

# 報告 38 年間供用したプレストレストコンクリート桁の耐久性および耐荷性に関する調査

二井谷 教治<sup>\*1</sup>・中村 雅之<sup>\*2</sup>・辻 幸和<sup>\*3</sup>・水田 敦<sup>\*4</sup>

**要旨**：跨線橋の一部として 38 年間にわたって供用されてきたポストテンション方式のプレストレストコンクリート（以下 PC）桁について、耐久性および耐荷性に関する各種調査を行った。桁から取り出した PC 鋼材を調査した結果、シーす内にはグラウトが十分に充填されており、PC 鋼材はほとんど腐食もなく健全な状態であった。また、上縁定着された PC 鋼材の定着部を人為的に損傷させた場合でも、損傷のない場合に比べて曲げ耐力の低下はなく、PC 桁は 38 年間供用後の現在でも十分な耐荷力を有していることが確認された。

**キーワード**：プレストレストコンクリート、橋梁、耐久性、耐荷性、曲げ耐力

## 1. はじめに

環境に対する適切な配慮の元に設計が行われ、十分な品質管理のもとに施工された PC 橋は、本来耐久性のきわめて高い構造物である。ところが、わが国において PC 橋が建設されるようになってからこれまで約 50 年が経過し、中には比較的早期に対策の必要となる橋梁も報告されている。今回、跨線橋として 38 年間供用された PC 桁について、その耐久性および耐荷性に関して調査する機会を得たので報告する。



写真－1 撤去作業中の太田跨線橋

## 2. 調査桁の概要

(側径間北 1 径間)

### 2.1 橋梁の概要

調査対象とした橋梁の諸元を以下に示す。

- ・橋 梁 名：国道 407 号太田跨線橋
- ・架設位置：群馬県太田市東本町～新井町
- ・構造種別：12 径間 PC 道路橋
- ・構造形式：ポストテンション方式単純中空床版橋（跨線部 1 径間）  
ポストテンション方式単純 T 桁橋（側径間南 5 径間＋北 5 径間）  
プレテンション方式単純床版橋

- ・橋 長：185.8m
- ・支 間：14.3m×5＋25.0m×1＋14.3m×5  
＋9.6m×1

本橋梁は、国道 407 号に架かる橋梁で、東武鉄道伊勢崎線をまたぐ跨線橋である。現在進められている東武鉄道の高架化に伴ない、1966 年～2004 年の供用を終えて撤去されることとなった。写真－1 に撤去作業中の橋梁を示す。

### 2.2 PC 桁の概要

調査を行った桁は、側径間より撤去されたゴ

\*1 オリエンタル建設（株） 技術研究所主任研究員 工修（正会員）

\*2 オリエンタル建設（株） 本社第一技術部主任研究員（正会員）

\*3 群馬大学 工学部建設工学科教授 工博（正会員）

\*4 オリエンタル建設（株） 東京支店技術部

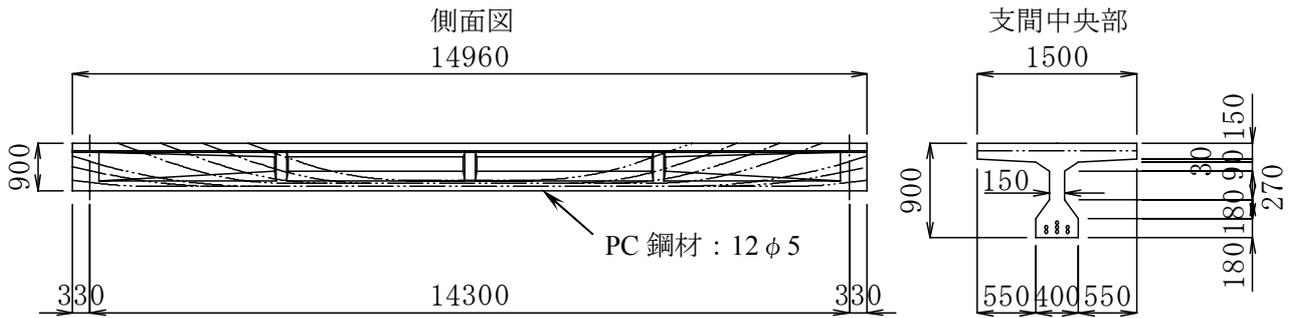


図-1 主桁の形状寸法

ストレッチ方式 PCT 桁のうち、無作為に抽出した 2 本である。桁の諸元を以下に示し、形状寸法を図-1 に示す。

- ・寸法：桁長 14.96m，桁高 0.90m
- ・PC 鋼材：12φ5（主方向および横方向）
- ・定着工法：フレシナー工法

PC 鋼材は、主方向および横方向とも PC 鋼線 12φ5 である。主方向 PC 鋼材は全 7 ケーブルあり、そのうち 3 ケーブルが端部定着、4 ケーブルが上縁定着されている。横方向 PC 鋼材のうち床版横締めは、800mm 間隔で配置されている。

### 3. コンクリートに関する調査

#### 3.1 外観状況

調査に先立ち、桁の床版面のコンクリート舗装と横桁および間詰部の場所打ちコンクリートを除去した。その後、桁の表面状態などの外観調査を行った。コンクリート表面は、排気ガスやほこりなどによると思われる汚れは見られたものの、水洗いにより除去でき、ひび割れ、錆汁などの損傷や劣化の兆候および異常はまったく見られなかった。

#### 3.2 強度特性値

曲げ載荷試験に影響のないと思われる範囲のウェブおよび上フランジ部から、コンクリートドリルによりコア供試体を合計 12 本採取し、圧縮強度、引張強度、弾性係数ならびに後述する配合推定、中性化深さ、塩分含有量試験を行った。コア供試体の寸法は、直径が約 100mm で長さは 150~160mm 程度である。

表-1 に試験結果の一覧を示す。各試験値は

表-1 コンクリートの強度特性値

| 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 弾性係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) |
|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 61.5                         | 3.40                         | 40.2                          |

供試体 3 本の平均値である。

コアの採取および圧縮試験は、JIS A 1107 に準じて行った。桁の部材寸法の制約から、コア供試体の高さとの比が 1.9 より小さくなるをえなかったため、補正係数を乗じて強度の換算を行った。桁に使用されたコンクリートの圧縮強度は 61.5N/mm<sup>2</sup> であった。建設当時の設計基準強度は 40Nmm<sup>2</sup> 程度と推測され、約 1.5 倍の高強度であった。引張強度試験は JIS A 1113 を準用して行った。試験結果が圧縮強度に比較して小さくなったのは、コア供試体を用いて割裂試験を行ったことが一因であると考えられる。弾性係数は、40.2 kN/mm<sup>2</sup> と若干大きめではあるが、圧縮強度からほぼ妥当な値であると考えられる。

#### 3.3 配合推定

コア供試体を用いて、桁に用いられたコンクリートの配合推定を行った。セメント協会配合推定法による推定結果を表-2 に示す。実施工に用いられたセメントの種類やその他の材料、

表-2 コンクリートの配合推定

| 単位容積質量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) |      | 単位量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) |     |      | 水セメント比<br>(%) |
|--------------------------------|------|-----------------------------|-----|------|---------------|
| 絶乾                             | 表乾   | セメント                        | 水   | 骨材   |               |
| 2348                           | 2453 | 370                         | 137 | 1945 | 37            |

配合などは不明であるが、単位容積質量、各材料の単位量および水セメント比は、現在使用されている一般的な PC 橋用のコンクリートと比べてもほぼ妥当な値である。圧縮強度の試験結果と考え合わせると、比較的スランプの小さいコンクリートが、入念に締固め施工されたものと思われる。

### 3.4 中性化深さとかぶり

コア供試体を割裂した面を利用して中性化深さを測定した。試料採取位置は上フランジ部およびウェブ部とし、フェノールフタレイン法を用いた。測定結果および岸谷式<sup>1)</sup>による推定値を表-3に示す。なお、セメントは普通ポルトランドセメント、骨材は川砂・川砂利と仮定し、桁は供用開始以前の1964年頃に製造された記録があるため、材齢は40年とした。上フランジの上縁側は、コンクリート舗装が施工されていたため、外気との接触がほとんどなく中性化がまったく進んでいない。その他の外気と接触している面では、12mm程度中性化が進んでいた。推定値に比べて大きい値であった。原因は不明であるが、桁製作時に使用された離型剤の作用などにより、コンクリート表面が若干粗な状態に

なったことが一因ではないかと思われる。

ここで注目すべきは、中性化とかぶりと鉄筋腐食との関係である。詳細な設計図書が残っていないため確かではないが、曲げ載荷試験終了後に桁断面を切断して調査した結果、スターラップに対する設計かぶりは30mm程度であったと考えられる。かぶりを数箇所調査したところ、施工誤差によってかなり小さい箇所も確認された。さらに、図-2に示すように、上フランジ張出し部下縁側には、矩形の水切りが設けてあり、かぶりがほとんどない状態であった。この水切り部分から3箇所コア採取を行い、中性化深さを調査した結果の例が図-2の写真である。水切り部分では、完全に鋼材位置まで中性化が進んでいたが、写真に見られるように、スターラップには部分的な表面腐食が観測されただけで、ほとんど健全な状態であった。ちなみに、水切り部以外でもかぶりのかなり小さい部分があり、同様に調査した結果、いずれも鋼材位置まで中性化が進んでいても、鋼材は部分的な表面腐食にとどまっていた。桁表面は水分の供給のない状態に保たれ、その結果鋼材の腐食が進行しなかったのではないかと考えられる。なお、スターラップにはφ9mmの丸鋼が使用されていた。

表-3 中性化深さ測定結果

| 測定位置  | 中性化深さ(mm) |     |     |
|-------|-----------|-----|-----|
|       |           | 測定値 | 推定値 |
| 上フランジ | 上縁        | 0   | 1.4 |
|       | 下縁        | 11  |     |
| ウェブ   | 右側        | 13  |     |
|       | 左側        | 13  |     |

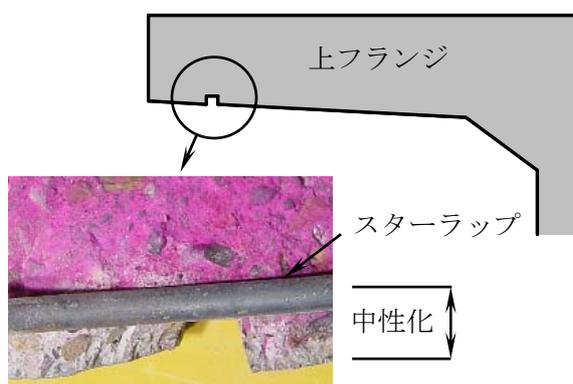


図-2 水切り部の中性化状況

### 3.5 塩分含有量

調査対象橋梁は内陸の市街地に位置し、飛来塩分はほとんど考えられないが、初期内在塩分量を把握する目的もあり、コア供試体により塩分含有量の測定を行った。ウェブより採取した長さ150mmの試料を30mmごとにスライスし、JIS A 1154「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」に準じて測定を行った。

測定結果を図-3に示す。横軸は左側表面からの距離で示してあり、したがって軸の両端がウェブのコンクリート表面ということになる。分析結果より、表面に近い部分では、内部より塩化物イオン量が多くなっているのがわかる。したがって、外部から微量の塩分が浸透してきたと考えられる。いずれにしても、表面でも

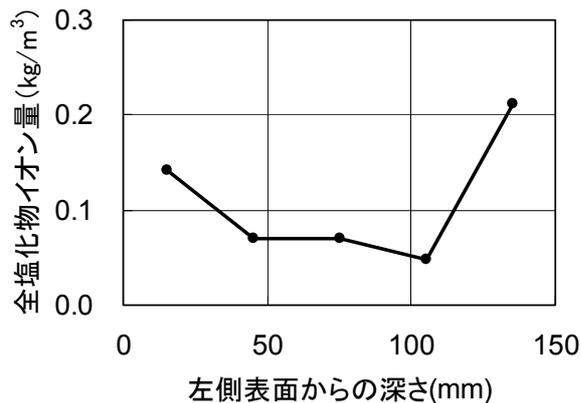


図-3 塩化物イオン量の分布

0.3kg/m<sup>3</sup>程度以下であり、施工時にコンクリートに含まれていた塩分量および外部から浸透してきた塩分量ともごく微量であり、鋼材腐食に関してもまったく問題のない量である。

#### 4. PC 鋼材に関する調査

##### 4.1 外観状況

曲げ載荷試験が終了した桁について、PC 鋼材の曲上げ配置部分を含む 1m 区間（桁端部から 3m~4m の区間）にわたって切り出し、PC 鋼材全 7 ケーブルを取り出して外観調査、グラウト充填調査および PC 鋼材の機械的性質の調査を行った。なお、グラウト充填調査については後述する。

桁から取り出したシースの表面は、製造したばかりの新製品と同程度の光沢があり、40 年あまり経過しているとは思えないほどの非常に健全な状態であった。PC 鋼材の表面状況については、PC 鋼材どうしのわずかな隙間部分や、きわめてわずかなグラウトの空隙部分を除き、ほとんど腐食のない健全な状態であった。また、ごく一部の腐食部分についても、表面だけの薄い錆のみであった。

##### 4.2 機械的性質

調査桁から取り出した PC 鋼材を試料として、機械的性質の測定を行った。引張強度などの測定は、JIS Z 2241 に準じて行った。

測定結果を表-4 に示す。施工当時に使用された PC 鋼材の規格は定かでないが、現在の PC

表-4 PC 鋼材の機械的性質の試験結果

|     | 降伏強度<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | 引張強度<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | 弾性係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | 伸び<br>(%) |
|-----|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------|
| 規格値 | 1.40以上                        | 1.60以上                        | 200                           | 4.0以上     |
| 実測値 | 1.60                          | 1.80                          | 214                           | 10.4      |

鋼線φ5、SWPR1A に相当するものと仮定し、現行の規格値と試験値とを比較する。表-4 から明らかなように、現在の PC 鋼線の規格値と比較してもまったく遜色なく、健全な耐力を有していることがわかる。

#### 5. グラウト充填調査

ポストテンション方式の PC 構造物にとって、PC 鋼材のダクトと PC 鋼材の間に充填されるグラウトは、最も重要な要素のひとつであるといえる。そこで、曲げ載荷試験が終了した桁を利用して、グラウトの充填状況を調査した。

まず、ワイヤーソーを用いて桁を数断面で切断し、切断面での状況を調査した。全断面ともシース内にグラウトが完全に充填されていた。

次に、切り出した桁の 1m 区間にわたって PC 鋼材を取り出し、グラウト充填状況の調査を行った。シースの切断面におけるグラウトの充填状況を写真-2 に示し、シース内のグラウト充填状況の例を写真-3 に示す。シース内部を調査した結果、シースの上縁側にわずかな空隙が確認できる箇所もあったが、取り出したケーブル全数の全長にわたって、ほぼ完全なグラウトの充填状況が確認できた。

PC 鋼材のグラウトを充填する場合に注意を要する箇所として、PC 鋼材端部の定着具付近が挙げられる。特に、調査した桁のように上縁定着が行われているケーブルでは、当時のグラウト材料の品質を考え合わせれば、ブリーディングの影響を受けやすい箇所でもあるため注意が必要である。今回の調査では、上縁定着部もコアを採取して調査したところ、定着具のコア内部まで十分にグラウトが充填されていることが確認された。



写真-2 切断面のグラウトの充填状況



写真-3 シース内のグラウトの充填状況

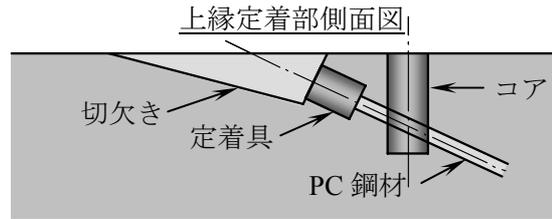


図-4 上縁定着部の切断概要

した場合、PC 鋼材の腐食が懸念されるため、構造的な弱点となる可能性がある。そこで、2本の荷重桁のうち1本について、上縁定着されている4ケーブルの片側すべてを人為的に切断し、切断しない通常の桁と曲げ耐力を比較することによって、その影響を検討することとした。切断方法は、図-4に示すように定着具背面をコア抜きすることによって行った。以降、上縁定着部を人為的に切断した桁を欠損桁、切断を行っていない桁を普通桁とよぶ。

## 6. 曲げ荷重試験

### 6.1 試験の概要

38年間供用されてきたPC桁の耐荷性能を確認するため、曲げ荷重試験を行った。桁は支間が13.8mの単純支持とし、荷重支間が1.8mの対称二点荷重とした。荷重は1000kNアクチュエータを用いて支間中央部に荷重し、ひび割れ性状、コンクリートのひずみ、桁のたわみなどを測定した。荷重パターンは次のとおりである。まず、曲げひび割れが発生するまで荷重を増加した後、一旦除荷する。次に、一旦閉じたひび割れが再度開くまで荷重を増加した後、ふたたび除荷する。最後に、曲げ破壊するまで荷重を増加する。荷重試験は桁2本について行った。

図-1に示したように、荷重を行ったPC桁の主方向PC鋼材は、7ケーブルのうち4ケーブルが上縁定着されている。一般に上縁定着部は、図-4に示すように、PC鋼材を定着するため、コンクリートに切欠きが設けられ、定着後にあと埋めコンクリートが施工される。この切欠き部は、桁の既設コンクリートとあと埋めコンクリートとの打継ぎ面に、路面からの雨水が浸入

### 6.2 プレストレスの推定

調査対象の橋梁については、詳細な設計図書が見当たらないため、設計有効プレストレスが不明である。そこで、まず桁の有効プレストレスを推定することとした。推定方法は、処女荷重時にひび割れが発生したときの荷重とコンクリートの引張強度とから、計算で求めることとした。さらに、1回目の除荷後にひび割れ発生位置にパイ型変位計を取り付け、一旦閉じたひび割れが再度開き始めるときの荷重からも、推定した有効プレストレスの妥当性を検証した。結果の集計を曲げ耐力とあわせて表-5に示す。表中のひび割れに関する推定値は、PC鋼材の有効プレストレスを普通桁のひび割れ発生荷重から逆算し $672\text{N/mm}^2$ と仮定して計算した値である。SWPR1Aの降伏強度規格値の約50%であり、今日の一般的な設計と比べて低めの値であった。

表-5 荷重の集計

|     | ひび割れ発生荷重(kN) |     | ひび割れ再開荷重(kN) |     | 曲げ耐力(kN) |     |
|-----|--------------|-----|--------------|-----|----------|-----|
|     | 推定値          | 実験値 | 推定値          | 実験値 | 推定値      | 実験値 |
| 普通桁 | 227          | 220 | 154          | 150 | 648      | 713 |
| 欠損桁 |              | 220 |              | 160 |          | 702 |

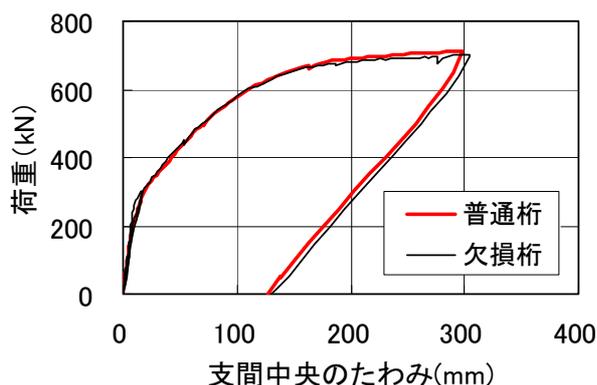


図-5 荷重-たわみ関係

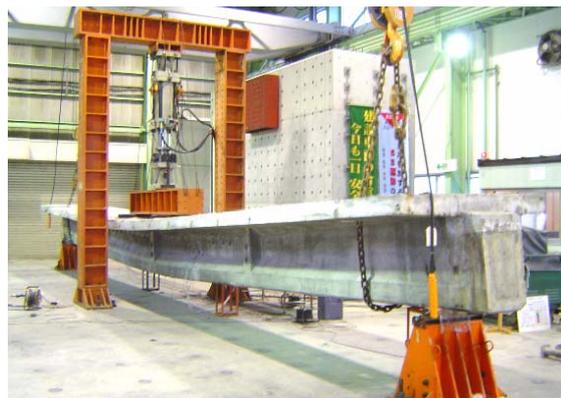


写真-4 曲げ載荷試験状況

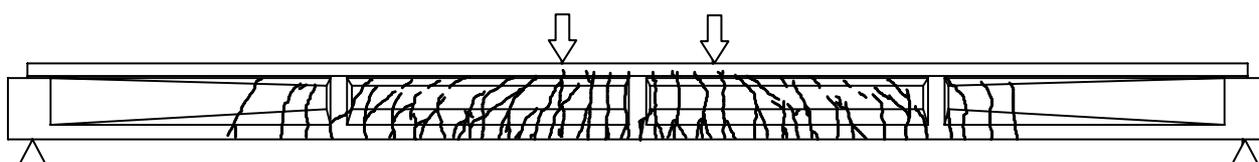


図-6 破壊時のひび割れ性状 (欠損桁)

### 6.3 たわみ性状

図-5に支間中央部の荷重-たわみ関係を示す。欠損桁も普通桁とほぼ同様なたわみ挙動を示し、定着部を切断した影響はないといえる。なお、荷重が300kN以上で曲げ剛性の低下が見られるが、これは載荷荷重が300kNのとき曲げひび割れが急激に進んだためである。曲げ載荷試験の状況を写真-4に示す。

### 6.4 曲げ破壊性状

曲げ載荷試験に際し、PC桁の曲げ耐力の計算を行った。先述のように設計値が不明なため、曲げ耐力は、実際に測定した材料強度および鋼材配置により計算し推定値とした。表-5に示すように、推定値648kNに対して普通桁および欠損桁とも実験値が10%程度大きくなり、十分な耐力を有していた。また、欠損桁の曲げ耐力は普通桁の曲げ耐力とほぼ同等で、定着部を切断した影響はないものと考えられる。グラウト充填状況調査結果も併せて、PC鋼材は定着具がなくても付着力によって桁のコンクリートに十分定着されているものと考えられる。

図-6に曲げ破壊時のひび割れ性状の例を示す。曲げひび割れの発達により、終局時には中立軸が上フランジにまで到達していることがわ

かる。また、終局時には上縁コンクリートが破壊しており、破壊形態は曲げ圧縮破壊であった。

## 7. まとめ

38年間にわたって供用されてきたPC桁について、各種調査を行った。その結果、次のことがいえる。

- 1)コンクリートおよびPC鋼材は健全で、PC鋼材のグラウトもほぼ完全に充填されていた。
- 2)曲げ耐力も十分有しており、耐久性および耐荷性の両面から、十分健全な状態に維持されていた。

今回調査したPC桁は、群馬県太田土木事務所のご好意により提供いただいた。また、東武鉄道(株)と河本工業(株)に、ご支援とご協力をいただいた。ここに記して、深甚の謝意を表す。また、本調査は(社)プレストレストコンクリート建設業協会として行った。あわせて、関係者に謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 岸谷 孝一、西沢 紀昭他編：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、pp.36-37、1986