

PC & PA 工法施工報告

— 瀬石谷橋橋脚耐震補強工事 —

三井 祐二 *1・平川 吉幸 *2・宮原 裕二 *3・中原 晋 *4

1. はじめに

1995年の兵庫県南部地震において、多くの構造物が甚大な被害を受けた。それ以降、既存橋梁の耐震性向上を図る補強が必要とされている。平成8年には兵庫県南部地震を契機とする耐震設計の強化のために、道路橋示方書V耐震設計編の改訂がなされた。

このような背景のもと、じん性向上、せん断耐力の確保など耐震性向上のために鉄筋コンクリート巻立て補強等による橋脚の耐震補強が進められている。しかし、補強工事に際して、とくに河川内橋脚の場合は橋脚基部の補強施工のために仮締切り等が必要となる。このような仮締切り工を必要としない工法として、橋台と橋脚をPC鋼材で連結して耐震性能を向上させるPC & PA工法が開発され、瀬石谷橋の橋脚耐震補強で採用された。ここで、PC & PA工法の概要を紹介するとともに、PC & PA工法の国内初となる瀬石谷橋での施工について報告する。

2. 工事概要

瀬石谷橋は、福岡県と佐賀県唐津方面を結ぶ一般国道202号線バイパスの本線上に位置する橋長60.0m、全幅員9.0mの3径間連結プレテンションT桁橋である。PC & PA工法にて耐震補強を行った瀬石谷橋の完成写真を写真-1、構造一般図を図-1に示す。橋梁概要は以下のとおりである。



写真-1 完成写真

工事名：瀬石谷橋橋脚補強工事

工事場所：福岡県糸島郡二丈町佐波地先

発注者：国土交通省 九州地方整備局 福岡国道事務所

工期：平成15年10月23日～平成16年6月30日

工事内容：

下部工 橋脚耐震補強工事（PC & PA工法）

上部工 支承取替え工

床版補修工

連結横桁補修工

地覆補修工

橋梁諸元：

上部工 3径間連結プレテンション方式T桁橋
($L = 3 \times 20.0 \text{ m} = 60.0 \text{ m}$)

下部工 A1橋台 控え壁式橋台（直接基礎）

橋脚 逆T式橋脚（直接基礎）

A2橋台 逆T式橋台（直接基礎）

完成年 1981年（23年経過）

3. 設計概要

3.1 現地の状況

本橋の橋脚は耐震補強の計画がなされており、P1橋脚においてはすでに鉄筋コンクリート巻立て工法（以下、RC巻立て工法）による補強が完了していた。しかし、P2橋脚は橋脚基部に高圧電線が埋設されており、RC巻立て補強が困難であった。

3.2 従来の橋脚耐震補強工法

従来のRC橋脚の耐震補強には、既設橋脚の耐力とじん性の向上を図るものとして、①RC巻立て工法、②鋼板巻立て工法、③炭素繊維やアラミド繊維等の連続繊維シート巻立て工法（以下、繊維シート巻立て工法）、④PC鋼材巻立て工法などがある。これらの工法の概要を表-1に示す。

これらの従来工法は図-2に示すように柱を直接的に補強するために、施工に際して仮締切り工や土留め工を必要とすることが多い。

3.3 PC & PA工法

PC & PA工法は、図-3、4に示すように既設橋梁の橋台と橋脚の頂部を連結材とするPC鋼材でそれぞれ繋ぐことにより、地震時の橋脚頂部の変形が各径間に設置したPC鋼材によって抑制され、橋脚基部の負担を軽減できる。

本工法が従来のRC巻立てなどの耐震補強工法と異なる

*1 Yuuji MITSUI：福岡国道事務所 福岡西維持出張所長

*2 Yoshiyuki HIRAKAWA：(株)安部工業所 九州支店

*3 Yuuji MIYAHARA：(株)安部工業所 九州支店

*4 Susumu NAKAHARA：(株)安部工業所 九州支店

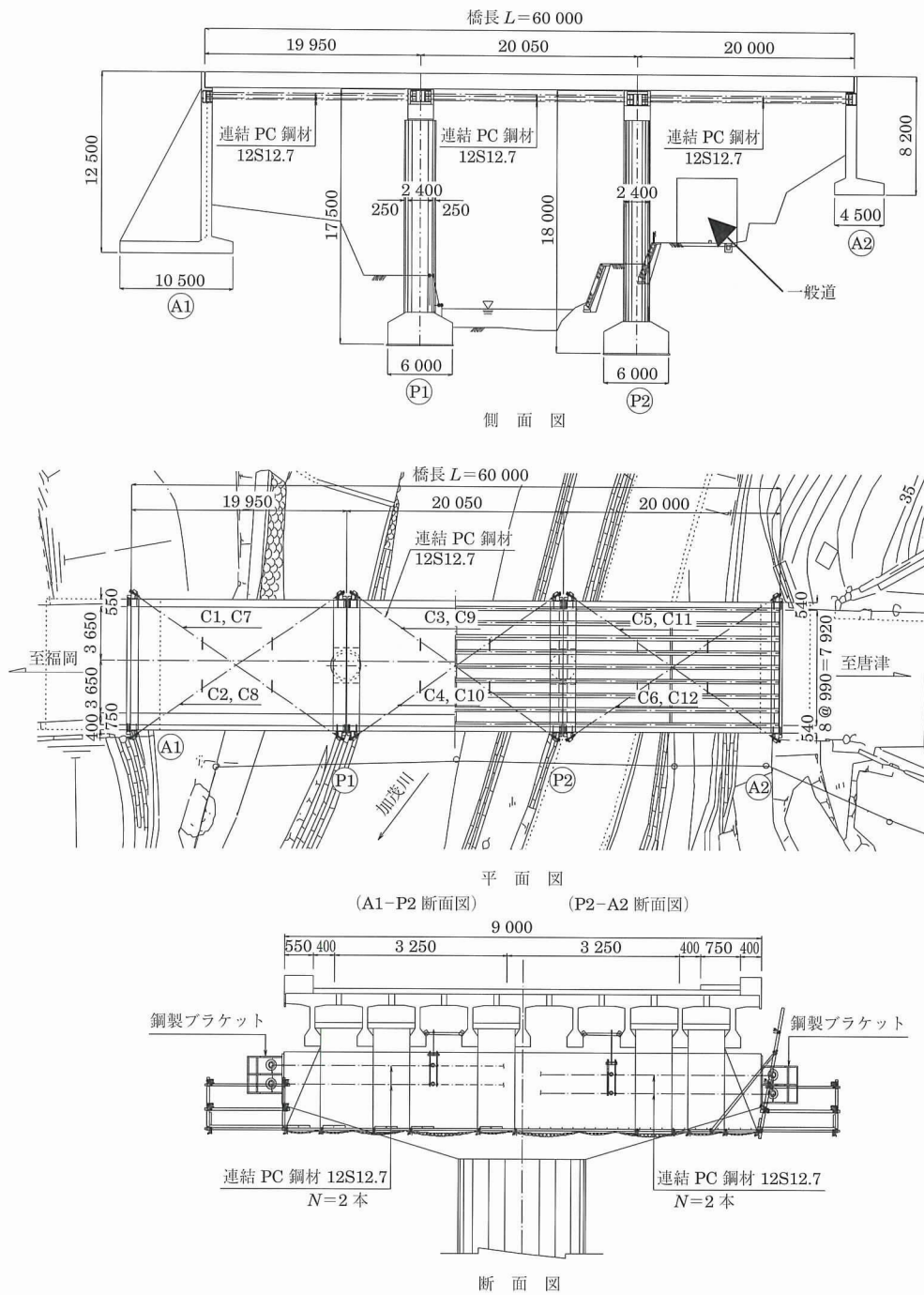


図 - 1 構造一般図

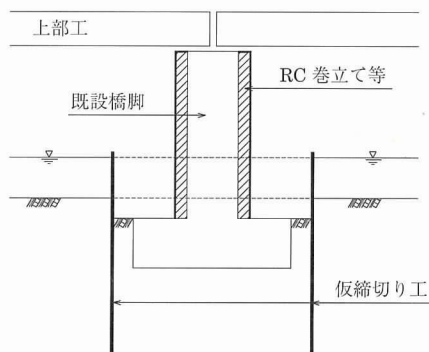


図 - 2 従来工法による施工概念図

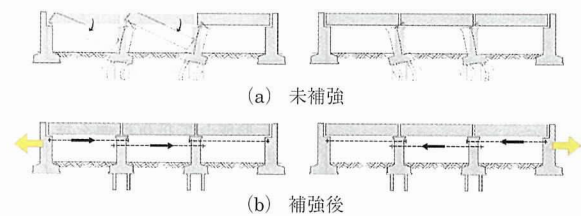


図 - 3 PC & PA 工法概念図

点として、本工法では PC 鋼材の配置を吊り足場にて施工できるため、橋脚基部の掘削を必要とせず、河川内の締切りが不要となる利点がある。また、その吊り足場を利用し

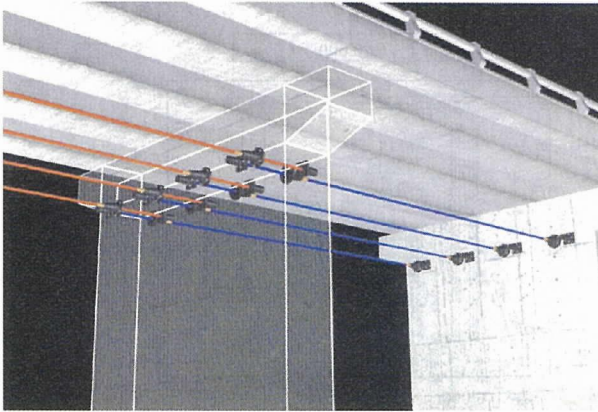


図 - 4 PC & PA 工法イメージ図

て上部工のみならず下部工を含めた診断・補修を行うことが可能となる。

3.4 工法選定および照査

本橋では現地状況を考慮して、橋脚基部への作業を必要としない PC & PA 工法による耐震補強が採用された。

本橋においては、橋軸直角方向に対する補強効果も期待し、たすき状に配置された PC 鋼材配置を解析に反映するために解析モデルを 3 次元立体モデルとして非線形動的解析により照査を行った。また、PC 鋼材のモデル化では、たるみを初期ギャップとして考慮し、圧縮方向には剛性を有しない非線形弾性モデルとしている。

本橋梁の補強前の照査において、すでに RC 巻立てによる補強がなされている P1 橋脚は所要の耐震性能を有しているが、P2 橋脚では未補強であるためにタイプ I 地震動に対して耐力不足と判定された。PC & PA 工法による補強照査の結果、P2 橋脚での橋軸方向タイプ I 地震動の応答

回転角が許容応答回転角を満足させることができ、補強効果が確認できた。また、残留変位についても橋脚の塑性化を抑えることで、補強前と比較し 6～7 割程度まで低減している。

4. 施工概要

4.1 施工手順

PC & PA 工法の一般的な施工手順を以下に示す。

- ① 足場工の設置
- ② アンカー削孔位置の鉄筋探査
- ③ アンカーボルトおよび定着具等の削孔
- ④ アンカーボルトおよび定着具の設置
- ⑤ PC 鋼材の設置および緊張

なお、本工法における PC 鋼材の配置や定着など、施工手順の確認を行うために、その確認試験を実施した。写真



写真 - 2 試験状況

表 - 1 従来の RC 橋脚耐震補強工法概要

耐震補強広報	工法概要	特徴	補強概念図
RC 巻立て工法	既設コンクリートの周囲に鉄筋コンクリートを打ち足して抵抗断面を増加させる。	維持管理が比較的容易であるが、断面増加により基礎への負担が大きくなり、建築限界に制限を受けやすい。	RC
鋼板巻立て工法	既設コンクリートの周囲に鋼板を巻き立てて無収縮モルタル等で一体化し抵抗断面を増加させる。	断面増加が小さいため建築限界の影響を受けにくいですが、鋼板の防食工・維持管理が必要である。	鋼板
繊維シート巻立て工法	既設コンクリートの周囲に炭素繊維シートやストランドにて FRP を形成して抵抗断面を増加させる。	断面増加が非常に小さく建築限界に制約されないが、品質が施工時の気象条件の影響を受けやすく、車などの衝突、土砂の埋め戻し等による損傷を受けやすい。	CFRP または AFRP
PC 鋼材巻立て工法	PC 鋼材を帯鉄筋の代わりとする工法とプレストスを導入し一体化を高める工法がある。	RC に比べ組立て作業が簡素化できる（鉄筋の代わり）、既設コンクリート表面処理の一部を省略できる（プレストスを導入）が、断面増加により基礎への負担が大きくなり、建築限界に制限を受けやすい。	PC 鋼材

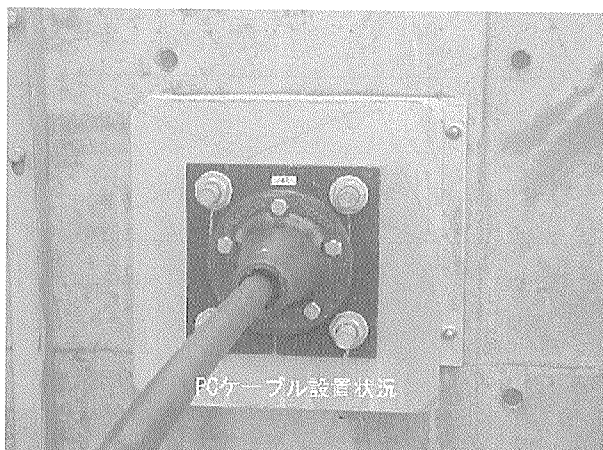


写真-3 PC鋼材設置状況

-2に全体の状況、写真-3にPC鋼材の設置状況を示す。

4.2 定着ブラケットの設置

PC鋼材の定着ブラケットは地震時にPC鋼材に作用する反力に対応するものであり、図-5に示すように既設下部工へのアンカー設置を要する。このため、アンカー設置前に定着ブラケット取付け面に電磁誘導法により鉄筋探査を行った。さらに、配筋状態の確認のため、写真-4に示すようにP1・P2橋脚天端と正面の溝掘りとはつり作業を行った。

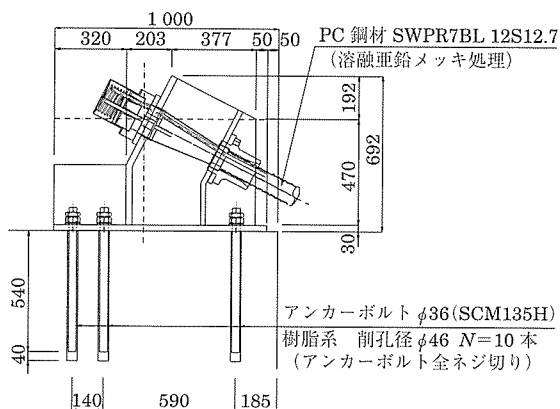


図-5 定着ブラケット平面図

また、定着ブラケットの設置は、写真-5に示すように夜間に本線を片側交通規制し、トラッククレーンを用いて行った。ブラケット取付け完了後に超音波探傷法により、アンカーボルト埋込み長を全本数について確認した。

4.3 PC鋼材の配置および緊張

1) PC鋼材の配置

PC鋼材の配置は図-6に示すように、各径間ごとに左右をクロスするたすき状とし、PC鋼材 12 S 12.7をそれぞれ2段に配置した。PC鋼材は溶融亜鉛メッキ処理されたものを使用し、さらに保護管を使用することで耐久性向上を図っている。

2) PC鋼材の緊張

PC & PA工法は、地震時の橋脚変位を連結材であるPC

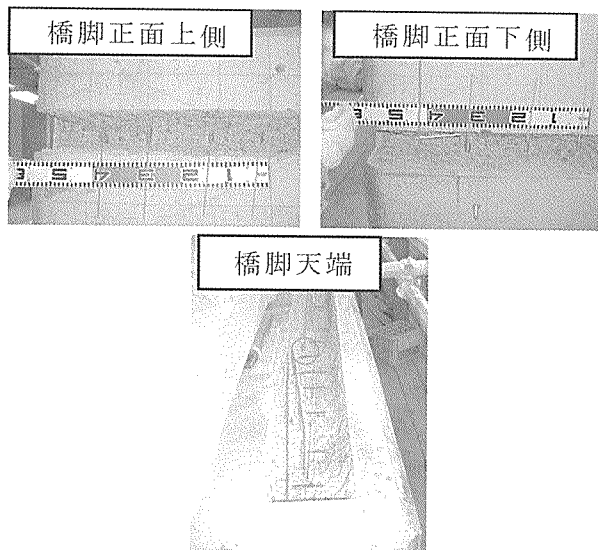


写真-4 鉄筋調査写真

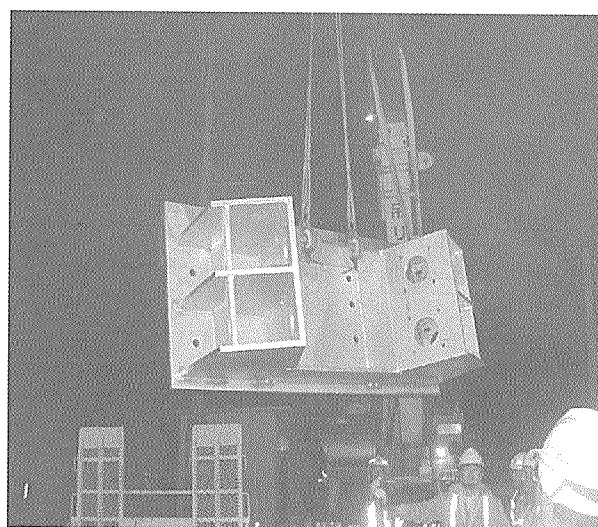


写真-5 定着ブラケット架設状況

鋼材にて抑制する工法であるため、地震時にはPC鋼材に作用する引張力が最大となる。このため、常時ではPC鋼材応力度を小さくしておくことが有効となる。PC鋼材の導入緊張力は、協議のうえで外観上ケーブルが垂れて見えない程度の緊張力である鋼材重量の20倍程度を目安とした。この導入緊張力に対して、リラクゼーションによる損失、シース内摩擦による損失、セットロス、橋脚の弾性変形による損失、ジャッキ内ロスについて補正を行った。

上述のように、PC & PA工法では連結材となるPC鋼材への導入緊張力が小さく、低緊張力時での圧力管理が必要であること、および軽量化による作業性向上のために緊張ジャッキおよびポンプを開発した(図-7参照)。

PC鋼材の緊張順序は図-6のステップに示すように、2段に配置された上段についてA1側の径間からA2側へ向かって行い、上段の緊張完了後にA2側径間からA1側径間に向かって下段の緊張を行った。また、1組のケーブル(12 S 12.7)の緊張は、図-8に示すようにシース内の上部

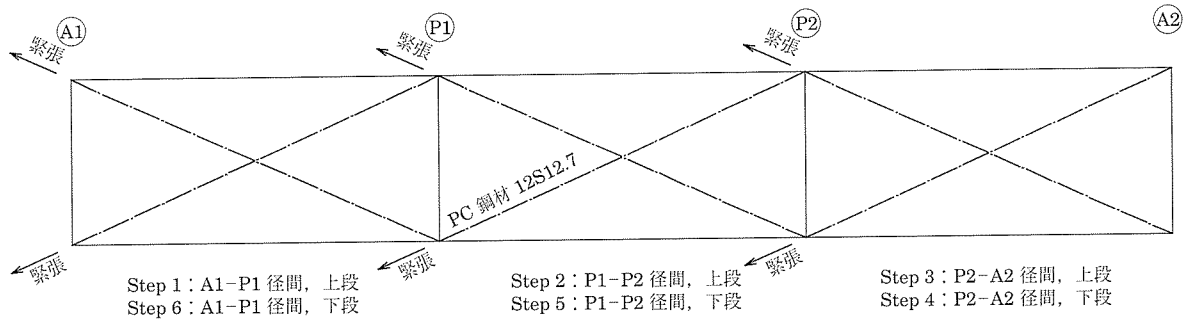


図 - 6 PC 鋼材配置および緊張順序

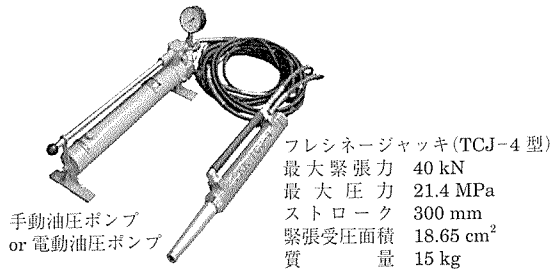


図 - 7 緊張ジャッキ・ポンプ

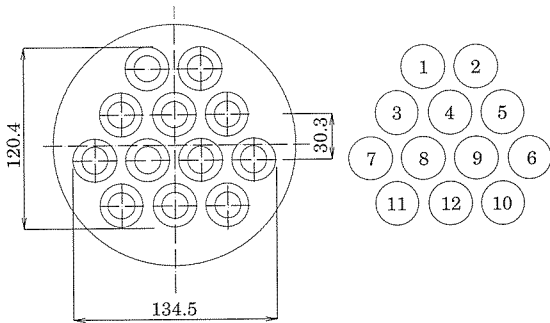


図 - 8 1 ケーブルの緊張順序

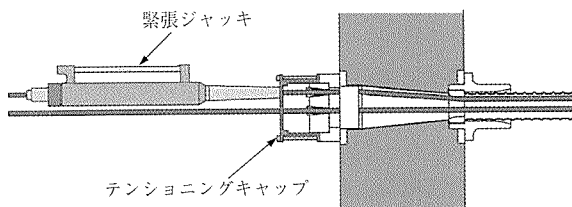


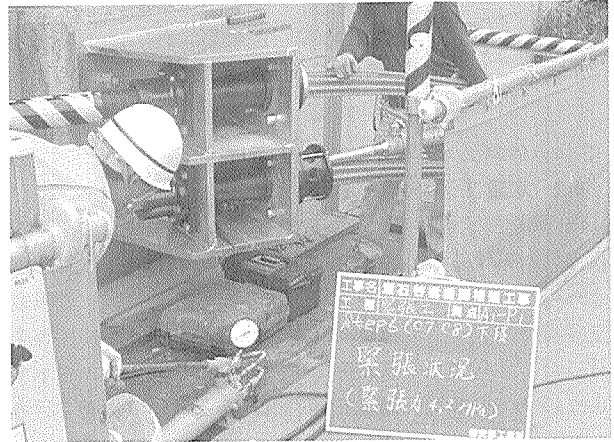
図 - 9 緊張模式図

にあるより線から下部のより線へと図 - 9 に示す要領で順次行った。

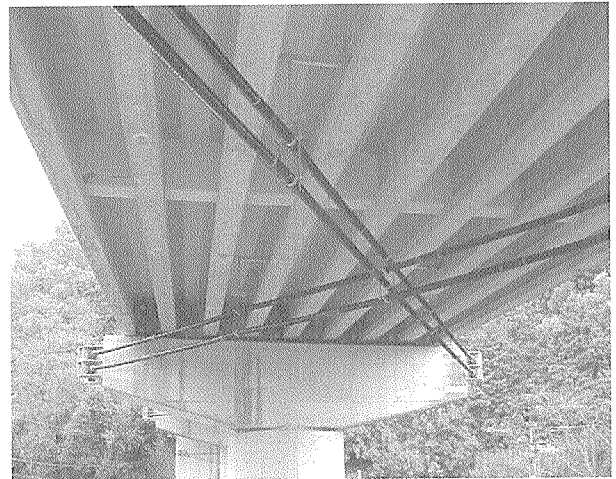
また、緊張による橋脚の変形は、緊張作業時に傾斜計、ひずみゲージを用いて計測を行った結果、外気温変化、交通振動などによる影響が大きく、緊張による影響はほとんど見られなかった。緊張状況および完了写真を写真 - 4 に示す。

4.4 その他の補修工事

一般に、橋梁上部工などの高所を点検する場合、交通規制を伴う橋梁点検作業車による点検や遠方からの目視などでしか点検できない場合もある。本橋では PC & PA 工法に



(a) 緊張状況



(b) 緊張完了

写真 - 4 PC 工

よる橋脚補強工事に際して橋梁全面にわたり吊り足場を設けたため、既設コンクリートの総合的な診断と補修を行うことができた。

本橋において行った補修工事の概要を以下に述べる。

① 支取代替

P2 橋脚ゴム支承の表層ゴムの破断が見られ、内部鉄板が腐食していた。このため、支承の機能回復を目的として P2 橋脚のゴム支承 18 箇所を取り替えた。

② 床版補修

全体的にクラックやエフロレッセンスの析出などが少な

く健全であった。しかし、主桁間詰め部において施工時の型枠固定用材料と見られるものの錆が全径間に確認されたため、防錆処理を施した後、塗布工法にて全径間を補修した（写真 - 6 参照）。

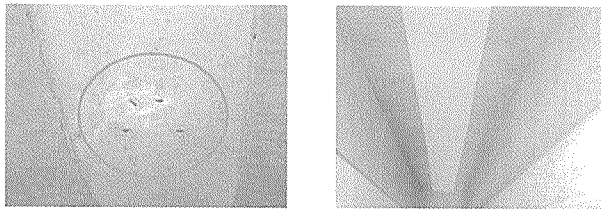


写真 - 6 床版補修

③ 連結横桁補修

主桁連結横桁部では主桁のクリープ・乾燥収縮進行が原因と考えられる写真 - 7 に示すようなひび割れが生じていた。ひび割れ深さを電磁波試験器によって測定したところ、ひび割れは連結部横桁の保護コンクリート部にのみ発生していた。このひび割れについては、エポキシ樹脂注入により対処した。



写真 - 7 連結横桁部ひび割れ

④ 地覆補修

地覆水切り部については、地覆下端部にひび割れおよび鉄筋腐食による剥落部分が全般的に見られた。このため、地覆下端のはつりを行いポリマーセメントにて断面修復を行った。

さらに下部工診断についても実施し、下部工コンクリートの中性化試験、塩化物含有量試験および反発硬度法による強度の確認を行った。中性化試験および塩化物含有量試験はアンカーボルト取付け用のコア削孔時に得られたコンクリート

コアを試料として試験を行った。表 - 2 に各試験による下部工診断結果を示す。

残耐用年数の評価では、図 - 10 に示すように鉄筋までの中性化残りを 25 mm とした場合に残耐用年数の最も短い A1 橋台で 117 年となった。算定式を式 (1) に示す。

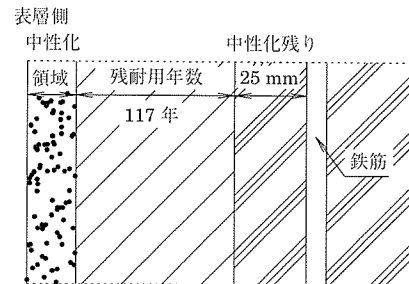


図 - 10 中性化の評価方法

$$C = A \sqrt{t} \quad (1)$$

C: 中性化深さ (mm)

A: 中性化速度係数 (mm/√年)

t: 経過時間 (年)

塩化物含有量は、表 - 2 に示すようにコンクリート標準示方書で定める鋼材腐食発錆限界 1.2 kg/m³ ²⁾ を超えていた部分もあったが、アンカーボルト設置時での目視確認結果、鉄筋に錆は見受けられなかった。また、建設省・総合プロジェクトに記載されている補修限界 2.5 kg/m³ ³⁾ を超えていないことから、今後、定期的な点検を行い経過観察することを提案した。

また、反発硬度法によるコンクリート強度は 21 N/mm² を超えるものであることが確認された。

5. おわりに

PC & PA 工法は、橋脚頂部に設置する PC 鋼材にて地震時の橋脚変位を抑制する工法である。本工法を適用した耐震補強工事において、地震時における大きな反力を受ける PC 鋼材の定着ブラケット施工に要するアンカーボルトの施工等について改善する必要があると考えられる。しかし、橋脚基部の掘削を必要としないで全工種が足場上で施工できる合理的な工法であることが施工面からも確認できた。

また、本施工において、PC & PA 工法の特徴である耐震補強施工用の足場を利用した橋梁の診断を実施したことにより、耐用年数を向上させる補修を実施することができた。このように、本工法は耐震補強のみではなく、橋梁全体の診断・補修に有効な施工法であることが確認できた。

最後に国土交通省九州地方整備局福岡国道事務所管理第二課をはじめ、福岡国道事務所西維持出張所、(株)千代田コンサルタント九州支店および PC & PA 工法研究会に多大なご助言をいただきました。誌面を借りてお礼申し上げます。

参考文献

- 1) (社)日本コンクリート工学協会：コンクリート診断技術 '02 [基礎編]

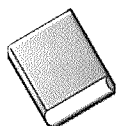
表 - 2 下部工診断結果

		A1	P1	P2	A2	単位
中性化	残耐用年数	117	114	362	247	年
	表層より 50 mm	1.7	1.3	1.3	2.1	kg/m ³
塩化物	表層より 300 mm	1.6	1.0	1.0	1.4	kg/m ³
指定強度	反発硬度法	21.7	22.1	21.3	24.6	N/m ²

- 2) (社)土木学会：コンクリート標準示方書[施工編]，2002年制定
- 3) (財)土木研究センター：コンクリートの耐久性向上技術の開発，1989年5月
- 4) 庄野 誠，成田 久平ら：PC鋼材による変位制御と耐震補強効果，第13回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム

- 論文集，pp.283-286
- 5) 中原 晋，平川 吉幸ら：瀬石谷橋橋脚耐震補強工事施工報告(PC & PA工法)，第13回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.361-364

【2004年11月22日受付】



刊行物案内

フレッシュマンのためのPC講座 プレストレストコンクリートの世界

頒布価格：会員特価 3 000 円（税込み・送料別途 400 円） ○申込み先：

：非会員価格 3 600 円（税込み・送料別途 400 円） (社)プレストレストコンクリート技術協会 事務局

体 裁：A4判，140頁

〒162-0821 東京都新宿区津久戸町4番6号 第3都ビル5F
TEL：03-3260-2521 FAX：03-3235-3370

内容紹介

＝基礎編＝

- 基礎 編1 PCとは何か
- 基礎 編2 PCはどんなものに利用できるか
- 基礎 編3 プレストレスの与え方について考えてみよう
- 基礎 編4 プレストレスは変化する
- 基礎 編5 荷重と断面力について考えてみよう
- 基礎 編6 部材に生じる応力度について考えてみよう
- 基礎 編7 プレストレス量の決め方について考えてみよう
- 基礎 編8 PCに命を与えるには(プレストレッシングとその管理)
- 基礎 編9 PCを長生きさせよう

＝PC橋編＝

- PC 橋 編1 PC橋にはどんなものがあるか
- PC 橋 編2 PC橋を計画してみよう
- PC 橋 編3 PC橋を設計してみよう
- PC 橋 編4 現場を見てみよう

＝PC建築編＝

- PC 建築 編1 PC建築とは
- PC 建築 編2 PC建築にはどんなものがあるか
- PC 建築 編3 プレキャストPC建築の設計について考えてみよう
- PC 建築 編4 PC建築でオフィスを設計してみよう

資 料 PCを勉強するときの参考図書
索 引