

阪神高速 3 号神戸線復旧工事報告

Repair Works of HANSHIN EXPRESSWAY Kobe Line Damaged by Hyogoken-Nanbu Earthquake

坂田 正二
Shoji SAKATA

川田工業㈱大阪支社技術部設計二課係長

菊川 長郎
Takeo KIKUKAWA

川田工業㈱大阪支社技術部設計一課課長

土居 荷衆
Kashu DOI

川田工業㈱大阪支社工事部工事課工事長

渡辺 潔
Kiyoshi WATANABE

川田工業㈱富山本社工事部工事課課長

西 正明
Masaaki NISHI

川田工業㈱大阪支社工事部工事課係長

橋本 利幸
Toshiyuki HASHIMOTO

川田工業㈱富山工場生産管理課係長

In the southern part of Hyogo prefecture the damage from the January 1995 Great Kobe Earthquake to the bridges extending from Kobe to Osaka was immeasurable. The viaduct of the Kobe Route 3 in the Hanshin Express Highway, connecting Kobe with Osaka, was seriously damaged during the quake. For restoration, the approximately 40 kilometer length of Kobe Route 3 was sectioned into 29 construction sections. In a joint venture Kawada, along with Ube, completed construction section No. 14 at the end of April 1996. This paper reports the details of the repair work and the improved countermeasures taken for seismicity reinforcement from the perspectives of design, construction, and erection

Key words : earthquake, repair works, aseismicity reinforcement

1. はじめに

兵庫県南部地震により損傷を受けた阪神高速 3 号神戸線において、当社は宇部興産㈱との共同企業体で、平成 8 年 4 月末に復旧工事を無事完了させることができた。

当工区は、阪神高速湾岸線と神戸市内を結ぶアクセス道路として、全工区の中で最も早く平成 8 年 2 月 19 日に開通した早期復旧区間であった。

本復旧工事の工種は非常に多く、49 工種にも及んだ。ここでは、代表的な工種についての概要を報告する。

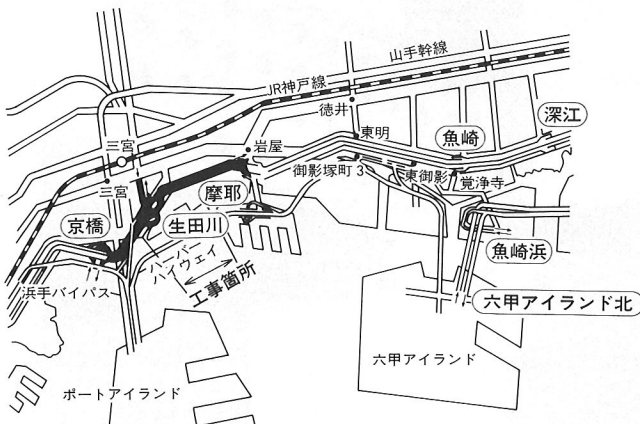


図 1 工事箇所

2. 工事概要

工 事 名：3 号神戸線復旧第 14 工区鋼桁・鋼製橋脚工事

路 線 名：兵庫県道高速神戸西宮線

工事箇所：神戸市中央区脇浜海岸通～同区小野浜町

工 期：平成 7 年 5 月 3 日～平成 8 年 4 月 30 日

工事項目：主な工事項目を次に示す。

- ・再構築桁——新設桁の施工
- ・端横桁改造工——構造の変更（充腹化）
- ・鋼製梁（複合橋脚）——RC 梁の鋼製化
- ・桁補修工——損傷部の補修
- ・鋼製脚の補修・補強——損傷部の補修・補強
- ・桁連結工——単純桁の連続化
- ・支承取替工——鋼製沓からゴム沓への変更
- ・落橋防止工——新型落橋防止装置の設置

3. 復旧内容および耐震対策

(1) 再構築桁（新規製作桁）

損傷の著しい橋梁（本工区では 2 連）については、工期短縮および経済性を考慮し、橋体を新規に再構築することとなった。桁形式は、経済性・耐震性を考慮して連続桁とした。また床版形式としては、鋼床版を採用し、現場工期の短縮および死荷重の低減（下部構造に与える

表1 塗装仕様・工程比較表

種別	工程	塗料	膜厚	工程(日)(2000m ² 当たり)						
				1	2	3	4	5	6	7
公団仕様	表面処理	全面製品プラスト	—							
	第1層	無機ジンクリッチペイント	75μm							
	第2層	ミスコート	—							
	第3層	エキポシ樹脂塗料下塗	60μm							
	第4層	エキポシ樹脂MIO塗料	60μm							
	第5層	ポリウレタン樹脂塗料中塗	30μm							
	第6層	ポリウレタン樹脂塗料上塗	25μm							
新仕様	表面処理	全面製品プラスト	—							
	第1層	有機ジンクリッチペイント	50μm							
	第2層	変成エキポシ樹脂塗料下塗	150μm							
	第3層	ポリウレタン樹脂塗料上塗	50μm							

地震力の低減)を図った。

また、工期短縮のために塗装は上塗りまで工場で行い、その塗装仕様は省工程型の塗装とした(表1参照)。

架設については、路下規制条件・下部工や他官庁発注工事との輻輳によりかなり厳しい状態のなかでの作業となり、次の架設工法によった。

a) 横取併用トラッククレーンベント架設

一般車両通行帯上の桁架設は、工事専用帯内で桁組立を行い、横取装置を用いて所定位置へ架設した。

b) トラッククレーンベント工法

クレーンヤードが限定されたため、クレーンの作業半径が長くなり、160t吊り油圧式トラッククレーンを使用した。

(2) 端横桁改造工

I桁橋の桁端部の剛性を高めるため、端支点上横桁の



写真1 再構築桁の架設

構造をフルウェブ構造に改造した。

設計図作成前に、既設桁の調査・計測を行い、原寸作業を先行させることで、工期の短縮を図った。

改造設計にあたっては、製作性・施工性を考慮し、発注時のボルト構造から溶接構造に変更した。その構造比較を表2に示す。

なお、改造部材を支取替え時の仮受け設備としても利用するため、仮受け位置を事前に調査・計測して、補強設計・製作に反映させた。また取付時には、桁端側のラテラル・検査路などを取り外して部材の取り込みを容易にした。

(3) 鋼製梁(複合橋脚)

a) 基本構造

T型橋脚の柱部をRC橋脚、梁部を鋼構造とし隅角部で一体化した複合構造である。本構造形式は、コンクリート梁に比べてフーチングに作用する死荷重反力を小さくでき、また現場においても短時間で鋼製梁部を架設できる。

b) 設計方法

柱部：RC柱として設計する。

梁部：鋼製の梁として設計する。

隅角部：鋼製梁として設計し、せん断遅れの影響を考慮する。隅角部内には、コンクリートを充填するがコンクリートと鉄筋は計算断面

表2 端横桁構造比較表

	施工時	発注時
構造概要		
施工上の特徴・問題点および工程・経済性	1. 切断 下フランジを定規にして火口を下向きとした切断であり、施工性がよい。	1. 切断 同左
	2. 新規部材の取込み 新規部材がI断面で剛性があり変形しにくく、ハンドリングが容易。	2. 新規部材の取込み 新規部材が上断面で剛性が小さくハンドリングが困難。
	3. 既設桁の加工 切断部のバリ仕上げ	3. 既設桁の加工 連結板接触面の塗装除去、平坦度の確保、孔明けが必要。
	4. 新規部材の取付け 下向きのすみ肉溶接であり施工性がよい。	4. 新規部材の取付け ボルト孔の位置が合えば、施工性がよい。
	5. 工程・経済性 既設桁への加工が最も少なく、速く施工でき鋼材も少ない。	5. 工程・経済性 既設桁への加工が多く、工数がかかる。



写真2 鋼製梁架設

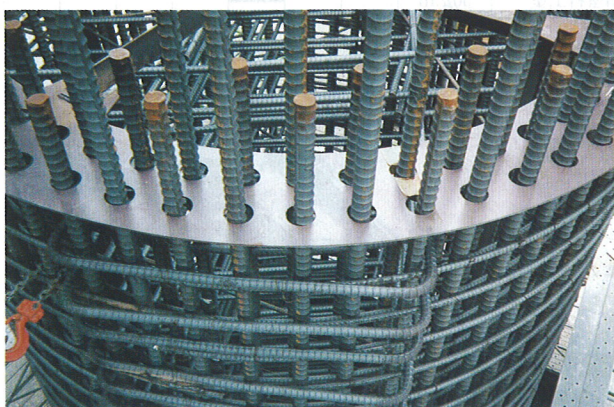


写真3 ゲージプレート

には、考慮しない。

ずれ止め：隅角部内にずれ止めを配置するが計算上は
ずれ止めの合成効果は期待しない。

また、設計方法の妥当性を確認するため、現場にて実物の載荷試験を行った（試験結果については本技報別項による）。

架設は、鋼製梁の据付け精度を高める必要があったため、調整が容易に行える地組併用のトラッククレーンベント工法を用いた（写真2参照）。

また、主鉄筋を鋼製梁隅角部内の所定の位置におさめるため、写真3に示すようなゲージプレートを設置し、主鉄筋を立ち上げた。ゲージプレートの使用により、すべての主鉄筋を鋼製梁の下フランジ貫通孔から隅角部内へ貫通定着させることができた。また、主鉄筋どうしの継手は、エンクロズド溶接を採用した。

(4) 桁補修工

鋼桁の補修・補強は、損傷部の調査結果に基づき、その損傷程度により補修・補強法を決定するものとした。

桁端損傷部の補修方法は、主桁腹板の変形量 δ により次のように決定した。

- ・ $\delta \leq 10 \text{ mm}$ ——— ①加熱矯正にて補修
- ・ $10 < \delta \leq 30 \text{ mm}$ ——— ①垂直補剛材を切断、除去
②主桁腹板を加熱矯正
③垂直補剛材の新規部材取付け

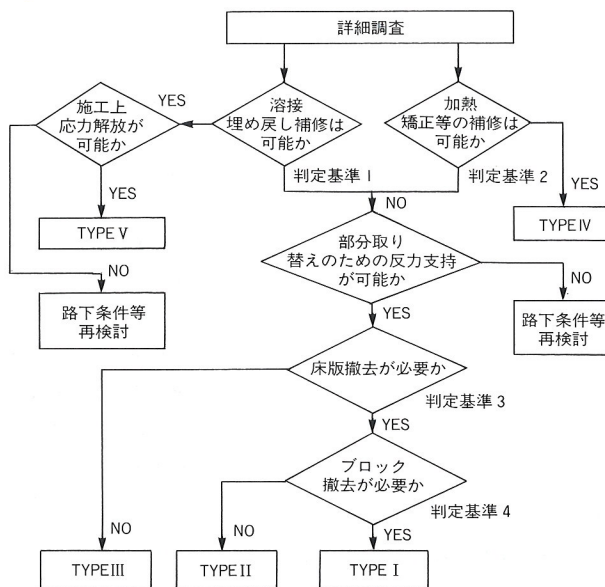


図2 補修方法選定フローチャート

- ・ $30 \text{ mm} < \delta$ ——— ①損傷部の部材（主桁腹板、フランジ、垂直補剛材）撤去
②新規部材の取付け

また損傷程度別の補修要領を次に示す。

- ・ TYPE I ——— ジョイント部で1ブロック取替え
- ・ TYPE II ——— ブロック状に部材取替え
- ・ TYPE III ——— かぎ状に部材取替え
- ・ TYPE IV ——— 垂直補剛材取替え後加熱矯正
- ・ TYPE V ——— 部材取替え無し加熱矯正のみ

図2に補修方法選定フローチャートを示す。

(5) 鋼製橋脚の補修・補強

本工事区間における鋼製橋脚は12基であり、それらのすべてが補修・補強の対象となった。

a) 補修

まず、現地調査によって損傷部の確認を行い、損傷程度、架設条件などを考慮して復旧方針を決定した。

経済性や工程上の制約から、できる限り部分補修で対応することとした。ただし、2基の橋脚で、脚基部あるいは柱下部に割れ、座屈等が生じていたため、部分取替



写真4 鋼製脚ブロック取替え

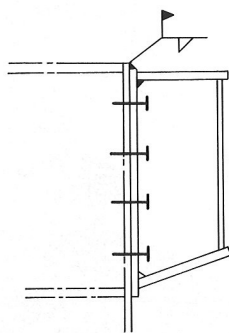


図3 鋼製脚梁幅拡幅ブラケット構造図

えを行った。ここに部分取替えの際には、局部座屈防止のため、縦リブ等を追加し耐力を高めた。

施工に際しても取替え時には、梁受けベントに、損傷部材の引込み兼用設備を設け、ブロック切断した損傷部をチルトタンク、チルホール等で引き出し、新規部材の引込みを行った。

また橋脚の傾き修正では、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かめた後、脚受けベント設置後、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修正を行った。出来形管理については、トランシットで鉛直度の確認を行った。

b) 耐震補強

① 桁かかり長の確保

桁端から下部構造頂部縁端までの桁の長さ（SE）を道示Vに基づいて照査を行い、不足する場合には図3に示すようにブラケットを設置して梁幅を拡幅した。

既設の橋脚は、昭和43年完成の橋脚であり梁幅が小さいため、ほとんどの橋脚に梁幅拡幅が必要となった。なお、ブラケットは原則として梁全長にわたって設置するものとし、その拡幅量は、ジャッキアップ補剛材の設置および施工性を考慮してすべて300 mmとした。

またブラケットの構造は、既設のダイヤフラムの位置を支点とした梁構造とし、取付方法は、ウェブは高力ボルト接合、上フランジは溶接とした（図3参照）。

② 柱部材の地震時保有水平耐力の確保およびアンカー部の終局耐力の照査

柱部の照査は、レベルII、III時について行い、既設橋脚の柱内部に中埋めコンクリートを充填し、変形性能および耐力を向上させた。照査の結果、各橋脚ともコンクリートの充填高さを現状より約3 m程度高くする必要があるため、既設マンホールを塞ぎ、新規に作業用マンホールを追加した。

また、一部橋脚基部の終局曲げモーメントが、アンカー部の終局曲げモーメントを上回っていたため、レベルIIIの地震力に対して非線形動的解析で安全性を照査した。

(6) 桁連結工

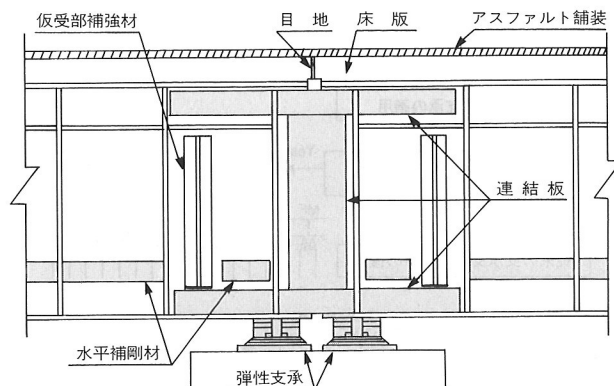


図4 桁連結構造図

耐震上の観点より、桁の連結化を行うことが効果的であることから、今回の工事では既設の単純I桁橋について、できるだけ桁の連結化工法を採用した（図4参照）。ただし、連結化を行うにあたって次のような場合には、適用しないものとした。

- ① 径間長の著しく異なる桁。
- ② 曲線区間に位置する直線桁・曲線桁。
- ③ 連結部に大きな折れ角を有する桁。

設計はすべて「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月勘道路保全技術センター）に基づいて行った。

連結部の施工は、桁端遊間・桁の通りを事前に調査・計測を行い、桁のずれが生じている場合には、桁の横移動、あるいは、連結部にフィラープレートを用いることによって調整した。また、連結プレートによって覆われる既設落橋防止装置のボルト孔は、事前に溶接孔埋めを行った。

(7) 支取替え工

支承の復旧に際しては、連続桁・単純桁にかかわらず、ゴム支承を用いて地震時水平力の分散化を図ることとした。支承の種類および選定要領について以下に示す。

- ① 免震支承：本工区では新規の連続桁あるいは単純桁を連結化した橋梁に使用した。
- ② 反力分散支承：本工区では、連結化できない単純桁区間および従来からの連続桁の橋梁に使用した。

上記要領による復旧が困難な場合、従来の支承条件を踏襲した固定・可動ゴム支承、または鋼製支承を採用した。支承タイプ選定結果、支承選定フローを表3および

表3 支承タイプ選定結果

		支承の種類	備考
本線	生田川ランプ部	固定可動ゴム支承	橋脚の余剰耐力が期待できない
	一般部	分散支承	
	箱桁部	固定可動ゴム支承	橋脚の余剰耐力が期待できない
	連続箱桁部	鋼製支承	反力が大きく橋脚天端への据付困難
	桁連結部	免震支承	
	桁再構築部	免震支承	

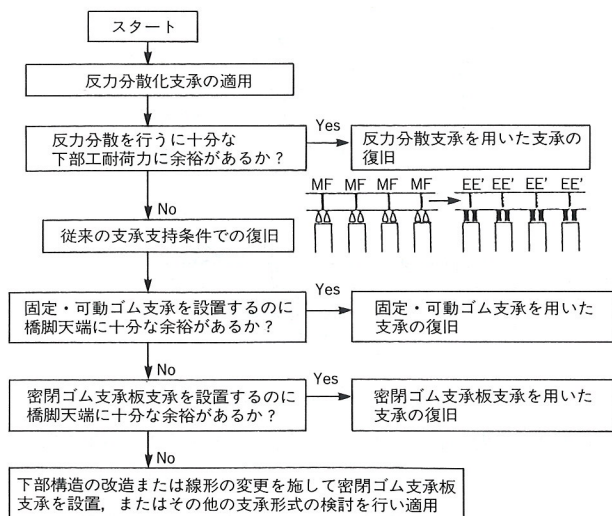


図5 単純桁の支承選定フロー

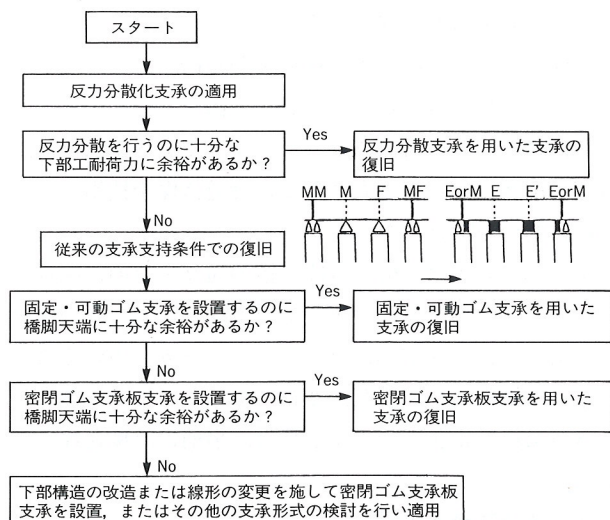


図6 連続桁の支承選定フロー

図5, 6に示す。

支承の設計反力は、本線部は増加死荷重（裏面板、床版補強、防音壁等）およびB活荷重を考慮した。

施工に関しては、作業内容の煩雑さによる作業効率の低下を防ぐため、作業員の編成は、鳶・鍛冶・はつり等のすべてをこなせる作業員を配置した。支承取替えの仮受けは、工程短縮を最優先としてベント設置の成否、他の補修作業との工程、および脚上作業スペースの確保等を考慮して、ベント・仮受けブラケット・改造前後の端横桁の4タイプで行った。

表4 落橋防止装置の設置要領（橋軸方向）

支承のタイプ	上部工の状況	桁掛かりSE幅の確保	既設連結	新設の落橋防止装置			優先順位	摘要
				桁間連結装置	ケーブル連結装置	橋軸方向ストッパー		
・1 橋脚上に免震（分散）支承を含む。 ・上部工は、新設・既設を問わない。	○	×	◎				1	I
	○	×			◎		2	II
	○	×				◎	3	



写真5 支承取替え前

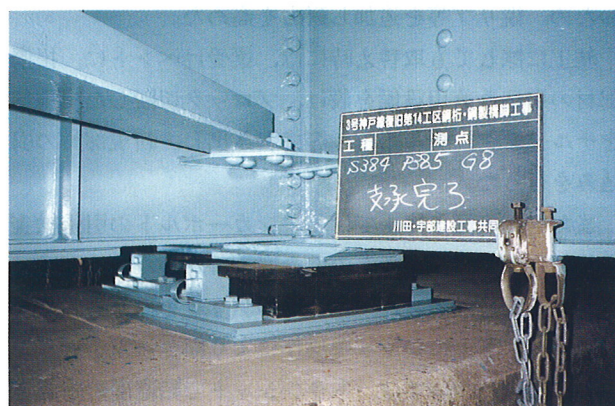


写真6 支承取替え後

支承取替え前後の状況を写真5, 6に示す。

(8) 落橋防止工

落橋防止装置の構造は、復旧仕様に従い地震力による衝撃を緩和できるPCケーブルおよびストッパー等を用

表5 生田川ランプ部の落橋防止装置の設計方法（橋軸直角方向）

項目	内容
1 適用図書	・落橋防止装置設計要領（H. 7. 6）（阪神高速道路公団）
2 装置のタイプ	・橋軸直角方向 ストッパーを設置
3 橋軸直角方向ストッパーの設計	・設計荷重 $H = k_{ne} \cdot W_G / n$ ここに、 H ：橋軸直角方向設計水平力 k_{ne} ：動的解析による等価水平震度（1.1とする） W_G ：1支承線上死荷重反力の合計 n ：装置の設置数 ・許容応力度 レベルⅠ：許容応力度以内 レベルⅡ：降伏応力度以内 レベルⅢ：終局応力度以内 ・可動距離（緩衝ゴム全面から主橋体までの遊間） 30 mmとする。（緩衝ゴムの変形20 mmも考慮し、緩衝効果を期待） ・ストッパー取付け部の設計 ストッパー取付け部と荷重作用位置との偏心を考慮して取付け部を設計

ここに、○：補修、補強する。◎：新設する。×：撤去する。

ケーブル連結装置および橋軸方向ストッパーの選定方法

①鋼桁どうしの桁掛け違い部＝ケーブル連結装置（Ⅰ）

②Ⅰ桁と箱桁の桁掛け違い部＝橋軸方向ストッパー（Ⅱ）

③Ⅰ桁どうしの桁掛け違い部で＝橋軸方向ストッパー（Ⅱ）
主桁本数が異なる

表6 本線部の落橋防止装置の設計方法（橋軸方向）

項 目	内 容
ケーブル連結装置	設計断面力 $P_1 = R_D / n$ ここに、 P_1 ：ケーブル連結装置1ヵ所あたりの設計荷重(t) R_D ：上部工死荷重反力(t)（隣接する上部工死荷重反力のうち大きい方） n ：主桁1腹板あたりのケーブル連結装置の設置数（通常腹板をはさみ2ヵ所）
	許容応力度 ・鋼材 道示2.2による許容応力度（許容応力度の割り増しはなし） ・PCケーブル $P_a = 0.6P_U$ or $0.75P_y$ の小さい方 P_U ：引張応力(t) P_y ：降伏応力(t)
	移動可能量 次の値の大きい方とする ① レベルIIにおけるゴム支承の変形量を考慮 大きい方の支承ゴム厚の350%+20mm ② 支承中心から橋脚天端縁端までの距離の1/2
橋軸方向ストッパー	設計断面力 $H_1 = \Sigma R_D / n$ ここに、 H_1 ：ストッパー1ヵ所あたりの設計水平力(t) ΣR_D ：1支承線上での死荷重合計反力(t) n ：1支承線上あたりのストッパーの設置数
	許容応力度 ・鋼材 道示2.2による許容応力度（許容応力度の割り増しはなし）
	移動可能量 次の値の大きい方とする。 ① レベルIIにおけるゴム支承の変形量を考慮 大きい方の支承ゴム厚の350%+20mm ② 支承中心から橋脚天端縁端までの距離の1/2

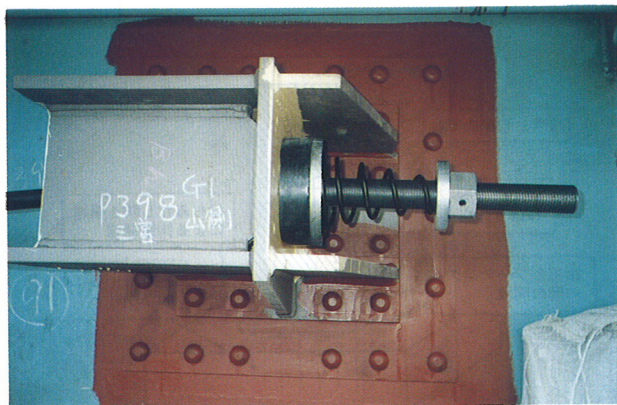


写真7 PCケーブル連結装置

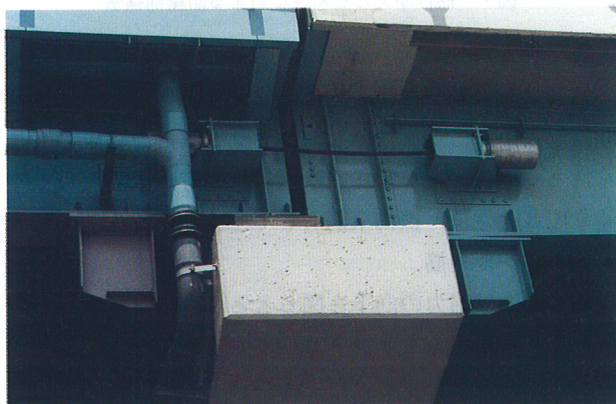


写真8 橋軸方向ストッパー



写真9 箱桁橋軸直角方向ストッパー

いて対処した（写真7，8参照）。

また生田川ランプ部は、幅員が狭いため、橋軸直角方向ストッパーを設けることとした（写真9参照）。

表4～表6に設置要領・設計方法を示す。

4. あとがき

今回の工事を施工するにあたり、現場調査を行ったが、その構造物の損傷を目の前にした時、その損傷の程度の大きさに驚き、自然の力の大きさをまざまざと見せつけられた。

このような損傷を受けた構造物の復旧は、通常行う新規の橋梁工事とは比べものにならないほど問題点が多くあった。しかし、今までにあまり携わったことがない補修・補強工事ということで、色々な知識および経験を得ることができた。

今後、われわれはこの震災による経験を生かし、安全でしかも質の高い社会資本整備に貢献していかなければならないと実感した。

最後に設計から施工までご尽力、ご指導をいただいた阪神高速道路公団の皆様と関係各位のご協力に対して、心から感謝の意を表します。