

FEM解析による省力化鋼床版のボルト配置の検討

Investigation of effective placement of bolts in a simplified orthotropic steel deck using FEM analysis

(株)日本製鋼所室蘭研究所 ○ 正員 奥野 寛人 (Hiroto Okuno)
北海道開発局開発土木研究所 正員 三田村 浩 (Hiroshi Mitamura)
(株)開発技術コンサルタント 正員 村田 良英 (Yoshihiro Murata)
(株)日本製鋼所室蘭研究所 正員 小枝 日出夫 (Hideo Koeda)

1. はじめに

近年、鋼橋の設計の合理化や製作および施工工程の省力化が進められている中、鋼床版においても例外ではなく構造の省力化が求められている。鋼床版の特長の一つとして、コンクリート系の床版に比較して軽量であることが挙げられる。これは橋梁の耐震性を考えた場合、上部工死荷重が軽減されるため、主桁断面、支承、下部工および基礎工の規模縮小に有効である。しかし、従来の鋼床版はコンクリート系の床版に比較して建設コストが高いことから採用に至らない場合が少なくない。そこで著者らは、鋼床版の有用性を生かせるよう、軽量かつ建設コストを従来の鋼床版の半分程度に縮減することを目指し、角形鋼管を用いた主桁とデッキプレートからなる新構造形式の鋼床版を考案した。本構造形式では、主桁に既製品の角形鋼管を用い、デッキプレート、横桁および縦リブをボルトにより接合する構造としている。この形式では、全ての部材に既製品を用いること、溶接部を極力減少しボルト接合を多用することの2点から省力化を図っている。

本研究では、この省力化鋼床版の適用性を検討するために、別途行われた載荷実験を対象にFEM解析を実施した。解析手法としては、鋼板と角形鋼管のボルトによる接合を多点拘束と接触問題として扱っている。解析は載荷実験と同一諸元のモデルを用いて行い、実験結果との比較から本解析手法の適用性を検討している。さらに、ボルトの配置をパラメータとした解析を行い、実験供試体における有効なボルト配置について検討している。

2. 載荷実験概要

2.1 供試体

図-1に実験供試体の形状を示すが、主桁を模擬した

□-350×350×9mmの角形鋼管(JIS G 3466 STKR490)の上面に厚さ6mmの鋼板(SM490A)をボルトにより接合した構造としている。表-1に各部材の機械的性質(規格値)を示す。鋼板と角形鋼管の接合には、M16×40のトルシア形高力ボルト(S10T)を用い、締付けトルク260N・m、締付け力120kNで締付けている。なお、支間中央部にはダイヤフラムを設けることが望ましいが、鋼管の断面寸法が小さく製作上困難であるためダイヤフラムは省略した。

またボルトの配置は、橋軸直角方向で125mmの順次配置とし、橋軸方向についてはボルト接合による合成効果を検討するために、150mmの順次配置と150mmの千鳥配置の2種類としている。なお、道路橋示方書鋼橋編の規定によれば、橋軸方向のボルトの最大間隔は本供試体の場合順次配置で72mm、千鳥配置で43mmとなるが、間隔が極端に狭く締付け作業が困難となることから150mmの間隔を採用した。

2.2 実験方法

実験は、供試体の両端(支間長8m)を反力台にセットし、油圧ジャッキにより支間中央の200×200mmの領域をゴム板を介して載荷する方法で行っている。ゴム板は載荷面に生じる局所的な応力集中を防止する目的で使用した。また計測は、図-1に示す位置において、載荷荷重、変位およびひずみについて行っている。

表-1 鋼管材の機械的性質(規格値)

部位	降伏応力 MPa	引張強さ MPa	伸び %
角形鋼管	490以上	325以上	23以上
鋼板	325以上	490~610	17以上

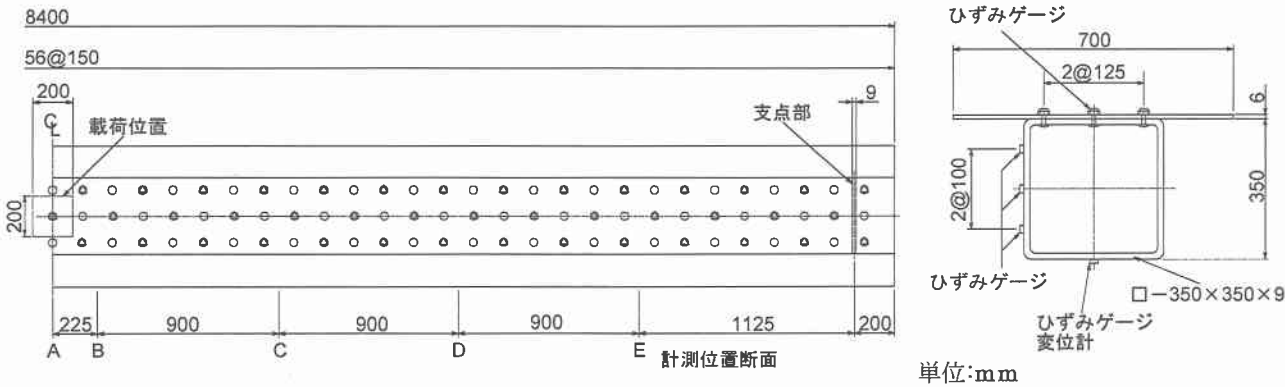


図-1 実験供試体の形状

3. 解析方法

3.1 解析の概要

本研究では、以下の2種類のケースについてFEM解析を行っている。

- 1) 前項の載荷実験を対象とする解析
- 2) ボルト配置をパラメータとする解析

ケース1の解析は、実験結果との比較から本解析手法の妥当性を検討することを目的としている。解析モデルは実験供試体と同一諸元とし、ボルト配置が150mmの順次配置（モデル1-1）と150mmの千鳥配置（モデル1-2）の2種類について解析を行う。また載荷方法は、実験と同様に面荷重（200×200mmの領域）として与える。

ケース2の解析では、ボルトの配置が断面の合成効果に与える影響を検討するために、ボルトの配置方法とピッチを変化させたモデルを用いて解析を行う。ボルトピッチは75, 150, 300mmの3種類とし、それぞれのピッ

チにおいて順次配置と千鳥配置の場合について検討している。また比較のために、鋼板と角形鋼管が溶接により完全に接合されている場合についても解析を行っている。ただし、ケース2の解析では、載荷方法を支間中央部への線荷重に変更し、さらに載荷部の鋼管内部に板厚9mmのダイヤフラムを設けている。これは、載荷部近傍に生じる局所的な応力集中と断面変形を防止するためであるが、この方法によりボルト配置の影響がより正確に評価できるものと考えられる。図-2に各ケースにおける荷重条件を、また表-2に解析条件をまとめて示す。

なお、本解析は汎用構造解析プログラムABAQUSを用いて行った。

3.2 解析モデル

図-3に一例としてケース1における解析モデルの要素分割を示す。対称性を考慮して実験供試体の1/4の領域を4節点シェル要素を用いてモデル化している。ボルト部の接合に関しては、シェル要素の板厚方向に締付け力を与えることが困難であることから、鋼板と角形鋼管のボルトが位置する節点において並進方向の全自由度を互いに拘束することによりモデル化した。また、鋼板と角形鋼管の接触面には機械的な摩擦接触を考慮しており、接触圧やせん断応力の伝達およびすべりや浮き上がりも

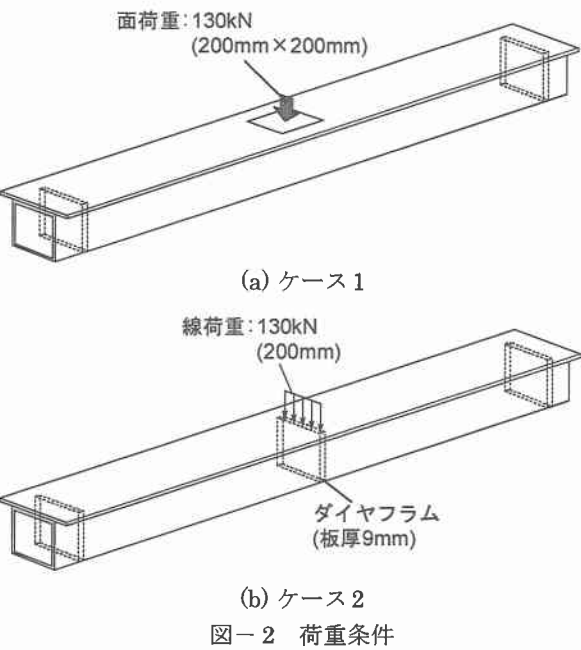


表-2 解析条件

ケース	モデル	ボルト配置	ボルトピッチ	載荷方式	載荷面の ダイヤフラム
1	1-1	千鳥	150mm	面荷重	無
	1-2	順次	150mm		
2	2-1	千鳥	75mm	線荷重	有
	2-2		150mm		
	2-3		300mm		
	2-4	順次	75mm		
	2-5		150mm		
	2-6		300mm		
	2-7	溶接模擬			

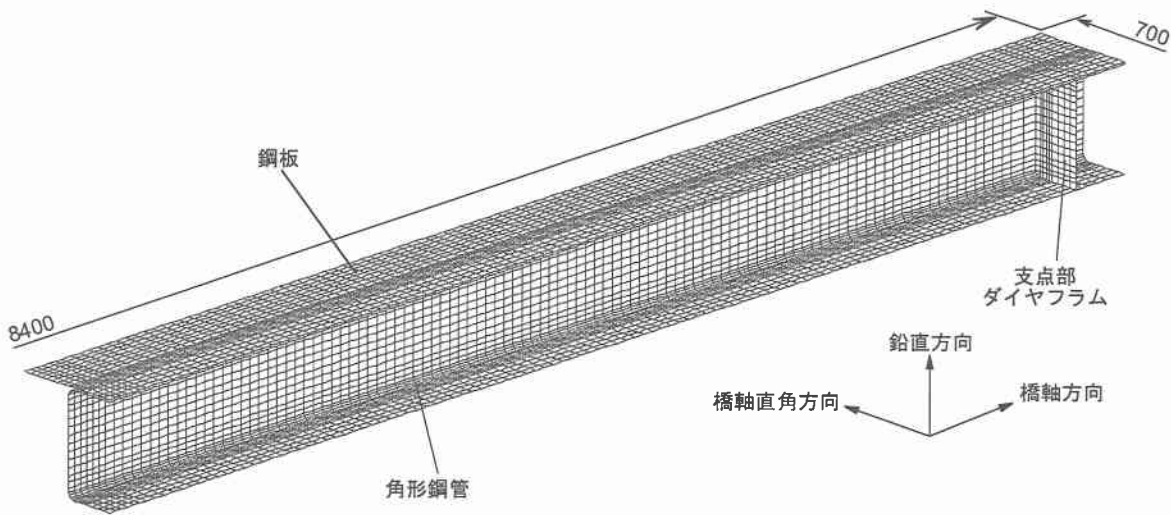


図-3 要素分割の一例（ケース1）

再現している。なお、本解析では、接触面の摩擦係数を0.4としている。

荷重は設計荷重である130kNとし、ケース1では等分布の面荷重、ケース2では等分布の線荷重として与えた。また、支点部の拘束条件は可動支点を模擬し、拘束部の鋼管下面支点上の節点において鉛直方向の自由度のみを拘束した。以下に解析に用いた材料定数を示す。

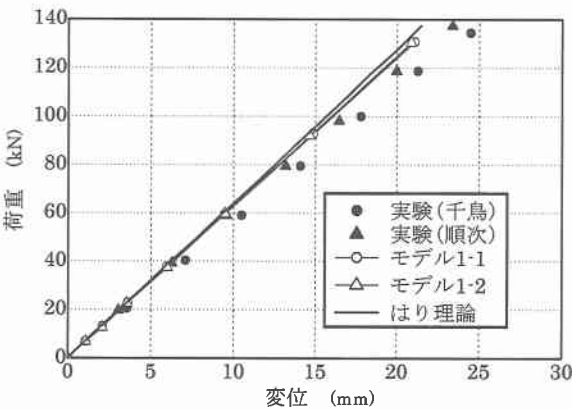
縦弾性係数：206GPa

ポアソン比：0.3

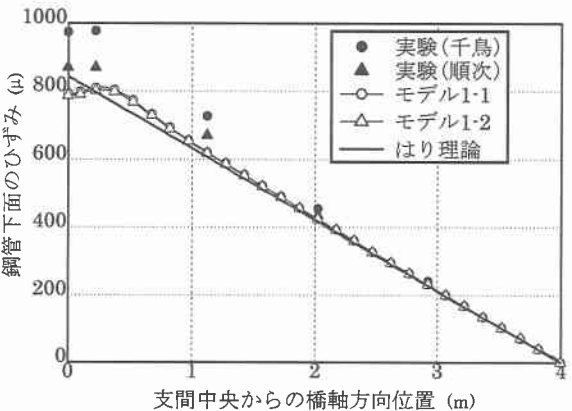
4. 解析結果および考察

4.1 ケース1

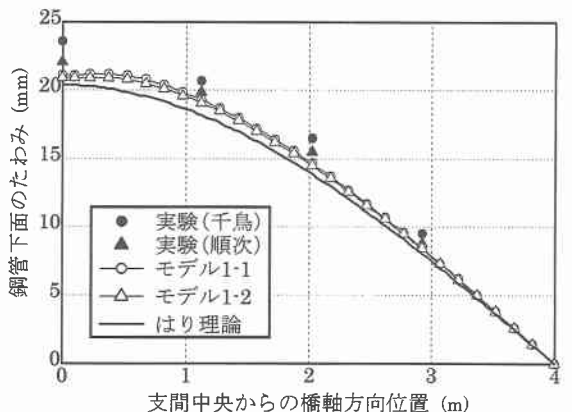
図-4に解析より得られた荷重-変位曲線および荷重130kN時の鋼管下面のひずみ分布とたわみ曲線を実験結



(a) 荷重-変位曲線



(b) 鋼管下面のひずみ分布



(c) 鋼管下面のたわみ曲線

図-4 解析結果 (ケース1)

果およびはり理論値と比較して示している。解析による荷重-変位曲線は、実験結果とはり理論値のほぼ中間に位置している。また解析では、ボルト配置の違いによる剛性の差が実験結果ほど顕著に現れていない。次に鋼管下面のひずみ分布を比較すると、解析結果は実験結果を若干過小に評価しているものの、支間中央部近傍においてひずみがほぼ一定になる現象は解析により再現されている。また、たわみ曲線については、支間中央部を除いて解析結果は実験結果とほぼ一致している。

以上の結果より、本解析手法により実験結果をほぼ再現できるものと考えられるが、支間中央の荷重載荷部では精度が若干低下するようである。これは図-5に示すように、荷重載荷部である支間中央にダイヤフラムが設けられていないため、この断面が局所的に大きく変型することによるものと考えられる。そこで先に述べたように、ケース2の解析ではボルト配置の影響をより正確に評価するために、支間中央の鋼管内部にダイヤフラムを設け線荷重により載荷する。

4.2 ケース2

図-6に一例としてモデル2-5 (150mm 順次) に対する解析より得られた変形図を示す。図-5と比較すると、載荷面にダイヤフラムを設け、載荷方法を変更したことにより、断面がほぼ均等に変形していることがわかる。

図-7にモデル2-3 (300mm 千鳥) とモデル2-5 (150mm 順次) について、荷重130kN時における鋼管下面と鋼板のたわみ分布をそれぞれはり理論値と比較して示している。同図より、解析より得られた剛性ははり理論値よりも小さく、またボルトピッチが粗いモデルほど剛性も小さくなることが分かる。また、モデル2-3では、支間中央部付近において鋼板が波打ち状に変形している。これは、

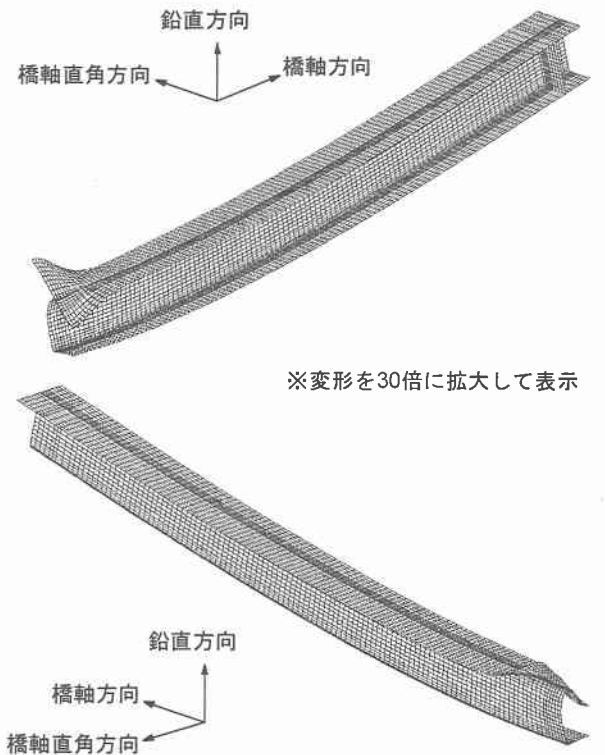
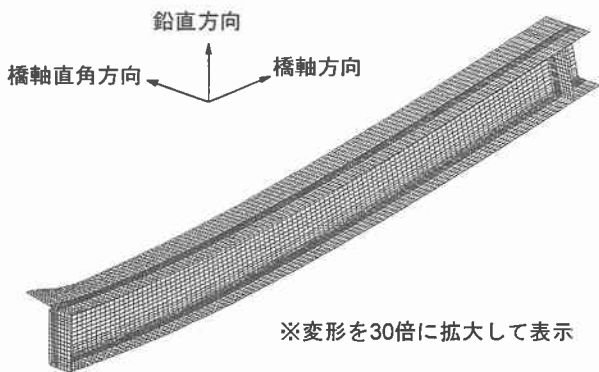


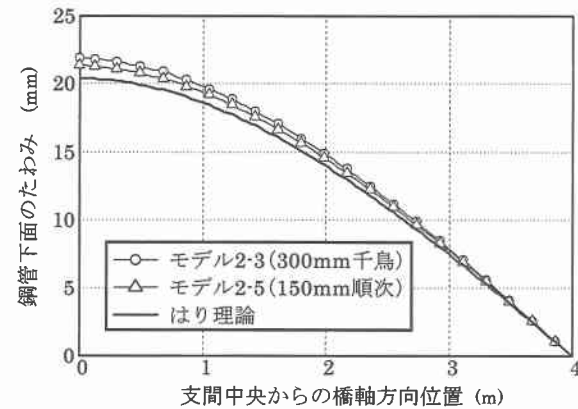
図-5 変形図の一例 (モデル1-2)

ボルトピッチが大きく鋼板と角形鋼管の拘束が十分でないために発生する座屈現象であると考えられる。図－8に、解析より得られた鋼板上面におけるひずみ分布をはり理論値と比較して示している。モデル2-7(溶接模擬)の解析結果は、ほぼはり理論値一致している。また、鋼板が波打ち状に変形したモデル2-3では、支間中央部付近においてひずみが大きく振動していることがわかる。この鋼板におけるひずみの振動は、千鳥配置の全てのモデルとモデル2-4(300mm 順次)において生じた。

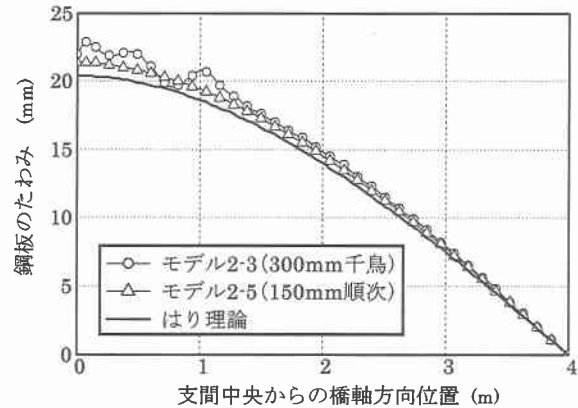
表－3に、解析より得られたボルト部の橋軸方向の平均反力を中央の列と端部の列(中央から125mm)に分けて示す。ボルトピッチが粗いモデルほどボルト1本当たり作用する反力が大きく、また全てのモデルにおいて中央部よりも端部のボルトに作用する反力が大きい。こ



図－6 変形図の一例(モデル2-5)



(a) 鋼管下面のたわみ曲線



(b) 鋼板のたわみ曲線

図－7 解析結果(ケース2)

れらの反力を摩擦抵抗力48kN(120kN×0.4)と比較すると、全てのモデルにおいて反力が摩擦抵抗力を下回っていることより、ボルト接合部にはすべりは発生しないことがわかる。

以上のことより、設計荷重130kNに対して鋼板の座屈およびボルト接合部のすべりが生じない有効なボルト配置は、75mmと150mmの順次配置である。

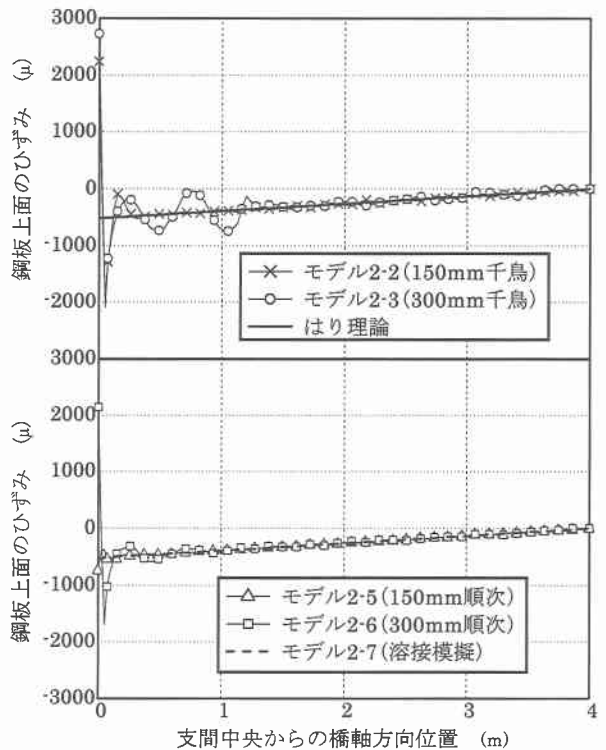
5. まとめ

本解析の範囲内で得られた結果を要約すると、以下のよう示される。

- (1) 本解析手法を用いることにより、載荷実験結果をほぼ再現可能である。
- (2) ボルト配置をパラメータとした解析の結果、鋼板の座屈およびボルト接合部のすべりが生じない有効なボルト配置は、75mmと150mmの順次配置である。

【参考文献】

- 1) 日本道路協会, 道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編, 1996.
- 2) 大島, 山崎, 熱海, 小枝, 佐藤:合理化に対応した鋼床版構造の提案, 鋼構造年次論文報告集 No.24, pp175-182, 1997.11.



図－8 鋼板上面のひずみ分布

表－3 橋軸方向のボルト反力

モデル	ボルト配置	ボルトピッチ	ボルトに作用する橋軸方向の反力(kN)	
			中央	端部
2-1	千鳥	75mm	2.0	5.7
2-2		150mm	4.4	10.6
2-3		300mm	8.7	16.7
2-4	順次	75mm	0.8	3.2
2-5		150mm	2.0	6.0
2-6		300mm	4.3	10.4