

特集：道路橋保全の新たな取組み ～臨床研究を中心として～

腐食劣化により崩落に至った鋼橋の変状モニタリング

下里哲弘* 村越 潤** 玉城喜章*** 高橋 実****

1. はじめに

我が国の道路橋は、その大半が高度経済成長期頃から建設されているが、橋の高齢化とともに、厳しい自然環境や交通条件によって様々な劣化損傷事例が顕在化しつつある。写真-1に示す橋は、橋長35mの無塗装仕様の耐候性鋼を使用した道路橋（鋼単純合成桁）であり、1981年に建設されたものである。沖縄県北部に位置しており、厳しい腐食環境の下、著しい腐食劣化(写真-2)が生じたため、2004年に全面通行止めとなり（写真-3）、その後、腐食劣化の進行により撤去直前の2009年7月に崩落に至った。

琉球大学と土木研究所構造物メンテナンス研究センター（CAESAR）では、管理者の協力を得て、損傷橋の状態監視技術の調査研究の一環として、2008年末より本橋の変状モニタリングを共同で実施し、崩落過程に係る映像を含む計測情報を収集した。本文では、崩落過程と変状モニタリングの概要について報告する。

2. 橋梁概要

2.1 周辺環境

本橋は、海岸線から約50mの距離に位置し、年間を通じて海側からの風が卓越するとともに、海岸線近くのリーフより砕波が見られており、厳しい腐食環境にある。琉球大学で実施したドライガーゼ法による主桁の部位別の飛来塩分^{*}量（2008年12月29日からの約1ヶ月間）の調査結果では、桁内面で2.5～4.6mdd(mg/dm²/day)であり、無塗装仕様の耐候性鋼橋の適用可能地域の目安である0.05mddを、はるかに超える塩分量が計測されている。

2.2 腐食状況

図-1に、最も著しく腐食し、崩落の起点となった部位である桁端部の腐食状況（2008年時点）を示す。本橋の腐食状況については、一般的に最

も腐食環境が厳しいとされる支点部付近よりも、橋台護岸の立ち上がり部分に対応する位置の桁部分の腐食が最も厳しく、橋台護岸の形状と風向の関係が海塩粒子の飛来分布に影響しているものと推測される。

本橋は3主桁であるが、桁端部6箇所のうち、2主桁4箇所において、主桁下フランジとウェブ間の溶接部付近に破断が見られる状況であった。この部分の腐食破断による桁耐荷力の喪失が崩落の主原因であると推定される。

図-2に、主桁の内外面の腐食状況の違いを示す。降雨時に付着塩分が洗い流されやすい桁外面では、錆安定化処理材が鋼材表面に残存している。一方、桁内面では、桁端部のほぼ全面に層状剥離錆が発生している状況である。

2.3 崩落に至るまでの経過

本橋では、2004年11月に著しい腐食劣化によ



写真-1 腐食劣化の生じた橋の全景(2007年7月)

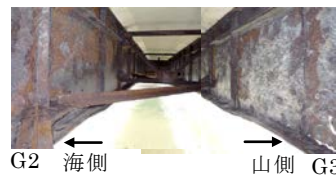


写真-2 主桁内面の著しい腐食状況



写真-3 全面通行止めの状況

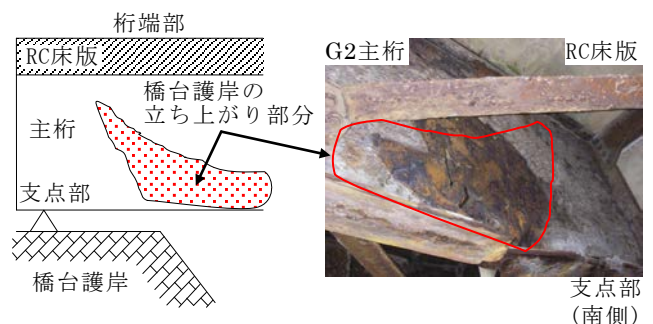


図-1 主桁端部の腐食状況

Real Time Monitoring of Steel Bridge Collapse Due to Intense Corrosion

*土木用語解説：飛来塩分

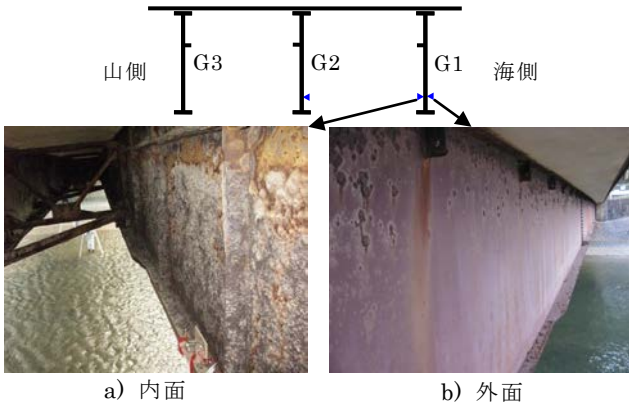


図-2 G1主桁の内外面の腐食状況の違い

り構造安全性への影響が懸念されたため全面通行止めの措置がとられた。その後の調査においても、腐食劣化が進行し、2008年8月には現地周辺で発生した震度4の地震によって、主桁ウェブの面外変形の増加が見られた（写真-4）。また、RC床版のひび割れも確認され、舗装面上の水溜りの状態や高欄の曲がりなどから、橋全体が山側へ傾き始めていることも確認された。その調査結果を踏まえ、管理者により周辺住民に対する橋周辺の立入り禁止の周知徹底等の安全対策、崩落時の対応や撤去に向けた準備が進められた。

上記と並行して、2008年12月より、変状モニタリング（変位、加速度、ひずみ計測）を琉球大学とCAESARの共同で開始した。2009年5月には遠隔監視ウェブカメラによる24時間画像計測を開始した。その後、2009年6月の集中豪雨の際に、鋼桁と床版に著しい変状進展が確認されたため、早期の撤去工事の準備が進められているところ、2009年7月15日に崩落に至った。

3. 変状モニタリング

3.1 目的

本橋の場合、既に主桁に著しい腐食劣化が見られていたことから、地震、強風、隣接する国道を通過する大型車による振動等の外力により、撤去前に崩壊することも想定された。このため、撤去前に、腐食劣化に伴う変状進行過程の記録と既存計測技術を活用したモニタリングの試行（適用性と課題抽出）を目的として短期計測を行ったものである。ただし、崩壊時に河道を塞ぐおそれや、隣接する水管橋への影響も懸念されたため、実施にあたっては、管理者と連携の上、管理者側にも現地画像を配信し、3者でのリアルタイムでの現



2007年6月

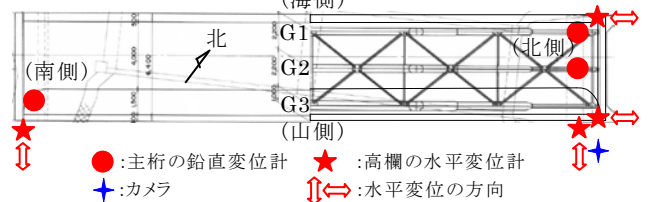


2008年3月



2008年8月(震度4の地震後)

写真-4 腐食劣化の経年変化（山側のG3主桁外面）



a) 変位計測 b) カメラ画像計測

図-3 変位、カメラ画像の計測状況

状監視を行った。

3.2 計測項目・方法

図-3, 4に計測に用いた装置の設置箇所を示す。計測項目は、外力と変状を把握するために、カメラ画像、加速度、変位、風向風速とした。腐食劣

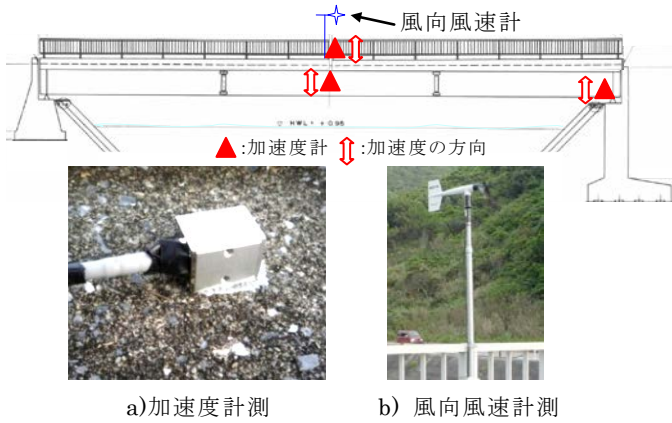


図-4 加速度、風向風速の計測状況

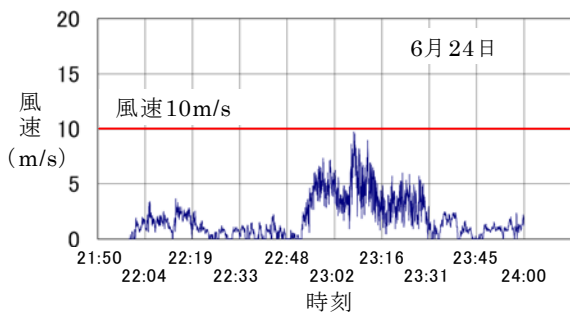


図-5 風速の時系列データ

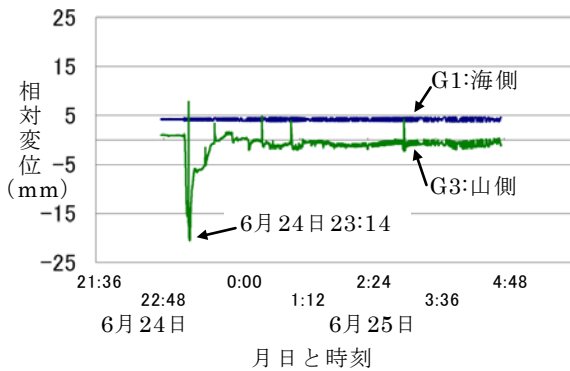


図-6 山側のG3主桁の鉛直変位時系列データ

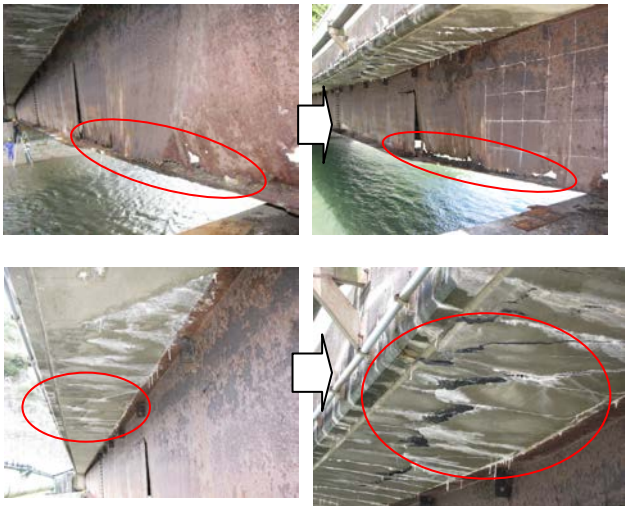


写真-5 集中豪雨の際の主桁および床版の変状進行状況 (G3主桁)



写真-6 崩落の瞬間のカメラ画像

化が最も進行している山側のG3主桁の変状を主な計測対象とした。G3主桁には、既に下フランジとウェブ間の破断やウェブの面外変形、床版のひび割れが目視で確認されており、これらの変状の進行により、致命的な状態に至る可能性が高かったことから、同外桁全体を直接カメラで撮影し変状をとらえるようにした。

リアルタイムに変状を把握するため、本橋に隣接する屋内施設に計測装置を設置し、ISDN回線(最大通信速度128kbps)を引いてインターネットに常時接続し、監視カメラ映像(簡易映像)をLAN配信した。また、現地のパソコンにリモート接続し、各種の動的計測値の記録状況を確認できるようにした。

監視カメラには、全天候型の遠隔監視ウェブカメラを使用して、インターネット接続により遠隔操作(上下左右、ズーム)を可能とした。計測間隔は、監視カメラでは6コマ/秒、他の計測項目では20Hzとした。なお、同地区にはISDN回線しかなく通信速度が遅いため、現地に設置したパソコンに記録されている全データのネットワーク転送が困難であった。このため、各種センサや記録装置の状態の確認・保守と合わせて、毎月1度程度の頻度で現地へ行き、記録データの回収を行った。従って、遠隔では計測および記録が正常に行われていることを確認することとした。例えば、監視カメラ画像については1分間に2枚程度の静止画を確認する程度が限界であった。

3.3 変状モニタリングで捉えた崩落の前兆

モニタリング開始以降、2009年6月24日に沖縄県北部に集中豪雨があり、その前後に監視カメラにより主桁の面外変形の増加とRC床版のひび割れ進展などの変状を確認した。図-5に、その時の風速データを、図-6に、山側のG3主桁の鉛直変位

データを示す。10m/秒程度の風が観測されており、その時点で桁端部の鉛直変位も20mm程度の急激な変化がみられた。写真-5に変状前後の現地調査における主桁及び床版の状況を比較して示すが、桁端部の変形等の進行が確認できる。この変状を受けて、管理者により緊急撤去の準備及び周辺住民への再度の注意喚起が行われた。結果的に撤去前に崩落したが、安全対策の徹底がなされ、崩落後も1日で河川内の橋を撤去できた点については実務面でのモニタリング活用の成果であったといえる。

3.4 カメラで捉えた崩落の状況

写真-6に、崩落の瞬間の画像の一部を示す。崩落の起点は山側のG3主桁南側橋台の桁端部(写真の主桁奥側)であった。前述のとおり、同部位及び隣接するG2主桁には、破断等の著しい腐食劣化が発生しており、同部位の破壊の進行により崩落したものと考えられる。

4. おわりに

著しい腐食劣化の生じた鋼橋の変状モニタリングを実施し、管理者と連携の上、現況把握・対処の判断に活用するとともに、過去に記録例のない崩落過程の貴重な情報を取得できた。また、計測機器の選定や機器設置・計測方法等に係る知見が得られた。引き続き、計測された情報の分析とモニタリングの適用方法の検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 下里哲弘、村越潤、玉城義章、高橋実：腐食により崩落に至った鋼橋の変状モニタリングの概要と崩落過程、一崩落から見える地方の橋梁維持管理の実態一、建設図書、橋梁と基礎、pp.55~60、2009.11.
- 2) Tamaki, Y., Shimozato, T., Arizumi, Y., Yabuki, T., Ono, S.: Evaluation of corrosion deterioration of weathering steel bridge under the environmental corrosiveness, IABMAS, pp.3563-3569, 2010.

下里哲弘*



琉球大学工学部環境建設工学科土木コース 准教授
Dr. Tetuhiro SHIMOZATO

村越 潤**



独立行政法人土木研究所
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
Jun MURAKOSHI

玉城喜章***



一般社団法人沖縄しまたて協会技術環境研究所技術環境部技術環境室 研究員
Yoshiaki TAMAKI

高橋 実****



独立行政法人土木研究所
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
Minoru TAKAHASHI