て工法が広く採用されている。（図4.2 参照）

鋼板巻き立て工法については鋼板厚  $t=6\text{mm}$  が多く、充填材については空隙厚  $10\text{mm}$  を境にエポキシ樹脂と流動化モルタルが使用されている。

鋼板の接合については、現場溶接が80%以上を占めており、他は高張力ボルト接合である。また、縦横比の大きな断面を有する中柱についてPC鋼棒により緊結を行った事例が6件ある。

炭素繊維シート巻き立てについては、施工性により、地下鉄駅のコンコース中柱に採用されることが多く、2層の巻き立て数が多いが、靱性補強のため、5～7層の巻き立てを行った事例もある。（図4.3 参照）

鋼管添え工法については帝都高速度交通営団で2件実施例があり、その採用理由は鋼板巻き立て・炭素繊維シート巻き立てでは補強効果が薄いとの見地から採用されているものである。

(5) 施工環境

工事の時間帯は夜間での短時間(午前0時過ぎ～午前4時頃)

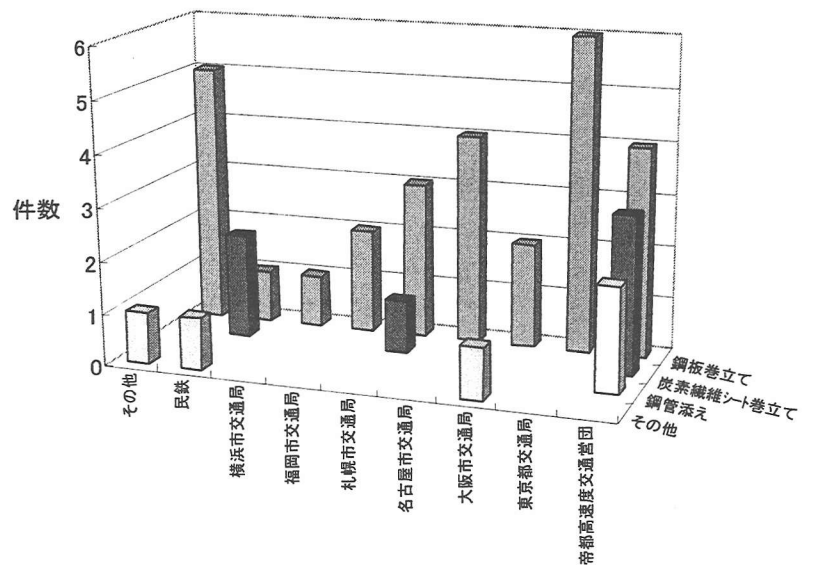
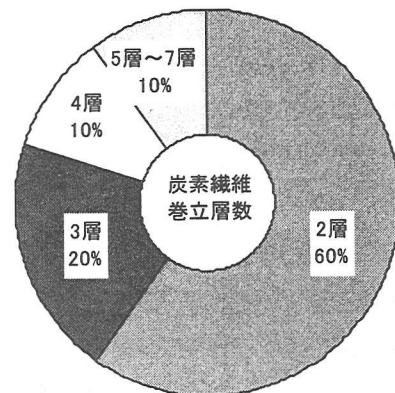


図 4.2 事業者別補強方法



(デ・タ数：10件)

図 4.3 炭素繊維シート巻き立て層数

での施工がほとんどである。

資・機材の搬入については、小型・軽量のものは人力、大型・重量物は軌道モーターカー使用および仮設材料投入口の設置により搬入を行っている。それ以上の大型機材は地上で分割、現場搬入後、再組立の方法がとられている。

施工機械については、中柱鋼板巻き立ての吊り込み機械の使用頻度が高く、クレーン付きモーターカー、軌道上作業台車、ユニック車等が使用されている。

環境上では、工事時間帯が鉄道営業時間外のため近隣住民対策は特に行っていない。

#### (6) 施工技術(省力化、高速化、新技術、必要技術、課題)

省力化・高速施工技術に関しては、作業台車や小型クレーン等の施工機械が使用されており、極力人力施工を少なくしている傾向にある。新技術の採用状況については、狭い場所での作業および環境面での配慮から各種新技術(ハンドリングマシンやサンダーと集じん機が一体となったもの等)が採用されているが、特に制約条件の厳しい場所では、炭素繊維シート巻き立てが採用されている。

必要と思われた技術については、採用された工法は鋼板巻き立て工法が多く、施工性・品質の面での能力向上が期待されているが、鋼板に替わる材料の開発が望まれている。また、仮設上での簡易作業足場や人力施工を少なくする施工機械の開発等が今後、期待されている。

施工上その他の問題点としては、耐震補強・補修事例の調査にあたりいずれも、工程・工期の制約、時間的制約、作業スペースの制約が問題として挙げられており、一般の工事と比較した場合、作業効率がかなり劣る。今後、これ以上の制約が課せられることが考えられるが、技術開発、施工環境の整備を含めより良い方向に進めていく必要がある。

#### 4.3 まとめ

今回実施したアンケート調査では、すべてが鉄道構造物の事例であり、これで地中構造物の全ての補強工事を代表しているとは考えられないが、大部分の地中構造物の補強方法、施工環境、課題が把握されたと考える。なお、これからの補強工事は、なお一層の制約が多い施工環境下での工事ヶ所が多くなると考えられるため、今回の結果を参考にして地中構造物の補強工事を計画・実施していただければ幸いである。

## 5. おわりに

耐震補強や補修工事は、対象が既設構造物であることから、一般に新設の構造物に比べて施工的な制約が多く、また施工環境も厳しい条件となる。これらを克服し施工された貴重な事例をもとに、今回の分析を行うことができた。ここに、あらためて今回のアンケート調査にご協力いただいた方々に感謝する次第である。

#### 【参考文献】

- 1) 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・耐震診断技術に関するシンポジウム論文集、土木学会、1997. 7
- 2) 土質工学会：液状化対策の調査・設計から施工まで、p.153、平成5年2月
- 3) 西垣、塩崎、田中、君島、丹羽：液状化・流動化の検討および対策工に関するアンケート調査 その1 調査方法および一般アンケート調査結果、土木学会第55回年次学術講演会講演概要集、第VI部門、2000年9月(投稿中)
- 4) 吉田、岩井、小宮、伊藤、福島：液状化・流動化の検討および対策工に関するアンケート調査 その2 事例調査の結果、土木学会第55回年次学術講演会講演概要集、第VI部門、2000年9月(投稿中)。