

PC 箱桁橋の張出し施工中央閉合部の設計
 — 第二東名高速道路 宮ヶ島高架橋 (上り線) —

(株)大林組 正会員 ○古賀 裕史
 中日本高速道路(株) 和崎 宏一
 中日本高速道路(株) 秋山 大輔
 (株)大林組 富永 高行

1. はじめに

第二東名高速道路宮ヶ島高架橋(上り線)は、橋長 1440m の PC23 径間連続ストラット付き箱桁橋である。大部分が固定式支保工での施工となるが、二級河川西之谷川・原野谷川を跨ぐ2径間は移動作業車を用いた張出し施工区間となる。張出し施工区間の中央閉合部は、2辺が既設張出しブロックにより拘束されることになるが、本橋は閉合長 3.7m に対して全幅員が 17.14m と長く、既設コンクリートによる拘束度が大きいと考えられたため、①コンクリート硬化時の外部拘束により橋軸直角方向の引張応力が発生する、②床版横締め PC 鋼材のプレストレスが外部拘束により有効に導入されない、という懸念があった。本稿では、これらの問題点を解決するために行った設計検討について報告する。

2. 橋梁概要

本橋の橋梁諸元、標準断面図(図-1)、全体一般図(図-2)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 29 日
 ~平成 22 年 4 月 11 日
 形 式 : PC23 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

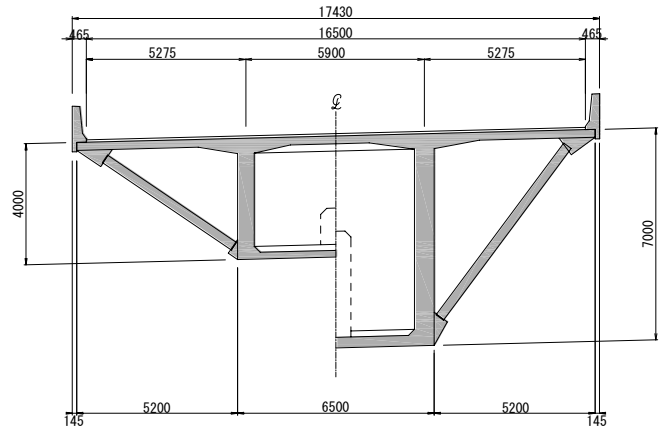


図-1 標準断面図

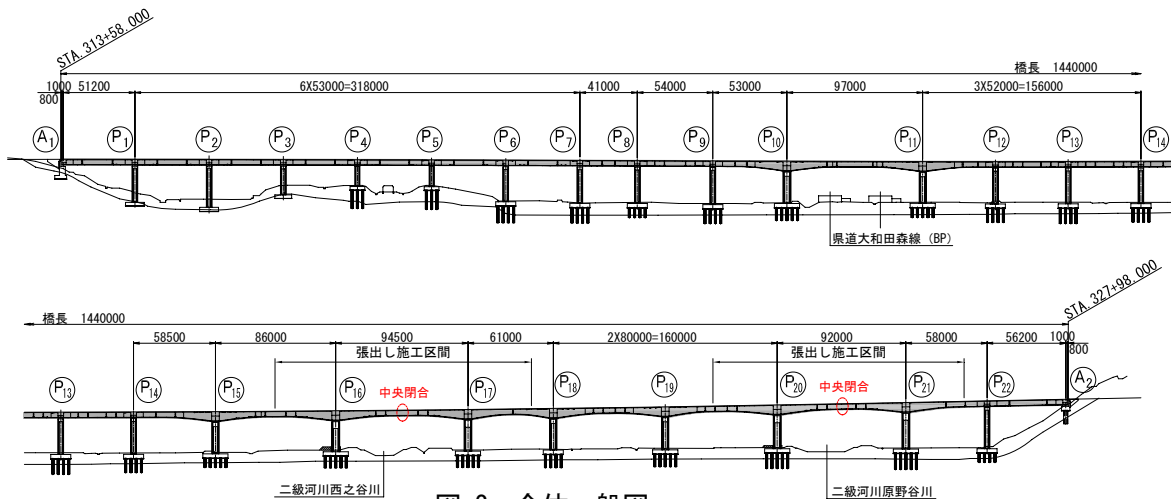


図-2 全体一般図

3. 検討概要

「1. はじめに」で挙げた問題点による影響を把握するために、中央閉合部の両側3ブロック分(合計26.7m)までを対象とした3次元FEM解析により以下の2つの検討を行った。なお、モデル化に当たっては、中央閉合部でのプレストレスの広がり を考慮し、片側で全幅員の半分の延長が確保できるようにした。

- ・ 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FEM解析により把握する。
- ・ 中央閉合部コンクリート打設によって床版に発生する引張応力を温度応力解析により把握する。

4. FEM解析によるプレストレス導入量の確認

4-1 解析方法

FEM解析は、P16-P17径間を対象とした。中央閉合前をSTEP1、中央閉合後をSTEP2とし、床版横締めPC鋼材(SWPR19L 1S21.8)のプレストレス導入量を確認した。

まずSTEP1として、中央閉合前においてFRAME計算で算出したプレストレス力と同等の力をFEM解析で再現させるためのキャリブレーションを実施した。

横締め鋼材の偏心を考慮した鋼材配置を再現するため、床版横締め鋼材はトラス要素としてモデル化を行った。解析に使用したプログラム『FEMLEEG ver. 3.7 (株)ホクトシステム』では、ソリッド内埋込みトラス要素には直接荷重を与えることが出来ないが、下記の順序で周辺のソリッド要素に温度荷重を与えて間接的に荷重した。

- ①ソリッド要素の各点に、単位荷重として100℃を載荷する(図-3参照)。
- ②解析結果から、単位荷重(100℃)当たりの軸力を算出する。
- ③FEM解析の結果とFRAME計算により求めたプレストレスの比率を算出し、再度温度荷重を載荷する。
- ④FEM解析とFRAME解析の結果を比較して確認する。

①~③により求めた温度荷重を載荷して求めたプレストレスによる床版の応力コンターを図-4に、FEM解析およびFRAME計算のプレストレスによる床版応力度の比較を図-5に示す。

FRAME計算による張出しブロック標準の床版上縁からの鋼材配置yp=145mm, etc625mmの決定部位となったウェブ直上の上縁においては、FRAME計算:2.81N/mm², FEM解析:2.64N/mm²の応力度となっており、FEM解析で算出したプレストレスがFRAME計算での結果とほぼ等しいことが確認された。

次にSTEP2として、STEP1で求めた温度荷重を中央閉合部に載荷した。

張出しブロックでの標準鋼材配置(CASE1:yp=145mm,

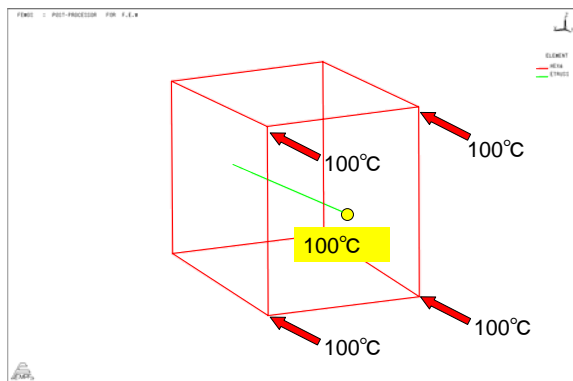


図-3 床版横締め緊張力載荷方法

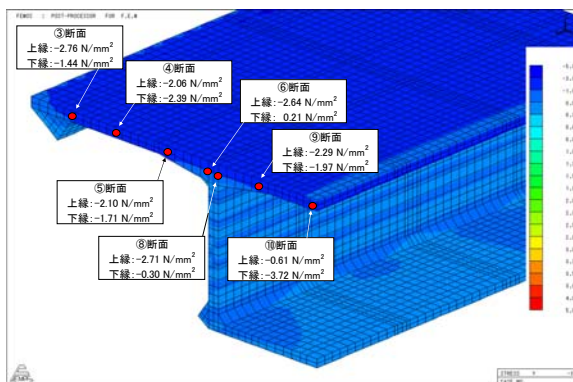


図-4 FEM解析による床版の応力コンター

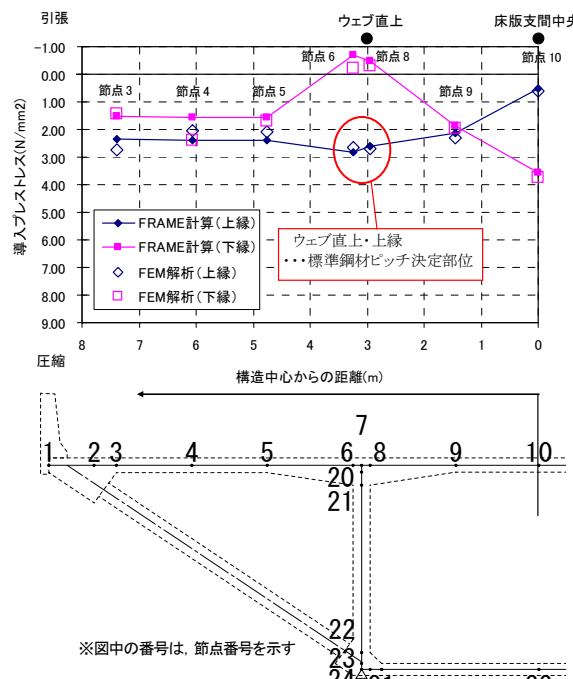


図-5 FEM解析とFRAME計算における床版応力度の比較

ctc625mm, 図-6 参照) では床版に必要なプレストレスが導入されなかったため, CASE2:yp=145mm, ctc250mm CASE3:yp=130mm, ctc250mm CASE4:yp=130mm, ctc625mm と鋼材の配置高さと同隔を変えた3ケースの検討を行った。また, CASE3, CASE4 の結果から CASE5:yp=130mm, ctc375mm (図-7 参照) を1次補間して算出した。

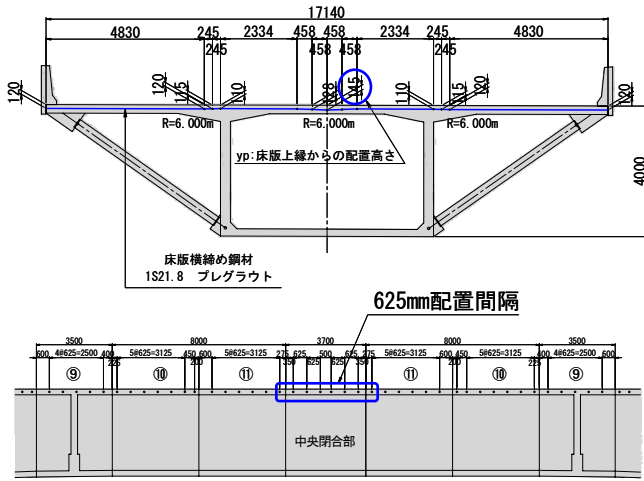


図-6 標準鋼材配置図 (yp=145mm, ctc625mm) CASE1

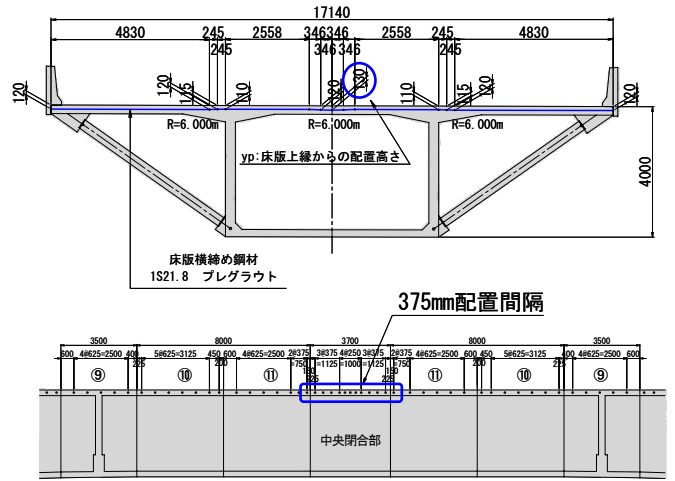


図-7 決定した鋼材配置図 (yp=130mm, ctc375mm) CASE5

4-2 解析結果

中央閉合前, 中央閉合後の橋軸直角方向の応力コンターを図-8~10に, 応力度照査結果を表-1に示す。

張出しブロックの床版横締めPC鋼材配置(標準鋼材配置:yp=145mm, ctc625mm)は, 床版設計において一般的に使用されているFRAME計算により決定されているが, この標準配置を中央閉合部に採用した場合(CASE1), 床版支間中央ではFRAME計算で考慮しているほどプレストレスが有効に伝達しない。死荷重時(D), 死荷重+温度時(D+TF1)で引張応力度が発生し許容値 $\sigma_c \geq 0.00\text{N/mm}^2$ を満足せず, 死荷重+活荷重時(D+L)にも許容値 $\sigma_c \geq -2.65\text{N/mm}^2$ を超過する -2.70N/mm^2 の引張応力度が発生するという結果を得た(図-9, 表-1参照)。そこで, 床版支間中央部へのプレストレス導入量を増やす目的でPC鋼材の配置間隔をctc250(CASE2)としたが, 死荷重時では逆に上縁の引張応力度が大きくなった。上縁のプレストレスの効きを良くするため, CASE3として床版支間中央部のPC鋼材配置高さを15mm上げたところ, 各荷重状態において許容値を満足する結果を得た。

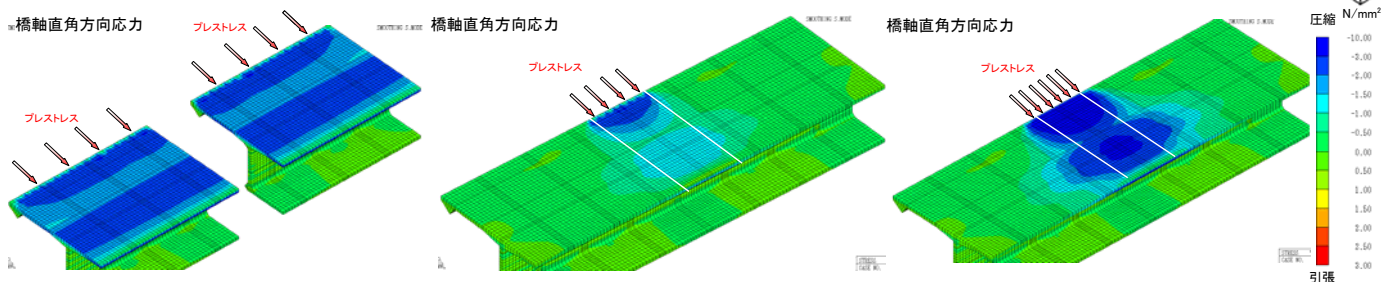


図-8 中央閉合前

図-9 中央閉合後 CASE1 (yp=145mm, ctc625mm)

図-10 中央閉合後 CASE3 (yp=130mm, ctc250mm)

表-1 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	CASE1		CASE2		CASE3		CASE4		CASE5	
		標準鋼材配置		補強修正案1		補強修正案2		補強修正案3		補強修正案4	
		上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁
床版自重		0.51	-0.52	0.51	-0.52	0.51	-0.52	0.51	-0.52	0.51	-0.52
橋面荷重		0.25	-0.26	0.25	-0.26	0.25	-0.26	0.25	-0.26	0.25	-0.26
有効力(1次+2次)		-0.40	2.39	-0.87	5.54	0.31	4.39	0.78	1.21	0.47	3.33
鉄筋拘束力		-0.47	-0.35	-1.09	-0.81	-0.87	-0.64	-0.24	-0.18	-0.66	-0.49
温度差		-0.20	0.21	-0.20	0.21	-0.20	0.21	-0.20	0.21	-0.20	0.21
D	$\sigma_c \geq 0.00$	-0.11	1.26	-1.21	3.95	0.20	2.97	1.30	0.25	0.57	2.06
D+TF1		-0.31	1.47	-1.41	4.16	0.00	3.18	1.10	0.46	0.37	2.27
D+LMAX		3.81	-2.70	2.71	-0.01	4.12	-0.99	5.22	-3.71	4.49	-1.90
D+LMIN	$\sigma_c \geq -2.65$	-0.75	1.91	-1.85	4.60	-0.44	3.62	0.66	0.90	-0.07	2.71
照査結果		不適		不適		適		不適		適	

はNG箇所

CASE3の結果を踏まえ、PC鋼材配置間隔を変化させたCASE4、CASE5の検討を行った結果、CASE5でも各荷重状態での許容値を満足したため、中央閉合部に限りCASE5: $y_p=130\text{mm}$, $c_{tc}=375\text{mm}$ で床版横締め鋼材を配置することとした(図-7参照)。

5. 温度応力解析による発生引張応力の確認

解析モデルは、4.のFEM解析結果と重ね合わせるため、プレストレス導入量の確認時と同じ中央閉合部と両側3ブロックをモデル化した(図-11参照)。解析は、中央閉合前をSTEP1、中央閉合部コンクリート打設をSTEP2とし、中央閉合部コンクリート打設により床版に発生する引張応力の影響を温度応力解析により算出した。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、普通セメントに変更している。

普通セメントを用いた場合のひび割れ指数のコンターを図-12に、床版支間中央における温度応力解析結果(材令91日までの履歴最大)を表-2に示す。普通セメント使用時の床版のひび割れ指数は最小0.70、最大引張応力は 3.91N/mm^2 となり、過大なひび割れの発生が考えられた。そこで、収縮補償を目的として膨脹材を混入することとしたが、ひび割れ指数の改善は0.80までであり(表-2の「普通+膨張」を参照)、以下の考えで補強鉄筋を配置することとした。

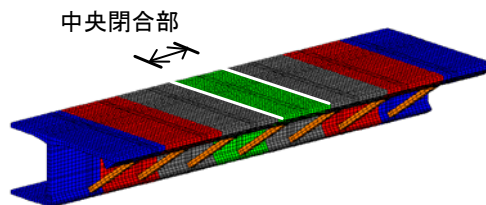


図-11 解析モデル図

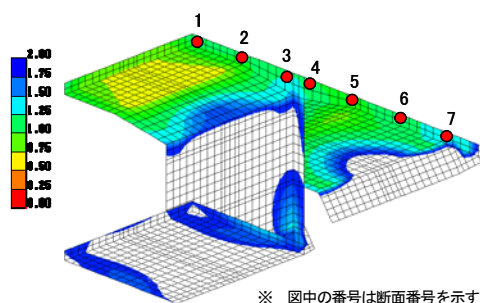


図-12 ひび割れ指数コンター図 (履歴最大)

- ①補強の対象は、ひび割れ指数が1.0以下かつ発生引張応力度 1.0N/mm^2 以上の範囲とする。
- ②若材令時に発生する引張応力には、全ての配置鉄筋を考慮し、鉄筋の許容応力度は 120N/mm^2 とする。
- ③残留する引張応力には、補強鉄筋のみを考慮し、鉄筋の許容応力度を 180N/mm^2 とする。

表-2 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(+)

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($y_p=130\text{mm}$, $c_{tc}=375\text{mm}$)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受け持たすものとした。この結果、中間床版の配筋については、上床版の設計で決定した上縁:D16 c_{tc} 125mm, 下縁:D13 c_{tc} 250mmから、上縁:D22 c_{tc} 125mm, 下縁:D22 c_{tc} 125mmにランクアップさせた。

6. おわりに

今回の検討により、中央閉合部の床版支間中央付近においては、FRAME計算で算出したほどプレストレスが有効に伝達しないことがわかった。この傾向は、全幅員に対して閉合ブロック長が短くなるほど大きくなる。また、温度応力により発生する引張応力も同様である。今後、中央閉合部の設計を行う際の検討事項の一つとして必要であると考えられる。

宮ヶ島高架橋(上り線)は、平成22年4月の竣工に向けて鋭意施工中である。今回行った解析の現地確認と共にいずれ施工報告を行いたい。