

静岡インターチェンジ橋（鋼上部工）西工事 剛結部のコンクリート打ち込みについて

板垣 定範^{※1}, 伊藤 匠^{※2}, 仙田 英俊^{※3}, 高瀬 和男^{※4}

第二東名高速道路の一部を担う静岡インターチェンジ橋 B ランプ橋は、中間橋脚部に鉄筋定着形式の剛結構造を採用する鋼 6 径間連続合成箱桁ラーメン橋である。

この剛結構造はコンクリート体積が大きく、セメントの水和熱による構造物の温度変化により、温度応力が発生することや、柱部の鋼-コンクリート境界にひび割れが生じやすいことが知られている。

施工時の応力状況とひび割れ発生部位の把握、補強鉄筋の有無と施工時の養生方法の検討による品質の向上を目的とし、3次元温度応力解析を行った。

また、現場施工では温度計測を行い、実施工と解析の整合性を確認するとともに、狭隘部におけるコンクリート充填確認を行ったため併せて報告する。

キーワード：剛結構造，温度応力解析，温度計測，充填確認

まえがき

静岡インターチェンジ橋は第二東名高速道路の一部を担い、静岡県静岡市葵区門屋地区の安倍川霞堤上に架橋される Y 形 3 層構造のインターチェンジである。

本工事は、本線およびオフランプの 5 橋で構成され、B ランプ (Pb3~Pb9) 橋に鉄筋定着形式の剛結構造を採用している。

この剛結構造はコンクリート体積が大きく、セメントの水和熱による構造物の温度変化に伴って温度応力が発生することが知られている。

施工時の応力状況とひび割れ発生部位の把握、補強鉄筋の有無と施工時の養生方法の検討による品質の向上を目的とし、3次元温度応力解析を行った。

また、現場施工では温度計測を行い、実施工と解析の整合性を確認するとともに、狭隘部におけるコンクリート充填確認を行ったため併せて報告する。

1. 工事概要

本工事の工事概要と対象橋梁一般図を図 1 に示す。

工事名：第二東名高速道路

静岡インターチェンジ橋（鋼上部工）西工事

工事箇所：静岡県静岡市葵区門屋

発注者名：中日本高速道路株式会社

橋梁形式：表 1 に示す。

表 1 橋梁形式

	本線 (A ライン , B ライン)	B ランプ (Ab1 ~Pb3)	B ランプ (Pb3 ~Pb9)	D ランプ (Pb3 ~Pd5)
形式	5 径間連続 合成箱桁	3 径間連続 合成箱桁	6 径間連続 合成箱桁	5 径間連続 合成箱桁
橋長	366m×2	107m	233m	246.1m

2. 温度応力解析

(1) 解析条件

解析にはコンクリートの非線形温度応力解析プログラム「ASTEAMACS」を用いた。

解析条件は以下の通りである。

- 1) 解析対象はコンクリート体積の一番大きい Pb8 橋脚とする。
- 2) 対称構造ではないため、剛結部全体をモデル化する。
- 3) 鋼桁部（鋼部材）は熱伝達率を考慮した熱伝達境界としてモデル化する。
- 4) 固定条件は脚基部のみ固定とし、桁部は自由とする。
- 5) 外気温の季節変化を考慮する。ただし日変動による変

※ 1 橋梁事業部 富津工場 橋梁技術部 設計課係長 修士 (工学)

※ 2 橋梁事業部 富津工場 橋梁技術部 設計課

※ 3 橋梁事業部 富津工場 橋梁技術部 設計課長

※ 4 橋梁事業部 橋梁工事本部 橋梁工事管理部長 博士 (工学)

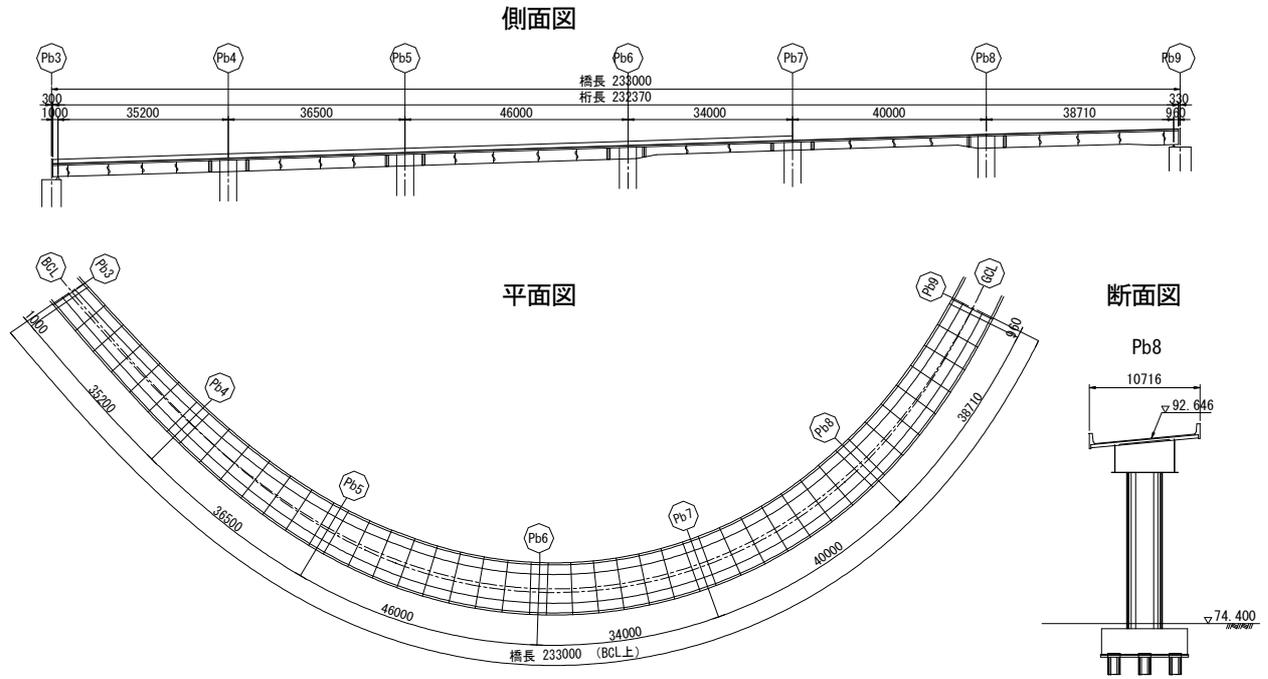


図1 一般図

化は考慮しない。

6) 温度は気象庁発行の静岡県平均温度を用い、打ち込み時期に近い8月から6ヶ月間を対象とした。

7) 熱伝達率は以下のとおりとした。

- ・表面、鋼製型枠 14W/m²C
- ・発泡フォーム 2 W/m²C

8) 打ち込み量は1リフト(約65m³)とした。

9) 低熱コンクリートの発熱特性、強度特性はプラントから受領した履歴および数値を用い、その他は標準示方書に準じた。

表2 配合

水セメント比 W/C (%)	細骨材比 S/a (%)	単位量 (kg/m ³)		
		水	セメント	細骨材
39.6	46.9	175	422	798
単位量 (kg/m ³)				
粗骨材(G)	混和材F	混和材LP	混和剤SP	
786	20	100	5.962	

混和材F：膨張材

混和材LP：石灰石微粉末

混和剤SP：AE減水剤

(3) 検討ケース

使用コンクリート種類による違いおよび、養生によりひび割れを抑制できるか検討した。

表3 検討ケース

	コンクリート種類	条件
Case1	普通	コンクリート標準示方書
Case2	低熱	プラント資料
Case3	低熱	鋼殻境界部に発泡フォーム設置, 7日後撤去

(4) 解析結果

1) 解析結果

最高温度は発熱特性に比例し Case2 の発生温度が低く、内部応力も低下している。全てのケースで、最大主応力は老材齢時に発生し、ひび割れ指数は初期材齢時に鋼殻

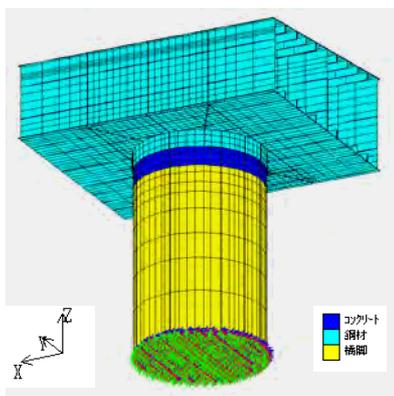


図2 要素分割

(2) コンクリート配合

配合は表2に示す高流動コンクリートを使用すると仮定した。

境界部で低い値を示していた。

表4 解析結果一覧

	最高温度		最大主応力		ひび割れ指数	
	℃	発生日	N/mm ²	発生日		発生日
Case1	87.6	2.0	7.68	228	0.22	1.0
Case2	72.8	3.0	6.94	228	0.34	1.3
Case3	72.9	3.0	6.79	228	0.36	1.5

2) 解析結果コンター図

図3~6にCase2の温度、主応力、ひび割れ指数の分布について示す。

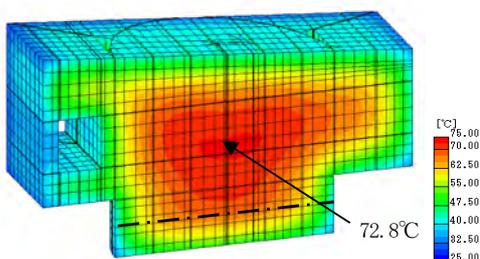


図3 温度分布

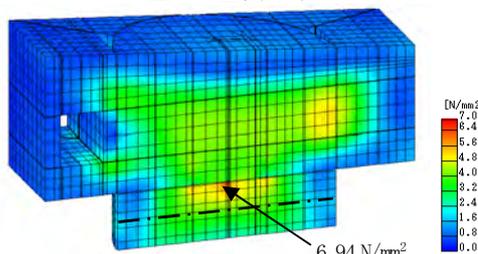


図4 主応力分布

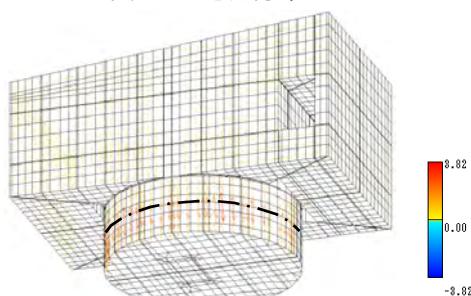


図5 主応力方向

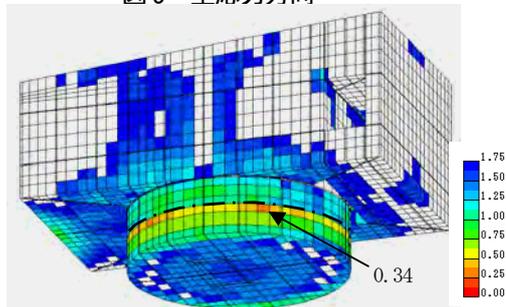


図6 ひび割れ指数分布

--- は鋼殻境界を示す。

最高温度は初期材齢時に構造体のほぼ中心位置に発生している。

主応力は箱桁下フランジと橋脚コンクリートの境界部で発生している。

主応力方向およびひび割れ指数分布から、鋼殻境界部に水平方向のひび割れが発生する可能性があるため、ひび割れ指数低減を目的としCase3を追加したが、Case2に比較し大きな効果は得られなかった。

3) 温度、主応力、ひび割れ指数の履歴

以下に温度、主応力、ひび割れ指数の履歴について、Caseと測定結果を併記し以下に示す。

Case2とCase3の主応力、温度履歴は同じ配合を用いているため、グラフではCase2のみ記載している。

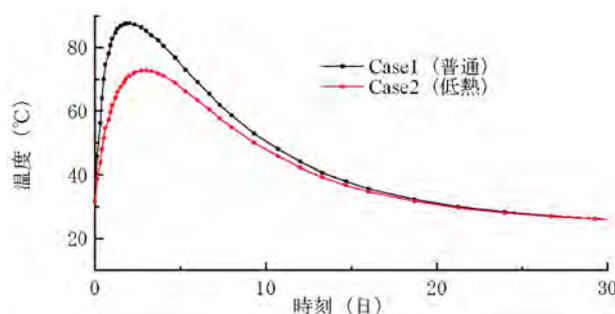


図7 温度履歴

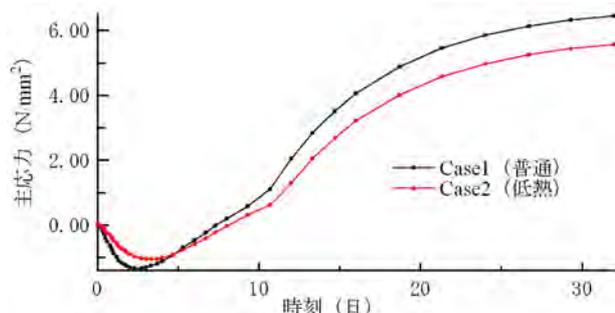


図8 主応力履歴

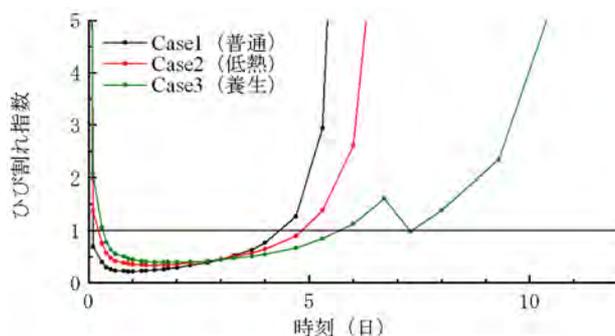


図9 ひび割れ指数履歴

図9のCase3は7日目に発泡フォームを撤去したため、ひび割れ指数が低下している。

(5) まとめ

解析結果から最大主応力の発生箇所および応力値の高い箇所は鋼とコンクリートの境界部で発生した。

鋼殻境界（剛結部スカートとコンクリートの境界部）部はひび割れ指数が低く、主応力方向は鉛直方向に入っているため、初期材齢時に水平方向にひび割れが発生する可能性が高い。しかし、材齢の経過によりひび割れは制限され、水平方向のひび割れ幅は柱頭部自重により減少すると想定できたため、現状の配筋で断面力に抵抗できるか検証するに止めた。

また、発泡フォームによる効果が見込めないため、その養生（Case3）は採用しなかった。ただし、施工時にシート養生により風の影響を防ぐことと、シート内に散水し湿潤状態を保持するよう施工上の対策を行うこととした。

3. 温度計測

温度応力解析の妥当性を確認するため、PB6, PB8 橋脚の温度計測を実施した。

(1) 計測機器

- ①熱電対
- ②データロガー（TC-31K：東京測器）

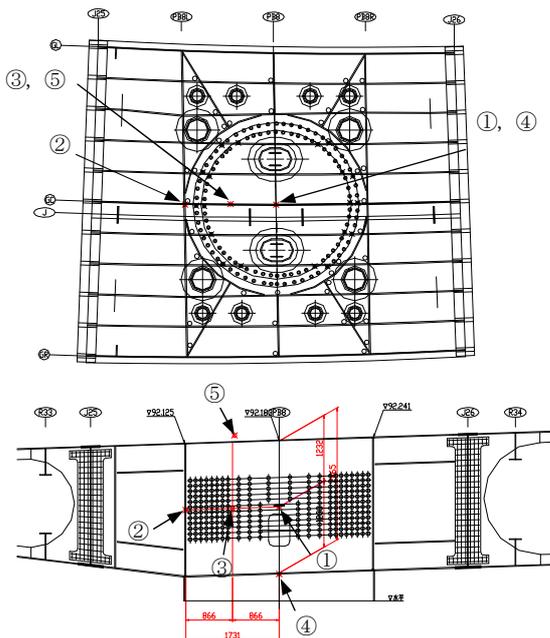


図10 熱電対設置箇所

(2) 計測箇所

図10に示す箇所について計測を行った。

- ①最高温度部
- ②鋼殻内部最低温度部
- ③中間点温度部
- ④主応力最大部
- ⑤外気温

(3) 計測

打ち込み完了から1時間までは10分毎、1時間経過後は1時間毎にデータを自動計測し、10日間計測した。



写真1 計測機器

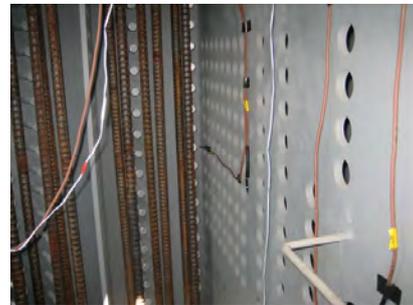


写真2 熱電対設置状況

(4) 計測結果

図11および表5に解析と計測の結果を比較したものを示す。

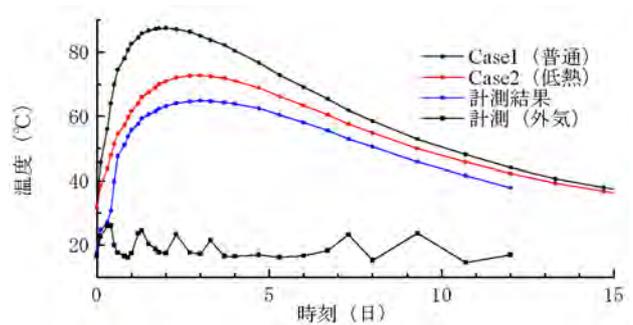


図11 解析と計測の温度履歴比較

表5 解析と計測結果

	打設気温	打設 Con 温度	最高温度	発生時間
Case2	26.8°C	31.8°C	72.8°C	3日
計測	22.8°C	25.0°C	64.9°C	3日

(5)まとめ

解析値と計測に温度差があるが、外気および打設前コンクリート温度の差を考慮するとほぼ解析値と合い、温度の勾配が解析値と近似していることから、解析は妥当であると判断した。

脱型時に鋼殻境界部を確認したが、ひび割れは発生していない。



写真3 脱型後

4. 充填確認

剛結構造には、縦断勾配および横断勾配の高い側に空気抜き孔を設けているが、構造上、空気抜き孔より高い箇所には充填しなければならない箇所が生じる。

確実に充填されているか確認するため、コンクリート充填感知センサを用いて計測した。

(1)計測機器

- ①コンクリート充填感知センサ (KZA-1B: 東京測器)
- ②データロガー (TDS-303: 東京測器)

今回の目的は充填確認であることと、高流動コンクリートの性能上、ブリーディング水の発生は考慮せず、センサへのコンクリート接触=充填と判断し、材料の識別性能は求めなかった。

(2)計測箇所

剛結構造は類似構造であるため、初回打設を行う PB6 橋脚にて計測を行った。

構造上充填困難であると想定される①～④の上フランジ内面側と、橋脚と剛結下フランジ接触部にコンクリート充填確認センサを設置した。

計測位置を図12に示す。

- ①PB6R ダイヤフラムと斜ダイヤではさまれ、空気抜き孔から遠い位置。
- ②PB6L ダイヤフラムと斜ダイヤではさまれ、縦リブ2パネル目の横断の高い位置。
- ③PB6R ダイヤフラムと円柱ではさまれ、空気抜き孔から遠く横断の高い位置。

④GR 側中ウェブと斜ダイヤではさまれ、φ400の打設孔から縦横断の高い位置。

⑤桁下フランジ下面でスカートの内側かつ縦断の高い位置。

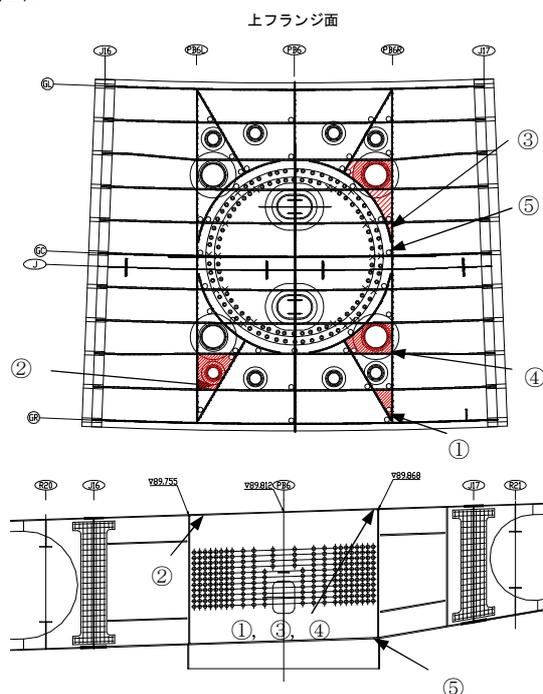


図12 充填センサ設置箇所

(3)計測

打ち込み開始から1分毎に計測を行った。

コンクリート充填感知センサは、センサ間に伝導体があると放電し電圧を感知する機能を有する。電圧を継続的に計測した場合、充填されたとして計測を打ち切った。



写真4 充填センサ



写真5 データロガー

(4) 計測結果

計測結果を図 13、図 14 に示す。

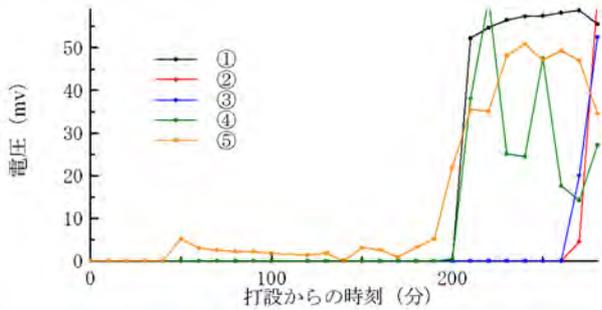


図 13 打ち込みからの電圧変動

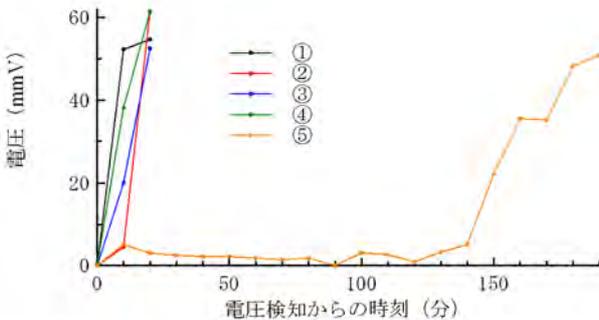


図 14 電圧検知からの電圧変動

上フランジ面の狭隘部 (①～④) は、コンクリート接触後から電圧が安定したため、早期に充填されたことが確認できた。

スカート部 (⑤) はコンクリートが接触した後、安定した電圧が検知できず、充填までかなりの時間を要した。

(5) まとめ

スカート部は下フランジに空気抜き孔を設けるか、スカートに打設確認孔を設けるなどの処置をした方がよい。

上フランジ面は狭隘部であっても、近接した箇所に空気抜き孔があれば充填可能であった。

5. おわりに

施工時の応力状況とひび割れ発生部位の把握、補強鉄筋の有無と施工時の養生方法の検討による品質の向上を目的とした解析を行ったが、熱伝達率の改善では鋼殻境界部のひび割れに対して処置できないことが分かった。

しかし、施工時にシート養生と範囲内湿潤状態の保持を行うことや、外気温が低い時刻に打ち込みを開始するなど、設計者と現場管理者が課題点を共通認識しつつ施工を行い、ひび割れ発生を防ぐことができた。

現在、剛結部の打ち込みは全量完了し、桁架設を行っている。床版打ち込み、橋面工の施工と進め、平成 23 年 2 月に竣工を迎える計画である。

最後に本工事の計画、施工にあたりご指導いただいた中日本高速道路株式会社静岡工事事務所構造工事区の方々ならびに関係各位に、紙面を借りて御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書 施工編 2007 年
- 2) 日本橋梁建設協会：場所打ち PC 床版における膨張材の有効性評価検討報告書 2004 年 10 月