

多径間連続 PC 箱桁橋の設計・施工

— 新東名高速道路 宮ヶ島高架橋（上り線） —

荒本 貴司*1・秋山 大輔*2・富永 高行*3・古賀 裕史*4

新東名高速道路宮ヶ島高架橋（上り線）は、静岡県掛川市に建設されている橋長 1 440 m の PC 23 径間連続ストラット付き箱桁橋である。支間長が 41～97 m まで変化しているほか、二級河川を跨がる径間があるなど、施工条件により固定式支保工施工区間と移動作業車を用いた張出し施工区間とに分かれている。

本稿では、アンバランスな支間割部分を固定式支保工により施工する際の分割打設方法と張出し施工区間での中央閉合部に関する設計上の工夫を中心に報告する。

キーワード：PC 連続ストラット付き箱桁橋、固定式支保工、張出し施工中央閉合部

1. はじめに

新東名高速道路宮ヶ島高架橋（上り線）は、静岡県掛川市に建設されている橋長 1 440 m の PC 23 径間連続ストラット付き箱桁橋である（図 - 1）。標準的な支間長は 53 m であるが、一部の支間長が 90 m を超えるなど支間長が 41～97 m まで変化し、多様な支間割となっている（図 - 2）。

施工方法としては、大部分に固定式支保工を採用しているが、二級河川西之谷川と原野谷川を跨ぐ 2 径間は支間長 90 m を超え（P 16 - P 17 径間と P 20 - P 21 径間）、移動作業車を用いた張出し施工を採用している。しかし、本橋の最大支間長である県道大和田森線を跨がる 97 m 区間（P 10 - P 11 径間）では、隣接の支間長が 53 m と 52 m とアン

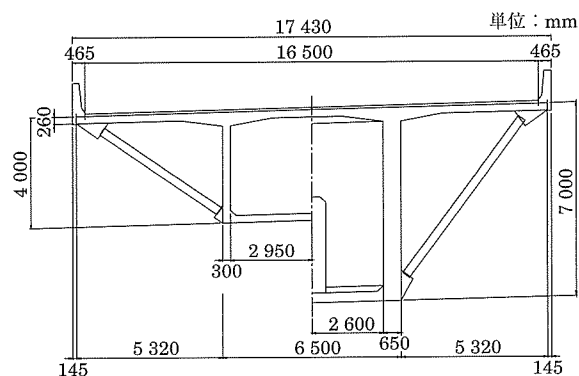


図 - 1 標準断面図

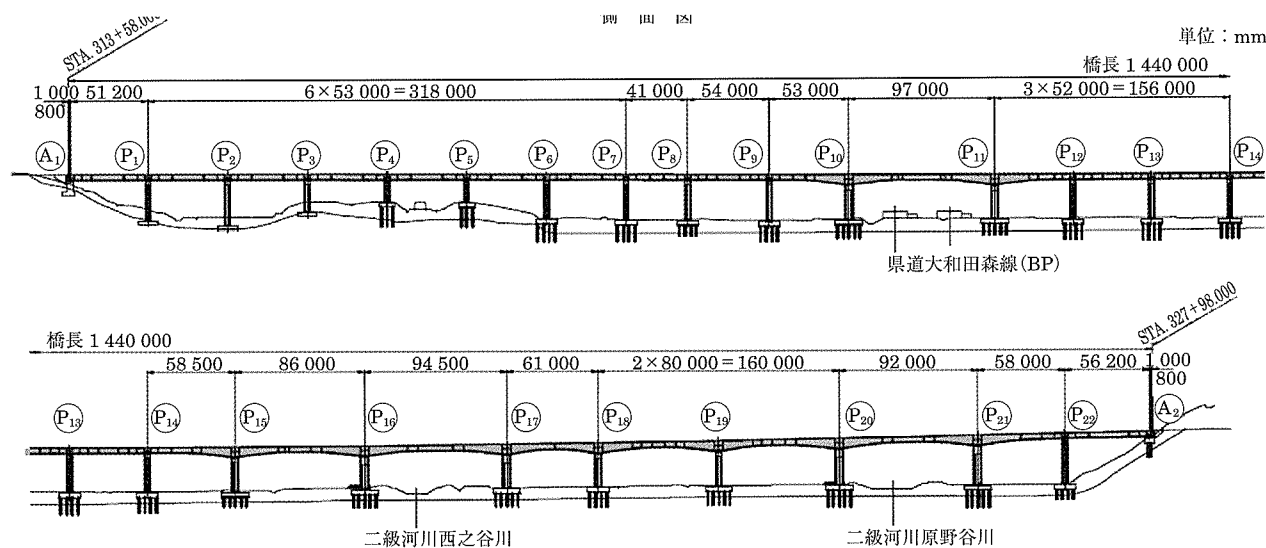


図 - 2 全体一般図

*1 Takashi ARAMOTO：中日本高速道路(株) 掛川工事事務所 森豊岡工事区

*2 Daisuke AKIYAMA：中日本高速道路(株) 掛川工事事務所 森豊岡工事区

*3 Takayuki TOMINAGA：(株)大林組 第二東名宮ヶ島工事事務所

*4 Hiroshi KOGA：(株)大林組 生産技術本部 橋梁技術部

バランスな支間割となっている点を考慮して固定式支保工を採用している。

本稿では、詳細設計段階で検討した項目の中から、支間長 97 m 区間の固定式支保工部の設計・施工についてと、張出し施工区間の中央閉合部における設計上の工夫を中心に報告する。前者については、アンバランスな支間割の影響が施工時にも影響を与える点や、一日のコンクリート打設量を考慮して分割打設方法を検討した。後者については、中央閉合部での既設コンクリートによる拘束度を考慮して床版横締め PC 鋼材や鉄筋の配置を検討した。

2. 橋梁概要

2.1 工事概要

本橋の工事概要を以下に示す。

工事名：第二東名高速道路宮ヶ島高架橋（PC 上部工）
上り線工事

発注者：中日本高速道路(株) 東京支社

工事場所：静岡県掛川市

工期：平成 18 年 11 月～平成 22 年 4 月

形式：PC 23 径間連続ストラット付き箱桁橋

橋長：1 440 m

有効幅員：16.50 m

2.2 主桁断面

本橋の主桁断面は、コンクリートウェブ形式の一室箱桁である。桁高は、支間長に応じて 4.0 m の等桁高部分と 4.0～7.0 m まで変化する部分に分かれている。全幅員 17.14 m に対して箱桁部の幅は 6.5 m とコンパクト化が図られており、幅 5.32 m の張出し床版部は 3.5～4.0 m 間隔で配置された工場製作のストラット部材にて支持されている。ストラットの上端はエッジビームと呼ばれる床版と一体化した梁にて、下端は箱桁下部に設けた突起にて固定されており、桁高変化に応じて角度・長さともに変化する構造となっている。

2.3 使用材料

本橋で用いた主要材料の一覧を表-1に示す。

主桁に使用したコンクリートは、設計基準強度 40 N/mm² の普通コンクリート（固定式支保工部、張出し架設柱頭部）および早強コンクリート（張出し架設部）である。中央閉合部においては、後述するように普通コンクリートに収縮補償として膨張材を添加している。

PC 鋼材については、外ケーブルの積極的な採用を図り、

表-1 主要材料一覧

項目	仕様	単位	数量	備考
コンクリート	$\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$	m ³	15 081.1	普通コンクリート
	$\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$	m ³	3 679.4	早強コンクリート
型枠		m ²	68 956.9	
鉄筋	SD 345	t	3 397.6	
ストラット	$\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$	本	736	早強、繊維補強
PC 鋼材	19S15.2 (SWPR7BN)	t	229 881.2	エポキシ樹脂塗装
	27S15.2 (SWPR7BN)	t	149 503.8	エポキシ樹脂塗装
	12S15.2 (SWPR7BL)	t	122 722.5	
	1S28.6 (SWPR19L)	t	37 349.5	プレグラウト鋼材
	1S21.8 (SWPR19L)	t	101 438.0	プレグラウト鋼材

エポキシ樹脂塗装 PC 鋼より線 19S15.2 ならびに 27S15.2 を用いている。内ケーブルには 12S15.2 のほか、プレグラウト鋼材 1S21.8, 1S28.6 を用いている。床版横締め鋼材には、プレグラウト鋼材 1S21.8 を 625 mm もしくは 750 mm ピッチで配置している。図-3に PC 鋼材配置図を示す。

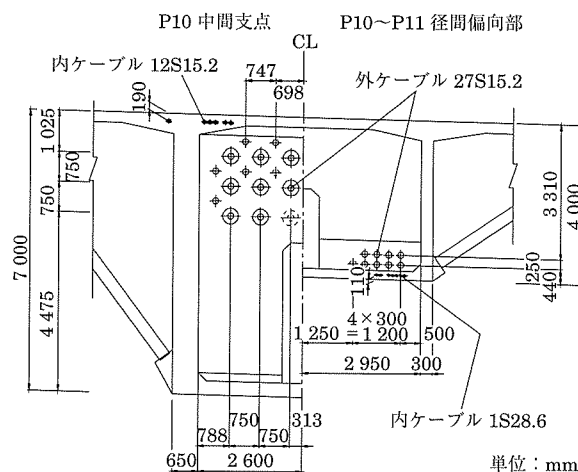


図-3 PC 鋼材配置図

3. 固定式支保工部の施工

3.1 施工概要

固定式支保工による施工区間は、主に A 1～P 15 間となっている。標準的な支間長は 53 m であり、1 径間ずつ順次施工することとした。しかしながら、工期短縮と効率的な支保工材料の運用を図るために、① A 1→P 1 方向、② P 10→P 9 方向、③ P 11→P 12 方向の 3 箇所同時着手にて施工を進めることとした。

打設ロット割りについては、桁高 4m 部分ではウェブ・下床版と上床版の 2 回打設であるが、P 10, P 11 支点など桁高 7 m 部分ではマスコンクリートへの対応として支点横桁下部、ウェブ・下床版および上床版の 3 回打設にて施工している。

3.2 支間長 97 m 区間の固定式支保工施工

県道大和田森線付近の P 9～P 12 間において、桁高が変化する P 9～P 10 径間、P 11～P 12 径間についてはウェブ・下床版部分で 500 m³ を超えるコンクリート打設となる。施工能力や近隣への配慮から夜間施工ができないことから、施工区間を分割する必要がある。

また、県道を跨がる P 10～P 11 径間の支間長は 97 m であり、事前検討の結果、施工時に発生する曲げモーメントが多くなるために、コンパクト化した主桁断面に配置できる PC 鋼材量では、構造安全性や品質の確保が達成できないことが判明した。

このように県道付近のアンバランスな支間割が施工に与える影響を考慮して、以下に示す方法にて P 9～P 12 間の分割施工を行った。

・完成時（死荷重時）の曲げモーメントがゼロとなる P 9～P 10 支間中央部ならびに P 11～P 12 支間中央部に施工目地を設定して、コンクリート打設数量の調整を

○ 工事報告 ○

図る

・ 施工順序を ① P9-P10 径間と P11-P12 径間, ② P10-P11 径間とすることによって, 県道部分の施工時

に発生する曲げモーメントの抑制を図る

図-4, 5 にコンクリート打設順序と曲げモーメント分布を, 図-6 に施工状況を示す。

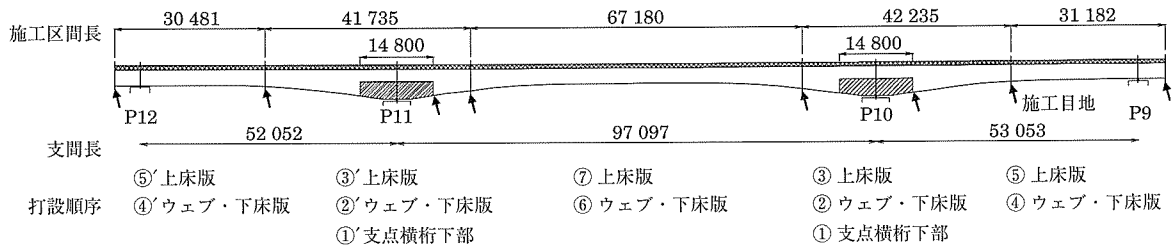


図-4 コンクリート打設順序図(県道部分)

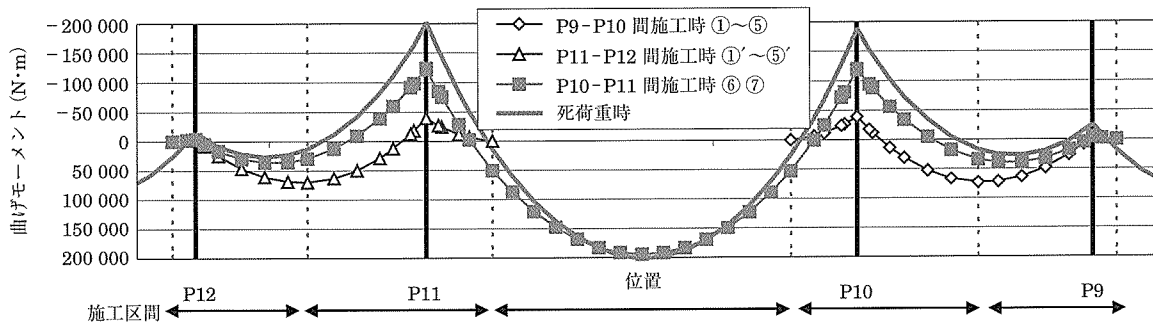


図-5 曲げモーメント分布(県道部分)

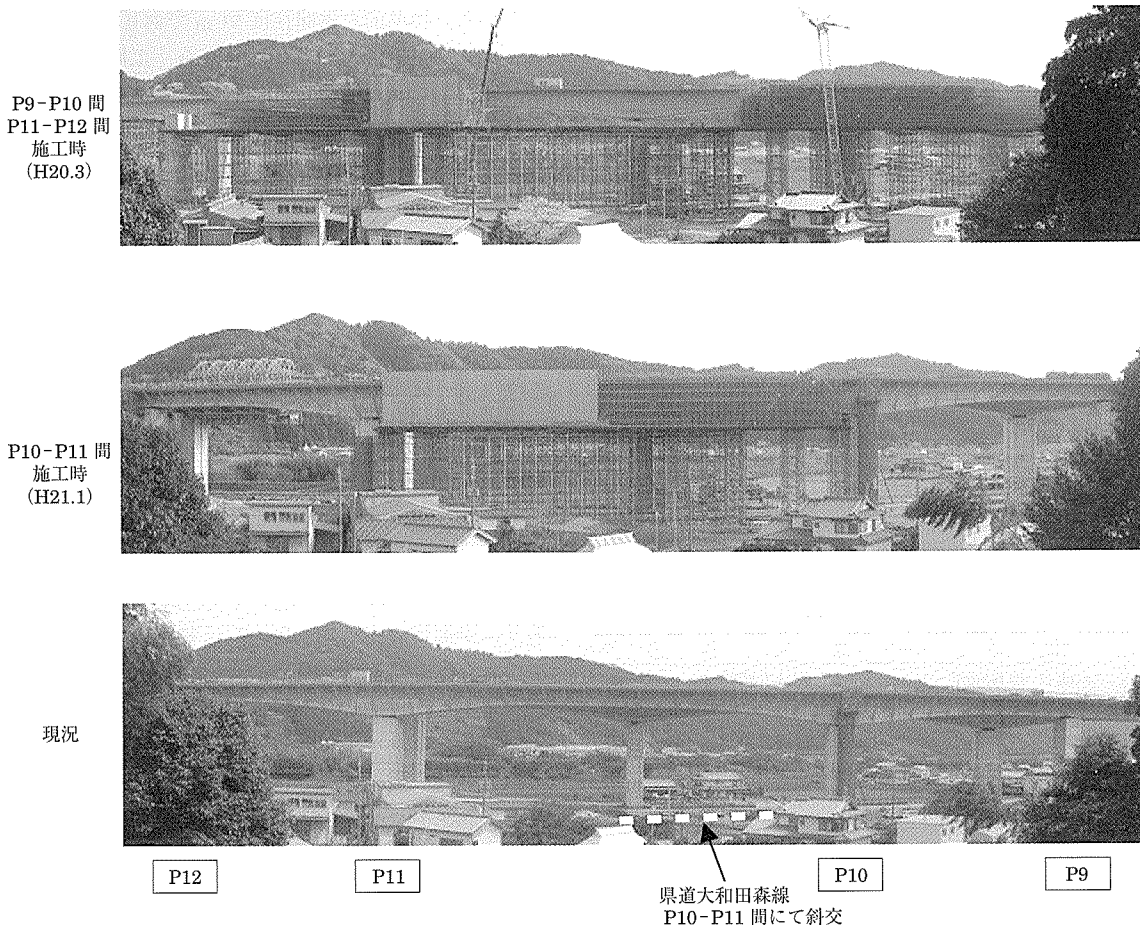


図-6 施工状況(県道部分)

3.3 ストラットの施工

ストラット部材（□300×300）は工場製作とし、設計基準強度 40 N/mm² の早強コンクリートにポリプロピレン繊維を混入して製作している（繊維長 30 mm，混入量 4.55 kg/m³）。

ストラット部材の架設に際しては埋込みインサートと吊冶具を用いてクレーンにて吊り上げ、張出し床版の型枠支保工に 1 本ずつ設置・固定している。両端部にはエポキシ樹脂塗装鉄筋（D16×4 本）を配置するとともに、打継処理をしたストラット端部を 30 mm 埋め込むことで主桁コンクリートとの一体化を図っている。

写真-1 にストラット設置状況を示す。



写真-1 ストラット設置状況

3.4 コンクリート施工

県道部分の P 10 - P 11 径間のコンクリート打設は、作業エリアに制約があるために、地上部に 2 台、すでに橋体が繋がっている下り線の橋面上に 2 台、合計 4 台のコンクリートポンプ車を配置して 2 班体制にて施工した。地上部に配置したポンプ車が橋面上のポンプ車のホッパーに生コンを圧送し、橋面上のポンプ車が打設箇所までの圧送を行った。第 1 ロット（ウェブ・下床版）270 m³，第 2 ロット（上床版）423 m³ をともに約 8 時間かけて打設を行った。

写真-2 にコンクリート打設状況を示す。



写真-2 P 10 - P 11 径間コンクリート打設状況（第 1 ロット）

また、主桁コンクリートの剥落防止を目的として、主桁外周部にはアラミド繊維シートを設置している。

3.5 外ケーブルの施工

外ケーブルには防食性に優れたエポキシ樹脂塗装 PC 鋼より線を用いて、グラウト作業の省力化を図っている。P 10 - P 11 径間には 16 本（予備鋼材除く）の 27S15.2 をコンパクト化した断面に最大限配置しており、4 箇所ある隔壁にて分散させて偏向させている。ドラム形式にて現場納入したエポキシストランドを挿入時に 27 本にまとめ、ウインチを用いて引き込み挿入を行った。

写真-3 に外ケーブルの挿入状況を、写真-4 に定着状況を示す。

また、外ケーブルの緊張管理に際しては、摩擦係数 $\mu = 0.25$ として管理を行っている。



写真-3 外ケーブル挿入状況（27S15.2）



写真-4 外ケーブル定着状況（27S15.2）

4. 張出し施工中央閉合部の設計・施工概要

4.1 設計概要

張出し施工区間における中央閉合部では、全幅員 17.14 m に対して閉合長 3.7 m もしくは 4.2 m と短く、既設張出しブロックの拘束が大きい為、① 中央閉合後の床版横締め PC 鋼材のプレストレスが有効に導入されない、② 温度応力による橋軸直角方向の引張応力が発生する、という懸念があった。そこで、以下の 2 つの検討を行って、PC 鋼材量ならびに鉄筋配置を決定している。

- ・ 3 次元 FEM 解析により、中央閉合後の床版横締め PC 鋼材によるプレストレス導入量を把握する
- ・ 温度応力解析により、コンクリート打設によって床版に発生する引張応力を把握する

4.2 3次元 FEM 解析によるプレストレス導入量の確認

FEM 解析では中央閉合前を STEP1、中央閉合後を STEP 2 とし、床版横締め PC 鋼材 (SWPR7BL 1S21.8) のプレストレス導入量を確認した。床版横締め PC 鋼材の配置形状ならびに配置間隔は、一般的に FRAME 計算にて決定されている。したがって、STEP1 において標準配置での導入応力度が、FRAME 計算の結果とほぼ等しいことを確認した後、STEP 2 において中央閉合部にプレストレスを導入して

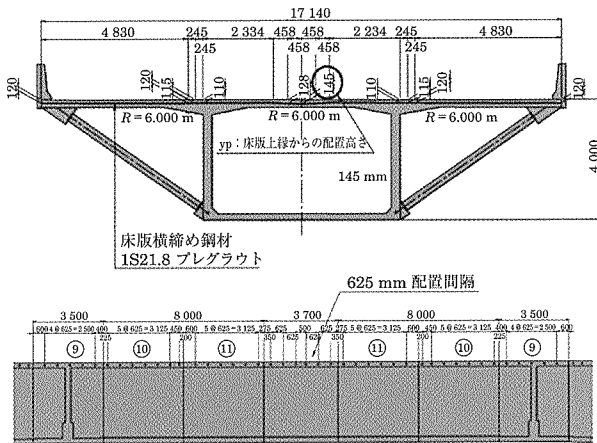


図 - 7 床版横締め PC 鋼材配置図 (標準配置)

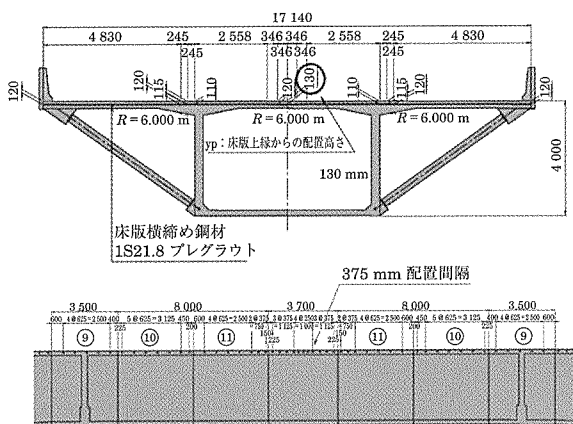


図 - 8 床版横締め PC 鋼材配置図 (中央閉合部)

いる。図 - 7 に床版横締め PC 鋼材の標準配置図を、図 - 9、10 に標準配置での STEP 1、2 の解析結果 (応力コンター) を示す。標準配置では、床版支間中央に必要なプレストレスが導入されないことが確認できる。そこで、鋼材の配置高さや配置間隔を変化させたケースにて同様の解析を行い、許容値を満足する鋼材配置を決定した。その結果、標準配置が $y_p = 145$, ctc 625 であるのに対して、中央閉合部においては $y_p = 130$, ctc 375 にて床版横締め PC 鋼材を配置することとした。図 - 8 に中央閉合部の鋼材配置図を、図 - 11 に STEP 2 の解析結果 (応力コンター) を示す。また、表 - 2 に中央閉合部床版支間中央での応力度照査結果を示す。

4.3 温度応力解析による発生引張応力の確認

温度応力解析はプレストレス導入量の確認と同様に、中央閉合前を STEP 1、中央閉合コンクリート打設を STEP 2 とし、コンクリート打設により床版に発生する引張応力を確認した。中央閉合部の使用セメントは、発注時は早強セメントであったが、温度応力によるひび割れの発生が懸念されたために、入札時の VE 提案にて普通セメントに変更している。

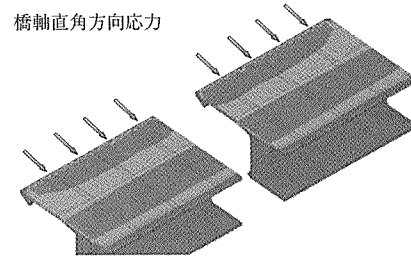


図 - 9 FEM 解析結果 (中央閉合前)

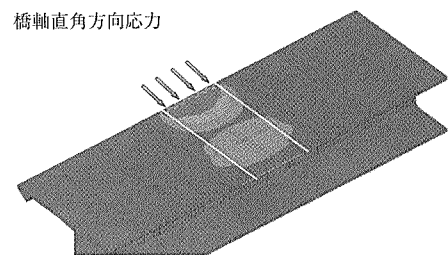


図 - 10 FEM 解析結果 (中央閉合後)

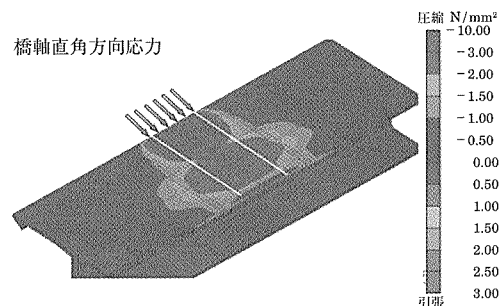


図 - 11 FEM 解析結果 (中央閉合後)

表 - 2 中央閉合部床版支間中央における応力度照査結果

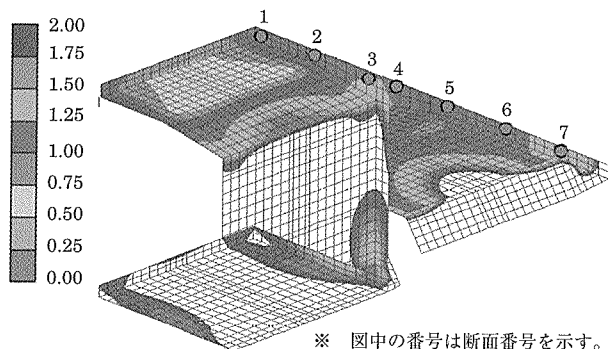
	許容値	CASE 1		CASE 5	
		標準鋼材配置		補強修正案 4	
		$Y_p = 145 \text{ mm, ctc } 625 \text{ mm}$		$Y_p = 130 \text{ mm, ctc } 375 \text{ mm}$	
		上縁	下縁	上縁	下縁
床版自重		0.51	-0.52	0.51	-0.52
橋面荷重		0.25	-0.26	0.25	-0.26
有効プレ (1次+2次)		-0.40	2.39	0.47	3.33
鉄筋拘束力		-0.47	-0.35	-0.66	-0.49
温度差		-0.20	0.21	-0.20	0.21
D	$\sigma_c \geq 0.00$	-0.11	1.26	0.57	2.06
$D + TF_1$		-0.31	1.47	0.37	2.27
$D + L_{MAX}$	$\sigma_c \geq -2.65$	3.81	-2.70	4.49	-1.90
$D + L_{MIN}$		-0.75	1.91	-0.07	2.71
照査結果		不適		適	

■はNG箇所

表 - 3 床版支間中央における温度応力解析結果

断面番号	普通セメント			普通+膨張		
	最小ひび割れ指数	直角方向応力 (N/mm ²)		最小ひび割れ指数	直角方向応力 (N/mm ²)	
		上縁	下縁		上縁	下縁
1	0.78	3.28	3.75	0.90	2.78	3.25
2	0.70	3.02	3.91	0.80	2.52	3.41
3	1.68	2.67	1.19	4.25	2.17	0.69
4	1.70	2.52	1.24	3.76	2.02	0.74
5	0.94	2.25	2.98	1.12	1.75	2.48
6	1.65	1.58	1.88	2.31	1.08	1.38
7	4.78	0.45	0.64	-	-0.05	0.14

応力値は引張側が (+)



※ 図中の番号は断面番号を示す。

図 - 12 ひび割れ指数コンター図

図 - 12 に普通セメントを用いた場合のひび割れ指数コンター図を、表 - 3 に床版支間中央における温度応力解析結果を示す。普通セメント使用時のひび割れ指数は最小 0.70, 最大引張応力度は 3.91 N/mm² となり、床版支間中央に過大なひび割れ発生が予想された。そこで、収縮補償を目的として膨張材を混入したが、ひび割れ指数の改善は 0.80 までであり、以下の考え方で補強鉄筋を配置することとした。

- ① 補強の対象はひび割れ指数が 1.0 以下かつ引張応力度 1.0 N/mm² 以上とする
- ② 若材齢時に発生する引張力には、すべての配置鉄筋を考慮し、鉄筋の許容応力度は 120 N/mm² とする
- ③ 残留する引張力には、補強鉄筋のみを考慮し、鉄筋の

許容応力度は 180 N/mm² とする

プレストレス導入量の確認の項で発生曲げ応力度が許容値を満足するように鋼材配置 ($y_p = 130 \text{ mm, ctc} = 375 \text{ mm}$) を決定したが、部材引張部に生じるコンクリートの全引張力はすべて引張鉄筋で負担することとした。この結果、床版支間部の配筋については、床版の設計で決定した上縁：D16 ctc 125 mm, 下縁：D13 ctc 250 mm から、上縁：D22 ctc 125 mm, 下縁：D22 ctc 125 mm にランクアップさせている。

4.4 中央閉合部の施工

中央閉合部は、吊支保工にて施工を行っている。(写真 - 5) 本橋は全幅が 17.14 m と幅員員であるために、吊支保工に用いた鋼材 (2-H 500 × 200 × 10 × 16) も長さ 20 m と規模の大きなものとなっている。橋脚付近にて組立てたあと、橋面上に設置したレールを用いて施工箇所まで移動・設置して施工を行っている。箱桁内部には別途型枠支保工を組み立て、上下床版同時にコンクリート打設を行った。(写真 - 6) 打設後 1 ヶ月を経た時点でひび割れの発生は確認されておらず、解析の妥当性がうかがえる。今後は計測結果をもとに、解析の検証を行って、設計・施工の合理化を図る予定である。

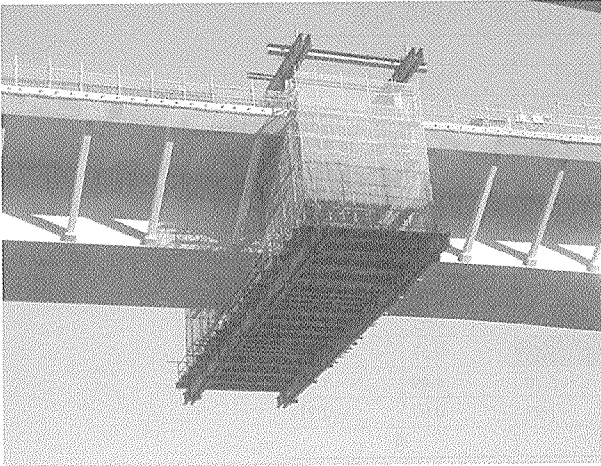


写真 - 5 中央閉合部施工状況

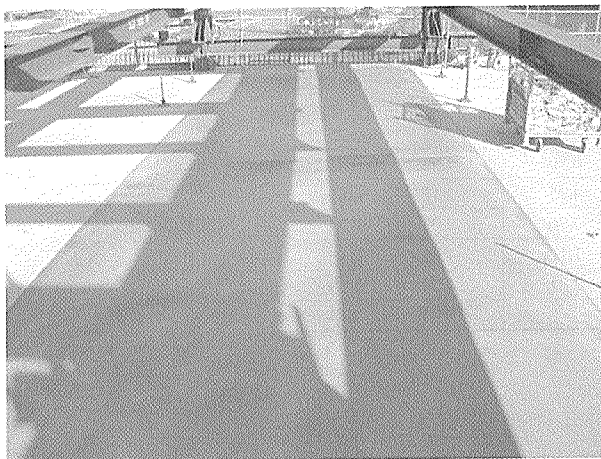


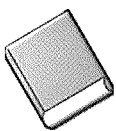
写真 - 6 中央閉合部コンクリート打設完了状況

5. おわりに

平成 19 年 10 月の着手から約 2 年を経て、各施工区間の閉合部施工が最盛期を迎えており、全長 1 440 m が姿を現そうとしています。

本工事を進めるにあたり、多くの方々にご指導ご協力をいただきました。ここに改めて感謝の意を表します。

【2009 年 11 月 18 日受付】



刊行物案内

コンクリート構造診断技術

コンクリート構造診断技術講習会テキスト

2009年 5 月

定価 7,500 円 / 送料 500 円

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会