都市高速道路更新事業によって RC 床版を鋼床版化した橋梁の実物大模型載荷試験

LOADING TEST ON FULL SCALE MODEL OF STEEL PLATE DECK REPLACED OF RC SLAB IN METROPOLITAN EXPRESSWAY BRIDGES

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

都市部の高速道路橋は、供用されてから数十年が経ち、建設当時に比べ車両荷重の増大や大型車両通行量が極端に多くなっており、一般道より過酷な使用状況にあることから、桁およびRC床版の損傷が年々深刻化している。損傷が深刻化したRC床版は、更新による対策が急務であり、最小限の交通規制を行いながら社会的影響の少ない施工を進める必要がある。本研究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、実施工での安全性と施工性を検証するために実施した鋼床版化した橋梁の実物大模型載荷試験について報告する。

キーワード: 既設 RC 床版更新, 鋼床版化, FEM 解析, 実物大模型 (モデル) 載荷試験

1. はじめに

都市部の高速道路は,交通ネットワーク確保の観点か ら容易に交通規制をすることができず、片側2車線で供用 中の既設RC床版を夜間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開 発として、「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RC床版を更新し、鋼床版化お よびプレキャストPC床版化する工法について研究開発 を行った $1)^{\sim 4}$. 図-1に既設RC床版を鋼床版化する場合, 夜間1車線規制と昼間交通開放を繰り返す工法の概要図 を示す. 本工法では、図-2に示すように、既設RC床版撤 去時に鋼桁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. そ の結果,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. ただし、FEM解析では施工ステップによ る応力の累積は考慮していない.

そこで、本研究では床版撤去時のGI桁をモデル化した 試験体を作製し、静的載荷試験により、応力の発生状況 について確認することとした.

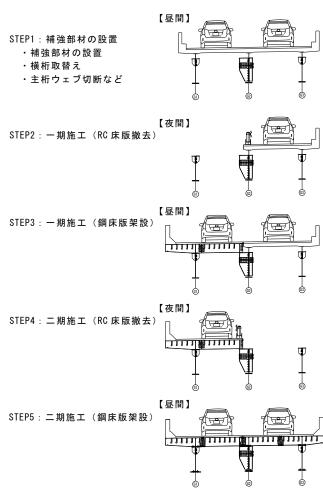


図-1 夜間1車線鋼床版化工法概要図

^{*} 生産技術本部 橋梁設計部 東京設計課 **生産技術本部 技術研究部 ***工事本部 橋梁工事部 工事 1 課

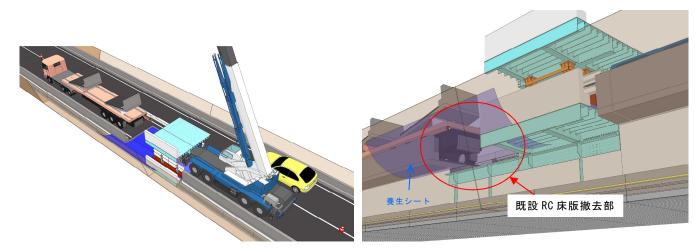


図-2 橋面施工状況 (左) および桁下状況 (右)

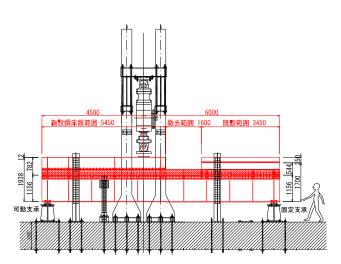


図-3 鋼床版化実物大載荷確認試験概要図

2. 鋼床版化した橋梁の実物大模型載荷試験

2.1 試験概要

載荷試験概要図を図-3 に示す. 静的載荷試験は,床版 撤去時における G1 桁をモデル化した試験体を用い,床 版撤去部に作用する曲げモーメントを集中荷重により再 現した. ただし,試験体で施工ステップを考慮すること は困難であるため,別途試験体をモデル化した FEM 解 析も実施し,試験結果と比較することとした.

2.2 3D-FEM 解析

床版撤去部の応力集中状況を確認するため,以下の 2 種類の 3D-FEM 解析を実施した.

(1) 実橋をモデル化した 3D-FEM 解析

実橋のRC床版撤去時を再現した3D-FEMモデルを図-5に示す.数値解析は線形解析プログラムであるMSCNastran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,主桁はシェル要素とし,RC床版部はソリッド要素でモデル化した.荷重は規制側の車線に重機荷重と死荷重,供用側の車線に活荷重(L荷

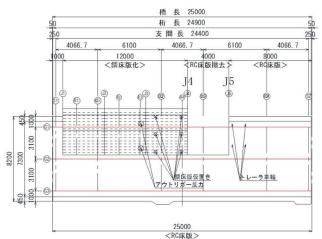


図-4 支間中央付近の施エステップ

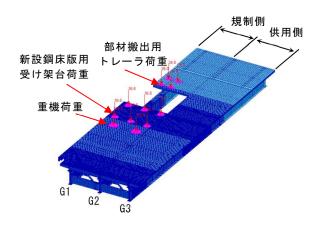


図-5 実橋 3D-FEM モデル

表-1 材料定数

	鋼材	RC 床版
ヤング係数(N/mm²)	2.0×10 ⁵	2.8×10 ⁴
せん断弾性係数(N/mm²)	7.7×10^4	1.2×10 ⁴
ポアソン比	0.3	1/6

重)を載荷し、応力集中状況を照査した.

(2) 試験体をモデル化した 3D-FEM 解析

試験体の変形や応力分布を把握するため,2.4(1)に詳述する試験体をモデル化して 3D-FEM 解析を実施した. 図 -6 に 3D-FEM モデル図を示す. 解析方法,使用プログラム,材料定数,使用要素は実橋モデルと同様である. 載荷荷重は,実橋における床版撤去時の最大曲げモーメントを集中荷重で再現できる値とし,床版撤去部の応力集中状況を照査した.

(3) FEM 解析結果

実橋と試験体の 3D-FEM 解析の結果から、床版撤去部の鋼部材の発生応力は、局部的に許容応力度を超過していることが確認された. 図-7 に最小主応力コンター図を示す. どちらも、鋼床版ウェブの下端に応力集中が発生し、それぞれの最小主応力は、実橋モデルで 342.7 N/mm²、試験体モデルで 272.7 N/mm² であった.

2.3 載荷試験

(1) 試験体

図-8 に試験体概要図を示す. 支間長 24.9 m の実橋を支間長 10 m の実験桁部として取出し,桁高は実橋と同じ 1700 mm とした. 断面は施工ステップを再現するため,鋼床版断面,床版撤去断面,RC 床版断面の 3 種類を模擬した. 各断面は,実橋と試験体の支間長の比率(10/24.9=0.40)と剛度比が同等となるよう設定した.また,各断面で中立軸位置を実橋に合わせた.

表-2 に試験ケースを示す. 試験ケースは,発生応力が最も大きいと考えられる支間中央の施工ステップ(図-4)において,格子解析で得られた断面力から算出された荷重をケース1とした.

つぎに,実橋モデルと試験体モデルの 3D-FEM 解析で得られた,応力集中箇所におけるミーゼス応力の最大値の比率をケース1に乗じた荷重をケース2とした.

ここで、図は掲載していないが、FEM モデルのミーゼス応力の最大値が $371.0~N/mm^2$ と計算されたが、試験体モデルでは $279.6~N/mm^2$ が最大であった.

なお、予備載荷としてケース 1 の 1/2 の荷重で載荷を 実施し、試験桁の挙動を把握した.

表-2 試験ケース

	荷重ケース	載荷荷重
		(kN)
_	予備載荷	400
ケース 1	設計値	806.7
ケース 2	実橋 3D-FEM 最大応力相当	1072.9

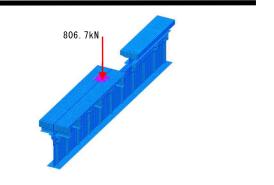


図-6 試験体 3D-FEM モデル

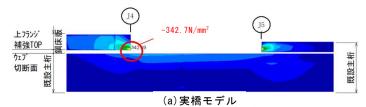
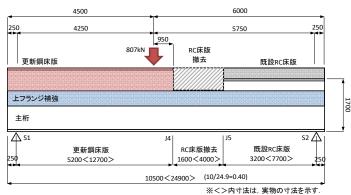
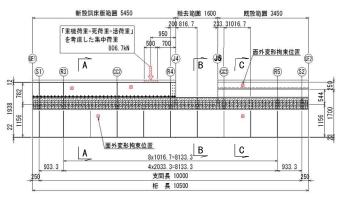
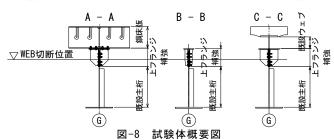


図-7 最小主応カコンター図







(2) 荷重載荷方法

RC 床版撤去部から鋼床版側へ 950 mm の位置に表-2 に示す集中荷重を載荷した. 載荷位置および載荷荷重は, 実橋における床版撤去時の断面力より, 実橋と試験体の剛度比率を考慮して設定した. 試験状況を写真-1 に示す.

2.4 試験結果

(1) 試験体の変位

支間中央付近での最大鉛直変位は約6 mm であり,試験体モデルの FEM 解析結果による桁のたわみ量は,約5.7 mm であったことから概ね一致した. 図-9 に設計荷重載荷時の変位分布図を示す.

(2) 床版撤去部の応力性状 (3軸ひずみゲージ)

着目部である床版撤去部付近の発生応力について FEM解析と実験値を比較した結果を図-10に示し、以下 の結果となった.

鋼床版ウェブ (SM400A)

発生応力は、全ての計測点において、実験値の方が解析値よりも小さい.(図-10 a))

② 上フランジ補強ウェブ (SM490YA) 発生応力は,実験値と解析値を比較すると,同等,も しくは小さい.(図-10 b))

③ 上フランジ補強フランジ (SM490YA)

発生応力は、全ての計測点において、実験値の方が解析値より小さい.(図-10 c))

また、最小主応力の角度については、全ての計測点において実測値は概ね FEM 解析と整合した.

3. まとめ

鋼床版化工法の 3D-FEM 解析の結果より、床版撤去部付近に過大な応力集中が懸念されたため、床版撤去時の鋼桁断面の一部撤去を再現した実物大模型載荷試験を実施した. その結果、以下の事項が明らかとなった.

- (1)床版撤去部付近に発生する応力は 3D-FEM 解析結果 と同等,もしくは小さい値であることを確認した.最 も応力が大きい箇所でも,実験値の方が 3D-FEM 解析 結果よりも小さいことを確認した.よって,床版撤去 部の応力は実橋においても,FEM 解析値と同等もしく は小さいと考えられる.
- (2)床版撤去部以外の箇所でも、格子解析結果と 3D-FEM 解析、および実物大載荷試験の発生応力が概ね整合した.

以上より,本研究の対象橋梁において,床版撤去部の 応力集中部以外は,格子解析を用いて補強設計を行うこ とは問題ないと考えられる.



(a) RC 床版部および RC 床版撤去部



(b)鋼床版部

写真-1 試験状況

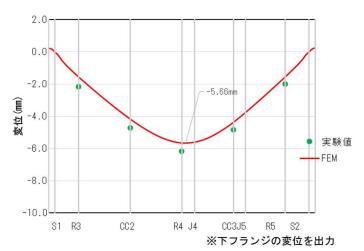
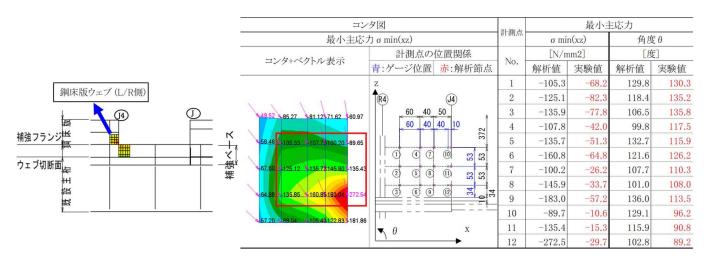
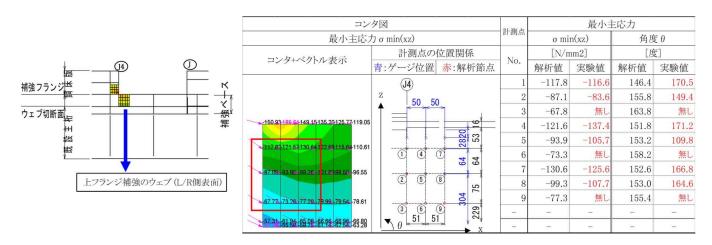


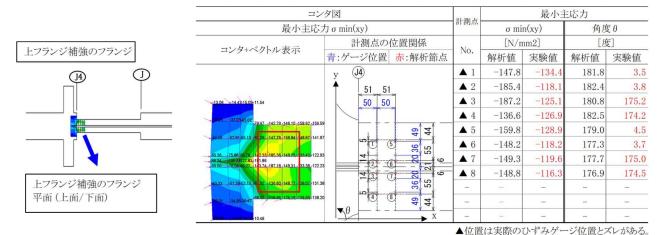
図-9 試験体の変位分布



a) 鋼床版ウェブ



b) 上フランジ補強ウェブ



c)上フランジ補強フランジ

図-10 FEM解析と実験値の比較

4. 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.

5. 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)平野, 橘, 濱野, 内海, 吉川, 高木: 既設 RC 床版および更新鋼床版継手部における舗装の疲労試験, 土木学会第74回年次学術講演会, VI-575, 2019年9月
- 4)橘, 佐藤, 濱野, 内海, 齊藤, 中村: 既設 RC 床版更新における鋼床版化実物大載荷確認試験, 土木学会第75回年次学術講演会, VI-707, 2020年9月