

## さらなるコスト縮減に向けて

近年の建設事業においては、発注者側は「良いものを安く」調達することが課題であり、施工者側はその要求に応えていくために、絶え間のない研究開発が必要とされる。

当社では、早くからこの課題に取り組んできており、例えば橋梁においては「1部材1断面を採用した新琴似橋（1993年Vol.12）」、「本格的な2主桁のホロナイ橋（1997年Vol.16）」、「厚板デッキと大型Uリブの合理化鋼床版（1999年Vol.18）」、「連続合成桁への合成床版の適用（2001年Vol.20）」等々、合理化検討を通じて、コスト縮減に継続的に取り組んできた。

今回、その後の成果として、中・小スパンから長スパンまでをカバーする各種の複合構造橋梁やRC床版施工を大幅に合理化できる埋設型枠工法、さらに建築基礎工事における合理化工法について報告する。

- 複合構造橋でコスト縮減 ..... p.70
- アーチフォーム工法によるRC床版の構築 ..... p.76  
～型枠作業の省力化と工期短縮を図る～
- 先行掘削工法によるコストダウン ..... p.78  
～J'City千歳烏山新築工事～

# 複合構造橋でコスト縮減

Saving Construction Cost Using Hybrid Structure

渡辺 滉  
Hiroshi WATANABE  
川田工業(株)  
大阪支社長

米田 達則  
Tatsunori YONEDA  
川田工業(株)橋梁事業部技術部  
東京技術部次長

橋 吉宏  
Yoshihiro TACHIBANA  
川田工業(株)橋梁事業部技術部  
東京技術部技術開発課課長

街道 浩  
Hiroshi KAIDO  
川田工業(株)橋梁事業部技術部  
大阪技術部技術課課長

福岡 聡  
Satoshi FUKUOKA  
川田工業(株)橋梁事業部技術部  
大阪技術部技術課係長

北川 幸二  
Koji KITAGAWA  
川田工業(株)橋梁事業部技術部  
東京技術部技術開発課係長

## 1. コスト縮減のニーズと技術提案

近年、公共建設投資に対する社会の議論は極めて厳しいものがある。公共事業における新規建設もこれまでの拡大基調からすでに縮小に転じ、この傾向は今後とも強まっていくものと思われる。発注者側における課題は、「良いものを安くタイムリー」にいかにかに調達するかであり、施工者側からはいかに供給するかである。このような状況で、効率的・合理的な契約方法、新しい時代の公共事業調達システムのあり方が官民で模索されており、コスト縮減に対応する技術提案は今後ますます重要性が増してくるものと思われる。

川田工業(株)では、コスト縮減に対応できる技術として、これまでもPC床版2主げた橋に代表される合理化構造や、高耐久性の合成床版SCデッキの開発を行い多くの実績を残している。これらの鋼とコンクリートの複合構造は、コスト縮減に加え耐久性、ライフサイクルコストの観点から最近、適用例が多くなっている。川田工業(株)では、複合構造のもつ特徴や、これまでの蓄積されたノウハウを生かして、支間長10 m程度の小スパンから支間長100 mを超えるスパンの橋梁まで、図1に示す複合構造橋梁を開発してラインアップしている。

支間長10~50 mの中小スパン橋については、構造高を低くできる合成床版橋、経済性を追求した新形式の合成げた構造として開発したTribeam合成げた橋、すでに800橋以上の実績のあるプレビーム合成げたの複合構造橋でラインアップしている。支間長30~90 mの範囲については、合理化構造として既に多くの採用があるPC床版少数主げた橋、合成床版少数主げた橋、開断面箱げた橋、細幅箱げた橋が経済的になる。それ以上の100 mを超える支間長では、PC橋に比べると鋼橋が不得意としてい

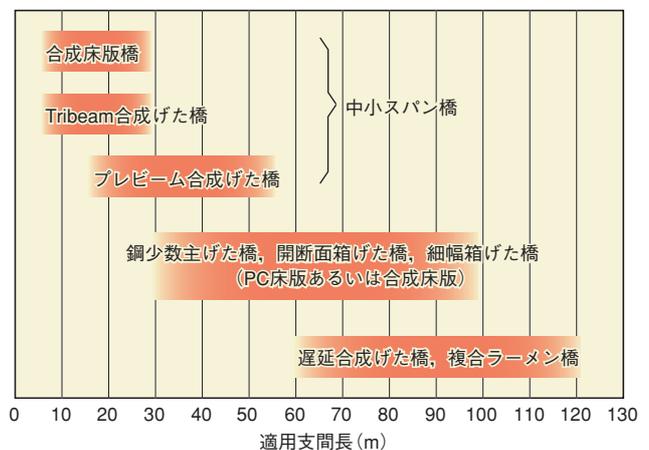


図1 複合構造橋のラインナップと適用支間長

る範囲である。川田工業(株)では、支間長100 mを超える複合構造橋として、独自技術である遅延合成構造を応用した連続合成げた橋や複合ラーメン構造橋の開発を行っている。

ここでは、上記で紹介した技術のうち、支間長10~50 mの中小スパン橋の紹介と新しく開発したTribeam合成げた橋の概要、遅延合成構造を応用した支間長100 mを超える複合構造橋の概要を説明する。

## 2. 中小スパン橋について

近年、耐久性やライフサイクルコストが注目される中、鋼材とコンクリートの材料特性を活かした複合構造の橋梁が増えている。また、全国の橋長2 m以上の道路橋は67万橋を数えるが、その約8割が15 m以下の小スパンの道路橋であり、今後それらの架け替えニーズの増大が予測される状況である。

そこで、川田工業(株)でこれまでに蓄積した複合構造に関する技術や経験を集約・整理し、さらに応用・発展す

ることにより、**図2**に示すような支間長10～50 mの中小スパン橋梁に適した複合構造の橋梁形式をラインナップ化した。これにより、経済性・耐久性・低い構造高・短い現場工期をキーワードに中小スパン橋梁に求められるさまざまなニーズに応えることが可能となった。

なかでも支間長が10～30 m程度の小スパン橋では、鋼橋や複合橋梁において適用できる経済的な橋梁形式がなかったのが現状であった。そこで、高耐久性床版としてこれまでに多数実績のあるSCデッキを基本に開発したのが、床版橋シリーズの**図3**に示すSCスラブ橋や**図4**に示すSCガーダー橋である。

SCスラブ橋は、足場・型枠兼用の下鋼板パネルとRC版の合成版構造により、低い構造高と短い現場工期を可能としている。また、**写真1**に示すように、薄い版構造の曲げ、せん断に対する性能および孔あき鋼板ジベルの性能の確認試験を昨年8月に実施している。

SCガーダー橋は、けた下作業および全面足場の省略により急速施工を可能とした形式である。その他、以下に示す特長を有している。

- ・急速施工による現場工期の短縮
- ・少補剛設計による製作工数の縮減（低コスト化）
- ・従来の鋼床版橋に比べ、RC版を有することからけたおよび版剛性が増大

また、**図5**に示すプレビーム合成げた橋は、鋼げたとプレストレスの導入された下フランジコンクリートを合成した形式で、単純げた形式から連続げた形式まで既に800橋を超える実績がある。特徴は、低い構造高を可能とし、道路線形に応じて変断面やバチ形状等への対応ができ、けたの剛性が高く、車両走行時の騒音・振動を抑えることができる。さらには、現場工期を短縮するためにプレビーム合成げたとSCデッキとの組合せ形式もラインナップしている。

中小スパン橋に対する複合構造形式のラインナップのなかでも、耐久性・経済性の向上を目標に新しく開発した橋梁形式であるTribeam合成げた橋について以下に紹介する。

### 3. トライビーム Tribeam合成げた橋

#### (1) Tribeam合成げた橋の構造

Tribeamとは、矩形の鉄筋コンクリートウェブ（以下、RCウェブと記す）の上下面に鋼フランジを配置し、両者を合成したはり構造である。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。Tribeam合成げた橋は、このTribeamと鉄筋コンクリート床版を合成した橋梁形式である。**図6**にTribeam合成げた橋の概念図を示す。

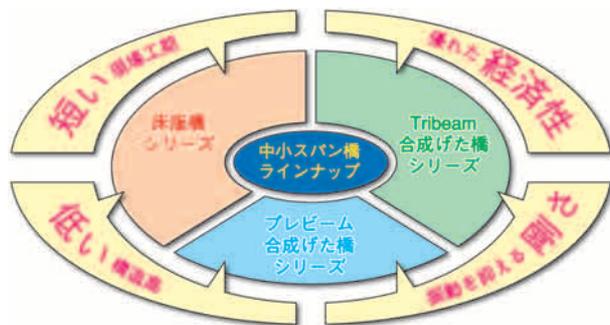


図2 中小スパン橋 複合構造ラインナップ

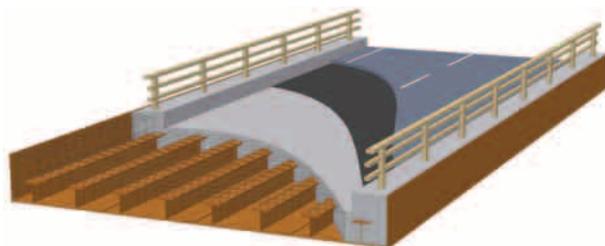


図3 SCスラブ橋の概念図

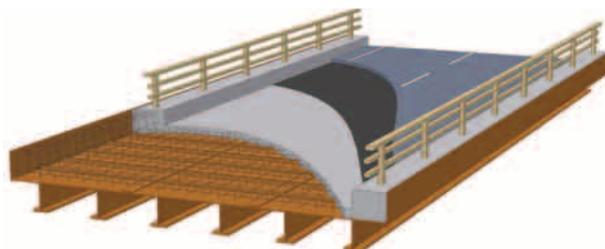


図4 SCガーダー橋の概念図

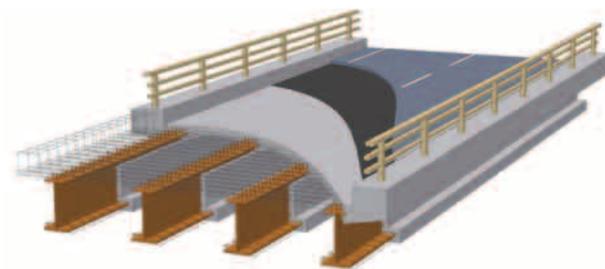


図5 プレビーム合成げた橋の概念図



写真1 載荷試験状況（SCスラブ橋）

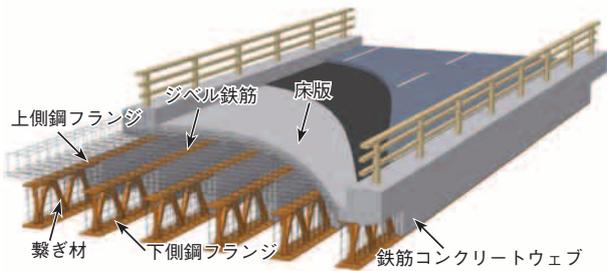


図6 Tribeam合成げた橋の概念図



写真2 中間支点部の負曲げ試験の状況



写真3 正曲げ荷重載荷試験の状況

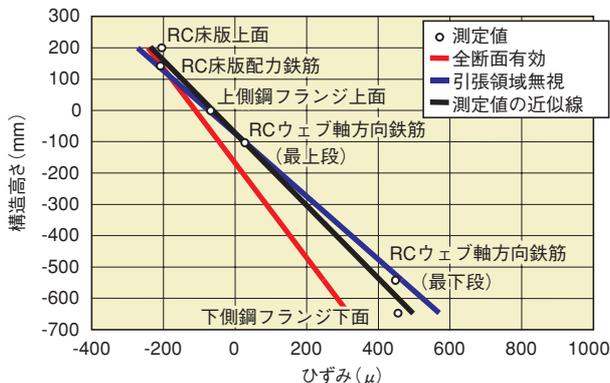


図7 設計荷重 (600 kN) 載荷時の弾性ひずみ分布

## (2) 適用範囲

Tribeam合成げた橋の適用範囲を以下に示す。

- ・支間長は10～25 m程度
- ・支間長 ( $L$ ) と構造高 ( $H$ ) の比率は、 $L/H:15\sim25$   
ここで構造高とは、中央構造高を示し、舗装厚、支承厚を除く床版上面からけた下面までの高さである。
- ・連続げた橋への適用が可能  
連続げた橋への適用に対しては、写真2に示すように中間支点部の負曲げ載荷試験を2003年10月に実施し、負曲げモーメントに対する耐荷性能を確認している。

## (3) 特長

従来のRC構造は、コンクリート断面内に配置した鉄筋が引張に抵抗しているが、鉄筋径や鉄筋間隔の制限を受けて鋼材断面量の配置に限界があった。一方、Tribeamは、鋼板をコンクリート両縁に配置し、必要量の鋼材断面が自由に配置できることから、安価に大きな曲げ抵抗が得られ、Tribeam合成げた橋の大きな特長のひとつである耐荷力のあるけた構造を実現した。

さらには、以下に示すような特長を有している。

- ・繫ぎ材の長さを変化させることにより、キャンバーやけた高変化への対応が容易
- ・道路線形における拡幅や隅切にも対応が可能
- ・けたの剛性が高く、騒音や振動を低減
- ・特殊作業を必要としない (プレストレス作業等)

以上に示すように、構造の単純化や合理的な複合構造により、Tribeam合成げた橋においては、低価格化や耐荷力の向上を実現した。

## (4) 性能確認試験

Tribeam合成げたの性能を確認するために、全体挙動や耐荷力などの確認を目的として静的載荷試験を一昨年実施した (写真3参照)。

載荷試験の結果、次に示すようなことが確認された。

- 設計値と測定値との整合性が確認された。  
設計荷重レベルにおいては、図7に示すように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、測定値の近似線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る。
- ひび割れ幅は、特に厳しい腐食性環境の許容ひび割れ幅以下であることから、耐久性に対する確認ができた。
- 脆性的な破壊には至らず、鋼材の靱性を活かした終局耐荷力の高い構造であることが確認された。

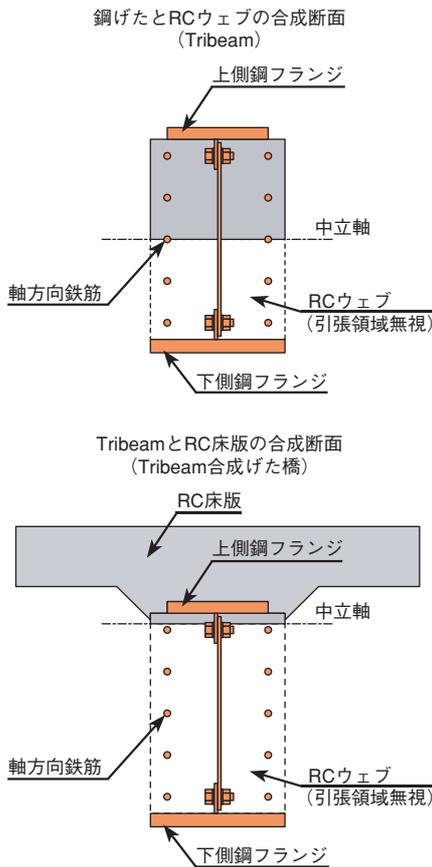


図8 Tribeam合成げた橋の抵抗断面

#### (5) Tribeam合成げた橋の計算

曲げモーメントに対する抵抗断面は、図8に示すようにRCウェブのコンクリートの引張領域を無視した合成断面とする。

せん断力に対しては、トラス理論によりRCウェブのコンクリート、スターラップおよび繋ぎ材が分担する。なお、その他の設計計算等については、「Tribeam合成げた橋 設計・施工マニュアル(案) 平成16年1月」にまとめている。

#### (6) 施工について

RCウェブのコンクリートは、工場にて打設し、工場製品としてTribeamを出荷することを基本とする。しかし、輸送や架設条件に合わせて架橋位置付近でのヤード打設や、鋼げた架設後の現場打設とすることも可能である。

また、Tribeamの架設については、PCげたと同様にトラッククレーンによる単吊り架設や相吊り架設、あるいは、架設げたによる送出し架設などが基本となる。

#### (7) 施工実績

施工実績としては、道路橋では単純げた1橋、連続げた1橋が現在施工中である。歩道橋では単純げた1橋が鋼げた部の工場製作を完了し(写真4, 5)、現在は現場施工中である。



写真4 鋼げた部の製作状況 (その1)



写真5 鋼げた部の製作状況 (その2)

#### (8) まとめ

Tribeam合成げた橋は、国土交通省 新技術情報入力システムNETIS に登録 (NETIS登録番号: No.KK-040018) 済みであり、SCガーダー橋やSCスラブ橋を含め、小スパン橋梁において、今後ますます採用実績が増えるものと期待するものである。

今後の課題として、Tribeam合成げた橋においては、ずれ止め構造にガセットプレートを兼用させた孔明き鋼板ジベルを適用し、角鋼ジベルを省略するなど、さらなる構造の合理化を検討しているところである。

### 4. 遅延合成げた橋

#### (1) 合成げた橋の変遷

床版もけた作用に対して有効な抵抗断面とする合成げた橋は非合成げた橋と比べて使用鋼材量が少なく経済性に優れる橋梁形式だが、活荷重の増大などの影響を受けた従来のRC床版に損傷が見受けられると床版の補修・取替えが課題となり採用が控えられていた。

ところが近年、維持管理も含めてライフサイクルコストを抑える構造の合理化や耐久性の向上が図られるな

か、従来のRC床版に代わりPC床版や合成床版などの高い耐荷力と耐久性を兼ね備えた床版が普及してきた。そこで、最近これらの高耐久性床版と鋼げたを組み合わせた合成げた橋が経済性と耐久性を両立できる橋梁形式として再び採用され始めている。



図9 連続げた橋の中間支点部床版

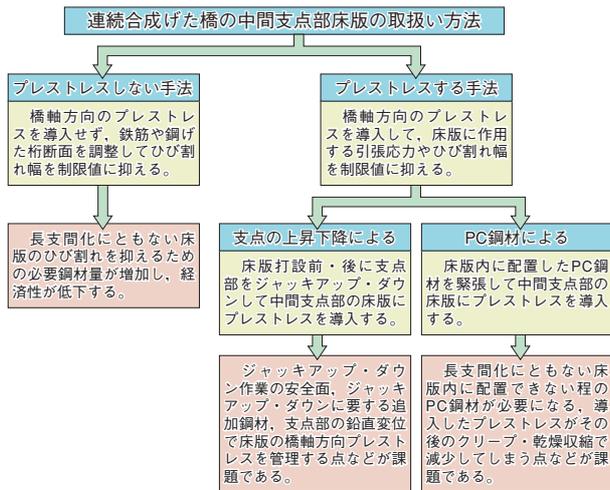


図10 連続合成げた橋の中間支点部床版の取り扱い方法

## (2) 連続合成げた橋の課題

走行性・耐震性・経済性・維持管理などの面から近年の合成げた橋は連続形式とする傾向があるが、連続合成げた橋では図9のように中間支点部で引張力が働く床版を弱点にしないことがひとつの重要なポイントである。

この連続合成げた橋の中間支点部の床版の考え方については現状は図10に示すように2つの設計手法がある。ひとつはプレストレスを導入せず鉄筋や鋼げた断面を調整して断面剛性を高め床版のコンクリートに構造上有害なひび割れ幅を生じさせない手法であり、もうひとつは支点部の上昇下降（ジャッキアップダウン）やPC鋼材により床版に橋軸方向のプレストレスを導入する手法である。

プレストレスしない手法では、床版に引張力が働く中間支点付近でけた作用に抵抗し、また床版に働く引張力を抑えてひび割れ幅を制限するために必要な鉄筋や鋼げた断面が大きく、特に支間が長くなると経済性が低下することが課題となっている。

また床版内に橋軸方向に配置したPC鋼材でプレストレスする手法では、床版に与えた圧縮力がその後のクリープ・乾燥収縮や死荷重等により発生する大きな引張力で打ち消される、あるいは支間が長くなると発生する引張力も大きくなり床版内に配置できないほどのPC鋼材が必要になることなどが課題となっている。

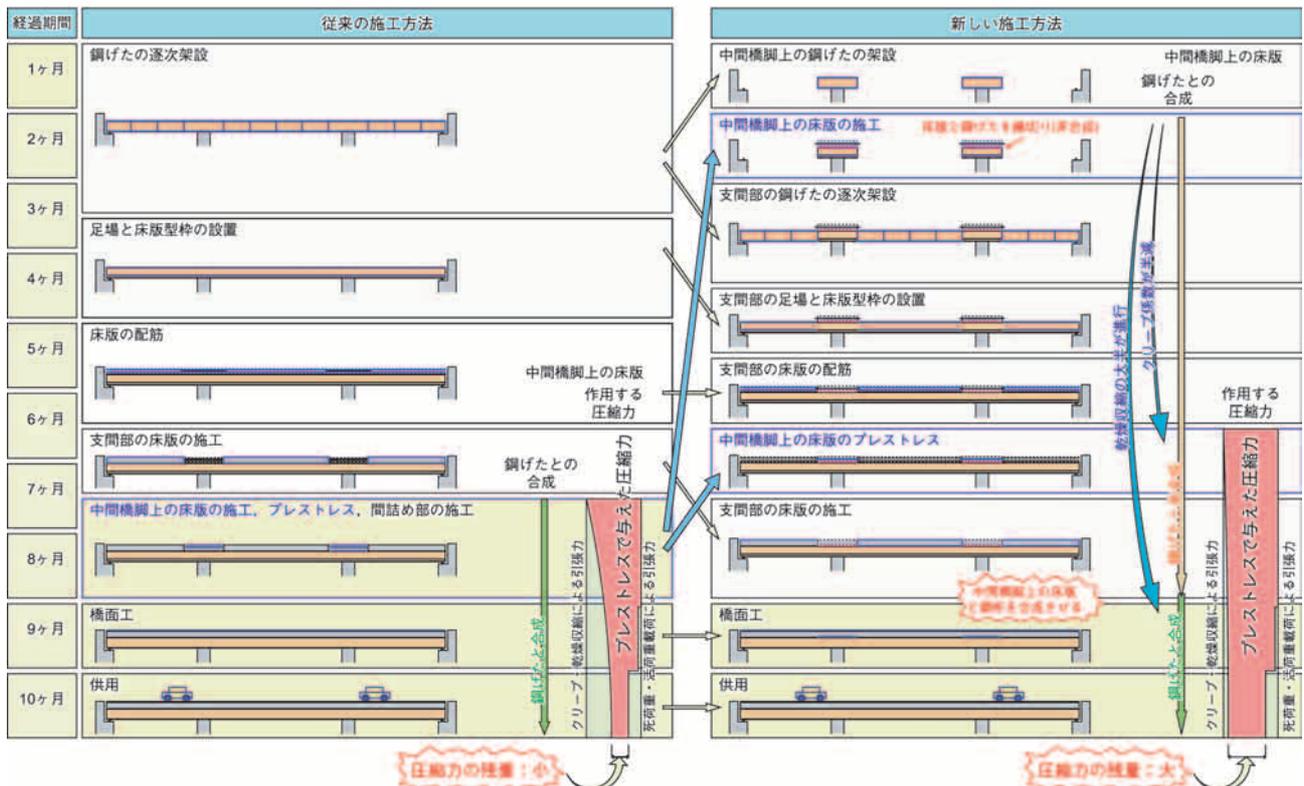


図11 従来の施工手順と時間差を活用する施工手順の例

### (3) 連続合成げた橋の従来の施工方法

合成げたを中間橋脚と剛結し中間橋脚上の床版には橋軸方向プレストレスを与える連続合成げた橋（複合ラーメン橋）の施工手順の例を図11に示す。左列に示した従来の施工方法で中間橋脚上床版の状況を確認すると、

- a) 中間橋脚付近の床版は施工時から鋼げたと合成するため、
  - ・ 中間橋脚上の床版のプレストレス導入時に、床版と合成した鋼げたをも変形させるための大きな力や多くのPC鋼材が必要になる。
  - ・ 乾燥収縮時に鋼げたと合成した床版には引張力が発生するが、乾燥収縮の初期から鋼げたと合成した中間橋脚上の床版には大きな引張力が発生する。
- b) 初期材齢のコンクリートにプレストレスを導入するため、
  - ・ 初期材齢のコンクリートはクリープ作用が大きく、プレストレス導入後のクリープ変形で大きな引張力が発生する。

このように施工上の2つの要因で、床版に与えたはずの圧縮力が供用時までには積み重なり発生する大きな引張力で相殺されることがわかる。

### (4) 遅延合成の応用と時間差施工

この連続合成げた橋の中間支点部の課題を解決し、より経済性と耐久性に優れた合理的な連続合成げた橋を実現するため、『コンクリート施工後しばらくは非合成構造で時期をコントロールして合成構造に変化させる』遅延合成構造を応用した施工方法（図11の右列）としてみる。この施工方法では、

- a) 中間橋脚上の床版は施工後しばらく鋼げたと非合成とするため、
  - ・ 版のみを圧縮変形させる効率的なプレストレス導入により、必要な力やPC鋼材が少ない。
  - ・ 乾燥収縮の大半を非合成の時期に進行させるため、中間橋脚上の床版に発生する引張力が少ない。
- b) 材齢を進めたコンクリートにプレストレスを導入するため、
  - ・ プレストレス導入後のクリープ変形で発生する引張力が少ない。

このため、中間橋脚上の床版には効率的に与えた圧縮力を供用時まで効果的に作用させることができる。

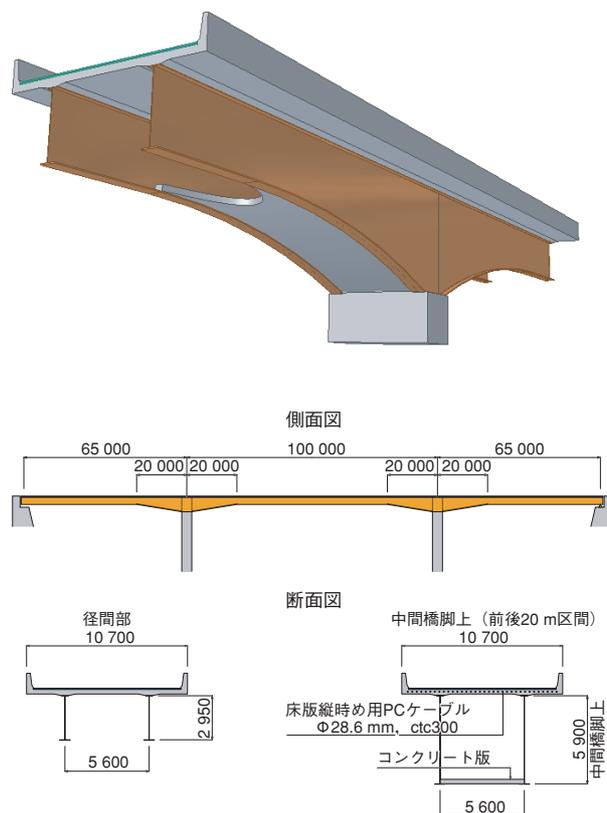


図12 遅延合成げた橋

### (5) まとめ

一例として図12に示す中央径間100 m規模の複合ラーメン橋の検討では、遅延合成と時間差による新しい施工方法により、床版内に配置したPC鋼材により中間橋脚上床版にもひび割れを発生させることなく、橋梁全長にわたり床版と鋼げたが合成げたとして働き、同じ支間割りの従来の連続非合成げた橋と比べて鋼材量を約3割も削減できる結果を得ており、現在、施工等も含めた詳細な検討を進めている。

### 参考文献

- 1) 藤林，渡辺，米田，街道，福岡，栗田：トラスウェブを有する鋼・コンクリート合成げたの静的載荷試験（その1），土木学会第59回年次学術講演会概要集，I-720，2004.
- 2) 福岡，渡辺，米田，街道，藤林，栗田：トラスウェブを有する鋼・コンクリート合成げたの静的載荷試験（その2），土木学会第59回年次学術講演会概要集，I-721，2004.
- 3) 北川，渡辺，橘，清水：遅延合成構造を適用した複合ラーメン橋に関する検討，土木学会第59回年次学術講演会概要集，I-505，2004.