

鉄道用鉄骨鉄筋コンクリート下路連続桁の骨組み解析手法に関する検討

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○笹田 航平 正会員 仁平 達也

1. はじめに

鉄骨鉄筋コンクリート構造を主桁と床版に用いた下路形式の2径間連続桁(以下、SRC下路連続桁)は、現行の複合標準において床版横桁鉄骨の影響範囲を横桁高さの4倍かつ1.0mまでとする構造細目があり、横桁鉄骨間隔(以下、横桁間隔)に上限が設けられている¹⁾。過去に著者は、この上限を超えて横桁間隔を拡大することで鋼材量の低減や施工性の向上を図るため、横桁間隔が耐荷性状に及ぼす影響を3次元有限要素解析(以下、FEM解析)により検討した²⁾。その結果、主桁中心間隔を概ね限界まで狭めた単線鉄道用SRC下路連続桁について横桁間隔の構造細目を満足した程度から標準列車荷重(以下、列車荷重)の軸距程度まで拡大しても安全性の照査に用いる設計荷重まで耐荷性状に及ぼす影響が顕著でないと確認した。本稿では、実務において主として骨組み解析が実施されることを勘案し、過去のFEM解析と同一対象について、横桁間隔を拡大した場合の平面格子解析手法を検討した。

2. 有限要素解析²⁾の概要

図1に対象橋梁の模式図を示し、表1に対象橋梁の概要を示す。FEM解析モデルは、図2に示すように対象橋梁を形状の対称性を考慮して半断面でモデル化した。検討では横桁間隔の影響を確認するため、横桁間隔700mmと2100mmとしたモデルについて解析を実施した。床版の横桁間隔2100mmモデルについて、横桁間隔700mmモデルから横桁鉄骨を取り除いた箇所には床版の他の部分と同様に配力筋を配置した。材料特性は、土木学会コンクリート標準示方書³⁾に基づき塑性やひび割れなど材料非線形を考慮し、コンクリートのひび割れモデルは回転ひび割れモデルとした。鋼材とコンクリートの界面については完全付着とした。また支点の境界条件は、水平力分散ゴム支承を模擬するためバネ支持とした。本解析は、非線形構造解析コードDIANA Version 9.6を用いた。

図3に死荷重作用時の床版コンクリート応力度分布を示す。横桁間隔によらず、床版コンクリート応力度が横桁腹板中心から±350mm程度の範囲で低減されており、これは横桁鉄骨が荷重を負担したものと考えられた。また、図4に設計荷重時のひび割れ図を示す。ひび割れは、横桁間隔により本数や間隔が僅かに異なるものの、共通して橋軸直角方向にひび割れが生じていた。

3. 平面格子解析の概要

図5に平面格子解析モデル概略図を示す。平面格子解析モデルは主桁及び床版を梁要素としてモデル化した。表2に平面格子解析ケースを示す。CASE 1, 2は横桁間隔700mmとし、CASE 3, 4は2100mmとしたものである。なお、CASE 1, 2の床版はすべてSRC梁要素でモデル化した。CASE 3, 4の床版は、FEM解析より横桁の影響範囲である横桁腹板中心から±350mmをSRC梁要素とし、それ以外をRC梁要素とした(図6)。また、CASE 1, 3は、コンクリートを全断面有効として算出した主桁の曲げ剛性(曲げ剛性①)を用いた。CASE 2, 4は、引張コンクリートを無視して算出した主桁の曲げ剛性(曲げ剛性②)を用いた。なお、曲げ剛性②は断面上部と下部で鋼材量が異なることから、鋼・合成標準「連続合成桁の応答値の算定」⁴⁾の曲げ剛性の設定を参考に、正曲げ区間と負曲げ区間で異なる剛性を設定した(図7)。正曲げ区間と負曲げ区間は、曲げ剛性①を用いて死荷重作用時の境界で区別した。なお、曲げ剛性②の中立軸はトライアル計算により算出した値である。

解析には3次元汎用構造解析ツールSTRATT ver. 9.6Aを用いた。荷重は、死荷重、列車荷重、衝撃荷重を考慮した。列車荷重はEA-17¹⁾とし、その軸配置は主桁

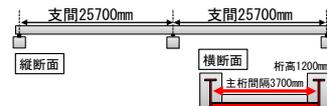


図1 対象橋梁の模式図

表1 対象橋梁の概要

項目	内容	
構造形式	2径間連続単線下路SRC桁	
支間	25700mm+25700mm	
支承構造	水平力分散ゴム支承	
径間中央断面	主桁	高さ1200mm, 幅700mm
	主桁	腹板:高さ900mm/板厚25mm, 上フランジ:幅400mm/板厚55mm, 下フランジ:幅700mm/板厚55mm
	床版	幅3000mm, 板厚400mm,
	床版	腹板:高さ300mm, 板厚8mm, 上下フランジ:幅鉄骨200mm, 板厚12mm

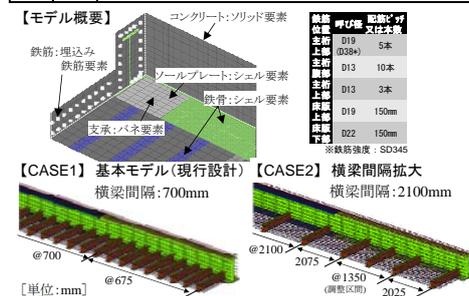


図2 FEM解析モデルの概要²⁾

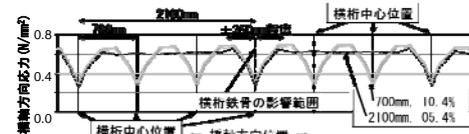


図3 床版のコンクリート応力分布²⁾

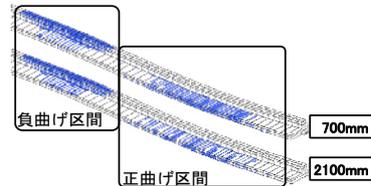


図4 ひび割れ図(最大正曲げ時)²⁾



図5 平面格子解析モデル概略図 (例: 横桁間隔700mm, 中間横桁の一部を図から省略)

に作用する曲げモーメントが支間中央付近で正曲げ最大となる条件と中間支点付近で負曲げ最大となる条件の2条件とした。衝撃荷重は、正曲げ最大条件で列車荷重の0.36倍、負曲げ最大条件で0.21倍とした。

4. 平面格子解析の結果および考察

(1) 床版に着目した検討： 図8及び図9に平面格子解析と FEM 解析により得られた床版における最大断面力発生位置の鉄筋 (U.BAR, L.BAR) 及びコンクリート圧縮縁応力度 (CON) を示す。

図8 a)では CASE1,2 の U.BAR, L.BAR, CON それぞれの応力度が概ね同程度であった。図8 b)では、CASE2 の U.BAR, L.BAR, CON それぞれの応力度に比べて、CASE1 の値が僅かに大きいものの概ね同程度であった。図9 a)~d)では、CASE3,4 の U.BAR, L.BAR, CON それぞれの応力度が概ね同程度であった。また、図8及び図9の平面格子解析により算出されたすべての応力度が FEM 解析値を上回った。

図9 a)と c) あるいは b)と d)を比較すると、平面格子解析により算出された SRC 梁要素の着目したすべての応力度が RC 梁要素の値を上回った。また、図8 a)と図9 a) あるいは図8 b)と図9 b)を比較すると、平面格子解析により算出された横桁間隔 2100mm (CASE3,4) の着目したすべての応力度が横桁間隔 700mm (CASE1,2) の値に比べ僅かに大きいものと同程度であった。

以上より、平面格子解析により算出した床版における応力度は、主桁の曲げ剛性①と②によらず同程度であり、床版を離散化した梁要素として取り扱うため、FEM 解析よりもすべての条件で安全側に算定された。また、横桁間隔 700mm から 2100mm を拡大した場合には、SRC 梁要素の曲げ剛性が RC 梁要素の曲げ剛性に比べ高いため、SRC 梁要素に生じる応力度が増加する傾向も考慮されていると考えられる。したがって、横桁間隔を 2100mm とした場合にも床版を SRC 梁要素や RC 梁要素に離散化する手法が適用可能であると考えられる。

(2) 主桁に着目した検討： 図10に平面格子解析と FEM 解析により得られた主桁における支間中央近傍断面の主桁における鉄骨上下フランジ (U.FLG, L.FLG) 及びコンクリート圧縮縁応力度 (CON) の比較を示す。図10 a)~d)より、すべてのケースで主桁における着目した応力度のすべてが FEM 解析よりも安全側に算定された。平面格子解析により算定された圧縮側(負値)の応力度は、FEM 解析と概ね同程度に算定され、引張側(正値)の応力度は、より安全側に算定された。これらは平面格子解析では主桁の曲げ剛性に床版を考慮していないためと考えられる。

以上より、横桁間隔 700mm, 2100mm の場合にも曲げ剛性①, ②を用いることで主桁の応力度に僅かな差異があるものの、いずれも安全側に算定できるものと考えられる。

5. おわりに

平面格子解析と有限要素解析で算出した床版及び主桁の応力度を比較し、平面格子解析モデルの妥当性を確認した。対象橋梁について横桁間隔を 2100mm 程度まで拡大した場合には、横桁鉄骨の影響範囲を SRC 梁要素とし、それ以外の範囲を RC 梁要素に離散化する方法が適用可能であると考えられる。

参考文献

1) 国土交通省鉄道局監修 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説(鋼とコンクリートの複合構造物)，2016 2) 笹田航平，濱上洋平，仁平達也，福本守，見原理一：鉄骨鉄筋コンクリート下路連続桁の耐荷性状に関する解析的研究，鋼構造年次論文報告集，Vol.25，pp.478-483.2017 3) 土木学会コンクリート委員会：2012年制定コンクリート標準示方書〔設計編〕 4) 国土交通省鉄道局監修 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説(鋼・合成構造物)，2009

表2 平面格子解析ケース

CASE	横桁間隔	横桁格子の設定	主桁の曲げ剛性
1	700mm	SRC 梁要素のみ	曲げ剛性① (全断面有効)
2	程度		曲げ剛性② (ひび割れ考慮)
3	2100mm	SRC 及び RC 梁要素	曲げ剛性① (全断面有効)
4	程度		曲げ剛性② (ひび割れ考慮)

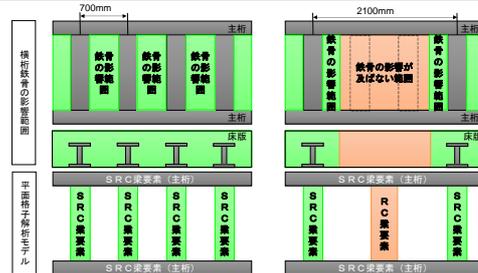


図6 梁要素への床版離散化の概要

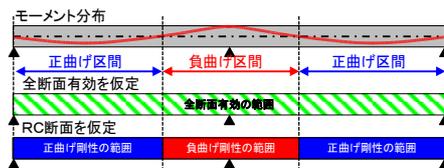
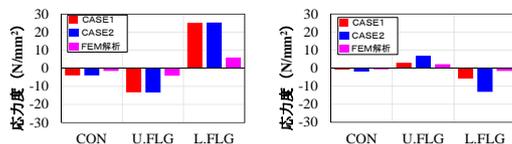
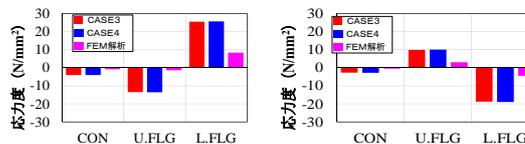


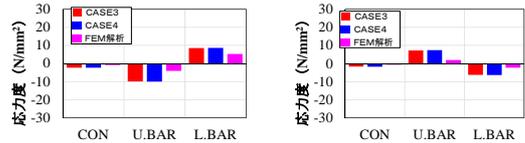
図7 主桁剛性の設定条件の概要



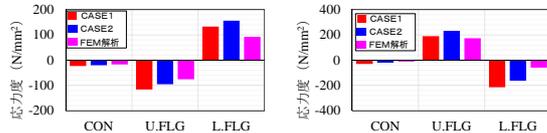
a) SRC 梁要素, 主桁間中央近傍 b) SRC 梁要素, 主桁と床版の境界近傍
図8 床版における応力度の比較 (CASE1,2)



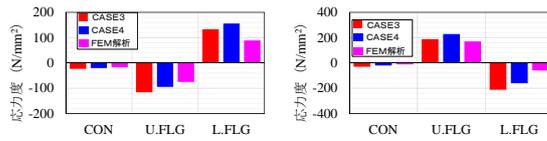
a) SRC 梁要素, 主桁間中央近傍 b) SRC 梁要素, 主桁と床版の境界近傍



c) RC 梁要素, 主桁間中央近傍 d) RC 梁要素, 主桁と床版の境界近傍
図9 床版における応力度の比較 (CASE3,4)



a) CASE1,2+FEM 支間中央近傍 (最大正曲げ) b) CASE1,2+FEM 中間支点近傍 (最大負曲げ)



c) CASE3,4+FEM 支間中央近傍 (最大正曲げ) d) CASE3,4+FEM 中間支点近傍 (最大負曲げ)
図10 主桁における各応力度の比較