

既設 T 桁橋の 3 次元有限要素解析による構造検討

群馬工業高等専門学校 環境都市工学科 正会員 濱本 朋久
群馬工業高等専門学校 環境都市工学科 学生員 ○根岸 伸治

1. はじめに

わが国の道路橋は、昭和 30 年代に始まる高度経済成長期から大量に建設され、日本の経済成長と国民生活の向上に大きな役割を果たしてきた。これらの道路橋は建設後 40 年～50 年が経過することから、今後急速に高齢化が進むことになり、損傷・劣化が多発する危険性が高まっている。今後の社会資本整備は、少子高齢化に伴う社会保障費などの財政需要が増大する中で公共投資の縮減が求められている。しかしながら、社会資本が老朽化して維持管理費が増大することが懸念されるが、その更新を図ることがままならない状況となっている。ここで、施設管理者には、適切な維持管理を行い施設の機能と性能を確保することによって、社会資本を利用する受益者が安全・安心に利用して、その使用の満足度を高めることが求められている。一方で、従来の事後的な修繕および架替えから、予防的な修繕および計画的な架替えへと移行することにより、橋梁の長寿命化、維持管理費用の縮減、更新費用の平準化を図りつつ、安全性および信頼性を確保することを目的に、老朽化した道路橋の維持管理計画を作成するための構造的な資料が必要となる。そこで本研究では、被りコンクリートが剥がれ落ちて鉄筋が露出している鉄筋コンクリート橋の構造診断を実施するために、鉄筋コンクリート断面の計算手法に着目して、3次元有限要素解析を用いた構造検討を実施する。

2. 解析条件

地方の市町村が管理する老朽化した既設の一般的な鉄筋コンクリート単純桁橋を、図 - 1 に示す。既設橋梁は、普通河川を渡河する単純桁橋を対象とする。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、橋長： $L=10.00\text{m}$ 、有効幅員： $B=6.00\text{m}$ 、支間長： $\ell=9.40\text{m}$ 、桁遊間： $g=0.02\text{m}$ 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、図 - 2 に示す関係から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¹⁾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、 b はウェブ幅、 d は有効高、 A_s は引張鉄筋の断面積、 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である。また、鉄筋コンクリート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。

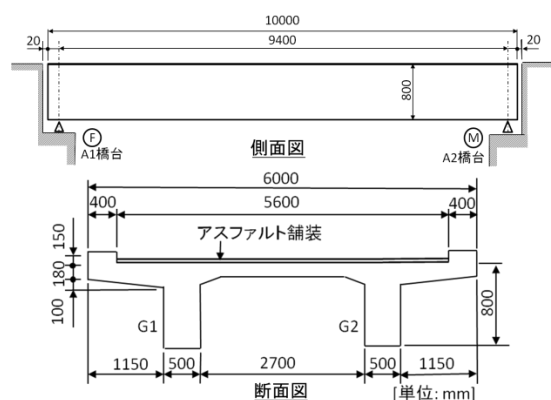


図 - 1 解析対象橋梁

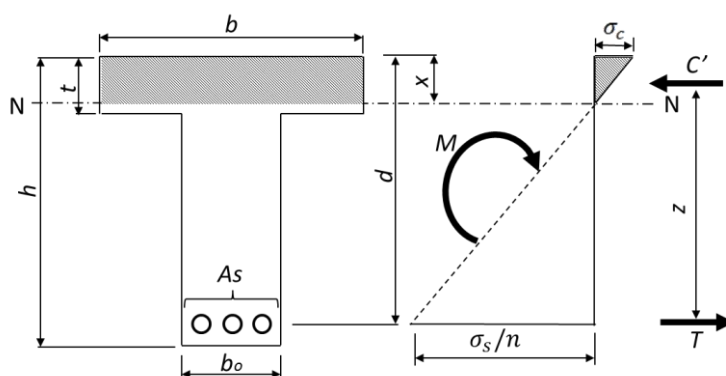


図 - 2 鉄筋コンクリート断面の応力分布

キーワード：構造診断，維持管理，鉄筋コンクリート，3次元有限要素，道路橋

連絡先：〒371-0845 群馬県前橋市鳥羽町 580 群馬高専 TEL:027-254-9180 E-mail: c11528@ipc.gunma-ct.ac.jp

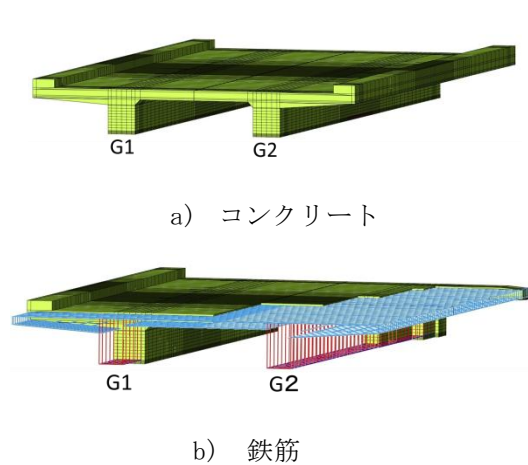


図 - 3 3次元有限要素モデル

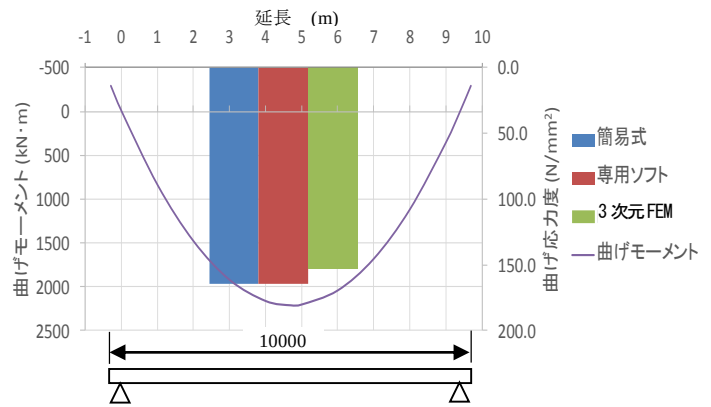


図 - 4 計算手法の比較検討

しかし、コンクリートが健全である新設の鉄筋コンクリート断面計算には適しているが、コンクリート剥落や鉄筋が露出した鉄筋コンクリート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鉄筋コンクリート断面計算ソフト²⁾を使用する。また、鉄筋コンクリートを有する主桁のT桁断面のウェブ幅は0.50mである。鉄筋コンクリートを有する主桁のコンクリートの設計基準強度 σ_{ck} は21.0N/mm²とした。主鉄筋であるSD295Aは異形鉄筋D25×5本とし、スターラップはD13ctc250とした。さらに、橋梁の長寿命化対策を実施する上で、被りコンクリートが剥落した状態について応力状態を検証する必要がある。そのために、3次元有限要素のモデルを構築し、現時点での構造的な診断を実施する。本数値解析では、3次元有限要素解析のソフトウェアであるMIDAS³⁾を適用する。鉄筋コンクリート断面を有する桁橋は、コンクリートを8節点アイソパラメトリックソリッド要素でモデル化し、鉄筋は梁要素でモデルを構築した。鉄筋要素の結合条件として、床版は埋め込み鉄筋とし、着目している主桁に関しては鉄筋露出を考慮してコンクリート要素に共有節点で接続させた。図-3に示すように鉄筋をモデル化した。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。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、上部構造である橋桁は実務設計の活荷重載荷時で決定されるため、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、等分布 $q=200.0$ kN/m²に換算して作用させた。

3. 解析結果および考察

鉄筋コンクリートのT桁断面を対象に、スパン中央の曲げ応力度に着目した簡易計算式と専用ソフトと3次元有限要素法の解析結果を、図-4に示す。簡易計算式の曲げ応力度は、164.5N/mm²となり、専用ソフトの曲げ応力度は、164.2N/mm²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次元有限要素でモデル化した結果は152.7N/mm²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。

4. まとめ

本検討では、既設の一般的な鉄筋コンクリート橋の構造診断を実施するために、鉄筋コンクリート断面の計算手法に着目して、3次元有限要素解析を用いて構造検討を実施した。検討の結果、鉄筋コンクリート断面には、3次元有限要素法によるモデル化の有効性が確認できた。なお、本研究では鉄筋コンクリート断面を有する主桁の曲げ応力度に着目したが、今後は、主桁の鉄筋露出やせん断応力度、材料の非線形性を考慮した床版のひび割れに関しても検討する予定である。

参考文献

- 1) 清野茂次, 神山立男: T桁橋の設計, オーム社, 1965.12
- 2) フォーラムエイト: RC断面計算 操作ガイダンス, ver.8, 2016.9
- 3) MIDAS IT: Analysis Manual of midas FEA, ver360R1, 2014.6