

実測データを用いたマスコンクリートの温度応力解析の高精度化

東日本高速道路(株) 正会員 ○青木 直
 東日本高速道路(株) 丸山 純一
 鹿島建設(株) 阿部 泰典

1. はじめに

新葛飾橋（下部工）工事は、東京外環自動車道三郷南以南延伸部の東金町高架橋および新葛飾橋高架橋の下部構造を構築する工事である。本工事の橋脚は壁厚が約4mとなるようなマッシュな形状であり、コンクリートの水和熱に起因する温度応力ひび割れの発生が懸念される。さらに、橋脚は河川内に位置するため、有害なひび割れ発生時の補修は非常に困難なものとなる。そこで、温度応力解析を実施し、低熱ポルトランドセメントを採用し有害なひび割れの抑制を実現するとともに、計測データを用い解析精度の高度化を行った。

2. 対象橋脚及び事前解析方法

対象橋脚は、本工事における P163 橋脚であり、脚部の平面形状が 3.6m × 12.5m で高さ 23.5m、横梁部の平面形状が 3.6m × 20.0m で高さが 5.0m である(図-1)。温度応力解析は、3次元有限要素法とし、文献 1)に準拠して実施した。橋脚形状が軸対象であることから、解析モデルは 1/4 の範囲をモデル化した(図-2)。解析結果の評価は、発生引張応力に対する引張強度の比率である温度ひび割れ指数より算出される推定ひび割れ幅で行うこととした。式-(1)にひび割れ幅とひび割れ指数の関係を示す。

$$w_c = \gamma_i \left(\frac{-0.071}{P} \right) \times (I_{cr} - 2.04) \quad (1)$$

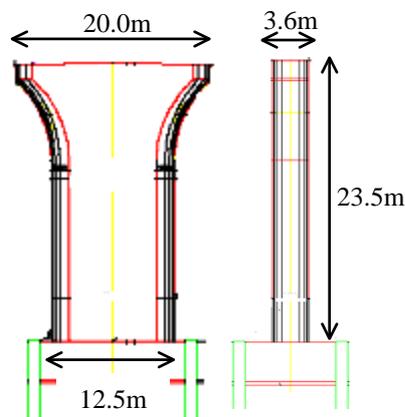


図-1 P163 構造一般図

表-1 コンクリート配合

コンクリート	w/c (%)	単位量(kg/m³)				
		W	C	S	G	Ad
30-8-20 N	50.0	164	328	761	1057	1.312
30-8-20 L	44.8	164	366	751	1041	1.464

N:普通ポルトランドセメント, L:低熱ポルトランドセメント

表-2 外気温及び打設温度

リフト	外気温 (°C)	打設温度 (°C)
1(基部)	11.1	16.1
2	14.6	19.6
3	16.9	21.9
4	10.7	15.7
5	6.1	11.1
6	5.4	10.4
7(天端)	6.0	11.0

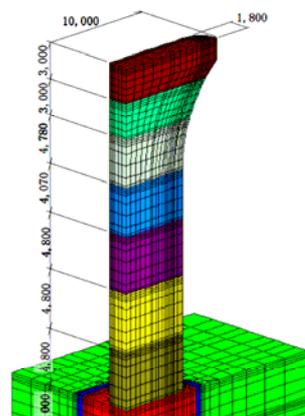


図-2 解析モデル

ここで、 W_c は温度ひび割れ幅の予測値 (mm), γ_i は安全係数 (ここでは 1.0 とする), P は鉄筋比, I_{cr} はひび割れ指数である。セメント種別は、普通ポルトランドセメントおよび低熱ポルトランドセメント (ともに保証材齢 28 日) とし、その配合は表-1 に示すとおりである。また、打設時の気温やリフト割を表-2 のように設定することで、実際の施工ステップに近い解析を行った。なお、コンクリートの断熱温度上昇特性、熱伝導率および強度特性等は文献 1) を参考に設定した。

3. 事前解析結果

表-3 に解析結果の一例を示す。表-3 には、後述する事後解析結果も併せて示してある。表-3 より、低熱ポルトランドセメントを用いたほうが、温度上昇量が小さくなり、ひび割れ指数が大きくなるため、推定ひび割れ幅が小さくなることわかる。しかし、低熱ポルトランドセメントを用いた場合でも、有害なひび割れ幅と考えられ

キーワード 温度応力, マスコンクリート, ひび割れ指数

連絡先 〒339-8502 埼玉県さいたま市岩槻区加倉 262 東日本高速道路(株) さいたま工事事務所 TEL 048-749-9631

表-3 解析結果一例

	コンクリート	リフト	温度上昇量(°C)	最小ひび割れ指数	鉄筋比 (%)	推定ひび割れ幅(mm)
事前解析	30-8-20 N	1	52.7	0.8	0.37	0.24
		4	53.3	0.8	0.37	0.24
		6	49.8	0.8	0.37	0.25
	30-8-20 L	1	43.6	1.0	0.37	0.21
		4	37.5	0.9	0.37	0.22
		6	33.6	1.2	0.37	0.17
事後解析	30-8-20 L	1	34.4	1.0	0.37	0.20
		4	34.4	1.0	0.37	0.19
		6	30.7	1.4	0.37	0.13

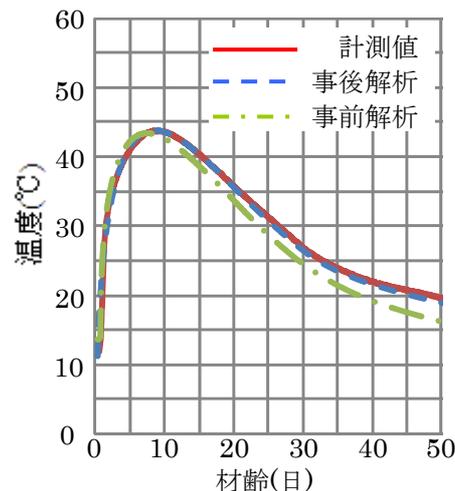


図-3 温度履歴の比較

る 0.2mm 以上のひび割れの発生が予測された。

4. 計測結果を用いた解析精度の高度化

温度応力解析の更なる高精度化を目指し、実施工における計測データを用いて、低熱ポルトランドセメントの発熱特性を逆解析によって推定した。これは、事前解析に用いた低熱ポルトランドセメントを使用したコンクリートと同配合のコンクリートで施工した橋脚内部(橋脚基部の表層及び内部)において、鉄筋にバインド線にて固定した熱電対(TN-CC-3)により計測されたデータを、コンクリートの発熱特性推定式に反映させることで解析精度の高度化を図った。具体的には、発熱特性推定式を事前解析で用いた式(2)から、本工事で用いたセメント製造メーカーが提案²⁾している式(3)に変更し、終局断熱温度上昇量 Q_{∞} (°C)、断熱温度上昇速度に関する係数 α 、 β および合板型枠の表面熱伝導率をパラメータとして、逆解析を実施し、最適なパラメータを設定した。

$$Q(t) = Q_{\infty} \left[1 - \exp\left\{-r(t-t_{0,Q})^{\gamma}\right\} \right] \tag{2}$$

$$Q(t) = Q_{\infty} \left(1 - e^{-\alpha t^{\beta}} \right) \tag{3}$$

ここで、 t は材齢(日)、 $Q(t)$ は材齢 t 日までの断熱温度上昇量(°C)、 γ は断熱温度上昇速度に関する係数、 $t_{0,Q}$ は発熱開始材齢(日)である。逆解析の結果、最も計測値の再現性が高かった各パラメータの値は、 $Q_{\infty}=44.69$ (°C)、 $\alpha=0.499$ 、 $\beta=0.665$ であった。温度履歴の比較を図-3に示す。また、別に測定した橋脚躯体表層部の計測データより、日照の影響によって、型枠による保温効果が大きいことが推定されたため、合板型枠の表面熱伝導率を $8(W/m^2\cdot^{\circ}C)$ から $5.5(W/m^2\cdot^{\circ}C)$ へと小さく設定することで、実現象に合わせることにした。

5. 事後解析結果

逆解析データを用いて行った事後解析結果と、事前解析の結果の比較を表-3に示す。表-3より、事後解析結果のほうが推定ひび割れ幅が小さくなっており、全てのリフトで推定ひび割れ幅は0.2mmを下回ることが分かる。これは、参考文献1)の発熱特性式は、メーカーや産地のばらつきを考慮するために安全率が見込まれており、逆解析データを用いることで、温度上昇量は小さくなり、より実態に近づいたためと考えられる。実際の施工においても、これまでのところ有害なひび割れは確認されていない。

6. まとめ

河川内に位置する大型橋脚に対し、温度応力解析を実施し、低熱ポルトランドセメントを用いたコンクリートを使用することで有害なひび割れの発生を抑制した。さらに、逆解析により実測データをコンクリートの発熱特性式に反映させることで、より再現性の高い温度応力解析を行った。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008,2008
- 2) 低熱ポルトランドセメント技術資料 太平洋セメント株式会社編, 2001