

スラブ止め破断を伴う3径間連続鋼箱桁橋（神戸線S214～S216）の復旧事例

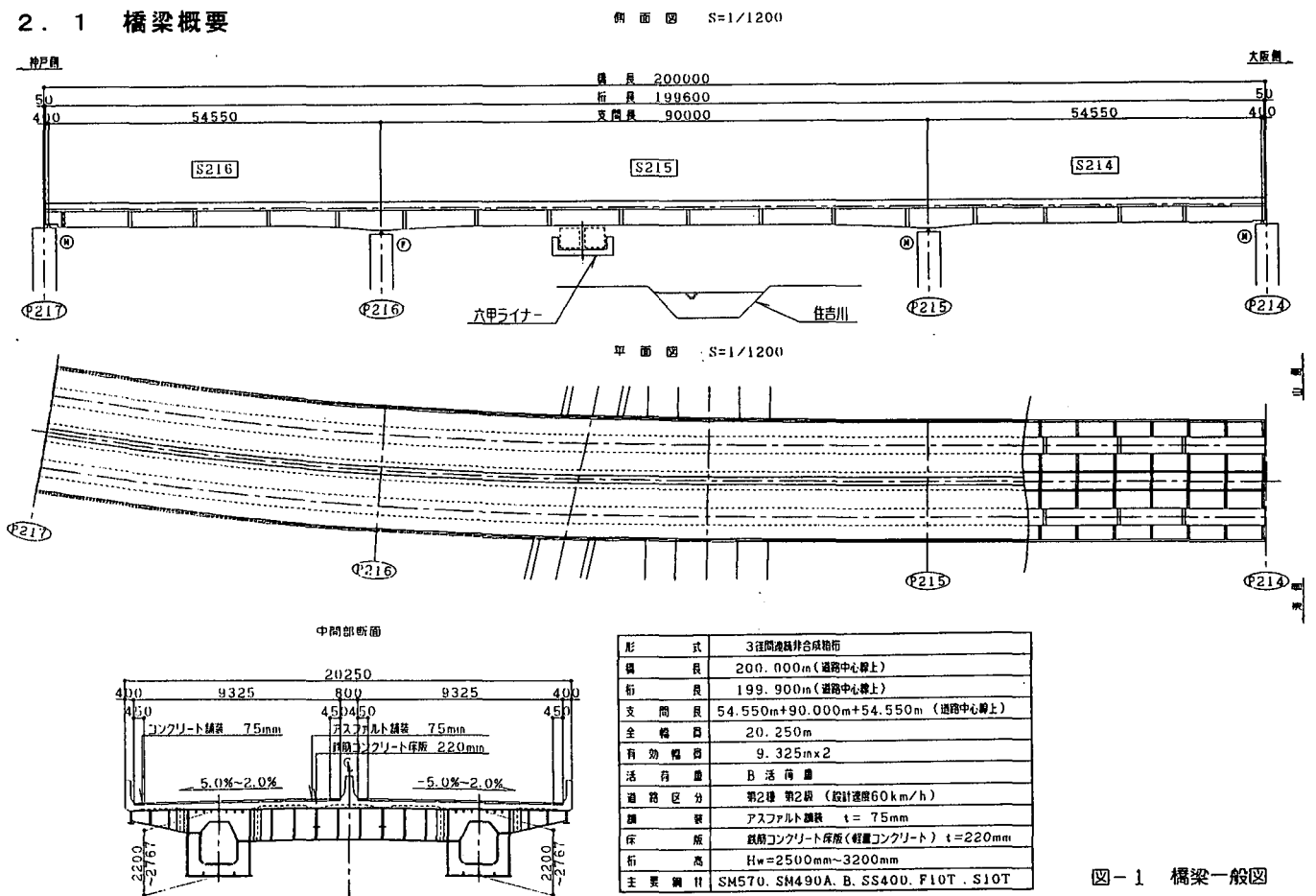
栗本・丸誠建設共同企業体 正会員 津田 久嗣
 栗本・丸誠建設共同企業体 正会員 平石 昌親
 阪神高速道路公団 正会員 吉川 実
 阪神高速道路公団 正会員 川北 司郎
 阪神高速道路公団 正会員 金治 英貞

1. はじめに

平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震により阪神高速道路3号神戸線は橋脚の倒壊や落橋等上下部工共に大きな被害を被った。上部工の被害はそのほとんどが支点部に集中しており、今回報告する橋梁についても支承の破損に伴い、上沓が下沓より逸脱し桁が橋脚上に落下した際に支承が下フランジや腹板を破損させる被害が甚大であった。また、支点部以外の被害としては、床版について地震時の大きな水平力によりスラブ止めが一部破断し、ハンチ部の床版に剥離が生じた。ここでは、路線の重要性を考慮し一日でも早い復旧を実現するために既設部材の再利用を図り、なおかつ橋梁下の国道43号線上および新交通システム上の安全確保、交通処理に十分な配慮し補修・補強を行った3径間連続鋼箱桁橋（神戸線S214～S216）の工事について報告する。

2. 橋梁概要と被災状況

2. 1 橋梁概要



キーワード：連続桁中間支点、ジャッキアップ、拘束治具、床版剥離、スラブ止め

連絡先：〒590 大阪府堺市大浜西町2-2 (株)栗本鐵工所 大阪臨海工場 設計第1部 設計1課
 電話番号 0722-38-9909 F A X 番号 0722-25-1254

2. 2 被災状況

本橋梁の補修範囲および補修・補強方法の決定資料を得るため、被災状況の詳細調査を行った。損傷箇所と被災状況を記録するとともに、被災状況や施工条件等を考慮し、既設鋼上部工の補修・補強設計及び施工要領（案）¹¹に示された表-2にしたがって分類を行った。これらを表-1に示す。また、この表に則した代表的な損傷事例の写真-1～6を添付する。

表-1 3径間連続箱桁橋（神戸線S214～S216）被災状況と補修方法

S 2 1 4 (P 2 1 4～P 2 1 5)

管理No.	箇 所	被 災 状 況	補 修 方 法		備 考
			分類	内 容	
1	P214のG1（海側）支承部腹板	座屈。	Ⅲ	損傷部切断し新部材溶接接合	
2	P214のG1（海側） 端横桁と主桁の連結部	横桁腹板の座屈。	I		
3	P215のG1（海側）支承部腹板	支点から大阪側へ長さ750mm、高さ450mmの座屈。	Ⅲ	損傷部切断し新部材HTB接合	写真-1
4	P215側のG1下フランジ	支点から大阪側へ長さ1000mm、幅2800mmの変形。	Ⅲ	損傷部切断し新部材HTB接合	
5	P215のG1（山側）支承部腹板	支点から大阪側へ長さ700mm、高さ400mmの座屈。	Ⅲ	損傷部切断し新部材HTB接合	
6	P215のG1（山側）支承部腹板	支点から大阪側へ長さ770mm、高さ540mmの座屈。	Ⅲ	損傷部切断し新部材HTB接合	
7	P215のG2（海側）支座位腹板	支点から大阪側へ長さ1000mm、高さ600mmの座屈。	Ⅲ	損傷部切断し新部材HTB接合	
8	P215のG2（山側）内面 垂直補剛材	変形。変形量47mm。	Ⅲ	損傷部切断し新部材HTB接合	
9	P215のG2下側縦リブ	変形。変形量35mm。	Ⅲ	損傷部切断し新部材HTB接合	
10	P215のG2（山側）支座位腹板	支点から大阪側へ長さ1000mm、高さ470mmの座屈。	Ⅲ	損傷部切断し新部材HTB接合	
11	P215のG2（海側）支座位腹板	支点から大阪側へ長さ1000mm、高さ470mmの座屈。	Ⅲ	損傷部切断し新部材HTB接合	
12	P215のG2横リブ	変形。	Ⅲ	損傷部切断し新部材HTB接合	
13	P215のG2下フランジ	支点から大阪側へ長さ1300mm、幅2800mm、深さ20mmの変形。	Ⅲ	損傷部切断し新部材HTB接合	
14	P214～P215 G2（山側）	ハンチ部床版剝離。			写真-5
15	P214～P215 G2	スラブ止め破断。			写真-6

S 2 1 5 (P 2 1 5～P 2 1 6)

管理No.	箇 所	被 災 状 況	補 修 方 法		備 考
			分類	内 容	
1	P215のG2（海側）支点上横桁腹板	添接部より山側へ幅300mm、高さ700mmの座屈。	Ⅲ	損傷部切断し新部材HTB接合	
2	P215のG2（海側） 支点上横桁下フランジ	添接部より山側へ幅240mm、長さ350mmの変形。	Ⅲ	損傷部切断し新部材HTB接合	
3	P216のG2（海側）支座位腹板	支点から神戸側へ長さ1080mm、高さ480mmの座屈。	Ⅲ	損傷部切断し新部材HTB接合	
4	P216のG2（海側）支座位腹板	支点から大阪側へ長さ560mm、高さ460mmの座屈。	Ⅲ	損傷部切断し新部材HTB接合	
5	P216のG2（海側）下フランジ	支点から大阪側へ長さ500mm、幅550mmの変形。	Ⅲ	損傷部切断し新部材HTB接合	
6	P216のG2（海側）支座位腹板	支点から大阪側へ長さ500mm、幅550mmの座屈。	Ⅲ	損傷部切断し新部材HTB接合	
7	P216のG2横リブ	変形。	Ⅲ	損傷部切断し新部材HTB接合	

S 2 1 6 (P 2 1 6～P 2 1 7)

管理No.	箇 所	被 災 状 況	補 修 方 法		備 考
			分類	内 容	
1	P216のG1（海側）支承部腹板	支点から大阪側へ長さ400mm、高さ120mmの座屈。 支点から神戸側へ長さ330mm、高さ60mmの座屈。	Ⅳ	矯正後、補強リブ取付	
2	P216のG2（海側）支上位腹板	支点から神戸側へ長さ1000mm、高さ500mmの座屈。	Ⅲ	損傷部切断し新部材HTB接合	
3	P216のG2（海側）下フランジ	支点から神戸側へ長さ1000mm、山側へ長さ600mmの変形。	Ⅲ	損傷部切断し新部材HTB接合	
4	P216のG2支座位近横リブ	変形。	Ⅲ	損傷部切断し新部材HTB接合	
5	P217のG1（海側）下フランジ	変形。	Ⅱ	損傷部切断し新部材HTB接合	
6	P217のG1（海側）腹板	長さ600mm、高さ330mmの座屈。	Ⅱ	損傷部切断し新部材HTB接合	
7	P217のG1（海側）下フランジ	長さ700mm、幅500mmの変形。	Ⅱ	損傷部切断し新部材HTB接合	
8	P217のG1（海側）下フランジ	幅500mm、深さ20mmの変形。	Ⅱ	損傷部切断し新部材HTB接合	
9	P217のG1 支座位横桁腹板 （海側） 下フランジ	（腹板）幅450mm、高さ200mmの座屈 （下フランジ）支点から大阪側へ長さ700mm、幅500mmの変形。	Ⅱ	損傷部切断し新部材HTB接合	
10	P217のG2下フランジ（海側）	変形。	Ⅲ		
11	P217のG2下フランジ切欠き部	支点から神戸側へ長さ500mm、高さ450mmの変形。 支点から大阪側へ長さ350mm、高さ700mmの変形。	Ⅱ	損傷部切断し新部材HTB接合	写真-3
12	P216のG1（山側）垂直補剛材	溶接割れ。	V	ガウジング後、再溶接	
13	P217のG2下フランジ	破断。	Ⅱ	損傷部切断し新部材HTB接合	
14	P217のG1（海側）支座位腹板	座屈。	Ⅱ	損傷部切断し新部材HTB接合	

表-2 補修方法の分類

損傷程度	補修方法	
TYPE-I	床版の撤去を伴い、ブロック単位で損傷部の撤去を行い、新しいブロックを高力ボルトで接合した後、床版打設を行う方法。	
TYPE-II	床版の撤去を伴い、損傷部位を切断・撤去し、新しい部材を高力ボルトまたは現場溶接で接合した後、床版打設を行う方法。	
TYPE-III	損傷部位を切断・除去し、新しい部材を高力ボルトまたは現場溶接で接合する方法。	
TYPE-M	損傷部位を切断・除去を行わず加熱矯正を行う方法。	
TYPE-V	損傷部位を切断・撤去を行わず溶接埋め戻しを行う方法。	

本橋梁は図-2に示すように地震時に水平力と鉛直力を同時に受け、支承が破損し、桁が橋軸直角方向山側に550mmから1000mm、橋軸方向神戸側に150mmのずれを起こし、橋脚上に落下した時に支点部の下フランジおよび腹板が破断あるいは座屈した。その損傷度が大きかったのは表-1からもわかるようにP217端支点部2箇所およびP215, P216中間支点部3箇所であった。また、床版についても地震時に水平力が作用した際にP214~P215の径間でスラブ止めが一部破断し、ハンチ部の床版に剥離が生じた。

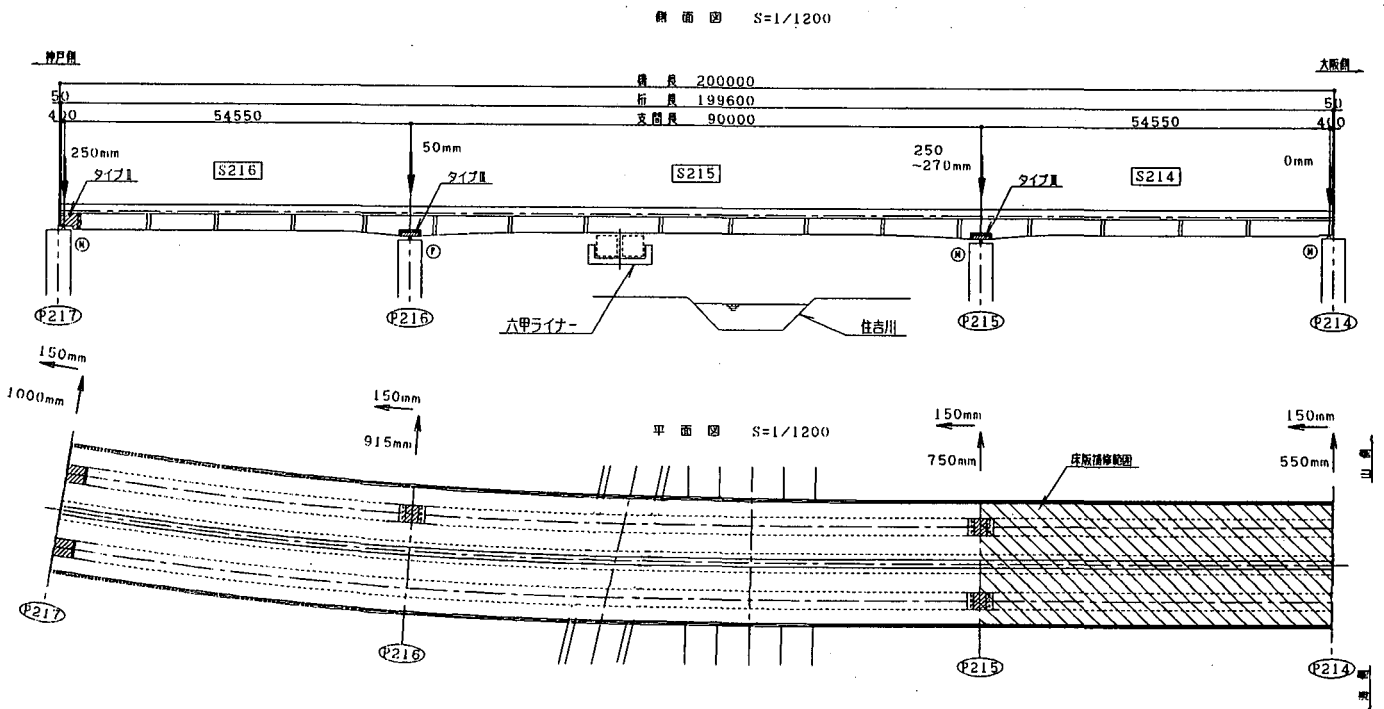


図-2 橋梁の支点部移動状況



写真-1 P215 G1 (海側) 支点部腹板座屈

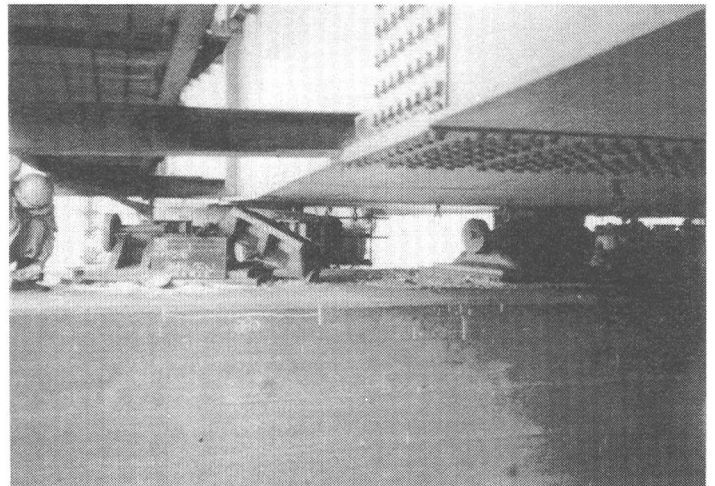


写真-2 P216 G1 (海側) 主桁横ずれ

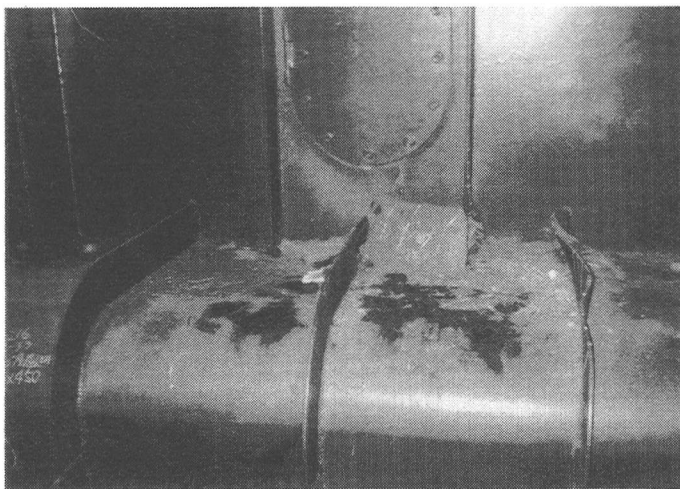


写真-3 P217 G2 下フランジ切欠部損傷

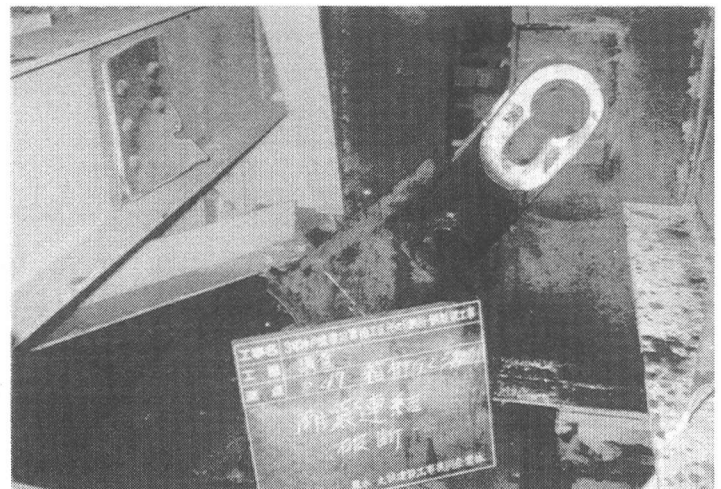


写真-4 P217 G2 落橋防止装置損傷

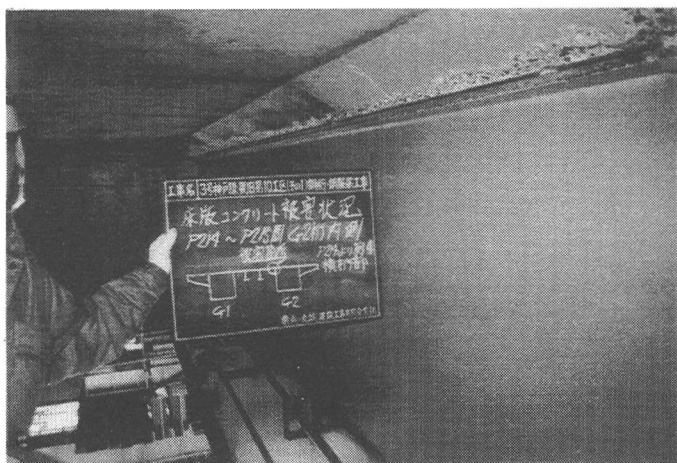


写真-5 P214~P215 G2 (海側) 床版ハンチ損傷



写真-6 P214~P215 G2桁上スラブ止め破断

じれが生じ補修を困難にするため、図-4に示すように構造解析により橋軸方向に8基のベントを用いて内部応力の無応力化を図った。これに加えて補修の施工性と安全性を考慮し、下フランジ切断部付近に撤去部材と同等以上の断面を有する拘束治具を設置した。

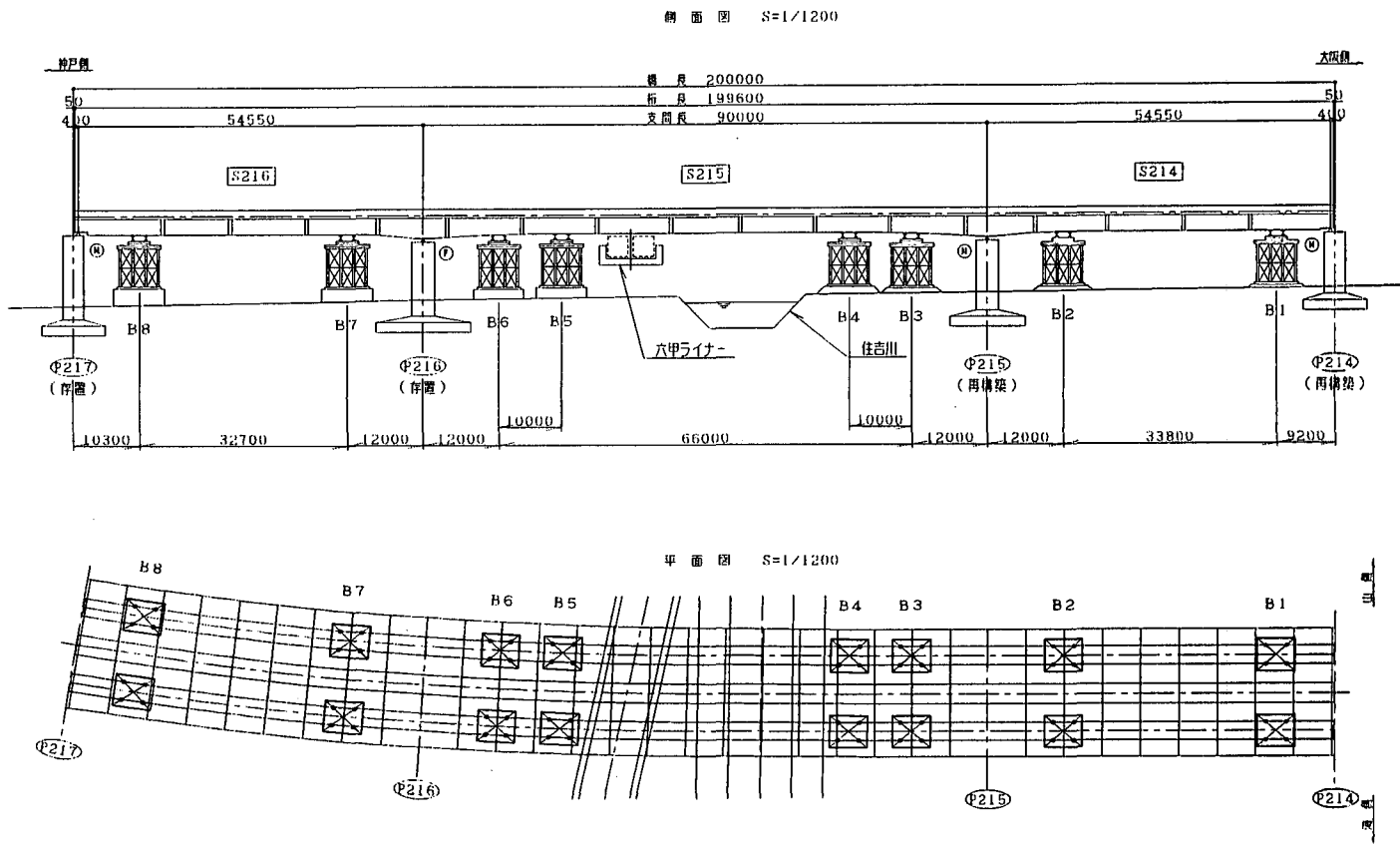


図-4 ジャッキアップ用ベント配置図

3. 3. 1 桁の無応力化（ジャッキアップ）

無応力化のジャッキアップを計画するにあたり、以下の3つの条件を考慮し24ステップに及ぶジャッキアップが必要となった。

- ・震災により山側へ最大で1000mmずれているため、車線で制約を受けて橋軸直角方向に偏心載荷状態となっている応急ベントおよび復旧ベントの応力を許容値以内におさめること。
- ・位置的条件により平面サイズが十分確保できず、応力状態が厳しい無応力化ベントの応力を許容値以内におさめること。
- ・震災で損傷している桁および床版に過大な変形を与えないこと。

また、無応力化ベントに近接の国道部橋台の安定性を確認するため、杭、軀帯の安定、地盤耐力を照査するとともに、全24ステップのジャッキアップ反力に対して安全であることを確認した。さらに、ジャッキアップ作業にあたっては新交通システムの安全管理上、午前0時から翌朝5時30分までの軌電停止の間に行なった。

3. 3. 2 拘束治具の設置とその効果

通常、桁の無応力化を図った場合には部材の切断に際しては安全であると考えられるが、本橋は中央支間が90mと大きいことと以下に示す理由により拘束治具を設置し、2次的な安全対策を施した。

(1) 拘束治具設置の理由

① 不等沈下による応力に対処

構造解析上ベントの不等沈下は考慮していない。しかし、現実的には震災で緩んだ河川付近の地盤上に橋軸方向に8基並ぶベントが、ジャッキアップにより無応力化を図った後の補修完了までの約3ヶ月間に不等沈下を起こす可能性もあり、またその量についても推定できない。したがって、不等沈下が生じた場合を予測して、その応力およびそれに伴う変形に抵抗できる部材を無応力化後補修開始までに設置しておく必要がある。

② 震災時に生じたねじり変形による内部応力に対処

ねじられた状況は、4支点部の桁のずれ量とP214～P215間の桁山側の床版ハンチの損壊およびこの区間でのスラブ止めの破断状況から判断して、震災時に桁がねじられたことが推定できる。

しかし、正確にこのねじり変形による内部応力を算定することは困難であり、またジャッキアップによってこの内部応力を除去することもできない。したがって、この残存する内部応力に抵抗できる部材の設置が必要である。

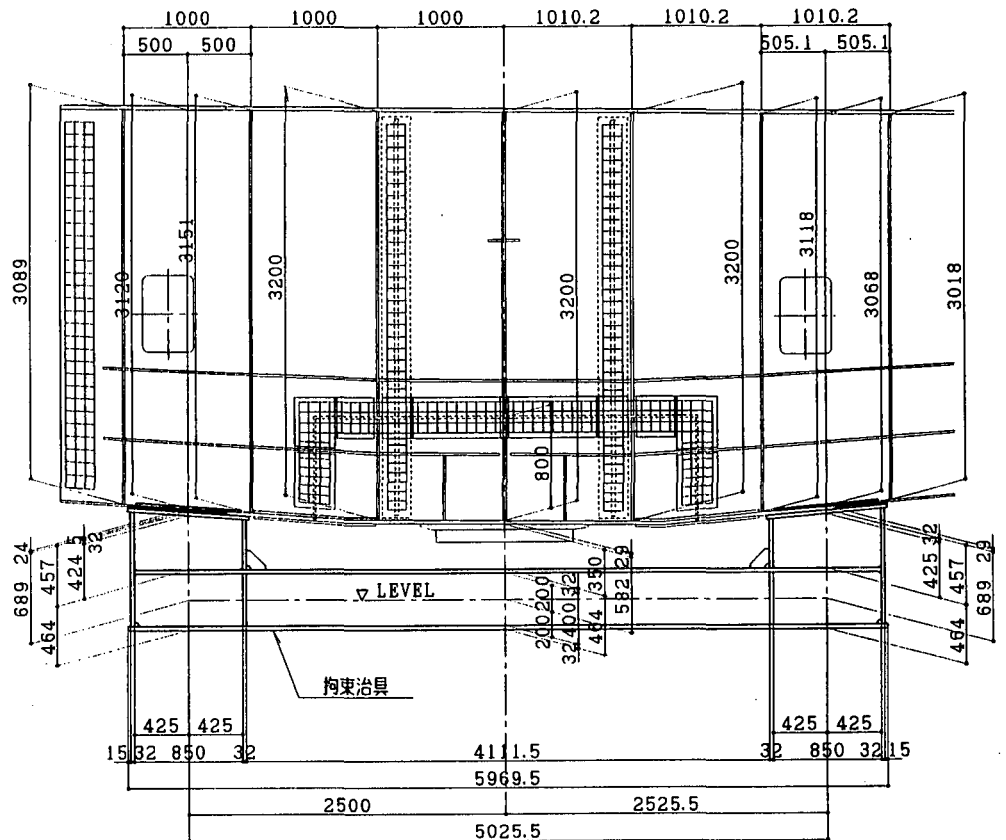


図-5 中間支点部の補修、補強と拘束治具

(2) 拘束治具の効果

損傷部切断時に大きな衝撃音が発生したが、これはねじりにより発生した内部応力が切断時に開放されたことによるものと思われる。もし仮に拘束治具が無ければ、支点部の変形はさらに増幅し補修を困難にしていたものと思われる。

3. 4 床版剥離部補修

無応力化のジャッキアップの際、P214～P215の径間G1桁山側腹板上のハンチ部から剥離したコンクリート片が国道43号車線規制内に落下した。その後の点検によりハンチ剥離部では、上フランジ上面と床版下面に5～8mmの隙間が認められた。この損傷の原因は、地震時に山側に移動した桁が地震時の影響により傾いた脚に合わせて支点が移動した際に、版構造の床版が追従できなくなり、地震時の上下動も加わり、上フランジと床版の付着が切れて山側ハンチ部にクラックが発生していたものと推察され、それが桁のジャッキアップにより、付着が切れたコンクリート下面と上フランジ間の隙間が若干変動し、ひび割れしていたコンクリートが剥離したと推定される。また、ハンチの剥離状況から察してこの径間においてスラブ止めが破損していると考えられ

たため、この範囲の床版を部分的に掘削したところスラブ止め曲げ上げ部の山側のみが破断しているものが多く見受けられた。これは、箱桁が山側に移動した際に床版内のスラブ止めは山側部曲げ上げ部に大きな力を局部的に受けて折れたものと考えられる。

補修方法は次の要領で行った。

- ①スラブ止めの破損が確認されたP214～P215の径間の床版を図-6に示すように、橋軸方向2mピッチで掘削し桁中央部の上フランジに破損相当分のスタッドジベルを溶植し、早強コンクリートを打設した。
- ②上フランジ上面と床版下面の剥離に対してはスペーサー挿入後エポキシ樹脂を注入して隙間を充填した。

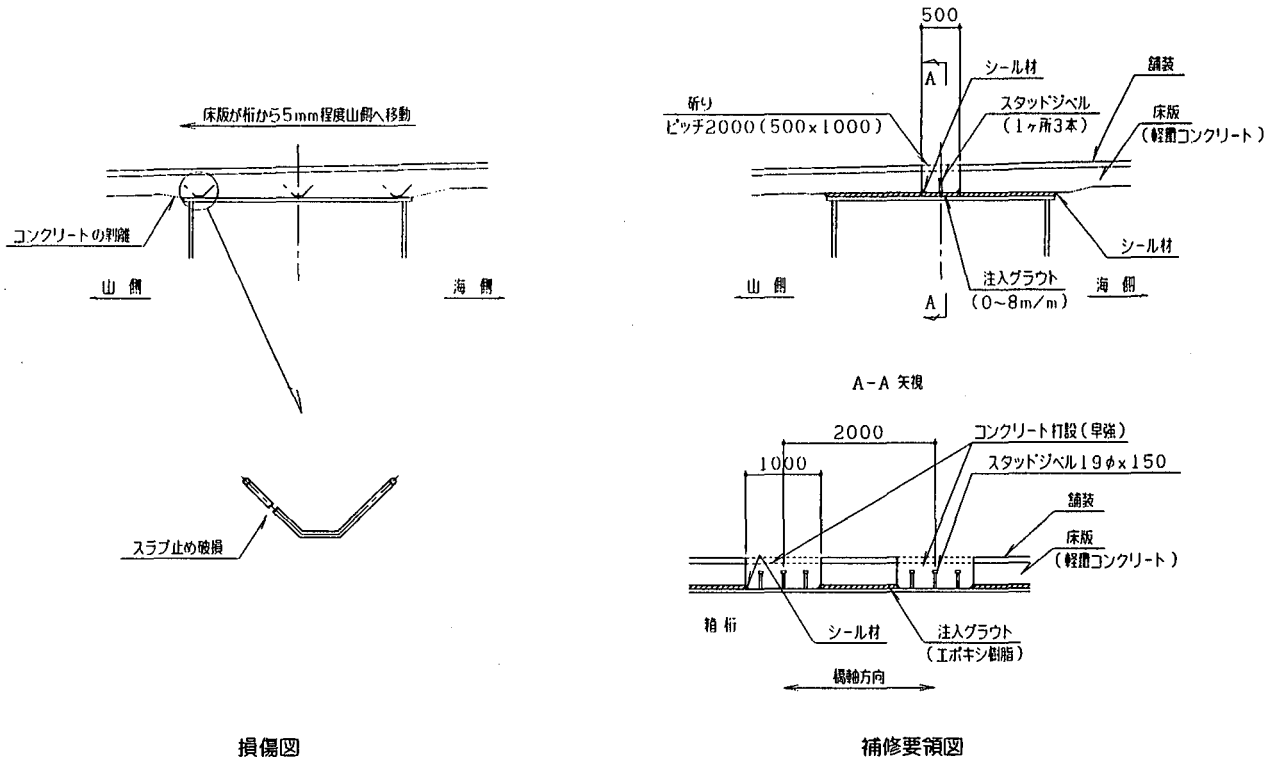


図-6 スラブ止め破損状況及び補修要領

4. あとがき

本工事の中で最も困難であった3径間連続非合成箱桁中間支点部の補修は、ジャッキアップにより桁の無応力化を図ったものの上部構造の規模と地震による推察できない付加応力が桁に残留している可能性を考慮して用いた拘束治具により、付加応力による部材切断後の腹板の面外変形を抑えることにより、精度の良い施工を行うことができた。また、桁のねじり変形によって生じた床版剥離に対しては、工程を見据えた上で効率の良い補修方法を選択したと考える。しかし、非合成床版のずれ止めである破断したスラブアンカーに対して補ったスタッドによる補修方法がどの程度効果があったのか今後の検討課題である。

〔参考文献〕

- 1) 阪神高速道路公団：既設鋼上部工の補修・補強設計および施工要領（案）、平成7年5月
- 2) 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、平成7年2月
- 3) 阪神高速道路公団：設計基準・第2部鋼構造物設計基準・第2編鋼構造、平成6年5月