既設 RC 床版更新における施工法の開発
A NEW METHOD FOR REPLACING EXISTING REINFORCED CONCRETE SLABS

佐藤　悠樹*　平野　穂菜美**　高尾　智之***　　橘　肇****
Yuki Sato　Honami Hirano　Tomoyuki Takao　Hajime Tachibana

都市高速道路橋のRC床版は，長期に亘る供用による経年劣化に加え，総交通量の増加，特に一般道路と比べ大型車交通量が多くなっていることから，疲労損傷が発見されている．床版については，急激に疲労損傷が進むことから，補修だけではなく更新による対策が進められている．ただ，交通量の多い都市高速道路でのRC床版更新においては，最小限の交通規制で施工を進める必要がある．本研究開発ではこのような施工条件を考慮して，「既設RC床版更新における床版接続部の構造および施工法」を提案した．

本稿では，これまでの研究成果として，既設RC床版更新に関する施工方法の概要について述べ，実施工での安全性と施工性を検証するために実施した新旧床版接続部の要素試験および実物大載荷試験の実施状況について報告する．

キーワード：既設 RC 床版更新，鋼床版化，舗装の疲労試験

1. はじめに

都市高速道路は，50年以上供用した高架橋もあり，老朽化が進んだ構造物が多く存在する．また，一般道路と比べ大型車交通量が多く，過酷な使用状況下におかれている．年々RC床版の劣化損傷も増加しており，その更新が必要となっているが，首都圏の経済活動を支える最重要インフラであることから，完全に交通規制をすることは難しく，夜間の1車線規制と昼間交通解放を繰返しながら，既設RC床版更新する必要がある．

このような施工条件を前提に，首都高速道路株式会社，株式会社IHIインフラシステム，株式会社IHIインフラ建設との共同研究として，「既設RC床版更新における床版接続部の構造および施工法」をテーマに，更新用の床版として鋼床版およびプレキャストPC床版を検討対象とし，道路ユーザーに対する安全性，規制時間内での安全で確実な施工，規制に伴う社会的な影響などの検証を実施した．本稿では，これまでの研究開発の成果として，鋼床版化施工方法の概要，要素試験として実施した「既設 RC 床版および更新鋼床版接続部における舗装の疲労試験」，および施工時の安全性を検証するための「鋼床版化実物大載荷確認試験」の実施状況について報告する．

2. 鋼床版化施工方法の概要

図-1 に今回検討した施工方法の 1 つである，鋼床版化工法による床版更新前後の断面図を示す．本工法は軽量な鋼床版を採用し，過年度の共同研究で開発した DR ナット[1),2)]を使用する工法である．

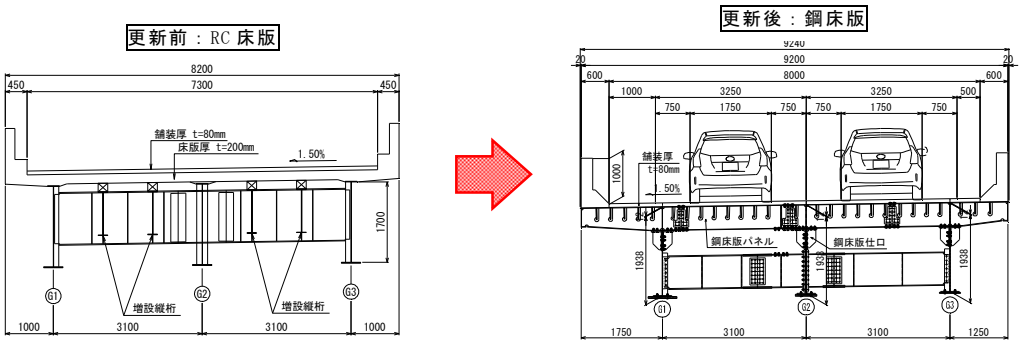


図-1　既設 RC 床版を鋼床版化したときの更新前後断面図

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

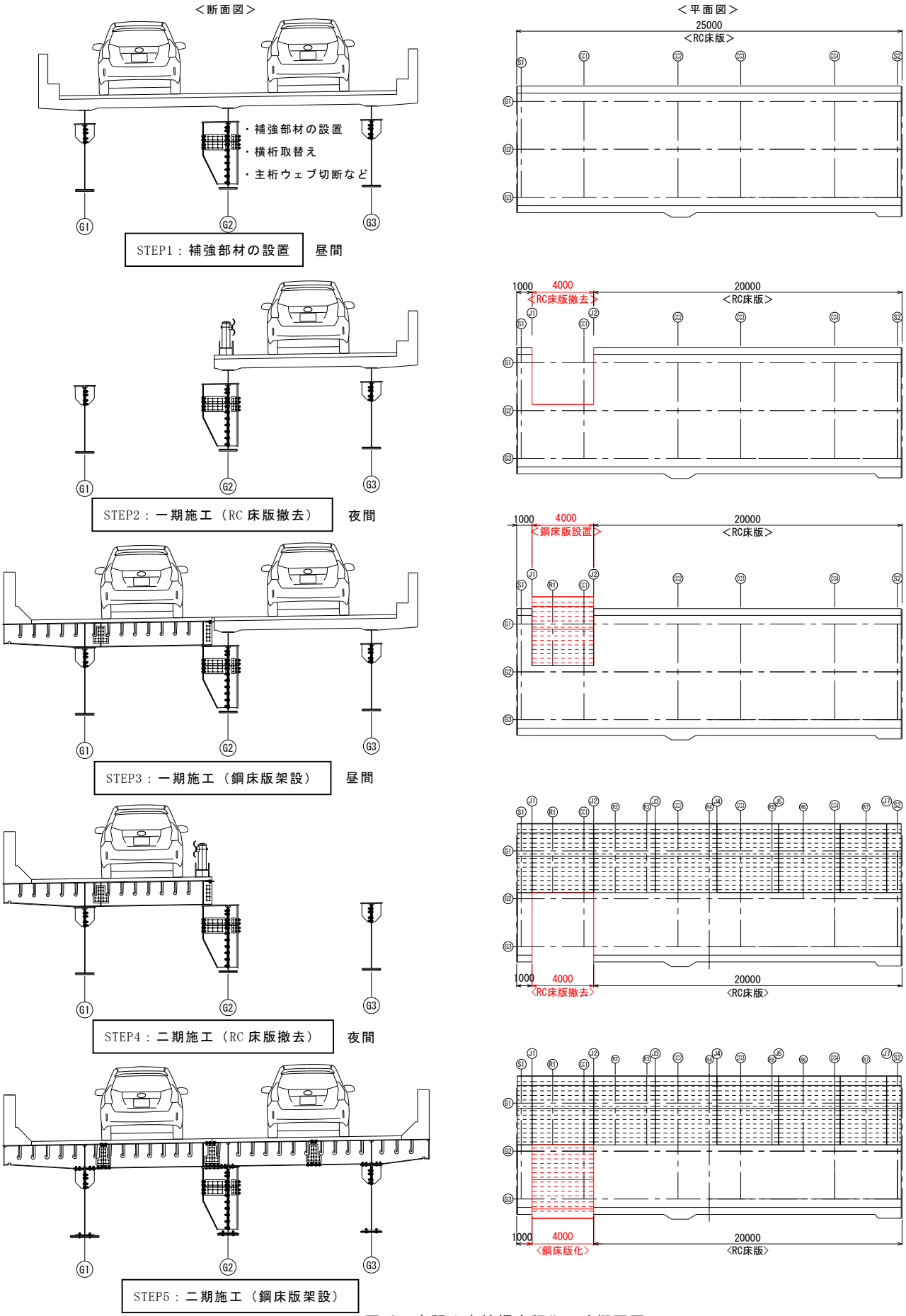


図-2　夜間 1 車線鋼床版化工法概要図

図-2 に夜間 1 車線規制と昼間交通開放を繰返しながら既設 RC 床版を鋼床版化する工法の概要図を示す．まず，桁下に足場を設置し，STEP1 のように交通を供用させながら主桁補強部材（鋼床版横リブ据付材）の設置や横桁の取替え，主桁ウェブの切断などを行う．STEP2～3 は一期施工として，夜間の 1 車線規制にて，片側 1 車線分の既設 RC 床版の撤去と更新鋼床版の架設を橋軸方向に 4m 程度ずつ行い，これを日々繰返す．片側 1 車線分の床版更新が完了後，二期施工として STEP4～5 のように，反対側の車線も一期施工と同様に日々床版を更新することにより，全橋の鋼床版化が完了となる．

3. 新旧床版接続部における舗装の疲労試験

3.1 目的

本研究では，夜間の限られた時間内で床版を更新するため，既設 RC 床版と更新床版の接続部には機械式継手などを設けない計画とした．更新鋼床版上で仮舗装を施工し，昼間に交通解放した状況を図-3 に示す．既設 RC 床版と更新鋼床版を連結しない構造としたため，車両通行時に，既設 RC 床版と更新鋼床版接続部にたわみ差が生じる．そこで，既設 RC 床版と更新鋼床版の接続部を再現した試験体を作製し，想定される載荷条件での最大たわみ差による疲労試験により，既設 RC 床版と更新鋼床版との接続部が，機械式継手などを用いることなく，安全で円滑な交通が確保できることを確認することとした．

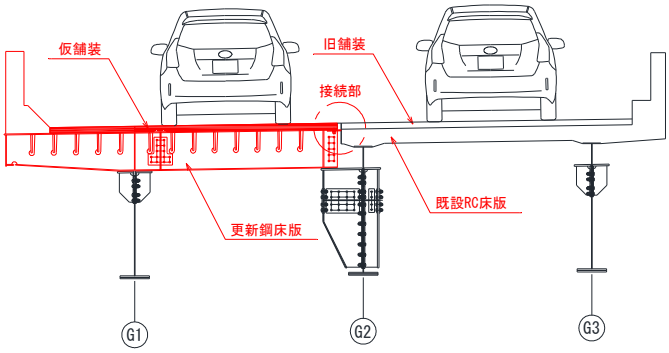
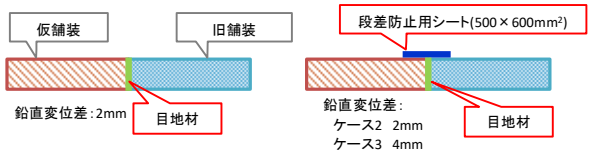


図-3　昼間交通開放時の状況



a）ケース 1　　b）ケース 2，3

図-5　試験体仕様

3.2 試験概要

図-4 に疲労試験概要図を示す．舗装接続部に着目した試験体を作製し，3.3 で詳述する実橋モデルの FEM 解析より得られた舗装接続部の最大鉛直変位差を再現した．

試験ケースは，接続部の施工仕様と載荷時に再現する鉛直変位差をパラメータとして設定した．試験ケース別の試験体仕様を図-5 に示す．新旧の舗装接続部に目地材のみ施工したものをケース 1 とし，舗装接続部の目地材が鉛直変位差の繰返しにより摩耗し，舗装の骨材が飛散する懸念があることから，骨材の飛散防止を目的とした段差防止用シートを追加したものをケース 2～3 とした．載荷時の鉛直変位差は，ケース 1～2 が FEM 解析で得られた最大鉛直変位差である 2mm，ケース 3 はその 2 倍である 4mm とした．

3.3 3D-FEM 解析

実橋の舗装接続部における，更新鋼床版と既設 RC 床版の鉛直変位差を検証するため，実橋モデルの 3D-FEM 解析を実施した．舗装接続部の鉛直変位差が大きくなると想定される支間中央部の床版更新時をモデル化し，輪荷重の位置を変化させながら図-6 のように計 16 ケースの 3D-FEM 解析を実施した．

手法としては，線形静解析プログラムである MSC Nastran を使用した．入力した材料定数を表-1 に示す．鋼床版，上フランジ補強部，主桁はシェル要素，RC 床版部はソリッド要素でモデル化した．なお，舗装はモデル化していない．

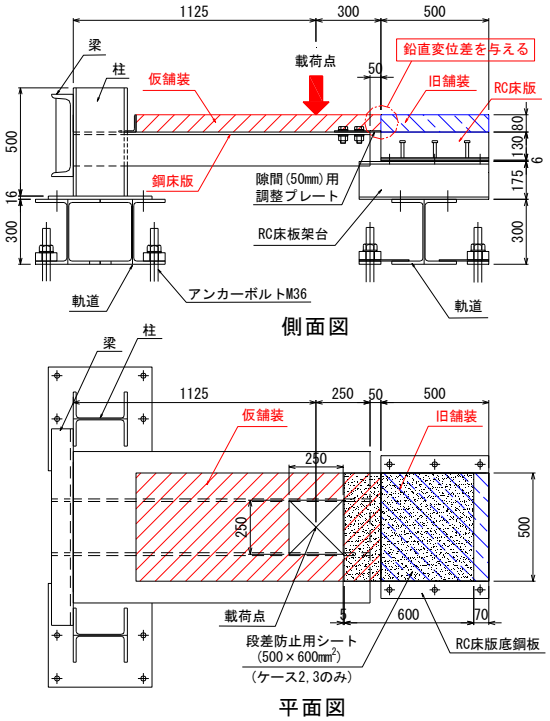


図-4　疲労試験概要図

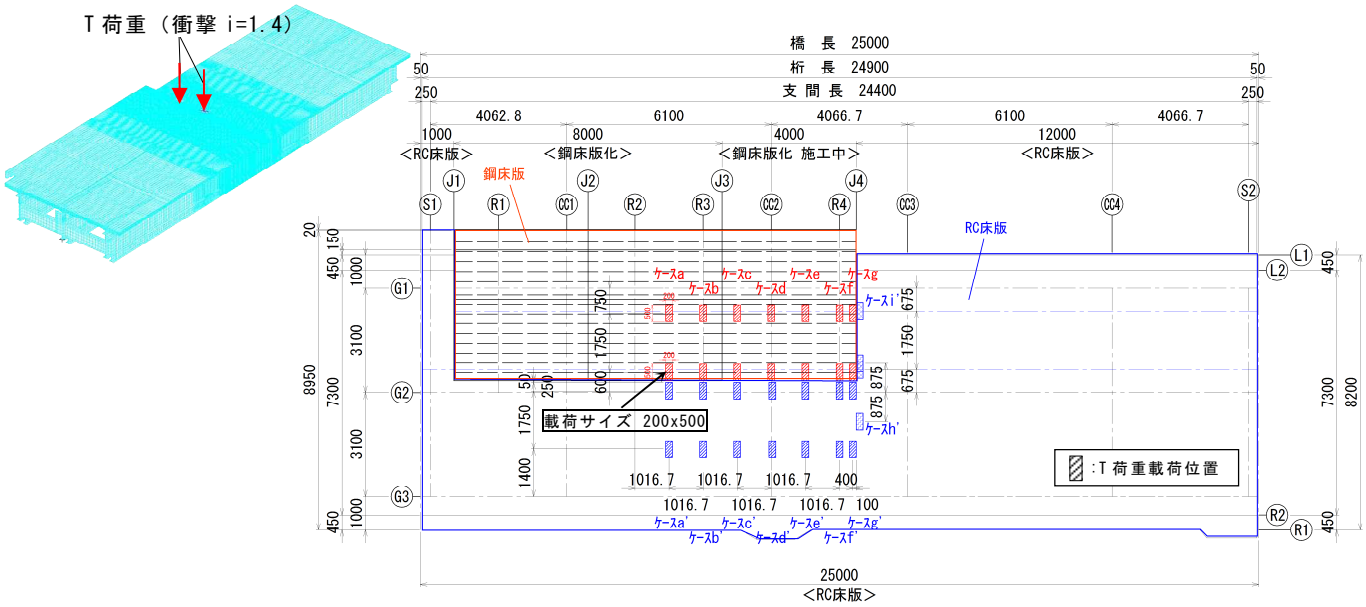


図-6　実橋モデル 3D-FEM 解析の載荷ケース

表-1　材料定数

	鋼材	RC 床版
ヤング係数(N/mm²)	2.0×10⁵	2.8×10⁴
せん断弾性係数(N/mm²)	7.7×10⁴	1.2×10⁴
ポアソン比	0.3	1/6

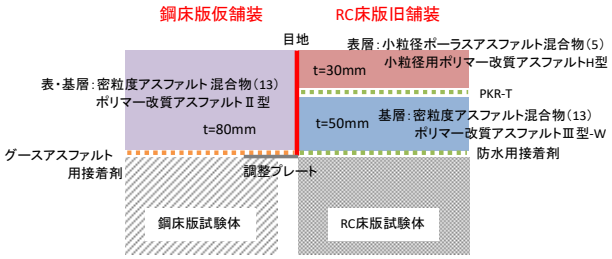


図-7　舗装仕様

3.4　3D-FEM 解析結果

橋軸方向舗装接続部の既設 RC 床版側に輪荷重が載荷されたケース i'が最大の舗装接続部の鉛直変位差を発生することが判り，その最大値は 2mm であった．

3.5　試験体

試験体は，更新鋼床版側を片持ち梁構造，既設 RC 床版側を架台支持とした（**図-4 参照**）．接続部は床版更新の施工性を考慮し，50mm の隙間を設ける計画であり，舗装作業を考慮して調整プレートを更新鋼床版先端から既設 RC 床版にあてる構造としており，本試験体においてもその構造を再現した．なお，舗装厚は 80mm とした．

舗装の仕様を**図-7** に示す．旧舗装，仮舗装共に実施計画に合わせた仕様とした[3)]．目地材はアスファルト系感圧型成型目地材を用い，ケース 2～3 の舗装上面に施工する段差防止用シートは路面補修材として使用される 3M™ ステイマーク ™ 路面補修材 SV3160 を施工した．

写真-1　載荷状況

3.6　載荷試験

写真-1 に載荷状況を示す．載荷点に 250×250mm² の載荷板を設置し，載荷試験機により載荷した．載荷回数は，仮舗装期間を 1 年間と想定し，対象路線の車両感知器のデータを参考に 162.7 万回以上とした．

3.7　試験結果

図-8 に載荷回数実績を示す．ケース 1～3 の全てにおいて 162.7 万回を 5%程度上回る載荷を実施した．載荷中，舗装接続部に生じる鉛直変位に対しては，目地材の変形により追従していた．繰返し載荷により，舗装側面の骨材が剥がれ落ちることはあったが，全ケースとも舗装接続部に大きな変状は見られなかった．

図-9 にケース 1 の載荷前後の舗装接続部状況を示す．ケース 1 は，舗装上面に段差防止用シートを施工していないが，舗装上面，側面ともに載荷前後で特に変化がないことがわかる．段差防止用シートを施工した他の 2 ケースにおいては，接続部直上の段差防止用シートが変位

の追従により部分的に剥離したものの，シートの破れなどはなかった．

載荷終了後，ケース 2～3 は段差防止用シートを部分的に切り取り，全ケースの舗装接続部の 200×200mm^2 の範囲に直接水を張り，漏水状況の確認を行った．図-10 に各ケースの漏水状況を示す．ケース 1～2 ではほとんどが舗装側面から漏水したが，ケース 3 では水張り部直下から漏水した．ケース 3 は，発生させた鉛直変位差が大きかったため，目地材が劣化し，漏水したと考えられる．

3.8　まとめ

既設 RC 床版の鋼床版化に関する工法の研究開発の一環として，昼間交通開放時に安全で円滑な交通が確保できることを確認するため，既設 RC 床版側舗装と新規鋼床版側仮舗装の接続部における鉛直変位差に着目した要素試験を実施した．本試験では実橋で想定される交通振幅（鉛直変位差 2mm）に対しては，舗装接続部の処理は目地材のみであっても舗装上面の骨材が飛散するなどの変状は見られなかったが，実施工においては車両通行によるタイヤとの摩擦や，回転変位の発生などから舗装骨材の飛散が懸念されるため，段差防止シートの設置が望ましいと考えられる．また，接続部の漏水対策として，床板下面に排水構造を設置する方針で検討している．

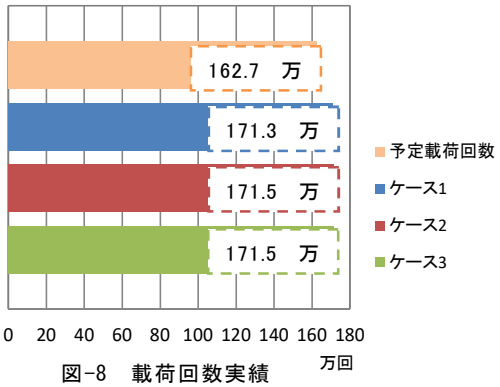


図-8　載荷回数実績

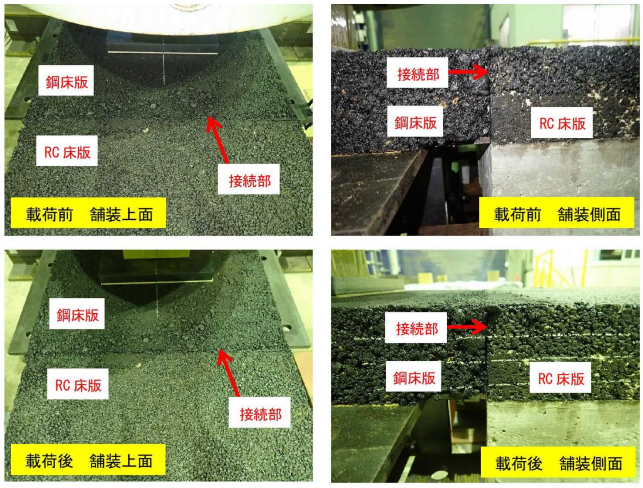
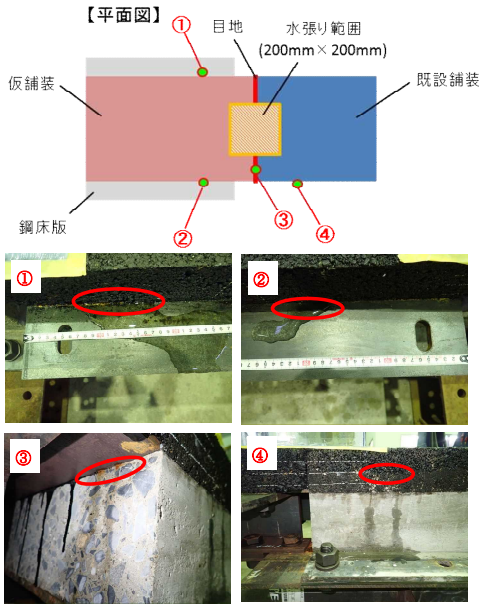
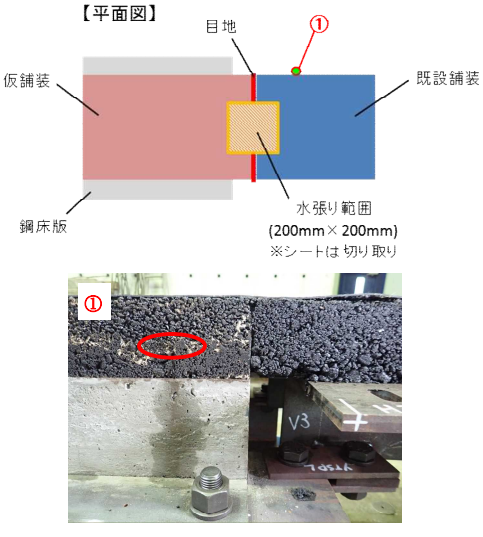


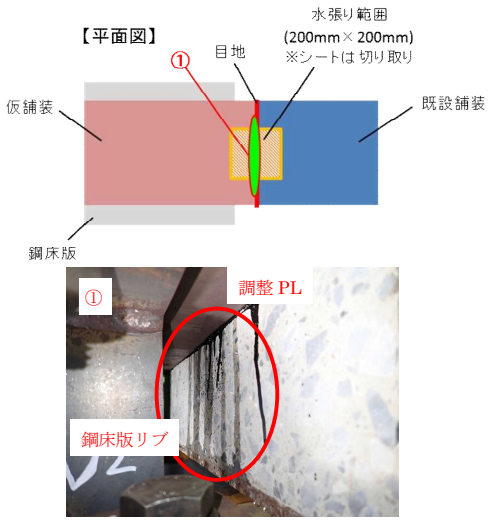
図-9 載荷前後の舗装接続部状況（ケース 1）



a）ケース 1



b）ケース 2



c）ケース 3

図-10　水張り後漏水状況

4. 鋼床版化実物大載荷確認試験

RC 床版撤去時には鋼断面の一部も同時に撤去するため，断面の急変による応力集中が懸念される．格子解析では応力集中を把握することができないため，支間中央付近の床版を施工手順毎にモデル化した 3D-FEM 解析を実施した結果，床版と上フランジ切欠き部に応力集中が生じることがわかった．現在，**写真-2** に示す床版撤去時の G1 桁を再現した試験体を作製し，静的載荷試験により，応力の発生状況について確認を行っている．

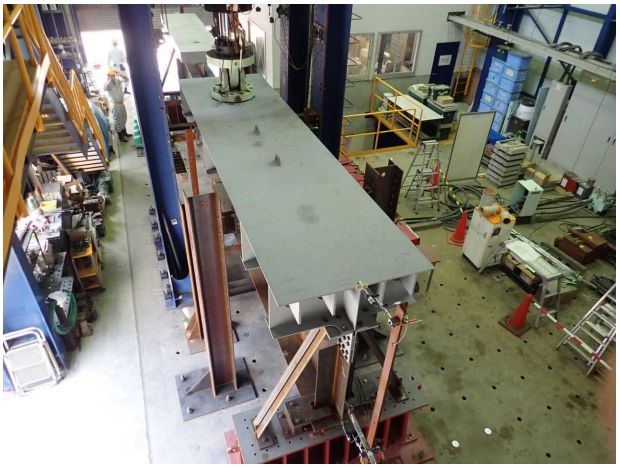


写真-2　試験状況

5. おわりに

既設 RC 床版更新工事における施工法の研究開発として，実施工における問題点の抽出・対策立案とともに，各種試験と解析により構造物としての安全性の確認を行った．さらに，与えられた厳しい施工条件の中，過年度の共同研究で開発した DR ナットを有効活用することで，道路ユーザーに対する安全性を確保しながら，社会的影響の少ない施工方法を開発することができた．

今後は実物大載荷試験結果と，3D-FEM 解析結果および格子解析結果の比較を行い，本研究の対象橋梁における補強設計の妥当性，ならびに安全性を検証する予定である．

6. 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，株式会社 IHI インフラ建設との共同研究であり，本稿の執筆に際し，3 社の関係者にご協力を頂きました．ここに厚く御礼申し上げます．

参考文献

1) 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， I -446，2014 年 9 月
2) 橘，吉岡，高尾，重田：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，駒井ハルテック技報，Vol.6 2016，pp.47-54，2016 年 12 月
3) 首都高速道路株式会社：舗装設計施工要領，pp.43-46，p67，p75，2015 年 4 月