

## 建設から60有余年が経過したポストテンション方式PC橋の健全性調査

(株)日本ピーエス 正会員 ○ 原 幹 夫  
 (株)日本ピーエス 正会員 工博 濱 岡 弘 二  
 (株)日本ピーエス 正会員 工修 天 谷 公 彦

Abstract : It was the first year in 1953 when a post-tension PC bridge was constructed, and the Jyugou bridge was constructed in June, which was our country's first post-tension PC bridge. In addition Itoshiro bridge was constructed in October, which was 20m span and the type of post-tension PCT girder . This study showed a integrity evaluation of each bridge by investigating the these bridge.

The investigation of Jyugou bridge was conducted about the characteristic of concrete after having it assumed mainly as nondestructive and a slight destructive testing because this bridge is opening as a prefectural road now .

The investigation of Itoshiro bridge was conducted about the characteristic of concrete ,grout ,PCcable and reinforcing bar because bridge girder had left by riverside after When it was dropped by being washed away of the pier by the serious flood.

Key words : Prestressed Concrete bridge , air permeability coefficient , integrity evaluation , propagation velocity of ultrasonic waves , filling properties of grout

## 1. はじめに

十郷橋は昭和28年(1953年)6月に福井県坂井郡東十郷村(現:坂井市坂井町上新庄)に架橋されたプレストレストコンクリート(以下、PCと称す)橋で、わが国で初めてのポストテンション方式の道路橋である。現時点(2015年6月)で62年が経過するが、現在でも県道三国丸岡停車場線の中で通勤・通学など地元の生活用道路としてその機能を果たしている。

建設当時と現在の十郷橋の状況をそれぞれ写真-1、写真-2に示す。現在は、地覆および高欄を現行の防護柵基準に適合するよう変更されているが、橋体は建設当時のものがそのまま使用されている。



写真-1 建設当時の十郷橋



写真-2 現在の十郷橋

十郷橋が人間でいうところの還暦という節目を超えたことを期に、産学官が連携して詳細な点検調査を行い、現在の健全性の評価と今後の維持管理の方向性を検討した。また、これらの調査に並行して、当時使用されていた材料の物性に関する知見を得るため、十郷橋の完成から4ヶ月後に完成し、10年後に大洪水で流出した石徹白橋(写真-4)の残骸を採し出し、各種の物性試験を行った。本稿では、

これらの調査で得られた結果のまとめについて報告する。

## 2. 十郷橋の調査体制

十郷橋の調査にあたり、産学官の共同研究委員会を設立した。委員会の構成を表-1に示す。調査WGにて詳細調査を実施し、委員会にて十郷橋の健全性を評価した。

表-1 十郷橋共同研究委員会の構成

区分	氏名	所属	区分	氏名	所属
学	吉田 雅徳	福井工業高等専門学校 環境都市工学科	産	柳原 英克	プレストレスト・コンクリート建設業協会
	阿部 孝弘	福井工業高等専門学校 環境都市工学科		一力 信雄	プレストレスト・コンクリート建設業協会
	辻野 和彦	福井工業高等専門学校 環境都市工学科	事務局	山木 忠嘉	福井県建設技術公社
	宮川 豊章	京都大学大学院 工学研究科		原 幹夫	㈱日本ビーエス
官	平林 透	福井県 道路保全課	調査WG	濱岡 弘二	㈱日本ビーエス 研究開発部
	増田 幹雄	福井県 三国土木事務所 道路保全課		天谷 公彦	㈱日本ビーエス 研究開発部
	林 泰正	福井県 三国土木事務所 道路保全課			
	木村 嘉富	土木研究所 構造物メンテナンス研究センター			

(2013年当時の委員会名簿)

## 3. 調査橋梁の概要

### 3.1 十郷橋の概要

十郷橋の構造諸元を表-2に、主桁の断面図を図-1に示す。

表-2 十郷橋の構造諸元

構造形式	ポストテンション方式単純PC床板橋	
橋長	7.850 m	
桁長	7.800 (7.350) m	
総幅員	8.000 m	
有効幅員	7.200 m	
PC鋼材	12φ5 フレシネーケーブル	
コンクリート強度	主桁	375 kg/cm <sup>2</sup>
	桁間	250 kg/cm <sup>2</sup>

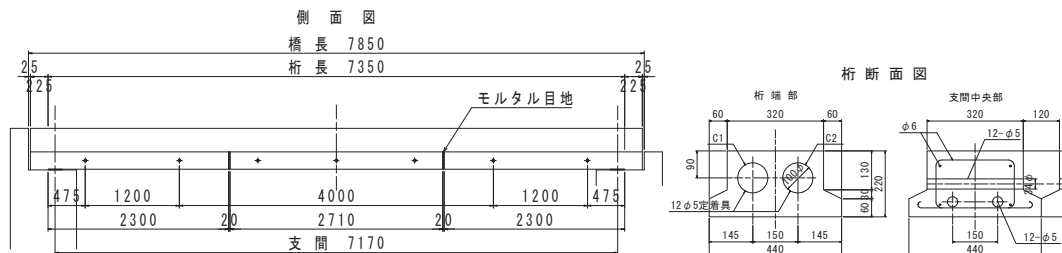


図-1 十郷橋の主桁構造図

本橋は主桁を3ブロックのセグメント工法で組立て、18主桁で構成されていた。PCケーブルは主ケーブル、横締めケーブルともに国内で生産されたφ5mmのPC鋼線と、フランスから輸入されたフレシネー社製の12φ5用のモルタル製定着具で構成されていた。また、使用セメントはベロセメントとの表記があり早強セメントが用いられていた。

### 3.2 十郷橋の施工について

古い資料の調査と当時の施工に関わった技術者へのヒアリングを行うことで、十郷橋の当時の施工状況を調査した(写真-3参照)。

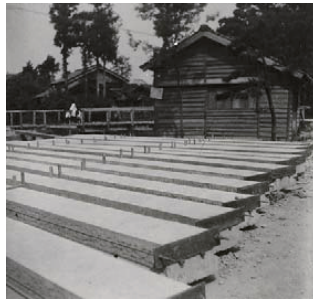
- ・主桁製作について：セグメント桁は、敦賀ビー・エス・コンクリート(株) (現：㈱日本ビーエス) の敦賀の工場で作成された。横締めケーブルは直線配置であることからブリキ製の円筒で形成したが、主ケーブルの曲線ケーブルの配置は当時フレキシブルシースが無かったことから、ゴムホースのよ

うなものに芯材を詰めてケーブル形状を形成し、コンクリート硬化後に引き抜いてケーブル挿入用のダクトを作ったとのことであった。コンクリートはスランプ 2 cm程度の超固練りの配合を傾斜ミキサーで練り上げ、突き棒で締め固めながら型枠内に投入した。

- ・主桁接合について：現場へ搬入したセグメント桁に目地モルタル用のスペーサーを挟み、引き寄せボルトで固定しモルタルを打設養生した。緊張作業は、フランスから搬入した緊張ジャッキと水圧式の緊張ポンプを用いて行われた。緊張力の管理は現在と同じくポンプの水圧計と PC 鋼線の伸び量で行われた。グラウトは練混ぜ時に白い粉を入れたが詳細は不明とのこと。
- ・主桁の架設について：架設は二又を用いて行われた。川岸に設置した二又で主桁の支点部付近を吊り上げ、二又を傾け主桁を対岸へ送り、対岸の二又に吊り換えるという手順で行われた。
- ・場所打ちコンクリートについて：桁間コンクリートはスコップと突き棒を用いて打込まれ、桁間コンクリートの養生は冠水養生、高欄の養生は濡れむしろを用いた湿潤養生が行われた。
- ・竣工検査について：当時は PC 橋の指針や規格などが整備されていないため、最大級の車両による載荷試験を行い、橋梁としての性能確認を行い竣工とした。



プレキャストセグメント



セグメント配置



桁架設(吊上げ)



桁架設(引き出し)



主ケーブル緊張



グラウト注入



桁間コンクリート打設



桁間・高欄養生



竣工時の載荷試験

写真-3 十郷橋の施工状況

### 3.3 十郷橋を補完する石徹白橋の概要

十郷橋は現在も供用中のため、当時の材料情報を補完できる試料として同年代に施工された橋梁を探したところ、十郷橋の4ヵ月後に竣工した石徹白橋の橋桁の一部が見つかった (写真-4)。



建設当時の石徹白橋



落橋した左岸径間



落橋した主桁の状況



主桁回収状況

写真-4 石徹白橋

石徹白橋は2径間のポストテンション方式のPC橋で、左岸側の径間が十郷橋と同じ構造形式で橋長9.7mの床板橋、右岸側は橋長20.1mのT桁橋でわが国初の本格的な長支間のPC橋である。両径間ともに、主桁のコンクリート強度は $375\text{kg}/\text{cm}^2$ 、使用PC鋼材は $12\phi 5$ のPC鋼線で、十郷橋と同様のものが使用されている。石徹白橋は、昭和28年10月に竣工したが、昭和39年に発生した大水害で、大岩上に建設された橋脚にアンカーがなかったため橋脚が流失して落橋した。右岸側のT桁橋は流域阻害となるため引き上げられ、護岸の中に埋められたとのことであったが、左岸側の床板橋の径間は橋台下の河川内に裏返しの状態では置かれていた。今回これらの橋桁片を回収して、種々の調査を行った。

## 4. 調査結果

### 4.1 外観調査

十郷橋の主桁の主な変状として、主桁底面の6箇所で錆の発生、上流側の横締め定着部の4箇所では保護コンクリートの欠け、そのうちの2箇所においてPC鋼材の露出が見られたが、いずれも軽微なものであった。セグメント継目部の損傷や曲げひび割れなどは認められず、耐荷力に影響する要素はなく、主桁は健全と判断しうる状態であった。

### 4.2 コンクリートに関する調査

#### (1) 強度特性試験

十郷橋の圧縮強度の平均値は $78.3\text{ N}/\text{mm}^2$ 、石徹白橋は $73.2\text{ N}/\text{mm}^2$ であり、いずれも設計基準強度を大きく上回った。また、静弾性係数も圧縮強度に整合した値となった。

#### (2) 中性化深さの測定

中性化深さは最大値で1.6mm程度であり、ほとんど中性化は認められなかった。十郷橋の橋梁下面

が用水路であり、常時湿度の高い状態が保持されたため、中性化が進行しなかったのではないかと考えられる。

### (3) 超音波伝搬速度による品質評価

十郷橋の主桁の超音波伝搬速度の測定結果を表-3に示す。表面法と透過法の両方で計測した箇所は、透過法の伝搬速度を用いて品質の評価を行っている。超音波伝搬速度は、全ての測点でASTMにて提案されている品質評価基準<sup>3)</sup>の「優」に分類された。この結果より、コンクリート内部に空洞や大きなひび割れが生じている可能性は低く、その密実性は高い水準にあると考えられる。

### (4) コンクリートの配合分析

石徹白橋より採取したコンクリートで配合分析を行った結果を表-4に示す。推定配合量は、単位セメント量 346 kg/m<sup>3</sup>、単位水量 71 kg/m<sup>3</sup>、水セメント比 20.5%であり、施工記録に示される配合計画の水セメント比 33%よりも小さい結果が得られた。一般に、配合分析による単位水量の推定は誤差が大きいため、単位水量の推定値は参考値の扱いとなるが、計画よりも小さな水セメント比のコンクリートが打込まれていたことが推定された。混和剤は、リグニンスルホン酸系のものが少量使用された可能性があるという結果であった。

### (5) 透気係数

十郷橋の主桁で実施した表面透気試験の結果を表-5に示す。透気試験は1測点あたり3箇所で行われ、対数平均した値で透気性のグレードを分類した。その結果、全ての測点で透気性グレードが「優」に分類される結果であった。透気係数は中性化深さや塩化物イオンの浸透量と高い相関が認められていることから、十郷橋の中性化が進行していないことの裏づけになると考えられる。

表-3 超音波伝搬速度の測定結果

主桁No	測点		超音波伝搬速度 (m/s)		ASTMの品質 グレード
	表面法	透過法	表面法	透過法	
G2	T1	No. 1	4470	4686	優
G4	T2	No. 2	4631	4669	優
G6	T3	No. 3	4625	4679	優
G9	T4	—	4844	—	優
G12	—	No. 5	—	4671	優
G15	T5	—	4717	—	優
G15	—	No. 6	—	4639	優
G17	—	No. 7	—	4681	優
G18	T6	—	4573	—	優

表-4 コンクリートの配合分析結果

項目	コア供試体	備考
単位容積質量 (kg/m <sup>3</sup> )	2444	道路標示方書： 2345 kg/m <sup>3</sup>
水セメント比 (%)	20.5	施工記録：33%
推定配合量 (kg/m <sup>3</sup> )	セメント量	346
	水量	71
	骨材量	2026
混和剤量 (kg/m <sup>3</sup> )	0.22	リグニンスルホン酸系

表-5 表面透気試験結果

主桁No	測点	透気係数		透気性 グレード	備考
		kT ×10 <sup>-16,2</sup> m	対数平均 ×10 <sup>-16,2</sup> m		
G2	T1	-1	0.0010	0.001	1 優
		-2	0.0010		
		-3	0.0010		
G4	T2	-1	0.0010	0.001	1 優
		-2	0.0010		
		-3	0.0010		
G6	T3	-1	0.0019	0.002	1 優
		-2	0.0012		
		-3	0.0015		
G9	T4	-1	0.1600	0.001	1 優
		-2	0.0010		
		-3	0.2600		
G18	T6	-1	0.0130	0.008	1 優
		-2	0.0230		
		-3	0.0015		

※コンクリート表面に不陸があったため異常値と判断して除外

## 4.3 鉄筋に関する調査

石徹白橋の橋桁片から採取した軸方向鉄筋 (φ9mmの丸鋼) の試験体を用いて引張試験を行った。引張試験の結果とJIS規格値を比較すると、降伏点、引張強さ、伸びのいずれにおいても、JIS G 3112 (鉄筋コンクリート用棒鋼) の規格値を満足しており、当時の丸鋼は現在のものと同等の機械的性質を有していたと考えられる。

## 4.4 PC鋼材に関する調査

石徹白橋から採取したPC鋼材の試験体を用いて引張試験、成分分析を行った。採取時に確認したところでは、グラウトは充填されており、PC鋼線に錆や腐食による孔食・欠損は認められなかった。

引張荷重および降伏荷重は、全ての試験体でJIS G 3536-2008 (PC鋼線及びPC鋼より線) に示され

る数値を満足した。ヤング係数は道路橋示方書などの規定値と同等の結果が得られた。伸びについても、JISの規格値である4.0%を満足し、現在のものと同等の機械的性質を有していたと考えられる。

#### 4.5 グラウトに関する調査

##### (1) 配合分析

石徹白橋より採取したグラウトの配合分析を行った結果を表-6に示す。現在のグラウトと比較してW/Cおよび吸水率が大きく、組織がポーラスなグラウトであったが、PC鋼材に目立った錆は発生していなかったことから、組織はポーラスでもPC鋼材の防錆性能は有していたと考えられる。

粉末X線回折により石英、長石、雲母、緑泥石などの骨材構成物質が検出された。建設当時の技術者へのヒアリングにあった白い粉はいわゆる石粉と想定され、材料分離を少なくし、作業性を高めたと考えられる。

表-6 グラウト配合分析結果

項目		コア供試体	備考
単位容積質量 (kg/m <sup>3</sup> )	絶乾	1392	吸水率32.5%
	表乾	1845	
水セメント比(%)		95.7	
推定配合量 (kg/m <sup>3</sup> )	セメント量	624	
	水量	597	
	骨材量	624	
混和剤量(kg/m <sup>3</sup> )		0.54	リグニンスルホン酸系

##### (2) グラウト充填状況調査結果

主ケーブルにシースが使われていないことから、グラウトの充填性調査は広帯域超音波法(WUT)と電磁波レーダーを併用して、空洞調査の要領で行った。WUTでは、36箇所中27箇所「充填」と判定、9箇所「充填の確認に至らない」という判定であったが、電磁波レーダ法では全てのケーブルにおいて空隙は確認されなかったことから、十郷橋では全ての主ケーブルでグラウトが充填されていると推定できる結果であった。

#### 5. まとめ

紙面に都合上表記できなかった各種の試験結果も含め、調査の結果では十郷橋は60年が経過した現在も健全であり、高い品質を有していることが明らかになった。復元設計では設計荷重が9 t程度と推定されたが、現状の使用状態ではさらに長期にわたって供用が可能と考えられ、今後は15m以上橋梁と同等な維持管理を行う方向で検討されることとなった。

今回の調査の成果は、第一大戸川橋梁に先んじて完成したポストテンション T 桁橋でありながら、橋脚の流出で倒壊した石徹白橋が、50余年の時空を超えて出現した貢献度は非常に大きく、今後得られた試料をさらに詳しく研究していきたいと考えている。

#### 謝辞

本調査にあたり、福井県道路保全課・三国土木事務所、極東鋼弦コンクリート振興(株)、BASFジャパン(株)、住友電工スチールワイヤー(株)、神鋼鋼線工業(株)の皆様やオブザーバーとして参加いただいた宮川豊章先生と木村嘉富氏から多大なご支援・ご協力を賜りました。ここに感謝の意を表します。

##### 【参考文献】

- 1) 八田一雄：プレストレストコンクリート橋の架設（福井県石徹白橋），セメントコンクリート，No.84，pp.20-25，1954.2.
- 2) 硬化コンクリートの配合推定に関する共同試験報告，セメント協会コンクリート専門委員会報告 F-18，1967.10.
- 3) E.A.Whitehurst：Evaluation of concrete properties from sonic test，ACI，ACI Monograph No2，1966.
- 4) (独) 土木研究所・(社) 日本非破壊検査協会：超音波試験（土研法）による新設の構造体コンクリート強度測定要領（案），2006.5.
- 5) R.J.TORRENT：「カバークリート」の透気係数の迅速な決定方法，土木工学における非破壊試験国際会議シンポジウム（NDT-CE），pp.26-28，1995.