

技術論文

道路を供用しながらRC床版の急速取替を可能とする 鋼床版工法の開発 (STEEL-C.A.P.工法®)

Development of a Construction Method That Enables Rapid Replacement of RC Decks with Advanced Steel Deck without Road Closure (STEEL-C.A.P. Method™)

| | | | |
|----------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 富永知徳* Tomonori TOMINAGA | 横関耕一 Kohichi YOKOZEKI | 北市さゆり Sayuri KITAICHI | 武野正和 Masakazu TAKENO |
| 張順智 Junji CHO | 壺岐浩 Hiroshi IKI | 竹内大輔 Daisuke TAKEUCHI | 利根川太郎 Taro TONEGAWA |

抄 録

近年、高速道路を中心にRC床版の取替需要が増加しているが、RC床版をコンクリート系床版に取り替える場合、施工時間を要するため全面通行止が必要、桁上のコンクリートをブレーカーで除去のため騒音振動などの環境問題が生じ、重量が増加するために耐震性が低下し、橋脚や杭の補強が必要となる。そのため、高疲労耐久性を持ち、軽量の鋼床版を、主桁上部のコンクリートを残置しながら被せて夜間のみの短時間で施工可能なSTEEL-C.A.P.工法®を開発した。本稿ではこの工法の特徴、施工試験による短工期性の実証結果、載荷試験による構造特性の評価結果、さらに初適用工事について概要を説明する。本工法の実用化により、夜間のみでの1車線ごとの床版リニューアルが可能となるため、費用、環境負荷および社会的損失が最小化される。

Abstract

In recent years, the replacement of RC decks has been increasing, especially on expressways. However, when RC decks are replaced with concrete type decks, the entire roadway must be closed to traffic because of the construction time required, environmental problems such as noise and vibration arise because the concrete on the girders must be removed with breakers, and the increased weight reduces earthquake resistance, requiring reinforcement of piers and piles. Thus, the STEEL-C.A.P. method™ was developed, which allows the construction of lightweight steel decks with high fatigue durability in a short time only at night by covering them while leaving the concrete on top of the main girder in place. This paper describes the features of this method, the results of the mock-up test to demonstrate its short construction period, the results of evaluation of the structural characteristics by loading tests, and the outline of the first application of this method. The practical application of this method will minimize cost, environmental impact, and social loss by enabling the renewal of decks for each lane during nighttime construction only.

1. 緒 言

近年、高度成長期に建設された社会インフラの劣化が問題となっている。その中でもRC (Reinforced Concrete) 床版の問題は大きく、今後、本格化する高速道路各社の大規模更新・補修事業においてRC床版の更新は全体の半分以上を占めると予想されている。特に都市内の床版の更新工事では社会的損失の低減のため短工期が求められる。可能であれば夜間の工事のみで、1車線の交通規制だけで、そ

れ以外の時間帯は全車線を車両通行可能とする工法が必要とされている。

一方、古い法令や基準で建設された床版を取り替えるにあたり、当然ながら新しいそれらに従う必要があるが、コンクリート系床版の場合は幅員拡大や床版厚の増大の影響で死荷重の増大が避けられない。床版の死荷重増大は桁の補強をさらに必要とし、それは耐震性の低下による橋脚補強、さらに耐力不足による下部工補強の必要に至る可能性が高い。

* 鉄鋼研究所 鋼構造研究部 鋼構造研究第一室 主幹研究員 博士(工学) 千葉県富津市新富 20-1 〒293-8511

また、都市内では環境問題も重要である。特に夜間に工事を行うと考えられるので、騒音、振動の防止は重要である。その他にも粉じん、異臭などにも配慮する必要がある。従来の RC 床版取替工法では、主桁上のスタッドが配置された部位においては、コンクリートが容易に除去できないために、その部位については人の手でブレーカーを用いて除去を行う必要があり、これが工程上の時間的なボトルネックとなる上に、環境面で大きな課題となっている。

そのため、課題となっている主桁直上コンクリートを部分的に残置することで工期短縮を達成し環境上の課題を解決して、軽量の鋼床版への取替を実現する STEEL-C.A.P. 工法® (Steel deck Composite, Adjustable to Plate girder) を、(株) 横河 NS エンジニアリングと共同で開発したので、本稿ではその特徴とこれまでの取り組みについて述べる。

2. STEEL-C.A.P.工法®の概要と主要な利点

図 1 に提案構造の概略図を示す。既設 RC 床版を撤去するにあたって、最も手間がかかるのは主桁上のずれ止め近傍である。そのため、主桁上のコンクリートの一度では切断できない一部は残置することとした。その上から鋼床版を被せるように設置する。RC 床版撤去前に予め、主桁ウェブに横リブ接続部および添接板を設置しておけば、鋼床版の横リブは、先に取り付けていた横リブ接続部を用いて高力ボルト摩擦接合で容易に主桁と連結することができる。また、先行設置された鋼床版パネルと、その後で設置される鋼床版パネルは、通常の高力ボルト摩擦接合で接合される。

このように既設の主桁と鋼床版パネルはボルトのみで荷重を伝達する構造のため、ボルト接合作業が終了した時点で構造的には鋼床版パネル上に車両を通してよい状態となる。以上のように、既設コンクリート床版の撤去および鋼床版パネルの設置は非常に短時間で実行することができる。夜間のみ 1 車線交通規制、2~3 パネルを交換し、パネル間接合部のみ仮舗装を施して朝には交通解放が可能となる予定である。

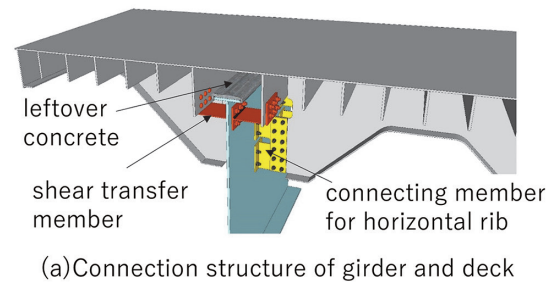
また、交通開放した状態で鋼床版パネルと主桁をせん断

伝達部材で結合する。これより主桁の発生応力が低減され、疲労損傷の発生が防止される。さらに、主桁上の残置コンクリートと鋼床版パネルとの間の空間には工事の終盤でモルタルを充填してもよい。ただし、それは強度活用ではなく防食対策である。充填せず目視点検性を優先することも可能である。

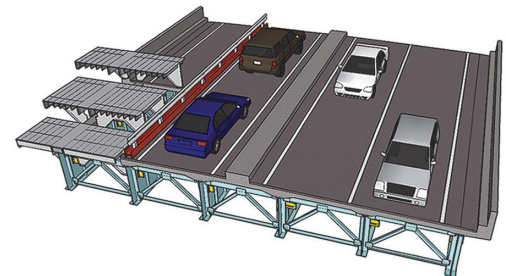
本工法に用いる鋼床版パネルは、東京都市大学の取替用鋼床版パネル研究会の結果として考案された構造であり、デッキプレート板厚は 12mm で、軽量でありながら首都高の重交通下でも疲労損傷を生じないように FEM で照査されている。主桁との接合構造についても FEM で検討を行っており、疲労の課題がないことを確認している。

以上より、本工法の利点を従来のプレキャストコンクリート床版への取替との対比で示したものを表 1 に示すが、施工に関する条件が厳しいほど、本工法の優位性が発揮されると考えられる結果となっている。

本工法の性能を実証するために様々な実験や解析を行ってきたが、以下の 3 章ではそれらの中で主要なものを説明



(a) Connection structure of girder and deck



(b) Renewal of decks for each lane

図 1 本工法の概要
Outline of STEEL-C.A.P. method™

表 1 従来工法に対する利点
Advantages over conventional methods

| | プレキャストコンクリート | STEEL-C.A.P. 工法® |
|--------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 施工速度 | 主桁上部のハツリ、ケレン、スタッド再施工、モルタル硬化時間要などで遅い | 主桁上部コンクリート残置、ボルト施工で速い |
| 騒音振動粉塵 | ハツリでブレーカー作業要、ケレン要 | ブレーカー・ケレン作業は不要 |
| 施工自由度 | 床版切断位置によっては支持桁(縦桁、横桁)が必要 | 切断位置の自由度が高い |
| 安全性 | 取替が進行するごとに重量増加で桁発生応力増加 | 取替が進行するごとに重量低減、また、上フランジが無加工のため耐力低下要因小 |
| 道路拡幅 | 同じ幅で取り替えても重量増のため困難 | 床版が軽くなるため容易 |
| 耐震性 | 重量が増加するので低下 | 床版が軽くなるため向上 |
| 合成桁対応 | ジベル孔へのスタッド配置が困難な場合あり | せん断伝達部材により可能 |
| 付帯コスト | 補強関連コスト、環境関連コストが大 | 補強関連コスト小 |

する。

3. これまでの主な実証内容

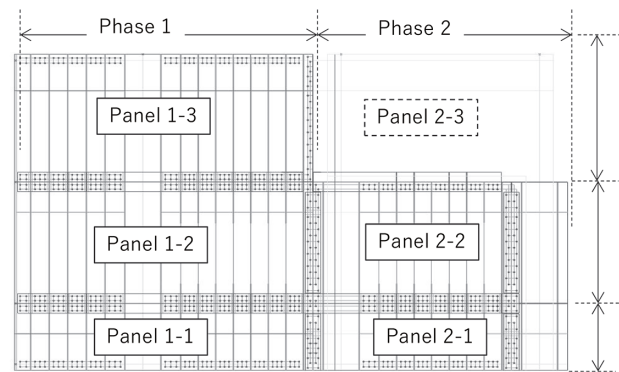
3.1 施工試験および実車載荷試験

本工法の効果確認および、床組構造としての検討モデルの精度確認を目的として、実サイズの施工試験およびその構造を用いた実車載荷試験を行った。

都市高速の既往橋梁標準図 (単純合成 6 主桁橋 $L=40\text{m}$) に基づき、図 1 (b) の片側 2 車線と橋軸方向の鋼床版 3 パネル分を取り出した実大部分模型の施工試験体を製作した。その概要を図 2 に示す。更新前状態の RC 床版と既設 I 桁は、スタッドを用いた合成桁形式とし、取替用の鋼床版は G1 桁の張出し長を RC 床版よりも約 1m 拡張した。

床版の取替は第 1 車線から鋼床版 1 パネルごとに行い、3 パネル敷設後に高力ボルト本締めを行った。続いて第 2 車線を取り替え、これら一連の作業時間を計測した。

図 3 に架設状況を示す。各工程において、取り合いや作業スペースの不足などの課題は特に生じなかった。位置調整のために、鋼床版横リブと主桁に予め設置したスプリット T 形状の取り付け部との取り付けを後孔にした場合も実施したが、これも迅速に完遂することができた。この試験施工の結果で得られた歩掛によって、夜間の 2 パネル取替条件で、一般的なプレキャスト床版の取替時間²⁾と比較したものを図 4 に示す。夜間みの交通規制で工事実施が可能なこと、また、同じ工事時間でより多くのパネル交換が可能であることを確認することができた。



(a) Ground plan (phase 2 almost completed)

(b) Cross section (phase 1 completed)

(c) Cross section (phase 2 completed)

図 2 施工試験体概要
Outline of mock-up test specimen

さらに実トレーラーを用いた載荷を図 5 に示すように、第 1 期施工完了後、第 2 期施工完了後の主桁上モルタル充填前、主桁上モルタル充填・硬化後と合計 3 回実施した。この載荷試験の結果により、最低限の架設系 (図 2 (b) の状態) でも十分に安全であることが実証され、また、これまでの解析的検討に用いた FEM モデルの精度に問題のないことも確認することができた。

3.2 耐荷性能確認試験

本構造において特徴的であるのは、図 1 (a) 中に示す、せん断伝達部材である。この部材の設計手法の妥当性検討、および、この部材による主桁断面力の低減効果の実証のため



図 3 架設状況
Panel erection in mock-up test

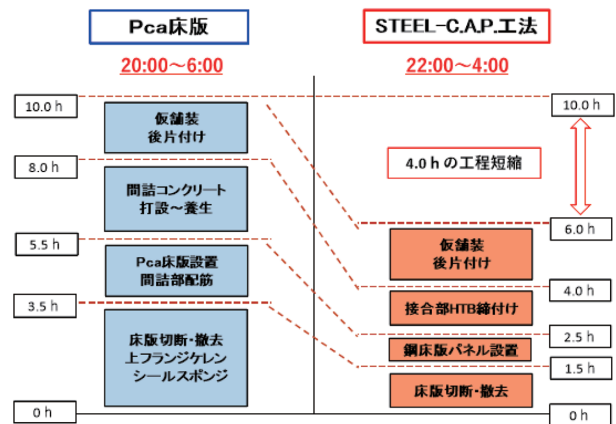


図 4 施工時間比較²⁾
Comparison of required construction time²⁾



図 5 載荷試験状況
Proof-loading test using the mock-up test specimen

めに、桁載荷試験を行った。さらに、最終的には最大荷重まで載荷することによって、STEEL-C.A.P.工法®としての終局状態の確認を行った。

図6に載荷状況、図7に試験でのせん断伝達部材配置状況、図8に試験結果およびFEM解析結果を示す。FEM結果と試験結果の剛性がよく合っていることから、まず、せん断伝達部材の設計の妥当性、および桁応力の低減効果が確認された。さらに、せん断伝達部材がTYPE-2の“疎

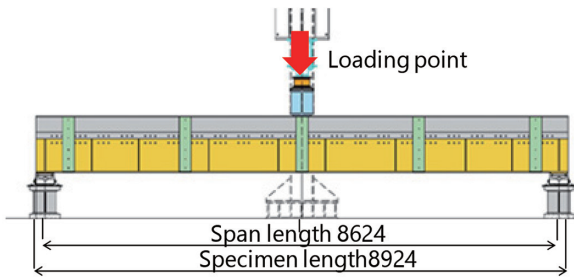


図6 載荷状況
Outline of girder loading test

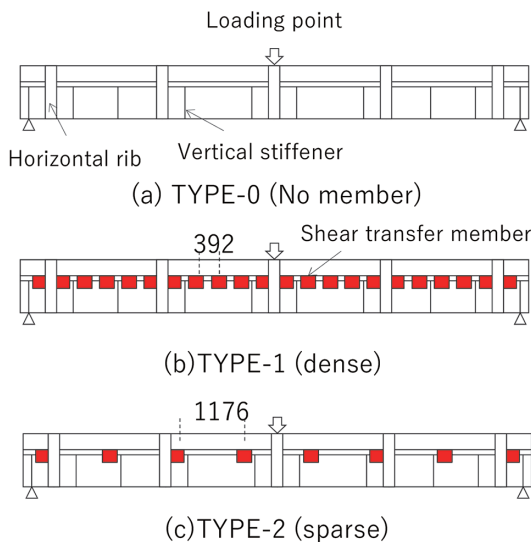


図7 せん断伝達部材配置状況
Arrangement of shear transfer members

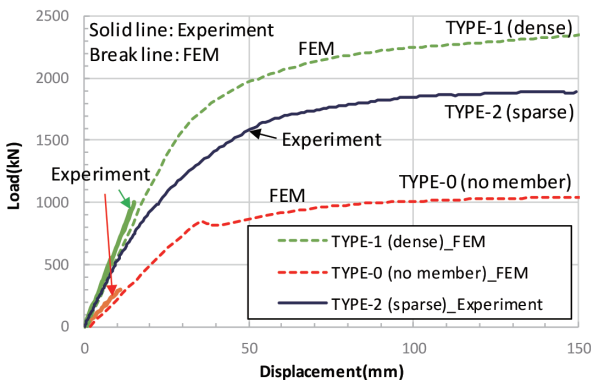


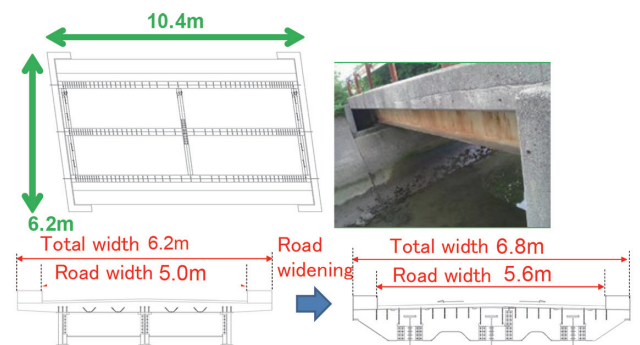
図8 載荷試験結果およびFEM結果
Results of girder loading tests and FEM analysis

配置”の状態で行った終局状態を確認する試験では、主桁上フランジが座屈しても鋼床版が応力を伝達して荷重が低下しないことが実証された。なお、同様に図8中に示したFEM解析結果によれば、せん断伝達部材を配置しないTYPE-0の場合は、主桁上フランジの座屈が生じれば荷重が低下し、TYPE-1“密配置”の場合は主桁の発生応力の低減量が大きい为上フランジ座屈そのものが生じないことが確認された。

4. 初適用工事と今後の期待

これまで角太橋、パネルブリッジ、ニッケル系耐候性鋼など橋梁関係の開発においては、日本製鉄(株)社内の設備物件を活用して初適用の事例を作ってきた。このSTEEL-C.A.P.工法®についても、九州製鉄所が保有する緑川橋への適用が決まり、2023年1月の完成見込みである。また、今回の鋼床版パネルでは、塗装の塗替え期間を延長させLCC低減に寄与する塗装周期延長鋼“CORSPACE®”を九州で初めて採用した。そして、新開発したCORSPACE®仕様の高力ボルトを第1号案件として初採用している。

図9に緑川橋の現在と工事後の一般図を示す。この工事では道路拡幅を行い、施工効率をさらに向上させる図10に示す新開発の専用施工機材も適用する。施工状況を図11に示す。狭隘な現場ながら、RC床版撤去と鋼床版パネル架設、加えてそれらの運搬を当該機材1台で兼用して行うことで、1車線での施工が実現できていることがわかる。



Cross section before and after deck replacement

図9 緑川橋概要
Outline of Midorikawa bridge

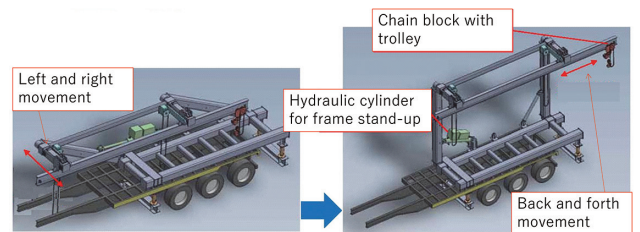


図10 専用施工機材
Deck replacement machine



図 11 施工状況
Midorikawa bridge under deck replacement work

本工法の実現により、迂回路の作れない高速道路の床版取替工事が実施可能となるのみならず、一般道でも従来は

基礎からの再施工が必要であった橋梁の短工期での床版取替=リニューアルが可能となり、費用および社会的損失を最小限にできるようになると考えている。

謝 辞

元日本製鉄プロジェクト開発技術室長の瀬谷和彦氏には開発のリーダーとしてご指導いただきました。また、東海大学名誉教授の中村俊一先生には構造面での技術指導をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 横関, 横山, 富永, 三木: 鋼床版縦横リブ公差部の高疲労強度化, 土木学会論文集 A1, 73 (1), 206-217 (2017)
- 2) 第 45 回 PC 技術講習会テキスト, プレストレストコンクリート工学会, 2017.6



富永知徳 Tomonori TOMINAGA
鉄鋼研究所 鋼構造研究部
鋼構造研究第一室 主幹研究員 博士(工学)
千葉県富津市新富20-1 〒293-8511



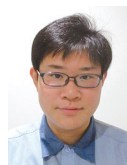
横関耕一 Kohichi YOKOZEKI
鉄鋼研究所 鋼構造研究部
鋼構造研究第一室 主幹研究員 博士(工学)



北市さゆり Sayuri KITAICHI
鉄鋼研究所 鋼構造研究部
鋼構造研究第一室 主任研究員



武野正和 Masakazu TAKENO
プロジェクト開発部 プロジェクト開発技術室
主幹



張 順智 Junji CHO
九州製鉄所 設備部 土建技術室
八幡土建技術課



壺岐 浩 Hiroshi IKI
厚板・建材事業部 厚板技術部
厚板商品技術室 部長代理



竹内大輔 Daisuke TAKEUCHI
(株)横河NSエンジニアリング
執行役員 博士(工学)



利根川太郎 Taro TONEGAWA
(株)横河NSエンジニアリング
イノベーション推進室 室長 博士(工学)