

## 論文・報告

# SCデッキ・スタッドレスの 製作・施工の合理化対策

## Rationalization of Fabrication and Construction for SC-deck Studless

池田 智子 \*1  
IKEDA Tomoko

児嶋 亮佑 \*2  
KOJIMA Ryosuke

岩田 龍也 \*3  
IWATA Ryoya

岩井 学 \*4  
IWAI Manabu

山崎 一真 \*5  
YAMAZAKI Kazuma

庭山 孝史 \*6  
NIWAYAMA Takashi

鋼コンクリート合成床版（以下、合成床版）は耐久性や施工性の利点から多くの橋梁に採用されている。川田工業のSCデッキは、1983年から現在に至るまで170万m<sup>2</sup>を超える採用実績があり、代表的な合成床版形式となっている。一方で、SCデッキの性能をさらに向上させた新型のSCデッキ・スタッドレスは、2021年に初めて採用されてから現在に至るまで30万m<sup>2</sup>を超える採用があり、橋梁以外ではシールトンネル中床版にも採用されている。

本稿では、SCデッキ・スタッドレスに関して、多機能突起リブの新しい現場接合、側鋼板の製作性の向上、突起リブを利用したプレファブ鉄筋の適用事例について報告する。

キーワード：鋼コンクリート合成床版、SCデッキ・スタッドレス、多機能突起リブ

## 1. はじめに

合成床版の代表的な形式であるスタッドジベルを使用した従来型のSCデッキは、耐久性や施工性の利点から多くの橋梁に採用され、代表的な合成床版形式となっているが、現状を維持することは技術の発展を阻害することにつながると判断し、根本的なモデルチェンジを実施した。その成果が新型のSCデッキ・スタッドレス<sup>1)</sup>である。

本稿では、SCデッキ・スタッドレスの特徴や採用実績を示すとともに、多機能突起リブの新しい現場接合、側鋼板の新たな仕様、鉄筋施工の合理化について報告する。

## 2. SCデッキ・スタッドレスの特徴

SCデッキの性能をさらに向上させたSCデッキ・スタッドレスの特徴について説明する。図1に示す通り、SCデッキ・スタッドレスの底鋼板の補強横リブには、従来使用していた「平鋼」に代わり、新たに開発した「多機能突起リブ」を適用している。

ずれ剛性が高い多機能突起リブ（以降、突起リブと略す。）とコンクリートを一体化させることができるため、従来型のSCデッキに使用していたスタッドジベルを省

略している。これにより、安全性・施工性・経済性・耐久性が向上している。また、突起リブの滑らかな突起形状により、コンクリート打設時の空気や水分などの滞留がなく充填性に優れている。なお、突起リブは電炉材の形鋼であり高炉材に比べCO<sub>2</sub>排出量の削減が可能である。

## 3. SCデッキ・スタッドレスの疲労耐久性

突起リブを用いたSCデッキ・スタッドレスは、図2に示す通り、輪荷重走行試験の載荷時のたわみおよび除

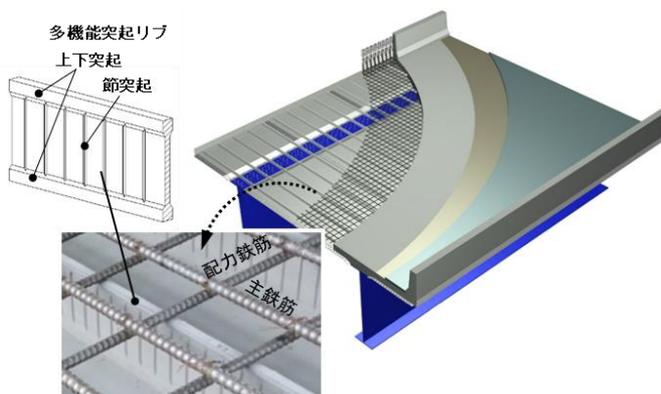


図1 SCデッキ・スタッドレスの概要図

\*1 川田工業㈱橋梁事業部技術統括部複合構造部大阪複合課 主幹

\*2 川田工業㈱橋梁事業部技術統括部複合構造部大阪複合課

\*3 川田工業㈱橋梁事業部技術統括部東京技術部富山技術課

\*4 川田工業㈱橋梁事業部技術統括部東京技術部東京技術課 主幹

\*5 川田工業㈱橋梁事業部技術統括部東京技術部東京技術課 主任

\*6 川田工業㈱橋梁事業部技術統括部複合構造部東京複合課 課長

荷時のたわみが、PRC床版や従来型SCデッキと比べて小さく抑えられており、従来型SCデッキより疲労耐久性が大きく向上していることが確認できる。また、走行試験の終了までたわみが直線的に推移しており、剛性の低下が非常に少ない合成床版である。さらに、連続桁の中間支点付近の負の曲げモーメントに対して上側配力鉄筋量によりひび割れを分散し、道路橋示方書のプレストレスしない連続合成桁と同程度のひび割れ幅に制御できることが確認されている<sup>2)</sup>。

#### 4. SCデッキ・スタッドレスの採用実績

SCデッキ・スタッドレスは、2021年以降、多くの工事で採用され、実績を伸ばしてきた。ここでは、その代表例を紹介する。

##### (1) 島方橋（栃木県）

写真1に示す島方橋は、初めてSCデッキ・スタッドレスを採用した橋梁であり、橋長29.7mの単純合成桁橋である。本工事においては、製作・施工の省力化を確認することができた。

##### (2) 根古屋川橋第2橋（国土交通省関東地方整備局）

写真2に示す根古屋川橋第2橋は、初めて連続桁形式に採用された橋長210.7mの3径間連続非合成細幅箱桁橋である。なお隣接する根古屋川橋第1橋には従来型のSCデッキが採用されている。

##### (3) 余戸南第6高架橋（国土交通省四国地方整備局）<sup>3)</sup>

写真3に示す余戸南第6高架橋は、橋長211.5mの5径間連続合成開断面箱桁橋である。初めて開断面箱桁橋にSCデッキ・スタッドレスを適用するため、現場施工における様々な課題に関して検討を行った。

##### (4) 高速1号羽田線（首都高速道路株式会社）<sup>4)</sup>

高速1号羽田線は、東品川栈橋・鮫洲埋立部における全長1.9kmの大規模更新工事のⅡ期線工事である。Ⅰ期線ではプレキャストPC床版が採用されたが、Ⅱ期線では狭隘な施工空間に対応するために写真4に示すようにSCデッキ・スタッドレスが採用された。

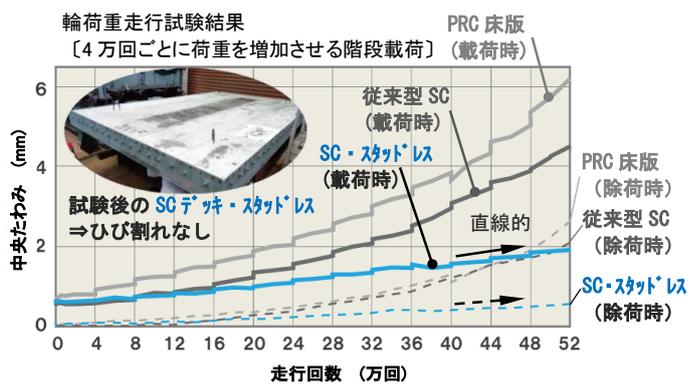


図2 輪荷重走行試験結果



写真1 島方橋



写真2 根古屋川橋第2橋



写真3 余戸南第6高架橋



写真4 高速1号羽田線

### 5. 多機能突起リブの接合構造<sup>5)</sup>

広幅員の橋梁の場合、輸送長の制約からS Cデッキの底鋼板パネルを分割する必要がある。分割位置は主桁 2 本以上で支持できる位置として中主桁上となる場合が多く、横リブに平鋼を使用する従来型 S Cデッキでは、写真 5 に示すように高力ボルトを用いて横リブを接合している。

S Cデッキ・スタッドレスの場合は突起リブの側面に節突起があるため、従来型の S Cデッキのように高力ボルトを用いて直接接合することが困難である。

そこで、S Cデッキ・スタッドレスにおける突起リブ分割部構造についてその特性を実験的に検証した。

#### (1) 試験体の種類

突起リブ分割部の試験体の構造を表 1 に示す。タイプ No.1 は分割を設けないタイプであり、分割したタイプとの性能を比較するために設けている。タイプ No.2~No.4 は、突起リブを連続させないタイプであり、突起リブの浮き上がり防止を目的とした台座プレート（台座）を設けている。タイプ No.2 と No.3 にはずれ止め機能を向上させるために直径 70mm の貫通孔を設け、貫通鉄筋の効果を確認する。

#### (2) 試験方法

試験体諸元を表 2 に示す。図 3 に示すように、試験体形状は長さ 5.150m、幅 2.250m、床版厚 0.25m とし、中主桁を想定した H 形鋼の位置に突起リブの分割部を設けた。静的載荷試験は、中主桁を挟む両側に輪荷重が作用するケースを想定し、主桁付近の床版に負曲げモーメントを発生させるため、天地反転させた試験体の中央部に鉛直荷重 P を載荷した。

載荷ステップはコンクリートのひび割れ発生時に主鉄筋の発生応力が 70, 100, 120, 140N/mm<sup>2</sup> となる 5 ステップとした。各ステップでは、載荷と除荷を 5 回繰り返した。なお、主鉄筋には既に載荷架台重量と試験体自重により支間中央部に 4N/mm<sup>2</sup> の引張応力が作用している

ことを考慮して、載荷荷重を設定した。

試験における計測項目は、支間中央部の鉛直たわみ、突起リブ分割部とハンチ終端部の主鉄筋のひずみおよびコンクリート上面のひび割れ発生状況である。

#### (3) 試験結果

試験体中央の突起リブ分割部における載荷荷重と主鉄筋応力の関係を図 4 に示す。主鉄筋応力はひずみ計測値より算出し、各ステップの初期載荷時の値をプロットしている。主鉄筋の発生応力はタイプ No.1~5 において載



写真 5 従来型 S Cデッキの横リブ接合

表 1 多機能突起リブの分割部構造のタイプ

No	適用			概略図
	台座PL t=16	貫通孔 φ 70	貫通筋 D16	
1	接合なし			
2	○	○	/	
3	○	○	○	
4	○	/	/	
5	高力ボルト接合 M22 x 75 (S10T)			

表 2 試験体諸元

床版厚（底鋼板含む）		250 mm	
底鋼板	板厚	6 mm	
	材質	SM400A	
多機能突起リブ	間隔	600 mm	
	材質	SM490A	
主鉄筋	径・間隔	D22@ 100 mm	
	材質	SD345	
配力筋	径・間隔	D19@ 200 mm	
	材質	SD345	
コンクリート (膨張材 20 kg/m <sup>3</sup> 添加)	No. 1 No. 2 No. 3	材齢	44日
		圧縮	43.4 N/mm <sup>2</sup>
		引張	3.7 N/mm <sup>2</sup>
	No. 4 No. 5	材齢	49日
		圧縮	37.3 N/mm <sup>2</sup>
引張	3.3 N/mm <sup>2</sup>		

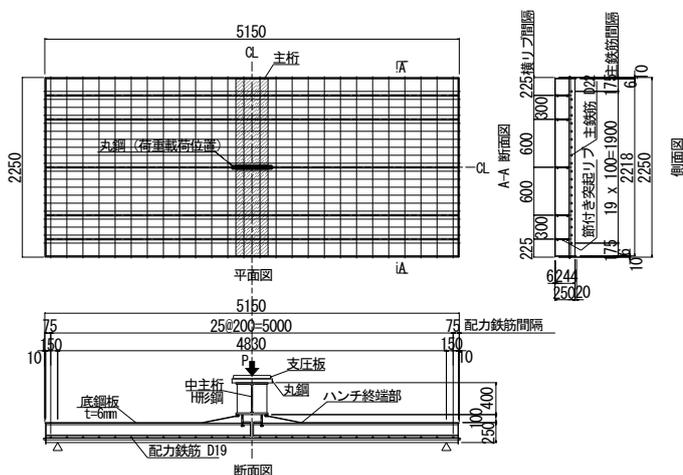


図 3 試験体の構造図

荷重の増加とともに緩やかに引張コンクリートと突起リブ無視の計算値に近づく傾向にある。

突起リブ分割部近傍のコンクリート上面における載荷重とひび割れ幅の関係を図5に示す。ひび割れ幅はパイ型変位計による計測値であり、各ステップの初期載荷時の値をプロットしている。突起リブ分割部近傍での主鉄筋の発生応力が  $120\text{N/mm}^2$  となるひび割れ幅は  $0.09 \sim 0.13\text{mm}$  であり分割構造によらず同程度の値を示している。したがって、突起リブ分割部の構造が鉄筋応力およびひび割れ幅に大きく影響していないことがわかる。なお、主鉄筋の発生応力度が  $140\text{N/mm}^2$  となる場合のひび割れ幅は、すべての試験体で  $0.2\text{mm}$  以下であった。

タイプ No.2 のコンクリート上面で観察されたひび割れの分布を図6に示す。最初にひび割れの発生を目視確認した箇所は、いずれの試験体も主鉄筋応力が最大となるハンチ終端部付近であった。その後、荷重の増加とともにひび割れ発生範囲が拡大するが、主鉄筋の発生応力が  $140\text{N/mm}^2$  となる載荷重において、各タイプのコンクリート上面のひび割れ分布に大きな差異は見られなかった。

以上により、分割部の構造によらず、主鉄筋応力によりコンクリート上面のひび割れ幅を制限できることが確認された。このことから、突起リブの分割タイプのうちタイプ No.2 を採用することとした。

**(4) 実橋への適用**

写真6に実橋への適用したタイプ No.2 の貫通孔のみを設けた分割部を示す。従来型の S Cデッキと比べ、高力ボルト締付け作業が不要となり、現場作業を省力化することが可能になった。

図7に示すタイプ No.5 は、外主桁上で分割した場合の高力ボルト接合タイプである。突起リブの節部分を避けるための連結プレートを上突り部分に溶接し、連結板を用いて高力ボルト接合を行うものである。

**6. 高耐食めっき鋼板の側鋼板への適用**

合成床版の場合、地覆や壁高欄の外型枠として鋼板を

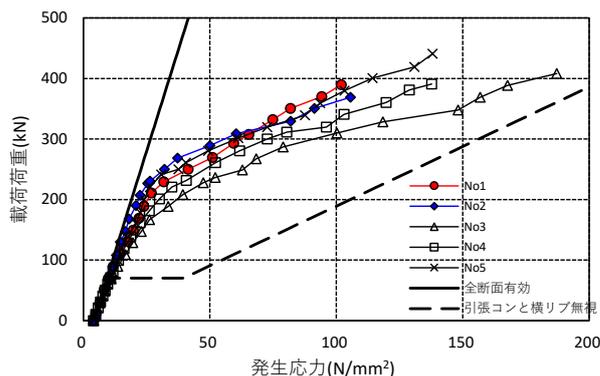


図4 接合部の主鉄筋応力

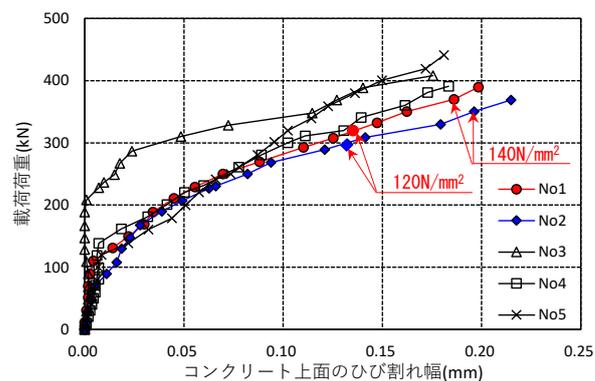
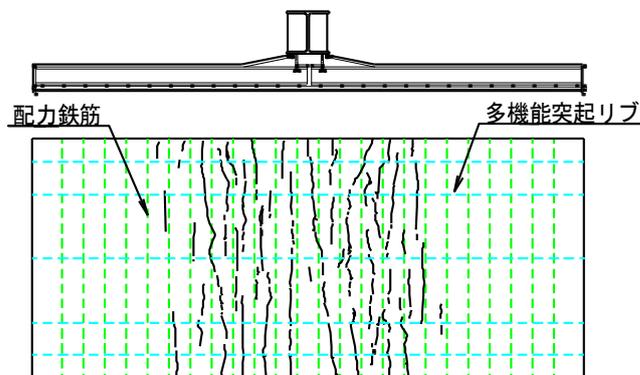


図5 接合部近傍のひび割れ



※主鉄筋応力  $140\text{N/mm}^2$  時

図6 タイプ No.2 のコンクリート上面のひび割れ分布



写真6 タイプ No.2 の適用事例

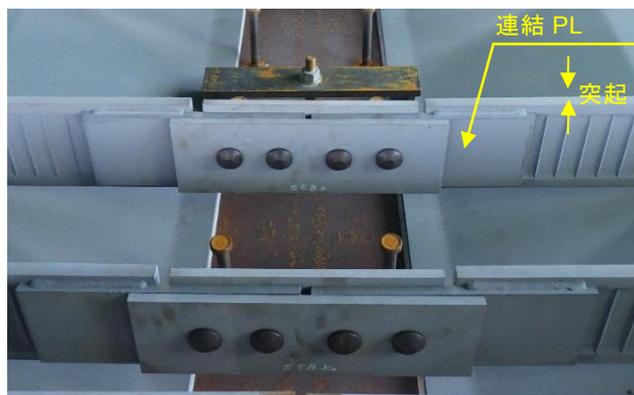


図7 タイプ No.5 の適用事例

用いる場合が比較的多い。このような側鋼板には、一般的に塗装仕様のものを使用しているが、製作の効率化や耐食性を高めるために、高耐食のめっき鋼板の適用を検討した。

**(1) 高耐食めっき鋼板 KOBEMAG® 6)**

環境に配慮したクロメートフリー処理の高耐食めっき鋼板 KOBEMAG® (以降、めっき鋼板と略す。)の構成を図 8 に示す。亜鉛-6%アルミニウム-3%マグネシウムのめっき層を持つ鋼板であり、以下の特長を有している。

①一般部 (平面部) は、マグネシウムを含む亜鉛、亜鉛-アルミニウム系保護被膜により、熔融亜鉛めっきに比べて優れた耐食性を有している。

②切断部は、めっき層から溶出したマグネシウムを含む緻密な亜鉛系保護被膜が端面部を覆うことにより、優れた耐食性を示す。

なお、文献 7)ではめっき鋼板の耐食性を確認した。

**(2) 施工試験の目的**

めっき鋼板の板厚には 2.3, 3.2, 4.5, 6mm のラインナップがあるが、ねじスタッドの溶接性や熔融亜鉛めっきを施す板厚 6mm の側鋼板と同等程度の経済性となることから 3.2mm を選択した。3.2mm のめっき鋼板は、従来の板厚 6mm の側鋼板に比べて薄板であるため、コンクリート打設時の側圧による変形が大きく、壁高欄の出来形に影響することが懸念される。そのため、めっき鋼板を使用した壁高欄の実物大試験体による施工試験を実施した。

**(3) 施工試験の方法**

施工試験の状況を図 9 に示す。本試験体は、通常の壁高欄に対して約 1.4 倍の側圧が作用するように幅 450mm, 高さ 990mm の長方形断面とした。

写真 7 に施工試験の状況を示す。側圧による側鋼板の変形量は、写真 8 に示すように水糸を張って計測した。

また、本試験に先立ち、図 10 に示すモデルを用いた FE 解析を実施している。

**(4) 試験結果**

側鋼板の変形量は、図 10 に示す A-A~C-C 断面において計測を行った。変形量の計測結果と FE 解析結果との比較を図 11 に示す。

側鋼板の変形量は、B-B, C-C 断面において最大で 5.3mm であり、コンクリート施工管理要領<sup>8)</sup>に規定される壁高欄厚さの許容誤差をわずかに超える結果であった。今回の試験体は、実際の壁高欄に対し約 1.4 倍の側圧が作用する長方形断面であるため、実構造物では許容誤差を満足するものと判断できた。なお、図 11 に示す通り、各断面において、試験結果と FE 解析結果の変形性状がおおむね一致していることがわかる。

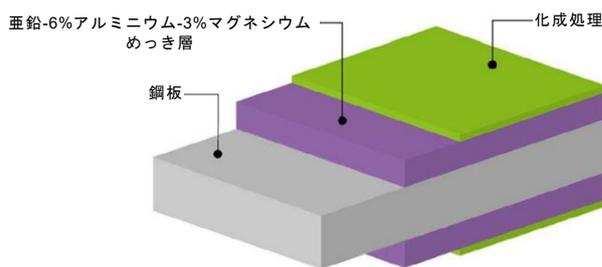


図 8 高耐食めっき鋼板 KOBEMAG®の仕様

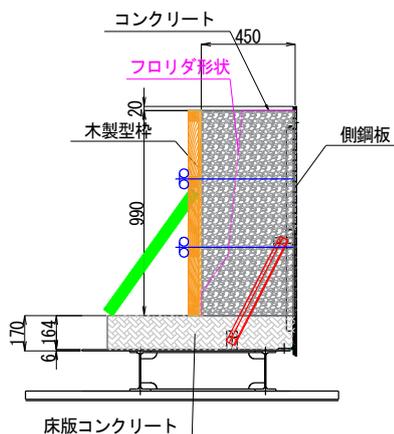


図 9 試験体断面図



写真 7 壁高欄の施工試験の状況



写真 8 側鋼板の変形量の計測

### (5) 実橋への適用

実橋に適用した事例を図 12 に示す。側鋼板の組立てには、全てねじスタッドを使用して接合したため、溶接によるひずみが発生しない。また、めっき鋼板の場合、溶融亜鉛めっきと異なり、組立て後のめっき工程やひずみ矯正作業を削減できる。さらに、板厚 3.2mm のめっき鋼板を使用することでパネル重量を軽減でき、現場作業の効率が改善された。

## 7. 鉄筋施工の合理化

地覆や壁高欄部などを除いて、合成床版の鉄筋は上側のみに配置されるとともに、直筋が使用されている。現場における鉄筋の施工を省力化するために、プレファブ鉄筋の適用を検討した。

プレファブ鉄筋として適用性の検討対象としたものは、ロールマット工法<sup>9)</sup>である。この工法は、主に建築の土間コンクリートなどで使用されており、通常は D10 や D13 の細径鉄筋を、間隔を一定にして使用されることが多い。一方で、橋梁の床版で使用する鉄筋は D19~D25 であるため製作性や施工性の確認が必要となった。

また、SCデッキ・スタッドレスでは、主鉄筋を突起リブ直上に平行配置すると、突起リブと主鉄筋の間隔が狭くコンクリートが十分に充填されないことから、突起リブ直上に主鉄筋を配置することを避けており、主鉄筋間隔が一定ではない。そのような条件にロールマット工法が適合するかどうかを確認する必要があった。

そこで、実物大の試験体を製作し、プレファブ鉄筋の施工試験を行った。施工試験では、主鉄筋の束と配力鉄筋の束をそれぞれ製作し、現場施工を想定して、鉄筋ピッチの罫書、クレーンでの荷揚げ、鉄筋の展開、配置調整の各段階における施工性や出来形精度の確認を行った。

施工試験の状況を写真 9 に示す。鉄筋の展開作業では、結束線が切れることが確認され、太径の鉄筋に起因する課題が確認されたが、鉄筋組立て作業については作業時間の削減ができ、効率化が期待できることがわかった。

施工試験の結果を受け、プレファブ鉄筋メーカーと協議を重ね、結束線を太径にするなどの改良を施したプレファブ鉄筋を実橋に採用した。その状況を写真 10 と図 13 に示す。施工試験では、5~6 人で展開していたが、ロープで引いて展開する方法に変更したことにより、3 人で作業することができた。一方で、展開後に鉄筋配置の微調整に手間取るなどの課題も確認された。これについては、プレファブ化された鉄筋間隔の誤差が、プレファブ鉄筋製造時、輸送時、現場作業時のどの段階で生じやすいのかを確認して対策を検討し、今後の工事に反映する予定である。

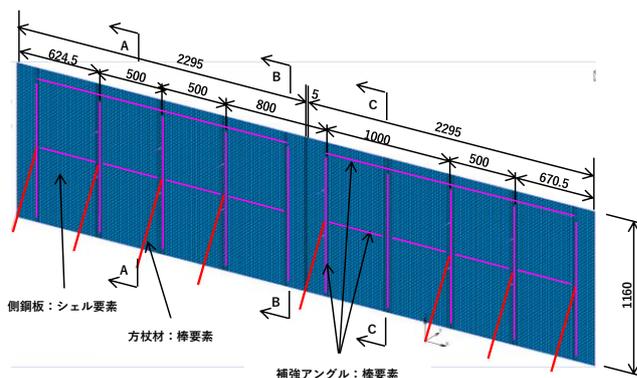


図 10 FE 解析モデル図

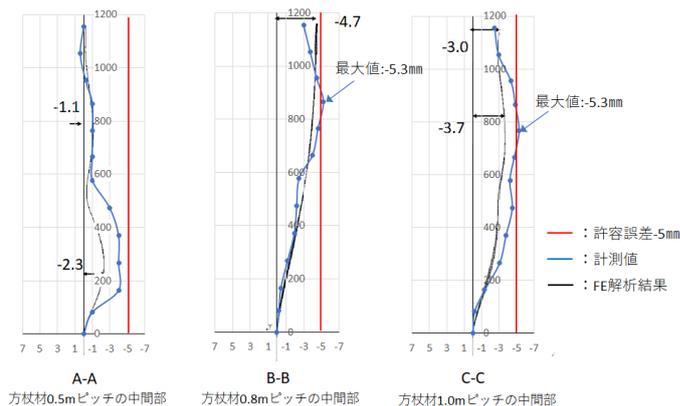


図 11 計測値と FE 解析結果との比較



図 12 めっき鋼板を実橋に適用した事例



写真 9 プレファブ鉄筋の施工試験

## 8. おわりに

本報告では、SCデッキ・スタッドレスに関して工場製作性の向上や現場施工の省力化について検討した。今後も改善や新しい技術の導入を検討し、施工の合理化、省力化に寄与する合成床版であり続けるよう取り組んでいく。

### 参考文献

- 1)小枝, 岩田, 丹羽: 令和時代に挑むスタッドレス合成床版～SCデッキのフルモデルチェンジ～, 川田技報, Vol.39, 技術紹介 6-2, 2020.1.
- 2)岩田, 中川, 甲木, 小枝, 松井, 東山: 多機能突起リブを有する鋼コンクリート合成床版を適用した中間支点部における力学特性, 構造工学論文集, Vol.67A, 土木学会, pp.395-405, 2023.3.
- 3)三原, 横井, 中尾, 竹村, 曾根, 木渡路: 松山外環状道路空港線余戸南第6高架橋上部工事の設計・施工, 橋梁と基礎, Vol.58, 2024.4.
- 4)笹森, 細井, 石川, 構: 首都高速1号羽田線更新工事東品川栈橋部に採用した鋼・コンクリート合成床版, 土木学会第79回年次学術講演会公演概要集, VI-1187, 2024.9.
- 5)玉利, 辻, 藤林, 庭山, 森下, 秋元: 長支間合成床版における底鋼板パネルの施工時耐荷力評価, 土木学会第79回年次学術講演会公演概要集, CS6-29, 2024.9.
- 6)KOBEMAG®パンフレット, 株式会社神戸製鋼所, 2023.8.
- 7)大野, 稲田, 宗京: 合成床版側鋼板へのめっき鋼板の適用～高耐食溶融めっき鋼板 KOBEMAG®～川田技報, Vol.43, 技術紹介 11-1, 2024.1.
- 8)東日本高速道路株式会社, コンクリート施工管理要領, 2021.7.
- 9)ロールマット工法パンフレット, 株式会社ロールマトトジャパン, 2024.9.



写真10 展開前のプレファブ鉄筋



図13 実橋でのプレファブ鉄筋の展開