

検査記録と3次元解析を用いた既設鉄道RC構造物の性能評価に関する基礎的検討

(公財) 鉄道総合技術研究所 (現: ジェイアール東海コンサルタンツ (株)) 正会員 ○永坂 亮介
(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 角野 拓真 正会員 仁平 達也
北武コンサルタント (株) 非会員 大滝 航 正会員 坂口 淳一

1. はじめに

既設 RC 鉄道構造物の検査においては、主として目視による外観上の変状から、経験等に基づき半定量的に健全度を判定し¹⁾、検査結果をひび割れ展開図等で記録している。しかしながら、既設構造物が保有する性能を定量的に評価するためには、変状状態に加えて、作用や形状寸法等の諸元を考慮して健全度を判定する必要があると考える。そこで、本稿では、ひび割れが多数発生した既設橋りょうを対象に、3次元 FEM 解析を用いて既設構造物の性能を定量的に評価し、ひび割れ展開図やたわみ等の検査記録と比較した事例について報告する。

2. 対象構造物および検査記録

対象構造物は、単線 RC スラブ桁とした。スパン長は 8.2m、スラブ厚さは 700mm で片持ちスラブを有し、高さ 1.8m 程度の RC 防音壁が設置され、地覆やダクトが配置されている。軌道種別はスラブ軌道である。図 1 に対象構造物のひび割れ展開図 (検査記録) を示す。側面に最大 1.0mm、スラブ下面に最大 0.3mm 程度のひび割れが多数発生している。そのため、鉄道構造物等維持管理標準・同解説 (コンクリート構造物)¹⁾ の健全度判定では A 相当となる。また、支間中央の列車通過時におけるたわみの計測値は最大 0.3mm である。

3. 検討概要

本検討では、対象構造物のひび割れ展開図と配筋情報を 3次元化し、3次元 FEM モデルに変換し、設計作用を踏まえた解析結果と実側たわみ等を比較した。具体的には以下の 1) ~ 4) を実施した。

1) ひび割れ展開図と配筋情報の 3次元化: 3DCAD を用いて図 1 に示すひび割れ展開図と設計図面の配筋情報を図 2 に示すような、3次元情報に変換した。

2) FEM 解析モデルの構築: 図 3 に対象構造物の解析モデルを示す。要素分割は、図 2 に示す 3次元配筋情報に基づいて設定した。RC または無筋コンクリートを対象としたソリッド要素には、分散ひび割れ—分散鉄筋モデルを用いた非線形材料特性²⁾を考慮した。検討ケースは、版上構造をソリッド要素でモデル化し、それらの剛性を考慮するケース (Case1) と、版上荷重としてのみ考慮するケース (Case2) とした。なお、支点条件は支承線上の位置の桁下面に弾性要素を介して鉛直変位を拘束した。

3) 解析条件の設定: 表 1 に検討に用いた諸条件を示す。荷重は、鉄道構造物等設計標準・同解説 (コンクリート構造物)³⁾ に基づき算定し、主桁本体および版上構造に関する死荷重を載荷した後に、列車荷重+衝撃荷重+遠心荷重を、活荷重の倍率が 200%に達するまで 20%ずつ増分させた。なお、検討に用いた列車荷重は設計で用いられる標準荷重 (EA-17) としたが、たわみ測定時の列車荷重はこれよりも小さいことを確認している。

4) 検査記録と 3次元 FEM 解析結果の比較: 支間中央のたわみについては、計測値と解析結果および設計で想定する値を比較した。また、桁下面のひび割れについては、ひび割れ展開図と解析上のひび割れ発生範囲を比較した。なお、列車通過時の鉄筋応力度については、解析より得られる応答値と設計で想定する値を比較した。

キーワード 検査記録, 3次元 CAD, 3次元 FEM 解析, 維持管理

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 鋼・複合構造 Tel: 042-573-7280

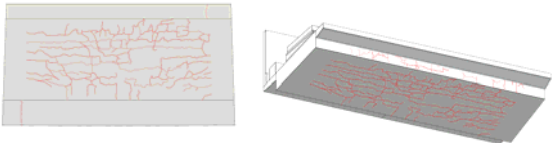


図1 ひび割れ展開図 (検査記録)

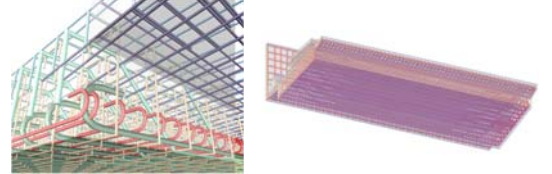
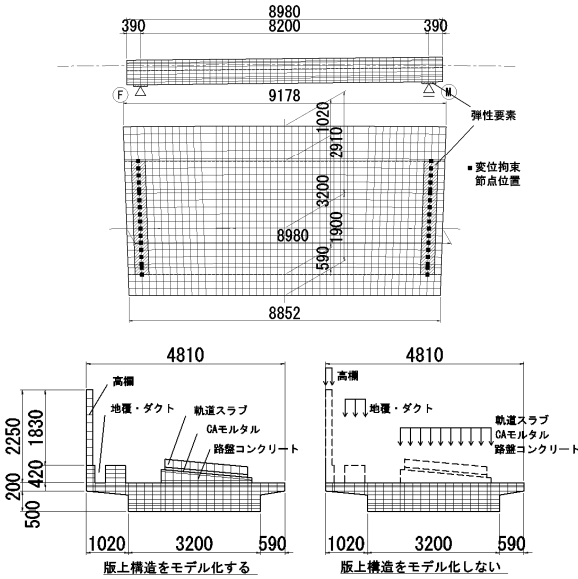


図2 配筋情報



(a) Case1 (b) Case2

図3 対象構造物の解析モデル

表 1 検討に用いた諸条件

列車荷重	EA-17
設計速度	V = 80km/h
曲線半径	R = 400m

4. 検討結果および考察

4.1 支間中央のたわみ

図4に、支間中央のたわみと活荷重の倍率の関係を示す。図の縦軸は、スパン中央部の鉛直変位の下向きのたわみを示している。横軸は、活荷重の载荷倍率を示しており、0%時が死荷重（主桁自重および版上構造の死荷重）のみの载荷状態を示している。図5に、活荷重の倍率が100%時の変形図を示す。図4より、Case2の活荷重倍率40%以降にたわみ量が増加したのは、コンクリートにひび割れが発生したことに起因する。図には、設計で想定する主桁の全断面剛性で算定した値（設計値）を示すが、Case1よりも大きく、Case2よりも小さくなった。また、Case1が計測値を概ね評価する結果となった。既往の文献⁴⁾においても、たわみ量が版上構造の影響を受けることが報告されているが、同様の傾向となった。このことから、当該構造物は版上構造の剛性を考慮した解析モデル Case1 でひび割れや鉄筋応力を評価することが妥当であると推察された。

4.2 桁下面のひび割れ

図6に、活荷重の倍率が100%時の最大主ひずみコンターを示す。コンターレベルの上限は、ひび割れ発生相当（ 200μ ）時を示す。Case2は桁下面にひび割れが発生する判定となるが、Case1はひび割れが発生していない。4.1より、計測たわみがCase1と概ね一致することから、図1に示される対象構造物のひび割れは、力学特性に影響を及ぼす可能性が少ないと考えられる。

4.3 スラブ桁下面の鉄筋応力度

図7に、活荷重の倍率が100%時の鉄筋応力コンター図を示す。コンターレベルの上限は、鉄筋降伏相当（ 200N/mm^2 ）時を示す。図8にスラブ桁下面の鉄筋応力度の最大値と活荷重の倍率の関係を示す。図の縦軸は、スラブ桁軸方向鉄筋（引張鉄筋）の応力度を、引張を正として示している。図より、Case1とCase2において、鉄筋応力に大きな差異が確認できる。図中には、設計計算において用いられる、引張側のコンクリートを無視した断面による鉄筋応力度（設計値）を示すが、Case2よりも大きな値となった。これは、解析においては、コンクリートの引張応力の負担も考慮することによる影響と考えられる。Case1は、曲げひび割れの発生が見られないため、列車通過時においても、鉄筋の応力度は 15kN/mm^2 程度であった。

4.4 構造物の性能評価

4.1～4.3より、力学性能を評価出来るFEM解析モデルを構築し、解析結果から死荷重および活荷重によるひび割れの発生状況と鉄筋の応力度を得た。その結果、版上構造の剛性を考慮した解析モデル（Case1）は、設計で想定しているたわみ量や鉄筋応力度よりも小さい値であることを確認した。また、当該構造物に発生しているひび割れは力学特性に影響を及ぼす可能性が少ないと考えられる。

5. おわりに

変状の発生した既設構造物を対象に、ひび割れ展開図やたわみの検査記録と、3次元FEM解析による応答値を比較した。その結果から、FEMモデルにより精緻な応答を得ることで、既設構造物が保有する性能を定量的に評価できる可能性が確認された。今後もデータを蓄積することで変状の進行性を踏まえた構造物の評価も可能になると考える。

参考文献 1)財団法人鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等維持管理標準・同解説（コンクリート構造物）、丸善、2007 2)公益社団法人土木学会：コンクリート標準示方書（設計編）、丸善、2012 3)公益財団法人鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）、丸善、2004 4)例えば、服部尚道、谷村幸裕、仁平達也、蘆谷譲：60年間供用された鉄道RC桁の力学的性状、コンクリート工学年次論文集、Vol.28, No.2, p.1621-1626, 2006

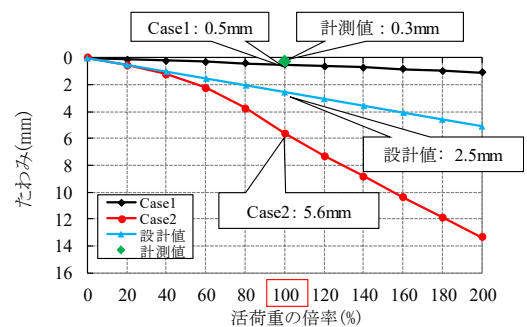


図4 活荷重の倍率と支間中央のたわみの関係

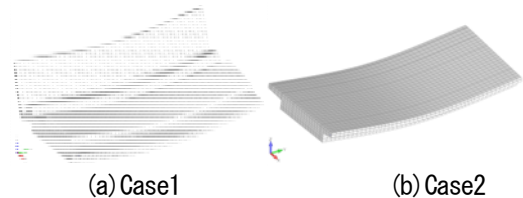


図5 変形図（活荷重倍率100%）

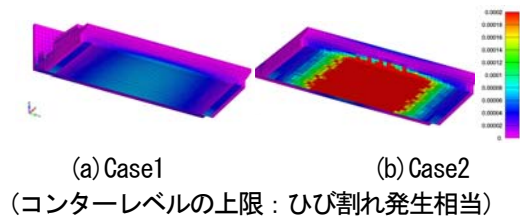


図6 最大主ひずみコンター図

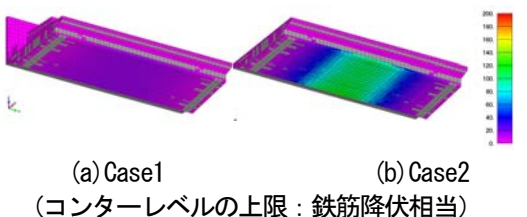


図7 鉄筋応力コンター図

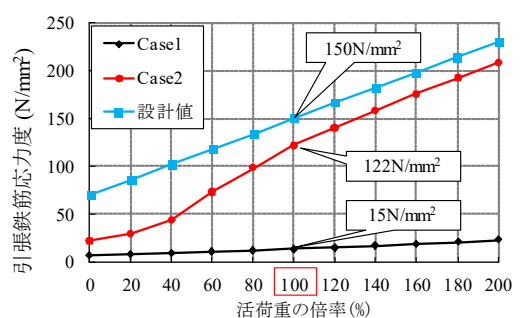


図8 活荷重の倍率と鉄筋応力度の関係