

新形式形鋼橋梁の研究

A Study on Rationalization of the Shape Steel Bridge

水 上 繁 樹^{* (1)} 藤 川 敬 人^{* (2)} 櫻 井 信 彰^{* (3)}
 Shigeki MIZUKAMI Norihito FUJIKAWA Nobuaki SAKURAI

抄 録

支間30m程度以下の小規模鋼橋梁における、床版構造まで含めた既存の構造形式の課題を挙げ、その解決方法を提案し、実験および解析によって検証した。まず床版構造については、合成床版の採用を前提に、加工度の高いハッチ構造の廃止とともにプレハブ化に伴う桁接合方式の簡略化を提案し、それらの妥当性を解析および静的実験、輪荷重走行試験により検証した。次に形鋼の主桁と耐荷力の大きい合成床版の組合せを活かして、中間横桁の完全省略を行い、その新形式形鋼橋梁の設計法を提案し解析的に検証した。最後に形鋼を主桁とする連続桁構造の長支間化における障害となる負曲げモーメントに対処するため、現場連結方式の中間支点構造を提案し、その設計法の妥当性をFEM解析および静的試験により確認した。

Abstract

A new type shape-steel bridge is proposed, to rationalize fabrication and erection by integrating main girders and composite slabs with steel panels, by elimination of slab-haunch and simplification of connection between slab and girder, by reducing transverse stiffening structures, and by changing simple girder into continuous girder on site. This paper describes the validity of developed design methods through analytical and experimental studies. It is expected that this study contributes to expand the application of steel bridges.

1. はじめに

近年、支間長30m程度以下の小規模橋梁には、プレテンPC橋などのコンクリート橋がほぼ全面的に採用されている。これは、その規模の鋼橋に経済性に富む構造形式がないことを示している。また、PC橋が床版工までの橋面工を除くすべての橋梁上部工を包括しているのに対して、鋼橋は桁構造と床版構造が別であり組合せも多いことから、総工事費の観点で合理化が十分できているとは言い難い。

そこで、合成床版と形鋼橋梁を一体化した新形式形鋼橋梁(図1)を考案し、材片数を徹底して削減し加工費を下げるとともに、現地施工の簡略化を徹底して行い、鋼構造ならではの急速施工を図るものとする。

新形式形鋼橋梁は、支点上の鋼横桁部材、H形鋼2本の主桁とI形鋼と底鋼板からなる合成床版の鋼パネルを工場段階で一体化した桁パネル、および桁パネルの中間に現場で落とし込まれる中間パネルの、大きく分けて三つの構成部材から成り立っている。また、鋼支点横桁と桁パネルの上フランジの接合と、桁パネルおよび中間パネルの橋軸方向の継手はHTB接合であるが、その他の接合はコンクリート打設後に応力伝達する方式をとっている。こうした部材の組合せを行うことにより、ハッチ、ジベルの省略による合成床版構造の合理化と、中間横桁の廃止、現場連結方式の採用といった桁構造

の合理化を行っている。また、それらの特長を活かして、製作、施工の簡略化を図っている。これらの応力伝達および構造妥当性の検証については次章以降で詳述する。

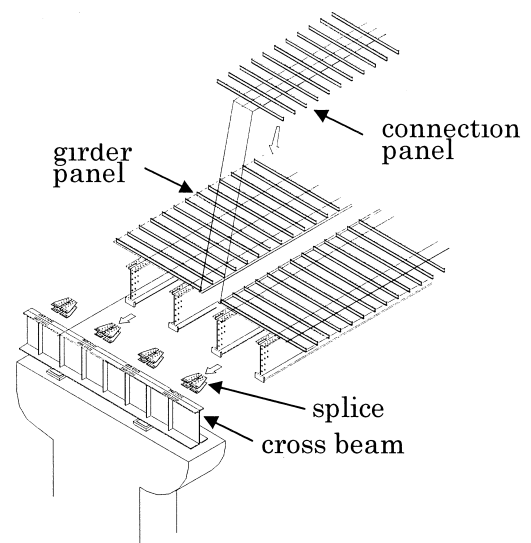


図1 新形式形鋼橋梁概念図
 Concept of new type shape-steel bridge

* (1) 鉄構海洋・エネルギー事業部 鋼構造・海洋営業部
 東京都千代田区大手町2-6-3 〒100-8071 TEL:(03)3275-5918

* (2) 鉄構海洋・エネルギー事業部 鋼構造・海洋営業部 グループリーダー
 * (3) 鉄構海洋・エネルギー事業部 鋼構造設計部 マネジャー

2. 床版構造の合理化

近年、耐久性向上、急速施工の目的で合成床版が増えているが、これらの合成床版は橋梁横断方向に様な主部材配置であるため、主桁直上の床版負曲げモーメントに対してハンチを設けて版厚を増やして対応している。また、現場では床版構造と主桁構造を一体化するため、主桁上にジベルを密に配置する必要がある(図2)。

新形式形鋼橋梁では、このハンチ、ジベルをなくするために、床版構造とH形鋼主桁を工場段階で連続隅肉溶接にて一体化させており、I形鋼にジベル機能を兼用させる。また、中間パネルを落とし込むとI形鋼が主桁上で交差することになり、I形鋼の量を床版支間部に比べて倍とすることで、床版負曲げモーメントに抵抗させる構造としている(図3)。

新形式形鋼橋梁では図3に示したように、底鋼板が床版支間方向に不連続であること、主部材であるI形鋼の本数が変化し、継手部はI形鋼を交差させるだけでコンクリートにより継手を構成すること、I形鋼と底鋼板が断続隅肉溶接であることなど未解明の技術課題があるため、以下に示す部分モデルの静的荷重試験および輪荷重走行試験を行い、設計法の検証を行った。

まず、部分モデルの静的荷重試験では、正曲げ、負曲げのそれぞれの供試体(図4、5)に対して、設計荷重(複合構造物の性能照査指針(案)の合成床版の曲げモーメント)時の各部の応力状態や耐荷力を確認した。

実験結果の概要は、以下の通りである。

- ・正曲げ実験、負曲げ実験それぞれの荷重変位曲線を図6、7に示す。静的耐荷力は正曲げ実験が設計荷重の10.6倍、負曲げ実験が8.8倍で十分であった。

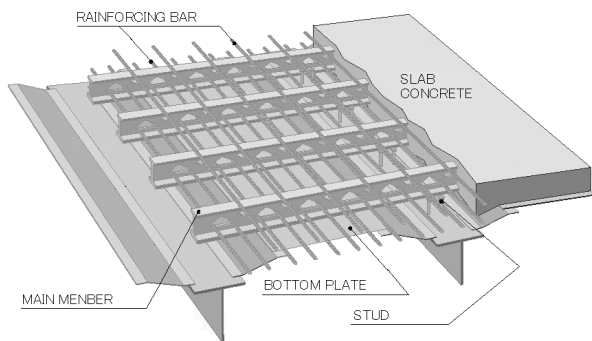


図2 既存の合成床版
Conventional composite slab

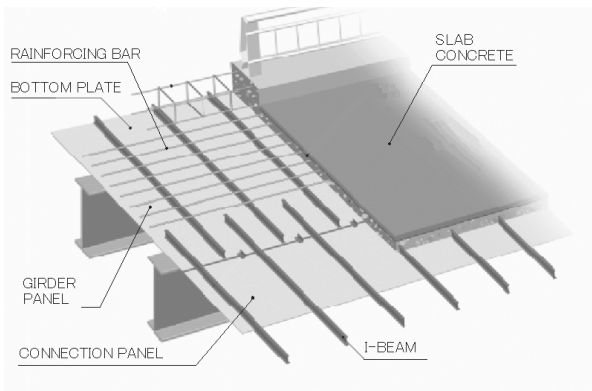


図3 新形式合成床版
New type composite slab

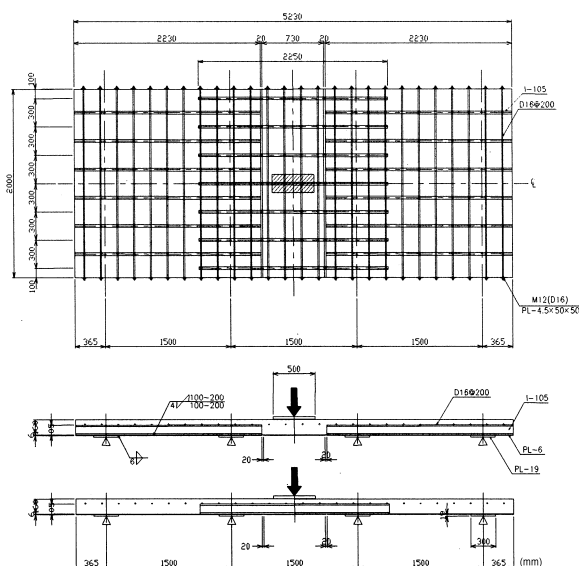


図4 正曲げ実験供試体図
Specimen of positive bending test

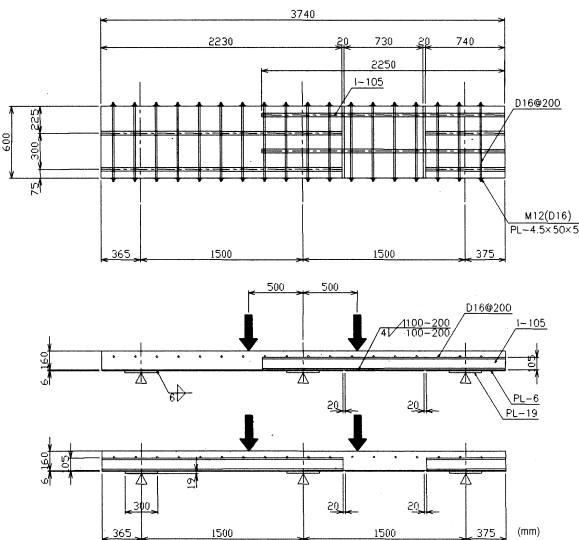


図5 負曲げ実験供試体図
Specimen of negative bending test

- ・正曲げ実験において、設計荷重の8倍程度までは、断面剛性としては全断面有効と合成断面(引張コンクリート無視)の中間の値である。
- ・負曲げ実験は、I形鋼のラップ長を床版支間の1/2とした場合(Case1)と1/4とした場合(Case2)を行ったが、いずれの場合も十分な耐力を有し、断面内のひずみ分布も設計計算値を十分下回る値であった。
- ・底鋼板の不連続となる箇所を設けたが、全体の剛性や局所的な応力集中などの影響はなかった。

また、I形鋼の断続隅肉溶接および床版の接合部の疲労耐久性を確認するために、(独)土木研究所所有の輪荷重走行試験機を用いて疲労耐久性の確認を行った。供試体を図8に示す。結果としては、道示に示される392kNまでの52万回の階段状荷重に対して終局状態には至らなかった。

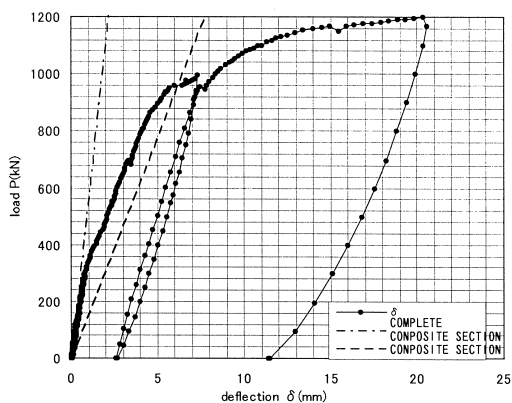


図6 正曲げ荷重変位曲線
Load-deflection curve of positive bending test

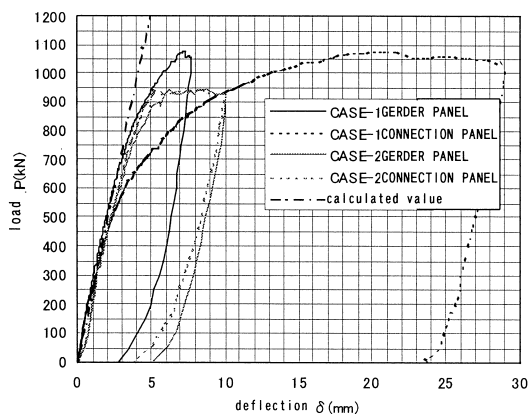


図7 負曲げ荷重変位曲線
Load-deflection curve of negative bending test

3. 桁構造の合理化

新形式橋梁では、桁構造の合理化として、中間横桁の廃止と現場連結方式の採用を行っている。

まず、中間横桁の廃止では、2002年の道路橋示方書の改訂により、性能規定が組み入れられ、三次元FEMなどの検証付きで床版に荷重分配効果や横荷重に対する抵抗を負担させることが可能となった。そこで本構造では、中間横桁、横構などの中間横組み部材を完全省略し、製作施工の合理化を図っている(図9)。

三次元FEMでは、活荷重載荷による床版部材の横桁としての挙動を確認し、床版設計との重ね合わせの方法について検討するとともに、地震、風などの横荷重作用時の床版部材の挙動を確認し、安全性を検証した(図10)。

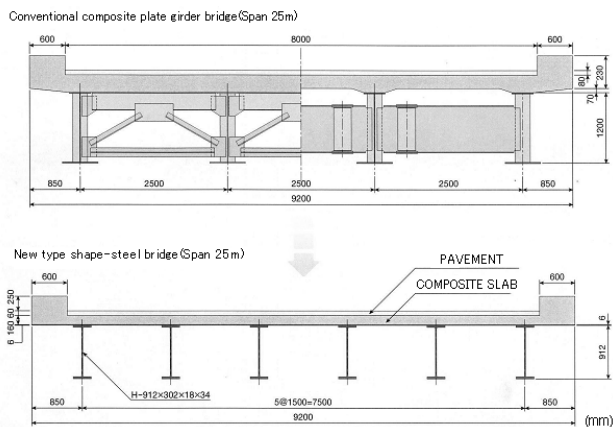


図9 従来鋼桁と新形式形鋼橋梁
Cross-section of conventional composite plate girder and new type shape-steel bridge

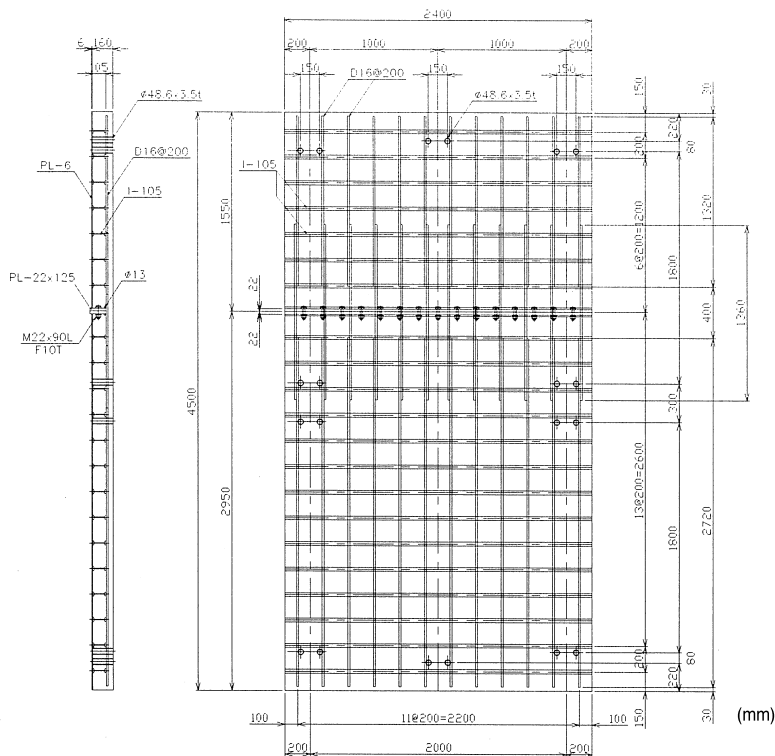
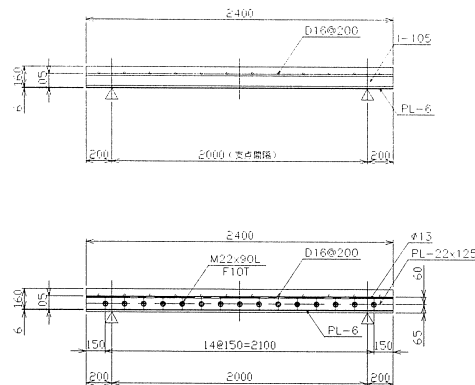


図8 輪荷重走行試験供試体図
Specimen of wheel trucking test



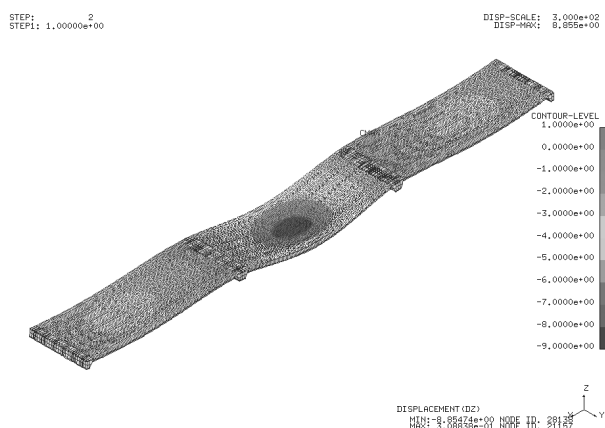


図10 三次元FEM解析変形図
3D FEM analysis result (deflection)

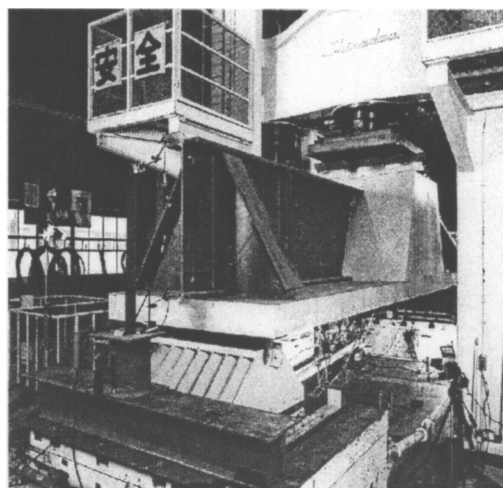


図12 中間支点構造試験状況
Loading test of intermediate support structure

次に、現場連結方式の採用については、H形鋼を主桁として連続桁を検討する場合、最初から連続桁構造とすると、配力鉄筋+鋼断面と断面剛性の小さい中間支点において、負曲げモーメントによる下フランジの圧縮応力で断面が決定され、既存のH形鋼では20m程度の連続桁を構成するのが限界であった。

そこで、コンクリート桁では一般的な現場連結方式を採用して、適用支間を拡大することとした。図11に示すような中間支点構造とし、桁架設時には、主桁上フランジに設置したせん断プレートで中間支点の鋼横桁に荷重を伝達し、上フランジのみHTB接合し固定する。これにより前死荷重(桁自重、床版コンクリート自重)に対しては単純桁構造となる。その後、支点横桁にコンクリートを打設し、コンクリートが硬化すると、主桁下フランジ端部に設置した支圧プレートから圧縮力を伝達できるようになり、後死荷重(橋面工)、活荷重に対しては連続桁となる。

この構造を採ることにより、中間支点上の負曲げモーメントが小さくなり、既存のH形鋼で30m程度の連続桁を構成できるようになった。この中間支点構造に関しては、実物大の静的試験を行った。図12に試験状況、図13に試験結果を示す。耐荷力としては設計荷重の3.9倍あり、設計荷重時の鋼材およびコンクリートの応力は、設計計算より十分安全側の値であることを確認した。

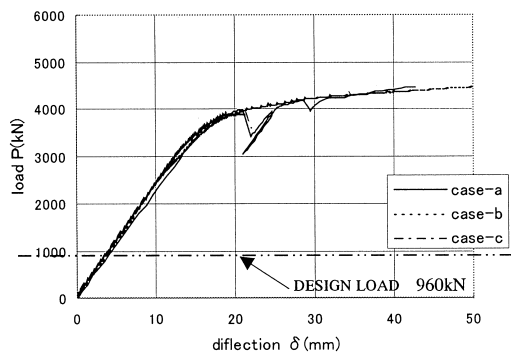


図13 中間支点構造試験荷重変位曲線
Load-deflection curve of intermediate support structure

また、紙面の都合上詳細は省略するが、別途詳細な三次元FEM解析を実施し、実験結果の再現が十分できることを確認後、支圧プレートの形状などのパラメータの変化について解析による検証を行い、設計方法にフィードバックしている。

4. 設計、製造、施工の合理化

前章までに述べた構造を採用することで、設計、製造、施工において合理化を図っている。

まず、設計面では適用範囲の30m程度以下の範囲で使用H形鋼を8種類に限定して、小型部材も徹底した共通化を行うことにより、設計計算および図面作成などの設計に要する費用および期間を従来の半分以下にすることが可能となる。

製造面では、設計で部材を集約したことにより、材料調達工期を従来鋼構造の1/3程度に縮め、加工度を下げたことから製作期間も大幅に削減している。また、塗装では中塗り塗料に厚膜の変性エポキシ樹脂塗料を用いて塗り回数を削減している。

施工面では、図14に従来鋼桁との工期比較図を示すように、架設回数を削減し、吊足場、床版型枠を省略することで大幅な工期短縮を図っている。

これらの合理化を図示すると、25m支間長の3径間連続桁の前提で、図15に示すように従来鋼桁の1/3程度の工期で施工することが可能となる。

また、現場連結方式を採用したことで、図16に示すように新形式

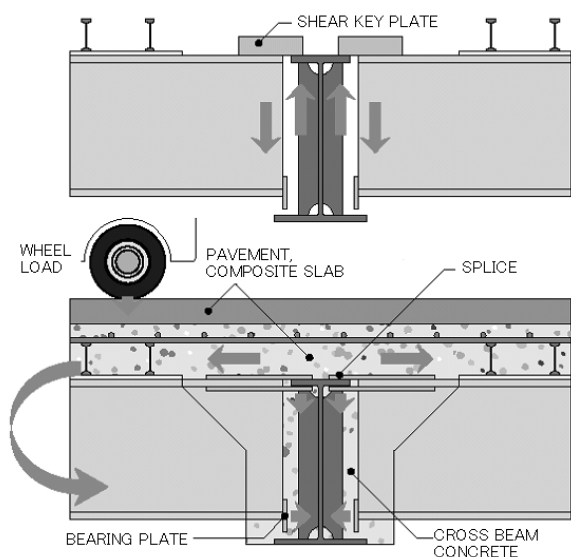


図11 中間支点構造概念図
Concept of intermediate support structure

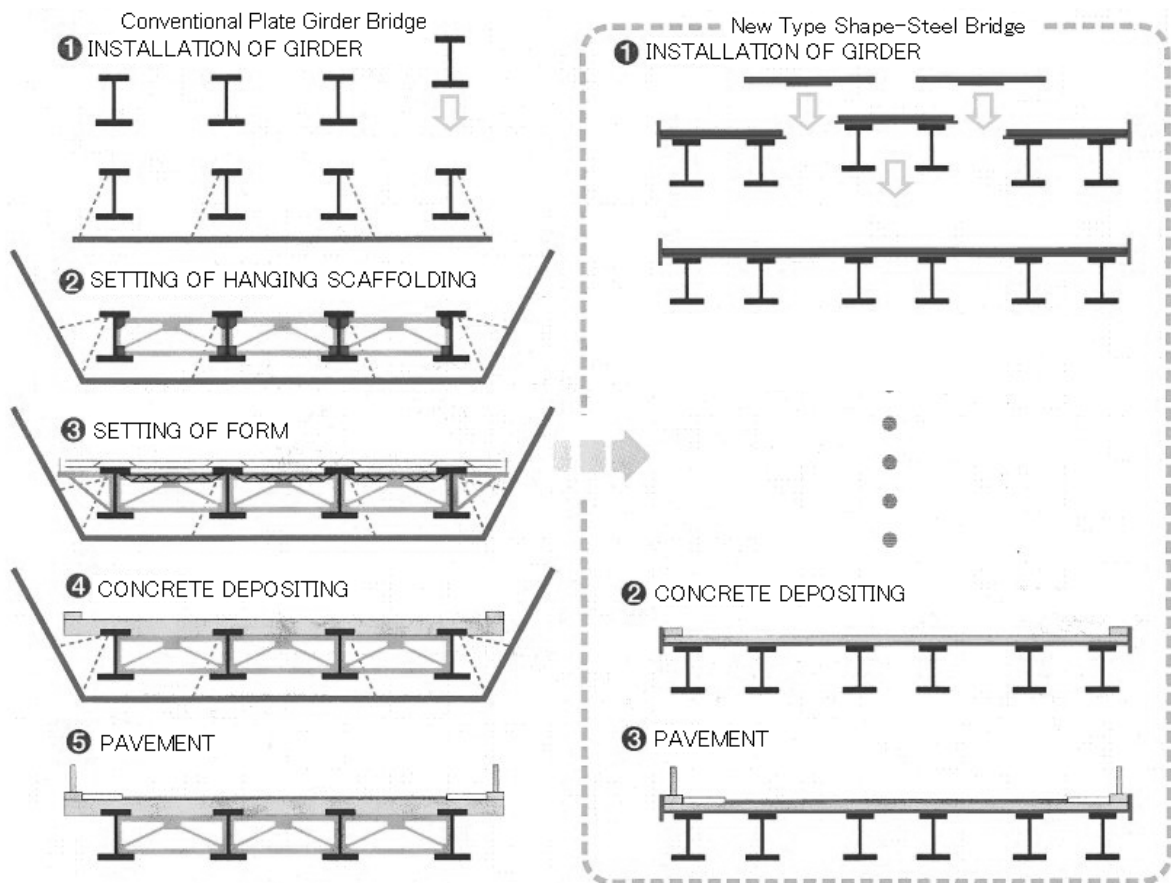


図14 架設工程の比較
Comparison of installation process

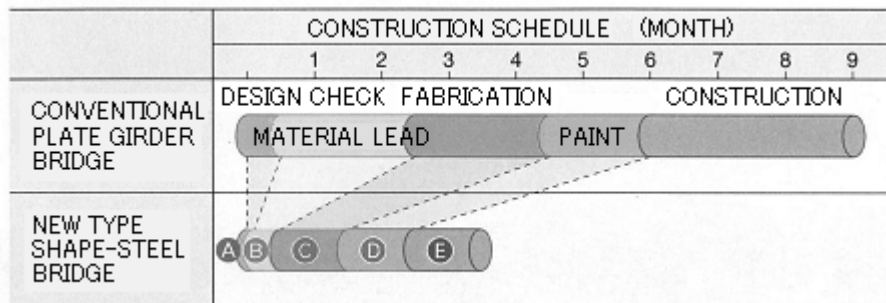


図15 工程の比較
Comparison of construction schedule

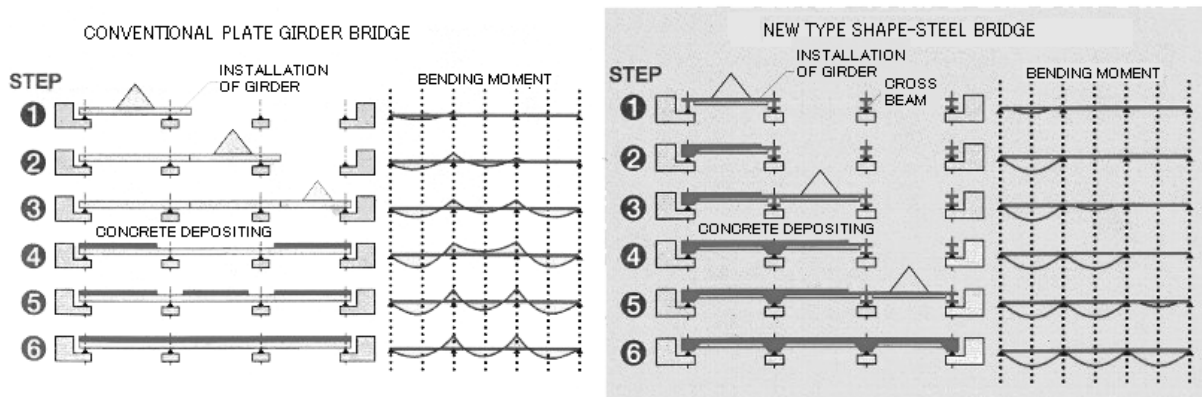


図16 床版打設順序
Sequence of concrete depositing

形鋼橋梁の場合、中間支点部のコンクリートをその両側の支間のコンクリートと同時か後に打設すれば、若材令のコンクリートに引張応力が生じることがないため、コンクリート打設に注意する必要がなく、簡単に品質管理が図れる。

さらに、桁架設後の桁下作業がなくなることで、既設道路の規制期間を大幅に削減できるため、環境負荷を低減できる長所も有している。

5. おわりに

新形式形鋼橋梁の技術課題に関して、実験および解析による検証を行い、設計の前提に対していずれも安全側の結果を得ることができた。試算では中小規模のPC橋(プレテンション、ポストテンション)と比較し同等以上の価格を達成している。今後は、様々な条件(斜角、曲線橋等)に対応できるよう解析検討、構造詳細の標準化を進めるとともに、実施工を通じて施工上の問題点を把握し、ブラッシュアップを続けることで競争力の更なる向上に努めたい。