

## 4. 橋脚の補修・補強

### 4. 1 はじめに

本章は、主として橋脚の補強に関する調査研究の成果をとりまとめたものである。調査研究の開始当初は、補修に関することも含める予定であったが、周知のように1995年の1月に経験した阪神・淡路大震災により既存構造物の耐震補強が急務の課題となったため、本研究会でも橋脚の耐震補強問題を主たる目的として取扱うことにした。もちろん、1993年11月の設計活荷重の改訂に伴う橋脚設計への影響も若干ではあるが、4. 2で述べることにした。

このような訳で、本章の内容は橋梁の安全性に直接関与する橋脚の脚部の耐震補強を中心に述べられており、橋脚の横梁部の補強についてはふれられていない。さらに、ここでは橋台や基礎の補修・補強についても種々の理由から全く述べられていないことを断っておく。

そこで、まず、4. 3では兵庫県南部地震による橋脚の被害とその特徴とを、RC橋脚と鋼製橋脚とに分けて報告している。つぎに、それらの補強工法や効果ならびに今後の課題などについて、それぞれ4. 4および4. 5で詳細に述べている。特に、4. 4のRC橋脚の補強については、設計規準別の耐震補強工法の比較を表形式で示すことにより、僅かではあるが、その考え方の相違を見いだせる配慮を行った。

4. 6では、本章のまとめと今後の課題などを述べている。

本文に入る前に、我が国の耐震規定の変遷について簡単にふれ、参考に供したい。表-4.1は、1923年の関東大震災以後、今日に至るまでの主要地震の発生と、それに伴う道路および鉄道関係の設計規準類の制定経緯をとりまとめたものである。同表には、道路および鉄道の双方で重要視される土木学会制定のコンクリート標準示方書の改定経過もあわせて示されている。

本研究会では道路橋を調査対象としているため、日本道路協会発行の道路橋示方書(以下、道示と略記)に限定して、耐震規定の内容の変遷を少し詳しく述べてみることにする。

わが国の道路橋を対象とする本格的な耐震設計に関する最初の規準類は、1968年に発生した十勝沖地震の経験をふまえて1971年に制定された道路橋耐震設計指針である。この指針は1977年に策定された建設省の新耐震設計法(案)へと発展していった。さらに、新耐震設計法(案)での研究成果を反映させた道示V耐震設計編が、道路橋設計の一連の規準類の一つとして1980年に制定された。そして、その後の多方面にわたる調査研究成果、とくに、橋を支持する地盤の振動特性、橋の地震応答特性ならびにRC橋脚の動的耐力などについて得られた知見をもとに、1990年には道示V耐震設計編の改訂版が制定され、新たな耐震設計法が普及した。これら1980年および1990年制定の道示における主な耐震関連項目を列挙すれば、表-4.2の通りである。

1990年版の道示での目新しい点は、表-4.2に見られるとおり、RC橋脚での主鉄筋脱落部の帯鉄筋

表-4.1 我が国の耐震規定の変遷

	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000					
	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼					
	23 関東大震災		44 東南海地震	46 南海地震	48 福井地震	52 十勝沖地震	64 新潟地震	68 十勝沖地震	78 宮城県沖地震	83 日本海中部地震	93 釧路沖地震	95 兵庫県南部地震		
《道路》	26	道路構造に関する細則案			39	鋼橋示方書案	56	鋼橋設計示方書	71	耐震設計指針(示方書耐震設計編)	80	90改定	92	免震設計マニュアル
《鉄道》				55	土木構造物の設計基準案	61	新幹線構造物設計基準案	70	構造物設計標準	79	鉄道構造物耐震設計指針	90	91	96
《一般》					56	コンクリート標準示方書	74	80	86	91	96	改定	改定	改定

表-4.2 新耐震設計法(案) (1977年)以降の道路橋示方書の主な変遷

	道路橋耐震設計基準の主な変遷	主な耐震関連追加項目
1980年	道路橋示方書 V耐震設計編 VI下部構造編 (昭和55年2月) (1977年新耐震設計法(案)に基づく改訂)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・動的解析の位置付け明確化</li> <li>・地震時変形性能の照査を追加</li> <li>・コンクリートの許容せん断応力度引き下げ</li> <li>・段落し部の鉄筋定着長、帯鉄筋の構造細目規定の追加</li> </ul>
1990年	道路橋示方書 VI下部構造編 V耐震設計編 (平成2年2月)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・従来の震度法と修正震度法とを一つにまとめた新しい震度法を規定</li> <li>・動的解析に用いる地震入力と安全性の照査法を規定</li> <li>・段落し部の帯鉄筋配置要領追加</li> <li>・RC橋脚の地震時保有水平耐力の照査の追加</li> </ul>
1996年	道路橋示方書 V耐震設計編 (平成8年12月)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・内陸直下型地震を想定した設計地震力を追加規定</li> <li>・地盤に液状化が生じる場合の耐震設計法の追加</li> <li>・帯鉄筋による拘束効果を考慮したコンクリートの応力～ひずみ関係式の導入と変形算定法の改訂</li> <li>・コンクリート充填鋼製橋脚の設計法の追加</li> <li>・免震設計法の追加</li> </ul>

配置要領の追加ならびにRC橋脚の地震時保有水平耐力照査の義務づけなどである。1995年の兵庫県南部地震の際、1980年の道示を含め、それ以前の設計規準により設計されたRC橋脚の被害が、1990年の道示に準拠したものとは比べ格段に多かったことからすれば、1990年の道示改訂は大いに意義のあったものといえる。しかし、1990年の道示の場合、海洋型地震を対象としていたため、直下型地震である兵庫県南部地震では、数多くの橋脚が甚大な被害を受けた。

したがって、この経験をふまえ、1996年の道示V耐震設計編<sup>リ</sup>では、従来の設計地震力に加えて新たに内陸直下型地震を想定した設計地震力を規定している。その他に、大きな改良点として以下のものが挙げられる。

- ・動的解析に用いる地震力を規定するとともに、解析モデルおよび解析法、ならびに動的解析による安全性の照査に関する規定が改訂された。
- ・地盤に液状化が生じる場合の耐震設計法が新たに規定された。
- ・RC橋脚について、帯鉄筋による拘束効果を考慮したコンクリートの応力～ひずみ関係式が導入されるとともに、水平力～変位関係の算定方法が改められた。

- ・コンクリートを充填した鋼製橋脚の地震時保有水平耐力および変形性能の算定方法や、コンクリートを充填しない鋼製橋脚の耐震設計上の取り扱い方法が新たに規定された。
- ・地震力の分散と高減衰化に重点を置いた免震設計法が新たに規定された。

これらの諸項目の要点が、前記の表-4.2中に1990年以前のものとの比較のため再度示されている。いずれにしても、1996年の道示Vでは、大幅な改訂がなされているので、その運用に注意しなければならない。

本報告書を作成するにあたり、章末に示す数多くの貴重な文献を参照もしくは引用させて頂いた。また、建設省土木研究所で実施されていた橋脚関係の実験状況を見学させて頂くとともに同所橋梁研究室の西川和廣室長より直接、道示改訂の動向や要点に関する情報も得ることができた。ここに記して深く感謝する次第である。

#### 4.2 荷重改訂に伴う橋脚への影響検討

1993年（平成5年）11月の「橋・高架の道路等の技術基準」の通達により、設計活荷重が改訂され、車両総重量が引き上げられた。

これによって、既設橋梁の新設計活荷重（B活荷重）による補修・補強の必要性が生じている。

新設計活荷重（B活荷重）による既設橋梁の補修・補強の必要性の目安については、道路協会の荷重検討分科会で検討されている「既設橋梁の耐荷力照査実施要領書（案）」<sup>2)</sup>による照査を実施することにより、その傾向を把握することができる。

この中で、既設橋梁の下部構造（橋脚）の照査の構成は、以下の手順で実施することを述べている。

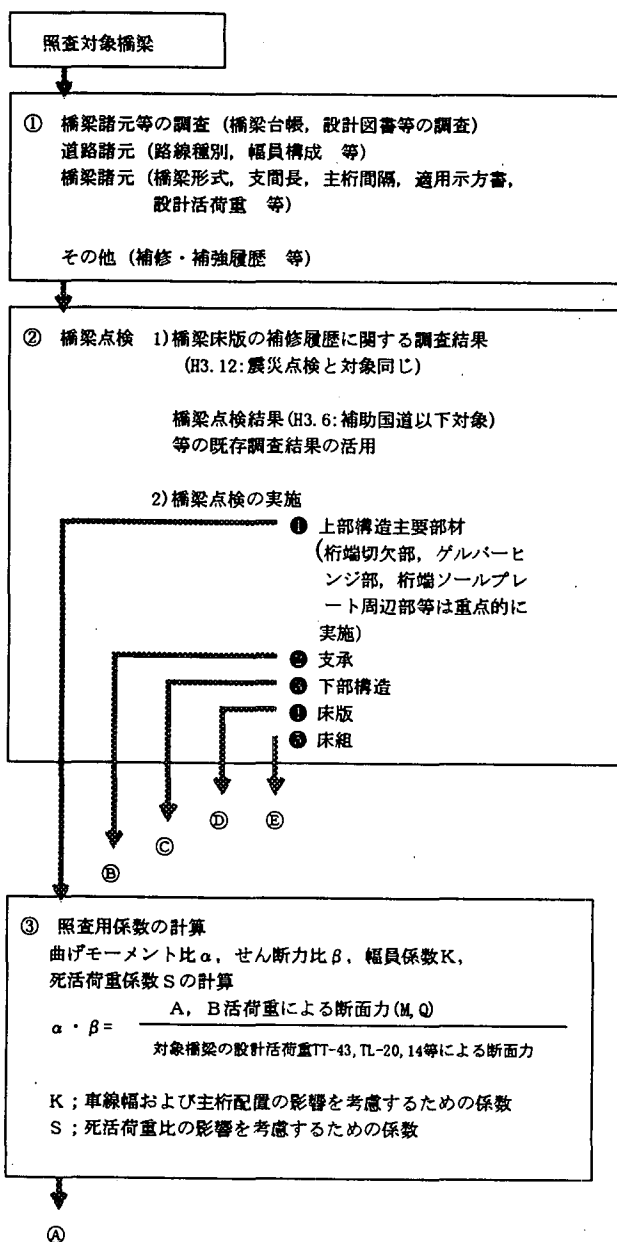
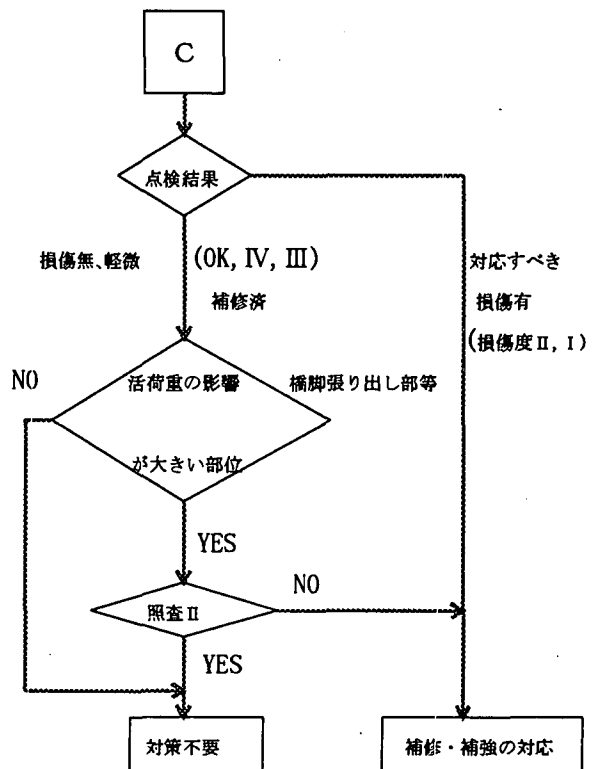


図-4.1 既設橋梁の照査の構成



判定区分	一般的状況
I	損傷が著しく、交通の安全確保の支障となるおそれがある。
II	損傷が大きく、詳細調査を実施し補修するかどうかの検討を行う必要がある。
III	損傷が認められ、追跡調査を行う必要がある。
IV	損傷が認められ、その程度を記録する必要がある。
V	点検の結果から、損傷は認められない。

図-4.2 下部構造の照査フロー

また、照査用係数でも、特に橋梁下部構造に影響を及ぼすと考えられる新設計活荷重により生じる TL-20 荷重に対するせん断力比<sup>2)</sup>を図-4.3のように与えている。

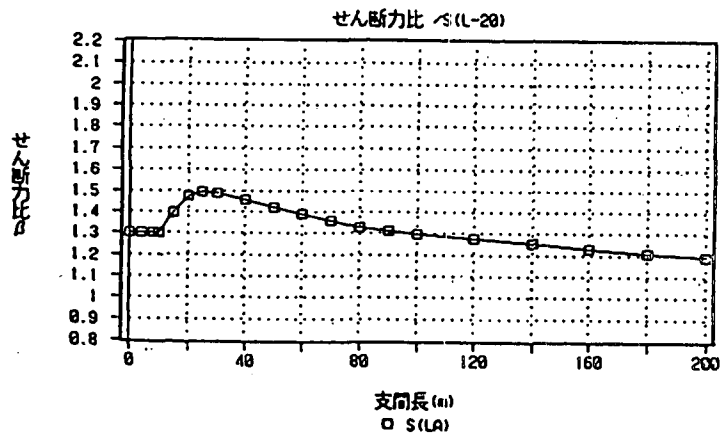


図-4.3 新設計活荷重により生じる TL-20 荷重に対するせん断力比<sup>2)</sup>

ここでは、具体的な例を挙げて新設計活荷重（B活荷重）に対して、設計活荷重改訂前（TL-20荷重）と比較し、橋梁下部構造（橋脚）に作用する上部工反力が、どの程度の割合で増加するのかを試算した。

その結果を用いて、標準的な構造断面の橋脚において橋脚各部の断面力、杭反力などがどの程度増加するのかを試算した。

#### 4.2.1 上部工反力と橋脚の計算

上部工反力の計算にあたって、上部構造の形式は図-4.4に示すように、単位面積あたりの死荷重が中庸なRC床版を有する鋼桁橋とした。

橋梁の構造は図-4.5に示すものとし、上部工の支間は、30m・40m・50mの3ケースを想定した。

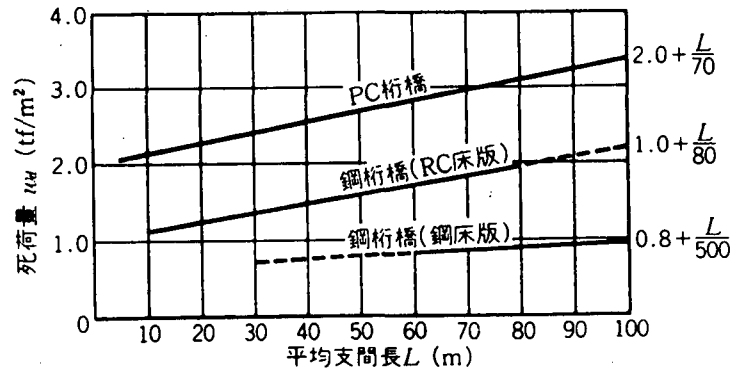


図-4.4 平均支間長と単位面積 $m^2$ あたり死荷重の関係<sup>2)</sup>

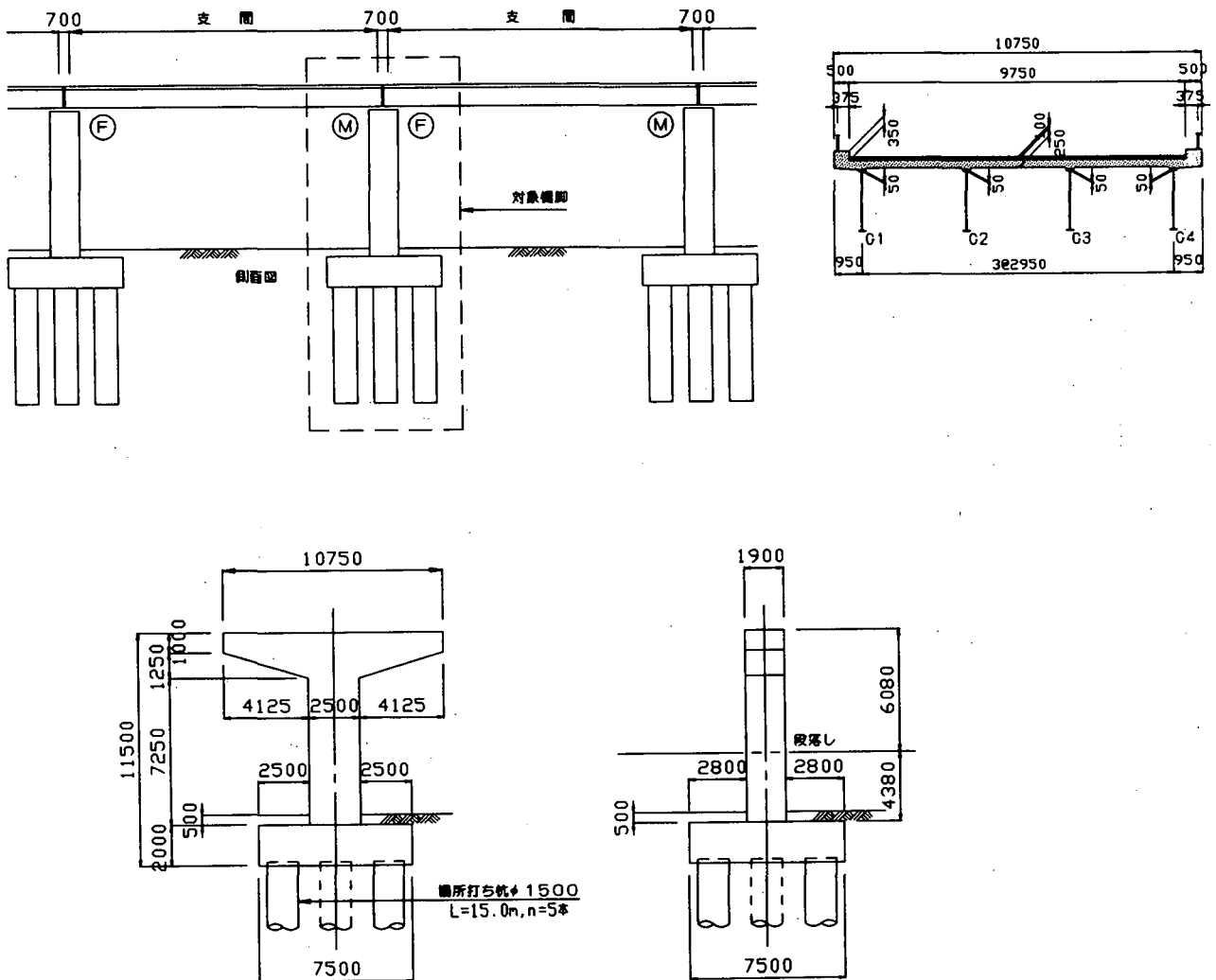


図-4.5 計算用上部工、橋脚構造図

以上の条件にて上部工反力を計算した。  
計算結果を表-4.3および図-4.6に示す。

これより、設計活荷重改訂後（B活荷重）による上部工反力の増加割合は、上部工の支間が大きくなるにしたがって、小さくなる傾向を示した。

その値は、桁の位置が中央部に位置するか端部に位置するかで多少相違するが、おおむね支間30mの場合121%~119%、支間40mの場合118%~116%、支間50mの場合115%~113%となった。

次いで、この上部工反力を用いて、下部工橋脚の受桁部の断面力と杭反力を計算した。

結果を図-4.7に示す。受桁の断面力の増加割合は支間30mの場合118%、支間40mの場合116%、支間50mの場合113%であった。また、杭反力の計算結果では、上部工の支間の大小にあまり関係なく、活荷重による杭反力の増加割合は10%程度となった。

表-4.3 上部工反力の計算結果

支 間 (鋼桁の位置)	30m		40m		50m	
	端 部	中央部	端 部	中央部	端 部	中央部
TL-20 荷重	78.70tf	71.40tf	99.10tf	90.70tf	120.90tf	111.30tf
TL-25 荷重	95.00tf	84.70tf	116.80tf	105.00tf	139.10tf	126.10tf
活荷重による増加割合	121%	119%	118%	116%	115%	113%

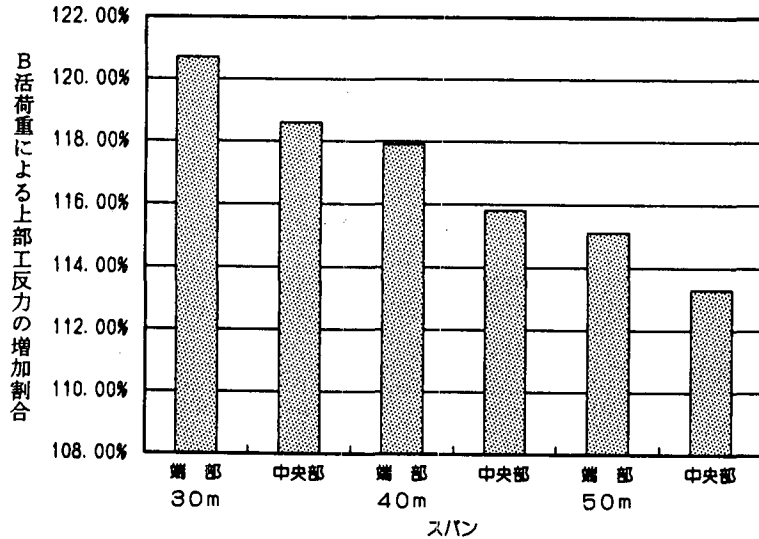


図-4.6 活荷重による上部工反力の支間別増加割合

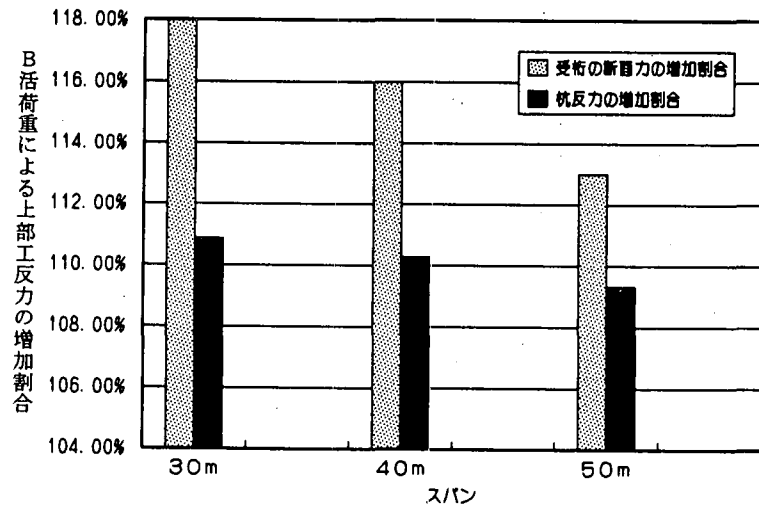


図-4.7 橋脚各部の活荷重による杭反力，断面力の増加割合

#### 4.2.2 まとめ

新設計活荷重（B活荷重）による上部工反力の増加割合について、具体的な例を挙げて試算してみた結果、上部工の構造形式がRC床版を有する鋼桁橋にあっては、一般的な支間長（30m～50m程度）の範囲で、上部工反力の増加割合は、旧設計活荷重（TL-20）に比べて20%～13%程度増加し、その増加傾向は、死荷重の占める割合が少なくなる短支間（支間30m）が大きく、長支間（支間50m）になるほど小さくなった。

次いで、この上部工反力の値を用いて橋脚各部の照査を行ったところ、上部工受桁部の断面力の増加割合は上部工反力のそれと同様の傾向を示し、死荷重が支配的になる基礎杭反力の増加割合は、上部工の支間の大小に関係なく10%程度となった。

ただし、今回の試算では、上部工の支間を30・40・50mとして上部工反力を求め、この値を用いた下部工橋脚の試算は、上部工の支間ごとに橋脚の構造寸法は変えずに一定として計算している。しかし、実際の構造物にあたっては、上部工の支間が大きくなれば橋脚の構造寸法も大きく（橋脚の死荷重（自重）が大きく）なるため、実際は支間が大きくなるほど、活荷重による受桁部の断面力および杭反力の増加割合はさらに小さくなることが予想される。

また、上部工の構造形式によっても死・活荷重の全荷重に占める割合が変化する。

以上の検討結果より、活荷重改訂に伴う橋脚への影響は少ないとは言えないまでも、必ず補強する必要があるとは言い難い。

また、今回の試算結果では、橋脚において荷重の増加に伴う補強の必要な部位は、上部工受桁（梁部）の可能性が高いことが判明したが、実際のところ活荷重改訂のみの理由で橋脚の補強を実施した例は報告されていない。

ここに挙げる例は、震災復旧に伴う阪神高速道路公団の3号神戸線の橋脚梁部の補強例<sup>4)</sup>であるが、立地条件から橋脚梁部は張り出しの大きいものが多く、当初設計においてその大部分はPC梁構造となっているものである。地震による梁部の損傷はほとんど認められていないが、桁かかり長や支承縁端距離が不足するものについては、ケミカルアンカーにより梁天端を拡幅したが、これに伴い梁天端のコンクリートの引張応力が増大することが予測されたため、図-4.8に示すように、PCケーブルを設置し、プレストレスを追加導入して補強した例である。

以上のことより、活荷重の改訂に伴う橋脚の補強の必要性については、画一的に決定するのは難しく個々の橋梁について照査した上で決定するのが望ましいものと考えられる。

したがって、次節以降においては、橋脚の耐震補強を中心に述べることにする。

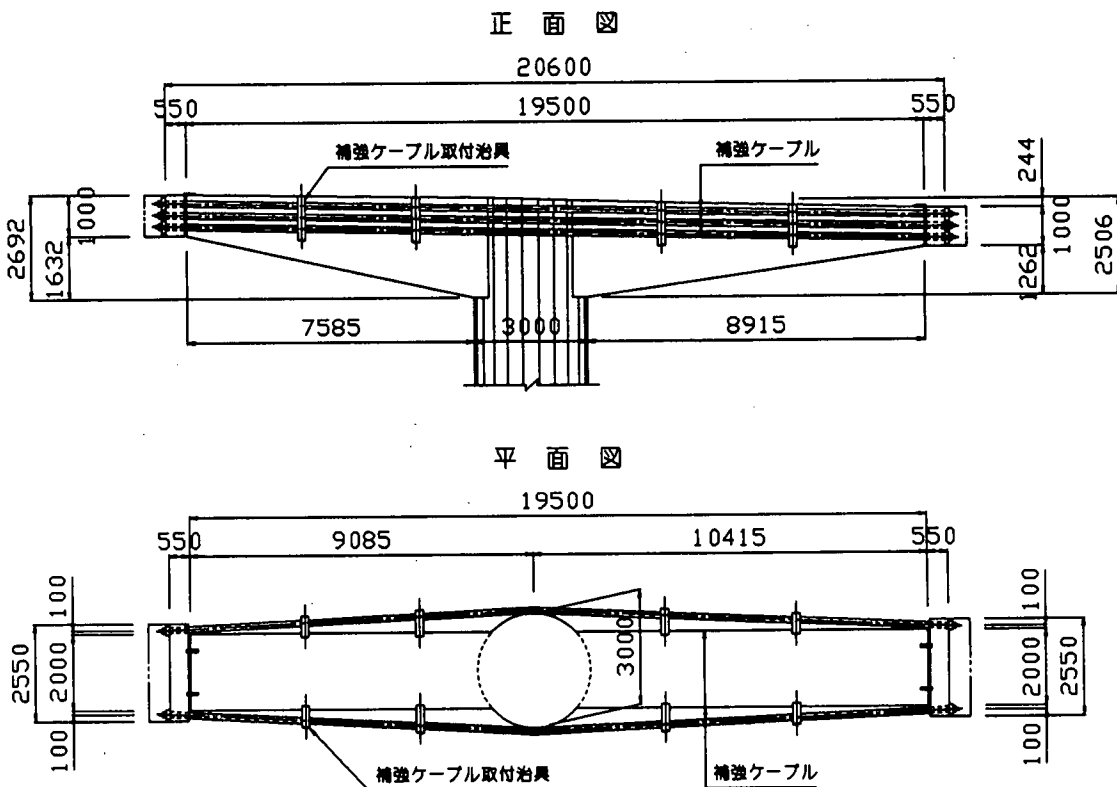


図-4.8 橋脚梁部の補強例<sup>4)</sup>

#### 4. 3 兵庫県南部地震による橋脚の被害と特徴

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震では、道路橋においても橋脚の倒壊や落橋等多くの被害が生じた。本章では、地震後に設置された「兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会（委員長；岩崎敏男）」における調査報告<sup>5)</sup>に基づき、橋脚の被害状況を整理する。

調査対象は、川西市・宝塚市・伊丹市・尼崎市・西宮市・芦屋市・神戸市の区域内の直轄国道（2号・43号・171号・176号）、高速自動車国道（名神・中国）、阪神高速道路（3号神戸線・5号湾岸線）の橋脚である。集計の結果、調査対象橋脚数はRC橋脚が3,041基、鋼製橋脚が355基となった。

##### 4.3.1 RC橋脚の被害と特徴<sup>6)</sup>

表-4.4に路線別のRC橋脚の被災度の集計を示す。ここで、被災度は、「道路震災対策便覧・震災復旧編」（（社）日本道路協会、1988年2月）に準じて、表-4.5および図-4.9に示すようにAs~Dランクに分類している。また、表-4.6はRC橋脚の準拠設計基準別の被災度を集計した結果を示したものである。これらより被害の特徴を整理し以下に示す。

表-4.4 路線別の鉄筋コンクリート橋脚の被災度<sup>6)</sup>  
(橋脚数)

路線名		被災度					計
		As	A	B	C	D	
直轄国道	国道2号	0 (0%)	0 (0%)	19 (24%)	15 (19%)	46 (58%)	80 (100%)
	国道43号	13 (9%)	23 (16%)	1 (1%)	2 (1%)	105 (73%)	144 (100%)
	国道171号	0 (0%)	6 (4%)	11 (7%)	60 (38%)	79 (51%)	156 (100%)
	国道176号	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	20 (100%)	20 (100%)
	阪神高速	3号神戸線	64 (7%)	78 (8%)	102 (11%)	225 (24%)	474 (50%)
	5号湾岸線	0 (0%)	0 (0%)	1 (0%)	22 (11%)	179 (89%)	202 (100%)
高速国道	名神	2 (0%)	40 (4%)	21 (2%)	312 (30%)	664 (64%)	1,039 (100%)
	中国	0 (0%)	9 (2%)	4 (1%)	121 (26%)	323 (71%)	457 (100%)
計		79 (3%)	156 (5%)	159 (5%)	757 (25%)	1,890 (62%)	3,041 (100%)

・RC橋脚3,041基のうち、比較的被災度が高いB以上と判定されたRC橋脚は394基で全体の13%となっている。

・1971年(昭和46年)の道路橋耐震設計指針以前の基準が適用された橋脚は2,834基で全体の93%を占めるが、そのうち、被災度がB以上と判定されたものは393基(14%)である。

一方、1980年(昭和55年)の道路橋示方書以降の基準が適用された橋脚は207基で、そのうち、202基が阪神高速道路5号湾岸線である。このうち、被災度がBと判定されたものはわずか1基であり、Aランク以上のものはない。

このように、兵庫県南部地震におけるRC橋脚の被災は、1971年以前の基準で設計された橋脚において顕著であった。1980年の道路橋示方書においては、以下の項目について改訂となったものであり、RC橋脚の耐震性能が向上されたものと評価できる。

- ・コンクリートの許容せん断応力度の引き下げ
- ・軸方向鉄筋の段落としての規定の改定
- ・帯鉄筋の構造細目の規定の追加

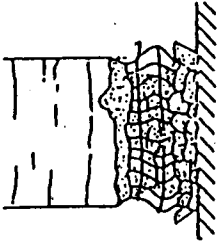
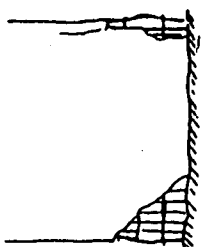
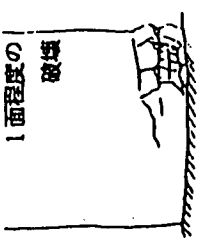
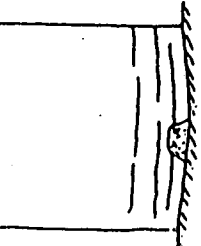
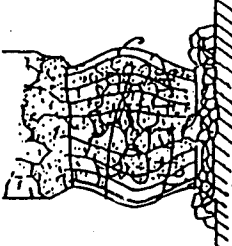
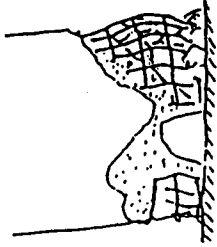
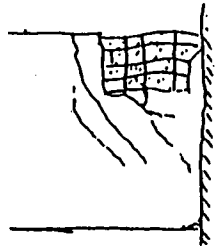
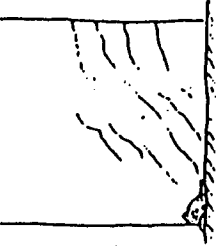
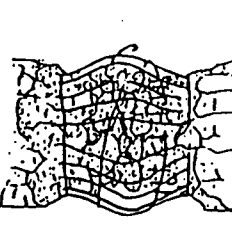
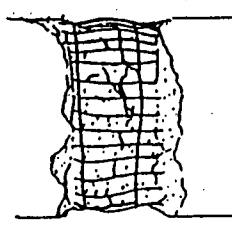
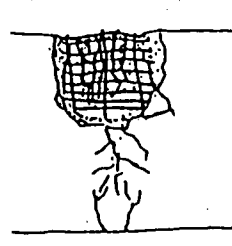
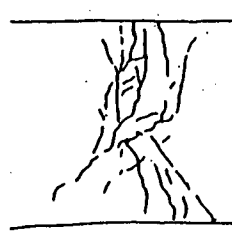

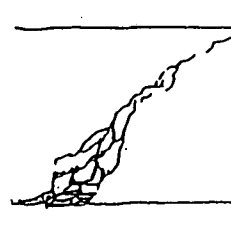
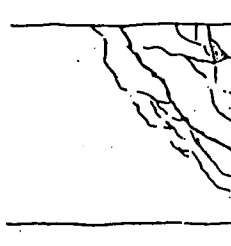
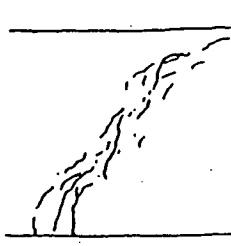
表-4.5 鉄筋コンクリート橋脚の被災度の区分<sup>6)</sup>

被災度	定義
As	倒壊したもの、損傷変形が著しく大きなもの
A	鉄筋の破断等の損傷、または変形が大きなもの
B	鉄筋の一部の破断やはらみ出しおよび部分的なかぶりコンクリートの剥離がみられるもの
C	ひび割れの発生や局部的なかぶりコンクリートの剥離がみられるもの。
D	損傷がないか、あっても耐荷力に影響のない極めて軽微なもの

表-4.6 コンクリート橋脚の準拠基準別損傷度<sup>6)</sup>  
(橋脚数)

準拠基準年次	橋脚の被災度					合計
	As	A	B	C	D	
1964年以前	78 (3%)	155 (6%)	143 (5%)	672 (25%)	1,600 (60%)	2,648 (100%)
1971年	1 (1%)	1 (1%)	15 (8%)	63 (34%)	106 (57%)	186 (100%)
1980年	0 (0%)	0 (0%)	1 (1%)	22 (13%)	144 (86%)	167 (100%)
1990年	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	40 (100%)	40 (100%)
合計	79 (3%)	156 (5%)	159 (5%)	757 (25%)	1,890 (62%)	3,041 (100%)

図-4.9 破壊モード毎の損傷の状態<sup>7)</sup>

判定 典型的な 破壊モード	As	A	B	C	D
柱地盤位置 で 盤曲げ 位置 破壊			1面程度の 破壊 		損傷なし
柱地盤位置での 曲げせん断破壊					損傷なし
軸方向鉄筋段落とし 部の曲げせん断破壊					損傷なし
柱地盤位置での せん断破壊					損傷なし



なお、被災状況が比較的大きかった3号神戸線のRC橋脚については、より詳細な分析が行われたので紹介する<sup>8)</sup>。

まず、RC橋脚が破壊モードごとに分類され、さらに以下のようなマクロ分析が実施された。

### ① 構造形式と被災度傾向

今回対象とした橋脚の構造形式は、単柱(77.5%)、ラーメン(15%)、特殊形式(4.5%)、その他(3%)となっている。

図-4.10は構造形式と被災度の関係を示したものである。この図より、特殊形式の橋脚が他と比較して被災度が大きいことがわかる。

なお、特殊形式とは、一对の独立単柱が梁桁一体構造となり、上部工を支持する構造やT形単柱の両端を別の柱で単純支持する構造の橋脚形式を指し、その他には、小判型、壁式、立体ラーメン構造等も含んでいる。

### ② 被災モードと構造形式

図-4.11は、被災度C以上の橋脚について被災モードと構造形式の関係を示したものである。全体的に曲げ被災が支配的ではあるが、特殊形式においては、単純な曲げよりも曲げせん断を含む被災が支配的となっている。また、ラーメン形式については、せん断被災の占める割合が大きくなっている。

### ③ 被災方向と断面形状

図-4.12は、単柱における被災方向の傾向を示したものである。この図より、橋軸直角方向の被災が卓越していることがわかる。これは、路線がほぼ東西方向であり、地震動が南北方向に卓越していたことが要因の1つと考えられる。この傾向は特に円形断面で顕著であり、また、被災度が大きいほど両方向から被災を受けている傾向がある。

### ④ 被災モードとせん断スパン比

図-4.13は、段落としのない単柱橋脚における被災モードと各せん断スパン比のしめる割合を示したものである。この図から曲げ型からせん断型に被災モードが移行するにともない、せん断スパン比の小さいものの比率が大きくなっていることがわかる。

以上のようなRC橋脚の被害の特徴をもとに、今後の耐震設計において配慮が必要な項目を列挙すると以下のとおりである。

- ・地震時保有水平耐力法による耐震設計の実施
- ・帯鉄筋による横拘束効果を考慮した変形性能の評価
- ・橋脚の耐力と変形性能のバランスに配慮した設計
- ・繰り返し塑性変形を受ける部材としてのせん断耐力の評価
- ・じん性を向上させるための構造細目

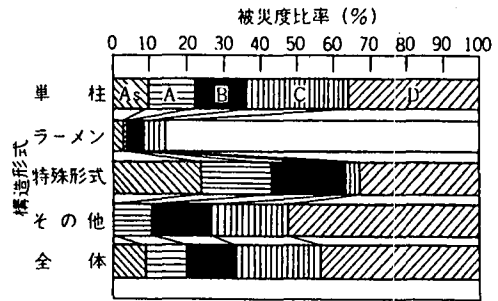


図-4.10 構造形式と被災度傾向<sup>8)</sup>

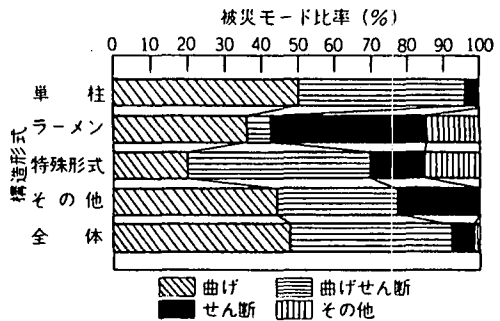


図-4.11 被災モードと構造形式<sup>8)</sup>  
(被災度C以上)

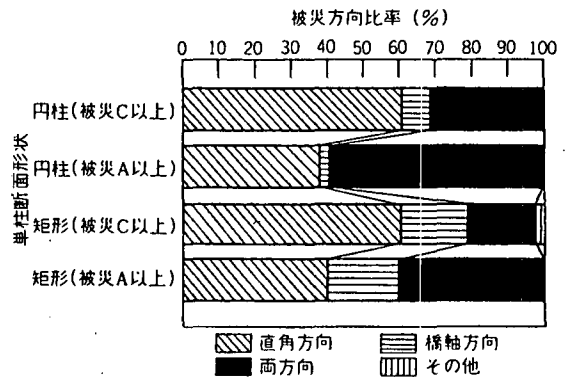


図-4.12 被災方向と断面形状<sup>8)</sup>  
(単柱・被災度C以上)

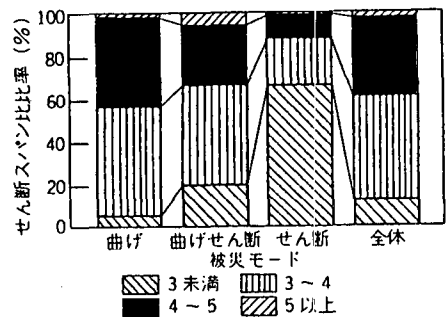


図-4.13 被災モードとせん断スパン比<sup>8)</sup>  
(段落とし脚を除く単柱・被災度C以上)

#### 4.3.2 鋼製橋脚の被害と特徴

鋼製橋脚における被災度の区分を表-4.7に、被災度の集計結果を表-4.8に示す<sup>9)</sup>。

これより、被害の特徴を整理した結果を以下に示す。

- ・鋼製橋脚 355 基のうち、比較的被災度の高いB以上と判定された橋脚は 51 基で全体の 14%となっている。
- ・崩壊した鋼製橋脚は2基であり、いずれも矩形断面である。倒壊後の状況を見ると、補剛板の角溶接付近に生じた割れにより、4面すべてが板状に折り曲げられている。これらの橋脚の場合、設計で想定した以上の地震力を受け、ウェブおよびフランジの局部座屈の進展に伴い、角溶接部が縦方向に裂け(図-4.14)、4面の補剛板が剥かれ、鉛直支持力を失った状態になったものと推定される。
- ・円形断面橋脚については、倒壊に至った事例はないが、被災度の大きい橋脚の中には図-4.15のように、局部座屈による変形の進展に伴い、橋脚が大きく傾斜した事例や、円周方向に破断した事例がある。
- ・その他の被災した橋脚の多くは、橋脚基部や断面変化部において鋼材の降伏により塗装が剥がれたり、局部座屈により面外方向に変形するといった部分的な損傷を受けているが、倒壊には至っていない。

このような鋼製橋脚の被害の特徴をもとに今後の耐震設計において配慮する必要のある事項を列挙すると以下のとおりとなる。

- ・ぜい性的破壊モードの防止  
 矩形断面;補剛板の角溶接部の裂け・分離の防止  
 円形断面;局部座屈や変形の集中の防止
- ・じん性の向上
- ・残留変形の制限
- ・アンカー部の耐震設計

表-4.7 鋼製橋脚の被災度の区分<sup>9)</sup>

被災度	定義
A s	倒壊したもの、損傷変形が著しく大きなもの
A	亀裂、座屈等の損傷、または変形が大きなもの
B	鋼材の座屈や部材の変形が部分的にみられるもの
C	鋼材の座屈や変形が局部的かつ軽微なもの
D	損傷がないか、あっても耐荷力に影響のない極めて軽微なもの

表-4.8 鋼製橋脚の被災度(橋脚数)<sup>9)</sup>

被災度					計
A s	A	B	C	D	
4	11	36	138	166	355
(1%)	(3%)	(10%)	(39%)	(47%)	(100%)

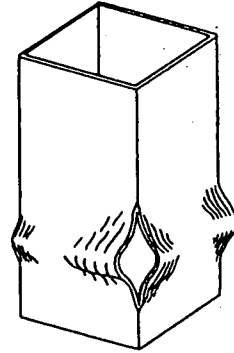


図-4.14 矩形断面橋脚における角割れ

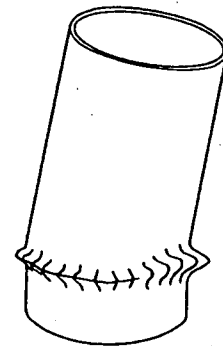


図-4.15 円形断面橋脚における変形の集中、傾斜、割れ

## 4. 4 RC橋脚の補修・補強

### 4.4.1 耐震補強工法の種類と概要

道路橋における耐震設計法の基本としては、橋梁全体系として兵庫県南部地震レベルの地震動に対して耐えられる構造を目指している。

これに基づくと、重要路線、複道形式の路線において、1980年(昭和55年)以前の基準で設計された橋梁が優先されている。耐震補強の実施方針として鉄筋コンクリート橋脚(以下RC橋脚という)の補強によりじん性の向上や耐力の増加を図ること、落橋防止構造を強化すること、ゴム支承や免震支承に取り替えること、全体構造系として耐震性向上を図ることの4項目があげられている。

RC橋脚の補強の考え方としては、地震時保有水平耐力を向上させるのではなく、じん性を向上させることにより、基礎への影響を小さくすることが望ましいとされ、そのためには、基礎が支持できる範囲内でRC橋脚の耐力の向上も図り、じん性と耐力の向上をバランスさせた対策工法が必要とされている<sup>10)</sup>。

代表的な補強方法としては、以下の工法があげられる<sup>11) 12)</sup>。

- ① RC巻立て工法
- ② 鋼板巻立て工法
- ③ 炭素繊維巻立て工法

これらのほかに、帯鋼板巻立て工法、RC・鋼板巻立て併用法、PC巻立て工法、PCケーブル巻立て工法などがある。

#### (1) RC巻立て工法

RC巻立て工法は、図-4.16に示すように、地震時保有水平耐力を大きく向上させる必要がある場合に適している。

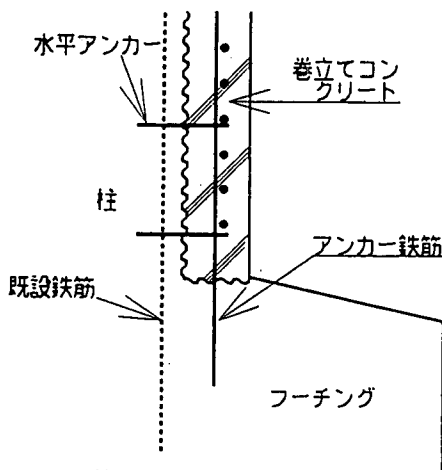


図-4.16 RC巻立て工法

この工法では、アンカー鉄筋により既設橋脚およびフーチングと巻立てコンクリートを一体化させることが重要である。

また、軸方向鉄筋の段落し部における補強後の降伏水平耐力が、柱基部における補強後の降伏水平耐力より大きくなるようにしなければならない。RC巻立て部の最小厚さは、コンクリートの確実な充填および配筋を考慮して25cm程度が望ましい。なお、巻立て厚さが大きくなる場合には、橋脚荷重の増加による基礎への影響や建築限界について留意する必要がある。

#### (2) 鋼板巻立て工法

鋼板巻立て工法は、図-4.17に示すように橋脚躯体を鋼板で巻き、鋼板と躯体コンクリートをエポキシ樹脂または無収縮モルタルなどにより一体化させる工法である。

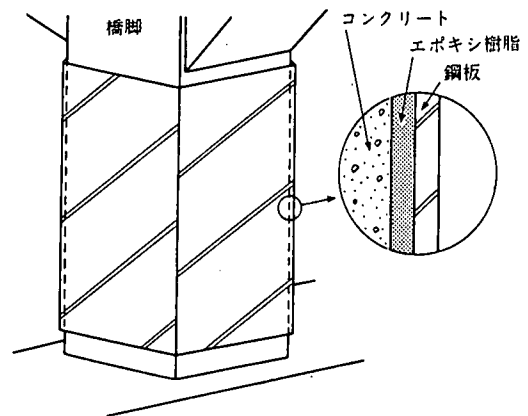


図-4.17 鋼板巻立て工法

鋼板で補強する場合、せん断耐力と変形性能の向上に着目した補強と曲げ耐力の向上に着目した補強との2種類の方法がある。

せん断耐力と変形性能の向上は、巻立てた鋼板を帯鉄筋として換算し、せん断耐力を向上させ、曲げ破壊を先行させることによって、橋脚のぜい性的な破壊を防止することができる。また帯鉄筋の横拘束に伴い、コンクリートの終局ひずみを大きく評価できるため、橋脚のじん性が向上し、地震時保有水平耐力の向上が図れる。これが適用できる柱断面は、円形または正方形に近い矩形断面が望ましい。壁式橋脚では、長辺の中間部にせん断補強鉄筋や横拘束を確保する中間帯鉄筋が必要である。

曲げ耐力の向上は、巻立てた鋼板を主鉄筋および帯鉄筋として換算する。そのため、図-4.18に示すように、巻立てた鋼板とRC橋脚がズレないように

橋脚基部を補強する必要がある。これは鋼板の鉛直方向のアンカーをフーチングに定着させ、アンカーの断面積を主鉄筋として考慮し鋼板の断面積に換算している。この方法は、必要な曲げ耐力を制御できることから「曲げ耐力制御式」と言われている。

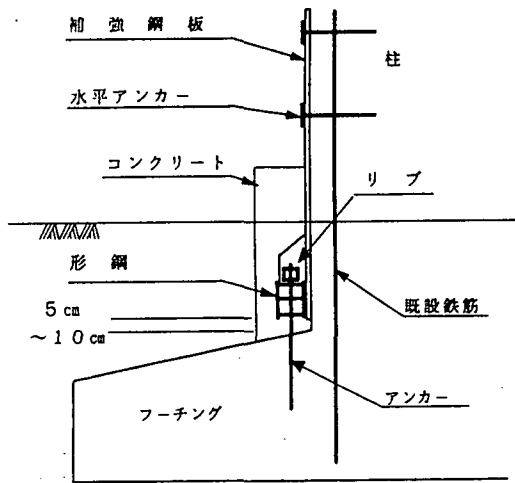


図-4.18 曲げ耐力制御式鋼板巻立工法

橋脚基部で間隙を設けるのは、大きな地震力を受けた場合に、ここに塑性ヒンジが生じることを許容して、鋼板巻立てによる拘束を受けた状態でじん性のある曲げ破壊が生じるようにするためである。

橋脚下端が塑性ヒンジ化した場合には、鋼板により躯体コンクリートを確実に拘束することが重要である。鋼板と橋脚躯体が適切に一体化されていれば円形断面の場合には、鋼板だけでも所要の拘束が得られるが、矩形断面の橋脚では、形鋼等を取り付けて橋脚下端を補強する必要がある。

アンカー筋は、所要の橋脚の耐力向上を図るとともに、基礎への地震力の影響を適切に制御するためのものであり、全強で鋼板をフーチングに固定する場合よりも、基礎へ伝達される地震力は小さくなる。フーチングに対するアンカーの定着長は、道路橋示方書IVに規定される定着長の1.3倍程度以上を基本としている。

### (3) 炭素繊維巻立て工法

炭素繊維による巻立て工法は、図-4.19に示すように、炭素繊維シートを張付けまたは炭素繊維ストランドを巻付けることで、RC橋脚の耐力と変形性能を向上させる。曲げ補強は、部材表面の材軸方向に炭素繊維シートを貼付けることにより引張鉄筋を増設することと同等の性能を有し、曲げ耐力を向上

させる。せん断補強は、部材表面の材軸直角方向に炭素繊維シートを張付けもしくは炭素繊維ストランドを巻付けることより、帯鉄筋を増設することと同等の性能を有し、せん断耐力を向上させるものである。この工法は、各種の実験等によって確立されたものであり、炭素繊維の積層数は10層程度が限度とされている<sup>13)</sup>。

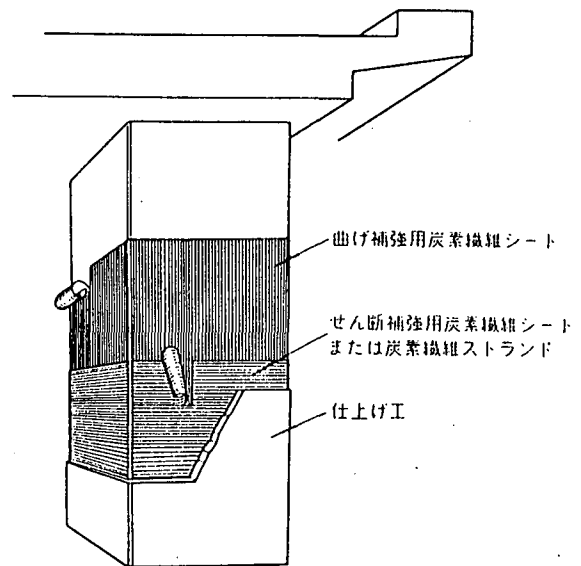


図-4.19 炭素繊維による巻立て工法

### (4) その他の工法

その他の工法の1つとして、図-4.20に示すような、RC橋脚にPC鋼材を巻き付け、プレストレスを導入することで橋脚のじん性を高める工法がある。帯鉄筋の代わりにPC鋼材を用い、定着具や接続具で定着させる。鋼材の降伏点が高いため鉄筋と比べて拘束効果が長く、せん断耐力やじん性の改善が期待できる。

また、円形断面の場合には、新旧コンクリートの一体化やせん断ひび割れの性状が改善されるなどの効果がある<sup>14)</sup>。

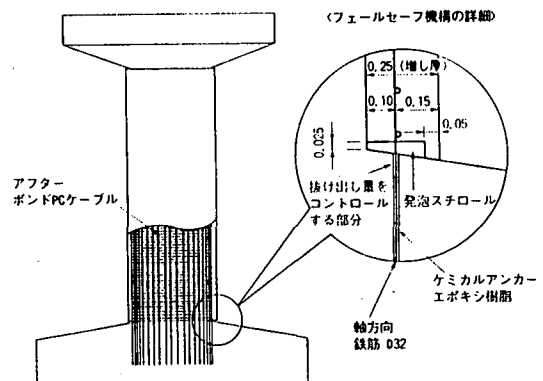


図-4.20 PC巻立て工法例

#### 4.4.2 各種耐震補強工法の補強効果

震災により被害を受けた鉄筋コンクリート橋脚の補強工法としては、前節で紹介したとおり、鉄筋コンクリート巻立て（以下RC巻立てと言う）、鋼板巻立て、炭素繊維巻立てなどがある。

ここでは、既報文献を中心にこれらの補強工法の補強効果について述べることにする。

##### (1) RC巻立て工法

RC巻立て工法は、被災程度が重く、耐荷力の低下が顕著な場合もしくは脆性的な破壊をした場合に、主に耐荷力を回復するもので、震災を受けた橋脚の補強には最も実績のある工法である。既設橋脚の外側に主鉄筋・帯鉄筋を配置し、厚さ250mm程度のコンクリートを巻立てる。コンクリート断面の増加および主鉄筋の増加のため、補強された橋脚は曲げ耐力を向上させたものとなるが、帯鉄筋の増加によりじ

ん性の向上も期待できる。RC巻立て工法に関する研究は、大半が橋脚模型による載荷試験によるものであり、耐力および変形性能を調べている。模型の断面形状としては、矩形で50×50cm程度の寸法が多いようである。補強部のコンクリート厚は、5～10cmのものが多い。補強後の軸方向引張鉄筋比は、0.5～2.5%程度、帯鉄筋比は、0.1～1.6%程度の範囲にある。補強範囲は、柱基部および段落とし部を対象としており、前もって交番載荷を行い、柱基部あるいは段落とし部を破壊させた供試体について、損傷レベル(I, II)<sup>15) 16)</sup>、補強軸方向鉄筋のアンカー定着(III)<sup>17)</sup>、補強強帯鉄筋量(IV, V, VI)<sup>17)</sup>をパラメータとした実験が実施されている。また、旧コンクリート表面処理方法<sup>18)</sup>や、補強帯鉄筋の定着方法<sup>19)</sup>の補強効果への影響についての研究も行われている。

表-4.9 に実験結果の一例を示す。

表-4.9 実験結果の一例

		断面 寸法 (cm)	軸引張 鉄筋比 (%)	帯鉄筋 比 (%)	降伏時		最大時		終局時		じん性率
					変位 (mm)	耐力 (tf)	変位 (mm)	耐力 (tf)	変位 (mm)	耐力 (tf)	
I	①	60*60	0.61	0.11	16.6	20.6	51.7	24.3	—	—	—
	②	70*70	0.61	0.70	17.0	23.1	147.	37.9	—	—	10.5
II	③	60*60	0.61	0.11	16.8	20.8	87.6	24.7	—	—	—
	④	70*70	0.61	0.70	17.0	27.4	96.3	38.8	—	—	7.0
III	⑤	50*50	0.76	0.32	10.0	20.0	23.0	25.0	60.0	22.0	6.0
	⑥	62*62	0.76	0.38	15.0	38.0	20.0	40.0	65.0	27.0	4.3
	⑦	62*62	0.76	0.38	15.0	32.0	30.0	35.0	75.0	30.0	5.0
IV	⑧	40*40	0.90	0.0	5.8	26.7	—	—	46.2	—	8.0
	⑨	50*50	0.90	1.01	4.9	26.5	—	—	56.8	—	11.6
	⑩	50*50	0.90	1.59	5.3	26.7	—	—	57.5	—	10.9
V	⑪		[1.23]	[0.00]							
		40*60	2.46	0.66	11.0	29.8	22.0	32.0	42.0	25.0	3.8
	⑫	52*72	(0.20)	(0.35)	11.0	35.7	22.0	45.0	54.0	39.0	4.9
VI	⑬		[0.54]	[0.17]							
		40*60	1.09	0.28	8.7	17.0	21.2	19.5	40.0	12.1	4.9
	⑭	52*72	(0.09)	(0.05)	8.0	26.2	16.7	29.3	40.0	22.4	5.0

備考

- ① ; 損傷が小の基準試験体
  - ② ; 補強, ①の再利用, フーチング定着有り
  - ③ ; 損傷が大の基準試験体
  - ④ ; 補強, ③の再利用, フーチング定着有り
  - ⑤ ; 基準試験体
  - ⑥ ; 補強, フーチング定着有り
  - ⑦ ; 補強, フーチング定着無し
  - ⑧ ; 基準試験体
  - ⑨ ; 補強
  - ⑩ ; 補強
  - ⑪ ; 基準試験体, 段落とし有り
  - ⑫ ; 補強, 段落とし部D区間補強  
躯体に樹脂アンカー
  - ⑬ ; 基準試験体, 段落とし有り
  - ⑭ ; 補強, 段落とし部D区間補強  
躯体に樹脂アンカー  
⑫に比べ帯鉄筋が小
- [ ]内数字は段落とし部の鉄筋比  
( )内数字は補強部の鉄筋比

これらの結果から、RC巻立てによる補強効果について整理すると、曲げ耐力は、補強軸方向鉄筋量に影響され、柱基部を補強する場合は、鉄筋をフーチングに十分定着すれば著しく向上し、また段落とし部を補強する場合は、水平鉄筋を躯体に十分定着することで補強効果がある。図-4.21に帯鉄筋比とじん性率の関係<sup>15)19)</sup>を示すが、変形性能(じん性)は、補強帯鉄筋量に影響され、鉄筋量の増加とともに向上する。ただし、補強後の帯鉄筋比が0.7%程度を越えると、靱性率が11程度で横這い状態になるようである。補強帯鉄筋の定着は、フック定着とフレア溶接の比較実験があり、多少フック定着の場合に靱性率が小さめになるようである。新旧コンクリートの一体性を確保することは、耐力低下の防止および高い靱性能の維持に不可欠であり、プラスト処理、ウォータージェット処理が効果的のようである。

RC巻立て工法を適用する場合、補強効果を十分に発揮させるために留意する点としては、

- ・巻立てた鉄筋コンクリート部材と既設橋脚断面とが一体となるように、既設橋脚の表面処理を十分に行う。
- ・柱基部の補強を行う場合、補強軸鉄筋はフーチングへの定着を確実に進行。

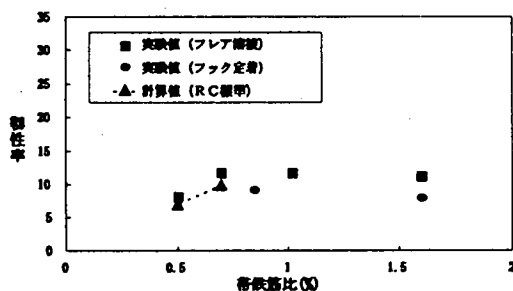
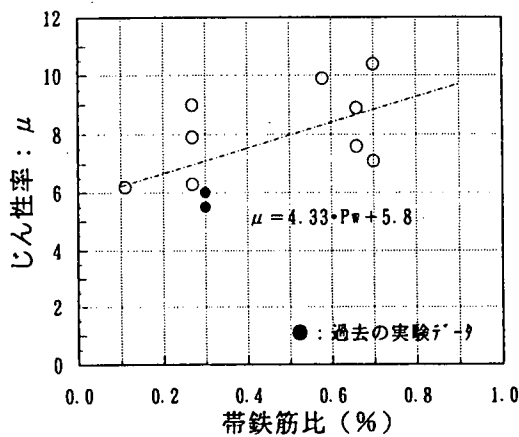


図-4.21 帯鉄筋比とじん性率の関係<sup>15) 16)</sup>

- ・巻立て部の帯鉄筋は、主鉄筋を拘束するよう配置するとともに、補強量が極端に少なくならないようにする。
- ・巻立て厚が大きくなる場合は、橋脚荷重の増加による基礎への影響や建築限界についても留意する必要がある。

などが挙げられる。

(2) 鋼板巻立て工法

鋼板巻立て工法は、既設橋脚に厚さ6~12mm程度の鋼板を巻立て、橋脚と鋼板の間隙にはエポキシ樹脂あるいはセメントグラウト注入を行い、橋脚の靱性あるいはせん断耐力、曲げ耐力を向上させる工法である。鋼板を巻立てて補強する場合、その目的に応じた補強の考え方がある。すなわち、鋼板を帯鉄筋とみなして補強する場合と、鋼板を帯鉄筋とともに軸方向鉄筋とみなして補強する場合とがある。

鋼板巻立て工法に関する研究は、橋脚模型の載荷試験によるものがほとんどであり、耐力および変形性能を調べている。模型規模は、断面形状が矩形で60×60cm程度の寸法が多いようである。また、補強鋼板厚さは、1.0~6.0mm程度が採用されている。補強後の軸方向引張鉄筋比は、0.35~1.0%程度、帯鉄筋比は、0.6~1.6%程度の範囲にある。補強範囲は、柱基部および段落とし部を対象としており、フーチ

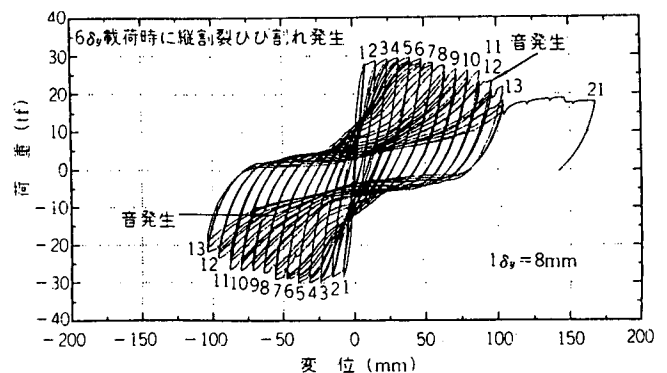
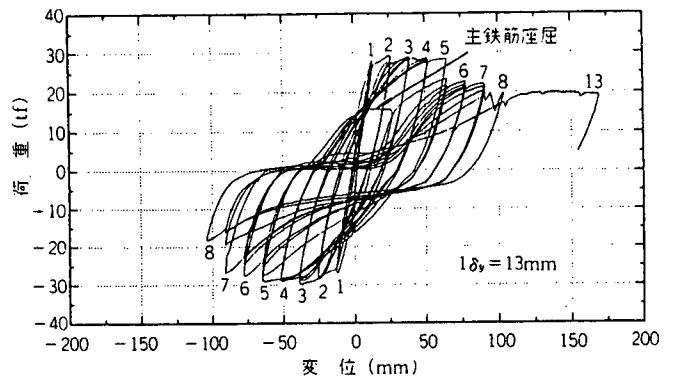


図-4.22 橋脚天端の荷重と変位量の関係<sup>27)</sup>

( 上図：無補強  
下図：鋼板厚2.3mm補強 )

ングへのアンカー定着(I)<sup>20)</sup>, 補強鋼板下端のあき(II)<sup>20) 21)</sup>, 補強鋼板の継手(III)<sup>22)</sup>, 柱基部の拘束方法(V)<sup>23) 24)</sup>, 既設橋脚と補強鋼板との間の充填材(IV)<sup>25) 26) 27)</sup>, 損傷橋脚の補強<sup>28)</sup>, 補強鋼板の分割<sup>29)</sup>をパラメータとした実験が実施されている。また, 壁式橋脚の補強方法<sup>30)</sup>や段落し部の補強方法<sup>27)</sup>に関する研究も行われている。表-4.10に実験結果の一例を示す。また, 図-4.22に橋脚天端の荷重と変位量の関係<sup>27)</sup>を示す。これらの結果から, まず柱基部の鋼板巻立てによる補強効果について整理すると, 鋼板下端をア

ンカー筋を介してフーチングに定着することで, 鋼板は, アンカー筋の強度相当の軸方向鉄筋ならびに帯鉄筋として有効に機能し, 耐力および変形性能とも向上する。鋼板下端とフーチング上面の間隙(あき)は, ねばりのある曲げ破壊の誘発や, 大変形時の鋼板とフーチングとの接触による鋼板の座屈およびフーチングの損傷の回避のために必要なファクターの一つであるが, 5~15cm程度のあきを設けた実験では, 耐力は同程度であるが, じん性率は, あきが小さい方が大きくなるとの報告がある。さらに,

表-4.10 実験結果の一例

		断面寸法 (cm)	鋼板厚 (mm)	軸引張鉄筋比 (%)	帯鉄筋比 (%)	降伏時		最大時 耐力 (tf)	終局時 変位 (mm)	じん性率
						変位 (mm)	耐力 (tf)			
I	①	60*60	1.6	0.85	0.64	16.4	27.0	—	122.2	7.5
	②	60*60	1.6	0.61	0.64	17.2	22.9	—	92.5	5.4
II	③	60*60	—	0.55	0.11	16.0	18.8	23.1	87.0	5.4
	④	60*60	1.6	0.69	0.64	12.7	20.2	31.7	110.9	8.7
	⑤	60*60	1.6	0.69	0.64	12.7	21.3	31.8	96.5	7.6
	⑥	60*60	1.6	0.69	0.64	12.7	21.5	31.9	96.0	7.6
III	⑦	68*68	6.0	0.40	—	—	—	—	—	14.0以上
	⑧	68*68	6.0	0.40	—	—	—	—	—	13.1以上
	⑨	68*68	6.0	0.37	—	—	—	—	—	12.1以上
	⑩	68*68	6.0	0.37	—	—	—	—	—	9.8以上
IV	⑪	40*40	3.2	0.995	—	7.9	—	—	19.4	2.45
	⑫	40*40	3.2	0.995	—	5.9	—	—	63.4	10.71
	⑬	40*40	3.2	0.995	—	7.2	—	—	25.2	3.51
	⑭	40*40	3.2	0.995	—	5.9	—	—	73.4	12.38
V	⑮	50*50	—	—	—	12.0	20.5	25.0	23.9	2.0
	⑯	50*50	1.6	—	—	7.8	19.3	23.8	54.4	7.0
	⑰	50*50	1.6	—	—	7.6	20.3	23.3	52.9	7.0
	⑱	50*50	1.6	—	—	8.5	19.7	23.6	67.6	8.0
	⑲	50*50	1.6	—	—	7.0	20.9	24.1	69.6	10.0
	⑳	50*50	1.6	—	—	8.9	22.9	27.8	70.8	8.0

備考

- ①; フーチング定着
- ②; フーチング定着無し
- ③; 基準試験体
- ④; フーチング定着, あき5cm
- ⑤; フーチング定着, あき10cm
- ⑥; フーチング定着, あき15cm
- ⑦; フーチング定着無し, 鋼板かみ合わせ単式継手
- ⑧; フーチング定着無し, 鋼板かみ合わせ複式継手
- ⑨; フーチング定着無し, 鋼板ボルト式継手
- ⑩; フーチング定着無し, 鋼板クリップ式継手
- ⑪; フーチング定着無し, 充填材水締め砂
- ⑫; フーチング定着無し, 充填材ソイルメント
- ⑬; フーチング定着無し, 充填材気泡モルタル
- ⑭; フーチング定着無し, 充填材高流動無収縮モルタル
- ⑮; 基準試験体
- ⑯; フーチング定着無し, 躯体下部2D区間後施工アンカー
- ⑰; フーチング定着無し, 躯体下部2D区間貫通P C鋼棒
- ⑱; フーチング定着無し, 躯体下部1/2D区間に厚さ1.6mmの円形リソク鋼板
- ⑲; 躯体全部に円形リソク鋼板, フーチング定着無し
- ⑳; 躯体下部3/4区間に厚さ1.6mmの円形リソク鋼板, これをフーチング定着

矩形断面橋脚の場合、大変形時に鋼板下端部がはらみ出すように変形し、鋼板によるコンクリートの拘束効果が失われやすいことから、鋼板下端の拘束方法の研究が行われている。拘束方法には、型鋼による補剛、橋脚躯体へのアンカー打設、貫通PC鋼棒、円形鋼板あるいは楕円鋼板の巻立てなどが考案されており、一部実施例もある。模型実験では、柱基部の0.5~2.0D区間を上記方法で拘束し、主にじん性能について調べている。実験結果では、どの方法とも柱基部の横拘束効果は十分にあるが、特に円形・楕円鋼板による方法が有効であるようである。ただし、横拘束を強くすると、柱の曲げ変形量が大きくできるが、ある変形量以上になると主鉄筋の破断による破壊を招くことがあり、この点は留意する必要がある。

段落し部の補強については、その補強範囲をパラメータとした実験が実施されており、段落し部を挟んで少なくとも2Dの範囲を補強すれば、十分な効果が認められることが報告されている。

補強鋼板と既設橋脚の間に充填する材料については、エポキシ樹脂・高流動無収縮モルタル・ソイルセメント・気泡モルタル・水締め砂を用いて、施工性を含めた性能比較を行っており、高流動無収縮モルタル・ソイルセメント・エポキシ樹脂が大差なく良好であることが報告されている。

補強鋼板の継手は、4タイプの機械継手について10以上の靱性率の確保を確認しており、溶接継手以外の施工性に優れた継手の提案もなされている。

鋼板分割数は、鋼板巻立てを実施する場合の運搬および施工条件によって制約を受けるが、その場合の橋脚高さ方向の分割数が補強効果に与える影響を調べた実験報告によれば、鋼板分割数が補強効果に及ぼす影響はないとされている。

### (3) 炭素繊維巻立て工法

既設橋脚に高強度・高弾性の炭素繊維シートやストランドを巻立てる工法は、これまでは段落し部の補強に用いられてきたが、最近では、補強効果に関する実験的な蓄積も増え、また重量増加がなく、施工性に優れていることから、橋脚全体の耐震補強に用いられている。特徴としては、炭素繊維を貼付ける方向により、補強目的を選択することが可能となり、主鉄筋方向に貼付けることにより曲げ耐力、帯鉄筋方向に貼付けることによりせん断耐力の向上を向上させ、コンクリートの拘束効果により、変形性能を改善させることができる。

炭素繊維補強工法に関する研究は、橋脚模型の載荷試験により補強の有無(I, II, III, IV)、補強量(I, II, III, IV)、補強方向(I, IV)および補強部位(IV)を

パラメータとして実施されている<sup>31) 32) 33) 34)</sup>。模型規模は、断面形状が矩形で60×60cm程度の寸法、補強

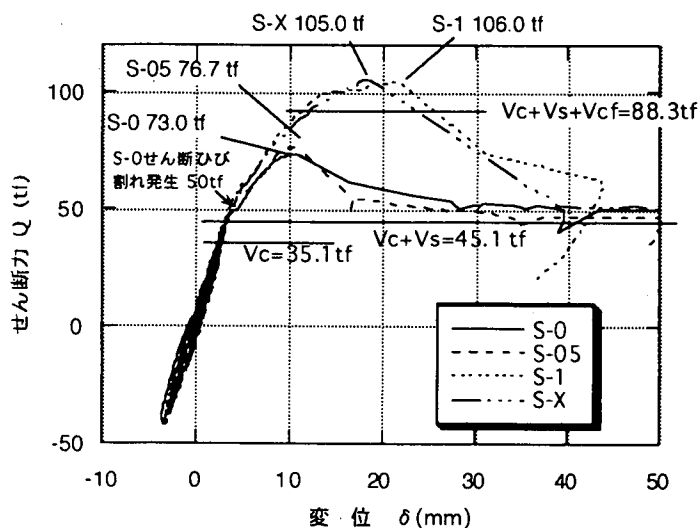


図-4.23 せん断力と変位の関係<sup>32)</sup>

( S-0: 無補強  
S-05, S-1, S-X: 炭素繊維シート補強 )

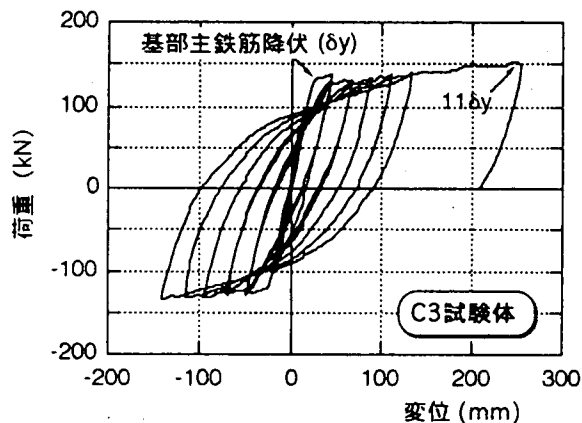
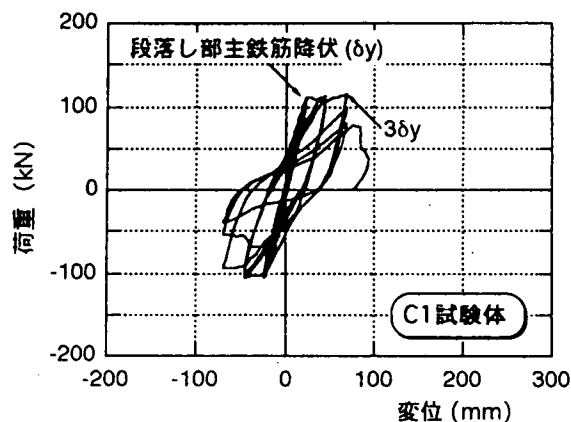


図-4.24 橋脚天端の荷重と変位の関係<sup>43)</sup>

( 上図: 無補強  
下図: 炭素繊維シート(2層)補強 )



後の軸方向引張鉄筋比は、1.0%程度、帯鉄筋比は、0.05~4.0%程度の範囲にある。また、炭素繊維による拘束効果の確認実験<sup>35)36)37)38)</sup>や、梁の模型を用いたせん断および曲げ補強に関する実験も数多く実施されている<sup>39)40)41)42)</sup>。表-4.11に実験結果の一例を示す。また、図-4.23にせん断力と変位量の関係<sup>32)</sup>および図-4.24に橋脚天端の荷重と変位量の関係<sup>43)</sup>を示す。

これらの結果より、炭素繊維を巻立てることにより、柱部材のせん断耐力およびじん性能の向上が図れることが確認される。また、炭素繊維と柱基部との定着を行うことにより、柱基部の曲げ耐力の向上

が図れることが報告されているが、定着に用いる炭素繊維の保護や、繰返し圧縮・引張力作用下での炭素繊維の強度低下の評価などが今後の課題として残されている。なお、設計上は、せん断耐力の算定のための炭素繊維補強量の算定においては、安全側を考慮し、炭素繊維の引張強度を60~80%程度に低減した値を用いるのがよいとされている。これらの炭素繊維シートあるいはストランドによる橋脚の補強に関する設計・施工に関しては、指針類<sup>44)45)</sup>が発行されているので、それを参照されたい。

表-4.11 実験結果の一例

	断面寸法 (cm)	軸引張鉄筋比 (%) 目付量*	帯鉄筋比 (%) 目付量*	降伏時		最大時		終局時		じん性率	
				変位 (mm)	耐力 (tf)	変位 (mm)	耐力 (tf)	変位 (mm)	耐力 (tf)		
I	①	60*60	0.84	0.026	10	35.7	—	35.7	10	—	1.0
	②	60*60	—	60	10	35.7	—	43.9	30	—	3.0
	③	—	—	300	10	35.7	—	43.9	40	—	4.0
	④	—	600	300	8	37.8	—	49.7	32	—	4.0
II	⑤	60*60	1.72	0.07	—	—	—	73.0	—	—	—
	⑥	60*60	—	100	—	—	—	76.7	—	—	—
	⑦	—	—	200	—	—	—	106.	—	—	—
	⑧	—	—	200	—	—	—	105.	—	—	—
III	⑨	70*70	0.89	0.12	21.2	47.5	42.9	55.1	91.2	—	4.3
	⑩	70*70	—	600	20.1	48.1	40.1	57.6	150.	—	7.5
	⑪	—	—	1000	20.3	47.5	40.1	56.0	160.	—	7.9
	⑫	—	—	1600	20.3	46.4	40.1	55.6	181.	—	8.9
	⑬	—	—	1000	20.5	47.1	41.4	55.9	172.	—	8.4
IV	⑭	40*60	1.2	0.047	20.6	10.4	61.7	11.5	61.7	11.5	3.0
	⑮	40*60	—	350	27.6	12.6	55.3	13.9	113.	13.4	4.1
	⑯	—	—	175	26.2	13.0	52.1	13.9	131.	14.5	5.0
	⑰	—	—	350	22.0	11.9	244.	15.5	244.	15.5	11.1
	⑱	40*60	1.2	0.047	22.3	10.6	41.7	13.1	65.5	11.2	2.9
	⑲	40*60	—	350+350	22.3	10.0	63.8	14.0	112.	11.7	5.0
⑳	—	—	350+350	25.0	9.8	35.6	15.2	90.2	11.6	3.6	

備考

\*目付量(g/m<sup>2</sup>)

- ① ; 基準試験体
- ② ; せん断補強(水平方向巻き)
- ③ ; せん断補強(水平方向巻き)
- ④ ; せん断補強(水平方向巻き)  
+ 曲げ補強(鉛直方向巻き)  
+ 基部定着
- ⑤ ; 基準試験体
- ⑥ ; せん断補強(水平方向巻き)
- ⑦ ; せん断補強(水平方向巻き)
- ⑧ ; せん断補強(水平方向巻き)
- ⑨ ; 基準試験体
- ⑩ ; じん性補強(水平方向巻き) 基部2D補強
- ⑪ ; じん性補強(水平方向巻き) 基部2D補強
- ⑫ ; じん性補強(水平方向巻き) 基部2D補強
- ⑬ ; じん性補強(水平方向巻き) 基部2D補強 ストランド'使用
- ⑭ ; 基準試験体 段落とし有り
- ⑮ ; 段落しの曲げ補強
- ⑯ ; 基部のせん断補強 ストランド'使用
- ⑰ ; 基部のせん断補強 シート使用
- ⑱ ; 基準試験体 段落し有り
- ⑲ ; 基部・段落しの震災後補強
- ⑳ ; 基部・段落しの震災後補強 動的載荷

#### 4.4.3 設計規準別耐震補強工法の比較

##### (1) 目的

本項では、RC橋脚の耐震設計規準に着目し、各種規準別の耐震補強の基本方針や耐震設計の考え方を整理するとともに、各種耐震補強工法に関する設計方法や構造細目等の差異を横並びに比較することにより、今後のRC橋脚の補強設計に資するものとする。

なお、対象とした規準は、1996年12月時点において、一般に公開されているものとした。対象規準を表-4.12に示す<sup>1) 10) 13) 45) 46) 47) 48) 49)</sup>。

構造物に対する復旧、被災は受けていないが照査により補強が必要と判断された構造物、および新設構造物となっている。また、各規準における対象部位は、橋脚および基礎が中心となっている。

##### b) 耐震補強の基本方針

RC橋脚における耐震補強の基本方針は、橋脚の耐力とじん性を向上させることであり、基本的には、鋼板巻立て補強もしくは曲げ耐力制御式鋼板巻立て補強等により、橋脚に必要なじん性を与えることで、地震時作用力を地震時耐荷力より小さくすることを目的としている。

表-4.12 対象規準類

対 象 設 計 規 準	制 定 年 月 日
「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係わる仕様」の準用に関する参考資料(案)	1995年6月
道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 (平成2年度版)	1990年2月
道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 (平成8年度版)	1996年12月
耐震設計・施工要領(案)	日本道路公団 1995年7月
RC橋脚耐震補強施工・管理要領(案)	阪神高速道路公団 1995年11月
既設RC橋脚の耐震性向上設計要領(案)	首都高速道路公団 1995年11月
新設構造物の当面の耐震設計に関する参考資料	1996年3月
炭素繊維シートによる鉄道高架橋柱の耐震補強工法設計・施工指針	(財)鉄道総合技術研究所 1996年7月

##### (2) 整理内容

対象とした規準は、大別して、新設橋脚の設計と既設橋脚の補修・補強設計に分かれる。ここでは、後者の方に重点を置いた。

各種規準における整理項目を以下に示す。

##### ① 各種設計規準の整理

- ・適用範囲
- ・耐震補強の基本方針
- ・耐震設計の考え方
- ・地震時保有水平耐力法
- ・動的解析手法

##### ② 各種耐震補強工法の比較

(RC, 鋼板, 炭素繊維巻立て工法)

- ・基本的考え方
- ・設計一般
- ・設計方法
- ・構造細目
- ・概略図

##### (3) 整理結果

上記整理項目において、各種設計規準を比較した結果を表-4.14~17に示す。各項目における特徴をとりまとめると、以下のとおりとなる。

##### a) 適用範囲

適用範囲は、兵庫県南部地震により被災を受けた

また、「耐震設計・施工要領(案):日本道路公団」では、上部工,下部工および基礎工を含めた橋梁全体系として、耐震性が向上するような補強計画を立てることと明記しており、今後の構造物については、橋梁全体もしくは橋脚の破壊形態を考慮した上で、どの部位をどのように壊していくかを想定して、大地震に対して橋梁全体で抵抗するといった考え方が取り入れられている。同規準においては、RC橋脚の段落し部の曲げ耐力もしくはせん断耐力が、柱基部に対して不足している場合には、まず、段落し部の補強を行い、段落し部の地震時耐荷力を柱基部のそれよりも向上させて、柱基部の破壊先行型へ移行させ、次に、柱基部において、せん断破壊に対して曲げ破壊が先行することを確認することを規定している。また、鉄道規準においても、橋脚の破壊形態をまず第一に把握し、それに応じた補強工を選定することが重要であると規定している。

##### c) 耐震設計の考え方

耐震設計の考え方は、兵庫県南部地震規模の地震が当該構造物の近傍で発生しても、余裕を持って耐えられる構造とすることを基本としている。その安全性の評価は、地震時の構造物の挙動を詳細に把握するため、構造物の非線形性を考慮した動的解析により、照査を行うことと規定している。ただし、地

震時の挙動が複雑でない」と判断される構造物については、動的解析に代わる簡便法として、道路橋では、震度法または地震時保有水平耐力による照査、鉄道橋では非線形応答スペクトルによる照査によってよいとされている。

「道示V(1996年12月)」では、橋を重要度に応じて2種類(A種、B種)に区分し、①橋の供用期間中に発生する確率が高い地震動、または、②橋の供用期間中に発生する確率は低い、大きな強度をもつ地震動(海洋型<タイプⅠ>・内陸直下型<タイプⅡ>)に対して、それぞれ必要な耐震性能を有することと規定し、①の地震動に対しては健全度を損なわないこと、②の地震動に対しては、A種(重要度が標準的)の橋については、致命的な被害を防止すること、B種(重要度が高い)の橋については、限定された損傷にとどめることを目標としている。また、同規準によれば、耐震設計は、上下部構造の設計に対してのみならず、支承部や落橋防止システムを含めた橋全体系が耐震性を有するように配慮すべきであると述べている。

d) 地震時保有水平耐力法

震災直後に出された規準では、地震時保有水平耐力法による照査は、「道示V(1990年2月)」および「復旧仕様」に基づいて行うことと規定されていた。今回の道示改訂においては、これをコンクリート橋脚だけでなく、鋼製橋脚、基礎、支承部などの地震の影響が支配的な構造部材、さらには落橋防止システムの設計においても、上記②の地震動に対し、地震時保有水平耐力法を適用することと規定している。なお、橋台や直接基礎型式のものについては、一般にこれによる照査を行わなくてよいとしている。表-4.13に、RC橋脚の耐震設計に関する道示(復旧仕様含む)の主な改定内容を示す。

e) 動的解析手法

動的解析は、応答スペクトル法もしくは時刻歴応

答解析法を原則とし、地震入力は、今回の地震において、地盤上で最大の加速度が観測された地点の地震動(当面、神戸海洋気象台)を用いることを基本としている。

「道示V(1996年12月)」では、地震時の挙動が複雑な橋(固有周期が1.5秒以上、高さ30m以上の橋脚、斜張橋、吊橋、上・中路的アーチ橋、および免震設計された橋)などについては、動的解析結果に基づいて適切に耐震設計を行うものと規定している。

f) 各種耐震補強工法の比較

対象規準において明記されている耐震補強工法は、以下に示す3種類である。

- ・RC巻立て工法
- ・鋼板巻立て工法
- ・炭素繊維巻立て工法

対象規準のうち、阪神高速道路公団および首都高速道路公団の規準には、「RC巻立て工法」および「炭素繊維巻立て工法」についての記述はなく、これらの事業主体において耐震補強は、「鋼板巻立て工法」が主要工法とされている。これらの規準によれば、橋脚が矩形断面の場合、基本的には、定着アンカーを設置し、曲げ耐力制御式補強とすることが示されている。また、補強後の設計塑性率の上限値は8とすると規定されている。

一方、日本道路公団では、周辺環境の制約が無く、断面増加が不可能でない限りは、経済性も勘案して「RC巻立て工法」を採用することを基本としている。

また、現在のところ、道路橋において、「炭素繊維巻立て工法」の設計について記述しているのは、日本道路公団の規準(「耐震設計・施工要領(案)」)のみであり、段落し部の曲げ補強もしくは橋脚基部のせん断補強に有効であると述べている。ただし、炭素繊維の帯鉄筋(拘束)効果によるじん性の向上については、未だ不透明な部分が多いことに少し触れている。

表-4.13 RC橋脚の耐震設計に関する道示(復旧仕様含む)の主な改訂内容

事項	1990年道示	1995年復旧仕様	1996年道示
曲げ	P~δ関係の設定モデル	トリリニア型	
	コンクリートの終局ひずみの設定	$\epsilon_{cs}=0.0035$ (帯鉄筋量に無関係)	帯鉄筋による拘束効果を考慮した $\epsilon_{cs}$ (最大圧縮応力時<タイプⅠ>), $\epsilon_{cu}$ (終局時<タイプⅡ>)の設定
せん断	変形性能の解析方法 ( $\delta_y, \delta_u$ の算定方法)	トリリニア曲率分布の積分	
変位	コンクリートが負担するせん断力の算定方法	コンクリート強度に応じたせん断応力度	
	変位の照査	変位制限なし	許容塑性率 ( $\mu \leq 8$ )

表一 4. 1 4 各種設計規準の整理

設計基準	適用範囲	道路標示方書・同解説 V 耐震設計編	耐震設計・施工要領(案)	RC橋脚耐震補強施工・管理要領(案)	既設RC橋脚の耐震性向上設計・施工要領(案)	新設構造物の当面の耐震設計に関する参考資料
「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の適用に関する参考資料(案)	(社)日本道路協会、1995年6月 ・兵庫県南部地震により被災した道路の復旧は、原則として(兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧)による仕様(以下、「復旧仕様」と呼ぶ)によるものとする。	(社)日本道路協会、1996年12月 ・適用する橋および準用の取り扱いについては、「共通編1.1 適用の範囲」に定めるとおりである。 ・支間200mを超える橋についても、地形・地質・地盤などの条件、橋の構造特性および規模、橋の重要度および立地条件などに応じ、必要かつ適切な補正を行って、この編を準用することができる。	日本道路協会、1995年7月 ・本要領(案)は、日本道路協会(以下「JHD」という)の既設橋梁および新設橋梁に適用する。 ・本要領(案)は、高速自動車国道、一般有料道路、跨道橋の設計に適用する。	阪神高速道路公社、1995年11月 ・本要領(案)は、阪神高速道路公社の供用路線における既設鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強に適用する。	首都高速道路公社、1995年7月 ・本要領(案)におけるRC橋脚の補強は、照査により補強が必要と判断されたものに適用し、以下に示すものを対象とする。 1) 地震時保有水平耐力の照査に対する補強 2) 段落しの照査に対する補強 3) 可動橋脚に対する補強	鉄道総合技術研究所、1996年3月 ・本参考資料は、次の鉄道構造物を新設する場合に適用する。 1) RC7-7/高梁橋、RC橋台、RC橋脚 2) SRC7-7/高梁橋、SRC橋台、SRC橋脚 3) 鋼7-7/構造物、鋼橋脚 4) 基礎構造物 5) 開削トンネル
耐震の基本方針	既設橋梁の補強では、橋梁全体の靱性を向上させて、ねばり強い構造とすることが重要であり、橋脚のじん性と耐力の向上が求められる。 ・基礎への影響と地震後の残留変位等に配慮し、じん性と耐力の向上をバランスさせた工法(曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法)を採用することとする。	上部工、下部工および基礎を含めた全体構造系として、耐震性を向上させるような補強計画を立てるものとする。 ・具体的な耐震性向上対策としては、RC橋脚駆体の補強を基本とし、併せて落橋防止装置の設置も行う。 ・RC橋脚の補強では、じん性の向上により橋脚をねばり強い構造とする方法を第一とし、次に保有水平耐力の向上による方法を考える。 ・破壊形態が、橋脚基部の曲げ破壊先行型であることを確認し、段落し部の曲げ耐力やせん断耐力が不足する場合には、基部破壊先行型へ移行するよう補強することとする。 ・RC巻立て工法を用いることを原則とし、設計・施工上の制約、および経済性・施工性を十分勘案し、鋼板巻立て工法・成業繊維巻立て工法および、これらとRC巻立て工法の併用工法を選定するものとする。	RC橋脚駆体は、鋼板巻立て補強を前提とする。 ・RC橋脚駆体の補強は復旧仕様により行い、じん性と耐力の向上をバランスさせた方法を基本とする。 ・RC橋脚の補強にあたっては、上部構造、支承構造等の見直しを行い、最適なものを採用する。	RC橋脚駆体は、変形性能の改善効果および補強断面を小さくできること等から、鋼板巻立て工法を原則とする。 ・曲げ補強およびせん断補強は、柱全体の補強を原則とする。免震支承等については別途検討する。 ・各補強に用いる工法は、以下のとおりである。 1) じん性を向上させる補強工法は、鋼板巻立て工法を用い、角形柱はエボキン樹脂、円形柱については無収縮モルタルを充填する。 2) 橋脚基部の耐力を向上させる方法、および曲げ耐力制御式補強は、フーチングに定着するアンカーを定着用ベース部を用いて、補強鋼板に取り付ける方式とする。 3) せん断補強に用いる工法は、鋼板巻立て工法とする。 4) 段落し部の補強に用いる工法は、鋼板巻立て工法とする。	・構造物は、「鉄道構造物等設計標準・同解説コンクリート構造物」(以下、コンクリート標準と呼ぶ)に示す耐震性能を満足し、せん断破壊に対する安全度を曲げ破壊に対する安全度より大きく度をとるとともに、兵庫県南部地震規模の地震が、当該構造物の近傍で発生しても、崩壊等の壊滅的被害が生じない耐震性能を有するものとする。	既設構造物の補強設計は、以下に示す検討を行うことを原則とする。 1) 既設構造物の耐震性評価 ・地震の影響を増加し、設計終局耐力(設計曲げ耐力、設計終局耐力)に達する時点での水平変位(Kh)を算定し、次式により破壊形式を判定する。 $Kh(Vy)/Kh(My) \geq 1.0$ ・構造物の保有換算弾性水平変位(Khe)をニューマークの算定式を用いて算定し、設計応答換算水平変位(Khd)と比較して安全性を照査する。 2) 兵庫県南部地震に対する照査は、動的解析を原則とし、新設構造物と同等の取扱いとして保有じん性率の照査を行う。
耐震設計	橋梁の耐震設計にあたっては、各構造部材の強度を向上させると同時に、変形性能を高めて橋梁全体系として地震に耐える構造を目指ものとする。 ・橋梁全体系をねばり(変形性能)を向上させるため、震度法による設計に加えて地震時保有水平耐力を照査する。 ・今回の地震に対して、余裕をもって考えられる構造であることを動的解析(非線形の影響を考慮)によって照査する。	橋の耐震設計は、橋の重要度に応じ、必要とされる耐震性能を確保することとを目標として行う。橋の重要度は、道路種別および橋の機能・構造に依り、重要度が橋の機能(A種)と特に関心される。A種の橋は、橋の供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度をもつ地震動(①)に対しては致命的な被害を防止することを目標とする。B種の橋は、橋の供用期間中に発生する確率は高い地震動(②)に対しては健全性を損なうことなく、また、①の地震動に対しては限定された損傷にとどめ、地震を目標とする。ここで、①の地震動と②の地震動を想定したタイプIの地震動および内陸直下型地震を想定したタイプIIの地震動の2種類を考慮する。	耐震設計は、橋梁全体系として大規模な地震動に対して、余裕をもって耐えうる構造を目指すものとする。 ・耐震性の照査は、直示V(1990年2月の)動的解析に加え、非線形を考慮した動的解析により行うことを基本とする。なお、これによりならない場合は、地震動記録を設計水平変位に置き換えて計算する簡便法を用いてよい。 ・補強設計における許容塑性率の上限値は8を目安とする。	RC橋脚の補強設計にあたっては、管理図書類による調査や現地調査により、構造物の状況を十分に把握しなればならない。 ・RC橋脚駆体の照査は復旧仕様により行う。 ・基礎工については、基本的に、地震時保有水平耐力の照査を行うものとする。ただし、躯体のじん性だけを向上させた場合や、耐力の増加率が大幅でない場合には、照査を行わなくてよい。	・本要領(案)では、次に示す照査を実施する。 1) 地震時水平耐力に対する照査 2) 段落し部の照査 3) 抗基礎の照査 4) ケーソン基礎の照査 5) 動的解析	既設構造物の補強設計は、以下に示す検討を行うことを原則とする。 1) 既設構造物の耐震性評価 ・地震の影響を増加し、設計終局耐力(設計曲げ耐力、設計終局耐力)に達する時点での水平変位(Kh)を算定し、次式により破壊形式を判定する。 $Kh(Vy)/Kh(My) \geq 1.0$ ・構造物の保有換算弾性水平変位(Khe)をニューマークの算定式を用いて算定し、設計応答換算水平変位(Khd)と比較して安全性を照査する。 2) 兵庫県南部地震に対する照査は、動的解析を原則とし、新設構造物と同等の取扱いとして保有じん性率の照査を行う。

<関連資料より>



表一 4. 1. 5 各種耐震補強工法の比較その1 (RC巻立て工法)

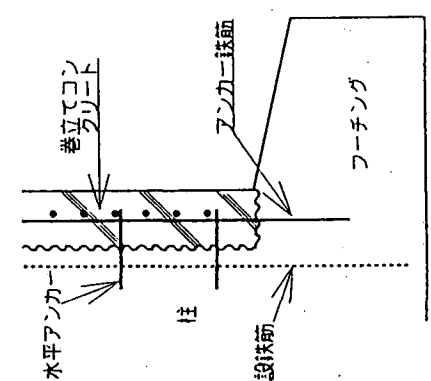
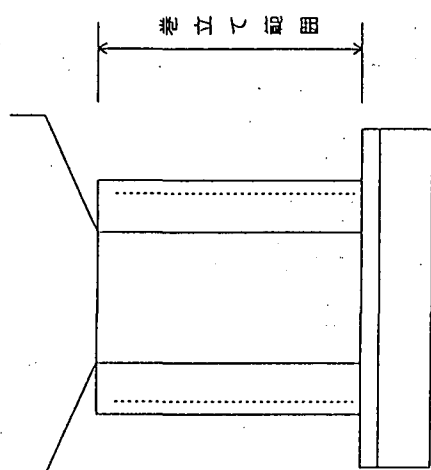
<p>設計基礎 「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係わる仕様」準用に関する参考資料(案)</p>	<p>耐震設計・施工要領(案) 日本道路公団, 1995年7月</p>	<p>新設構造物の当面の耐震設計に関する参考資料 (財)鉄道総合技術研究所, 1996年3月</p>								
<p>基本概念的考え方 ・既設橋脚に鉄筋コンクリートを巻立てる工法であり, 地震時保有水平耐力を大きく向上させる必要がある場合に適用している。</p>	<p>・補強部材は, 既設部材と一体に機能するものとする。 ・補強範囲は橋脚柱頂部から柱基部までとする。</p>	<p>・材料強度は, 当該構造物の当初設計時の強度とする。なお, 当該構造物から採取した試料をもとに定めた場合は, その値を用いてよい。 ・新たに巻立てるコンクリートは, 既設部材断面と一体化しているものとして設計してよい。</p>								
<p>設計一般 ・アンカー鉄筋により, 既設橋脚およびフーチングと巻立てコンクリート一体化させる。 ・軸方向鉄筋の段落とし部における補強後の降伏水平耐力より大きくするようにする。 ・本工法を用いた場合は, 基礎の照査を行う。</p>	<p>・主鉄筋量は, D22etc150mm以上を配置するものとし, 不足モーメント(<math>\Delta M</math>)に対して, 段落し部の照査を行う。 ・巻立て部の主鉄筋をフーチング内に定着しない場合, 柱下端より補強後の橋脚柱幅の高さ(有効高さ)までは, 巻立て部の軸方向筋を主鉄筋として考慮してはならない。 ・横拘束筋の算出は, 既設部および巻立て部の帯鉄筋を有効と考え, 有効幅dは補強した帯鉄筋位置をいってよいものとする。</p>	<p>・安全係数は現行鉄道設計標準による。 ・RC巻立て補強を行った場合の曲げ耐力, せん断耐力およびじん性率(<math>\mu</math>)の計算は, 鉄道設計標準に準じて算定する。 &lt;関連資料より&gt;</p>								
<p>設計方法構造細目</p>	<p>・巻立てコンクリートの厚の最小値は, 250mmとする。 ・柱軸方向鉄筋は, 橋脚下端より天橋まで同径, 同間隔とし断面変化は行わないものとする。なお, かぶりおよびあきは設計要領による。 ・帯鉄筋は, 柱下端より天橋まで同径, 同間隔とする。 ・補強部材に配置する鉄筋は, 以下のものを使用する。</p> <table border="1" data-bbox="770 896 862 1299"> <tr> <td>軸方向鉄筋</td> <td>D13</td> <td>D32</td> <td>150~300mm</td> </tr> <tr> <td>帯鉄筋</td> <td>D13</td> <td>D32</td> <td>100~150mm</td> </tr> </table> <p>・主鉄筋の継手は, 圧接継手または機械継手とする。 ・帯鉄筋の継手はフレア溶接とし, 継手長は鉄筋径の10倍とする。</p>	軸方向鉄筋	D13	D32	150~300mm	帯鉄筋	D13	D32	100~150mm	
軸方向鉄筋	D13	D32	150~300mm							
帯鉄筋	D13	D32	100~150mm							
<p>概略図</p> 										

表 4.1.6 各種耐震補強工法の比較その2 (鋼板巻立て工法)

設計基準	耐震設計・施工要領(案)	RCC橋脚耐震補強施工・管理要領(案)	既設RCC橋脚の耐震性向上設計・施工要領(案)	新設構造物の当面の耐震設計に関する参考資料																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
<p>「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係わる仕様の」の準用に関する参考資料</p> <p>(社)日本道路協会、1995年6月</p> <p>・曲げ耐力制鋼式鋼板巻立て工法は、橋脚躯体を鋼板で巻き、鋼板と躯体コンクリートとを無収縮モルタルまたは、エポキシ樹脂により一体化させ、橋脚基部では鋼板とアーチングの間隙を5〜10cmの間隙を設け、アンカー筋で鋼板をアーチングに固定する。</p> <p>・鋼板で巻くことにより、橋脚躯体のコンクリートに拘束し、じん性と耐力の向上を図り、アンカー筋により、耐力の向上と基礎への地震力の影響を適切に制御する。</p>	<p>日本道路協会、1995年7月</p> <p>・補強部材は、既設と一体に機能するものとする。</p> <p>・橋脚基部には、根巻きコンクリートを施工する。</p> <p>・鋼板巻立ての範囲は、橋脚柱頂部から柱基部までとする。</p> <p>・柱頂部および柱基部には、50mmのすき間を設ける。</p>	<p>阪神高速道路協会、1995年11月</p> <p>・RCC橋脚の柱部の補強は、鋼板巻立て工法を標準とする。</p> <p>・巻立てた補強鋼板の下端は、後施工定着アンカーにより、アーチングに定着しないことが望ましい。</p>	<p>首都高速道路協会、1995年7月</p> <p>・柱基部および跌落し部において、曲げ耐力が不足する場合は、じん性の向上、曲げ耐力制鋼式補強を行い、所定の保有水平耐力を確保する。</p> <p>・せん断補強では、曲げ破壊先行型とするか、または不足せん断耐力を補強して、所定の地震時保有水平耐力を確保する。</p>	<p>(財)鉄道総合技術研究所、1996年3月</p> <p>・材料強度は、当該構造物の当初設計時の強度とする。なお、当該構造物から採取した試験物と別に定めた場合は、その値を用いてよい。</p> <p>・安全係数は、鉄道設計標準による。</p>																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
<p>橋脚の橋軸直交方向aと橋軸方向bの比a/bが3以下の場合、以下に示す鋼板厚さおよびアンカー筋を配置すればよい。</p> <p>計画が明確な場合は、設計標準とアカー筋対象構造物補強鋼板アンカー筋</p> <table border="1" data-bbox="847 1680 931 2119"> <tr> <td>a/b ≤ 2</td> <td>SS400 t=9mm</td> <td>SD295</td> </tr> <tr> <td>2 &lt; a/b ≤ 3</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>3 &lt; a/b ≤ 4</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>4 &lt; a/b ≤ 5</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>5 &lt; a/b ≤ 6</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>6 &lt; a/b ≤ 7</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>7 &lt; a/b ≤ 8</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>8 &lt; a/b ≤ 9</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>9 &lt; a/b ≤ 10</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>10 &lt; a/b ≤ 11</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>11 &lt; a/b ≤ 12</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>12 &lt; a/b ≤ 13</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>13 &lt; a/b ≤ 14</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>14 &lt; a/b ≤ 15</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>15 &lt; a/b ≤ 16</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>16 &lt; a/b ≤ 17</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>17 &lt; a/b ≤ 18</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>18 &lt; a/b ≤ 19</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>19 &lt; a/b ≤ 20</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>20 &lt; a/b ≤ 21</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>21 &lt; a/b ≤ 22</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>22 &lt; a/b ≤ 23</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>23 &lt; a/b ≤ 24</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>24 &lt; a/b ≤ 25</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>25 &lt; a/b ≤ 26</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>26 &lt; a/b ≤ 27</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>27 &lt; a/b ≤ 28</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>28 &lt; a/b ≤ 29</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>29 &lt; a/b ≤ 30</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>30 &lt; a/b ≤ 31</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>31 &lt; a/b ≤ 32</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>32 &lt; a/b ≤ 33</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>33 &lt; a/b ≤ 34</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>34 &lt; a/b ≤ 35</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>35 &lt; a/b ≤ 36</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>36 &lt; a/b ≤ 37</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>37 &lt; a/b ≤ 38</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>38 &lt; a/b ≤ 39</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>39 &lt; a/b ≤ 40</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>40 &lt; a/b ≤ 41</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>41 &lt; a/b ≤ 42</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>42 &lt; a/b ≤ 43</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>43 &lt; a/b ≤ 44</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>44 &lt; a/b ≤ 45</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>45 &lt; a/b ≤ 46</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>46 &lt; a/b ≤ 47</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>47 &lt; a/b ≤ 48</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>48 &lt; a/b ≤ 49</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>49 &lt; a/b ≤ 50</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>50 &lt; a/b ≤ 51</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>51 &lt; a/b ≤ 52</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>52 &lt; a/b ≤ 53</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>53 &lt; a/b ≤ 54</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>54 &lt; a/b ≤ 55</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>55 &lt; a/b ≤ 56</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>56 &lt; a/b ≤ 57</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>57 &lt; a/b ≤ 58</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>58 &lt; a/b ≤ 59</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>59 &lt; a/b ≤ 60</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>60 &lt; a/b ≤ 61</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>61 &lt; a/b ≤ 62</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>62 &lt; a/b ≤ 63</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>63 &lt; a/b ≤ 64</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>64 &lt; a/b ≤ 65</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>65 &lt; a/b ≤ 66</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>66 &lt; a/b ≤ 67</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>67 &lt; a/b ≤ 68</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>68 &lt; a/b ≤ 69</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>69 &lt; a/b ≤ 70</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>70 &lt; a/b ≤ 71</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>71 &lt; a/b ≤ 72</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>72 &lt; a/b ≤ 73</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>73 &lt; a/b ≤ 74</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>74 &lt; a/b ≤ 75</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>75 &lt; a/b ≤ 76</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>76 &lt; a/b ≤ 77</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>77 &lt; a/b ≤ 78</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>78 &lt; a/b ≤ 79</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>79 &lt; a/b ≤ 80</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>80 &lt; a/b ≤ 81</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>81 &lt; a/b ≤ 82</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>82 &lt; a/b ≤ 83</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>83 &lt; a/b ≤ 84</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>84 &lt; a/b ≤ 85</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>85 &lt; a/b ≤ 86</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>86 &lt; a/b ≤ 87</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>87 &lt; a/b ≤ 88</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>88 &lt; a/b ≤ 89</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>89 &lt; a/b ≤ 90</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>90 &lt; a/b ≤ 91</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>91 &lt; a/b ≤ 92</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>92 &lt; a/b ≤ 93</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>93 &lt; a/b ≤ 94</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>94 &lt; a/b ≤ 95</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>95 &lt; a/b ≤ 96</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>96 &lt; a/b ≤ 97</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>97 &lt; a/b ≤ 98</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>98 &lt; a/b ≤ 99</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> <tr> <td>99 &lt; a/b ≤ 100</td> <td>SS400</td> <td>D35</td> </tr> </table>	a/b ≤ 2	SS400 t=9mm	SD295	2 < a/b ≤ 3	SS400	D35	3 < a/b ≤ 4	SS400	D35	4 < a/b ≤ 5	SS400	D35	5 < a/b ≤ 6	SS400	D35	6 < a/b ≤ 7	SS400	D35	7 < a/b ≤ 8	SS400	D35	8 < a/b ≤ 9	SS400	D35	9 < a/b ≤ 10	SS400	D35	10 < a/b ≤ 11	SS400	D35	11 < a/b ≤ 12	SS400	D35	12 < a/b ≤ 13	SS400	D35	13 < a/b ≤ 14	SS400	D35	14 < a/b ≤ 15	SS400	D35	15 < a/b ≤ 16	SS400	D35	16 < a/b ≤ 17	SS400	D35	17 < a/b ≤ 18	SS400	D35	18 < a/b ≤ 19	SS400	D35	19 < a/b ≤ 20	SS400	D35	20 < a/b ≤ 21	SS400	D35	21 < a/b ≤ 22	SS400	D35	22 < a/b ≤ 23	SS400	D35	23 < a/b ≤ 24	SS400	D35	24 < a/b ≤ 25	SS400	D35	25 < a/b ≤ 26	SS400	D35	26 < a/b ≤ 27	SS400	D35	27 < a/b ≤ 28	SS400	D35	28 < a/b ≤ 29	SS400	D35	29 < a/b ≤ 30	SS400	D35	30 < a/b ≤ 31	SS400	D35	31 < a/b ≤ 32	SS400	D35	32 < a/b ≤ 33	SS400	D35	33 < a/b ≤ 34	SS400	D35	34 < a/b ≤ 35	SS400	D35	35 < a/b ≤ 36	SS400	D35	36 < a/b ≤ 37	SS400	D35	37 < a/b ≤ 38	SS400	D35	38 < a/b ≤ 39	SS400	D35	39 < a/b ≤ 40	SS400	D35	40 < a/b ≤ 41	SS400	D35	41 < a/b ≤ 42	SS400	D35	42 < a/b ≤ 43	SS400	D35	43 < a/b ≤ 44	SS400	D35	44 < a/b ≤ 45	SS400	D35	45 < a/b ≤ 46	SS400	D35	46 < a/b ≤ 47	SS400	D35	47 < a/b ≤ 48	SS400	D35	48 < a/b ≤ 49	SS400	D35	49 < a/b ≤ 50	SS400	D35	50 < a/b ≤ 51	SS400	D35	51 < a/b ≤ 52	SS400	D35	52 < a/b ≤ 53	SS400	D35	53 < a/b ≤ 54	SS400	D35	54 < a/b ≤ 55	SS400	D35	55 < a/b ≤ 56	SS400	D35	56 < a/b ≤ 57	SS400	D35	57 < a/b ≤ 58	SS400	D35	58 < a/b ≤ 59	SS400	D35	59 < a/b ≤ 60	SS400	D35	60 < a/b ≤ 61	SS400	D35	61 < a/b ≤ 62	SS400	D35	62 < a/b ≤ 63	SS400	D35	63 < a/b ≤ 64	SS400	D35	64 < a/b ≤ 65	SS400	D35	65 < a/b ≤ 66	SS400	D35	66 < a/b ≤ 67	SS400	D35	67 < a/b ≤ 68	SS400	D35	68 < a/b ≤ 69	SS400	D35	69 < a/b ≤ 70	SS400	D35	70 < a/b ≤ 71	SS400	D35	71 < a/b ≤ 72	SS400	D35	72 < a/b ≤ 73	SS400	D35	73 < a/b ≤ 74	SS400	D35	74 < a/b ≤ 75	SS400	D35	75 < a/b ≤ 76	SS400	D35	76 < a/b ≤ 77	SS400	D35	77 < a/b ≤ 78	SS400	D35	78 < a/b ≤ 79	SS400	D35	79 < a/b ≤ 80	SS400	D35	80 < a/b ≤ 81	SS400	D35	81 < a/b ≤ 82	SS400	D35	82 < a/b ≤ 83	SS400	D35	83 < a/b ≤ 84	SS400	D35	84 < a/b ≤ 85	SS400	D35	85 < a/b ≤ 86	SS400	D35	86 < a/b ≤ 87	SS400	D35	87 < a/b ≤ 88	SS400	D35	88 < a/b ≤ 89	SS400	D35	89 < a/b ≤ 90	SS400	D35	90 < a/b ≤ 91	SS400	D35	91 < a/b ≤ 92	SS400	D35	92 < a/b ≤ 93	SS400	D35	93 < a/b ≤ 94	SS400	D35	94 < a/b ≤ 95	SS400	D35	95 < a/b ≤ 96	SS400	D35	96 < a/b ≤ 97	SS400	D35	97 < a/b ≤ 98	SS400	D35	98 < a/b ≤ 99	SS400	D35	99 < a/b ≤ 100	SS400	D35	<p>・鋼板は、鉄筋コンクリート構造の鉄筋換算を行い、帯鉄筋と軸方向鉄筋とも、それぞれ鋼板全断面積が有効として取り扱うものとする。ただし、柱基部から柱の断面厚さ(D)の範囲は、軸方向鉄筋の効果を考慮しない。</p> <p>・帯鉄筋の有効長(d)は、既設橋脚断面の外側寸法を用いるものとする。</p>	<p>1) アンカー定着無し設計</p> <p>・補強鋼板は横束筋として換算し、既設の帯鉄筋と合わせて考慮するものとする。</p> <p>・鋼板下端部とアーチングとの隙間は、50mmを標準とする。</p> <p>・コンクリートと巻立て鋼板の隙間は、エポキシ樹脂注入で4mm、無収縮モルタル充填で30mm以上を標準とする。</p> <p>2) アンカー定着有りの設計</p> <p>・補強鋼板は、軸方向鉄筋、帯鉄筋の両方に換算する。</p> <p>・アンカー鉄筋はD35以上、中心間隔250〜500mm程度を目安とする。</p> <p>・矩形断面の場合は、補強鋼板に下端束筋用形鋼を設置する。</p> <p>・鋼板下端とアーチングの隙間は、50mmを標準とする。</p> <p>・コンクリートと補強鋼板との隙間は、エポキシ樹脂注入で4mm、無収縮モルタル充填で30mm以上を標準とする。</p>	<p>・補強後の橋脚躯体の塑性率μは、8以下とする。</p> <p>・降伏モジュールは、既設の鋼材および補強鋼材の円心位置での降伏ひずみとする。</p> <p>・補強後の横束筋は、補強部材および既設部材の間隔とする。なお、その有効長は、補強鋼材の断面耐力を定める場合、補強部材はアーチング基礎に定着されたアンカー鉄筋のみを考慮し、根巻きコンクリートは無視するものとする。</p> <p>・せん断補強では、補強鋼板による横束筋は考慮しない。</p> <p>・せん断補強において、柱軸方向に連続して補強する場合は、鋼板の定着長を除いた部分を軸方向鋼材として考慮する。</p>	<p>・鋼板で囲まれたコンクリート断面は、既設部材と一体化しているものとして、断面形状が増加したRCC断面として設計する。</p> <p>・曲げ耐力は、鋼板の影響を無視するものとする。</p> <p>・せん断耐力の算定は、鋼板を帯鉄筋量に換算し、鉄道設計標準により求めてよい。</p> <p>・鋼板巻立てした部材のじん性率はμ=8を確保しているものとみなしてよい。</p> <p>＜関連資料より＞</p>
a/b ≤ 2	SS400 t=9mm	SD295																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
2 < a/b ≤ 3	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
3 < a/b ≤ 4	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
4 < a/b ≤ 5	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
5 < a/b ≤ 6	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
6 < a/b ≤ 7	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
7 < a/b ≤ 8	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
8 < a/b ≤ 9	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
9 < a/b ≤ 10	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
10 < a/b ≤ 11	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
11 < a/b ≤ 12	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
12 < a/b ≤ 13	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
13 < a/b ≤ 14	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
14 < a/b ≤ 15	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
15 < a/b ≤ 16	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
16 < a/b ≤ 17	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
17 < a/b ≤ 18	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
18 < a/b ≤ 19	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
19 < a/b ≤ 20	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
20 < a/b ≤ 21	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
21 < a/b ≤ 22	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
22 < a/b ≤ 23	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
23 < a/b ≤ 24	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
24 < a/b ≤ 25	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
25 < a/b ≤ 26	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
26 < a/b ≤ 27	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
27 < a/b ≤ 28	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
28 < a/b ≤ 29	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
29 < a/b ≤ 30	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
30 < a/b ≤ 31	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
31 < a/b ≤ 32	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
32 < a/b ≤ 33	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
33 < a/b ≤ 34	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
34 < a/b ≤ 35	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
35 < a/b ≤ 36	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
36 < a/b ≤ 37	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
37 < a/b ≤ 38	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
38 < a/b ≤ 39	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
39 < a/b ≤ 40	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
40 < a/b ≤ 41	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
41 < a/b ≤ 42	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
42 < a/b ≤ 43	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
43 < a/b ≤ 44	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
44 < a/b ≤ 45	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
45 < a/b ≤ 46	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
46 < a/b ≤ 47	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
47 < a/b ≤ 48	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
48 < a/b ≤ 49	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
49 < a/b ≤ 50	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
50 < a/b ≤ 51	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
51 < a/b ≤ 52	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
52 < a/b ≤ 53	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
53 < a/b ≤ 54	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
54 < a/b ≤ 55	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
55 < a/b ≤ 56	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
56 < a/b ≤ 57	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
57 < a/b ≤ 58	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
58 < a/b ≤ 59	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
59 < a/b ≤ 60	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
60 < a/b ≤ 61	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
61 < a/b ≤ 62	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
62 < a/b ≤ 63	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
63 < a/b ≤ 64	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
64 < a/b ≤ 65	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
65 < a/b ≤ 66	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
66 < a/b ≤ 67	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
67 < a/b ≤ 68	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
68 < a/b ≤ 69	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
69 < a/b ≤ 70	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
70 < a/b ≤ 71	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
71 < a/b ≤ 72	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
72 < a/b ≤ 73	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
73 < a/b ≤ 74	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
74 < a/b ≤ 75	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
75 < a/b ≤ 76	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
76 < a/b ≤ 77	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
77 < a/b ≤ 78	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
78 < a/b ≤ 79	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
79 < a/b ≤ 80	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
80 < a/b ≤ 81	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
81 < a/b ≤ 82	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
82 < a/b ≤ 83	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
83 < a/b ≤ 84	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
84 < a/b ≤ 85	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
85 < a/b ≤ 86	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
86 < a/b ≤ 87	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
87 < a/b ≤ 88	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
88 < a/b ≤ 89	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
89 < a/b ≤ 90	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
90 < a/b ≤ 91	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
91 < a/b ≤ 92	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
92 < a/b ≤ 93	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
93 < a/b ≤ 94	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
94 < a/b ≤ 95	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
95 < a/b ≤ 96	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
96 < a/b ≤ 97	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
97 < a/b ≤ 98	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
98 < a/b ≤ 99	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
99 < a/b ≤ 100	SS400	D35																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
<p>短形断面で、大きな地震を受け橋脚下端が塑性ヒンジ化した場合は、形鋼(H鋼)を取り付けて橋脚下端を補強する。</p> <p>・アーチングに對するアンカーの定着長は、道示IV.3.4.2の定着長の3倍とする。</p>	<p>・鋼板の板厚は、6mm, 9mm, 12mmの3種類のうちから選定する。</p> <p>・鋼板一枚の重量は400kg程度を標準とし、橋脚周長方向に4分割することを原則とする。</p> <p>なお、継手は現場溶接による。</p> <p>・樹脂注入の厚さは、4mmを標準とする。</p> <p>・鋼板取付用アンカーボルトの径はM16とし、その配置間隔は円形断面で1000mm、矩形断面で</p>	<p>・補強鋼板はSS400を用い、板厚は、9〜12mmの1mmピッチの中から選定するものとする。断面変化は、基本的に行わない。</p> <p>・補強鋼板は、橋脚周長方向に4分割あるいは8分割を標準とする。</p> <p>・補強鋼板は塗装により防食するものとする。基部については、根巻きコンクリートにより防食することとし、根巻きコンクリートの天端は、地表面より</p>	<p>・鋼板の最小板厚は9mm、最大板厚12mmとする。</p> <p>・鋼板と既設部材の樹脂注入の平均厚さは4mmとする。</p> <p>・補強に用いるアンカー筋はD32(SD345)とし、最大50cm間隔とする。</p>																																																																																																																																																																																																																																																																																																										

細目		<p>500mmとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・基部の根巻きコンクリートは、柱下端より最低ID以上、または土被り+100mmの大きい方を確保し、厚さは250mm以上とする。配筋は、RC巻立て工法に準じるが、帯鉄筋はD22tc100mmを標準とする。</li> </ul>	<p>+100mmを標準とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・根巻きコンクリートは、<math>\sigma_{ck}=160\text{kgf/cm}^2</math>を用い、鉄筋はSD295Aを基本とする。ただし、鋼板下端部をフーチングに定着する場合のアンカー鉄筋は異形鉄筋(SD345)を用いることとし、D35mm以上とする。</li> </ul>		
概略図					



表 4.1.7 各種耐震補強工法の比較その3 (炭素繊維巻立て工法)

設計基礎	耐震設計・施工要領 (案)
<p>炭素繊維シートによる鉄道高架橋柱の耐震補強工法設計・施工指針</p> <p>(財) 鉄道総合技術研究所, 1996年7月</p> <p>・既存のラーメン高架橋の柱部材において、想定地震時に所要のせん断耐力またはじん性が不足するものに対して、炭素繊維シートにより補強を行う。せん断破壊などの脆性的な破壊防止し、じん性に富む部材となるように補強設計することを基本とする。また、曲げ耐力が不足するものに対して炭素繊維シートにより補強を行い、十分な耐震性能を確保することをも目的とする。</p>	<p>日本道路公団, 1995年7月</p> <p>・段落し部を有する橋脚の耐震補強は、段落し部を曲げ補強することにより、段落位置を段落し部から橋脚基部へと移行させ、また、橋脚基部ではせん断耐力が不足している場合には、せん断補強を実施することを基本とする。よって、補強された橋脚は、基部の曲げ破壊先行型の橋脚となる。</p>
<p>・炭素繊維シートによる補強設計は、既存高架橋の耐震診断により得た部材の耐荷性能、破壊形式に応じて、必要な耐力等を確保するよう補強工種を適切に選定する。</p> <p>・補強設計に用いる設計断耐力等は、既存高架橋の耐震診断により所要の耐力等に基づき定められたものとする。</p>	<p>・段落し部の補強およびせん断補強として、十分な炭素繊維シートを張り付け、もしくは炭素繊維シートラウンドを巻き付けることで、RC橋脚の耐力と変形性能を向上させる。</p>
<p>1) せん断補強設計</p> <p>・既存部材の設計現有せん断耐力が、設計せん断力よりも小さい場合は、設計現有曲げ耐力に対してを満たさない場合は、「せん断補強」を行う。</p> <p>・せん断補強に対する安全性の検討は、構造物係数を乗じた設計せん断力と所要の算定式により求められる設計補強せん断耐力の比が1以下となることを確認する。</p> <p>2) じん性補強設計</p> <p>・既存部材の設計現有じん性率が設計塑性率より小さい場合には、「じん性補強」を行う。</p> <p>・じん性補強に対する安全性の検討は、構造物係数を乗じた設計塑性率と所要の算定式により求められる設計補強じん性率の比が1以下となることを確認する。</p> <p>3) 曲げ補強設計</p> <p>・既存部材の設計現有曲げ耐力が設計曲げモーメントよりも小さい場合には、「曲げ補強」を行う。</p> <p>・曲げ補強に対する安全性の検討は、構造物係数を乗じた設計曲げモーメントと所要の算定式により求められる設計補強曲げ耐力の比が1以下となることを確認する。</p>	<p>・補強範囲は、照査段落し部位置から段落し部降伏抵抗モーメントと作用モーメントの交点までとする。なお、橋脚躯体基部はRC巻立てを行うこととする。</p> <p>1) 曲げ補強設計</p> <p>・基部の終局モーメントに達したときの照査段落し位置での作用モーメントよりも、降伏抵抗モーメントを大きくする。</p> $\Delta M = M_{uf} - M_y$ $\Delta M = A_{cf} \times \sigma_r \times 7/8 \times d$ $n = A_{cf} / (t_{cf} \times b_{cf})$ <p><math>M_y</math>: 基部が終局モーメントに達したときの段落し位置の作用モーメント  <math>A_{cf}</math>: 照査段落し位置の降伏モーメント, <math>M_{uf}</math>: 基部が終局モーメントに達したときの段落し位置の断面積, 厚さ, 幅  <math>\sigma_r</math>: 設計曲げ引張強度, <math>n</math>: 炭素繊維シートの必要枚数</p> <p>2) 段落し部および基部でせん断破壊させないよう、基部の曲げ補強後の終局水平耐力よりもせん断耐力を大きくする。</p> $\Delta P = P_u - P_s$ <p><math>\Delta P</math>: 不足せん断耐力, <math>P_u</math>: 曲げ補強後の保有水平耐力  <math>P_s</math>: せん断補強後の基部または段落し部のせん断耐力</p>
<p>1) シートの定着</p> <p>・曲げ補強に用いる炭素繊維シートは、所要の設計定着長を満足するように、十分定着をとることを原則とする。その際、その外周には材軸直角方向にもシートを貼りつけ、コンクリートとの一体性を強化する。</p> <p>2) シートの継手</p> <p>・炭素繊維シート同士の間隔は20cm以上とする。</p> <p>3) シートの仕上げ</p> <p>・炭素繊維シートが損傷する恐れのある場合には、適切な仕上げ工を行い、これを保護することを原則とする。</p>	<p>1) 上側定着長</p> <p>・上側定着長は、段落しされた位置からを確保する。ただし、炭素繊維シート1枚あたりの定着長さ(L)を下回ってはならない。</p> $L_{cf} = \sigma_r \times n \times t_{cf} / \tau_{cf}$ <p><math>\tau_{cf}</math>: 炭素繊維シートの設計用付着強度</p> <p>2) 下側定着長</p> <p>・照査段落し位置から決められた炭素繊維シートの定着長さをとる。</p>
<p>1) せん断補強</p> <p>・炭素繊維シートを柱材全区間に貼付し、せん断耐力を向上させる。</p> <p>2) じん性補強</p> <p>・炭素繊維シートを柱材全区間に貼付し、じん性を向上させる。</p> <p>3) 曲げ補強</p> <p>・炭素繊維シートを柱材全区間に貼付し、曲げ耐力を向上させる。</p>	<p>・段落し部降伏抵抗モーメント</p> <p>・交点</p> <p>・基部が降伏抵抗モーメントに達したときの作用モーメント</p> <p>・実際に段落しされた位置</p> <p>・地震時保有水平耐力の照査段落し位置</p> <p>・基部破壊抵抗モーメント</p> <p>・炭素繊維シート1層あたりの定着長さ</p> <p>・炭素繊維シートの定着長さ</p> <p>・主鉄筋の重ね継手長さ</p> <p>・炭素繊維シートの定着長さ</p>

#### 4.4.4 充填材の効果

鋼板巻立て工法において、鋼板とコンクリート躯体の隙間に注入する充填材の種類が動的耐力や変形性能にどの程度、影響を及ぼすかを建設省土木研究所で実験を行っているのでここに紹介する。<sup>26)</sup>

##### (1) 実験供試体

実験供試体2体は、図-4.25に示すように断面が60cm×60cmの正方形で基部から荷重点までの高さは3.01m、せん断支間比は、5.0である。軸方向鉄筋としてSD295, D10を2段に配筋した構造で軸方向鉄筋比は1.58%である。帯鉄筋として、SD295, D6が20cm間隔で二重に配筋されている。

供試体の鋼板は、厚さ1.6mmを2枚のコ字形に曲げ加工し、これらを溶接によりジャケット状に組み立てた後、供試体の上部から落とし込んでいる。鋼板下端とフーチング上面の間には、10cmの間隔を設けている。さらに、鋼板下端の補強にはH形鋼(H-100×100×6×8, SS400)を用いている。既設コンクリートと鋼板の間には充填材として、エポキシ樹脂(厚さ4mm)と無収縮モルタル(厚さ20mm)を、各々に充

填させている。なお、無収縮モルタルの圧縮強度は503kgf/cm<sup>2</sup>、弾性係数は2.45×10<sup>5</sup>kgf/cm<sup>2</sup>である。

アンカー筋は曲げ耐力の増加割合が30%程度となるようにSD345, D16の鉄筋をM12のねじボルトに加工したものを12cm間隔で合計20本配置している。その定着長は、フーチング下端付近まで定着するものとし、その定着長は65cmとした。ただし、フーチングへの定着部ではアンカー筋のねじボルト加工は施していない。

使用材料および特性を表-4.18に示す。

##### (2) 荷重方法

実験供試体を横にした状態で死荷重反力に相当する軸力(55tf)を与えながら、反力壁に取付けた動的加振機より水平荷重を加えている。

アンカー筋がそれぞれ降伏するときの荷重点の水平変位を1δ<sub>y</sub>(降伏変位)とし、その整数倍の変位を正負交番に変位抑制で荷重している。荷重変位は正弦波とし、荷重速度は3cm/sec、荷重繰り返し回数は3回を基本としている。

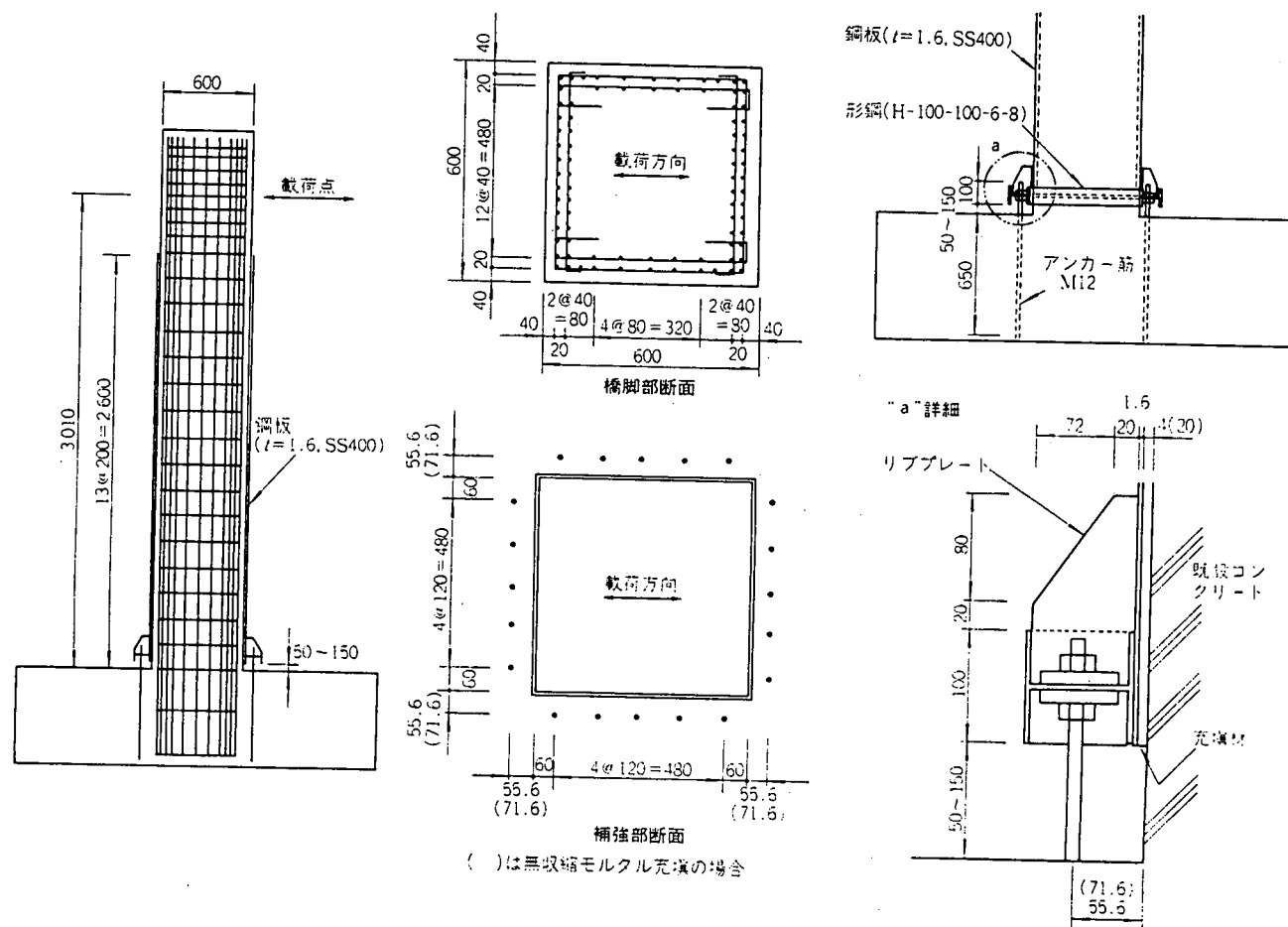


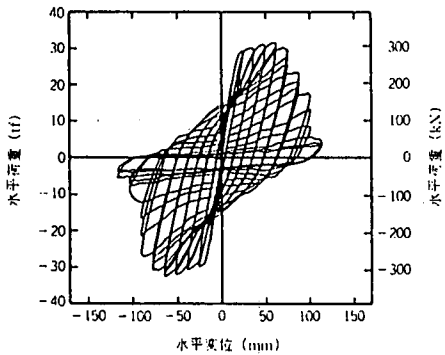
図-4.25 実験供試体の諸元

表-4.18 RC橋脚耐震補強用充填材料の比較

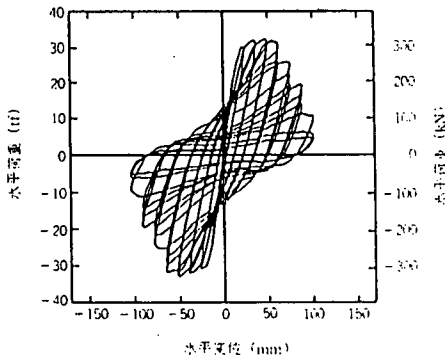
	エポキシ樹脂	無収縮モルタル
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・比重(1.2程度)が小さい。</li> <li>・接着性に優れ、新旧部材の一体化に適している。</li> <li>・耐候性および長期耐久性に優れている。</li> <li>・比較的短時間で強度が発現する。</li> <li>・圧縮強度が大きい。</li> <li>・硬化後の収縮が小さい。</li> <li>・充填性に優れている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・圧縮強度が大きい。</li> <li>・硬化後の収縮がほとんどない。</li> </ul>
構造特性	圧縮強度 500kgf/cm <sup>2</sup> 以上 曲げ強度 400kgf/cm <sup>2</sup> 以上 引張強度 200kgf/cm <sup>2</sup> 以上 引張せん断強度 100kgf/cm <sup>2</sup> 以上 圧縮弾性係数 1.0~8.0×10 <sup>4</sup> kgf/cm <sup>2</sup> 以上	コンステンスフリージング セメント系 : 8.0±2秒 練りませ2時間後 凝結時間 1時間~10時間以内 膨張収縮率 材令7日で収縮なし 圧縮強度 材令σ <sub>3</sub> : 250kgf/cm <sup>2</sup> 以上 材令σ <sub>28</sub> : 450kgf/cm <sup>2</sup> 以上
製造・施工方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・製造は現場混合を標準とする。</li> <li>・充填方法は圧入を標準とする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・製造は現場練りを標準とする。</li> <li>・充填方法は圧入および流し込みがある</li> </ul>

(3) 耐力および変形性能

図-4.26に示すように、エポキシ樹脂と無収縮モルタルの最大水平耐力が低下し始める水平変位を比較すると、エポキシ樹脂充填の場合は、7δyの载荷から耐力の低下が始まっているのに対して、無収縮モルタル充填の場合は、6δyの载荷から耐力の低下が生じている。ただし、最大水平耐力については、いずれも充填材の違いによる影響は認められていない。また、図-4.27より、充填材の種類に関係なく、等価剛性はおおむね等しい値を示している。



(a) エポキシ樹脂



(b) 無収縮モルタル

図-4.26 水平荷重—水平変位の履歴曲線

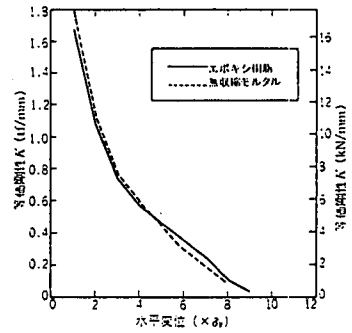


図-4.27 等価剛性の比較

(4) 解析結果との比較

図-4.28より、RC橋脚の耐震設計で解析された終局耐力と実験から得られた値とがよく一致していることがわかる。

また、許容塑性変位 δa = 60mmに相当する変位が生じても、エポキシ樹脂または無収縮モルタルを充填した場合のいずれにおいても最大水平耐力を維持している。したがって、RC橋脚の耐震設計の許容塑性変位の範囲内では、エポキシ樹脂と無収縮モルタルは同等の効果を発揮することが確認される。

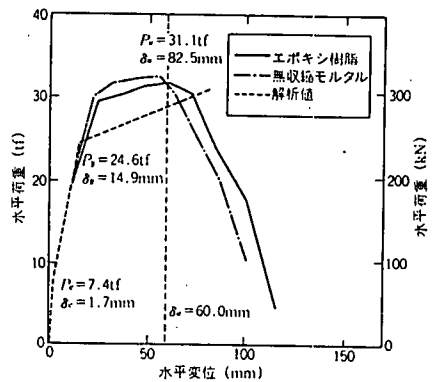


図-4.28 解析値と実験値との比較

#### 4.4.5 今後の課題

本節では、RC橋脚の補修・補強に関して、まず、一般に用いられている耐震補強工法の種類とその概要を紹介するとともに、その補強効果について述べた。次に、設計規準別の耐震補強の考え方などについて横並びに整理し、その差異を明らかにすることを試みた。さらには、ひび割れ注入材ならびに充填材の補強効果についても触れた。

一般に用いられている耐震補強工法は、①RC巻立て工法、②鋼板巻立て工法、③炭素繊維巻立て工法である。これらの補強効果については、4.4.2で述べたように、①については、増厚された鉄筋コンクリートとそれに伴う帯鉄筋の増加により耐荷力およびじん性率の向上が図れること、②については、せん断耐力と変形性能の向上のほか、柱基部に定着した場合、曲げ耐力が向上すること、また③については、炭素繊維シートまたは炭素繊維ストランドを、材軸方向に巻立てることで「曲げ補強」、材軸直角方向に巻立てることで「せん断補強」に効果的であること等が実験的にも確認されている。

ただし、①については、施工性から最小でも25cm程度の断面増加が避けられず、建築限界等の制約条件の関係から物理的に採用できない場合があるほか、基礎への影響が大きく、基礎工の検討が伴うこととなる。また、補強効果を発揮させるためには、巻立てたコンクリート部材と既設橋脚断面とを完全一体化させることが不可欠であり、プラスト処理やウォータージェット処理等による十分な既設橋脚の表面処理が必要とされる。

②については、鋼板を帯鉄筋換算することにより、じん性率が大きくなり、耐震設計上有利となるばかりでなく、建築限界等の問題も比較的少なく、また近年では、溶接以外に施工性に優れた機械継手の開発から現場作業も比較的容易になっているなどの利点から、3工法の中では、最も採用されている工法である。しかし、長期的には腐食などの問題があり、メンテナンスには十分な配慮が必要とされている。また、矩形断面橋脚の場合は、大変形時に鋼板下端部がはらみ出すように変形し、コンクリートの拘束効果が発揮できなくなることから、鋼板下端の横拘束が必要となる。その横拘束方法としては、円形・楕円鋼板による方法が、最も効果的であるとの実験結果はあるが、あまり横拘束を強くしすぎると、主鉄筋の破断による崩壊を招くため注意が必要とされている。

補強鋼板と既設橋脚の隙間に充填する材料については、4.4.4で述べたように、高流動無収縮モルタルやエポキシ樹脂が充填効果に優れており、効果的に

は大差ないことが実験的にも確認されている。しかし、双方とも材料特性(耐久性、耐温性など)に起因する長期的な持続効果については明らかにされていない。

また、近年、新素材による耐震補強工法として脚光を浴びている③については、建築限界や重量増加等の問題はなく、また材料の現場搬入や施工が比較的容易であることから、RC巻立てや鋼板巻立て補強による施工が困難な現場において実績が増えてきており、その補強効果に関する実験的な裏付けも多くなってきている。しかし、炭素繊維の巻き数の違いやアソカの有無等による効果の程度の差異については、未だ定量的に解明されていない面も多い。また、矩形断面においては、コーナー部のR処理を伴うこと、さらに、炭素繊維の材料特性(耐候性や耐火性など)に関しては、不明な部分が多いとされるほか、鋭利な物に対する保護のためにモルタル塗布が必要とされている。とくに、この工法に関しては、経済面での問題が最も大きい。

一般に耐震補強工法の選定は、工法の特徴や現場状況等で決定される。設計・施工上の制約条件や経済性、さらには工法の補強効果等を十分に勘案して、上記3工法だけでなく、他の工法についても検討を行い、各現場状況に応じた最適な耐震補強工法を選定する必要がある。

また、道示V(1996年12月)が制定されるまでの間、橋の耐震設計は、新設・既設を問わず、震災以降暫定的に出された規準に基づいて行われていたが、その照査方法は、非線形動的解析を基本とし、当面は、兵庫県南部地震で最大加速度が観測された地点の波のみを用いるものとされていた。今回の道示V改訂において、設計に考慮する地震動として、プレート境界型(タイプI)と内陸直下型(タイプII)の2つの地震動を考慮することとしているが、内陸直下型の地震動(タイプII)としては、予測の煩雑さ等から、特に既存活断層からの地震予測解析を行わず、兵庫県南部地震による地震動のみを用いることとされている。また、今回の改訂において、動的解析の取扱いは、震度法もしくは地震時保有水平耐力法によって耐震設計した結果を照査するという形のものであり、設計としての位置づけとはなっていない。非線形動的解析を用いた土木構造物の設計は、部材の非線形特性や減衰定数の設定等の解析モデルの相違によって結果が大きく異なるだけでなく、入力地震動の特性に大きく影響を受ける。今後、構造物の挙動をさらに良い精度で評価できる設計(解析)手法の確立や適切な入力地震動の設定に関する研究などが精力的に行われることであろう。

#### 4. 5 鋼製橋脚の補修・補強

兵庫県南部地震による鋼製橋脚の被害例とその特徴は、4. 3で述べたとおりである。ここでは、既存鋼製橋脚の耐震補強工法の種類、補強効果および施工法などについて、大型試験体を用いた実験結果、ならびに施工事例などに基づいてそれらの要点を報告することにする。対象部位は、柱部とアンカーフレーム部である。

##### 4. 5. 1 耐震補強工法の種類と概要

###### (1) 柱部の補強

4. 3ですでに述べたとおり、鋼製橋脚での特徴的な被害は鋼材のぜい性破壊の発生によるものであった。すなわち、矩形断面橋脚においては角割れの発生、円形断面橋脚では提灯座屈後の割れの発生であった(図-4. 14, 4-15 参照)。それらのぜい性破壊を防止する方法として、橋脚中にコンクリートを充填する方法や追加鋼板による補強法が考えられる。

###### ① コンクリート充填による補強工法

鋼管にコンクリートを充填した構造部材のもつ種々の力学的特徴については、すでに多くの実験や解析的研究により明らかにされている。つまり、コンクリート充填鋼管柱の耐荷力とじん性はRC柱や純鋼柱と比べ格段に向上することがわかっている<sup>50)</sup>。

図-4. 29 にコンクリートを充填した鋼製橋脚の例を示す。道示Vでは、充填するコンクリートに関する留意事項として、

- ・低強度のコンクリートを用いるのがよい。
- ・コンクリートの充填高さは、充填したコンクリートの直上の鋼断面に座屈が生じないように定めるものとする。

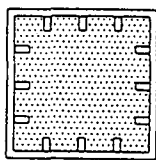
が示されている。コンクリート充填高さの決定方法の1つとして、阪神高速道路公団では次のような指針を与えている<sup>51)</sup>。コンクリートを充填する高さは、図-4. 30 に示すように、柱基部での鋼コンクリート合成断面の終局モーメントの1.1倍の位置( $M_r$ )と地震力の作用位置とを結び、鋼単独断面の降伏モーメント( $M_e$ )との交点までとしている。

次に、コンクリートを充填した鋼製橋脚の地震時保有水平耐力および許容塑性率の算定式に関して道示V<sup>1)</sup>では、以下のように規定している。

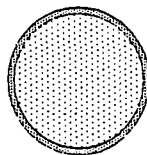
地震時保有水平耐力および許容塑性率は、軸力に対しては鋼断面のみで抵抗し、また、曲げモーメントおよびせん断力に対しては、充填コンクリートが引張に抵抗せず、鋼断面を鉄筋とみなした鉄筋コンクリート構造として、式(4. 1)および式(4. 2)により算出する。

$$P_a = P_y + \frac{P_u - P_y}{\alpha} \quad (4.1)$$

$$\mu_a = \left( 1 + \frac{\delta_u - \delta_y}{\alpha \delta_y} \right) \frac{P_y}{P_a} \quad (4.2)$$



(a) 正方形断面



(b) 円形断面

図-4. 29 コンクリートを充填した鋼製橋脚

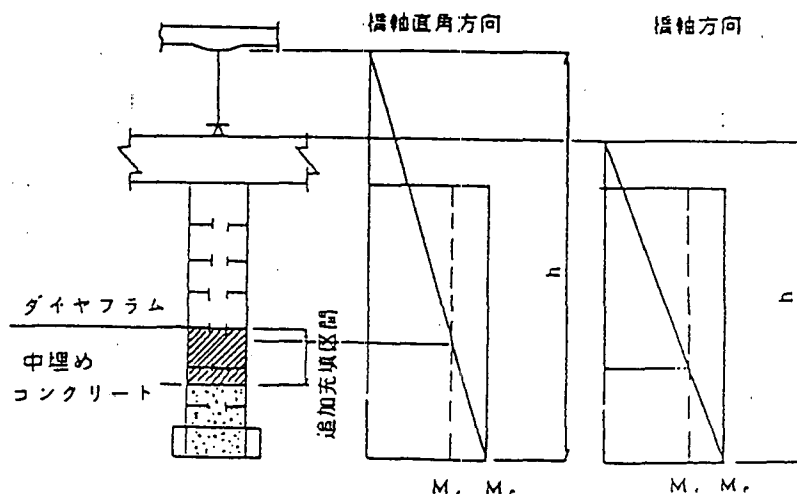


図-4. 30 コンクリートの充填高さの決定

ここに、

$P_a$ : コンクリートを充填した鋼製橋脚の地震時保有水平耐力(tf)

$P_v$ : コンクリートを充填した鋼製橋脚の終局水平耐力(tf)

$P_y$ : コンクリートを充填した鋼製橋脚の降伏水平耐力(tf)

$\alpha$ : 表-4.19 に示す安全係数

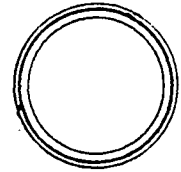
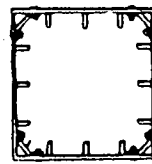
$\mu_a$ : コンクリートを充填した鋼製橋脚の許容塑性率

$\delta_u$ : コンクリートを充填した鋼製橋脚の終局変位(m)

$\delta_y$ : コンクリートを充填した鋼製橋脚の降伏変位(m)

ぐことが可能となる。

以上に述べた方法は、いずれも現場での施工性に重きをおいて考案されたものである。一方、新設の橋脚の場合、鋼板の溶接作業には特に制約条件はないので、上記の方法を発展・改良した種々の補強法が提案されている。



(a) 正方形断面(角部にコーナープレートをボルトで結合し、補強した構造)

(b) 円形断面(隙間をあけて鋼板を巻き立てた構造)

表-4.19 地震時保有水平耐力を算出する場合の

安全係数

橋の種別	タイプⅠの地震動に対する許容塑性率の算出に用いる安全係数 $\alpha$	タイプⅡの地震動に対する許容塑性率の算出に用いる安全係数 $\alpha$
B種の橋	3.0	1.5
A種の橋	2.4	1.2

図-4.31 鋼板による補強工法の例

表-4.19 におけるB種の橋とは、橋梁の重要度による区分の1つであって、高速自動車国道をはじめ都道府県などで地域の防災計画上重要な橋が該当する。それら以外の橋をA種の橋としている。

② 鋼板による補強工法<sup>52)</sup>

主として、じん性の向上を目的とする既存鋼製橋脚の鋼材による断面補強の例を図-4.31 に示す。図-4.31(a)に示す正方形断面の例では、角部にコーナープレートをHTボルトで取り付け閉断面構造としている。このような構造の採用により変形がかなり進んでも角部の角度を保持し、かつ角溶接部の割れを防止することができる。一方、図-4.31(b)での円形断面の場合は、既存鋼製橋脚柱の座屈発生位置の周囲に隙間をあけて、鋼板を巻き立てる構造となっている。このような構造の採用により、既存橋脚に局部座屈が発生し変形量が一定の値を超えると、外側の鋼板に接触して座屈によるふくらみが多段化し、座屈領域が分散される。したがって、外側鋼板により、変形の集中や鋼管の円周方向の割れを防

(2) アンカー部の補強

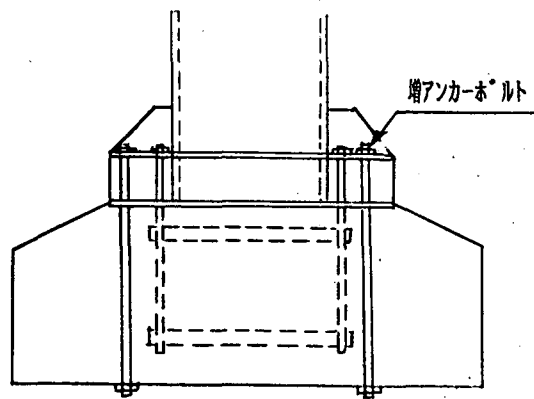
兵庫県南部地震により被災した道路橋(高架橋を含む)橋脚の復旧については、「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」(平成7年2月27日、建設省道路局)にもとづいて補強が行われているが、鋼製橋脚にあっては柱および基礎の耐力が向上しても、これらを結ぶアンカー部の耐力が不足している場合は、橋脚全体として耐力が向上したとはいえない。このことから、鋼製橋脚の補強にあたってはアンカー部の耐力を照査し、耐力が不足する場合には、増強対策をとる必要がある。

国道2号浜手バイパスの照査例では、RC方式の設計方法を採用している。これは、柱基部に働いている力を、引張側はアンカーボルトで、圧縮側はコンクリートで抵抗し、フーチングに伝わると考え、それぞれの部材が許容応力以内であることを確認する照査法である。なお、柱基部に働く外力は、柱基部の地震保有水平耐力の値とした。また、その時のコンクリートおよびアンカーボルトの許容値は以下のとおり設定した。

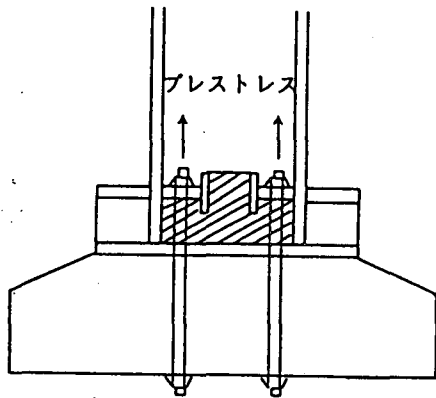
コンクリート :  $\sigma_{ca} = \sigma_c$  (設計基準強度)

アンカーボルト :  $\sigma_a = \sigma_y + (\sigma_n - \sigma_y / 1.5)$

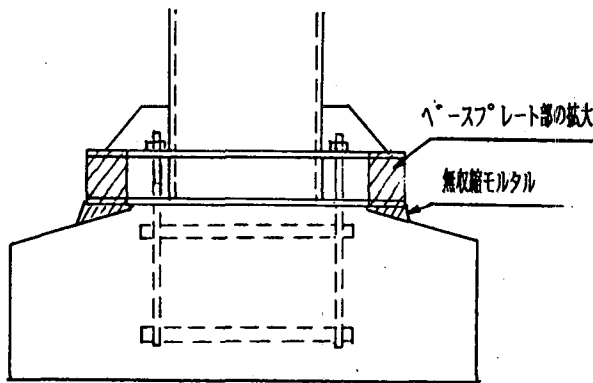
なお、計算に用いるアンカーボルトは全て有効としている。



a) アンカーボルト増加工法



b) プレストレス工法



c) ベースプレート拡大工法

図-4.32 アンカー部の補強工法

アンカー部の補強方法としては、次に示す方法が考えられる。(図-4.32 参照)

- a) アンカーボルト増加工法
- b) プレストレス工法
- c) ベースプレート拡大工法

アンカーボルト本数増加工法は、既設ベースプレートの外側にアンカーボルトを新たに増設することで保有耐力レベルの外力に対して抵抗できるよう補強を行うものである。この方法では、フーチング底面に既設杭を避けて定着できるのが好ましいが、それが不可能な場合は樹脂アンカーボルトにて、

フーチング内に定着することとする。

プレストレス工法は、柱内部の貧配合中埋めコンクリートを撤去して、橋脚内部からフーチング削孔によりPC鋼棒を挿入し、緊張力を導入することで既設アンカーボルトに作用する引張力を軽減させる工法である。アンカーボルト本数増加工法と同様にPC鋼棒は、フーチング底面に定着するのが好ましいが、それが不可能な場合はフーチング内に樹脂アンカー方式で定着する。ただし、その場合のプレストレス量は少なくなる。

ベースプレート拡大工法は、ベースプレートを拡大することにより、既設アンカーボルトの引張力を低減させようとする工法である。前述の2工法と比較して、既設のフーチングを極力さわらなくてすむことから、現場での施工性が良いのが特徴であり、国道2号浜手バイパスでは、この工法が採用されている。

#### 4.5.2 各種耐震補強工法の補強効果

##### (1) 柱部の補強

前節で例示した既存橋脚の柱部の補強効果を確認するため、建設省の土木研究所において大型の試験体を用いた載荷試験が実施された。ここでは、まず、試験方法の概要を説明し、ついで、試験結果の要点を紹介することにする。

試験装置の概要図は、図-4.33 に示すとおりで、試験体を水平状態にセットし、容量400tfの押ジャッキで軸方向圧縮力が載荷される。それと同時に、容量200tfのアクチュエーターで試験体に水平繰返し荷重が載荷される。

載荷のプログラムを図-4.34 に示す。試験体への軸方向圧縮力は、柱の降伏荷重( $P_y$ )の15%に相当する一定の大きさを載荷し保持される。その状態で柱の降伏変位( $\delta_y$ )の整数倍に対応する正負の繰返し水平荷重が試験体に順次載荷するという方法が本試験で用いられた。

##### ① コンクリート充填による補強<sup>52)</sup>

試験体の形状および寸法を図-4.35の(a)および(b)に示す。一辺長900mm、板厚9mmの正方形管が正方形の基本断面として採用された。その鋼管に $\sigma_{ck} = 180 \text{ kgf/cm}^2$ のコンクリートが充填され、無補強と補強後の試験体について載荷試験が行われた。

両者の試験結果を図-4.36に示す。同図の(a)と(b)との比較から明らかなように、コンクリートを充填した柱は、無補強の柱と比べ最大の耐力ならびにじん性が著しく向上していることが認められる。

図-4.36(b)のなかには、復旧仕様に基づいて計算され

た荷重-変位関係も示されている。コンクリートを充填した柱の場合、柱の終局耐力に達した後も急激な耐力の低下が見られず、比較的安定した状態で徐々に耐荷力が低下していることがわかる。さらに、終局耐荷力および変位の計算値は、実験値とよく一

致しているといえる。

なお、試験に用いられた鋼管の材質はSM400であったことを付記する。

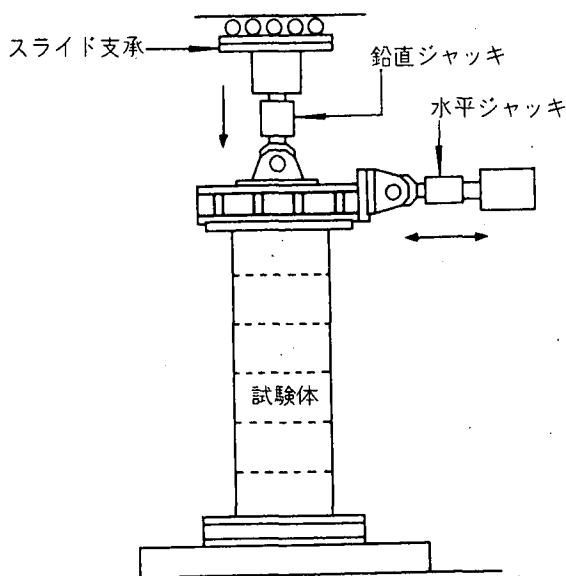
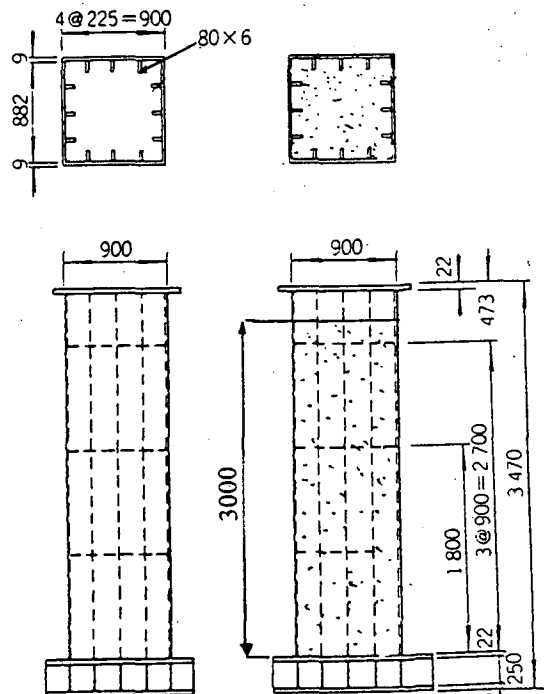
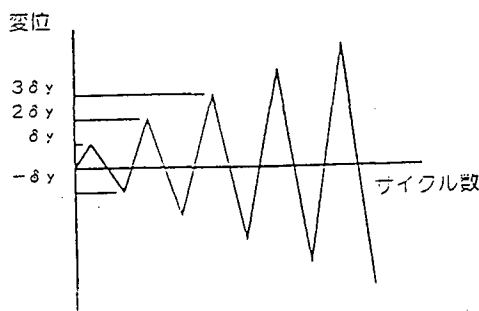


図-4.33 試験装置の概要図



(a) 鋼柱 (b) コンクリートを充填した試験体 (基本試験体)

図-4.35 試験体の形状寸法

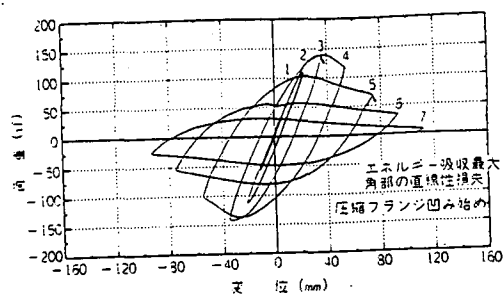


$$\delta_y = \frac{H_y h^3}{3EI} \quad H_y = \left( \sigma_y - \frac{P}{A} \right) \frac{z}{h}$$

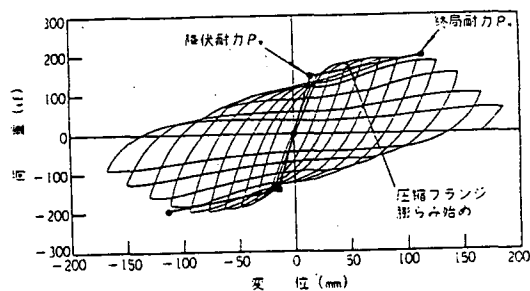
$$P = 0.15P_y \quad P_y = A\sigma_y$$

$\sigma_y$ : 鋼材の降伏応力(公称値)  
 $H_y$ : 降伏水平荷重,  $h$ : 供試体高さ  
 $P$ : 軸力,  $P_y$ : 降伏軸力  
 $A$ : 供試体の横断面積

図-4.34 柱への載荷プログラム



(a) 基本試験体



(b) コンクリートを充填した試験体

図-4.36 荷重~変位曲線



② 鋼板による断面補剛<sup>9)</sup>

図-4.37 に試験に用いられた矩形(正方形)および円形鋼柱試験体の形状寸法を示す。図-4.37(1)(b)で示される補強後の矩形試験体では、角部に曲げ加工を施した板厚6mmのコーナープレートが高力ボルトで接合されている。その補強の範囲は柱基部より2.7mの高さまでである。一方、円形断面では内側鋼管に対して、5mmの隙間をあけて板厚9mmの外側鋼管が

基部より60cmの高さの範囲まで配置されている。円形断面の補強前の試験体における径厚比 $R/t$ は50である。

4つの試験体の荷重-変位関係(履歴曲線)を図-4.38に示す。さらに、図-4.39には、矩形および円形のそれぞれの柱について補強前後の性状を比較するため、正側の荷重-変位関係の包絡線を示すこととする。

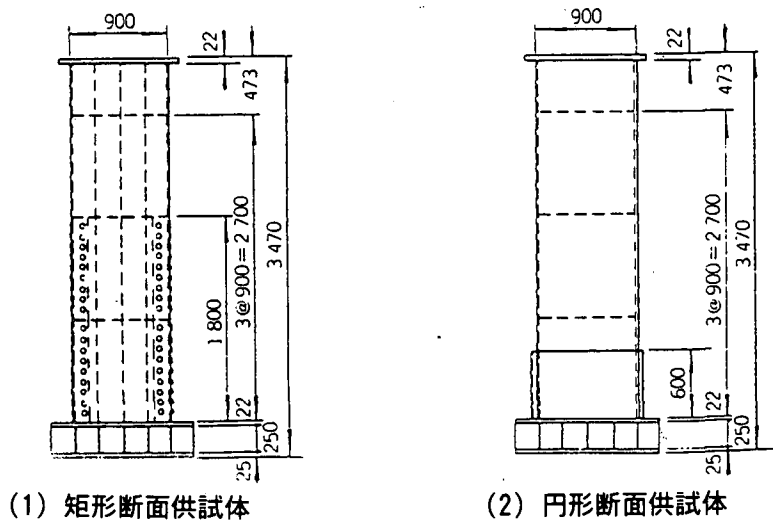
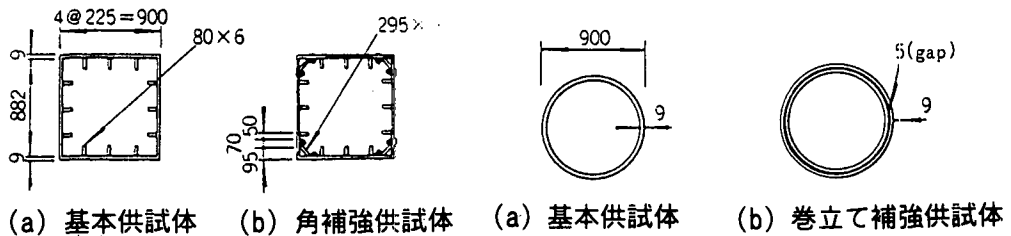
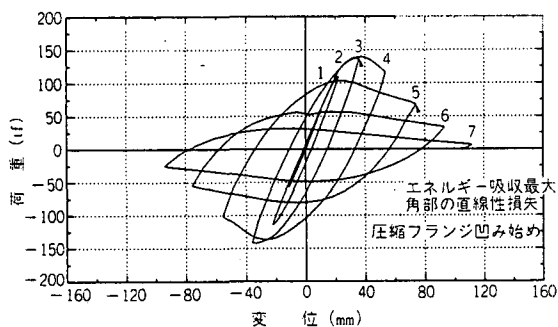
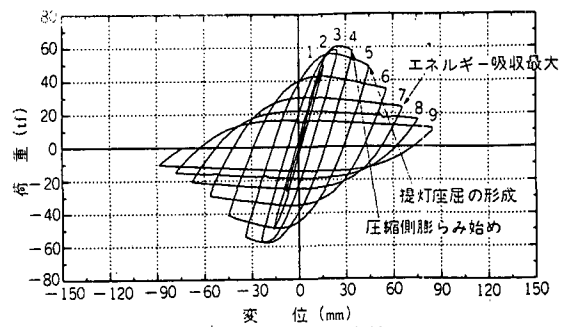


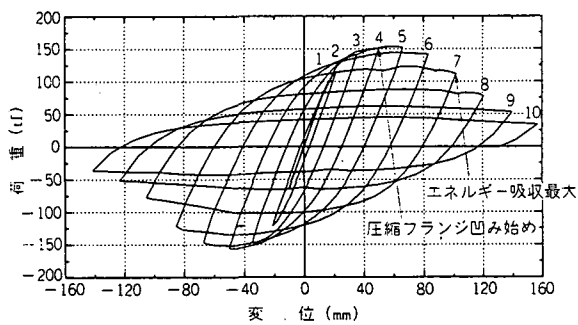
図-4.37 鋼板により補強された鋼柱



(a) 基本供試体

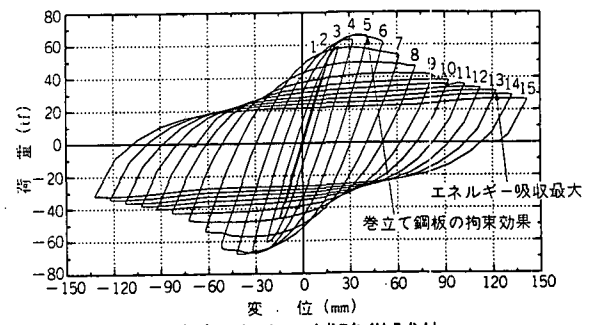


(a) 基本供試体



(b) 角補強供試体

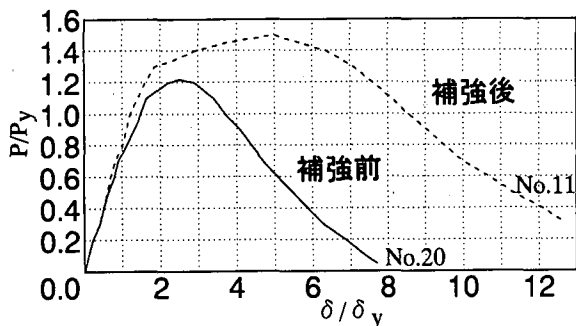
(1) 矩形断面供試体



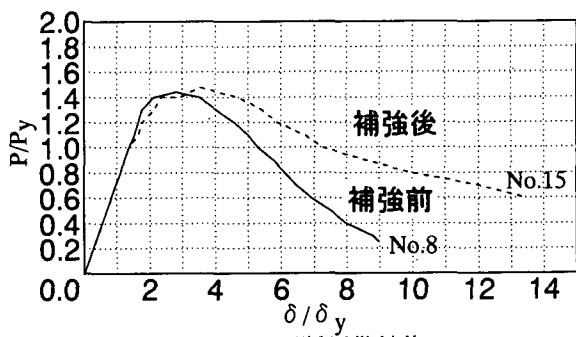
(b) 巻立て補強供試体

(2) 円形断面供試体

図-4.38 荷重-変位関係の比較



(1) 矩形断面供試体



(2) 円形断面供試体

図 4-39 正側の荷重-変位関係の包絡線の比較

図-4.38(1)の(a)と(b)の比較から明らかなように、補強後の矩形柱には、耐荷力の増大とともにエネルギー吸収能の増加が認められる。さらに、補強前の試験体では最大耐荷力に達した後、急激に耐荷力が低下するが、補強後ではその低下の程度が緩やかである。これは、補強後の試験体では板の局部座屈発生後に角部の4本柱と座屈した板とのプレーシング的な効果により、新たな安定した構造系に移行したためであると推測されている。一方、図-4.39(1)より、補強後の柱の変形能も補強前と比べて格段に向上していることが理解される。

円形柱の場合、補強後であっても内側鋼管の圧縮側に局部座屈が発生するまでは、当然補強前と同じ性状を示す。しかし、図-4.38(c)と(d)との比較から

明らかなように、補強後の試験体では局部座屈発生後、外側鋼管による変形の拘束効果により、耐荷力の低下や変形の進行の度合いが緩やかになる。さらに、図-4.39(2)より、じん性の明確な向上も認められる。これは、補強前の破壊が1波長の座屈モードであったのに対し、補強後は座屈モードが上方方向に進展し多段化することによるものである。

(2) アンカー部の補強

国道2号浜手バイパスのアンカー部の補強では、図-4.40に示すとおり、ベースプレート拡大工法を採用している。この例では、ベースプレートの直径をφ3,500mmからφ5,100mmに拡大しているが、その効果を計算すると、下記のとおり曲げモーメント値で1.4倍の増加となっている。

	補強前	補強後
R[cm]	175.0	255.0
R <sub>0</sub> [cm]	50.0	50.0
R <sub>s</sub> [cm]	155.0	155.0
n=[E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub> ]	15.0	15.0
A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	2116.2	2116.2
N[tf]	648.1	648.1
P=A <sub>s</sub> /(π * R <sup>2</sup> )	2.2	1.0
e=M/N	1116.6	1561.1
e/R	6.4	6.1
R <sub>0</sub> /R	0.3	0.2
R <sub>s</sub> /R	0.9	0.6
φ [rad]	1.3	1.2
M=M+N*R [tf·m]	8370.6	11770.3
c	1.0	2.1
s	1.5	3.3
σ <sub>c</sub> [kgf/cm <sup>2</sup> ]	159.5	152.0
σ <sub>s</sub> [kgf/cm <sup>2</sup> ]	3532.5	3531.0
σ <sub>ca</sub> [kgf/cm <sup>2</sup> ]	210.0	210.0
σ <sub>sa</sub> [kgf/cm <sup>2</sup> ]	3533.0	3533.0
M <sub>i</sub> [tf·m]	7236.4 (1.0)	10117.6 (1.4)

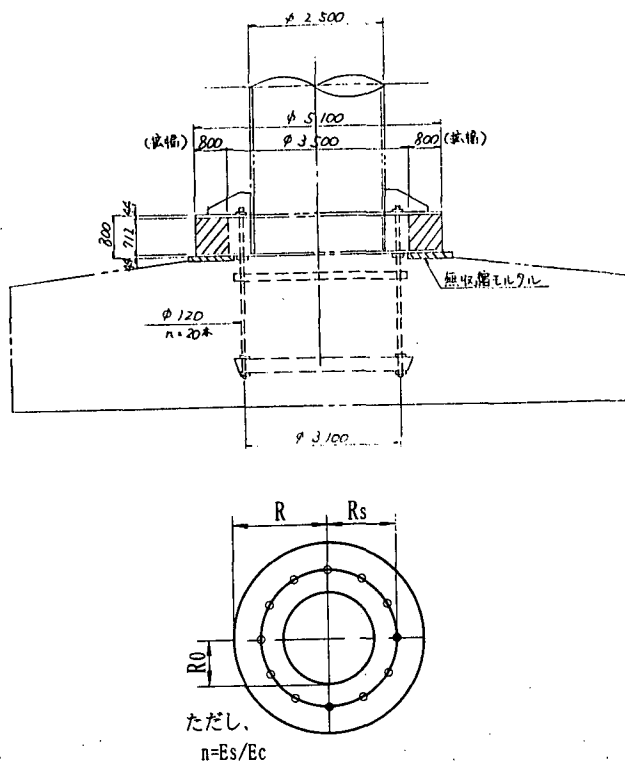


図-4.40 円環断面の抵抗モーメント

### 4.5.3 施工法と構造細目

#### (1) 柱部の補強

##### ① コンクリート充填による補強

充填に用いるコンクリートの種類については、特に決められたものはないが、今回の復旧工事では通常の生コンクリートが使われている。この場合の設計基準強度は無筋コンクリートの $\sigma_{ck} = 160\text{kgf/cm}^2$ 、スランプ8cm、骨材最大寸法40mmのものが用いられているが、補強リブが密に入っているなど充填しにくいところでは骨材寸法20mmを使っているところもある。

国道2号浜手バイパスに使用されているコンクリートの品質および無収縮モルタルの配合例を表-4.20、4.21に示す。

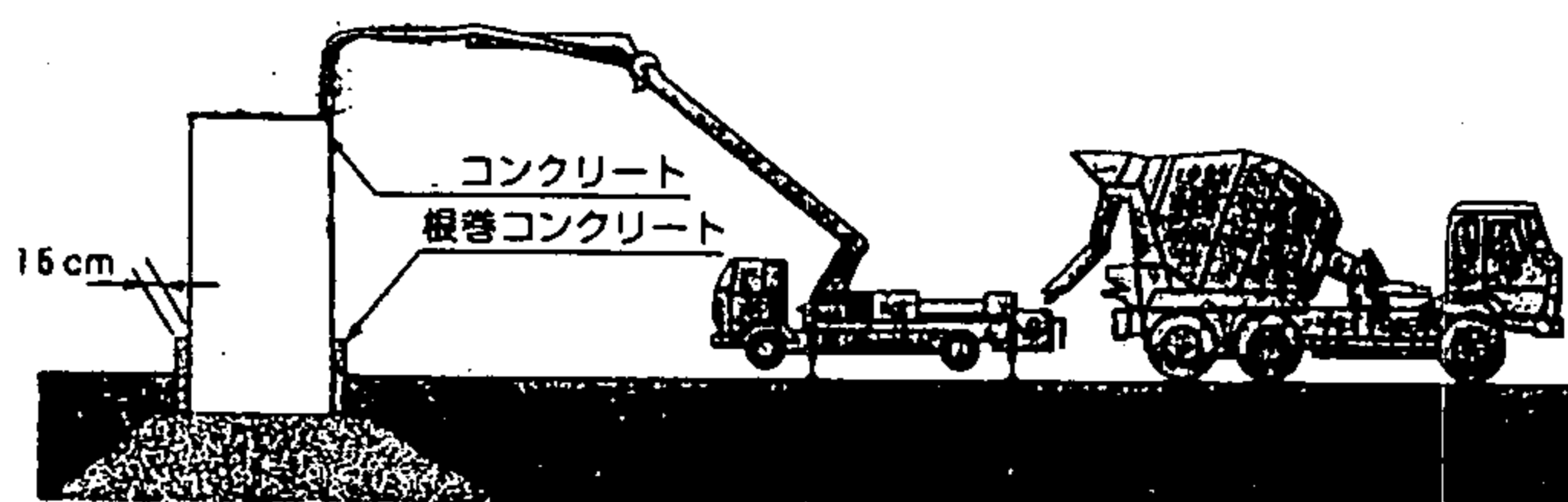
コンクリートの充填は、一般的にコンクリートポンプが使われているが、打設時に特に気をつけることとして、ダイヤフラムや横リブ下面に隙間なくコンクリートが充填できるように、十分な施工管理を行うことである。

表-4.20 コンクリートの品質

種別	記号	設計基準強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	生コンクリート呼び強度 (N/mm <sup>2</sup> )	スランプ (cm)	骨材の最大寸法 (mm)	備考
中詰コンクリート	16-8-40	160	16	8	40	
ベースプレート 根巻きコンクリート	21-8-25	210	21	8	25	
無収縮モルタル		210	—	—	—	

表-4.21 無収縮モルタルの配合

(1m <sup>3</sup> 当り)				
名称	規格	単位	数量	備考
無収縮材	セメント系プレミックスタイプ	kg	1875	
水	—	リットル	338	

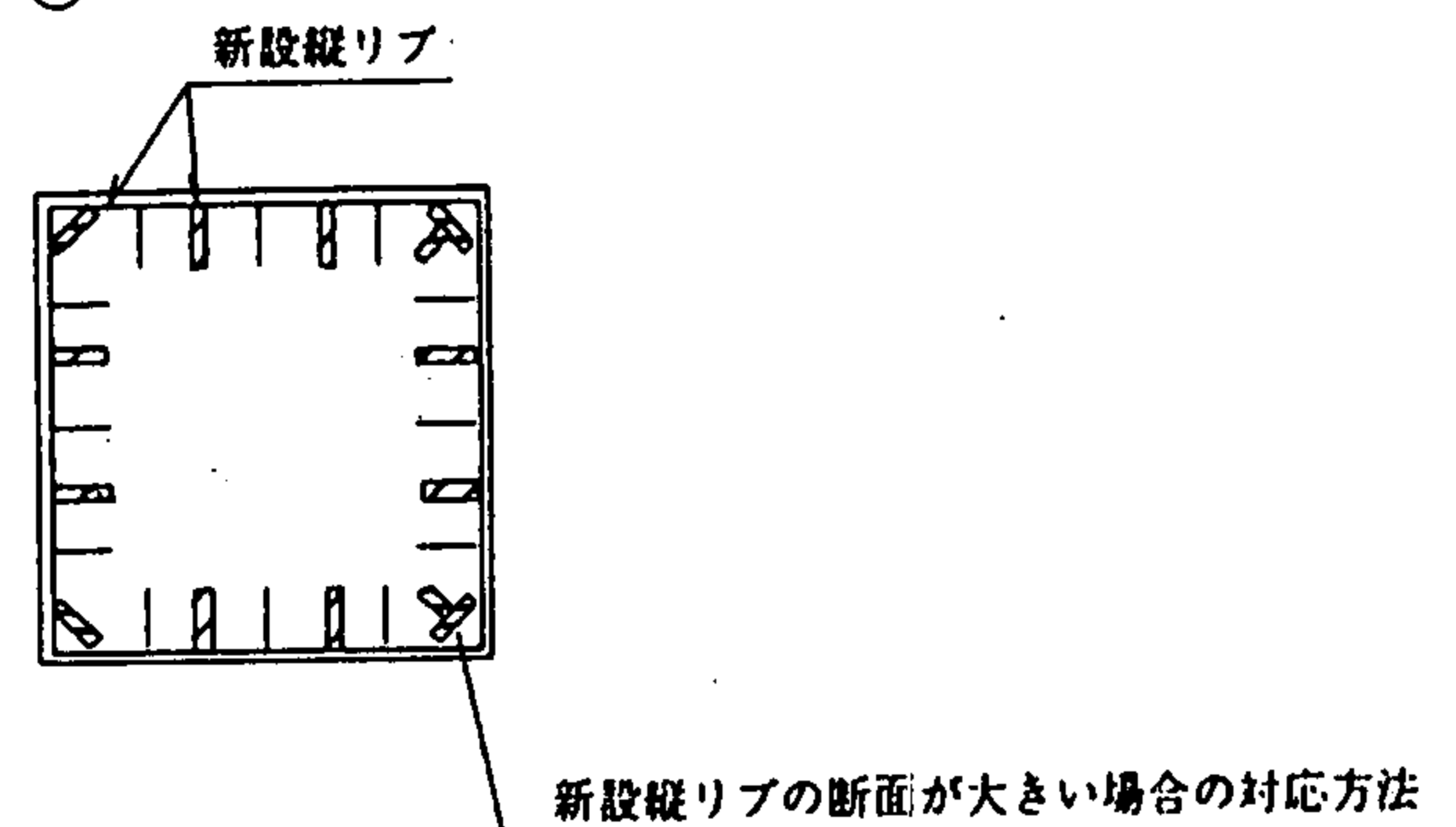


##### ② 鋼板による断面補剛

鋼製橋脚の断面形状は、大きく分けて矩形断面と円形断面があるが、いずれの断面においても、保有水平耐力を確保する方法として、縦リブを増強することが考えられる。これらの補強方法としては、既設の縦リブの間に新設リブを増設する方法と既設のリブを補強することにより、断面二次モーメントを向上させる方法が考えられる。図-4.41にこれらの補強方法の概略図を示す。

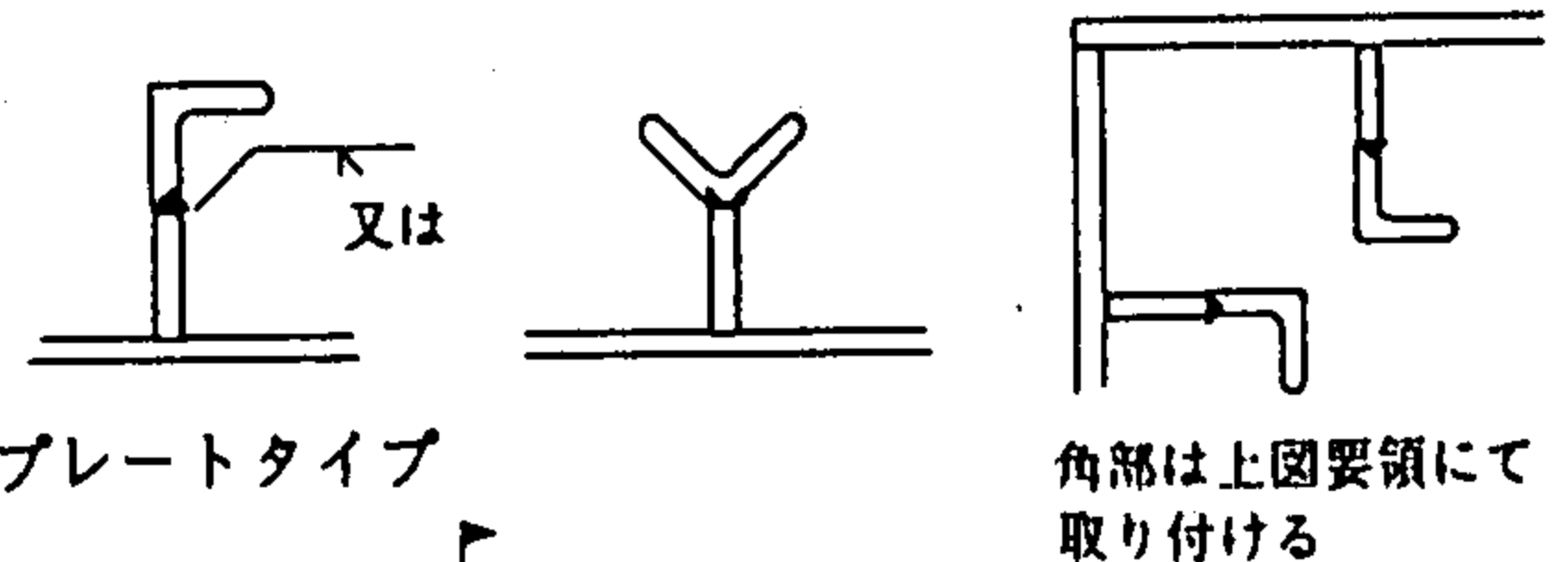
#### 1) 角柱タイプ

##### ① 縦リブ増設タイプ

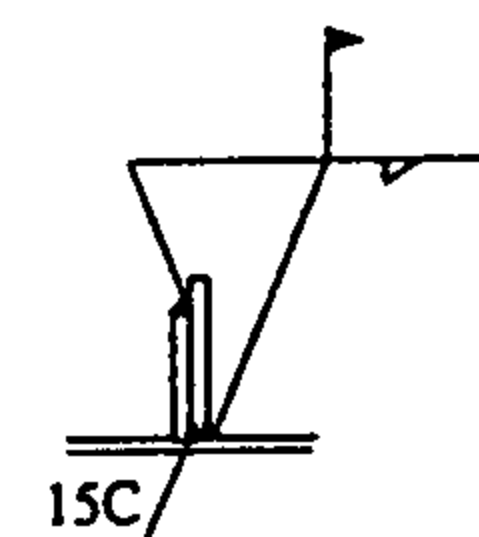


#### ・リブの形状

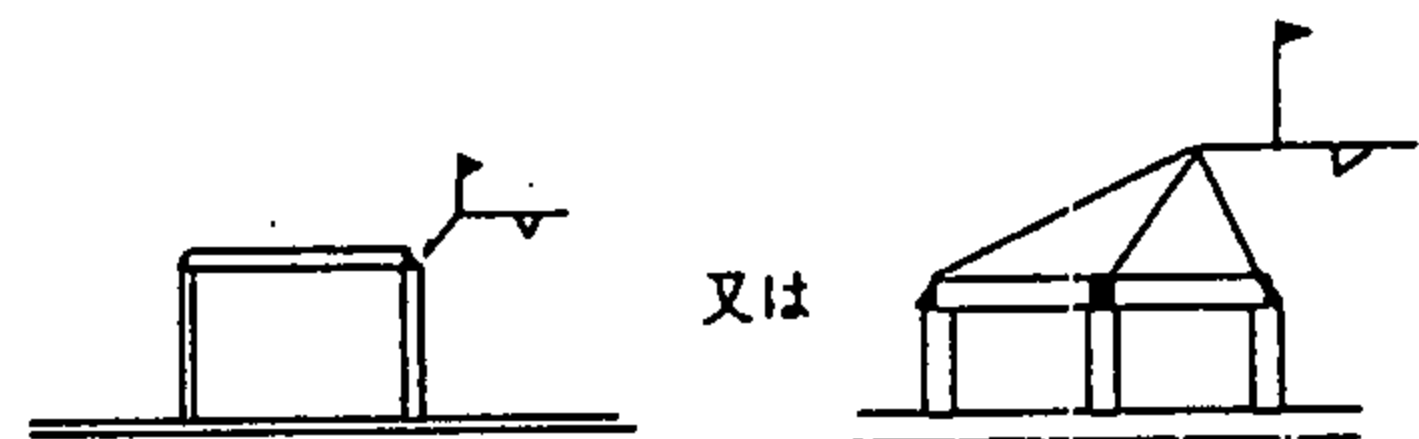
##### ② L型タイプ (下図は両側取付タイプを示す)



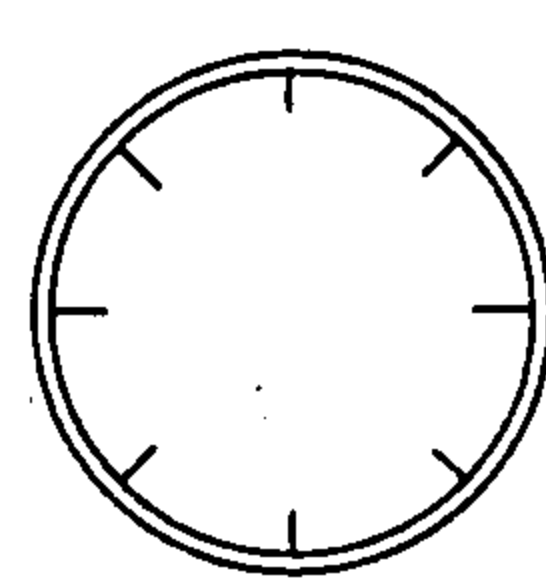
##### ③ プレートタイプ



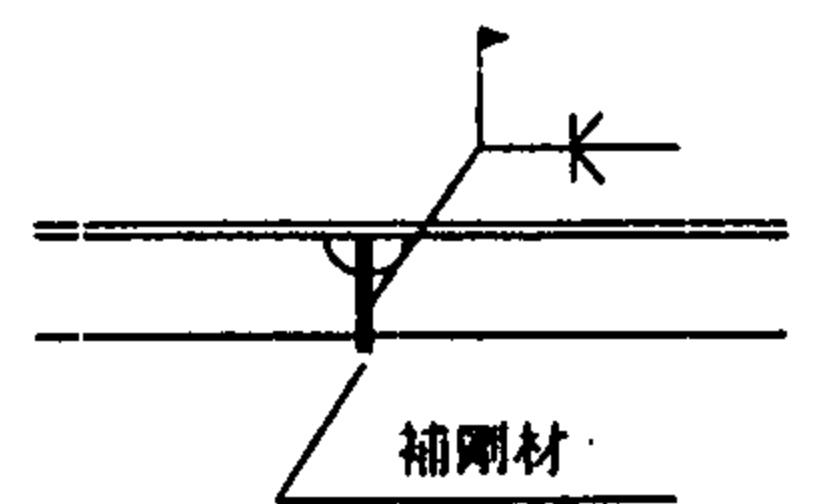
##### ④ 閉リブタイプ



#### 2) 円柱タイプ



断面図



補剛材部の処理

図-4.41 鋼板補強方法

また、縦リブの新設において、確実に断面補強効果を出すためには、部材方向にリブを連続化させる必要がある。一般に、既設の鋼製橋脚の断面内には、ダイヤフラム、横リブ、摩擦接合継手などが存在するため、縦リブの連続化の障害となる。

国道2号浜手バイパスでは、図-4.42 に示す連続化処理を行うとともに、効果の確実性、施工性および経済性の観点から、縦リブ増設タイプとプレートタイプの補強方法を採用している。図-4.43 はプレートタイプの施工例である。

## (2) アンカー部の補強

国道2号浜手バイパスのアンカー部の補強に対する施工例を図-4.44 に示す。

施工は部材を工場で作成し、現場施工溶接で組立てられている。また、本工法はプレートの拡大により抵抗モーメントを増加させる設計であることから、拡大プレートとフーチングを密接させる必要があるため、厚さ100mmの無収縮モルタルにより、隙間を充填している。

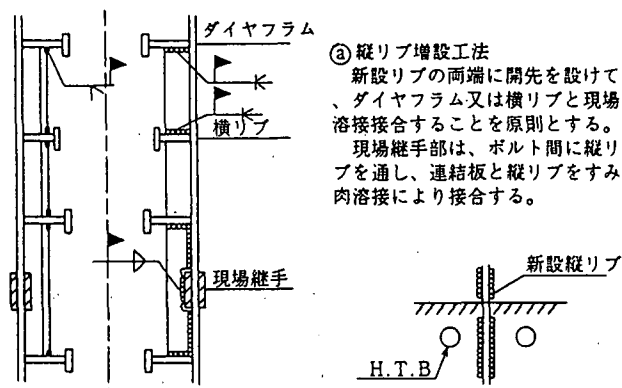


図-4.42 縦リブの連続化

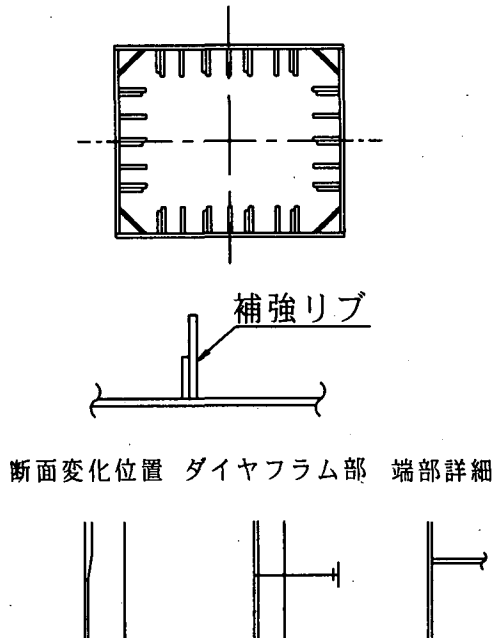
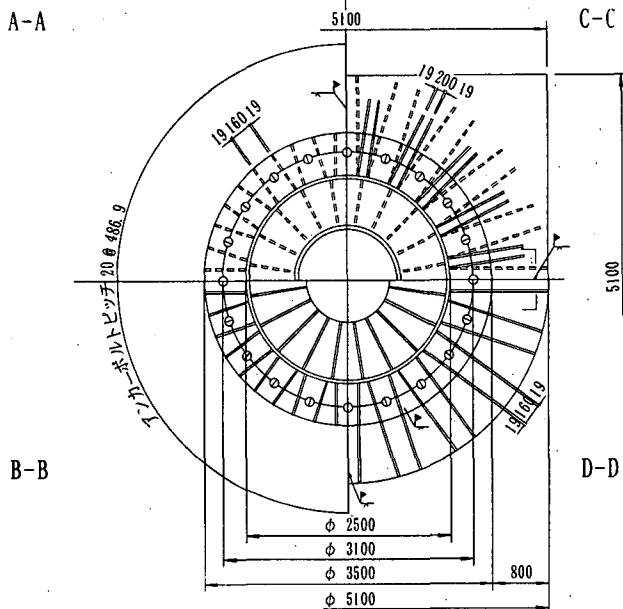
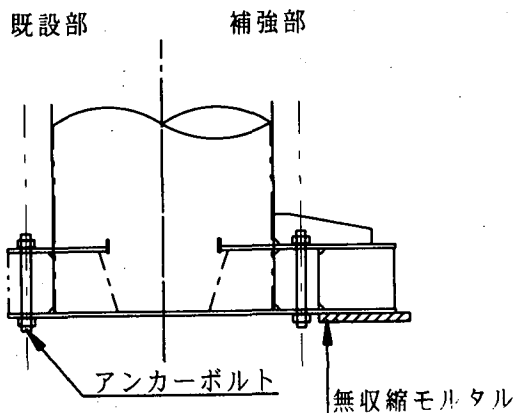
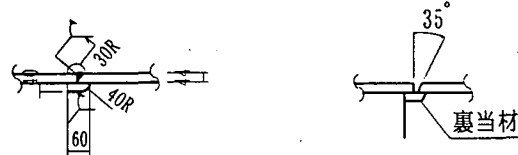


図-4.43 鋼板補強工法の施工例



a'部詳細 s=1/10



b'部詳細 s=1/10

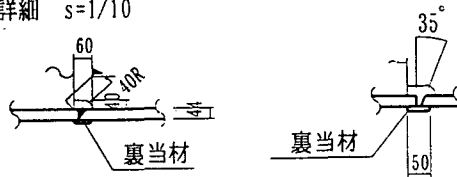


図-4.44 アンカー部の補強の施工例

#### 4.5.4 今後の課題

本節では、鋼製橋脚本体ならびにアンカー部の耐震補強に関する代表的な工法の概要と、その補強効果について述べた。もちろん、これらの補強工法は、阪神大震災を経験する前から考えられていたが、震災後、急激に注目を浴びて開発研究がなされ、かつ設計・施工に関する規準化が図られたものである。したがって、いまだ未解明な点が多く残されている。以下に、工法ごとの設計・施工上の今後の課題について述べることにする。

##### (1) コンクリート充填による補強工法

既存の鋼製橋脚にコンクリートを充填した場合、橋脚内に配置されている横リブやダイヤフラムなどが、鋼コンクリート合成構造におけるずれ止めとしての役割を担うと考えられる。さらにベースプレートは、充填コンクリートを十分に拘束する効果を発揮するものと思われる。したがって、コンクリートを充填した鋼製橋脚は、外力に対して鋼コンクリート合成柱としての挙動を呈するものと考えられる。このことは、すでに阪神高速道路公団での実験で明らかにされており、合成柱の設計・施工指針(案)が作成されている<sup>5.3)</sup>。しかし、全国レベルでの合成柱に関する設計規準類が整備されていないため、道示Vでのコンクリートを充填した鋼製橋脚の設計法は、すでに4.5.1(1)①で述べたとおり、軸力には鋼断面のみを用い、曲げモーメントおよびせん断力に対しては鋼板を鉄筋換算したRC構造として取り扱うことになっている。このような設計法は、合成柱のもつ本来の特徴を活かしきっていないので、今後、出来るだけ早い機会に合成柱の設計施工に関する示方書を作成する必要がある。

一方、複雑な内部構造を有する鋼製橋脚へのコンクリートの充填作業には困難を伴う。したがって、適切な空気孔の設置方法や充填方法ならびに充填度の確認方法などの開発研究が急務である。

##### (2) 鋼板による補強工法

橋脚内に縦リブを増設したり、コーナープレートを配置する本工法の場合、特に狭い空間での作業性が重要である。作業のためのマンホールの増設が余儀なくされ、増設したマンホール部の補強も必要となる。

縦リブ補強の効果を上げるため、部材軸方向にリブを連続化する方法がとられている。この場合、横リブやダイヤフラムとの溶接が必要となり、特に鋼板継手部の溶接の対応が複雑となる。

このように、本工法を採用する場合、非常に厳しい

条件下での作業となるので、溶接精度の向上ならびに溶接の検査体制の確立が重要な課題といえよう。

一方、道示Vの解説中にも示されているとおり、鋼製橋脚が大きな地震力を受けた場合の応答や抵抗メカニズム、ならびにじん性の評価などについては、目下のところ未解明な部分が多い。そのため、現時点ではRC橋脚と同程度の信頼性をもって、地震時保有水平耐力法による耐震設計法を規定するのが困難となっている。したがって、現状では繰り返し載荷の影響を考慮した鋼柱の水平載荷実験結果等に基づいて、復元力モデルを作成し、それを用いた動的解析により、耐震性を判定するものとしている。このため、動的解析を行うにあたっては、対象とする橋脚構造の繰り返し荷重下における非弾性域の抵抗メカニズム、すなわち、復元力特性が必要となる。このように現行規定では設計のたびに実験を行って、動的解析に用いる鋼製橋脚の諸データを決めなければならない。今後、このような複雑さを解消する必要がある。

震災後、建設省土木研究所を中心に、各種の鋼製橋脚を対象に数多くの実験がなされていることから、近い将来、橋脚の構造形式ごとの復元力モデルが作成され、規準化されて設計の便に供されるものと思われる。

##### (3) アンカー部の補強

橋脚アンカー部は、橋脚に作用する軸力、曲げモーメントおよびせん断力を基礎に伝達する重要な構造部位であり、この部位の設計の良否が橋脚の耐震性に大きな影響を与えることは言うまでもない。

わが国における鋼製橋脚の基礎への定着は、一部を除いて、そのほとんどがアンカーフレーム方式を採用しアンカーボルトでなされている。

橋脚が耐震補強された場合、橋脚の耐力力の向上に伴うアンカー部の補強も必要になる。アンカーボルト増設工法やプレストレス工法の場合、ボルトの定着部の引抜き力に対する信頼性が最も重要である。震災後、かなりの数のアンカーボルトにゆるみが見られたことから、アンカーボルトが降伏点を上回る引張応力を受け、ベースプレートもしくはボルト自身が永久変形したものと考えられる。したがって、アンカーボルトが大きな繰り返し荷重を受ける場合の耐荷挙動を解明し、設計規準に反映させる必要がある。

ベースプレート拡大工法の場合には、ベースプレート下面へのコンクリートの充填が適切に行われることが肝要であり、施工後の充填度の判定方法の確立が望まれる。

#### 4. 6 まとめ

各節の要点をとりまとめることにより、本章のまとめとする。

##### (1) 荷重の改訂に伴う橋脚への影響検討

・鋼桁橋(RC床版, L=30, 40, 50m)において, 新活荷重(TL-25B)による上部工反力の増加割合を試算した結果, 旧活荷重に比べて21~13%増加していることが判明した。その増加割合は, 短支間(L=30m)のものほど大きく, 長支間(L=50m)になるほど小さくなった。

・上部工反力の増加に伴う橋脚の受桁部(梁部)の断面力および杭反力の増加割合は, 橋脚の構造寸法に変化はないものとして試算した結果, それぞれ, 18~13%(L=30~50m)および10%(支間長に無関係)となった。実際は, 支間が長くなると橋脚の構造寸法は大きくなるため, 支間が長いものほど, それらの増加割合はさらに小さくなる。

・試算の結果, 活荷重の改訂に伴う橋脚への影響については, 受桁部(梁部)でその影響が大きいことが判明した。橋脚においても活荷重の増加に伴う影響は少ないとは言いがたいが, この影響のみによる橋脚の補強の必要性を画一的に判断することは困難であり, 種々の条件を勘案した上で決定するのがよい。

##### (2) 兵庫県南部地震による橋脚の被害と特徴

・「兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会」による調査結果によれば, 被災を受けた道路橋のRC橋脚において, 対象橋脚数3,041基のうち, 比較的被災度が高いBランク以上と判断されたものは394基で, 全体の13%であった。また, 1980年(昭和55年)の設計標準以前に設計された橋脚に被害は顕著にみられた。

・被災したRC橋脚を構造型式別にみた場合, 特殊型式のものに被害が多く, これらは曲げせん断による被災が支配的となっていた。段落としない単柱橋脚においては, せん断スパン比の小さいものほど, せん断型の被災モードとなっていた。被災方向としては, 橋軸直角方向の被害が卓越しており, それは特に円形橋脚で顕著であった。

・上記調査結果によれば, 被災を受けた道路橋の鋼製橋脚において, 対象橋脚数355基のうち, 比較的被災度が高いBランク以上と判断されたものは51基で, 全体の14%であった。倒壊した鋼製橋脚は2基であ

り, いずれも矩形断面である。被災度の高い橋脚については, 矩形断面ではコーナー割れモード, 円形断面では一波集中モードによる被災モードとなっていた。

##### (3) RC橋脚の補修・補強

###### 1) 耐震補強工法の種類と概要

一般に用いられているRC橋脚の耐震補強工法は, ①RC巻立て工法, ②鋼板巻立て工法, ③炭素繊維巻立て工法である。これら3工法の概要と特徴および補強効果について以下にとりまとめる。なお, これらの工法以外にも種々の耐震補強工法(PC巻立て工法・帯鋼板巻立て工法他)が提案されており, 補強工法の選定には, 各種工法の特徴等を十分に勘案した上で, 現場状況に応じた最適な耐震補強工法を選定する必要がある。

###### ① RC巻立て工法

###### <概要と特徴>

・既設橋脚にコンクリートを巻立てる工法であり, 従来より実績の多い工法である。橋脚の地震時保有水平耐力を向上させる場合に適している。

・アンカー鉄筋により, 巻立てコンクリートを既設橋脚およびフーチングと一体化させることが重要である。配筋等を考慮した場合, コンクリートの最小厚さは25cm程度を確保することが望ましいとされている。ただし, それに伴う建築限界や基礎へ影響を十分に検討する必要がある。

###### <補強効果>

・曲げ耐力は補強した軸方向鉄筋量に支配され, 変形性能は, 補強した帯鉄筋量に支配される。ただし, 帯鉄筋比が0.7%を超えると, じん性率は11程度で横這いとなる。

・柱基部を補強する場合は, アンカー筋をフーチングに十分定着させる。また, 段落し部を補強する場合は, 水平アンカー筋を既設の躯体に十分定着させることで効果が発揮される。

・補強帯鉄筋の定着において, フック定着とフレア一溶接による比較実験によれば, フレア一溶接の方が多少じん性率が高くなる結果が得られている。

・新旧コンクリートの一体化には, プラスト処理もしくはウォータージェット処理が効果的であるという結果が得られている。

###### ② 鋼板巻立て工法

###### <概要と特徴>

・既設橋脚に厚さ6~12mmの鋼板を巻立て, 鋼板と

既設コンクリートをエポキシ樹脂または無収縮モルタルで一体化させる工法である。

- ・鋼板巻立て補強の場合、その目的に応じて、せん断耐力および変形性能の向上に着目した補強と曲げ耐力の向上に着目した補強との2種類の補強方法がある。

- ・せん断耐力と変形性能の向上に着目した補強は、巻立てた鋼板を帯鉄筋量に換算することにより、せん断耐力が向上すること、また、帯鉄筋の横拘束効果の向上により、橋脚のじん性率が増し、地震時保有水平耐力が向上するという考え方である。

- ・曲げ耐力の向上に着目した補強は、アンカーにより鋼板をフーチングに定着させることにより、鋼板と既設橋脚を一体化させることで、鋼板を帯鉄筋だけでなく、主鉄筋にも換算できるという考え方である。アンカーの断面積を主鉄筋量の増加分として考慮し、鋼板の断面積に換算することができる。この方法は、必要な曲げ耐力を制御できることから、「曲げ耐力制御式」と呼ばれている。

- ・鋼板下端とフーチング上面の隙間は、橋脚にじん性のある曲げ破壊を生じさせること、また、大変形時において鋼板とフーチングの接触による双方の損傷の回避のために必要となる。なお、矩形断面の場合は、はらみ出しによる変形を防止するため、形鋼等による鋼板下端部の拘束が必要となる。

#### <補強効果>

- ・アンカーを用いて鋼板をフーチングに定着することにより、鋼板はアンカー筋の強度相当の軸方向鉄筋および帯鉄筋として有効に機能し、橋脚の耐力およびじん性の双方を向上させる。

- ・鋼板下端とフーチング上面の隙間に関する実験では、隙間の大きさによる耐力の差はほとんどないものの、じん性率は隙間が小さいほど大きい。

- ・矩形断面における鋼板下端の拘束方法については、各方法において大差はないものの、円形・楕円鋼板による拘束が最も効果的であるという実験結果がある。

- ・段落し部の補強については、それを挟んで少なくとも2D区間の範囲を補強することで、十分な効果が認められている。

- ・補強鋼板の継手については、溶接継手以外に施工性に優れた4種類の機械継手の提案がなされている。なお、鋼板の高さ方向における分割数が、補強効果に及ぼす影響は認められていない。

- ・鋼板とコンクリートの隙間に注入する充填材については、建設省土木研究所での実験の結果によれば、エポキシ樹脂と無収縮モルタルの双方の間には、その効果の差異はほとんどみられない。

### ③ 炭素繊維巻立て工法

#### <概要と特徴>

- ・炭素繊維シートやストランドを巻立てることによりRC橋脚の耐力と変形性能を向上させる。炭素繊維の巻き方・巻き数を変化させることにより、補強の目的・程度を選択することができる。巻立て総数は10層程度が限度とされている。

- ・従来は段落し部の補強のみに用いられていたが、その補強効果は種々の実験などにより確認されており、近年では、橋脚全体の耐震補強工法として注目されている。

- ・建築限界や重量増加などの問題はなく、また狭隘な場所での使用が可能であり、施工性のよい工法であるが、経済面での問題が大きい。また、炭素繊維の材料特性等については、未だ明らかにされていない部分も多い。

- ・設計上は安全側を考慮し、せん断耐力算定のための炭素繊維補強量の算定においては、炭素繊維の引張り強度は、60~80%程度に低減した値を用いるのがよい。

#### <補強効果>

- ・炭素繊維を主鉄筋方向に巻立てることにより、曲げ耐力が向上すること、帯鉄筋方向に巻立てることにより、せん断耐力が向上することが実験的に確認されている。また、炭素繊維の巻き数の増加により、補強効果が増大することが確認されている。ただし、その効果の程度に関しては、定量的に解明されていない部分もある。

- ・橋脚基部の耐力を向上させるためには、炭素繊維と柱基部との定着が重要となる。実験的には、炭素繊維を用いた定着により、その効果は確認されているが、定着に用いた炭素繊維の繰り返し荷重による強度低下などの問題が課題として残されている。

### 2) 設計規準別耐震補強工法の比較

設計規準別の耐震補強工法の比較結果を以下にとりまとめる。

- ・各規準が適用される範囲は、兵庫県南部地震により被災を受けた構造物に対する復旧、被災は受けていないが照査により補強が必要と判断された構造物、および新設構造物となっている。また、対象部位は、橋脚および基礎が中心となっている。

- ・RC橋脚における耐震補強の基本方針は、橋脚の耐力とじん性を向上させることであり、基本的には、鋼板巻立て補強もしくは曲げ耐力制御式鋼板巻立て補強などにより、橋脚に必要なじん性を与えること

で、地震時作用力を地震時耐力より小さくすることを目的としている。

・耐震設計の考え方は、兵庫県南部地震規模の地震が、当該構造物の近傍で発生しても余裕を持って耐えられる構造とすることを基本としている。その安全性の評価は、地震時の構造物の挙動を詳細に把握するため、構造物の非線形性を考慮した動的解析により照査を行うことと基本としている。今回の道示改訂では、橋を重要度に応じて2種類(A種・B種)に区分し、橋の供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度をもつ地震動、または橋に供用期間中に発生する確率が高い地震動に対して、それぞれ必要な耐震性能を有することと規定している。

・震災直後に出された規準では、地震時保有水平耐力法による照査は、「道示V(1990年2月)」および「復旧仕様」に基づいて行うことを規定していた。今回の道示改訂においては、これをコンクリート橋脚だけでなく、鋼製橋脚、基礎、支承部などの地震の影響が支配的な構造部材、さらには落橋防止システムの設計においても、地震時保有水平耐力法を適用することと規定している。なお、橋台については、一般にこれによる照査を行わなくてよいとしている。

・動的解析は、応答スペクトル法もしくは時刻歴応答解析法を原則とし、地震入力、今回の地震において、地盤上で最大の加速度が観測された地点の地震動(当面、神戸海洋気象台)を用いることを基本としている。今回の道示改訂では、地震時の挙動が複雑な橋(固有周期が1.5秒以上、高さ30m以上の橋脚、斜張橋、吊橋、上・中落式アーチ橋、および免震設計された橋)などについては、動的解析結果に基づいて適切に耐震設計を行うものと規定している。

・対象規準のうち、阪神高速道路公団および首都高速道路公団の規準では、「鋼板巻立て工法」が主要の補強工法とされている。日本道路公団では、周辺環境の制約が無く、断面増加が不可能でない限りは、経済性も勘案して「RC巻立て工法」を採用することを基本としている。また、現在のところ、道路橋において、「炭素繊維巻立て工法」の設計について記述しているのは、日本道路公団の規準(「耐震設計・施工要領(案)」)のみである。

#### (4) 鋼製橋脚の補修・補強

一般に用いられている鋼製橋脚の耐震補強工法は、

柱部の補強として①コンクリート充填による補強と②鋼板による断面補剛、また③アンカー部の補強である。これらの工法の概要と特徴、補強効果、施工法と構造細目について以下にとりまとめる。

#### ① コンクリート充填による補強(柱部)

##### <概要と特徴>

・鋼製橋脚内にコンクリートを充填することにより耐力とじん性を向上させる。コンクリートの充填高さは、充填したコンクリートの直上の鋼断面に座屈が生じないように定めるものとする。

・道示V改訂では、地震時保有水平耐力およびじん性率の算定において、軸力に対しては鋼断面のみで抵抗し、曲げモーメントおよびせん断力に対しては、充填コンクリートは引張りに抵抗せずに、鋼断面を鉄筋とみなしたRC構造として取り扱うこととされている。

・本来、コンクリートを充填した鋼製橋脚は、横リブなどによるずれ止め効果やベースプレートによる拘束効果により、外力に対し鋼コンクリート合成柱としての挙動を呈すると考えられるものの、現地において、設計上その特徴は生かしきれていない。

・コンクリート充填に際して、適切な空気孔の設置や充填方法ならびに充填度の確認方法の研究開発が急務とされている。

##### <補強効果>

・無補強の柱と比べ、最大耐力およびじん性の著しい向上が実験により確認されている。また終局耐力後の急激な耐力の低下は認められない。

##### <施工法と構造細目>

・充填するコンクリートの種類については、特に規定はないが、無筋の低強度コンクリートでよいとされている。なお、復旧工事においては、 $\sigma_{ck}=160\text{kgf}/\text{cm}^2$ 、スランプ8cm、骨材最大寸法40mm(密部で20mm)のものが用いられた。

・コンクリートの充填には、一般にコンクリートポンプが用いられている。ただし、ダイヤフラムや横リブ下面の充填に対する十分な施工管理が重要とされる。

#### ② 鋼板による断面補剛(柱部)

##### <概要と特徴>

・既設橋脚では、矩形断面の場合、角部にコーナプレートにHTボルトで結合し、閉断面構造とすることにより、角溶接部の割れを防止する。また、円形断面の場合は、座屈発生位置の周囲に隙間を空けて鋼板を巻立て、局部座屈発生後の座屈モードを多段化させて一波集中モードを防止する。新設の場合



は、既設と比べて溶接による制約条件は少ないため、種々の補強工法が提案されている。

・既設の縦リブを補強する方法として、既設の縦リブの間に新設リブを増設する方法や、既設のリブを補強する方法がある。新設リブの増設の場合、縦リブの補強効果を確実に向上させるため、リブを連続化させる方法がとられている。しかし、横リブやダイヤフラム、また接合継手部における溶接が困難となる。

・鋼板補剛による補強効果は実験的にも確認されているが、RC橋脚に比べて、その効果のほどは未解明な部分が多い。したがって、設計のたびに水平載荷実験などを行い、動的解析に用いる種々のデータ（履歴特性など）を決定する必要がある。

・本工法を採用する場合、厳しい条件下での作業が余儀なくされる。このため、溶接精度の向上および溶接の検査体制の確立が重要となる。

#### <補強効果>

・コーナー補強された矩形柱の場合、耐荷力の増大とともに、エネルギー吸収能および変形性能の増加が確認されている。また、最大耐力に達した後の耐荷力の低下の程度は緩やかである。

・二重鋼管により補強された円形柱の場合、補強後であっても内側鋼管の圧縮側に局部座屈が発生するまでは補強前と同じ性状を示すが、その後、外側鋼管による変形の拘束効果により、耐荷力の低下や変形の進行度合いが緩やかとなる。また、じん性能の明確な向上が認められる。

#### <施工法と構造細目>

・既設のリブを補強する方法として、L型タイプ、プレートタイプ、閉リブタイプが提案されている。

・縦リブを連続化させる場合、新設リブの両端に開先を設けてダイヤフラムや横リブと現場溶接することを原則とする。国道2号浜手バイパスでは、現場継手部は、ボルト間に縦リブを通し、連結板と縦リブをすみ肉溶接により接合させた。

・縦リブの増設やコーナープレートを配置する場合、狭い空間での作業が余儀なくされるが、そのためのマンホールの設置が必要となる。また、その補強も重要となる。

### ③ アンカー部の補強

・我が国における鋼製橋脚の基礎への定着は、一部を除いて、そのほとんどがアンカーフレーム方式が採用され、アンカーボルトで定着されている。

・アンカーフレーム方式を採用した場合、アンカー部の設計方法には、杭方式とRC方式の2つがある。

・RC方式は、柱基部に働く外力（地震時保有水平耐

力）に対し、引張側はアンカーボルトで、圧縮側はコンクリートで抵抗させ、フーチングに伝わると考え、それぞれの部材が許容応力度以内であることを確認するものである。国道2号浜手バイパスではこの照査方法が採用されている。

・鋼製橋脚が耐震補強された場合、橋脚の耐荷力の向上に伴うアンカー部の補強が重要となる。一般に用いられているアンカー部の補強方法は、a)アンカーボルト増設工法、b)プレストレス工法、c)ベースプレート拡大工法である。

#### <概要と特徴>

##### a) アンカーボルト増設工法

・既設ベースプレートの外側にアンカーボルトを新たに増設することで保有耐力レベルの外力に対して抵抗できるようにする工法である。

・フーチングの底面に既設杭を避けて定着させるのが望ましいが、これが不可能な場合は、樹脂アンカーボルトにてフーチング内に定着する。このボルトの定着部の引抜き力に対する安全性が重要となる。

##### b) プレストレス工法

・柱内部の貧配合コンクリートを撤去して、橋脚内部からフーチング削孔によりPC鋼棒を挿入し、緊張力を導入することで、既設アンカーボルトに作用する引張力を軽減させる工法である。

・a)の工法と同様、フーチングの底面に定着させるのが望ましいが、これが不可能な場合は、樹脂アンカー方式でフーチング内に定着する。ただし、この場合プレストレス量は少なくなる。

##### c) ベースプレート拡大工法

・ベースプレートを拡大することにより、既設アンカーボルトの引張力を低減させる工法である。

・a)・b)の工法に比べて、既設フーチングを極力触わらなくてよいことから比較的現場での作業性がよい。

・ベースプレートとフーチングの一体化を図るため、ベースプレート下面へのコンクリートの充填が重要となる。

#### <補強効果>

・国道2号浜手バイパスでは、アンカー部の補強として、ベースプレート拡大工法が採用されている。これによれば、ベースプレートの直径を $\phi 3500 \rightarrow \phi 5100\text{mm}$ に拡大することにより、計算上、曲げモーメント値で1.4倍の増加が認められている。

#### <施工法と構造細目>

・国道2号浜手バイパスの事例では、プレートは工場製作され、現場溶接で組み立てられている。また、ベースプレートとフーチングの隙間には、厚さ100mmの無収縮モルタルを充填している。

## 参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説(案) V 耐震設計編，1996年12月
- 2) 財団法人道路保全技術センター：既設橋梁の耐力力照査実施要領(案)，1993年6月
- 3) 向山辰夫，安藤昭弘：「道路橋を超概算で計算してみると」，橋梁と基礎，Vol. 30，pp35・39，1996年4月
- 4) 安田扶律：阪神高速道路における橋脚の補修・補強，コンクリート工学，Vol. 34，pp106・109，1996年1月
- 5) 兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会：兵庫県南部地震における道路橋の被災に関する調査報告書，1995年12月
- 6) 大塚，寺山，星隈：兵庫県南部地震による鉄筋コンクリート橋脚の被災の総括と今後の耐震設計の方向，橋梁と基礎，pp87・88，1996年8月
- 7) 阪神高速道路公団：震災に立ち向かって(1996.1)
- 8) 中島，足立，長沼：都市高速道路の被災状況と復旧の概要，橋梁と基礎，pp36・39，1996年8月
- 9) 西川，上仙，村越：道路橋鋼製橋脚の被災と耐震設計に関する検討状況，橋梁と基礎，pp127・130，1996年8月
- 10) 社団法人 日本道路協会：「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料(案)，1995年6月
- 11) 社団法人 土木学会：コンクリートライブラリー81，コンクリート構造物の維持管理指針(案)，pp102・115
- 12) 社団法人 日本コンクリート工学協会 近畿支部：土木コンクリート構造物の震災対策に関する研究委員会，中間報告書，pp322・324，1995年12月
- 13) 日本道路公団：耐震設計・施工要領(案) 第Ⅱ編 既設橋耐震補強設計，1995年7月
- 14) 廣瀬，石澤，吉岡，狩野：RC橋脚耐震補強のためのPC巻立て工法，第6回プレストレスコンクリートの発展に関するシンポジウム，論文集，pp499・504，1996年10月
- 15) 大塚久哲，星隈順一，中島裕之，幸左賢二：RC橋脚の高じん性化のための実験的検討，土木学会第51回年次学術講演会，V-524，pp1046・1047，平成8年9月
- 16) 宇佐見健太郎：既設RC橋脚の耐震補強，橋梁と基礎，pp138・142，1994年8月。
- 17) 石橋忠良，古谷時春：地震被害を受けた鉄筋コンクリート橋脚の補修・補強工法と効果，鉄道土木，pp453・463，1984年7月
- 18) 多久和勇，石田博，東田典雅，大橋健二，横田和直，宇治公隆：段落としを有する橋脚のRC巻立て補強における打継ぎ面処理方法の影響，土木学会第45回年次学術講演会，V-319，pp664・665，平成2年9月。
- 19) 岩田道敏，石橋忠良，奈良利孝：既設RC柱の外側にRC巻き補強した柱の挙動について，土木学会第51回年次学術講演会，V-531，pp1060・1061，平成8年9月
- 20) 阪神高速道路公団：損傷を受けた橋脚の補強に関する模型実験結果報告，平成7年11月。
- 21) 川島一彦，大塚久哲，中野正則，星隈順一，長屋和宏：曲げ耐力制御式鋼板巻き立て工法による鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強，土木技術資料 37，pp54・63，1995。
- 22) 在田浩之，石橋忠良，八巻一幸，水野光晴，鎌田則夫：実物大鋼板巻き補強RC柱の交番載荷試験，土木学会第51回年次学術講演会，V-523，pp1044・1045，平成8年9月。
- 23) 天野玲子，内藤静夫，竹田哲夫，秋山暉，新保弘：基部をリング拘束した鋼板巻立て柱試験体の交番載荷実験，土木学会第51回年次学術講演会，V-525，pp1048・1049，平成8年9月。
- 24) 金子昌生，山田淳，宇佐見健太郎：既設RC橋脚の耐震性向上に関する実験検討土木学会第51回年次学術講演会，V-528，pp1054・1055，平成8年9月。
- 25) 小原和宏，永谷健，鎌田則夫：鋼板巻き耐震補強工法に用いる充填材について，土木学会第51回年次学術講演会，V-527，pp1052・1053，平成8年9月。
- 26) 大塚久哲，星隈順一：曲げ耐力制御式鋼板巻立て補強工法における充填材の影響，橋梁と基礎，pp89・91，1996年8月。
- 27) 緒方紀夫，田村陽司，井ヶ瀬良則：壁式RC橋脚の耐震補強実験，橋梁と基礎，pp100・103，1996年8月
- 28) 西川佳祐，渡辺忠明，佐藤 勉：損傷を受けた柱の鋼板巻き補強に関する検討，土木学会第51回年次学術講演会，pp1050・1051，平成8年9月。
- 29) 谷村幸裕，宮村正博，奥井明彦，佐藤勉，渡辺忠明：RC柱の鋼板巻き補強における鋼板分割の影響に関する実験的研究，土木学会第51回年次学術講演会，pp1058・1059，平成8年9月。
- 30) 川島一彦，運上茂樹，飯田寛之：壁式鉄筋コンクリート橋脚の鋼板巻立てによる耐震補強効果，土木技術資料34，pp35・41，1992年1月。
- 31) 増川淳二，秋山暉，斉藤宗，内藤静男：既設RC橋脚の炭素繊維シートによる曲げ及びせん断補強，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 18，No. 2，pp89・94，1994年
- 32) 財団法人 鉄道総合技術研究所：炭素繊維シートによる鉄道高架橋柱の耐震補強効果確認実験報告書，鉄道高架橋炭素繊維シート利用耐震補強工法研究会，平成8年7月。
- 33) 松田哲夫，藤原博，東田典雅：炭素繊維を用いた橋脚の耐震補強効果—模型載荷実験の結果から—，日本道

- 路公団試験所報告, Vol. 28, pp73・84, 1991年.
- 34) 岡島豊行, 勝俣英雄, 石田 博, 東田典雅: 炭素繊維による既存RC橋脚の耐震補強(その2 載荷実験), 土木学会第45回年次学術講演会, V-399, pp824・825, 平成2年9月.
- 35) 新垣博史, 高田博, 松尾伸二: 圧縮力が作用する補強コンクリート供試体の応力-ひずみ曲線, 土木学会第51回年次学術講演会, V-515, pp1028・1029, 平成8年9月
- 36) 細谷学, 川島一彦, 星隈順一, 宇治公隆: 炭素繊維シートで横拘束されたコンクリート柱の応力度-ひずみ関係, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 18, No. 2, pp95・100, 1996年.
- 37) 小島克明, 大内一: 炭素繊維補強による道路橋橋脚の靱性能評価, 土木学会第51回年次学術講演会, V-467, pp932・933, 平成8年9月.
- 38) 小牟禮健一, 栗原慎介, 松井繁之: 炭素繊維による円柱コンクリート拘束効果の検討, 土木学会年次学術講演会, V-475, pp948・949, 平成8年9月.
- 39) 宇治公隆, 杉山浩章, 横田和直, 斉藤誠: セン断耐荷機構におけるカーボンファイバーの効果, 土木学会第45回年次学術講演会, V-277, pp580・581, 平成8年9月.
- 40) 宇治公隆, 山口隆裕, 池田尚治: 途中定着部を有する既設鉄筋コンクリート部材のシート状連続炭素繊維によるせん断補強効果, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 15, No. 2, pp495・500, 1993年.
- 41) 日本石油株式会社: 炭素繊維「日石TUクロスHT300」補強鉄筋コンクリート梁の曲げ試験, (財) 建材試験センター, 平成7年12月.
- 42) 東燃株式会社: トウシート補強した鉄筋コンクリート梁の曲げ試験(曲げ載荷実験結果報告), 平成5年3月.
- 43) 緒方紀夫, 安藤博文, 松田哲夫, 小島克明, 大野了: 炭素繊維による段落とし部を有する既存RC橋脚の耐震補強に関する研究, 土木学会論文集, No. 540, VI-31, pp85・104, 1996年4月.
- 44) 日本道路公団試験研究所橋梁研究室: 炭素繊維による鉄筋コンクリート橋脚の補強工法設計・施工要領(案), 試験研究所技術資料第615号, 平成7年2月.
- 45) 財団法人 鉄道総合技術研究所: 炭素繊維シートによる鉄道高架橋柱の耐震補強工法設計・施工指針, 研友社, 平成8年12月.
- 46) 社団法人 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説V耐震設計編, 1990年2月
- 47) 阪神高速道路公団: RC橋脚耐震補強施工・管理要領(案), 1995年11月
- 48) 首都高速道路公団: 既設RC橋脚の耐震性向上設計要領(案), 1995年11月
- 49) 財団法人 鉄道総合技術研究所: 新設構造物の当面の耐震設計に関する参考資料, 1996年3月
- 50) 例えば合成柱研究会: 合成橋脚とその計算例・解説-コンクリート充填方式合成柱の応用-, 現代理工学出版, 平成4年7月
- 51) 阪神高速道路公団: 既設鋼製橋脚の補修・補強設計および施工要領(案), 平成7年5月16日
- 52) 西川和廣, 村越 潤, 上仙 靖: 鋼製橋脚供試体の繰り返し載荷実験, 橋梁と基礎, Vol. 30, No. 8, pp131・134, 建設図書, 1996年8月
- 53) 阪神高速道路公団: 合成柱(充填方式)を有する鋼製橋脚の設計・施工指針(案), 昭和61年3月