

特集：道路橋保全の新たな取組み ～臨床研究を中心として～

塩害を受けたRC床版橋の載荷試験

岡 智彦* 花井 拓** 木村嘉富***

1. はじめに

高度経済成長期に建設された相当数の道路橋がまもなく供用から50年を迎える中、様々な劣化要因による損傷事例が報告されている。

その損傷事例の中で沿岸部に位置するコンクリート橋には塩害による著しい損傷が見られる。損傷が確認された時には、管理者は安全性を考慮した供用可否や通行制限等の判断、さらに補修・補強・更新の計画を行うこととなる。これらは損傷したコンクリート橋の耐荷性能に基づいて行われるべきであるが、現時点では塩害損傷を受けたコンクリート橋の耐荷性能を評価する手法は確立されていない。このため、緊急対応や補修計画等の根拠として評価手法の提案が望まれている。

こうした状況を踏まえ、構造物メンテナンス研究センターでは全国で撤去されるコンクリート橋部材を採取し、劣化調査、非破壊検査、載荷試験等で耐荷性能評価手法の提案に向けた臨床研究を行っている。本稿ではこの研究の一例を紹介する。

2. 橋梁概要

2.1 基本諸元

本稿で紹介する倉谷橋は島根県江津市が管理していた橋梁で海岸線から約150mの距離に位置していた。本橋は昭和34年に竣工し、平成22年に塩害による外観変状が著しかったため撤去された。橋梁形式は2径間の鉄筋コンクリート床版橋（以下RC床版橋）であった（図-1、写真-1）。

2.2 供用中の環境と損傷

供用中は冬季の凍結防止剤散布を行っていなかったが風浪時には波の影響を受けており、飛来塩分*以外に直接塩分に晒される環境にあった。

橋梁の状態としては、床版上面にひび割れ等の変状は無かったが、床版下面で損傷が著しく剥離や剥落が見られた。一部露出した鉄筋は腐食膨張していた。写真-2は撤去前の床版下面状況である。

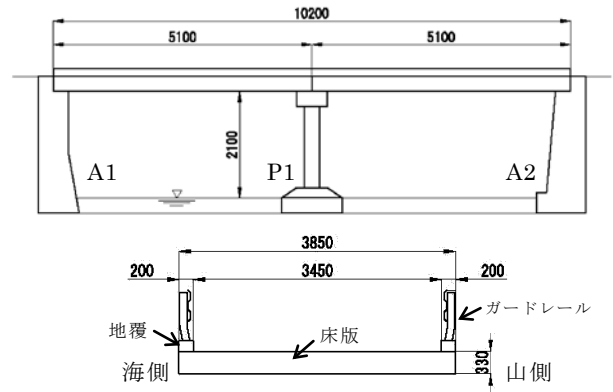


図-1 側面図と横断面図



写真-1 撤去前の状況



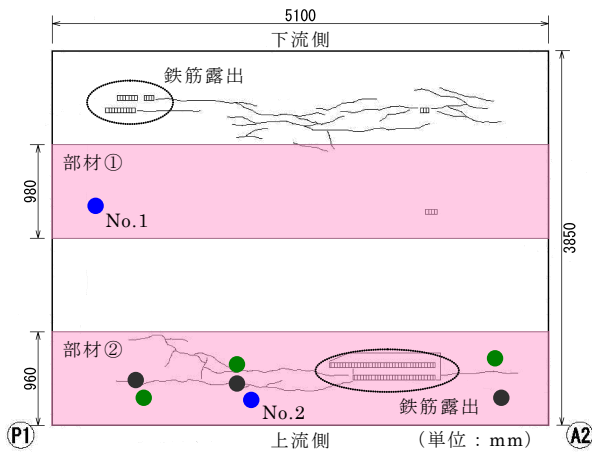
写真-2 撤去前の床版下面状況

3. 試験体

塩害を受けたRC床版の耐荷性能を確認するため、P1-A2径間より図-2に示す2体分の試験体を切り出し、土木研究所に搬入した（写真-3）。このうち、床版下面の損傷が著しい部材②について載荷試験を実施している。なお、試験体採取時にA2側で鉄筋定着部が切断されていたため、載荷試験に先立って端部の引張鉄筋をはつり出して鋼板（t=9mm）を溶接し、端部定着を確保した。はつり部分は無収縮モルタルで修復した。載荷試験体の断面図を図-3に示す。

Loading Test of Concrete Slab Bridge Damaged by Chloride Induced Deterioration

*土木用語解説：飛来塩分



※丸印は材料試験用コア採取位置

●：塩化物イオン ●：圧縮 ●：割裂

図-2 試験体採取位置と撤去前床版下面状況

4. 劣化調査および載荷試験の概要

4.1 外観調査

載荷試験体の下面の状況を確認した。剥離の確認は点検用ハンマーによる打音検査である。

4.2 材料試験

コンクリートと鉄筋それぞれについて表-1の材料試験を実施した。なお、載荷試験体からの試料採取は載荷試験後に行った。

コンクリートの試料採取位置を図-2に示す。採取したコアの内部にはひび割れが無いことを確認している。

鉄筋は載荷試験体の等曲げ区間と比較的健全な箇所から採取し、JCI-SC1に準拠した除錆を行った。質量減少率は等曲げ区間の鉄筋を3分割し、断面減少率は50mm間隔でノギスを使用して計測した。各減少率の算出は健全部鉄筋を基準とした。

4.3 載荷試験

図-4に載荷試験方法を示す。支間4,300mm、等曲げ区間1,000mmとしa/dが5.5の静的2点曲げ載荷試験を行った。端部の断面修復箇所を避け撤去前の支承部より内側に支点を設定した。

等曲げ区間には試験体下縁部にひび割れ計測のπゲージ、試験体上縁付近にひずみゲージを設置した。たわみは変位計で計測した。

5. 調査および試験の結果

5.1 外観調査結果

載荷試験体の下面のほぼ全面で剥離が確認され

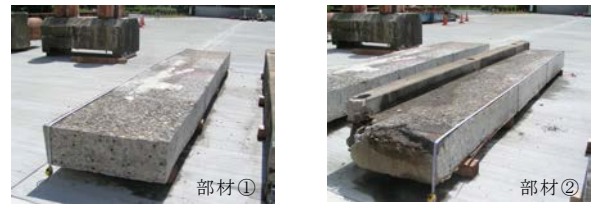


写真-3 採取試験体

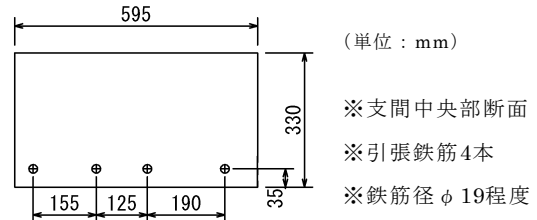


図-3 載荷試験体断面図

表-1 材料試験一覧

材料	試験及び測定項目
コンクリート	塩化物イオン測定
	圧縮強度試験 (静弾性係数測定)
	割裂引張強度試験 (中性化深さ測定)
	質量減少率
鉄筋 (主筋)	断面減少率
	引張強度試験

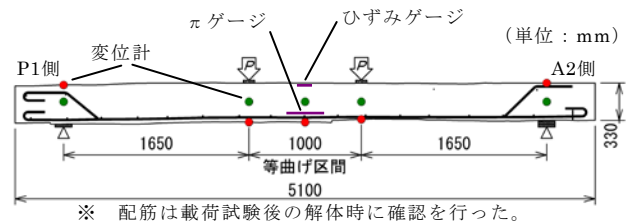


図-4 載荷試験方法

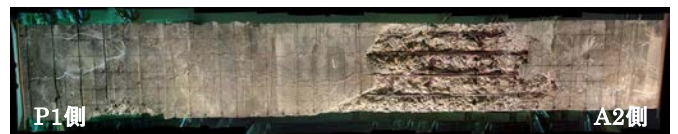


写真-4 載荷試験前の床版下面状況

表-2 コンクリート試験の結果

試験体	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
A2側端部	18.4	20.3	1.8
中央(曲げ区間近傍)	27.8	29.5	2.3
P1側端部	24.3	30.5	2.1
平均	23.5	26.8	2.1

た。写真-4は載荷試験前の下面の状況であるが、図-2の撤去前下面状況とは異なり運搬等の影響で剥落面積が大きくなっていった。撤去前から露出していたと思われる鉄筋は腐食膨張していた。

5.2 コンクリート試験の結果

強度試験の結果を表-2に示す。A2側端部が比較的低い数値となった。

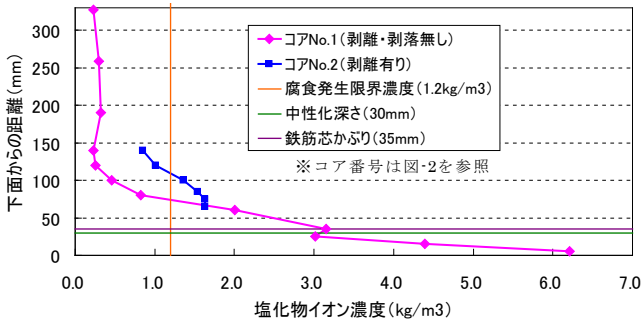


図-5 塩化物イオン濃度の分布

塩化物イオン測定の結果を図-5に示す。鉄筋芯かぶりは約35mmであり、鉄筋位置における塩化物イオン濃度が腐食発生限界濃度の最低値とされる1.2kg/m³を大きく上回っている。また、剥離が生じていた試料は、剥離・剥落が生じていない試料と同じ深さで比較すると塩化物イオン濃度が高い。これは、剥離面から新たに塩分が浸透したことが原因と考えられる。また、鉄筋位置まで中性化も進んでいた。

5.3 鉄筋試験の結果

5.3.1 断面減少率と質量減少率

鉄筋の断面減少率および質量減少率を等曲げ区間の下面状況と対比し、図-6に示す。両減少率とも鉄筋A,Dが低く、鉄筋B,Cが高い結果となっており供用中に露出していた箇所は著しく減少していた。また、鉄筋B,CはA2側からP1側へ向けて減少率が大幅に低下している。これはP1側ではコンクリートが剥落しておらず、腐食が抑制されたことが原因と考えられる。

鉄筋は相対的に質量減少率が断面減少率より高い数値となった。これは断面減少率の断面積測定位置以外にある孔食等の影響によると考えられる。

5.3.2 強度

表-3に示すように弾性係数と伸びの低下は腐食鉄筋の全てに見られたが、その他の物性にはばらつきがある。これらのばらつきは、実橋から採取した腐食鉄筋が均等な断面減少ではないため、物性の算出に用いた断面積の計測値に誤差を含んでいることが原因と考えられる。また、図-7に示すように実橋には降伏荷重が大幅に低下した鉄筋が応力的に厳しい部位に含まれることもあり、鉄筋の断面減少分布をより詳細に計測する必要があると考えられる。

5.4 荷重試験結果

ひび割れ発生は48kN (図-8) でA面の支間中

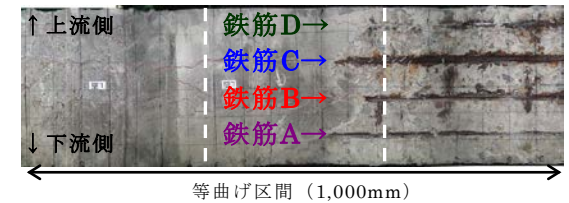
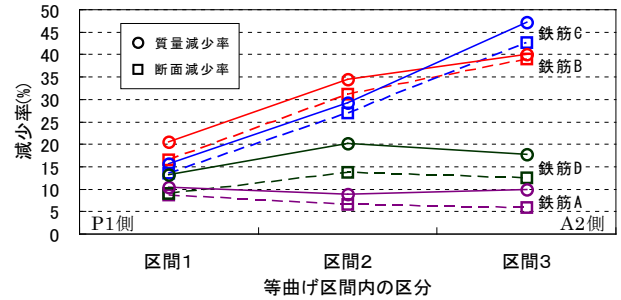


図-6 等曲げ区間内の断面減少率および質量減少率

表-3 鉄筋の引張強度試験の結果

損傷程度	番号	断面積 mm ²	断面減少率 %	降伏点強度 N/mm ²	引張強度 N/mm ²	弾性係数 kN/mm ²	伸び %
健全	1-1	267.1	1.7	341.5	472.2	201.3	24.7
	1-2	272.7	-	337.0	468.9	203.8	26.0
	3-1	270.0	0.7	347.8	476.0	206.3	27.8
腐食	A3	245.9	8.9	386.3	491.2	189.6	12.1
	B1	166.3	38.4	333.8	452.3	196.9	19.0
	B2	182.1	32.6	297.2	412.5	188.4	16.0
	D3	245.1	9.2	363.6	452.5	180.7	9.8

※ 断面積はひずみゲージ貼付箇所の数値である。

※ 断面減少率は健全部鉄筋の平均断面積を用いて算出。

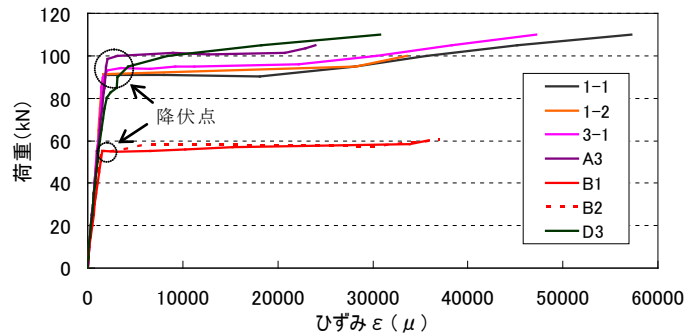


図-7 鉄筋の引張荷重とひずみの関係

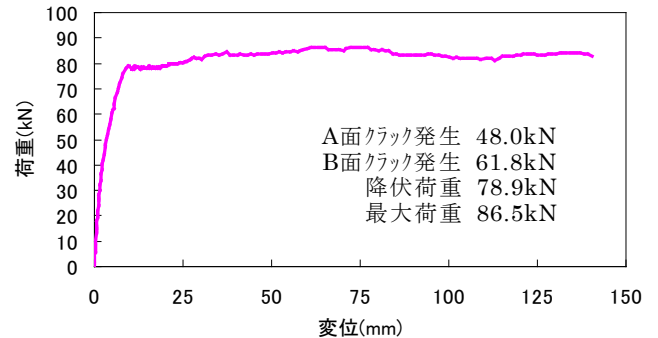


図-8 荷重と中央変位の関係



写真-5 荷重試験終了後の状況 (B面)

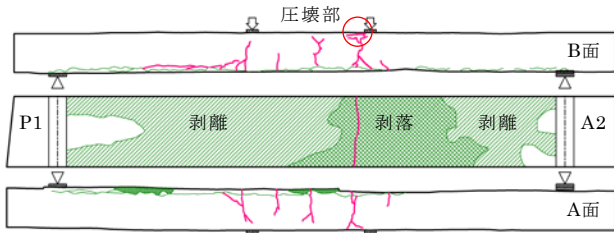


図-9 ひび割れ状況

央からであった。ひび割れの進展および変位は載荷前から剥落していた箇所では比較的顕著に現れた。最大荷重86.5kNが計測された後に圧壊の兆候が現れ始めた。

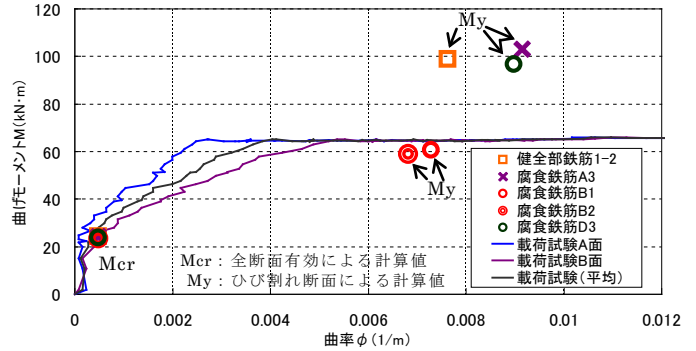
写真-5に載荷後の状況を示す。載荷点付近の上縁が圧壊したため、引張鉄筋の破断には至らなかった。載荷後のひび割れ状況については、図-9に示すとおりひび割れ本数は少ない。これは試験体下面がほぼ全面的に剥離していた状況から、コンクリートと鉄筋の付着劣化により曲げひび割れの分散性が低下したと考えられる。

6. 耐荷性能の評価と考察

載荷試験の変位計計測値から算出したM- ϕ と劣化調査の結果(表-2, 3)から算出した M_{cr} 、 M_y を図-10に示す。試験体の降伏曲げ耐力は断面減少率が高い鉄筋(B1, B2)と同程度であった。劣化調査および載荷試験の結果より耐荷性能の評価を行うには、上記のように載荷後の曲げひび割れ状況から付着劣化が想定されるため、これを考慮した検討が必要であると考えられる³⁾。

7. おわりに

実橋部材を用いた耐荷性能に関する研究では、本稿のように劣化調査や載荷試験により評価が行われている。しかし、供用中の橋梁から鉄筋等の



※ M_{cr} : ひび割れ発生モーメント M_y : 降伏曲げモーメント

図-10 曲げモーメントと曲率の関係

試料採取を行うことは構造上の安全性から困難であるため、可能な限り破壊を伴わない耐荷力評価手法が必要である。

今後は、本稿で紹介しているような耐荷力に関する試験と併せて、外観目視(点検)や非破壊検査を行い、これらの結果を付き合わせて、破壊せずに内部の状況が推定できる評価手法の提案に向けて研究を進めていく方針である。

謝 辞

本稿の試験体は、島根県江津市の協力で提供されたものである。関係各位に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 横沢篤、加藤絵万、横田弘、下村匠：供用40年が経過したRC栈橋上部工の劣化と構造性能、コンクリート工学年次論文集、Vol.27、No.2、pp1591～1596、2005
- 2) 佐々木淳、中田泰広、丸山久一、清水敬二：鉄筋腐食を伴うRC供試体の付着性状と耐荷性状、土木学会年次学術講演会講演概要集第5部、pp542～543、1990
- 3) 山住克巳、宮本征夫、佐藤勉：鉄筋を腐食させたRCはりの劣化状態と耐力について、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.12、No.1、pp.557～562、1990
- 4) 土木学会：コンクリート技術シリーズNo.85続・材料劣化が生じたコンクリート構造物の構造性能、2009

岡 智彦*



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 交流研究員
Tomohiko Oka

花井 拓**



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
Taku Hanai

木村嘉富***



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
Yoshitomi Kimura