

# (19) 鋼・コンクリート複合げた橋の性能確認試験と実橋への適用

吉田 賢二<sup>1</sup>・須田 達<sup>2</sup>・迫田 昌孝<sup>3</sup>・河谷 公明<sup>4</sup>・福岡 聡<sup>5</sup>・栗田 章光<sup>6</sup>

<sup>1</sup>正会員 川田工業株式会社 橋梁事業部 (〒550-0014 大阪府大阪市西区北堀江1-22-19)  
E-mail: kenji.yoshida@kawada.co.jp

<sup>2</sup>高松市 都市整備部 (〒760-8571 香川県高松市番町1-8-15)  
E-mail: toru\_7332@city.takamatsu.lg.jp

<sup>3</sup>川田工業株式会社 橋梁事業部 (〒550-0014 大阪府大阪市西区北堀江1-22-19)  
E-mail: masataka.sakoda@kawada.co.jp

<sup>4</sup>川田工業株式会社 橋梁事業部 (〒550-0014 大阪府大阪市西区北堀江1-22-19)  
kimiaki.kawatani@kawada.co.jp

<sup>5</sup>川田工業株式会社 生産本部 (〒939-1593 富山県南砺市苗島4610)  
E-mail: satoshi.fukuoka@kawada.co.jp

<sup>6</sup>正会員 大阪工業大学教授 工学部都市デザイン工学科 (〒535-8585 大阪府大阪市旭区大宮5-16-1)  
E-mail: kurita@civil.oit.ac.jp

支間長10～25mの小スパン橋梁を対象として、トラス構造を有する鋼部材のウェブにコンクリートを打設した鋼・コンクリート複合げた橋を開発した。これまでに性能確認試験として、正曲げモーメント区間および負曲げモーメント区間に着目した静的載荷試験を実施し、本橋梁の耐荷性能およびびびり性状を確認している。さらに、本橋梁を実際の2径間連続げた橋に適用し、鋼げたの架設時およびウェブコンクリート打設時の座屈防止対策、コンクリート打設方法、キャンパー管理について報告する。

**Key Words :** steel-concrete hybrid girder bridge, static loading test, prevention of buckling, constructed example

## 1. はじめに

近年の建設工事においては、コスト縮減が強く求められており、このニーズに対応するために新しい複合げたを開発した。新形式のけたは矩形の鉄筋コンクリートウェブ（以下、RCウェブと略す）の上下面に鋼フランジを配置し、両者を合成させた構造である。上下の鋼フランジの連結にはトラス状の繋ぎ材を適用し、鋼ウェブを省略している。図-1に示す概念図は、上記のけたとRC床版を合成させた鋼・コンクリート複合げた橋（以下、複合げたと略す）であり、支間長が10～25m程度の小スパン橋において優れた経済性を有する。

本文では、複合げたの性能確認試験結果および実橋への適用に際し実施した種々の検討結果を報告する。

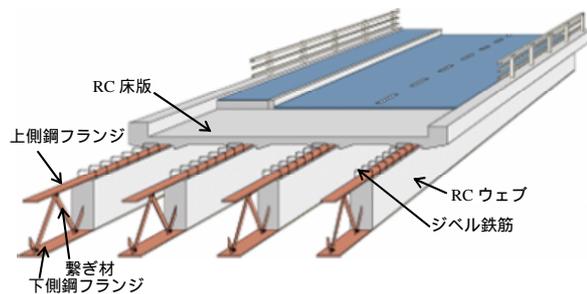


図-1 鋼・コンクリート複合げた橋の概念図

表-1 試験体の構造諸元

RC床版	設計基準強度	30N/mm <sup>2</sup>
	橋軸方向鉄筋	D16@200(SD295)
	橋軸直角方向鉄筋	D16@125(SD295)
RCウェブ	設計基準強度	30N/mm <sup>2</sup>
	橋軸方向鉄筋	D19@110(SD295)
	鉛直方向鉄筋	D16@175(SD295)
鋼げた	上側鋼フランジ	PL-300×22(SS400)
	繋ぎ材	FB-75×9(SS400)
	下側鋼フランジ	PL-400×25(SS400)
	ジベル鉄筋	D19@125(SD295)
	角鋼ジベル	22×22×250(SS400)

## 2. 性能確認試験

### (1) 正曲げ区間の静的荷重試験

#### a) 荷重試験の概要

表-1 および図-2 に、それぞれ試験体の構造諸元および断面図を示す。試験体寸法は全長9000mm、支間長8400mm、全高さ847mmである。RC床版厚は150mm、上下の鋼フランジは300mm×22mmおよび400mm×25mmであり、この間に75mm×9mmの平鋼の繋ぎ材をワーレントラス形状に配置し、高力ボルトを用いて鋼フランジと連結している。また、鋼フランジのRCウェブ側には、22×22×250mmの角鋼ジベルを配置して両者を一体化している。

荷重要領は図-3 に示す。試験体の両端部において下側鋼フランジ下面を支持し、試験体中央のRC床版上面に設置した支間長2000mmの荷重ばりを介して荷重を載荷した。

荷重荷重については表-2 に示す。ここで、道路橋示方書<sup>1)</sup>に示される荷重条件で設計した場合、下側鋼フランジの応力度が130~140N/mm<sup>2</sup>程度となる状態が、橋梁の荷重レベルであり、この荷重荷重600kNを設計荷重とした。

#### b) 試験結果

荷重荷重が150kN、600kNにおけるの試験体のたわみの測定結果を図-4、図-5 に示し、支間中央断面におけるひずみの分布の測定結果を図-7、図-8 に示す。さらに、荷重荷重が1100kNにおけるたわみの測定結果を図-6 に示す。図中には、コンクリートの全断面を有効とした場合とコンクリートの引張領域を無視した場合の計算値と測定値を同時に示す。

RCウェブにひびわれが発生しはじめる状態においては、図-4 に示すようにたわみの測定値は全断面有効の計算値とおおむね一致し、その分布形状もほぼ等しい。図-7 に示すようにひずみの測定値はRC床版上面から下側鋼フランジ下面まで全断面有効の計算値の周囲に分布し、全断面有効の計算値と中立軸がほぼ一致することが分かる。

次に、荷重荷重が設計荷重程度となる状態においては、図-5 に示すようにたわみの測定値は全断面有効の計算値と引張領域無視の計算値の中間に位置している。図-8 に示すようにひずみの測定値は引張領域無視の計算値よりもやや小さいものの、測定値と引張領域無視の計算値との中立軸がほぼ一致することが分かる。

さらに、図-6 に示すように下側鋼フランジの発生応力度が降伏応力度程度となる状態においては、たわみの測定値が引張領域のコンクリートを無視の計算値とほぼ一致し、その分布形状もほぼ等しい結果となった。

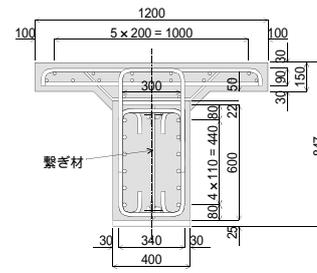


図-2 試験体の断面図

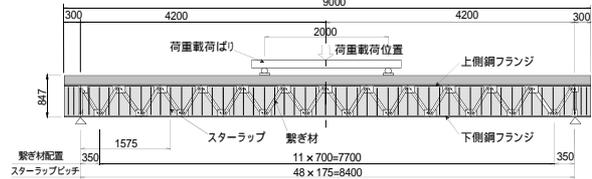


図-3 荷重要領図

表-2 荷重荷重

	荷重荷重			繰返し回数	応力状態
STEP-1	0kN	150kN	30kN	5	RCウェブひび割れ発生
STEP-2	30kN	300kN	30kN	5	下側鋼フランジ許容応力度1/2
STEP-3	30kN	600kN	30kN	5	許容応力度
STEP-4	30kN	1100kN	30kN	5	降伏応力度
STEP-5	30kN	1900kN	30kN	1	引張強度

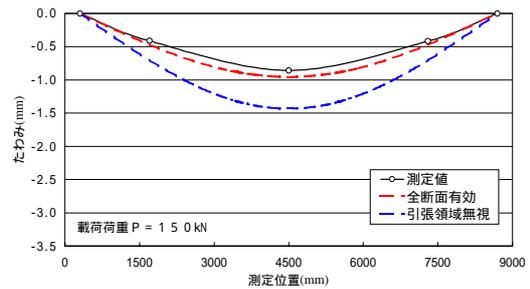


図-4 ひびわれ発生荷重時のたわみ

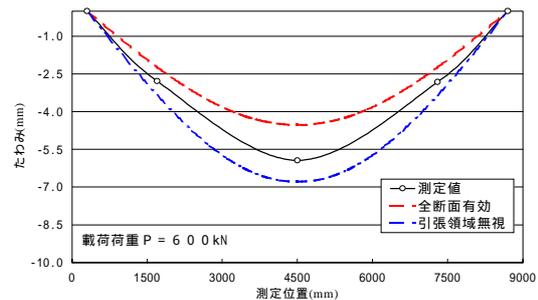


図-5 設計荷重載荷状態でのたわみ

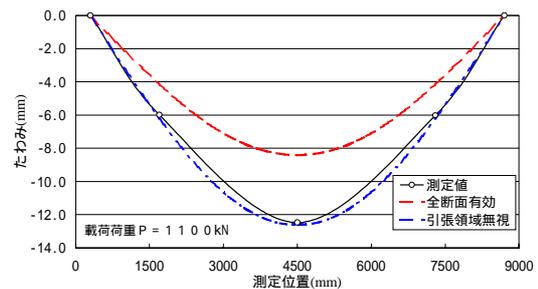


図-6 下側鋼材降伏状態でのたわみ

以上の正曲げ状態での静的載荷試験の結果から、設計荷重レベルにおいては、ひずみの測定値はコンクリート引張領域無視の計算値よりもやや小さいものの、測定値と引張領域無視の計算値との中立軸がほぼ一致することが確認できた。また、下側鋼フランジの発生応力度が降伏応力度程度となる状態においても、脆性的な破壊には至らず鋼材の靱性を活かした終局耐力の高い構造であることが確認された。

c) RCウェブのコンクリートのひびわれ幅

図-9 に試験体の中央部における載荷荷重とRCウェブ下縁のひびわれ幅の関係を示す。図中には、測定結果のうちひびわれ幅の大きい2箇所の測定値とともに、コンクリート標準示方書<sup>2)</sup>に示される特に厳しい腐食性環境における許容ひびわれ幅の値を同時に示しているが、ひびわれ幅の測定値は載荷荷重が設計荷重程度である600kNにおいては許容ひびわれ幅を満足していることから、耐久性を満たしていることが確認された。

(2) 負曲げ区間の静的載荷試験

a) 載荷試験の概要

表-3 および図-10 に、それぞれ試験体の構造諸元および断面図を示す。試験体は全長6200mm・支間長2800mm・張出長2800mm・全高さ847mm・RC床版厚150mm・幅1200mmの複合げたである。中間支点部の構造は、中間支点上RC横げたと複合げたを一体化して連続化している。上下の鋼フランジは、300mm×22mmおよび400mm×25mmであり、この間に75mm×6mmの平鋼の繋ぎ材を2枚配置し、高力ボルトを用いて連結している。また、鋼フランジのRCウェブ側には、22mm×22mmの角鋼ジベルを配置して両者を一体化している。

載荷要領は図-11 に示す通りであり、試験体中央の中間支点上RC横げた下面と一方の端部のRC床版上面を支持して、もう一方の端部に荷重を載荷して負曲げモーメントを作用させた。

載荷荷重については表-4 に示す通りである。道路橋示方書<sup>1)</sup>に示される荷重条件にしたがって設計した場合、負曲げモーメントに対してはRCウェブ下縁の圧縮応力度がまず許容応力度に達する。この載荷荷重240kNを設計荷重とした。

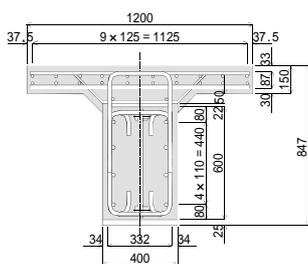


図-10 試験体の断面図

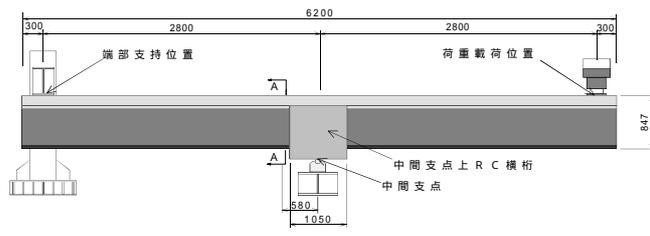


図-11 載荷要領図

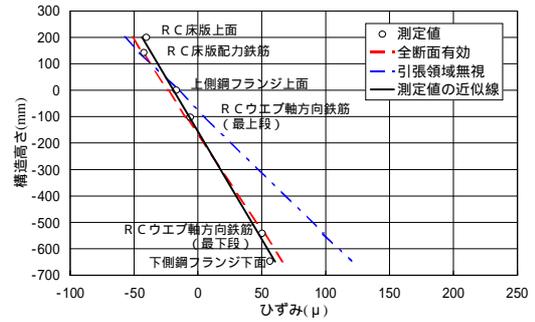


図-7 ひびわれ発生状態でのひずみ分布

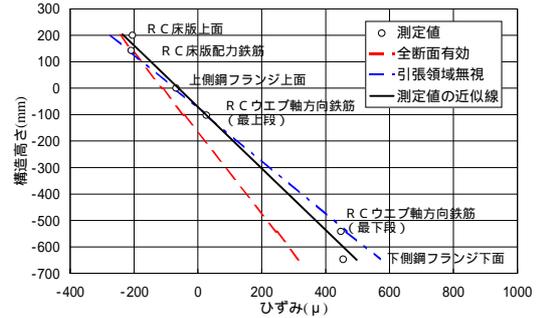


図-8 設計荷重状態でのひずみ分布

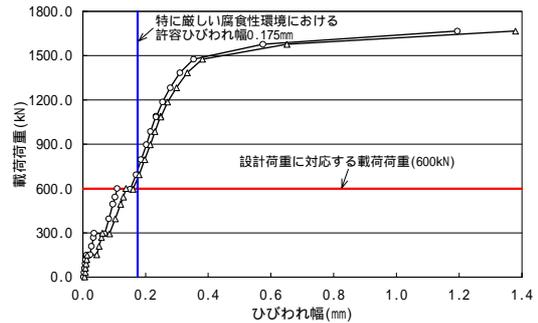


図-9 RCウェブのひびわれ幅

表-3 試験体の構造諸元

RC床版	設計基準強度	30N/mm <sup>2</sup>
	橋軸方向鉄筋	D16 @ 125 (SD295)
	橋軸直角方向鉄筋	D16 @ 125 (SD295)
RCウェブ	設計基準強度	30N/mm <sup>2</sup>
	軸方向鉄筋	D19 @ 110 (SD295)
	スタールップ	D16 @ 175 (SD295)
	ジベル鉄筋	D19 @ 125 (SD295)
鋼げた	上側鋼フランジ	300 × 22 (SS400)
	繋ぎ材	2-FB 75 × 6 (SS400)
	下側鋼フランジ	400 × 25 (SS400)
	角鋼ジベル	22 × 22 (SS400)

b) 試験結果

載荷荷重が120kN, 240kNおよび750kN時におけるの試験体のたわみの測定結果を図-12~図-14に示し, 中間支点から580mmの位置の断面におけるひずみ分布の測定結果を図-15~図-17に示す. 図中には, 全断面有効とした場合と引張領域無視した場合の計算値と測定値を同時に示す.

RC床版にひびわれが発生しはじめる状態においては, 図-12に示すようにたわみの測定値は全断面有効の計算値とおおむね一致し, その分布形状もほぼ等しい. 図-15に示すようにひずみの測定値は, RC床版上面から下側鋼フランジ下面まで全断面有効の計算値の周囲に分布し, 全断面有効の計算値と中立軸がほぼ一致することが分かる.

次に, 載荷荷重が設計荷重程度となる状態においては, 図-13に示すようにたわみの測定値は, 全断面有効と引張領域無視の計算値の間に位置している. 図-16に示すようにひずみの測定値は, 全断面有効と引張領域無視の計算値の間に位置しているが, 全断面有効の計算値に近い分布状況である.

さらに, 橋軸方向に配置する床版の配力鉄筋の発生応力度が降伏応力度程度となる状態において, 図-14に示すようにたわみの測定値が引張領域無視の計算値とほぼ一致し, その分布形状もほぼ等しい結果となった. 図-17に示すようにひずみの測定値は, 引張領域無視の計算値の周囲に分布し, 引張領域無視の計算値と中立軸がほぼ一致していることが分かる.

以上の負曲げ状態での静的載荷試験の結果から, 弾性たわみの測定値は計算値とほぼ一致し, 弾性ひずみの測定値も計算値とほぼ一致し両者の中立軸も等しいことが確認された.

3. 実橋への適用

前述に示す性能確認試験の結果により, 複合げたは実橋に適用可能な性能を有することを確認した. ここでは, 複合げたを採用した香川県高松市の2径間連続複合げた橋(橋名: 新中村橋)の現場施工において重要課題であ

表-4 載荷荷重

	載荷荷重	繰返し回数	対応する応力状態
STEP-1	0kN 120kN 30kN	5	RC床版にひび割れが発生
STEP-2	30kN 240kN 30kN	5	RCウエブが許容応力度
STEP-3	30kN 300kN 30kN	5	中間支点部コンクリートが許容応力度
STEP-4	30kN 360kN 30kN	5	上側鋼フランジが許容応力度
STEP-5	30kN 750kN 30kN	5	床版配力筋が降伏応力度
STEP-6	30kN 775kN	1	RCウエブが終局ひずみ

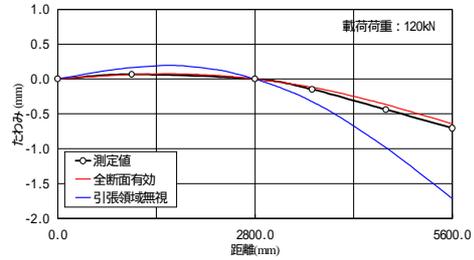


図-12 ひびわれ発生時のたわみ

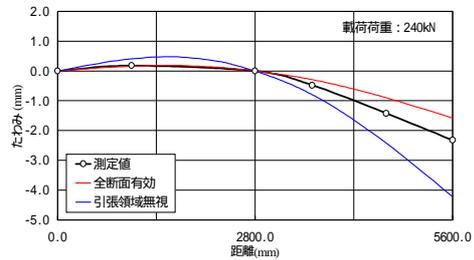


図-13 設計荷重時のたわみ

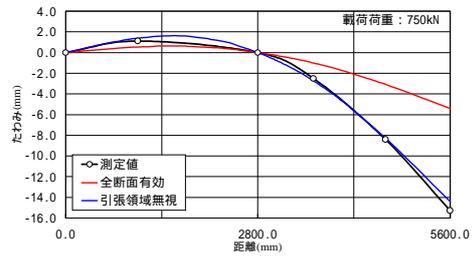


図-14 床版配力鉄筋降伏時のたわみ

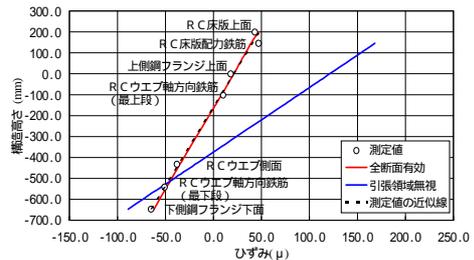


図-15 ひびわれ発生時のひずみ分布

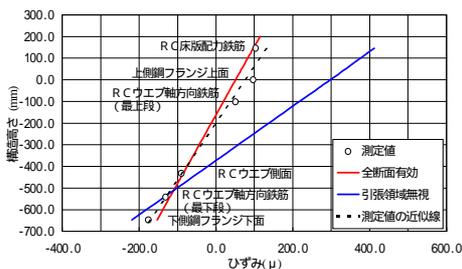


図-16 設計荷重時のひずみ分布

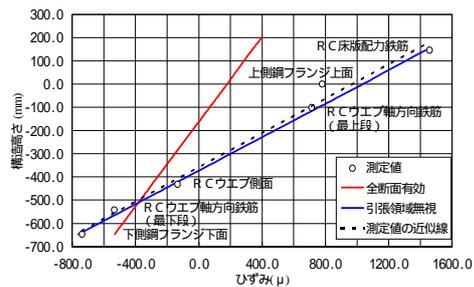


図-17 床版配力鉄筋降伏時のひずみ分布

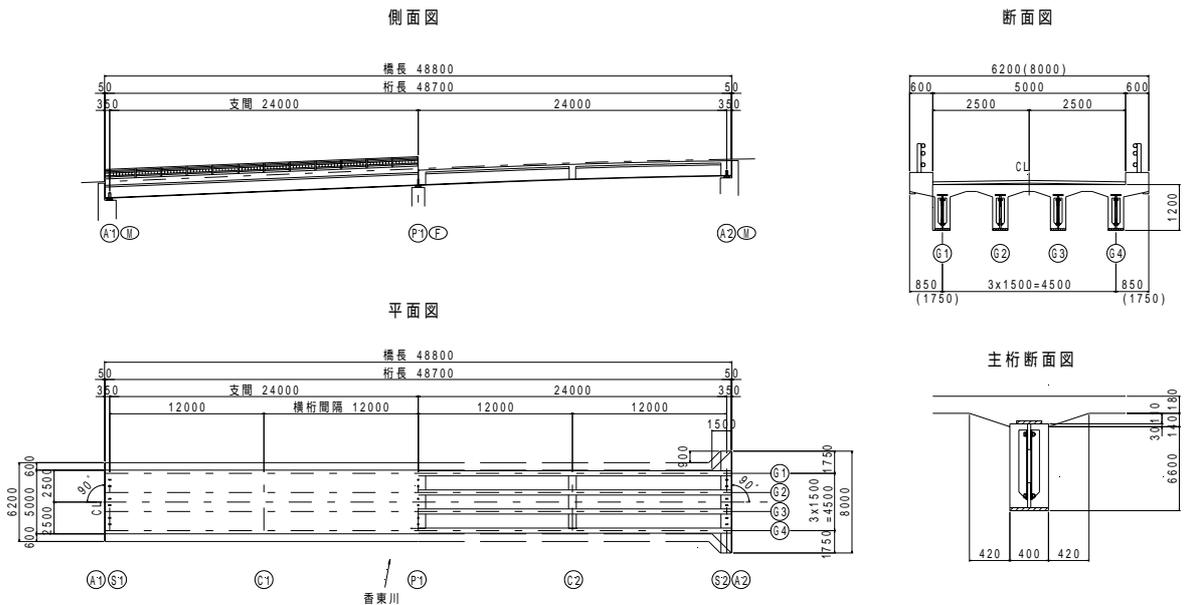


図-18 全体一般図

った鋼げた架設時とRCウェブのコンクリート打設時の安全性について報告する。

(1) 新中村橋の概要

本橋梁の工事概要を下記に、橋梁全景および全体一般図をそれぞれ写真-1、図-18に示す。

工事名	来栖中村線中村橋新設工事
工事箇所	高松市塩江町安原下地内
道路規格	第3種第4級
橋梁形式	2径間連続複合げた橋
橋長	48.8m
支間	24.0+24.0m
総幅員	6.2~8.0m
床版形式	RC床版(床版厚180mm)
桁高	1200mm(床版上面から桁下面まで)
鋼重	59t
架設工法	トラッククレーン架設



写真-1 橋梁全景



写真-2 A1-P1間の鋼桁架設の状況

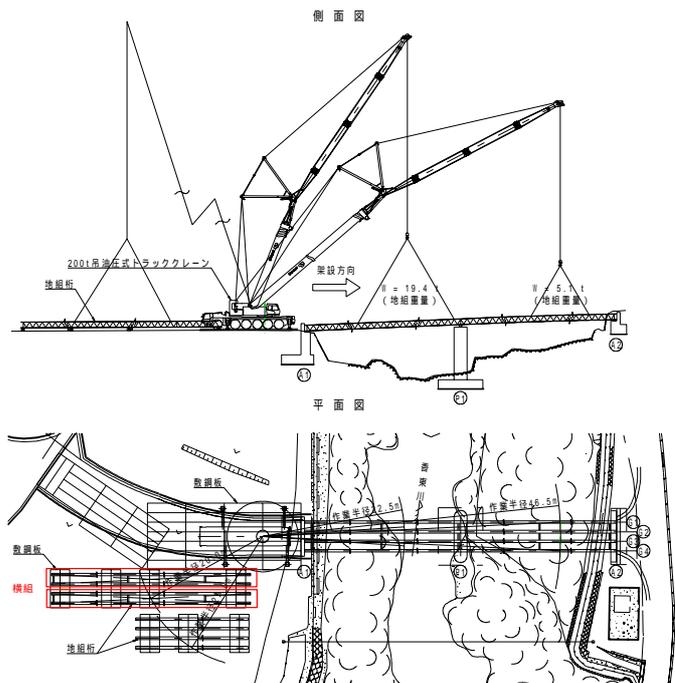


図-19 架設要領図

(2) 鋼げた架設時の座屈防止対策

写真-2, 図-19 に示すように架設ヤードがA1橋台背面のみであり, 河川内に支保工の設置ができないため, 架設ヤードで鋼げたを地組後, 支間24mのA1-P1間の鋼げたを200t油圧式トラッククレーンにより架設を行った。架設する鋼げたの上フランジ幅が260mmと小さいため, 支間と上フランジ幅の比が92となり, 鋼構造架設指針<sup>3)</sup>に示される70を超える。1主げたで架設する場合, 鋼げたの横倒れ座屈が生じる可能性があり, 座屈防止対策として2主げたを横げたを介して横組することにした。また, 架設部材重量は増えるが, 鋼ウェブがトラス状の繋ぎ材で構成されているため, 通常のIげたよりも架設部材重量が低減され, 制限のあるクレーンの能力範囲内で対応可能であった。

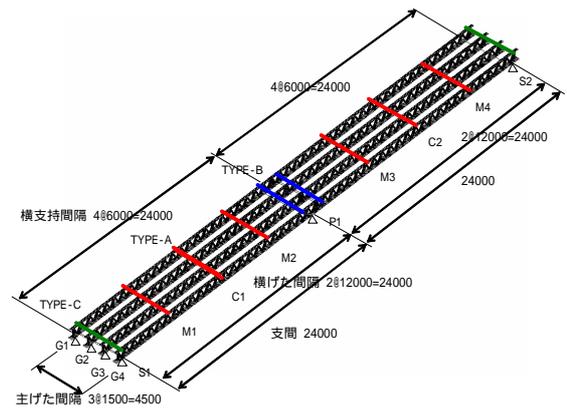


図-20 横げたの間隔および横支持装置配置

(3) RCウェブのコンクリート打設時の座屈防止対策

鋼げた架設完了後, 作業用足場を設置してからRCウェブの配筋・型枠・コンクリート打設を行うが, コンクリート打設時の鋼げたの横支持は, 図-20 に示すように12m間隔で配置された横桁のみである。前述の鋼げた架設で述べたように鋼げたの上フランジ幅が260mmと小さく, コンクリート打設時の鋼げたの局部座屈に対する照査結果から, 横支持間隔は横げたの間隔を2等分する6mとした。以下に, 横支持装置構造の検討, 施工条件を考慮した線形座屈解析, コンクリート打設前の現場シミュレーション, コンクリート打設後の主げたのたわみ管理について述べる。

a) 横支持装置

横支持装置は, 図-20 に示すように中間横げたC1・C2および横げたの間隔の1/2点M1~M4のTYPE-A, さらに中間支点P1のTYPE-Bおよび端支点S1・S2のTYPE-Cとしている。各TYPEの構造について, 図-21 および写真-3に示す。TYPE-Aは上側鋼フランジ上面に設置のH形鋼350×350×12×19とする。TYPE-Bは負曲げモーメント領域にある下側鋼フランジ下面に設置の等辺山形鋼90×90×10とする。TYPE-Cは変位制限装置が鋼げた間に

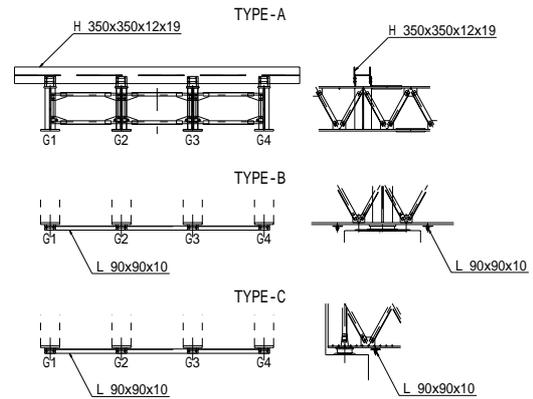


図-21 横支持装置の構造概要

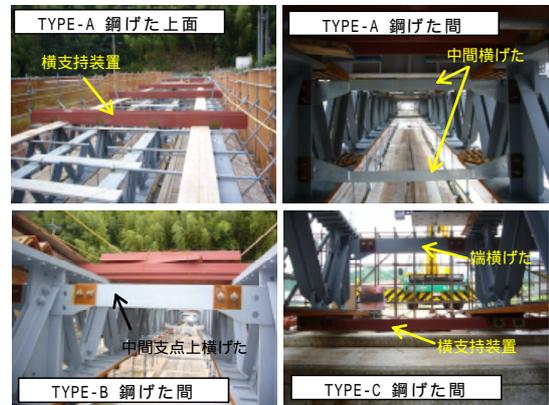
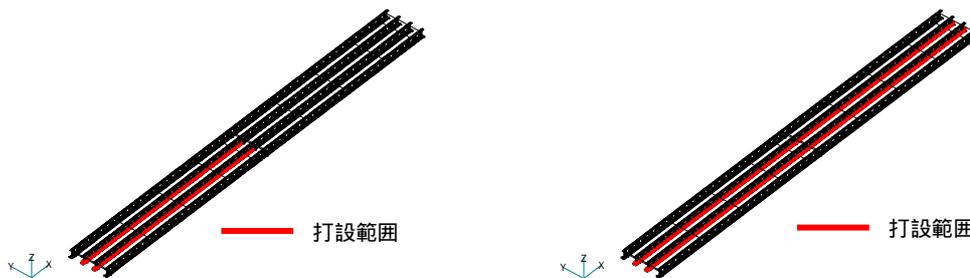


写真-3 横支持装置の設置状況



(a) Case-1 (1径間打設)

(b) Case-2 (全径間打設)

図-22 解析モデル

設置されることを考慮し、橋座面の縁端より少し離れた位置にある下側鋼フランジ下面に設置の等辺山形鋼90×90×10とする。

b) 線形座屈解析

図-22 に示すように鋼げた架設完了後の横支持装置を設置した状態を再現した3次元モデルを用いた線形座屈解析を行った。以下に、各部位のモデル化や解析方法について述べる。

鋼げたの各構成部材は、上下の鋼フランジ、繋ぎ材、ガセット、横げた位置の垂直材をシェル要素とし、支点上横げた、中間横げた、横倒れ防止装置を棒要素としている。

荷重ケースは、中げたG2・G3の1径間打設および全径間打設をそれぞれCase-1、Case-2とした。また、荷重の内訳は、鋼げた自重、鉄筋荷重、型枠荷重、足場荷重、コンクリート荷重とする。

解析結果は座屈荷重倍率について述べる。表-5 に示すように座屈荷重倍率がCase-1およびCase-2ともに3倍程度を確保していた。ただし、Case-1の座屈荷重倍率はCase-2の88%と小さいことから、RCウェブのコンクリート打設は、1径間の打設時の施工の安全性をさらに確認する必要がある。

(4) RCウェブのコンクリート打設シミュレーション

前述の解析結果を考慮し、写真-4 および図-23 に示すようにRCウェブの代わりに敷鉄板を上側鋼フランジ上面に設置した。敷鉄板の設置範囲および設置枚数は、座屈荷重倍率が小さいCase-1に相当する正曲げモーメントが発生するように決定した。敷鉄板の設置後、鋼げたの鉛直たわみ量・橋軸直角方向への鋼げたの倒れ量の計測、鋼げたの各構成部材および横支持装置の挙動の確認、ゴム支承の変形量の計測を行った。

計測および鋼げたの挙動を確認した結果、鋼げたの鉛直たわみ量および橋軸直角方向への鋼げたの倒れ量は、計算値と比較して、最大でそれぞれ3mmおよび2mm程度の誤差であった。鋼げたの各構成部材および横支持装置に異常な挙動も認められず、ゴム支承の変形も発生して



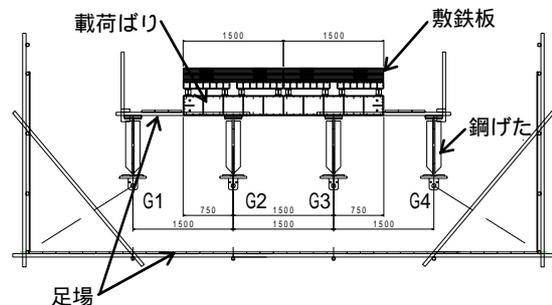
写真-5 横支持装置および型枠撤去後のRCウェブの状況

表-5 座屈荷重倍率

	RCウェブ打設範囲	
	Case-1	Case-2
	1径間	全径間
中げた2本打設	2.980	3.401



写真-4 敷鉄板の設置による打設シミュレーション状況



断面図



側面図

図-23 敷鉄板の設置図

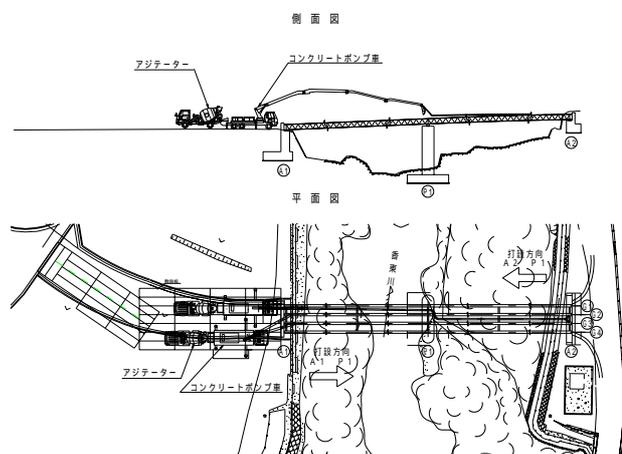


図-24 RCウェブのコンクリート打設要領図

いなかった。したがって、RCウェブのコンクリート打設シミュレーションは、計画した範囲で鋼げた全体挙動を示し、安全な施工ができることを確認できた。

#### (5) RCウェブのコンクリート打設

これまでに実施した線形座屈解析およびコンクリート打設シミュレーションの結果を考慮し、図-24 に示すRCウェブのコンクリート打設は、中げた2本を先行してA1およびA2の両橋台側より行った。コンクリートポンプ車2台による2主げた同時打設としており、A2橋台側からの打設は圧送管を使用している。常時、2主げたのコンクリート打設進行状況の管理、主げた全体の挙動を確認しながら打設を行った。さらに、外げたのコンクリート打設による中げたのRCウェブのひびわれの影響を考慮し、5日間の養生後、外げた2本の打設を行った。その結果、打設後の主げたのキャンバー誤差は、許容値20mmに対し最大で7mmであり、主げた全体の挙動も安定していた。先行打設した中げたのRCウェブのひびわれは、計算値では0.08mm程度を想定していたが、おおむめ0.02～0.05mm程度であった。横支持装置および型枠撤去後のRCウェブの施工完了の状況を写真-5に示す。

#### 4. 結論

性能確認試験および実橋への適用において、得られた結果は以下の通りである。

- (1) 正曲げモーメント区間および負曲げモーメント区間の静的載荷試験においては、試験体の弾性たわみの測定値は計算値とほぼ一致し、試験体断面の弾性状態でのひずみの測定値は計算値とほぼ一致し両者の中立軸も等しい。
- (2) 正曲げモーメント区間の静的載荷試験での設計荷重時のRCウェブのひびわれ幅は、特に厳しい腐食性環境での許容ひびわれ幅を満足する。
- (3) RCウェブのコンクリート打設時を想定した線形座屈解析を行った結果、座屈荷重は設計荷重の3倍程度を確保していることが確認できた。
- (4) RCウェブのコンクリート打設シミュレーションを行い、打設時の主げた全体挙動の把握および安全性を確認することができた。
- (5) RCウェブのコンクリート打設後のキャンバーは、計算値と比較し、許容誤差の範囲に収めることができた。

謝辞：本橋の開発から実工事の採用に至るまでには、大阪工業大学をはじめとする様々な方々から貴重なご意見を頂いた。これら関係各位に、心よりお礼申し上げます

#### 参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、鋼橋編・コンクリート橋編，丸善，2002。
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書，構造性能照査編，2002年制定，丸善，2002。
- 3) 土木学会：鋼構造架設設計施工指針，2001年版，丸善，2001。

### PERFORMANCE CONFIRMATION TESTS AND APPLICATION FOR ACTUAL BRIDGE OF STEEL-CONCRETE HYBRID GIRDER

Kenji YOSHIDA , Toru SUDA , Masataka SAKODA , Kimiaki KAWATANI , Satoshi FUKUOKA and Akimitsu KURITA

A new steel-concrete hybrid girder has been developed for short span bridge in the range of 10m to 25m. This girder consists of two steel flanges connected by steel truss members and a rectangular reinforced concrete web. In order to confirm the structural performances of new girder, the positive and negative bending tests were carried out. The new hybrid girder was adopted for 2 span continuous bridge in takamatsu, shikoku. The bending test results, the preventing method of lateral torsional buckling of steel girder during the erection and concreting, the procedure of concreting and camber control are reported in this paper.