

既設単純合成鉄桁橋の静載荷実験に関する有限要素解析

Finite element analysis for field loading test of simple composite steel bridge

室蘭工業大学大学院
室蘭工業大学大学院
室蘭工業大学大学院
(株) 構研エンジニアリング

○ 学生員
フェロー
正 員
正 員

石井 めぐみ (Megumi Ishii)
岸 徳光 (Norimitsu Kishi)
小室 雅人 (Masato Komuro)
木村 和之 (Kazuyuki Kimura)

1. はじめに

一般に鋼I桁橋の設計には、初等はり理論に基づいた格子解析が広く用いられている。格子解析は主桁と横桁を単純な格子構造に置き換え、かつ、床版と主桁の合成効果を床版の有効幅のみで考慮していることより、必ずしも実構造の挙動特性に対して十分に配慮されたものとはなっていない。

一方、近年のコンピューター性能の飛躍的な向上によって、より合理的な設計を念頭に有限要素法 (Finite Element Method: 以下、FEM) を用いた三次元解析を設計に導入する試みが行われている^{1)~7)}。それらの検討は、仮定された設計条件下でFEM解析と格子解析を実施し、得られた結果を比較したものが多く、実際の載荷実験データを用いた検証については、その事例はそれほど多くはない^{8)~9)}。

このような観点より、本研究では既設6径間単純合成鉄桁橋で実施されたダンプトラックを用いた静載荷実験を対象として、格子解析と有限要素法による三次元弾性解析を実施し、実験結果と比較を行った。なお、FEM解析には構造解析汎用プログラム ABAQUS を使用した¹⁰⁾。

2. 橋梁概要

対象橋梁は、全幅 6.0 m、全橋長 180.0 m の 6 径間単純合成鉄桁橋であり、高さ 1.6 m の主桁 3 本から構成される。本論文では、図-1 (a) に示すように 6 径間のうち単純桁部分の一径間のみ (支間 29.4 m、橋長 29.9 m) を対象

とした。

3. 静載荷実験概要

静載荷実験は、20 トンダンプトラックを所定の位置に静止させることにより実施した。図-1 (a) には載荷ケースおよび計測断面位置を示している。ケース 1 は車両 4 台を 2 台ずつ並列に、ケース 4 は車両 1 台を幅員中央部に配置することによって、幅員中央載荷としている。一方、ケース 2 およびケース 3 は車両 2 台を直列にそれぞれ G1 桁側および G3 桁側に配置することによって、偏心載荷としている。表-1 には載荷ケースを一覧にして示している。

計測断面は支間中央近傍に位置しており、測定項目は (1) 支間中央近傍 (図-1 (a) に示す計測断面) における各主桁の橋軸方向ひずみ (6 点 × 3 桁 = 18 点、図-1 (b) 参照)、 (2) 計測断面における各主桁下端のたわみ (3 点) である。

表-1 載荷ケース一覧

載荷ケース	車両台数	橋軸方向	幅員方向
ケース 1	4	中央	中央
ケース 2	2	中央	G1 側
ケース 3	2	中央	G3 側
ケース 4	1	中央	中央

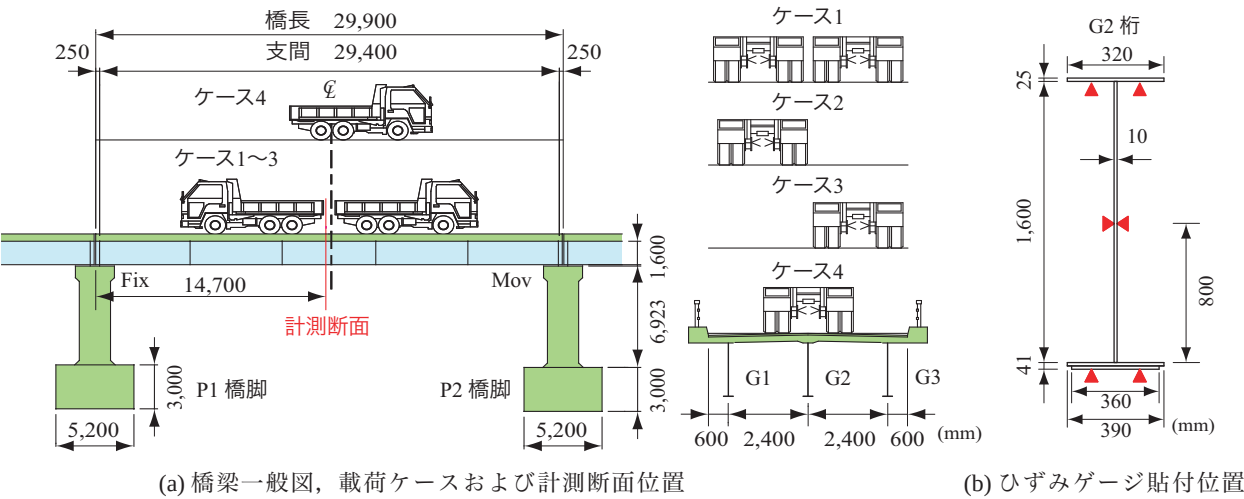


図-1 橋梁一般図、載荷ケース、計測断面位置およびひずみゲージ貼付位置

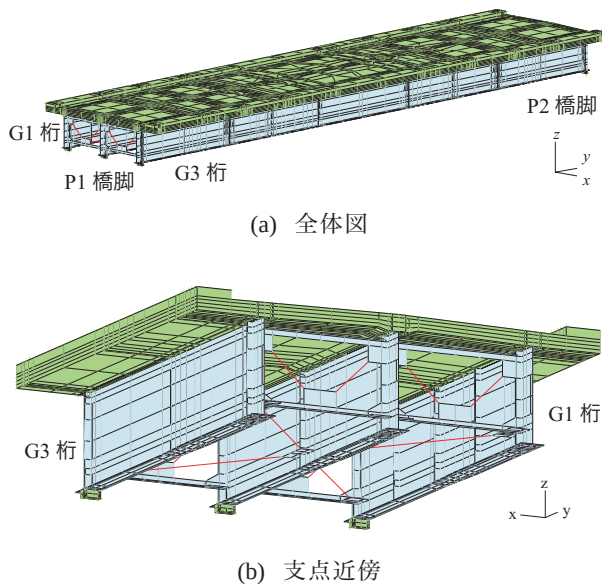


図-2 三次元有限要素モデル

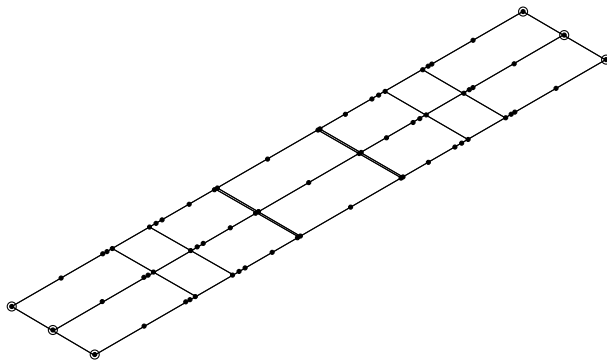


図-3 格子解析モデル

4. 数値解析概要

図-2には、本解析で用いた三次元有限要素モデルを示している。(a)、(b)図はそれぞれ全体図および支点近傍の拡大図を示している。

使用要素は、支承を除く鋼材部（主桁、横桁）には4節点シェル要素、床版、支承および舗装部には8節点ソリッド要素、横構および対傾構には2節点ビーム要素を用いた。有限要素モデルの作成に際しては、建設当時の設計図書を参考に可能な限り忠実にモデル化した。解析モデルにおける総節点数および総要素数は、それぞれ約26,500、23,500であった。なお、ガードレールに関してはその剛性が小さいものと推察されることより、無視することとした。

FEM解析では、実際のダンプトラックによる載荷状況を再現するために、トラック前後輪のタイヤ接地面に対応する箇所にシェル要素を設け、所定の重量を付加することによりトラック荷重を与えている。境界条件は設計条件に基づいて、P1橋脚上の支承は固定支承、P2橋脚上の支承は可動支承とした。（図-1(a)参照）

格子解析では、図-3に示すような格子モデルを作成し、トラック前後輪の位置に相当する格点に対し図-4

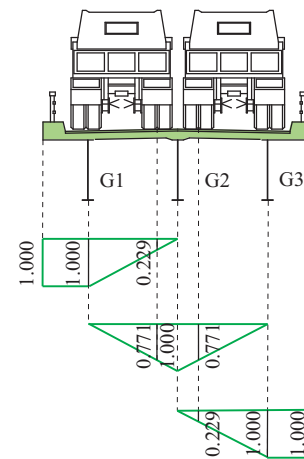


図-4 格子解析における荷重分配の考え方(ケース1)

表-2 使用物性値一覧

使用材料	弾性係数 E (GPa)	密度 ρ (ton/m ³)	ポアソン比 ν
RC	30	2.50	0.20
鋼材	206	7.85	0.30
アスファルト	9.8	2.30	0.35

に示すような影響線を用いて、各主桁に作用する荷重を算出し、集中荷重として作用させた。

表-2には、解析で使用了材料物性値を一覧にして示している。

5. 数値解析結果及び考察

5.1 主桁の橋軸方向ひずみ分布

図-5には、ケース1、2および4における主桁の橋軸方向ひずみ分布について実験結果と解析結果を比較して示している。なお、ケース3に関しては実験結果および解析結果においてケース2と同様の傾向が見られたため、ここでは省略する。ひずみゲージは図-1(b)に示したように、主桁のウェブでは表裏に、フランジでは左右に貼付されている。しかしながら、桁の同じ高さに対応する実測ひずみ値がほぼ等しい値を示すことより、ここでは平均値を用いて整理している。なお、FEM解析結果に関してはシェル要素の表裏ひずみの平均値とした。表-3にはそれらの値を一覧にして示している。なお、表-3におけるケース1のFEM解析結果に関してG1桁とG3桁のひずみ値が異なるのは、実験に使用した車両の重量が完全に同一ではなく、それをFEM解析に反映させていることに起因している。

まず、図-5(a)に示す車両4台を幅員中央に配置したケース1に着目すると、実験結果における各主桁のひずみ値はほぼ等しく、上フランジでは -28μ 、下フランジでは 160μ 程度のひずみが発生している。FEM解析でも同様に各主桁のひずみ値はほぼ等しく、上フランジに -25μ 、下フランジで 155μ 程度のひずみが発生しており、実験結果とほぼ等しい値を示している。一方、格子解析で

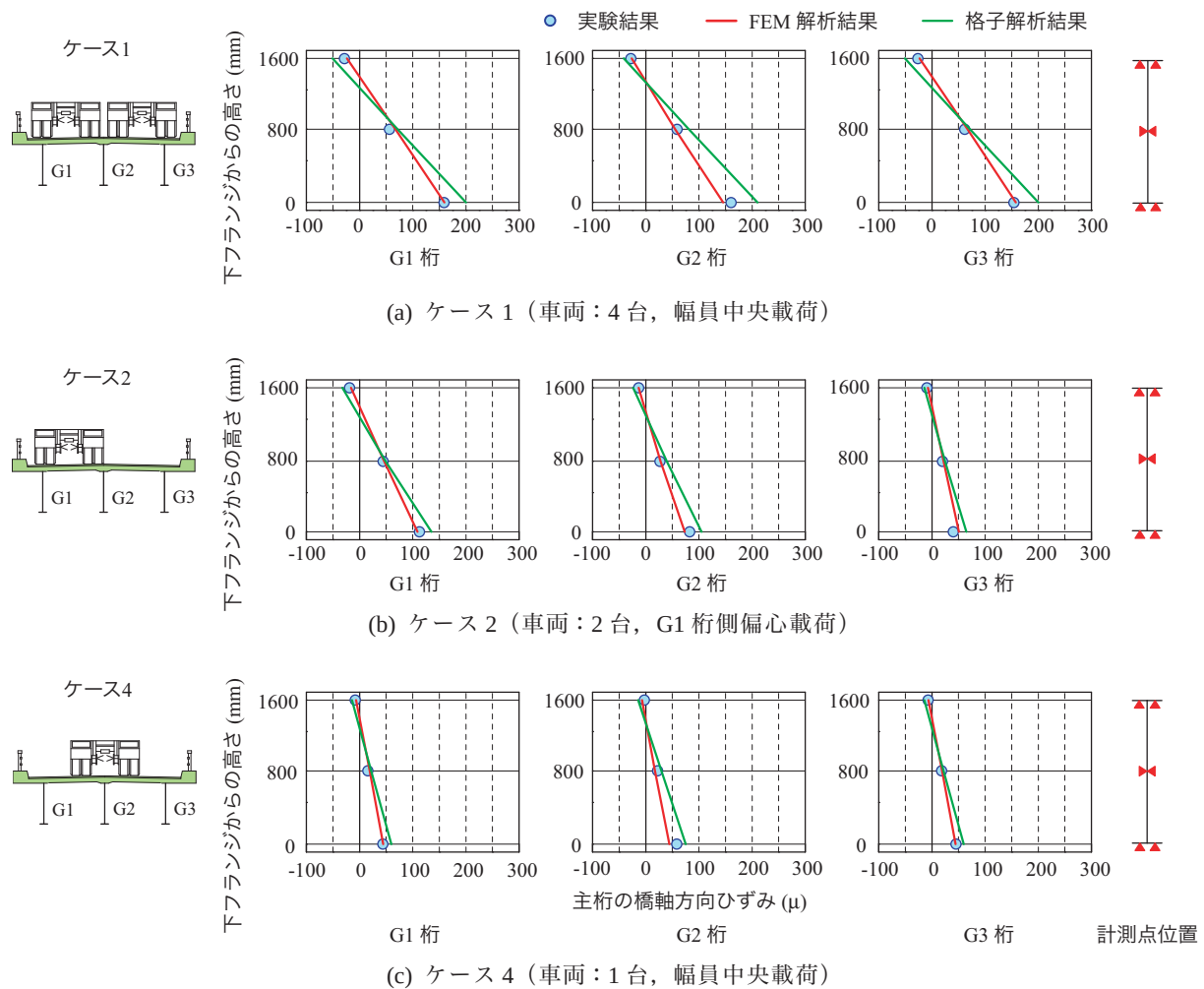


図-5 主桁の橋軸方向ひずみ分布

表-3 橋軸方向ひずみ分布の比較 (μ)

載荷 ケース	載荷 幅員方向	計測 位置	実験結果			FEM 解析			格子解析		
			G1	G2	G3	G1	G2	G3	G1	G2	G3
ケース 1	中央	上	-28.0	-28.1	-26.2	-23.8	-26.4	-23.1	-51.0	-41.5	-51.0
		中	56.4	59.1	61.4	67.7	55.2	67.2	71.5	81.0	71.5
		下	159	161	154	159	146	158	200	210	200
ケース 2	G1 桁側	上	-18.7	-13.2	-9.67	-16.3	-13.3	-7.52	-32.5	-23.5	-14.0
		中	44.7	27.0	19.5	45.8	27.8	22.2	49.0	39.5	24.5
		下	113	82.5	40.0	109	73.4	51.2	135	105	65.0
ケース 4	中央	上	-8.25	-2.67	-7.58	-6.71	-6.98	-6.53	-14.0	-14.0	-14.0
		中	16.1	22.5	18.2	19.2	17.5	19.2	22.0	29.5	22.0
		下	43.8	58.5	48.5	44.7	44.5	44.4	60.0	75.0	60.0

は、上フランジ側で -50μ 、下フランジ側で 200μ 程度のひずみが発生しており、実験結果と比較すると 30 ~ 50 % 程度過大に評価されていることが分かる。

次に、図-5 (b) に示す G1 桁側に偏心載荷したケース 2 に着目する。実験結果を見ると、偏心載荷側の G1 桁上フランジで -19μ 、下フランジで 113μ 程度、非載荷側の G3 桁上フランジで -10μ 、下フランジで 40μ 程度のひずみが発生している。FEM 解析結果では、それらの値がそれぞれ -16μ 、 109μ 、 -8μ 、 51μ となっており、非載荷側の G3 桁下フランジで最大 28 % と誤差が大きいも

の、載荷桁の G1 桁では実験結果との誤差は約 16 % 程度である。一方、格子解析においても、FEM 解析結果と同様の傾向がみられるものの、その誤差は最大 70 % 程度と FEM 解析結果と比較して非常に大きい。また、格子解析結果が実験結果と比較してひずみを安全側に評価する傾向は既往の研究でも報告されている⁹⁾。

図-5 (c) に示すケース 4 に着目すると、発生ひずみはケース 1 の約 1/4 程度であり、また、その分布性状はケース 1 とほぼ同様な傾向にあることが分かる。

以上より、FEM 解析では実験による主桁の橋軸方向ひ

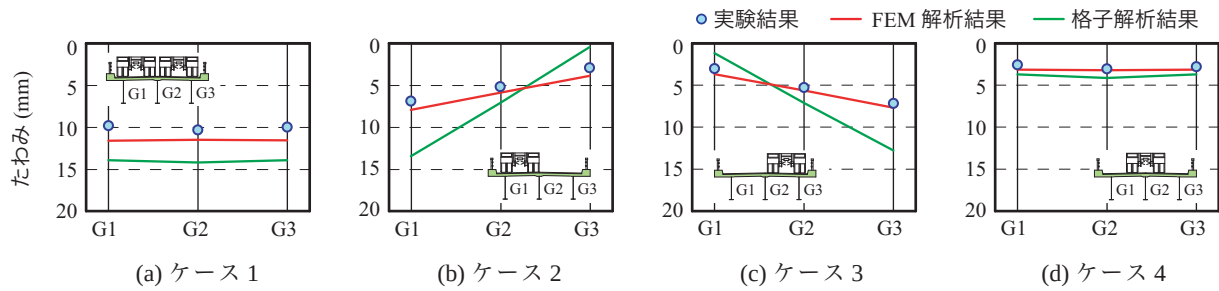


図-6 主桁下端のたわみ

表-4 主桁下端のたわみの比較 (単位: mm)

载荷ケース	载荷幅員方向	実験結果			FEM 解析結果			格子解析結果		
		G1	G2	G3	G1	G2	G3	G1	G2	G3
ケース 1	中央	9.81	10.3	9.97	11.6	11.5	11.6	14.0	14.2	14.0
ケース 2	G1 桁側	6.91	5.16	2.92	7.94	5.90	3.89	13.5	7.11	0.46
ケース 3	G3 桁側	3.01	5.25	7.14	3.68	5.62	7.68	1.18	7.10	12.8
ケース 4	中央	2.56	3.04	2.77	3.13	3.20	3.13	3.70	4.13	3.70

ずみ分布をほぼ適切に再現可能であるのに対し、格子解析では実験結果よりも過大に評価する傾向にあることを確認した。これは、格子解析では床版による荷重分配作用などを適切に評価できないことを示唆しているものと考えられる。

5.2 主桁下端のたわみ

図-6 には、各载荷ケースにおける各主桁下端のたわみについて実験結果と解析結果を比較して示している。また、表-4 にはそれらの値を一覧にして示している。なお、たわみは下向きを正として設定した。

図-6 および表-4 より、実験結果はケース 1 で 10 mm、ケース 2 およびケース 3 の偏心载荷側で 7 mm、ケース 4 で 3 mm 程度のたわみが発生していることが分かる。一方、FEM 解析結果はケース 1 で 11 mm、ケース 2 およびケース 3 の偏心载荷側で 8 mm、ケース 4 で 3 mm 程度のたわみが発生しており、実験結果よりも 5～25 % 程度大きく評価されている。

また、格子解析結果はケース 1 で 14 mm、ケース 2 の偏心载荷側で 14 mm、ケース 3 の偏心载荷側で 13 mm、ケース 4 で 4 mm 程度のたわみが発生しており、実験結果と比較して、幅員中央载荷では約 40 %、偏心载荷における荷重载荷側では 50 % 程度過大に評価していることが分かる。

6. まとめ

本研究では、実橋梁で実施されたダンブトラック車両による静载荷実験に関して有限要素解析と格子解析を実施し、それぞれの解析結果と実験結果の比較を行った。

本研究の範囲内で得られた結果を整理すると、以下のようである。

- 1) 2 次部材を含め橋梁全体を詳細に有限要素でモデル化する FEM 解析は、主桁の橋軸方向ひずみ分布をほぼ適切に評価可能である。一方、格子解析においては、実験結果よりも過大に評価する傾向があることが明らかとなった。

- 2) 主桁下端の鉛直たわみについては、FEM 解析では実験結果と概ね一致するが、格子解析では偏心载荷側で実験結果よりも 50 % 程度過大に評価する傾向にあることが分かった。

参考文献

- 1) 村越潤, 高橋実, 吉岡勉, 野中哲也, 加藤修: FEM 解析を用いた鋼多主桁橋の設計合理化の検討, 鋼構造論文集, Vol.11, No.43, pp.131-145, 2004.9.
- 2) 吉岡勉, 村越潤, 高橋実: FEM 解析を用いた鋼多主桁橋の設計合理化に関する一検討, 土木学会, 第 59 回年次学術講演会概要集, 1-495, 2004.9.
- 3) 山口栄輝, 山本悟, 村越潤, 高橋実, 山下健二: 鋼 4 主 I 桁橋の設計計算に関する一考察, 構造工学論文集, Vol.52 A, pp.893-900, 2006.3.
- 4) 明石直光, 秋元伸介, 森猛: 有限要素法を用いた鋼単純合成 I 桁橋の設計法に関する検討, 土木学会, 第 58 回年次学術講演会概要集, pp.1291-1292, 2003.9.
- 5) 平原伸幸, 高橋実, 山森誠史, 徳森亮治: 設計ツールの高度化に対応した道路橋の設計に関する研究, 土木学会, 第 57 回年次学術講演会概要集, pp.1243-1244, 2002.9.
- 6) 西土隆幸, 中蘭明広, 稲葉尚文: FEM 解析による連続 2 主桁の特性に関する一考察, 土木学会, 第 55 回年次学術講演会概要集, pp.596-599, 2000.9.
- 7) 岩切匠, 中村聖三, 森圭司, 高橋和雄, 上村明弘, 神田恭太郎: 合成床版橋における格子解析と 3 次元 FEM 解析との比較, 土木学会, 第 60 回年次学術講演会講演概要集第 1 部, 1-660, 2005.9.
- 8) 窪田賢司, 西浩嗣, 谷倉泉, 上野淳人: プレートガーダー橋の実橋載荷試験及び立体 FEM 解析による検証, 土木学会, 第 53 回年次学術講演会講演概要集第 1 部, pp. 618-619, 1998.9.
- 9) 村越潤, 梁取直樹, 澤田守, 前田和裕, 西弘明, 三田村浩: 約 50 年間供用された床版目地を有する連続非合成鋼 I 桁橋の現地載荷試験, 構造工学論文集, Vol.56 A, pp.710-721, 2010.3.
- 10) ABAQUS/Standard User's Manual, Ver. 6.9, Hibbit Kalsen & Sorensen Inc., 2010.