

# 道路橋PC桁の補修・補強工事

～グラウト再注入・外ケーブル補強について～

Repair and Reinforcement of Prestressed Concrete Bridge

山岸 俊一  
Toshikazu YAMAGISHI

川田建設(株)土木保全事業部  
技術部技術課係長

渡部 寛文  
Hirofumi WATANABE

川田建設(株)技術部技術課係長

渡辺 智史  
Satoshi WATANABE

川田建設(株)土木保全事業部  
工事部工事課

鈴木 拓也  
Takuya SUZUKI

川田建設(株)土木保全事業部  
工事部工事課

高場 啓輔  
Keisuke TAKABA

川田建設(株)技術部技術課

本工事は、供用後15～17年経過した都市内高速道路である、PC3～4径間連続多室箱桁橋の剥落防止工事であったが、同時にPCグラウトの充填度調査と主桁下面の健全度調査を実施した。その結果、PCグラウトの充填不良箇所と桁下部に0.2～0.3 mm程度のひび割れの発生を確認した。そこで、これらの現況状態について、補修・補強対策を計画・実施したので、その内容を紹介する。工事全般の中で、グラウト再注入工事と、外ケーブル補強工事について記す。

キーワード：グラウト充填度調査，グラウト再注入，橋体の健全度調査，外ケーブル補強

## 1. はじめに

我が国でプレストレストコンクリート橋が建設され50年が経過し、この間、車両の大型化や交通量の増加、道路橋示方書の改訂などによって、既設PC橋は建設時の設計条件より過酷な状況下に置かれている<sup>1)</sup>。また、ポストテンション方式PC鋼材のPCグラウトは、PC鋼材の防食およびPC鋼材とコンクリート部材の一体性を確保する重要な性能を担っているが、当時のPCグラウト技術では、ブリーディングの発生、中間排気口の未設置などによるPCグラウトの充填不良が確認されており、既設PC橋の耐久性上の問題となっている<sup>2)</sup>。

本工事は、供用後15～17年経過したPC橋剥落防止工事であったが、グラウト充填度調査と桁下部の健全度調査も同時に行った。この調査により、PCグラウトの充填不良箇所（写真1）と、桁下部に0.2～0.3 mm程度のひび割れ（写真2）を確認したので、補修・補強対策方法を検討し、PCグラウトの再注入工事と、外ケーブルによる既設PC橋の補強工事を実施することとした。本報告では、これらの調査・工事内容について報告する。

## 2. PCグラウトの充填度調査

PCグラウトの充填度調査には、各種非破壊検査方法と部分破壊検査方法があり、それぞれ適用条件に制約が

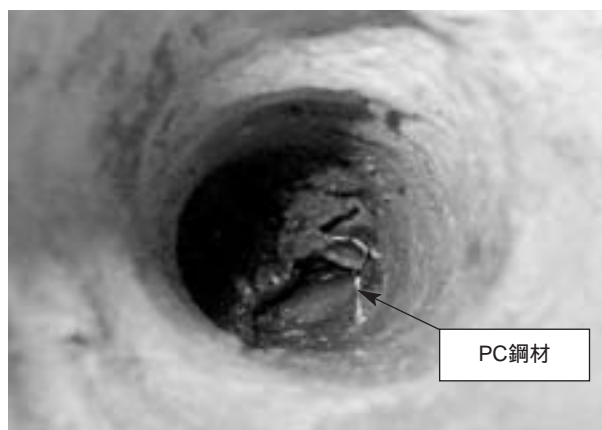


写真1 PCグラウト充填不良箇所

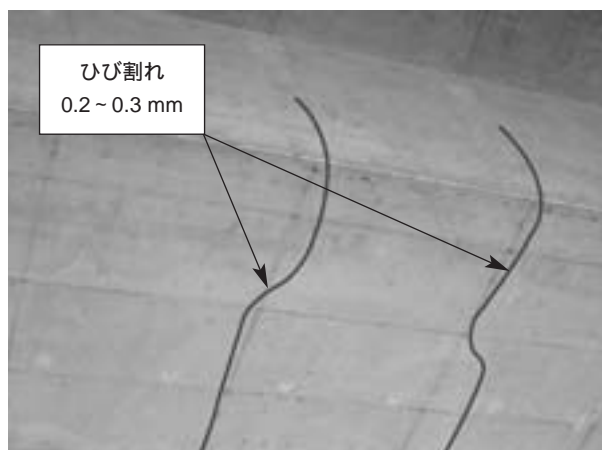


写真2 桁下部のひび割れ発生状況

あるため、現場に見合う方法を選定しなければならない。

今回の充填度調査では、当初設計では全て内視鏡調査で行うようになっていたが、部分的に削孔する必要があり、充填不良区間の絞り込みには不向きである。そこで、本工事においては、衝撃弾性波法を試験的に行ってみた。衝撃弾性波法により、充填不良が確認された箇所については、さらにドリルによる削孔目視調査を行い、グラウト充填不良区間の絞り込みを行うことに変更した。

### (1) 衝撃弾性波法（インパクトエコー法）

衝撃弾性波法（インパクトエコー法）は、衝撃による振動が空隙や鉄筋などに反射した弾性波を測定して、その波形の強弱により内部欠陥を判断する方法（写真3）であり、得られた波形をスペクトルイメージングにより、可視化することで比較的容易に充填度を判断できる方法である<sup>3)</sup>。



写真3 衝撃弾性波法（インパクトエコー法）

調査位置は、充填不良が生じやすい中間支点付近の曲げ下げ部とし、1箇所あたり200 mm間隔で5ポイント測定した（図1）。調査結果より、充填不良と判定された箇所を削孔目視したところ、シース内に空隙が発見された。また、充填と判定された箇所では空隙は発見されず、衝撃弾性波法の妥当性が確認された。

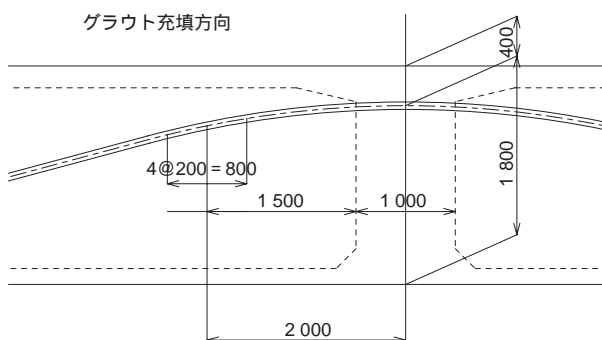


図1 衝撃弾性波法調査位置

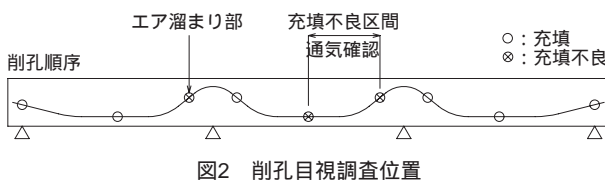
### (2) 削孔目視調査

削孔目視調査は、まず設計図書を参考にRCレーダーで鋼材探査し、コンクリート用ドリル（16 mm）でシース位置まで削孔する。その後、シース表面より打音確認を行い異音を確認された場合、シースをめくりCCDカメラにてPC鋼材の腐食状況を確認する（写真4）。



写真4 削孔目視調査

ドリルによる削孔径は、小さいながら既設桁に損傷を与えることになるため、必要最小限の削孔数でグラウト充填度の確認を行うべきである。そこで、まずグラウト充填不良が生じやすい、定着端部やケーブル曲げ上げ（下げ）部を削孔目視し、グラウト充填不良が確認された場合は、削孔間の中間部を削孔しエア通しを行うことによって、グラウト不良区間の絞り込みを行った（図2）。



CCDカメラによる撮影結果（写真5）より、シース内で鋼材が露出している充填不良部と、鋼材はグラウトで覆われているがシース内に空隙が存在するエア溜まり部を確認した。露出した鋼材は、外気と遮断されていたため、浮き錆が生じる程度に留まったと推測され、十分に健全であると判断した。

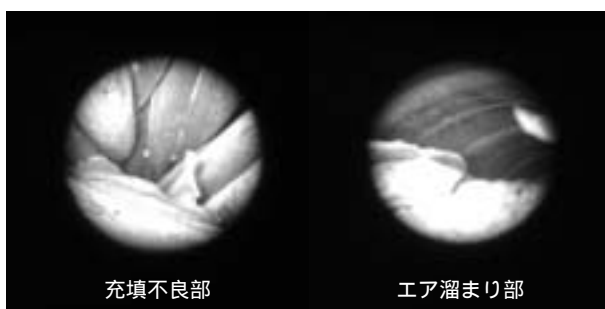


写真5 削孔目視調査結果（CCDカメラ画像）

### 3. PCグラウト再注入工事

PCグラウト充填度調査で確認したグラウト充填不良部とエア溜まり部に、PCグラウトの再注入を行った。再注入には、セメント系ノンブリーディングタイプの高粘性型PCグラウトを使用した。

#### (1) 再注入方法

PCグラウトの再注入には、充填不良区間の長さの違いにより、2種類の注入方法を採用した。削孔目視調査にて、隣孔との通気を確認された比較的長い区間には、2穴式(図3)を用いた。また、通気が確認がされなかった比較的短い区間には、1穴式(図4)を用いた。それぞれの注入方法を以下に示す。

##### a) 2穴式

グラウト排出口に真空ポンプ、注入口にグラウトポンプを取り付け、シース内の空気を吸引しながらグラウトを注入する。

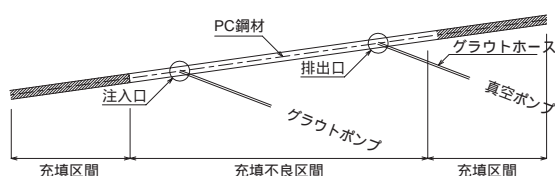


図3 再注入方法(2穴式)

##### b) 1穴式

1つの削孔口に、分岐弁を介して真空ポンプとグラウトポンプを取り付け、シース内空気を真空ポンプにより吸引後、弁をグラウトポンプ側に切り換えてグラウトを注入する。

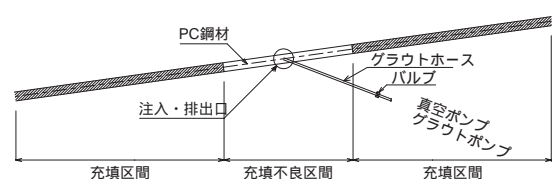


図4 再注入方法(1穴式)

両方式とも、真空ポンプにより、グラウト再注入前のシース内空隙部を減圧状態にした後、グラウト再注入を開始し、グラウトポンプの注入圧力が0.5 MPaに達するまで加圧注入した(写真6)。

#### (2) グラウト充填確認

全ての注入箇所において、推定注入量と実注入量の比較により、間接的にグラウト充填状況の確認を行った。

また、一部区間でX線透過法にて、再注入グラウトの充填度調査を行い、再注入グラウトが空隙部に充填されていることを確認した。



写真6 PCグラウト再注入状況(2穴式)

### 4. 橋体の健全度調査

#### (1) ひび割れ状況

本工区内でひび割れが発生していた橋梁は、橋長141.0 mのPCポストテンション方式4径間連続2室箱桁橋と、橋長126.1 mのPCポストテンション方式3径間連続3室箱桁橋で、全てTL-20荷重でパーシャルプレストレスとなるように設計されたものであった。

ひび割れは、支間中央付近で橋軸直角方向に発生しており、ひび割れ幅は0.2~0.3 mm程度であった。また、主桁下縁から上フランジ直下まで達するものもあり、箱桁内まで貫通しているものもあった(図5)。

#### (2) 原因推定

本橋梁のひび割れは、ひび割れ発生状況および竣工図書から、外力により発生したものと推定されたので、以下の項目に関する構造上の詳細な検討を行った。

##### a) 車両の大型化

本橋梁はTL-20荷重で設計されており、現在のTL-25荷重より小さい。TL-25荷重で構造計算を行うと、ひび割れ発生位置の主桁下縁の引張応力度は、温度時にて許容引張応力度を満足しない。また、ひび割れ発生限界応力度も満足しておらず、ひび割れ発生原因としての可能性は高い。

##### b) 支承部の拘束

支承部の上部工水平移動量を、亀裂変位計にて一昼夜計測した。温度変化3.5 (9.0~12.5)で、移動量が0.800 mmとなり、設計移動量0.753 mmを、若干上回る結果となった。したがって、支承位置で上部工は拘束されておらず、ひび割れ発生原因ではないと考えられる。

##### c) 支点沈下の影響

工事箇所は軟弱地盤であり、支点沈下が生じている可能性がある。この場合、下床版の引張応力度が増加する。しかしながら、本橋は竣工時の高さデータがなく、竣工時からの支点沈下量については測定できなかった。

以上の調査結果から、本橋のひび割れは、車両の大型化による活荷重増分が主原因であると推定した。

### (3) 補修・補強の要否

床版下面に発生したひび割れの供用時の挙動を把握するため、型変位計で24時間継続的に測定した。その結果、最大ひび割れ幅挙動は0.170 mm、同ひび割れ位置におけるひび割れ幅挙動発生回数は、0.100 mm以上の発生回数：43回、0.050～0.100 mmの発生回数：1 543回であった。

これらの測定結果より、鉄筋およびPC鋼材の疲労耐久性の照査を行った。検討条件は、初期ひび割れ幅 $w = 0.250$  mm、変動ひび割れ幅  $w = 0.170$  mmとして、コンクリート標準示方書 [ 構造性能照査編 ] のひび割れ算定式<sup>4)</sup>より鉄筋およびPC鋼材応力度を逆算した。その結果、鉄筋の応力度が疲労に対する安全度を満足しない結果となった(表1)。

表1 補強前の鋼材応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

鋼材応力度	初期ひび割れ	鉄筋	PC鋼材
	変動時		150
鋼材の増加応力度		272	772
疲労限界応力度		122	116
判定		109	134
		OUT	OK

以上の検討結果より、鉄筋の疲労時の安全性を確保できる補強対策を行うこととした。

## 5. 外ケーブル補強設計

### (1) 補強方法の選定

補強方法として、鋼板接着工法、炭素繊維シート接着工法、外ケーブル工法が挙げられる。今回の補強工事では供用時の施工という制限があり、補強材を接着する工法では接着位置のひび割れ幅が変動しているため、十分な補強効果が得られない可能性がある。そこで、今回の補強方法として外ケーブル工法を選定した。

### (2) 補強設計

外ケーブルは、TL-25荷重で道路橋示方書の許容応力度を満足するプレストレス量を導入することとした。また、ケーブル配置はひび割れが発生している径間の箱桁内に1室2本とした。外ケーブルの定着部には、既設支点上横桁を定着部とする方式と、既設桁ウェブに鋼製ブラケットを取り付ける方式を用いた。外ケーブルの偏向には、既設中間横桁を利用した。

追加プレストレスにより、初期ひび割れ幅が $w = 0.190$  mmに、変動ひび割れ幅が  $w = 0.167$  mmに低減され、鋼材の疲労に対する安全度を満足する結果となった(表2)。

表2 補強後の鋼材応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

鋼材応力度	初期ひび割れ	鉄筋	PC鋼材
	変動時		101
鋼材の増加応力度		221	723
疲労限界応力度		120	114
判定		142	155
		OK	OK

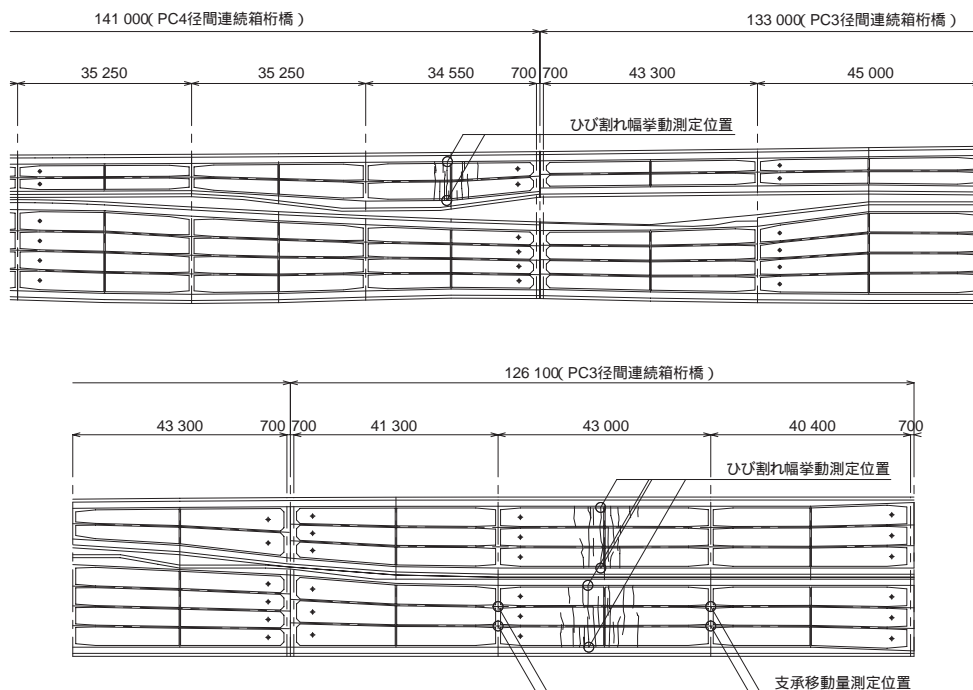


図5 ひび割れ発生状況

## 6. 外ケーブル補強設計

### (1) 外ケーブルシステム選定

外ケーブルシステムには、SEEE工法 F100TSを採用した(図6)。選定理由として、以下の理由が挙げられる。

定着具がネジ式のため、セットロスがなく必要緊張力が維持できること

耐久性に優れているポリエチレンコーティングであること

充填材が未硬化タイプのため、モニタリングや再緊張など、維持管理がしやすいこと

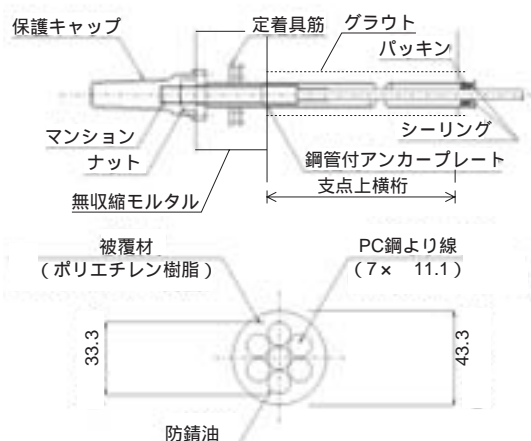


図6 外ケーブルシステム (SEEE工法 F100TS)

### (2) 補強工事

補強工事の概略図を図7に示す。施工管理は、首都高速道路公団保全施設部「PC桁の補強設計・施工要領(案)」<sup>5)</sup>に基づき行った。

#### a) 定着部

定着部となる支点上横桁には、110 mmの貫通孔を設けて鋼管付きアンカープレートを配置した。削孔に際しては、事前に鋼材レーダー探査を行い、既設鋼材を損傷させないように施工した。孔と鋼管の間にはグラウトを、アンカープレートの背面には無収縮モルタルを充

填し、既設横桁に固定した。

定着部となる鋼製ブラケットは、主桁ウェブに44 mmの貫通孔を設け、32 mmのPC鋼棒6本(600 kN/1本)で、ウェブを挟み込むように緊張し固定した(写真7)。既設コンクリート面はチッピングし、ブラケットとの間には無収縮モルタルを注入した。ブラケットは、摩擦によって抵抗する構造とし、摩擦係数 $\mu = 0.5$ 、安全率3として設計した。



写真7 定着部(鋼製ブラケット方式)

#### b) 偏向部

偏向部となる中間横桁には、130 mmの貫通孔を設けて偏向管を配置し、孔と鋼管の隙間にグラウトを充填し固定した。偏向管の中に、ナイロン樹脂製の偏向具とフッ素樹脂被膜処理を施した鋼製スライドプレートを設置し、緊張時には、偏向具とスライドプレートの接触面が移動できる構造とした(図8)。

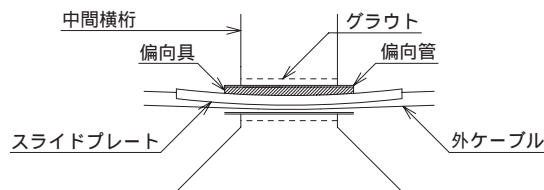


図8 偏向部の構造形式

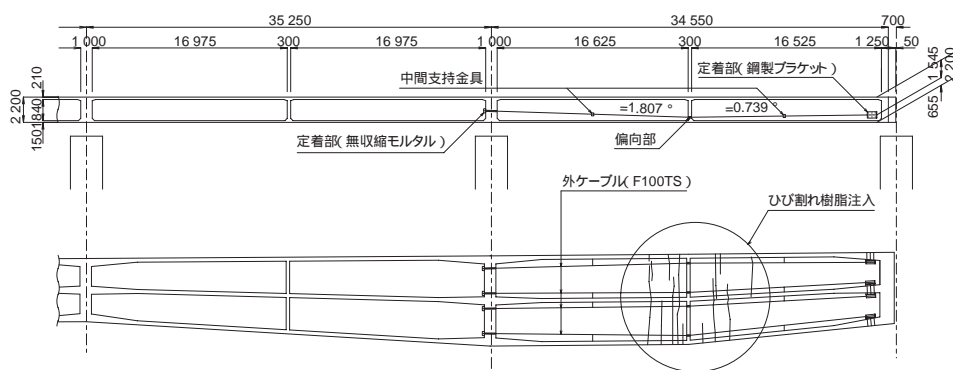
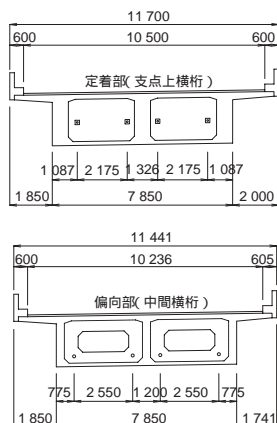


図7 補強工事概略図(PC4径間連続2室箱桁橋)

### c) 外ケーブル緊張

外ケーブルの挿入は、ローラー付き架台を箱桁内に5 m間隔で設けて、被覆材が損傷しないように注意しながら、ウィンチにより引き込んだ。

外ケーブルの緊張は、緊張端の圧力計の読みとケーブルの伸び量により管理した。緊張計算には、試験緊張を行い見かけのヤング係数を算出し反映させた。また、伸びの均一性を確認する目的で、偏向部のケーブル移動量を測定した。外ケーブル緊張時には、定着部と偏向部周辺における異常音の確認および、ひび割れが発生しないかを目視観察した（写真8）。



写真8 外ケーブル緊張状況

### d) 中間支持金具

外ケーブルの防振対策として、外ケーブルの固定間隔が7~8 m程度となるように、中間支持金具で外ケーブルを主桁ウェブに固定した。

### e) ひび割れ樹脂注入

外ケーブル緊張完了後、全てのひび割れに対して樹脂注入を行った。注入方法は低圧注入とし、注入材にはひび割れ挙動に追従させるため、伸び率100%のエポキシ樹脂を使用した（写真9）。



写真9 ひび割れ樹脂注入状況

### (3) 補強効果の確認

本工事の外ケーブル導入緊張力は比較的小さいため、導入プレストレスによる桁応力変化も微少である。また、供用時の緊張のため、桁応力は活荷重により常に変動しており、この状態でプレストレスによる桁応力増分を、ひずみゲージ等を用いて直接計測するのは困難であった。そこで、外ケーブルを振動させ、その振動数より張力を算定することで（振動法）、外ケーブル張力を緊張中および緊張完了後に測定し、所定量のプレストレスが導入されていることを確認した。

また、補助的測定として、桁下面に発生したひび割れの挙動を外ケーブル緊張前後で継続的に測定し、プレストレスによるひび割れへの影響を確認した。ひび割れ幅の変動は、プレストレスの導入により約0.055 mm縮まり、設計値とほぼ一致する結果となった。

### (4) モニタリング・維持管理

今後の本橋の維持管理や、本補強工事の長期的な補強効果の確認を行うため、ひび割れ部に亀裂変位計を取付けたままの状態とし、ひび割れ挙動をモニタリングできるようにした。

また、今回測定したケーブル振動法のデータを初期値とし、外ケーブルの張力変動を測定することも可能であり、振動法のデータが維持管理手法の一つとして活用できるものと考えられる。

## 7. おわりに

本工事は、平成15年7月に無事竣工を迎えることが出来ました。本稿の道路橋PC桁の補修・補強工事の流れが、今後の補修・補強対策の参考になれば幸いです。

最後に、本工事の調査・設計・施工にあたり、多大なるご指導・ご尽力をいただいた関係各位に、深く感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 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・コンクリート建設業協会, 1998.6.
- 2) PC構造物の現状の問題点とその対策,土木学会, 2003.6.
- 3) 竹淵, 荒木, 渡辺: PC箱桁の主ケーブル内を覗いてみよう, 川田技報vol.22, pp.104-105, 2003.1.
- 4) コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕, 土木学会, 2002.3.
- 5) PC桁の補強設計・施工要領(案), 首都高速道路公団保全施設部, 1994.2.