

3. 震災復旧(鋼橋の補修と補強)

3.1 概説

本章では兵庫県南部地震によって被災した鋼橋、および鋼製橋脚（ただし橋脚基礎は除く）の各種損傷に対する復旧方法についてまとめている。被災橋梁の復旧は、段階的に分けて、『緊急措置』、『応急復旧』、および『本復旧』に分類できるが、本章における各々の用語の定義は以下のとおりである。

- 1) 緊急措置：2次災害を防止するために緊急的になされた措置。
- 2) 応急復旧：車両通行を可能とさせるための暫定的措置。
- 3) 本復旧：緊急措置および応急復旧等の暫定措置からの本格的な復旧。この場合、被災前の状態に戻す復旧（原形復旧）と被災前よりも耐震性をアップさせた復旧（グレードアップ復旧）とがあるが、本書ではこれらを総称して本復旧と呼ぶこととする。

上記3種類の復旧は段階的になされたものもあるが、個々の橋梁または路線についてみれば、緊急措置からいきなり本復旧が施されたケース、応急復旧だけで長期間車両を通行させたケースなど種々の場合がある。

参考のために、代表的な路線・橋梁（主に兵庫県域）における交通閉鎖期間、言い換えると点検、および復旧に要した期間をまとめたものを表-3.1に示す。交通閉鎖期間が短かったものは、損傷が少なかったか、または無かったということであり、復旧も点検のみか、または簡単な復旧であったと考えられる。一方、交通閉鎖期間が長いものについては、損傷が激しく、交通を全面閉鎖して本格的に点検・本復旧がなされたことを示している。もちろん、これ以外の路線や個別橋梁でも損傷が発生し、復旧がなされている。

本章の構成は、3.2節で一般的な橋梁と大型橋梁における損傷状況、すなわち補修・補強の対象箇所を簡単にまとめ、3.3節～3.5節ではこれらの典型的な損傷に関する緊急措置、応急復旧、および本復旧の方法を橋梁ごと、または構造部位ごとにまとめている。また、3.6節では特に大型橋梁で発生した損傷に関する特異な補強・補修方法をまとめている。

本章をまとめた目的は、「緊急措置、応急復旧、および本復旧としてどのような処置が採られたのか、あるいは可能であったのか？」等をま

表-3.1 代表的な路線の機能喪失期間

主要鉄道、道路	全線開通時期	全面開通までに要した期間
JR(新幹線)	H7. 4. 8	2.7ヶ月
JR神戸線(在来線)	H7. 4. 1	2.5ヶ月
阪急電鉄宝塚線	H7. 1.19	0.1ヶ月
阪急電鉄神戸線	H7. 6.12	4.8ヶ月
阪神電鉄神戸線	H7. 6.26	5.3ヶ月
新交通・六甲ライナー	H7. 8.23	7.2ヶ月
新交通・ポートライナー	H7. 7.31	6.5ヶ月
神戸高速鉄道	H7. 8.13	6.9ヶ月
阪神高速道路池田線	H7. 1.31	0.5ヶ月
阪神高速道路3号神戸線	H8. 9.30	19.5ヶ月
阪神高速道路5号湾岸線	H7. 9.01	7.5ヶ月
神戸市港湾幹線(H-Vハイウェイ)	H8. 8.24	18.2ヶ月
国道2号、浜手バイパス	H8. 7.04	17.5ヶ月
国道43号 岩屋高架橋	H8. 2.19	13.0ヶ月
川・中国自動車道路	H7. 7.21	6.1ヶ月
十三大橋	H7. 2. 3	0.6ヶ月
大阪府下高速道路	H7. 2.19	1.0ヶ月
*) 地震発生日: H7. 1. 17		
*) 上記は路線としての一般車両への全面的な交通開放日を示す。従って、これ以前の段階で部分的供用、片車線供用、緊急車両への供用、および重量制限・速度制限付きでの供用など、条件付きで交通開放した路線も多く含まれていることに注意。		
*) 上記路線以外でも、部分部分で復旧・交通開放がなされ、全面開通した日が明確に特定できない路線も数多くある。		

とめることで、今後、不幸にも同様の震災を受けた場合における現場実務者の対応策決定の参考になればという点にある。この意味でなるべく数多くの復旧事例を紹介するのがベストであるが、今回の震災で復旧された鋼橋および鋼製橋脚は非常に数多く、すべての事例を紹介することは紙面の都合上できない。従って、ここでは各復旧事例で共通的なもの、あるいは基本的なものを抽出して総括的にまとめていることを予め断っておく。

3.2 復旧箇所

鋼橋および鋼製橋脚等の鋼構造物の復旧対象箇所はコンクリート橋や RC橋脚に較べて数多い。これは被災地域に存在する鋼橋が数多いこともさることながら、復旧すべき部位が、鋼桁本体および鋼製橋脚本体のみならず、伸縮装置、RC壁高欄、RC床版、排水設備、維持管理設備、落橋防止設備、支承、および沓座コンクリートなど数多くの付属物およびユーティリティ設備を含んでいるためである。

一般的な橋梁（すなわち I 桁橋、箱桁橋等）、および鋼製橋脚における損傷箇所、すなわち復旧対象となった箇所をリストアップすると、おおむね 表-3.2 に示すとおりであり、これらの一部を模式的に図化したものを 図-3.2 に示す。

表-3.2 鋼橋の主要な損傷

損傷の部位	損傷の種類（復旧箇所と一致）
伸縮継手	1) 取付けボルトの破損 2) フェースプレートの変形 3) 遊間の異状
床版	けた端の床版コンクリートの滑落、ひび割れ
壁高欄、中央分離帯	けた端部での破損
桁間連結装置	1) 連結板、および連結ピンの破損
落橋防止装置	2) 取付け部の主げた本体（特にウエブ）の破損
排水装置	けた端での排水管の破損
検査路	けた端部での破損
上部鋼桁	1) けた端のフランジ、およびウエブの変形、破損、および座屈 2) けた端の横げた、および横構の破損 3) 高力ボルトの滑り 4) 塗膜の剥離 5) 下部構造の傾斜・移動および支承破損に伴う路面の段差と通りの異状
鋼製支承	1) 沓座コンクリートの破損、およびアンカーボルトの破断、伸び 2) 移動制限装置の破損 3) セットボルトの破損
鋼製橋脚	1) 柱の補剛板の全体座屈、または局部座屈 2) 溶接部のクラック 3) 沓座近傍の横ばりの局部座屈 4) 高力ボルトの滑り 5) 塗膜の剥離 6) マンホール近傍のクラック 7) アンカーボルトの伸び、破断 8) フーチングコンクリートのひび割れ、根巻きコンクリートのひび割れ 9) コンクリート杭のひび割れ 10) 橋脚全体の異常な傾斜、および液状化などによる基礎の移動

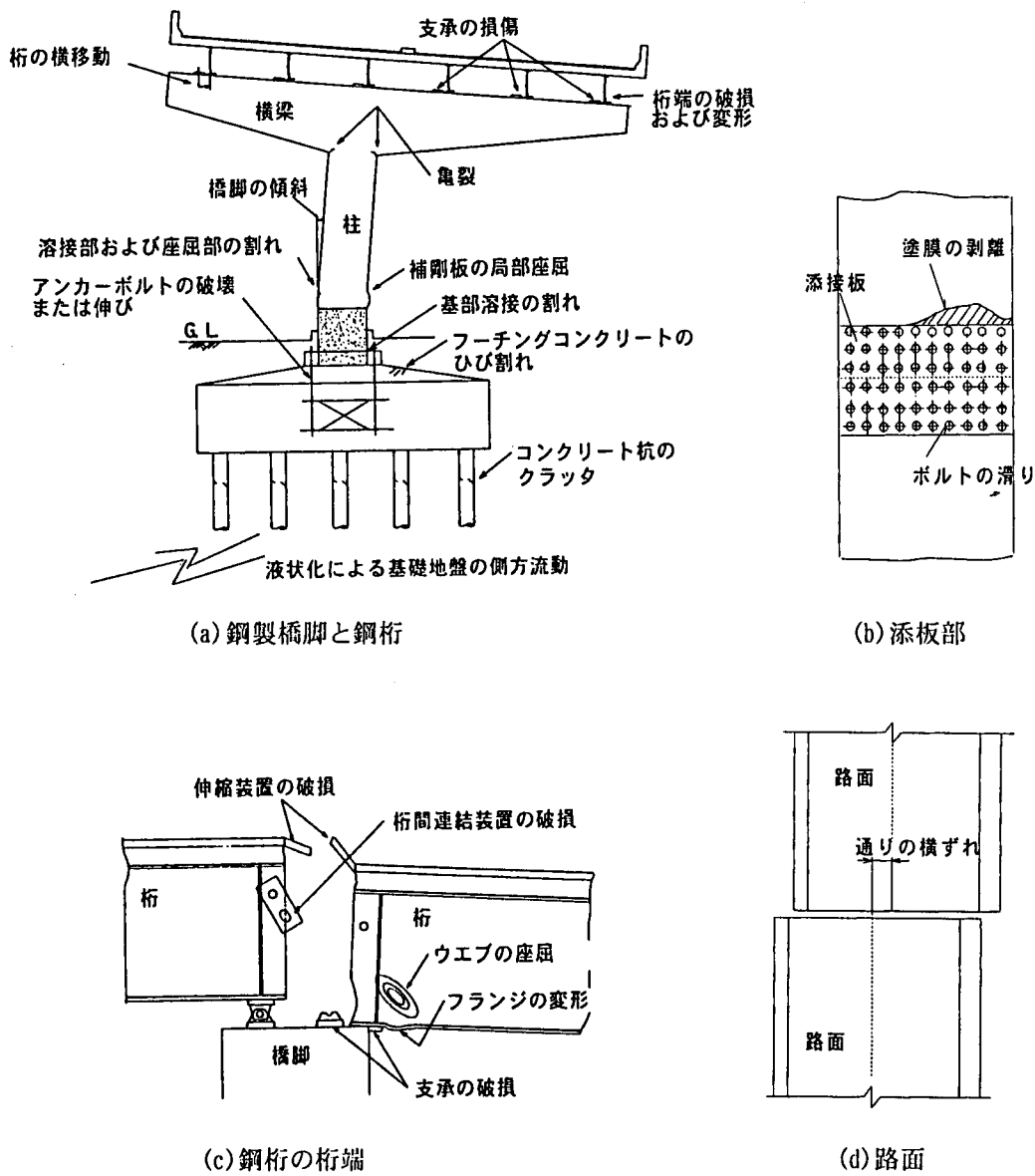


図-3.2 鋼橋の損傷箇所（復旧箇所）

大型特殊橋梁についても規模の差はあれ表-3.2に示したと同様の損傷が発生し、補修・補強が施されたが、上記以外に大型橋梁特有の下記のような損傷も発生し、併せて復旧がなされた。

- 1) 斜張橋のウインド杓の破損。ダンパーの破損。ペンデル杓の破損。
- 2) ニールセン橋の吊りケーブルのゆるみ。防護カバーの破損。
- 3) ゲルバー橋の中間支承の損傷。
- 4) アーチ橋の上横構の座屈。

なお、鋼構造物の損傷数や詳細被害については第1章を参考とされたい。また、本章ではあくまで鋼構造物の復旧ということに焦点を絞っているため、橋梁の下部構造であるRC橋脚やフーチングコンクリート、および基礎等の復旧についてはコンクリート分科会の報告を参考とされたい。

3.3 緊急措置

3.3.1 緊急措置の種類

前述したように、緊急措置は2次災害を防止するために、落橋または損傷した橋梁に対して緊急的になされた措置であるが、具体的には以下の目的で実施された。

- 1) 余震による崩壊を防ぐ。
- 2) 余震による損傷の拡大を防ぐ。
- 3) 緊急車両等への配慮のため、路下の交通を確保する。

落橋または損傷した橋梁に対する緊急措置は、その被災程度に応じて下記に示すような種々の措置が施された。

- 1) 落橋した上部鋼桁、および大破した鋼製橋脚は概ね素早く撤去された。また、落橋の恐れがあり、かつ、路下交通に支障のある上部鋼桁、および鋼製橋脚も概ね素早く撤去された。
- 2) 支承の破損、および橋脚の倒れ等に起因して桁が移動し、結果として桁掛かり長がほとんどなく、余震で落橋する恐れのある上部工は、以下のいずれかの落橋防止措置が講じられた。
 - a) 仮ベントで支える（図-3.3.1 参照）。この場合、上部構造を完全に支えるという概念で設置されたベントと、余震でこれ以上の崩壊を防ぐという目的で設置されたベントとがある。
 - b) 橋脚天場に橋体の移動制限用ストッパーを設置する。あるいは、残存耐力のある橋脚と上部鋼桁とを連結する。
 - c) 桁掛かり長の確保のため、橋脚天場を架台等で拡幅する。
 - d) 破壊した支承の代わりに、サンドルなどで桁を仮支持する。

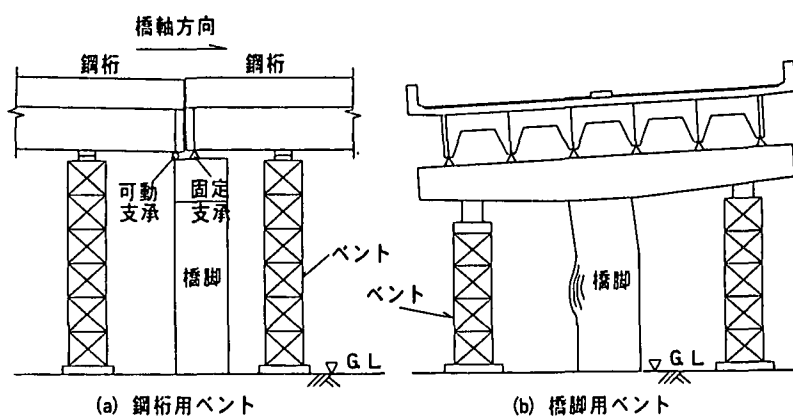


図-3.3.1 ベントによる鋼桁、および橋脚の仮支持(緊急措置)

- 3) 余震で損傷が拡大する恐れのある鋼製橋脚は、耐力保持のため、橋脚外面から縦補剛材等を溶接するなどの補強がなされた（図-3.3.2 参照）。
- 4) 橋脚天場に散乱した鋼製支承等の崩壊部品はその落下による2次災害発生防止のため素早く撤去された。
- 5) 上部鋼桁を支えている RC橋脚のうち、余震で損傷が拡大する恐れのある橋脚については、損傷程度やベント等の設置空間の制約条件に応じて、下記の措置のいずれか一方、または両方の措置が講じられた。
 - a) RC橋脚の梁部をベントで支える。この場合のベントも橋脚の全重量（鋼桁があればその重量も含む）を支えるという概念で設置されたものと、余震による傾斜の増大を防止するという補助的な意味で設けられたものがある。

b) 損傷部（特に柱基部）を鋼板とコンクリートで巻き立てて補強する（図-3.3.3 参照）。なお、この場合の鋼板は型枠がわりという場合とせん断力に抵抗できるようにした場合とがある。

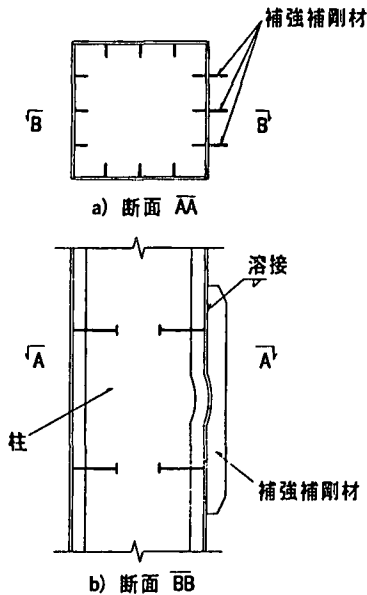


図-3.3.2 鋼製橋脚の補強

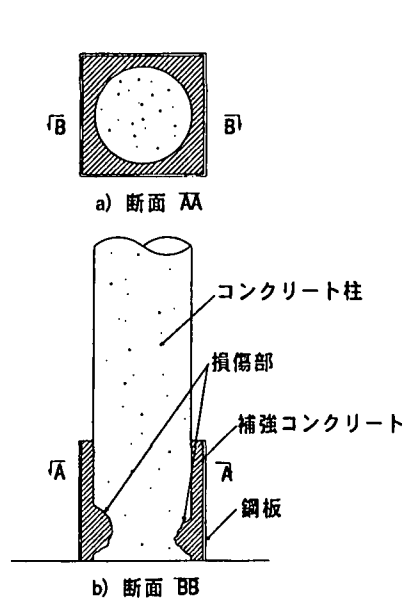


図-3.3.3 RC橋脚の補強

以上が主に採用された緊急措置であるが、基本的には「撤去」、「ベント支持」、「ストッパー設置」、[橋脚天場の拡幅]、および「構造体の緊急補強」のいずれかの方法が単独または複合して採用されたということである。

3.3.2 緊急措置上の問題点

緊急措置に要した日数は被災程度、重機侵入路等の現地条件、および投入可能資機材・人員で差異はあったが、概ね地震発生以後、一か月程度以内で完了したものと推測される。もちろん、この期間には、概略の損傷調査等に要した期間も含まれている。このように、緊急措置は比較的、順調になされたが、問題点がなかったわけではない。それらを列挙すると以下のとおりである。

- 1) 竣工図書などの保存状態は必ずしも万全ではなく、結果として、けた重量等の把握が難しく、現場技術者の感覚的判断のみで設置されたベントもあった。
- 2) 一度に大量の資材・機材が必要となりこれらが不足した。この結果として、効果を疑わざる得ないほどの脆弱なベントもあった。また、対応技術者、労務員も不足した。
- 3) 緊急措置を講じる上でのベントなど諸設備に関する設計震度は、最終的には $K_h=0.1$ 、あるいは 0.2 とした場合がほとんどであるが、余震に対する危惧が人それぞれの判断で大いに異なり、緊急措置に対する具体的な措置が2転3転したことがあった。
- 4) 緊急点検では日本道路協会”道路橋震災対策便覧”¹⁾の被災度判定基準を参考として被災ランク判定がなされ、この判定ランクを基に撤去、補強、放置などの緊急措置の大枠が決定された。しかしながら、判定は点検者の感覚的判断に委ねられる部分が多分にあり、また、見えがかりの部分だけでしか判断できないということで、必ずしも実態を反映していないことがあった。

以上のような問題点はあったにしても、大きな2次災害が発生したという報道・報告もなかったことから、緊急措置はおおむね順調になされたと考えられる。

3.4 応急復旧

緊急輸送路の確保、および道路機能の暫定的回復・確保を目的とした応急復旧は、主に比較的軽微な損傷を被った路線・橋梁を対象として実施された。具体的な方法としては、耐荷力面では、ベントによる仮支持や損傷部の補修、および損傷の進行防止策などの措置が講じられ、走行性の面では、路面段差の解消などの措置が講じられた。また、震災後の余震対策として、落橋防止装置や橋体の移動制限用ストッパーの補修・新規設置等の措置も採られた。ここでは、種々の橋梁に対する応急復旧の実施事例を簡単に紹介するとともに、応急復旧上の問題点について報告する。

3.4.1 応急復旧の事例

1) 事例1 (阪神高速道路11号池田線)

震災直後に実施された緊急点検を受けて、平成7年1月20日から約1週間にわたって詳細調査が実施された。調査箇所は特にけた端部

表-3.4.1 損傷と応急復旧方法

損傷箇所		損傷状況	応急復旧方法
橋面		段差	主桁のジャッキアップによる路面段差の解消
主桁		フランジと腹板の隅肉溶接割れ	補修溶接
支承	セットボルト	破断	ボルトの取替
	負反力支承	けたの浮上り	仮支承に取替 アップリフト止めの設置
耐震連結装置		ボルト欠落	ボルトの取替

付近の損傷である。また、これとほぼ同時並行の形で応急復旧が行われ、平成7年1月末には交通開放がなされた。本路線の代表的な損傷箇所とその応急復旧方法を表-3.4.1に示すが、応急復旧は簡単に言うと原形復旧を目指したものであり、局所的な損傷を元の形に修復したものと言える。なお、本路線では交通開放後、供用下の中で本復旧工事が継続して行われた。

2) 事例2 (阪神高速道路3号神戸線：武庫川以東)

阪神高速道路3号神戸線は特に兵庫県域で被害が大きかったが、武庫川以東の各橋梁も、軽微ではあるが被害を被った。本区間では、緊急措置、応急復旧、および本復旧が比較的明確に区別して行われた。本区間は応急復旧により、平成

表-3.4.2 損傷と応急復旧方法

損傷箇所		損傷状況	応急復旧方法
橋体		座屈・変形	切取・取替、加熱矯正、補強材取付け
		橋体の移動	橋体位置の調整
支承	ピン・ローラー	脱落・破断	支承の取替 (仮支承を含む)
	サイドブロック	破損	補修
	セットボルト	破断	ボルトの取替
	移動量	不足	支承の取替
落橋防止	耐震連結連結板	損傷	連結板の取替
	橋直ストッパー		設置 (仮設置を含む)
伸縮装置	フェースプレート	変形	フェースプレートの取替

7年6月下旬に開通したが、開通後も池田線と同様に継続して本復旧工事が実施された。交通開通までに実施された応急復旧は基本的に原形復旧である。損傷はけた端部、特に支承廻りに集中しており、必要に応じて部品の取り替え、あるいは補修が行われた。

また、本復旧の計画で隣接する単純桁を連結 (ノージョイント化) するという区間でも、交通開放を目的として、とりあえず桁端の仮補修が行われた。本区間での代表的な損傷箇所とその復旧方法を表-3.4.2に示す。

3) 事例3 (兵庫県道湾岸側道1号線)

兵庫県湾岸側道1号線では、西宮浜以東の区間での被害は比較的軽微であり、大がかりな応急復旧は行われなかったが、西宮浜以西の区間では落橋等の重大災害はなかったものの被害が大きく、精力的に応急復旧がなされた。本区間での代表的な被害とその応急復旧方法を表-3.4.3に示す。

本区間のうち、特に西宮浜～南芦屋浜間を結ぶ夙川橋では、南芦屋浜側の橋脚が神戸側に約1.3m移動し、隣接の単純桁が落橋寸前であったので、この桁については早急にベントが設置された。また、本路線と並行する阪神高速道路5号湾岸線の西宮港大橋に隣接する単純桁が落橋したため、本路線が中島～魚崎間の緊急輸送路となり、かなり早期に、また急ピッチで応急復旧が実施された。結果的には平成7年1月28日には緊急車輛の通行が可能となった。

表-3.4.3 損傷と応急復旧方法

損傷箇所	損傷状況	応急復旧方法
橋体	橋脚移動 脱落	ベントによる仮支持 支持点補剛材取付
桁端	座屈・変形	仮支持点による支持
支承	上巻の破損 セットボルトの破断	ジャッキ、およびライナープレートによる仮支持 ボルト取替
落橋防止	連結板の破断 ピンの破断	取替 取替
伸縮装置 橋面	段差	舗装増厚

4) 事例4 (西宮大橋：兵庫県尼崎港管理事務所災害復旧室)

本橋は、2径間連続非合成曲線箱桁(A1～P2、80m)、5径間連続鋼床版箱桁(P2～P7、440m)および単純鋼床版箱桁(P7～A2、70m)から構成される橋長590m、幅員23.05mの1等橋である。下部構造は、A1橋台が鋼管杭基礎の逆T型躯体、A2橋台が鋼管杭基礎の逆T型躯体、P1およびP2橋脚が鋼管杭基礎のT型躯体、P3～P7橋脚が仮締切兼用鋼管矢板井筒基礎のT型躯体構造である。

被災状況は、5径間連続鋼床版箱桁のP4、P5橋脚上の支承が破壊し、橋体が約1m程度西側に移動した。また、P2上の伸縮装置が橋軸方向橋体移動により押しつぶされた状態となり、P7上の伸縮装置では遊間不良と櫛の接触によるシール材のまくれが生じた。一方、下部工では、A1橋台の周辺地盤が約40cm沈下し、P2橋脚では張出部付け根において幅1mm程度の水平クラックが生じた。また、P3、およびP6橋脚は大きく破壊し、P5橋脚は上部工の移動に伴う偏心荷重により、西側張出部付け根において垂直クラックが生じた。

応急復旧工事としては、P3橋脚、およびP6橋脚が破壊したため、フーチング上に緊急措置としてベントを構築し落橋を防止する処置を講じた。また、P3橋脚、およびP6橋脚の両側をベントで仮受けした後、5径間鋼床版箱桁のP2、P4、P5、およびP7橋脚の鋼製支承を反力分散ゴム支承に取り替えると共にその他の鋼製支承も修復した。最後に伸縮装置の補修、および平面線形の修復を実施後、平成7年11月25日に上下線4車線のうちセンターライン側の各1車線を重量制限つきで(重量制限：4t未満)暫定供用を行った。本復旧工事としては、P3、およびP6橋脚の再構築を行い、平成8年5月22日に全面交通開放を行った。

5) 事例5 (神戸大橋：神戸市)

神戸大橋はダブルデッキを有する3径間中路式アーチ橋であり、地震の影響で橋梁全体が北方向(三宮方向)に約50cmずれ、中間支点の可動査、および端部のペンデル査が破損し、この影響で伸縮継手部で路面に段差が発生した。本橋は神戸三宮とポートアイランドとを結ぶ道路橋としては唯一の連絡橋であり、伸縮継手部に鋼板を配置することで路面段差を解消し、震災直後から下路だけではあるが緊急車両に対して交通開放がなされた。また、本橋は海上ルート(すなわちポートアイランドへの陸揚げ物資)の神戸地区への重要輸送路にあたるということで通行車輛が極めて多く、交通緩和のため本橋に隣接して海上部に仮橋も設置された。なお、応急復旧に引き続き、支承等の取り替えを中心として本復旧が実施され、数ヶ月かけて全面復旧がなされた。ただし、上路は接続する浜手バイパスやハーバーハイウェイの全面復旧とあわせて開放された。

6) 事例 6 (六甲大橋：神戸市)

六甲大橋はトラス構造の補剛桁を有する 3 径間連続斜張橋であるが、接続する南側の立体ラーメン橋からの玉突き現象により主桁全体が約 20cm 北側（住吉側）に移動し、この影響で杓部が大きく破損し、路面に段差が発生した。本橋は住吉側と六甲アイランドとを結ぶ重要かつ唯一の道路橋ということで、支点をジャッキアップし、仮支承を配置することで路面の連続性を保ち、地震直後の早期の段階から暫定的に交通開放がなされた。

7) 事例 7 (十三大橋：大阪市)

十三大橋は淀川に架かる連続ゲルバー桁とアーチ橋から構成される多径間の橋梁であるが、地震で一部の RC 橋脚の杓部前面のコンクリートが滑落し、上部構造の支持機能に不安が発生した。応急復旧は破損コンクリート上面にライナープレートを配置し、この上に鋼製の架台を組み、橋桁を一時的に仮受けして交通開放を行った。

以上、数橋（または路線）で実施された応急復旧方法を簡単に紹介したが、いずれにしても、応急復旧は路面の段差の解消を、主桁のジャッキアップ、サンドル（または仮杓）による仮受け、あるいは鋼板や仮資材による段差部での路面の直接すりつけ等で行い、耐荷力的には、構造本体の軽微な損傷は修復し、大きな損傷はベントによる橋体の仮支持、または支承の取り替え等を行って、暫定的に交通開放を行ったということである。交通開放までに要した時間は、橋梁の規模、被災の度合い、工事着手時期、および投入労務者などによって大きく支配され、地震直後すぐに交通開放できたものや 1~2ヶ月を要したものなど様々である。

なお、ここで紹介した事例以外にも応急復旧が施された橋梁も数多くあるが、規模の違いはあっても、実際に行われた復旧方法は上記と大同小異であると考えて良い。また、鋼橋区間内には RC 橋脚も数多くあり被害を被ったが、それらに対しては、軽微なクラックにはモルタル注入、深刻な場合にはベントによる仮支持、あるいは既存の橋脚の外面に新たにコンクリートを巻きだてる等の応急処置が施された。

3.4.2 応急復旧上の問題点

今回の震災は広域的、かつ深刻なものが多かったということから、鋼橋の応急復旧の事例も大小あわせると非常に数多く、各所でなされたが、復旧という立場から応急復旧で発生した問題点を列記すると以下のとおりである。

- 1) 応急復旧期間中（おおよそ地震直後～半年間程度の期間）の余震に対する知見に乏しく、応急復旧を講じる上での諸設備に関する設計震度、余震対策に関して混乱が発生した。
- 2) 応急復旧を本復旧の一環として実施するのが経済的には得策であるが、本復旧の具体的な姿がなかなか見えない分だけ応急復旧に対する着手が遅延したり、手戻りが生じた。この点、応急復旧はあくまで暫定的なものであるという関係者のコンセンサスが必要である。
- 3) 形状的な異常は手直しできたことは容易にわかるが、耐荷力的にみて車両を本当に通行させても大丈夫かと言う点に関して安全性を裏づける確固たる指針もなく、責任をもって通行開放が可能かと言われると躊躇せざるを得ない場合も多かった。特に、緊急輸送路となる区間では生活物資や復旧機材の搬送のため大型車両、および重車両の通行もやむを得ないこととなるので、重量制限付きと言えども不安感があった。この点については、被災状況、修復程度と残存耐荷力との関係を簡単に判断しうる基準の策定、研究が望まれる。
- 4) 車両を暫定的に通行させた期間中の構造物としての異常発生に対する継続的監視も人的不足から万全とは言えない面があった。

以上、種々の問題点があったとは言えども、応急復旧は緊急措置とは異なり、なにがしかの時間的余裕があったので、結果としてはムズに行われたと考えてよい。

3.5 本復旧

鋼橋、および鋼製橋脚の本復旧の方法には、大きく分けて、下記の2種類があるが、今回の震災復旧では被災程度に応じていずれの方法とも採用された。

- 1) 補修（補修部の補強も含む）
- 2) 再構築

「補修」は各種の損傷を局部的に修復・補強、あるいは新規部材に取り替えるという形でなされたものであり、その補修対象は表-3.2 に示した損傷である。一方、再構築は、一般に被災度が大きいものについて適用された復旧方法であり、損傷した構造物を撤去のうえ、新たに鋼橋、および鋼製橋脚を再構築するというものである。

一方、耐震設計、あるいは耐震性という観点からどのような復旧がなされたかを色分けしてみると、概ね下記のとおりである。

- 1) 現状復旧
- 2) 現状復旧+簡易なグレードアップ補強
- 3) 変更復旧+抜本的なグレードアップ補強

ここで、グレードアップ補強とは今回のような大規模地震にも耐え得るように構造物としての強度を現状よりも増大させたり、桁掛かり長、落橋防止装置、支承等を改善するという補強を示す。

1)の復旧方法は、交通開放を急ぐことから、取りあえず震災前の状態に復旧し、必要なら交通開放後にグレードアップ補強を検討しようとしたものである。2)の復旧方法は、交通開放を急ぐことから基本的には震災前の状態に復旧することを目標とするが、簡単に施工可能なグレードアップ補強（例えば、支承、耐震連結装置などの部品の取り替えなど）は補修と並行して実施しようとしたものである。3)の復旧方法は、被害度が大きく、路線として交通開放まで相当の時間を要するので、全面閉鎖という機会を利用して、橋梁形式、支承形式、落橋防止装置、および鋼製橋脚の構造などを抜本的に見直し、これに沿って本復旧を行おうとしたものである。なお、これらの基本方針は所轄官庁で、被災度、経済的基盤、本復旧に要する期間、および復旧費用などを総合的に勘案して路線毎、個別橋梁毎に決定された。

復旧方法策定までの過程について詳しくみると、現状復旧については、補修後の姿が明確であることから、復旧仕様策定や復旧方法策定という点での紆余曲折は少なかったが、グレードアップ補強については、その可能性、適用範囲など種々の問題点が発生した。地震発生直後、建設省から『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』⁷⁸⁾（以下、建設省復旧仕様と略記）が提示され、グレードアップ補強の基本的ガイドラインとなった。本仕様書には”橋梁全体として地震に耐え得る構造系、構造を目指す”という基本思想で、種々の基本理念が掲げられているが、特に、鋼橋、および鋼製橋脚の復旧に対する主要な改善点（改善が望まれる点）を列記すると以下のとおりである。

- 1) 鋼橋では従来、0.2Gを基本とした地震力に対して各部材が許容応力度（一般的に降伏応力度）以下であることをもって安全性を照査してきたが、それに加えて2Gレベルの地震力に対する照査を行い、今回の様な大規模地震に対しても橋梁が十分なる水平耐力を保有していることを確認する。
- 2) 鋼製橋脚の耐力、変形性能、靱性の確保のために、特に柱部分および基礎部分を変形性能に優れた靱性のある構造とする。柱部分にコンクリートを充填する方法等はひとつの有効な方法である。
- 3) 鋼橋では従来、可動・固定方式の金属支承が多く用いられてきたが、橋梁が連続する場合には、免震支承を用いた弾性固定方式やダンパーを設置することで地震力の低減・分散を図る。また、落橋しにくい橋梁形式として連続桁形式を推奨しており、既設の単純桁も可能なものはノージョイント化する。
- 4) 支承にはゴム系支承を用い、可能な限り免震ゴム支承を用いた免震設計とする。免震設計が適用できない場合でも、反力分散効果が期待できるゴム支承を用いる。また、移動制限機能、上揚力対策等を支承にのみ集中させず、それぞれの機能を分担する装置を別途設ける。支承強度は、保有水平耐力相当の地震力に対して終局強度を超えないようにする。

- 5)ダブルセーフティーとしての複数の落橋防止装置を設置する。その際、従来の連結板+ピン方式の落橋防止構造の代わりに、ケーブル連結方式の落橋防止装置、橋脚と桁との直接連結、橋軸方向ストッパー等を複数設置する。落橋防止装置にはゴム等の緩衝材を配置して、衝撃力を緩和できる構造とする。
- 6)従来、一つの橋脚に両方から桁が載る場合の桁掛かり長は、各々の支間長を基準として桁掛かり長を算定するよう定められていたが、両方の桁掛かり長とも大きい方の支間長を基準として決めることとする。また、曲率半径の小さい橋梁、斜角の小さい橋梁、高橋脚を有する固有周期の長い橋梁、液状化で下部構造が変位しやすい橋梁、および単柱で支持された橋梁等では、桁掛かり長に余裕をもたせる。
- 以上がおもな改善すべき点として提示されたが、これらを被災橋梁にどのように取り入れるかという点で種々の議論がなされた。結果的には、すべての路線の補修・復旧でこれらのすべての改善項目が反映されたわけではなく、ほとんど取り入れなかった路線、部分的に採用した路線、およびかなりの部分を採用した路線など種々様々である。この意味で復旧方法は画一的に策定されたわけではなく、各路線・各橋梁ごとに策定されたということになる。なお、本書をまとめた後でも、引き続き、グレードアップ工事が計画・実施されている路線も多々ある。

鋼橋、および鋼製橋脚の本復旧に要した期間が被災度との関連で評価できれば、今後の震災復旧に対して非常に重要なデータとなる。この点については参考として 3.1の概説において代表的な路線（または橋梁）についての地震発生から全面交通開放までに要した期間を一覧表として示した。しかしながら、このうち、鋼橋、および鋼製橋脚の本復旧工事に費やされた期間（すなわち本復旧工事に費やされた期間）を取り出し、明確に提示することは以下の理由で困難である。

- 1)緊急措置、応急復旧、および本復旧の工事の区別のつきにくい路線・橋梁が多かったこと。例えば、同一期間内に応急復旧の範疇である工事と本復旧工事とが同時施工されたケースも数多くあること。
- 2)ひとつの路線内や橋梁区間内には被災したRC橋脚も数多くあり、前述した復旧期間にはこれらの再構築、あるいは復旧期間も含まれていること。すなわち、施工手順からして、一旦、鋼桁を仮受けする工事を完了した後、RC橋脚の再構築や補修の完了を待って、再度、鋼桁の復旧を再開せざるを得ないケースもあったこと。この待ち時間内の一部を利用して鋼部材の製作が行われた場合もあること。また、上記とは異なり、RC橋脚と鋼桁とが同時並行の形で復旧が可能であった場合もあること。
- 3)被災した路線のあるものについては近接して他の路線があり、双方の復旧工事の施工順序や進捗度を勘案しながらでしか復旧工事を実施できなかった場合もあること。また、同一路線でも下路の交通規制をかなり長い区間、すなわち数多くの施工業者が担当する区間にまたがって一斉に行う必要があることも多く、全体調和のために復旧順序を前後させざるを得ないこともあったこと。
- 4)今回の震災が広域的であったことから、現場労務者、および資機材が不足し、何度も工程調整をせざるを得ない場合もあったこと。すなわち、大量の現場労務者、および資機材を投入することができた路線や橋梁では比較的早期に復旧が可能であったが、そうでないものは遅れざるを得なかったこと。また、所要の資機材も膨大なものであり、経済的復旧ということを考えると、全て新規製作・調達するわけにはいかず、転用を図らざるを得なかった場合もあったこと。
- 5)特に大被害を被った路線・橋梁では復旧方法の策定、および発注仕様書の作成までにかなりの時間を要した。もちろん、詳細点検などにも時間が必要だったこと。

一般に鋼構造物はコンクリート構造物とは異なり、補修・補強は非常に容易にできるという利点があるが、鋼構造物関連の本復旧の純工事期間は大きくとも、上記のような種々の環境的要因で本復旧完了、言い換えると全面交通開放にたどり着くまでに多大の期間が必要と成らざるを得ない場合もあった。この意味で本復旧に要した純工事期間を特定することは困難であると言わざるを得ない。

以上、本復旧の全般について記載したが、以下では、一般的な鋼橋（ただし、道路橋）に対する具体的な本復旧の方法をグレードアップ補強（耐震性の向上対策）も含めて各構造部位ごとに簡単に紹介することとする。また、復旧に際して実際に用いられた各種仕様を簡単に紹介すると共に、本復旧を行う上で発生した種々の問題点についてもふれることとする。

3.5.1 鋼桁

(1) 概要

鋼桁の本復旧方法は、被災度（損傷状況）に応じた撤去・再構築、補修・補強と震災により移動した桁の復元に大別される。被災度との関連で採用された復旧方法を整理してみると、おおむね表-3.5.1に示すとおりである。表中の被災度は道路震災対策便覧（震災復旧編）、昭和63年2月：日本道路協会による。撤去・再構築は、被災度 As、A、補修・補強は被災度 B、C、Dの建造物の復旧に適用されるものであるが、復旧日数の短縮、路下条件等により被災度 Bでも撤去・再構築、また被災度 Aでも補修・補強の復旧方法が採られた場合もあった。

再構築と補強では、安全性、品質、工期短縮、路下条件、施工性、経済性等の種々の制約条件を検討し、可能な限り耐震性の向上を図っている。鋼桁の耐震性向上の方法としては、免震構造化、桁の連続化、上部構造の死荷重の軽量化、桁かかり長の改善、支点部補強等が行われた。また、鋼桁の復旧方法では、以下のような特徴が見られた。

- ①早期復旧、工期短縮のための方法が採用された。
 - ②復旧の規模が大きく、同時に各種の復旧がなされた。
 - ③既設部材と施工条件との関係で、同規模・同程度の損傷でも多種多様な施工方法が採用された。
 - ④上下部構造の復旧工事が同時に行われ、大量の人と機材を必要とした。
 - ⑤耐震性能の向上では、その取り組み方に路線および橋梁により違いが見られた。
- ここでは、補修、補強、再構築ごとに、その実施例の一部を紹介する。

表-3.5.1 被災度と復旧方法

被災度	復旧方法
As	再構築
A	再構築、補修、補強
B	再構築、補修、補強
C	補修、補強
D	補強

(2) 補修

1) 桁の補修

桁の補修は、加熱矯正または溶接による軽微な補修から、連続箱桁の中間支点部材の取り替えや床版の撤去を伴う大規模なブロック単位の取り替えの補修まで多種多様である。一般的に、部材の変形量が修復限界を越えた場合は、損傷部位を切断・撤去して、新設部材に取り替えられた。変形量が小さい場合は、プレス矯正、加熱矯正、補強材取付などの方法が採られた。橋脚の破損・傾斜および支承の破損などにより移動した鋼桁の復元復旧も多く行われた。鋼桁で実際に採用された補修方法と損傷との関係を表-3.5.2に示す。また、これらを図化したものを図-3.5.1に示す。

表-3.5.2 鋼桁の補修方法

区分	損傷の度合い	補修方法
I	損傷が広範囲にわたり損傷が大きいもの	①損傷部を含む鋼桁（床版を含む場合有り）を切断・撤去して、新設部材と取り替える方法（部分的な再構築）。 ②新旧部材の接合は高力ボルト継手または溶接継手。
II	桁の座屈・変形などで損傷が大きいもの	①鋼桁の腹板または下フランジ等の損傷部位を部分的に切断・撤去して、新設部材と取り替える方法。 ②新旧部材の接合は高力ボルト継手または溶接継手。
III	桁の座屈・変形などで損傷が比較的軽微なもの	①損傷部位の撤去・取り替えは行わず、変形等を加熱矯正またはプレス矯正する方法。 ②補修部の補強方法は、ボルトまたは溶接による添え板補強やリブ補強。
IV	溶接部等のクラック	①溶接による補修。
V	桁の移動	①ジャッキによる縦押し、横押し、およびジャッキアップ。 ②路線線形の変更。

補修では、事前の詳細な調査が極めて重要である。補修範囲と補修方法の決定のために、主に損傷状況と施工条件の詳細な調査が行われた。

調査は目視調査が中心であるが、変形量と移動量の計測、および溶接割れの探傷などでは、計器類が使用された。調査は、補修設計前の事前調査が原則であるが、取り合う構造物の損傷や路下条件等により、十分な事前調査が困難な場合もあり、調査・設計・施工がほぼ同時進行した例や、予備調査、詳細調査を数回実施した例も見られた。

損傷は支点付近に多く発生している。表中に示した補修は、支点付近の部位を対象に施工されたと言っても過言ではない。また、下部構造の復旧のために鋼桁を切断し復旧した例も見られた。

主桁断面の取り替えは、一般的に桁をベントで仮受けして応力解放後、損傷部位を切断・撤去して新設部材と取り替えられた。新設部材と既設部材との接合は、施工条件により高力ボルトまたは溶接で行われた。路下がベントで覆い尽くされる程大量のベントが設置された復旧現場も見られた。

主桁断面以外の部材取り替えでは、必ずしも応力の開放は行われていない。軽微な損傷でも、加熱矯正・プレス矯正による補修が困難な場合には、部材取り替で復旧した例も見られた。

主桁断面の部材取り替えによる復旧方法では以下のような特徴が見られた。

- ①健全な既設部材の再利用を図った。
- ②路下、下部構造および既設橋梁の厳しい制約を受けるため、部材の取り付けに各種の機材と設備が必要となった。
- ③切断により生じる既設部材の変形防止と、新設部材を既設部材の出来型形状に合わせる必要があった。
- ④連続桁の中間支点部など大規模な取り替えは、各種の制約条件下で応力・形状管理を行って復旧された。

箱桁の桁端部の部材取り替えと連続箱桁の中間支点部の部材取り替えの施工例を図-3.5.2、図-3.5.3に示す。

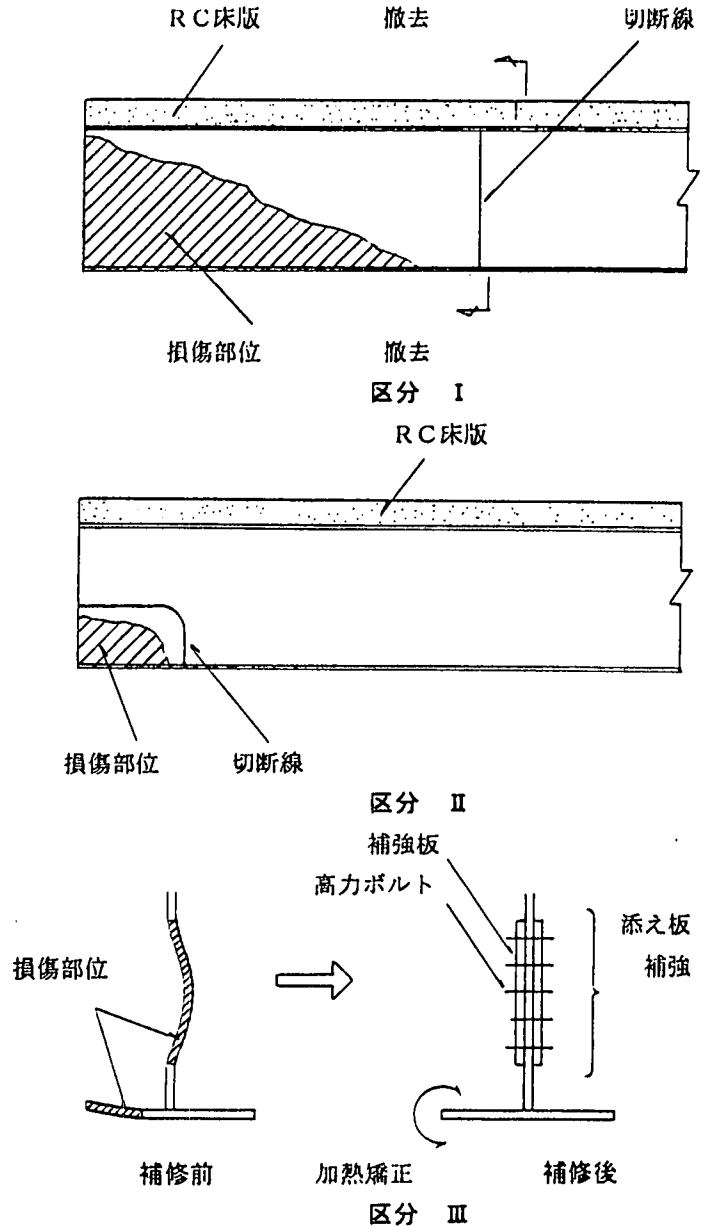


図-3.5.1 鋼桁の補修方法

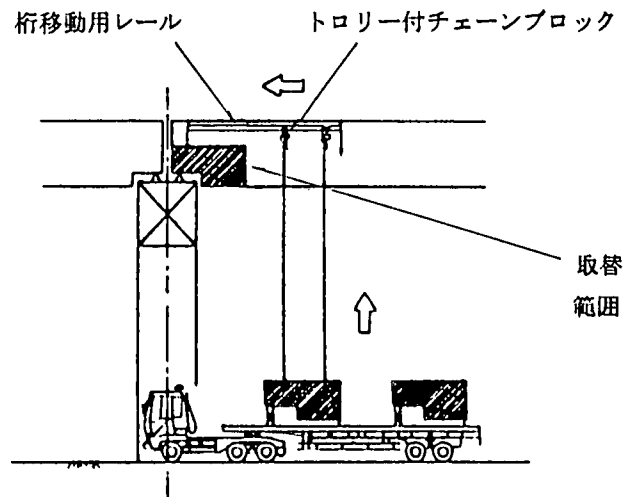
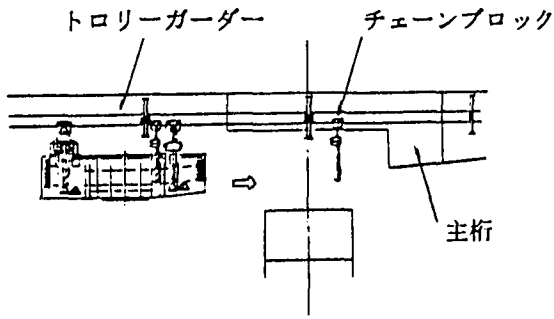
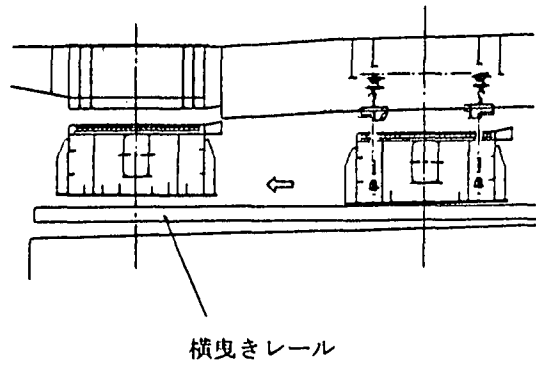


図-3.5.2 箱桁の桁端部の取り替え例



縦移動



横移動

図-3.5.3 箱桁の中間支点部の取り替え例

軽微な変形は、一般に加熱矯正・プレス矯正で補修されたが、加熱矯正の施工例を図-3.5.4に示す。移動した桁位置の復旧は、路面の「通り」、「連続性」を復元して道路機能を復旧した。桁移動は、桁自身の移動だけでなく、下部構造の変形・移動による相対的な移動も伴っている場合も多い。測量・計測により、路面の絶対位置および桁の相対位置を検討して、桁の復元位置を決定した。そのため、震災前の位置に必ずしも復旧されていない場合もある。桁の移動調整は、以下の3方向で行われた。

- ① 橋軸方向 (縦押し)
- ② 橋軸直角方向 (横押し)
- ③ 鉛直方向 (ジャッキアップ、ダウン)

桁の縦押しと横押しの実施例を図-3.5.5に示す。桁移動だけで復旧できない場合には、路線全体の線形まで変更して復旧した例も見られた。

2) RC床版の補修

床版は、鋼桁と比較して被害の程度が小さく、また量も少なかった。むしろ、鋼桁・橋脚の復旧のために、桁端の床版を切断・撤去した場合に床版を復旧した例が見られた。損傷の多くは、鋼桁と同様に桁端部付近に発生していた。損傷の種類は、コンクリートの滑落、ひび割れ、および鋼桁との剥離が見られた。補修方法は損傷の種類により次のような方法が採られた。

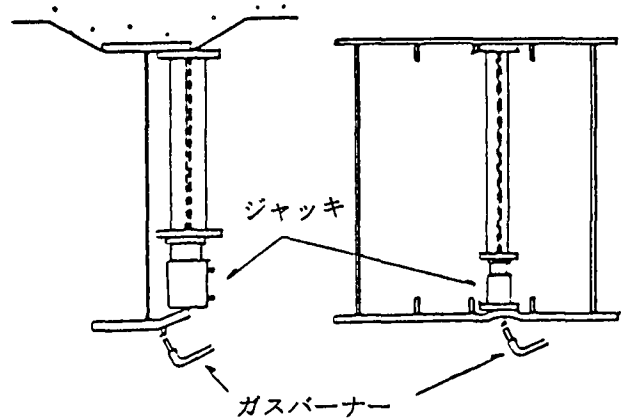
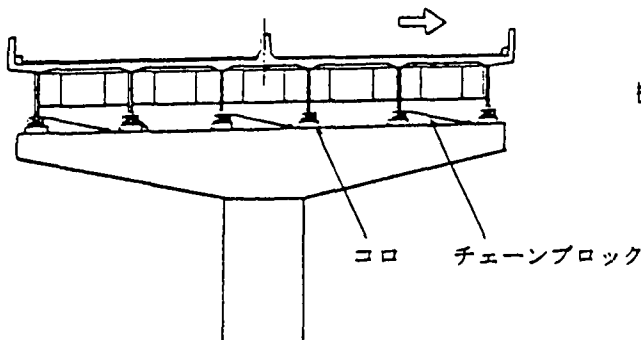
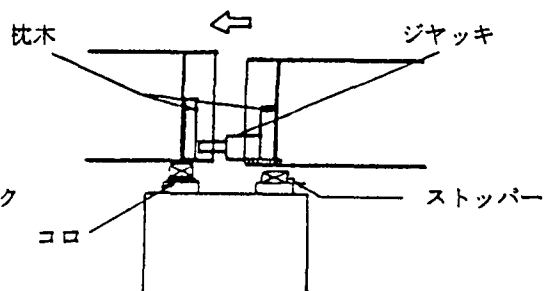


図-3.5.4 加熱矯正例



横移動



縦移動

図-3.5.5 桁位置の調整例 (1桁)

コンクリートの滑落は断面の修復が行われた。ひび割れは損傷の程度により樹脂注入、モルタル吹付および FRP 接着などの方法が採られた。鋼桁との剥離は樹脂注入で補修された。以上のように RC 床版の補修は一般に従来の方法が採られた。

特殊な例として、地震による損傷かどうかの因果関係は明確ではないが、連続非合成箱桁のスラブアンカーの破断損傷の補修例がある。補修方法は、主桁上の床版の一部をはつり、損傷破断したスラブアンカーに相当するスタッドジベルを打設し、さらに床版と主桁の剥離部に樹脂モルタルを注入して補修した。補修方法を図-3.5.6に示す。

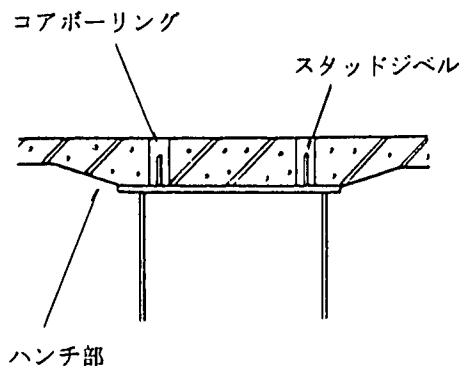


図-3.5.6 床版の補修例

(3) 補強

補強は、建設省復旧仕様に沿って行われた。各構造部材の強度を向上させると同時に、構造系全体として耐震性の向上を目指した補強を行っている例が多い。適用示方書の制定時期の違いだけを理由とした補強は基本的に行われていない。復旧で採用された補強方法を表-3.5.3に示す。なお、支承の取り替えは、支承の復旧方法の項で述べる。

鋼床版桁化では、死荷重を減すことにより基礎への負担を軽減している。桁連結化は免震・分散支承と併用して耐震性の向上を図っている。ニーブレス構造の端横桁では主桁の変形の被害が多く見られたことから、端横桁を充腹構造に取り替えた例がある。また、支点部も多く損傷を受けたためリブ等で補強した例がある。横構など二次部材は、今後の地震により損傷しても、取り替えが容易にできるため原形復旧を行っている。

表-3.5.3 鋼桁の補強方法

上部構造形式の変更	鋼床版桁化
	桁連結化
部位の形式変更	端横桁の充腹構造化
部位の補強	支点部の補強
支承の取り替え	免震・分散支承

1) 既設桁の鋼床版化

既設桁の鋼床版化と再構築による復旧方法では、工期・経済性とも顕著な差がない場合が多く、現場の施工の困難さを考慮して再構築による復旧を選択している場合が多い。そのため、既設桁の鋼床版化の実施例は少ないが、一例を以下に報告する。

現橋は、JR山陽本線を跨ぐ RC 床版を有する 3 径間連続非合成曲線箱桁である。震災により中間支点の橋脚が完全に崩壊し、主桁の一部が大きく変形する被害を受けた。当初は、上部構造を全面撤去し、鋼床版箱桁橋として再構築する案もあったが、JR 上の特殊事情もあり、現存の上部構造を再利用することになった。耐震性を向上させ下部構造への影響を低減する必要から、死荷重の軽減のため RC 床版を撤去し、現地で鋼床版化して復旧された。鋼床版桁化の概略図を図-3.5.7に、鋼床版化の要領を以下に示す。

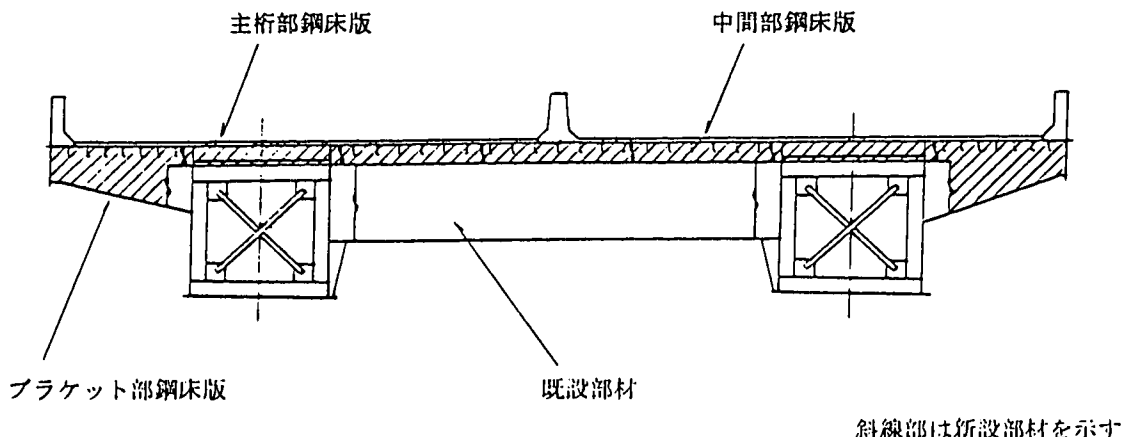


図-3.5.7 既設桁の鋼床版化例

- ①現橋の主桁に、パネル化された新設の鋼床版ブロックが搭載された。
- ②主桁上の鋼床版パネルでは、縦リブが橋軸直角方向に配置された。
- ③鋼床版と既設部材との継手は、主桁上が溶接でほかは全て高力ボルトで連結された。
- ④既設の床組部材は、横桁以外は全て撤去された。
- ⑤主桁間と張出し部の鋼床版支持のため、横リブとブラケットが新設された。
- ⑥新設の鋼床版は、床組作用のみ分担するものとして設計された。

2) 桁連結化

耐震性の向上から、単純I桁の連続する区間で可能な限り桁を連結し連続化を図って復旧した路線がある。桁の連結化は連結による落橋防止効果のほか、免震または水平力分散支承を用いて、地震時の上部構造慣性力を分散・低減させた場合もある。桁連結化の構造詳細例を図-3.5.8に、桁連結の特徴を以下に示す。

- ①既設の桁を連結するため、活荷重は連続桁で分担している。
- ②ノージョイント構造であるが、床版は不連続とし、鋼桁のみを連続化している。
- ③桁の連結は添接板とボルトが採用されている。

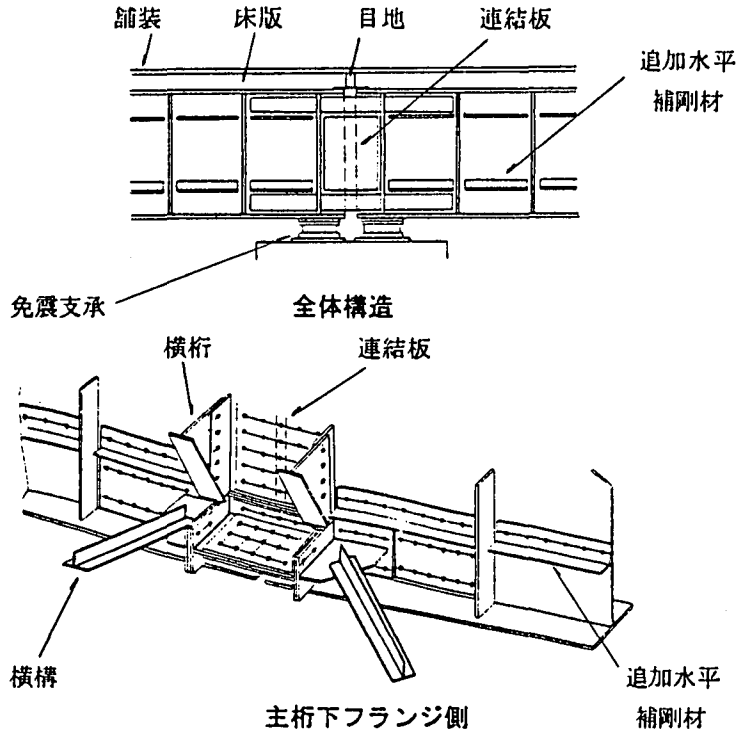
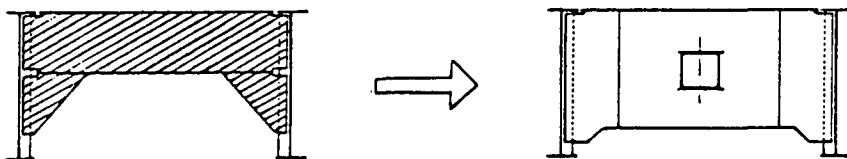


図-3.5.8 桁連結化の構造詳細例

3) 端横桁の補強

損傷が多く見られたニーブレス形式の端支点上横桁を、充腹構造とした例もある(図-3.5.9参照)。端支点上横桁を充腹構造化することで、大地震に対しても、主桁端部と横桁が損傷ないように設計している。また、同時に支点上補剛材も大地震時の照査を行い補強した場合もある。様々な損傷がある桁端部の補強のため、取り替え方法が橋梁により違いが見られた。①既設の端横桁を全て撤去して新設の充腹形式に取り替える方法、②既設の端横桁のニーブレス部のみを取り替える方法の2種類の方法が見られた。

全撤去の
取り替え例



部分撤去の
取り替え例

(斜線部は撤去部を示す)

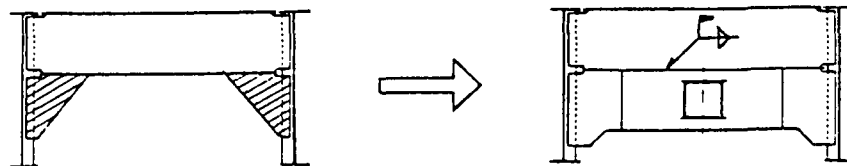


図-3.5.9 ニーブレス形式の端横桁の充腹構造化例

4) その他の補強 (図-3.5.10参照)

- ①主桁支点部の補強：支点部は損傷が多く、またゴム支承を用いた場合は平面寸法が大きくなるため、リブで補強した例や、ソールプレートの材端にテーパを設けた例もある。
- ②主桁端部の切欠き部の補強：主桁の切欠き部に变形・溶接割れ等の損傷が多く見られた。応力集中が大きい円弧形状の切欠き構造は、直角形状の切欠き構造に変更して補強した例もある。

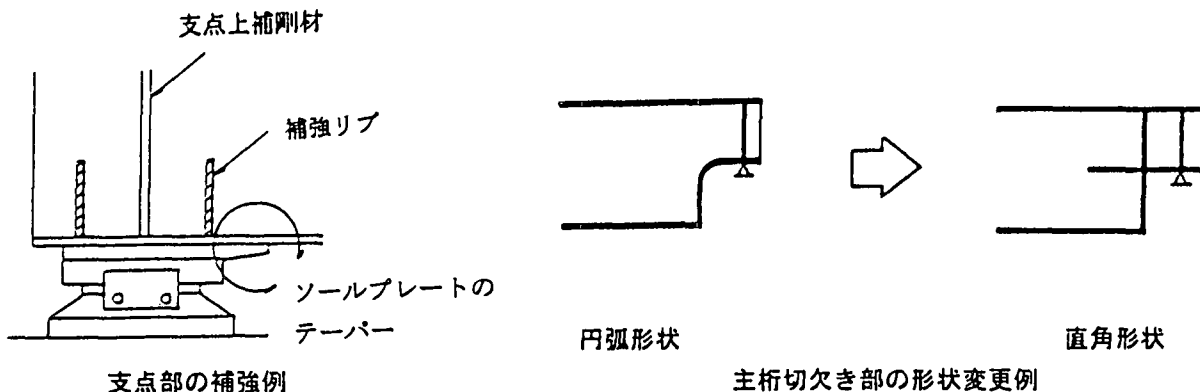


図-3.5.10 主桁端部の補強例

(4) 再構築

落橋および損傷が激しい桁はおおむね、再構築されている。再構築は、原形復旧もあるが、建設省復旧仕様に沿って以下に示す耐震性を向上して復旧した場合も多い。

- ①連続桁を採用している。
- ②免震支承の採用による免震化、または水平力分散支承の採用による地震力の分散化を行っている。
- ③鋼床版の採用により慣性力を低減している。

後者の2項目により、既存の基礎構造への慣性力の負担を軽減することで、基礎の再利用を図っている。しかし、基礎を除く下部構造は、上部構造の再構築と同時に再構築された場合も多い。再構築された鋼桁は、落橋防止構造、支承などは建設省復旧仕様に沿った構造が原則的に採用されているが、本体構造物としては、従来の鋼桁の構造と変わりはない。

再構築桁が特に連続する区間では、各種の制約条件を考慮のうえ、耐震性の向上策を取り入れて、現状の構造形式と全く異なった構造形式で復旧した場合もある。阪神高速道路3号神戸線の神戸市東灘区のピルツ構造の橋梁の崩壊区間では、コンクリート桁に替えて、免震ゴム支承を用いた9径間連続鋼床版箱桁2連で復旧されている。

また、神戸市中央区の国道2号線上の独立単柱に支持された支間30m前後の鋼I桁橋梁は、基礎を除いて全て撤去した後に、橋脚下端に免震ゴム支承を配置した19径間連続立体ラーメン橋として再構築された(図-3.5.11参照)。

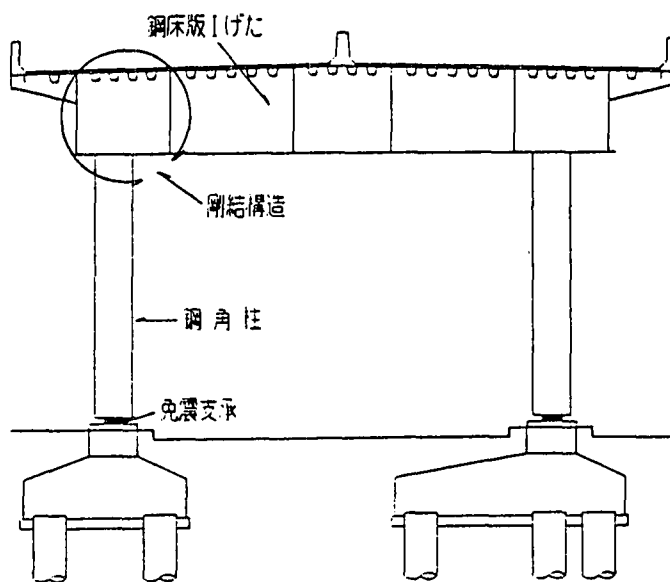


図-3.5.11 19径間連続鋼床版立体ラーメン橋

3.5.2 鋼製橋脚

(1) 概要

鋼製橋脚の本復旧は、被災度（損傷状況）の程度により撤去・再構築、補修・補強に大きく分けられるが、橋脚の耐震性の向上を図るため復旧仕様に基づいて橋脚の変形性能、じん性を向上させ、地震時保有水平耐力を確保するようになされた。被災度との関連で採用された復旧方法を整理してみると、おおむね表-3.5.4に示すとおりである。表中の被災度は道路震災対策便覧（震災復旧編）に準じて、As～Dランクに分類している。

今回の地震により大きな影響を受けた地域（川西市、宝塚市、伊丹市、尼崎市、西宮市、芦屋市、神戸市）での一般国道、高速自動車国道、阪神高速道路の調査対象区域内の被災状況の集計では、比較的損傷度が高いB以上と判定された橋脚は、355橋脚中51橋脚であり、その中で昭和46年「道路橋耐震設計指針」以前の基準が適用された橋脚において被災度がBランク以上と判定された橋脚は38橋脚を占めている¹⁹⁾。

損傷度がBランク以上の鋼製橋脚の中で座屈崩壊、および柱の局部座屈がたとえば柱断面全体にわたって大きな塑性変形が生じた橋脚においては再構築された。柱の局部座屈が断面全体、あるいは局部的に塑性変形を受けた橋脚では、補修・補強、あるいは新規部材に取り替えられた。また、大きく傾斜した橋脚で上部構造の修復だけでは路面の線形が修復できない場合は撤去・再構築された場合もある。

鋼製橋脚の再構築においては、既存の基部アンカーボルトを使用するため原形状に復旧することを基本としたが必要に応じてアンカー基部の補強もなされた。

補修された橋脚、および損傷を受けなかった橋脚に対しては、旧道路橋示方書で設計・施工され、補剛板の応力が現行の道路橋示方書の許容応力を満足していない場合には、応力を満足させると同時に補剛板の幅厚比パラメータ、縦補剛材の幅厚比パラメータ、および必要剛比を満足するように補剛板に対してはカバープレート、既設の縦リブに対してリブ補強が施された後、必要に応じて柱内部にコンクリートが充填された。

一方、大きく損傷したRC橋脚の再構築にあたって基礎への負担を軽減すること、地震時の慣性力を緩和すること、および現場の工期短縮を目的として、鋼製橋脚に構造変更されたRC柱-鋼製複合橋脚として再構築されたものもある。

表-3.5.4 被災度と復旧方法

被災度	復旧方法
As	再構築
A	再構築、補修、補強
B	再構築、補修、補強
C	補修、補強
D	補強

(2) 柱・梁の補修

補修では、現地調査によって損傷部の確認を行い、経済性、損傷の程度、架設条件、工程上の制約条件などを考慮して補修方針が決定された。

補修方法は、加熱矯正、およびジャッキを用いたプレス矯正による軽微な補修から、柱断面全体の座屈、あるいは、柱角溶接部の亀裂もしくは溶接部の破断による柱断面部材の取り替えの補修まで多種多様である。鋼製橋脚の損傷と補修方法との関係を表-3.5.5に示す。

損傷区分Iは、修復限界を超えているものであり、多くの場合損傷部位を輪切り状に切断・除去し新規部材に取り替えて補修された。

施工手順は以下の要領で行われた。図-3.5.12に部材の取り替え要領を示す。

- ① 詳細な調査結果にもとづき、切断箇所を決定し、補修要領を作成する。
- ② けた反力を支持する桁受けペント、および橋脚を支持する脚受けペントを設置し、損傷部の応力を除去する。なお、けた受けペント位置は、けた補修を考慮して計画する。
- ③ 損傷部位を輪切り状に切断し、撤去する。
- ④ 梁部を所定の位置より少し持ち上げる。
- ⑤ 新たに製作した部材を所定の位置に据え、溶接、または高力ボルトにて接合する。

施工に際して、柱部の倒れ、およびねじれ等の変形は、できるだけ計画位置に復旧するよう新規部材寸法を計画し、施工された。

表-3.5.5 鋼製橋脚の補修方法

区分	損傷の度合い	補修方法
I	柱の局部座屈による大きな塑性変形が広範囲にわたって生じた、あるいは角溶接部の破断、変形を伴うもの。	①損傷部を含む脚柱の一部を、全断面、切断・撤去して、新規部材と取り替える方法（部分的な再構築）。 ②新旧部材の接合は高力ボルト接合または溶接接合。
II	柱の局部座屈による大きな塑性変形が部分的に生じたもの。	①損傷部を含む補剛パネルを局部的に切断して新規部材に取り替える方法。 ②新旧部材の接合は溶接接合。
III	柱、および梁の局部座屈や部材の変形（へこみもしくはふくらみ）が局部的かつ軽微なもの。 梁部、および隅角部の部分的な溶接割れ、本体の亀裂。 マンホール近傍の部分的な本体の亀裂。	①加熱矯正、およびジャッキを用いたプレス矯正する方法。 ②損傷部を矯正した後、補強リブ、あるいは添板により補強を行った場合もある。 ③美観を考慮して加熱矯正、およびジャッキを用いてプレス矯正を行った場合もある。 ④溶接による補修、小型部材の取り替え。
IV	橋脚が傾斜したもの。	①傾斜復元のための補修工事は一般的に行われなかったが、柱部の損傷部位の取り替え時に建ち調整を行ったり、柱基部にて建ち調整を行い、橋脚の傾斜を矯正した場合もある。

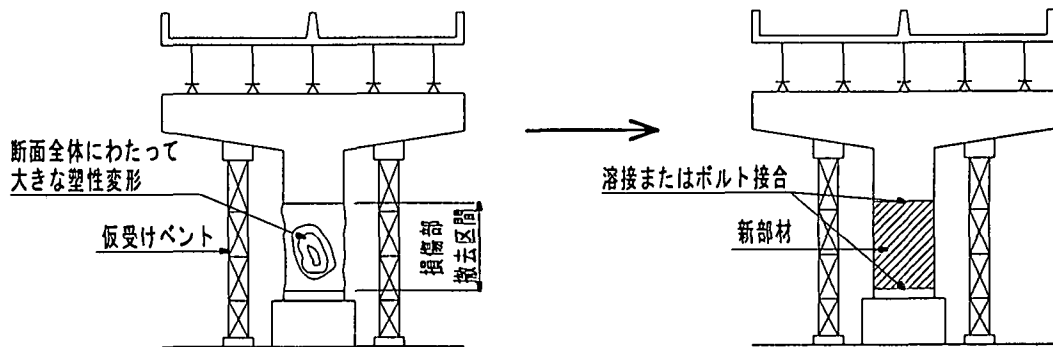


図-3.5.12 柱部材の取り替え方法

損傷区分 I において立地条件で桁受けベントの設置が困難なため輪切り状の部分取り替えによる補修ができない場合、図-3.5.13 に示すように塑性変形した断面性能を無視し追加されたリブ部材断面で現状の断面性能を満足するように補修された場合もある。

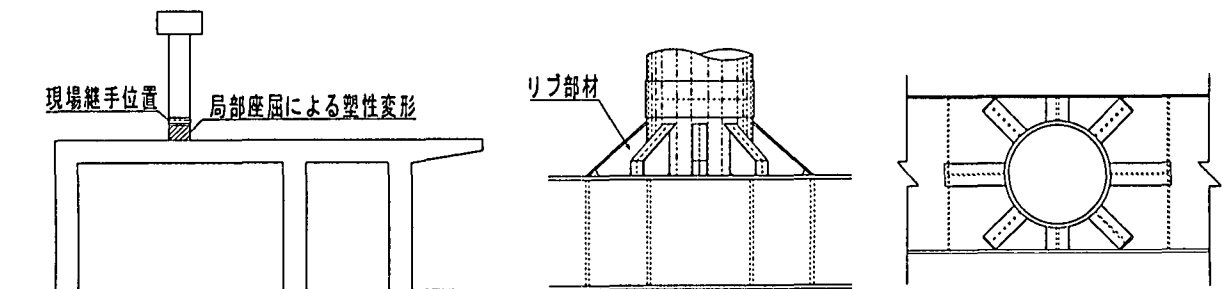


図-3.5.13 リブ部材による補修

損傷区分Ⅱは、補剛パネルの一部が許容値以上の塑性変形を生じた場合で、損傷部位を含む補剛パネルを局部的に切断して新しい部材に溶接接合にて取り替えられた。損傷部位の取り替えは、区分Ⅰと同様に上部の鋼けた、および橋脚の自重をベントで支持して取り替えられた。ベントの設置が困難な場合には、図-3.5.14 に示すように損傷部位にバイパス補強を行い、バイパス部材に鉛直荷重を分担させた後、損傷部位の取り替えが行われた場合もある。補剛パネルの座屈変形が比較的狭い範囲においては図-3.5.15 に示すように加熱矯正、あるいはジャッキを用いたプレス補強が行われた。

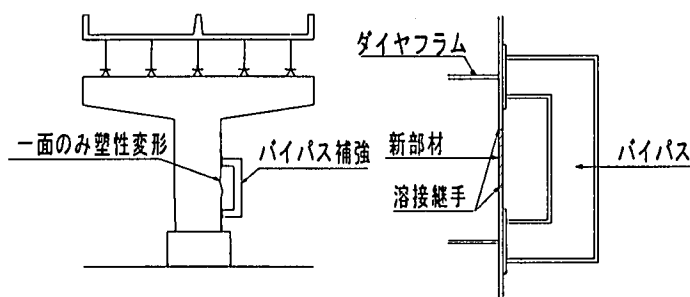


図-3.5.14 バイパスによる補強

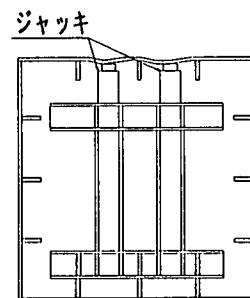


図-3.5.15 ジャッキを用いたプレス補強

加熱矯正により補修した箇所は、一度塑性域までの応力履歴を受けており、加熱による硬化もあることから、元の材料と全く同等の強度とは言いがたい。このため、補修部に縦リブ、または鋼板を追加し補強した場合もある。縦リブは、既設の縦リブに補強リブを溶接にて接合されたり、縦リブ間に補強リブを柱部材に溶接にて直接取り付けられた。鋼板による補強は、矩形断面、および円形断面とも外面に補強され、美観を考慮して溶接接合にて取り付けられた。鋼板による取り付け方法は、図-3.5.16 に示すようにスポット溶接、短冊状の鋼板、あるいは鋼板にスリットを設けた櫛状の鋼板が溶接にて取り付けられた。

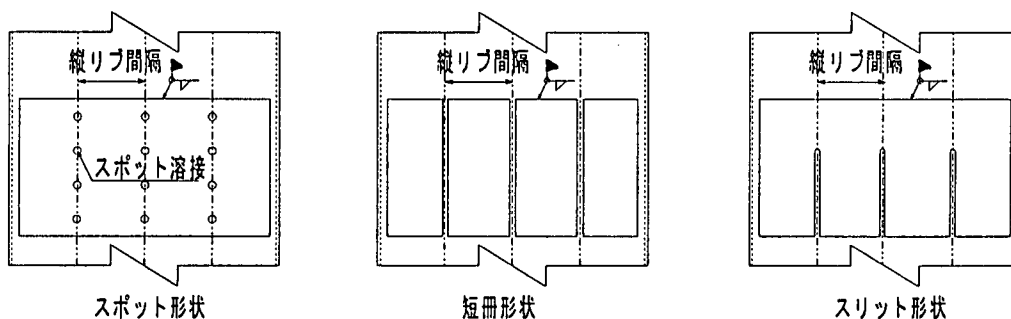


図-3.5.16 追加鋼板の取り付け方法

損傷区分Ⅲは、柱部材で許容値以下の変形に対しては、構造的に問題がないことから補修は行われなかったが、美観上の理由から加熱矯正により変形を修復した場合もあった。

梁部に生じた座屈変形に対しては、加熱矯正、あるいはジャッキを用いたプレス矯正が行われた。変形箇所を矯正した後、添板を高力ボルトで取り付けることにより補強されたものもある。また、梁部の天端においては鋼製支承が破損したことによって上部工の落下による天端の損傷、沓座（ベースプレート）と天端との溶接部の亀裂による損傷が多く発生した。これらの損傷は加熱矯正、ジャッキを用いたプレス矯正、あるいは溶接により補修されたか、損傷部の鋼板を溶接接合にて取り替えた。

隅角部の部分的な溶接割れに対しては、グラインダーで溶接割れを除去した後溶接による補修が行われた。隅角部の部分的な溶接割れ、および本体に亀裂が生じた場合は、溶接割れと亀裂部分を含めて除去した後、部分的に新規部材に取り替えられた。

損傷区分Ⅳの橋脚が傾斜した場合は、復元のための補修は一般的に行われなかった。ただし、柱の損傷区分Ⅰの場合の補修時において、根巻コンクリートを撤去し、アンカーボルトの引張検査を行い、アンカーボルトの健全度を確認した後、アンカーボルトのナットを取り外して、脚受けベント上のジャッキ操作により傾きの修正が行われた。

(3) 柱部の補強

鋼製橋脚の耐震性の向上を図るため、既設（損傷を受けなかった橋脚を含む）、および再構築の橋脚に対しては復旧仕様に基づき、地震時保有水平耐力照査が実施され、照査結果、所要の耐力・じん性が不足している場合には、以下に示すような補強が講じられた橋脚もある。

①橋脚の柱内部にコンクリートを充填する。

②橋脚の柱の断面を増加するとともに、補剛板の幅厚比、縦リブ剛性を厳しく制限する（特に、再構築された橋脚）。

③柱の内面、あるいは、外面に補剛用縦リブを追加する（特に、既設の橋脚、および円形断面の橋脚）。

なお、損傷を受けなかった橋脚で、旧道路橋示方書で設計・施工され、補剛板の応力が現行の道路橋示方書の許容応力を満足していない場合には、現行の道路橋示方書を満足するように、縦リブ、あるいは補強カバープレートで補強された橋脚もある。

コンクリートの充填高さの目安としては、図-3.5.17に示すよう鋼単独断面が地震時に弾塑性挙動を行う範囲に充填された¹³⁾。また、コンクリートの充填量によって既存のアンカー一部に過大な負担を与える場合には、補強用リブ、補強カバープレートにて補強された場合もあった。

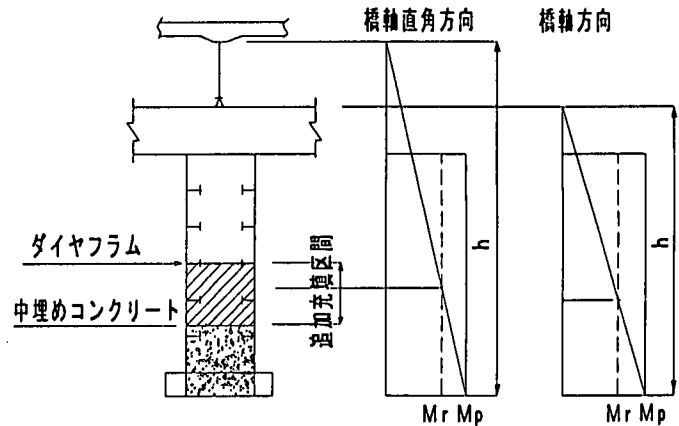


図-3.5.17 コンクリート充填高さ

(4) アンカーボルト、および基部の補修・補強

アンカーボルト、および基部の損傷としては、アンカーボルトの残留延び、フーチングそのものの傾き、およびフーチングコンクリートのひび割れなどが挙げられる。

アンカーボルトの損傷を調べるためアンカーボルトの延びが計測された。計測されたアンカーボルトの延び量は多くても 2~3%程度であり、アンカーボルトそのものの耐力には問題が少ない場合がほとんどであった。このため、アンカーボルトに対する補修・補強は特に行わず、ほとんどの場合は、ナットの増し締めのみが実施された。

今回の震災でアンカーボルトが破断した橋脚が 1 基あった。柱基部付近には大きくはないが座屈している箇所が見られ、根巻きコンクリートを撤去し基部の点検を行った結果、アンカーボルトが破断していた。このためフーチング内の既設のアンカーフレームを撤去することにより新設のアンカーフレームに据え替えられた¹⁴⁾。

アンカーボルトに損傷はないが、橋脚基部の柱断面に比べてアンカーボルト部分の保有水平耐力が小さい場合、基部の耐力の向上を図るために、既設のアンカーボルトの外面に、新設のアンカーボルト（後打ち）を増設・設置、あるいは、基部に頬杖構造の支柱により耐力増の措置が講じられた場合もある。その一例を図-3.5.18、および図-3.5.19 に示す。図-3.5.18 は、橋脚が再構築され

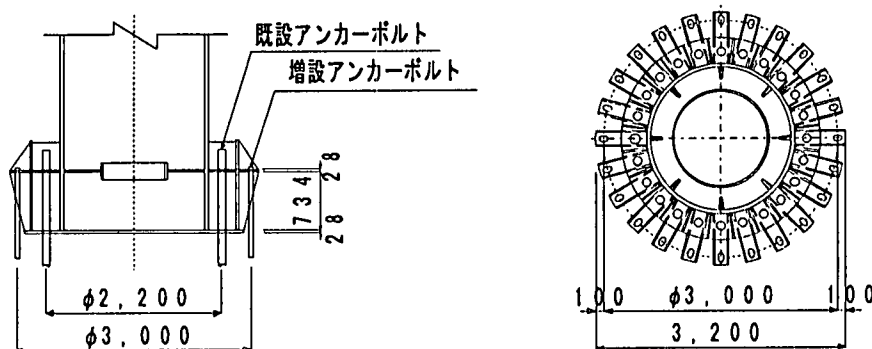


図-3.5.18 アンカーボルト増設の一例

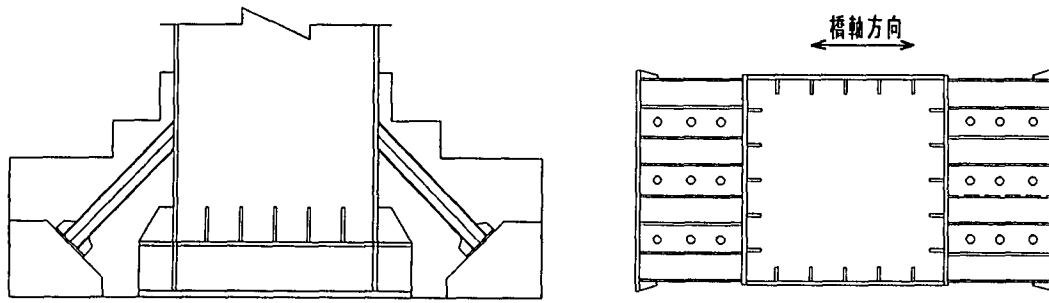


図-3.5.19 頬杖による補強の一例

たものであり、増設アンカーボルトにはD51の鉄筋を使用している。また、フーチングへの定着は、樹脂アンカーを用いて定着した。図-3.5.19は、橋脚が再利用されたものであり、根巻きコンクリート内での処理が可能ため地震保有水平耐力が不足する橋軸方向にのみ柱から頬杖構造の支柱が設置され、フーチング天端にコンクリート架台を設けることにより支柱からの反力を支持した。

(5) 橋脚の再構築

撤去された鋼製橋脚の再構築にあたっては、鋼製橋脚で復元されたが再構築において耐震性向上を図ることにより基礎構造、およびフーチングの補修・補強を行うことは非常に困難であることからできる限り基礎構造（基部アンカーボルトを含む）等は既設のものを利用する工夫がなされた。また、再構築において全て再製作されたものもあるが、梁部等は工場に持ち帰り内部補強を行ったり、隅角部の大きな部材で輸送が不可の場合は工事用占用帯内で補強を行うなどしてできる限り再利用が図られた。

ラーメン橋脚の隅角部に脆性破壊が生じた橋脚では、材質の化学分析、溶接部のマクロ試験等が行われ特に問題はなかった。ハーバーハイウェイの鋼製橋脚では、図-3.5.20に示す箇所に亀裂が発生し¹³⁾、梁の先端、および柱の基部の一部以外全て再構築された。再構築において、図-3.5.21に示すように隅角部をシャイベ構造、およびコーナプレート補強による構造変更がなされた。神戸高速鉄道東西線の生田架道橋では、外径800mm（直管部）、肉厚40mmの鋳鋼管（破断部の肉厚は68~72mm）で脆性破壊が生じ、全て再構築された。再構築において、材質をSCW-410CF相当からSCW-490CFに変更するとともに内部を鉄筋コンクリートで補強する構造に変更された。

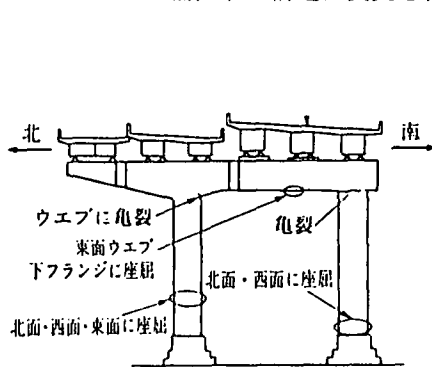


図-5.3.20 隅角部の亀裂

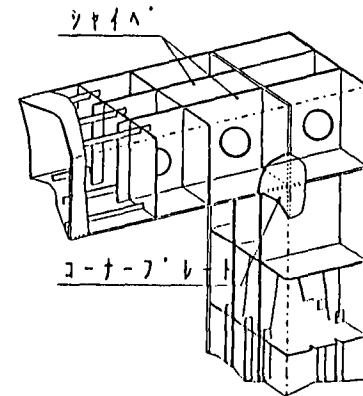
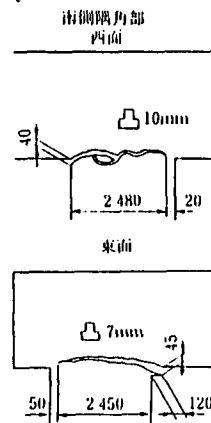


図-5.3.21 隅角部の構造変更

基礎構造への負担を軽減すること、および地震時の慣性力を緩和することを目的として、大きく損傷したRC橋脚の再構築にあたって鋼製橋脚に構造変更して再構築されたものがある。その際、既存の基礎構造、およびフーチングを再利用したケースが多く、どの部位から鋼製橋脚に変更するかによって、以下の3種類の方法が採用された。図-3.5.22に3種類の概念図を示す。

- ①基礎構造・フーチングの直上から鋼製橋脚として再構築する。
- ②柱の下部をRC構造、上部を鋼構造で再構築する。すなわち、脚柱の中間部でRC構造と鋼構造を接合する。
- ③柱部をRC構造で再構築し、橋脚の梁部のみ鋼構造とする。すなわち、隅角部で接合する。

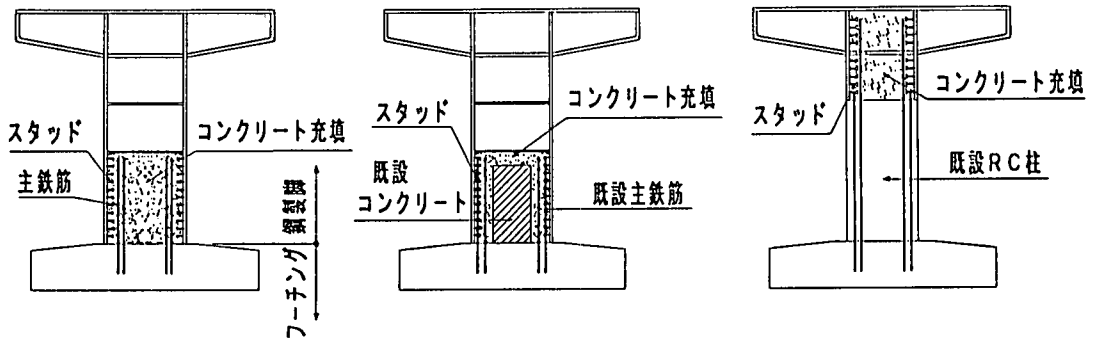


図-3.5.22 RC橋脚の再構築における鋼構造の適用

①の方法は、既設のRC橋脚をフーチングのすぐ上で切断・全面撤去し、フーチングの既存鉄筋（RC柱の軸方向鉄筋）に新たな鉄筋を接合し、これらを新設の鋼製橋脚の柱内部に差し込み、この部位にコンクリートを充填してフーチングと鋼製橋脚とを結合させたものである。耐力が不足する場合は、必要に応じてフーチングに後打ちの増しアンカー鉄筋を設置している。

②の方法は、既設のRC柱を基部から高さ1mの位置で切断し、主鉄筋がでるまでコンクリート外面をはつり、これに鋼製側柱部を被せ、鋼製側柱内側のスタッドジベルをRC柱の第1主鉄筋に絡ませるように設置し、RC柱と側板との隙間にコンクリートを充填して両者を接合するものである。側柱基部における鉛直反力は、鋼製脚基部のベースプレートで受け持たせ、曲げモーメントはスタッドジベルを介してRC柱に伝えるものである。

③の方法は、フーチングの既設鉄筋（RC柱の軸方向鉄筋）を利用して、再度、RC柱を構築し、これに鋼製の横ばりを被せ、柱と横ばりの交差部（隅角部）内のコンクリートを充填することで両者を結合するものである。柱部は引張側コンクリートを無視したRC柱とし、隅角部は通常の鋼製橋脚と同じせん断遅れの影響を考慮している。隅角部と鉄筋コンクリートの接合部は、応力の急変を緩和し、コンクリートの圧壊を防止する目的で鋼製を梁真下の柱断面を鋼板で50cm程度巻く構造としている。この方法は、阪神高速道路3号神戸線で多く採用された複合橋脚であり、図-3.5.23に構造詳細を示す。

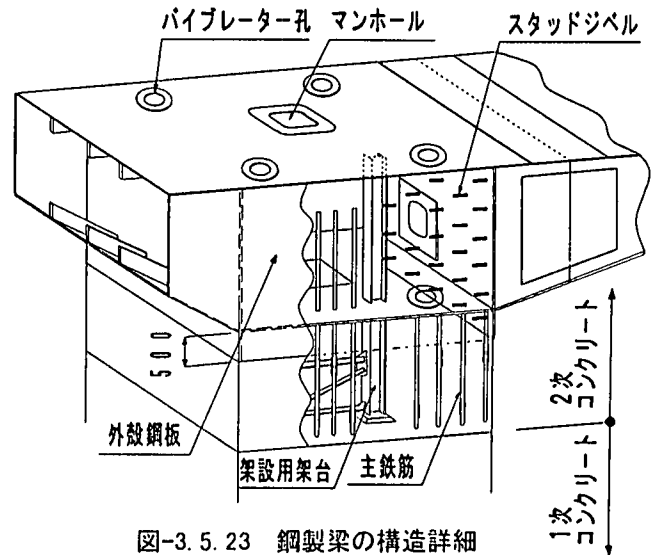
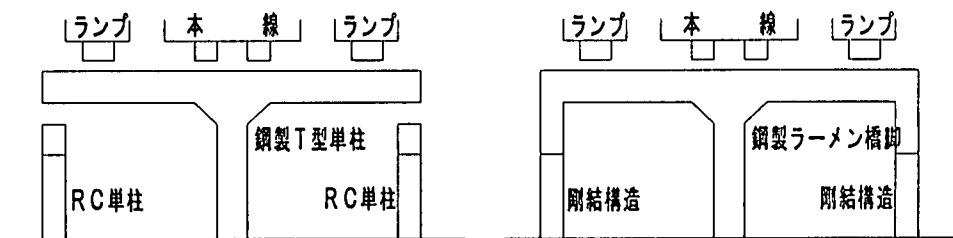


図-3.5.23 鋼製梁の構造詳細

また、RC柱の断面を大きくせざるを得なかったことから、RC柱の柱の上部にアンカーフレームを埋設し、通常アンカーボルト形式で、RC柱と鋼構造（ただし、柱の一部と横ばり）を接合した例もある。

構造系を変更し不静定次数を増すことによって局部座屈に起因する全体座屈を防止するため構造変更されたものもある。阪神高速道路3号神戸線建石地区で基礎の安全性を確認した後、図-3.5.24に示すように鋼製T型単柱とその梁端部を支えるRC柱がヒンジで結合された特殊門形橋脚から上述の②の方法でRC単柱を鋼製橋脚に変更することで鋼製2径間ラーメン橋脚に構造変更された¹⁴⁾。



(a) 震災前

(b) 震災後

図-3.5.24 構造変更による再構築

3.5.3 支承

鋼げたの大部分は鋼製の支承で支持されていたが、地震により支承も甚大な被害を受けた。なかでもけた端の回転のみを許容し、水平力を下部工へ伝達する固定支承については、極めて大きな地震力が作用したことにより被害が激しかった。また、この支承の崩壊・破損が、鋼げたの縦移動・横移動、および主げたの端部の損傷を招いた大きな要因ともなっている。支承の本復旧に際しては、これらの教訓も踏まえて、鋼製支承からゴム支承（免震ゴム支承、水平反力分散ゴム支承、固定/可動ゴム支承、あるいは密閉ゴム支承など）に取り替えた例が多々あった（図-3.5.25参照）。しかしながら、径間割りの不規則な箇所連続化や新型遮音壁による風荷重の見直し等により負反力が生じる支点、および大反力となる大型橋梁ではゴム支承では耐え得ないため、依然として鋼製支承（例えば、ピボット支承、ピボットローラー支承、大型の支承板支承など）で復旧された場合も多い。ただし、その際、各部品品の強度を可能な限りアップさせている。

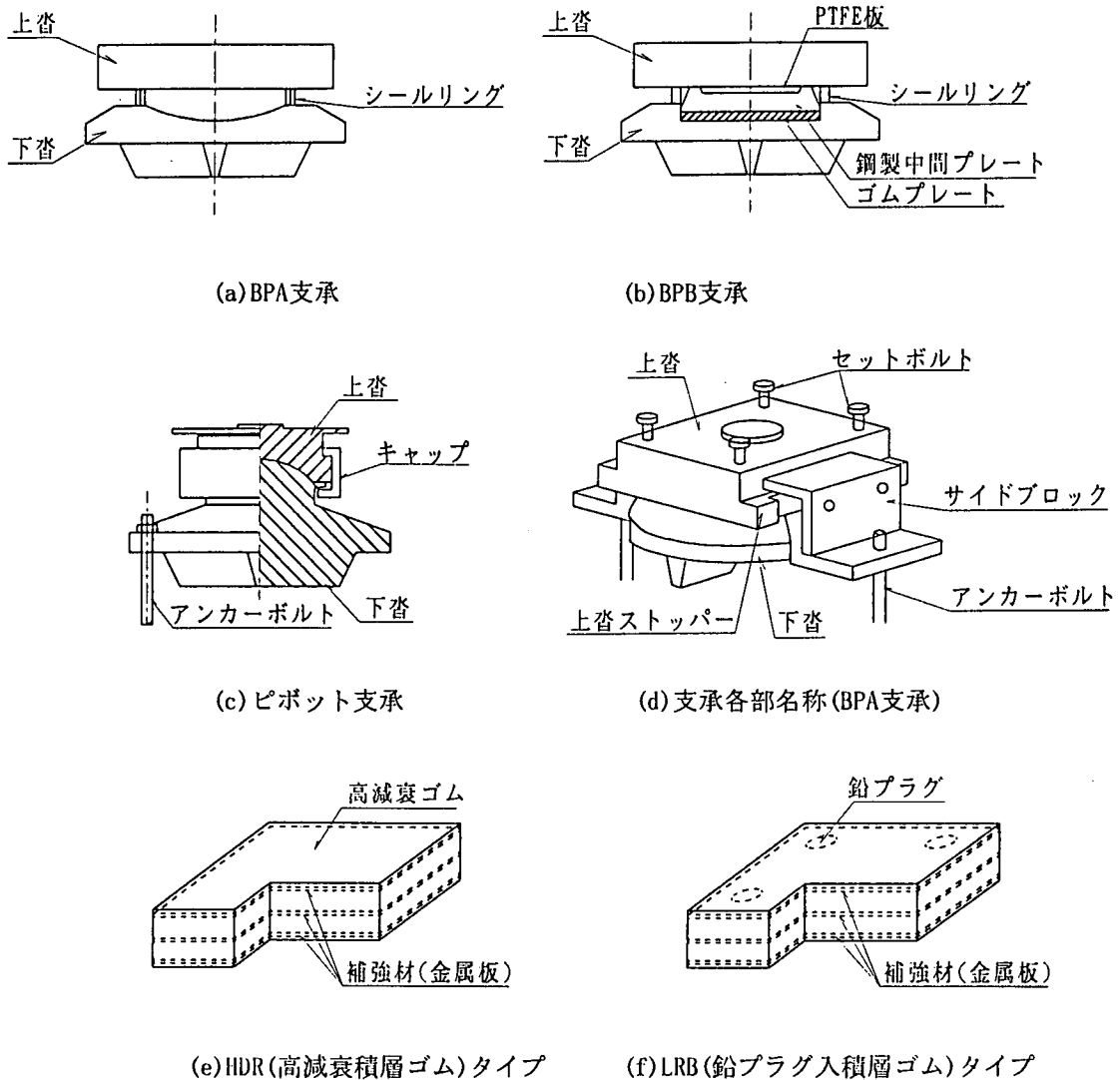


図-3.5.25 支承の機構概要

支承の補修は、破損したセットボルトの取り替え、移動制限装置の取り替えなどの部分的な補修から、主げたをジャッキアップしての上沓部の取り替え、支承全体の取り替えなどまで被災状況に応じて種々の方法が採用された。また、特にゴム支承を採用した場合には、既設のソールプレートの取り替えや新たな

ソールプレートの追加などの措置も講じられた。復旧仕様では、免震設計を行なうことを推奨しており、耐震性の向上という観点から鋼製支承を免震ゴム支承（あるいは水平反力分散ゴム支承）に取り替えた場合も多い。

支承の損傷に伴い、沓座コンクリートのひび割れ・滑落およびアンカーボルトの異常な伸びも数多く観察されている。RC橋脚上の沓座で比較的健全なものについては、樹脂モルタル注入、およびアンカーボルトのナットの締め直しなどの簡易な修復がなされた。しかしながら、主げたが縦移動または横移動を起こしている場合、および従来の鋼製支承を設置面積の大きいゴム支承に取り替える場合などでは、既設のアンカーボルト、および増し打ちアンカーボルトの上端にベースプレートを溶接し、この上に支承の下沓を溶接・固定する構造変更が一般的に採用された（図-3.5.26(a)参照）。この際、地震時水平力に対処するために、ベースプレート下面にスタッドを設置している場合もある。なお、これらの作業は主げたのジャッキアップを行なって実施されている。また、橋脚が橋軸直角方向に傾斜を生じている場合には、上記のベースプレート上に鋼製の沓座を設置し、この上に支承を固定することで路面高さを確保・調整することも行なわれた（図-3.5.26(b)参照）。橋脚が鋼製の場合も、上記と同様の復旧がなされているが、修復作業は現場溶接によって行なわれた。

表-3.5.6に支承の被災度の判定方法と本復旧方法についてまとめてみた。おおむね本表に従って本復旧が行われたと考えてよい。

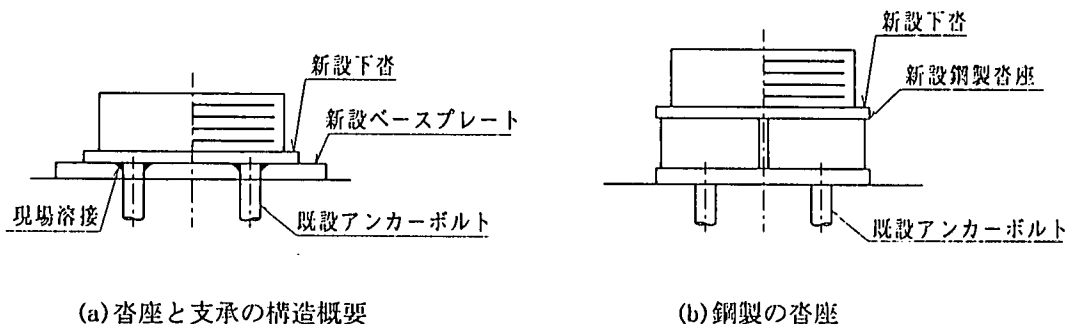


図-3.5.26 沓座の復旧（一例）

表-3.5.6 主な支承各部における被災判定と本復旧方法

	被災判定			本復旧方法
	C (小被害)	B (中被害)	A (大被害)	
上沓・下沓鋳物部	上沓の変形 下沓の変形・破断	—	—	沓の全体取り替え
セットボルト	セットボルトの ゆるみ	セットボルトの 破断	セットボルトの 破断やソールプレ ート等の被害	セットボルトの取り替え 軽微なものは締め直し
上沓ストッパー サイドブロック	上沓ストッパーの きれつやサイドブ ロックの変形	上沓ストッパーの 破断やサイドブ ロック止めボルトの 破断	—	取り替えあるいは移動制 限代替装置の設置
アンカーボルト	アンカーボルトの 拔出し(1cm以下)	アンカーボルトの 拔出し(1cm以上)	アンカーボルトの 破断	取り替えもしくはガス切 断・ボルト溶接
沓座モルタル/ 沓座コンクリート	沓座モルタル/沓 座コンクリートの きれつ	沓座モルタル、沓 座コンクリートの 破壊(軽微)	沓座コンクリート の破壊	樹脂注入、巻き立て補 強、全面打ち換え

以下に具体的な事例について説明を加える。

1) 鋼製支承の部分的補修事例

本事例は、六甲ライナーの場合である。本区間では鋼製橋脚および鋼単純げたが多く、掛け違い部のけたは切り欠き構造となっている。けたは1箱げたであるが下フランジ端から耳縦げたまで化粧板が設置されており外側からの支承の観察は不可能であったため、損傷調査に当たっては鋼製橋脚から箱げた内に入り実施した。本区間の支承はBPA支承である。代表的な形状を図-3.5.27に示す。

被害調査結果では総じて可動側は無傷であり、被害は固定側に集中していた。ほとんど全ての固定支承について上沓のツメ（ストッパー）が過大な水平力を受けて変形していた。また、上沓のセットボルトについても固定支承ではかなりのものが脆性的な破断面を呈して、あるいは引張試験片のようなくびれを伴って破断をしていた。復旧方法としては、早期現状復帰を目標としていたことから、上沓のツメまで被災したものについては図中☆印の部材を新品と交換した。また、数は少ないがセットボルトの被害だけですんだものについてはセットボルトの交換のみを行った。

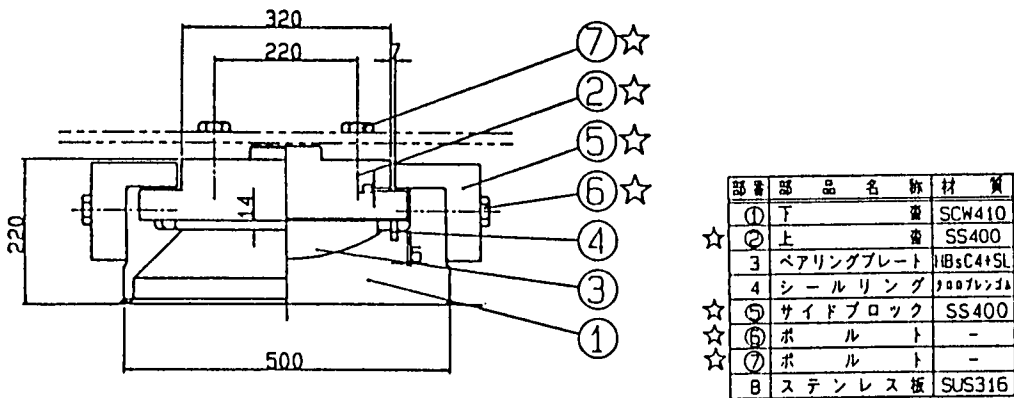


図-3.5.27 部分補修の支承例

2) 鋼製支承の取り替え事例

本事例は、阪神高速3号神戸線の3径間連続鋼床版箱げたの場合であるが、本橋では中間支点がピン支承となっていた。地震力が橋軸直角方向に作用したためピンがはずれたが鋼製ラーメン橋脚上にランディングした。このとき、上沓は梁上フランジを突き破り、橋脚上に残った下沓は箱げた下フランジを突き破った。主げた及び橋脚については剛性保持材の設置や反力管理下でのジャッキアップなどを実施し特徴ある補修工事を実施している。支承の補修に当たっては、下記の手順で支承の取り替えを行った。なお、取り替えに当たっては支承の形状がまったく変わったことからソールプレート、ベースプレート及び調整プレートも全て新作部材と交換した。

- a) 水平反力分散支承としての支点条件で橋脚の耐荷力を照査する。
- b) 橋脚の耐荷力が不足する場合は支点条件を変えずに可動/固定ゴム支承あるいはBPB支承の採用を検討する。
- c) ピン支承に比較して支承高がかなり小さくなるため、橋脚天端に箱形の座を設置する。

この事例の場合は、橋脚の耐荷力に問題が生じたためBPB支承への取り替えとなった。補修前の支承形状ならびに補修後の支承形状を図-3.5.28に示す。

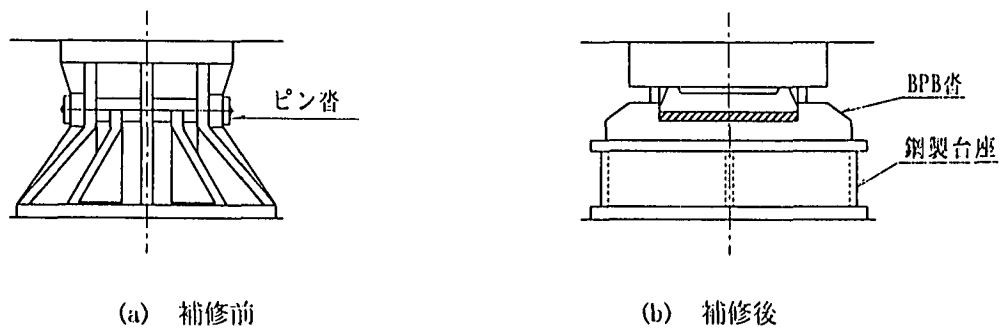


図-3.5.28 鋼製支承のゴム支承への取り替え

3) ゴム支承への取り替え事例

本事例は浜手バイパスの場合を示す。本区間の上部工は1箱げた鋼床版橋であり、けたの被災度ランクはB、C、Dであったので補修・補強して再利用することとなった。一方、支承についてはけたと橋脚の移動のため上沓が割れたりローラーがはずれて下沓の上にけたが落下したりし、いわゆるヒューズとしての役割を果たした形で破損した例が多く見られた。支承の復旧に当たっては基本的に復旧仕様に基つき鋼製支承から免震ゴム支承に取り替えた。ただし、支承の減衰効果による慣性力の低減は行わないものとした。なお、負反力に対しては次のような考え方で設計を行った。

a) 常時で負反力が生じる支承はゴム支承の機能上問題があるため、負反力が生じない位置へ支承位置を移動する。本例では1箱げた2支承形式が多く、負反力が生じない側の支承を橋軸直角方向へアウトリガーを出すように移動し設置することで負反力がでないようにバランスを調整している。(図-3.5.29 参照)

b) 風荷重作用時に負反力が生じる場合、ゴム体の引張応力度が $10\text{kgf}/\text{cm}^2$ 未満の場合は支承のゴム体で対応し、それ以上の場合は支承に上揚力止め金具を設置する。

c) 道路橋示方書による負反力式において負反力が生じる場合もb)と同じ対応をする。

なお、いずれの場合においても、アウトリガーの追加や支点上補剛材の追加、あるいはソールプレート等の取り替えなど主げた側の補強も併せてなされた。

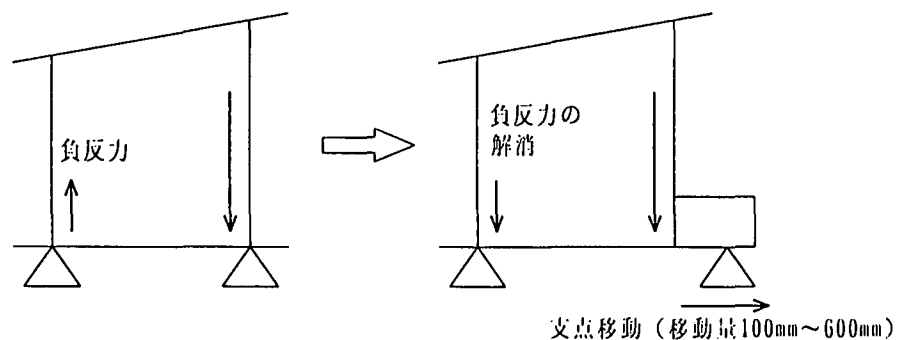


図-3.5.29 支承位置の移動

3.5.4 落橋防止システム

(1) 概要

落橋防止システムの本復旧は、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係る仕様・平成7年2月」（以下復旧仕様と言う）の「9. 落橋防止構造」に従ってなされた。

復旧仕様・9. 落橋防止構造では、

1) 道路橋示方書V耐震設計編7.2.1の規定に従い、けた端から下部構造頂部縁端までのけたの長さ S_E を確保すると同時に、落橋防止装置を設ける。なお、橋脚の両側の支間長が異なる場合には、大きい方の支間に基づいて S_E の値を算出する。

2) 落橋防止装置は、道路橋示方書V耐震設計編7.2.1に規定するけたと下部構造を連結する構造、けたまたは下部構造に突起を設ける構造、2連のけたを相互に連結する構造のうち、複数を併用することが望ましい。また、落橋防止装置は橋脚からの橋げたの落下を防止できる強度を有するものとする。

3) 落橋防止装置は、これに作用する橋軸方向、橋軸直角方向の地震力に対して所要の強度とねばりが発揮できるように、装置本体だけでなく、これを取り付けるけたおよび下部構造側の構造にも留意しなければならない。また、落橋防止装置は、衝撃的に作用する力を吸収出来る構造としなければならない。と規定されている。

すなわち、けた掛かり長 S_E の確保と落橋防止装置（下部工と連結する方法、突起による方法、けた同士を連結する方法のうち複数の組み合わせ）を行うこととなった。このながれの原則的フローを図-3.5.30に示す。しかし、現実には過去の基準で設計されたものに、この仕様を全て適用するのが困難なケースもあり、適用の細部は、必ずしも統一されたものとなっていないのが現状である。

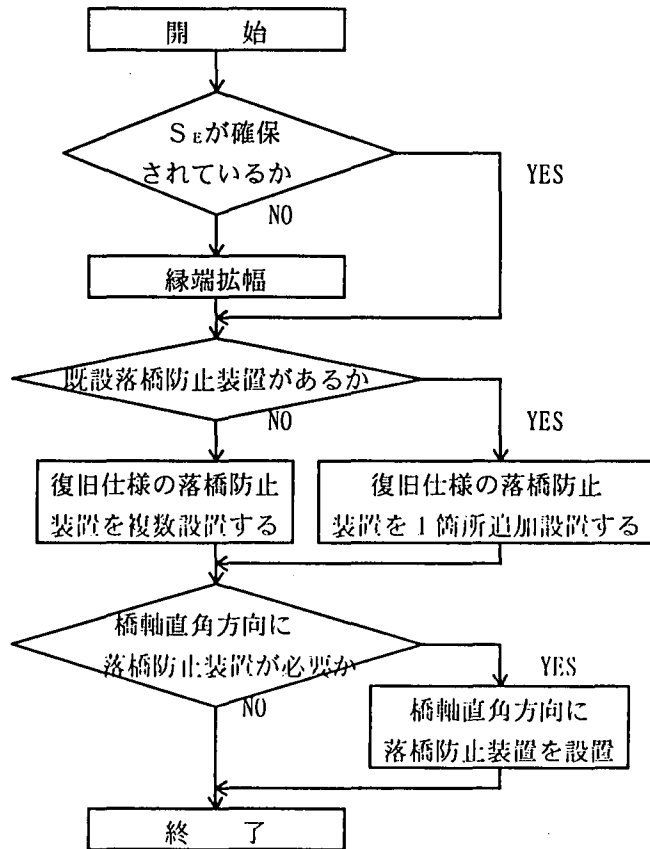


図-3.5.30 落橋防止構造の設計のながれ

(2) 桁掛かり長さの改善

上部工けた端部は、今回の震災で被害が集中していた部分であり、けたが橋脚天端から逸脱し落橋するという最悪の事態に至ったものもあった。恒久的な耐震対策としては、下記のような各部詳細に対して照査及び強化を図った。

- a) 支承部：支承の免震化
- b) けた間連結部：耐震連結装置の見直し及びストッパーの設置
- c) けた掛かり部：けた掛かり長の確保

この中でc)は、a)やb)でもけたの移動をくい止められないときの最後の手段であるが、設計荷重の考え方や構造詳細、あるいは景観的観点からの形状決定などに様々な解釈がなされた。

けた端から下部構造頂部縁端までの長さ S_E —いわゆるけた掛かり長—については、まず道路橋示

方書第V編7.2.3に基づいて照査を行った。

$$S_E = 70 + 0.5 \times L \quad (L \leq 100)$$

ここに、L：支間長(m)

次に、免震支承を採用することになった場合は、さらに建設省／道路橋の免震設計法マニュアル(案)でも照査を行った。

$$S_E = 70 + U_B$$

ここに、 U_B ：免震装置の設計変位(m)

現状の橋脚幅がこのけた掛かり長 S_E を満足しない場合には、復旧仕様により拡幅ブラケットで補強した。震災地域には、旧基準で設計・施工されたものも多く、復旧仕様が要求しているけた掛かり長を満足していないものが数多くあった。このため、橋脚あるいは橋台の上面を全面的、または局部的に拡幅して所要のけた掛かり長を確保する工事が各所で行なわれた。橋脚あるいは橋台がRC構造の場合は、一般的に差し筋を利用したRC構造、または、後打ちアンカーボルトによる鋼製ブラケットの取り付けで拡幅しており、橋脚が鋼製の場合には、溶接または高力ボルトで鋼製ブラケットの取り付けを行なったのが一般的である。なお、橋軸方向だけでなく、橋軸直角方向にも梁を拡張した例や、けたの両端が切り欠き構造になっているために S_E の確保ができずブラケットを設置しなかった例もある。

1) 鋼製橋脚に拡幅ブラケットを設置した事例

阪神高速3号神戸線では単柱(円形断面T形)や門型ラーメン(矩形断面)の鋼製橋脚が続き、様々な損傷を受けた区間がある。ここは鋼製橋脚のけた掛かり長について特に規定がなかった頃に施工されており、既設橋脚の頂部は支承が設置できる最小のスペースとなっていた。けた掛かり長を照査したところほとんどの掛け違い部で S_E が不足していた。また、復旧に当たって免震支承を採用したところでは支承の底面積が大きくなるために橋軸及び橋軸直角方向ともに橋脚頂部縁端からはみ出してしまうものもあった。このため、本区間では橋軸方向あるいは橋軸直角方向に必要な応じて拡幅を行った。

設計荷重については、上部工の死荷重反力に不均等係数1.5を考慮したものをブラケット先端に載荷した。また、将来の支承取り替え等の補修工事で供用しながらジャッキアップ作業が可能なように死荷重+活荷重でも検討を行った。構造詳細については、ブラケットの上面を橋脚頂部に合わせ段差をなくしている。また、ブラケットとの取付範囲は単柱橋脚(T形)の場合は梁全面とし(図-3.5.31)、ラーメン橋脚の場合は上部工の外側主げた中心より800mmを確保した(図-3.5.32)。また、単柱橋脚(T形)で橋軸直角方向に支承縁端が不足するものについては同じく上部工の外側主げた中心より800mmを確保するように梁先端を延長した(図-3.5.33)。また、既設橋脚への取付に当たっては作業性を考慮してブラケットのフランジ、ウェブともに現場溶接としている。なお、3号神戸線の他の区間では、フランジを現場溶接とし、ウェブは高力ボルト接合としている所もある(図-3.5.34)。

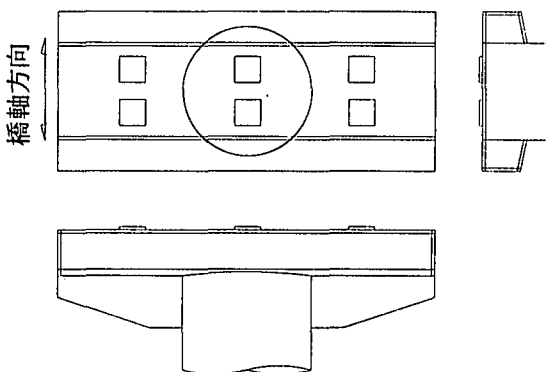


図-3.5.31 T形橋脚の場合

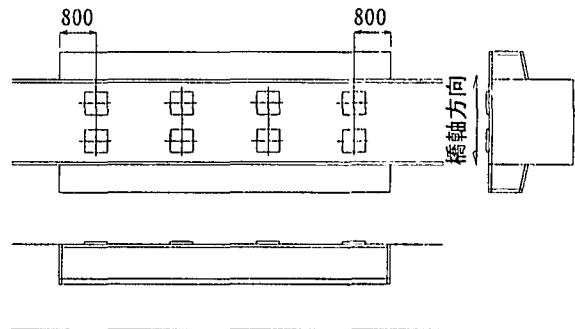


図-3.5.52 ラーメン橋脚の場合

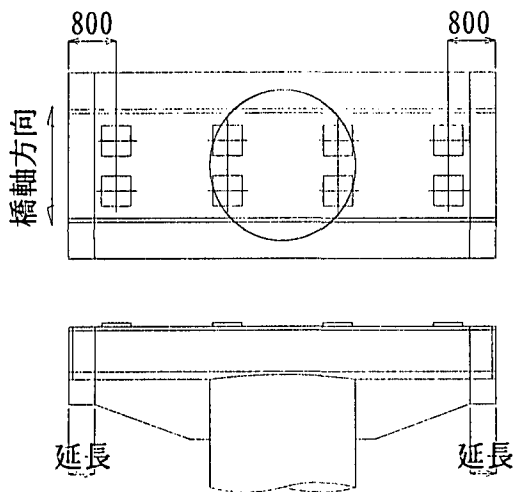


図-3.5.33 T橋脚で橋軸直角方向に拡幅した場合

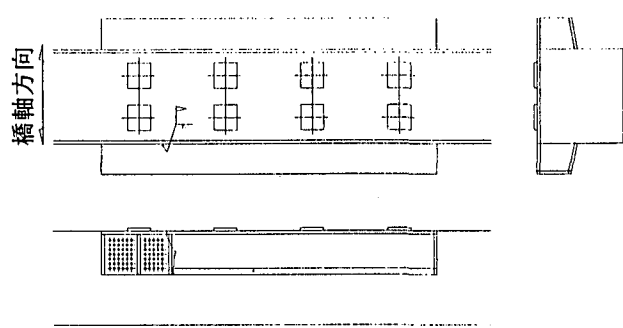


図-3.5.34 ラーメン橋脚の場合
(ボルト接合の場合)

2) RC橋脚に拡幅ブラケットを設置した事例

近年のRC橋脚の場合は、鋼製橋脚と違い橋座が破壊しないよう支承縁端距離を計算していること、及び免震支承を採用した場合でも免震設計マニュアルの S_e より道路橋示方書の計算値の方が大きくなる場合もあり、拡幅ブラケットを設置しなくてもよいケースがあった。RC橋脚の S_e が不足していたケースでは鋼製のブラケットをコンクリートアンカー（樹脂モルタル注入）で橋脚に取り付けるか、又は差し筋を行いブラケット形状のコンクリートを打ち足したりした（図-3.5.35）。

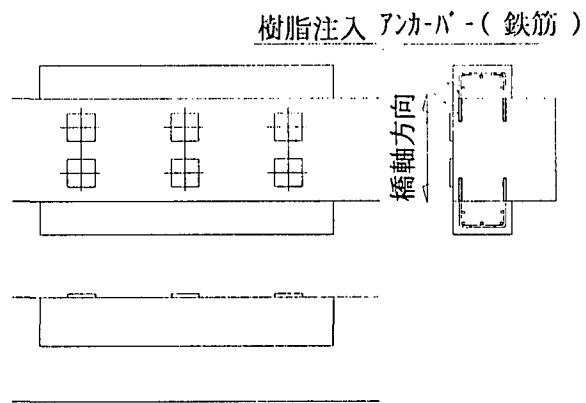


図-3.5.35
RC橋脚に拡幅ブラケットを設置した事例

(3) けた間連結装置およびストッパー

けた同士の連結に従来一般的に採用されてきた、連結板とピンによる構造は、方向性と衝撃吸収の面で異常時の挙動に問題がありとされていたものの、既設構造物であるという制約を受け構造物の重要度、規模などにより適時選択された。

ストッパーについても、橋軸方向と橋軸直角方向に対して、設置することになったが、スペースの制約上設置できなかったケースもある。また、これらの仕様の適用が困難であったケースでは、支承のストッパーに落橋防止機能を負担させた設計を行ったものもある。

設置方法は、橋脚・橋台側に鋼製または、コンクリート製の架台を取り付け、けた側には、鋼製ブラケットを溶接または、HTBで移動量を確保して取り付けられている。以下に事例を紹介する(図-3.5.36~3.5.40)。

図-3.5.36は2連のけたをPCケーブルで相互に連結した例でけたの下フランジに設けた鋼製ストッパーと組み合わせて落橋防止システムを構成している。

図-3.5.37は下部工とけたをPCケーブルで連結した例である。この例でもけたの下フランジに設けた鋼製ブラケットとの組み合わせで落橋防止システムを構成している。

図-3.5.38は下部工とけたをPCケーブルで連結した例である。このケースでは、けたの下フランジと下部工の梁部に高力ボルトで取り付けられた鋼製ブラケット同士をPCケーブルで連結している。

図-3.5.39は橋軸方向の落橋防止装置として下部工に落橋防止壁を設け上部工の端横げたのウェブに反力受けたを設けた突起による落橋防止システムである。

図-3.5.40は橋軸直角方向の落橋防止装置の例で上部工の端横げたの下フランジに設けた突起と下部工天端に設けた突起とで構成した落橋防止システムである。

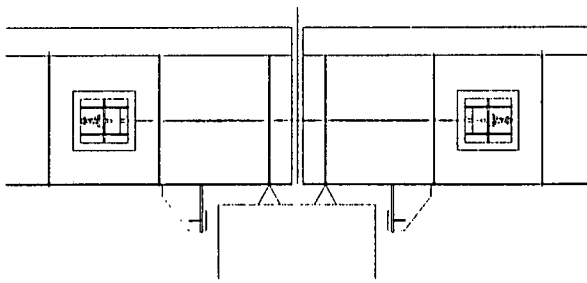


図-3. 5. 36
2連の桁をPCケーブルで相互に連結する構造

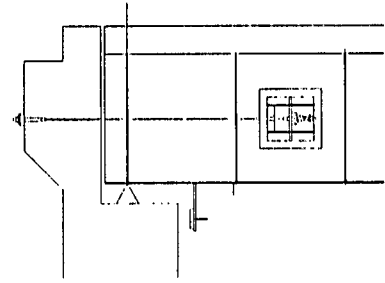


図-3. 5. 37
下部工と桁をPCケーブルで連結する構造
(1)

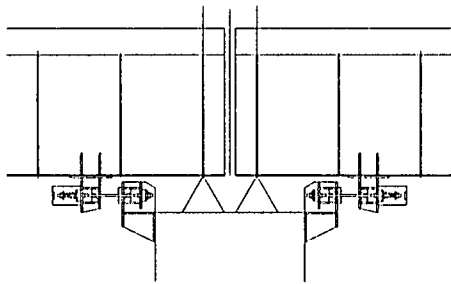


図-3. 5. 38
下部工と桁をPCケーブルで連結する構造
(2)

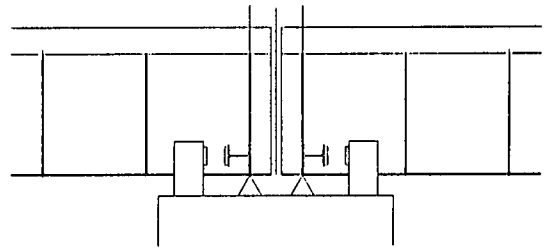


図-3. 5. 39
下部工に落橋防止壁を設けるタイプ
(橋軸方向)

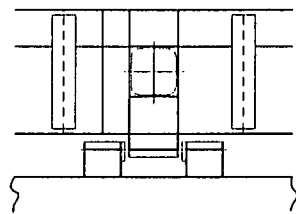


図-3. 5. 40
下部工に落橋防止壁を設けるタイプ
(橋軸直角方向)

3.5.5 その他

鋼構造物の損傷と復旧については、前記した本体構造以外にも、伸縮継手・排水装置・検査路・ボルト・塗装・舗装の橋梁構造の構成要素に属するものや、標識・料金所・配管等のサービス施設に属するものもあった。ここでは特に前者の本復旧について簡単に紹介する。

(1)伸縮装置

損傷した伸縮装置の本復旧は、桁の最終据え付け位置を実測・確認後、部分的、あるいは全的に修復された。その際、移動量や遊間の調整については、おおむね以下の方法が採られた。

- a) 震災前の移動量と遊間を確保する。ただし、この場合、被害の程度、桁の収まり具合によっては、既存の部品を矯正して再利用することが困難な場合も多くあったので、伸縮装置の部品を全面的に新規製作、あるいは部分取り替えする等の処置も採られた。
- b) 移動量と遊間を新たに設定し直す。特に、地震力分散・免震機能付与のため、けたの連続化や分散支承（または免震支承）と組み合わせた移動量を新たに設定し直し、これに基づき伸縮装置を新規制作する。

なお、本復旧にあたって、橋脚の移動・倒れなどに因り桁遊間が橋軸直角方向に一定でない場合や、桁端への伸縮装置の最終の収まり状態の予測（遊間などの予測）に不安がある場合などでは、従来の鋼製伸縮装置をゴム製伸縮装置に取り替えて、復旧された場合も見受けられた。

(2)排水装置・検査路

排水装置・検査路等は原形に復旧されたが、耐震性強化策のため新たに設けられた落橋防止システムや移動量、遊間の変更の影響を受け、設置に非常な困難を伴うことが多々あった。

(3)高力ボルト

摩擦接合用高力ボルトを用いた現場添接部では、ボルトの滑り、添接板の滑り、あるいは添接部での塗膜の剥離などの異常が数多く認められた。叩き点検、あるいは目視点検などで明らかにボルトの滑りや弛みが発生しているものについては、高力ボルトの全面的、あるいは部分的取り替えがなされた。しかしながら、大部分の高力ボルトについては、若干の塗膜割れ等が認められたとしても耐荷力に問題がないという判断から、実際に取り替えられた例は意外と数少ないと言える。なお、復旧を利用して、F11Tで施工されていたボルトを、F10Tに替えたという事例も多々ある。

(4)塗装

塗膜割れは、補剛板の座屈箇所、桁端の支承付近の損傷箇所、添接板付近、鋼製橋脚の隅角部、および2次部材の定着部などで数多く発生したが、いずれも素地調整の後、補修塗装がなされた。

(5)舗装、壁高欄、床版

舗装の被害は、大部分が桁端の床版や伸縮装置の破損に起因して発生しており、舗装の打ち替え基準に従って修復された。また、特に都市部では吸音性の高いものに打ち換えた場合もある。

壁高欄や床版の損傷も大部分は桁端で発生しており、損傷部のはつり・素地調整の後、新しくコンクリートを打設したり、モルタル（または樹脂）注入することで修復された。

以上、付属物の本復旧方法について簡単に記述したが、付属物とは言えども、損傷数は非常に多く、現実の復旧の中では工程的にかなりのウエイトを占めた。

3.5.6 本復旧のための仕様

本復旧にあたって適用された復旧仕様（特に耐震設計法、耐震補強法）は数多くあり、各路線毎、あるいは各橋梁毎に独自の復旧仕様が立案されたといっても過言ではない。この様に、様々な対応とならざる得なかったのは主に以下の理由による。

- 1) 今回の地震が過去に例をみないほどの大規模なものであり、現行の耐震設計基準（平成 2年 2月制定の道路橋示方書）の範囲外であったこと。
 - 2) 復旧にあたっての従来構造からの改良点、および改善点に対する基本的な考え方については建設省から提示されたものの、実構造物への適用に際しては、損傷状況、および既設橋梁の構造を勘案して、個別に追補・取捨選択せざる得ない点が多くあったこと。
 - 3) 早期復旧に対する社会的要請も強く、復旧方法、特に改良点の反映について十分なる検討時間もなかったこと。また、復旧に参考となる過去の研究成果も乏しかったこと。
 - 4) 橋梁の損傷が多種多様であり、再構築、補修、および補強の区分決定にも曖昧な要素があったこと。また、復旧に際しての施工環境（例えば路下条件、投入可能資機材など）、および復旧要求期間が路線毎、橋梁毎で種々異なっていたこと。
 - 5) 損傷した橋梁・鋼製橋脚にも新旧あり、特に建設時の耐震設計の程度が様々であったこと。
 - 6) 被災橋梁には、道路橋や鉄道橋、高架橋や河川橋、あるいは長大橋から歩道橋まで種々のタイプがあったこと。
- 以上の諸理由から、被災橋梁のすべてをカバーする全体的、かつ画一的な復旧基準は得られず、各路線毎、各橋梁毎に適切、かつ適用可能な復旧の考え方を展開する必要が生じた。

実際の復旧工事で用いられた仕様は所轄官庁ごとに異なるが、その代表的なものを列記すると以下の通りである。

- 1) 建設省、道路局：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
- 2) 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）、平成 7年 6月
- 3) 阪神高速道路公団：3号神戸線の復旧設計要領（案）「鋼構造物編」、平成 7年 5月
- 4) 運輸省：港湾施設の復旧復興における耐震強化方針について、平成 7年 3月
- 5) 神戸市：災害復旧設計指針（案）、平成 7年 5月
- 6) 建設省：道路橋免震設計法マニュアル（案）、平成 4年 3月
- 7) 道路保全技術センター：既設橋梁のノージョイント工法の設計・施工手引き（案）、平成 7年 1月
- 8) 日本道路協会：道路震災対策便覧、昭和 63年 2月
- 9) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編、平成 2年 2月
- 10) 日本道路協会：鋼道路橋補修便覧、昭和 54年 2月
- 11) 土木学会：鋼構造架設設計指針、昭和 53年 5月 等々。

上記のうちには、震災前から制定されていた基準もあり、震災復旧用に特別に制定されたものもある。また、あるものについては、どちらかというとな理念的、精神論的なものもあるし、あるものについては耐震設計・耐震補強のみならず、現実的に発生している各種の損傷を補修する際の具体的方法・施工要領・検査要領等について具体的に記述・規定したものもある。もちろん、現実の復旧にあたっては、これらの基準のみならず、既往の種々の研究報告も参考とされた。上記以外にも復旧にあたって部分的に制定された基準や仕様、あるいは所轄官庁・機関の通達などもあると考えられるがここでは割愛する。

なお、地震発生から約 2年後の平成 8年12月に日本道路協会から「道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編、III コンクリート編、V 耐震設計編」が建設省の復旧仕様をうけた形で大幅に改訂されて発刊された。本報告書をまとめた段階では車輛を重量制限・速度制限無しで通行させるという意味での本復旧は全路線で完了しているが、特にグレードアップ補強（耐震性の確保、向上対策）については、各所で引き続き行われており（あるいは計画されており）、その際には本基準が基本仕様となっている。

3.5.7 本復旧上の問題点

今回の復旧工事は、極めて厳しい施工環境下でありながら重大な二次災害の発生もなく、全体として震災直後の予想よりもかなり早期に完了したと言える。しかし、一方では将来に備えて対応すべき課題も残したと考えられる。緊急措置、応急復旧上の問題点と重複する事項もあるが、本復旧上の問題点を以下に列記する。

1) 既設構造物の設計図書と管理システムの整備

調査、設計および施工に必要な不可欠な既設構造物の設計図書の入手に、以下の点で苦労した場合も多い。

- ①図書の有無が不明な場合。また、図書としてなにかがあるのか不明な場合。
- ②橋体と設備関係の図書が一元的に管理されていない場合。
- ③建設後の補修・補強や分割施工の場合などで、構造物の最終の情報が不明瞭および不足している場合。
- ④必要な図書の検索が人手に頼らざるを得なかったため、入手に時間がかかった。

今後は、設計図書の一元管理やOA化等により、より早く、より正確に既設構造物の情報が入手できるように設計図書の管理を整えておく必要がある。また、災害等に対して設計図書の安全な管理も望まれる。

2) 調査・判定技術の開発とマニュアル化

被害状況を速やかにかつ正確に把握し、そして損傷を判定して、さらに復旧方法を決定することが復旧工事にとって重要である。今回の震災は、被害規模が大きくまた広範囲でさらに被害が多種多様で幅広であった。また、支承のアンカーボルトおよび橋脚の基部など、直接の調査が困難な場合もあった。そのため、調査および判定が困難で時間を要した例が多く見られた。調査方法と判定技術のより一層の開発とマニュアル化が望まれる。

3) 復旧基準の整備

今回の震災では、設計・施工基準の多くが震災後に各機関により制定された。また、実際の復旧工事では、各種の設備の復旧も同時に行われた場合も多かった。設備関係の復旧方法は、本体構造物の復旧と比較すると、路線および橋梁毎の相違が顕著であった。さらに、本体の復旧の仕様の決定が優先されるため設備関係の仕様の決定が必然的に遅くなり、また設備毎にその都度に決定された。危機管理の一環として、被害規模に応じた、そして付属物および設備関係まで含めた復旧基準の事前整備が望まれる。

4) 復旧後の健全度の評価

今回の復旧では、種々の大きな被害を受けた、まさに満身創痍の構造物を様々な方法で復旧させている。また、補修・補強の対象とならなかった構造物も少なからずダメージを受けている。今後、被災地域の全ての構造物を継続的かつ注意深く調査および点検していく必要がある。新たな異常や損傷を早期に発見して、できる限り構造物の寿命の延命を図っていかなければならない。そのためにも、復旧後の構造物の健全度の評価方法を確立しておくことが望まれる。

5) 総合調整機能の充実

本復旧工事は、震災後数ヶ月して一斉に発注された場合が多く、また、多数の工事が一時期に集中した地域も見られた。そのため、幅広する工事の調整に時間を要した例や、資機材が不足した例も見られた。効率的かつ早期復旧を目指すため、復旧の優先順位など、行政区画や事業者を越えた、そして即応できる総合調整機能体制の検討をしておく必要がある。

6) 作業の安全性の確保

復旧工事は、余震下での作業や、大きな被害および幅広した被害を受けた構造物のもとで作業を行うため、通常の工事よりもはるかに事故の危険性が高い。より一層の安全性の確保と2次災害の防止ため、基準の整備や作業の無人化などの技術開発が望まれる。

7) その他

- ①交通・輸送手段が様々な面で障害となった場合があった。交通ルートの確保のための検討も望まれる。
- ②人手の確保のため、官民の定年退職者を有効かつ臨機応変に活用できるシステムも望まれる。
- ③復旧工事では、必要不可欠である上部構造の支点反力の桁への表示が望まれる。

3.6 大型橋梁の復旧

今回の被災地域には各種の大型橋梁も建設されている。これら大型橋梁の被害は全体としては比較的軽微なものであったが、いくつかの橋梁では主に支承の損傷が引き金となって、主構造部の損傷に至った事例がみられた。復旧という観点から観ると大型橋梁には都市内高速道路の一般的な橋梁とは異なる以下のような特性があり、また、早期の復旧が望まれたことから、現状復旧を行うことが最優先とされた場合が多い。

- 1) 海上部等、代替交通路の確保が困難な場所に建設されていることが多い。
- 2) 建設地点が海上部等で仮ベントの設置が困難なことが多い。
- 3) ケーブル、ペンデル支承等の部材の損傷により、全体構造系が変化する場合がある。

支承の復旧に関しては一般的な橋梁の復旧と同様、仮ベントやサンドル材等の仮支持材で桁を仮受けし、新規支承に取り替えているのが大半である。また、軽微な桁の損傷、耐震連結装置の損傷、および伸縮装置の損傷に関しても一般的な橋梁と同様の補修方法が採用されているが、大型橋梁として特殊な復旧方法を採用した例も見られる。このような大型橋梁の被災や復旧はこれまでに事例がないため、それぞれの被災状況、および構造特性に応じた補修工法が採用された。

大型橋梁の特殊な復旧事例としては、大きく分けて大規模支承を使用していることによるもの、ケーブル・ペンデル支承等を使用した特殊な構造であることによるもの、また、建設地点が海上部であることなどに分類できるが、その特徴的な復旧方法と適用された橋梁を示すと表-3.6.1のとおりである。以下では、これらの橋梁で採用された特徴的な復旧方法について簡単に紹介する。

表-3.6.1 大型橋梁の復旧事例

特徴的な復旧方法	適用された橋梁
大規模支承の補修・取り替え	西宮港大橋、一庫大橋
ケーブルの補修・取り替え	灘大橋
ペンデル支承の取り替え	東神戸大橋
フローティングクレーン船を使用した補修	摩耶大橋、六甲アイランド大橋
全体が移動した橋梁の位置調整	灘浜大橋、六甲立体ラーメン橋

(1) 西宮港大橋

西宮港大橋は、阪神高速道路5号湾岸線の西宮浜と甲子園浜を結ぶ橋長252mのバスケットハンドル型ニールセンローゼ橋であり、本橋の損傷状況を表-3.6.2に示す。

本橋では表記の全ての損傷が修復されたが、ここでは特に大型の支承が取り替えられたということでその手順について説明する。

本橋では固定支承が破壊し、可動支承のストッパーとサイドブロックが接した状態で橋体が止まっていたため、固定支承の取り替えとともに、可動支承に作用している水平力の解放が必要となった。このため、支承の取り替えは以下の手順で行った。

- ① 固定支承部に1支点あたり6台の1200トン油圧ジャッキを設置し、桁を仮受けする。
- ② 固定支承の撤去に伴い水平力が解放されるため、その力に対応できるよう固定脚に水平力仮固定装置を設置する。
- ③ 可動側の桁をジャッキアップし、下杓と橋脚の溶接をはずした後、下杓位置を調整し再度溶接する。
- ④ 固定脚上の桁をジャッキアップし、下杓と調整プレートの溶接をはずす。
- ⑤ ソールプレートの溶接をはずし、上杓・ソールプレートを撤去する。
- ⑥ ソールプレートを支承と一体にして新規支承を現地に搬入し、設置する。

表-3.6.2 西宮港大橋の損傷状況

損傷部位	損傷状況
主構造	1) 橋脚基礎の地盤液状化と地盤流動により下部工が移動し、隣接の単純桁の支間長が伸びた。単純桁では支承の破壊、およびニールセンとの衝突により落橋防止装置が破壊し、支間長変化が要因となって落橋した。 2) 1本のケーブルでシムプレートが脱落し、シムプレートのずれが多数のケーブルで生じた。
支承	1) 固定脚上の片側の支承で上脊に脆性破壊が生じ、半分に割れるとともに、ソールプレートにクラックが生じた。固定脚上のもう片方の支承は破壊しなかったものの、セットボルトが全損し、また、上脊でクラックが生じた。 2) 可動脚上の支承は、移動制限装置が接した状態となっていた。
耐震連結装置	1) 隣接橋の落橋防止装置が補強板背面の腹板から引きちぎれた。また、隣接橋と取り合う耐震連結装置が破壊し、取り付け用のダイヤフラムが座屈破壊した。
伸縮装置	1) 隣接橋の落橋、および破損に伴い伸縮装置が破損し、路面に段差が生じた。

(2) 灘大橋

灘大橋は、ポートアイランドから六甲アイランドに至るハーバーハイウェイの一部で橋長190mと180mの2連のバスケットハンドル型ニールセンローゼ橋であり、損傷状況を表-3.6.3に示す。

表-3.6.3 灘大橋の損傷状況

損傷部位	損傷状況
主構造	1) 2本のケーブルで座金、ケーブルが脱落し、ケーブルソケット定着桁に局部変形が生じた。 2) ケーブルの防護カバー取り付けボルトとケーブル交差部金具が多数破損した。 3) 隣接桁の衝突や横ずれにより端横桁、および主桁の桁端部下フランジに変形が生じた。
支承	1) セットボルトの破損が生じた。
伸縮装置	1) フェースプレートがはがれ、段差が生じた。

本橋では上記の損傷の全てが修復されたが、ここではニールセン橋ということで特にケーブルの取り替え、およびケーブルソケット定着桁の補修の手順について説明する。

- ① 損傷したケーブルを撤去し、3本を新規製作する。
- ② 定着桁フランジプレートの損傷部を切断し、開先加工後、新規材料を溶接する。その他の部分的な変形はバーナー加熱により補修する。
- ③ 下弦材側に引き込み用金具を溶接で取り付ける。
- ④ 新規ケーブルの引き込みを助けるために、隣接ケーブルに引き込み治具を用いてシムプレートを追加挿入する。
- ⑤ 50トンのクレビスジャッキ2台、およびレバブロックを使用して、新規ケーブルを引き込む。この際用いられたケーブル引き込み治具の概要を図-3.6.1に示す。
- ⑥ 引き込み調整治具と100トン油圧ジャッキを用いて、所定の厚みのフィラープレートを挿入する。

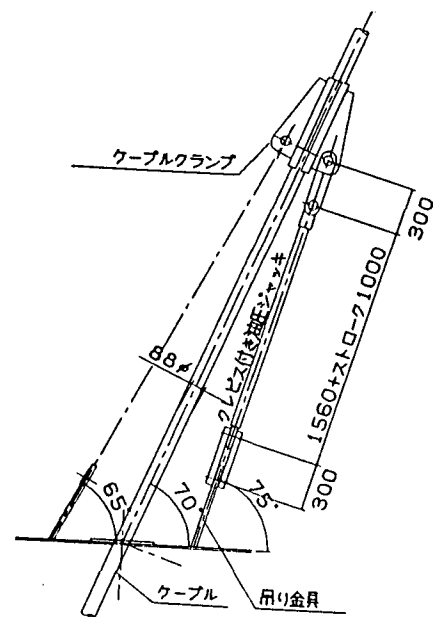


図-3.6.1 ケーブル引き込み治具

(3) 東神戸大橋

東神戸大橋は、阪神高速道路5号湾岸線の深江浜と魚崎浜を結ぶ橋長885mの3径間連続鋼斜張橋であり、

本橋の損傷状況を表-3.6.4に示す。

表-3.6.4 東神戸大橋の損傷状況

損傷部位	損傷状況
支承	1) ウィンド支承の上査セットボルトが破断し、横方向の移動を拘束できなくなり、この影響でペンデル支承が橋軸直角方向に変形し、ピンがはずれた。 2) ペンデル支承の破損により、鉛直方向の拘束がなくなり、橋端が約40cm浮き上がり、隣接桁の上査の脱落と合わせ路面に約52cmの段差が生じた。
橋脚	1) 支承が載っている橋脚の下段水平梁の腹板でせん断座屈が生じた。また、橋脚基部のフランジに曲げ座屈が生じた。

本橋では魚崎浜側端橋脚上のウィンド支承の上査セットボルトの損傷を引き金として、順次支承の破壊が起こり、最終的にはペンデル支承の破損により橋端が約40cm程浮き上がった。また、支承の破壊により端橋脚にも損傷が生じた。損傷は全て修復されたが、ここでは特に支承部の補修手順について説明する。

- ① ウィンド支承は、応急復旧として上査を工場で修復整形した後に暫定的に取り付け、交通解放後に新規製作したものと取り替える。
- ② ダンパー支承は現地で分解撤去し、新規製作のものと取り替える。
- ③ ペンデル支承については、橋脚側エンドリンクボス部は再利用し、主構側ピンプレートはガス切断後工場で修復する。また、フレームは新規製作する。
- ④ 100トンワイヤークランプジャッキ8台で側径間端部の主構を引き下げる。
- ⑤ 端橋脚基部の局部座屈箇所を加熱矯正で修復し、さらに補剛材を取り付けることにより補強する。
- ⑥ 端橋脚下段水平梁の座屈は、ベントで仮受けした後、水平梁内にトラス補強材を設置し、損傷腹板の切断を行い新規腹板に取り替えて補強する。

(4) 摩耶大橋

摩耶大橋は、新港区域と摩耶埠頭を東西に結ぶ橋長210mの2径間連続鋼斜張橋であり、本橋の損傷状況を表-3.6.5に示す。

表-3.6.5 摩耶大橋の損傷状況

損傷部位	損傷状況
主構造	1) 桁端部で支承の破損に伴う局部変形、IITBのすべり、および塗装剥離が生じた。
支承	1) 端橋脚上のペンデル支承が、くの字形に座屈変形した。また、水平支承のコンクリート製査座が破損した。 2) 反対側の端橋脚ではピンローラー支承は上査と下査が分離し、下査が主桁下フランジを突き破った。また同脚上反対側の支承はベースから脱落した。 3) 中間橋脚上の桁側ピン支承でピンが折損し脱落した。また、アンカーボルトが破損し、上査と下査が分離した。塔側ピン支承ではピンが抜け出し、上査と下査がずれて接触した。
伸縮装置	1) 橋全体の横ずれ・傾斜により隣接桁との間に段差が生じ、フェースプレートが脱落した。

本橋は3500トン級フローティングクレーン船2台で橋梁全体を一括撤去し、六甲アイランドに仮置きし損傷部の補修補修を行い、再度フローティングクレーン船2台で架設するという復旧方法が採用された。本橋にこの工法が採用された理由は以下の通りである。

- ① 桁の損傷程度が大きかったこと。
- ② 下部工支間長の変化を桁長で調整する必要があったこと。

③航路上の水中ベントを長期間設置できないこと。

④ハーバーハイウェイの復旧には本橋の早期の機能回復をはかる必要があったこと。

なお、損傷箇所の修復・補修は一般的な橋梁の場合と同様の方法で行われた。

(5) 六甲アイランド大橋

六甲アイランド橋は、阪神高速道路5号湾岸線の魚崎浜と六甲アイランドを結ぶ橋長217mのローゼ形式のアーチ橋であり、本橋の損傷状況を表-3.6.6に示す。

表-3.6.6 六甲アイランド大橋の損傷状況

損傷部位	損傷状況
主構造	1) 六甲アイランド側でローラー支承が転倒し、橋体が橋軸直角方向に約3.1m横移動した。 2) 東側支点が橋脚からはみ出し、西側支点がジャッキアップ用架台に乗り上げた。 3) 下路端横桁が東側のジャッキアップ用架台に乗り上げ、大きく変形した。 4) 隣接する上路アプローチ桁が上路端横桁にめり込み、横桁の一部が破損した。 5) 橋体の傾きにより、上横構と斜材の一部に座屈変形が生じた。
支承	1) 六甲アイランド側のローラー支承が破損し、転倒した。
橋脚	1) 橋体の横移動により、魚崎浜側の橋脚がねじれた状態となった。

本橋では六甲アイランド側の支点が橋軸直角方向に大きく移動したため、位置の修正を早期に行うことが必要であった。そのため、復旧の工程短縮を考慮してフローティングクレーン(FC)船により位置修正をするという方法が採用された。ここでは特にFC船による位置調整の手順について説明する。

本橋は、建設時にはFC船3隻相吊りによる一括架設工法で架設されたが、架設当時に比べ、舗装、壁高欄の設置などにより約2300tほど重量が重くなっており、FC3隻による相吊りが不可能なことから、以下のよう手順で復旧が行われた。

- ①六甲アイランド側の支点到に吊り金具を再設置する。また、橋脚上に桁仮受け用の架台を設置する。
- ②2台のFC船(4100トン吊りおよび3500トン吊り)を用いて、図-3.6.2に示すように、六甲アイランド側の支点を浮かせるような形で吊り上げる。
- ③橋脚上に設けたジャッキとワイヤークランプで水平方向の位置を調整する。
- ④支承位置の損傷が激しく、橋体を直接支承に据え付けられないため、仮受け架台上の支承に橋体を仮置きする。
- ⑤損傷した上横構、斜材、端横桁を撤去し、新規製作部材と取り替える。これらの部材は同時に取り替える必要があり、このときのアーチリブの座屈安定性を照査するため弾塑性有限変位解析を実施し、AASHTOに準拠して安全性が確認されている。

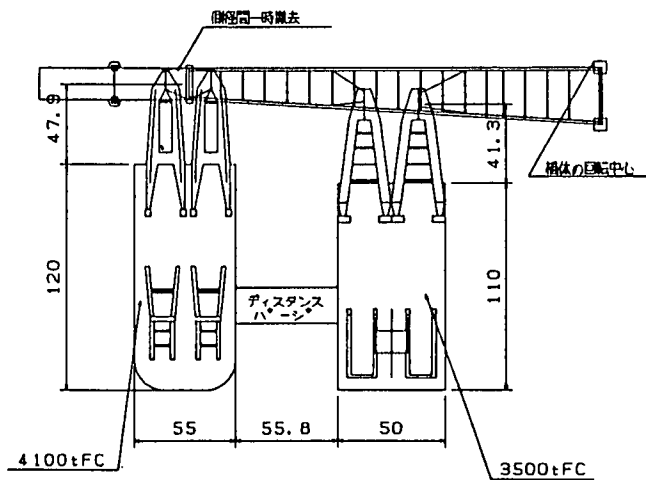


図-3.6.2 復旧概要図

(6) 灘浜大橋

灘浜大橋は、六甲アイランドとポートアイランドを結ぶハーバーハイウェイに位置する橋長400mの5径間連続V脚ラーメン橋であり、損傷状況を表-3.6.7に示す。

本橋では表記の損傷の全てが修復されたが、基礎の移動そのものは修正できないため、基礎の移動に合わせて桁を補修した。ここでは特に橋体の位置調整、および桁端の補修の手順について説明する。

- ①桁端をジャッキアップして主桁を横に押し、橋梁全体がほぼ剛体移動した位置まで変形を戻す。
- ②この状態を橋体の最終位置として桁端の舗装、および床版をはつる。
- ③側径間の支間長調整のため、桁端から最大27cm程度主桁を切断する。
- ④修復不可能な橋軸直角方向の移動にたいしては支点位置を変更することにし、端ダイヤフラムに支点上補剛材を追加し、新規支承を設置する。
- ⑤隣接橋との通りのずれについては、橋体の移動による修復が不可能なため、桁端部の鋼床版を拡幅することで車道の連続性を確保する。

桁端部の変更概要を図-3.6.3に示す。

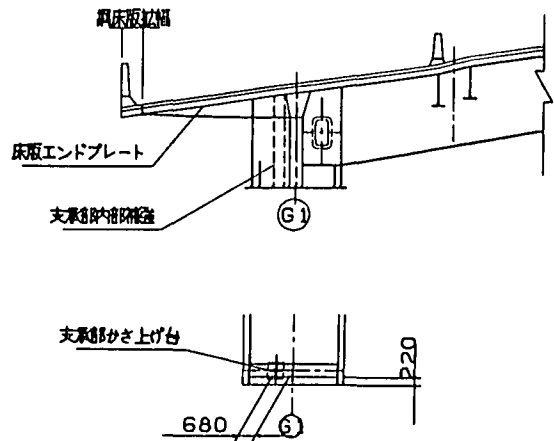


図-3.6.3 桁端部変更概要図

表-3.6.7 瀬浜大橋の損傷状況

損傷部位	損傷状況
主構造	1) 下部工間に平面的な変位が生じ、中央径間が約220mm伸び、側径間がそれぞれ約400mm、200mm縮んだ。 2) 中間橋脚2基がそれぞれ約430mm、290mm橋軸直角方向に移動した。 3) 耐震連結装置本体の損傷は小さかったが、取り合い部の主桁腹板に変形・亀裂が生じた。
支承	1) 中間支点のピボット支承で連結リングが破損し脱落した。また、リングボルトの破断、セットボルトの伸びや緩みが生じた。 2) 端支点のBP-B支承でサイドブロックの破壊、上香と下香のずれ、滑り板の損傷が生じた。
耐震連結装置	1) 主桁腹板、および主桁付きピースに変形や破損が生じた。
伸縮装置	1) 橋軸直角方向のずれにより、フィンガープレートが変形した。

(7) 六甲立体ラーメン橋

六甲立体ラーメン橋は、六甲アイランドと六甲大橋の間に位置する上下路2層の立体ラーメン橋2連とその間を連結する単純箱桁橋42連からなる全長420mの橋梁であり、損傷状況を表-3.6.8に示す。

本橋では、前記の損傷は全て修復されたが、被害の大半が支承の破損、およびそれに伴う桁の移動であり、ここでは特に支承の取り替え、橋脚位置の修正、および位置調整の手順について説明する。

- ①ラーメン橋脚下端に、橋軸方向・橋軸直角方向ともにジャッキアップ、および仮受けを行うためのブラケットを設置する。その概要を図-3.6.4に示す。
- ②橋脚部の既設支承を撤去し、新規のペDESTALフレーム・支承を設置する。
- ③ラーメン脚上で単純箱桁を仮受けし、既設床版端部のはつり、伸縮装置と耐震連結装置の撤去、および既設支承の撤去を行う。
- ④支承部の高さ調整により路面高さの調整を行う。
- ⑤橋梁全体をジャッキを用いて縦押し、および横押しを行い、所定の位置となるよう桁の位置調整を行う。
- ⑥所定の遊間を確保できない箇所については、単純桁桁端

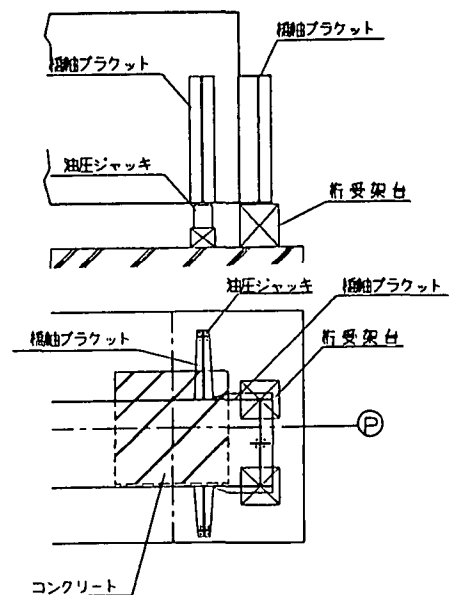


図-3.6.4 ブラケット設置図

および桁受けブラケットを切断し、遊間長を確保する。

⑦単純箱桁の支承を新規支承に変更する。

表-3.6.8 六甲立体ラーメン橋の損傷状況

損傷部位	損傷状況
主構造	1) 上部工が玉突き現象を起こし、橋梁全体が六甲アイランド側から隣接する六甲大橋側に向けて大きく移動した。 2) 六甲大橋の杓座との衝突により、端横梁の腹板、および下フランジが変形した。 3) 耐震連結装置との取り合い部の主桁腹板、および下フランジが変形した。
支承	1) ラーメン橋下端のBP-A支承が破損し、脱落した。 2) 単純桁のBP-A支承でサイドブロックの脱落、およびストッパーの破損が生じた。
伸縮装置	1) 六甲大橋側の端支点上の伸縮遊間がゼロとなっていた。

(8) 一庫大橋

本橋は兵庫県川西市に位置し、橋長144mで高橋脚な中間橋脚を有する3径間連続上路式トラス橋であり、損傷状況を表-3.6.9に示す。

表-3.6.9 一庫大橋の損傷状況

損傷部位	損傷状況
主構造	1) 中間橋脚で支承が破損し、桁が沈下したことに伴い垂直補剛材が変形した。
支承	1) 中間橋脚の可動支承が移動可能量を超過し、ローラーが逸脱した。 2) 支承の破損により橋脚が橋軸方向に押され、約20cmの変形が生じていた。 3) 橋台上の固定支承ではセットボルトの伸びと溶接部の割れが生じた。

本橋では上記の損傷は全て修復されたが、橋脚の倒れが増幅しないようにしながら、復旧工事を進めることが必要であった。ここでは特に橋脚の倒れ防止、および支承取り替えの手順について説明する。

- ① 中間橋脚の倒れている方向と反対側に上部工反力を載荷し、倒れと逆の曲げモーメントを与えることにより倒れを防止する架台を図-3.6.5に示すように設置する。
- ② トラスの上下弦材を結ぶ構造で桁補強部材を設置する。
- ③ ジャッキアップを行い、橋脚の水平力を解放する。
- ④ サンドル材による仮支承を設置し、橋脚を自由に動けるようにする。
- ⑤ 既設支承を撤去し、新規支承を設置する。このとき、アンカーボルトは既設のものを流用するためベースプレートを使用した支承とする。また、既設は1本ローラー支承であったが、新規支承はBP-B支承に変更する。

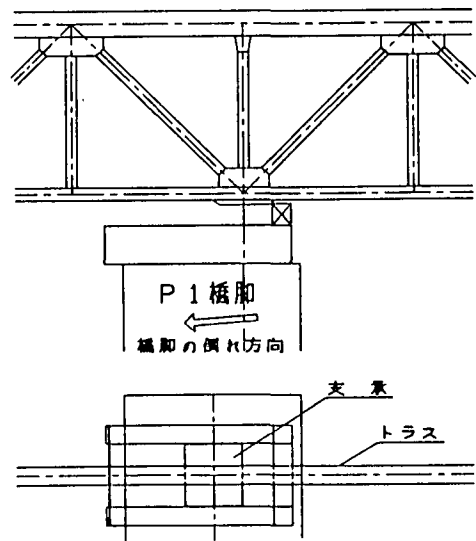


図-3.6.5 脚倒れ防止架台図

以上、大型橋梁の特徴的な復旧方法をいくつかの橋梁を事例にとって紹介した。被災地域にはここで紹介した以外にも多くの大型橋梁があり、それぞれ被災程度に応じて復旧がなされたわけであるが、その損傷状況はここで取り上げた橋梁と大差ないということで、復旧の基本的方法はあまり変わらないが、復旧が大規模になったこと、大型重機械が使用されたこと、および特殊な部位の復旧もあったことなどにその特徴があったかと言える。

3.7 震災復旧のための技術的課題

(1) 過大地震の発生と構造物の被災

震災前の設計法に規定されていた、いわゆる震度法と許容応力設計法との組み合わせで体系化された耐震設計基準で作られた鋼構造物が、想定震度を超える過大な地震を受けたとき壊れるということは分かっているけれども、どのような粘りを見せるか、どのような破損を受けるか、全く想定できなかった。しかしこれほどまで大きな被害を受けるとは、現実を前にして、ほとんどの構造技術者は茫然自失状態を経験した。

有史以来日本では数百の被害地震（推定マグニチュードが5以上）が記録されているが、人の一生の間で直接被災することはそうあるものではない。土木構造物の寿命は数十年といわれているが、人の寿命と同じ程度と考えると、ひとつの構造物が、震度4とか5ぐらいの地震を経験することは何度かあっても、地震で壊れてしまう構造物は、全体から見ればかなり少ないといえよう。したがって、すべての構造物を起こりうる最大の地震に耐えるようにすることは、技術的には可能としても社会基盤としてのコストパフォーマンスから考えて、非現実的といわざるおえない。すなわち、地域性、重要性等から、求められる強度のレベルにあったものが作られるというのが現実的と考えられる。そこで、その構造物にとって設計されたレベル以上の地震に遭遇した場合、地震力の過大さに応じた被害を受けるだろう。そして、被害の程度に応じた復旧法を選択、早期に機能を回復し供用に付すということになる。

今回の震災では、現在の構造物がこうした被害を想定した設計ではなかったために、思いも寄らない壊れ方をした。多様な破壊形式に対応するため、多彩な復旧法が提案され実行された。時間的に余裕のない条件によって、強度的にも景観上も経済的で最適な設計ではないケースも多かったと思われる。

今後、新設の構造物の設計には、被害を想定し、復旧を考慮した柔軟な設計が必要であるという考え方が、一般社会に認識される必要があるだろう。

(2) 余震の強さの予測と復旧施工法の選択

土木構造物が震災を受けた場合、その社会的影響の大きさから、できるだけ早く適切な復旧方法を選択し復旧に取りかかる必要がある。特に重要性のある場合の緊急措置、応急復旧の段階で、余震の大きさを適切に予測し架設計画を進めることは、工事全体に及ぼす影響度から考えて、非常に重要な問題である、と時に困難な問題を含んでいる。余震の大きさは仮設構造物の強度設計のみならず、作業中の安全性の問題にも不確定的要素として関わってくる。人命、保険等の問題に関連して、個人や特定の会社の過失責任を問われることの無いよう、学会等で策定しておく必要がある。

(3) 復旧方法の事後評価

戦後の復興とともに都会に産業と人口が集中し始め、高速道路や新幹線が東京オリンピックや大阪万博に合わせて建設され、その効果がさらに都市の肥大化を促進した。地下鉄が、郊外電車が、モノレールが、都市高速道路と錯綜するように都市の交通ネットワークが形成されてきた。折しも日本列島の地震の活動時期から見てこの3、40年間は静寂期といえるほど、大きな地震を被ることはなかった。そういった背景の基に今回の震災が過去に例のない規模、予測し得なかったパターンで生じた。多種多様な被害に対してその復旧方法は、模索の段階から始まり次第に一定の復旧仕様が固まっていたが、広範囲にわたる被害の復旧には、多数の企業が多様な条件下で行われた。各社によって地理的条件、被害度の相違、機材の使用条件、労務体勢の相違、作業空間の条件等々、それぞれ異なる条件の下に、最適な方法を採用した結果が多種多様な復旧方法を採用するという結果になったものと思われる。いずれが優れているのか、それぞれの得失を、今後多年に亘って供用する内に評価が下されていくに違いない。

(4) 余寿命評価

道路橋、鉄道橋等の鋼橋は通常数十年の寿命を持つと考えられている。耐久性を考える場合の要素としては、環境条件による錆の発生、塗料の劣化、荷重の走向による劣化、疲労、クリープ・リラクゼーション等の時間経過による材質の劣化に起因するもの等が考えられるが、交通条件等が変化しない場合はそれ

より長く供用された例が多い。近年社会情勢の変化が激しく寿命以前に仕様を変更するケースが多く、拡幅とか補強などによる部材寿命の異なる部材が混合した構造が多くなってきて、余寿命の評価を難しくさせている。今回の震災を受けた構造は、そのような状態に加えて、被災した部分が新規に取り替えられたり、被災による影響が少ないと考えられる旧部分をそのまま生かしたケースが多い。さらに一部当初の設計と異なるゴム支承のようなものも組み込まれていて全体構造に対する余寿命評価が一層複雑になった。今後社会基盤に対する投資は減少方向に向かうと考えられる状況の中で、既存の構造物の維持管理を重視し、寿命をより長く、大事に供用していくことが主流になる。その中で、被災部分、復旧部分を含んだ構造物が長寿を全うしてくれることを期待したい。

(5) 復旧活動と技術ボランティア、技術者不足の問題

①将来の技術者不足の問題

公共事業の見直し、発注受注方式の変革等の将来的な傾向を見ると、鋼橋に携わる技術者の数は今後減少の方向にあると思われる。すなわち、コストダウンを最優先にすれば、長大橋とか特殊な形式の橋を除いて鋼橋の数は減少していくと思われる。また現在、鋼橋に直接関わる技術者は設計製作架設を一手に受け持つ橋梁メーカーと呼ばれる企業に属している。これが欧米型のコンサルタントに主要な設計技術者が移行していくと予測される。30年ないしは40年後に今回と同程度の被害を鋼構造物が受けた場合、果たして、今回のような、迅速で適切な技術的対応が取れるかどうか、その技術者の数と現場技術のレベルの観点から非常に疑わしい。数の減少は不可避的であるとしても技術レベルの保持に関しては、技術伝承の問題として現在の技術者に課せられた大きな命題である。

②技術ボランティアの組織化

被災直後の救援支援者として多くの一般ボランティアが活躍した。初期の段階では、まだ日本の中では定着していないということもあって、一時的には齟齬を来したこともあったが、次第に定着していった。その組織活動のノウハウは社会的な成熟のための大事な資産といえよう。

一方、構造物の復旧を含め、初期段階の復興活動に自分の技術を生かして欲しいと、考えていた土木技術者は潜在的に非常に多かったと思われる。一般のボランティアが被災住民を対象にしていたのに対して、被災構造物に関わる支援が、行政主導で行われたため、一般の土木技術者が、ボランティアとして、緊急支援活動に参加するということは少なかった。特定の大学の土木の学生が自治体の支援を行った例があるぐらいであろう。一般の土木技術者のボランティア活動のための組織が必要と思われる。個人的な参加と、企業としての参加が考えられる。これらが緻密な連絡網の中で適正に配備される事が望ましい。そのような組織作りが検討されるように期待したい。

(6) 防災・復旧システムの中に於けるシビルベテランの活用

公共事業のあり方が、今後住民参加型に進む傾向が強くなってきているが、まだその歴史は浅く、技術的なレベルの差が大きく今後とも大事な問題を多く抱えている。

さて、高度な土木技術と見識を持ちながら、第一線から退いているエンジニアをシビルベテランズと称し、従来型の官、産、学での問題解決の形から地域・住民の意見を意志決定時に反映していくという過程の中でシビルベテランズを活用していこうという動きがある。特に地域防災活動の中で貢献するための組織作りが今、関西地区の土木技術者の中で行われている。たとえば、今回の阪神大震災のように、行政機能が一時的に麻痺するような大災害を受けたようなときに、被災地の近くに住むシビルベテランズが、居住地域の被災状況を専門家としての技術を活用して緊急的調査を行い、結果を自治体や監督官庁に報告することにより、行政の復興活動の支援を行うというものである。こうしたシビルベテランズは一般に各地域に散在していて、人間集団としての組織化を図ると同時に、予め行政当局との連携の組織化を培っておくことにより非常時の活動が生かされる。またこういったグループは、ボランティアの活動であって、行政と市民・住民との意思伝達の仲介者、意見調整の支援者としておおいに貢献できるものと考えられる。このような調査は復旧活動の初動体勢に大きく寄与すると思われる。今回の震災を経験として、調査内容

や報告方法の詳細を事前にマニュアル化し、ベテランズの専門分野別のグループ化を含めたネットワークを創っておく必要がある。

3.8 まとめ

本章では、鋼橋および鋼製橋脚に対する震災復旧方法を、一般的な橋梁と大型橋梁とに分けて、また緊急措置、応急復旧、および本復旧とに分けて総括的にまとめるとともに、復旧という観点からの諸問題と今後の技術的課題について報告した。

鋼桁、および鋼製橋脚の復旧を全体的にみると、コンクリート構造物などとは違い、重量が軽いこと、維持補修が容易であること、リサイクルが可能であること、および構造自由度が高いことなどの鋼構造物としての優れた特性を遺憾無く発揮したと考えて良い。

鋼橋、および鋼製橋脚は公共構造物（あるいは公共性の高い構造物）であるが故に、早期復旧、安全復旧、および経済的復旧に対する社会的要請も一段と大きく、震災復旧にあたってはこれらをバランス良く達成することが必要であり、このために土木技術者は常日頃からこの方面の技術的基盤を確立しておかなければならない。今回の震災を引き起こすような大地震が、今後、「何時」、「何処で」、「どのような形で」発生するかはわからないが、本章でまとめたことが、今後の技術開発や震災復旧の参考となれば幸いである。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋震災対策便覧（震災復旧編）、昭和 63年 2月
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、V耐震設計編、平成 2年 2月
- 3) 日本道路協会：鋼道路橋補修便覧、昭和 54年 2月
- 4) 土木学会：鋼構造架設設計指針、昭和 53年 5月
- 5) (財)土木研究センター：道路橋の免震設計法マニュアル（案）、平成 4年 12月
- 6) (財)道路保全技術センター：既設橋梁のノージョイント工法の設計施工手引き（案）、平成 7年 1月
- 7) 建設省道路局：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
- 8) 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）、平成 7年 6月
- 9) 阪神高速道路公団：3号神戸線の設計復旧要領（案）、既設上部工の補修・補強設計及び施工要領（案）、既設鋼製橋脚の補修・補強設計及び施工要領（案）、平成 7年 5月
- 10) 神戸市：災害復旧設計指針（案）、平成 7年 5月
- 11) 運輸省：港湾施設の復旧復興における耐震強化方針について、平成7年 3月
- 12) 土木学会：阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集、1996年1月
- 13) 土木学会、阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：阪神・淡路大震災調査報告、1996年12月
- 14) 阪神高速道路公団：大震災を乗り越えて-震災復旧工事誌-、平成9年9月30日