

載荷試験による補修RC桁の耐荷力評価

本間英貴* 木村嘉富** 花井 拓*** 中島道浩****

1. はじめに

わが国の道路橋を初めとする土木構造物は、昭和30～40年代にその多くが建設されている。今後、建設後50年以上を経過する道路橋が増えていく中、補強等を実施された橋梁を適切かつ合理的に維持管理していくための点検、診断、対策、評価技術が求められている。

しかし、補強された橋梁については、補強後に再劣化が生じた場合、構造安全性を評価することが難しい場合が多い。そこで、補強後に再劣化したRC橋の耐荷性能を評価する手法の確立に向けた研究として、既設橋で撤去された単純RC桁を用いて各種試験等を実施した¹⁾。

本稿では、再劣化により鋼材が腐食した橋梁の耐荷力評価手法の検討を主な目的として、劣化損傷調査、載荷試験による桁各部のひずみ、変位、ひび割れ幅等の挙動計測、また、載荷試験後に行った材料強度試験、鋼材腐食状態調査、塩化物イオン濃度調査等の解体調査結果について報告する。

2. 対象橋梁の概要

2.1 橋梁諸元

対象橋梁である長橋（表-1）は、新潟県柏崎市の国道352号線の宮川に架かる橋で、海岸線から約90mの位置に架橋された単純RCT桁の道路橋であった（図-1）。

表-1 長橋諸元

橋梁名	長橋(おさばし)
路線名	国道352号線(管理者:新潟県)
架橋位置	新潟県柏崎市宮川
橋長	8.56m(支間長8.1m)
橋梁形式	単純RCT桁橋
竣工年	昭和40年(1965年)
適用示方書	昭和39年鉄筋コンクリート道路橋設計示方書



図-1 位置図及び撤去前写真

本橋は、過去に塩害による損傷を受け、断面修復・表面被覆・鋼板補強を施していたが、塩害による再劣化やASRの発症が確認されたため、新設橋への架替えが決定され、供用から45年で撤去された。撤去前に確認された損傷として、主桁に幅10mm程度のひび割れや補強鋼板の腐食があり（写真-1）、また塩害対策用塗膜の大部分に浮きが確認されていた。



写真-1 桁下の損傷状態

2.2 試験体の概要

撤去された5主桁の内、鋼板補強を施したG3桁（No.1試験体）と鋼板補強をしていないG2桁（No.2試験体）を試験対象とした（図-2）。

No.1では、桁端部側面に斜め方向の幅10mm程度のひび割れが確認された。ただし、表面塗膜により桁の損傷状態が確認ができないため、塗膜除去後に調査を実施し、その結果を図-3に示す。

過去の補修として樹脂コンクリートによる断面補修履歴が確認された。また、コンクリート表面には、ひび割れ、浮きが多数確認された。

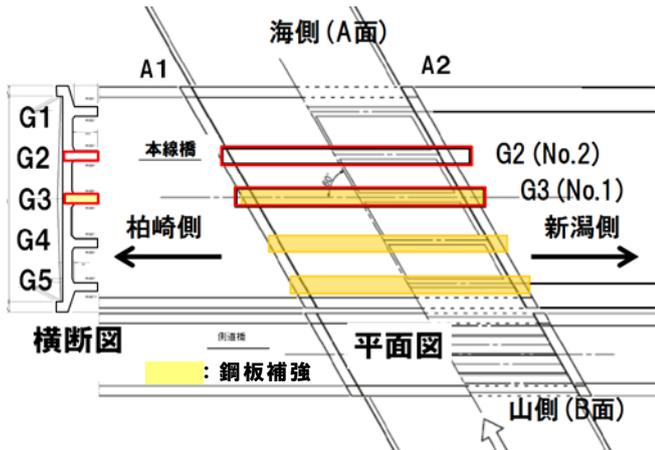


図-2 長橋平面図と試験体との関係

3. 調査及び試験結果

3.1 コンクリート圧縮強度及び弾性係数

コンクリート強度及び静弾性係数試験の結果、ほとんどのコアで、強度に比して弾性係数の低下が顕著な結果となった(図-4)。これは、後述するASRの影響が考えられる。

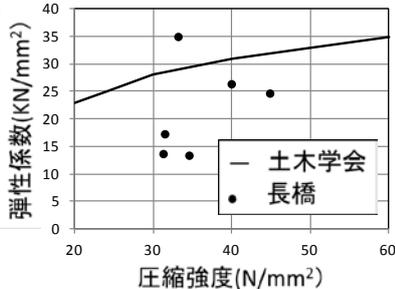


図-4 圧縮強度と弾性係数の関係

3.2 主鉄筋強度

引張強度確認用の主鉄筋(φ25と推定)は、健全と考えられる箇所を選定した。試験結果より、降伏強度、弾性係数ともにSR235の一般的な値(降伏強度: 235N/mm²、弾性係数: 200kN/mm²)と大きく変わらない(表-2)。

表-2 主鉄筋試験結果

供試体	番号	降伏強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	伸び (%)
No.1	①	338.7	207.7	23.07
	②	340.7	209.5	27.22
	③	329.4	204.4	14.83
	平均	339.7	208.6	25.15
No.2	①	327.5	206.5	26.62
	②	329.2	213.0	26.48
	③	329.6	206.5	26.18
	平均	328.8	208.7	26.43

No.1③標点外破断のため、除外

3.3 中性化深さ、塩化物イオン濃度

中性化深さ及び塩化物イオン濃度は、断面修復を実施していない面(表面被覆有り)で測定した。中性化深さは表面から10mm程度におさまっていた。塩化物イオン濃度測定の結果、表面が内側に比べ少なく、せん断補強筋位置付近で最も高くなる結果となった。これは補修による表面被覆後に内部に蓄積された塩化物イオンの拡散や中性化による表面部の塩分濃縮等が想定される(図-5)。

表-3 中性化深さ

試験体	番号	最小値 (mm)	最大値 (mm)	平均値 (mm)
No.1	1	7	11	8
	2	10	11	11
	3	5	8	6
No.2	1	0	1	0
	2	1	4	3
	3	0	6	2

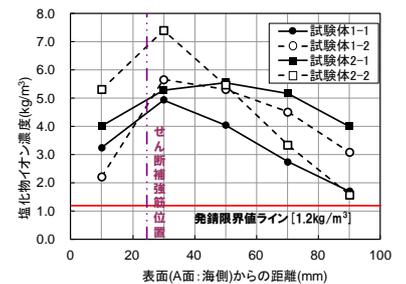


図-5 塩化物イオン濃度分布濃縮等が想定される(図-5)。

3.4 偏光顕微鏡観察

試験体No.1を対象に、ひび割れ近傍のコアを採取し、目視観察、偏光顕微鏡観察を行った。観察写真より、破断面では海側と山側ともに骨材破断面と周囲のセメントペーストにASRゲルが形成されているのが確認された(写真-2)。

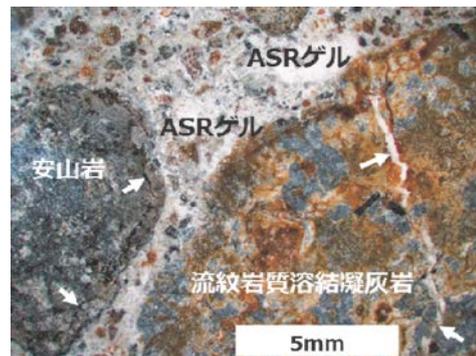


写真-2 コア切断面観察写真

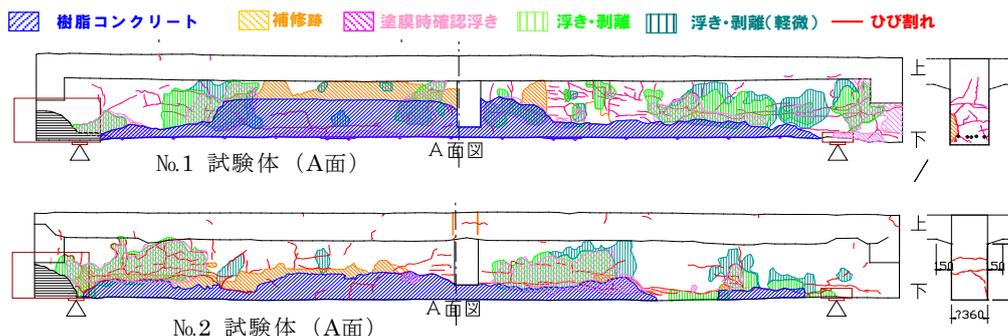


図-3 塗膜除去後の試験体の外観調査結果

3.5 鉄筋腐食量

荷重試験後のNo.1支間中央部ではつり調査を実施したところ、主鉄筋がほぼ一様に腐食している状況が確認できた(写真-3)。

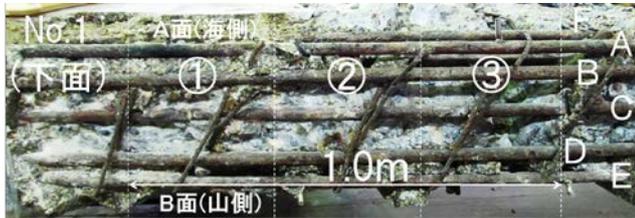


写真-3 主鉄筋の腐食状態 (No.1支間中央部下面)

両試験体の支間中央部1mの範囲の主鉄筋をJCI-SC1に準拠した除錆を行い、健全と見なせる鉄筋に対する腐食減少量を計測した。除錆後の鉄筋では激しい孔食が確認された(写真-4)。

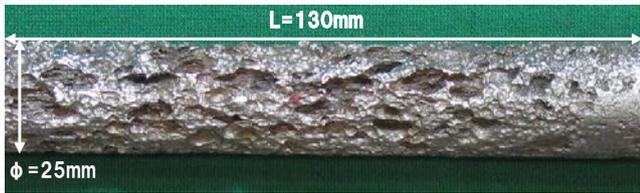


写真-4 除錆後の鉄筋 (No.1 A)

質量減少率(1-腐食後重量/初期重量)は、採取した1段目(下側)の鉄筋を長手方向に3分割した区間毎に計測した。また、それぞれの区間におけるノギス最小径から求めた断面減少率(1-腐食断面/初期断面)を1段目、2段目の鉄筋について計測した。それぞれの減少率について、鉄筋毎に平均した値について図-6に比較する。

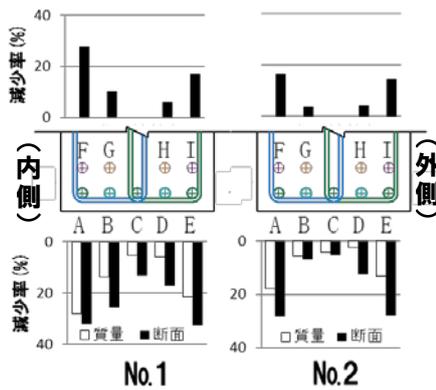


図-6 鉄筋腐食量

図-6より、鉄筋毎の腐食傾向を見ると外側の鉄筋(A,E,F,I)の腐食が内側よりも進行していることが分かる。また、1段目(A~E)と2断面(F~I)で断面減少率を比べると、下面に近い1段目の腐食量が多い。試験体で比較すると、No.1の腐食量が多い。No.1はNo.2より内側の桁で鋼板補強されており(図-2参照)、劣化度合いが外側のNo.2よりも激しかったために鋼板による補強が行われた可能性がある。

3.6 荷重試験

図-7に荷重試験概要(No.1)を示す。支間を7,400mm、せん断スパン比が3.5程度となるように等曲げ区間2,000mmとし静的2点曲げ荷重試験を行った。計測項目は、No.1、No.2ともに荷重、たわみ、ひずみ(コンクリート表面、鉄筋)とし、No.1に関しては、鋼板のひずみ、鋼板の剥がれ、鋼板継ぎ目部のひび割れ幅も計測した。

図-8に荷重とたわみの関係を示す。No.1は630kN付近において鉄筋が降伏し、その後、鋼板の剥離が確認された。Pmax=718kNを計測したのち、圧縮鉄筋の座屈によって終局となった。No.2は730kN付近において鉄筋が降伏し、Pmax=792kNを計測したのち、コンクリート上縁の圧壊により終局に至った。

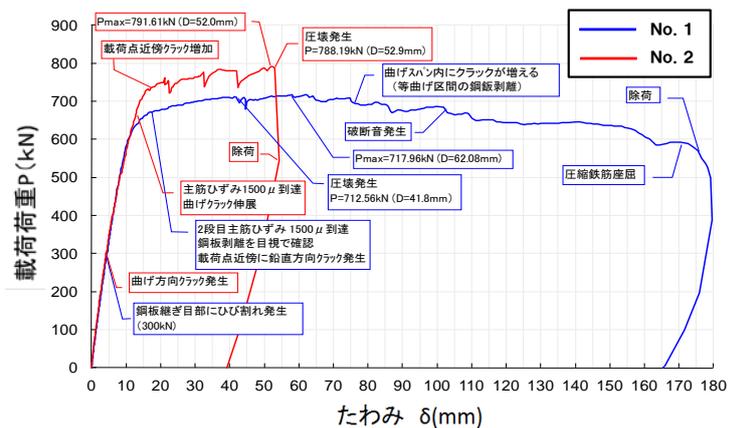


図-8 荷重たわみ曲線

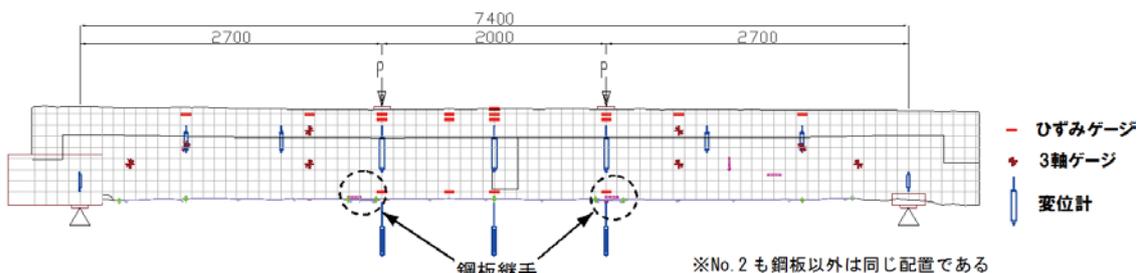


図-7 荷重試験概要 (No.1)

4. 耐荷力評価に関する考察

劣化したRC橋の耐荷力評価をする上では、鋼材腐食量の影響が大きいことが知られているため、鋼板の有無、鉄筋腐食量（断面減少率）を考慮した耐荷力を算出し、計測値との比較を行った（表-4、図-9）。

No.1では、鋼板を考慮すると計測値に対して23%も大きくなり、また、载荷中に鋼板がはく離したことから、鋼板の終局耐力への寄与は小さかったものと考えられる。また、鉄筋の腐食を考慮した場合、計測値よりも14%小さく見積もる結果となった。

No.2では、鉄筋に腐食が生じていないとした場合でも計測値より6%小さい値となった。鉄筋の腐食を考慮した場合には計測値よりも13%小さい値となった。

本橋では、引張側に断面修復材として引張強度の高い樹脂コンクリートが用いられていた。計測値が鉄筋の腐食を考慮した場合に比べて10数%程度高めの値となる要因として、この樹脂コンクリートの寄与も考えられる。また、鋼板補強のないNo.2がNo.1よりも終局耐力で大きくなったことも、この樹脂コンクリートの補修程度の違いなどに影響されている可能性もある。

表-4 検討ケースと解析結果

試験体	鋼板	鉄筋断面減少	腐食率 (%)※	計測値 (kN)	計算値 (kN)	計算値/計測値
No.1	無視	考慮	12.8	718.0	616.8	0.86
	考慮	考慮	12.8		886.2	1.23
	無視	無視	-		747.1	1.04
No.2	-	考慮	6.7	791.6	690.9	0.87
	-	無視	-		745.6	0.94

※腐食率 = 1 - 腐食鉄筋断面 / 健全鉄筋断面

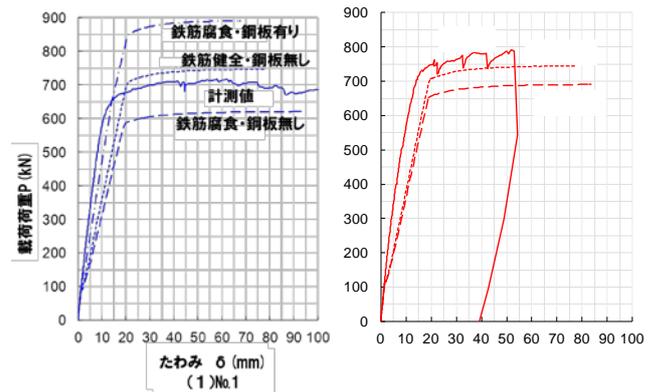


図-9 計測値と解析結果

(解析条件：ファイバーモデルによる解析、材料物性は実験後の試験値の平均値を使用、鋼材断面は質量減少率を使用、コンクリート断面は計測値を使用)

5. まとめ

本橋は複合劣化と多様な補修方法を有していたが、何れの試験体でも、鉄筋の腐食を考慮した数値解析によって10数%安全側に耐力を評価することができた。以上より、鉄筋の腐食状況の調査が可能であれば、ある程度の耐荷力を評価できることが確認された。今後は、補強材の効果をどのように評価に加味していくか検討していく予定である。

謝 辞

本試験体は、新潟県柏崎地域振興局のご協力により提供していただきました。また、国土交通省北陸地方整備局の関係各位のご協力にも深く感謝いたします。

参考文献

- 「劣化したRC橋の耐荷力評価に関する研究-長橋の臨床研究-土木研究所資料4233号,2012.8

本間英貴*



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
Hidetaka HOMMA

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

花井 拓***



本州四国連絡高速道路株式
会社大橋技術センター総括・
防食グループサブリーダー
(前 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

中島道浩****



八千代エンジニアリング株式
会社総合事業本部構造・橋梁
部技術第四課 (前 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
Michihiro NAKAJIMA