

合成2主桁橋のねじり振動数と剛性評価に関する検討

北海道大学大学院工学研究科
 東日本旅客鉄道（株）
 （独）北海道開発土木研究所
 北海道大学大学院工学研究科

F 会員 林川 俊郎
 正 員 渡邊 大輔
 正 員 池田 憲二
 正 員 平沢 秀之

1. はじめに

建設コスト縮減の要求を満たす取り組みとして、鋼橋の分野においては主桁本数を2本としPC床版と鋼桁の合成桁として設計された合成2主桁橋の建設が進められている。しかしながら、合成2主桁橋は従来の桁橋と比較して縦長の断面を有しているため、総幅 B に対する有効高 D の比 B/D が3以下となることが多く、空気力学的特性の点で問題となる可能性がある¹⁾。また、横構が省略され、基本的に開断面であることから、多主桁橋と比べてねじり剛性が低い構造であるといえる。これまで、少数主桁橋は支間長50[m]程度での採用実績があり、最近では80[m]以上の架設事例も見られる²⁾。このような状況の中、今後も長スパン化していくことが予想されるが、それに伴って固有振動数が低下するため、ねじり振動に関する十分な検討が必要であると考えられる。そこで、本研究は合成2主桁橋のねじり剛性を向上させる一つの手段として、両主桁下フランジ間に鋼板を設置する箱桁状補剛材に着目し、総ユニット数・設置位置・板厚をパラメータとして、その有効性を検討するものである。なお、固有値問題を含む数値計算には有限要素法汎用構造解析プログラムMSC/NASTRANを使用する。

2. 解析モデル

2.1 合成2主桁橋モデル

一般的な合成2主桁橋の固有振動特性を把握するために、基本モデルのFEM解析を実施する。支間長50[m]の直線橋であり、その断面図を図-1に示す。床版にはPC床版を用いており、横桁は支間長を10等分する5[m]間隔で設置している。なお、垂直補剛材は幅250[mm]板厚25[mm]の鋼板を使用し、横桁同様5[m]間隔で設置している。床版にはソリッド要素、鋼部材にはシェル要素を採用しており、各部材の材料定数は表-1の通りである。境界条件はヒンジ・ローラーの単純支持であり、下フランジで拘束している。以上のような基本モデルを本解析ではmodel-oと呼ぶことにする。ここでoはoriginalを表している。参考までにmodel-oの総節点数は14017、総要素数は10300である。

2.2 箱桁状補剛材を設置したモデル

合成2主桁橋のねじり剛性を向上させるために、下フランジと同じ板厚50[mm]の鋼板を、model-oの両主桁下フランジ間に渡した箱桁状補剛材を設置したモデルの解析を行う。箱桁状補剛材は5[m]を一つのユニットとして考え、下フランジとは剛結されている。図-2に箱桁状補剛材の総ユニット数・設置位置に応じて設定した5種類のFEM解析モデルを示す。ただし、箱桁状補剛材の設置位置を見やすいように、床版を省いた鋼桁部分のみを表示している。モデル名の添え字のアルファベットは総ユニット数、数字は端部のユニット数によって区別している。なお、model-fのfは全面設置であるfullを表している。

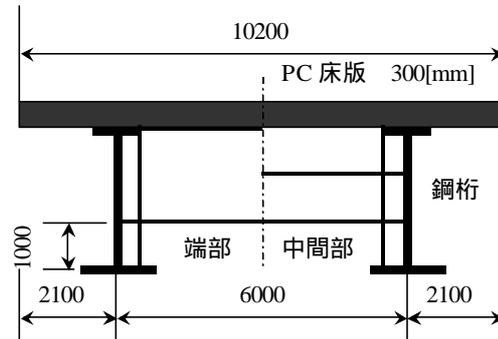


図-1 model-oの断面図

表-1 各部材の材料定数

部材名	ヤング係数 E [N/mm ²]	ポアソン比	単位体積重量 w [kN/m ³]
PC床版	2.857×10^4	0.2	24.5
鋼部材	2.000×10^5	0.3	77.0

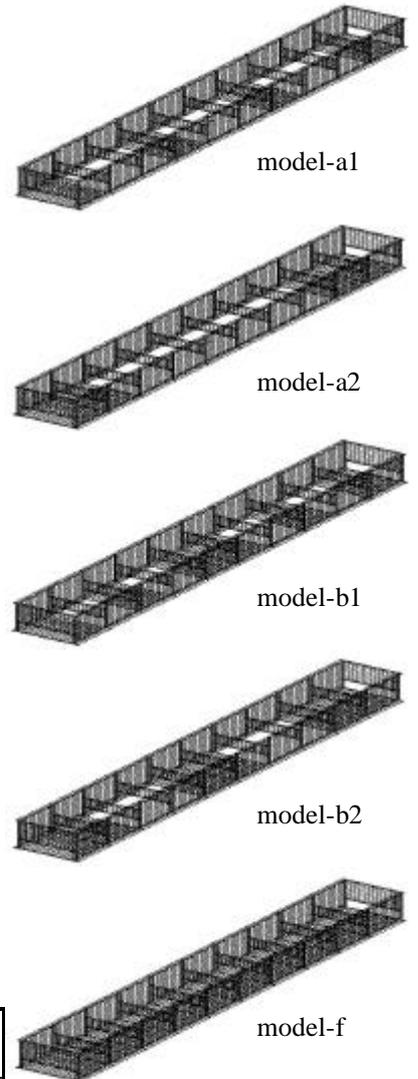


図-2 FEM解析モデル
(鋼桁部分のみ)

キーワード：合成2主桁橋，ねじり剛性，箱桁状補剛材

連絡先：〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目 TEL/FAX 011-706-6172

3. 解析結果

3.1 合成2主桁橋モデル

基本モデルである model-o と箱桁状補剛材を設置した各モデルの固有振動数を表-2 に示す。model-o の固有振動モード図は図-3 の通りである。表-2 より、model-o のねじり1次と鉛直たわみ1次の固有振動数が近接していることがわかる。ねじり剛性を評価する一つのパラメータとして、ねじり1次固有振動数(f_{T1})を鉛直たわみ1次固有振動数(f_{V1})で除した値である固有振動数比 f_{T1}/f_{V1} を用いると、この固有振動数比 f_{T1}/f_{V1} は一般的な開断面を有する鋼橋では2程度であることが知られているが³⁾、model-o では1.141と6割程度になっており、非常にねじり剛性が低いことが確認できる。また、図-3より鉛直たわみ・ねじりの両固有振動モードとも局部振動は発生していないことがわかる。

3.2 箱桁状補剛材を設置したモデル

表-2より、箱桁状補剛材を設置した各モデルの固有振動数を model-o と比較すると、全面設置した model-f だけでなく、他の4種類のモデルにおいても鉛直1次固有振動数よりもねじり1次固有振動数が大きく上昇しているため、固有振動数比 f_{T1}/f_{V1} は飛躍的に改善されていることがわかる。総ユニット数が4個の model-a1・a2 と6個の model-b1・b2 を比較すると、model-a1 の効果は若干低いですが、端部の補剛を強化した model-a2 は model-b1・b2 と同等の効果を持っているといえる。一般に、総ユニット数が増加すればねじり1次固有振動数は上昇すると推測されるが、設置位置によってはねじり剛性を向上させる効果より、重量の増加の影響が大きくなるため、このような逆転現象が現れたと考えられる。すなわち、少ないユニット数でも端部を重点的に補剛した model-a2 が費用対効果の観点から最も望ましいと考えられる。

上述の結果から、箱桁状補剛材の有効性が確認できたが、この補剛材の板厚は50[mm]と厚く、コストや死荷重の増大等の面で問題となる可能性がある。そこで、板厚を20[mm]~50[mm]まで5mm間隔で変化させたモデルを作成し、解析を実施する。その結果得られた箱桁状補剛材の板厚と固有振動数比 f_{T1}/f_{V1} の関係を図-4 に示す。図-4より、いずれのモデルも板厚による顕著な変化は現れていないことから、適切な設置位置を選択すれば、板厚を薄くすることが可能であると考えられる。

4. まとめ

本研究の結論をまとめると以下の通りである。

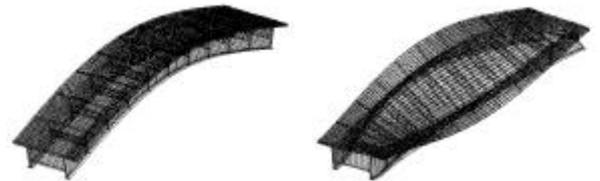
- (1) 合成2主桁橋のねじり1次と鉛直1次の固有振動数は近接している。その結果、固有振動数比 f_{T1}/f_{V1} は一般的な開断面を有する鋼橋の6割程度であり、非常にねじり剛性が低いことが確認された。
- (2) 箱桁状補剛材はねじり剛性を上昇させるための方法として非常に有効である。特に、少ないユニット数でも主桁端部を重点的に補剛することにより、より大きな効果を得られる。
- (3) 箱桁状補剛材の板厚を20[mm]~50[mm]まで変化させたどのモデルも高いねじり剛性を有していることから、適切な設置位置を選択すれば、板厚を薄くすることが十分に可能であると考えられる。
- (4) 橋梁の架設前だけでなく、架設供用後にねじり剛性の低さに起因する渦励振等の問題が発生した場合、箱桁状補剛材は施工性の面からも有効な補剛方法であると考えられる。

参考文献

- 1) 山田均ら：少数主桁橋梁の耐風性，橋梁と基礎，Vol.36，No.2，pp.37-42，2002。
- 2) 中村元ら：利別川第一橋(PC床版連続合成2主桁橋)の実橋振動試験，土木学会第55回年次学術講演会講演概要集，I-B108，2000.9。
- 3) (社)日本道路協会：道路橋耐風設計便覧，1991.7。

表-2 各モデルの固有振動数

モデル名	鉛直たわみ1次 固有振動数 f_{V1} [Hz]	ねじり1次 固有振動数 f_{T1} [Hz]	f_{T1}/f_{V1}
model-o	2.571	2.933	1.141
model-a1	2.541	3.746	1.474
model-a2	2.578	5.004	1.941
model-b1	2.603	5.066	1.946
model-b2	2.630	4.890	1.859
model-f	3.248	7.984	2.458



鉛直たわみ1次 $V1$ ねじり1次 $T1$
図-3 model-o の固有振動モード図

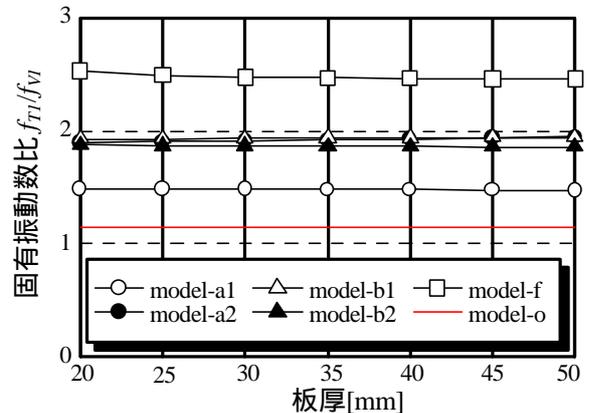


図-4 箱桁状補剛材の板厚と f_{T1}/f_{V1} の関係