

角形鋼管を用いた省力化鋼床版の標準化設計

Standardization of the design for simplified orthotropic steel deck using carbon steel square-pipe

(株)日本製鋼所 室蘭研究所      ○ 正員   奥野 寛人 (Hiroto Okuno)  
北海道開発土木研究所              正員   池田 憲二 (Kenji Ikeda)  
北海道開発土木研究所              正員   皆川 昌樹 (Masaki Minakawa)  
(株)日本製鋼所 室蘭製作所        正員   寺田 寿 (Hisashi Terada)  
(株)日本製鋼所 室蘭製作所        正員   佐藤 聖嗣 (Kiyotsugu Sato)

1. はじめに

近年、鋼橋において製作および現場施工工程での省力化を目的とした合理化設計が進められており、これは鋼床版においても例外ではない。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縮減することを目標に、主桁に角形鋼管を用いた新構造形式の鋼床版を考案した。さらに縮小模型を用いた載荷実験<sup>1)</sup>やFEM解析<sup>2)</sup>を行い、横桁の荷重分配効果や角形鋼管とデッキプレート間の有効なボルト配置方法を検討した結果、本構造形式橋梁の適用性を確認している。

本研究では、本構造形式橋梁の標準化設計法の概要について報告する。また、設計法の妥当性を確認するために標準設計の一例についてFEM解析を実施し、ダイヤグラムの最適な板厚の選定や各部位の発生応力についても検討したので併せて報告する。

2. 本構造形式橋梁の特長

一般に支間長が30m程度の橋梁としては、単純非合成鈹桁やPC中空床版橋が広く採用されている。しかし、単純非合成鈹桁では、溶接構造が主体であるため工場および現場での溶接作業が多くコスト高の要因となっている。また、PC中空床版橋はコンクリート橋であるため、現場におけるコンクリート工事が主体となり、施工時期や作業エリアの考慮が必要である他に上部工重量が大きいという問題点がある。これに対し本構造形式の上部構造の場合、以下の特長が挙げられる。

- 1) 既製品を用いることと各部材を大型化することにより溶接作業が減少するため工場内での施工性が良く、製作工数を少なく抑えることができる。
- 2) 現場継手部の接合方法として高力ボルトを採用するため、現場での施工性の向上が可能となる。
- 3) 工場での製作および現場施工を含めた全体の工期が短縮されるため、早期の交通解放が可能となる。
- 4) 従来の形式と比較して桁高を低く設計できるため、桁下余裕が厳しく桁高制限を受ける場合にも適用が可能である。
- 5) 上部工重量が大きく減少するため、軟弱地盤での杭基礎等に有利である。

3. 標準化設計

3.1 設計概要

本研究では、表－1に示す全24ケース(幅員6パターン×支間長4パターン)を対象に標準化のための設計計算および図面集を作成する。全てのケースにおいて、主桁には□1000×1000の角形鋼管を採用し、デッキプレートには厚さ14mmの鋼板を用いている。また、横桁にはH488×300×11×18を、縦リブにはH300×150×6.5×9を使用している。これらの形鋼に関しては設計計算により応力照査を行っている。なお、設計荷重はB活荷重を採用した。

以下に主要幹線道の総幅員12.2m、支間長30mの橋梁を対象に行った設計例を示す。

3.2 設計例

(1) 鋼床版の設計

鋼床版の設計範囲として扱う部分は、デッキプレート、縦リブおよび横桁である。デッキプレートが縦リブおよび横桁で補剛されているものとして、最も不利となる載荷状態について作用応力を算出し、規定の許容応力との照

表－1 断面および支間長構成

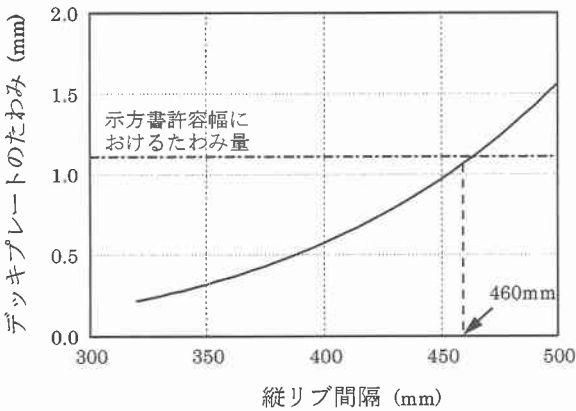
| 区分    | 断面構成 (mm) |         |         |         |        | 標準化支間長                   |
|-------|-----------|---------|---------|---------|--------|--------------------------|
|       | 地覆        | 歩道      | 路肩      | 車道      | 総幅員    |                          |
| 主要幹線道 | 2@400     | 2@3,000 | 2@2,000 | 2@3,500 | 17,800 | 26m<br>28m<br>30m<br>32m |
|       | 600+400   | 1@3,000 |         |         | 15,000 |                          |
|       | 2@600     | —       |         |         | 12,200 |                          |
| 幹線道   | 2@400     | 2@3,000 | 2@1,500 | 2@3,250 | 16,300 | 30m<br>32m               |
|       | 600+400   | 1@3,000 |         |         | 13,500 |                          |
|       | 2@600     | —       |         |         | 10,700 |                          |

査から縦リブ間隔および横桁間隔を決定した。なお、設計計算には有限帯板法(FSM)を用いた。

一般的な橋梁では、縦リブとしてUリブや板リブが用いられているが、本構造形式ではH形鋼を使用しているため、道路橋示方書Ⅱ鋼橋編<sup>3)</sup>の規定に従いデッキプレート<sup>4)</sup>のたわみ量を詳細に検討する必要がある。そこで、H形鋼のフランジと鋼板の板厚を考慮し、B活荷重下におけるデッキプレートのたわみ量を算出した。図－1に縦リブ間隔と鋼床版のたわみ量の関係を示す。同図より縦リブ間隔が460mm以下であれば鋼床版のたわみ量が示方書許容幅におけるたわみ量以下になることがわかる。以上の計算より、本設計では縦リブ間隔に460mmを採用した。

(2) 主構の設計

主構は、架設時および完成時を考慮して格子計算により評価した。架設時は、主桁と横桁からなる格子モデル



図－1 縦リブ間隔とデッキプレートのたわみの関係

を用いて、橋面荷重を除いた死荷重が作用するものとして、主桁の発生応力を算出した。また、完成時に対する格子計算では、主桁と鋼床版(縦リブを含む)の合成断面と横桁からなる格子モデルを用いて、橋面荷重およびL活荷重を与え主桁の発生応力を算出した。主桁の最終的な断面剛性の評価は、架設時および完成時のそれぞれの発生応力を足し合せた後、許容応力との照査により行った。

主桁間隔は、路肩部に排水装置の設置を考慮し決定した。すなわち、主桁に使用する角形鋼管が排水装置と干渉すると、角形鋼管に排水装置を貫通させる必要がある。この場合、角形鋼管の断面性能を減少させる原因となるからである。

なお、主構のたわみについても、道路橋示方書Ⅱ鋼橋編の規定に従い照査した。

(3) 現場添接部の設計

主桁添接部と横桁添接部のボルト配置および添接板サイズは、格子計算により算出された作用力と母材の全強の75%を比較し、応力が不利となる場合で設計した。また、デッキプレートと縦リブの添接部は、母材の全強の75%以上の強度をもつように設計した。

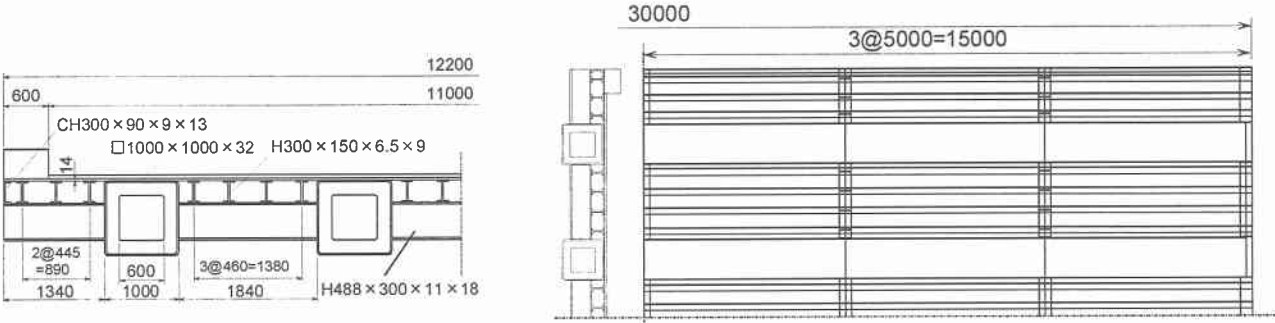
(4) 横断勾配

横断勾配は2%両勾配とし、デッキプレートを曲げ加工することで製作する。各主桁は、デッキプレートの傾きに添わせて接合するものとして設計した。

標準化設計に用いる各部材の主要寸法および使用鋼材を表－2に示す。また、図－2は以上の手順に従って設計した主要幹線道の総幅員12.2m、支間長30mの橋梁の構造図を示す。

表－2 断面および支間長構成

| 部位  | 寸法・サイズ         | 間隔                           | 使用材料              | 備考                 |
|-----|----------------|------------------------------|-------------------|--------------------|
| 鋼床版 | 14mm           | —                            | SM400A            |                    |
| 縦リブ | H300×150×6.5×9 | 460mm                        | SS400             |                    |
| 主桁  | □1,000×1,000×t | 主要幹線道は2,840mm<br>幹線道は2,600mm | SM400A,<br>SM490A | 板厚tと材質は設計計算により決定する |
| 横桁  | H488×300×11×18 | 5000mm基準                     | SS400             |                    |



図－2 標準化設計における構造図の一例(総幅員12.2m、支間長30m)

4. FEM解析

4.1 解析概要

本研究では、前節において設計した主要幹線道の総幅員12.2m、支間長30mの橋梁を対象にFEM解析を行い、以下の項目を検討した。

- 1) ダイヤフラムの最適な板厚を選定
- 2) 格子計算結果との比較(たわみ曲線)
- 3) 各部位の発生応力の照査

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。

4.2 解析モデル

図-3に解析モデルの要素分割図を示すが、対称性を考慮して橋軸方向の1/2領域を4節点シェル要素を用いてモデル化している。また、本解析では、鋼管と鋼板、鋼管と横桁、縦リブと鋼板そして縦リブと横桁は完全に接合されているものとしてモデル化した。解析はダイヤフラムの板厚が、9mm、12mm、19mmの3種類のモデルについて行っている。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並進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

4.3 荷重条件

本解析では、荷重条件として道路橋示方書Ⅱ鋼橋編に規定されるT荷重を想定する。図-4に載荷位置を示すが、部材に最も不利な応力が生じるようにそれぞれのモデルにおいて端部位置(ケース1)、鋼管中央位置(ケース2)そして縦リブ間中央位置(ケース3)の3種類の位置に載荷するものとする。載荷領域は道路橋示方書の規定に従い200mm×500mm(2箇所)の領域に面荷重として与える。なお、本解析では4本の主桁を端部の載荷位置付近からG1、G2、G3、G4と定義した。表-3に解析条件をまとめて示す。

4.4 解析結果および考察

(1) ダイヤフラムの発生応力

図-5にモデル1(ダイヤフラム板厚9mm)、ケース1の

載荷位置の解析から得られた支間中央部のダイヤフラムに生じる幅員方向と鉛直方向の応力分布を示している。幅員方向の応力分布の場合、G2桁部ダイヤフラムの横桁のフランジ接合位置に応力が集中しており、上フランジ部では引張、下フランジ部では圧縮が作用していることがわかる。鉛直方向の応力分布ではダイヤフラム内部に応力が集中していることがわかる。

図-6にダイヤフラムの最大発生応力と板厚の関係を示す。板厚の増加に伴い発生応力は小さくなるものの、すべての条件において70MPa以下と許容応力(SS400材相当で140MPa)と比較しても小さい値であることがわかる。

(2) たわみ曲線

図-7にモデル1、ケース1の載荷位置の解析から得ら

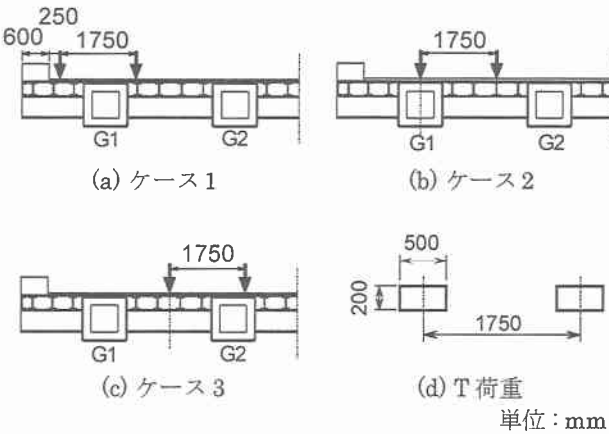


図-4 T荷重の載荷位置

表-3 解析条件

|          | モデル1              | モデル2 | モデル3 |
|----------|-------------------|------|------|
| ダイヤフラム板厚 | 9mm               | 12mm | 19mm |
| 載荷荷重     | 196kN (98kN×2)    |      |      |
| 載荷領域     | 500mm×200mm (2箇所) |      |      |
| 載荷位置     | 端部位置 (ケース1)       |      |      |
|          | 鋼管中央位置 (ケース2)     |      |      |
|          | 縦リブ間中央位置 (ケース3)   |      |      |

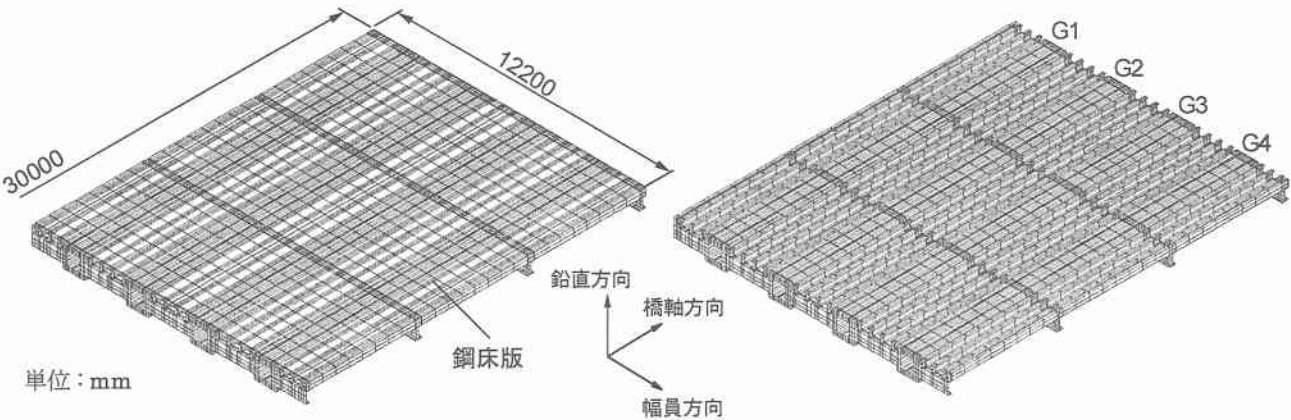


図-3 解析モデルの要素分割図

れたたわみ曲線を格子計算結果と比較して示している。解析から得られた各桁のたわみ量は、格子計算結果と比較すると10%程度小さくなっているが、全体的な傾向として解析結果は格子計算結果をほぼ再現していることがわかる。従って、ダイヤフラムの板厚が9mmの場合においても、十分な断面剛性を有していることがわかる。

(3) 各部位の発生応力

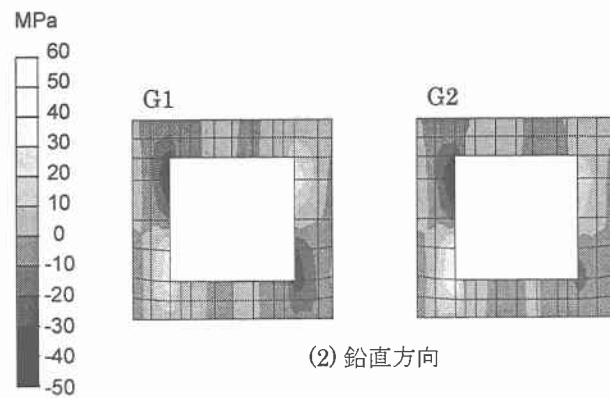
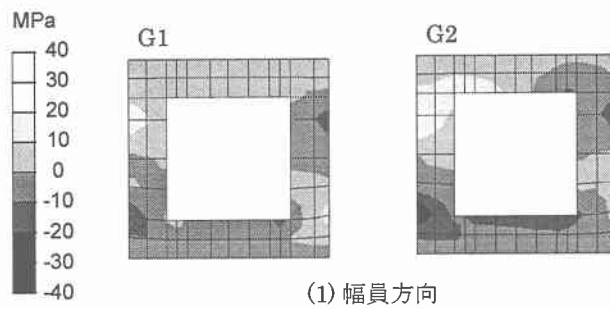
表－4 にモデル1の解析から得られた各部位の最大発生応力をまとめて示す。いずれの解析結果においても応力値は70MPa以下であり、許容応力の範囲内であることから、標準化設計法を用いて設計した橋梁の適用性が確認された。

5. まとめ

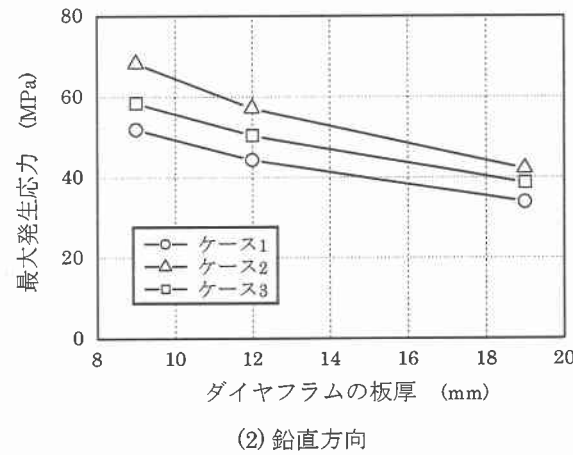
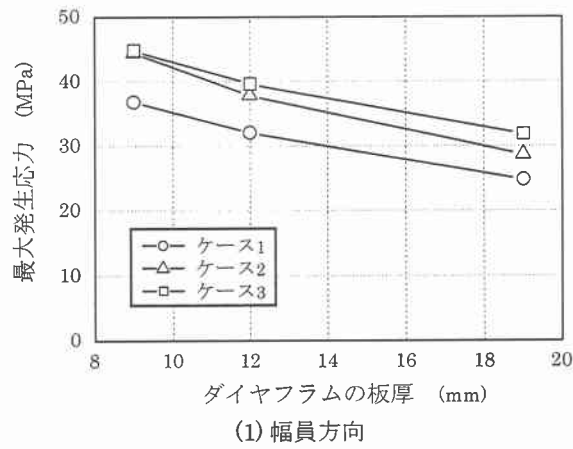
本研究では、角形鋼管を用いた省力化鋼上部構造の標準化設計法の概要を報告した。また、その一例についてFEM解析を行い細部の発生応力を評価した結果、標準化設計法の妥当性が確認された。さらにFEM解析により、ダイヤフラムの板厚が9mmの場合においても、十分な断面剛性得られることが明らかとなった。

【参考文献】

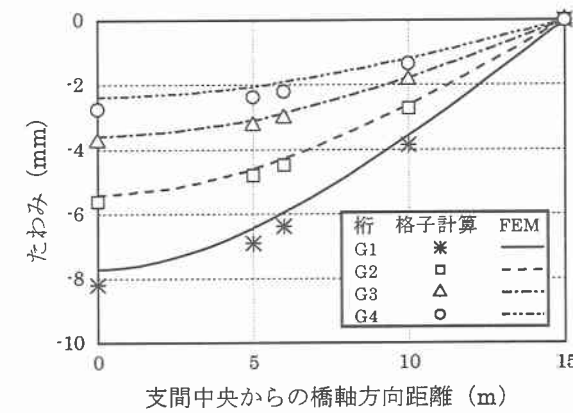
- 1) 佐藤，別所，三田村:角形鋼管を用いた省力化鋼上部構造の提案，第56回年次学術講演会概要集，論文番号 I -A002.
- 2) 奥野，三田村，小枝，村田:角形鋼管を用いた省力化鋼床版のボルト配置の検討，第56回年次学術講演会概要集，論文番号 I -A003.
- 3) 日本道路協会，道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編，1996.12.



図－5 応力分布(モデル1，荷重位置ケース1)



図－6 ダイヤフラムの最大発生応力と板厚の関係



図－7 たわみ曲線(モデル1，荷重位置ケース1)

| 部位   |      | 最大発生応力(モデル1) |       |       |
|------|------|--------------|-------|-------|
|      |      | 方向           |       |       |
| 角形鋼管 | 幅員   | 橋軸           |       |       |
|      |      | ケース1         | ケース2  | ケース3  |
| 縦リブ  | ウェブ  | 21.2         | -22.6 | 24.0  |
|      |      | 22.1         | 19.5  | 22.8  |
|      | フランジ | -69.9        | -64.0 | -67.4 |
|      |      | -22.8        | -15.9 | -21.6 |
| 横桁   | ウェブ  | -57.0        | -51.1 | -67.1 |
|      |      | -32.8        | -25.6 | -30.8 |
|      | フランジ | -17.8        | -12.5 | 16.3  |
|      |      | -30.7        | -33.0 | -25.2 |
| 橋軸   | 幅員   | 32.2         | 21.9  | 26.7  |
|      |      | 21.2         | 20.1  | 16.1  |

単位：MPa