

# 経年劣化を受けた PC 有ヒンジ橋の補強対策 (神通川橋)

國原 博司\*1・樋本 智\*2・古村 崇\*3・小西 哲司\*4・北野 勇一\*5

## 1. はじめに

神通川橋は、昭和 50 年に建設された 7 径間連続 PC 有ヒンジラーメン箱桁橋であり、北陸自動車道の小杉・富山 IC 間にある一級河川神通川を跨いでいる。本橋では、橋体の垂れ下がりや一部ひび割れなどの劣化現象を確認しているため、走行性の改善、耐震性の向上、車両大型化対応を目的として、平成 13、14 年度にかけて外ケーブルによる連続

化補強を実施した。また、工事の実施にあたり、現況の健全性を調査・解析により定量的に把握し<sup>1)</sup>、経年劣化の影響を補強対策に反映することを試みた。本報告では、経年劣化による損傷状況と健全度調査について概説するとともに、補強対策における設計・施工上の特徴と留意点について紹介する。

## 2. 既設橋梁の概要と損傷状況

### 2.1 既設橋梁の概要

既設橋梁の全景、橋梁諸元および一般図について、それぞれ写真 - 1、表 - 1 および図 - 1 に示す。



写真 - 1 既設橋梁の全景

表 - 1 既設橋梁の諸元 (P1 ~ A2 部)

構造形式	7 径間連続 PC 有ヒンジラーメン橋
橋長	554.2m (73.2m + 5 × 81.6m + 73.2m)
有効幅員	10.000m (2 車線)
下部工	小判型橋脚、ケーソン基礎
橋台支承	ピボット+ローラ着、380tf × 2 基 (P1, A2)
ヒンジ着	鉛直 50tf × 2, 水平 30tf × 2 (G1 ~ G5)
適用示方書	道路橋示方書昭和 47 年 (活荷重 TL - 20)
コンクリート強度	橋体 $\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$ , 橋脚 $\sigma_{ck} = 24 \text{ N/mm}^2$
使用鋼材	PC 鋼棒 $\phi 32(\text{SBPR}80/105)$ , 鉄筋 SD 295

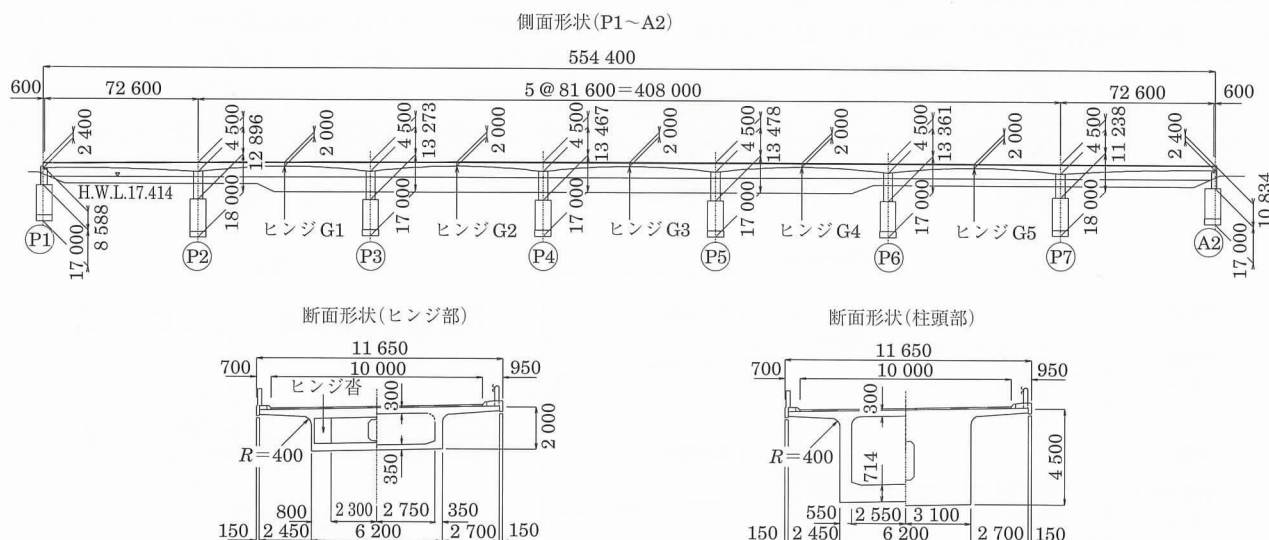


図 - 1 既設橋梁の一般図

\*1 Hiroshi KUNIHARA : 日本道路公団 北陸支社 金沢管理所 副所長

\*2 Satoshi HIMOTO : 日本道路公団 北陸支社 構造技術課 課長代理

\*3 Takashi FURUMURA : 川田建設 (株) 営業本部 新事業開発室 室長

\*4 Tetushi KONISI : 川田建設 (株) 東京支店 技術部 設計課

\*5 Yuichi KITANO : 川田建設 (株) 技術部 技術課

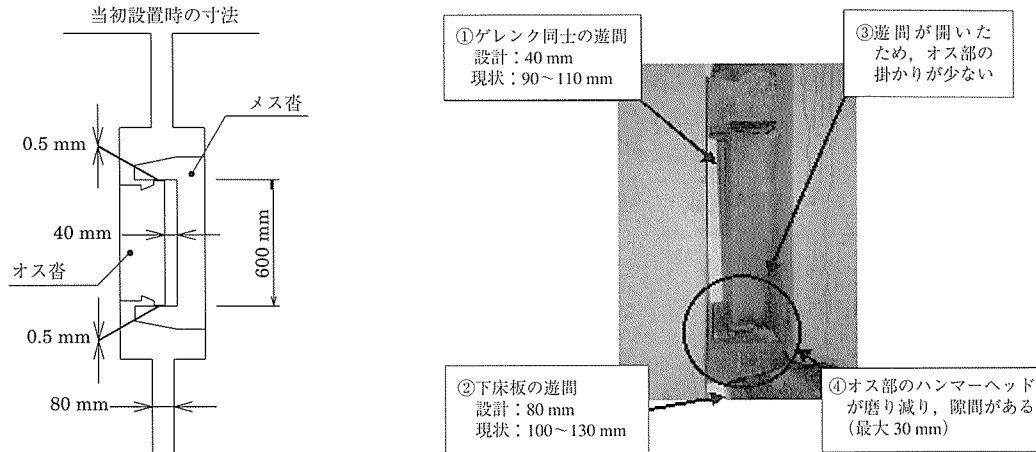


写真 - 2 既設ヒンジ沓の状況

## 2.2 既設橋梁の損傷状況

### (1) 構造形式に起因する損傷状況

本橋では、柱頭部からヒンジ部に向けて最大で 100 mm 程度の垂れ下がりが生じており、伸縮装置に最大 30 mm の段差があった。また、ヒンジ沓は最大 30 mm 程度の摩耗があり（写真 - 2）、大型車両が通過する度に衝突音を生じていた。これらの損傷は、これまでもその事例が報告<sup>2)</sup>されているように、有ヒンジラーメン橋特有の劣化現象であることが明らかになっている。

### (2) コンクリートに起因する損傷状況

本橋を含むこの地域のコンクリート構造物では、昭和 60 年前後より亀甲状のひび割れやゲルの滲出などのアルカリ骨材反応による損傷が橋梁下部工を中心に確認されており、すでに防水ライニングによる補修が実施されているものもある。本橋の上部工の一部には、橋体の柱頭部・端横桁部などのマシブな部位の亀甲状ひび割れや、橋体のサークルハンチ部の橋軸方向の水平ひび割れ（図 - 2）のように、アルカリ骨材反応によると思われる損傷が確認された。

以上のように、既設橋梁に生じている損傷は、構造形式とコンクリートに起因する特殊なケースの複合劣化であることから、補強対策に取り組む前に、まず、これらの損傷

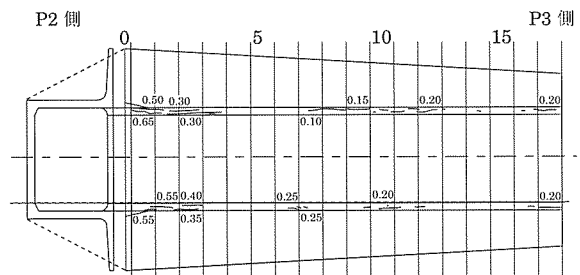


図 - 2 箱桁内のひび割れ状況

による耐荷力への影響度を解明することが必要であると判断した。

## 3. 健全度調査とその判定

### 3.1 実橋載荷試験による健全度調査

実橋載荷試験は、一般車両を通行させながら行うため、図 - 3 に示すような方法で試験車両を載荷し、橋体のたわみやひずみについて測定した。その結果より、ヒンジ沓の機能低下が著しいこと、および柱頭部付近の橋体剛性が、コンクリート弾性係数換算で、設計値 (31 kN/mm<sup>2</sup>) を下回る 27.5 ~ 30.6 kN/mm<sup>2</sup> となることが確認された<sup>1)</sup>。これ

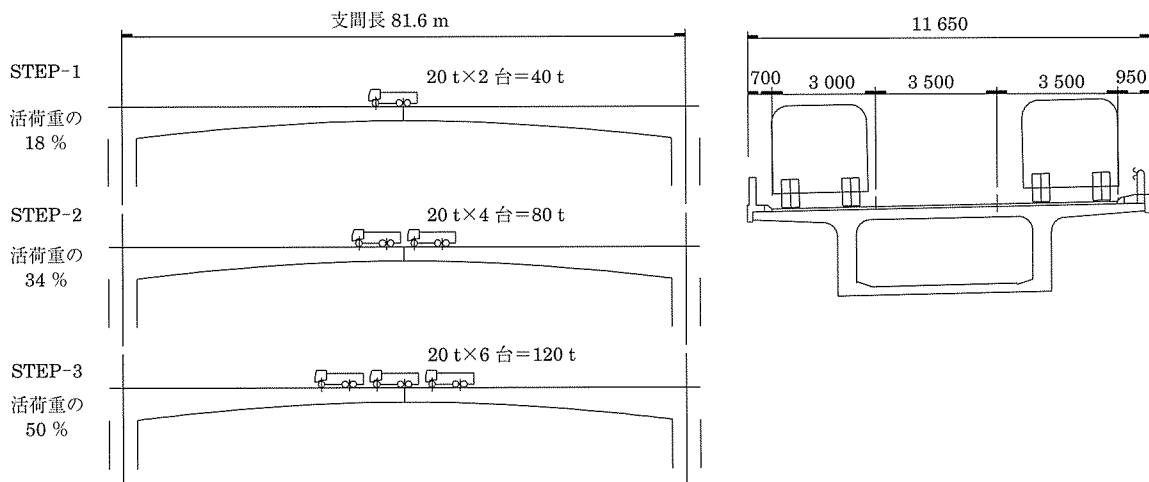


図 - 3 試験車両の載荷要領

表 - 2 解析手法による発生応力の検討結果

ケース番号	設計番号	設計条件					側径間		柱頭部 P2	
		構造解析	クリープ係数	活荷重	ヒンジ機能	弾性係数	上縁	下縁	上縁	下縁
CASE - 1	当初設計	完成系	$\phi = 2$	TL - 20	有	35 kN/mm <sup>2</sup>	11.0	0.6	0.7	11.0
CASE - 2	復元設計	架設考慮	道示厳密解 $\phi' = 2.4 \sim 2.6$	〃	〃	31 kN/mm <sup>2</sup>	10.2	-1.0	1.4	10.9
CASE - 3						25 kN/mm <sup>2</sup>	10.1	-1.1	1.4	10.8
CASE - 4	再現設計	〃	$\phi' + \Delta\phi$ (垂れ下がり を考慮 $\Delta\phi = 4.0$ )	〃	有	31 kN/mm <sup>2</sup>	10.1	-1.3	1.0	10.8
CASE - 5					なし	〃	10.1	-1.3	0.7	11.1
CASE - 6					有	〃	10.7	-2.3	0.5	11.3
CASE - 7					なし	〃	10.7	-2.3	-0.1	11.9
許容値 (単位: N/mm <sup>2</sup> )							$\sigma < 14.0$	$-1.5 < \sigma$	$0.0 < \sigma$	$\sigma < 14.0$

注) ヒンジ“有”はせん断力の伝達のみ, “なし”は曲げ, せん断, 回転を自由な状態にした場合である。

より, 既設橋梁は建設当初の構造性能を満たしておらず, 供用時の安全性の検討が必要になった。

3.2 解析手法による健全度調査

既設橋梁の応力状態を以下の手順で検討し, 供用時の安全性の確認を行った。その結果を表 - 2 に示す。

- ① 建設時の当初設計の見直しとして, 現在の技術基準に基づく復元設計を行う。
- ② 構造性能の低下による影響を検討するため, 弾性係数を低下させた復元設計を行う。
- ③ 垂れ下がり現象を設計上で考慮するため, 想定クリープ係数を算定する。
- ④ 現況 (垂れ下がり, ヒンジ機能) および車両大型化対応を考慮した再現設計を行う。

これより, 建設時の技術基準が現在とは異なるものの, 当初設計 (CASE - 1) と復元設計 (CASE - 2) の応力状態はほぼ等しくなり, 実橋載荷試験で得られた弾性係数の低下を考慮 (CASE - 3) しても, 発生応力の変化は小さく, 供用時の安全性に問題のないことが確認された。一方, 垂れ下がり現象はここ 10 年間でも進行しており, 実橋載荷試験による橋体の剛性低下ではその説明がつかないことから, 塑性変形などの内的要因によりプレストレスロスが顕在化してきているものと考えた。また, アルカリ骨材反応がクリープ変形を増大するとの指摘<sup>3)</sup>があることから, 確認された垂れ下がり量よりクリープ係数を逆算した (図 - 4)。これより, クリープ係数は  $\phi = 4 \sim 6$  と算定され, 設計上で考慮されている値 ( $\phi = 2$ ) を大きく上回る結果になった。

以上より, 垂れ下がりの影響を検討するため, 増加したクリープ係数を考慮した再現設計を行った (CASE - 4)。その結果, 垂れ下がり量を考慮しても現況の応力度は許容値内

であり, ヒンジ機能の低下を追加した条件 (CASE - 5) においてもほぼ同様な応力性状を示したことから, 経年劣化による供用性能の低下は問題のない範囲であると判断された。なお, 基準改訂による 25 tf 車両対応 (CASE - 6, 7) については補強対策が必要となる結果になった。

3.3 コンクリートに関する健全度調査

コンクリートに関する健全度調査の総括を表 - 3 に示す。

(1) 予備調査の結果

予備調査として, 設計・施工図書などに関する机上調査を行った。

これより, 本橋の建設には, アルカリ総量規制以前のセメントが使用されており, 骨材も反応性の考えられる河川から採取されたものであった。また, 本橋を取り巻く供用環境は, 多雨高湿で寒暖のある日本海側気候を受けていることから, アルカリ骨材反応が生じている可能性もあると判断された。

(2) 実態調査の結果

実態調査として, 実橋からサンプリングしたコンクリートの強度・物性調査, およびコンクリート内部の変状調査を行った。

その結果, 圧縮強度は設計値を確保しており, ひび割れ深さも主筋に達していないことが確認された。また, 静弾性係数の大幅な低下が見られたが, 前節の健全度調査の結果から判断すると, 構造性能としては現在のところ問題となる範囲ではない。

(3) アルカリ骨材反応調査

アルカリ骨材反応 (ASR) 調査として, 柱頭部 (ひび割れ損傷 (大)), 張出し部 (ひび割れ損傷 (中)), 橋脚 (ひび割れ損傷 (中)) のコアを採取し, 各種調査を実施した。

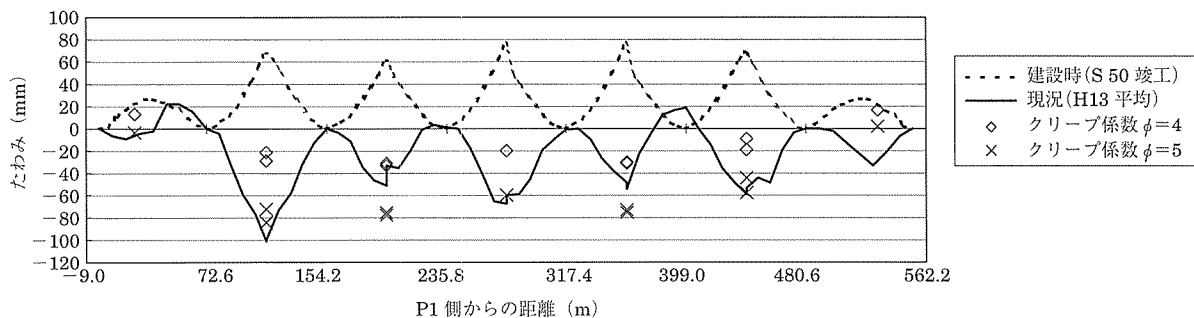


図 - 4 クリープ係数増加時のたわみ量と実測値との比較

表 - 3 コンクリートに関する健全度調査の総括

調査内容		調査結果	判定
予備調査	概要調査	1) 構造形式	S 50 竣工、7 径間連続 PC 有ヒンジラーメン橋
		2) 構造物の環境	海岸線から 10 km、神通川河川上、凍結防止剤の散布有り 月平均気温：2.0 ~ 26.0 °C、月平均湿度：71 ~ 83 %
		3) コンクリート	①強度：上部：40 N/mm <sup>2</sup> (W/C = 41 %)、下部：24 N/mm <sup>2</sup> (W/C = 51 %) ②材料：神通・早月混合骨材、早強セメント、混和剤 No.5 L
実態調査	強度調査	1) 採取コア試験	強度：上下部工とも設計基準強度以上 静弾性係数：柱頭部 57 %、張出し部 66 %、橋脚 76 %に低下 ※柱頭部表層と最深部の強度値はほぼ一致
		物性調査	1) 中性化試験
	2) アルカリ量測定		アルカリ総量：4.14 kg/m <sup>3</sup> (判定規準 3.0 kg/m <sup>3</sup> 以上)
	3) 塩分量測定		塩分量：かぶり位置で 0.1 kg/m <sup>3</sup> (発錆限界値 1.2 kg/m <sup>3</sup> 以下)
	変状調査	1) ひび割れ 内部調査	①柱頭部：表面ひび割れ深さ 100 mm、内部はひび割れが少ない (コア削孔によるクラッシングなし) ②サークルハンチ部：表面ひび割れ深さ 20 mm
		2) 鉄筋腐食調査	腐食および破断等の変化なし
ASR 調査	ASR 調査	1) 促進養生試験	膨張率 (21 日後)：柱頭部 0.6 %、張出し部 0.4 % (基準値 0.1 % 以上) ※判定は「ASR である」
	ASR 詳細調査	1) コア目視観察	橋脚・柱頭部・張出し部にゲルの滲出あり
		2) 顕微鏡観察	反応骨材 (安山岩) の含有率：柱頭部 11 % > 張出し部 4 % > 橋脚 1 %
		3) X 線回折分析	反応性珪物 (クリスバライト)：柱頭部 (多い)・張出し部 (やや多い) に含まれる
		4) EPMA 分析	柱頭部ゲルの組成：Ca / Si 比 = 0 ~ 0.9 の範囲 (0.25 以下は ASR 進行中)

これらから、コア表面には滲出ゲルが確認でき、残存膨張量も柱頭部で 0.6 %、それ以外の部位でも基準値を大きく上回ること (図 - 5) が確認され、既設橋梁にはアルカリ骨材反応が生じているものと判定された。また、薄片を用いた EPMA 分析によれば、生成したゲルの内、骨材のひび割れ内や周辺には、膨潤性と判断される組成 (Ca/Si ≤ 0.25) のアルカリシリカゲルが目立ち、セメントペーストのひび割れ内や気泡内には、無害な CSH ゲルに相当する組成 (Ca/Si = 1.2 ~ 1.3) のゲルが簡単に見つからなかった。

以上より、柱頭部では現在、アルカリ骨材反応の潜在進行性があるものの、供用後 28 年経過しており強度等からも健全性が保たれているため、環境条件に大きな変化がなければ、急激な今後の進行も考えにくく、クラックの補修、ライニング等の予防保全が重要と判断した。

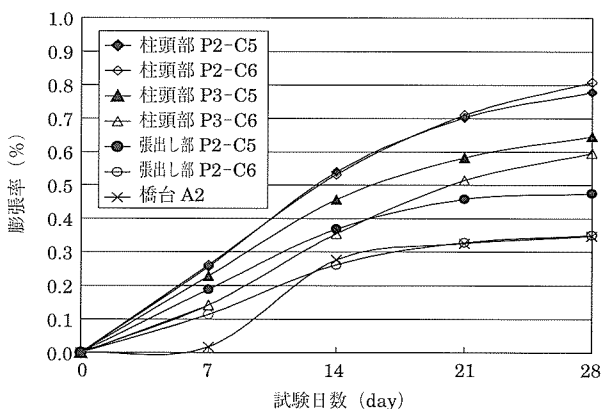


図 - 5 促進養生試験 (カナダ法) 結果

## 4. 設計上の特徴と留意点

### 4.1 補強工法の選定

補強工法の選定は、表 - 4 に示す構造形式について検討した。その結果、ヒンジ沓や伸縮装置の維持管理の軽減、走行性の改善、耐震性の向上 (長周期化による慣性力の低減) を図れる外ケーブルによる連続化補強 (A 案) を選定した。また、連続化構造は有ヒンジ構造と比較して、橋体のたわみ量や柱頭部の活荷重モーメントの低減が図れるため、垂れ下がり量の増加や柱頭部の耐力低下などの損傷進行を軽減できるものと判断した。

なお、本橋のように多径間の有ヒンジラーメン橋を連続化した事例としては、北陸自動車道手取川橋<sup>4)</sup>などが挙げられる。

### 4.2 補強設計の方針

前節の調査結果より、既設橋梁の健全性は表 - 5 に示すように評価した。また、選定した補強対策上の技術的な課題点として、a) 完成後 25 年を経過している構造物の健全度の評価、b) 垂れ下がりから想定されるクリープ変形の評価、c) 構造形式およびコンクリートに起因する損傷対策、が挙げられた。

これより、補強設計の方針として、課題点 a) , b) については、下記に示す評価①~③を補強設計に反映させることにより対応し、課題点 c) については評価④、⑤の機能改善対策、または、予防保全対策を実施することにした。

### 4.3 連続化の径間数の検討

上部工を連続化することにより橋脚の負担が大きくなるため、どの程度の径間数まで連続化が可能であるかについ

表 - 4 補強工法の選定表

補強工法	構造概要	耐震性向上	車両大型化	走行性改善
<p>A 案</p> <p>外ケーブルによる連続化</p>	<p>・柱頭部の隔壁を定着部とし、外ケーブルにより上部工を連続化させる。</p>	◎	◎	○
<p>B 案</p> <p>上部工下面の大偏心外ケーブルによる補強</p>	<p>・橋脚付近の箱桁を定着部とし、外ケーブルを介してヒンジ部に反力を与える。</p>	○	◎	◎
<p>C 案</p> <p>エクストラドロード型式による補強</p>	<p>・既設橋脚上に主塔を増設し、大偏心外ケーブルを介して上部工荷重を負担する。</p>	△	○	△
<p>D 案</p> <p>ヒンジ部の中間橋脚増設</p>	<p>・ヒンジ部の下に中間橋脚を新設し、上部工荷重を分担させる。</p>	○	○	△
<p>E 案</p> <p>上部工下面の鋼製アーチによる補強</p>	<p>・既設橋脚間に鋼製アーチを渡し、上部工荷重を下部工へ分担させる。</p>	△	○	△

補強効果の判定基準 ◎：大，○：あり，△：小，×：なし

表 - 5 既設橋梁に対する健全度評価の総括

評価	評価内容	対策方針
評価①	設計当時の物性値との相違は認められるものの、耐荷力には支障がないため、健全な構造物とする。	構造機能の回復
評価②	現況と検討が乖離しないようにするため、基本断面力は現況の垂れ下がり考慮（クリープ係数 $\phi = 6$ ）したものとす。	
評価③	経年劣化による局部損傷が考えられるため、過度な応力集中を作用させないようにする。	走行性の改善
評価④	ヒンジ部の機能は低下し、走行性および構造体にも悪影響があるため補修もしくは交換が必要。	
評価⑤	現時点においてアルカリ骨材反応の構造機能に対する影響は問題ないものの、損傷の深刻化が予想される柱頭部を中心にアルカリ骨材反応の進行抑制対策が必要。	物性変化の予防

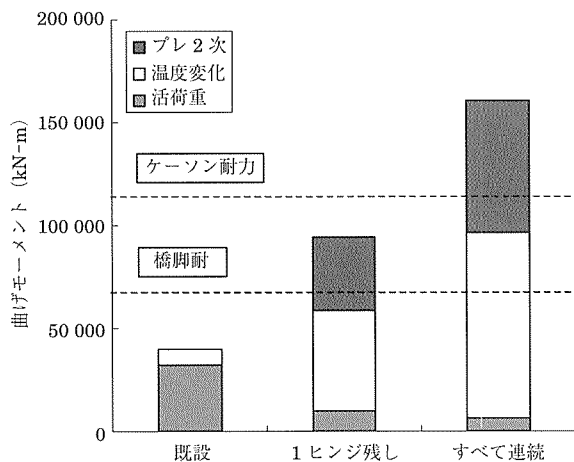


図 - 6 連続化に伴う発生断面力 (P2 脚下端)

て、上・下部工を対象として検討した。その結果より、全 7 径間を連続化した場合、上部工は外ケーブル補強により所定の耐力を確保できるものの、橋脚下端での発生曲げモーメントがケーソン耐力を大きく上回ることが確認された (図 - 6)。このため、連続化の径間数は中央 1 箇所のヒンジ (交換の必要性あり) を残した 3 径間に留めることにした。

4.4 補強量の検討

(1) 外ケーブル補強量の検討

外ケーブル補強量は、平成 8 年に制定された道路橋示方書を基準とし、車両大型化に対応する荷重を載荷したときにひび割れを許容しない (パーシャルプレストレス) ようにして算定した。また、配置本数は終局耐力を勘案し、表 - 6 に示すように決定した。なお、外ケーブルは既設構造物の健全性を損なわないように、柱頭部や隔壁を利用して定着・偏向を行い、施工性の観点より 2 径間を連続化するロングケーブル方式を採用した。

表 - 6 外ケーブル (12S15.2B) の配置本数

組合わせ	側径間部	柱頭部	連続化部
死荷重時 (D)	- 0.4 本	-	4.3 本
設計荷重 (D + L)	4.0 本	-	6.2 本
温度時 (D + L + T)	6.1 本	-	8.0 本
使用時の必要本数	6.1 本 → 8 本	必要なし	8.0 本 → 8 本
配置本数	8 本	10 本	10 本
内外張力割合 (%)	79 : 21	81 : 19	0 : 100

(2) せん断補強量の検討

連続化補強に伴い側径間のせん断耐力が不足する (表 - 7)。このため、箱桁内面のウェブに不足鉄筋量分の鋼板接着 (2 ウェブ 2 面、鋼板厚 6 ~ 12 mm) を行うことにした。

表 - 8 橋脚の補強配筋量の決定

		P 2 橋脚	P 3 橋脚	P 4 橋脚	P 5 橋脚	P 6 橋脚	P 7 橋脚	
増厚量 (mm)		350	250	350	350	250	350	
主鉄筋	直線部	内側	D 32 - 12 本	D 22 - 24 本	D 38 - 26 本	D 38 - 26 本	D 22 - 24 本	D 32 - 12 本
		外側	D 32 - 26 本	—	D 38 - 26 本	D 38 - 26 本	—	D 32 - 26 本
	曲線部	内側	D 32 - 42 本	D 22 - 80 本	D 38 - 82 本	D 38 - 82 本	D 22 - 80 本	D 32 - 42 本
		外側	D 32 - 82 本	—	D 38 - 82 本	D 38 - 82 本	—	D 32 - 82 本
帯鉄筋		D 22 @ 100	D 29 @ 100	D 22 @ 100	D 22 @ 100	D 29 @ 100	D 25 @ 100	
アンカー定着 (○:定着, ×:非定着)	上部	×	×	×	×	×	×	
	下部	○	×	○	○	×	○	

表 - 7 せん断に関する照査結果

項目	対象	設計値	判定の基準と結果	
1)斜引張応力度の照査	温度荷重時のウェブ主応力	- 8kg/cm <sup>2</sup> (側径間)	照査値 - 11.5 kg/cm <sup>2</sup>	OK
2)平均せん断応力度の照査	終局時のウェブ座屈	41kg/cm <sup>2</sup> (側径間)	照査値 53 kg/cm <sup>2</sup>	OK
3)せん断耐力に対する照査	ウェブのスタラーラップ量 (m 当たり)	側径間: 115 cm <sup>2</sup> 中央径間: 35 cm <sup>2</sup>	実配置 c t c 200 × D 16 = 39.7 cm <sup>2</sup>	NG (側径間)

(3) 橋脚補強鉄筋量の検討

既設橋脚は、上部工の連続化による耐力不足や、耐震性の確保の観点より検討し、表 - 8 に示す配筋量の RC 巻立てを行うことにした。また、上部工柱頭部への主筋の定着は困難であることから、橋脚に生じているアンバランスモーメントの解消を図るためのカウンターウェイトを上部工に設置することにした。

4.5 定着突起の設計

(1) 柱頭部定着突起

外ケーブル定着を行う柱頭部は、局部応力を抑制するための大きな支圧版としての突起を設けることにしたが、既設コンクリートへの影響を確認するため、FEM 解析による構造検討を実施した。その結果を図 - 7 に示す。これより、既設部にひび割れや剛性低下の生じているケースでは、既設柱頭部との界面に発生する割裂応力および支圧応力が大きくなるものの、突起厚さを 100 cm とすれば許容値以内になることが確認された (図 - 7)。また、表面ひび割れによる局部応力性状への影響は大きいことから、定着突起の施工に際し、既設部のひび割れ注入と支圧を直接受ける部分

のかぶりコンクリートをはつり取ることにより、安全性の確保に留意することにした。

(2) 側径間定着突起

定着突起の設計は、文献 5)などを参考に構造形状および配筋量を概略決定し (図 - 8)、定着突起および既設構造に過大な局部応力が働かないことを FEM 解析により確認した。以下に設計上の留意点を示す。

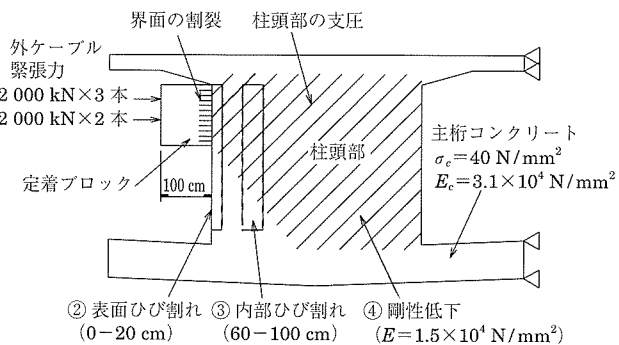
- ・ 既設構造の局部応力が許容応力度内となる定着サイズとし、引き剥がし力に見合うアンカー鉄筋 (許容値 140 N/mm<sup>2</sup>にて算出)を追加した。
- ・ 既設構造と定着突起は PC 鋼棒で接合し、接合面の摩擦係数は  $\alpha = 0.6$ 、安全率を 1.5 とした。
- ・ 接合用 PC 鋼棒 (SBPR930/1180,  $\phi$  32 mm, B 種 2 号) は 1.5 m 程度と短いため、有効張力は 400 kN (想定張力ロス: 25%) と設定した。

5. 施工上の特徴と留意点

5.1 施工概要

施工の概要図および概略工程 (上り線側) をそれぞれ図 - 9、表 - 9 に示す。本工事では、外ケーブルによる連続化、橋脚の RC 巻立てのほかに、せん断鋼棒の突出防止や橋面排水機能の向上を目的とした床版上面補強対策などを実施した。

施工手順は、床版上面や RC 巻立てなどの工種を先行し、外ケーブルの定着、偏向部を製作した後、通行規制期間 (10 日間) 中に外ケーブル緊張を行い、上部工の連続化を図った。この際、交通開放に必要な外ケーブル本数は連続



局部応力の許容値: 支圧:  $0.5 \sigma_c = 20 \text{ N/mm}^2$   
割裂: コア試験最小値 ( $-2.9 \text{ N/mm}^2$ ) とする。

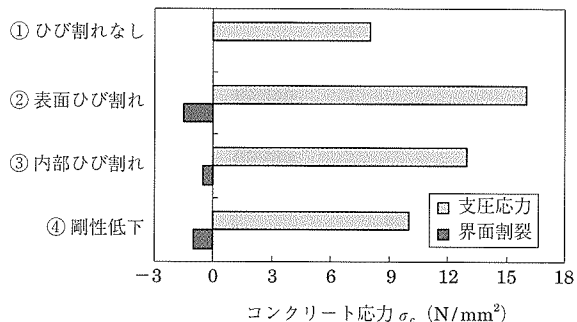


図 - 7 柱頭定着部の発生応力

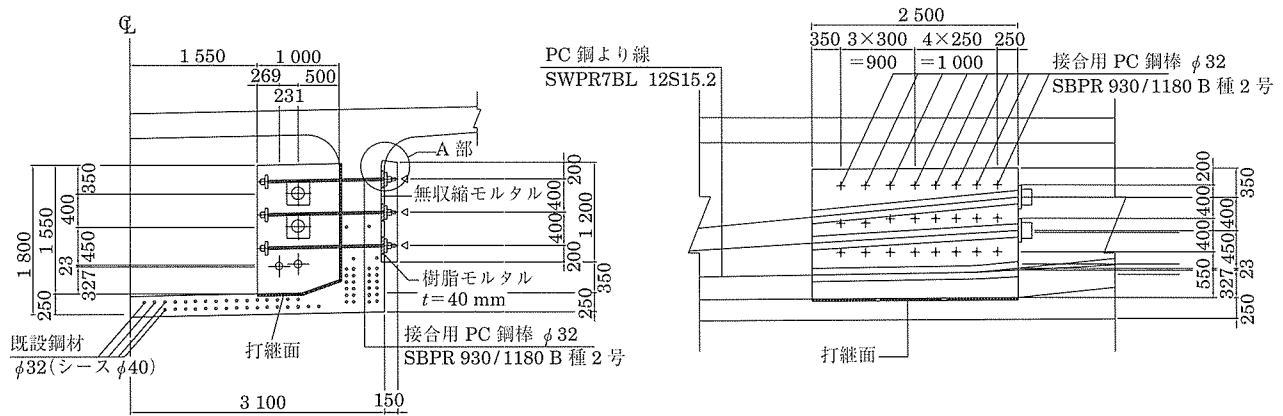


図 - 8 A 定着突起部の構造形状

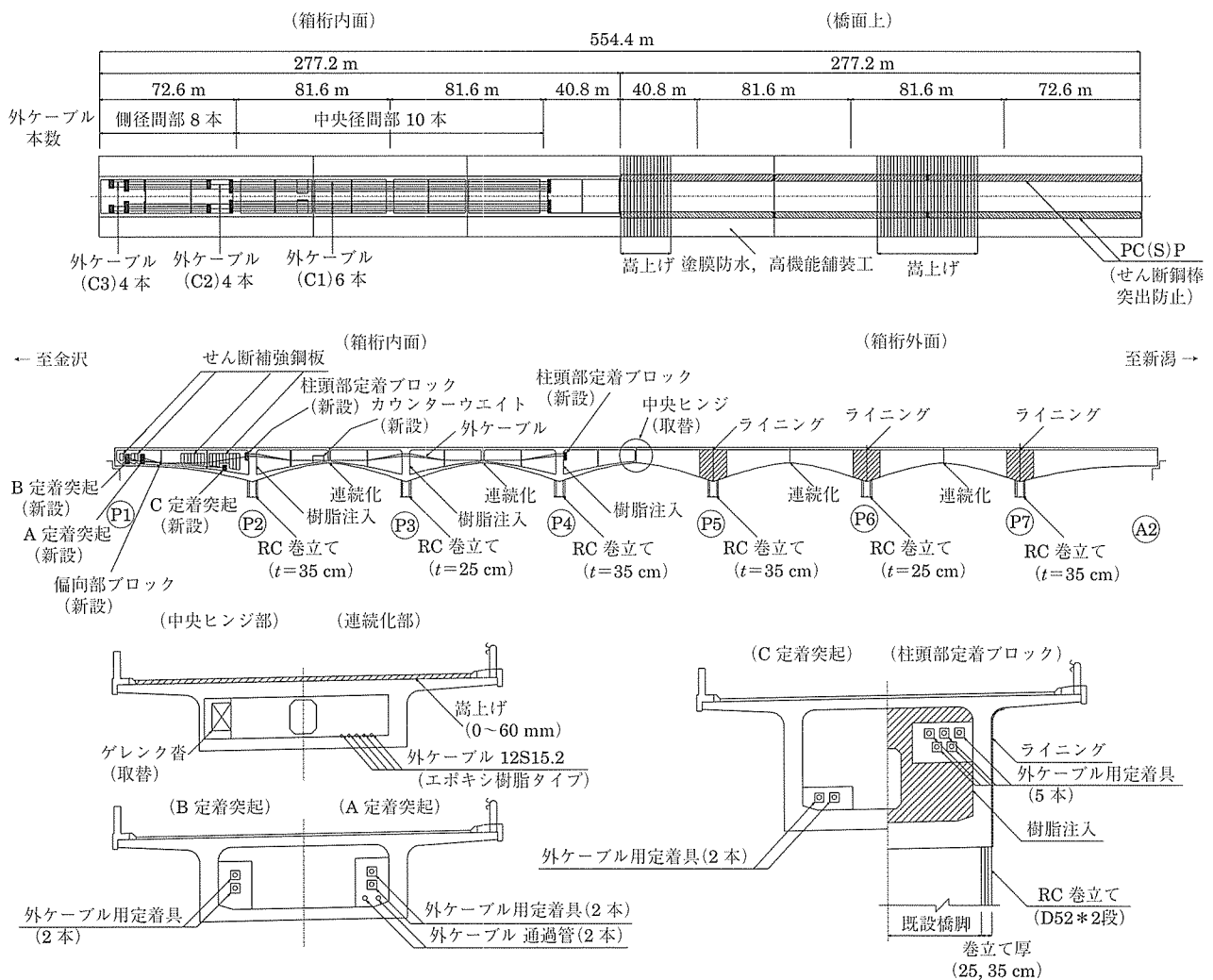


図 - 9 施工の概要図

化部で6.2本であることより、短期的な支障がないと考えられる6本を規制中に緊張することにした。また、局部応力の働く定着突起の安全性や連続化構造への移行の確認を目的とした施工時の計測を行い<sup>6)</sup>、これらに問題のないことを確認した後、残りの外ケーブルの緊張を実施した。なお、今回の工事に合わせ、連続化部およびヒンジ部前後の嵩上げを橋面舗装により行い、走行性の改善を図った。

### 5.2 ヒンジ部連結工

ヒンジ部の連結は、当初、交通規制を最小限とすることを目的に、下床版、ウェブ（新設）の連続化を先行し、上床版の間詰めを片車線ずつ行う方法を検討していた。しかし、上床版は伸縮装置での車両走行の衝撃により一部ひび割れ損傷を受けていることから、表 - 10 に示すようにヒンジ部の設置されている900mm区間についてすべて撤去し



表 - 9 施工の概略工程（上り線工事）

工種	月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	交通規制			片側規制					対面規制		片側規制
準備工											
床板上面補強対策工	PCSP工 塗膜防水,高機能舗装工										
足場・防護工							組立			解体	
ヒンジ部連結工	伸縮装置撤去工 連結工 高上げ工										
中央ヒンジ取替工									撤去	取付	
外ケーブル連結工	定着突起ブロック工 偏向部・カウンターウェイト工 緊張工 銅板接着工						柱頭部ブロック,A定着突起 偏向部ブロック,カウンターウェイト			BC,定着突起	
柱頭部補強対策工	樹脂注入工 ライニング工								中央ケーブル	輻径間ケーブル	
橋脚RC巻立て工			P 4, 5 橋脚		P 2, 7 橋脚		P 3, 6 橋脚				

表 - 10 ヒンジ部連結方法の検討

概念図	当初案	変更案
施工概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>①下床版の撤去, 配筋, 間詰め</li> <li>②架設用鋼板の設置 (下面)</li> <li>③ゲレンク撤去, ウェブ新設</li> <li>④上床版の間詰め (ジェットコン)</li> <li>⑤外ケーブル緊張, 鋼板撤去</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①下床版, ウェブの撤去</li> <li>②伸縮装置, 上床版の撤去</li> <li>③配筋</li> <li>④一括間詰め (ジェットコン)</li> <li>⑤外ケーブル緊張</li> </ul>
利点	短期間 (上記④のみ) の車線規制で済む。	主桁断面の連続性が高い。 施工性がよい。
欠点	上床版は間詰めのため連続性に劣る。 下床版の連結後の補強が必要	車線規制で済まなく, 規制期間も長い (上記②~⑤で10日程度)



写真 - 3 伸縮装置の撤去状況

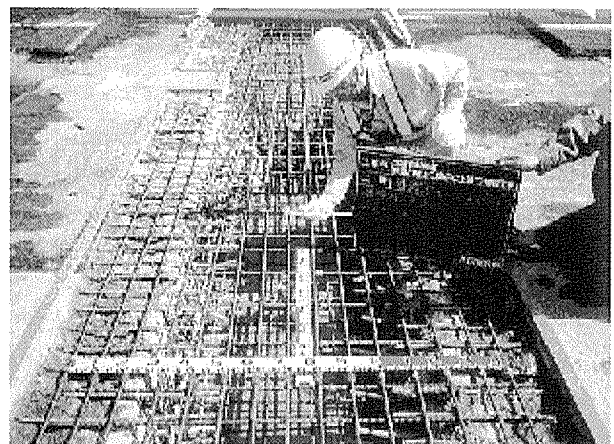


写真 - 4 連結部の配筋状況



(写真 - 3, 4), 箱桁断面の一括打設 (ジェットコンクリート使用) によりヒンジ部の連結を行った。また, 下床版には換気と湿気・結露対策として空気孔を設け, 空気や水分の滞留を防止した。

### 5.3 中央ヒンジ取替工

中央ヒンジ部は, ゲレンク沓と呼ばれる線支承に属するタイプであり, 経年的に支承接触部 (ハンマーヘッド) が摩耗し, その機能が失われている。このため, ヒンジを残す1箇所については, 新規製作品と取り替えることにした。写真 - 5 に交換ヒンジ沓の設置状況を示し, 製作上の留意点を以下に示す。

- ① ハンマーヘッドの摩耗を考慮し, 交換可能な支圧版 (硬度は本体と同等) を採用した。
- ② 既設ヒンジ沓は塗装防錆であるが, 耐久性を考慮して亜鉛メッキ仕様とした。
- ③ 設計条件の移動量は  $\pm 60 \text{ mm}$  であるが, 桁のクリープ短縮を考慮し  $30 \text{ mm}$  の余裕を確保した。

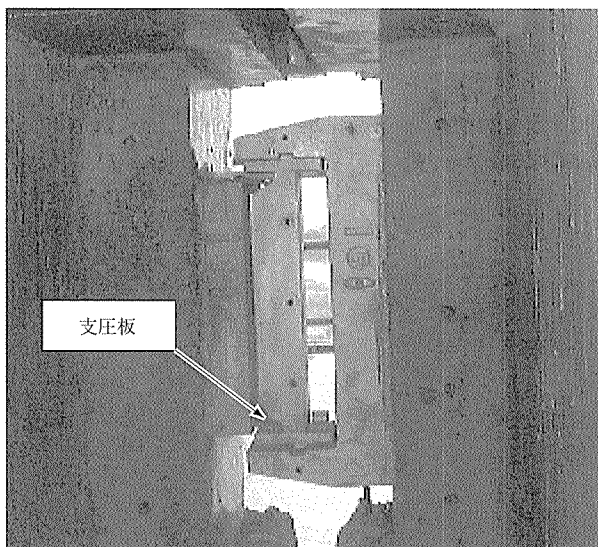


写真 - 5 交換ヒンジ沓の設置状況

### 5.4 外ケーブル連結工

本工種は, 箱桁内に定着突起・偏向部・カウンターウェイトを設け, そこに外ケーブルを配置してプレストレスを導入するものである。この際, 側径間のせん断補強 (鋼板接着) を先行して行った (写真 - 6)。また, 外ケーブルは桁内配置とするため, エポキシ樹脂塗装を施した防食ケーブル (I2S15.2 B) を用い, 初期導入力についてはクリープ・乾燥収縮が進行しないものとして, 新設橋梁の場合より低めに設定 ( $\sigma_{pi} = 115 \text{ kg/mm}^2$ ) して緊張を行った (写真 - 7)。以下に, 施工上で注意を要した定着突起の製作について詳述する。

#### (1) 柱頭部定着ブロックの製作

柱頭部の定着突起は外ケーブル配置用の孔 ( $\phi 160 \text{ mm}$ ) をコアドリルを用いて削孔し, 偏向管の配置と削孔との隙間をグラウト注入して固定した後 (写真 - 8), 配筋・型枠・コンクリート打設を行った。なお, 定着突起は既設構造への局部応力の発生を抑制することを目的とした構造形

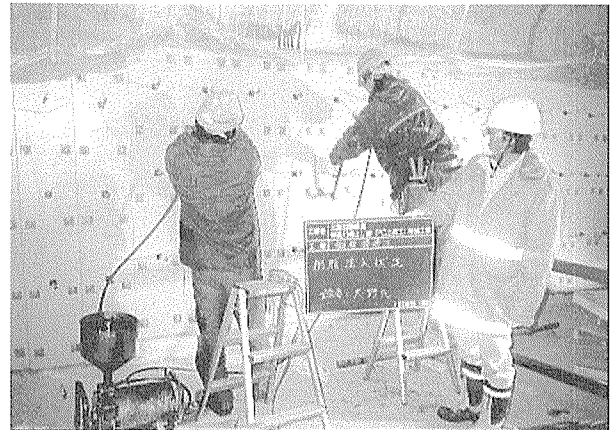


写真 - 6 せん断補強の状況

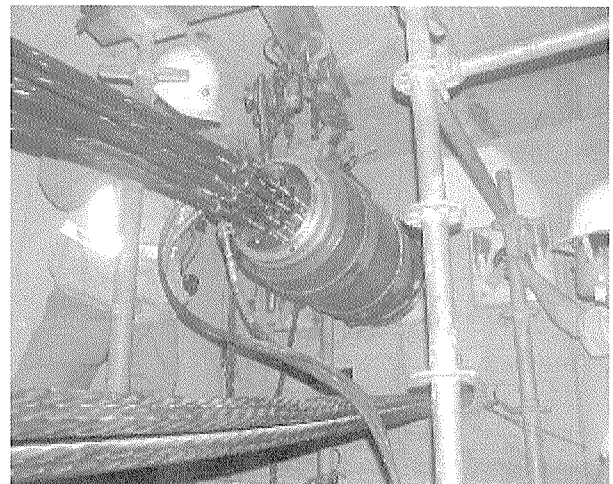


写真 - 7 外ケーブルの緊張状況 (柱頭部)

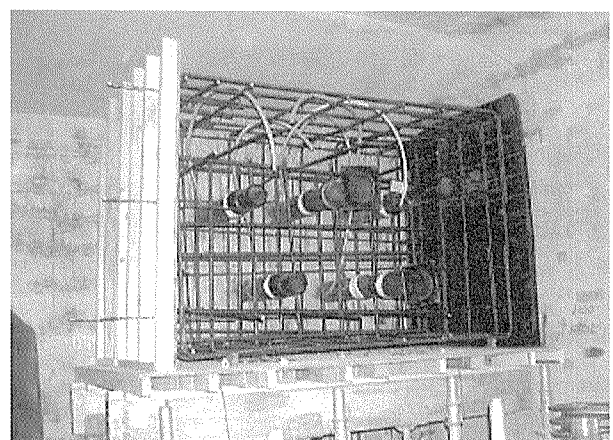


写真 - 8 定着突起の施工状況 (柱頭部)

状となっているため, ウェブとの縁切りを行った。

#### (2) 側径間定着突起の製作

側径間の定着突起は, ウェブと接合する必要があるため, 接合用 PC 鋼棒用の孔 ( $\phi 55$ ) をコアドリルを用いて削孔した。削孔完了後, 樹脂アンカーを含む鉄筋, 接合用 PC 鋼棒・型枠組立を行い (写真 - 9), コンクリートを打設し, 十分な養生を行った後, 接合用 PC 鋼棒の緊張を行った。

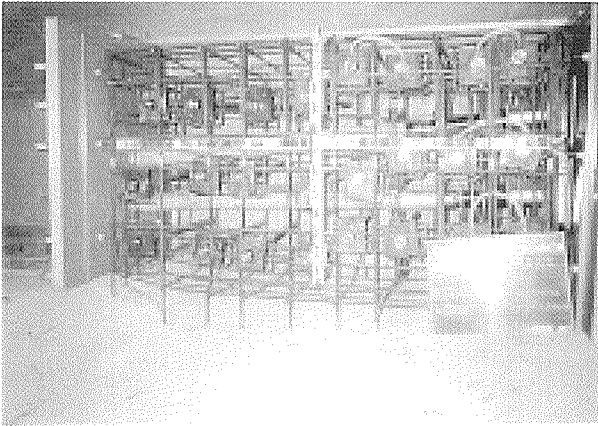


写真-9 定着突起の施工状況（側径間）

ここで、削孔位置には既設 PC 鋼棒が配置されており、切断防止措置として X 線法 (IP 法) により鋼材探査を行い、削孔位置を決定した。なお、接合面は鋼材探査を可能にすること、および、一体化を確実にするため表面をはつた (図-10)。

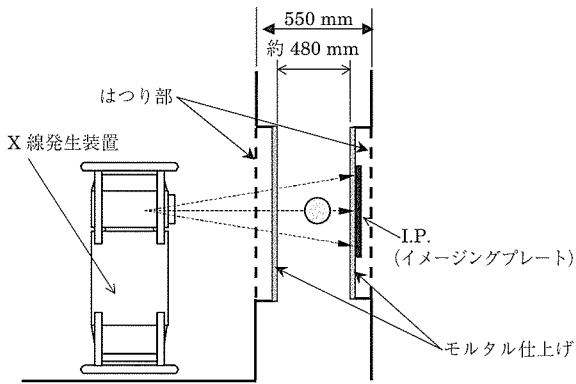


図-10 鋼材探査方法

また、接合用 PC 鋼棒の緊張管理として、①伸び量管理を 1/10 ミリ単位で管理できるジャッキを使用、②外ケーブル緊張前のひずみ量の確認を実施した。その結果、外ケーブル緊張までの張力減少量は 5% 以上となることはなく、再緊張を行う必要はなかった。

### 5.5 予防保全対策

健全度調査の結果より、上部工にはアルカリ骨材反応の潜在進行性が判断されたことから、外部からの水分供給が懸念される橋面に対しては塗膜系防水を行った。この際、せん断鋼棒の突出防止の予防策として PCSP 工を同時に実施した (図-11)。また、箱桁外面の防水対策として、損傷の大きい柱頭部に対してライニングを施し (写真-10)、これ以外の部位に関しては継続点検を行っていくことにし



写真-10 ライニング（下塗り）状況



写真-11 ひび割れ補修状況（柱頭部）

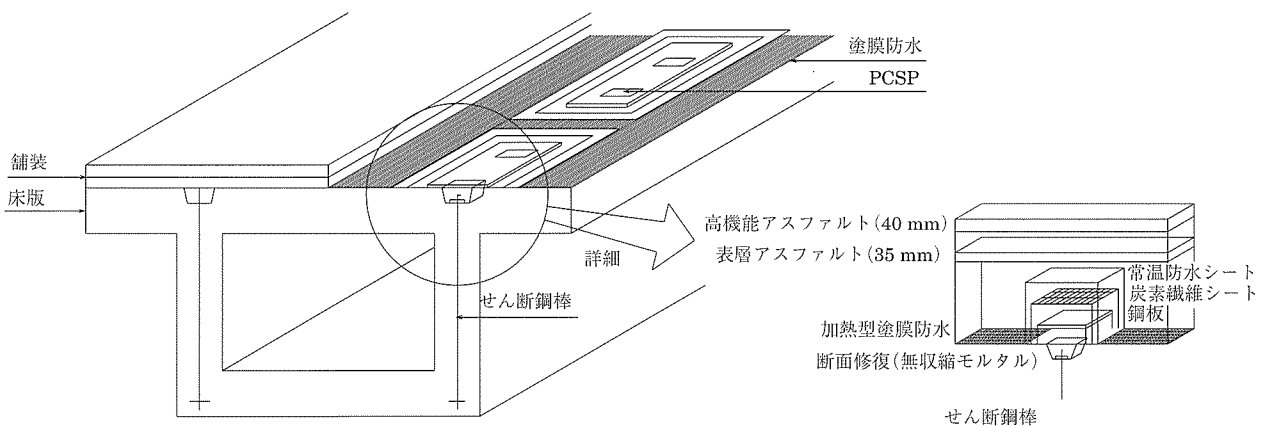


図-11 ひび割れ補修状況（柱頭部）

た。なお、ひび割れ損傷は構造体に及ぼす影響が小さいことより、補修は行わないものとしたが、上部工反力を受ける柱頭部と端横桁に関しては、ひび割れ補修（エポキシ樹脂注入）を実施することにした（写真-11）。

## 6. あとがき

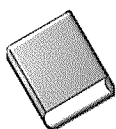
今回の補強工事では、調査・分析結果をもとに検討会を開き、有識者の意見を取り入れながら対策の選定を行った。また、各種要素技術を組み合わせて実施した対策については、既設橋梁の機能回復と耐震補強に加え、アルカリ骨材反応の進行抑制も併せて考えねばならず、今後の継続調査ならびに再評価を行っていく必要がある。しかしながら、構造形式の「機能低下」とコンクリートの「物性変化」に起因する複合劣化に対し、構造物の建設時までさかのぼって化学的、力学的観点から材料、工法選定を行っており、ある程度の対策の方向性は示せたと考える。今回の対策が、今後のメンテナンス技術に活かされれば幸いである。

なお、補強工事を進めるにあたり、貴重なご意見を賜りました金沢大学の鳥居教授ならびに関係各位に感謝を申し上げます。

## 参考文献

- 1) 坂本・大澤・古村・小西・北野：神通川橋の健全度評価と補強計画，橋梁と基礎，2003.4
- 2) 酒井：美陵高架橋の補修，橋梁と基礎，1983.8
- 3) 浜田・Swamy・谷川：持続荷重およびアルカリ骨材反応の影響下にあるRCはりの内部応力に及ぼす表面被覆の効果，コンクリート工学年次論文報告集，vol.16，No.1，1994
- 4) 佐々木・森山：最新技術を融合した塩害橋梁の大規模補修補強，土木学会誌，1995年11月
- 5) 外ケーブル方式によるコンクリート橋の補強マニュアル（案），（社）プレストレスト・コンクリート建設業協会，平成10年6月
- 6) 國原・樋本・北野・古村：構造系変更を伴う橋梁補強の有効性評価（神通川橋），土木学会第58回年次学術講演会，2003.9

【2003年7月9日受付】



刊行物案内

## PC 定着工法

—2000年版—

2000年12月発行

頒布価格：会員特価 4 000 円（送料 400 円）  
非会員特価 4 800 円（送料 400 円）

体 裁：B5判，220頁（無線綴じ製本）

発行・発売：社団法人 プレストレストコンクリート技術協会

最新の  
「定着工法」を  
掲載!!