

既設PC橋上部構造の現地破壊試験

吉田英二・大島義信・渡辺 遼・石田雅博

1. はじめに

プレストレストコンクリート（以下「PC」という。）橋の維持管理は、主に目視点検によって行われているが、鋼材の腐食など劣化が確認された場合に適切な補修・補強を行うためには、残存耐荷力の的確な把握が必要である。

耐荷力についての新設橋の設計では、一般に上部構造全体の安全性を直接的に評価することはないが、主桁や横桁など構成部材ごとの安全性を十分に確保することで、間接的に上部構造全体の安全性を確保する設計が行われている。

一方、既設構造物の残存耐荷力を評価する場合には、個々の部材の耐荷力を安全側に評価することが必ずしも適切ではなく、より実際に近い耐荷力の評価が必要となる。さらに、部材ごとの耐荷力を正しく評価できた場合でも、個々の部材の損傷が上部構造全体の安全性にどの程度影響を与えるのかについては必ずしも明確とはなっていない。既設構造物の安全性をより合理的に評価するためには、個々の部材の評価だけでなく、状態が異なる部材が集積された上部構造全体の耐荷機構について明確にする必要がある。

上部構造全体を対象としたこれまでの調査研究^{1,2)}では、車両走行試験などによる弾性範囲内での評価が中心であり、PC橋が破壊に至るまでの載荷試験による実耐力の検証³⁾は、国内での実施例はない。

以上の背景により、本研究では劣化したPC橋を対象に、橋梁全体の耐荷力の把握、主桁間での荷重分担率の変化、および終局付近での挙動・破壊性状の確認を目的として実橋での載荷試験を行った。

2. 対象橋梁

本試験の対象とした橋梁は、北海道開発局留萌開発建設部管内において塩害による損傷のため架替となった旧築別橋である。表-1に橋梁諸元を示す。

本橋は竣工後57年が経過しており、日本海沿岸

からの距離が約170mと飛来塩分の影響を多く受ける環境に位置している。そのため、塩害損傷が著しく、載荷径間においても内部鋼材の腐食に起因する主桁のひび割れやコンクリートの剥離が生じていた。

表-1 橋梁諸元

架 設 年	1960年（昭和35年）
橋 梁 規 格	TL-20（1等橋）
橋 長	L=180.3 5径間 （載荷径間支間長 35.2m）
幅 員	W=6.0m（0.25+5.50+0.25）
上 部 工 形 式	単純PCポステンT桁5連4主桁

3. 試験概要

3.1 試験計画

載荷試験は、グラウンドアンカーによる載荷装置、および計測機器を設置するため、河川敷のある第1径間で行った（写真-1、図-1）。載荷装置は、耐力2,500kNのグラウンドアンカー2本を施工して載荷反力を取り、2台の3,000kNセンターホールジャッキにより載荷を行う構造とした。

載荷はG1桁支間中央への1点集中載荷とした。これは、G1桁が他主桁と比較して著しく損傷していたことから、複数主桁間での荷重分配効果を把握しやすいためである。載荷各段階において、残存変位量の計測、変状確認等を行うため、曲げひび割れ発生時、鉄筋降伏時、推定耐力時、その他大きな損傷や挙動変化が生じた際には、一度除荷を行いながら載荷を行った。

計測項目は、各主桁の変位、PC鋼材、鋼材、桁下面コンクリートのひずみ等とした。変位は、桁下に変位計ベース（H鋼）を設置し、レーザー変位計



写真-1 載荷径間全景

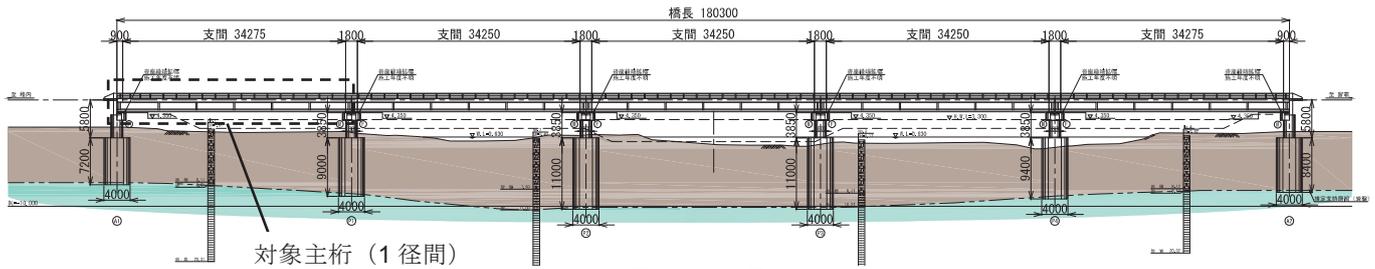


図-1 側面図

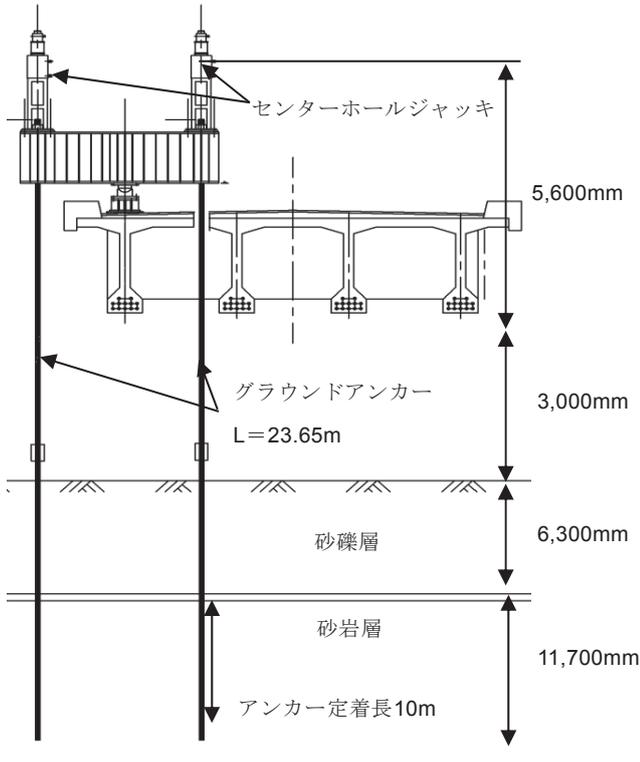


図-2 荷重装置全体図

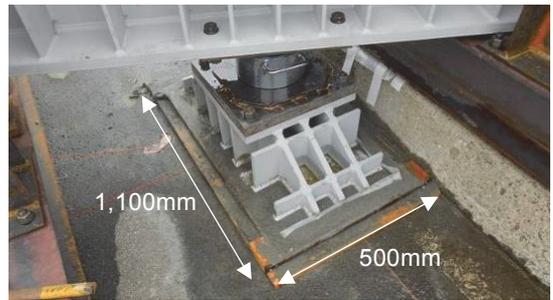


写真-2 荷重点付近

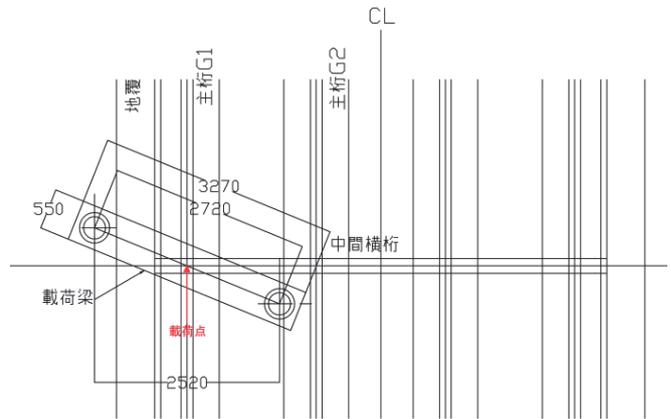


図-3 荷重梁 平面配置図

および巻込型変位計で計測を行った。鋼材のひずみは、鋼材を部分的にはつり出し、直接ひずみゲージを貼り付けて計測した。PC鋼材のひずみは、過年度のはつり調査位置を利用し、1箇所のみひずみゲージを設置して計測した。

3.2 耐力の推定

本試験の荷重方法は、G1桁支間中央への1点集中荷重としたが、横桁を介して他の主桁へ荷重が分配されるため、それらの影響を考慮し、最大荷重を推定することが必要である。荷重試験に先立って、格子解析により、各主桁の荷重分配率の推定を行った。本解析では、主桁は間詰部を含む全断面、横桁は横桁全断面を有効とするほか、主桁上フランジにも有効断面となる範囲を設定し、曲げ・ねじり剛性を設定した。その結果、G1桁に生じる曲げモーメントとG2桁～G4桁に生じる曲げモーメントの合計の比がおおよそ1:1の割合であったため、橋梁全体での耐力はG1桁1本の計算上の耐力921kNの2

倍である1,842kN程度と推定した。また、コンクリートおよびPC鋼材の実強度が設計値に対し30%高いことを想定し、推定耐力は上記のさらに1.3倍に当たる2,394kNとした。

3.3 試験装置概要

荷重試験では耐力が計算値を上回ることが多いこと、主桁間の荷重分配率が想定よりも大きくなる可能性があることから、荷重装置の能力は推定耐力の2倍以上である5,000kNを確保するものとした。荷重装置は、耐力2,500kNのグラウンドアンカー2本を施工して荷重反力を取り、2台の3,000kNセンターホールジャッキにより荷重を行う構造とした(図-2)。グラウンドアンカーは、十分な耐力を確保できる砂岩層に定着させた。定着長は、計算上必要な長さ7mに余裕長を取り、10mとした。G1-G2間のアンカーは、床版に直径350mmの孔を削孔し、橋面上にボーリングマシンを設置して施工を行った。また、グラウンドアンカーと横桁の干渉を避けるた

め、載荷梁を橋軸直角方向に対し斜めに設置した(図-3)。載荷点では、敷モルタルを設置した上で載荷ブロックを水平に設置し、ブロックに球座を固定した(写真-2)。これにより、載荷力は載荷梁と球座を介し1点に垂直に載荷されるようにした。

4. 試験結果

図-4に、縦軸に載荷荷重、横軸にG1桁の載荷点直下に生じた鉛直変位を取った履歴曲線を示す。載荷荷重は、事前の推定耐力力である2,500kNを上回り3,300kNに達した。載荷はジャッキストロークの限界に達したため終了したが、荷重の増加が見られなくなったため、この荷重を最大耐力と判断した。

載荷の初期段階では、はじめに曲げひび割れが生じたのち、載荷荷重1,800kNを超えたあたりで表面塗装上に顕著なせん断ひび割れを確認した。さらに、推定耐力力である2,500kN付近をやや上回る時点で地覆に圧壊(写真-3)を確認した。この時点でG1桁単体としては曲げ破壊していると考えられるが、耐力が失われることはなかった。その後、G1桁のせん断ひび割れが進展し、最大耐力である3,300kNに達している。なお、この時のG1桁ウェブのせん断ひび割れは、最大でひび割れ幅10mmを超えていた(写真-4)。

一方、2,000kNを超えたあたりでG2桁にも同様のせん断ひび割れを確認した。これは、横桁を介して集中荷重の影響がG2桁に分配されたためと考えられる。さらに、破壊の進展にともない、載荷点直下のG1-G2桁間の横桁にある打継ぎ目に、目開きおよび鉛直方向にずれが生じた(写真-5)。そして、最終的に目開き幅は10mm程度に達し、路面でもG1-G2桁間に50mm程度の鉛直方向の段差が生じている(写真-6)。また、各桁端部付近にはねじりひび割れが発生しており(図-5、写真-7)、最大耐力時にはねじり剛性が低下していたものと考えられる。このような横桁の分離やねじり剛性の低下によって、最大耐力付近では荷重再分配の効果も限定的となったことが示唆される。図-6に、3300kN 載荷時に各桁に生じた変位分布を示す。最大耐力付近では、横桁の分離やねじり剛性の低下によって、G1桁に変位が集中していることが分かる。

なお、G1桁としての破壊が生じたと考えられる2500kNに達した場合でも、除荷後のG1桁の残留変位は20mm程度であり、上部構造全体としては高い

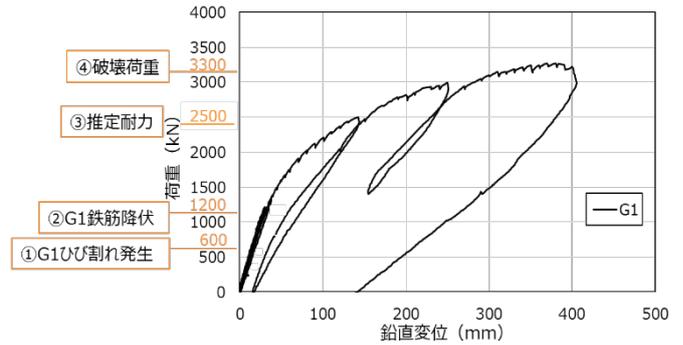


図-4 G1 桁荷重-鉛直変位



写真-3 地覆の圧壊



写真-4 載荷点付近 (最大耐力時)



写真-5 横桁の目開き、ずれ

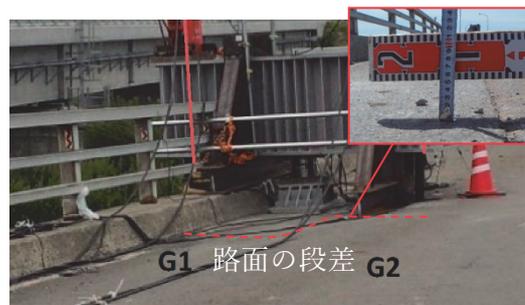


写真-6 路面の段差

復元性を維持していることが分かった。

これより、外桁上に集中荷重を作用させた場合、外桁単体が曲げ破壊やせん断破壊に至っても急激に

耐力が低下することはなく、横桁や床版を通じて荷重が再配分されることが明らかとなった。さらに、破壊の進展にともない横桁が分離し、桁のねじり剛性が低下することで、最終的には外桁単体での抵抗機構に移行していくことがわかった。

5. まとめ

本研究では、既設PCポステンT桁橋を対象に、上部構造としての破壊安全性に対する余裕度の確認、および最大耐力付近での耐荷機構の把握を目的に、撤去予定の実橋での載荷試験を実施した。その結果から、得られた知見を以下に示す。

1. 載荷初期段階においては、格子桁構造としての挙動が卓越することが明らかとなった。また、G1桁で上縁地覆が圧壊し、ウェブにせん断ひび割れが生じた場合でも、横桁や床版の荷重再配分の効果によって、耐荷力が急激に失われることがなかった。
2. 破壊の進展にともない、横桁の分離や主桁のねじり剛性の低下が生じることによって、最大耐力時には部材単体での耐荷機構に移行することが明らかとなった。

以上より、既設橋の耐荷力評価では、桁単体の耐荷力評価だけでなく、格子桁構造としての挙動に影響を与える横桁や床版などの状態も含めた評価によって、上部構造全体としての破壊安全性に対する評価が行える可能性が示された。ただし、破壊形態は載荷の方法によっても異なることから、上部構造の安全性を評価できる適切な載荷方法などを検討していく予定である。

謝 辞

本研究を行うにあたり、多大なるご協力を頂いた北海道開発局をはじめ、関係各位に深く謝意を表す。なお、本試験はプレストレストコンクリート

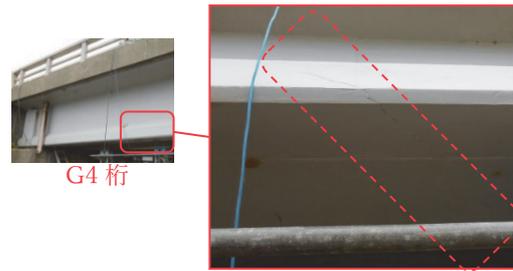


写真-7 G4桁 ねじりによるひび割れ

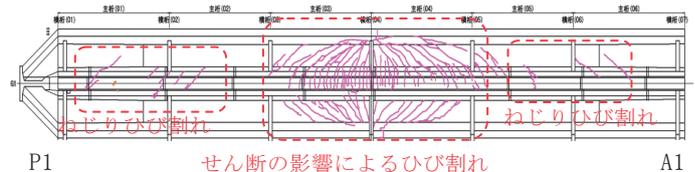


図-5 ウェブ 曲げせん断ひび割れ

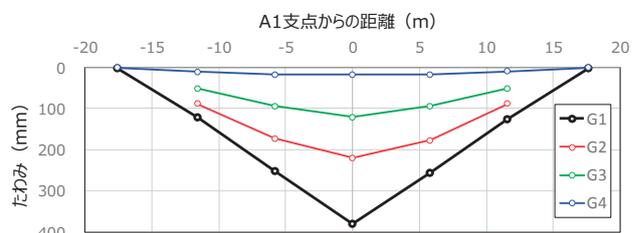


図-6 3,300kN 載荷時 変位分布

建設業協会との共同研究「撤去橋梁を用いた既設PC橋の補修補強技術の高度化に関する研究 (2017～2020年度)」およびSIP (戦略的イノベーション創造プログラム)「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」の研究開発課題「異分野融合によるイノベティブメンテナンス技術の開発」の一環として行われた。

参考文献

- 1) 土木研究所：塩害を受けたPC橋の耐荷力評価に関する研究 (IV) 旧芦川橋の載荷試験、土木研究所資料、第3816号、2001
- 2) 土木研究所：塩害を受けたPC橋の耐荷力評価に関する研究 (IV) 旧暮坪陸橋の載荷試験、土木研究所資料、第3808号、2001
- 3) 日本道路公団試験所：中央自動車道前原OVBr.載荷試験報告、技術報告、No.62、pp.56～62、1982.4

吉田英二



土木研究所構造物メンテナンス研究センター橋梁構造研究グループ 研究員
Eiji YOSHIDA

大島義信



土木研究所構造物メンテナンス研究センター橋梁構造研究グループ 主任研究員
Yoshinobu OSHIMA

渡辺 遼



土木研究所構造物メンテナンス研究センター橋梁構造研究グループ 交流研究員
Ryo WATANABE

石田雅博



土木研究所構造物メンテナンス研究センター橋梁構造研究グループ 上席研究員
Masahiro ISHIDA