

橋台工のひび割れ抑制(防止)対策

株式会社 林工組
泉 智之

1. はじめに

本工事の『平成27年度 社会資本整備総合交付金(スマートIC関連整備)事業 (一)湖東館山寺線 館山寺スマートIC下り線ランプ橋梁(下部工)工事』は、館山寺スマートインターチェンジの一部であり、主に橋台1基及び盛土工を施工するものであった。

館山寺スマートインターチェンジは、地域の魅力向上や周辺地域からの利便性の向上のみならず防災機能の強化も目的とした工事である。

今回施工した橋台は重要構造物であり、長期的な耐久性の向上が求められた。

耐久性の向上の一つとして、マスコンクリートである橋台のひび割れ抑制対策を実施した。

2. 工事概要

工事名：平成27年度 社会資本整備総合交付金(スマートIC関連整備)事業
(一)湖東館山寺線 館山寺スマートIC下り線ランプ橋梁(下部工)工事

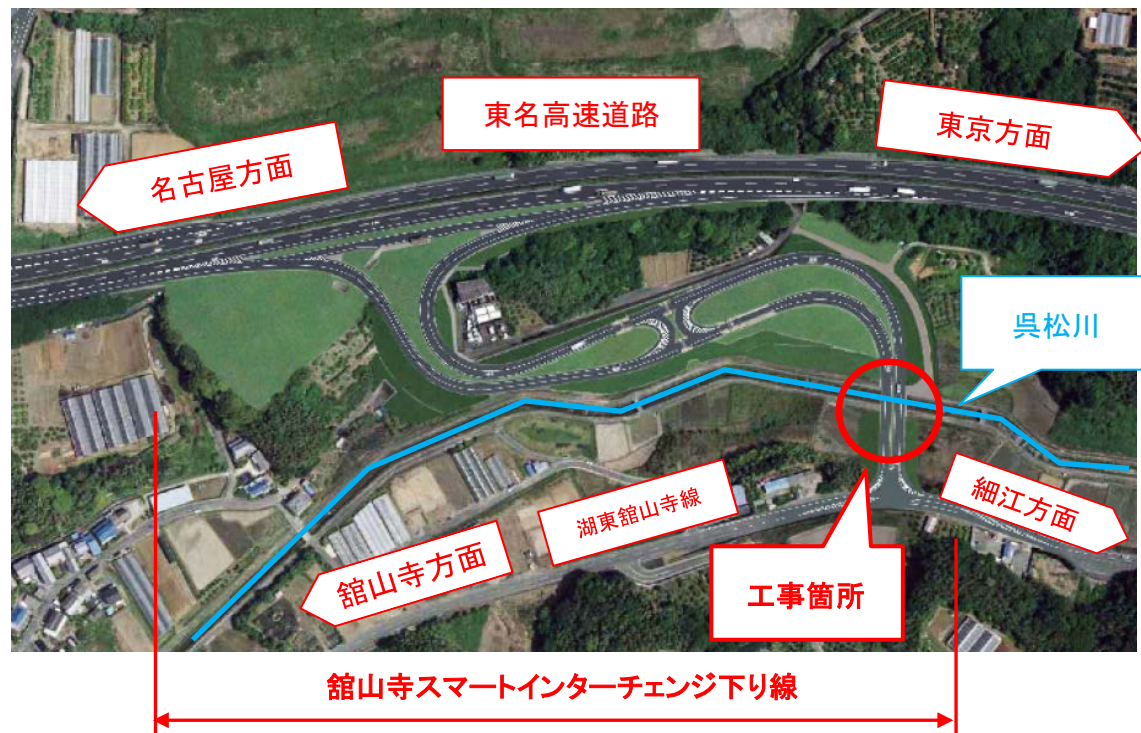
工事箇所：浜松市 西区 呉松町 地内

工期：平成27年7月1日 ~ 平成28年5月30日

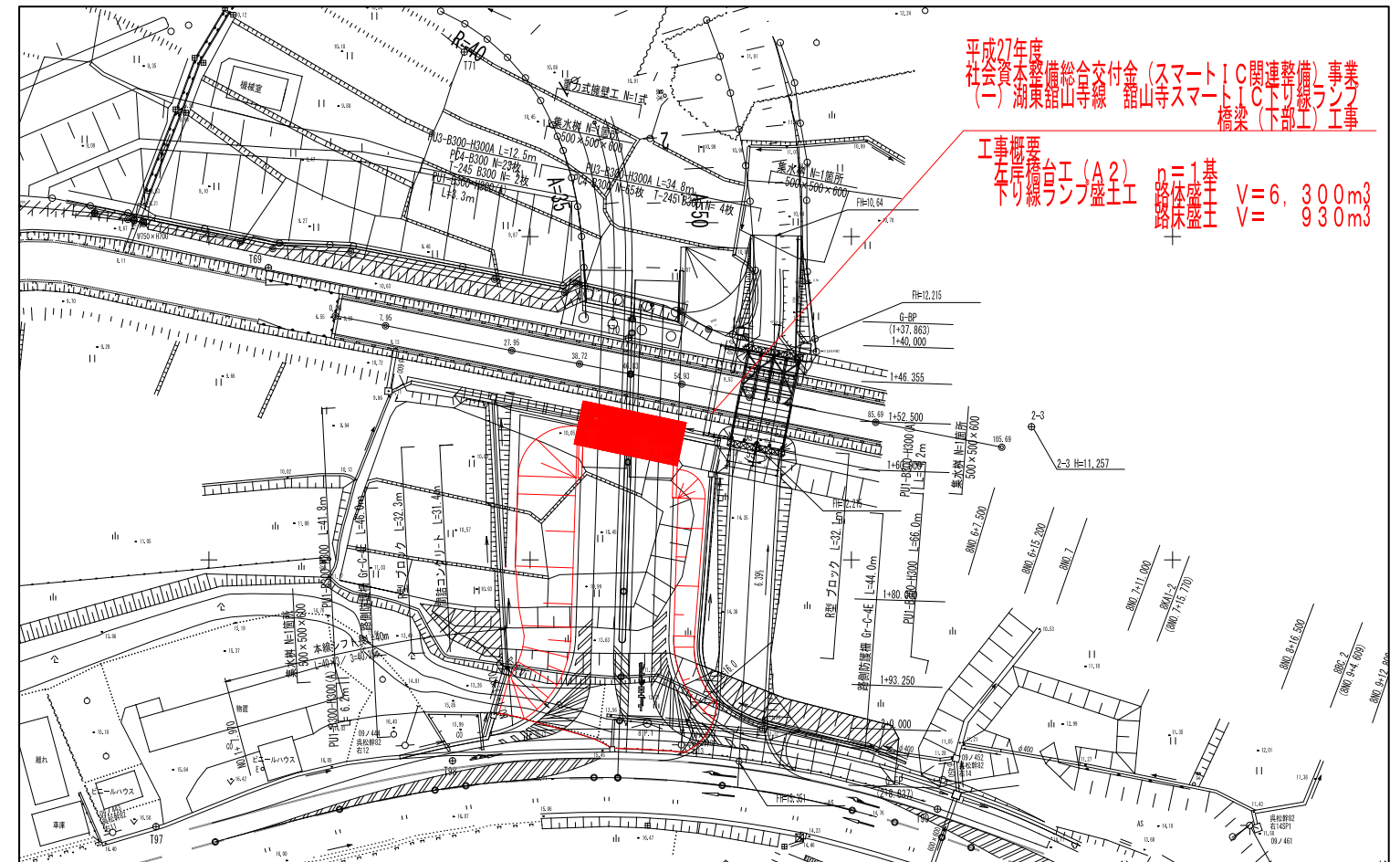
発注者：浜松市 南土木整備事務所

工事内容：橋梁下部工 A2橋台 1式
取付道路 下り線ランプ 1式

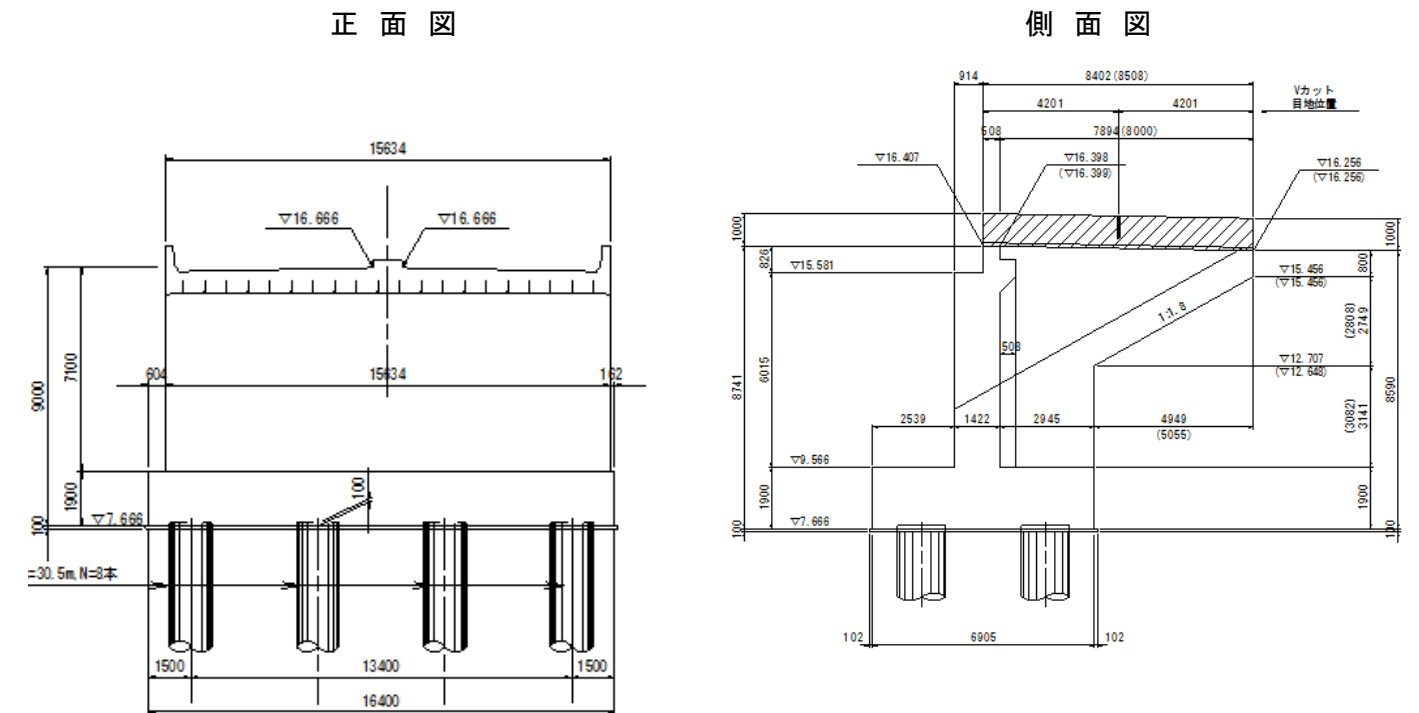
位置図



工事平面図



A2橋台一般図



3. ひび割れ発生原因

ひび割れ発生の原因として大きく二つに分類される。

(1) 内部拘束ひび割れ

コンクリートは打設後、セメントの水和作用による発熱でコンクリート温度が上昇し、その後放熱により徐々に外気温温度まで降下する。コンクリートの表面に近い部分ほど放熱の影響を受けやすく、中心部の温度上昇量は表面より大きくなる。この過程により部材の中心部と表面には、膨張ひずみの差が生じそのひずみ差を部材断面内で拘束し合うことにより温度応力(引張応力)が発生する。この引張応力がコンクリート表面の引張強度を超えると、ひび割れが発生する。

特徴としては、材令初期に発生しやすくひび割れは表面にとどまることが多い。

(2) 外部拘束ひび割れ

打設されたコンクリート温度が降下する際に発生する体積収縮が、既設コンクリートや基礎岩盤に拘束され、内部に温度応力(引張応力)が発生する。この拘束作用により、拘束方向と直交したひび割れを発生させる。

特徴としては、ある程度時間が経過した後にひび割れが発生し、ひび割れ幅も比較的大きく、部材を貫通するひび割れとなるケースも多い。

4. ひび割れ抑制対策

本工事では以下のひび割れ抑制対策を実施した。

- (1) 温度応力ひび割れ解析 ケース1～3の3パターンを三次元FEM解析で実施
- (2) コンクリート内部温度及び外気温の測定 各部位の中心部・表面部・外気温を測定
- (3) 対策工 誘発目地の設置及び上記に基づき現場にて温度制御

5. 温度応力ひび割れ解析

(1) 温度解析 : 三次元FEM解析

(2) ひび割れ指数解析

今回検討において温度ひび割れ発生確率の評価は、下表のコンクリート標準示方書【2012】に準じた。

対策レベル	ひび割れ発生確率	安全係数
ひび割れを防止したい場合	5%	1.85以上
ひび割れの発生をできる限り制限したい場合	15%	1.40以上
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	50%	1.00以上

今回のひび割れ指数は、工程、現地条件等を考慮し、ひび割れ指数1.00以上でひび割れ発生確率50%以上を目標値とした。

ケース1 誘発目地設置無しの解析結果

各打設リフトの最高温度・最小指数				
部位		解析結果		
		最高温度	最小指数	
L1	フーチング	表面	35.08℃	0.75
		内部	55.26℃	1.33
L2	縦壁・ウイング	表面	28.38℃	1.49
		内部	44.73℃	0.78
L3	縦壁・ウイング パラペット	表面	27.37℃	1.28
		内部	42.66℃	0.74

一般的な施工を行った場合を検討したケース1では、縦壁とウイングの内部でひび割れ指数は1.0を下回った。ひび割れ指数が1.0を下回るとは、発生した引張応力がコンクリートの引張強度を上回ることを意味する。そのため、縦壁とウイングにおいて過大幅のひび割れが発生する可能性が高いと考えられる。

ケース2 誘発目地3本設置の解析結果

各打設リフトの最高温度・最小指数

リフト	部位	面	解析結果	
			最高温度	最小指数
L1	フーチング	表面	35.08℃	0.75
		内部	50.26℃	1.88
L2	縦壁・ウイング	表面	28.38℃	1.28
		内部	44.73℃	0.91
L3	縦壁・ウイング パラペット	表面	27.37℃	1.19
		内部	42.66℃	1.04

縦壁にひび割れ誘発目地を3本設置した施工を検討したケース2では、ケース1に比べ縦壁・ウイング内部のひび割れ指数が改善された。誘発目地には、目地部にひび割れを発生させることで躯体に生じる外部拘束の応力を緩和させる効果がある。

そのことにより、フーチングからの拘束が弱り指数が改善したと考えられる。しかし、依然として縦壁とウイングにおいて指数が1.0を下回っており、過大幅のひび割れが発生する可能性が高いと考えられる。

フーチングでは、ケース1と同様に躯体表面で指数の低下が確認されているため、養生期間を延長することが望ましいと考えられる。

ケース3 誘発目地3本設置・打設日変更

ケース2打設計画

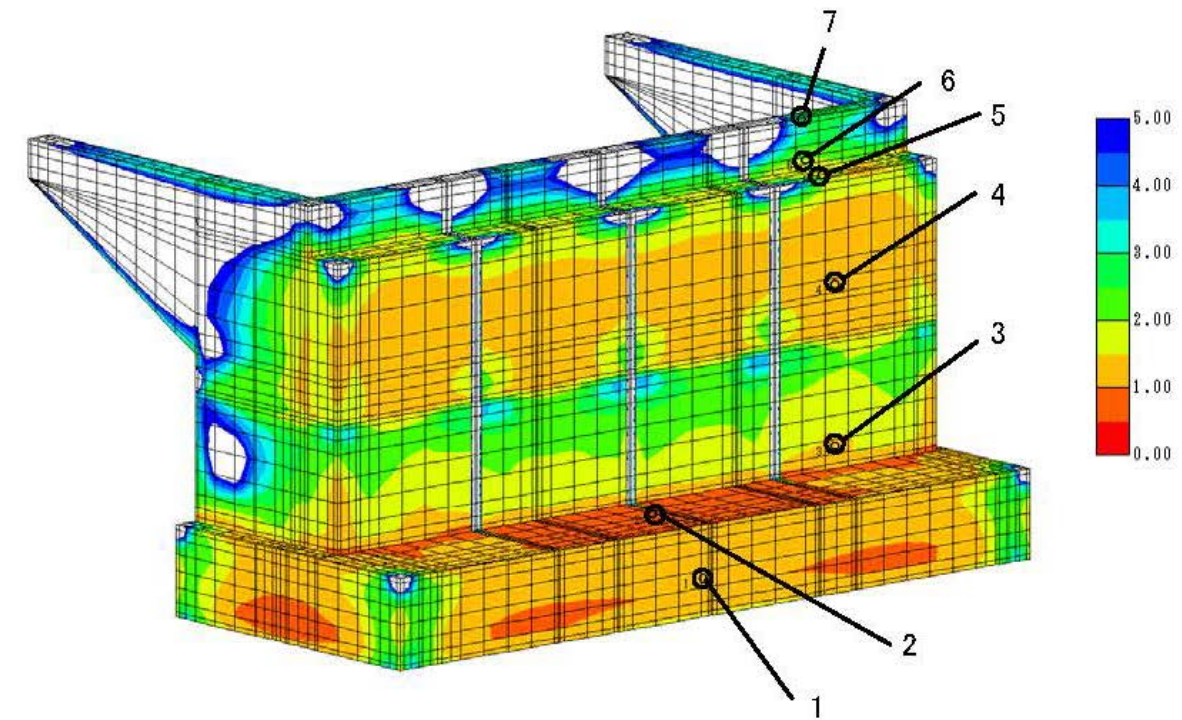
リフト	部位	打設日	初期温度
—	解析開始	平成27年9月1日	26.4℃
L1	フーチング	平成27年12月3日	15.5℃
L2	縦壁1・ウイング1	平成27年12月19日	13.0℃
L3	縦壁2・胸壁・ウイング2	平成27年2月13日	11.5℃
—	解析終了	平成28年5月31日	—

ケース3打設計画

リフト	部位	打設日	初期温度
—	解析開始	平成27年9月1日	26.4℃
L1	フーチング	平成27年12月3日	15.5℃
L2	縦壁1・ウイング1	平成27年12月12日	14.0℃
L3	縦壁2・胸壁・ウイング2	平成27年2月13日	11.5℃
—	解析終了	平成28年5月31日	—

フーチング打設～縦壁1・ウイング1打設期間を1週間早めた。

表面部解析結果



各打設リフトの最高温度・最小指数

リフト	部位	面	解析結果	
			最高温度	最小指数
L1	フーチング	表面	35.08℃	0.97
		内部	50.26℃	1.79
L2	縦壁・ウイング	表面	29.78℃	1.45
		内部	46.64℃	1.07
L3	縦壁・ウイング パラペット	表面	27.37℃	1.19
		内部	42.66℃	1.04

誘発目地を3本設置し、縦壁の下部リフトの打設を1週間早めたケース3では、全ての部位で内部ひび割れ指数が1.0を上回った。外部拘束型のひび割れは、打設したコンクリートが温度降下時に下部リフトから拘束を受けることで発生する。温度降下に伴って打設リフトが収縮する際に、付着がある下部リフトを巻き込み収縮しようとし、下部リフトは圧縮応力を受ける。

一方、打設リフトは、その反作用として引張応力を受けることになる。コンクリートは、圧縮応力に強いが引張応力に弱く、引張応力を受けた上部リフトにひび割れが発生する。そのため、上部リフトの打設を早め、下部リフトの強度が低い時期に打設を行えば、上部リフトが受ける引張応力を弱めることが出来る。

ケース3の結果からも、打設を早めたリフト2の縦壁・ウイングにて指数の改善が確認された。

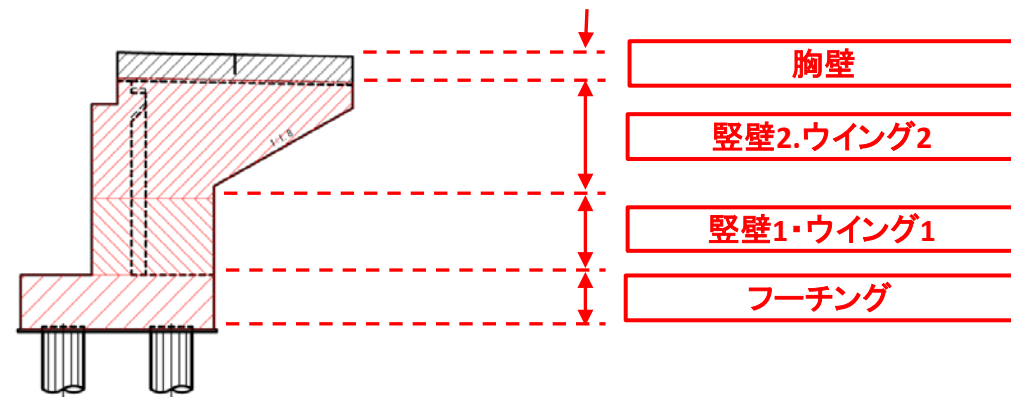
この事により、全ての部位で指数1.0を上回り、過大幅のひび割れが発生する可能性が低いと考えられる。フーチングでは、型枠脱型後にポリシートを用いた養生を行った。この効果により、表面の保温性が向上しフーチング表面の指数が改善された。依然として躯体表面で目標指数1.0を下回る場所も有るが、ケース2と比較して面積が減少している。また、指数が1.0を下回る期間が短いため、ひび割れ幅が大きくなる前にコンクリート強度が引張応力を上回るため、躯体に有害な過大幅のひび割れが発生する可能性が低いと考えられる。

6. コンクリート内部温度及び外気温の測定

(1) 打設実績

条件等	フーチング	縦壁1・ウイング1	縦壁2・ウイング2	胸壁
解析時打設日	2016/12/3	2015/12/12	2016/2/13	*****
打設日	2015/11/28	2015/12/10	2016/2/1	2016/2/16
打設高H(m)	1.8m	2.8m	3.4m	1.0m
解析時Co温度	15.5°C	13°C	11.5°C	*****
打設Co温度	平均18°C	平均19°C	平均11°C	13°C(1台目)
解析時外気温	10.5°C	8°C	6.5°C	*****
打設時平均外気温 (8:00~17:00)	14.6°C	15.3°C	8.6°C	7.8°C

(2) 打設リフト



内部温度、外気温の測定には下記写真(写真-1、写真-2)の測定機器を使用した。

(3) 内部温度、外気温の測定

写真-1 ハンディーロガーMR2041



写真-2 内部温度測定センサー



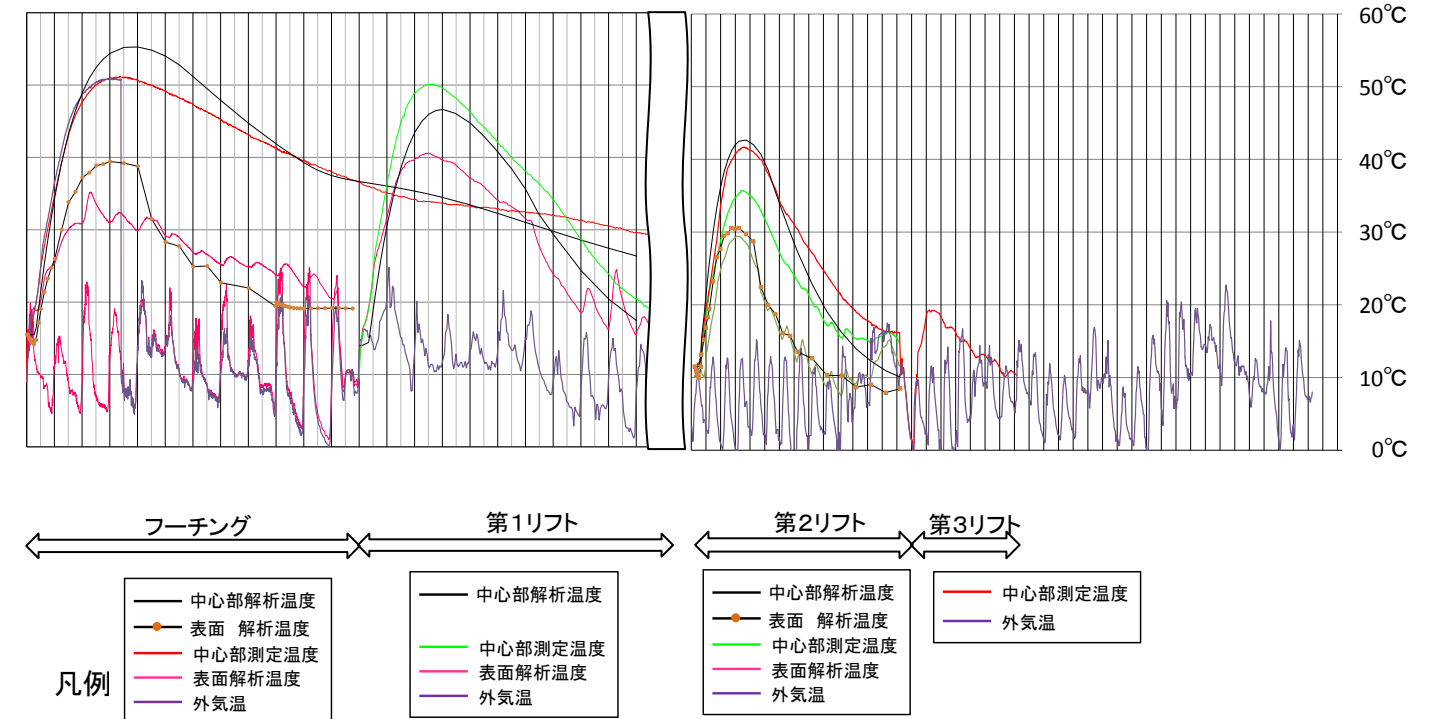
(4) 測定結果

コンクリート内部温度

部 位	躯体内部温度(°C)			躯体表面温度(°C)			内外温度差		
	解析最高温度	実測最高温度	差	解析最高温度	実測最高温度	差	解析	実測	差
フーチング	55.26	51.10	-4.16	35.08	32.40	-2.68	20.18	18.70	-1.48
第1リフト	46.64	50.10	3.46	29.78	40.60	10.82	16.86	9.50	-7.36
第2リフト	42.66	41.70	-0.96	27.37	29.40	2.03	15.29	12.30	-2.99
第3リフト	25.53	19.20	-6.33	21.07	****	****	4.46	****	****

※第2リフト表面温度は橋座面での測定

コンクリート温度及び外気温



7. 対策工

(1)フーチング

フーチング打設時、解析外気温よりも5℃程度高い温度であったため、コンクリート中心部の最高温度が高い予想であった。中心部と表面の温度差が解析よりもさらに拡大する可能性もあったため、表面の温度降下を防ぐ対策を実施した。(表面最低ひび割れ解析指数0.97)

- ① ブルーシートで日射、風対策、保温養生 (写真-3)
- ② 給熱(練炭)養生(寒中対策) (写真-4)
- ③ 上記と同時に、養生マット+散水による養生 (写真-5)
- ④ 脱型後の保温、水分蒸発防止として気泡緩衝材養生 (写真-6)

写真-3 ブルーシート養生



写真-4 給熱(練炭)養生



写真-5 養生マット+散水



写真-6 脱型後養生(気泡緩衝材)

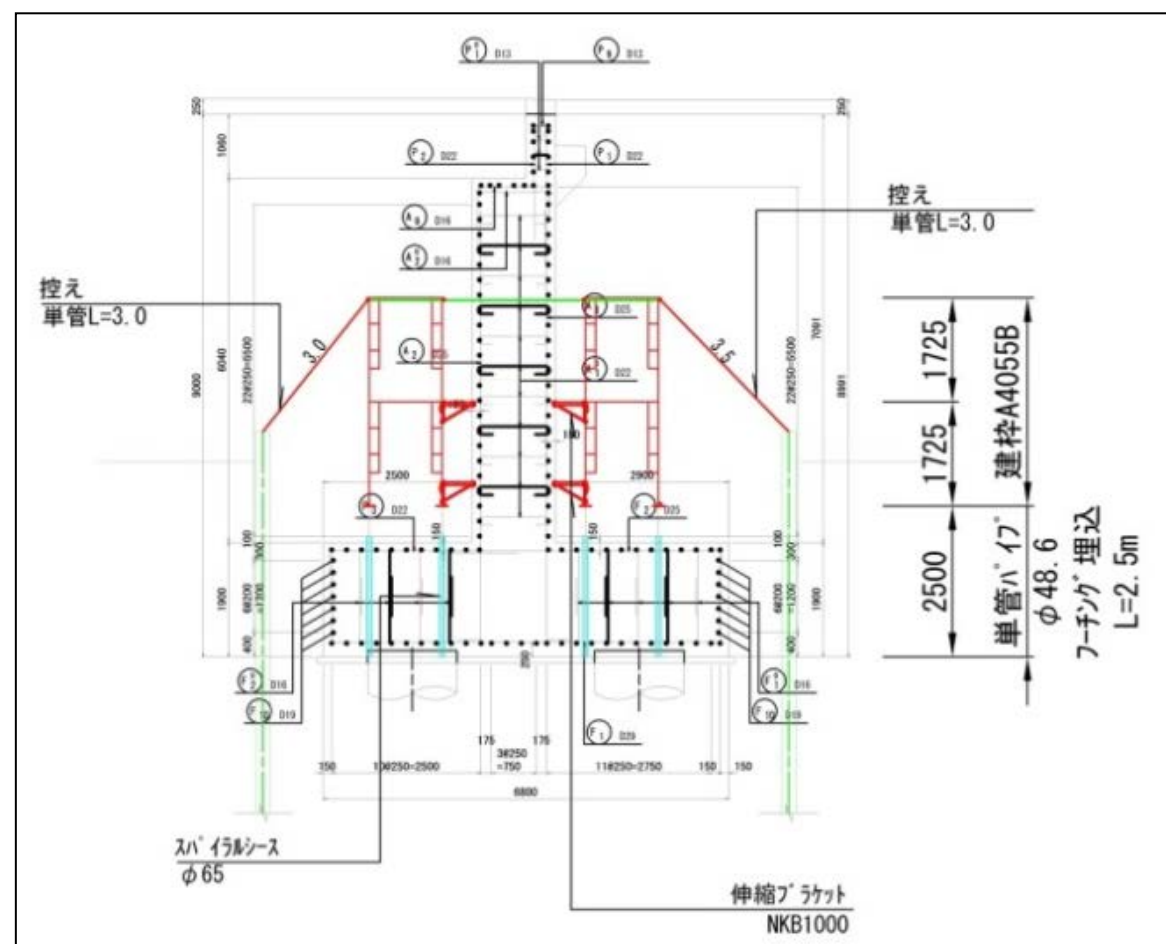


当日の外気温・コンクリート温度が解析時に比べ5℃程度高く、躯体中心部の最高温度が解析温度を上回ると予想されたが4.2℃下回った。これは、フーチング鉄筋組立架台用足場(写真-7)設置のためスパイラル管を設置したことにより、パイプクーリングとして中心部の温度上昇が抑えられたと考えられる。

写真-7 一次足場設置状況



図-1 一次足場標準図



(2) 縦壁1・ウイング1

縦壁1・ウイング1においては、

- ① 外部拘束によるひび割れの抑制
 - ⇒ ひび割れ誘発目地の設置(KB目地 静岡県新技術1333レベル3)(写真-8、写真-9)
 - ⇒ 打設日間隔の短縮(フーチング温度降下勾配の抑制)
- ② 内部拘束によるひび割れ抑制
 - ⇒ コンクリート表面温度降下の抑制
- ③ 脱型後の乾燥収縮ひび割れの抑制
 - ⇒ 乾燥防止

以上3点にの対策を実施し施工を進めた。

写真-8 誘発目地設置完了



写真-9 誘発目地完了



施工について

誘発目地を計画通り設置し、また打設間隔においては、解析時10日であったが12日となり、ほぼ計画通りとなった。

また、フーチングのコンクリート温度降下抑制、第2リフトの初期養生とし写真-3のブルーシート養生を継続した。脱型後は、さらにブルーシート養生の継続と、浸透型コンクリート養生剤(コンクリックエースNETIS KT-110023-VE)を散布し(写真-10)、ポリシートで乾燥防止養生を実施した(写真-11)。

写真-10 養生剤散布状況



写真-11 ポリシート養生



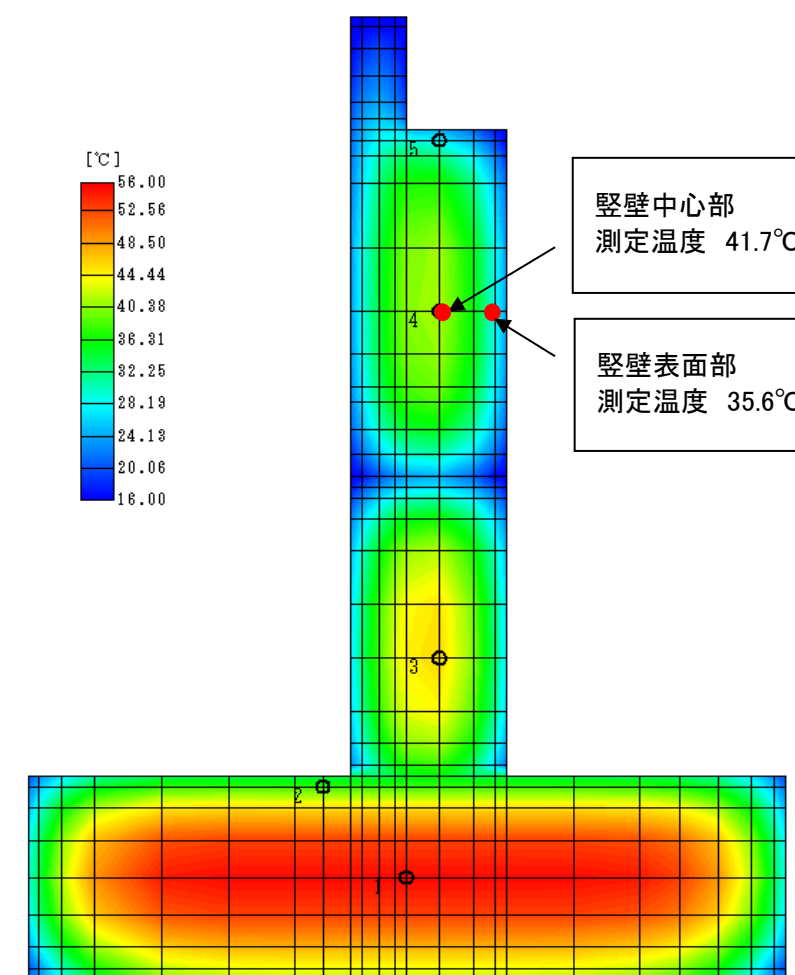
コンクリート中心部では解析温度に比べ3.5℃程度高かったが、上記のような対策を実施したため、表面温度と中心部との温度差を10℃以内に抑え、温度降下も解析に比べ緩やかになった。

(3) 縦壁2・ウイング2

縦壁2・ウイング2においては、打設間隔は解析では63日に対し施工では53日となった。また、解析において側面の脱型は5日目であったが、コンクリート内部・表面部の温度差を極力小さく、そして全体の温度降下勾配を抑制するため型枠の存置期間を2週間程度とした。第1リフトと同様、脱型後は浸透型養生剤を散布し乾燥防止に努めた。

実際の中心部、側部表面の温度差は、6℃程度(図-2)となり、また解析に比べ、緩やかな温度降下となり、ひび割れ抑制に繋がった。

図-2 解析温度断面図



8. まとめ、考察

今回の橋台躯体は冬季施工であった。そのため、コンクリート表面温度の降下抑制・乾燥防止に重点をおき、前述の対策を実施した。第1リフト(たて壁)打設時と2日目の寒暖差が激しく且つ平均気温が高かったため、解析温度よりも中心部で+3.5℃、表面部で+10.8℃となった。材令初期のひび割れが懸念されたが適切な養生によって温度降下速度を制御できたためひび割れは発生しなかった。

今回のように、ひび割れ指数が1.00を下回る(フーチング表面最少指数0.97)解析結果や1.00を若干上回る結果であったとしても、解析条件以上の現場での対策・養生により、ひび割れの発生を防止することができる。

6.(4)の表のとおり、温度制御対策によりコンクリートの内外温度差を解析結果より縮めることが出来た結果ひび割れ防止に繋がったと思う。

最後に当工事に関わったすべての関係者の皆様に厚く御礼を申し上げます。また、今回の経験を生かさらなる品質の向上に努めて努めていきたいと思っております。

橋台完成(前面)



橋台完成(背面)

