

国立研究開発法人土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 石田 雅博, 吉田 英二

### 1. はじめに

高度経済成長期に建設された膨大な道路橋スト ックの高齢化が急速に進む中で,さまざまな劣化 要因による損傷事例が報告されている。これらの 損傷に対して合理的かつ適切に維持管理を行って いくために,より効率的な検査技術や評価手法の 確立が求められている。しかし,劣化損傷や変状 の要因が多岐にわたるとともに,橋梁の構造特性 や周辺環境,交通量などによっても耐荷性能や耐 久性能に与える影響が大きく異なる。劣化損傷を 適切に評価する手法を確立していくためには,こ れらの劣化損傷等に関するデータの蓄積が必要不 可欠である。

土木研究所構造物メンテナンス研究センター (通称, CAESAR)では,劣化損傷の生じた実橋 の状態を把握すべく,撤去された橋梁を活用した 非破壊検査や載荷試験,解体調査を実施してお り,検査技術や評価手法の確立に向けて調査研究 を進めているところである。本稿では,道路橋 (コンクリート橋)の劣化損傷のうち,塩害によ る鋼材腐食等の可視化技術と,維持管理への活用 について報告する。 2. コンクリート橋の塩害による 鋼材腐食

まさひろ

いしだ

よしだ えいじ

ポストテンション方式のPC構造物では,近年 グラウトの充填が十分に行われていない事例が確 認されており,対策が進められている。シース内 にグラウト未充填箇所が存在すると,雨水や塩化 物イオン等がシース内に侵入する恐れがあり,そ の結果PC鋼材が腐食,破断し,重大事故につな がる可能性もある。そのため,重大な損傷を見逃 さないためにも,外観目視による不具合の予兆を 把握することが重要である。しかし,ポストテン ション方式のPC橋で確認されている不具合のう ち,耐荷性能を大幅に低下させる要因となってい るケーブルの腐食や破断,それを誘発させるグラ ウト未充填箇所の存在は,外観から判断すること が難しい。

現在,超音波法などによる未充填個所の把握が 検討されているが,鋼材が複数配置された個所や 深部における検知は困難な状況にある。

CAESAR では,東京大学と連携し,PC 桁全体のグラウト未充填区間,鋼材減肉量,破断有無の把握を目的として,高出力 X 線源によるコンクリート橋検査技術の開発を行っている。

### (1) 高出力 X 線発生装置

現在,橋梁調査で用いている X 線源はその出 力が 300 keV までであること,適用限界厚さは 30~40 cm 程度といわれていること,厚い部材 の場合は撮像に時間がかかることなど,従来の非 破壊検査技術には限界があった。一方で,X線 の利用を規定している放射線障害防止法において は,屋外で使用する場合,橋梁検査に限って 4 MeV までの X 線源の使用が認められている。 そのため,東京大学では,現場適用に向けて新た に 950 keV X 線発生装置(以下,「950 keV 機」 という),および 3.95 MeV X 線発生装置(以下, 「3.95 MeV 機」という)の開発を行った。

3.95 MeV 機の全体像を写真-1に示す。装置 は、X線源,高周波発生装置,電源,水冷ポン プから構成されている。高出力の他装置に比べ重 量が小さいのが特徴であり,既存の橋梁点検車に 搭載可能なように,X線源等を200 kg以下に抑 えている。また,実橋梁への適用に向けて,X 線源および検出器を連続的に稼働できる専用のス キャン架台を作成している。



写真-1 3.95 MeV X 線発生装置

### (2) 3.95 MeV X 線発生装置による屋外撮像

3.95 MeV 機は法的には放射線発生装置であ り,橋梁への照射に限り一時的な使用場所の変更 が認められている。しかし,これまで実際に現場 で使用された実績はなかったことから,平成27 年に土木研究所内で国内初の屋外での撮像実験を 行った。撮影は土木研究所内に設置してある PCT 桁橋を対象とした(写真-2)。ウェブ厚は 170 mm,下フランジ部の最大厚さは400 mm で ある。

3.95 MeV 機は撮像時の線量が非常に高く,検 出器が飽和して画像が得られなかったため,出力 を定格の1/6 まで落として撮像を行った。

FPD (Flat Panel Detector) により得られたウ ェブ部の画像を図-1に示す。ウェブ厚 170 mm に対し, 3.95 MeV 機による画像は1秒程度で取 得されており,定格出力の1/6 であっても十分な 撮像能力があると判断できる。ウェブ撮影後,ス キャン架台により検出器を移動させ下フランジ部 の撮像を行った。部材厚が 400 mm にもかかわら ず 30 秒程度で画像を取得することができた。



写真-2 3.95 MeV 機屋外撮像実験



(ウェブ部)



(下フランジ部)図-1 3.95 MeV 機 FPD 画像

## (3) 950 keV X 線発生装置による実橋梁の撮像試験

撮影対象の妙高大橋(写真-3)は,新潟県妙 高市坂口新田に位置し,太田切川,旧国道18号 を跨ぐ橋長300m,99ブロックからなるプレキ ャストセグメント架設によるPC4 径間連続箱桁 橋である。

今回の撮影は箱桁内に加速器を設置し,下側に 向けてX線を照射するので,桁上面を走行する 利用者へのX線量は極めて少なかった。そのた め,試運転により放射線量を測定し,安全性を確 認した上で,特段の通行規制を行わず,X線撮 影を実施した(図-2)。X線照射装置は検査用 マンホールより搬入し,検出器は桁下に設置して 撮像を行った。写真-4,5にそれぞれ計器機器 の搬入状況および装置の設置状況を示す。写真-6に撮影結果の一部の拡大図を示す。撮影箇所の ケーブルは、表面から約20cmに位置していた が、鋼材の状況を確認することができた。

今後は、短時間により鮮明に計測できる技術の 開発を目指すとともに、実橋でのデータを蓄積 し、さらに精度を高め、現地で適用されるよう、 高出力 X 線による調査方法と評価手法について 技術開発を進める。

# 3. 既設 PC 桁の現地破壊試験

橋梁を合理的かつ適切な維持管理を行っていく ために,損傷の生じた橋梁の残存性能を適切に評



写真-3 妙高大橋



写真-4 マンホールからの機器の搬入



図-2 計測対象断面図



写真-5 950 keV X 線発生装置の設置状況



写真-6 高出力 X 線源(950 keV)を 用いた撮影画像

建設マネジメント技術 2018 年 8 月号 31

価する手法が求められている。これまでの調査研 究では、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は、国内で実施された 例がない。橋梁全体系において、主に終局状態の 力学性能に対して性能の低下を適切に把握し、そ の情報を補修・補強の要否の判断材料とすること が、合理的な維持管理を行う上で重要であると考 えられる。

以上の背景より, PC 道路橋を対象に, 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。

### (1) 対象橋梁

旧築別橋は、1960年に北海道開発局留萌開発 建設部管内に建設された単純PCポストテンショ ン方式T桁橋である。本橋は、日本海沿岸から の距離が約170mと飛来塩分の影響を受ける環 境に位置しており、過去に塩害補修がなされる も、載荷径間において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等の再劣化 が生じていた。2017年7月に実施された載荷試 験時には本橋に隣接して新橋が建設され、本橋は 既に通行止めの状況であった。

### (2) 試験概要

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。載荷装置(図-3)は、耐 力 2,500 kN 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3,000 kN センターホ ールジャッキにより載荷を行う構造とした。

載荷位置は 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、複数主桁間での荷重分配効果 を把握するためである。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。



図-3 載荷装置全体図

### (3) 試験結果

載荷荷重は, 事前の推定耐荷力およそ2,500 kNを上回り, 3,300 kNに達した際に地覆に圧壊 (写真-8)が生じ荷重の増加が見られなくなっ たため, 終局に至ったと判断した。

本試験での特徴的な破壊性状として、支間中央 の横桁~隣接する横桁間を中心に、ウェブにせん 断によると思われるひび割れが生じた(写真-7)。載荷荷重 1.800 kN を超えたあたりで表面塗 装上でもひび割れを確認し、G1 桁ではひび割れ 数, ひび割れ幅共に進展し, 2,000 kN を超えた あたりでG2桁にも同様のひび割れが生じた。終 局時におけるウェブのひび割れは、大きなもので ひび割れ幅10mm超に達した。各桁端部付近に は、ねじりひび割れが発生しており(図-4、写 真-9),終局時にはねじり剛性が解放されたも のと考えられる。載荷点直下の横桁には、G1-G2 桁間の打ち継ぎ目に目開き.および鉛直方向にず れが生じた (写真-10)。目開き幅は終局時で 10 mm 程度に達した。また,路面でも G1-G2 桁 間に 50 mm 程度の鉛直方向の段差が生じた(写 真-11)。



写真-7 載荷点付近 損傷の様子(終局時)



図-4 ウェブ 曲げせん断ひび割れ



写真-8 地覆の圧壊



写真-10 横桁の目開き, ずれ



橋梁の長寿命化を図っていくには,「点検→診 断→措置→記録」というメンテナンスサイクルを



写真-9 G4桁 ねじりによるひび割れ



写真-11 路面の段差

確実に回していくことが必要である。そのために は、橋梁の劣化事象に応じて、効果的な補修方法 とそれを判断するための診断手法、調査技術が求 められる。今後も、橋梁の維持管理ニーズに応え るべく、メンテナンスサイクルの確立へ向けた技 術開発を進めていきたい。

建設マネジメント技術 2018年8月号 33