

幅員方向分割施工による PC 合成桁橋の床版取替工事—花岡第二高架橋—

(株)大林組 正会員 ○池田 優雄
中日本高速道路(株) 正会員 後藤 俊吾
中日本高速道路(株) 桑原 伸夫
(株)大林組 正会員 梶原 尚平

1. 目的

本報文は中央自動車道の諏訪IC～岡谷JCTに位置する花岡第二高架橋の床版取替工事に関する設計報告である。橋長104.0mのPC4径間連続合成桁橋であり、建設後40年以上経過している。本橋は凍結防止剤の散布による塩害などの影響により既設RC床版の劣化が顕在化したため、高耐久なプレキャストPC床版（以下、PCaPC床版）への取替えが実施されることとなった。上下線分離構造であること、岡谷JCTの合流点が近接していることから、一般的な対面通行規制による全断面工法による施工は困難となり、片側車線規制による幅員方向分割施工による床版取替工事となる。本報告では、これまでに前例のない幅員方向分割施工を適用したPC合成桁橋の床版取替工事の設計について報告する。

2. 工事概要

本橋の工事概要を表-1、床版取替え前の断面図を図-1に示す。既設橋はプレキャスト桁と場所打ちコンクリート床版で構成される。図-2に既設橋のPC鋼材配置図を示すが、5m程度のプレキャスト桁を主桁内ケーブルで連結し、支点部はプレキャスト桁相互から突き出した鉄筋と主桁連結ケーブルにより結合されている。また、中間支点上の負曲げモーメントにより床版に生じる引張応力度を低減するために、床版内ケーブルが配置されている。本工事は、幅員方向分割施工のため床版架設機を用いて場所打ちコンクリート床版をPCaPC床版へ取り替える。

表-1 工事概要

工 事 名 称	中央自動車道（特定更新等） 花岡第二高架橋床版取替工事
発 注 者	中日本高速道路(株) 八王子支社
施 工 場 所	中央自動車道 諏訪IC ～ 岡谷JCT
構 造 形 式	PC4径間連続合成桁橋
橋 長 (支間割)	104.00m (25.55m+2@25.95m+25.55m)

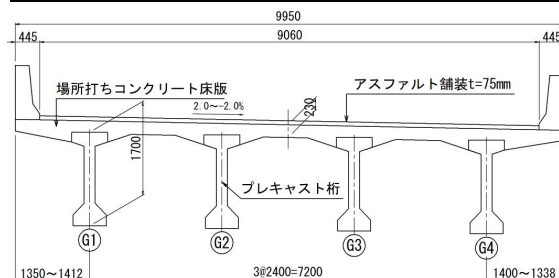


図-1 床版取替え前の断面図

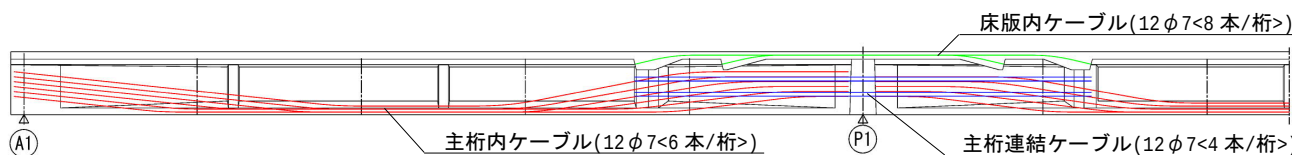


図-2 既設橋のPC鋼材配置図

3. PCaPC 床版設計

床版取替後は路面高が上がるため、舗装の擦付けが必要となる。擦付け区間を短くするために路面嵩上げ量を最小限とする必要があった。そこで、図-3 に示すとおり、路面高さの上昇を抑制し舗装の擦付け範囲を短縮可能な最小床版厚 220mm の帽子形ハンチを有する PCaPC 床版を採用した¹⁾。また、端部版を含めてすべて PCaPC 床版を採用し、床版幅は 2.0m を標準とした。図-4 に標準版の PCaPC 床版断面図を示す。本橋は合成桁であり床版と主桁の一体化を図るすれ止め鉄筋を 500mm 以内で配置する必要があった。超高強度繊維補強コンクリート（以下、UFC）を用いた接合構造では橋軸直角方向鉄筋が不要となるり、すれ止め鉄筋を橋軸方向接合部（以下、横目地）にも配置可能となる。そのため、UFC を用いた接合構造を採用した。床版取替え

キーワード 幅員方向分割施工, PC 合成桁, UFC, 床版内ケーブル, クリーブ

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 株式会社大林組 TEL 050-3829-1871

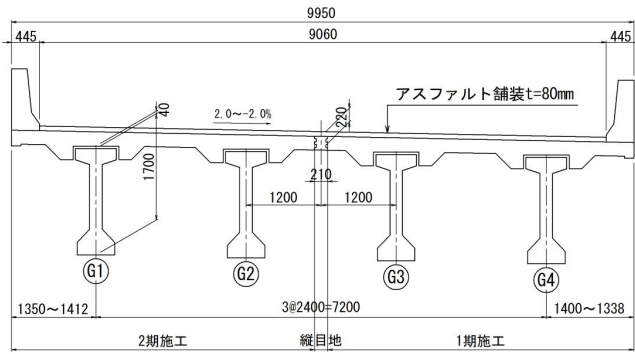


図-3 床版取替え後の断面図

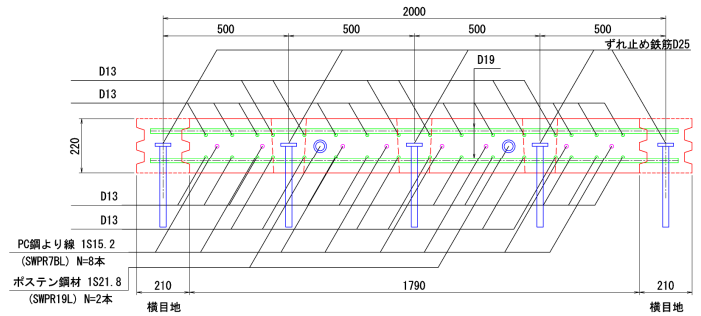


図-4 標準版の PCaPC 床版断面図

手順は 1 期施工として G3,G4 桁側を, 2 期施工として G1,G2 桁側の床版取替えを実施する. 1 期施工床版と 2 期施工床版との橋軸直角方向接合部 (以下, 縦目地) は, 施工時の幅員確保の観点から接合幅を最小化できる横目地同様の接合構造とした²⁾. 縦目地には 1S21.8 によるプレストレスを導入し, PCaPC 床版は縦目地近傍を含めたすべての断面を PRC 構造として設計した.

4. 主方向の曲げ補強設計

(1) 曲げ補強方法の検討

床版取替え時に撤去される床版ケーブル分 (12φ7<8本/桁>) のプレストレスを補填する必要がある. また, 床版構造の変更やB活荷重への対応により, 床版取替え後は建設時より死荷重および活荷重が増加する. そのため, 床版や主桁に発生する断面力が床版取替え前より大きくなり, 曲げに対する補強が必要となった. 曲げ補強方法について, 以下の2案検討した.

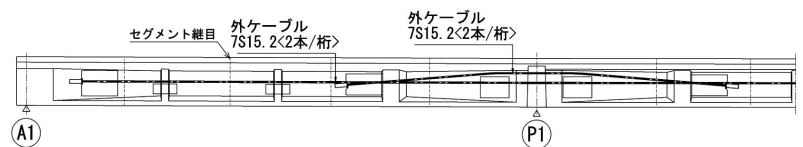
案 1: 外ケーブルのみによる補強

案 2: 内外ケーブル併用補強

対策案の概要を図-5 に, 検討結果を表-2 に示す. 案 1 では図心付近に直線配置した連続ケーブルと上縁側に配置した支点ケーブルで構成したが, 支点部・支間部ともに曲げ引張応力度が許容値を満足できなかった. 案 2 では支間部の曲げ引張応力度を改善するために, 支間部の外ケーブルを下縁側に配置した. 支間部の外ケーブルを連続ケーブルとした場合, 偏向部によるプレストレスのロスが大きくなるため, 単径間ケーブルを採用した. 支点部の曲げ引張応力度を改善するため床版内に内ケーブルを配置し, 床版上縁側に偏心量を大きくとることにより効果的にプレストレスを導入した. この対応により, 曲げ引張応力度が許容値を満足する結果となり, 案 2 を採用した.

さらに, 内ケーブルの鋼材種別としてマルチストランド (12S12.7) とシングルストランド (1S28.6) の 2 種類を検討した. マルチストランド, シングルストランドともに標準版の床版厚は 220mm, 内ケーブルを配置す

【案 1: 外ケーブルのみによる補強】



【案 2: 内外ケーブル併用】

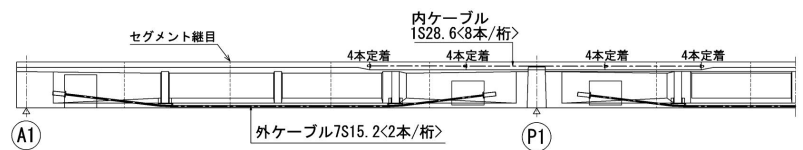


図-5 曲げ補強方法の対策案

表-2 曲げ補強方法の検討結果

		案 1 外ケーブルのみ	案 2 内外ケーブル併用	備考
照査位置		P1 支点上		-
ケーブル配置		支点ケーブル	支点ケーブル	-
ケーブル種類と本数		7S15.2<2本/桁>	1S28.6<8本/桁>	-
設計荷重時	床版上縁	-3.30	-2.22	$\sigma_{ck}=50\text{N/mm}^2$
	許容値	$-2.49 \leq \sigma_c \leq 17.00\text{N/mm}^2$		方法B
	主桁下縁	13.96	12.77	$\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$
	許容値	$-1.50 \leq \sigma_c \leq 14.00\text{N/mm}^2$		H24道示 III編
照査位置		セグメント継目部		-
ケーブル配置		連続ケーブル	単径間ケーブル	-
ケーブル種類と本数		7S15.2<2本/桁>	7S15.2<2本/桁>	-
過積載時	主桁上縁	11.51	9.33	$\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$
	主桁下縁	-3.70	1.89	
	許容値	$-2.50 \leq \sigma_c \leq 14.00\text{N/mm}^2$		H24道示 III編

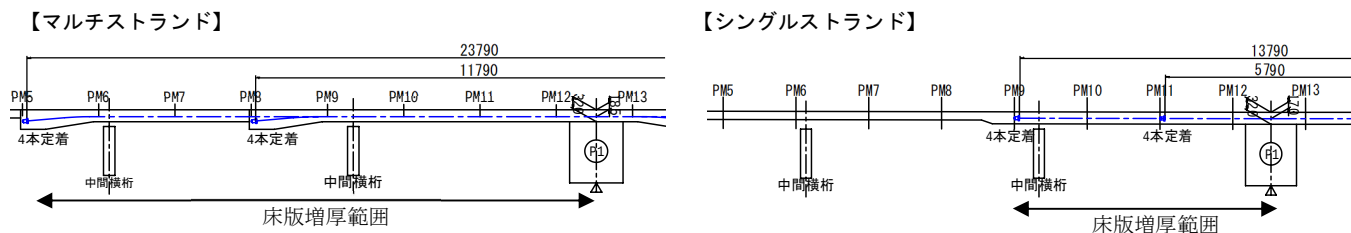


図-6 曲げ補強方法の対策案

る区間の床版厚は 320mm となる。マルチストランドの場合、定着突起構造となり緊張作業空間確保のために定着位置が支間横桁位置に制約を受け、床版増厚範囲が 24m 程度となる。一方、シングルストランドでは内ケーブルを床版小口で定着が可能で定着位置が支間横桁位置の制約を受けないことから、床版増厚範囲は最小限の 14m 程度となる。既設支承および下部工への影響を鑑み、死荷重増加を抑制できるシングルストランドを採用した（図-6）。

(2) 内外ケーブル併用構造の懸念点

図-7に内ケーブル配置図を示すように、主桁上はずれ止め鉄筋が配置されるため内ケーブルの定着位置は主桁近傍とした。内ケーブルを採用することで、以下の2点について懸念が生じた。

- 1) プレストレス力による水平せん断力が生じることによる床版と主桁の一体性確保
- 2) プレストレス力によるクリープ変形による影響

そこで、これらについて詳細検討を実施し対策を講じた。

(3) 内外ケーブル併用構造に対する詳細検討

a) 水平せん断力に対する検討

床版と主桁は無収縮モルタルを打込むことにより一体化するが、床版内ケーブルのプレストレス力導入時に床版と主桁間に水平せん断力が生じる。この力により両者にずれが生じるため、床版と主桁の一体性を確保できるかが懸念された。このため、図-8に示すように緊張時に PC 鋼材定着体を設置した床版（以下、定着床版）部の無収縮モルタルの有無に着目した 2 ケースで、3 次元 FEM 解析を実施し、緊張により発生するせん断応力度を算出した。解析モデルを図-9に示すが、1 期施工範囲で、P1 支点付近の床版内ケーブル配置区間を対

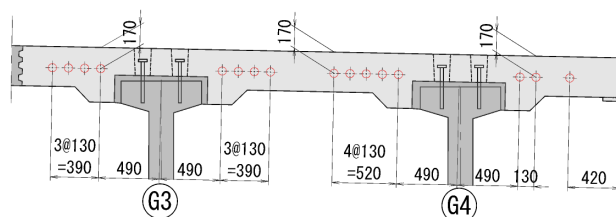
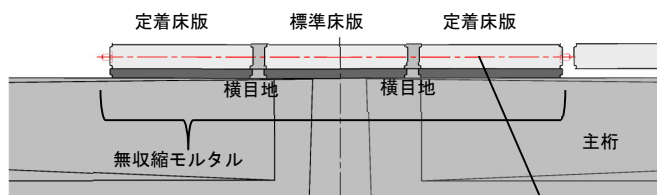


図-7 床版内ケーブル配置

【CASE1：定着床版部に無収縮モルタルあり】



【CASE2：定着床版部に無収縮モルタルなし】

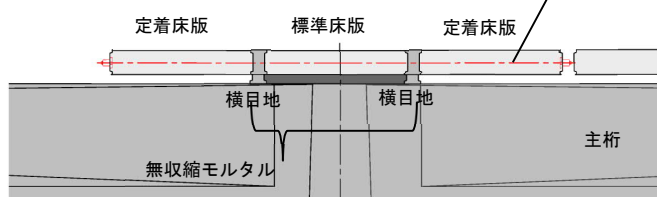


図-8 3次元 FEM 解析による検討ケース

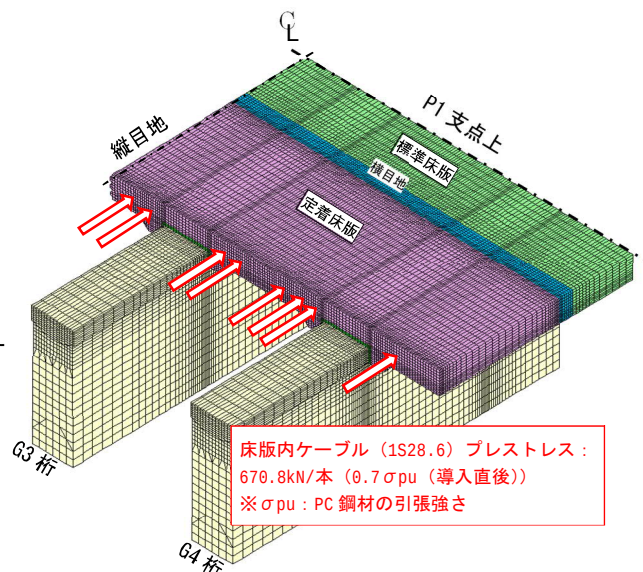


図-9 3次元 FEM 解析モデル

床版内ケーブル (1S28.6) プレストレス：
670.8kN/本 (0.7 σ_{pu} (導入直後))
※ σ_{pu} ：PC 鋼材の引張強さ

象とした 1/2 モデルとし、境界条件は、P1 支点位置を全固定とした。また、PC 鋼材のプレストレスは、支圧板の大きさを考慮した面荷重を載荷した。

3 次元 FEM 解析の結果を図-10 に示す。床版と無収縮モルタルの接合面において、CASE1 で 3.10N/mm^2 、CASE2 で 1.60N/mm^2 のせん断応力度が発生した。CASE2 では定着床版と主桁を一体化しないことから定着床版は自由に弾性変形でき、定着床版が床版内ケーブル配置区間全体の弾性変形を吸収することで、標準床版部において、床版と主桁間のずれが小さくなりせん断応力度が減少したと考えられる（図-11）。発生水平せん断力に対する補強鉄筋量は、CASE1 では 795mm の範囲に D22 が 6 本、CASE2 は 245mm の範囲に D19 が 2 本必要となる。CASE2 は床版架設機通過時の定着床版支持が煩雑となるため、補強鉄筋量が増えるが CASE1 を採用した（図-12）。

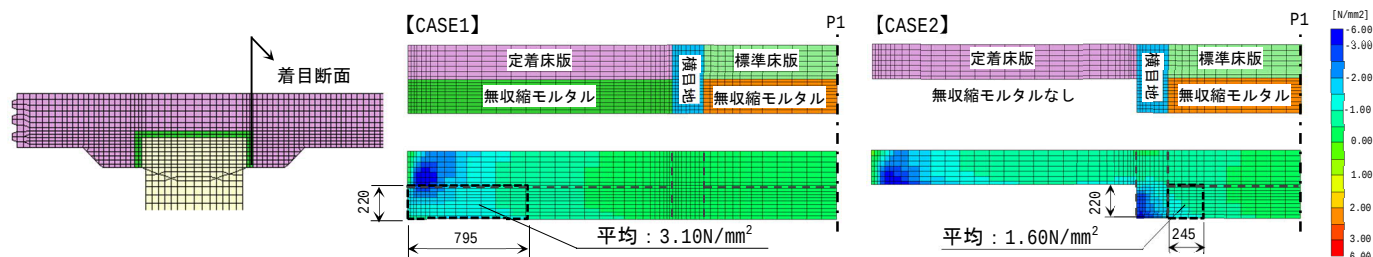


図-10 せん断応力度分布図

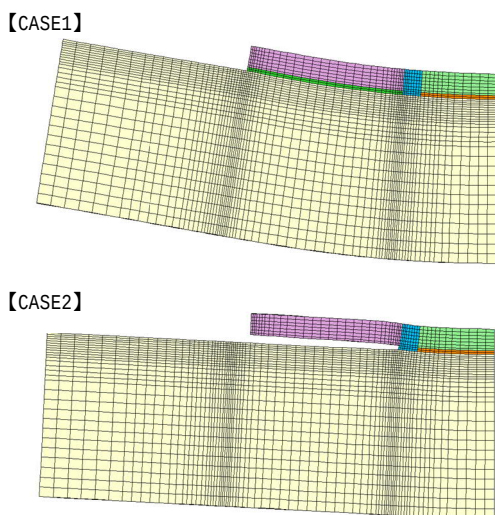


図-11 床版内ケーブル緊張による弾性変形

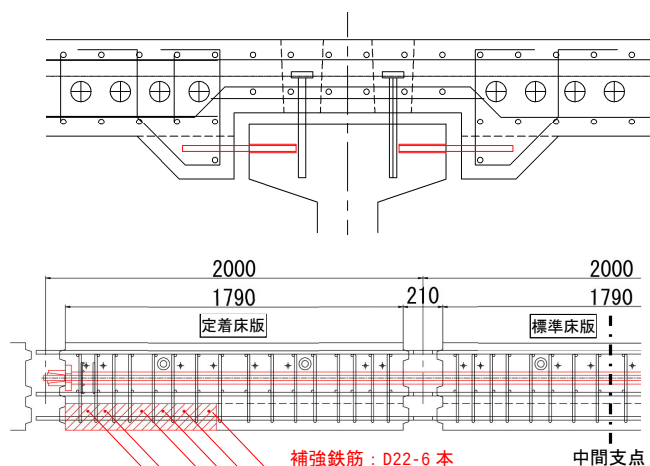


図-12 補強鉄筋の配置

b)局所的なクリープ変形の影響

PC鋼材の定着部近傍はプレストレスによる集中荷重が作用し、周辺のコンクリートと比較して高い圧縮応力状態となり、局所的に弾性変形量が増大する（図-14）。そのため、PC鋼材の定着部付近ではプレストレス力によるクリープひずみが局所的に高い値となり、この影響により生じる定着部背面の局所的な引張応力度の発生が懸念³⁾された。このため、コンクリートの材齢および施工ステップを考慮した3次元FEM解析を実施した。図-15に解析モデルを示すが、対称性を考慮して1期施工範囲かつP1支点付近の床版内ケーブル配置区間を対象とした1/2モデルとした。境界条件は、

プレストレス力のクリープにより生じる局所的な応力度のみを確認するため、桁の曲げ挙動の影響が生じないように主桁下面の鉛直方向の境界条件は固定とした。また、クリープ変形に伴う応力度のみを抽出するため、

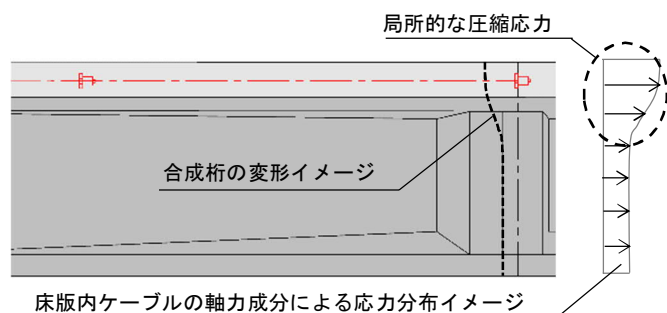


図-14 PC 鋼材定着部付近の弾性変形(概念図)

温度変化や乾燥収縮・自己収縮の影響は考慮していない。なお、クリープ構成則は道路橋示方書・同解説Ⅲ コンクリート橋編（平成24年3月）に準じた。プレストレスは、導入直後の $0.7\sigma_{pu}$ 相当の値を設定した。表-3に解析ステップを示すが、実施工を反映した日数を設定し、クリープ変形の影響を解析した。3次元FEM解析の結果、クリープ終了時において定着背面の標準床版（No.3）の橋軸方向に、平均 0.90N/mm^2 の局所的な引張応力度が発生した（図-16）。このため、3次元FEM解析による局所的な引張応力度の他、主方向の線形骨組み解析、横方向の設計結果による引張応力度を重ね合わせた結果、当初の構造検討で配置した鉄筋量が必要鉄筋量を満足していなかった。そのため、補強鉄筋（D19-3本）を追加で配置した（表-4）。

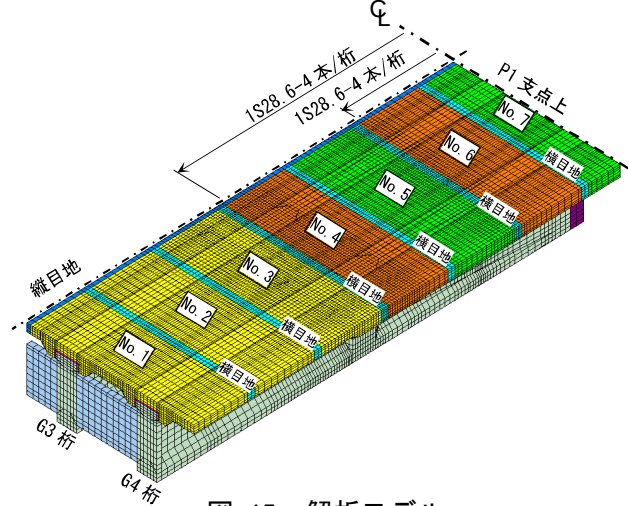


図-15 解析モデル

表-3 解析ステップ

STEP	対象部材		解析ステップ	差分日数	累計日数
1	床版	No.1～No.7	設置	---	---
2	床版下部	No.1～No.2, No.7	無収縮モルタル打設	215	215
3	横目地	No.6-No.7間	UFC打設	1	216
4	床版	No.6～No.7	PC鋼材緊張	3	219
5	床版下部	No.5～No.6	無収縮モルタル打設	2	221
6	横目地	No.4-No.5間	UFC打設	1	222
7	床版	No.4～No.7	PC鋼材緊張	4	226
8	床版下部	No.3～No.4	無収縮モルタル打設	2	228
9	横目地	No.1～No.3間	横目地打設	1	229
10	---		クリープ終了	1,472	1,825

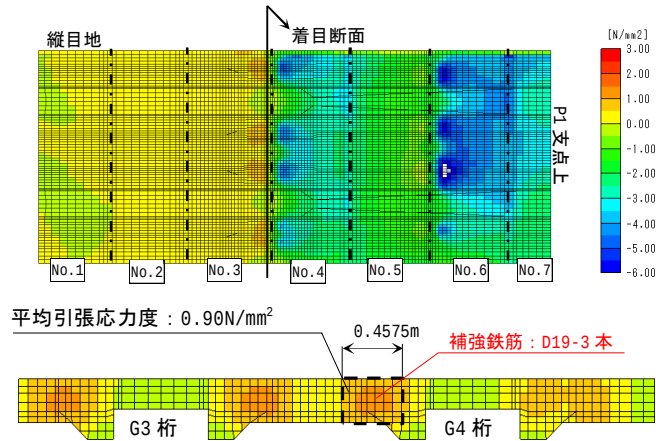


図-16 橋軸方向応力度分布図

表-4 補強鉄筋量の算出

3次元FEM解析による局所的な必要鉄筋量			
引張力(0.4575m当たり)	T1(N)	132,280	0.4575m当たり
〃 (1m当たり)	T2(N)	289,137	T1÷0.4575
許容鉄筋応力度	σ_{sa} (N/mm²)	120	
必要鉄筋量	A_{req1} (cm²)	24.095	1m当たり
主方向の設計（床版上下鉄筋の引張鉄筋）			備考
必要鉄筋量	A_{req2} (cm²)	28.808	1m当たり
床版の設計（橋軸方向 床版下鉄筋）			
必要鉄筋量	A_{req3} (cm²)	7.414	1m当たり
必要鉄筋量の集計			
必要鉄筋量(1m当たり)	A_{req} (cm²/m)	60.316	$A_{req1}+A_{req2}+A_{req3}$
配置鉄筋量(1m当たり)	A_s (cm²/m)	45.840	D19@125(上下)
不足鉄筋量(1m当たり)	$As1$ (cm²/m)	-14.476	
〃 (0.5m当たり)	$As2$ (cm²/0.5m)	-7.238	$As1 \times 0.5$
補強鉄筋量 (0.5m当たり)	As' (cm²/0.5m)	8.595	D19-3本

5. おわりに

本稿では、PC合成桁橋の床版取替工事における設計検討結果を報告した。本報告が同種工事の参考になれば幸いである。

参考文献

1) 仲田ら, 上田川橋床版取替工事ーPC合成桁へのPCa床版とリンクスラブの適用,プレストレストコンクリート工学会,第28回シンポジウム論文集,2019.10

2) 三好ら, 幅員方向に3分割した上下線同時の床版取替工事ー九州自動車道 宝満川橋(上下線)ー,橋梁と基礎, Vol.58, p.25-30, 2024.11

3) 二羽ら, PC連続Uコンボ橋の継目部に関する設計指針検討委員会報告,プレストレストコンクリート工学会誌, Vol.64 No.6, p.74-81, 2022.10