

報告 48年経過したポストテンションPCT桁橋の各種調査

出水 享^{*1}・松田 浩^{*2}・伊藤 幸広^{*3}・甲斐 靖志^{*4}

要旨: 供用年数が長年経過した既設構造物には、建設時の設計図書が残されていない場合が多い。このような場合は、現地調査を実施して得られる調査結果を基に構造諸元を設定し、復元設計を実施し、当初設計時の構造性能をまず明らかにする必要がある。筆者らは、設計図書等が存在しないポストテンションPCT桁橋の調査とその解体作業の機会を得ることができた。本報告は、昭和44年建設省標準設計以前に建設されたポストテンションPCT桁橋の詳細構造図を復元するために必要な各種調査を実施し、その問題点について検討した。

キーワード: PCT桁橋, 復元設計, リバウンドハンマー, 鉄筋探査, 棒形スキャナ

1. はじめに

PC技術は比較的新しい戦後の技術でありながら、その構造特性と合理性から急速に普及し、橋梁構造物を中心に多くのPC構造物が建設されてきた。PC構造物は、高強度コンクリートの使用とプレストレスによるひび割れ制御によって、構造物としての耐久性が高いとされている。その一方で、プレストレスを担保するPC鋼材は腐食に敏感で一度損傷をきたすと性能回復は難しい。

ポストテンション方式PC桁橋では、グラウトの充填不良箇所において水素脆化や塩害などのため、PC鋼材の腐食、破断が発生し、それに起因する異常ひび割れの発生や落橋事例¹⁾も報告されている。さらにPC構造物は、想定外のクリープ・乾燥収縮によりプレストレスが減少し、設計値以上の異常たわみが発生することもある²⁾。

PC桁橋を適切に維持管理し継続的に使用するためには、専門的な点検・診断が必要であるとともに、現在保有している構造性能を的確に評価・判定し、必要に応じて補修・補強などの対策を施していくことが求められる。

既設PC桁橋の現状の構造性能を評価するためには、構造物の形状寸法や使用材料、鋼材配置、プレストレス導入量などの建設時の設計諸元は既知であることが前提である。これらは、対象橋梁が現在保有する性能を評価する際に初期値となる重要な情報である。設計諸元は建設当時の設計図書や工事記録を調査することによって得られるが、長年経過した橋梁では、設計図書が保管されていないことが多い。このような場合は現地調査を実施して得た結果をもとに設計諸元を設定し、復元設計を行い、建設時の構造性能を明らかにする必要がある。

昭和44年以降に設計されたポストテンションPCT桁橋に関しては、設計図書等が存在しない場合でも、建設

省標準設計³⁾を参考にすることにより、比較的容易に復元設計が可能である。しかし、それ以前に設計されたものに関しては、設計図書、工事記録等が存在しない場合、参考資料・図書⁴⁾⁵⁾が少ないため復元設計の難易度が高くなる。

本報告では、昭和44年以前に建設された設計図書、工事記録等が存在しないポストテンション方式PCT桁橋の詳細構造図を復元するために必要な非破壊試験、微破壊試験、破壊試験などの各種調査を実施するとともに、その各種調査手法の問題点について検討を行った。

2. 調査概要

2.1 調査対象橋梁

対象橋梁は、長崎県北松浦郡佐々町にある斜角を有する1径間単純ポストテンション方式PCT桁橋(昭和38年建設、全幅員4.3m、橋長18.7m、3主桁)であり、橋名は富田橋である。交差物件は河川であり、海岸線約1.2kmに位置し、潮の干満がある。写真-1に、橋梁の外観を示す。本橋梁は、西九州自動車道建設に伴い、河川改修で平成22年11月に解体された。解体に先立ち桁下全面に架設足場を設置し調査を実施した。

2.2 調査項目

ここでは、表-1に示す調査項目を実施した。なお、化学分析、載荷試験、応力解放法については、別の機会に報告する予定である。

(1) 既存資料調査

橋梁を管理する自治体および昭和38年当時、北松浦郡地区でポストテンション方式PC桁橋を建設していたと思われる会社に設計図書、工事記録等の有無について聞き取り調査を実施した。

*1 長崎大学大学院生産科学研究科博士後期課程 修士(工学) (正会員)

*2 長崎大学大学院工学研究科 教授 工博(正会員)

*3 佐賀大学大学院工学系研究科 准教授 博士(工学) (正会員)

*4 国土交通省九州地方整備局長崎河川国道事務所(非会員)

(2) 形状寸法調査・外観変状調査

形状寸法調査に関しては、コンベックス、メジャー、レーザー距離計、角度計を使用して計測し、一般図を作成し既存資料と比較した。また、変状調査では、点検ハンマーによる打音調査、デジタルカメラによる撮影、スケッチによる変状図の作成を行った。

(3) 材料試験調査

長期材齢のコンクリート構造物にリバウンドハンマーを適用する際の問題点を検討するためにコアによる圧縮強度試験を行った。また、静弾性係数試験、弾性波速度測定、単位体積重量測定も実施した。測定部位は、主桁、横桁、間詰め床版とし、リバウンドハンマーとコア採取(φ70mm)は同位置で実施した。リバウンドハンマーによる反発度測定は、JIS A 1155、圧縮強度試験と静弾性係数試験は、JIS A 1107 と JIS A 1149 に準じて実施した。

(4) 鉄筋探査

主桁のシース配置図および配筋図を復元するために、電磁誘導法(探査器 A⁶⁾)、電磁波レーダー法(探査器 B⁷⁾)を使用して鉄筋探査を行った。また、橋梁解体時に鉄筋探査の妥当性について確認を行った。探査器 A は、電磁誘導の原理を利用し、上部工などのかぶりが約 100mm までの鋼材を平面的に探査し、鉄筋配置、かぶり深さ、鋼材径を解析的に求めることができる装置である。探査器 B は、電磁波レーダーの原理を利用し、下部工などのかぶりが約 5~300mm の鋼材を断面的に探査し、鉄筋配置、かぶり深さを解析的に求めることができる装置である。ここでは、主に探査器 A で主桁側面を平面的に探査し、探査結果が不明確な箇所を探査器 B で断面的に確認した。

(5) はつり調査

シース内のグラウト充填状況、シース径・腐食状況、シース内の PC 鋼材の径・本数・腐食状況を調査するために G1 主桁中央部山側下フランジではつり調査を実施した。PC 鋼材の径、本数に関しては、はつり調査後、PC 鋼材を切断して確認した。

(6) 棒形スキャナ調査⁸⁾⁹⁾

主桁上フランジ厚さ、間詰め床版厚さ、舗装厚さを計測するために棒形スキャナ調査を行った。また、間詰め床版、主桁、舗装の界面の密着性についても調査した。

棒形スキャナ調査は、コンクリート構造物に φ24.5mm の小径孔を穿孔し、その壁面を専用のスキャナ(写真-2)により検査する技術である。棒形スキャナで画像を読取る原理は、紙面等を読取る一般のハンディスキャナと同じ原理を用いており、イメージセンサの移動距離をエンコーダで計測し、イメージセンサで読取った画像のラインデータと合成することにより 2 次元画像を作成するものである。棒形スキャナには、密着型イメージセン



(a) 側面



(b) 桁下

写真-1 対象橋梁の外観

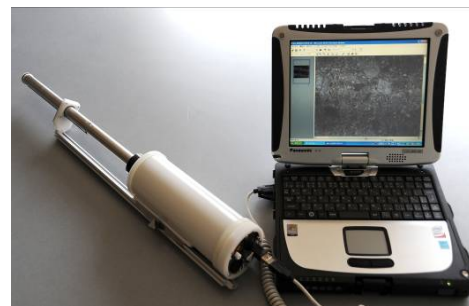


写真-2 棒形スキャナ

表-1 調査一覧

調査項目	目的/調査手法
既存資料調査	聞き取り調査、適用示方書などのチェック
形状寸法調査	一般図(側面図、平面図、断面図)
変状調査	打音調査、変状図、変状写真
鉄筋探査	PC 鋼材の本数、主鉄筋・スターラップの配置と径
反発度測定	圧縮強度の推定
棒形スキャナ調査	舗装・間詰め床版と主桁上フランジとの界面の状況
コア採取	圧縮強度、静弾性係数、弾性波速度、単位体積重量
はつり調査	シース・PC 鋼材の本数・径、主鉄筋・スターラップの径
化学分析	中性化、塩化物イオン含有量
載荷試験	変位、ひずみ、振動数
応力解放法	現有作用応力
解体時確認	各種調査で確認できない事項

サ (CIS センサ) が使用されているため、孔壁面とセンサとの距離が大きく変化するとピントの合わない画像となる。つまり、調査孔の穿孔精度が取得画像の良し悪しに影響することになる。ここでは、 $\phi 24.5\text{mm}$ の孔壁面とライセンサの距離を 1.6 mm に保ち 600 dpi の解像度で撮影した。結果として、1 ピクセルの一边サイズが約 $42.3\mu\text{m}$ (画像精度) の画像を取得できる。

3. 調査結果

3.1 既存資料調査

聞き取り調査より、管理する自治体と PC 建設会社から橋梁台帳と橋梁データ (表-2) を入手できた。ただし、設計図書や工事記録の有無については確認できなかった。また、本橋梁の適用示方書は、昭和 36 年度改訂プレストレストコンクリート設計施工指針¹⁰⁾、昭和 31 年鋼道路橋設計示方書/鋼道路橋製作示方書であると考えられる。

3.2 形状寸法調査・変状調査結果

図-1 に一般図を示す。形状寸法調査から表-2 の橋長、斜角、全幅員、有効幅員、上・下フランジ幅はほぼ一致した。上フランジ厚さ (主桁高さ)、間詰め床版厚さ、舗装厚さに関しては、外観から測定困難であるため棒形スキャナ調査で確認した。

外観変状調査から主な変状としては、張出床版水切り部と上フランジの界面付近に鉄筋露出や床版横締め PC 定着具のアンカープレート下端の露出 (写真-3(a)) が海側・山側全面に確認された。また、鋼製支承の腐食

(写真-3(b)) と横桁 PC 定着部の跡埋めモルタルの浮きが全箇所確認された。

その他の変状として、主桁下フランジに鉄筋露出が 1ヶ所、A1, A2 橋台付近の G2-G3 間間詰め部床版部と主桁上フランジ界面に遊離石灰 (写真-3(c)) がそれぞれ 1ヶ所確認された。なお、主桁と間詰め床版部に関してはひび割れや浮きは確認されなかった。コンクリート舗装、地覆、高欄、排水舂、排水パイプについては、変状は確認されなかった。

表-2 A社からの資料

橋名	富田橋
施工場所	長崎県北松浦郡
河川名	木場川
契約時期 (自)	S38 年 7 月
契約時期 (至)	S38 年 11 月
橋長	18.85m
径間数	1 径間
桁長	18.8m
幅員 (有効)	2.6m
幅員 (全)	4.2m
荷重	TL-20
斜角	63°
種別	ポステン
桁高	900mm
上幅	1100mm
下幅	350mm
桁本数	3 本

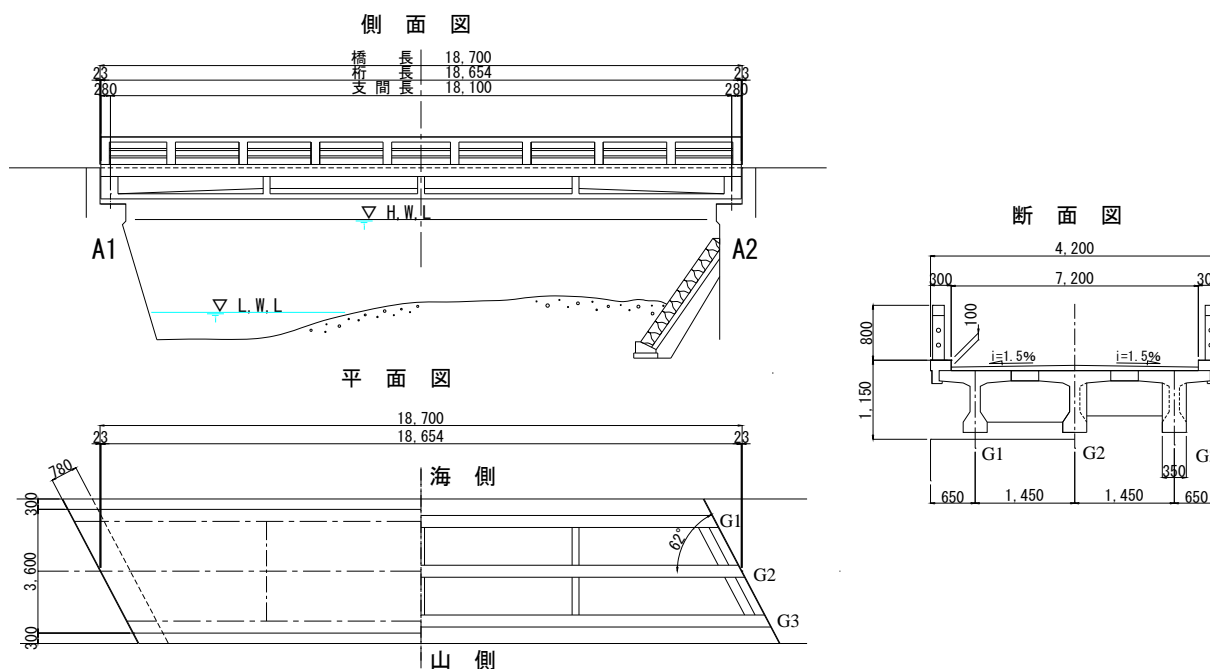


図-1 一般図

3.3 材料試験結果

表-3 に材料試験結果を示す。反発度は材料学会式¹¹⁾を用い圧縮強度に変換した。ここでは、圧縮強度に変換する際に材齢係数を用いなかった。表より圧縮強度は、全箇所においてコアがリバウンドハンマーの値を大きく下回り、安全側の結果となった。

文献¹⁰⁾から設計圧縮強度は、主桁と横桁が 29.4N/mm² (300kgf/cm²) 以上、間詰め床版が 24.5N/mm² (250kgf/cm²) 程度とされていることから、設計圧縮強度を満たしている。静弾性係数、弾性波速度、単位体積重量に関しては、バラツキが小さく主桁、横桁、間詰め床版ともほぼ同じ値を示したが、主桁が若干高い値を示す傾向となった。

3.4 鉄筋探索結果

探査器 A による G3 山側面の探査結果を図-2 に示す。図より A2 橋台からスターラップが 200mm, 300mm, 400mm 間隔で配筋されていること、下フランジの主鉄筋が上下に 2 本配筋されていることシースが 6 本配置され

ていることが確認された。探査器 A による山側・海側支
点部付近の探査から No.2 のシースは、断面方向に 2 本配
置されていることが確認できた。No.1 と No.3 のシース
に関しては、不明確であったため、探査器 B で位置を特
定した。以上から、主桁には 7 本のシースが配置され、
4 本が上縁、3 本が桁端部に定着されていることが推定
できた。No.1 と No.3 のシースが不明確なのは、桁端部
は中央部に比べてウェブが厚いため、シースが探査限界
以上に配置されているためだと考えられる。No.2 のシー
ス探査できたのは、断面方向に 2 本のシースが配置され
ていたためだと考えられる。専用ソフト⁶⁾よりスターラ
ップと主鉄筋は、φ10mm と算出された。

探査器 A による G3 桁中央部下フランジ側面 (山側・
海側)、下面の探査位置と結果を図-3 と図-4 に示す。
図よりスターラップが 2 本確認できた。主鉄筋は、海側・
山側では判別できたが、下面は判別しにくい結果を得た。
また、シースの判別は困難だった。

解体時の確認より、主桁には、シースが 8 本 (写真-



(a) 鉄筋露出

(b) 支承部の腐食

(c) 遊離石灰

写真-3 変状写真

表-3 材料試験結果

部位	圧縮強度(N/mm ²)				静弾性係数(N/mm ²)		弾性波速度(m/s)		単位体積重量(kN/m ³)	
	コア	平均	反発度		—	平均	—	平均	—	平均
			—	平均						
G1 主桁	39.6	34.1	55.9	55.6	29166	30009	3310	3332	24.3	24.0
	34.1		59.2		30610		3419		24.1	
	33.9		29389		3358		23.9			
G2 主桁	22.9	34.1	52.3	55.6	28982	30009	3271	3332	24.0	24.0
	31.8		38342		3298		24.6			
G3 主桁	35.2	34.1	56.4	55.6	24597	30009	3298	3332	23.1	24.0
	41.4		54.4		28975		3371		24.4	
横桁	36.5	32.9	57.1	56.2	28233	30073	3248	3302	23.4	23.5
	31.6		55.7		31442		3310		23.4	
	30.7		55.9		30544		3349		23.6	
間詰め 床版	18.8	25.1	53.3	56.6	29534	29356	3411	3259	23.5	23.6
	17.4		59.0		26965		3042		23.6	
	39.1		57.5		31568		3325		23.7	

4(a), 上縁定着4本(写真-4(b)), 端部定着4本が確認された。スターラップと主鉄筋は、φ9mmの丸鋼で腐食は確認されなかった。また、下フランジ海側・山側に2本ずつ主鉄筋が確認された。

3.5 はつり調査結果

はつり結果より、約φ30mmの鋼製のシースが使用されていること、グラウトが十分充填(写真-5(a))されていることが確認された。また、シース・PC鋼材の腐食(写真-5(b))は確認されなかった。シース内には、φ5mmのPC鋼線が12本確認された。

3.6 棒形スキャナ調査結果

図-5にG2-G3間の間詰め床版と主桁上フランジ界面における棒形スキャナ調査結果を示す。図から舗装と間詰め床版・主桁上フランジにそれぞれ碎石と玉石が使

用されていることが確認できる。また、主桁上フランジに骨材が均一に分布しているのに対して、間詰め床版に骨材が下面付近に分布しているのが確認できる。さらに、主桁と間詰め床版の界面が平行であることから、主桁には、テーパーがついていないことが確認できる。

舗装厚さは、64.3mm、上フランジ厚さは、147.9mmと計測された。舗装は、断面が山型勾配であるため、他の調査結果から平均66mmであることが推定された。舗装と間詰め床版の界面に2.3mmの隙間が確認されたが、舗装と主桁、主桁と間詰め床版の界面は十分な密着性が確認された。他の調査箇所は、すべての界面で十分な密着性が確認された。十分な密着性からは、間詰め床版の防水性能を評価できるものである。これは、間詰め床版の変状をみても説明がつく。

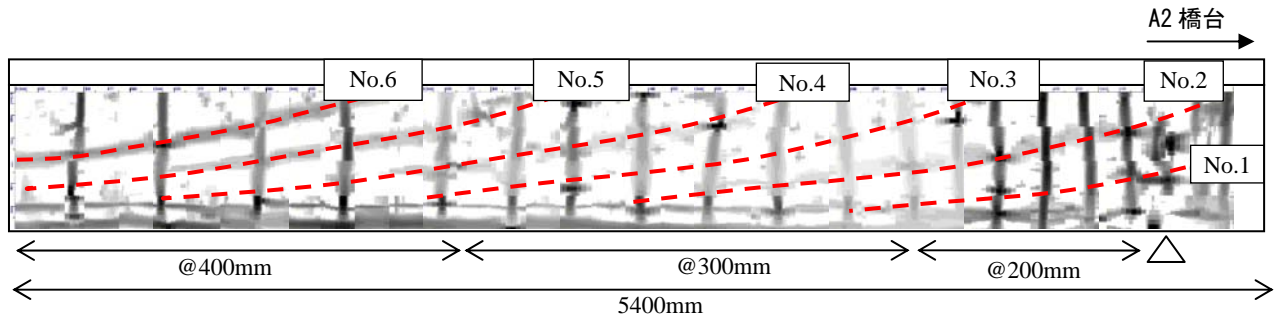


図-2 探査結果

*シースの位置をトレースしている。

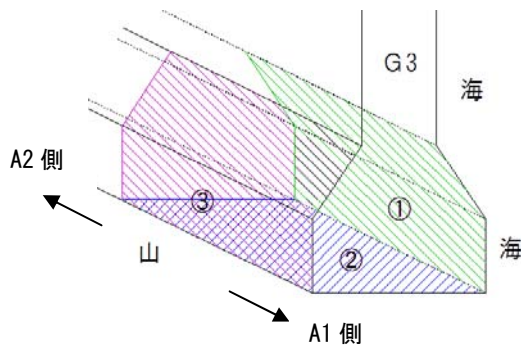


図-3 探査位置

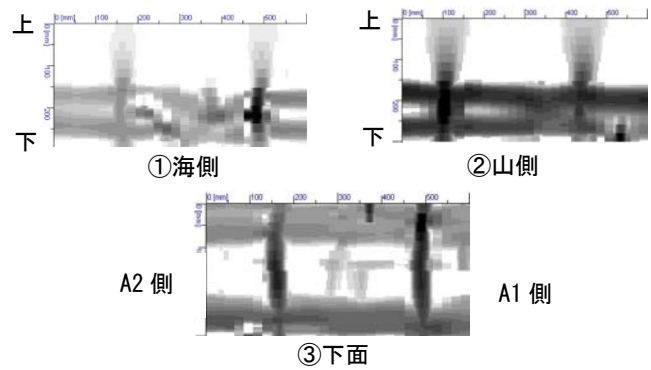


図-4 探査結果



(a) シース (8本)

(b) 上縁定着 (4箇所)

写真-4 調査結果

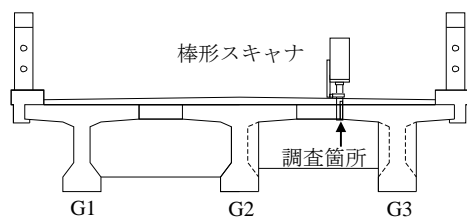


(a) グラウト状況

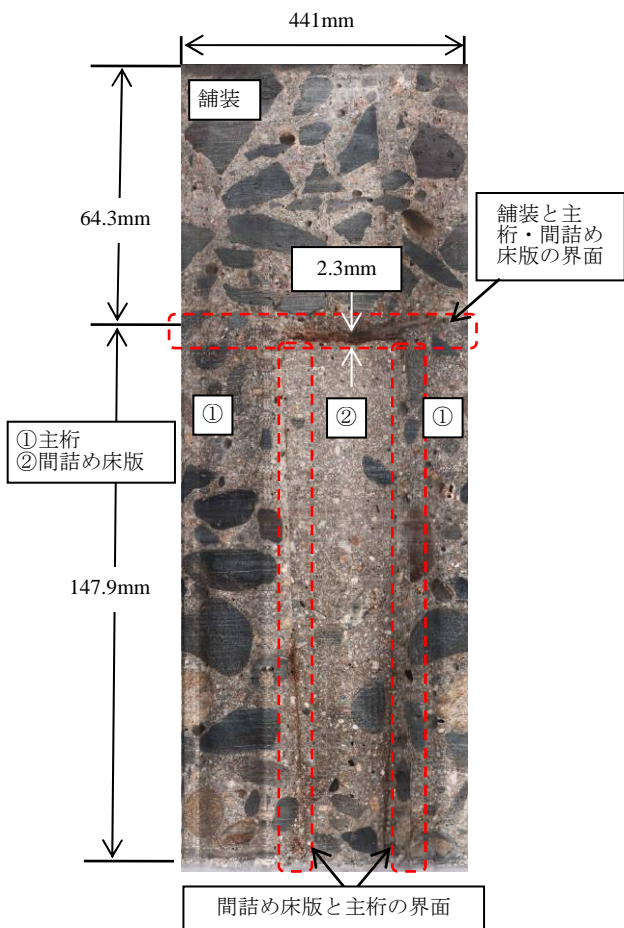


(b) PC鋼材状況

写真-5 はつり結果



(a) 調査箇所



(b) 撮影画像

図-5 調査結果

4. まとめ

各種調査から得た所見を以下に述べる。

・外観変状調査

建設後48年経過しているのにも関わらず、主要部材である主桁、横桁は健全な状態だった。また、間詰め床版に関しては、ごく一部に遊離石灰が確認された。

・圧縮強度試験

全箇所においてコアがリバウンドハンマーの値を大きく下回り、安全側の結果となった。コアによる結果から、主桁、横桁、間詰め床版は、設計圧縮強度を満たしていることが確認できた。

・鉄筋探査

電磁誘導法(探査器 A)、電磁波レーダー法(探査器 B)を組み合わせ探査することにより、約9割のシースを確認できた。これは、電磁誘導法(探査器 A)で探査できない深さを電磁波レーダー法で探査できたためである。また、電磁誘導法(探査器 A)によるスパン中央部のシース確認は困難であると分かった。専用の解析ソフトによりスターラップと主鉄筋の径を1mmの誤差で探査できた。

・棒型スキャナ調査

骨材の種類や分布図状況、コンクリート界面の密着性、各種寸法が確認できた。棒型スキャナ調査は、調査孔が24.5mmと小径孔であるため、調査による構造物に与えるダメージを最小限に抑えることができることから、コンクリート内部の診断に有効だと思われる。

謝辞

調査では、竹下建設工業(株)、(株)親和テクノ、西海建設(株)にご協力して頂きました。ここに記して、深甚の謝意を表します。また、本調査は、平成21年度九州建設弘済会研究助成事業で行いました。

参考文献

- 1) R.J.WOODWARD, F.W.WILLIAMS : Collapse of Ynys-y-Gwas bridge, West Glamorgan, STRUCTURAL ENGINEERING GROUP Proc.Instn Civ.Engrs,Part1,1988,84,Aug.,635-669
- 2) 若林常次, 橋本考夫, 高龍 : 中央ヒンジを有する PC ラーメン橋のアーチ部材による補強, 橋梁と基礎, Vol.43.pp21-26.2009
- 3) 1969年昭和44年建設省標準設計「ポストテンション方式 PC 単純 T けた橋」
- 4) (社)プレストレストコンクリート技術協会:PC 構造物の復元設計研究委員会成果報告書, 2010.3
- 5) (社)プレストレストコンクリート建設業協会 : PC 技術の変遷, 2003年11月
- 6) 日本ヒルティ(株) HP : <http://www.hilti.co.jp/>
- 7) 日本無線(株) HP : <http://www.jrc.co.jp>
- 8) (株)計測リサーチコンサルタント HP : <http://www.krcnet.co.jp>
- 9) (社)日本コンクリート工学協会 : コンクリート診断士研究会調査報告書 10,平成22年9月
- 10) (社)土木学会 : 昭和36年度改訂プレストレストコンクリート設計施工指針, 昭和36年8月
- 11) (社)日本コンクリート工学協会 : コンクリート診断技術 09,pp98-102. 2009年2月