

角形鋼管橋の連続化に向けた模型実験の基礎解析

Basic analysis of model experiment for continuation of carbon steel square-pipe bridge

(株)日本製鋼所 室蘭製作所 ○ 正員 佐藤 聖嗣 (Kiyotsugu Sato)
 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)
 北海道開発土木研究所 正員 畑山 朗 (Akira Hatakeyama)
 (株)日本製鋼所 室蘭製作所 正員 寺田 寿 (Hisashi Terada)
 (株)日本製鋼所 室蘭研究所 正員 奥野 寛人 (Hiroto Okuno)

1. はじめに

近年、鋼橋の製作および現場施工工程は、省力化を目的とした合理化設計が進められており、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上部工死荷重の軽減が挙げられる。このことにより、主桁断面構成、支承、下部工および基礎工の縮小が出来る。さらに、橋梁の耐震性には有効である。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に、軽量かつ建設コストを縮減することを目指し、主桁に角形鋼管を用いた新構造形式の鋼床版橋を考案した。ここで、単径間単純桁橋は縮小模型を用いた載荷実験やFEM解析を行い、横桁の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、本構造形式橋梁の適用性を確認しており単径間単純桁橋としての標準設計^{3,4)}まで完了している。

本研究では、角形鋼管橋の連続化対応を目指し、中間支点の課題について検証するための実験供試体の設計とFEM解析を報告する。

2. 本構造形式橋梁の特長

一般に支間長が30m～40m程度の橋梁としては、単純非合成鉄桁やPC中空床版橋が広く採用されている。しかし、単純非合成鉄桁では、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場合、以下の特長が挙げられる。

1)既製品である形鋼(角形鋼管、H形鋼)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図られる。
- 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、桁下余裕が厳しい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。
- 6)本構造形式の基本構造図を図-1に示す。

3. 連続化の予備設計

3.1 予備設計

本構造形式の単径間では、支間長26m～32mの2mピッチで全24パターンの標準設計が出来ている^{3,4)}。また、単径間での限界支間長は、設計計算の結果から曲げ応力と活荷重に対するたわみの制限により33m程度である。そのため本構造形式の適用範囲を拡大するために連続化を目指した。予備設計は2径間連続桁を想定して限界支間割を把握し、その後に4本主桁と6本主桁の断面構成について応力度とたわみについて確認した。

3.2 限界支間長の把握

標準設計を行なった6断面のうち、4本主桁の断面構成について以下の2ケースについて概略設計を行なった。

①総幅員12.2m(4本主桁)、支間長2@40.0m=80m

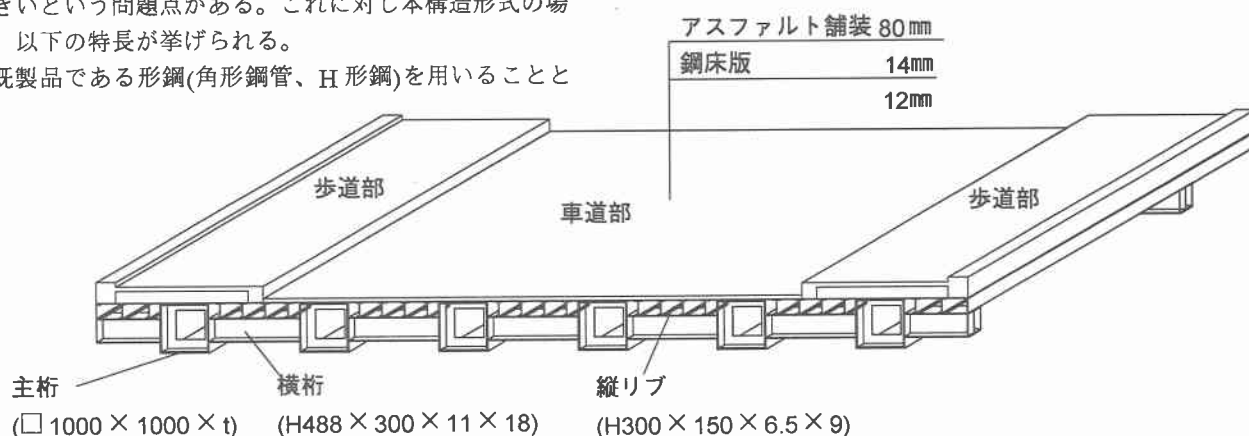


図-1 基本構造図

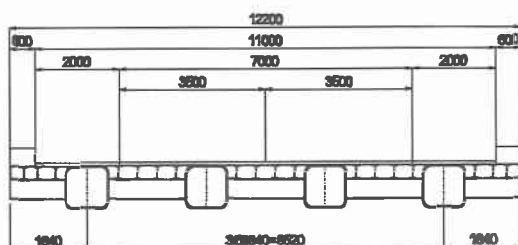


図-2 ケース1 断面構成図

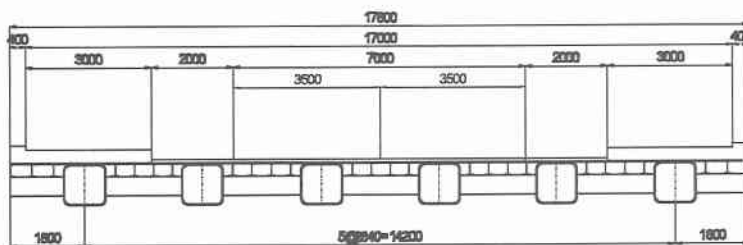


図-3 ケース2 断面構成図

②総幅員 12.2m(4本主桁)、支間長 2@42.5m=85m
(断面構成は図-2を参照)

ここで、主桁の断面性能は、デッキプレートと角形鋼管上下フランジの有効幅を道路橋示方書に規定された計算式にて算出し決定している。

その結果、ケース①では、応力度および活荷重によるたわみも許容値以内であった。しかし、ケース②では許容応力度とたわみの双方を満足することが出来なかった。そこで、本構造形式の橋梁を2径間連続した場合の限界支間割は2@40mと設定した。

3.3 2径間連続桁の予備設計

限界支間割の2@40m=80mで幅員構成の違う以下の2ケースについて設計を行なった。

- ①：総幅員 12.2 m(4本主桁、歩道無)(図-2)
- ②：総幅員 17.8 m(6本主桁、両側歩道)(図-3)

主桁断面性能の算出は3.1同様に行なった。

設計計算の結果を表-1、表-2に示し、その結果からケース1とケース2は同レベルの応力度状態である。

そこで、本構造形式の橋梁は幅員構成の違いに関らず支間割2@40m=80mまで対応出来ると判断した。

表-1 曲げ応力度(N/mm²)

断面 番号	外桁		中桁(外側)		中桁(内側)	
	支間 中央	中間 支点	支間 中央	中間 支点	支間 中央	中間 支点
1	159	-199	150	-174	—	—
2	137	-182	140	-175	139	-173

表-2 活荷重によるたわみ量(mm)

断面 番号	外桁	中桁 (外側)	中桁 (内側)
1	77	73	—
2	69	70	68

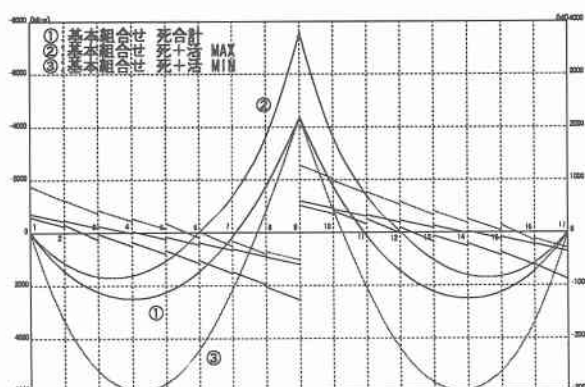


図-4 断面力図

4. 供試体形状と実験計画

4.1 連続桁の課題

前節の予備設計の格子計算の断面力図を図-4に示す。図より、中間支点のデッキプレートは常に引張力を受けるため摩擦接合の孔加工による孔引きによって断面性能の低下も予想される。また、主桁角形鋼管下面では、常に圧縮力を受けるため座屈の問題が挙げられる。

4.2 供試体形状と実験計画

中間支点部の課題を検証するための実験供試体と実験計画を以下ようにする。

- 1) 模型の縮尺は、実験装置を考慮し1/3にスケールダウンしたものとし、供試体計画図を図-5に示す。
- 2) 主桁は外側主桁と内側主桁との間のデッキプレートにおける応力度変化を確認するため3本主桁とした。
- 3) 主桁間隔は実橋の場合、角形鋼管中心間隔で2840mmのため950mmとした。
- 4) 横桁間隔は1665mmとした。
- 5) 模型の支間長は、横桁間隔から(6@1665=)9990mmとした。
- 6) 使用材料は極力実橋の1/3に近い形状で、既製品で入手できる形鋼とした。その材料を以下に示す。

①主桁：□350×350×9(STKR400)

②横桁：H175×90×5×8(SS400)

③デッキプレート：t=6(SM490A)

④高力ボルト：M16(F10T)

⑤ダイヤフラム：供試体支点部と荷重載荷位置に設ける

7) 載荷方法は、試験装置の構造から鉛直下向きとなる。そのため、デッキプレートに引張力と主桁下フランジ部に圧縮力を作用させるためにデッキプレートを下向きにセットし供試体の支間中央を上から油圧ジャッキで載荷する。このとき、中間支点を模擬しているため、主桁3本が均等にたわむよう載荷する。

5. FEM解析

5.1 解析概要

本研究では、前節において計画した供試体を対象に構造計算とFEM解析を行い、実験に先立ち供試体のたわみ性能と応力度に関して比較しFEM解析の妥当性を確認した。また、FEM解析の結果から以下の項目を検討した。

5.2 解析モデル

図-6に解析モデルの要素分割図を示すが、対称性を考慮して解析領域の1/4領域について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、角形鋼管と

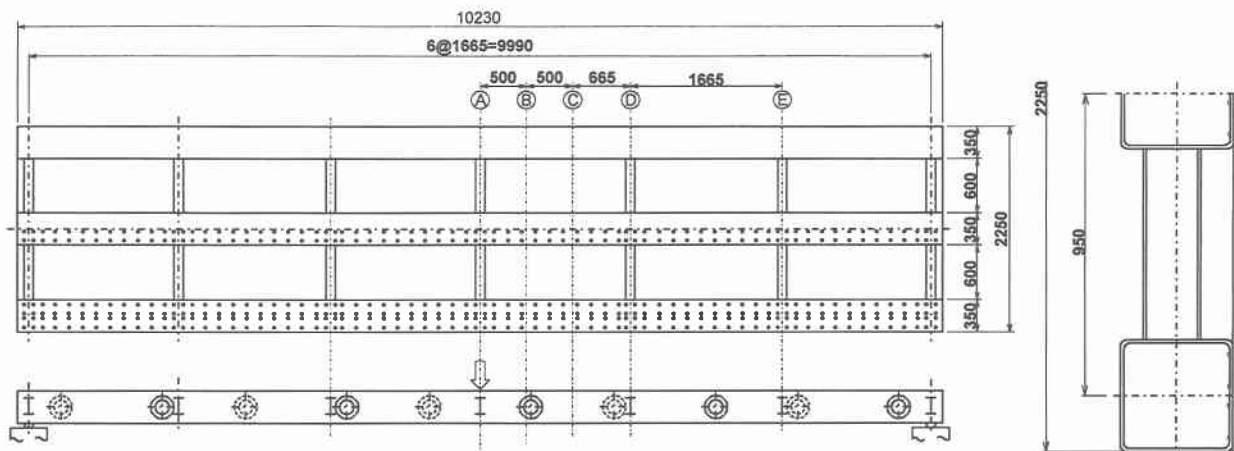


図-5 供試体計画図

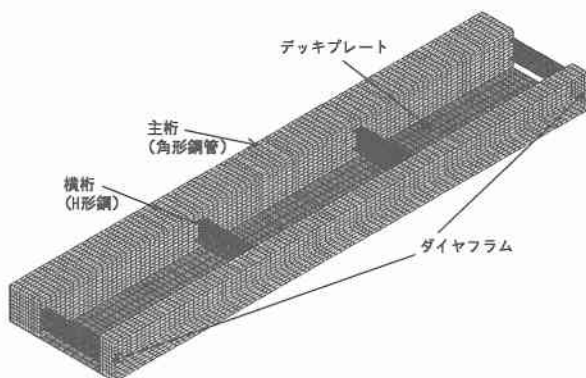


図-6 FEM 解析モデル

鋼板、角形鋼管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。支点部の拘束条件は可動支点を模擬し、拘束部のデッキプレート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

また、同じ解析モデルにおいて座屈固有値解析を行い、主桁である角形鋼管の座屈について検討した。

- 1)モデルによるデッキプレートの有効幅。
- 2)モデルによる角形鋼管の座屈解析。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。

5.3 荷重条件

本解析では、図-6に示す解析モデルの支間中央部にあたる部分に以下の荷重を載荷した。載荷荷重は供試体の応力度が許容応力度付近となるような荷重を想定した。

- ①中間支点部を模した箇所に線荷重を載荷(142.2N/mm)
- ②ソールプレートに模した箇所に支点荷重を模擬した分布載荷(1.777N/mm²)

5.4 FEM解析結果

5.4.1 格子計算結果とFEM解析結果の比較

供試体の格子計算とFEM解析のうち、たわみの結果を図-7に示す。計算結果とFEM解析を比較するとFEM解析の方が合成が硬めの結果となりその差は支間中央で

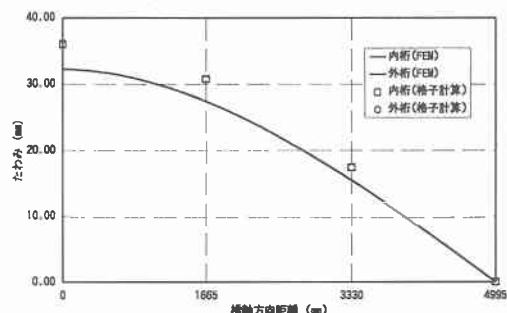


図-7 たわみの比較

5mm程度となっているが、過去の同様の実験²⁾と解析値が同じような傾向であったため妥当であると判断できると考える。ここで、FEM解析で載荷方法を2つのケースを行なったが、載荷方法でのたわみと応力度に違いはなかった。このため、ソールプレートに分布荷重を載荷した解析の結果を用いている。

5.4.2 応力度の分布

FEM解析の結果を図-8に横断方向の応力度分布を示し、横軸に供試体中心軸からの距離と縦軸に応力度を示す。ここで、グラフは5.4.1よりケース②の結果を示すこととした。図から以下のことがわかる。

A断面は主桁角形鋼管ウェブ位置で応力度が高くなり主桁角形鋼管部のフランジ部は若干低い。デッキプレート部の応力度は、角形鋼管フランジ部よりも低くなっている。

B断面からC断面ではA断面と違い、角形鋼管ウェブ位置の応力度の立上りは顕著に現れない。しかし、角形

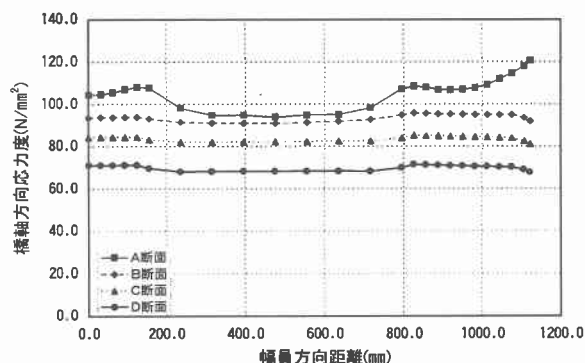


図-8 横断方向の応力度分布

鋼管フランジ部の応力度よりもデッキプレートのみの部分の応力度は若干低くなっている。以上ことからウェブ位置での応力度のピークを確認した。これは載荷位置の影響が有るからではないかと考えられる。

5.4.3 有効幅の算出

有効幅 λ は道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編「10.3.5 フランジの有効幅」に従い、以下の式で求めた。図-9は有効幅の概念図を示す。

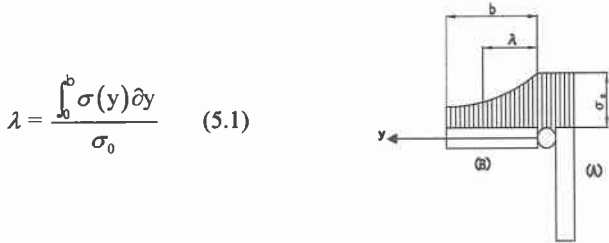


図-9 有効幅概念図

その結果を図-10に示す。横軸に支間中央からの橋軸方向の距離、縦軸に有効幅を示す。

計算式①は2径間連続梁の有効幅を示し、計算式②は単純桁の場合の有効幅を算出し示している。ここで、それぞれの計算式は道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編「10.3.5 フランジの有効幅」に準じている。解析結果から求めた有効幅は、内桁部と外桁部とは差がない結果となり計算式②と一致している。

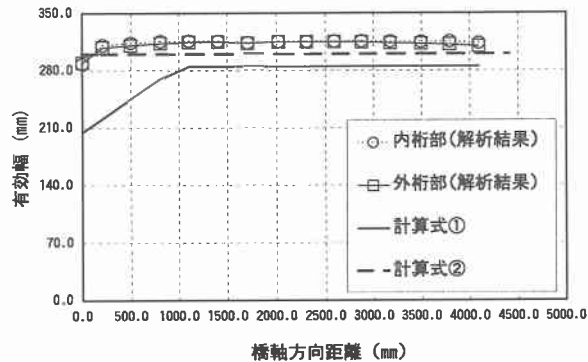


図-10 有効幅

表-4 座屈荷重と圧縮応力度

モード	座屈荷重 (kN)	圧縮側応力度 (N/mm ²)
1	1558	881
2	1569	888
3	1580	894
4	1594	901

降伏応力度
 $\sigma_y = 325 \text{ N/mm}^2$

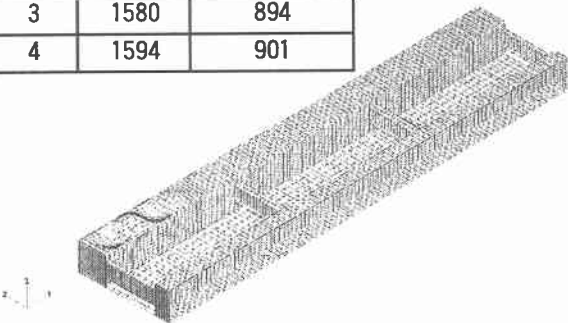


図-11 座屈固有値解析結果(モード2)

従って、単純梁設計時には道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編の「10.3.5 フランジの有効幅」の式を適用できると考えられる。また、連続桁に関しては、道路橋示方書・同解説から支間中央部は単純桁に準じ λ/b を求め、支点上付近は曲げモーメントを三角分布とみなして λ/b を求めていることから、本構造形式の連続桁の有効幅についても前記の内の連続桁の式を適用できると考えられる。

5.4.4 座屈固有値解析結果

実験供試体モデルにおいて座屈固有値解析を行なった結果、抽出モードを30としたときに角形鋼管の4つの圧縮座屈モードを抽出した。その結果について、座屈荷重をモード毎に表-4に示し、そのときの座屈状況の一例を図-11に示す。座屈荷重時の圧縮応力度が降伏応力度(JIS規格値)を越えているため、許容応力度内での設計では座屈は発生しないとかんがえられる。

6. まとめ

本研究では、角形鋼管橋の連続桁対応を目指し、中間支点上の課題についての検証するのに先立ち実験の計画を行い、その供試体について格子計算とFEM解析を実施し供試体の妥当性を以下の項目を確認した。

供試体モデルのFEM解析結果を横断方向にプロットしたところ載荷断面では角形鋼管ウェブ位置に応力度のピークを確認し、それ以外の断面でも角形鋼管ウェブの位置の応力度がデッキプレートのみの位置より高いことが確認できた。

有効幅の解析結果は外桁と内桁との間で一致し、全体的には単純梁の有効幅と同レベルの値となった。これは、連続梁にした場合は道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編「10.3.5 フランジの有効幅」に従い有効幅を算出できると考えられる。

座屈固有値解析では、座屈荷重時には主桁鋼管部の圧縮応力度が降伏応力度を超えていた。

今後の課題は、本研究で計画した模型供試体による載荷実験を行いFEM解析結果と比較し角形鋼管橋の連続化の適用性を確認する。

【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) 佐藤, 池田, 皆川: 角形鋼管を用いた省力化鋼床板桁橋の標準化設計, 第57回年次学術講演会概要集, 論文番号 I - 644.
- 4) 奥野, 佐藤, 池田: 角形鋼管を用いた省力化鋼床板桁橋のダイヤフラムの板厚検討, 第57回年次学術講演会概要集, 論文番号 I - 679.
- 5) 日本道路協会, 道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編, 2002.3.