

モデル化の違いに着目した主桁-横桁接合部の局部応力の評価における全橋 FEM の適用性

(国研)土木研究所 正会員 ○川口 真理沙, 大西 達也, 澤田 守
東京都立大学大学院 正会員 村越 潤

1. はじめに

鋼 I 桁橋に発生する疲労亀裂で最も発生数が多いのは、主桁と横桁または対傾構の接合部に発生する疲労亀裂である¹⁾。同亀裂の発生要因は、床版の 3 次元的なたわみを主桁系の格子構造が拘束することで生じる局部的な応力集中（二次応力）であり²⁾、応力状態が複雑であるため、新設設計においては応力による照査ではなく構造細目に配慮して設計することが求められている。他方で、近年、解析技術の飛躍的な進歩により、複雑な挙動に関しても比較的容易に解析が可能となった。二次応力に対しても、解析により直接評価が可能となれば、より信頼性の高い設計が可能となる。そこで本稿では、局部応力評価における全橋 FEM の適用性を確認することを目的として、実橋梁での载荷試験結果に対し、複数のモデル化手法により再現解析を実施し、モデル化の違いによる影響を検証した。

2. 対象橋梁と解析モデル

対象橋梁は土木研究所構内の試験橋梁であり、形式は鋼単純活荷重合成 I 桁橋（支間 30m, 設計活荷重 TL20, S55 道示適用）である（図-1）。土木研究所では、同橋において対象部位の局部応力の発生傾向を把握するため、複数の条件で载荷試験を実施している²⁾。本稿では、その内の支間中央部に载荷したケース（図-1）に対して全橋モデルにより再現解析を実施し、計測値と比較した。

解析モデルを表-1 に示す。シェルモデルは鋼桁すべてをシェル要素でモデル化した。ソリッドモデルはシェルモデルを一部改良したモデルであり、局部応力着目部位である支間中央部（1250mm 範囲）の主桁及び横桁をソリッド要素でモデル化した（図-2）。両モデルとも RC 床版はソリッド要素とし、舗装及び高欄は、橋の挙動に与える影響は小さいと考え考慮していない。

局部応力着目部であるウェブギャップ板上端部のモデル図を図-3 に示す。シェルモデルは最小要素サイズを 2×2mm とし、溶接ビードを、シェル要素の厚さを溶接脚長に応じて変化させることで再現している。ソリッドモデルは最小要素サイズを 5×5mm とし、溶接ビード（脚長 6mm）をソリッド要素により再現している。

3. 再現解析結果と考察

3. 1 全体系の挙動及び局部応力の再現性の評価

主桁や床版の全体系の挙動と着目するウェブギャップ板上端の局部応力において、計測値を真値とした時の解析値の誤差率を算出し、両モデルの再現性を相対比較した（表-2）。主桁水平変位を除いた全体系の挙動について、両モデルともに、G3 主桁及び G2-G3 間床版の応答は载荷レーンの位置関係から応答の絶対値が小さいため誤差率最大 15%程度となるが、比較的応答が大きい G4 主桁及び G3-G4 間床版では誤差率最大 10%程度にとどまることを

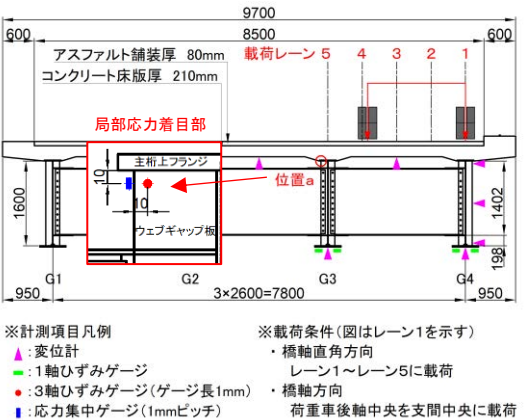
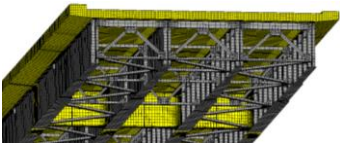


図-1 対象橋梁及び計測項目・計測位置

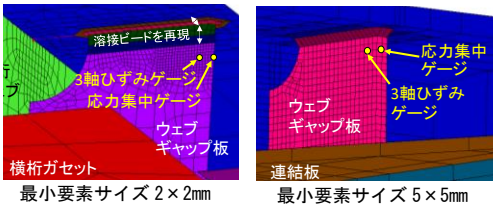
表-1 解析モデル及び使用要素

部材	使用要素	
	シェルモデル	ソリッドモデル
RC床版	8節点ソリッド要素	8節点ソリッド要素
鋼桁	支間中央部	8節点ソリッド要素
	その他	4節点シェル要素
高欄・アスファルト舗装	考慮せず	考慮せず
ボルト接合	支間中央部	剛梁要素による接合
	その他	タイピング節点
ずれ止め	タイピング節点	タイピング節点



※図はソリッドモデルの場合
※黄色：ソリッド要素 灰色：シェル要素

図-2 全体図



最小要素サイズ 2×2mm 最小要素サイズ 5×5mm
(a)シェルモデル (b)ソリッドモデル

図-3 着目部（位置 a）

表-2 計測値に対する解析値の誤差率

	計測項目	計測位置	誤差率(%)	
			シェルモデル	ソリッドモデル
全体系の挙動	主桁下フランジ直応力	G3	6.2~15.6	5.3~8.7
		G4	0.1~2.89	1.5~10.9
	主桁鉛直変位	G3	5.5~9.3	6.8~9.8
		G4	0.1~3.7	0.8~10.4
	主桁水平変位	G4	26.5~215.8	22.0~131.6
		G2-G3間床版	7.7~12.1	10.0~13.3
局部応力※	床版鉛直変位	G3-G4間床版	1.2~6.2	2.3~10.3
		位置a	26.9~177.9	21.6~80.4
	板表面の鉛直応力 (表裏の平均)	(G3内側上端)	6.0~56.0	2.8~41.3
		位置a		

※解析値は計測位置と同位置の節点応力を抽出している
※本稿における局部応力は、膜応力のみに着目している
※赤字：最大誤差率が15%以上

キーワード 鋼 I 桁橋, 主桁-横桁接続部, 疲労, 二次応力, FEM 解析

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (国研)土木研究所 TEL:029-879-6773 E-mail:kawaguchi-m574cm@pwri.go.jp

確認した。よって、応答の大きい箇所の解析値が計測値と近い値になることから、両モデルともに一定の精度で実挙動を再現可能であると言える。G4 主桁の水平変位は、絶対値が非常に小さいため誤差率が大きく算出されているが、荷重位置に対する変形挙動は再現できていることと、モデルの違いによる影響はほとんどないことを確認した（図-4）。

局部応力について、3 軸ひずみゲージによる板表面の鉛直応力は、両モデルともに誤差率が非常に大きい、荷重位置に対する応力発生傾向は概ね再現できていることを確認した（図-5）。また、レーン 3 を除き全体的にシェルモデルの方が応力を高く評価する傾向にあることを確認した。応力集中ゲージによる板コバの鉛直応力は、両モデルともに誤差率が最小 10% 未満、最大 40% 以上と、荷重位置ごとに再現性が異なる結果となった。誤差率が最も小さいのは、右輪が位置 a のほぼ直上に荷重されるレーン 5 荷重時であり、応力の大きい箇所の解析値が比較的近い値になることを確認した。また、板コバ鉛直応力分布から、荷重位置に対する応力発生傾向や応力勾配は再現できていることを確認した（図-6）。したがって、両モデルともに、概ね局部応力の挙動を評価できていると言える。

3. 2 ホットスポット応力による評価

溶接止端位置の局部応力評価には、溶接形状による局所的な応力集中の影響を考慮したホットスポット応力（以下、SHSS）が用いられる。そこで本稿では、シェルモデルにおける板コバの SHSS を、IIW（International Institute of Welding）指針の Type-B 止端における要素サイズに応じた推定方法（図-7）に従い、3 点（溶接止端から 4,8,12mm）の二次曲線外挿で推定した。またソリッドモデルと計測値は、要素サイズや計測位置が IIW の方法と若干異なるため、参考値として各々 2 点（5,10mm）の直線外挿、3 点（8,10,12mm）の二次曲線外挿により SHSS（参考値）を推定した。結果、レーン 5 荷重時に圧縮応力が最大となり、計測値が 49.2N/mm^2 に対し、シェルモデルが 49.3N/mm^2 、ソリッドモデルが 59.3N/mm^2 となった（図-8）。要素サイズや SHSS 推定方法が異なる条件での比較ではあるものの、両モデルともに全体的な傾向は再現できおり、橋の 3 次元的な挙動に起因する局部応力のある程度評価できる可能性があることを確認した。

4. まとめ

実橋梁の荷重試験結果に対し、複数のモデル化手法により再現解析を実施し、モデル化の違いによる影響を検証した。全体系の挙動は、両モデルともに概ね再現できおり、モデル化の違いによる影響はほとんどないことを確認した。着目部の局部応力は、絶対値の差はあるが荷重位置に対する発生傾向が概ね再現できていることを確認した。また SHSS による評価では、局部応力は要素サイズや応力評価位置の違いによる影響を受けるものと考えられるが、両モデルともある程度評価できることを確認した。

今後は、要素の違いだけでなく、要素サイズや床版のモデル化の違い等の影響についても確認し、局部応力を評価する際に最適となる 3 次元解析モデルの条件について明らかにしていきたい。

本研究は、土木研究所・東京都立大学・名古屋大学・施工技術総合研究所による共同研究「鋼橋の疲労耐久性向上技術に関する共同研究」の一環として実施されたものである。全橋 FEM については、山本享介氏（研究時：東京都立大学大学院）の修論研究の一部として行われた。関係各位に謝意を表する。

参考文献 1)山本享介, 村越潤, 上仙靖: 橋梁点検データに基づく鋼 I 桁橋における主桁-横部材取合い部の疲労損傷事例の分析, 鋼構造論文集, 第 28 巻, 第 112 号, pp.89-100, 2021.12. 2)大西達也, 上仙靖, 澤田守, 大西孝典, 村越潤: 鋼 I 桁橋の横部材による拘束条件の違いが橋梁全体挙動及び局部応力へ与える影響, 令和 4 年度土木学会全国大会第 77 回年次学術講演会, I-83,2022.9.

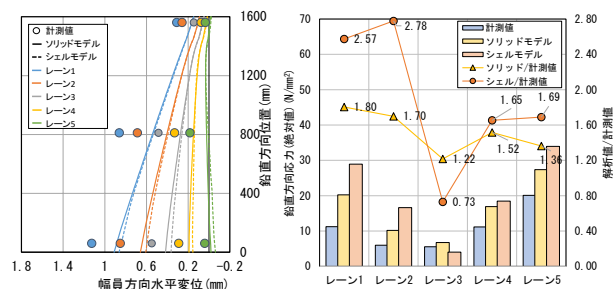


図-4 G4 主桁水平変位

図-5 板表面の鉛直応力

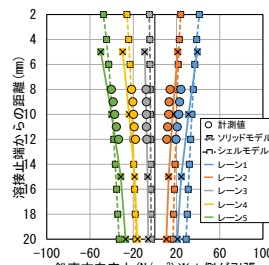


図-6 板コバ鉛直応力分布

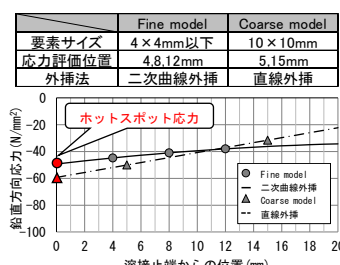


図-7 SHSS 推定方法(Type-B)

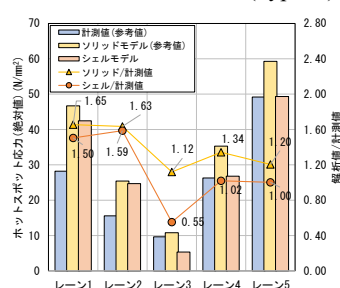


図-8 SHSS 推定値