

橋梁点検における3次元有限要素モデルの有効性

西日本工業大学 工学部 総合システム工学科 准教授 正会員 濱本 朋久
 公益財団法人 群馬県建設技術センター (元群馬高専) 正会員 ○根岸 伸治
 日本サーベイ株式会社 理事 (元群馬県藤岡土木事務所長) 正会員 三田 淳

1. はじめに

わが国の道路管理者は、道路法の改正を受けて、2014年7月より、全ての橋梁やトンネル等について、5年に1度、近接目視で点検を行い、4段階で診断している¹⁾。しかし、人口が少なく予算規模が小さい地方の市町村では、点検データ不足などから予算の確保に与える影響が大きくなる可能性も考えられる。従って、事後的な修繕計画から、予防的な修繕計画へと移行することにより、橋梁の長寿命化や維持管理費用の縮減などを図りつつ、安全性および信頼性を確保することが求められている。そこで本研究では、老朽化した道路橋の修繕計画を作成するための構造的な資料として、鉄筋が露出している小規模な鉄筋コンクリート(以下、RCと称す)橋を対象に、3次元有限要素解析(以下、FEMと称す)を用いて損傷個所の安全性を検証する。

2. 解析条件

地方の市町村が管理する老朽化した既設橋梁は、小規模な単純桁橋を対象とする。既設の一般的なRC単純桁橋を、図-1に示す。構造診断対象の橋梁諸元として、橋梁形式はT桁断面を選定し、桁長： $L=10.00$ m、有効幅員： $B=6.00$ m、支間長： $l=9.40$ m、桁遊間： $g=0.02$ mとした。T桁断面(中立軸がフランジにある場合)の簡易計算式として、コンクリートの曲げ圧縮応力度 σ_c と鉄筋の曲げ引張応力度 σ_s は、当時の参考図書²⁾から(1)式および(2)式により算定する。

$$\sigma_c = \frac{2M}{k \cdot j \cdot b \cdot d^2} \quad (1)$$

$$\sigma_s = \frac{M}{A_s \cdot j \cdot d} \quad (2)$$

ここで、 M は設計曲げモーメント、 h は桁高、 t はフランジ厚、 b はフランジ幅、 b_o はウェブ幅、 d は有効高、 A_s は引張鉄筋の断面積、 N は中立軸、 p は引張鉄筋の鉄筋比、 k は中立軸比、 j は応力中心間の距離、 z は合力間距離、 x は圧縮縁から中立軸までの距離である。また、RC断面の簡易式で計算する前提条件の4項目を以下に示す。① 弾性論を用いる。すなわち、材料(鉄筋およびコンクリート)はフックの法則に従う。② 歪みは中立軸からの距離に比例する。すなわち、ベルヌーイの平面保持の仮定が適用できる。③ コンクリートの引張応力は無視する。すなわち、引張応力はすべて鉄筋で負担する。④ 鉄筋 E_s およびコンクリート E_c の弾性係数は一定とし、弾性係数比($n=E_s/E_c$)は15とする。この条件では引張側にコンクリートが実在するが、コンクリートの引張応力が非常に小さいために安全側の設計手法として合理的な条件設定と考えられる。しかし、新設のRC断面計算には適しているが、鉄筋が露出したRC断面計算に対応しにくい。

次に、実務設計の専用ソフトは、前述に示す前提条件を踏襲したフォーラムエイトのRC断面計算ソフト³⁾を使用する。また、RCを有する主桁のT桁断面のウェブ幅は0.50mである。二等橋を想定した鉄筋コンク

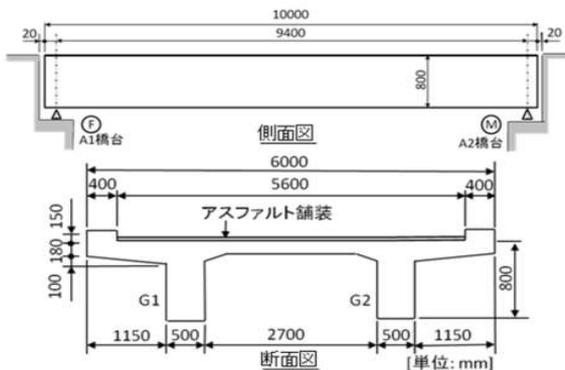


図-1 小規模橋梁の一般図

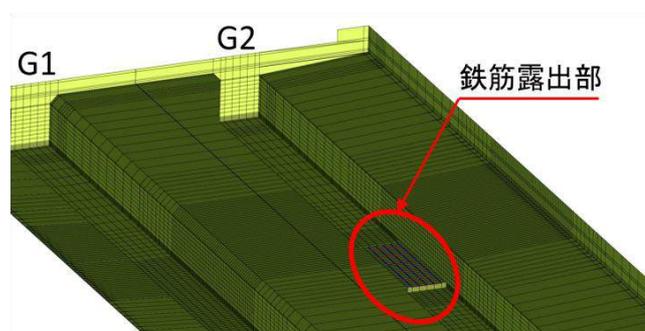


図-2 鉄筋露出のモデル化

キーワード：維持管理，構造診断，鉄筋露出，3次元有限要素，小規模な道路橋

連絡先：〒371-0854 前橋市大渡町 1-10-7 建技センター TEL:027-251-8141 E-mail:negishi-s@gunma-ctc.jp

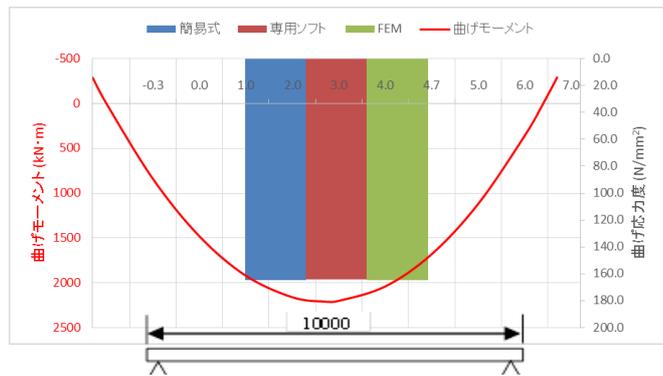


図 - 3 計算手法の比較検討

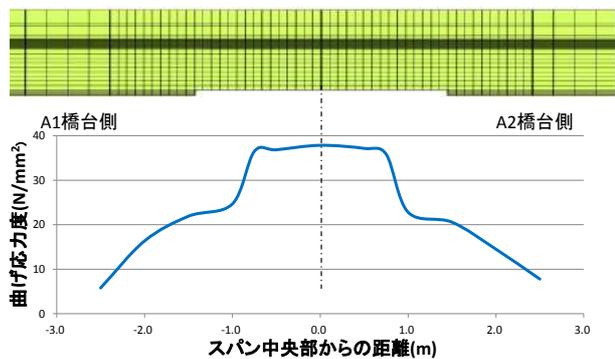


図 - 4 鉄筋露出部における主鉄筋の曲げ応力

リートを有する主桁のコンクリート設計基準強度の σ_{ck} は 21.0N/mm^2 とした。本検討では建設当時の断面積を勘案して異形鉄筋 (SD295A) の D25×5 本を設定した。

本数値解析では、3次元 FEM のソフトウェアである MIDAS⁴⁾ を適用する。鉄筋およびコンクリートの応力とひずみの関係は、既設の対象橋梁が許容応力度法により設計されており、コンクリート剥落などの経年劣化に着目しているため、本検討では弾性でモデル化した。本解析モデルの総節点数は 49082 点で、総要素数は 45570 要素である。材料定数である弾性係数は、コンクリートは $2.35 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ とし、鉄筋は $2.01 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ とした。ポアソン比は、コンクリートで 0.2、鉄筋で 0.3 とした。本研究の境界条件は、支承下面を鉛直方向に固定とした。荷重条件として、建設当時の昭和 40 年代で交通量が少ない二等橋の TL-14 相当となる自動車荷重を設定し作用させた。図-2 に示す鉄筋露出のモデル化は、G2 桁のスパン中央部に、延長 1.5m の範囲で被りコンクリートが剥落した状態と考え、鉄筋が露出したモデルを直方体として要素で分割したコンクリートのソリッド要素を控除することで疑似的に設定した。また、鉄筋露出のモデルには、損傷している G2 桁に自動車の軸重幅である 1.75m 相当を考慮したレーン載荷として等分布 $q = 60.0 \text{kN/m}^2$ を考慮した。

3. 解析結果および考察

RC の T 桁断面を対象に、スパン中央部の曲げ応力度に着目した簡易計算式と専用ソフトと 3次元 FEM の解析結果を、図-3 に示す。簡易計算式の曲げ応力度は 164.5N/mm^2 となり、専用ソフトの曲げ応力度は 164.2N/mm^2 になった。これは、引張側のコンクリートは無視しているため、大きな差異は確認できなかった。これに対して、3次元 FEM でモデル化した結果は 152.7N/mm^2 となり、簡易計算式や専用ソフトによる曲げ応力度に比べて 7.2% 程度低減された。この差異は、引張側のコンクリートも考慮している影響と考えられる。これより、維持管理を計画する構造診断では、境界条件や損傷のモデル化に留意する必要があるが、3次元 FEM の計算手法は有効であると考えられる。さらに、G2 桁のスパン中央部に延長 1.5m の範囲で鉄筋が露出しているモデルとして、主鉄筋の曲げ応力度を、図-4 に示す。図-4 より、被りコンクリートの剥落部分が直方体であるため、スパン中央部で曲げ応力度は最大となるが、鉄筋が露出している境界部 (端部) で約 65.6% の曲げ応力度が急激に増加していることがわかる。これは、3次元 FEM ではコンクリートが全断面有効であるが、コンクリート要素が欠損すると鉄筋の曲げ応力度に大きな負担になっていると考えられる。

4. まとめ

本検討では、鉄筋が露出している小規模な RC 橋の構造診断を実施するために、RC 断面の計算手法に着目して、3次元 FEM を用いて構造検討を実施した。検討の結果、鉄筋が露出している RC 断面には、3次元 FEM によるモデル化の有効性が確認できた。なお、本研究では鉄筋露出を考慮した RC 断面を有する主桁の曲げ応力度に着目したが、今後は主桁のせん断応力度や材料の非線形性を考慮した床版のひび割れについても検討する予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局：道路法施行規則の一部を改正する省令，2014.7
- 2) 清野茂次，神山立男：T 桁橋の設計，オーム社，1965.12
- 3) フォーラムエイト：RC 断面計算 操作ガイダンス，ver.8，2016.9
- 4) MIDAS IT：Analysis Manual of midas FEA，ver360R1，2014.6