

既設鉄筋コンクリート床版から鋼床版への取替え工法の開発

REPLACING METHOD FROM THE EXISTING REINFORCED CONCRETE SLABS

BY ORTHOTROPIC STEEL DECKS

橋 肇* 吉岡 夏樹** 高尾 智之*** 重田 光則**
Hajime Tachibana Natsuki Yoshioka Tomoyuki Takao Mitsunori Shigeta

鋼道路橋の補修・補強工事において鉄筋コンクリート床版（以下、RC床版）の劣化・損傷が大きな割合を占めており、これまでも鋼板接着や縦桁補強などの対策が行われてきた。特に、都市部の高速道路では、交通量が多く大型車両の混入率も高いことから補修補強したRC床版の再劣化も進み、交通体系全体の経済性から架け替えではなく大規模な改修事業による長寿命化を図ることが必要とされている。しかし、都市高速道路では利用者や周辺交通環境への配慮から最小限の交通規制に留める必要があること、また既設の上部および下部構造物の耐力に配慮し死荷重の増加を最小限に抑える必要がある。そこで、既設RC床版の急速施工更新技術開発を目的として、死荷重の増加を抑制し、最小限の交通規制で既設RC床版を鋼床版に取替える施工法として“Elevator-deck工法”を開発した。本報告では、Elevator-deck工法の概要、本工法を実現するために開発したDRナットの概要および本工法の施工性を検証するために実施した実物大の施工試験と荷重載荷試験について報告する。

キーワード：既設RC床版取替え、急速施工、鋼床版、施工確認試験

1. はじめに

鋼道路橋のRC床版の取替を計画する場合、全面通行止めが必要とされる場合が多い。しかし、都市高速道路では利用者や周辺交通環境への配慮から長期の通行止めは困難であり、床版の取替えにあたっては最小限の交通規制に留める必要がある。一方、1970年代に施工された既設RC床版は、現行の道路橋示方書¹⁾の規定と比較すると床版厚が薄いため、現行規定のRC床版に取替えることは床版増厚による死荷重増に繋がり、上部構造だけではなく下部構造や基礎構造の耐荷力および耐震性にも影響を及ぼすことになる。そのため、死荷重を低減させるための手段として既設RC床版よりも死荷重が軽減される鋼床版の採用が考えられるが、全工程を橋面上で施工する取替えでは長期の通行止めとなってしまう。

そこで、軽量化と施工性、この二つの課題を克服するため、供用下の既設RC床版の下側において新設鋼床版を既設主桁の腹板に取付け、一時的に交通規制を行い、既設RC床版を切断・撤去後新設鋼床版を取付けた主桁をジャッキアップして鋼床版に取替える“Elevator-deck工法”を開発した。また、この工法を開発するにあたって、交通供用中に主桁腹板に片側鋼床版仕口ブラケット

を取付け、腹板を反対側から切断しボルトを取り外すことなくもう片側の鋼床版仕口ブラケットを取付けることが可能な

“特殊ナット（以下、DRナット）”を開発した。²⁾本報告では、Elevator-deck工法およびDRナットの概要、Elevator-deck工法の施工性を検証するために実施した実物大の施工試験と荷重載荷試験について報告する。

2. Elevator-deck工法の概要

Elevator-deck工法による昼夜連続1車線規制における路面上の作業に着目した施工ステップを図-1に示す。Step 1では交通規制による影響を最小限にするため、既設RC床版の下側で分割した鋼床版を組立てるとともに、B活荷重対応などによる補強部材を取付ける。その後、片側車線を規制し既設RC床版の切断・撤去を行う。Step 2では鋼床版が露出した側に壁高欄設置、暫定舗装、仮設防護柵等の施工を行う。Step 3では一時通行止めを行い、低くなった鋼床版面をジャッキアップし、既設の路面高に合わせる。さらに規制帯の切り替えを行いStep 1と同様に既設RC床版の切断・撤去を行う。Step 4ではStep 2と同様の作業を行う。このように本工法は短期間

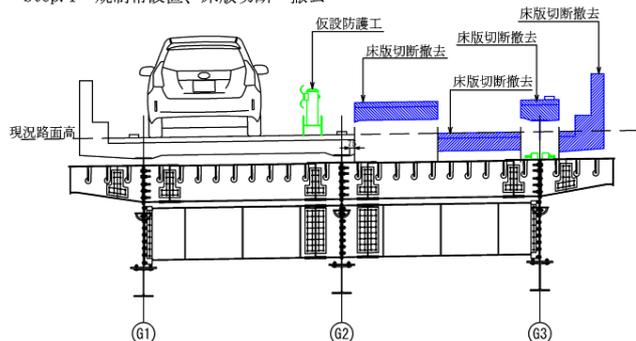
* 橋梁営業本部 橋梁技術研究室 ** 技術本部 橋梁設計部 東京設計課
*** 工事本部 橋梁工事部 計画1課

に RC 床版を鋼床版化する工法である。

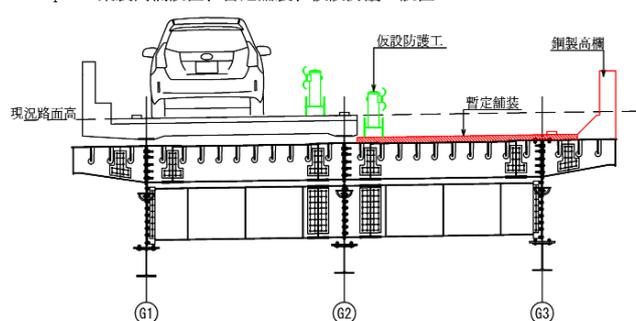
この工法の主な特長を、以下に挙げる。

- ①鋼床版施工中の交通規制が不要であり、昼間施工が可能であること。
- ②周辺環境および近隣住民の要望などにより交通規制の条件が変わることが考えられるため、常設作業帯や通行止めなどのいずれの交通規制にも対応可能であること。
- ③短期間の規制であるため周辺環境への負荷を軽減できること。

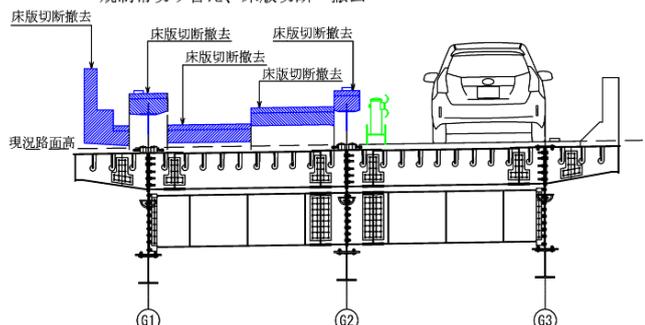
Step.1 規制帯設置、床版切断・撤去



Step.2 鋼製高欄設置、暫定舗装、仮設防護工設置



Step.3 350mmジャッキアップ(一時通行止め)、規制帯切り替え、床版切断・撤去



Step.4 鋼製高欄設置、暫定舗装、規制帯撤去

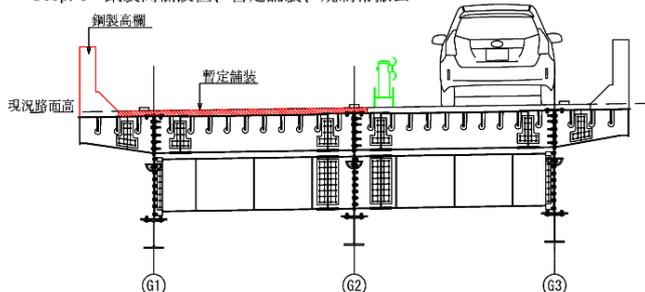


図-1 1車線規制における Elevator-deck 工法を用いた既設 RC 床版から鋼床版への取替え概要図

3. DR ナットの概要

Elevator-deck 工法を開発するにあたっては、交通供用中の既設 RC 床版下で主桁腹板に片側鋼床版仕口ブラケットを高力ボルトと新しく開発した DR ナットを用いて取付ける。その後、腹板を反対側から切断し高力ボルトおよび DR ナットを取り外すことなくもう片側の鋼床版仕口ブラケットを取付ける。開発した DR ナットの形状を図-2 に、DR ナットを用いた施工ステップを図-3 に示す。

施工ステップは①既設部材に孔明け後、既設部材の片側から補強部材を取付け、高力ボルトを挿入する。②DR ナットを締付けて破断させ、一定の軸力で1つ目の補強部材を固定する。③DR ナット側から2つ目の補強部材を取付ける。この際、DR ナットの軸部はボルトに締付けられた状態で残っている。④2つ目の補強部材の外側から拡大座金、汎用品の座金および本ナットを取付け、ピンテールが破断するまで締付ける。



図-2 DR ナット

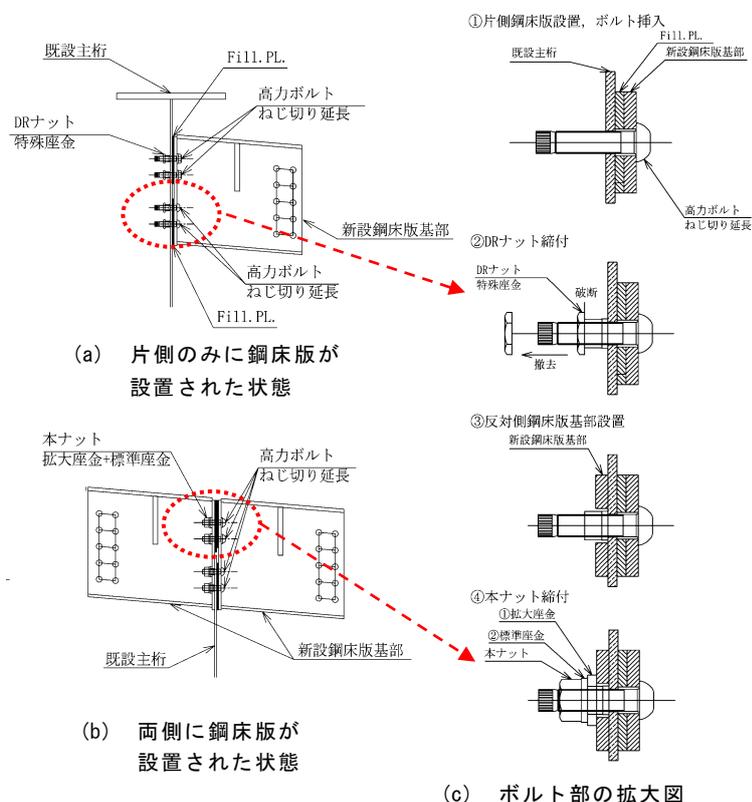


図-3 DR ナットを用いた施工ステップ

4. DRナットを用いた高力ボルト1面摩擦接合継手の持続荷重載荷試験

4.1 実験概要

DR ナットについては、これまで各施工段階を想定した性能確認試験³⁾、長期暴露試験⁴⁾および拡大座金のFEM解析⁵⁾などで性能検証を行ってきた。本工法では、図-3(a)に示す交通供用中の既設RC床版下側で片側鋼床版仕口ブラケットをDRナットにより取付け、主桁腹板の上部を撤去するために腹板を切断する必要がある。そのため、主桁腹板のせん断力はDRナットで取付けたブラケットを介して1面摩擦接合にて伝達される。その後、もう片側の鋼床版仕口ブラケットを高力ボルト用のナットで取付けるまでの期間を想定し、持続荷重載荷時におけるDRナットの力学的挙動を確認するため実施した持続荷重載荷実験⁶⁾の結果について報告する。

4.2 実験供試体

図-4に供試体概要、表-1に実験パラメータをそれぞれ示す。本実験段階ではDRナットは開発途中であったため、目標導入軸力を過去の実験結果²⁾より150kNとした。接触面処理は連結板およびフィラープレートには無機ジンクリッチペイント75μmを塗布し、母板には粗さRa=5以上となるようにケレンを行った。

試験体は屋内に設置し、リラクセーション期間を1週間設け、実工事で想定される荷重載荷期間は約1ヶ月であるが本実験での荷重載荷期間はリラクセーション期間後3か月間とした。

計測項目は載荷期間内におけるボルト軸力の変動、持続荷重、およびすべり発生を確認するため母板と連結板の相対変位とした。

実験パラメータである持続荷重の設定根拠は以下に示すとおりとし、すべり係数は0.4を仮定した。¹⁾

①DRナット使用時における高力ボルトM22(F10T)の軸力150kNと本ナット使用時における高力ボルトM22(F10T)の設計軸力205kNとの比率を算出した。

$$150(\text{kN})/205(\text{kN})=0.73$$

②上記比率よりDRナット使用時の高力ボルト摩擦接合継手の許容荷重を35kN(本ナット48kN)と設定した。

$$48(\text{kN}) \times 0.73 = 35(\text{kN})$$

よって本実験に用いる持続荷重は以下のとおりとした。

$$J-70 : 35(\text{kN}) \times 2(\text{本}) = 70(\text{kN})$$

$$J-98 : 35(\text{kN}) \times 2(\text{本}) \times 1.4(\text{※}) = 98(\text{kN})$$

$$\text{※}1.7(\text{安全率})/1.25(\text{架設時割増}) \div 1.4$$

4.3 試験結果と考察

図-5に軸力と経過日数の関係、図-6に軸力低下率と経過日数の関係、図-7に持続荷重・相対変位と経過日数の関係をそれぞれ示す。図では経過日数の起点をDRナットの締付け日とし、図内の赤色点線は持続荷重載荷開始日(DRナット締付けから7日後)、赤色1点鎖線は持続荷重載荷開始から30日目を示す。

図-5より本実験では平均導入軸力が約140kN、変動係数が0.03となり、目標導入軸力150kNより低くなったが安定した軸力導入ができた。締付けから約30日経過以降の軸力は安定している。導入軸力低下の原因は締付け時に破断する段差部の製作精度によるものと推定される。

図-6より平均軸力低下率は約13%となり、通常の高力ボルト用ナットにおける軸力低下率と同程度であった。また、載荷試験実施中において持続荷重の大小による軸力低下の差異は確認できなかった。

図-7より最大相対変位はJ-70で約0.02mm、J-98で約0.025mmとなり、すべりの目安とされる0.2mmの約1/10であった。この結果から本実験では接触面にすべりは発生しなかったことを確認できた。

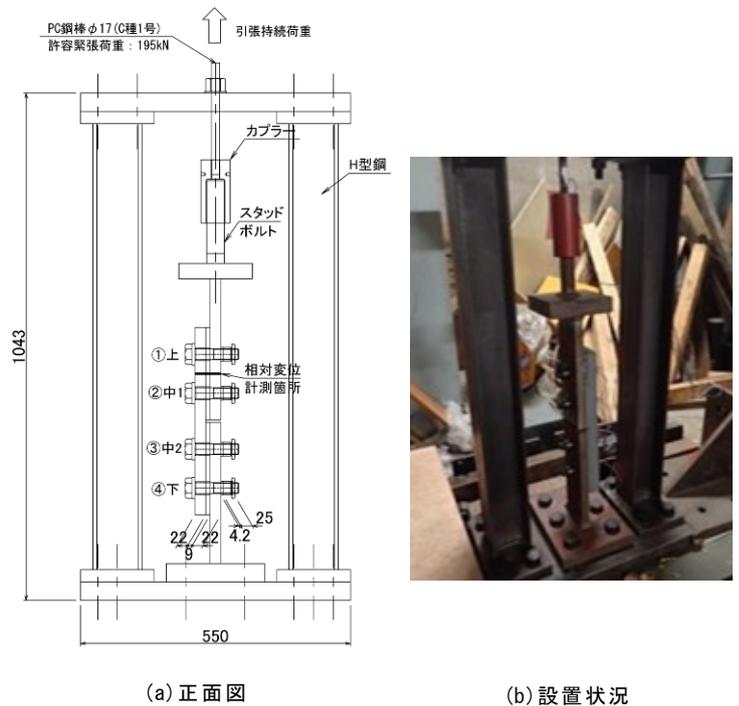


図-4 実験供試体概要

表-1 実験パラメータ

case	締付けナット	接触面処理	持続荷重(kN)
J-70	特殊ナット	母板:ケレン	70
J-98		連結板:無機ジンクリッチペイント75μ	98

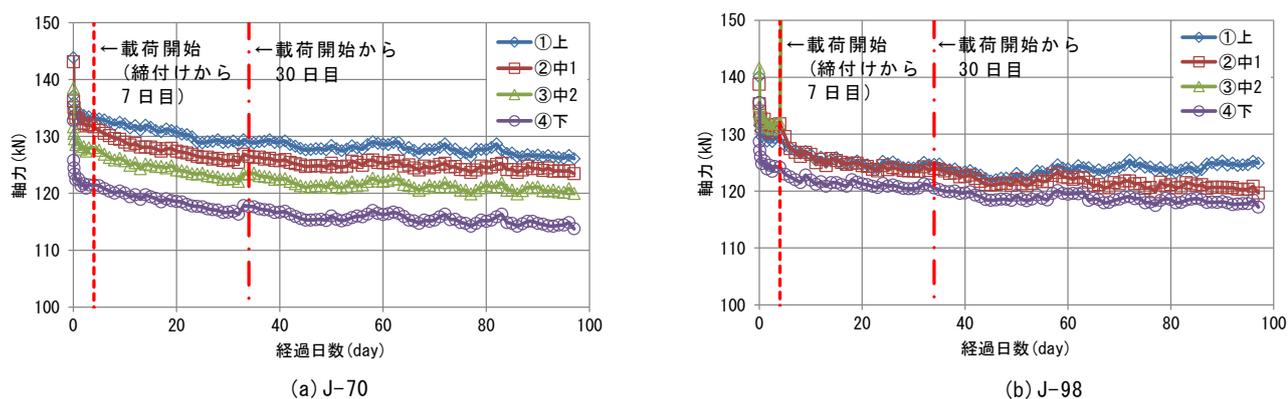


図-5 軸力と経過日数の関係

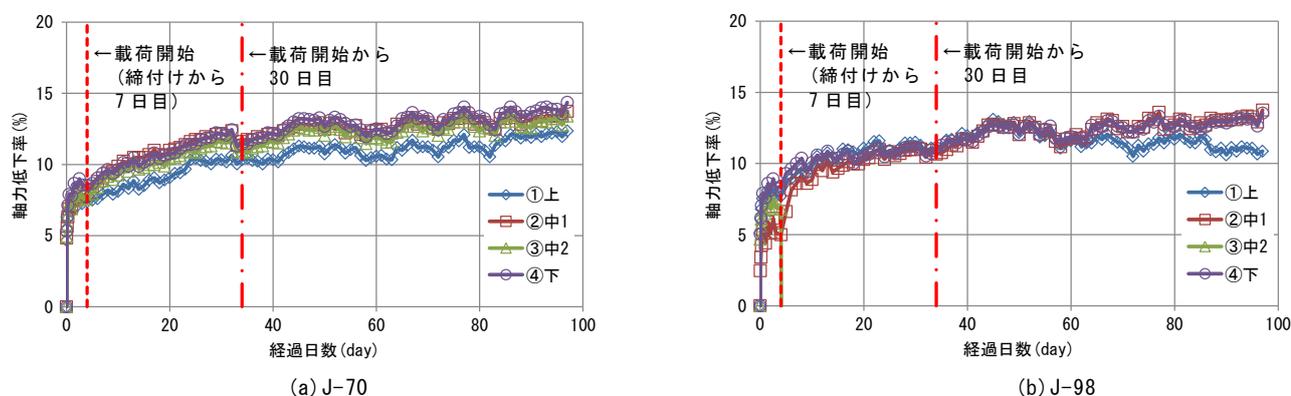


図-6 軸力低下率と経過日数の関係

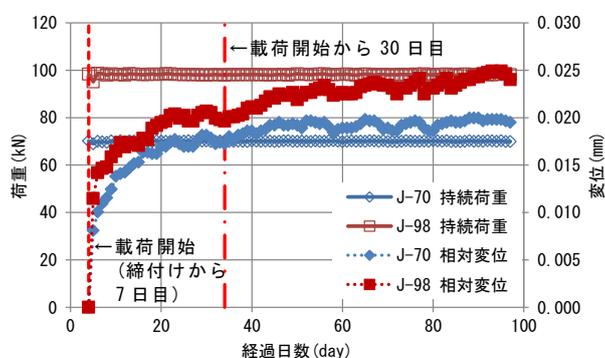


図-7 持続荷重・相対変位と経過日数の関係

5. Elevator-deck 工法の施工性確認試験⁷⁾

5.1 施工確認試験概要

Elevator-deck 工法の実用化に向け、その施工性の確認および問題点の抽出を目的に模型桁を用いた施工確認試験を実施した。特に確認が必要であると考えた項目を以下に示す。

- ①新設鋼床版部材の取付け
- ②DR ナットの施工性
- ③既設主桁切断の施工性
- ④既設床版および一部主桁撤去の施工性
- ⑤既設床版および一部主桁撤去後のフィラープレート挿入と塞ぎ板設置の施工性

5.2 施工確認試験体

図-8 に試験体平面図及び断面図(鋼床版完成形)を、図-9 に施工前後および荷重試験の試験体状況を、図-10 に施工ステップをそれぞれ示す。試験体は、橋軸直角方向に2主桁分、橋軸方向に横桁間1パネル分とした。なお、既設 RC 床版、横桁および縦桁は再現していないが、既設 RC 床版を想定して上フランジ上側にコンクリート型枠用合板を、桁端部には端横桁を想定した H 形鋼を設置して新設鋼床版の取付け施工性の確認を行った。

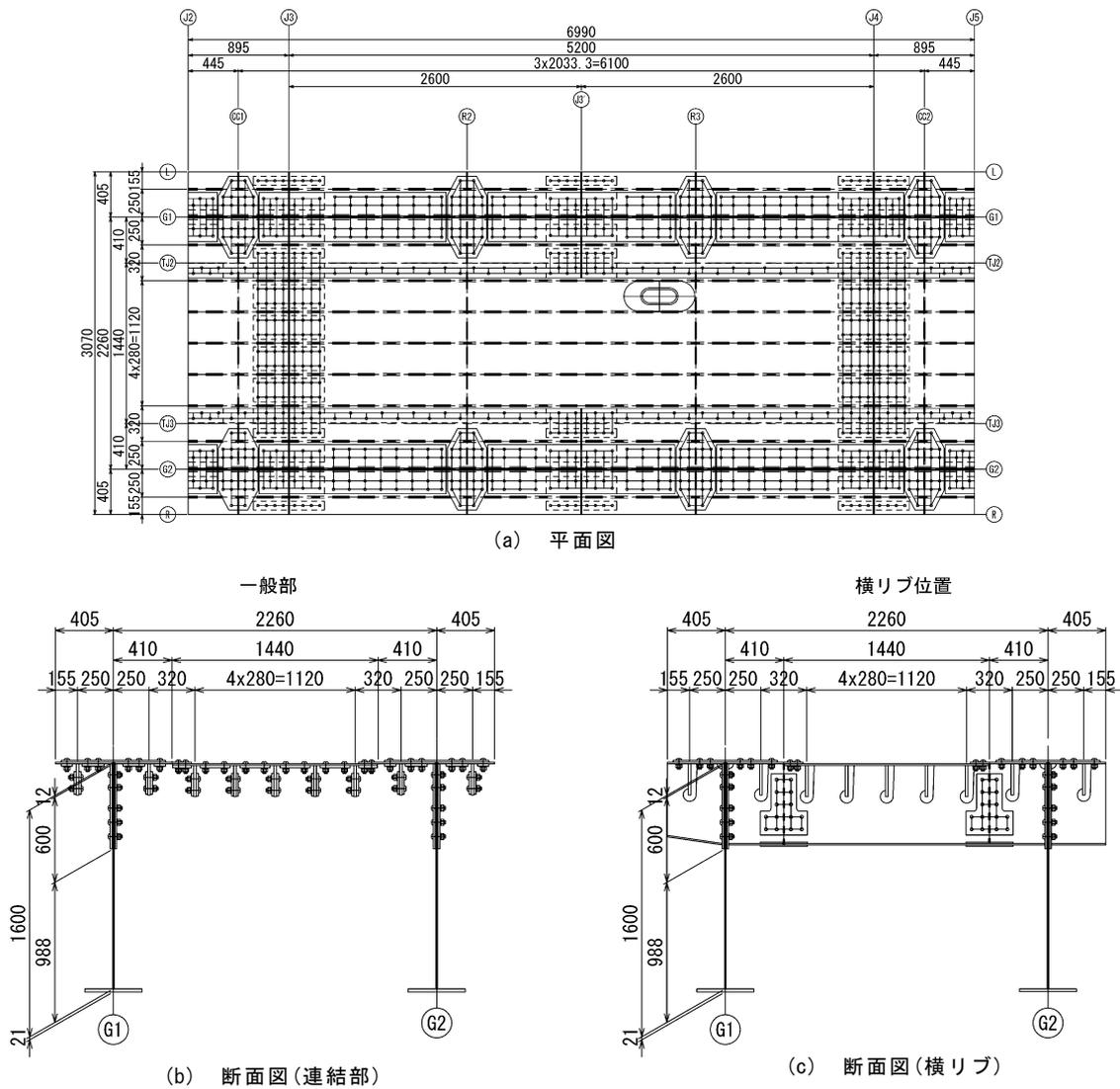


図-8 施工確認試験体

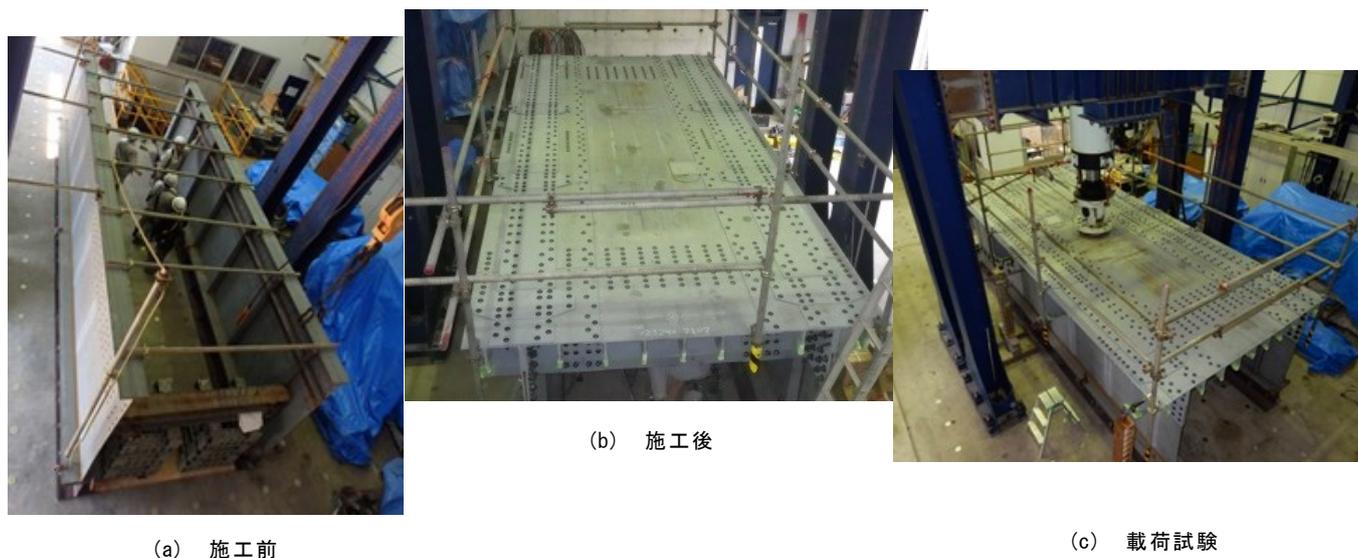
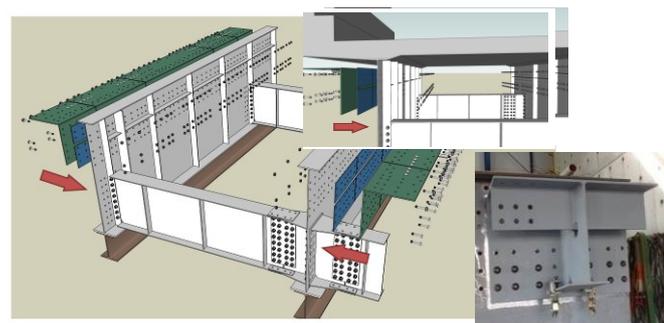
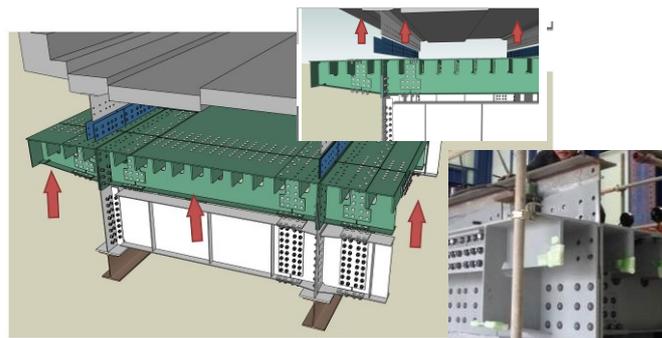


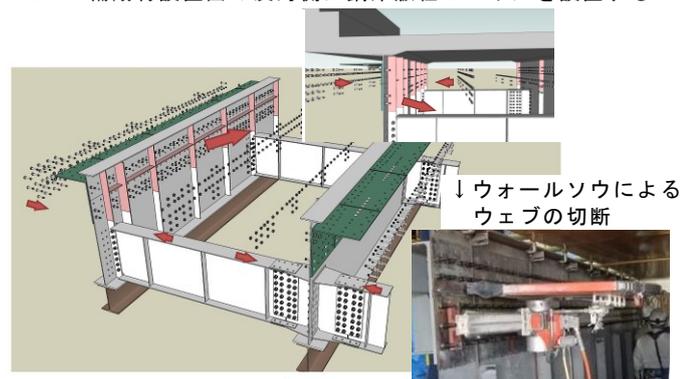
図-9 施工前後および载荷試験時の試験体



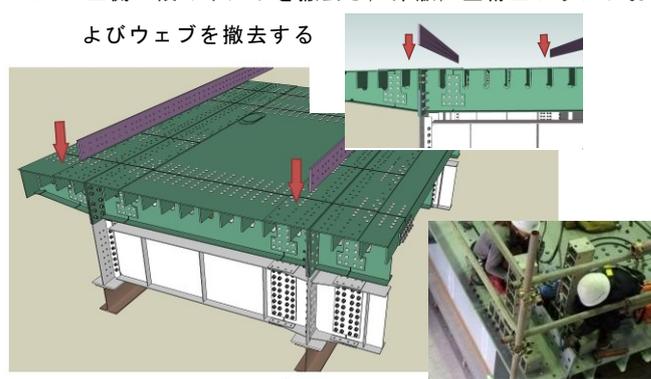
STEP1 : 補剛材設置面の反対側に鋼床版仕口パネルを設置する



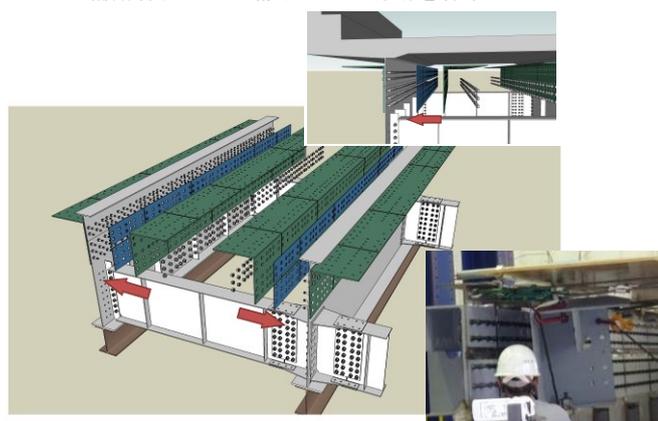
STEP5 : 上側 2 段のボルトを撤去し、床版、主桁上フランジおよびウェブを撤去する



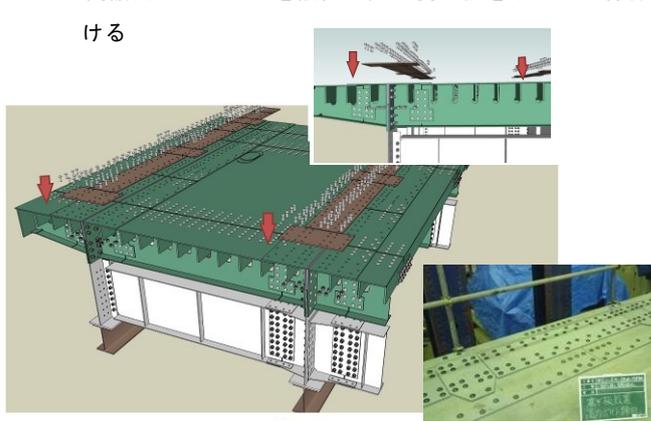
STEP2 : 補剛材および主桁ウェブの切断を行う



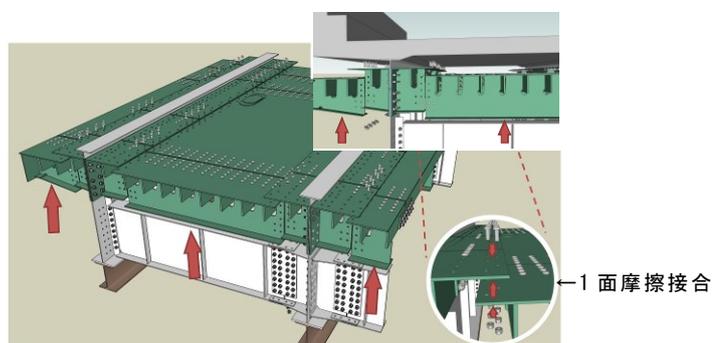
STEP6 : 間詰用の FILL.PL を設置し、上側 2 段をボルトで締付ける



STEP3 : 補剛材切断面側に鋼床版仕口パネルを設置する



STEP7 : 主桁上のデッキプレートを連結する



STEP4 : 中鋼床版パネル、張出部パネルを設置する



STEP8 : RC 床版から鋼床版への取替え完了



図-10 施工確認試験におけるステップ図

5.3 施工確認試験の結果

施工確認試験において、確認事項として挙げていた項目、それ以外にも各施工ステップにおける問題点および課題について確認および抽出することができた。その結果を以下に示す。

①新設鋼床版部材の取付け

新設鋼床版は1ブロックの最大重量4tを目標に分割した。横桁間隔約6mに対し、橋軸方向に鋼床版仕口パネルを4分割、中鋼床版パネルを3分割とした。中鋼床版は鋼床版仕口パネルの下側から取付ける重ね継手とした。図-10のSTEP1,3,4に示すように各パネルとも特殊な工具を使わずチェーンブロックやチェーンホイストなどで設置することが確認できた。

②DRナットの施工性

DRナットを用いる高力ボルトは一般的な高力ボルトより首下長さが長い為、鋼床版仕口パネル付近の腹板および鋼床版の連結部のような狭隘部の締付けにおいて、ボルト配置や締付け手順を考慮することにより問題なく締付けられることが確認できた。また、腹板切断線より上フランジ側のボルトは、既設RC床版撤去時に抜き取る必要がある。この時、DRナットは鋼床版仕口の拡大孔の中に収まった状態であるが、撤去可能であることが確認できた。

③既設主桁切断の施工性

既設主桁切断については、図-10のSTEP2に示すようにウォールソウを設置治具で主桁腹板に取付け、無水で切断することが確認できた。さらなる施工性向上のため設置治具などの改良を検討する必要がある。また、切断時に発生する鉄粉の処理など新たな課題が判明した。

④既設RC床版及び一部主桁撤去の施工性

実構造における主桁上の既設RC床版は、主桁にスタッドやスラブ止めなどのずれ止めが配置されており、コンクリートの研り後に吊り上げなどで撤去するには多大な時間がかかる。本試験では、図-10のSTEP5に示すように主桁上の既設RC床版を橋軸直角方向に500mm幅で切断し、さらに主桁上フランジと鋼床版の間にジャッキを設置することで、腹板切断位置より上側部分の一括撤去を実施した。施工試験では、上記方法で撤去することが確認できた。

⑤既設RC床版及び一部主桁撤去後のフィラープレート挿入と塞ぎ板設置の施工性

既設主桁腹板撤去後に鋼床版仕口パネル間に隙間ができるため、フィラープレートを挿入し、高力ボルトを用いた摩擦接合とする必要がある。挿入するフィ

ラープレートは撤去した部材と同厚とする必要があり、フィラープレートを挿入できるか懸念されたが、図-10のSTEP6に示すように挿入できることが確認できた。

以上より、主桁腹部材切断時に発生する鉄粉の処理など新たな課題が判明したが、本試験で実施した鋼床版への取替え工法は施工可能であることが確認できた。

5.4 荷重載荷試験の概要

図-9(c)に載荷試験時の状況を示す。載荷には動的ジャッキ(載荷能力1500kN)を用い、橋軸および橋軸直角方向ともに試験体中央に静的載荷した。載荷板の寸法は道路橋示方書I共通編2.2.2より、橋軸直角方向500mm x 橋軸方向200mmとし、載荷荷重は100kNとした。

5.5 荷重載荷試験の結果

図-11に荷重載荷試験における試験結果を示す。図内には、載荷実験を再現したFEM解析結果を合わせて示す。実験結果とFEM解析結果を比べて、橋軸直角方向応力分布および鉛直変位分布ともに概ね一致していることを確認できた。

6. まとめ

6.1 Elevator-deck工法およびDRナットの概要

- (1) 床版取替えおよび桁補強による死荷重の増加および交通規制を最小限にし、かつ短期間にRC床版を鋼床版化する方法として、Elevator-deck工法を開発した。
- (2) 既設RC床版の下側で主桁腹板両側に新設鋼床版仕口ブラケットを高力ボルトにて取付ける際、高力ボルトを取り外すことなく、もう片側の鋼床版仕口ブラケットを取付けることが可能な”DRナット”を開発した。

6.2 DRナットを用いた高力ボルト1面摩擦接合継手の持続荷重載荷試験

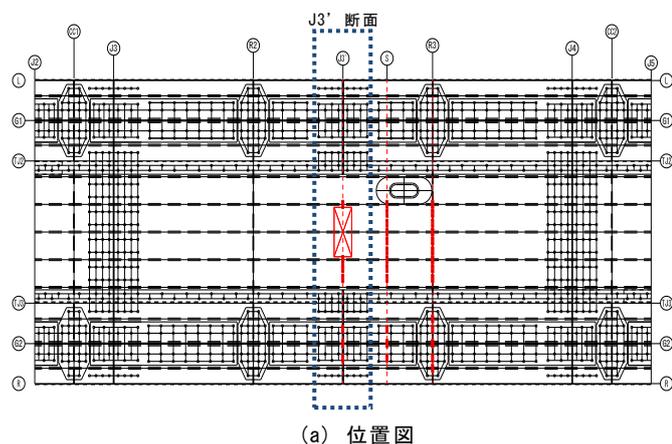
- (1) 本実験ではDRナットにより締付けた高力ボルトの平均導入軸力が約140kN、変動係数が0.03となり、設計軸力より低くなったが安定した軸力導入ができた。軸力は締付けから約30日経過以降に安定している。導入軸力低下の原因は締付け時に断破する段差部の製作精度によるものと推定される。
- (2) DRナットにより締付けた高力ボルトの平均軸力低下率は約13%となり、通常の高力ボルト用ナットにおける軸力低下率と同程度となった。また、載荷試験実施中において持続荷重の大小による軸力低下の差異は確認できなかった。
- (3) 母板と連結板間の最大相対変位はJ-70で約0.02mm、

J-98 で約 0.025mm となり、すべりの目安とされる 0.2mm の約 1/10 であった。この結果から本実験では接触面にすべりは発生しなかった。

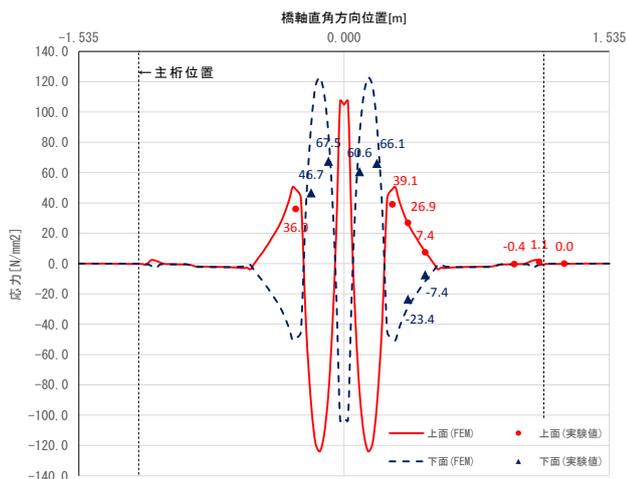
6.3 Elevator-deck 工法の施工性確認試験

(1) 施工確認試験結果より、本工法の確認事項として挙げている項目について、施工可能であることが確認できた。

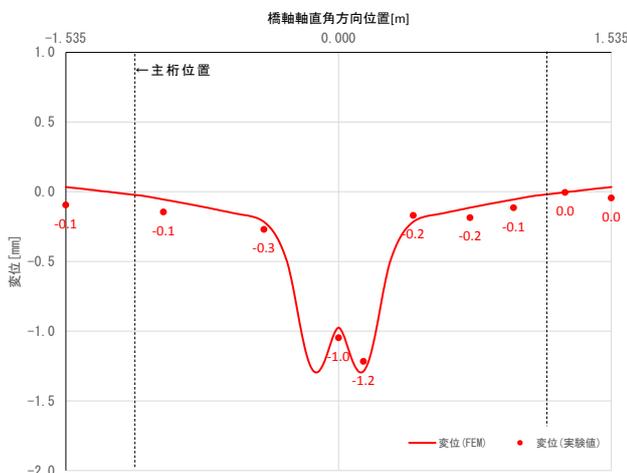
- (2) 主桁腹部材切断時に発生する鉄粉の処理など、新たな課題が判明した。
- (3) 今後さらなる施工性改善のため、各施工ステップにおいて改良案の検討が必要である。
- (4) 施工確認試験完了後に載荷実験を実施した。載荷実験結果と FEM 結果を比べて、応力分布および変位分布ともに概ね一致していることを確認できた。



(a) 位置図



(b) 橋軸直角方向応力分布



(c) 鉛直変位分布

図-11 載荷試験結果：鋼床版 J3' 断面

7. 謝辞

本研究は首都高速道路株式会社、株式会社 IHI インフラシステムおよび株式会社 IHI インフラ建設と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、3社の関係者にご協力いただき、厚く御礼を申し上げます。また、本研究を実施するにあたり、神鋼ボルト株式会社、大阪市立大学山口隆司教授にご指導およびご協力いただいた。また、金城力氏はじめとする大阪市立大学橋梁工学研究室学生諸氏にご協力いただいた。合わせて、厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，I 共通編・II 鋼橋編，2012.3
- 2) 大西，溝口，吉岡，齊藤，篠崎：鋼板両側に補強部材を連結する 2 段締めナットの開発，土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集，I-446，2014.9
- 3) 峯村，金城，山口，齊藤，吉岡，林：特殊ナットを用いた 2 段締め高力ボルト摩擦接合継手の性能確認試験，土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集，I-507，2015.9
- 4) 吉岡，峯村，金城，山口，齊藤，林：実施工を想定した状況での 2 段締めナット高力ボルト摩擦接合継手のすべり試験，土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集，I-506，2015.9
- 5) 金城，峯村，山口，齊藤，吉岡，林：特殊ナットを用いた 2 段締め高力ボルト摩擦接合継手の拡大座金に関する解析的研究，土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集，I-508，2015.9
- 6) 吉岡，金城，山口，峯村，齊藤，佐々木：特殊ナットを用いた高力ボルト 1 面摩擦接合継手の持続荷重載荷試験，土木学会第 71 回年次学術講演会講演概要集，I-419，2016.9
- 7) 峯村，倉田，橘，中村，齊藤，重田：RC 床版から鋼床版への取替え工法に関する施工試験，土木学会第 71 回年次学術講演会講演概要集，VI-528，2016.9