

会社名 小野建設株式会社

氏名 いなば ひろゆき
稲葉 広幸

技術者番号 186476

論文名 RC橋脚工コンクリート打設における3次元FEM温度応力解析と検証

工事名 平成24年度 1号笹原山中BP1号橋東下部工事

工事概要 笹原山中バイパスが計画された事業区間(三島市山中新田～三島市笹原新田)は現国道1号において線形に起因した事故が多くみられ、また通過交通による騒音が環境基準を超過している為、交通の安全性・走行環境の改善・騒音の緩和を図るために、延長約4.3kmのバイパス道路を計画し、大型車交通の転換による安全性の向上、登坂車線の設置による走行性の向上などの効果を図ることを目的とし計画された。

本工事は、笹原山中バイパス1号橋の橋脚を建設する工事である。

道路土工1式 路体盛土工(改良土)8,000m³、残土処理工3,910m³

RC橋脚工1式 作業土工 床掘り919.7m³、埋戻し444.3m³

深礎工1式 φ10.5m L=22.0m Cov1,905m³

橋脚躯体工1式 H=4.2m W=8.0m t=4.5m Cov151m³

排水構造物工1式 仮設工1式 仮橋・仮棧橋工1式、土留・仮締切工1式

発注者 国土交通省 中部地方整備局 沼津河川国道事務所

工事場所 静岡県三島市山中新田地先

工期 平成25年3月8日 ～ 平成26年3月28日

位置図



はじめに

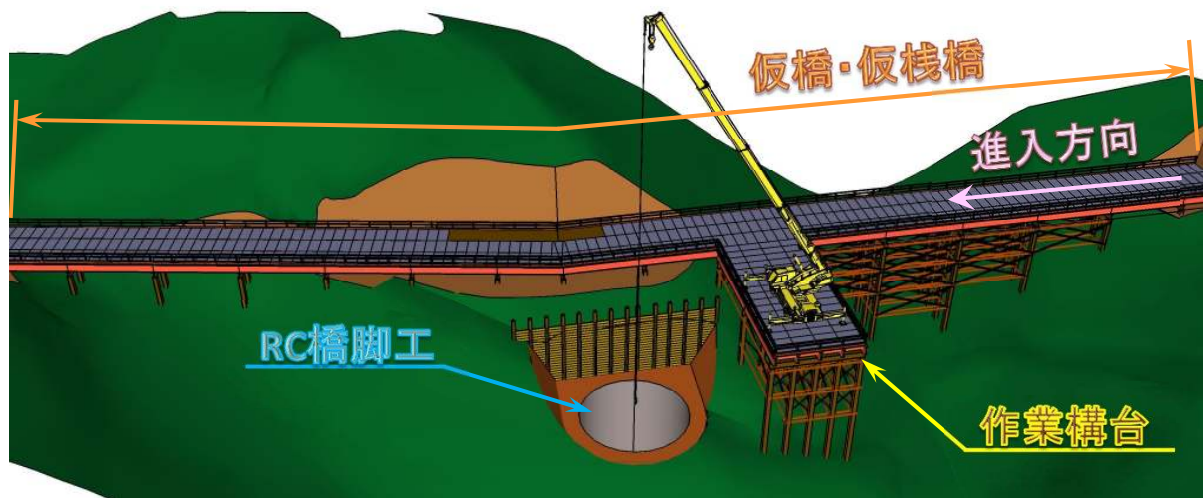
本工事は仮橋・仮栈橋を経由しての作業構台上での施工であり、作業の大半がフタークレーン(25t)を併用しての作業であった。

この為、RC橋脚工のコンクリート打設に際してもコンクリートポンプ車での打設となり運搬～打設を考慮すると、日当り打設量は400(m³/日)程度が限度と推測された。

今回施工するRC橋脚工深礎杭はφ10.5m・L=22.0mの大口径深礎杭でCovは1905m³と大量であり、日当り打設量から算出すると5リフト打設が予定され、1リフト当りの打設割はφ10.5m・H=4.0m以上となる事から、温度応力ひび割れが懸念された。

通常、深礎杭においては温度応力解析等は行われていないが打設リフトの妥当性と今後の施工における技術資料となると考え、橋脚躯体工を含め深礎工の3次元FEM温度応力解析を行った。

3Dによる施工イメージ図



解析の概要

解析リフトの検討に際し、実施工時の日当り打設可能最大数量を400(日/m³)と過程し、最大リフト高をH=4.70m最小リフトをH=4.00mとして解析を行い、解析条件は以下の3ケースにより行った。

解析条件一覧

ケース1 打設計画に基づく解析。

ケース2 深礎部・柱部を養生シートにより保温を高める。

ケース3 橋脚躯体(柱部)に対して膨張材を使用。

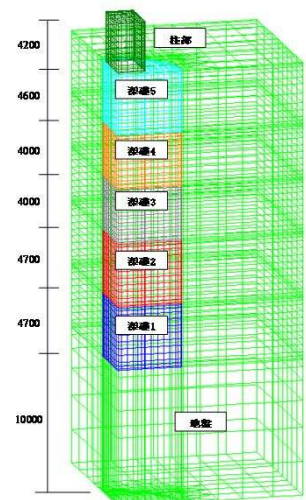
※各ケース共、柱部型枠脱型に伴い収縮低減剤を塗布する。

コンクリートの温度応力低減対策としては、低発熱型セメントの使用が有効であるが設計配合において対策を講ずる事を目的としている為、あえて解析は行わない事にした。

解析結果一覧

部位		ひび割れ指数最小値			ひび割れ指数目標値
		ケース1 (当初計画)	ケース2 (保温養生)	ケース3 (膨張材使用)	
深礎1	中心部	1.00	0.98	1.00	1.00
深礎2	中心部	0.97	0.94	0.97	
深礎3	中心部	0.79	0.75	0.78	
深礎4	中心部	0.82	0.79	0.82	
深礎5	中心部	1.14	1.13	1.05	
柱部	中心部	0.95	0.94	0.91	
	表面部	0.71	0.81	0.65	

※赤枠解析結果を基に計画を立案。



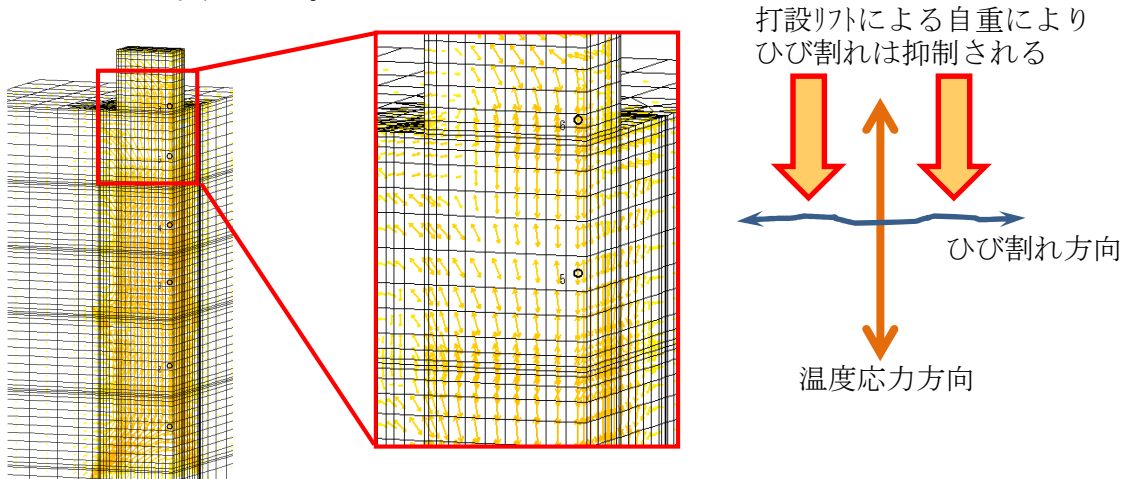
解析モデル

解析結果の考察

解析結果一覧より各ケースにおいてひび割れ指数目標値1.00を下回る結果となったが、深礎部におけるひび割れ指数分布図を着目すると、温度応力方向は躯体垂直方向に働いている事が確認出来る。

温度応力ひび割れは応力方向に対し直角に発生する為、ひび割れの発生は躯体水平方向となる。

よって、深礎部においては打ち継がれるリフトの重量によりひび割れの発生は抑制され、応力方向の変化する側面では鉄筋の配置により過大なひび割れとはならないと考察される。



ひび割れ指数分布図

ケース2において、保温養生は橋脚躯体(柱部)には有効であるが深礎部については温度上昇を招く結果となり、ケース3における柱部の膨張材についてはひび割れ指数の改善効果は得られなかった。

打設計画の決定と解析結果の検証

解析結果より打設高 $H=4.70\text{m}\sim 4.00\text{m}$ において大きな指数の変化は確認されなかった為、深礎5後打コンクリート部分を除き深礎1~4を均等に $H=4.35\text{m}$ とし、柱部は解析時の計画通り $H=4.20\text{m}$ として打設リフトを決定した。

打設時期が1月下旬~3月上旬の冬期が予定された為、養生方法としては深礎部においては温度上昇を軽減させる為、保温養生は行わず散水養生とし、橋脚躯体(柱部)は打止め露出部を湿潤・保温マット養生に加え足場をシートで囲い内部をジェットヒーター及び練炭により保温養生を7日間行う計画とした。

解析結果より上記計画を立案したのだが、解析値はあくまで諸条件を基に導き出した理論値である為、実施工との整合性を確認する必要があると考え発注者に承諾を得て躯体内に温度センサーを設置し、各打設リフト内部温度の測定を行い解析値と実施工の検証を行う事にした。

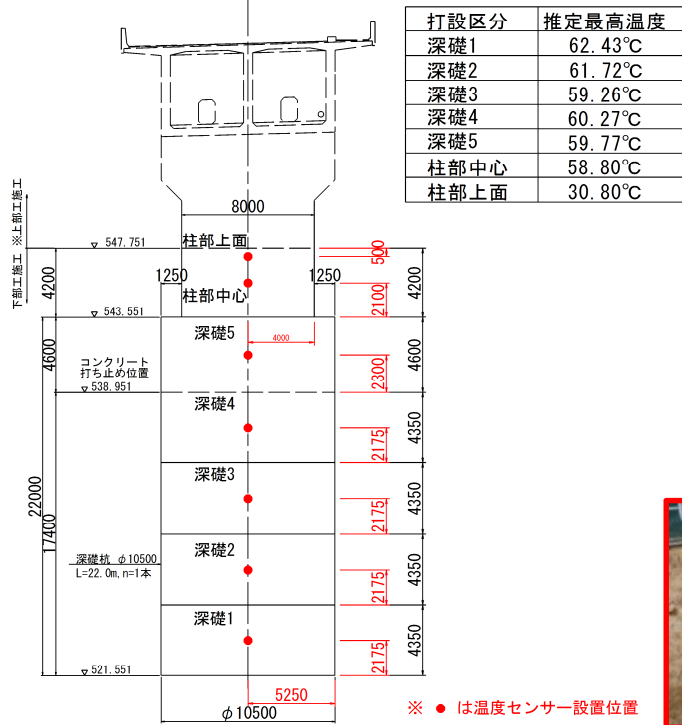
また、コンクリート内部温度の測定において、解析結果における推定最高温度を超えた場合には下記の対策をとる事とした。

1. コンクリート内部温度が推定温度を低下するまで、次リフトの打設を中止する。
 2. 次リフトの打設高さを再検討する。
- 以上により、RC橋脚工の施工を行った。

測定箇所一覧表

測定回数	測定箇所	測定期間
1	外気温	施工完了まで
2	深礎工1	〃
3	深礎工2	温度上昇の完了時
4	深礎工3	〃
5	深礎工4	〃
6	深礎工5	〃
7	柱部中心	施工完了まで
8	柱部上面	〃

P1橋脚打設割図
温度センサー設置図
正面図



温度センサー設置状況



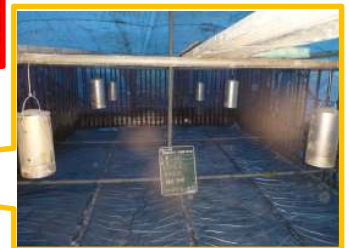
温度測定状況



ジェットヒーターによる内部保温



橋脚躯体(柱部)シート囲い養生



シート囲い内部の養生状況



現場養生供試体



深礎工施工状況

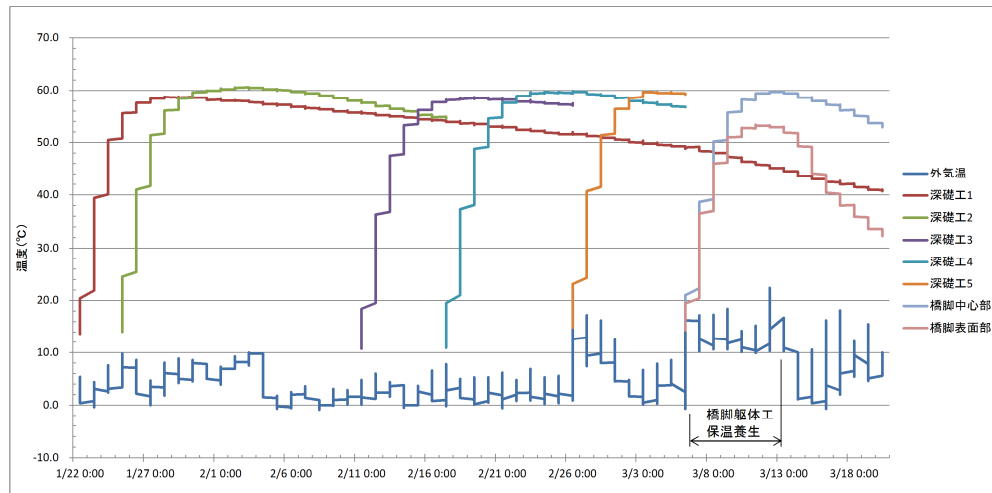


RC橋脚工全景

解析値と温度測定結果

コンクリート内部温度測定結果

P1橋脚 コンクリート温度 計測



	外気温	深礎工1	深礎工2	深礎工3	深礎工4	深礎工5	橋脚中心部	橋脚表面部
最小値(°C)	-0.9	13.6	14.0	10.7	10.9	14.8	14.7	14.3
最大値(°C)	22.4	58.8	60.6	58.7	59.9	59.7	59.8	53.4
解析値(°C)	—	62.4	61.7	59.3	60.3	59.8	58.8	30.8

上記コンクリート内部温度測定結果より、解析値における推定最高温度と実測したコンクリート内部温度は、材齢及び温度共にほぼ近似値という結果であった。

よって、3次元温度応力解析により導き出された最大ひび割れ幅との整合性がとれ、柱部はもちろんのこと不可視部分となる深礎杭においても過大な温度ひび割れが発生する可能性は小さいと判断される。

柱部表面部において解析値30.8°Cに対し、実測値53.4°Cと高い値となっているが、シート囲いによる保温養生と湿潤・保温養生マットの効果の表れであり、現場養生を行った供試体の圧縮強度を確認したところ材齢7日で20N/mm²以上の強度が確認された。

この結果、型枠脱型後の躯体表面が急冷されることで発生する表面ひび割れも躯体が十分な強度を有していた為に防ぐ事が出来たと考えられ、養生方法においても満足な結果であったと言える。

おわりに

以前より気になっていた事であるが、躯体構造物において温度応力解析は多々行われているが、場所打杭等の基礎部では行われている事例は少ない。杭体であっても構造上マコンクリートとして取扱ってもおかしくはなく、温度応力ひび割れに対しても懸念するべきであると考えていたからである。

今回の工事において深礎杭を含め3次元FEM温度応力解析を行った事で、杭体の温度応力方向により杭体において過大なひび割れの発生は少ない事が確認出来た事は大きな成果であり、実施工においてコンクリート内部温度を測定し解析値との対比により、3次元FEM温度応力解析の精度についても確認出来た事は、今後の施工における解析についての信頼性を高め、施工・品質管理計画を立案する上での技術資料が残せたと思っている。