

阪神大震災に伴う高速道路の復旧工事

Rehabilitation Work on Damaged Viaduct (the Great Hanshin Earthquake)

小島 英明^{*1} 佐々木 忠孝^{*2} 佐藤 浩明^{*3} 神田 孝男^{*4} 北原 稔^{*5} 永山 弘久^{*6}
Hideaki KOJIMA Tadayoshi SASAKI Hiroaki SATOH Takao KANDA Minoru KITAHARA Hirohisa NAGAYAMA

Summary

In rehabilitating the Hanshin Expressway, which was damaged in the Great Hanshin Earthquake, Miyaji Iron Works was responsible for work in three sections of the expressway, apart from emergency repairs done immediately after the earthquake. The success or failure of the rehabilitation work, which was of large scale and had to be completed as quickly as possible, depended on the organization of the work schedule. Rehabilitation work, together with seismic reinforcement work done concurrently, was nevertheless designed and executed by making use of the most contemporary technologies. This paper outlines the rehabilitation work and provides details of the rehabilitation process to serve as a reference for restoration, repair and reinforcement work.

キーワード：阪神大震災，兵庫県南部地震，震災復旧，複合構造物，補修・補強

1. まえがき

平成7年1月17日早朝に発生した阪神大震災は阪神地方に大被害をもたらし、阪神間の交通の大動脈である阪神高速道路にも甚大な被害をもたらした。

当社は、阪神高速道路において震災直後の応急復旧工事のほか、ほぼ同時期に下記に示す三つの復旧工事に携わった。

- ①天保山JCT付近鋼桁災害復旧工事及び耐震補強工事（天保山JCT復旧工事）
- ②3号神戸線復旧第8工区（その1）鋼桁・鋼製梁工事（神戸線復旧8工区）
- ③3号神戸線復旧第23工区鋼桁・鋼製梁工事（神戸線復旧23工区）

いずれも大規模でかつ急速施工が求められた工事であり、適切な工事体制を組めるかどうかに工事の成否がかかっていた。また、復旧工事とはいえ、耐震性向上を目的とした耐震補強工事も同時に実施しており、最新技術を駆使した設計・施工が随所で行われていた。本報告では、これらの工事概要と様々な工種詳細を述べるとともに、今回の復旧工事の貴重な経験や反省から、今後取り組まなければならない課題を提言する。

2. 天保山JCT復旧工事の概要と主要工種

本工事の施工位置は、昭和49年に供用された湾岸線港大橋と、平成元年の大阪港線、平成3年の湾岸線西伸部天保山大橋を相互に連絡する天保山ジャンクション一帯の新旧構造物が混在する非常に複雑な高架橋群である。本工事は地震により各所で被害を受けたための応急復旧工事であり、交通供用下の工事であった。工事内容は損傷調査、損傷箇所の補修、および耐震補強工事の設計・製作・架設である。図-1に施工位置を、図-2に概略工程を示す。

以下に主要工種について報告する。

(1) 鋼桁災害応急復旧工事

1) 損傷調査および損傷原因の推測

阪神大震災による損傷実態の把握と補修の要否を判断する事を目的として、本工区内の構造物に接近しての目視点検、必要な箇所の詳細点検調査および計測を実施した。表-1に損傷調査状況を示す。また、写真-1~5に代表的な損傷例を示す。

各所に様々な損傷が見られたが、そのほとんどの損傷原因は、設計時に見込んだ力以上の地震力が作用したためと思われる。

2) 支承取替工

損傷した支承を有する橋梁を対象とし、

*1技術本部技術部技術課

*2宮地建設工業(株) 東日本橋梁事業部橋梁工事第二部長

*3技術本部設計部設計第二課

*4技術本部工事部工事計画課課長代理

*5技術本部設計部設計第二課長

*6千葉工場生産設計部生産設計第二課

表-1 天保山JCT全体損傷箇所数総括表

損 傷 項 目		箇所数	
桁本体の状況 (端部)	下フランジの損傷	2	
	補剛材の損傷	5	
	ダイヤフラムの損傷	—	
	横桁・横構の損傷	1	
	その他	10	
桁本体損傷箇所合計		18	
支 承 の 状 況	セットボルト	ゆるみ・破断	112
	上沓・下沓の損傷		32
	サイドブロック	ボルトのゆるみ・破断	24
		きれつ・破断	10
	アンカーボルトの損傷		—
その他		4	
付 属 物	伸縮装置の損傷		9
	耐震連結装置の損傷		6
	排水装置の損傷		5
	壁高欄の損傷		2
	その他		—

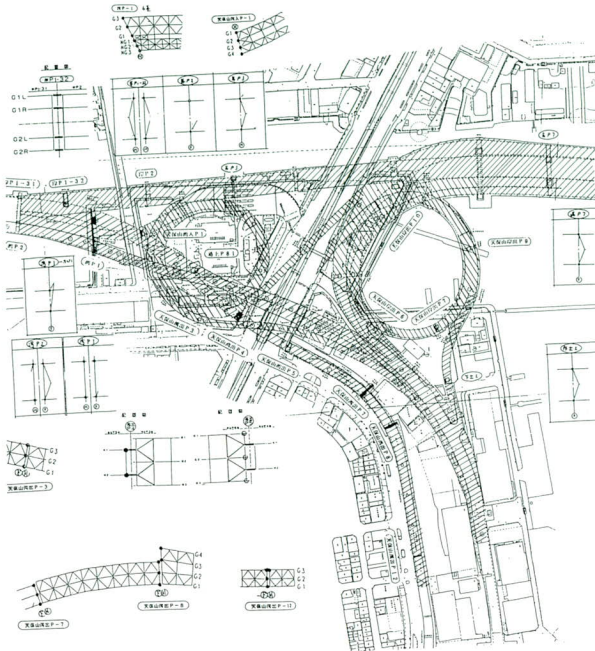


図-1 施工位置図

- ①免震ゴム支承による構造物の免震化対策
- ②現状の「設計基準」¹⁾による支承の修復のどちらを採用するかについて諸検討を行った。免震化対策については、支承の損傷箇所が昭和49年に供用された出入路ランプ桁部に集中しているため、下記の理由により免震支承の効果が期待出来ないと判断し使用を断念した。
- ①既設支承の沓高が低い上に交通供用下での施工のため路面高の変更が出来ず、免震支承の必要高が十分に確保出来ない。
- ②出入路ランプ桁部のため高橋脚で単純桁が連なって

いるので、構造物の免震化が思ったほど有効ではない。

- ③出入路ランプ桁であるため縦断勾配が7%程度あり、構造物の免震化の有効性に疑問がある。よって、B活荷重を新たに考慮して、「設計基準」¹⁾に基づいたBP-B支承の設計を行い取替工を実施した。
- 3) 支承取替時のジャッキアップ補強工
 支承取替時にはジャッキにて主桁を仮受する必要があるが、当該橋梁の大部分は施工年度が古くジャッキセッ

	平成 7年												平成 8年			
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
支承取替工			調査点検・検討・設計				工場製作	支承撤去・取替		現場塗装						
ジャッキアップ補強工							工場製作	架設		現場塗装						
耐震連結装置補修工							工場製作	補修		現場塗装						
支承取替取替工							工場製作	取替								
沓座改良工									はつり・型枠・EVA打設							
主桁-82型補強工																
疑似箱桁補強工										現場実測・設計		工場製作		架設・塗装		
落橋防止装置工												工場製作		架設・塗装		
耐震性改善補強工												工場製作		架設・樹脂注入・塗装		

図-2 天保山JCT付近鋼桁災害応急復旧工事工程表

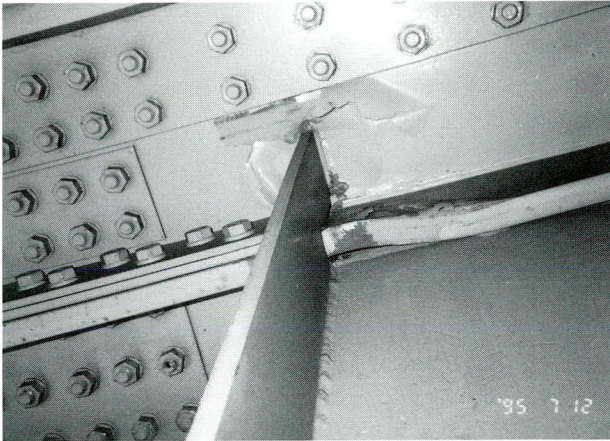


写真-1 桁本体の損傷

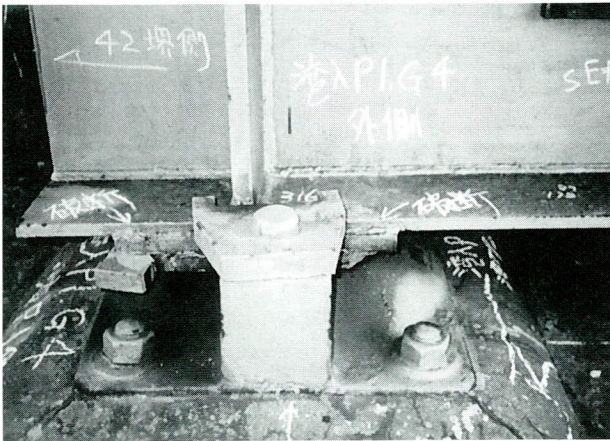


写真-2 支承の損傷

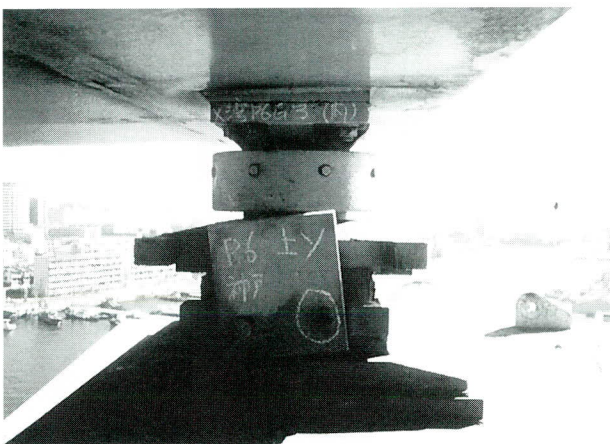


写真-3 支承ボルトの破損

ト位置に余裕がなかった。また、主桁ウェブ下では脚天端と主桁下フランジ間にジャッキを設置する空間の確保が出来ないため、端横桁下にてジャッキアップを行うこととした。

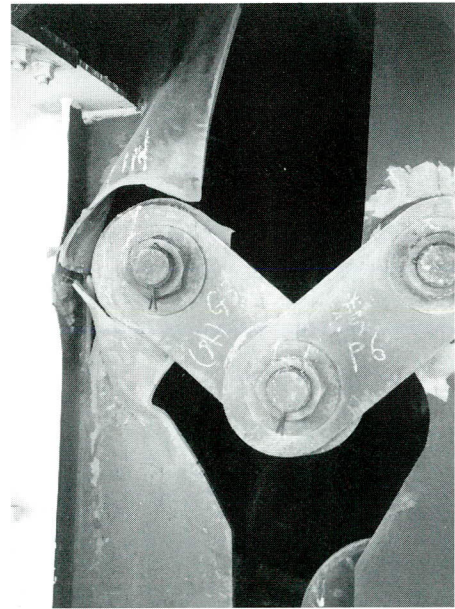


写真-4 耐震連結装置の損傷

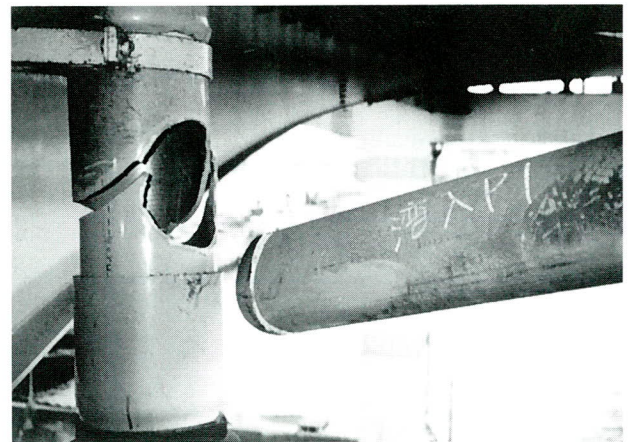


写真-5 排水管の損傷

ジャッキアップ時には端横桁にて施工時の荷重を受け持つため、下記の要領で補強を行った(図-3参照)。

- ①既設端横桁形状がニープレスタイプであるため、足の部分を切断する。
- ②切断した箇所に新規の横桁を設置する。
- ③新設横桁と既設横桁をボルトにて接合する。
- ④施工時荷重については、基本的に新設横桁のみで荷重伝達できるだけの性能を持たせる。

4) 耐震連結装置補修工

地震により、補強板取り付け部の主桁ウェブが破断したり控え材等が座屈したりする損傷(写真-4)がみられたため、「設計基準」¹⁾により設計を行い補修を行った。

図-4に補修構造を示す。

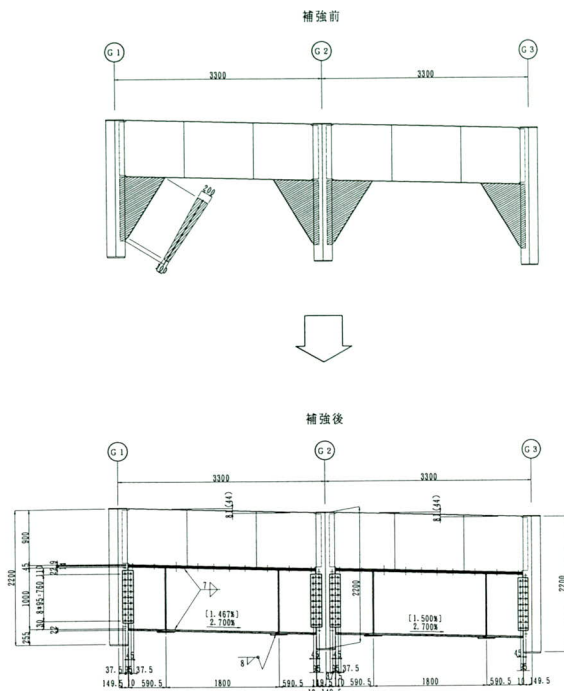


図-3 ジャッキアップ補強

5) 支承ボルト取替工

支承本体に損傷がなく、支承セットボルト等に破断およびゆるみの見られる場合は、新規にボルトの取替を行った。

6) 沓座改良工

支承本体に損傷がなく、沓座モルタル部に割れ等が見られる場合は、既設モルタルを撤去して沓座を再構築した。

(2) 耐震補強工事

阪神大震災による損傷が集中している(港上G-82)橋梁については耐震補強工事を行うこととした。

当該橋梁は、昭和49年に大阪港出路として供用された後、平成元年に大阪港線として拡幅を行い供用されている。このとき、上部工においては既設主桁軸方向とは異なる方向に主桁を増桁し、下部工においては既設橋脚とは独立した橋脚を設けたので、一支承線上の支点が異なる脚に支持される構造となっている(図-5参照)。

耐震補強工事の内容は、疑似箱桁補強工、落橋防止装置工および耐震性改善補強工であった。

1) 疑似箱桁補強工

増桁を含めた上部工全体が一体的に挙動するような構造に補強した。これは増桁を設置した際、支間中央の分配横桁以外の横組が対傾構のみであるため、この横組が

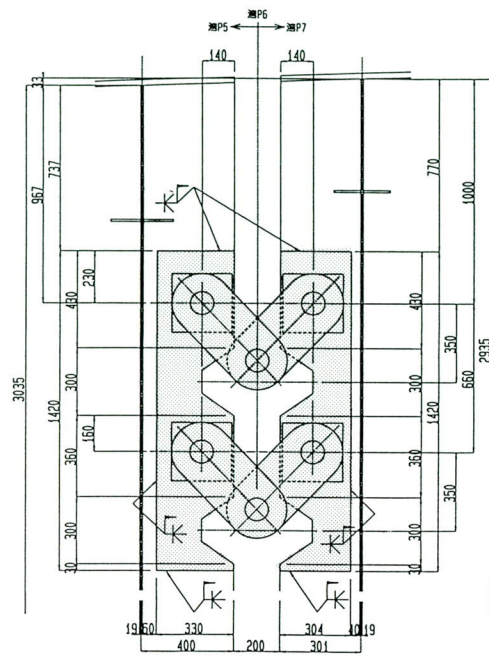


図-4 耐震連結装置の補修

今回規模の地震に対しては十分有効でないとする考え方によるものである。図-6に示すように、当初の桁と増桁との桁下面を鋼製パネルにより連結して疑似箱桁化し、下部工から伝達される地震力に対して上部工全体が一体的に挙動するような構造とした。また、当工法における桁下面の連結により上部工全体の剛性を高め、曲線桁特有のフランジの面外方向への変形を拘束した。

2) 落橋防止装置工

対象橋梁の橋脚は過去に一度拡幅工事が施工されており、再度の拡幅によるSE(桁かかり長)の確保が困難であるため、図-7に示すように桁間連結装置により上部工の落下防止を図るものとした。桁間連結装置は「復旧仕様」¹⁾に基づき設計した。

また、当該箇所は隣接桁と橋軸のセット方向が異なり、主桁間隔もバラバラであるため、桁間に取付用BOXを設置してPC鋼線を連結材として使用した。

3) 耐震性改善補強工(橋脚補強工)

下部工は固有周期の異なる独立した橋脚であり、上部工に関して振動の位相が異なる構造となっているため、下部工全体として同一挙動するように中間鋼製梁によってラーメン構造に変換した。図-8に示すように、独立したそれぞれの橋脚を連結することによって一体化を図り、下部工全体を不静定次数の高い構造物として橋脚全体の耐震性の向上を図った。

また、地震時保有水平耐力の照査を行い、鋼板巻き立

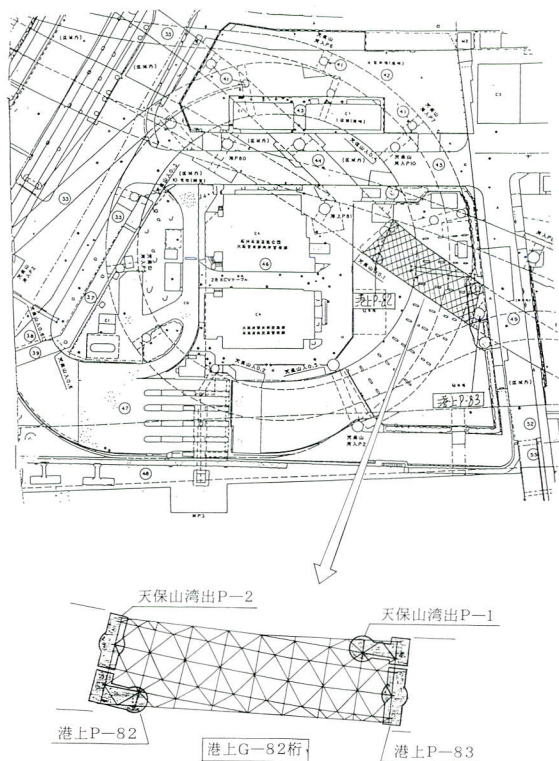


図-5 施工位置図

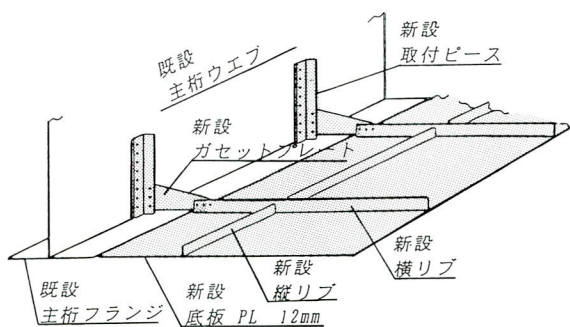


図-6 疑似箱桁補強工

て工法により十分な耐力を保持するように補強した。

3. 神戸線復旧8工区の概要

(1) 施工位置

本工区は阪神高速道路3号神戸線の神戸市東灘区深江南町から同区青木に至る延長約566mで、全区間が国道43号線上に位置しており、最寄りには阪神電鉄本線の深江駅や神戸商船大学がある。

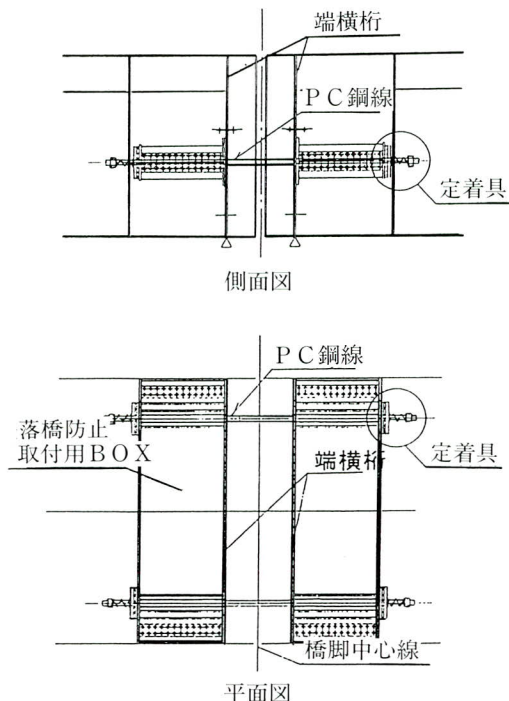


図-7 落橋防止装置工

復旧施工範囲は公団管理番号で橋脚番号が神P143から神P156まで、桁番号が神S143から神S155までである。国道43号線には大日交差点、深江交差点、商船大前交差点があり、歩道橋4橋が全交差点上で阪神高速道路と国道に上下から挟まれるようなかたちで国道を横断している。このうち深江交差点は、国道43号線と阪神高速道路5号湾岸線深江浜出入口のある深江浜とが唯一合流する大規模な交差点である。また、神P151橋脚と神P152橋脚間の国道下には高橋川が流れている。図-9, 10に復旧工

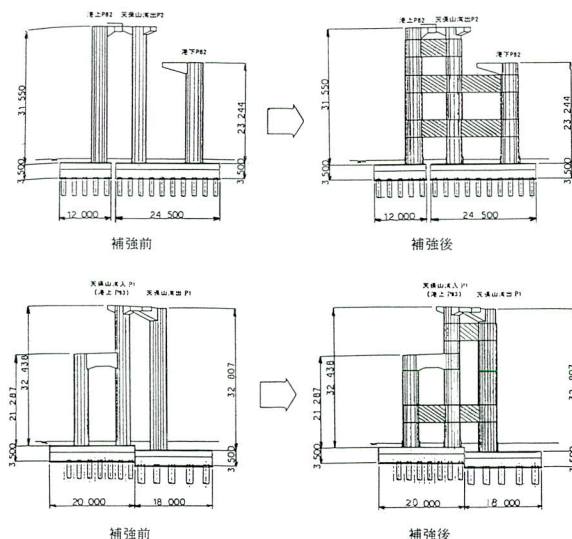


図-8 耐震性改善補強工

事位置を示す。

(2) 被災状況

被災度損傷評価は、「道路震災対策便覧（震災復旧編）」²⁾の構造物被災度の判定区分に対応させることを基本とし、以下の5段階で被災度判定が行われた。

A s：崩壊、倒壊したもの、損傷変形が著しく大きなもの。

A：亀裂、座屈、鉄筋の破断等の損傷、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、鉄筋の一部の破断やはらみだしおよび部分的

なかぶりコンクリートの剥離や亀裂が見られるもの。

C：鋼材の座屈や変形が局部的で軽微なもの、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見られるもの。

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。

1) 上部工（鋼桁部）の損傷

上部工（鋼桁部）において次のような損傷がみられた。

①本工区の交差点部を跨ぐ上部工形式は全てが箱桁であり、国道43号線深江交差点をまたぐ神S148から神

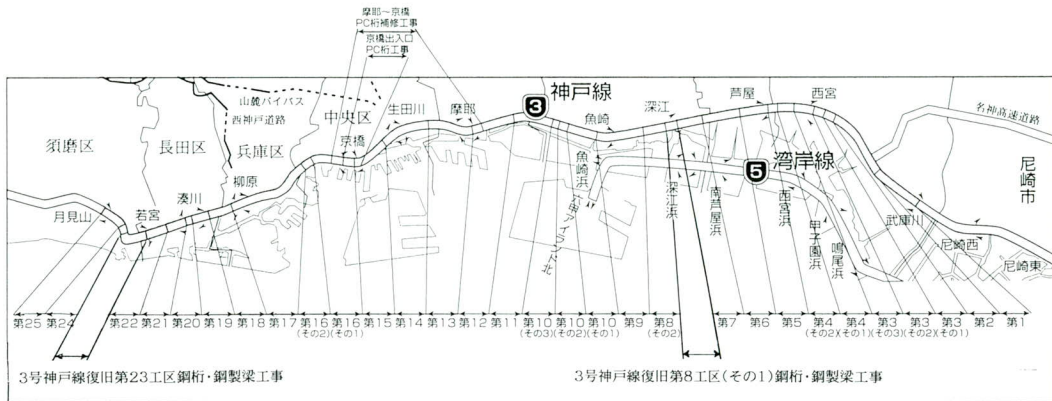


図-9 鋼桁・鋼製梁工事工区割りマップ

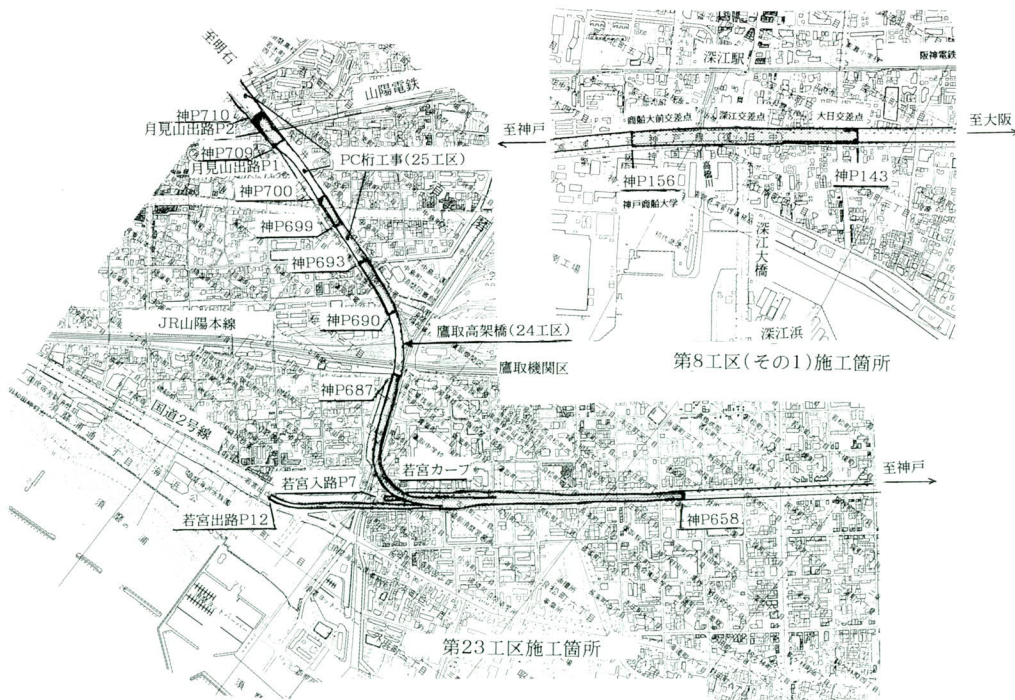


図-10 3号神戸線復旧工事位置図

S150までは、3径間連続RC床版鋼箱桁であった。この桁の中間固定支承を支持する神P150橋脚はRC柱部がせん断破壊により全断面崩壊し、脚としての機能を完全に失っていた（写真-6参照）。

このことにより、同時に鋼箱桁が主桁スパン中央部で全体座屈破壊を起こし、連続桁としての機能を失った（写真-7参照）。よって、被災度As判定となり撤去、再構築が決定された。

- ②本工区最東部に位置する神S143単純合成箱桁は、深江地区で阪神大震災の象徴的ともいえる635mにわたってピルツ高架橋が大規模倒壊した工区の隣接桁にあたる。本橋は、ピルツ桁が山側へ倒壊した時に、総重量が2000tonにもおよぶ箱桁が最大約1200mm山側へ移動したと同時に、支承セットボルトが破断して支承が箱桁下フランジを貫通するなど、2主桁の両桁端部に大きな損傷を受けている。よって、被災度B判定で補修・補強対象桁とされている（写真-8参照）。
- ③同時に、上記単純合成箱桁に架け違い部で互いの桁同士が耐震連結装置でつながれていることにより、総重量がおよそ1000tonある隣接の神S144単純合成箱桁が引きずられ、同じく山側へ約800mm移動している。大阪側の桁端部主桁腹板は、ニーブレス付き支点上端横桁の近傍で、45°近くまでねじ曲げられ、大きな変形損傷を起こしている。よって、被災度B判定で補修・補強対象桁とされている（写真-9参照）。
- ④神S153単純合成箱桁大阪側の支承ピン中央部破損に伴い、山側へ約40mm飛ばされたことにより、耐震連結装置でつながれた死荷重の軽い隣接の神S152単純合成箱桁神戸側の支点上補剛材および端横桁腹



写真-7 3径間連続RC床版鋼箱桁が全体座屈により破壊

板に座屈変形を起こし、一部鋼材の割れを伴っている。被災度B判定で補修・補強対象桁とされている（写真-10参照）。なお、この損傷は上記神S144単純合成箱桁の崩壊にいたる前の座屈状況であると判断される。

- ⑤その他、全ての桁が脚と共に山側ならびに神戸側へのずれを生じているが、上記以外の各合成桁については、支点部の補剛材、腹板、ラテラルに局部的な座屈や変形を伴う損傷や溶接割れ等は確認されたものの、耐荷力に影響を与えるほどの被災ではなく、被災度C、D判定され補強対象桁とされている。

また、桁と相関する全橋脚が神戸側に傾いたため、単純合成桁の架け違い部支承同士のエレベーション移動により、全伸縮装置フェースプレートに上下方向の相対段差が生じている。

2) 下部工（RC橋脚）の損傷

下部工(RC橋脚)について次のような損傷がみられた。

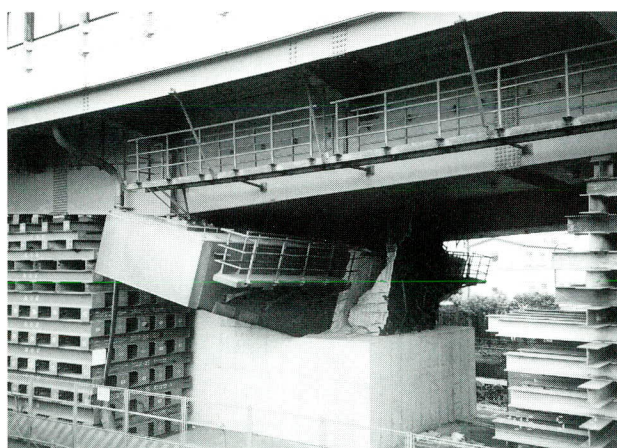


写真-6 神P150橋脚の崩壊

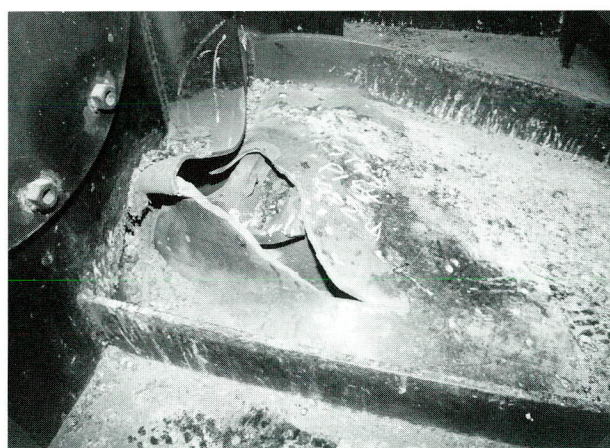


写真-8 神S143単純合成箱桁の箱桁下フランジの支承貫通

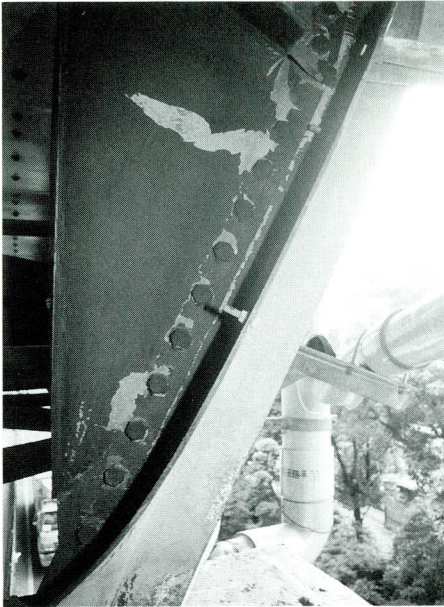


写真-9 神S144単純合成鉄桁の桁端部主桁損傷

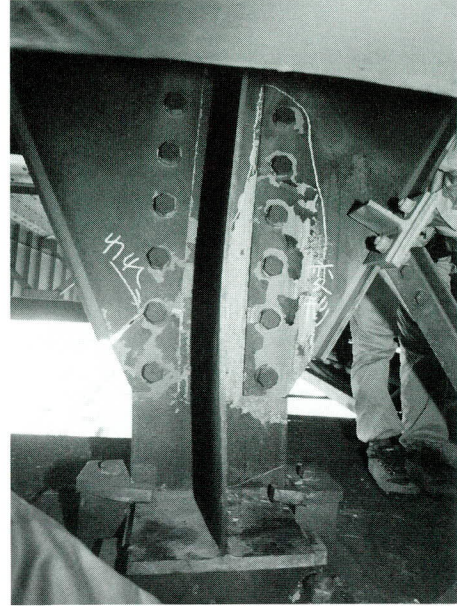


写真-10 神S152単純合成鉄桁の桁端部の損傷

①全橋脚において脚面内で山側へ、脚面外で神戸側への倒れが集中している。

②本工区の橋脚は全てT型RC橋脚で、全13基中被災度As：1基、被災度A：3基、被災度B～Dのうち柱の傾きが1°以上または柱中心で橋脚天端とグラウンドラインとの相対ずれ量150mm以上のものが4基との判定で、8基の撤去、再構築が決定された。なお、再構築部の下部工撤去は神P149、神P150橋脚以外は全て3号神戸線復旧第8工区下部工事（奥村組）にて行われている。

神P150橋脚における固定支点部のせん断損傷は、写真-6に示すように45°に発達するせん断ひび割れに沿ってずれを生じて崩壊し、上部工を支持できない状態となっている。（被災度As判定）

③残り5基の内、被災度C：1基、被災度D：4基で補修・補強対象橋脚とされ、下部工事により神P144、神P152、神P153が「鉄筋コンクリート鋼板巻立て併用工法」で、神P155、神P156が「鋼板巻立て工法」で、クラック等損傷部の補修処理後に補強されている。

(3) 施工内容

本工事の全体復旧施工概要を図-11に示し、以下に施工工種ごとにその内容を整理する。

①再構築桁（3径間連続鋼床版箱桁1連）

被災度判定により再構築が決定した神S148～神S150の3径間連続RC床版鋼箱桁は、床版死荷重の大

幅低減により耐震性向上と床版コンクリート打設工程が不要なため現場工期短縮がはかれる3径間鋼床版箱桁により再構築する。この時、中間支点部神P150橋脚上の上下線幅員部に新設非常駐車帯が追加されている。

②再構築橋脚（鋼製梁工7基、鋼製橋脚工1基）

被災度判定により再構築での復旧が決定したT型RC橋脚は神P145～神P151、神P154の8基である。このうち、神P150橋脚以外の7基に対しては新しい試みとして、図-12に示すように柱部を鉄筋コンクリート柱で、梁部を鋼製梁として隅角部で一体化したハイブリット構造の鋼製梁が採用された。

一方、神P150橋脚については当初鋼製梁による1柱式橋脚の再構築が計画されていたが、関係機関の強い要望であった、国道43号線から5号湾岸線深江浜出入口のある深江浜への交通量増加に伴う、深江交差点部上り車線用右折だまり確保のため、門型鋼製ラーメン橋脚形式による再構築が決定した。

③桁端補強工 3連

判定結果にもとずいて鋼桁、鋼製梁工事の発注を受け、再び桁の損傷状況調査に入り「既設鋼上部工の補修・補強設計及び施工要領（案）」³⁾の損傷部位によるTYPE I～Vまでの5段階の分類に従って復旧方法を検討した結果、以下のように決定した（図-13参照）。

イ) 上記被災桁の損傷部は全13スパンのうち神P143

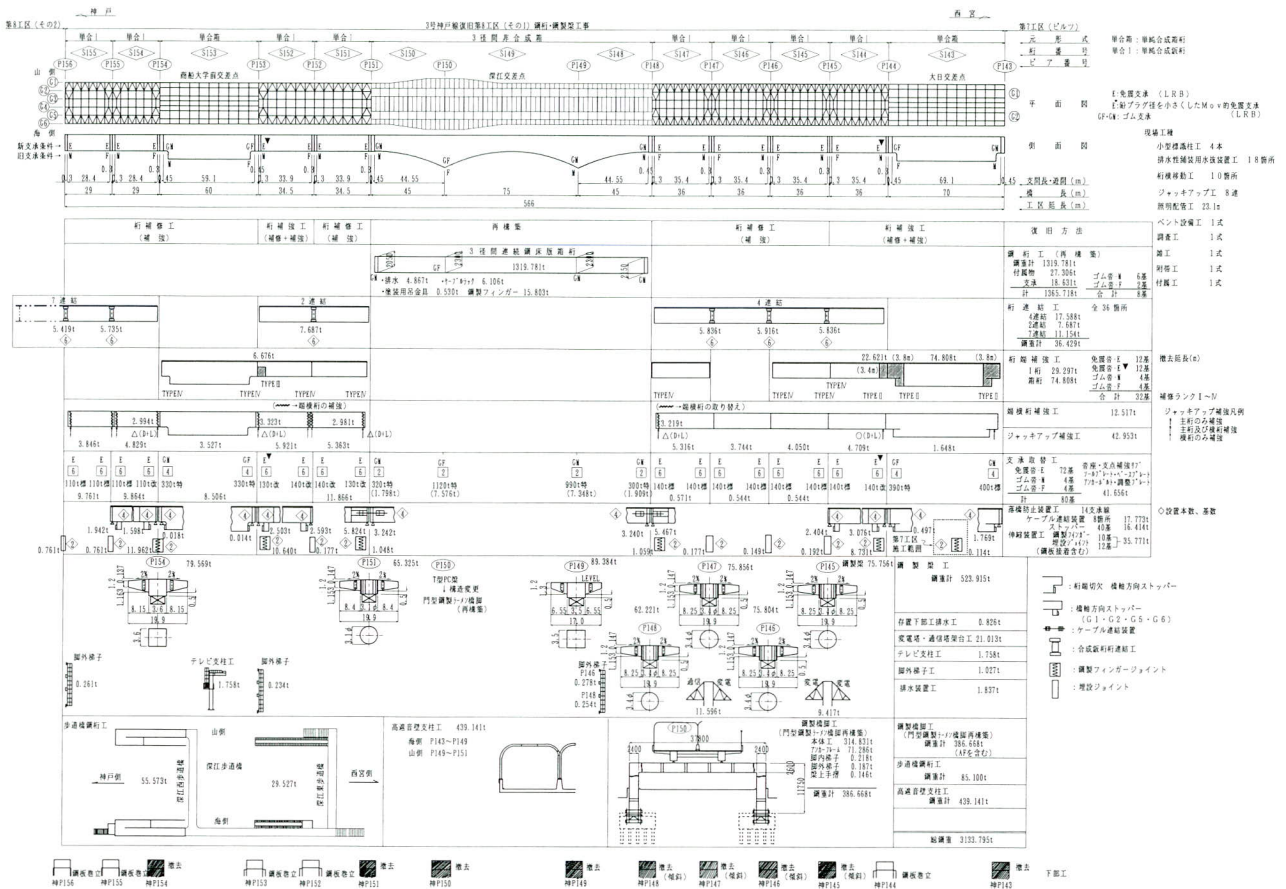


図-11 3号神戸線復旧第8工区(その1)鋼桁・鋼製梁工事 工事概要図

神戸・大阪，神S144大阪側の2連がTYPE II（床版の撤去を伴い、損傷部位を切断，撤去し、新しい部材をHTBで接合した後、床版打設を行う方法）で桁端補強が決定された。

ロ) 神S152神戸側の支点上補剛材部と一部端横桁腹板部をTYPE III（損傷部位を切断除去し、新しい部材を現場溶接で接合する方法）と一部TYPE IV（損傷部位の切断，除去を行わず、加熱矯正を行う方法）の併用で桁端補強が決定された。

④桁連結工 3連

隣接する単純合成鋼桁の主桁腹板間を連結板により連結させることによって、活荷重，温度変化，地震時に対して連続桁の挙動をさせる（ノージョイント工法）。特に耐震性向上と連結部分からの騒音，振動を軽減させることを重視して，単純箱桁以外の単純合成鋼桁を全て連結化する。

⑤端横桁補強工 4箇所

合成鋼桁同士が連結化されたことによる連続桁において始末端部となる既設ニーブレス付き端横桁に

対して、ニーブレス部を撤去し、追加増設横桁によりフルウェブ化させる。これは、写真-9に示すような破壊が生じるのを阻止して耐震性向上を図るためである。

⑥落橋防止装置工 36箇所

建設省復旧仕様⁹⁾⁵⁾を受けたかたちの阪神公団の設計要領⁶⁾にもとづいて、PCケーブル式連結装置および橋軸方向ストッパーで復旧している。なお、本工区では入出路等の道路幅員の狭い桁や曲率の小さな桁をもっていなかったため、橋軸直角方向ストッパーの設置は行っていない。

⑦支承取替工 80基

単純合成鋼桁の桁連結部は、免震ゴム支承(LRB)の採用により上部工を弾性的に支持して水平反力の分散化を行っている。その他、桁連結ができない箱桁部の建設当時の支承条件が可動，固定の場合は、既設橋脚が可動支承として生じる地震時水平力以上の水平力に対して耐力がなかったため、それぞれ可動固定ゴム支承による復旧が決定した。なお、支承

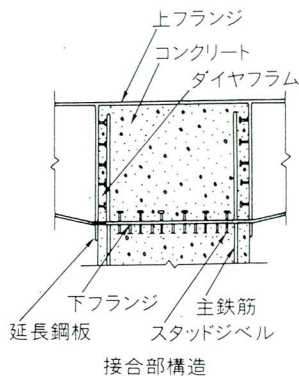
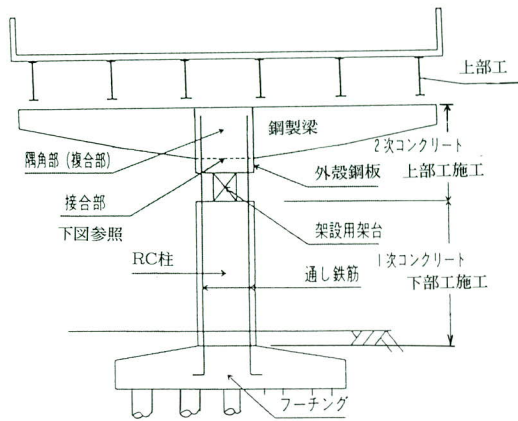


図-12 鋼製梁構造概要図

工までを含めた全ゴム支承設置個数は120基である。

⑧ジャッキアップ補強工

桁扛上や桁移動作業のため、既設桁腹板や端横桁にジャッキ反力作用部補強として補強材や桁変形防止材を現場溶接により取り付けている。

また、ジャッキ操作時や架設時安全対策上桁ずれ防止対策材も現場溶接により取り付けている。

⑨伸縮装置工 22基

桁連結化による構造系の変化により、桁伸縮量が大きくなり関係する伸縮装置を再製作している。

⑩変電、通信塔架台工 2基

神P145鋼製梁部の大阪側、神戸側の両側に磯島変電塔用架台を、また神P147鋼製梁部の神戸側に磯島通信塔架台、大阪側に磯島変電塔架台を大規模な吊り下げ型として再構築している。

⑪テレビ支柱工 1基

ドーム型高遮音壁が設置されるために既設ITV支柱からその内部の交通状況が監視不可能となるため、新規設計・製作・施工となった。

⑫桁横移動工 10連

全桁が脚と共に山側ならびに神戸側へのずれを生

じたため、復旧線形位置へ再構築以外の全桁を橋軸直角方向、橋軸方向へそれぞれ桁移動させ復旧を行った。

⑬深江歩道橋鋼桁工（再構築）

阪神高速道路の桁や脚撤去のため、深江交差点に位置する建設省管理の深江西歩道橋斜路、階段および深江東歩道橋斜路付き階段が震災応急復旧工事第4工区により既に撤去されていた。そのため、3径間連続鋼床版桁架設完了後、本工区にて完全復旧を行った。

⑭高遮音壁支柱工

高速道路沿いにあるマンションなどの高層階区間の住居に対する騒音低減対策として路面からの高さ約7mのドーム型高遮音壁が設置されるため、その支柱の製作、施工を行った。その設置範囲は、山側上り線に対して120m、海側下り線に対して259mにわたっている。

⑮裏面吸音板の基本設計

国道43号線を通る車の音が高架に反射しておきる騒音対策として、高架裏側に下からの音を吸収して、騒音を軽減する吸音板が桁に取付られる計画があったため、本工区全長にわたる基本設計を行った。

⑯ベント設備工

ベント基礎、ベント設備は、橋脚撤去再構築のための桁ジャッキアップや復旧線形への横移動のため

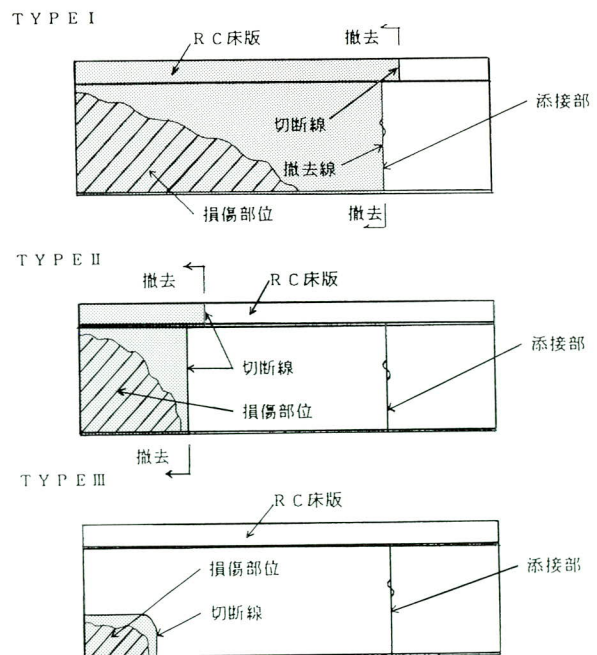


図-13 補修方法の分類

に、存置橋脚上でのジャッキ操作が可能であった神S155桁以外の存置桁すべてに設置され、総数17基、設置総重量1860tonに及んだ。また、神S151桁のベント設置位置には高橋川上に国道部の橋が架かっているため、アバット近傍にH鋼杭で基礎補強した後、その上にベント設置を行った。

その他、上記工種以外には上下部排水装置工、脚外梯子工、照明配管工、調査工、小型標識柱工、排水性舗装水抜き装置工等がある。

(4) 現場工程

本工事の現場工事工程、計画立案にあたり震災復旧であるが故に以下の点に留意、工夫を行っている。なお、**図-14**に本工区の実施概略工程を示す。

- ①本工事で重視されたのは工期の短縮、耐震性の強化、環境対策、安全管理の4点であった。
- ②公団との調整はもちろんのこと、下部工業者や上部工隣接工区業者との綿密な工程調整や頻繁な打合せが不可欠で、常に即断即決の行動姿勢が基本となることを予想し、いち早く下部工業者と上部工業者とが1つ屋根の下になる合同現場作業所を作り、現場復旧工事本部としての体制を確立した。このことが、現場での上、下部工の頻繁な打ち合せを可能にしたり、職員の志気向上やチームワークの良さとなって、計画どおり工程を進捗させる上で役立った。
- ③同時に、設計部会は、架設部会と一緒に現場常駐で全ての設計業務を現場作業所にて行える環境を整備し、神戸線開通までの間、常に現場状況を敏感に設計図や次工程に反映できるような体制を速やかに確立した。
- ④本工区は国道43号線に位置しているため震災後直ちに緊急物資輸送路として位置づけられ、震災後約2週間で片側最低2車線確保(夜間、日曜、祝日は最低片側1車線確保)が実施された。そのため、ほとんど全工種の施工計画における基本方針は、東側2車線、西側2車線に与える影響が最も軽微な工法でしかも早期復旧のため夜昼のない連続で施工することが前提となった。
- ⑤各架設ステップ毎の頻繁な車線切替や車線規制計画と調整が必要であったと同時に、桁受けベントの連立や上空に存置桁があるため空間的に非常に狭い制限の中で1年間以上にわたって交錯複合した作業を進めなければならなかったため、安全対策からもより

綿密な工程等の調整が必要であった。

- ⑥余震が続く中、近隣住民の安全や騒音と振動に対して特別な配慮をした施工を絶対条件として慎重な施工が要求された。
- ⑦桁と橋脚の被災損傷状況の違いから、損傷のない桁を残したまま損傷した橋脚を撤去、再構築するという施工方法は、今回の復旧工事の大きな特徴である。既設端部床版と主桁端部を切断、撤去し、桁上方からPC梁撤去や鋼製梁を架設する方法では、損傷のない桁を切断しなければならず不経済であり、かつ全体工程に与える影響があまりにも大きい。そのため本工区では既成概念に捕らわれない、新機材を積極導入した架設工法の計画立案が要求された。
- ⑧各工区とも競うような知恵のひねりあいであったと同時に、復旧建設部と復旧工事事務所と我々との強い連帯感、使命感の下でこれまで培ってきた技術や最新の機械などをフル活用して、困難な状況を打開していく必要があった。
- ⑨工事半ばで高速音壁支柱(約440ton)、歩道橋復旧(約85ton)の設計・製作・架設が追加発注されるなど、絶えず工程調整を余儀なくされた。開通日が平成8年5月末まで予定できずに先が見えない状況が続く中、通常の工程表とは逆に多工種をパラレルで右から左へ引いていくかたちが繰り返され、「いかに早く復旧しながら安全で快適なものへと仕上げていくか」を考えながら日々の工程調整が必要であった。
- ⑩JV工事のため、宮地・高田両工場での製作機動力を最大限に発揮できるような製作手順や製作工程を考え、現場から要求される製品に対して1日でも早い納品を果たすため両製作工場との連携が不可欠であった。

4. 神戸線復旧23工区の概要

(1) 施工位置

本工区は地震直後の火災が相次いだ神戸市長田区日吉町から須磨区月見山町までの本線、若宮入出路および月見山出路の区間の鋼桁部、鋼製脚部で、総延長は1801m、全52スパンが工事対象区間であった。この区間内には施工外区間としてJR山陽本線上の鷹取高架橋(復旧第24工区)およびPC桁部(復旧第25工区)が混在しており、また路下条件も厳しく、国道2号線、河川、公園、交通量の多い交差点などが存在した(**図-9**、**10**参照)。

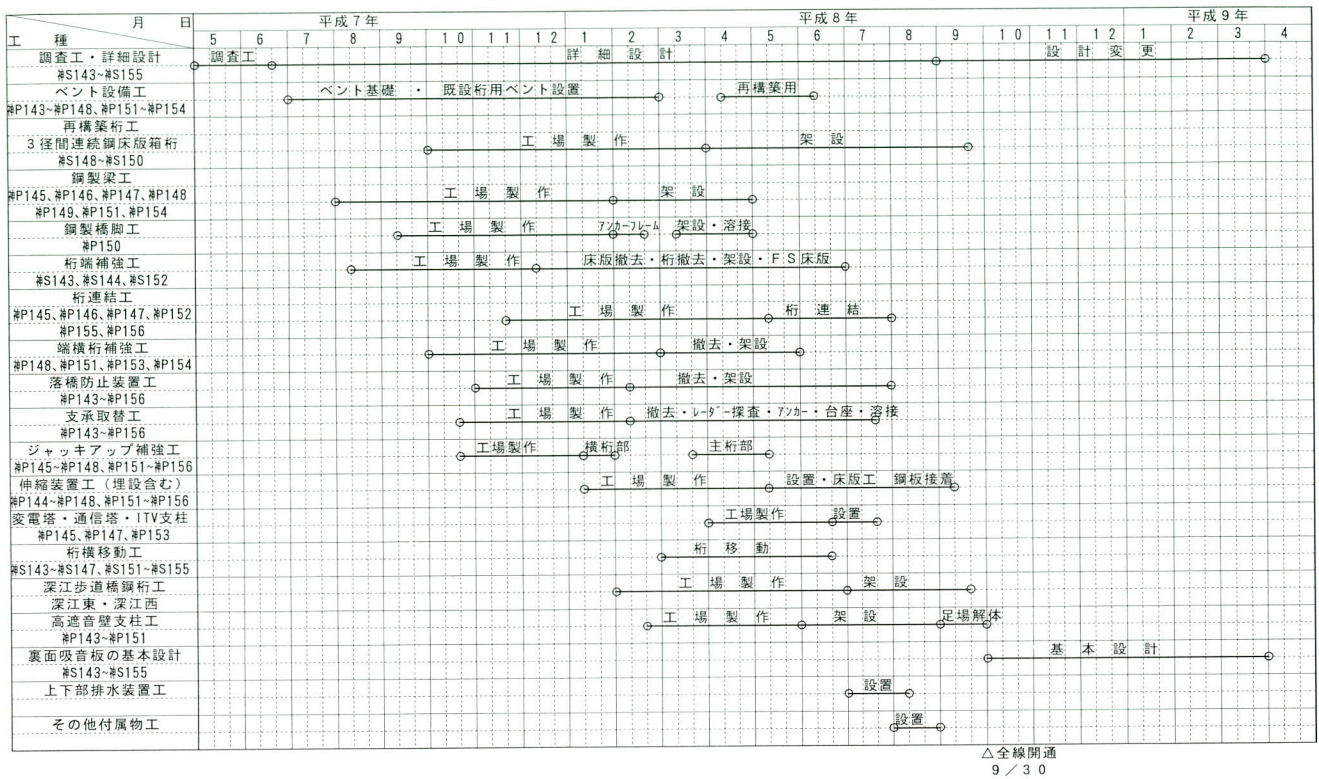


図-14 神戸線復旧第8工区実施工程表

(2) 損傷調査および施工内容

工事受注前に行われた公団による本工区の被災度の判定は表-2に示すとおりであった。それによると本工区の被災状況は、コンクリート橋脚の一部に著しい損傷が発生していたものの、鋼桁、鋼製橋脚には落橋につながるような大きな損傷箇所は少なく、比較的軽微な損傷が多いと推測された。

工事受注後、損傷箇所の正確な把握と補修計画立案のために設計・製作・架設担当者が一体となって詳細調査を行なった。詳細調査は設計・施工要領(案)³⁾⁷⁾に従って行なったが、本工区の同要領(案)により分類した上部工の補修TYPEの箇所数は表-3に示すとおりであった。鋼製橋脚は全数ほぼ健全な状態であった。これにより、被災度の判定が示すとおり確かに落橋に至るような大きな損傷箇所は無かったが、軽微な損傷も含め支点近傍に補修・補強が必要な箇所は膨大な数にのぼることが判明した。

その後、この詳細調査などをもとに損傷箇所の補修計画を立案し、復旧仕様⁴⁾などに従って詳細設計を行って耐震性向上のために多岐に渡る施工が行われることとなった。

本工事の全体復旧施工概要を図-15～図-17に示す。

(3) 現場工程

23工区は、8工区同様に工期の短縮、耐震性の強化、環境対策、安全管理の重視を原則とし作業を進めた。

本工事は存置の桁がほとんどで、脚内、脚上の狭い区域での作業工種が多くかつランプを3箇所抱えていたため

表-2 被災状況(損傷ランク)

上部工	(橋数)				
	本線	若宮出路	若宮入路	月見山出路	合計
As					0
A					0
B	1	1			2
C	29		4		33
D		10	2	1	13
合計	30	11	6	1	48

下部工	(橋数)				
	本線	若宮出路	若宮入路	月見山出路	合計
鋼製橋脚	As				0
	A				0
	B				0
	C	12	5		17
PC, RC 橋脚	D				0
	As	1			1
	A	5		2	7
	B	2		1	3
合計	C	4		1	5
	D	16	3	2	1
合計	40	8	6	1	55

表-3 上部工補修TYPE

	(箇所数)				
	本線	若宮出路	若宮入路	月見山出路	合計
TYPE I	0	0	0	0	0
TYPE II	0	1	0	0	1
TYPE III	61	12	10	0	83
TYPE IV	58	20	0	0	78
TYPE V	1	0	0	0	1
合計	120	33	10	0	163

他工区の路面作業車両等の乗入れを余儀なくされた。

平成8年4月、5月期には、ひとときに多くの工種が重なって人海戦術に頼らなければならなかったため、1日に200人強の作業員を動員した。

設計も追加工事が多く、また作業が進むにつれて取合等の確認のために絶えず現場との往復が必要になるなど作業量が増加してきたため、増員して対処せざるを得なかった。

本工事の実施概略工程を図-18に示す。

5. 神戸線復旧工事の主要工種詳細

(1) 桁撤去と桁再構築

1) 神戸線復旧8工区

3径間連続鋼床版箱桁では、国道43号線の車線規制の早期解除のために、まず主桁を架設して鋼床版を後架設とした。また、主桁部の架設は、中央径間の75mが深江交差点に位置することから側径間架設を先行し、その両側径間から2ブロックないしは3ブロックを張出して(写真-11参照)、中央主桁ブロックの最終落とし込みにより主桁閉合させた。そのために計算量だけ支点上で先行上げ越しを行っている。中央径間ブロックの架設は、その時期を交通量が減る4月28日から5月5日のゴールデンウィークに計画し、昼間一気に閉合まで行っている。その後、速やかに桁架設ペントを解体し(写真-12参照)、両主桁間ならびに路肩側張り出し部の鋼床版ブロックを主桁にあずけてから鋼床版をHTBにて本締めする工法(写真-13参照)を取った。そのため、断面力算出のための構造解析は、架設系と完成系の2つの系(前死荷重、後死荷重+活荷重+支点沈下)にて行っている。なお、神P150鋼製ラーメン橋脚の国道43号線に対する建築限界を確保するため、既設桁の中間支点上にあった腹板ハンチをなくし、鋼床版故に15%程度腹板高を低く押さえ、スレンダーな側面形状として復旧させた。

支承はすべて可動固定のゴム支承で復旧し、さらに既

設桁が1ボックス2沓タイプだったものから1ボックス1沓タイプに変更した。

2) 神戸線復旧23工区

神S663および神S664桁の上部工には致命的な損傷はなかったものの、損傷の激しかったコンクリート橋脚の撤去再構築に伴い、上部工も一時撤去する必要が生じた。撤去した上部工(活荷重合成鉄桁)は床版を取り壊して工場へ持ち帰り、主桁など一部を再利用した再生桁で施工するものとして受注したが、運搬費や桁の改造作業、床版の取り壊し作業など、経済性や工期短縮を考慮して全て新設の鋼床版鉄桁として復旧した。

現場は桁下空間にパネル足場を設置し床版切断のための水養生設備を設けた。

吊り具用の孔をコア抜きし(150φ)、床版一般部はコンクリートカッター、壁高欄をサイドオールソー、中央分離帯部はワイヤーソーにて切断した。

ブロックの撤去は橋上より25ton吊りクレーン、搬出は10tonトラックで1ブロックづつ昼間作業で行った(写真-14、15参照)。

桁の撤去では現場状況等を考慮して桁下にペントを設置し、高所作業車およびペント上を足場としてガス切断を行った。

撤去作業は夜間、路下国道2号線より一車線規制して120ton吊り油圧クレーンを用いて行った(写真-16参照)。

(2) 鋼製橋脚工(8工区のみ)

本橋脚の構造的特徴は、写真-17のように梁長さ(35.4m)に比べ、柱高さ(11.75m)が極端に低いことである。設計・施工上の技術的課題に対し以下の対応をとっている。



写真-11 3径間連続鋼床版箱桁(再構築)の張出架設

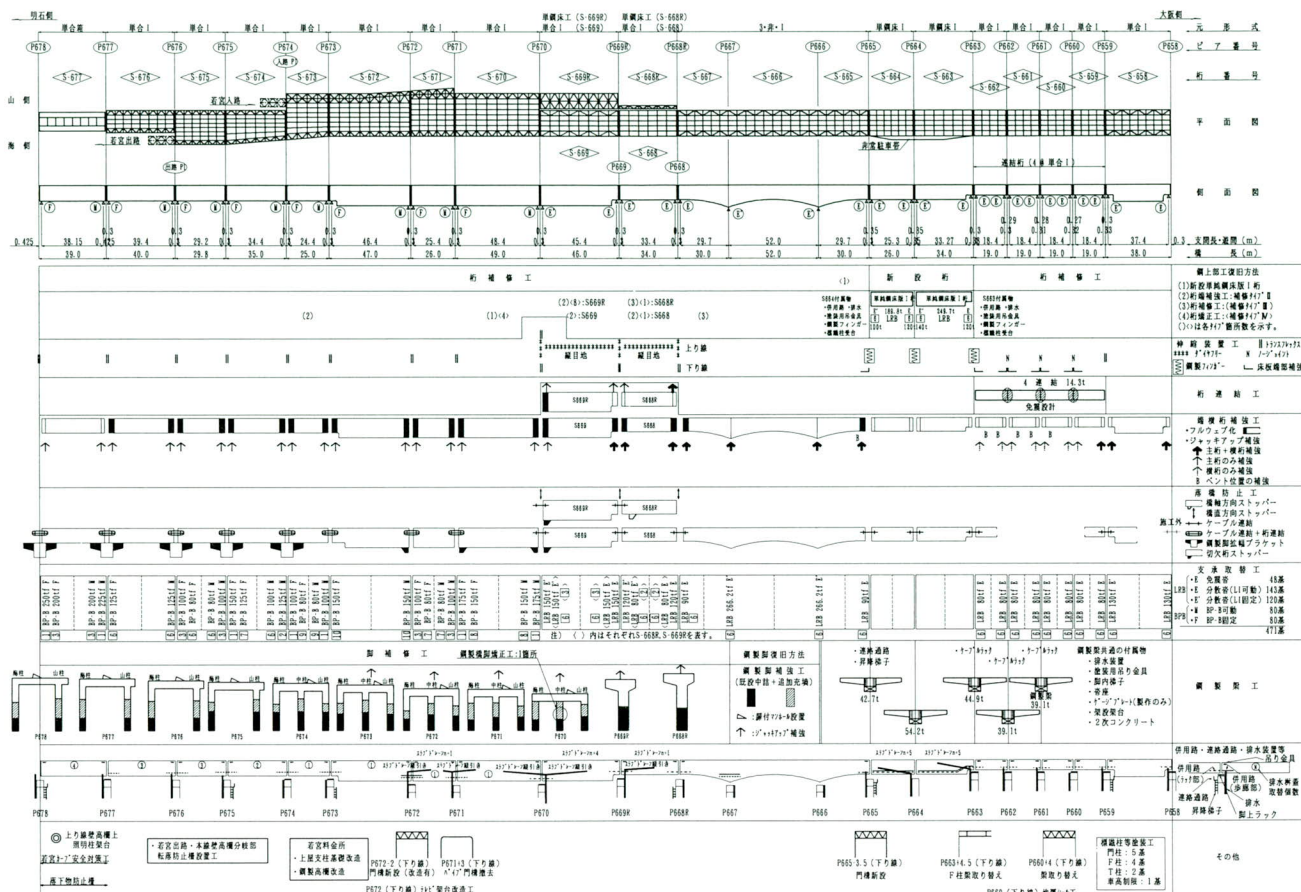


図-15 3号神戸線復旧第23工区鋼桁・鋼製梁工事 工事概要図(その1)



写真-12 3径間連続鋼床版箱桁(再構築)の主桁ブロック閉合

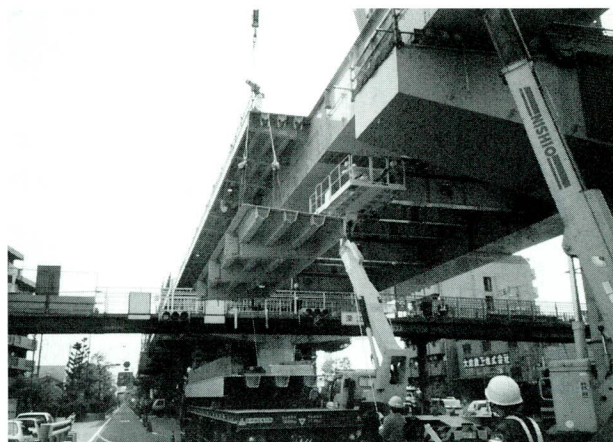


写真-13 3径間連続鋼床版箱桁(再構築)の鋼床版架設

1) 柱部構造

柱部は「鋼製橋脚の再構築設計資料(素案)」⁸⁾に従い、縦リブの本数、寸法および鋼種を変化させていない。また、「3号神戸線復旧設計要領(案)(鋼構造物編)」⁹⁾より、コンクリート非充填部では以下の寸法制限を順守した。

- ・縦補剛材間の板パネルの幅厚比パラメータ

$$R_p \leq 0.4$$

- ・縦補剛材の幅厚比パラメータ

$$R_h \leq 0.5$$

- ・縦補剛材の剛度

$$\gamma \geq 3\gamma^*$$

さらに、阪神高速道路公団の新設門型鋼製ラーメン橋脚

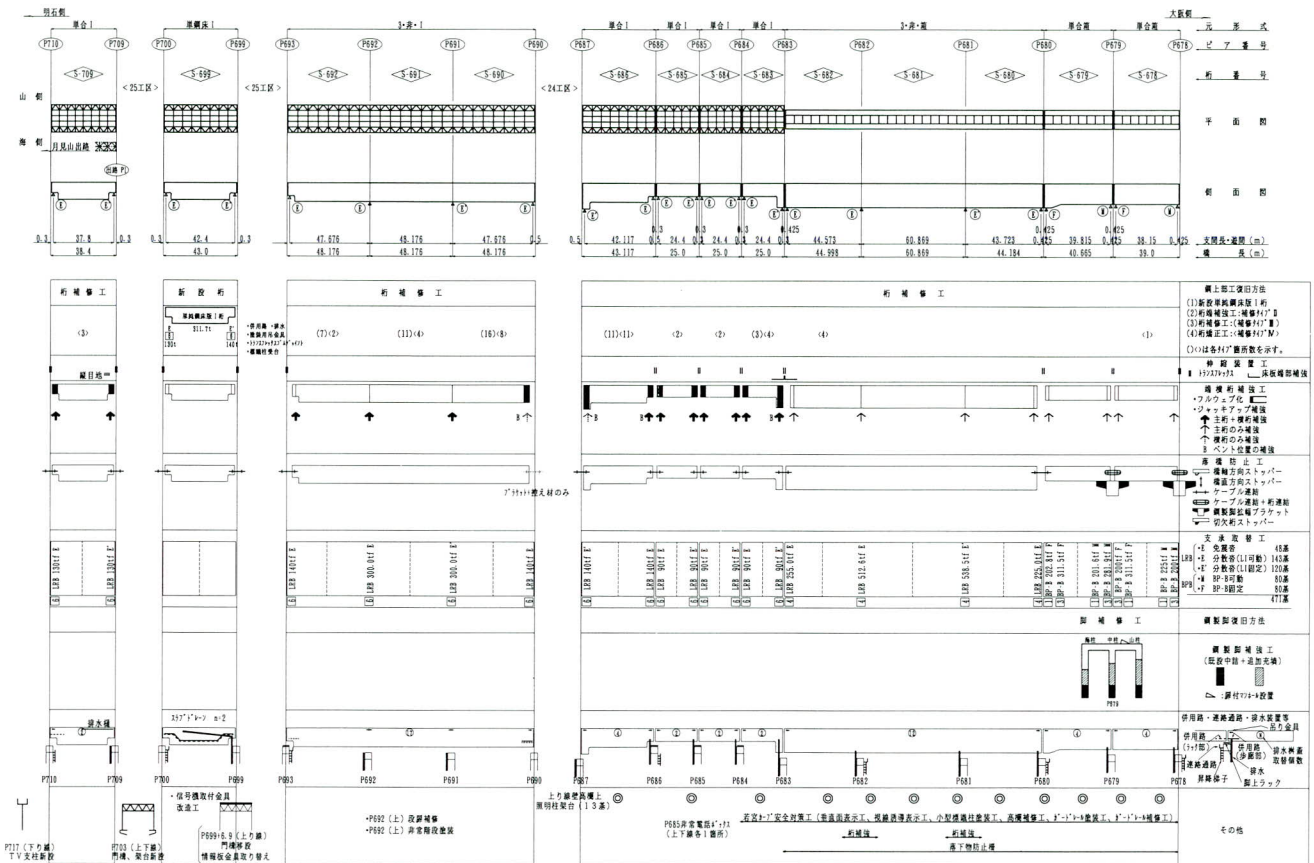


図-16 3号神戸線復旧第23工区鋼桁・鋼製梁工事 工事概要図(その2)

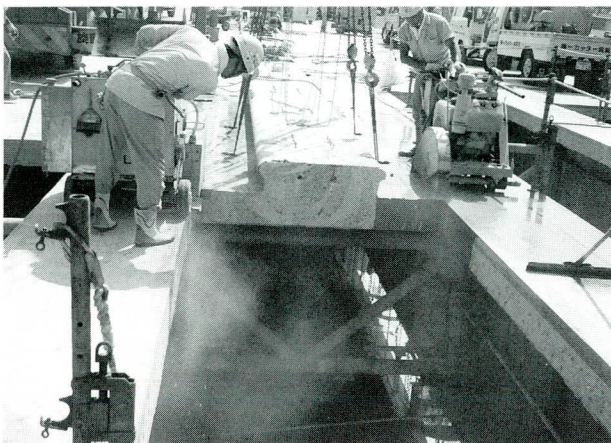


写真-14 床版切断(橋軸方向)

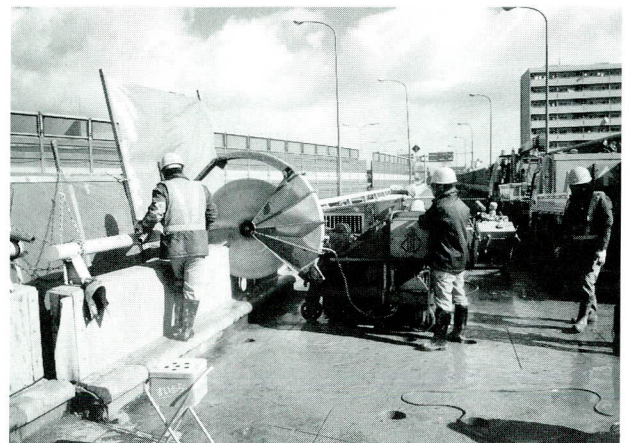


写真-15 高欄切断(橋軸直角方向)

としては、初めて地震時保有水平耐力照査ならびにアンカーボルト(180φ: S45CN)を含めた定着部の照査を行って、製作・施工を行った。

2) 現場継手部構造

工程短縮という点から、柱部の現場継手は当初ボルトによる摩擦接合を計画していた。しかし、本橋脚の上記構造

的特性から、不等沈下と温度の影響が大きく、隅角部の断面力(曲げモーメント $M \approx 7000tf \cdot m$ 、せん断力 $S \approx 1000tf$)が非常に大きくなった。このことから、ボルト接合の場合の必要列数が、最大片側15列と非常に多くなった。道路橋示方書¹⁰⁾では、「すべり耐力が低下するため、なるべく8列程度以下とするのが良い」と記載されている。よって、

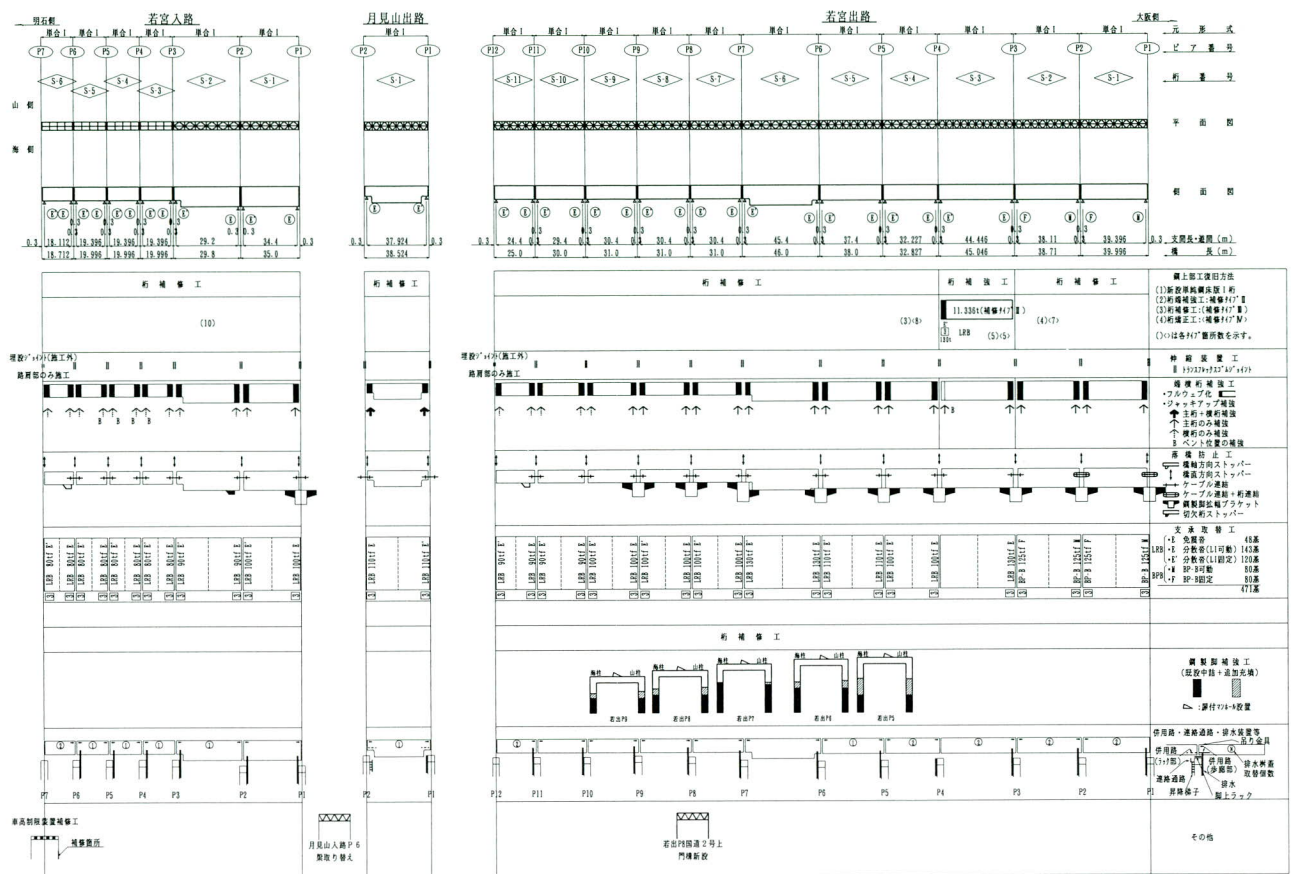


図-17 3号神戸線復旧第23工区鋼桁・鋼製梁工事 工事概要図(その3)

本橋脚の隅角部の現場継手は、極厚、高材質(図-19参照)という施工実績の非常に少ない条件下ではあるが、全断面現場溶接の採用に踏み切った。採用にあたっては、現場と同条件の溶接施工試験を実施し、その安全性を確認後、表-4による溶接方法にて本施工に至った。また、現場溶接施工工程はボルト接合に比べ長期化することが当初危惧されていたが、左右隅角部を同時着工し、24時間連続溶接施工を実施する(写真-18参照)ことで、わずか20日間足らずで完了することができた。なお、非破壊検査は超音波自動探傷試験により実施し、公団検査要領¹⁾による基準に合格している。

3) 架設

国道43号線深江交差点部は、深江浜の5号湾岸線からの合流も有り、非常に交通量が多い。フーチング部基礎からアンカーフレーム(写真-19参照)、基部、柱部、隅角部までの施工中は、この交通流を遮断することなく工事を進めるため、崩壊橋脚の旧基礎部の埋め戻しを行い、上下各2車線を確保した。なお、新設フーチングの特徴は国道両脇に公団用地を確保できないため、国道中央側に杭を多く配置(場所打ち杭72本)したもとなっている。

フーチング施工完了後の梁部架設にあたっては、中央部にベント2基を建て、車線を上下線それぞれ2車線ずつこの両脇を通るよう切り回している(図-20参照)。梁中央部の最終落とし込み部材は、両仕口部の切りを斜めにし、部材間に隙間5mmを確保した(写真-20参照)。

(3) 鋼製梁工

1) 神戸線復旧8工区

構造的特徴は以下のような点にある。

- ① T型単柱橋脚の柱部をRC柱、梁部を鋼構造とし、鋼製梁隅角部で一体化した複合構造である。
- ② 隅角部には、じん性確保や耐荷力の向上を目的としてコンクリートを充填するが、鋼製梁の断面計算上ではこれを無視する。また、コンクリートと鋼板はスタッドジベルにより定着させる。
- ③ RC柱の主鉄筋は鋼製梁下フランジを貫通させ隅角部内の充填コンクリートに定着させている。このとき、鋼製梁内の主鉄筋量は、RC柱部と同量である。
- ④ 鋼製梁隅角部下フランジは、鉄筋貫通による断面欠損を補うために増厚し、下フランジ下面には接合部



写真-18 梁部下フランジの現場自動溶接

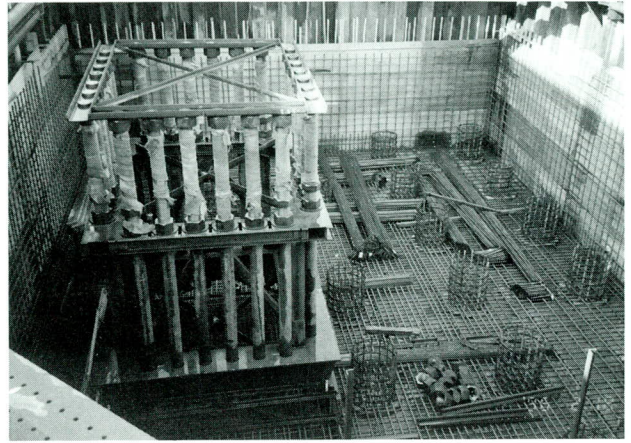


写真-19 鋼製橋脚工のフーチング部アンカーフレーム

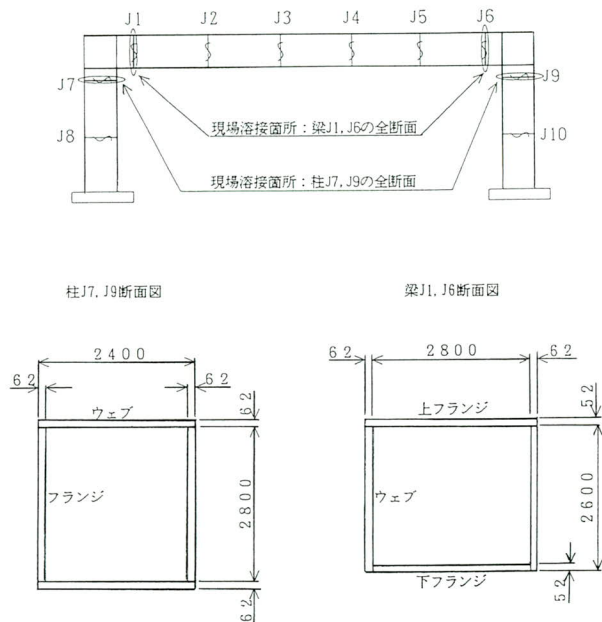


図-19 現場溶接箇所および断面図

表-4 溶接方法

継手箇所	溶接方法	溶接姿勢	溶接装置	
柱 J7, J9 フランジ・ウェブ	CO: 片面裏波自動溶接	横向き	PICOMAX-2	
梁 J1, J6	上フランジ	CO: 片面裏波自動溶接	下向き	PICOMAX-2
	下フランジ	MAG片面裏波自動溶接	上向き	OH-AUTO
	ウェブ	CO: 片面裏波自動溶接	立向き	PICOMAX-2

れない。

ハ) せん断遅れを考慮した隅角部設計法やFEM解析値と載荷試験の結果はよく一致している。

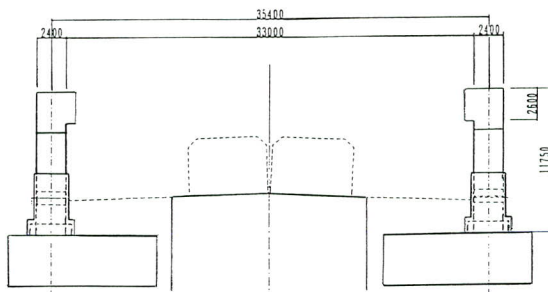
②鋼製梁隅角部内には鉄筋, スタッドジベル, 補剛材



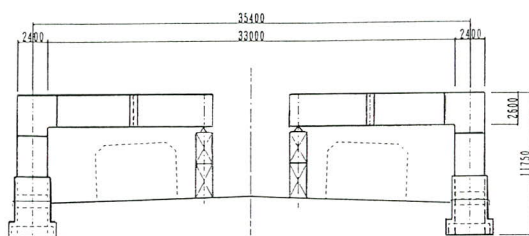
写真-20 梁部最終落し込み架設

が配置されるため、流動性がよく乾燥収縮を起こさないコンクリートを選定するとともに、コンクリート打設に対する以下の様な配慮が必要である。

- イ) コンクリートには膨張性混和剤入り中流動性コンクリートを使用する。
- ロ) 鋼製梁天端にコンクリート打設用マンホール、バイブレーター用孔、空気抜き孔を設けコンクリートポンプ車よりコンクリート充填を行った。
- ③鋼製梁とRC柱の結合部は、梁の下フランジに鉄筋貫通孔をあけそれに柱の主鉄筋を差し込む形式となるため、フーチングから鋼製梁までの鉄筋組立の精度を確保しなければならない。そのためRC柱の主鉄筋を施工していく過程で上部工業者にて既設鉄筋配置を現場実測し、RC柱中央と上部の2箇所鋼製のゲージプレート付き架台を設置し、鉄筋間隔を拘束したうえで鋼製梁との結合を行った (D32の異形鉄筋に対しゲージ孔φ40mm, 鋼製梁側下フランジ孔



橋脚柱部架設時まで



橋脚梁部架設時

図-20 国道43号線切回し状況図

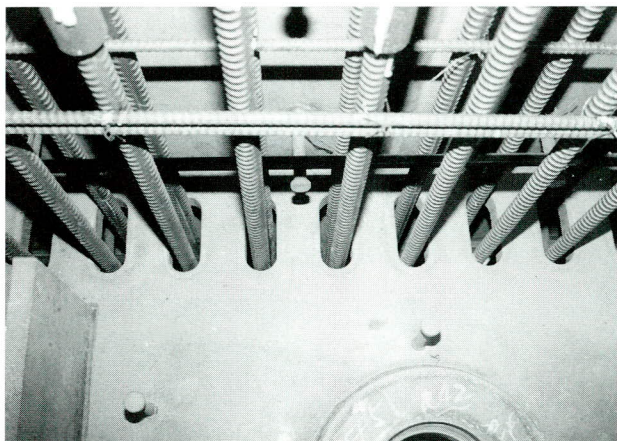


写真-21 鋼製梁の下フランジ貫通鉄筋

φ50mm；写真-21参照)。

- ④鋼製梁隅角部内の鉄筋とRC柱の鉄筋は継手が必要となるが、継手数が多く狭い作業スペースであるため施工性の良い継ぎ手を選定する必要があった。鉄筋同士の継手にはガス圧接、エンクロズド溶接、機械継手などの方法があるが、施工性に優れたねじふし付き異形鉄筋用機械継手（カプラーとエポキシ系有機グラウト材による固定式）を採用した。また、鋼製梁内のねじふし付き異形鉄筋は工場でセットし、RC柱部側の同種鉄筋に現場でチドリ継手配置にて施工した（写真-22参照）。

- ⑤損傷のない上部構造を存置させながら下部構造のみを撤去、再構築するため、上空のオープンスペースがなくても行えてより安全で経済的な架設方法の検討が必要となった。そこで、通常はプラントや原子力設備などの据え付け工事に使われている自走式トランスポートを用いて超重量物を安全かつ高精度に運搬する技術工法「パワージャッキシステム」（日本通運）を使用して鋼製梁の一括架設に挑戦した（7基中4基）。このシステムは「自走式トランスポート」と「パワージャッキ」を組み合わせたもので架設段階を写真-23～25に示し、下記にその機能を説明する。また、架設要領図を図-21～25に示す。

なお、残り3基の鋼製梁は上空がオープンのためトラッククレーン工法もしくはこれと縦取りジャッキ工法を組み合わせ架設された。

a) 自走式トランスポート

電子制御ステアリング装置つき全輪操舵で前後左右に自在に走行可能な6軸自走台車で、1台の最大積載荷重は150tonまで可能である。また、一般公道を走行することが可能である。

b) パワージャッキ

1セットのジャッキ能力はジャッキストロークが1段目から3段目まで伸びきった状態で最大270tonまでの扛上能力があり、最大5.7mのストロークがあるため、高所まで重量物を架設できる。

2) 神戸線復旧23工区

本工区は鋼製梁を5橋脚施工した。設計思想、設計条件等はほぼ8工区と同様であった。

現場条件として桁撤去部と存置桁部とにわけられる。

桁撤去部：神P664はヤード内からベントによる単材直接架設、神P663は交差点内1/2交通規制、神P665はヤード内からベント上へ地組して台車による縦取り架設を昼間作業で行った。

存置桁部：神P662, 神P661は張出しベントを使用して夜間1車線規制し、単材毎に台車で横取り架設した。

何れも120ton油圧クレーンを使用した（図-26参照）。

(4) 支承取替工

1) 神戸線復旧8工区

桁連結桁における支承には、水平反力分散ゴム支承（本工区では鉛心棒の入った減衰機能を付加させた免震支承（LRB）を採用）を用いることにより、橋軸方向の地震

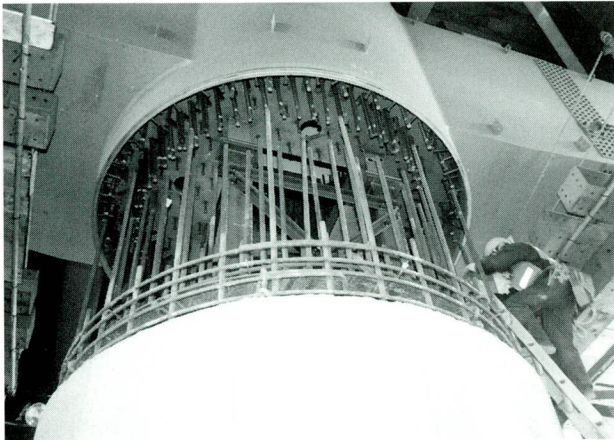


写真-22 RC柱と鋼製梁の接合部チドリ継手配筋



写真-23 トランスポーター輸送

時上部工慣性力を各橋脚へ分散させることができる。この場合、適用するゴム支承は活荷重により発生する桁連結部の回転変形を吸収し、桁連結部の橋脚上で2支承線のまま連結することに起因する不均等な支承反力を抑制する効果が期待できる。

免震支承は、レベルIIの地震力に対して十分機能し、さらに今回と同規模の地震（レベルIII）においても支承が崩壊しないようにレベルIIの設計水平震度においてゴムのせん断ひずみを250%以下におさえることとした。また、セットボルト、アンカーボルト、せん断キーはレベルIIIの地震に対して終局強度を超えないものとした。固定、可動ゴム支承の固定装置、セットボルト、アンカーボルト、せん断キーは地震時保有水平耐力（レベルII）に相当する水平地震力に対して終局強度を超えないものとした。

ゴム支承に交換すると支承面積が大きくなって既設ソールプレートでは反力分布面積をカバーできないため、新設ソールプレートに取り替えるものとし、主桁側には補強リブを追加した。

2) 神戸線復旧23工区

(a) 支承の選定

全ての支承（471個）を取り替えることとした。その際、可能な限りゴム支承を用いて上部構造を弾性的に支持し、水平力の分散化を図ることを基本として支承の選定をおこなった。その結果、

- ① 桁連結部（4連結部）は免震支承とした。
- ② その他のコンクリート橋脚上は反力分散支承とした。免震支承、および反力分散支承はレベルIIの地震力に対し十分機能し、レベルIII地震力に対しても崩壊しないようにレベルIIの設計水平震度において

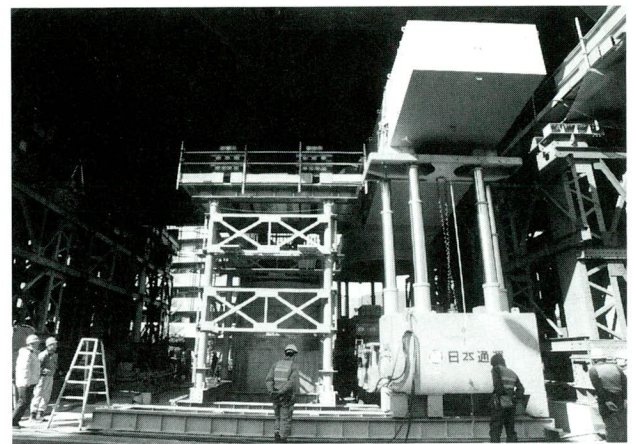


写真-24 ジャッキアップ中

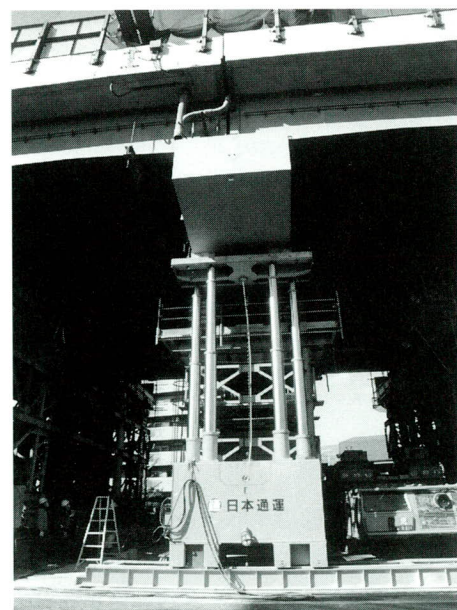


写真-25 横移動完了、梁受バンドへジャッキダウン

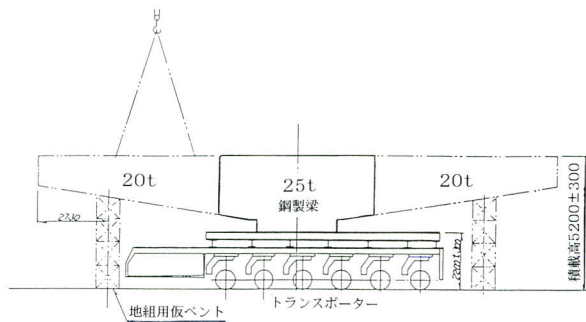


図-21 鋼製梁地組立

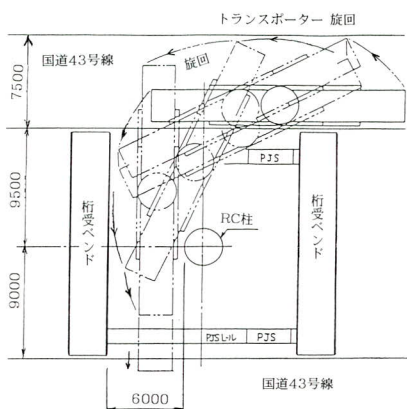


図-22 トランスポーター輸送

せん断ひずみを250%以下として設計した。またセットボルト、せん断キーなどはレベルIIIの地震に対しても終局強度を超えないように設計した。

③鋼製橋脚は密閉ゴム支承板支承（BP・B支承）とした。これは既設鋼製橋脚天端幅が最大でも2m、最小1.5mと狭く、大きな平面寸法を必要とするゴム支承は設置困難であったことと平面寸法が大きくなるため橋脚横梁の添接板と干渉する箇所が多かったためである。BP・B支承はレベルII地震に対して終局強度を超えないように設計した。

(b)ソールプレートの取替え

支承を鋼製支承からゴム支承へ交換する場合、既設のソールプレートそのまま使用すると面圧の分散が悪くなる可能性がある。したがって反力の桁への分散や支承の面圧などの検討およびソールプレートの曲げおよびせん断応力度照査の結果、許容応力度を超過する場合は新規のソールプレートと交換または既設ソールプレートと支承の間に厚板を挿入して対処した。

検討は下記の条件で行った。

①ゴム支承の許容面圧を80kgf/cm²とした。

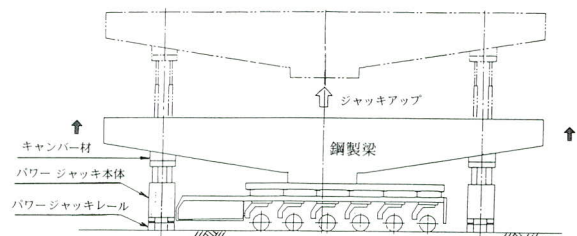


図-23 パワージャッキによるジャッキアップ

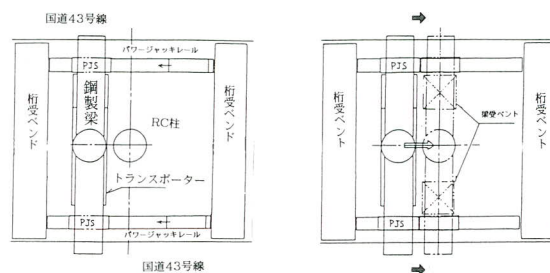


図-24 横移動

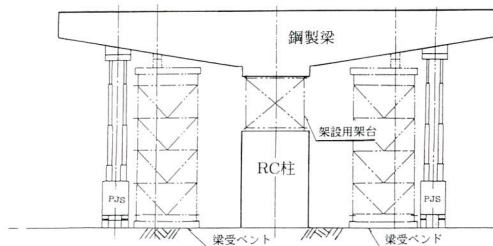


図-25 架台および梁受ベントへジャッキダウン

- ②板と板の許容応力度の広がりには60°とした。
- ③反力分布としては鉛プラグ面積の影響は無視した。
- (c)アンカーボルト

アンカーボルトの照査は、1支承線上の支承全てが均等に地震力を分担すると仮定して行い、照査地震レベルはI、IIとした。

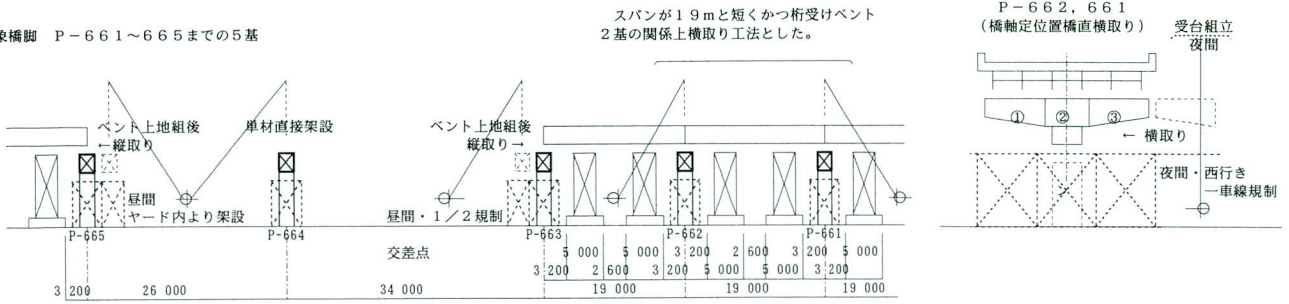
照査の結果アンカーボルトのせん断力が不足する箇所があったため、基本的にφ22×150（SS400）のスタッドジベルを用いて補強を行うこととした。このときスタッドジベルが橋脚の鉄筋の深さまで埋め込まれるようにベースプレート下面の高さを調整した。また、モルタル割れ防止のために沓座補強鉄筋を設置した（図-27参照）。

(5) 桁端補強工、桁補修工

1) 神戸線復旧8工区

損傷桁の端部床版はコンクリートカッターやワイヤー

対象橋脚 P-661～665までの5基



架設クレーン：120t吊り油圧使用
 縦取り設備：台車15t 4台、チルホール3t3台
 横取り設備：台車15t12台、チルホール3t3台

図-26 P661～P665 架設概要図

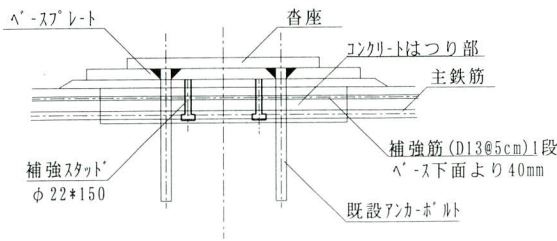


図-27 頭付スタッドによる補強

ソーを使用して桁部以外の床版部や壁高欄部を短冊状ブロックに切り刻み、桁上のクレーンでつり下げて桁下へ撤去し、鋼桁上フランジ上に残ったRC床版と共にガス切断により一次切断して撤去した（写真-26参照）。

その後、正確なスパン測量を行ってキャンバーを考慮した厳密な二次切断やケレン作業を行ってから、写真-27のように新規補強桁を添接板により取り付け復旧した。復旧線形への桁横移動が完了後、桁切断した3箇所の床版撤去箇所について、型枠作業を簡略化できかつ工程短縮が図れる「主鉄筋付き鋼製型枠式プレハブ床版（FS床版：工場製品；写真-28参照）」を使用して合成桁として床版や壁高欄を復旧させた。ただし、配力鉄筋、合成作用に対するせん断補強鉄筋、壁高欄鉄筋は現場施工している。

2) 神戸線復旧23工区

本工区の「設計・施工要領（案）」³⁾により分類した補修タイプは前述のとおりであったが、代表的な補修例を以下に示す。

(a)補修TYPEII

①損傷状況

本工区では若宮出路S3桁が対象となり、損傷状況は以下のとおりであった。

- ・地震時水平力によりニーブレス形式の端横桁が座屈

している（写真-29参照）。

- ・床版片持部に大きなクラックが長さ約1.5mに渡り発生している。
- ・主桁下フランジ、腹板が変形している。特に落橋防止装置（メガネタイプ）取り付け部の桁端部腹板の損傷が激しい（写真-30参照）。

②補修・補強

図-28に示すように、ベントにより桁を支持し損傷した部位を含む床版と鋼桁を切断、撤去した。その後工場製作した新規部材をHTBにより接合し、床版を打設して復旧した。設計上配慮した点を下記に示す。

- ・主桁、中間対傾構、横構などの断面は原状復旧としたが、支点上補剛材、端横桁、支承など地震時で決定する部材はレベルII地震時水平力に対して許容応力度内となるように設計した。
- ・床版、壁高欄の型枠には工期短縮と床版補強効果を期待して、スタッドを溶植した鋼製型枠を使用し、鋼板接着構造として復旧した。
- ・床版は現行基準により、補強範囲全区間を打ち降ろし区間とした。

(b)補修TYPEIII

①損傷状況

単純合成鉄桁と3径間連続非合成箱桁が架け違いとなる神P683上の単純合成鉄桁側の支点近傍の損傷状況を図-29に示す。この損傷状況は下記の通りであった。

- ・ニーブレス形式の端横桁の下フランジ、腹板が大きく座屈している。
- ・主桁の端横桁下フランジ取り付け部が橋軸直角方向に座屈している。

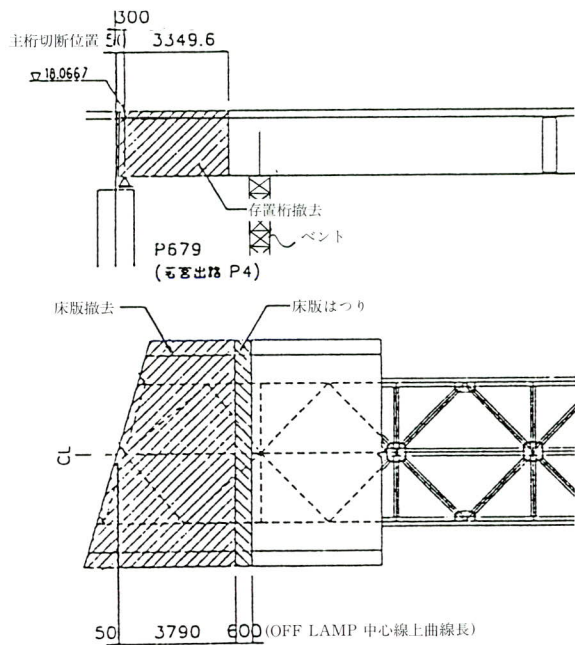


図-28 若宮出路S3 補修TYPE II

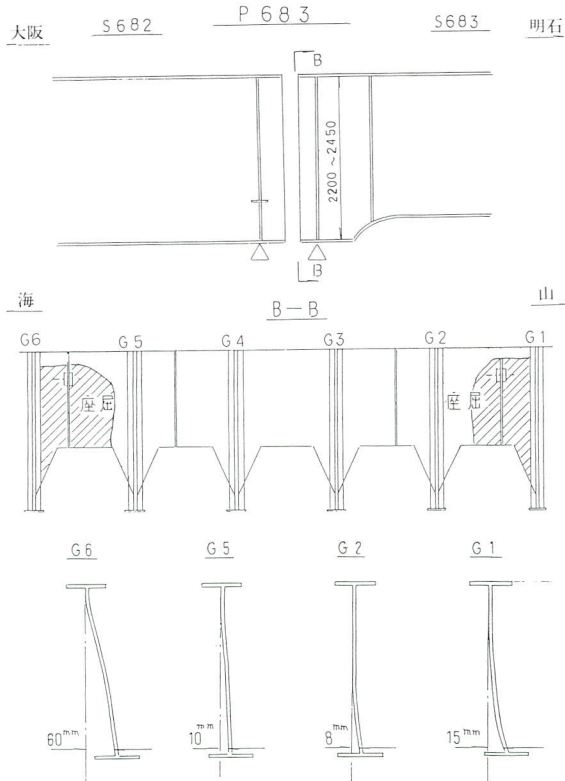


図-29 S683 補修TYPE III

- ・端横桁腹板に取り付けられていた落橋防止装置（メガネタイプ）の控え材が破断している。
- 以上から、地震時に橋軸方向、橋軸直角方向とも

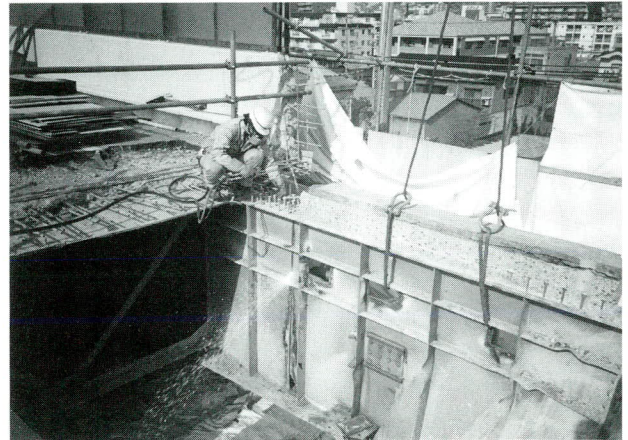


写真-26 桁端撤去

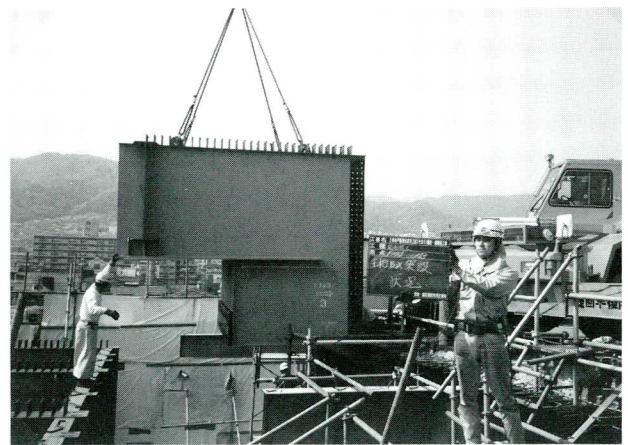


写真-27 桁端補強

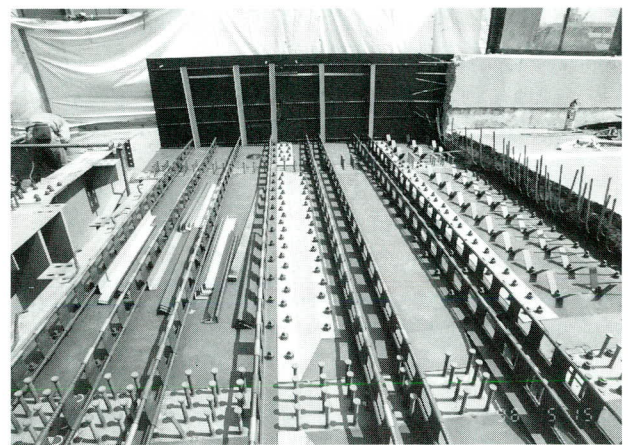


写真-28 FS床版

に設計水平力を上回る過大な水平力が作用したと考えられる。

②補修・補強

- ・座屈した主桁をベントで支持し、支点上補剛材を無



写真-29 若宮出路S3端横桁の損傷



写真-30 若宮出路S3桁端部の損傷

応力状態にした後、損傷部位を切断し新規部材を完全溶け込み溶接により取り付けた。

- ・端横桁は座屈した腹板および下フランジをガス切断した後、新規部材により充腹構造として復旧し、橋軸直角方向地震に対して耐力の向上を図った。

(c)補修TYPEIV

補修TYPEIIIと補修TYPEIVの判断基準は、「道路橋示方書」¹⁰⁾15.3.2(6)冷間加工の規定を参考に、**図-30**に示すように変形部最小内側半径 R_{min} と板厚の関係を目安に現場状況等を考慮して決定した。

(6) 端横桁補強工

1) 神戸線復旧8工区

鉸桁の支点上端横桁は震災以前はニーブレス構造により主桁と連結されていたが、前述のような損傷が発生したため、横桁全体の剛性を高めて耐震性を向上させた。具体的には、ニーブレスを現場切断して切断面をケレン

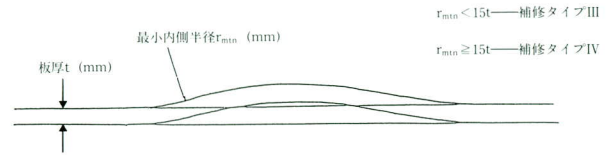


図-30 補修TYPE III, IVの判断基準

後新規追加横桁を下方から継ぎ足し、HTBによりフランジ接合させてフルウェブ構造にした。

2) 神戸線復旧23工区

従来鉸桁の端横桁としては、ニーブレス構造が合理的かつ経済的な構造形式であるとして一般的に用いられてきた。しかし、今回の震災で多くの損傷が発生したこと、新たに橋直ストッパーなどを増設する必要があること、ニーブレス構造はジャッキアップに難があることなどを考慮し、復旧にあたってはフルウェブ構造とすることを基本とした（**写真-31**参照）。

フルウェブ構造を採用したことで桁端は一体として挙動すると考えられるため、各支承に作用する水平力はほぼ均等に作用すると考えた。

①横桁腹板の照査

腹板の平均せん断力がせん断座屈応力度を越えないことを照査した。

$$\tau \leq \tau_{cr}$$

ここに、 τ ：平均せん断応力度 ($\tau = H / (B \cdot t)$)

H：着目上部工の全水平力

B：両外桁の間隔

τ_{cr} ：せん断座屈応力度

$$(\tau_{cr} \leq \sigma_y / \sqrt{3})$$

t：腹板厚

②支点上補剛材の照査

支承からの水平力を横桁の腹板まで確実に伝達させるために支点上補剛材に作用する曲げモーメントが全塑性抵抗曲げモーメント以下であることを照査した。照査点は横桁の腹板と支点上補剛材取付け第1ボルトの位置とし、水平力の作用位置はソールプレート下面とした（**図-31**参照）。

③橋直ストッパーからの作用力に対して補強した。

(7) 桁連結工

1) 神戸線復旧8工区

全単純合成鉸桁の隣接桁同士の桁と桁の接合部には曲げモーメントによる引張りや圧縮並びにせん断力が作用

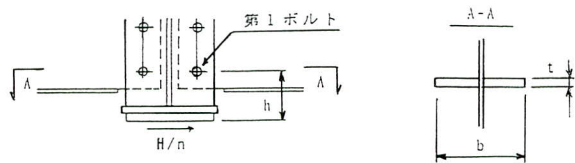


図-31 支点上補剛材の照査位置

するため、腹板の上下にモーメントプレートを中央にシャーププレートを設置し、お互いの桁間である遊間部には腹板厚と同厚の遊間フィラープレートを入れた後お互いをHTBにて添接している（図-32、写真-32参照）。

主桁は連結後の活荷重に対し連続桁として挙動するため活荷重たわみの低減が期待できるとともに、免震支承の適用や桁の連続性により耐震性向上が期待できる。

なお、連結部上に鋼製伸縮装置が存置している場合は、そのウェブ中間より上方のフェースプレートまでをガス切断により撤去し、一部改造後目地部を設けた上に無収縮モルタルを注入して排水性舗装を施工することにより連続化している。一方、ゴム製伸縮装置の場合は撤去後バックアップ材と弾性シール材を注入して排水性舗装を施工することにより連続化している。

2) 神戸線復旧23工区

桁連結工の使用目的は8工区と同じである。線形条件、構造形式、主桁配置などから神P659～神P663までの4連を連結桁として復旧した。また下部工や基礎工の照査の結果、免震設計の適用が可能と判断されたため、上部工としてはゴム支承、桁遊間、伸縮装置移動量の設計に免震設計を行った。

(a)設計

①構造解析

- ・主構造は格子解析として変形法により解析した。
- ・解析は単純桁(合成前後とも)と連結桁について行った。
- ・弾性支点としてゴム支承の鉛直バネ定数と鋼製梁の鉛直バネ定数を考慮した。
- ・活荷重はB活荷重とした。

②既設断面の応力照査

- ・連結後の作用曲げモーメントが負の場合は、非合成断面として照査を行った。
- ・主桁補強は連結板のモーメントプレートを延長することにより対処した。
- ・連結部は連結板断面で応力照査を行うが、事前に行われた実験結果と理論値の比を応力集中係数¹³⁾として応力照査に考慮した。

③連結部構造

- ・連結板の必要ボルト本数は、連結板の作用応力度より算出した。
- ・上側モーメントプレートは垂直補剛材に設けた貫通孔を利用して設置した。
- ・下側モーメントプレートは垂直補剛材に貫通孔を設けずに、支圧力により応力を伝達させることとした。

(b)桁の移動

本桁連結部は免震設計を行っている。従って地震力の減衰効果を確保するため、桁同士の衝突により変位が拘束されないように連結後の桁端部に130mmの遊間を確保する必要がある。これに対し、各桁を橋軸方向に少しずつ移動させて所定の遊間を確保させることとした。

(8) 落橋防止装置工

1) 神戸線復旧8工区

本工区の損傷事例からも明らかなように、「建設省復旧仕様」⁴⁾⁵⁾によれば、隣接桁の橋梁形式や橋梁規模が異なる場合等死荷重反力差が大きい場合(2倍以上)、また、固有周期の差が大きい場合(1.5倍以上)は2連の桁を相互に連結する落橋防止装置(PCケーブル式連結装置)の設置を避けることとなったため、箱桁と鈹桁を相互に連結していた既設耐震連結装置は全て撤去した。

復旧に際しては、かけ違い部のお互いの死荷重反力や固有周期を照査した結果、PCケーブル連結は3径間鋼床版箱桁が桁連結した合成鈹桁とかけ違う部分のみしか対応できないことがわかった。

その他のかけ違い部は全て、橋軸方向ストッパー構造で対応している。その構造は既設主桁が単純合成鈹桁の場合、主桁下フランジからブラケットを出し、そのブラケットを橋脚に直接当てる構造とした。この時、橋脚が鋼製梁の場合は梁内に補剛材を設けている。また、存置RC橋脚の場合はコンクリートの押し抜きせん断を照査している。一方、本工区の単純合成箱桁部の桁端は、写真-27のように全て切欠形状であるため、それ自身が純正のストッパー装置と考え、切欠部にゴムを張り付けた設計としている。

2) 神戸線復旧23工区

(a)設計方針

落橋防止装置はレベルIIを越える地震時に支承がその機能を失った時点で作用し、上部工が橋脚天端から逸脱して落橋するのを防止する目的で設置した。

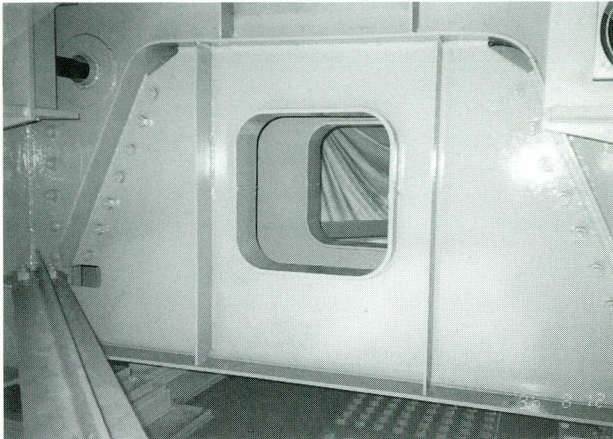


写真-31 端横桁補強

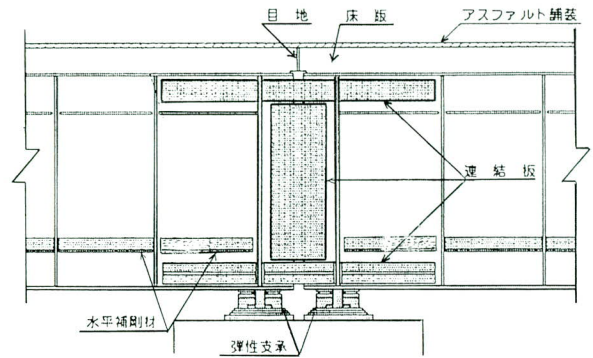


図-32 桁連結工

- ①橋軸方向落橋防止装置の設置の考え方は表-5に従い、現場の状況に応じて優先順位の高いものを取り付ける。
- ②桁かかり長の不足する鋼製橋脚については、原則として鋼製の拡幅ブラケットにより橋座面を拡幅することとしたが、桁端が切欠形状であるなどの理由で拡幅が不可能な場合には主桁下フランジにブラケットを取り付けて対処した。
- ③橋軸直角方向落橋防止装置については、幅員の狭いランプ桁のみ橋軸直角方向ストッパーを取り付けることとした。

(b)設計荷重と概略構造

①ケーブル連結装置 (写真-33参照)

主桁が落下しかかる時に作用する荷重を想定した。

$$P=Rd \quad P : \text{主桁1本あたりの設計荷重}$$

$$Rd : \text{主桁1本あたりの死荷重反力}$$

②橋軸方向ストッパー (写真-33参照)、橋軸直角方向ストッパー (写真-34参照)

地震力による設計水平力は次式により算出した。

$$\Sigma HR1=\Sigma Rd \quad \Sigma HR1 : \text{橋軸方向設計水平力}$$

$$\Sigma Rd : \text{1支承線上の全死荷重反力}$$

③桁間連結装置 (既設連結装置の補強)

やむを得ずゴム支承を採用できなかった箇所に対しては、既設耐震連結装置を現行基準に従って算出した水平力で再設計して補強した。

$$HR=\gamma \cdot kh \cdot WG \quad HR : \text{設計水平力}$$

$$\gamma : \text{割り増し係数}$$

$$Kh : \text{設計水平震度(レベルI)}$$

$$WG : \text{設計対象重量}$$

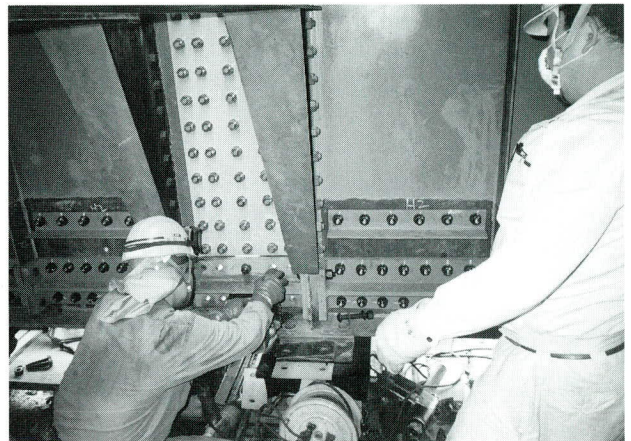


写真-32 桁連結工

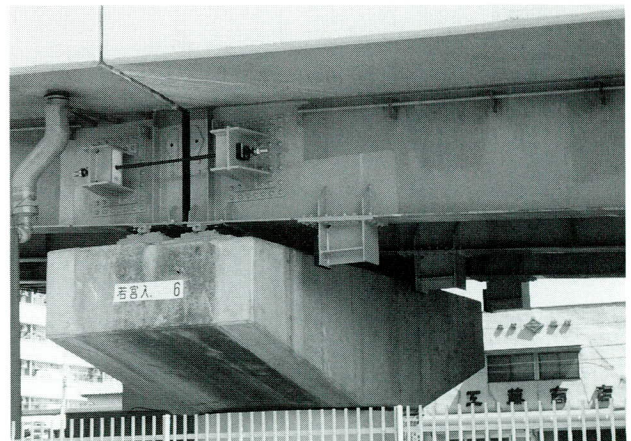


写真-33 ケーブル連結装置と橋軸方向ストッパー

④拡幅ブラケット (写真-35参照)

拡幅部先端で桁を支持した状態を想定した。

$$P=Rd \quad P : \text{主桁1本あたりの設計荷重}$$

$$Rd : \text{主桁1本あたりの死荷重反力}$$

表-5 橋軸方向落橋防止装置の設置の考え方

支承のタイプ	上・下部工の状況	S ₁ の確保	新設の落橋防止装置				優先順位
			既設連結けた間連結装置	ケーブル連結装置	橋軸方向ストッパー	下部との連結装置	
免震(分散)支承を含む場合	Aタイプ	○	×	◎	◎		1
	および	○	×				2
	Bタイプ	○	×			◎	3
免震(分散)支承を含まない場合(F・M支承とおしの組合せ)	既設けたを含む場合(Aタイプ)	○	○	◎			1
		○	○		◎		2
		○	○			◎	3
新設けたどおしの場合(Bタイプ)		○	×	◎	◎		1
		○	×	◎		◎	2
		○	×		◎	◎	3

○：復旧する、◎：新設する、×：撤去または、新たに取り付けない
△：できるかぎり取り付ける

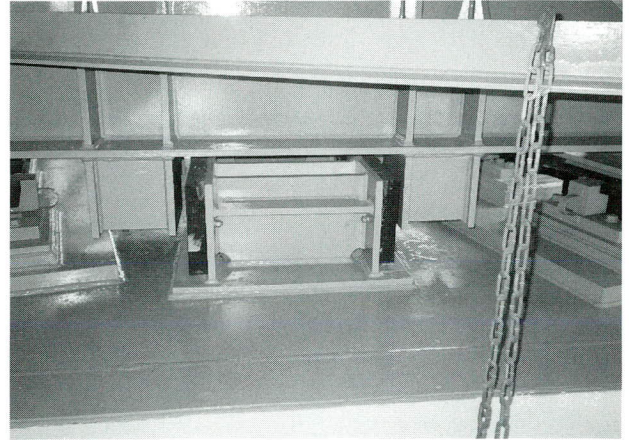
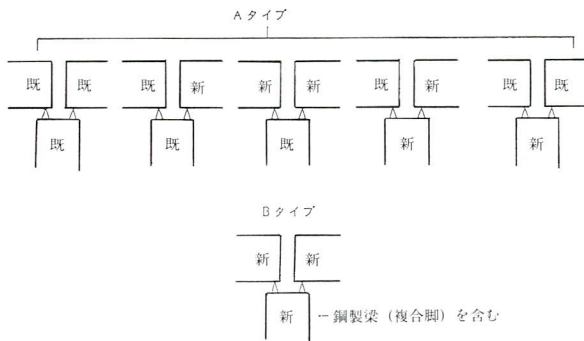


写真-34 橋軸直角方向ストッパー



(9) 鋼製橋脚補強工 (23工区のみ)

1) 充填コンクリート

本工区の鋼製橋脚17基は幸いにして再構築やブロック取替えと判定されるような大きな損傷は受けなかったが、「復旧仕様」⁴⁾により充填コンクリート直上の鋼断面の降伏水平耐力が橋脚基部の終局水平耐力を上回る高さまでコンクリートを追加打設した。

また、橋脚アンカー部はアンカーボルトを鉄筋と見なしたRC単鉄筋断面と仮定して算出した許容耐力が柱基部の保有水平耐力を上回っていることを照査して安全性を確認した。

2) 横梁内部補強

鋼製橋脚の梁内部は、

- ・ジャッキアップ補剛材
- ・拡幅ブラケット控え材
- ・橋軸、橋直ストッパーの控え材

などの部材が本工事で複雑に追加され、また箱断面も最小1.5m×1.5mと非常に小さいために梁内に搬入される部材の大きさや重量が制限されることから、適切な補強構造と効率良い現場施工が要求された。

また、梁内への部材搬入のためおよび、既設の柱マンホールが充填コンクリートにより使用不能となるため、

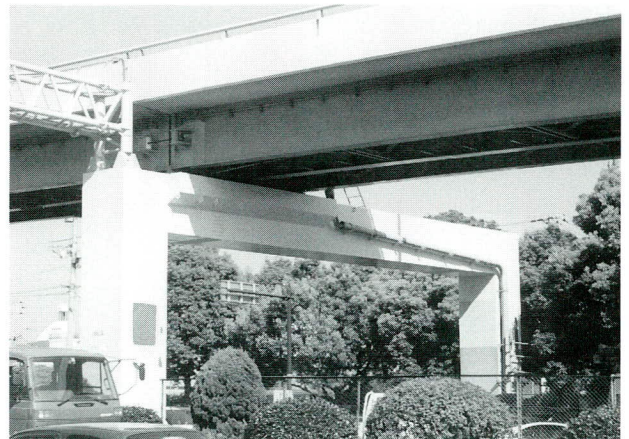


写真-35 拡幅ブラケット

横梁天端に開閉式マンホールを新設した。

(10) 歩道橋鋼桁工 (8工区のみ)

1) 深江西歩道橋 (建設省近畿地方建設局兵庫国道工事事務所管理)

阪神公団神P150橋脚の鋼製ラーメン橋脚への構造変更により、歩道橋斜路部がちょうどP150橋脚フーチング上に位置してくるため、斜路部全面撤去、再構築が行われることになった。このことから、歩道橋踊り場支柱用フーチングは神P150橋脚フーチングと複合した設計とした。また、斜路部寸法を既設寸法値で再構築するとP150橋脚の支柱部が歩道橋踊り場と接触するため、歩道橋踊り場位置を山側で1000mm、海側で1700mm大阪側へ移動した位置での再構築を行っている。

2) 深江東歩道橋 (建設省近畿地方建設局兵庫国道工事事務所管理)

3径間連続RC床版箱桁の撤去に伴う解体作業時に国道



写真-36 山側高遮音壁 神PI50橋脚上

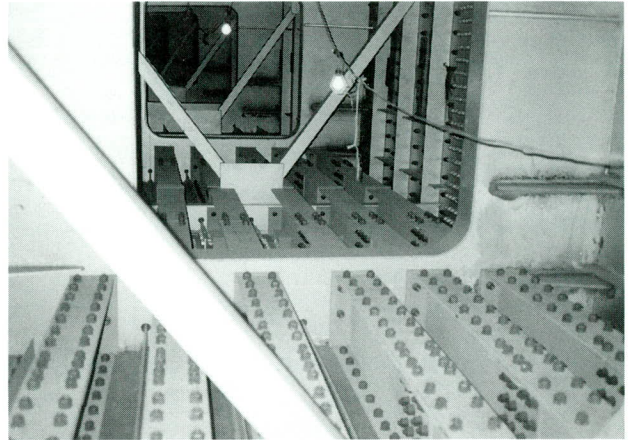


写真-38 下フランジの補強



写真-37 落下防止柵

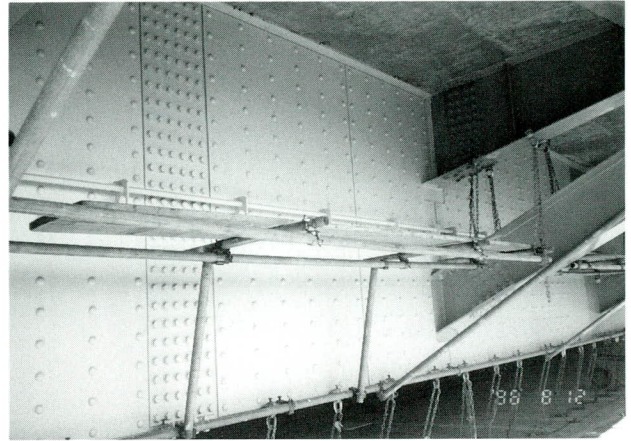


写真-39 腹板の補強

43号線片側2車線を確保できなくなるため、海山側共に斜路付き階段を撤去、加えて海側のみ一部踊り場撤去が行われ、既設寸法にて再構築している。

(11) 高遮音壁支柱工（8工区のみ）

環境対策として、平成7年7月7日の国道43号公害訴訟の最高裁判決を受け、供用後の設置が現行の技術では不可能に近いと判断され、復旧工事でその施工を行うよう決定された。これは当初の復旧計画には含まれておらず、本工程の発注を受け、ただでさえ錯綜する工種工程の中、本支柱の製作・設置が工程管理上の重要なポイントになっていった。

形状はドーム型のラーメン形とすることにより、壁高欄への負荷を極力減らしている。高遮音壁重量がおよそ1.6ton/mと非常に重いため、「既設橋梁の耐荷力照査実施要領（案）」¹⁴⁾により既設桁の補強検討も行っている。山側支柱には写真-36のように北側の採光を保证するた

めやドライバーの圧迫を解消するため、ポリカーボネート樹脂製の透明ボードを採用している。

(12) 落下物防止柵設置による桁補強（23工区のみ）

本工程には曲率半径が約120mの曲線区間があるが、交通安全対策として今回の災害復旧のなかで落下物防止柵（写真-37参照）を設置することとなった。

落下物防止柵およびその支持構造物（受梁、ブラケット）による死荷重増とB活荷重を考慮して既設桁の応力度照査を行った。この結果、連続桁の中間支点付近に応力超過箇所が発生することが判明したため、上下フランジと腹板を補強する必要が生じた。補強方法はいくつかの補強案の中から、図-33に示すような鋼板による補強を採用した（写真-38、39参照）。箱内への部材の供給は工事用マンホールから行うため最大部材寸法は2m程度、断面は300mm×500mm程度とした。

また、応力の超過度合いは外桁と中桁とでは大きく異

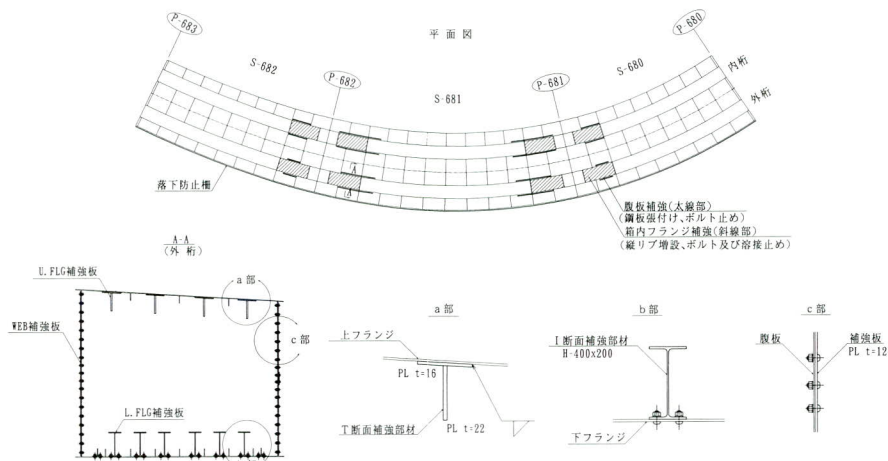


図-33 若宮カーブ桁補強一般図

なったため、超過度合いの大きい外桁の方がより大きな補強断面を必要とするが、外桁のみの断面剛度を大きくすれば断面力の分担も大きくなり、補強効果が半減される。したがって内桁断面の補強については応力を許容値レベルに抑えるだけでなく、外桁補強断面とのバランスを考慮して決定した。

(13) 鋼製橋脚アンカーボルトの健全度調査 (23工区のみ)

本工区は鋼製橋脚が17(38柱)基あり、アンカーボルトについて地震による伸びや破断がないか超音波探傷により調査した。

調査対象の選定は脚に異常がみられた物、ラーメン橋脚で地質や構造条件がほぼ同一と考えられる物とに分けかつ、応急復旧工事で行った根巻コンクリートの損傷の大きいものを対象に4脚選定して調査した。



写真-40 超音波探傷検査

調査の結果は、検出レベル20%に対して最高エコー高さはいずれも10%以下であり、異常が認められなかった(写真-40参照)。

(14) 桁移動工(8工区のみ)

全ての桁が脚と共に山側ならびに神戸側へのずれを生じていた。大きいものでは橋軸直角方向山側へ約1200mm、橋軸方向神戸側へ約300mmものずれがあった。特にずれ移動量が大きくかつ死荷重の大きい単純合成箱桁の正規復旧線形位置までへの移動には、スクリー状の油圧ジャッキ装置をもつリフター装置を使用した。この装置の特徴は、特殊ベントごと桁を鉛直および縦横の水平方向に移動できるところにある。一方、比較的死荷重の軽い単純合成鉄桁の桁移動は、ベント上に設けた「鉛直方向ジャッキによる鉛直移動および架台による支持」と「水平方向ジャッキによる水平移動」の作業を繰り返すことによって行った。

6. 将来に備えて対応すべき課題

本復旧工事に携わって実感したことや貴重な経験から、今後、概ね以下の点にテーマをしぼって工事に臨むことが肝要であるとする。

- ①調査-設計-製作-架設の錯綜した同時進捗工程を統括管理できる技術者の養成
- ②地震後速やかに復旧チームを構成できる全社の非常時体制の整備
- ③各現場からの速やかな支援体制の確立
- ④グループ企業内の人材、機材等を臨機応変に活用でき

- る緊急応援システムの整備
- ⑤緊急対応時のよりスピーディーな損傷度調査技術，安全度判定技術の向上
 - ⑥RC，鋼への新しい非破壊検査方法の確立と開発
 - ⑦被災した構造物の解体技術の強化，整備，新規開発
 - ⑧工程短縮や効率化のためのミニ工場を現場ヤード内に設置し，簡単な補修補強が可能なような手法の検討(本復旧工事では実現していない)
 - ⑨特殊時を想定した架設技術の強化，開発
 - ⑩各種耐震補強技術の開発とマニュアル化
 - ⑪桁矯正技術にたいする後継者の育成
 - ⑫耐震設計，免震設計，地震防災の専門技術者の育成強化
 - ⑬新素材や外ケーブルによる既設構造物の補強技術の向上
 - ⑭鋼のみならずPC，RC，コンクリート材料に対する専門技術者の育成
 - ⑮複合構造，混合構造（ハイブリット構造）の研究開発
 - ⑯特殊事情時の積算基準の分析

7. あとがき

震災後、5号湾岸線は平成7年7月1日には、いち早く全線の交通解放を果たし、それからわずか1年足らずの平成8年8月31日には、23工区が位置する3号神戸線の月見山、柳原間が交通解放された。

そして、最後まで不通が続いていた8工区が位置する深江、武庫川間9.3kmが当初見通しの同年12月末より3ヶ月早い9月30日に復旧し、阪神高速道路公団神戸線復旧建設部の方々はもちろん、工事関係者や市民の待望であった月見山、武庫川間27.7kmの全線復旧開通が1年8ヶ月ぶりに実現しました。

この開通は、「どのようなすさまじい被災状況下におかれた構造物でも、我々の復旧に賭ける執念や情熱が維持され、知恵を結集し汗をかく覚悟がある限り必ずやその復旧は達成できる」ということが実証された歴史的瞬間であったと言える。また、世界中から見守られていた難工事を無事故無災害で竣工できたことは我々の永遠の誇りであり、関係各所のみなさまにささえられたものであると深く感謝するしだいです。同時に、神戸線復旧8工区において共同企業体として共に復旧にあたってきた高田機工(株)におかれては絶大なご協力を頂き、ここに改めて謝意を表したいと思います。

本報告を単なる復旧工事の記録とするのではなく、今

後の地震対策や補修・補強工事等の業務推進のために役立て頂ければ幸いです。

最後になりましたが、本工事の計画・設計・施工にあたり格別なるご指導をいただきました湾岸管理部湾岸維持事務所首藤泰之所長、神戸線復旧建設部第三復旧工事事務所曾根英樹所長、神戸線復旧建設部第一復旧工事事務所所有川次郎所長をはじめとする阪神高速道路公団の方々に感謝の意を表する次第です。

<参考文献>

- 1) 阪神高速道路公団：設計基準（第2部）構造物設計基準（橋梁編），平成6年5月
- 2) 日本道路協会：道路震災対策便覧（震災復旧編），昭和63年2月
- 3) 阪神高速道路公団：既設鋼上部工の補修・補強設計及び施工要領（案），平成7年4月
- 4) 建設省：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および復旧仕様の解説（案），平成7年2月
- 5) 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
- 6) 阪神高速道路公団：落橋防止装置設計要領（案），平成7年5月
- 7) 阪神高速道路公団：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
- 8) 阪神高速道路公団：鋼製橋脚の再構築設計資料（素案），平成7年5月
- 9) 阪神高速道路公団：3号神戸線復旧設計要領（案）（鋼構造物編），平成7年5月
- 10) 日本道路協会：道路橋示方書 I 共通編 II 鋼橋編・同解説，平成6年2月
- 11) 阪神高速道路公団：超音波自動探傷検査要領，平成5年5月
- 12) 菊川ら：RC柱と鋼製梁による複合橋脚の載荷試験，川田技報 VOL. 16，1997
- 13) 阪神高速道路公団：鋼単純I桁橋の連結化について（案），平成7年5月
- 14) 道路保全技術センター：既設橋梁の耐荷力照査実施要領（案），平成6年4月

1997. 10. 31 受付