

張出し床版リブを有するP C箱桁橋の施工報告

高德裕平¹・松本光矢²・中野俊秀³・有路雅明⁴

¹正会員 (株)大林組 〒東京本社 土木技術本部 構造技術部 (〒108-8502 東京都港区港南2-15-2)

²北海道旅客鉄道(株) 工務部工務技術センター (〒070-0030 北海道旭川市宮下通り6丁目)

³正会員 (株)大林組札幌支店 旭川高架JV工事事務所 (〒078-8328 北海道旭川市宮前通西4155-4)

⁴正会員 (株)大林組札幌支店 土木工事部 (〒060-0001 北海道札幌支中央区北1条西3-3-7)

旭川高架橋は景観性への配慮から桁下空間への圧迫感を極力少なくするため、張出し床版部にリブを有する2主箱桁構造の3径間連続橋として計画・設計された。本橋の施工では、張出し床版部にリブを有することから、通常の箱桁橋と比べてより綿密なコンクリート打設計画や入念な施工が必要となった。また、構造的には上床版がリブにより支持されることから、ウェブ部と上床版部に施工継目を設けた場合、リブによる拘束のため、温度応力や乾燥収縮によるひび割れの発生が懸念された。

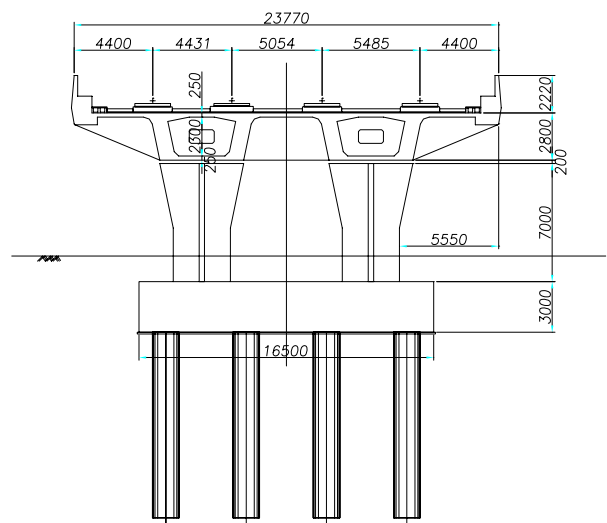
本論文では施工に先駆けて行った温度応力解析の概要や打設リフト割りおよび配合の検討、実橋におけるコンクリート打設作業に関する報告を行う。

キーワード：張出し床版リブ,温度応力解析,乾燥収縮,ひび割れ抑制対策

1. はじめに

旭川鉄道高架事業（以下、旭川高架）では、魅力ある都市計画を演出するため景観に配慮した設計を行った。特に、道路と立体交差する架道橋は桁下の道路空間に圧迫感を与えないよう前後の高架橋との連続性・一体感を確保する形状とした。このため、旭川高架の架道橋の一つである中央橋通BVは、張出し床版部にリブを有する2主桁形式の3径間連続PC箱桁橋としている。本論文では、中央通りBVの施工において事前に実施した打設計画の策定や温度応力の検討について報告する。¹⁾

主桁断面図



側面図

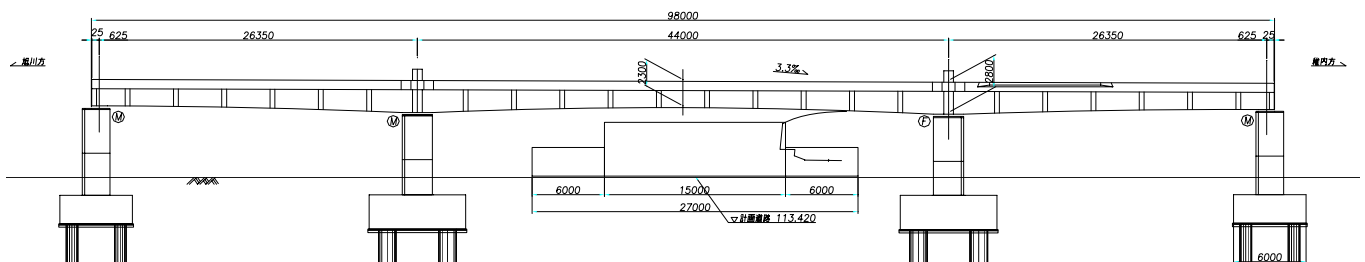


図-1 構造一般図

2. 工事概要

中央通りBVの工事概要を下記に示す。また本橋の構造一般図を図-1に示す。

構造形式：PC3 径間連続 2 主箱桁橋
 橋 長：98.000m
 スパン割：26.350m+44.000m+26.350m
 総 幅 員：23.770m
 平面線形：上り線 R=3000m, 下り線 R=4000m
 縦断線形：3.3‰
 曲線半径：直線
 斜 角：80°17'
 軌道構造：PC 枕木直結軌道
 列車荷重：EA-17

3. 施工時の検討

(1) 検討概要

本橋は張出し床版部にリブを有する 2 主箱桁構造であり、リブを有することから通常の箱桁橋と比べて、より綿密なコンクリート打設計画及びより入念な施工が必要となった。具体的には、上床版がリブに支持される構造となることから、リブによる拘束の影響で上床版に乾燥収縮によるひび割れの発生が懸念された。

そこで、本橋の施工に先駆けて、温度応力解析を実施し、温度応力及び乾燥収縮の影響を把握した上で、打設リフト割りおよびコンクリートの配合を決定することとした。

(2) コンクリートの配合

本橋のコンクリートの配合は、温度ひび割れの抑制及び施工性向上を目的に、表-1に示すように当初計画からの変更を行った。変更内容と理由を以下に示す。

- ・ 柱頭部マスコンクリートのひび割れ対策及び夏期施工におけるコールドジョイント対策として、セメントの種類を「早強セメント」から「普通セメント」に変更した。

- ・ ウェブ部コンクリートの施工性向上のため、スランブを「8cm」から「12cm」に変更した。
- ・ 乾燥収縮によるひび割れ抑制対策として、単位水量を減ずることとした。

(3) 打設リフト割り

打設リフト割り計画は、コンクリートの1日最大打設可能量・打設回数などの施工性及び工程を考慮して表-2に示す3案に絞った。各案の概要は以下とおりである。

A案は下床版・ウェブ・リブのコンクリートを橋軸方向に3分割して打設した後、上床版のコンクリートを一括で打設する方法であり、下床版コンクリート打設後から上床版コンクリート打設までの打設間隔は約6週間となる。

B案は下床版・ウェブ・リブのコンクリートを橋軸方向に3分割して打設した後、上床版のコンクリートも橋軸方向に3分割して打設する方法であり、両者の打設間隔は約2週間となる。

C案は上・下床版を一括して打設する方法で、橋軸方向には1日の最大打設量を考慮した9分割する案とした。

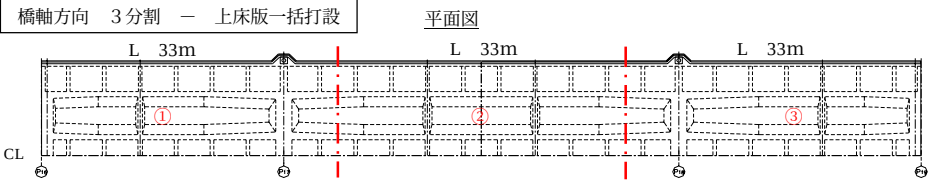
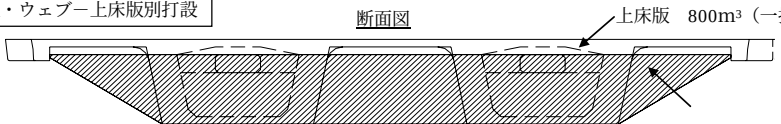
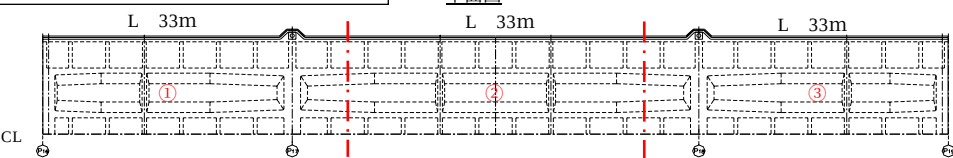
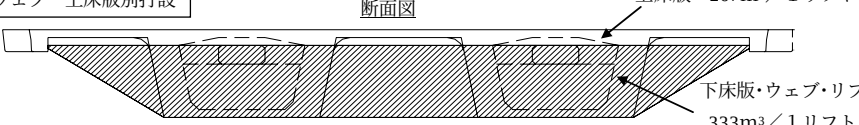
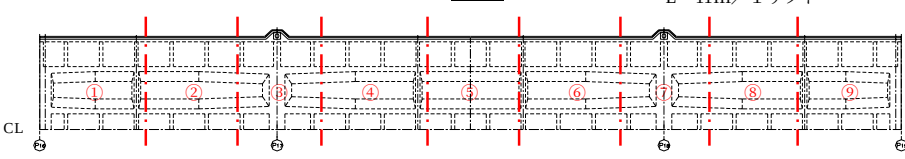
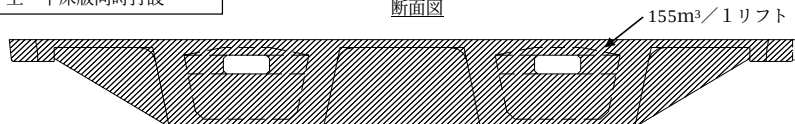
A～C 案のそれぞれの計画に対するメリット・デメリットも表-2に合わせて記載する。A,B 案では上床版と下床版・リブ・ウェブを分割して施工することになり、コンクリートの材令に差が生じることから上床版コンクリートがリブ・ウェブ部のコンクリートにより拘束され、ひび割れの発生する可能性があるという懸案材料があった。一方、C 案では上・下床版を同時に打設することから、上述したような拘束によるひび割れが発生することはないが、箱桁内空が最低 1.8m と狭いことから、内部支保工の組立・解体作業や桁内でのコンクリート打設作業の施工性が悪いなどのデメリットがあった。

そこで、A～C 案について温度応力解析を実施し、ひび割れ発生確率やひび割れ幅を定量的に推定し、品質・施工性などの総合的な判断を行うことで、打設計画を決定することとした。

表-1 コンクリートの配合表

	セメントの種類	呼び強度	スランブ	粗骨材の最大寸法	混和剤	セメント	水	水セメント比	細骨材率
			(cm)	(mm)		(kg/m3)	(kg/m3)	(%)	(%)
当初計画	早強	40	8	25	A E減水剤	421	154	36.6	38.3
実施工	普通	40	12	25	A E減水剤	406	153	37.7	37.5

表-2 打設リフト割り計画案

A 案	橋軸方向 3分割 — 上床版一括打設 平面図  下床版・ウェーブ上床版別打設 断面図 
	打設回数：4回 コン打設量（最大）：800m³ - 下床版の1回あたり打設量は 333m³ となり，1 日のコンクリート打設が可能となる．1 リフトの長さも約 30m と施工管理が容易である．上床版は 800m³ の打設量となるが，打設が容易な箇所であり，1 日での施工は可能である． - 打設回数も少なく，比較的工期短縮が容易である． - 施工時の上床板ひび割れに対する検討が必要である．
B 案	橋軸方向 3分割 — 上・下床版とも 平面図  下床版・ウェーブ上床版別打設 断面図 
	打設回数：6回 コン打設量（最大）：333m³ - 打設回数は 6 回となるが，1 回の打設量が少ないため，コンクリート打設時の施工性が向上する． - 打設回数は A 案より多いが，工期内の施工は可能である． - 施工時の上床板ひび割れに対する検討が必要である．
C 案	橋軸方向 9分割 平面図  上・下床版同時打設 断面図 
	打設回数：9回 コン打設量（最大）：155m³ - 上下床版を同時打設とした場合，内部支保工の組立や下床版コンクリート打設時の施工性は悪くなる．本橋は桁内空 1.8m と狭く，桁内での作業は難しい． - リフト数が多く，工程内での施工は困難である． - 温度応力・乾燥収縮によるひび割れ発生の懸念は少なくなる．

4. 温度応力解析

(1)解析条件

解析は、図-2のような線路直角方向中心にて対称条件を設定した軸対称半断面モデルにより行う。橋軸方向にはL=22m分のモデル化を行い、拘束条件として、支承せん断ばねの条件を入力している。また、解析条件を表-3に示す。

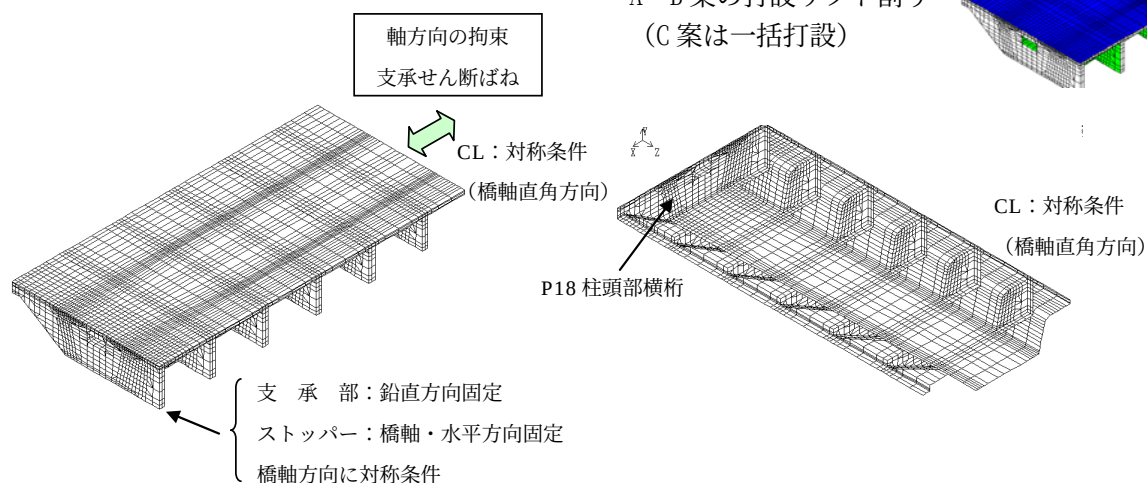


図-2 温度解析モデル

表-3 温度解析条件一覧表

項目		A案	B案	C案
セメント種類		普通		
配合	水(W)	153kg/m3		
	セメント(C)	406kg/m3		
コンクリート強度 $f_c(28)$		40N /mm2		
打設温度		1lift 21℃ / 2lift 24℃		24℃
熱伝導率		2.7W/m℃		
密度		2400kg/m3		
比熱		1.150KJ/kg℃		
断熱温度上昇特性 $Q=Q_{\infty}(1-e^{(-\gamma t)})$		$Q_{\infty}=57.6/57.3$		$Q_{\infty}=57.3$
		$\gamma=1.552/1.688$		$\gamma=1.688$
熱伝達率	型枠(合板)	8 W/m℃		
	外気	14 W/m℃		
圧縮強度	$f_c'(t)=\frac{t}{t+(a+bt)} \cdot f' c(28) \cdot d$	a=4.5		
		b=0.95		
		$f_c(28)=40$		
		d=1.11		
引張強度 $f_t(t)=c\sqrt{(f' c(t))}$		c=0.44		
有効ヤング係数 (クリープひずみ考慮)		$E(t)=\phi(t)*4700*\sqrt{(f_c(t))}$		
ポアソン比		0.18		
線膨張係数		10 μ /℃		
収縮	相対湿度	66%		
	体積表面比	ウェブ・横桁:300 / リブ:100 / 上床板:170		
	乾燥収縮開始材令	0		
	ϵ (最終)	ウェブ・横桁:104 / リブ:281 / 上床板:417		
打設間隔	第1リフト～第2リフト	6週間	2週間	一括打設

(2)解析結果

各ケースの最大主応力コンター図を図-3に示す。A案の上床版引張応力が他案より大きく、特に横桁近傍付近で卓越している。これは下床版・ウェブ・リブと上床版の打設間隔が大きいいため、上床版の乾燥収縮が先行して打設されているウェブ・リブにより拘束されることが原因である。

C案は上・下床版を同時に打設することから、打設直後のコンクリート硬化時の引張応力が大きくなる結果となった。

3案を比較すると、B案が最もひび割れ発生懸念が少ないと判断された。また、上述したような施工性も考慮し、本工事ではB案により施工することとした。

(3)ひび割れ抑制対策

土木学会『コンクリート標準示方書（施工編）』²⁾では、「ひび割れの発生を許容するが、ひび割れ幅が過大とならないように制限したい場合」はひび割れ指数を1.0以上とすることと記述されている。

本橋で採用するB案の最小ひび割れ指数およびひび割れ指数履歴を図-4に示すが、横桁部から1.0m程度の範囲においてひび割れ指数が1.0を下回る結果となった。

そこで、本橋では、ひび割れ幅を耐久性上問題のない0.2mm以下に抑えることとし、図-5に示す範囲においてひび割れ抑制鉄筋を配置することとした。

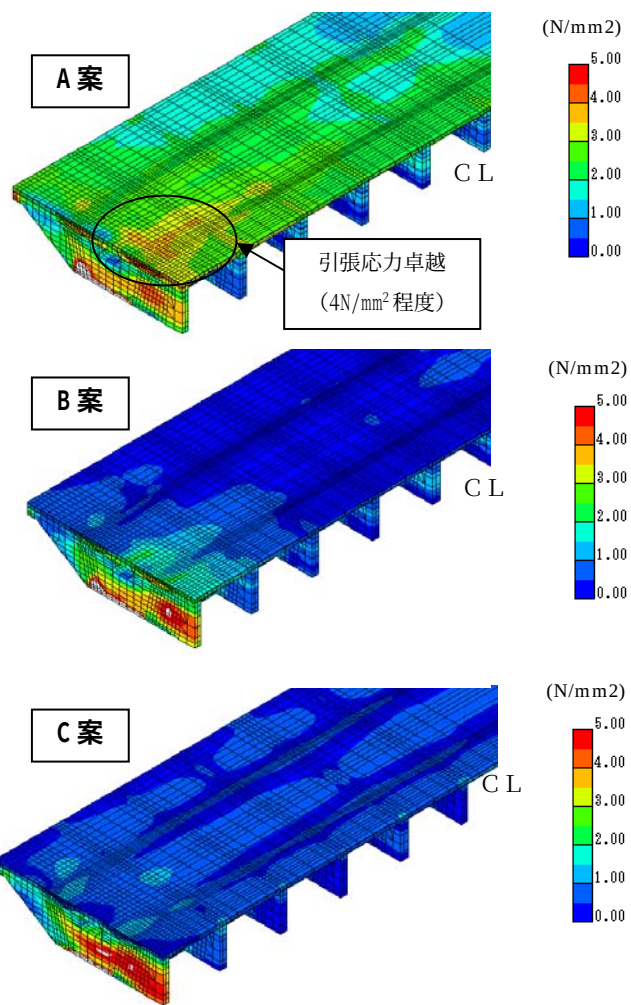


図-3 主応力図

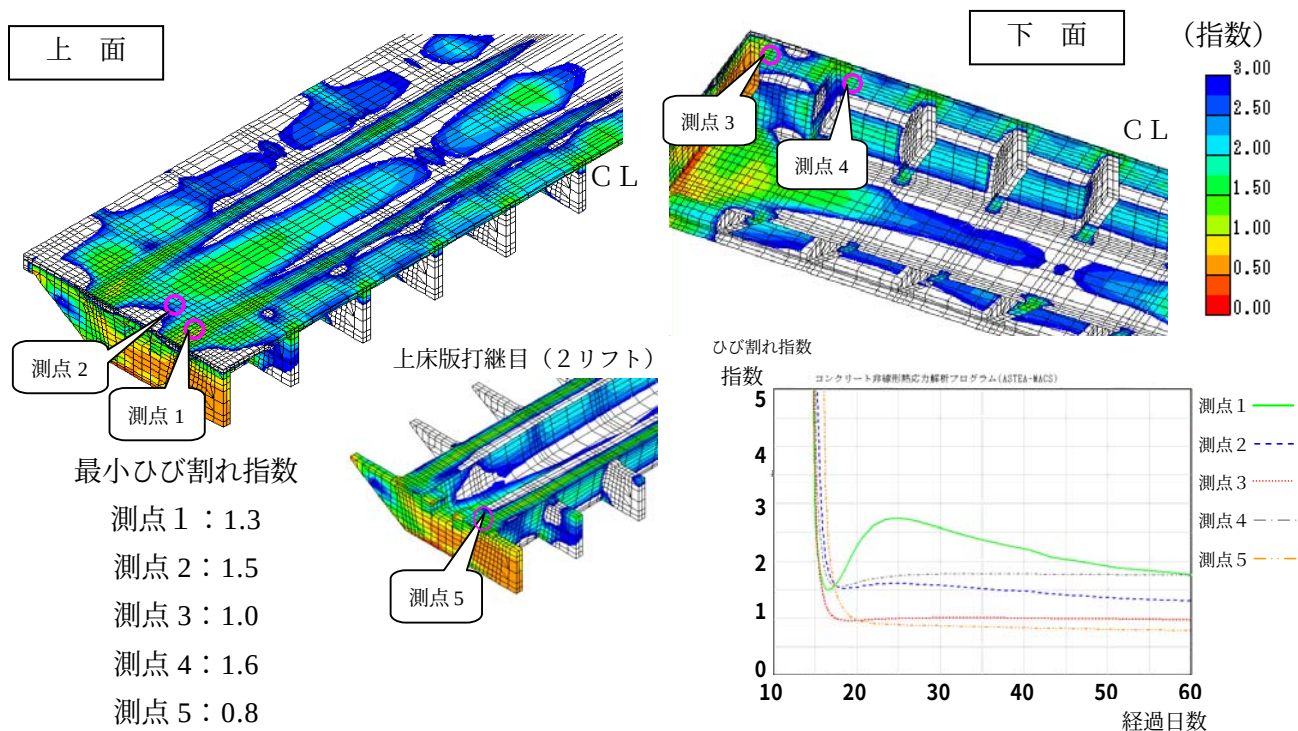


図-4 ひび割れ指数（B案）

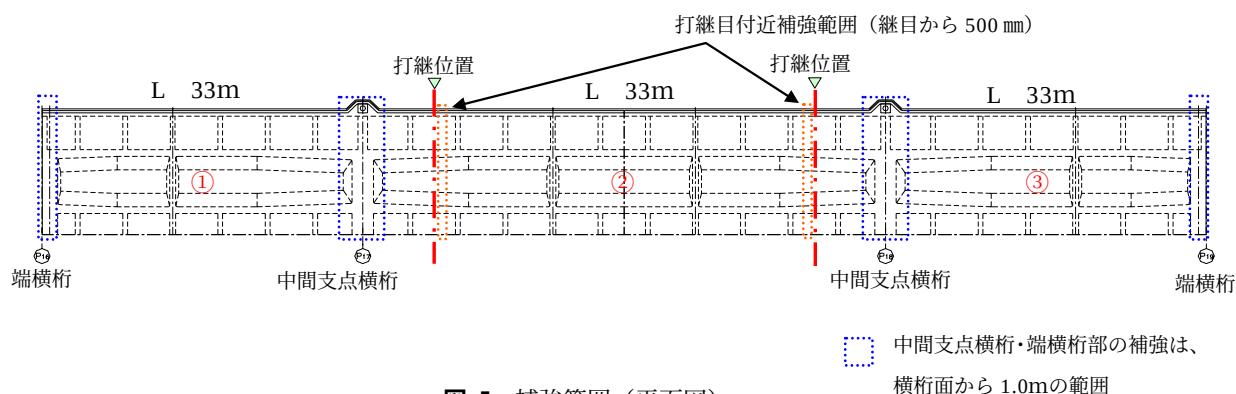


図-5 補強範囲（平面図）



写真-1 コンクリート打設状況



写真-2 完成写真

5. コンクリート打設

本橋のコンクリート打設では以下の留意点に注意しながら施工を行った。

- ウェブ下端コンクリートのジャンカや空洞などの不具合発生を防止するため、ウェブ部を先行して打設し、ウェブ下端からコンクリートを噴き出させた後に下床版を仕上げることにした。
- ウェブ高さが 1.7m～2.1m 程度のため、高さ方向に 3 層に分けて打設し、1 回の打上がり高さは 50cm～70cm とした。
- コンクリートの打設は夏場となり、上述したように高さ方向に 3 層に分けて打設することから、コールドジョイントの発生が懸念された。そこで、コールドジョイント抑制のため、打継目の締固め及び打設間隔の時間管理を厳密に行うことにした。具体的には、打設完了した箇所には打ち終わり時間を明記した札を立て、関係者が打設間隔を把握できるようにした。

写真-1 にコンクリート打設状況写真を示す。

6. おわりに

以上、張出し床版にリブを有する箱桁橋の施工報告として旭川高架中央通り BV の施工概要について述べた。本橋の施工は、平成 17 年 8 月に完了している（写真-2）が、上述した事前検討や入念な品質管理を行った結果、ひび割れの発生状況はほぼ解析と一致しており、耐久性上問題となるようなひび割れの発生を抑えることができた。本論文が同種工事の施工計画の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 松本光矢：張出し床版部にリブを有する PC 箱桁のコンクリート打設，平成 17 年度総合技術講演会（土木工事施工），pp. 21-24，2005.
- 1) コンクリート標準示方書【施工編】，土木学会，pp. 43，2002.