

3号神戸線 JR山陽本線跨線部の震災復旧概要

保全施設部付 林 秀 侃
保全施設部 保全企画課 谷 口 信 彦
京都建設事務所 調査設計課 脇 本 邦 裕

.....

要 約

兵庫県南部地震により、3号神戸線のJR山陽本線跨線部の3径間連続非合成箱桁橋は、中間橋脚が崩壊し、上部工は大きく沈下するとともに側径間の主桁が座屈した。また、これに伴い、JR山陽本線は建築限界を侵され運行不能となった。

このため、緊急対策として、既設のフーチングを拡幅・増厚してベント基礎とし、沈下した上部工をジャッキアップするとともに、二次災害防止の応急措置を講じた。また、復旧にあたっては、耐震性の向上を図るため、橋脚を再構築あるいは補修・補強するとともに、上部工を軽量化し、地震時の作用力を低減させ、併せて既設の主桁のB活荷重対応を図る目的で、現地で既設RC床版を撤去し鋼床版に取り替えた。本稿は、これらの被災から復旧に至る概要を報告するものである。

キーワード：3号神戸線，JR山陽本線跨線部，震災復旧，鋼床版化

まえがき

平成7年1月17日早朝に発生した兵庫県南部地震により、3号神戸線のJR山陽本線跨線部では、橋脚が崩壊して上部工が大きく沈下し、下を走る

JR山陽本線は、架線を押さえられる格好で建築限界を侵され運行不可能となった。

このため、緊急対策として、上部工をジャッキ

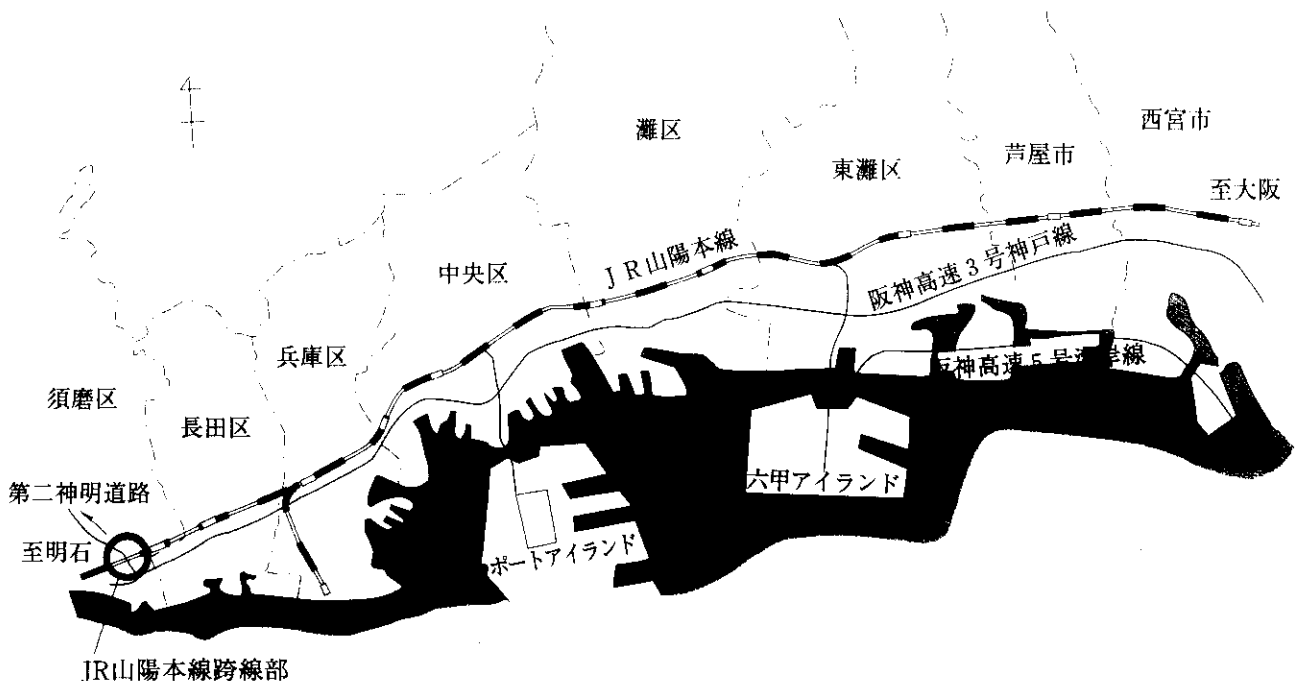
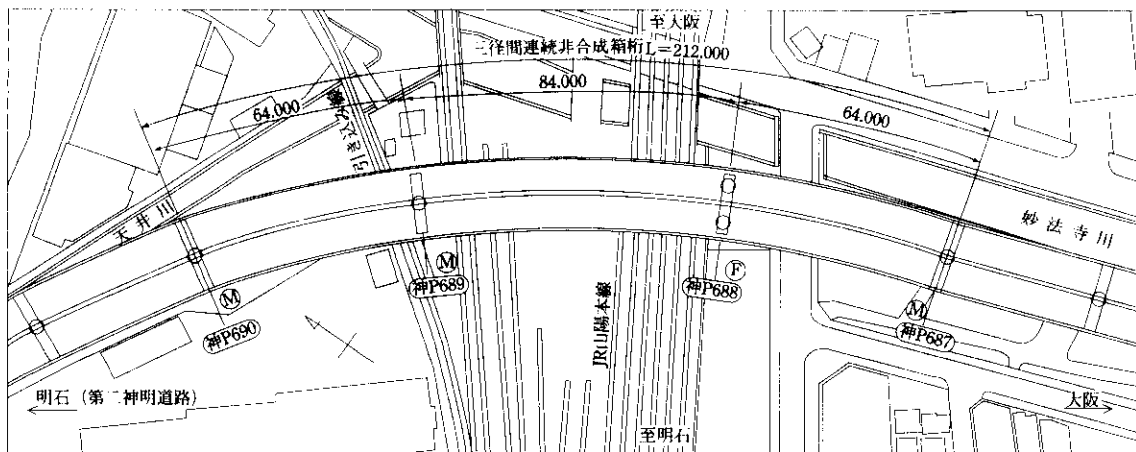
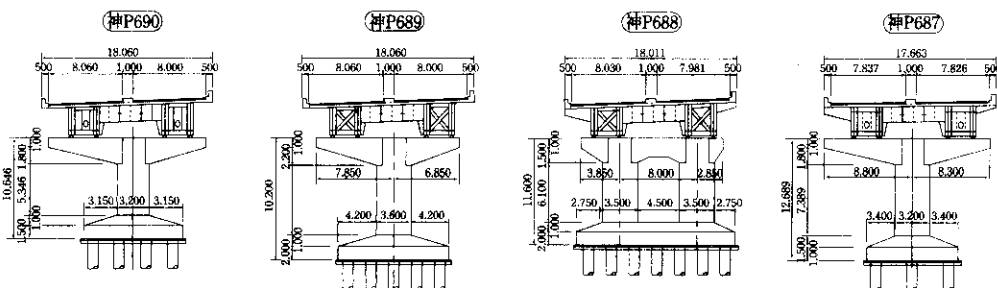


図-1 位置図



(a) 平面図



(b) 橋脚断面図

図-2 一般図

アップし、JR山陽本線との桁下空間を確保するとともに、余震による二次災害防止のための応急措置を講じた。

また、復旧にあたっては、耐震性の向上を図るため、橋脚を再構築あるいは補修・補強するとともに、上部工を軽量化して地震時の作用力を低減させる目的で既設のRC床版を撤去し鋼床版に取替えた。以下にその概要を報告する。

1. 構造概要と損傷状況

1-1 構造概要

本橋は3号神戸線の西端付近に位置する3径間連続非合成箱桁である。JR山陽本線は本橋の中央径間の下を運行しており、明石側の側径間の下にはJR鷹取工場への引込み線がある(図-1, 2)。本橋の橋梁諸元を以下に示す。

竣工年度	昭和44年度
適用基準	昭和39年鋼道路橋設計示方書
設計震度	水平震度 $K_h = 0.3$
上部工	3径間連続非合成箱桁

(橋長 $64 + 84 + 64 = 212\text{m}$)

橋脚	神P687, 神P689, 神P690: RC単柱(PC梁)
	神P688: RC1径間ラーメン
基礎	場所打ち杭基礎
地盤種別	II種地盤

1-2 損傷状況

地震による損傷状況は図-3に示すとおりである。神P688橋脚(固定支承)がせん断破壊により橋軸方向に完全に崩壊し、これに伴って上部工が約1.2m沈下するとともに、明石側の側径間の主桁が座屈した(写真-1, 2)。

また、この結果、下を走るJR山陽本線は、架線を押さえられる格好で建築限界を侵され運行が不

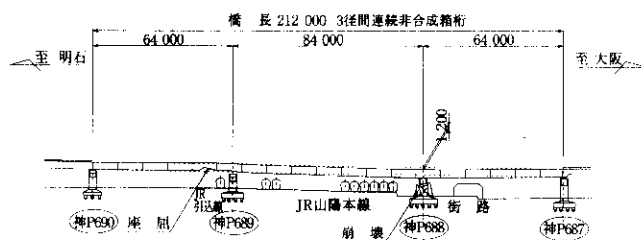


図-3 損傷状況



写真-1 神P688橋脚の損傷状況

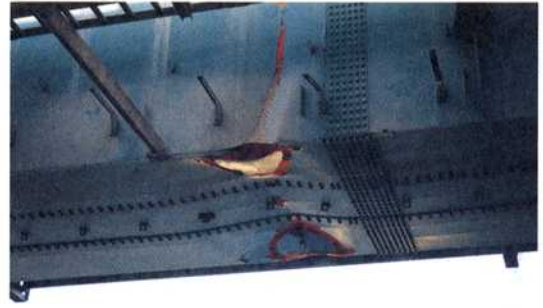


写真-2 明石側側径間の主桁の座屈状況

可能となった。

なお、神P687、神P689、神P690橋脚（いずれも可動支承）の損傷は軽微であり、表面に僅かなひび割れやコンクリートのはく離が見られる程度であった。また、崩壊した神P688橋脚の基礎についてはボアホールカメラによる調査を行ったが、フーチング、杭ともひび割れなどの異常は見られなかった。

本橋の被災度判定結果を表-1に示す。

表-1 被災度判定結果

		被災度	備考
上部工		A	記号は「道路震災対策 便覧(震災復旧編)」の被災 度区分を示す
下部工	神P687	D	
	神P688	As	
	神P689	C	
	神P690	D	
			As : 落橋等 A : 大被害 B : 中被害 C : 小被害 D : 被害なし

2. 緊急対策

2-1 上部工のジャッキアップ

阪神間の交通の大動脈であるJR山陽本線が一刻も早く運行できるよう、支障となっている上部工をジャッキアップした。ジャッキアップの要領を図-4に示す。

ベントの設置にあたり、周辺地盤の地耐力が小さいため神P688橋脚の基礎に反力をとらせることにし、フーチングを一部拡幅および増厚した。また、神P688橋脚の死荷重反力は約2000tfあるため、各主桁とも1支点への不均等状態を想定して1000tf油圧ジャッキを4台用いジャッキアップした。ジャッキアップ量は震災前の建築限界との離隔を

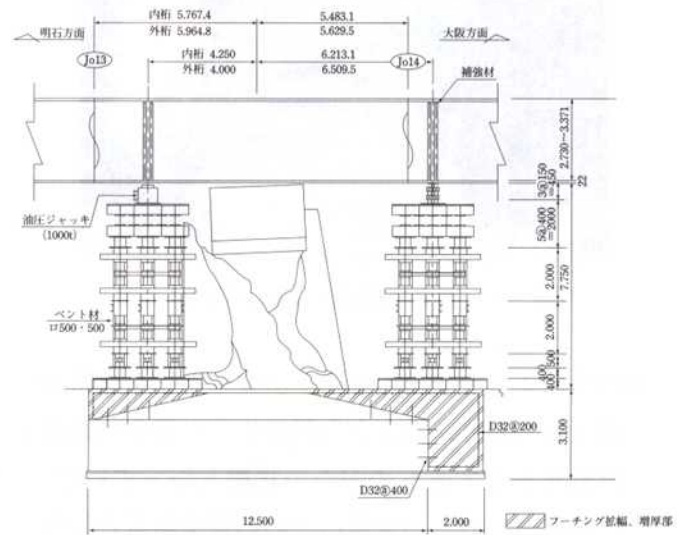


図-4 ジャッキアップ要領(神P688橋脚)

表-2 ジャッキアップ概略工程

工種	1月		2月																		
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	
準備工、設計																					
崩壊部養生																					
土留、掘削																					
差筋アンカー																					
鉄筋、型枠																					
コンクリート打設																					
ベント組立																					
ジャッキアップ																					

確保するため1.2mとした。

概略工程を表-2に示す。平成7年1月30日以降は、JR西日本が電車運行可能な本橋の中央径間北側への軌道切替えを終え、全線4線のうち2線の運転を再開した。このため、作業時間帯が電停止される午前1時30分～午前4時30分までの3時間に限定された。

なお、JR山陽本線の全線運転再開は平成7年4月1日である。

2-2 二次災害防止

余震による二次的な災害を防止するため以下の

対策を実施した。

- ①崩壊した神P688橋脚のさらなる崩壊を防ぐため、橋脚にワイヤーロープを巻き付けモルタルを充填し、表面のコンクリート破片の滑落防止としてワイヤーメッシュを張った後、モルタルを吹付けた(写真-3)。



写真-3 神P688橋脚の二次災害防止対策

- ②震災によって支承のサイドブロックが全箇所破壊されており、大きな余震が生じた場合の水平移動を拘束するものがない状態となっていた。このため、万一の余震のための保全措置として暫定用の落橋防止装置を設置した。設置箇所は残存する橋脚全て(神P687, 神P689, 神P690橋脚)の橋軸方向と橋軸直角方向である(写真-4)。



写真-4 暫定用橋軸方向ストッパー

3. 復旧工事

3-1 設計概要

(1) 設計方針

復旧にあたっての基本方針を以下に示す。

- 1) 耐震性の向上：各構造部材の強度を向上させると同時に変形性能を高めて橋全体系として今回規模の地震に耐える構造とする。
- 2) 既設部材の最大限の活用：損傷状況を調査した上で補修・補強を施し、できるだけ既設部材の再利用を図る。

なお、設計には、「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」(以下、「復旧仕様」という)のほか、「阪神高速道路震災復旧対策技術委員会(委員長：山田善一中部大学教授)」の審議を経て制定された「3号神戸線復旧設計要領」(以下、「設計要領」という)を適用した。

(2) 下部工の設計

崩壊した神P688橋脚は健全な基礎のみ再利用し、柱と梁を撤去、再構築することとした。損傷の軽微な神P687, 神P689, 神P690橋脚はRC・鋼板巻立て併用工法により補強することとした。なお、RC・鋼板巻立て併用工法においては施工性を考慮し30cmの増厚を標準とし、鋼板は拘束効果を高めじ

表-3 被災度と旧部材の材料特性

被災度		B	C	D
応力照査	鉄筋のヤング係数	2/3 E _s	2/3 E _s	E _s
	コンクリート圧縮応力度の許容値	0.8 σ _{ca}	σ _{ca}	σ _{ca}
降伏時	鉄筋のヤング係数	2/3 E _s	2/3 E _s	E _s
	コンクリートの圧縮強度	σ _{ck}	σ _{ck}	σ _{ck}
終局時	鉄筋のヤング係数	E _s	E _s	E _s
	コンクリートの圧縮強度	σ _{ck}	σ _{ck}	σ _{ck}
耐力照査	コンクリートの分担せん断応力度	0.7 τ _c	τ _c	τ _c

ここで、
 E_s : 旧部材の鉄筋のヤング係数 (2.1×10⁴ kgf/cm²)
 σ_{ck} : 旧部材のコンクリートの設計基準強度
 τ_{a1} : 旧部材コンクリートの許容せん断応力度
 τ_c : 旧部材コンクリートが負担できるせん断応力度

表-4 柱基部断面一覧表

項目	橋脚番号	神P687	神P688	神P689	神P690
復旧	形式	RC単柱	RCラーメン橋脚	RC単柱	RC単柱
	柱径	φ3200	φ3500	φ3600	φ3200
旧	既設主鉄筋	径・本数 D32×90本×3 3段配筋	D32×110本×3 3段配筋	D32×90本×3 3段配筋	D32×80本×3 2段配筋
	既設帯鉄筋	径 D16	D16	D16	D16
	ピッチ(mm)	etc300	etc300	etc300	etc300
復旧	復旧方法	RC・鋼板巻立て併用	再構築	RC・鋼板巻立て併用	RC・鋼板巻立て併用
	柱径	φ3800	φ3600	φ4200	φ3800
旧	新設主鉄筋	径・本数 D32-38本 etc295	(既設と同じ)	D32-42本 etc298	D32-38本 etc295
	新設帯鉄筋	径 D16	D25 2×D22	D19	D16
	ピッチ(mm)	etc125	etc125	etc125	etc125
増	厚(mm)	300	50	300	300
	鋼板厚さ(mm)	6		6	6

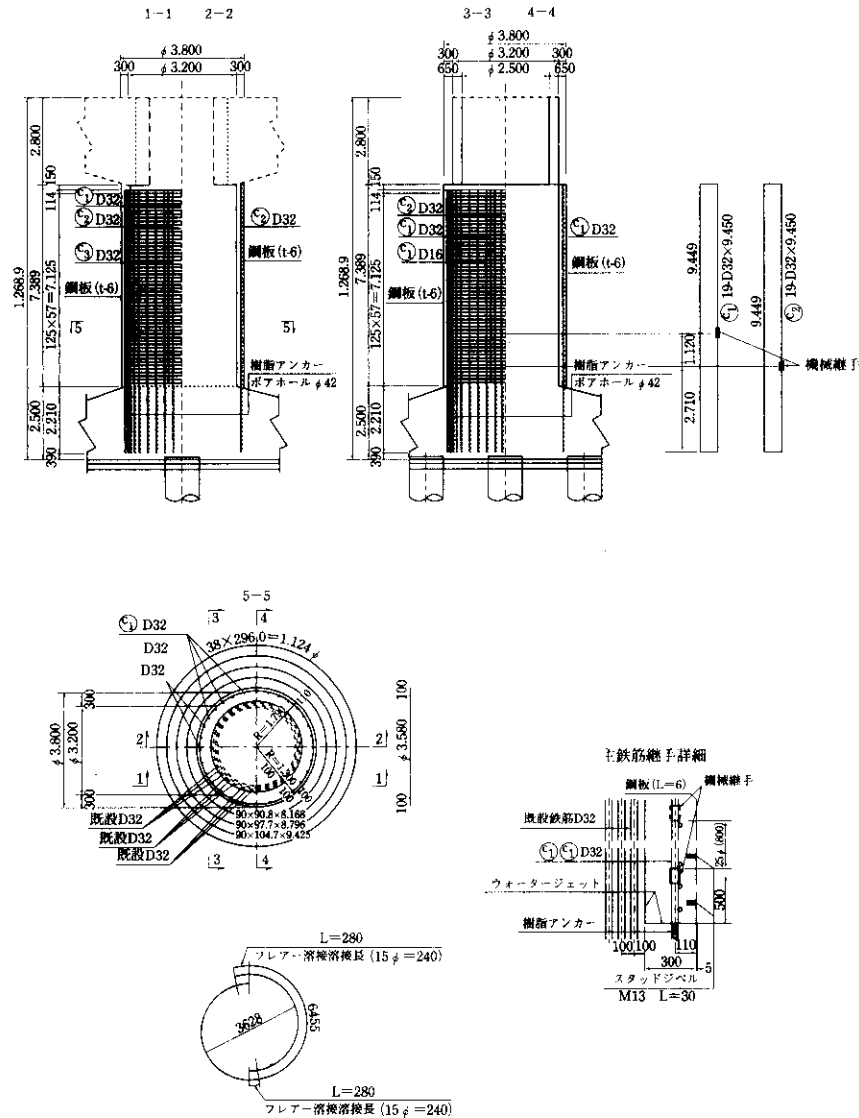


図-5 神P687橋脚の補強構造図

ん性を向上させる目的のみの部材として扱い、フーチングとの定着は行わなかった。損傷した旧部材の材料特性の評価にあたっては、設計要領に従い、表-3に示すような被災度に応じた低減を行った。

また、当該地域はII種地盤であるが、既設の橋脚が当時の国鉄跨線部ということで水平震度 $K_h=0.3$ で設計されていたため、今回の設計でも震度法レベルでは水平震度 $K_h=0.3$ とした。

設計結果として、復旧前後の柱基部断面を表-4に、構造図の一例を図-5に示す。

(3) 上部工の設計

主桁は座屈したブロックの取替えと加熱矯正などの部分補修により再利用し、床版は既設のRC床版を鋼床版に取り替え軽量化することで下部構造に作

用する地震力の低減とB活荷重への対応を図った。

なお、営業中のJR山陽本線上にある上部工を一旦撤去して再架設することは非常に困難なため、上記の補修、改造などは全て現地作業を前提とした。

1) 鋼床版

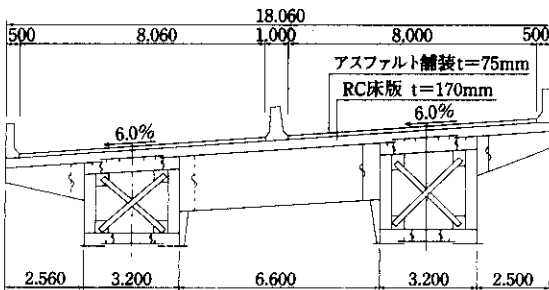
鋼床版化の方法として表-5に示す3案を比較検討し、現地における施工性が比較的に有利で、死荷重の軽減も図れる③案の上載せタイプを採用した。鋼床版への改造は図-6のとおりであり、以下にその概要を示す。

- a) 主桁上フランジ上面に鋼床版をパネル化した部材を置き、床組作用のみ分担する構造とした。
- b) 主桁間および張出し部の鋼床版は、既存の横桁位置と横桁間の等分割位置に配置した横リブ

表-5 鋼床版化の方法比較

案	概要および概略形状	鋼床版の構造系	特徴	施工性	経済性	死荷重の軽減	工程	総合評価
①案 切取タイプ		主桁作用 + 床組作用	<ul style="list-style-type: none"> 新規に計画する場合の形状に近い 3案の中では最も死荷重の軽減が図れる 現場での撤去時の主桁形状が、U形になることから横倒れ等の安全の確保が必要である 現場での改造作業量が多く、切断・溶接による変形が予想されるため所定の形状確保が困難である 構造高は、現状のRC床版厚分が低くなることから、主桁を扛上する必要がある 3案の中では、死荷重の軽減量は少ない 現場での撤去、改造作業が少なく工程は最も短縮できる コンクリート床版部と鋼床版部の剛性が大きく異なるため、車の走行性に問題がある 	×	○	◎	△	△
②案 複合タイプ		床組作用	<ul style="list-style-type: none"> 3案の中では、最も施工が容易で工程が短縮できる 主桁上の横リブの腹板高を確保するため、全体の構造高は、100~150mm程度高くなる 	○	◎	×	◎	○
③案 上載タイプ		床組作用		◎	○	○	○	◎

RC版時



鋼床版化時

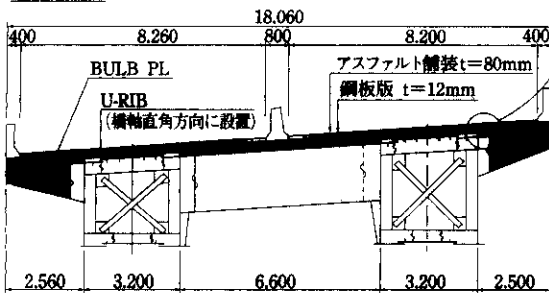


図-6 鋼床版化の改造概要

とブラケットで構成した。

c) 主桁上の鋼床版パネルには、版の剛性確保のためUリブを橋軸直角方向に配置した。また、他の鋼床版パネルにはバルブプレートを橋軸方向に配置した。

d) 鋼床版パネル長は、輸送と現場の架設条件を考慮し、横桁間隔（8m程度）とした。

e) 現場連結は、主桁上の鋼床版パネルのみ溶接とし、他は全て高力ボルトにて行った。

また、鋼床版化による死荷重軽減分に起因する主桁の残留キャンバーは、図-7に示すように鋼床版縦桁の高さを変化させて調整した。

2) 主桁

取替えブロックは既設主桁との整合を図るため、座屈前の部材の再現を基本とした。また、既設主桁については、遅れ破壊の恐れのある高力ボ

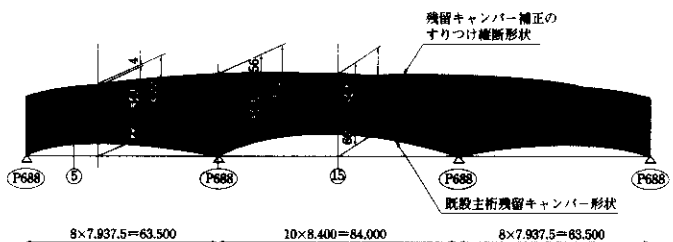


図-7 鋼床版縦桁高さ

ルトのF11TをS10Tに取り替えた。

3-2 下部工事

(1) 再構築工（神P688橋脚）

施工手順を図-8に示す。撤去に当たっては、現場がJR、道路、河川に三方を囲まれ、なおかつ桁受けベントが近接する狭隘な場所であり、周辺に住宅地もあることから、JR山陽本線の運行に支障せず、騒音を極力抑え、なおかつ施工可能な方法として、梁については、図-9に示すように架台で受けて吊り、ワイヤーソーで10ブロックに切断・分割し、スペースのある西側に横引きして搬出する方法をとった。梁ブロックを吊る方法としては、上部桁に吊り装置を載せ、ブロック本体を貫通穿孔して鋼棒を通し、10tfチェーンブロック（4台/ブロック）で仮吊りした（写真-5）。また、柱については、二次災害防止の応急措置でワ

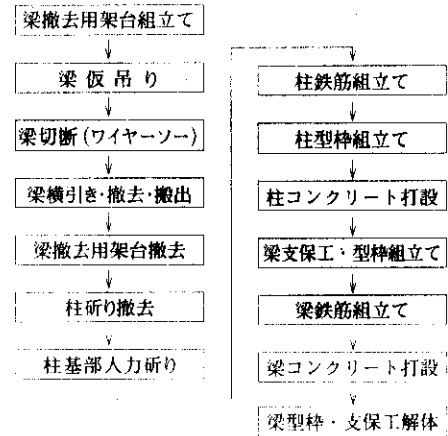


図-8 再構築工の施工手順

イヤーを巻き、ラス張り、モルタル吹付けが施工されており、ワイヤーソーによる切断が困難なため、アイオンによる機械はつりとした。なお、柱の基部1m程度は、再構築する柱の主鉄筋を接続するため、

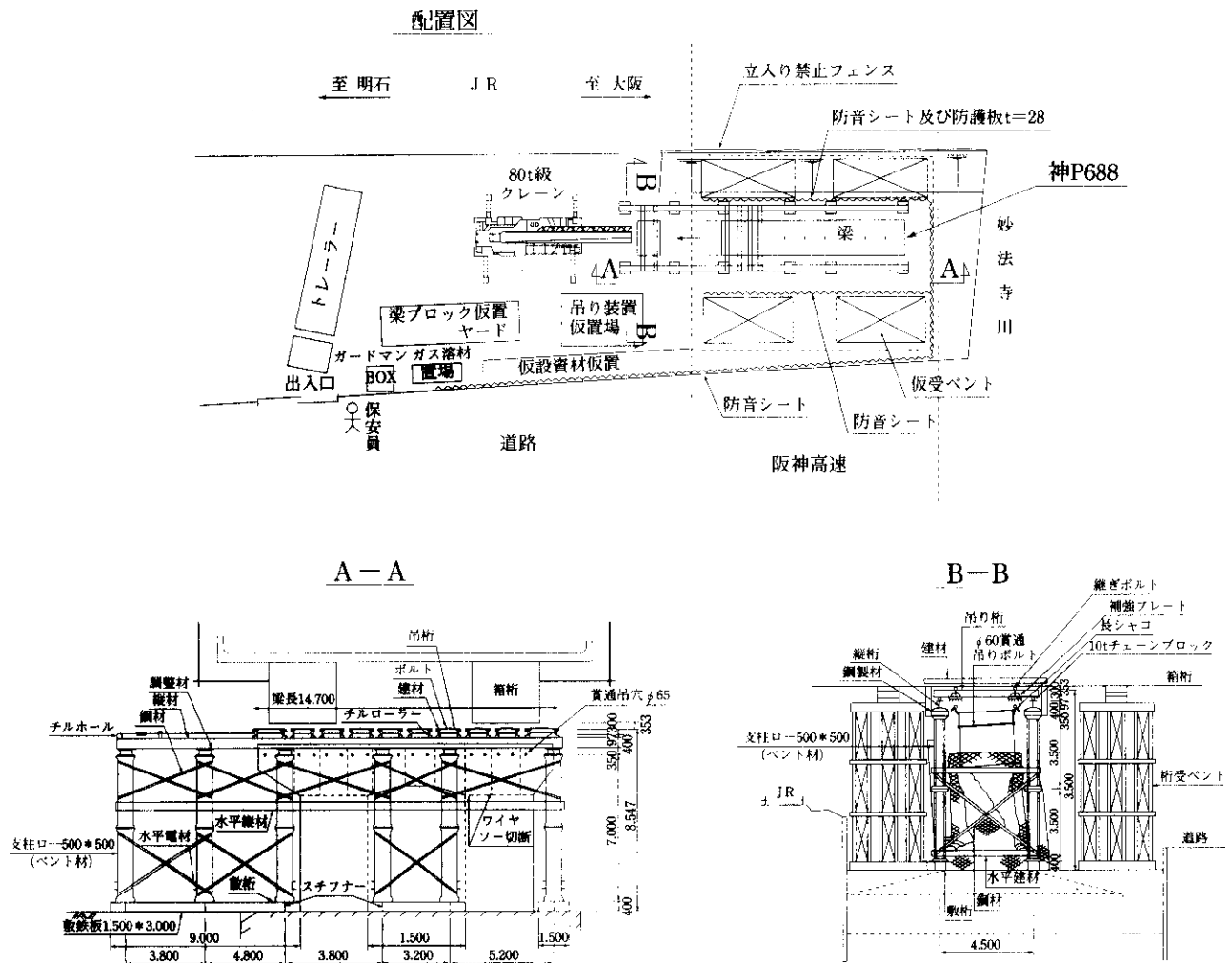


図-9 梁撤去要領



写真-5 梁ブロックの撤去状況

既設の主鉄筋を残すよう人力はつりした。

既設主鉄筋と新設主鉄筋の継手は千鳥配置としガス圧接で施工した。なお、実施に当たっては、撤去した柱部分から供試体を作成し、引張試験および超音波探傷試験を行い継手性能と圧接技量の確認を行った。

以降の作業は通常の工事と同様であるが、本橋脚の場合、鉄筋が非常に密な状態となったため、柱コンクリートには次項で述べる補強橋脚の増厚部と同様の中流動コンクリートを用いた。また、梁については、工程短縮を図るため早強セメントを使用した。

(2) 補修、補強工 (神P687, 神P689, 神P690橋脚)

施工手順は図-10に示すように、大きくは補修工と補強工に分類される。3橋脚の損傷はいずれも軽微であり、わずかなひび割れなどがあっただけのため、そこにエポキシ樹脂を注入して補修した。

補強工では、まず、既設のコンクリートと増厚部の後打ちコンクリートの付着性能を高めるため、ウォータージェット工法により既設橋脚の柱コンクリートの表面処理を行った。具体的には表面の1~3mm厚のモルタル分を取り除くことを施工の目安とし、事前の試験施工で15kgf/cm²程度の付着力がとれることを確認している。増厚部の新設主鉄筋を建て込むためのあと施工アンカーは、フーチングをドリルにて穿孔しエポキシ樹脂を充填した後、アンカーを挿入し、フーチングと定着させた。また、このあと施工アンカーと新設主鉄筋の接続は、充填材が有機系であり、加熱を避ける必要があったため、機械式継手(冷間圧着

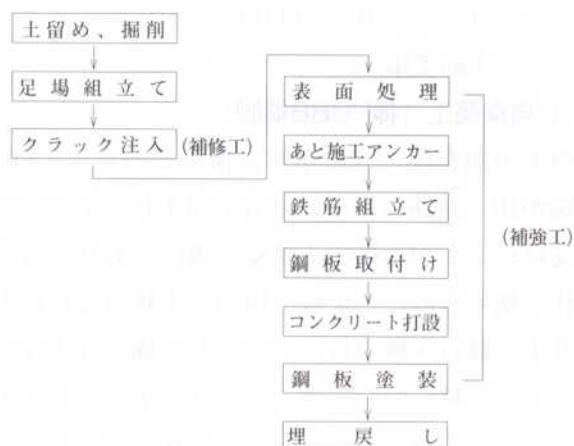


図-10 補修・補強の施工手順

タイプ)を用いた。帯鉄筋は、既設の柱面との離隔が少なく、端部をフックとすると施工性が悪いいため、2分割のフレア溶接によることとし、鋼板は施工性を考え水平方向3分割、鉛直方向2分割で工場製作し、現場搬入・組立・溶接した(写真-6, 7)。



写真-6 あと施工アンカー用穿孔ドリル



写真-7 鋼板設置状況

なお、鋼板はコンクリートとの付着をよくし、はがれを防ぐため、あらかじめ50cmの千鳥配置でスタッドジベルを打設しておいた。増厚部コンクリートの打設は、配置される鉄筋が多く、上部には梁もあり、非常に悪い条件での施工となるため、高性能AE減水剤を混入しスランプ18cm程度とした中流動コンクリートを用いた。

3-3 上部工事

施工手順を図-11に示す。まず、座屈ブロックの取替えと鋼床版パネルの架設に先立ち、既設の壁高欄とRC床版を撤去した。壁高欄については、ワイヤーソーとカッターにより切断後、ラフタークレーンにて撤去した。RC床版の撤去方法の選定に当たっては、JR山陽本線の軌道上にあるためコンクリート片に対する完全な防護が必要となることと、従来のはつり工法では箱桁フランジ上の床版をはつる際に発生する騒音が周辺の住宅地に及ぼす影響が大きいことから、ジャッキビーム工法を採用した。これは、床版をカッターで1m×6m程度のブロック形状に切断し、このブロックに穿孔してPC鋼棒を通し、ジャッキで持ち上げて箱桁から引き剥がすように縁切りを行うものであ

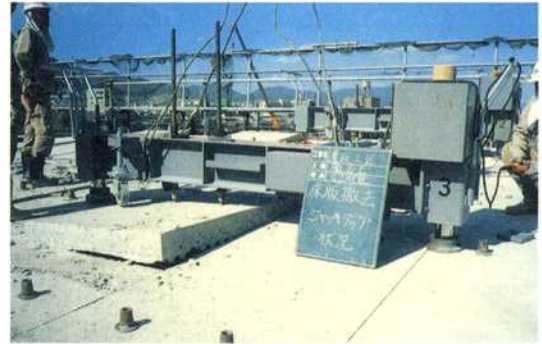


写真-8 ジャッキビーム工法



写真-9 RC床版撤去後の状況

り、コンクリートの搬出、箱桁上フランジの仕上げはつりも容易であった(写真-8, 9)。

座屈ブロックの取替えに当たっては、主桁を支持するベントを座屈ブロック付近に、主桁の形状管理と応力調整のためのベントを中央径間に設置し、ベント上に設置したジャッキで計算値に基づき主桁形状と反力の管理を行いながら主桁をジャッキアップし、現場継手部を無応力状態に近づけた状態で高力ボルトを取り外し、トラッククレーンで座屈ブロックを撤去、解体した。その後、地組みされた再構築ブロックを再びトラッククレーンで架設し、主桁の形状管理を行いながら高力ボルトの締付けを行った。なお、JRの引込線についてはき電停止後の夜間作業で行った。

鋼床版パネルの架設は、既設の縦桁およびブラケットの撤去と並行して行った。架設要領は図-12に示すとおりであり、側径間は路下条件が公園や空地であるため、地上にトラッククレーンを据え付け、昼間に鋼床版パネルの架設を行い、主桁形状の確認を行いながら順次現場溶接と高力ボルトの締付けを行った。JR山陽本線の軌道上となる中央径間は通

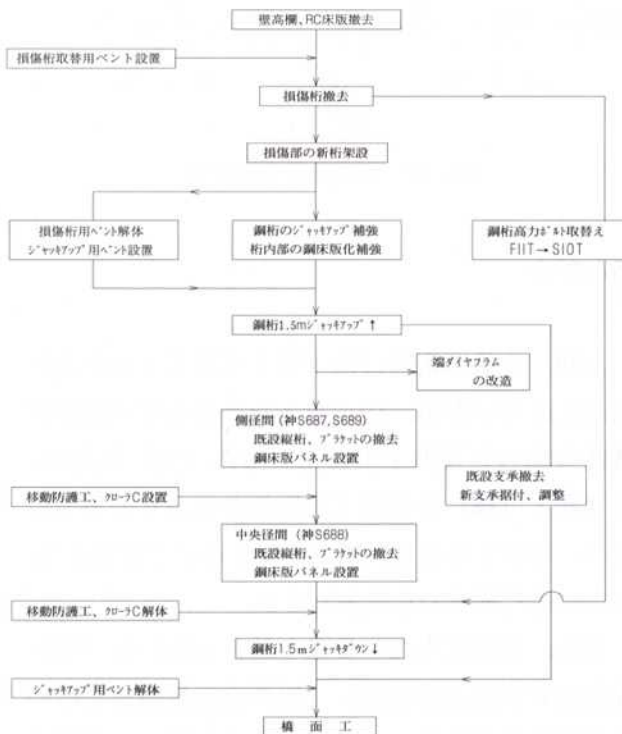


図-11 上部工事の施工手順



図-12 鋼床版パネルの架設要領



写真-10 軌道上での施工状況

常であればき電停止後の夜間作業となるが、工期短縮を図るため、箱桁下面に移動防護工を設置し、昼間の活線状態で架設した。なお、中央径間の鋼床版パネルは、先行架設した側径間の橋面上にクローラクレーンを設置し、神P68橋脚側から架設し、神P689橋脚手前で閉合した(写真-10)。

移動防護工の構造は図-13に示すとおりであり、縦桁およびブラケット撤去、鋼床版パネル架設、高力ボルト取替え、塗装塗替などの作業を終えた後撤去、解体した。なお、移動防護工設置に当たり、JRの架線との離隔が不足していたため、既設主桁全体を1.5mジャッキアップすることで対応した。その際、既設主桁への影響から、各支点の1回あたりのジャッキアップ量は15cmに制限し、かつ、不均等な支点変位が生じた場合を想定し水平補剛材を追加した。

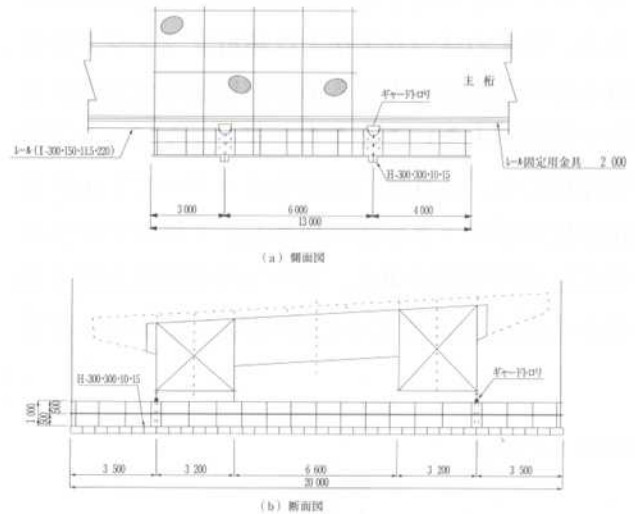


図-13 移動防護工構造図

あとがき

当初、本橋の復旧には平成8年末までかかると見込まれていたが、JR西日本を始めとする関係各機関の協力と復旧工事に携わった(株)奥村組、駒井鉄工(株)などの工事関係者の方々の努力により、平成8年8月に無事供用することができた。ここに深く感謝の意を表します。

また、復旧に当たり貴重な助言を頂いた「神戸線応急対策検討委員会」、「阪神高速道路震災復旧対策技術委員会」の委員の方々にも併せて深謝いたします。