

平成29年度防災・安全交付金事業(国)473号(仮称)新々原田橋下部工工事(右岸橋台工)

目次

1. はじめに
2. 工事概要
3. 施工における課題
4. 課題への対応策
5. おわりに

着工前



完成



環境のリーディングカンパニー

1. はじめに

本工事は新々原田橋建設事業のうち、天竜川右岸側の橋梁下部工事である。
現場は急峻な地形を親杭横矢板土留にて掘り下げ、11.5m×10.0m×高さ20.0mの箱式橋台を建設する。
河川側からの進入は困難であるため、資機材の搬入は全て既設道路からクレーンにて行う必要がある。
ただし現在は全面通行止めの状態であるため、道路上での作業に制限はない。
地元から早期開通の要望が強いことから、発注者から工期厳守を強く求められていた。
また橋台躯体は特殊な形状であるため、コンクリートの品質確保が重要であった。

2. 工事概要

工事名称：平成29年度防災・安全交付金事業(国)473号(仮称)新々原田橋下部工(右岸橋台工)

発注者：浜松市土木部 天竜土木整備事務所

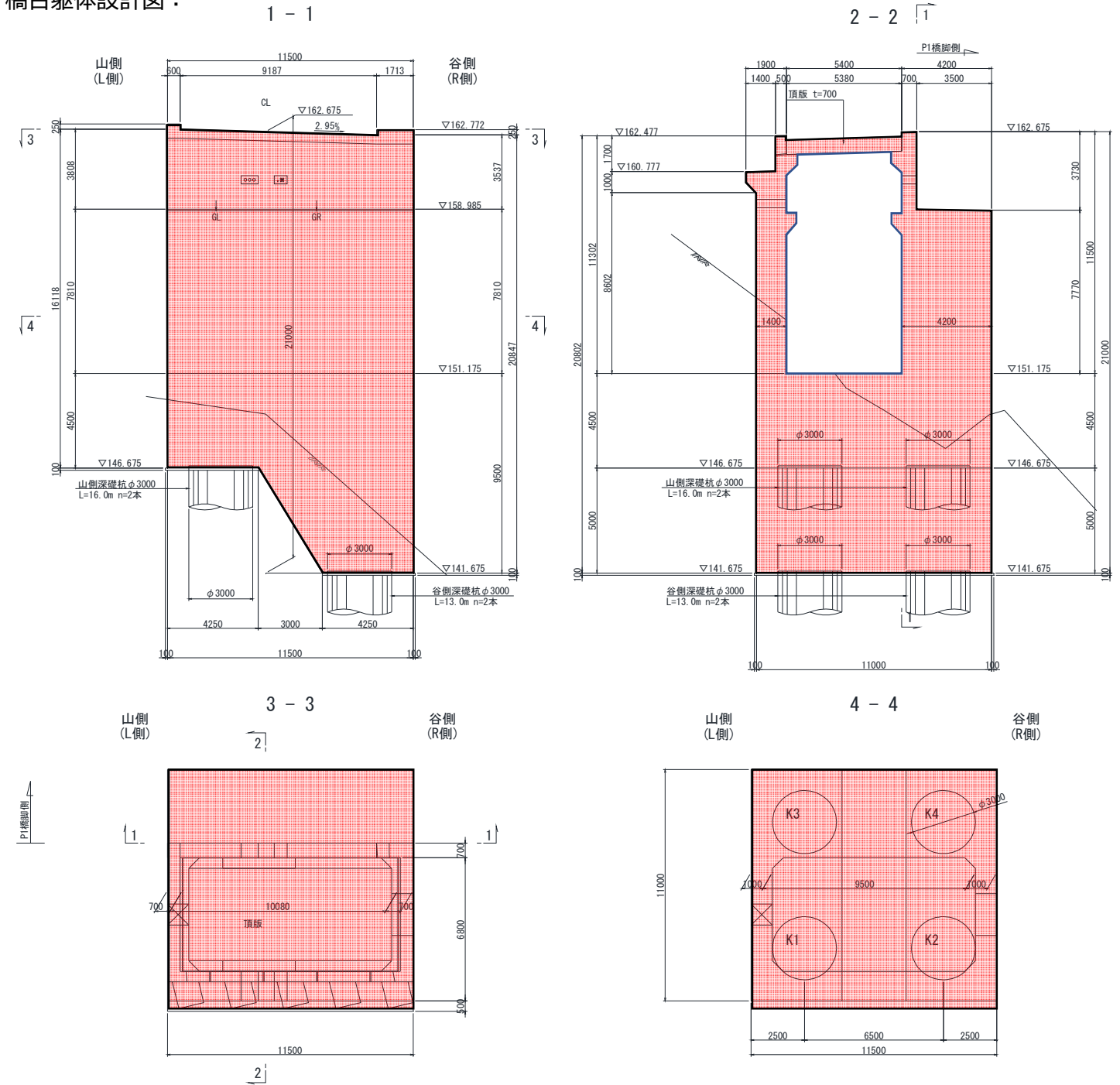
工事場所：静岡県浜松市天竜区佐久間町川合 地内

工期：平成29年7月19日～平成30年9月28日

工事内容：

・A1橋台工			
- 床掘り	2,400	m3	
- 深礎工	4	本	(φ3000 L=16.0m×2本 L=13.0m×2本)
- 橋台躯体工	1	基	(11.5m×10.0m×高さ20.0m)
- コンクリート	1,620	m3	
- 型枠	1,200	m2	
- 鉄筋	67	t	
- 外部足場	1,000	掛m2	
- 支保	620	空m3	
・検査路工	1	式	
・法面工	1	式	
・土留工	1	式	
・擁壁工	1	式	他

橋台躯体設計図：



位置図：



3. 施工における課題

本工事における課題としては①工程管理 ②品質管理 の大きく2つが挙げられる。

①工程管理について

床掘りの施工手順として、土留用の親杭(H350)を26本打ち込んだ後、横矢板を設置しながら掘削をしなければならない。横矢板は鋼製で、最終的には矢板前面をコンクリートで覆う構造である。

設計上は掘削範囲は全て土砂であったため、0.1~0.2BHを使用して掘削する計画をしていた。ミニバックホウにて掘削した土は、ベッセルに入れてクレーンにて地上まで荷上げする。掘削の初期段階では写真-1のように作業ヤードも狭く0.1BHの幅を確保するだけでも苦労するほどの急峻な地形であったため、ある程度ヤードが確保できれば0.2BHに変更する予定であった。

しかし実際に掘り進めると、写真-2のような径1m以上の巨石が大量に埋没していることが判明した。また、掘削範囲の中腹からは軟岩や硬岩も現れたため、地山を研りながら掘削する必要があった。数日はミニバックホウのまま作業を進めたが、小型の機械では巨石をベッセルに積み込むことができないため、石が発見されるたびに写真-3のように手研りで小割りにする必要があった。巨石の除去や土質の相違は工程を大きく圧迫するため、工期内に工事を終えるためには施工方法の改善を余儀なくされた。



写真-1 土留親杭完了(H鋼の谷側が掘削範囲)



写真-2 巨石確認



写真-3 巨石 手研り状況

②コンクリートの品質管理について

躯体の形状が特殊で複雑であるため、温度応力解析を実施してひび割れ発生確率を調査した。解析結果が表-1である。温度応力解析の結果はひび割れ指数で表され、値が小さいほどひび割れが生じやすい。この結果から、全ての打設ロットにて中心部もしくは表面部にひび割れが発生する確率が極めて高いことが分かった。図-2にて、赤色が濃いほどひび割れが発生しやすいことを表している。

躯体コンクリートの打設は5月から8月の期間である。特に縦壁やパラペットは6月下旬~7月までの外気温が高い時期の施工を予定していたため、ひび割れ抑制対策が特に重要となる。

なお本工事では頂版まで施工しているが、温度応力解析では一体構造の躯体を対象としているため支承や目地材にて縁が切れている頂版は解析の対象外としている。

表-1 温度応力解析結果

部位	中心部	表面部	打設量[m3]
パラペット2	0.63	1.24	48
パラペット1	0.56	0.71	67
縦壁3	0.69	0.71	188
縦壁2	0.76	0.87	203
縦壁1	0.46	0.86	198
フーチング3	2.74	0.93	285
フーチング2	0.81	0.68	283
フーチング1	0.89	0.79	315

※値が0.9未満を着色

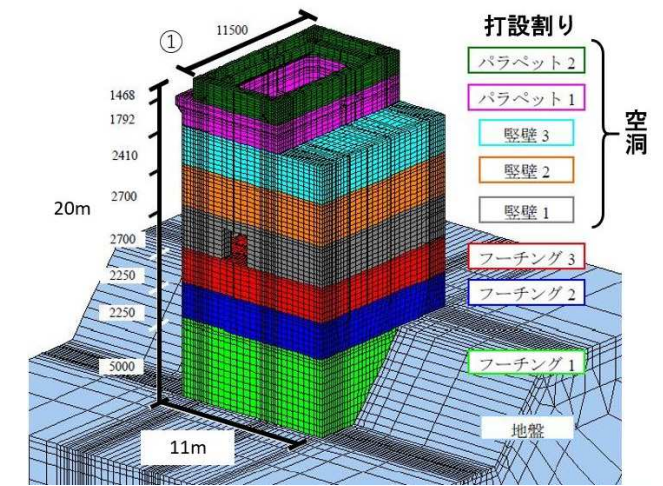


図-1 打設ロット

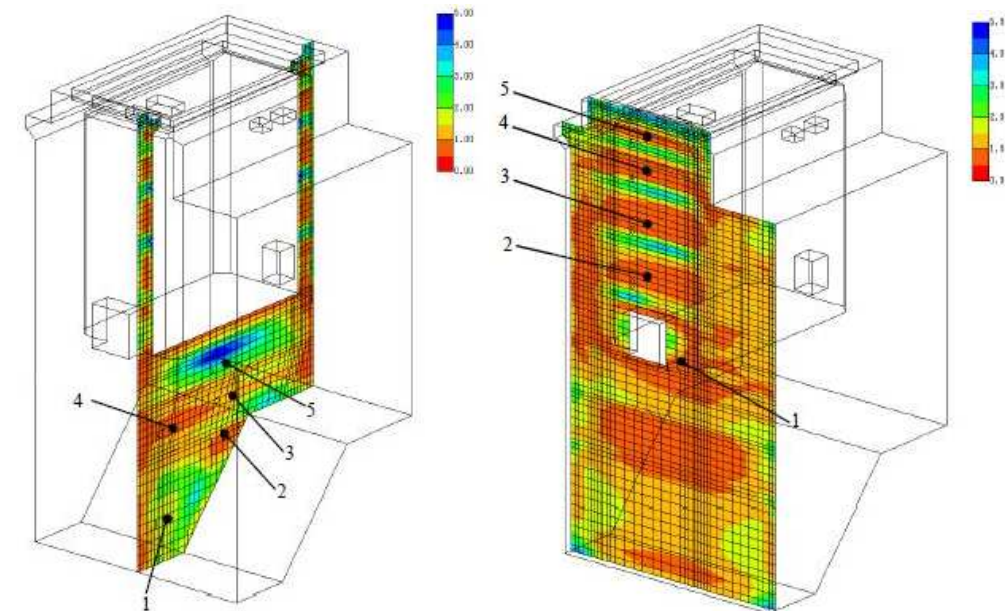


図-2 ひび割れ指数分布

4. 課題への対応策

①工程管理について

床掘りの施工方法の変更について

当初は前述の通り、序盤は0.1BH、後半は0.2BHにて掘削を行う予定であった。しかし現場条件を踏まえた検討の結果、0.7m3級のスライドアーム式クラムシェル型のバックホウを採用した。これにより下記のようなメリットが得られた。

1. 巨石を地上から直接回収して地上で小割にすることが可能となった
2. 風化した軟岩程度であれば、ブレーカーを使わずに直接掘削できるようになった
3. ミニバックホウでの作業はヤードが狭く法肩から転落する危険があるため安全性が向上した
4. 掘削作業のペース自体を上げることができた

この大型機械による施工で、道路から15m下までの掘削が可能となった。当現場の床付け面は道路から20m下であったため、後半の5m分については0.2BHを2台投入して掘削を行った。着工前の工程表では2.3ヶ月に対し、実施工は2.6ヶ月であった。施工方法を変更せずに工事を進めていた場合は3.5カ月ほど要することが見込まれていたため、今回の改善は大きな効果が得られたことが分かる。



写真-4 スライドアーム式クラムシェル型バックホウ

②コンクリートの品質管理について

ひび割れ抑制対策として下記の通りケースを検討し、解析を行った。温度応力解析により求められたひび割れ指数の結果を表-2にまとめる。指数と発生確率の関係性は図-3を参照されたい。

- ・ケース1…当初計画（対策なし）
- ・ケース2…セメント種類変更（BB→N）
- ・ケース3…ケース2 + ひび割れ誘発目地の使用（縦壁・パラペット）
- ・ケース4…ケース3 + 膨張剤の使用（縦壁1・パラペット1）

表-2 温度応力解析結果比較（中心部）

部位	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	打設量[m3]
パラペット2	0.63	0.67	0.95	0.98	48
パラペット1	0.56	0.60	0.78	0.94	67
縦壁3	0.69	0.75	0.84	0.90	188
縦壁2	0.76	0.81	0.96	0.96	203
縦壁1	0.46	0.50	0.66	0.90	198
フーチング3	2.74	4.76	4.03	3.30	285
フーチング2	0.81	0.91	0.93	0.93	283
フーチング1	0.89	0.99	0.99	0.99	315

※値が0.9未満を着色

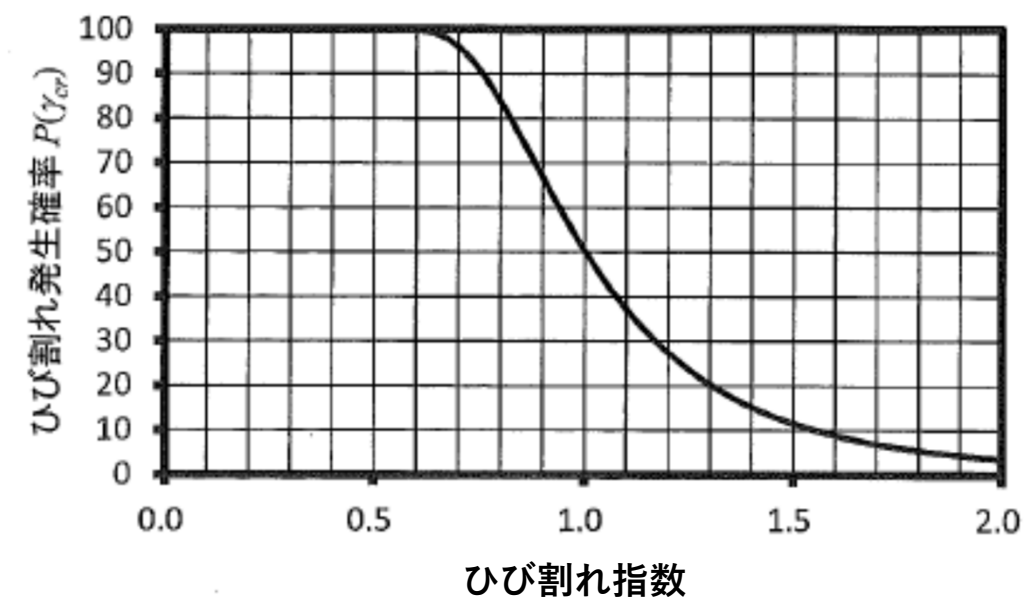


図-3 ひび割れ指数とひび割れ発生確率

4. 課題への対応策（つづき）

②コンクリートの品質管理について

・ケース2…セメント種類変更（BB→N）

温度応力解析に反映させるためのひび割れ抑制対策は、費用対効果も考えて徐々に追加することが望ましいと思われる。まずは施工性や費用を考慮して手ごろな方法を選択して解析し、結果が目標にそぐわなければ更に対策を増やす。これを繰り返すことで試行錯誤しながらひび割れ対策を検討する。本工事では、まずはセメントの種類を高炉セメントB種（BB）から普通ポルトランドセメント（N）に変更することを考えた。マスコンクリートの打設はBB配合を用いることが一般的であるが、これをN配合とすることでひび割れ指数の改善が期待できる。水和熱による温度を比較するとN配合の方が高くなるが、1℃あたりの長さ変化量である線膨張係数は小さくなる。よって、N配合の方が温度ひび割れに対して有利となることがある。N配合への変更は解析において一定の効果が見受けられた。また作業手間は一切なく費用も他の対策に比べて安価であることから、マスコンクリートの施工においては有効な選択肢だと考えられる。

・ケース3…ケース2 + ひび割れ誘発目地の使用（縦壁・パラペット）

ケース2の結果では特に縦壁やパラペットにおいてひび割れ発生確率が高いままであったため、ひび割れ誘発目地の使用を検討した。今回はKB目地という商品を採用した。（写真-5）この誘発目地は躯体内に断面欠損率50%以上となるように誘導鉄板（写真-6）と目地（写真-7）を配置することで、任意の位置にひび割れを誘導するものである。

ケース2におけるフーチングのひび割れ指数は比較的改善されていることに加え、フーチングのような大断面にひび割れ誘発目地を設置することは費用負担が大きいことから、今回は縦壁とパラペットのみにひび割れ誘発目地を配置する計画とした。その結果、縦壁とパラペットのひび割れ指数に大幅な改善がみられた。ひび割れ誘発目地の使用については設置位置により効果が大きく変わるため注意が必要である。また鉄筋への誘導鉄板の設置や型枠へ目地を設置する手間がかかることから、工程にも少なからず影響する。まずは費用や工程を考慮して設置箇所数を設定し、その上で効果的な配置計画を立案するべきであると感じた。



写真-5 KB目地 使用状況



写真-6 誘導鉄板（鉄筋に設置）



写真-7 KB目地（型枠に設置）

・ケース4…ケース3 + 膨張剤の使用（縦壁1・パラペット1）

ケース3までの対策を講じた結果、最終的に特にひび割れ指数の低い縦壁1とパラペット1については更なる対策が必要と判断された。そのため、当該ロットには膨張剤を使用した解析を行った。膨張剤を使用したコンクリートは材齢初期に適度に膨張し、それが鋼材や型枠に拘束されることでプレストレスを発生させる。これにより収縮による引張応力が軽減され、ひび割れ発生確率を抑える効果が期待できる。

膨張剤の添加はプラントにて行われる。費用に関しては、今回の現場ではコンクリート1m3あたり3,200円の材料費に加え、1回の打設につき30,000円の投入費用を要した。縦壁1とパラペット1のコンクリート数量は合計265m3であるため、追加費用は下記の通りである。

3,200円/m3×265m3+30,000円/回×2回=908,000円
費用としては高額であるが、これによりひび割れ指数が改善したことは表-2からも明らかである。解析により効果が得られることが確認できたことに加え、万が一有害なひび割れが発生した場合には余分に補修費用がかかることも考慮して、今回は膨張剤を採用するに至った。

表-2 温度応力解析条件

項目		ケース1 (対策なし)	ケース2 (BB→N)	ケース4 (誘発目地、膨張材)	
		躯体	躯体	縦壁1・ パラペット 1	左記以外
		27-8-20BB	27-8-20N	27-8-20N	27-8-20N
コンクリート 配合	呼び強度 (N/mm ²)	27	同左	同左	同左
	水セメント比	52.10%	52.60%	52.60%	52.60%
	単位セメント量 (kg/m ³)	313	312	312 (内20kg 膨張材)	312
入力条件	熱伝導率 (W/m℃)	2.7	同左	同左	同左
	密度 (kg/m ³)	2400	同左	同左	同左
	比熱 (kJ/kg℃)	1.15	同左	同左	同左
	打設温度 (℃)	外気温+5℃	同左	同左	同左
	断熱温度上昇特性	Co示方書 準拠	同左	同左	同左
	ヤング率 (N/mm ²)	圧縮強度 より	同左	同左	同左
	圧縮強度	Co示方書 準拠	同左	同左	同左
	引張強度	Co示方書 準拠	同左	同左	同左
	ポアソン比	0.2	同左	同左	同左
	線膨張係数 (10-6/℃)	12	10	10	10
膨張ひずみ	なし	なし	あり	なし	

※ 各定数はCo示方書等を参考に一般値を採用した

※ ケース1に対しての変更箇所に着色した

4. 課題への対応策（つづき）

②コンクリートの品質管理について

温度応力解析による検討の結果、全てのロットにてひび割れ指数が0.9以上の値となった。最終的な解析結果の指数分布を図-4に示す。これを図-2の対策を講じる前の分布と比較すると濃い赤色の範囲が減っていることが確認できる。

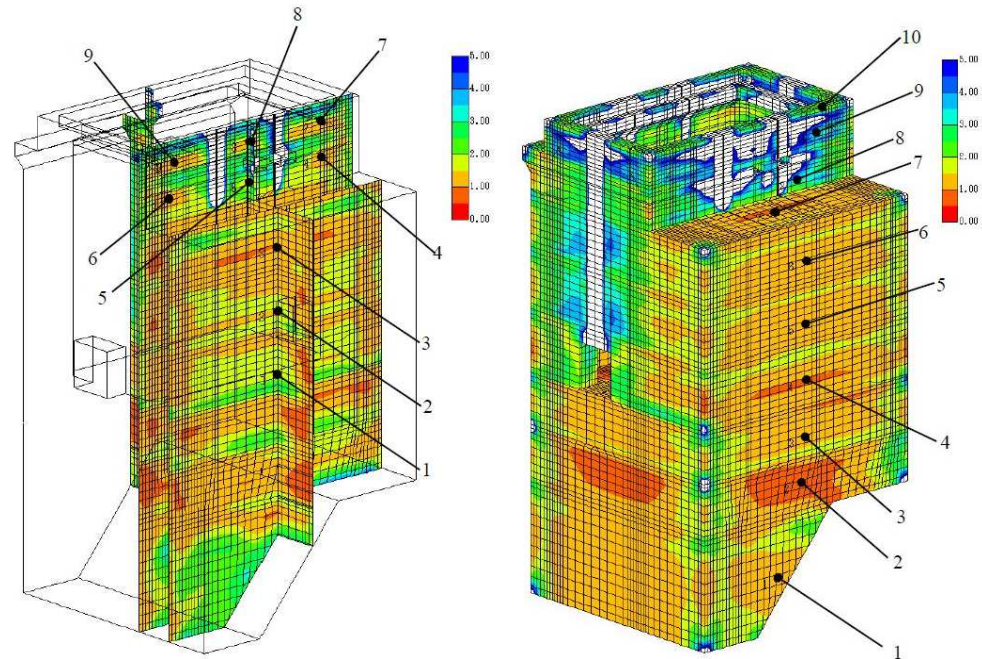


図-4 ひび割れ指数分布（ケース4）

しかしながらここまでの対策をしてもひび割れ発生確率は50%以上であるため、有害なひび割れが発生する可能性は残っていた。更なる費用をかければより一層の改善も見込まれたが、この橋台は元々の構造が温度ひび割れに対して非常に不利な形状をしているため、費用対効果の観点からケース4までに留めておくに至った。ただし温度応力解析には反映されないが、コンクリートの品質が向上すると思われる対策を別途講じた。

・開口部にガラス繊維ネット設置（写真-8）

今回の橋台は室内へ入るための開口部（2m×2m）を設ける必要があった。開口部の隅角部には特にひび割れが発生しやすいことから、ガラス繊維ネットを使用した。また、支保工の取り外しまでの養生期間は1.5カ月とした。以上の結果、開口周囲にひび割れは全く発生しなかった。

・型枠の一部に透明部材を使用（写真-9）

コンクリート打設時にバイブレータによる締固め具合を確認するために透明部材の型枠を使用した。適切な施工を行うことがコンクリートの品質を高める上で特に重要である。また今回は夏場の打設が多いことから、コールドジョイントやジャンカの懸念があった。

透明部材により締固めが確実に行われ密実なコンクリートに仕上がっていることを確認しながら作業を行ったため、工事を通してコンクリート表面に見受けられる施工不良は生じなかった。

・脱型直後に被膜養生材散布（写真-10）

コンクリートは脱型後に表面が乾燥することで表面が乾燥してひび割れを引き起こすことがある。これを防ぐために、脱型直後に被膜養生材「コンクリックエース」を散布した。この養生材はコンクリート表面に膜を形成するため、表面乾燥を防ぐ効果がある。

・湿潤養生に二重マット使用（写真-11）

コンクリートの養生に、繊維層と金属フィルム層の2層構造のコンクリート用湿潤養生シートであるセレキュアモイストを採用した。表面のフィルム層には穴が無数に空いているため、マットの上から散水してもコンクリート面まで水が浸透するため、作業性を損なわずに散水効果を高められた。



写真-8 ガラス繊維ネット

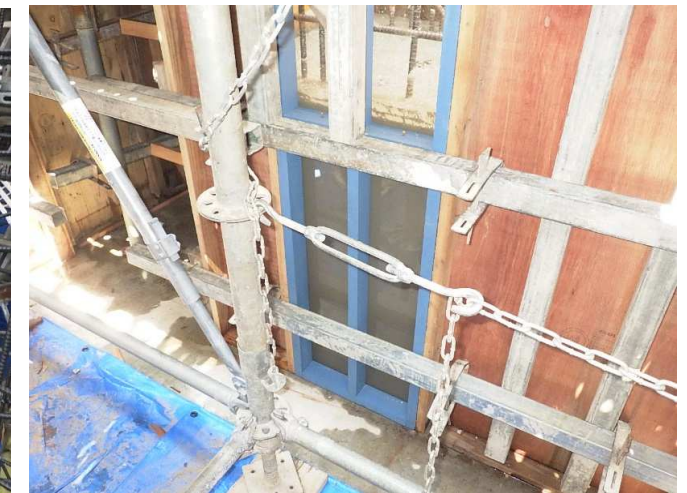


写真-9 透明型枠



写真-10 被膜養生材



写真-11 二重養生マット

以上の結果、橋台躯体には有害なひび割れは発生しなかった。ただし、幅0.2mm以下の微細なひび割れが生じていたため、伸縮追随性のある樹脂を注入して補強を行った。今回はIPH工法を採用した。ひび割れ発生をゼロにすることは極めて難しいが、致命的な欠陥とならないようにコントロールするという観点では、この現場においては成功であったと思われる。

5. さいごに

今回の工事では地山掘削の工程遅延への対策とコンクリートの品質確保についての対応に苦労した。工程管理については、工期内での完成が必須の工事であったため大型機械での施工に切り替えた。問題が生じたときに迅速に対応したことで工程への圧迫を最小限に留め、工期を2日残して完成させることができた。

品質管理については温度応力解析を活用し、試行錯誤しながら改善案の検討を行った。改善案の検討や費用の算出に加えて解析によるタイムロスも考慮し、一連の検討には工事受注時から最優先で着手したため、実際に躯体の施工に入る前に対策案を固めることができた。ひび割れ対策にかかる資材や人員の段取りを計画的に手配できたことにより、現場の工程に支障をきたさずに作業を進めることができた。

現場の準備を行う上で事前に用意できるもの・検討しておくべきことは可能な限り手配しておくことの重要性和、トラブルや予想外の事態に遭遇した際の素早い判断の必要性を、この現場では学ぶことができた。厳しい工程の中でも品質を確保し安全作業に努め、無事故で工事を完了した。