論文･報告

支持桁を用いた合成桁の床版更新工法の開発

Development of Synthetic Floor Slab Update Method Using Supporting Girder

江崎　正浩 *1
Masahiro EZAKI

石川　誠 *2
Makoto ISHIKAWA

中山　良直 *3
Yoshinao NAKAYAMA

山岸　俊一 *4
Toshikazu YAMAGISHI

これからの高速道路橋の大規模更新を見据え，厳しい施工条件下で急速に床版を更新する方法について，新たな工法案を模索し，その成立性を検討した。本稿では，この共同研究の成果として，新たに考案した工法の概要について述べるとともに，実物大要素実験，施工性確認実験とその計測結果，FEM 解析結果との比較について報告する。

キーワード：床版更新，床版取替え，支持桁，交通規制

1. はじめに

床版取替えの急速施工については，西名阪自動車道の御幸大橋で実績があり，床版取替えⅠ期工事で非合成床版の上り線を横河工事が，床版取替えⅡ期工事で合成床版の下り線を川田工業が施工 [1]した。本研究ではその技術をベースにして，都市高速道路の厳しい制約条件下での床版更新工法を検討した。

2. 従来の床版取替え工法

非合成Ⅰ桁は，床版と主桁がスラブ止め鉄筋で簡易に接合されている状態であるが，合成Ⅰ桁は，馬蹄形ジベル等が密に配置されているために，床版コンクリートの斫りに多大な時間と労力を要する。そこで，御幸大橋のⅡ期線工事では，**図 1** のように主桁ウェブを切断して床版を上フランジごと撤去する方法 [2]を採用した。しかし，床版と上フランジを撤去すると，死荷重でウェブ上縁側が座屈する可能性があるので，**図 2** のように支間中央部にベントを建て，主桁に発生する応力を改善した。

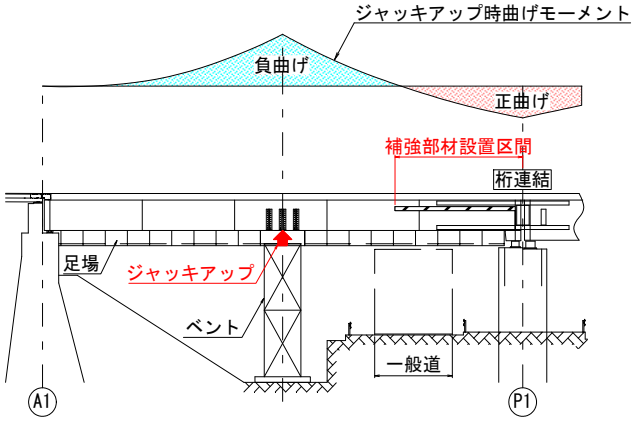


図 2　ベントを用いたジャッキアップ

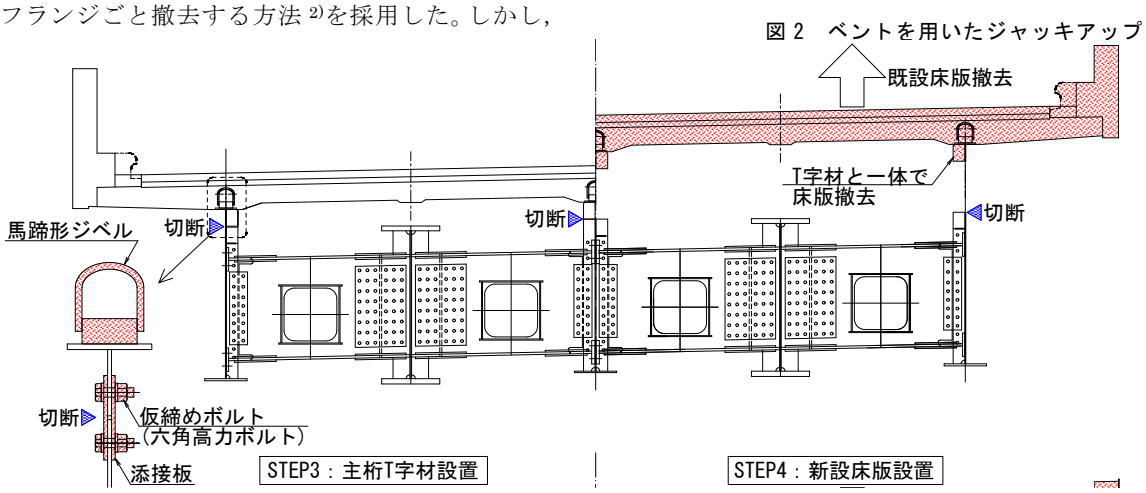


図 1　合成Ⅰ桁の床版撤去方法

*1 川田工業㈱鋼構造事業部技術部 次長
*2 川田工業㈱鋼構造事業部技術部東京技術課 係長
*3 川田建設㈱技術部 部長
*4 川田建設㈱東日本統括支店技術企画室 部長

3. 新たに考案した床版更新工法

(1) 床版更新工事の施工条件

首都高速道路の床版更新工事として，以下に示すように厳しい施工条件を設定した。

①対象橋梁は，鋼単純合成Ｉ桁とする。

②2 車線のうちの 1 車線は，常に交通開放する。

③更新工事は夜間のみとし，昼間は全面開放する。

④桁下の街路は，交通規制をしない（ベント不可）。

なお，新設床版として，プレキャスト PC 床版も基本的には可能であるが，本研究では床版同士の接合が簡易な鋼床版とした。

主桁構造は，高架橋下を踏査したところ，上下線分離（各 2 車線）の 3 主Ｉ桁や 4 主Ｉ桁が多かったので，主桁があるために幅員の真ん中を切断できない 3 主Ｉ桁を想定することとした。

(2) 支持桁を用いた工法の概要

図 3 に，本研究で考案した「支持桁を用いた床版更新工法」の概要を示す。上フランジを撤去した際の安全性の確保のため，御幸大橋ではベントを建てたが，桁下を使用しない条件としたので，ベントの代わりに支持桁を用いることとした。支持桁は，主桁が 30 m の場合には約 26 m で，両端部を PC 鋼棒で主桁に連結し，主桁と支持桁の間には油圧ジャッキを設置する。重ね梁の状態にして，ジャッキアップして主桁に負曲げを与えることで，床版と上フランジを撤去しても安全性を確保できるようにした。

なお，支持桁ではなく，**図 4** のように外ケーブルで補強する案も考えられるが，曲線桁への対応が難しく，また，主桁に必要以上の軸力成分を加えることになるため，不採用とした。

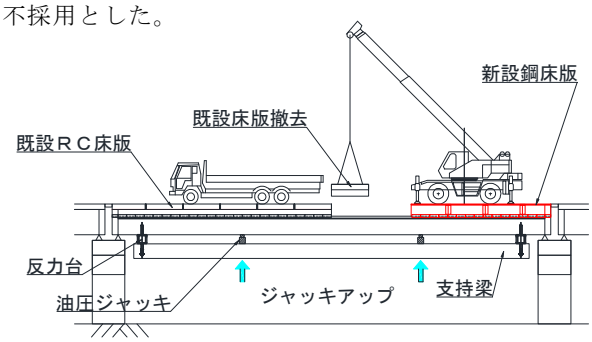


図 3　支持桁を用いた床版更新工法

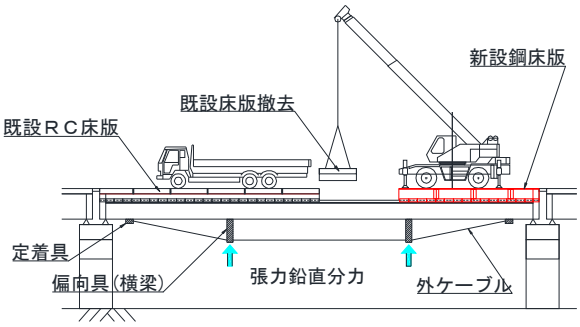


図 4　外ケーブルを用いた床版更新工法

(3) 床版更新の施工概要

3 主Ｉ桁の場合，幅員の真ん中は主桁があり床版を切断できないので，650 mm 程度オフセットすることになる。また，上り線と下り線が近接しているので，交通開放する車線の幅員を確保するためには，**図 5** のように路肩側の床版から撤去し，路肩側に 500 mm 程度以上拡幅してから，中分側の床版を更新する施工ステップとなる。さらに，3 主Ｉ桁の場合は半幅施工の片側で主桁が 1 本になるため，床版受けの縦桁を 1 本追加して床版を仮支持する必要がある。横桁が上段に配置されている場合には，ウェブ切断に支障がないように中段配置の横桁に取り替えておく必要がある。また，過去のメンテナンス等で，床版を支持する増設縦桁が追加されている場合は，撤去しておく。

図 6 に床版更新の施工ステップを示す。まず，事前作業として，主桁の下に支持桁を設置し，後死荷重で床版に導入された圧縮ひずみを解消するために 1 次ジャッキアップを行う。その後，主桁のウェブを水平切断して，仮添接板で添接する。

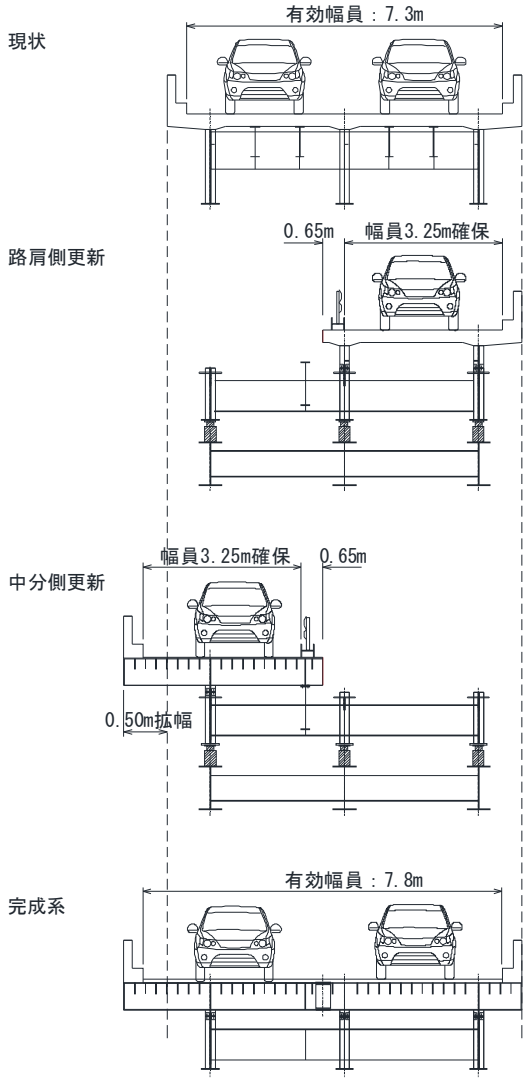


図 5　交通開放車線の幅員確保

路肩側の既設床版を橋軸直角方向に 2 m 程度の間隔で切断し，前死荷重で路肩側 G1 主桁に蓄積されたひずみを解消するために 2 次ジャッキアップを行う。その後，オフセット位置で橋軸方向に切断して，既設床版の撤去と新設床版の設置を順次繰り返す。なお，昼間に交通開放する際は新旧床版間に隙間調整部材を挿入する。路肩側の床版の更新を終えたら，中分側の既設床版を橋軸直角方向に切断し，前死荷重で中分側 G3 主桁に蓄積され

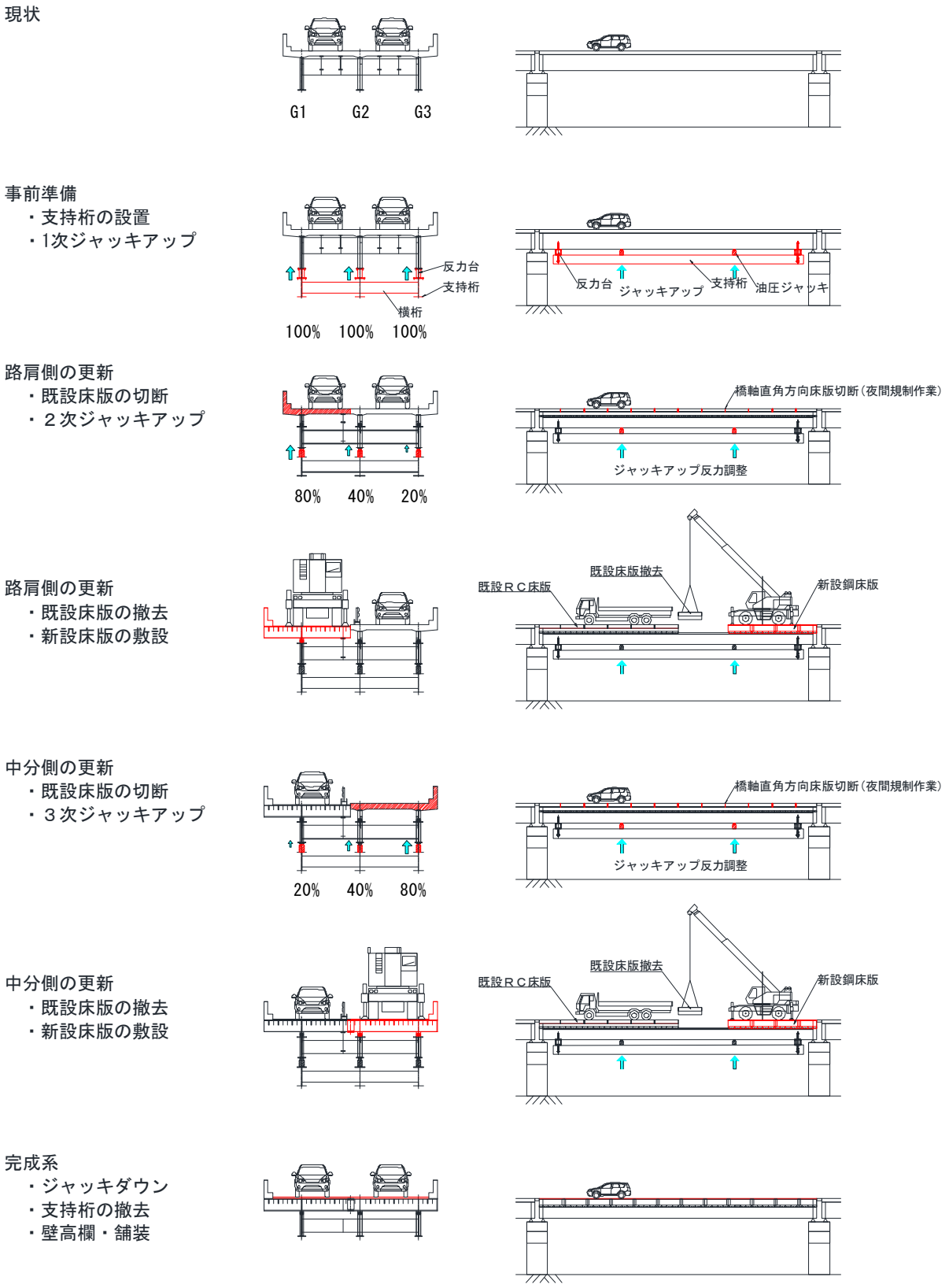


図 6　施工ステップ

たひずみを解消するために 3 次ジャッキアップを行う。その後，路肩側と同様に既設床版の撤去と新設床版の設置を順次繰り返す。そしてすべて新設床版に更新されたらジャッキアップ力を解放し，支持桁を撤去する。

1 次ジャッキアップは既設床版をスムーズに切断するため，2 次・3 次ジャッキアップは新設床版を接合するときに主桁に残留応力がない状態にするために必要で，1 度にジャッキアップすると，既設床版に引張が発生した状態で交通開放することになるため，この対策として数回に分けている。支間長 30 m の実橋についてジャッキアップ力を試算したところ，1 次ジャッキアップ力は 100 kN，2･3 次ジャッキアップ合計力は 100 kN であった。施工性確認実験では，**図 6** の断面図に記したように，1 次ジャッキアップ力は各桁で均等に G1：G2：G3＝100 %：100 %：100 %とし，G1 主桁側の床版を更新する 2 次ジャッキアップでは G1：G2：G3＝80 %：40 %：20 %，G3 主桁側の床版を更新する 3 次ジャッキアップでは G1：G2：G3＝20 %：40 %：80 %とした。

4. 実物大要素実験 [4)]

(1) 実物大要素実験の目的

本工法では，床版撤去時に上フランジも同時に撤去するため，主桁の応力や座屈に対する安全性の照査が必要になる。また，上フランジの代わりにウェブ切断位置の 170 mm 下方に補強フランジを設けるが，ウェブ上縁が補強フランジから突出する構造で，そのコーナー部には応力集中が予想される。そこで，上フランジ撤去時の安全性を確認するために，実物大要素実験と FEM 解析を実施した。

(2) 実験の概要

対象橋梁は，支間長が 30 m で桁高が 1.7 m の単純桁とし，実験桁は，**図 7** のように 10 m 分を切り出して単純支持し，発生する断面力に見合う状態を支間中央部に集中荷重を載荷して再現する。その状況を**写真 1** に示す。

(3) 実験結果と解析結果の比較

載荷荷重 P と支間中央鉛直変位 δ の関係は，**図 8** のように実験結果と解析結果がよく一致した。

実験では，**図 9** のように設計荷重時相当の載荷荷重での最大値（ミーゼス応力）は添接板下の 191 N/mm² で，材質 SM570 材の許容値 319 N/mm²（＝255×1.25）以下である。着目していたコーナー部については，FEM 解析では 634 N/mm² であったが，計測値は 168 N/mm² で，1/3.8 であった。FEM 解析のモデル化において，母材と添接板を完全に一体化させたことが要因と考えられ，高力ボルトをバネ接合モデルで評価して解析し直したところ，解析値は概ね計測値と一致した。

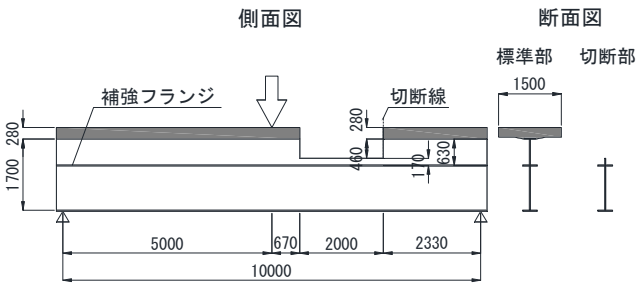


図 7　実物大要素実験の概要

写真 1　実物大要素実験の状況

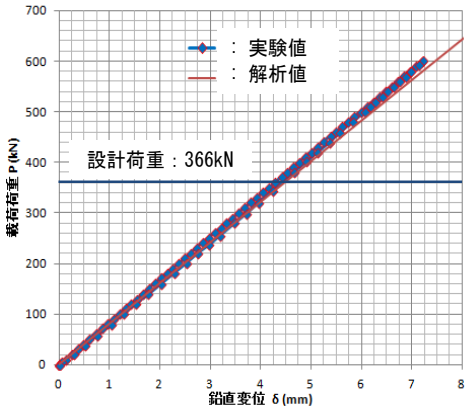


図 8　載荷荷重 P と鉛直変位 δ の関係

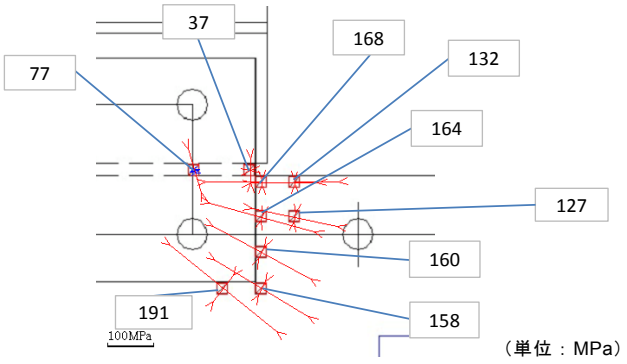


図 9　切欠きコーナー部の主応力（計測値）

5. 施工性確認実験 5),6)

(1) 施工性確認実験の目的

既設床版の撤去や新設床版の設置などの各ステップについての施工性を確認するために，施工性確認実験とFEM 解析を実施した。

また，各施工ステップでのひずみや鉛直変位を計測し，解析結果と比較することで，FEM 解析の妥当性と本工法の安全性を確認した。

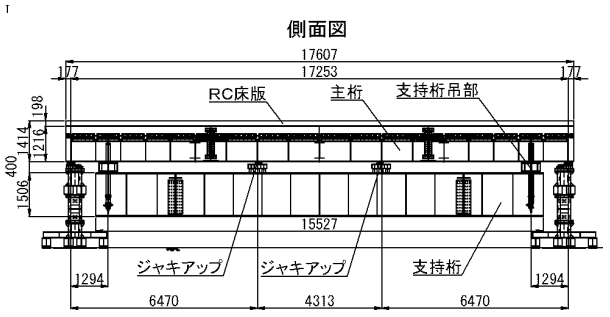


図 10　施工性確認実験の供試体

写真 2　施工性確認実験の状況

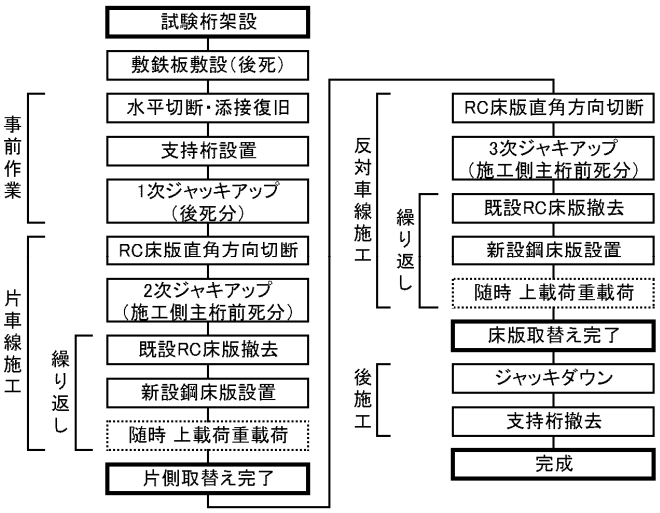


図 11　実験の施工ステップ

(2) 実験の概要

実験供試体は，支間長が 24.4 m で有効幅員が 7.3 m の 3 主 I 桁橋の 1/√2 のサイズとした。実橋の支間長は 24～30 m 程度であるが，短めにしたのは実験場所のスペースの制約からである。また，縮尺を 1/√2 にしたのは，試験体重量を減らすためには小さめが望ましいが 1/2 にするとボルトや工具類が特注になるためである。縮尺を 1/√2 にすることで試験体の鋼材重量は実物大の約 1/3 になった。

施工確認用試験体の概要を**図 10** と**写真 2** 示す。**図 11** のように実施工と同じ要領で，ジャッキアップ・既設床版の撤去・鋼床版の設置を行い，トラック荷重やクレーン反力，交通開放時の活荷重は，覆工板と敷鉄板で再現した。

(3) 施工性確認実験の状況

ウェブ切断については，**写真 3** と**写真 4** に示すようにガスとセイバーソウの 2 つの方法を試したが，ガス切断は，作業時間は短いが切り口に粗さが残る，セイバーソウ切断は，切り口はきれいであるが時間がかかる，という一長一短があった。

鋼床版の設置では，添接部の取合い調整に時間がかかることと，高さ調整ができないことが改めてわかった。

写真 3　ガスによるウェブ切断

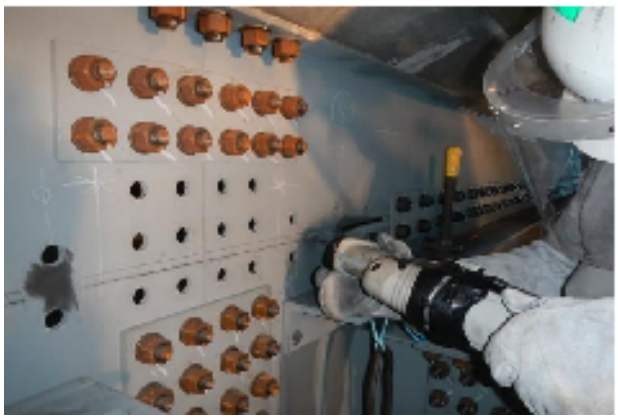


写真 4　セイバーソウによるウェブ切断

(4) 実験結果とＦＥＭ解析結果の比較

実験開始時と終了時での高さ変化を図 12 に示す。重い RC 床版を軽い鋼床版に更新するために主桁が上昇する傾向で，その変化量を計測と解析で比較すると，誤差は 3 本の主桁で 14～20 %であった。日中の計測では，荷重の増減がない状態でも，図 13 a)のように直射日光の影響で 5 mm 程度の変位が生じており，床版裏面と下フランジの温度差と鉛直変位の関係をグラフにすると図 13 b)のとおりで，高い相関があることがわかる。この関係性を用いて補正すると，14～20 %だった誤差が 6 %以下になった。上載荷重を載荷するステップは比較的計測と解析が整合するが，RC 床版の切断や撤去など，構造系が変化するステップにおいては若干ずれが大きくなる傾向が見られた。

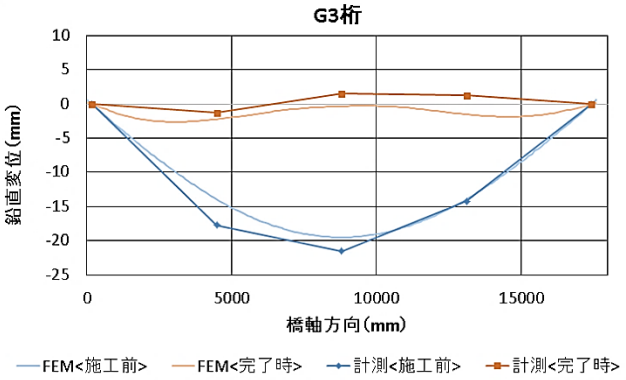
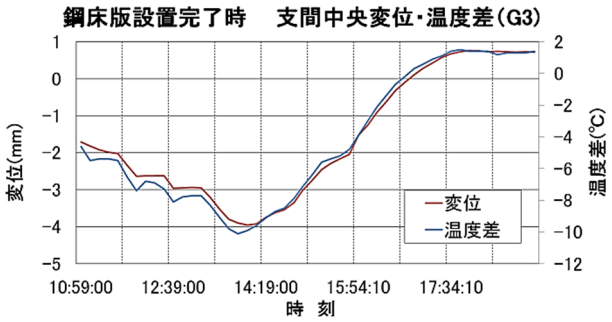


図 12　施工前後の構造高変化

a) 温度差と変位の推移（荷重変動なし）



b) 温度差と変位の関係性

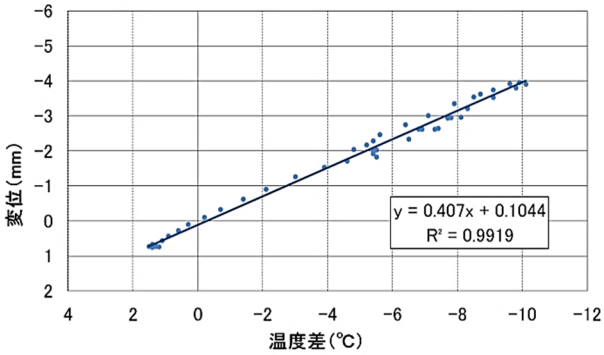


図 13　変位と温度差の関係

6. まとめ

支持桁を用いることで，片車線ごとに床版を更新することが可能であることが判った。また，複雑な施工ステップであるが，添接板のボルトをモデル化することで FEM 解析の結果が使えることも判った。新設の鋼床版の高さ調整方法など，解決すべき課題も残されているが，この支持桁工法が，今後の大規模更新や修繕の選択肢になれば幸いである。

本開発は，2013 年 10 月から 2016 年 3 月までの 2 ヶ年半にわたり，首都高速道路(株)，(株)横河ブリッジ，川田工業(株)および川田建設(株)の 4 社の共同研究として実施したものである。本稿の執筆に際し，ご協力いただき厚く御礼申し上げます。

写真 5　施工性確認実験

参考文献

1) 山田，龍頭，水野，原，庄谷，米倉：御幸大橋（下り線）床版取替えⅡ期工事，川田技報，Vol.31，pp.13-20，2012.1

2) 特許第 4709665 号：橋梁コンクリート床版の取替え工法およびコンクリート床版，2011.3

3) 岸田，峯村，石原，佐藤，白水，山浦，石川，江崎，中山，山岸：急速施工を可能とする支持桁を用いた合成桁の床版更新工法の開発，土木学会第 71 回年次学術講演会概要集，VI-541，pp.1081-1082，2016.9

4) 岸田，峯村，石原，佐藤，白水，山浦，石川，江崎，中山，山岸：支持桁を用いた合成桁の床版更新工法の実物大部分要素確認実験，土木学会第 71 回年次学術講演会概要集，VI-542，pp.1083-1084，2016.9

5) 岸田，峯村，石原，佐藤，白水，山浦，石川，江崎，中山，山岸：支持桁を用いた合成桁の床版更新工法の施工確認試験，土木学会第 71 回年次学術講演会概要集，VI-543，pp.1085-1086，2016.9

6) 岸田，峯村，石原，佐藤，白水，山浦，石川，江崎，中山，山岸：支持桁を用いた合成桁の床版更新工法の施工確認試験計測報告，土木学会第 71 回年次学術講演会概要集，VI-544，pp.1087-1088，2016.9