報告　撤去した施工後約 40 年を経過したプレテンション PC 桁の調査結果および載荷試験に関する報告

佐々木　尚美[*1]・小林　薫[*2]・杉崎　向秀[*3]・鈴木　雄大[*4]

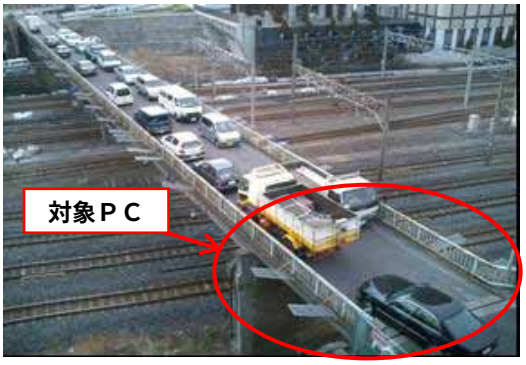
要旨：道路の架け替え工事に伴い，施工後，40 年以上経過したこ線道路橋であるプレテンションＰＣ桁（Ｉ桁 18 主桁，桁長 7.75m）を撤去した。そこで，撤去した旧ＰＣ桁について，撤去前後の状況確認・横締めＰＣ鋼棒シース内のグラウト充填状況・ジャンカ等の状況確認・主桁の曲げ載荷試験をおこなったので，その内容を報告する。

キーワード：PC 桁，グラウト充填，40 年経過，

1. はじめに

撤去したこ線道路橋は，1961 年（昭和 36 年）に施工されたＰＣ橋４主桁（Ｔ桁，桁長 27.30m×2 連，32.95m×１連），および 1967 年（昭和 42 年）に施工されたプレテンションＰＣ橋 18 主桁（Ｉ桁，桁長 7.75m×1 連）からなり，完成から 40 年以上が経過している（**写真－１**）。

今回調査した桁は，写真に示す箇所の１径間（桁長 7.75m×1 連）の桁であり，横締めＰＣ鋼棒のシースグラウト充填状況および桁のコンクリート充填状況の確認，主桁の曲げ載荷試験を実施したので，その結果を報告する。



写真－1　撤去前の旧こ線道路橋

2. 昭和 20～30 年代のＰＣ技術

ＰＣ橋梁が施工されはじめた昭和 20～30 年代におけるＰＣ橋梁の技術的背景について，以下に記す。

日本で最初に施工されたＰＣ橋は，石川県七尾市を流れる御祓川に架けられた長生橋（昭和 26 年竣功）である。長生橋は，プレテンション方式のスラブ橋で，橋長 10.60m，桁長 3.84mの３径間単純合成床版橋であったが，河川改修に伴い，平成 13 年 9 月に撤去された [1)]。また，その後の昭和 28 年には，ＰＣグラウトを伴うポストテンション方式の道路橋として最初に造られた，十郷橋（桁長 7.35mの単純Ｔ桁橋）が福井県坂井郡東十郷村（坂井町）に施工された。

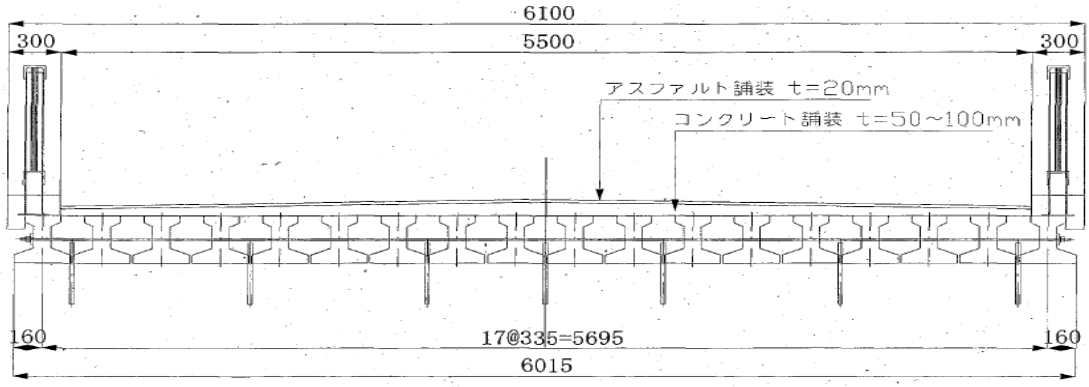
一方，鉄道橋では，昭和 26 年に国鉄からＰＣ枕木が発注されたことがプレテンションの実用化につながり，昭和 27 年に東京駅のプラットホームにポストテンションＰＣ桁が採用され，昭和 28 年には，大阪駅構内にスパン 4.9mのポストテンションＰＣ桁が鉄道橋として初めて施工された。そして，昭和 29 年に，信楽高原鉄道の第一大戸川橋梁（桁長 30m）が最初の本格的なＰＣ鉄道橋として施工された [2)]。

ＰＣの設計施工基準としては，昭和 30 年に土木学会において「プレストレストコンクリート設計施工指針」が制定された。しかし，ＰＣグラウトに関しては「グラウトは十分にＰＣ鋼線をつつみ，かつ確実に付着するものでなければならない」という条項とその解説のみであった．そこで，北海道土木技術会ＰＣ研究委員会では，昭和 32 年 3 月に，最初のＰＣグラウト指針を制定，昭和 34 年 2 月に改正版のＰＣグラウト注入施工指針を制定した [3)]。

その後，土木学会においても，ポストテンション方式のＰＣグラウトに関する品質，施工方法，試験方法について，昭和 36 年の「プレストレストコンクリート設計施工指針 [4)]」改定時に，ＰＣグラウト指針案とＰＣグラウト試験方法について新たに追加された。

また，当時のグラウトに関しては，文献 [5)]によると，「ポストテンション方式の初期のグラウトでは，グラウト材に膨張性を持たせて，ブリージング水を押し出してシース内に空洞が残らないようにする考え方であった」とある。しかし，実際には，グラウトのシース内での閉塞やブリージング水による未充填箇所が発生していたようである。

*1･4 東日本旅客鉄道㈱　ＪＲ東日本研究開発センター　フロンティアサービス研究所　(正会員)
*2　東日本旅客鉄道㈱　ＪＲ東日本研究開発センター　フロンティアサービス研究所　博（工）　(正会員)
*3　東日本旅客鉄道㈱　東京工事事務所　立体交差　(正会員)



図－１　ＰＣ桁断面図

3. 調査対象プレテンションＰＣ桁の概要

今回，調査対象としたＰＣ桁の断面図を**図－１**に示す。橋の道路幅員は 5.5m（2.75m×２車線）で，歩道部は無く，両側に高欄が設置されていた。この桁は，プレテンション方式ＰＣ桁 18 主桁（I 型，桁長＝7.75m）をＰＣ鋼棒で横締めした単純床版桁構造であった。

3.1 設計条件

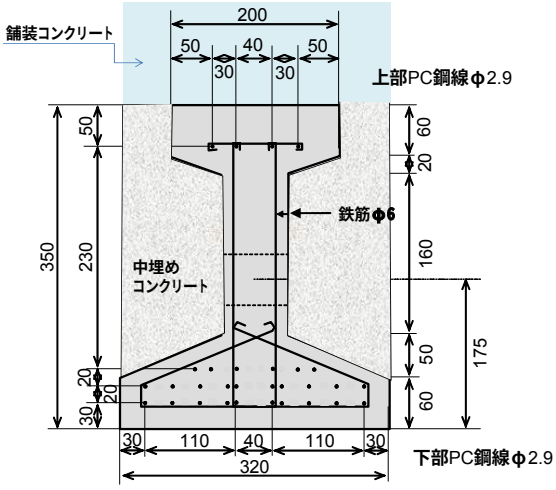
対象プレテンションＰＣ桁の設計条件について，**表－１**に示す。桁のコンクリート強度は 50 N/mm^2，中埋めコンクリートは，30 N/mm^2，主筋には，ＰＣ鋼線２本より線φ2.9mm，横締めにはＰＣ鋼棒φ16 が使用されていた。

表－１　設計条件

設　計　条　件		
PC 桁のコンクリート	圧縮強度 σ_{28}	50N/mm^2
PC 鋼線φ2.9　２本より	引張強度 σ_{pu}	195 N/mm^2
	降伏応力度 σ_{py}	165 N/mm^2
	引張応力度（初期）	132 N/mm^2
	（有効）	106 N/mm^2
PC 鋼棒　φ16	引張強度 σ_{pu}	90 N/mm^2
	降伏応力度 σ_{py}	80 N/mm^2
中埋めコンクリート	圧縮強度 σ_{28}	30 N/mm^2

3.2 桁断面図

つぎに，財産図および調査結果より得られた，桁の断面詳細について，**図－２**に示す。断面形状はＩ型断面で，主筋は上部・下部ともＰＣ鋼線２本より線φ2.9mm（ＳＷＰＣ２：現ＳＷＰＲ２）を用い，圧縮側４本，引張側 26 本（３段：6，10，10 本）配置，せん断補強鉄筋はφ６mm の丸鋼が 250mm ピッチで配置されていた。また，主桁間は中埋めコンクリートで充填され，桁上面は，厚さ 100mm 程度のコンクリートで，舗装されていた。



図－２　桁断面図

4. 桁の状況確認

4.1 撤去後の状況

はじめに，現地でＰＣ桁を撤去した状態について，**写真－２～５**に示す。**写真－２，３**に示すとおり，橋脚および橋台の沓座部については，コンクリート角部の欠けはあるものの，大きな経年劣化は見られなかった。また，**写真－４，５**に示すように，ＰＣ桁本体についても，桁下端の断面欠損や表面に骨材が見えている箇所もあったが，大きな劣化は確認できなかった。

写真－２　橋脚　沓座（固定側）

写真－３　橋台　沓座（可動側）

写真－４　撤去したＰＣ桁全体

写真－５　桁端部の状況

4.2 横締めＰＣ鋼棒シースグラウト状況

(1) 状況写真

現地にて旧桁を撤去した後，主桁１本ずつに切断し，その状況を調査した。なお，調査した主桁の配置位置は，18 主桁のうち，端部ではなく中央に位置する３本の主桁とした。これにより，桁中央付近における横締めＰＣ鋼棒シースのグラウト充填状況を確認することができた。その主な写真について，**写真－６～８**に示す。**写真－６**は，シースの上部に空隙もなく，しっかり充填されている箇所である。**写真－７**は，シース上部から最大 10mm 程度の空隙があった箇所である。**写真－８**は，上部から８mm 程度の空隙があり，さらに，シースの周りにジャンカが確認された箇所である。このジャンカは，中埋めコンクリート部に発生していたものであるが，中埋めコンクリートに関しては，一部を除いてほぼきれいに充填されていた。

写真－６　グラウト充填状況（その１）

写真－７　グラウト充填状況（その２）

写真－８　グラウト充填状況（その３）

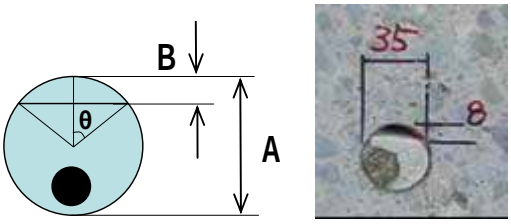
表－２　グラウト空隙率

桁号	桁端部からの位置(mm)	左				右			
		A (mm)	B (mm)	空隙面積(mm²)	空隙率（%）	A (mm)	B (mm)	空隙面積(mm²)	空隙率（%）
1	380	35	6	109.77	11.4	35	6	109.77	11.4
2	1,280	35	26	766.41	79.7	35	8	165.70	17.2
3	1,880	35	0	0.00	0.0	35	0	0.00	0.0
4	2,380	35	7	136.98	14.2	35	7	136.98	14.2
5	2,880	35	7	136.98	14.2	35	0	0.00	0.0
6	3,280	35	15	393.85	40.9	35	7	136.98	14.2
7	3,680	35	9	195.71	20.3	35	7	136.98	14.2
8	4,080	35	21	602.73	62.6	35	32	922.20	95.9
9	4,480	35	14	359.38	37.4	35	10	226.83	23.6
10	4,880	35	10	226.83	23.6	35	8	165.70	17.2
11	5,380	35	14	359.38	37.4	35	8	165.70	17.2
12	5,880	35	13	325.31	33.8	35	8	165.70	17.2
13	6,480	35	11	258.90	26.9	35	8	165.70	17.2
14	7,380	35	35	962.11	100.0	35	32	922.20	95.9
				平均	35.9			平均	25.4

：この箇所は，桁切断時にシース内のグラウトが欠落した可能性あり。

(2)**グラウト空隙率**

１本の主桁における横締めＰＣ鋼棒シース内径（**A**）とシース上縁からの空隙寸法（**B**）を計測（**図－３**参照）することにより，シース内径断面におけるグラウト未充填部の割合（空隙面積）を求め，「空隙率」として算出した。



図－３　シースグラウト空隙計測箇所

計測にあたっては，桁の両側面（切断面）について，桁端部からの位置とその両側面（左右面）にて計測をおこなった。計測結果を**表－２**に示す。表に示すように，空隙率は２０～３０％程度のものがほとんどであり，空隙率０％は３箇所のみであった。また，桁両側面に空隙があるものと片側のみ空隙がある箇所とが存在した。そして，桁左右面それぞれの平均値は，35.9%，25.4%であり，左右面の平均空隙率は，30.6%であった。これらのことから，グラウトが隙間なく充填されている箇所は少なく，ほとんどの箇所で空隙が認められた。なお，空隙率が 100%に近い値を示した箇所も存在したが，これらは，桁の切断時に，シース内のグラウトが欠落したものと思われる。

4.3　桁の経年劣化

対象ＰＣ桁の撤去前の変状確認においては，

・桁表面の舗装にひび割れが発生し，剥離

・地覆の鉄筋露出

・排水枡の土砂詰まり

・高欄に発錆，小さい変形，破損

などが確認され，桁については，桁下面がススで黒くなっている以外は，特に変状は見られなかった。また，下部工についても，同様であった。

ここで，撤去した桁の表面に，フェノールフタレイン溶液を噴射した結果を，**写真－９，10** に示す。写真に示すように，断面欠損している箇所を中心に確認したところ，赤色が呈され，中性化領域はほとんど存在しなかった。

写真－９　桁側面　下側

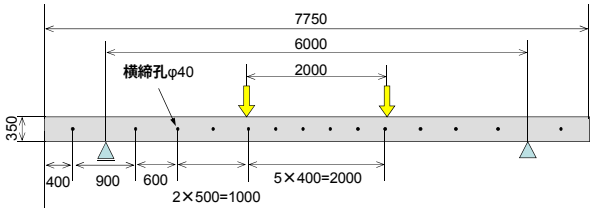
写真－10　桁端部　下側

5. 曲げ載荷試験

今回の試験では，現状の耐力の確認を目的として，１主桁ごとの曲げ載荷試験をおこなった。対象桁である 18 主桁のうち，３本の主桁について，曲げ載荷試験を実施した。試験概要について以下に示す。

5.1 試験方法

２本の主桁における曲げ試験は，**図－４**に示すような載荷位置および支点位置で行った。２本の主桁のうち１体は桁上面の舗装を撤去したもの，もう１体は桁上面の舗装をそのまま残した状態のもので試験をおこなった。どちらも，せん断スパンは 2.0mとした。



図－４　曲げ試験方法

5.2 破壊荷重の計算

ここで，主桁１本あたりの破壊荷重について，コンクリート構造物設計標準 [6]の設計式を用い，計算により求めた。その結果を**表－３**に示す。なお，中埋めコンクリートを考慮した断面については，コンクリート強度の平均値をとって 40N/mm^2 として算出した。

表－３　破壊荷重の計算値

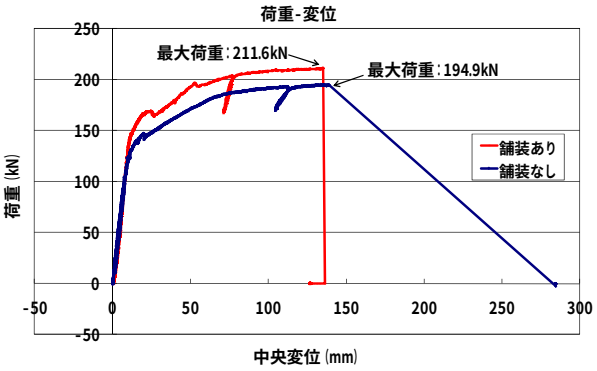
（kN）	主桁断面のみ考慮		中埋め コンクリート考慮	
ＰＣ許容応力度	A	A’	B	B’
曲げ耐力から算出したＰ$_u$	211.9	528.8	225.3	657.7

A，B ：[PC 許容応力]＝（0.93×PC 引張強度）－（初期プレストレス）

A’, B’：[PC 許容応力]＝（0.93×PC 引張強度）

5.3 破壊荷重

曲げ載荷試験結果の荷重－変位曲線を**図－５**に示す。図に示すように，最大荷重は，表面の舗装を残したままのもの（舗装あり）で 211.6 kN，表面の舗装を撤去したもの（舗装なし）で 194.9kN であった。**表－３**の計算結果Ａ，Ｂの曲げ耐力から算出したＰu と比較して，0.87～1.00 程度の値となった。

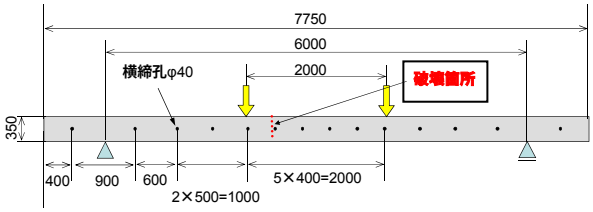


図－５　試験結果

5.4 破壊形状

はじめに，桁表面の「舗装なし」の主桁について述べる。載荷試験の過程において，中埋めコンクリートにより桁が覆われているため，桁本体のひび割れについては確認はできなかったが，中埋めコンクリートに発生したひび割れは，曲げひび割れのみであった。その後，主筋が破断し破壊に至ったが，等曲げ区間の破壊（**図－６**参照）であることから，曲げ破壊したと思われる。破壊面について**写真－11** に，破壊状況について**写真－12** に示す。

つぎに，「舗装あり」の主桁であるが，荷重を増加させるにつれ，上面の舗装が完全に分離し，最終的には，等曲げ区間で破壊した（**写真－13**）。



図－６　破壊箇所

写真－11　破壊面（舗装なし）

写真－12　破壊状況（舗装なし）

写真－13　破壊状況（舗装あり）

３本目の桁については，せん断スパンを 1.0m（a/d＝3 程度）として，載荷試験をおこなった。その破壊形状と破壊面について，**写真－14，15** に示す。この主桁も，等曲げ区間内での破壊であった。また，**写真－15** に示すように，横締めＰＣ鋼棒のシース表面には，錆もなく，桁のコンクリートは空隙などもなく充填されていた。

試験後，コンクリートをはつり，桁の配筋状況を確認した。その写真を**写真－16** に示す。実際の桁は，財産図どおりの鋼材が配置されていたことを確認した。

6. まとめ

施工後，約 40 年経過したプレテンションＰＣ桁について，以下のことを確認した。

- 撤去後の状況確認では，桁の大きな経年劣化は確認できなかった。
- 中埋めコンクリートは，密実に充填されており，ジャンカ等は，シースの周りに一部認められた。
- １本の主桁における横締めＰＣ鋼線グラウトの充填状況を確認したところ，調査箇所 28 か所における平均空隙率は，30.6%であった。
- 桁コンクリートは密実で，中性化の進行はほとんどなかった。
- ３本の主桁の曲げ載荷試験における破壊形状は，主筋であるＰＣ鋼線が破断し，すべて等曲げ区間における曲げ破壊であった。

今回，材料試験をおこなうことができなかったことが残念である。

写真－14　破壊状況（せん断スパン 1.0m）

写真－15　破壊断面（せん断スパン 1.0m）

写真－16　桁の配筋状況

参考文献

1) 西垣義彦，小門前亮一，奥田由法，鳥居和之：日本最初のＰＣ橋－長生橋の耐久性調査，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.2，pp.607-621，2002
2) 石橋忠良：鉄道におけるＰＣの歴史，プレストレストコンクリート，Vol.51，No.1，2009
3) 北海道土木技術会：会報　No.30，p42，2004,12,1
4) 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，土木学会，1961.8
5) ㈱昭和土木設計　ＰＣ橋梁の変遷について：http://www.showacd.co.jp/03information/info/BackNumber/info_0911
6) 鉄道構造物等設計標準・同解説　コンクリート構造物，2004,4