

# PC 橋梁初の有形文化財登録

## — 信楽高原鐵道の第一大戸川鐵道橋 —

菅原 操\*

### 1. はじめに

平成 20 年 6 月 20 日 文部科学省の文化審議会において、本年度は 60 箇所 170 件の建造物が登録有形文化財として登録されるよう文部科学相に答申された。

信楽高原鐵道（旧国鉄信楽線）の第一大戸川 PC 鐵道橋がこの答申の中に含まれ、PC 橋梁として初の登録有形文化財に加わることとなった。

この橋梁は 1954 年に建設され当時 PC 技術開発の黎明期でもあり、当時の技術陣の総力で研究開発を行い、スパン 30 m の本格的なポストテンション橋梁として建設されたものであり、この研究成果はその後の土木学会の PC 設計施工指針の制定にも活用され、鐵道橋、高速道路など日本における広範囲の建造物への適用の規範とされたものである。

本稿では、登録有形文化財の意義の紹介と合わせて、本橋梁の建設時における研究成果などについて振り返ってみたい。

### 2. 登録有形文化財の制度<sup>2)</sup>

1996 年の文化財保護法改正により、従来の文化財「指定」制度に加えて、文化財「登録」制度が創設された。

第二次大戦以降のわが国においては、急激な都市化の進展などにより、近世末期や近代以降の多種多様な建造物がある建築史的・文化的意義や価値を十分認識されないまま破壊される事例が相次いだ。

このような反省に立ち、1965 年頃から近世の民家建築、近代の洋風建築などが国の重要文化財や、地方公共団体の文化財に指定される例が漸増してきた。

しかし急激に消滅しつつある近代の建造物の保護については従来の制度のみでは不十分であり、より緩やかな規制のもとで、幅広く保護の網をかけることが議論され、重要文化財指定制度を補うものとして有形文化財登録制度が創設された。

### 3. 登録有形文化財（建造物）

#### 3.1 一般

2008 年 6 月 20 日までに、建造物の登録件数は新規に答申されたものを加え 7 179 件となり、以下のような多様な分野の建造物が含まれている。

- ・ 役所、図書館、学校、駅舎などの公共建築
- ・ 軍隊関連施設
- ・ 伝統産業施設

- ・ 店舗、銀行、旅館、ホテルなどの商業建築
- ・ 工場などの産業関連施設
- ・ トンネル、橋梁、灯台などの交通関係建造物
- ・ ダム、水門などの近代化遺産
- ・ 社寺、教会などの宗教建築
- ・ 民家、泉（飲料用水、生活用水）

#### 3.2 登録有形文化財登録基準

登録有形文化財として選択される対象となる建造物としては、建築物、土木建造物およびそのほかの工作物のうち、原則として建設後 50 年を経過し、かつ次の各号のひとつに該当するものが対象とされる。

- (1) 国土の歴史的景観に寄与しているもの
- (2) 造形の規範となっているもの
- (3) 再現することが容易でないもの

第一大戸川橋梁の場合は建設後 53 年を経ており (2) の項目に該当するものとして選択されている。

#### 3.3 有形文化財として登録されている物件

本年 6 月 20 日の答申分を含めると登録有形文化財で土木関係のものは 424 件となっていて全体では 6 % にすぎない。

また登録基準 (1) に該当するものが多い。本年分を含めた有形文化財登録件数を建設年号別に分類すると表 - 1 のようである。

また対象別に分類すると図 - 1 のようになっている。土

表 - 1 登録有形文化財（建造物）の時代別登録件数

江戸以前	明治	大正	昭和	計
1 156	2 358	1 590	2 075	7 179

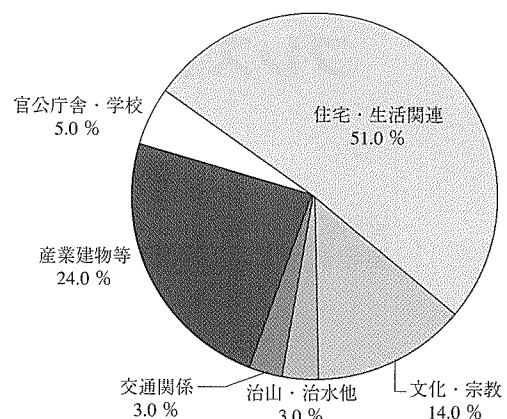


図 - 1 登録文化財の種別

\* Misao SUGAWARA : (社) 海外鐵道技術協力協会 最高技術顧問, (社) プレストレストコンクリート技術協会 名誉会員

木関係のものは少なく、また PC 橋梁については第一大戸川橋梁が初の登録有形文化財となっている。

#### 4. 第一大戸川橋梁の建設に関わる主要技術開発

##### 4.1 背景

旧国鉄信楽線雲井～信楽間に位置する第一大戸川橋梁は、元はスパン 10 m の鋼橋 3 連で構成されていたが、1953 年の集中豪雨により流失し、その復旧工事として 1954 年にスパン 30 m のプレストレストコンクリート橋として建設され、国鉄における本格的な PC 鉄道橋の第一号となった。その当時、スパン 30 m のプレストレストコンクリート橋は、わが国では初めての試みであり、また鉄道橋としては世界的にもほとんどその例がなく画期的なプロジェクトであった（写真 - 1）。



写真 - 1 第一大戸川鉄道橋

このため、本橋梁の設計・施工にあたっては、旧国鉄本社特殊設計室（旧国鉄構造物設計事務所）および鉄道技術研究所の協力指導のもとに、大阪工事事務所（旧国鉄大阪工事局）において PC 構造について多くの基礎データの集積と解析が行われた。架設に際して行った種々の実験研究、検討はその後の PC 鉄道橋の施工に関して非常に大きな影響を与えた。

この橋梁の設計・施工を通じて得られた PC 技術による中・大スパン橋梁の計画への確信に基づき、その後の新幹線・高速道路など多くの建造物への PC 技術の適用となったものであり、まさに文化財登録の基準である、「造形の規範」となったものである<sup>3)</sup>。

##### 4.2 黎明期における日本の PC 建造物

国鉄における PC に関する研究は、1941 年より鉄道技術研究所において始められ、1952 年より PC の使用が開始された。

はじめは乗降場、落石覆など、列車荷重の直接作用しない構造物や小スパンの橋梁、まくらぎなどに PC 部材が用いられた。

列車荷重を直接受けた最初の PC 橋梁は、1953 年 3 月に建設された大阪駅構内の線路扛上桁でスパン 4.9 m のものであった。その後、1953 年 8 月の豪雨によって橋桁が流失

した信楽線第一大戸川橋の復旧に、新技術の採用という意味で、スパン 30 m の PC 桁を施工することとなった。

日本における PC 技術の草創期に施工された PC 橋梁は表 - 2 のようである。

表 - 2 日本における PC 技術の草創期に施工された橋梁

種別	橋梁名	場所	スパン (m)	竣工	備考
道路橋	長生橋	石川県	3.3	1952.3	プレテンション
	泰平橋	石川県	10.0	1952.11	プレテンション
	浜男橋	福岡県	6.9	1953.3	プレテンション
	東十郷橋	福井県	7.35	1953.6	ポストテンション
	石徹白橋 赤城見橋	福井県 埼玉県	9.4 14.6	1953.10 1953.12	ポストテンション ポストテンション
鉄道橋	第 1 中島橋梁	白新線	2.9	1953.9	プレテンション
	東京駅 7.8 番 高架橋	東京駅	7.5	1953.11	プレテンション
	大阪駅路線扛上桁 光弦橋 第一大戸川橋梁	大阪駅	4.9	1953.3	ポストテンション
		東京都	4.2	1953.8	ポストテンション
信楽線		30.0	1954.9	ポストテンション	
その他	東京駅 6.7 番 ホーム桁	東京駅	10.0	1952.3	ポストテンション

このような状況のなかでスパン 30 m という PC 橋梁を建設するために、以下のような多くの実験研究によりもっとも適切な工法を確かめながら実工事を行っていった<sup>4)</sup>。

##### 4.3 第一大戸川橋梁の計画・設計

第一大戸川橋梁の基本設計は、フランス人コパニコ氏（極東鋼弦コンクリート振興 KK）によって行われ、当時の国鉄本庁特殊設計室長永友和夫博士を中心に吉田徳二郎博士の指導を仰ぎながら、当時の大阪工事事務所次長仁杉徹博士（のちに国鉄総裁）らが修正改良して最終設計方針が定められた。

さらに、工事着手前に、鉄道技術研究所コンクリート研究室に試験研究の協力を求め、当時研究に携わっていた菅原 操が、岩崎岩雄、浅沼久志らの研究者とともに総力をあげて本橋の施工指導・試験研究を続けた。

##### 4.4 施工方法に関連して行った実験研究

###### (1) コンクリート配合と打設方法

コンクリートの設計基準強度および許容応力度は次のようであった。

設計基準強度：450 kgf/cm<sup>2</sup> (45 N/mm<sup>2</sup>)

プレストレス導入時の強度：420 kgf/cm<sup>2</sup> (42 N/mm<sup>2</sup>)

許容曲げ圧縮応力度

設計荷重作用時：150 kgf/cm<sup>2</sup> (15 N/mm<sup>2</sup>)

プレストレス導入時：210 kgf/cm<sup>2</sup> (21 N/mm<sup>2</sup>)

許容曲げ引張応力度：0 kgf/cm<sup>2</sup>

多くの配合試験を重ねた結果、実桁のコンクリートの配合は表 - 3 のとおりとした。

スランブ 3 cm のコンクリートを桁断面の隅ずみまで完全に打ち込むため、同一断面で長さ 2 m の試験桁 4 本、および長さ 5 m の試験桁 1 本についてコンクリートの打設テストを行い打込み方法について確信を得た。

また下縁の傾斜面への充てんを完全に行うための各種の工夫を施した。

基本的には桁断面のウェブおよび下縁については型枠振

表-3 コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブの目標値 (cm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
25	3	36	31	162	450	549	1 263

注) セメント：アサノベロセメント（早強セメント）  
 細骨材：野洲川産天然砂  
 粗骨材：愛知川産天然砂利  
 混和材料は用いなかった。

動機による徹底的な振動締めを行い、上縁部は内部振動機も使用して締めた。

完成後 30 年経過にいたるまでのコンクリートの強度試験の結果は表-4のとおりである<sup>5)</sup>。また 2007 年度の土木学会の岸 利治教授を中心とする研究チームの調査では有用な多くの報告がなされているが、とくにコンクリートの強度とともに、この橋梁のコンクリートの表層密度が他の調査対象のコンクリートに比べ格段に高いことが報告されている<sup>6)</sup>。

表-4 信濃線第一大戸川橋梁コンクリートの圧縮強度の推移

材 齢 (日)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	供試体寸法 (cm)	備 考
9	44	φ10 × 20 × 3 個	標準養生供試体
28	51		
1 360	60	φ15 × 23.5 × 2 個 φ15 × 28.0 × 1 個	モデル桁より採取したコア
6 100	61	φ15 × 30 × 3 個	モデル桁より採取したコア
11 060	55	φ5 × 10 × 3 個	実橋の支点近くの上突縁より採取したコア

注) 圧縮強度は標準供試体寸法に換算した値を示す。

(2) PC 鋼材とシースとの摩擦の測定

ポストテンションの PC において、PC 用の鋼材を緊張する場合、PC 鋼材とこれを配置するシースとの間の摩擦力を考慮して、ジャッキによる緊張力を調整することが必要である。

しかし当時は国内ではその実績は少なく、とくにスパン 30m の第一大戸川の施工のための準備が必要であった。

鉄道技術研究所では、まず各種の長さおよび曲げ角をもったシースを配置した試験スラブ 3 枚を製作し、ケーブルの両端における緊張力の差から PC 鋼材の延長と曲げ上げ角による摩擦力を測定し、次のような実験式を導いた（写真-2）。

$$T = T_0 e^{-(\mu\alpha + \kappa\ell)} \text{ または } T = T_0 (1 - \mu\alpha - \kappa\ell)$$

$T_0$  : 緊張端の緊張力

$T$  : 曲げ角変化  $\alpha$ 、延長  $\ell$  の点での緊張力

$\mu \cdot \kappa$  : 係数

さらにこれらの実験式について、長さ 11 m の試験桁によりシースに沿ってあけられた測定窓における PC 鋼材の引張力を測定して摩擦力の分布を確かめた<sup>7)</sup>。

(3) PC 桁へのグラウト注入の試験

ポストテンションの PC 桁においては、プレストレスを与えるための鋼材の腐蝕防止のためと、PC 桁とコンクリートとを一体に働かせるように付着力を生じさせるために PC 鋼材緊張後シース内にグラウティングを行う。

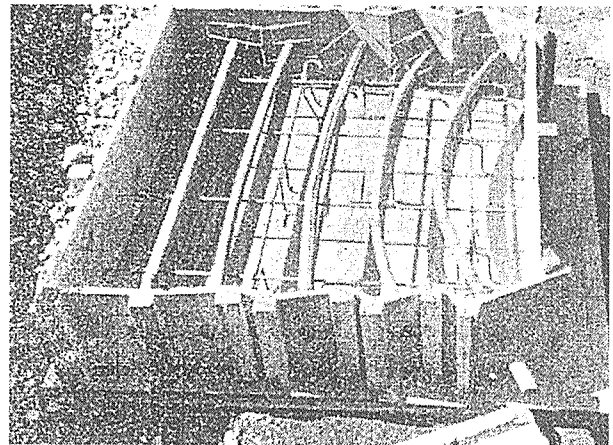


写真-2 PC 鋼材とシースの間の摩擦力の測定用試験スラブ (一例)

当時わが国においては、グラウティングについて十分な研究がなされていなかったため、材料、配合、練混ぜ、注入方法についての研究も行った<sup>8)</sup>。

実験室における数多くの配合試験を行い、水、セメントのほかにフライアッシュの混入の有利さを確かめたうえで次のような大型実験を行った。

まず図-2のように、延長約 30 m のシースに PC 鋼材を配置したもの、およびこれをコンクリートで包みこんだ 2 基の試験設備を設け、各種配合のグラウトの注入試験を行った（写真-3）。

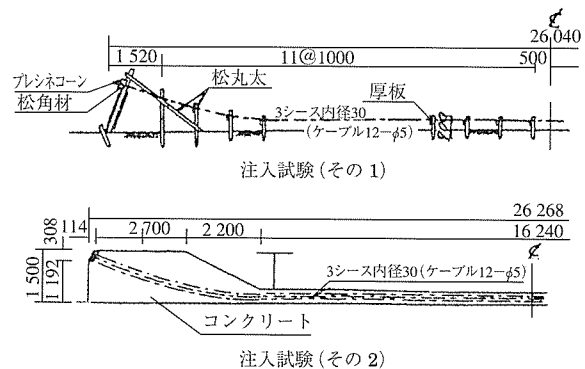


図-2 グラウティング試験のための試験用設備

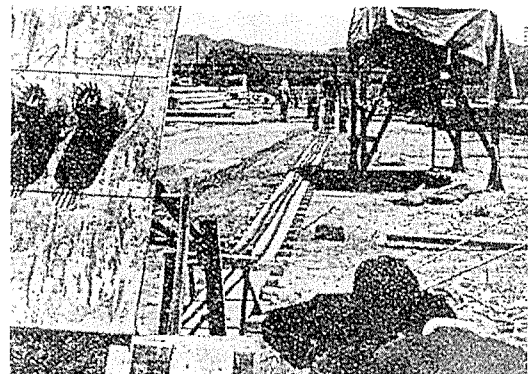


写真-3 延長 30 m の PC ケーブルへのグラウト注入試験

実験結果に基づき第一大戸川の実桁へのグラウティングでは表 - 5 の配合によった。

表 - 5 PC グラウトの配合

W/C (%)	水 W (kg)	セメント C (kg)	フライアッシュ (kg)
47.5	1.9	3.0	1.0

注) アルミ粉末, セメント用混和剤は用いず。

#### 4.5 PC 桁の載荷試験

PC 桁の載荷力については、すでに東京駅 6,7 番乗降場のホーム桁に用いるスパン 10 m の桁の試験を数多く実施して十分に解析済みであった。しかしフレシネー式のケーブルを使用した PC 桁については、わが国ではその例がなかったことと、実際の橋梁と同じ材料を使用した桁について試験を行い、実橋の安全性を確かめたいという目的で、スパン 11 m の試験桁を作成し、曲げ破壊試験を行った。この試験桁は、載荷力の確認と同時に、前述の PC ケーブルとシースとの間の摩擦力の大きさの確認にも活用した。

#### 4.6 コンクリートのクリープと収縮量の測定

PC 桁には PC 鋼材による緊張力が加わるのでコンクリートの乾燥収縮のほかに、コンクリートのクリープによる縮みが生ずる。

その結果、PC 鋼材の緊張力がその分だけ減少するので、あらかじめ補正して PC 鋼材の緊張力を定める必要がある。

コンクリートのクリープについて、実験室における研究は各所で行われていたが、大戸川の橋梁として、また屋外環境におけるクリープ、収縮量を予想できるデータが無かったので、これを確かめておく必要があった。

そのため、橋梁本体に測点を設け、また橋梁と同一断面で同じ配合で同時に施工された長さ 2 m の標準桁 (供試体) 2 個を作成し、橋梁付近に配置し (写真 - 4)、同様に測点を設けて測定を続けてきた<sup>10)</sup>。

測定は長期にわたって行われるため、当時応力測定などに常用されていたワイヤーストレインゲージは使用できないので、図 - 3 に示す技研式ひずみ計 (押当て式) を作成し、このひずみ計により、完成後 30 年の間継続的に測定を続けた (写真 - 5)。

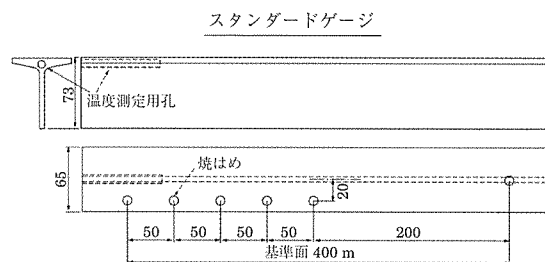
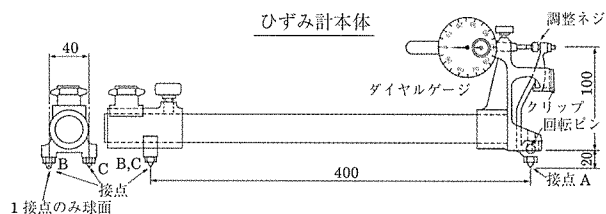


図 - 3 技研式ひずみ計



写真 - 5 第一大戸川橋梁 PC 桁のクリープ測定

標準桁にはプレストレスを与えず、コンクリートの乾燥収縮のみを測定し、橋梁本体における測定値からこの乾燥収縮量を差し引いて、これをクリープ値とした (図 - 4)。

コンクリートのクリープおよび収縮量の測定値は、橋梁完成の 4 年後にはほぼ収束したように見えたので土木学会に報告した。



写真 - 4 クリープ、収縮測定用標準桁

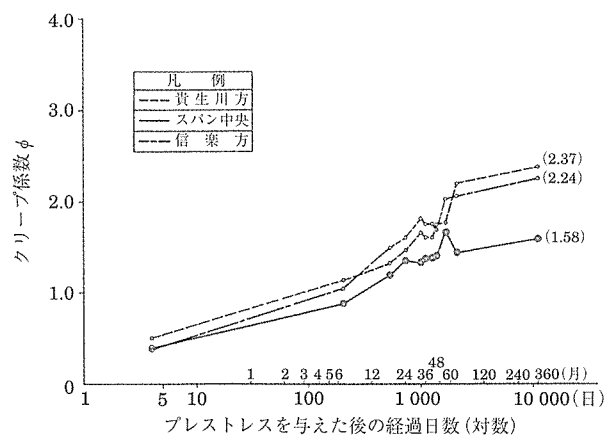


図 - 4 クリープ係数の経年変化

クリープ係数は 1.6 ~ 2.4 の範囲であり、当初設計において予想した結果と大差はなかったと思う。

## 5. おわりに

旧国鉄信楽線第一大戸川橋梁における各種の実験的研究はこのようにして黎明期のわが国の PC 橋梁発展のさきがけとなったものである。

この橋梁の設計・施工の経過は昭和 30 年土木学会制定の第一次の「プレストレストコンクリート設計・施工指針」に活用され、この橋梁の設計・施工にあたって行われた研究開発はまさに登録文化財の基準第二項に定められたものに相当すると評価されたものと思う。

第一大戸川橋梁の建設はわが国の PC 技術の黎明期のものであり、上記の実験研究や技術開発はまったく初期的のものであったが、当時わが国がフランスから導入したフレシネー式の PC 技術の実用化の第一号の成果であった。

しかしその後のわが国の PC 技術の進歩発展は眼を見張るようなものがある。

構造材料にしても、施工方式にしても、その後多くの方式が導入され、多種多様であり、多くの造形の規範となった建造物が多く、登録文化財に値するものも多くあると思われる。

先述したように今年の審議会答申分を加えた登録有形文化財 7 179 件のうち、土木建造物の登録がわずか 6 % であるのは残念なことであり、PC の分野でも多くの建造物が登録文化財として認められることを願っている。

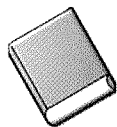
第一大戸川橋梁の有形文化財登録については、文化庁の北河大次郎氏 神戸大学工学部建設工学科 神吉和夫氏をはじめ、滋賀県・甲賀市の関係部門、信楽高原鐵道(株)の関

係者のご尽力の賜であり、この橋梁の建設に関わり、その後の長期間の測定などを続けて来た者の一人として、心よりお慶び申しあげるとともに、当時の建設工事を担当された旧国鉄大阪工事事務所をはじめ、先述の関係諸機関および諸先生の適切なご指導と、工事を請け負われたピーエスコンクリート(株)(現在(株)ピーエス三菱)および森本組の、この工事における熱心なご努力について、あらためて厚く謝意を表する次第である。

## 参考文献

- 1) 北河大次郎：“仁杉巖 元土木学会長の設計による橋梁が国の文化財に”土木学会誌 93 巻 9 号, 2008 年 9 月
- 2) 文化庁：“登録有形文化財(建造物)”文化庁ホームページ URL (<http://www.bunka.go.jp/>)
- 3) 仁杉 巖：“支間 30 m のプレストレストコンクリート鉄道橋(信楽線第一大戸川橋梁)の設計・施工およびこれに関連して行った実験研究の報告”土木学会論文集 第 27 号, 1955 年 7 月
- 4) 仁杉 巖, 菅原 操：“PS コンクリート橋梁の施工 信楽線第一大戸川鉄道橋・スパン 30 m”交通技術 102 号, 1955 年
- 5) 菅原 操ほか：“30 年経過した PC 鉄道橋の経年特性について”プレストレストコンクリート Vol.29, No.4 1987 年 7 月
- 6) 土木学会 335 委員会：“構造物表面のコンクリート品質と耐久性能検証システム 研究小委員会成果報告書”土木学会 2008 年 4 月
- 7) 三浦一郎, 菅原 操：“プレストレストコンクリート鋼線の摩擦”鉄道業務研究資料 第 12 巻 7 号, 1955 年 4 月
- 8) 菅原 操：“プレストレストコンクリートのグラウティング”セメントコンクリート, No.95, 1955 年 5 月
- 9) 猪股俊司, 菅原 操：“東京駅 6, 7 番線乗降場プレストレストコンクリート桁試験”鉄道業務研究資料 第 10 巻 11 号, 1953 年 6 月
- 10) 菅原 操：“プレストレストコンクリートのクリープの現場測定”土木学会誌 43 巻 8 号, 1958 年 8 月

【2008 年 7 月 30 日受付】



図書案内

PC技術規準シリーズ

## 複合橋設計施工規準

頒布価格：会員特価 6,000 円(送料 500 円)

：非会員価格 6,825 円(送料 500 円)

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会 編  
技報堂出版