

(42) 草創期におけるPC鉄道橋(光弦橋)の性状調査について

オリエンタル建設(株)東北支店 下村 亘
 オリエンタル建設(株)技術研究所 久松 光世
 オリエンタル建設(株)技術部 ○林下 敦

1. はじめに

我が国にプレストレストコンクリート技術が導入されて約半世紀、その実構造物が建設されて約40年の歳月が経過した。この間、構造物の設計技術および施工技術は進歩し、プレストレストコンクリート(以下PC)の適用も飛躍的に発展してきた。現在ではコンクリート構造物の主役を占めるほど一般化したPC技術であるが、戦中戦後の混乱期において、材料や施工機械の乏しい時代に手探りでPCと取り組まれた先駆者達の苦労は想像に難くない(1)。(7)。

光弦橋は、日本におけるプレストレストコンクリートの草創期というべき昭和28年に建設されたPC鉄道橋である。表-1に草創期におけるPC橋を示すが、本橋はポストテンション方式の鉄道橋としては我が国で2番目に完成した橋梁であろう(5)。(8)。今回、建設後約40年を経過した光弦橋の諸性状を調査したのでその結果を報告する。

2. 光弦橋の概要

光弦橋は東京都府中市に開設されたオリエンタルコンクリート(株)(現オリエンタル建設(株))多摩工場の貨物専用側線が横断する水路上に架かる鉄道橋であり、昭和28年8月に竣工したPC橋である。以来30年近くにわたり鉄道橋としての役割を果たしてきたが、専用側線の廃止と水路の改修により撤去され、橋体は工場内に保存されてきた。

本橋の構造は、写真-1および図-1に示すようであり、橋軸方向に3個のプレキャストブロックを接合した桁6本からなり、直角方向には丸鋼でボルト締めされている。ブロック目地には厚さ2cmのモルタルが使用されている。

PC鋼材は径が5mmのPC鋼線が使用されマニエル(Magnel)工法によりブロック端部に定着されている。マニエル工法の定着具は図-2に示すように、一組の定着具により8本のPC鋼線が緊張定着できる構造となって

表-1 草創期におけるPC橋

橋種	橋梁名	場所	スパンm	竣工	備考
道路	長生橋 泰平橋	石川県	3.3	S27.3	プレテン(1)
		石川県	10.0	S27.11	プレテン(T)
	東十郷橋 石徹白橋	福井県	7.2	S28.5	プレテン-(T)
		福井県	20.2	S28.1*	プレテン-(T)
鉄道	第1中島橋梁 東京駅7.8番橋梁	白新線 東京駅	2.9	S28.9	プレテン(1)
		東京駅	7.5	S28.11	プレテン(1)
	大阪駅線路扛上桁 光弦橋 第1大戸川橋梁	大阪駅	4.9	S28.3	マニエル(1)
		東京都 信楽線	4.2	S28.8	マニエル(日)
		東京都 信楽線	30.0	S29.9	プレテン-(T)
ホーム桁	東京駅6,7番ホーム桁	東京駅	10.0	S27.3	マニエル(T)

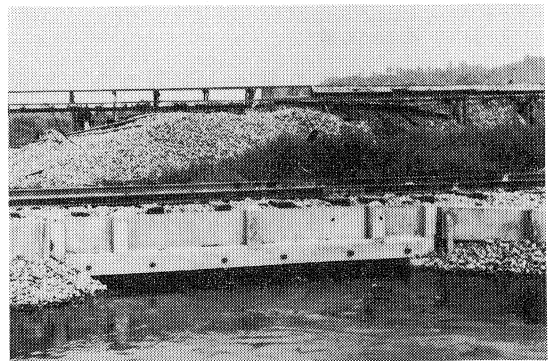


写真-1 竣工時の光弦橋

おり、鋼線 2 本毎にくさび定着されている。本橋では桁 1 本当たり 5 組の定着具、すなわち 40 本の P C 鋼線が配置されている。また、砂利止め部にもプレキャストのコンクリート板が用いられている。

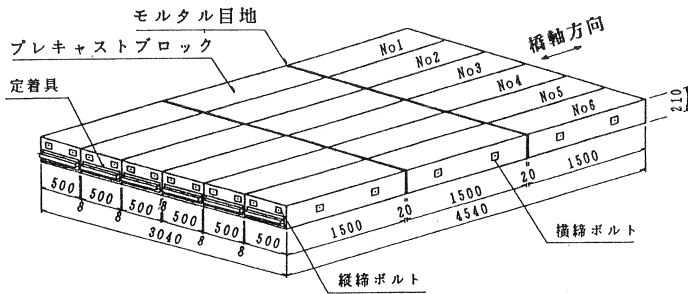


図 - 1 構造寸法

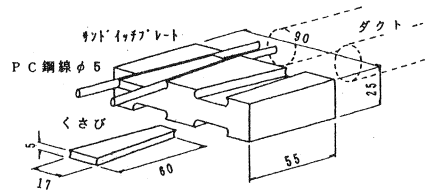


図 - 2 マニエル工法定着具

3. 調査項目

本調査は、P C 先駆者の成果や試みを確認するため、また、約 40 年にわたる P C 橋の経年変化を調べるため以下の調査を行った。

(1) 内部非破壊調査

载荷試験に先立ち、P C 鋼材などの配置確認および P C 鋼材の腐食の程度を把握する目的で、透過 X 線による試験体内部の撮影、自然電位法による腐食電位の測定⁹⁾を行った。

(2) 材料試験

コンクリートについては異なるブロックからコアを採取し、コンクリートの配合分析¹⁰⁾、圧縮強度試験を行い、また、コア採取直後にフェノールフタレイン溶液を塗布し、中性化深さを測定した。P C 鋼材については破壊試験実施後の試験体から P C 鋼線を取り出し、引張試験を行った。

(3) 静的载荷試験

試験は、横締めボルトを取り外して単体としたブロック桁 3 本について行った。荷重は図 - 3 に示す曲げ载荷とし、桁のたわみ、ひずみ、ブロック目地の開きを測定した。主な着目要因は、プレストレスの残留量である。また、3 本の桁のうち、損傷の大きな No.1 桁（橋体撤去時に定着部が一部破損）について破壊試験を実施し、曲げ耐力を測定した。

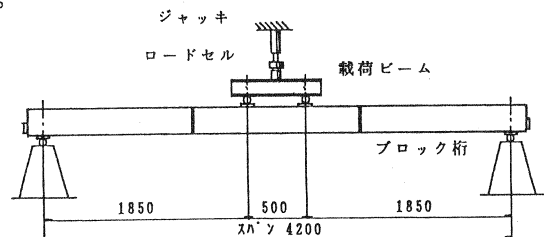


図 - 3 载荷方法

(4) 解体調査

破壊試験実施後のブロック桁を解体し、PC鋼線の腐食状況などを調査した。

4. 調査結果

4.1 内部非破壊調査

透過X線撮影の結果、当時のブロックの製作に関して次のことが確認された。

a) PC鋼線は、ブロック内のダクト(φ16)に4本ずつ収められ、目地部には10cm程度のスリーブが配置されている。金属製のシーシは使用されず、ブロックの型枠内に円形のパイプを配置し、コンクリート打設後に抜き取ってダクトを形成したものと推測される。

b) グラウトは、中央のプレキャストブロックに設けられた鉛直方向のグラウト孔から注入されたものと推測される。図-4に示すように、グラウト孔は1個所に集中しないようにならして配置されている。

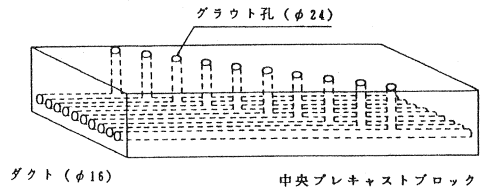


図-4 グラウト孔の配置

c) 中央部のプレキャストブロックにはスターラップなどの鉄筋が全く配置されていないが、支点部のブロックは細径の丸鋼でせん断補強されている。

自然電位の測定によるPC鋼材の腐食状況については、全体的に自然電位値が貴な値(0mv ~ -180mv)を示し安定した状態であることから、全体的な腐食の進展はほとんどないと推定される。ただし、-200mvよりも卑な電位値を示すものが桁1本につき2~3箇所あり、部分的に腐食が進行しているようである。

4.2 材料試験

採取コアによるコンクリートの配合分析結果を表-2に、圧縮強度測定結果を表-3に示す。水セメント比が28%程度、セメント量530(kg/m³)の配合推定からみると圧縮強度がやや低い測定値となっている。強度試験用に採取したコアでは気泡が多く認められ、当時のPC部材にはスランプが0~3cmの超硬練りコンクリートが用いられていたことから⁴⁾、コンクリートの締め固めなどに若干の問題があったものと思われる。

表-2 コンクリート配合分析結果

試料番号	単位容積重量 (kgf/m³)		単位置 (kgf/m³)			水セメント比 w/c (%)
	絶乾	表乾	セメント量	水量	骨材量	
a	2399	2462	522	150	1790	29
b	2401	2463	549	149	1765	27

表-3 コンクリート圧縮強度

試料番号	圧縮強度(kgf/cm²)
a	442
b	432
c	461
平均値	445

コンクリートの中性化深さはいずれも1mm未満の測定結果であり、本橋のコンクリートはほとんど中性化していないといえる。中性化速度式として現在一般的に用いられている岸谷式¹¹⁾に諸値を代入し、中性化深さを算定すると10.7mmとなる。

PC鋼線の引張試験結果を表-4に示す。試験はグラウトが充填されて錆がほとんど認

められない鋼線と、グラウトが不十分で発錆している鋼線の2種類について行った。グラウトが充填された鋼線は、試験値のばらつきが少なく、強度面では現行の規格値をほぼ満たしている。グラウトの無い鋼線は引張強度が大きく低下し、伸びが小さく脆弱な性状を示している。

4.3 静的載荷試験

(1) PC鋼線の有効応力度

ブロック目地部に導入されているプレストレス量は、 π 型ゲージによる目地の開きにより推定する。図-5は、荷重と目地の開きを示したものであり、測定点の勾配が変化する点がプレストレスを相殺する荷重である。この載荷荷重と自重による曲げ応力度からプレストレス量を推定し、また、PC鋼線の応力度に換算すると表-5のようになる。表中の有効鋼線本数は、PC鋼線の腐食状況と破壊試験後の試験体の解体調査から、腐食により破断していないPC鋼線の本数を推定したものである。ブロック製作時の設計図書が保存されていないのでプレストレスの正確な検証はできないが、現行の諸数値でPC鋼線の有効応力度を推定すると $\sigma_{pe} = 80 \sim 85 \text{ (kg/mm}^2\text{)}$ となる。試験により推定されるPC鋼線の有効度は、やや小さいものの当時の施工設備などを考慮すれば概ね満足できる結果である。なお、No1桁の測定値が小さいのは、橋体撤去時に定着具が一部破損しており、目地部ではさらにプレストレスが小さくなったためと考えられる。

(2) ひずみおよび変位

荷重増加に伴うコンクリートのひずみや変位は、ブロック目地が開くまで直線的に増加しており、目地部の開きも大きくないことから、一体化した桁としての挙動を示す。ひずみと変位の測定値からブロック桁の弾性係数を算定すると、それぞれ 4.8×10^5 、 $4.7 \times 10^5 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$ の値が得られた。図-6に破壊試験を行ったNo1桁のたわみ曲線とコンクリートのひずみ曲線を示す。

表-4 PC鋼線の引張試験結果

試料番号		引張強度 (kgf/cm ²)	降伏点 (kgf/cm ²)	弾性係数 (kgf/cm ²)	伸び (%)
グラウト有	a	173	161	18,500	1.5
	b	171	145	19,400	2.5
	c	171	158	18,900	2.0
グラウト無	d	130	-	18,200	0
	e	156	150	18,600	0
	f	156	145	18,600	0.5

注) 伸び0とは絞り切れが無く破断したもの

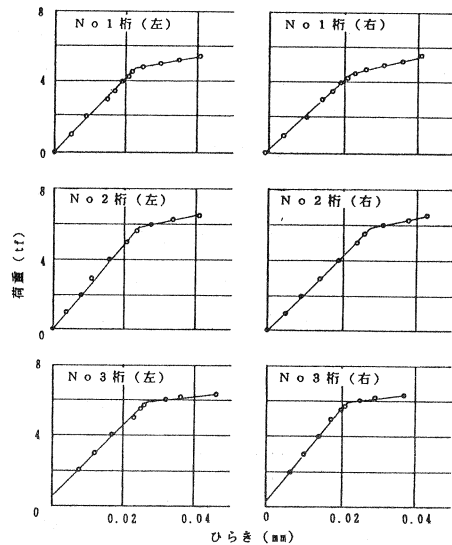


図-5 ブロック目地の開き

表-5 PC鋼線の有効応力度

試験桁番号	目地部開き荷重 (tf)	下縁プレストレス (kgf/cm ²)	有効鋼線本数	鋼線有効応力度 (kgf/cm ²)
No1桁	4.5	96.4	33	73.0
No2桁	5.9	122.1	38	80.3
No3桁	5.8	120.3	38	79.2

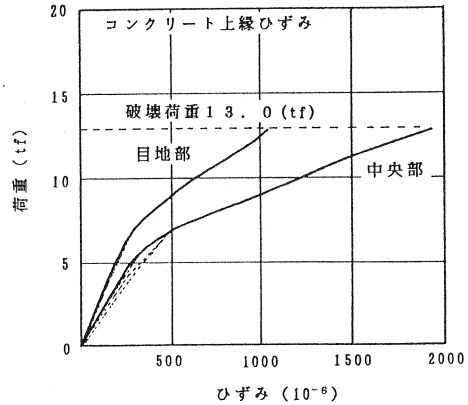
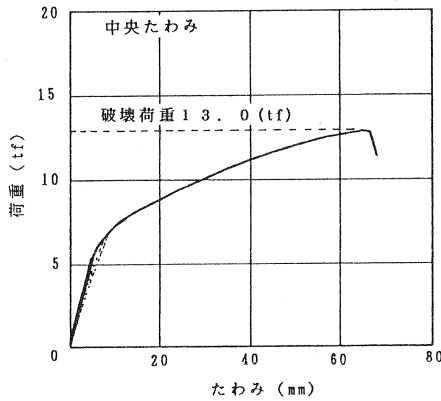


図-6 破壊試験桁のたわみとひずみ

(3) 曲げ耐力

ブロック桁の破壊試験は最も損傷の大きいNo1桁について行った。No1桁の定着部には橋体撤去時のものと思われる破損があり、この位置で8本のPC鋼線が切断されている。ブロック桁の破壊は、写真-2に示すように、載荷スパン内の上縁部コンクリートの圧壊により生じている。ひびわれは、中央部のブロックに分散して発生しており、心配されたブロック目地部での破壊は起こらなかった。これは、グラウトによるPC鋼線の付着や目地部のモルタル強度が十分であり、一体化した桁に近い性状を示したものと考えられる。

破壊荷重は13.0tfとなったが、これに対する計算値は現行の算出式によるとPC鋼線が40本で12.8tf、32本で10.9tfとなる。しかし破壊試験後の解体調査から、健全な鋼線は33本となっており、計算値に比べ大きな耐力を有していることになる。これについては、試算の結果、コンクリート強度やPC鋼線の応力ひずみ曲線の取扱いの差による影響が大きいものと推定された。材料試験で得られた実測の強度とひずみ曲線を用いた破壊荷重の計算値は、12.9tfとなり試験値にほぼ一致する。

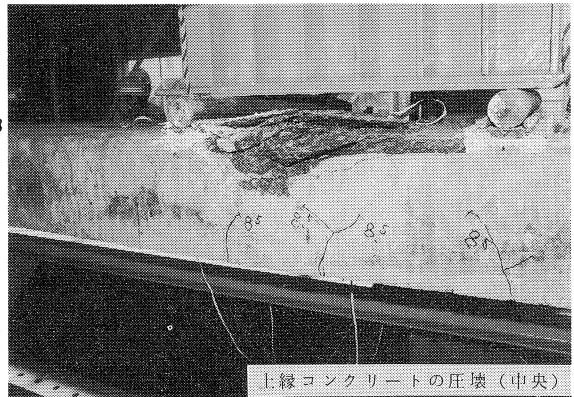


写真-2 破壊状況

4.4 解体調査

ブロック桁の解体調査により、No1桁のPC鋼線は40本のうち7本が腐食破断していることが確認された。これらは何れもグラウトの充填が不十分なダクトに配置されていた鋼線である。破断位置は、定着具付近2箇所、目地付近2箇所、ブロック中間部3箇所となっており、特定の位置に集中していない。グラウトの充填が不十分となった理由は、グラウトポンプなど施工機器の入手が困難であり、注入孔に十分な圧力をかけられなかったためと想像される。また、橋体撤去時に定着部で破断したPC鋼線は、偶然にもグラウト

が充填されたダクトに配置されており、プレストレスは消失せず耐力にも寄与している。あらためて、グラウトの重要性が認識される。

5. おわりに

建設後約40年を経過したPC鉄道橋の調査から、プレストレスコンクリートが我が国で産声をあげた時代におけるPC先駆者達の苦勞の一部を知ることができた。PC橋としての耐荷性能などは、当時の施工機材や材料の未成熟さを考慮すれば十分満足できる性状を示していると考えられる。ただし、今回の調査で判明したPC鋼線の腐食破断などから「施工に関わる不具合は、長い時間の経過において確実に拡大する」ということを再認識させられる。昨今のコンクリート構造物の崩壊事故からも建設技術者の教訓としたい。

また、プレキャストブロックを用いたPC構造物は我が国では普及してないが、PC草創の時期にこれを指向したことには興味深いものがある。現在、建設労働者の不足が深刻な問題となっており、構造物のプレキャスト化に対する期待は高まっている。PC技術者の積年にわたる悲願として、プレキャスト化を推進できる体制の構築が望まれる。

最後に、本調査に御協力頂いた各位に、また、今日のPC発展の基礎を築かれた諸先輩に大いなる謝意を表したい。

参考文献

- 1) 吉田徳次郎他：日本におけるプレストレスコンクリートのルーツ PC創生期を偲ぶ座談会記録，プレストレスコンクリート，Vol.20, No. 1, pp36～51, 1978年2月
- 2) 仁杉巖：鋼弦コンクリート桁の設計法に関する実験的研究，土木学会論文集，第7号 昭和25年11月
- 3) 猪股俊司：プレストレスコンクリート桁に関する研究，土木学会論文集，第17号，昭和28年 8月
- 4) 猪股俊司・菅原操：東京駅6，7番乗降場プレストレスコンクリートけた試験，鉄道業務研究資料，第10巻第11号，1953年6月
- 5) 海上秀太郎：日本におけるプレストレスコンクリートの現況，プレストレスコンクリートと構造力学，土木学会，pp47～56，昭和28年8月
- 6) 吉田直茂・八田一雄：P. S橋を施工して，道路，pp183～186，1954年4月
- 7) プレストレス・コンクリート建設業協会：三十年史，昭和60年3月
- 8) 荘田信彦・阿部源次：プレストレスコンクリート橋，橋梁と基礎，Vol.13, No. 4, pp16～24, 1979年4月
- 9) 福川義明・財津寿太：自然電位法によるコンクリート中の鉄筋腐食度の推定，コンクリート構造物の耐久性診断に関するシンポジウム論文集，コンクリート工学協会，pp73～78，1988年5月
- 10) コンクリート専門委員会：硬化コンクリートの配合推定について，セメント・コンクリート，No. 251, pp3～8, 1968年1月
- 11) 岸谷孝一他：コンクリート構造物の耐久性シリーズ 中性化，技報堂出版，pp36, 1986年8月