

塩害で劣化した既設 RCT 桁の耐荷性能に関する解析的検討

北武コンサルタント（株） 正会員 ○関下 裕太 坂口 淳一 渡邊 忠朋
非会員 土岐 秀人 山田 友梨奈

1. はじめに

劣化した既設構造物の性能を評価するにあたり、土木学会コンクリート標準示方書【維持管理編】では軸方向鋼材に沿う腐食ひび割れが発生しているなど、部材の劣化程度が大きい場合には非線形有限要素解析を用いるのがよいとされている。これより、塩害により劣化が生じた既設橋の RCT 桁を対象に、上部工の耐荷性を把握することを目的とした 3 次元非線形有限要素解析を実施した。なお、対象橋梁の既存資料が無く、部材形状や配筋情報が不明であったことから、必要な情報を得るための調査を事前に行い、調査結果の情報を基に健全および劣化した状態を模擬した解析を行い、劣化した状態が耐荷性能に及ぼす影響について検討した。

2. 対象構造物の概要

本橋は、海岸線沿いに架橋された竣工後 50 年ほど経過した単純 RCT 桁である。図 1 に、構造断面図を示す。

竣工後、塩害対策として主桁全体に表面保護工が実施されたものの、調査時では表面被覆材の浮きや軸方向鉄筋に沿ったひび割れが確認された。なお、これらは特に海側の面 (G1 桁) において広範囲に発生していた。

3. 現地調査の概要

外観上、劣化が広範囲に生じていることは明らかであったものの、表面保護工によってコンクリート表面および内部の劣化状態が不明であったことから、次の

①～④に示す調査を実施し劣化状態などを把握した。①部材の寸法計測、②配筋情報を得るための非破壊探査、③面的な劣化状態を把握するための打音調査、④劣化深さや鉄筋の腐食状態を把握するためのはつり調査等。

調査の結果、鉄筋の断面減少(最も腐食した箇所の主鉄筋:D29 は $\phi 27.2\text{mm}$, せん断補強筋:D10 は $\phi 6.6\text{mm}$)が確認され、表面被覆材の浮き部はかぶりコンクリートの剥離・剥落(最大劣化深さ 90mm)に至っていた。

4. 解析モデルの概要

図 2 に、解析モデルを示す。図中、紫色の範囲は、表面被覆材の浮きの範囲を示している。解析モデルは、上部工全体をソリッド要素とし、主桁の要素分割は最大劣化深さに配慮して断面方向に 100mm と設定した。

荷重条件は、死荷重の載荷後に、橋面に対して活荷重を想定した等分布荷重を主桁が破壊に至るまで単調に増加させた。なお、活荷重は道路橋示方書・同解説に従って、992.2kN (単位面積あたり 11.1kN/m²) とした。

(1) 材料劣化の影響のモデル化方法

検討ケースを表 1 に示す。本検討では、段階的に劣化の影響を考慮したモデルで 4 ケースの解析を行った。

キーワード：RCT 桁、塩害、現地調査、3 次元非線形有限要素解析、耐荷性能

連絡先：〒062-0020 札幌市豊平区月寒中央通 7 丁目 4 番 7 号 北武第 2 ビル、TEL：011-851-3181

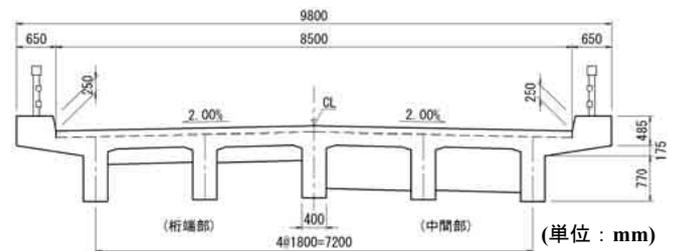


図 1 構造断面図

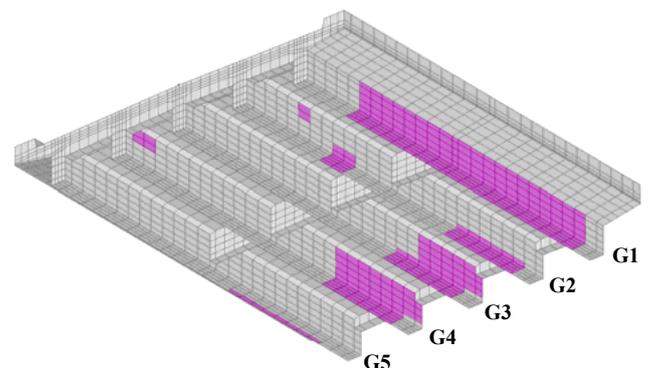


図 2 3次元有限要素モデル図(要素分割図)

表 1 検討ケース

ケース	状態	材料劣化の影響の考慮			
		A	B	C	D
Case1	健全	—	—	—	—
Case2	劣化	○	○	—	—
Case3	劣化	○	○	○	—
Case4	劣化	○	○	○	○

※A：腐食に応じた鉄筋断面積の減少

B：鉄筋-コンクリート間の付着の低下

C：かぶりコンクリートの剥離による断面減少

D：かぶりコンクリートの剥離によるせん断補強鉄筋の効果の減少

Aの「腐食に応じた鉄筋断面積の減少」は、現地調査で得られた最小値を用いて、鉄筋の公称断面積に対する腐食後の断面積を主鉄筋で90.5%、せん断補強筋で48.0%とした。Bの「鉄筋とコンクリート間の付着の低下」は、コンクリートの引張剛性の影響の低下により考慮した。具体的に、引張軟化係数をRC要素に対して用いられる $c=0.4$ から、無筋要素に用いられる値とすることで、ひび割れ発生以降のコンクリートの引張応力の負担を減少させた。Cの「かぶりコンクリートの剥離による断面減少」は、コンクリートの圧縮強度および引張強度を、健全部の10%とすることで擬似的に考慮した。Dの「かぶりコンクリートの剥離によるせん断補強筋の補強効果の減少」は、せん断補強筋に対する鋼材量を0%とすることで考慮した。

(2) 材料構成則

本検討では、岡村・前川らのコンクリートのひび割れや鉄筋の降伏を考慮した非線形材料構成則を適用した。引張領域のコンクリートの応力-ひずみ関係は、鉄筋との相互作用を考慮したものを用いており、これと対応させて鉄筋にはコンクリート中の鉄筋の平均応力-平均ひずみ関係を用いている。

5. 解析結果および考察

(1) 荷重-変位関係

図3に、各検討ケースにおけるG1桁の全反力-スパン中央変位を示す。図より、健全なCase1と比較していずれのケースも荷重の低下はほぼ見られず、耐荷力の低下は生じていないことが確認された。また、劣化した状態を考慮しても、終局荷重作用時の2倍以上の耐荷力を有していることがわかった。

図4に、Case4における活荷重載荷後、死荷重まで除荷した時の全反力-スパン中央変位を示す。図より、山側のG5桁側に比べて、劣化度合いの大きい海側のG1桁側で変形が大きいことが確認できる。これは、材料劣化のモデル化の影響による、主桁の剛性の低下によるものと考えられる。

(2) コンクリート要素の損傷状況

図5に、Case4における活荷重載荷後、死荷重まで除荷した時の最大主ひずみコンターを示す。図中、赤色の領域はひび割れが開いた状態に相当する。図より、主桁下面の曲げひび割れの残留は見られるが、主桁側面にせん断ひび割れは生じていない。このことから、材料劣化の影響を考慮する領域の表面から100mmの範囲について、コンクリートの断面やせん断補強筋を考慮しなくても、本橋は死荷重に対して十分な耐力を保有していると見られる。なお、鉄筋については、スパン中央の主鉄筋の応力度が 50N/mm^2 程度であり、鉄筋の降伏応力度(295N/mm^2)に比べて小さい、すなわち鉄筋が降伏していないことは別途確認している。

6. おわりに

本検討では、塩害で劣化した既設橋を対象として、非線形解析により劣化した状態が耐荷性能に及ぼす影響について検討した。その結果、本橋は十分な耐荷力を有していることが明らかとなり、材料劣化のモデル化の影響に差異も見られなかった。本事例の構造物では耐荷性の低下は生じていなかったが、劣化程度が顕著な構造物は数多く存在するため、今後も実務での非線形解析を用いた性能評価を行っていく考えである。

参考文献：岡村甫，前川宏一：鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則，技報堂出版，1991。

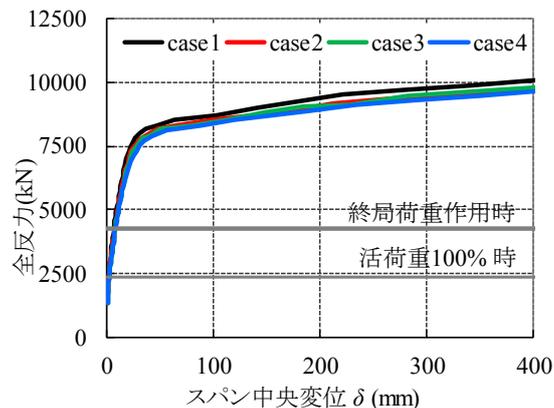


図3 全反力-スパン中央変位関係(G1桁)

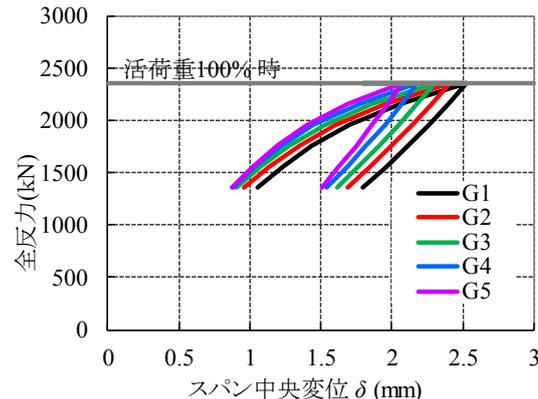


図4 全反力-スパン中央変位関係(Case4)

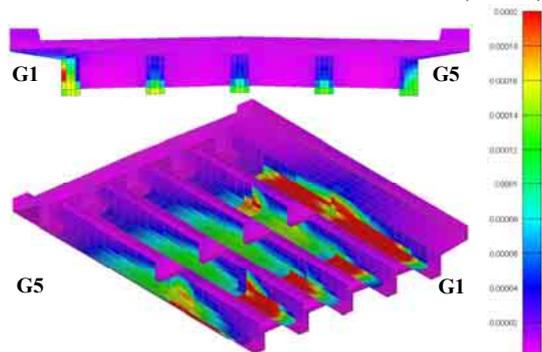


図5 最大主ひずみコンター図(Case4)