

3 層合板型枠を用いた壁式橋脚の温度解析による検討

(株)北未来技研 正会員 ○関下 裕太 (株)北未来技研 正会員 朝倉 啓仁
 (株)北未来技研 正会員 山崎 通人 (株)清都組 非会員 清都 一章

1. はじめに

通常の合板型枠を用いた橋脚の施工では、柱や壁の高さ方向の打設高さは5mを限度として、打ち継ぎを設けた施工とするのが一般的である。このような中、1リフトの打設高さ16mの実績を有するCF工法(キャンバーフォーム工法)の施工実績が増加しつつある。

本報では、CF工法により施工された道路橋の壁式橋脚を対象に、3層合板型枠の熱伝達率を設定することを目的として、温度計測結果を用いた解析について報告する。

2. 橋脚施工工事の概要

図-1に壁式橋脚の形状寸法を、表-1にコンクリートの配合表を示す。使用したコンクリートの設計基準強度は $\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$ とし、セメントは高炉セメントB種を用いた。

打設間隔は壁部一体(高さ9.0m)を1日で施工するものとし、養生期間については、側面は3層パネル型枠を設置して、天端面は30mmの湛水でそれぞれ3日間養生させた。

3. 温度計測の概要

本橋脚の規模から、最大温度の箇所や壁基部の温度ひび割れ予想箇所と想定される位置に熱電対を設置し、そこから天端に配置した温度計測器まで配線し、自動的に温度を計測、記録するものとした。図-2には、配置した熱電対の位置を示している(図中、黒丸)。なお、計測数は、壁12点、外気温1点とし、計測間隔は1時間毎とした。

4. 解析概要および解析条件の概要

4.1 解析概要

コンクリートの温度解析する際の境界条件として、型枠の熱伝達率があるが、標準的な養生方法に応じて熱伝達率の参考値が示されている。一方の3層合板型枠の熱伝達率は、合板の厚みを3倍とすることで、 4.6W/m^2 と想定されるが、3層合板型枠の熱伝達率の測定例はないことから、本検討では温度計測を実施し、温度解析によって得られた結果に合致する熱伝達率を設定するものとした。

本解析は、コンクリート標準示方書¹⁾に準拠し、マスコンクリートの温度・応力計算用パソコンプログラム(JCI)を使用した有限要素法による2次元非定常熱伝導解析とした。

キーワード：3層合板型枠、道路橋壁式橋脚、温度解析、熱伝達率

連絡先：〒004-0051 札幌市厚別区厚別中央1条5丁目4番1号、株式会社 北未来技研、TEL：011-895-6220

表-1 コンクリートの配合表

W/C	s/a	空気量	単位量 (kg/m ³)							AE
(%)	(%)	(%)	W	C	G1	G2	S1	S2	S3	(C × %)
52.2	41.4	5.5 ± 1.5	155	297	650	433	230	231	294	0.01

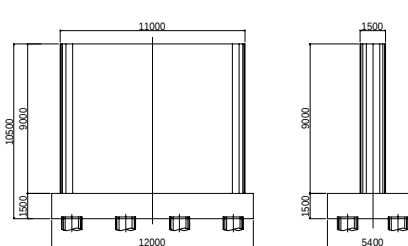


図-1 壁式橋脚の形状寸法

4.2 施工入力条件

温度解析は、施工時に得られた測定値を用いて行うものとし、表-2に有限要素の材料定数、表-3に断熱温度上昇量等を示している。コンクリートの打込み温度は、フーチン

グ部で20℃、壁部で16℃との結果が得られたことから、断熱温度上昇式に用いる r と Q_{∞} の値は、表-3のとおりとなる。一方、解析モデルは、地盤、フーチング、壁部材で構成し、モデル化は構造の対称性を考慮して1/2モデルとして要素分割を行った。壁部については、第1層を1時間として、全高で10時間の打設を行うため、これを解析条件として解析を行うものとした。図-2に、解析モデルを示す。

4.3 対流境界入力条件

解析モデルと外気との対流境界条件は熱伝達率で表され、型枠の種類、養生方法等を考慮して表-4のとおり定めた。側面型枠である3層合板型枠の熱伝達率は、ケースを発砲スチロールと同程度、ケースを合板の1/2程度、ケースを中間値と仮定した。なお、3層パネルの熱伝達率(η)の参考値は 4.6W/m^2 である。これは、合板の熱伝達率を 8W/m^2 、外気に触れる面の熱伝達率(β)を 14W/m^2 、合板厚12mmの条件から、合板の熱伝導率(λ) 0.25W/m を導き、これを3倍の厚さとして式1より計算したものである。

$$\eta = 1 / (1/\beta + 0.012 \times 3 \text{層}/\lambda) = 4.6 \text{W/m}^2 \quad \dots \text{式1}$$

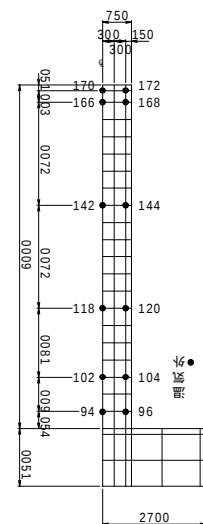


図-2 解析モデル

天端は湛水深さ 10mm 以上 50mm 未満, また型枠撤去後の外気に触れる面の熱伝達率(η)は風速 2~3m/s に対応した 12~14 W/m² の上限 14 W/m² と仮定した。

本橋脚の底版, 壁の施工は鋼矢板による締切り内で行われたことから, 脱型後も風速がきわめて穏やかな状態であった。外気面の熱伝達率は風速 1m/s 当たり 2.3~4.6 W/m² 程度の増加といわれていることから, 下限値を風速なしに相当する 6 W/m² と仮定した。

4.4 外気温入力条件

解析に使用した外気温は, 実測値から算出した日平均を用いた(外気温の日平均実測値は図-3の緑線を参照)。

5.3 層合板型枠の熱伝達率の設定(温度解析結果)

図-3には, 中央側 142 節点における温度解析結果と実測値の関係を示している。なお, 図中の材令は, 壁部第2層目が打設される材令12日を材令0日として表示している。以下, 壁部の第2層打設を材令0日とする。

図より, 躯体中心部の 142 節点では, 温度ピークに着目した場合, 解析値 4 日に対して実測値が 3.5 日程度と若干の差異が生じているものの, 最高温度は熱伝達率 2 W/m² の値と実測値がほぼ一致する結果となった。次に, ピークからの下降勾配に着目すると, いずれの熱伝達率も実測値と近似していることが分かる。特に, 熱伝達率 2 W/m² のケースでは, 材令 10 日頃までの値が実測値とほぼ一致している。なお, 材令 20 日以降の温度履歴は, 一律に実測値が解析値より高い値で推移しているが, これは埋め戻しや日射の影響によるものと考えられる。

本検討を行った結果, 今回の施工条件下での 3 層合板型枠の熱伝達率は 2 W/m² と推定される。この値は, 3 層合板型枠の熱伝達率の参考値である 4.6 W/m² と比較して低い傾向にあるが, これは締切り内での施工のため風速の影響が小さかったこと, 埋戻し土の温度の影響など, 本現場での施工環境を反映したものと想定される。

また, 3 層合板型枠の熱伝達率は, 通常の合板型枠(8 W/m²)に比べ小さく, 保温効果が期待されることが分かった。このことは, 温度下降勾配が緩やかとなり, 温度応力が小さくなる効果が期待される一方で, 発現温度のピーク値を上げ温度応力を大きくする効果もある。

6. まとめ

本検討で得られた知見を要約すると, 以下の通りである。

- ・3層合板型枠の施工から温度解析を行い, 熱伝達率を推定した。今回の施工条件下では 2 W/m² であった。
- ・3層合板型枠の熱伝達率は, 通常の合板型枠(8 W/m²)

表-2 有限要素の材料定数

項目	コンクリート	地盤
比熱 C (W/m ²)	1.155	1.084
熱伝導率 λ (W/m ²)	2.700	1.969
密度 ρ (kg/m ³)	2300	1800
熱膨張率 ($1/$)	0.00001	-

表-3 温度上昇速度に関する常数と終局断熱温度上昇量

項目	フーチング部	壁部
単位セメント量 (kg/m ³)	297	
打込み温度 ($^{\circ}$)	20	16
r	0.683	0.578
Q _∞ ($^{\circ}$)	50.51	51.03

表-4 コンクリートの熱伝達率

対流境界条件	値
<側面型枠(3層パネル)>	
ケース 発泡スチロールと同程度	2 (W/m ²)
ケース と の中間値	3 (W/m ²)
ケース 合板の値の1/2	4 (W/m ²)
参考: 発砲スチロール(厚さ50mm)+シート	2 (W/m ²)
参考: 側面型枠(合板12mm)	8 (W/m ²)
<天端>	
湛水50mm未満	8 (W/m ²)
<外気>	
風速2~3m/s対応の12~14W/m ² 上限	14 (W/m ²)
締切り内を風速無しと仮定した下限	6 (W/m ²)

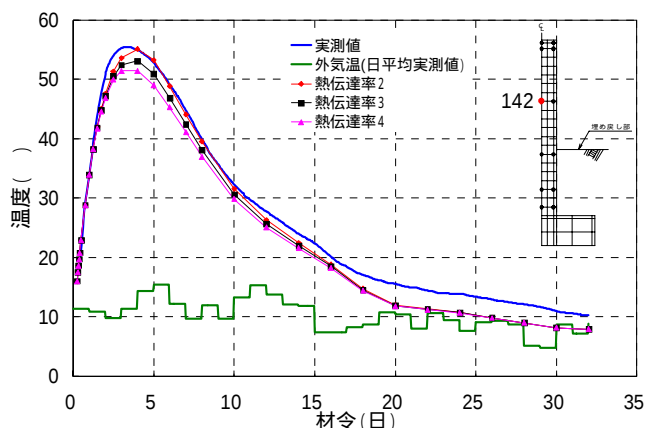


図-3 温度解析結果と実測値の関係(142 節点)

に比べ小さく, 保温効果が期待されることが分かった。

- ・この高い保温効果を生かした施工とするためには, 温度解析・温度応力解析を実施し, メリットを生かした計画とすることが望ましい。
- ・今後は, 種々の条件下での温度測定を実施し, 熱伝達率の精度を高めて行きたい。

参考文献

- 1)土木学会:2007年制定 コンクリート標準示方書【設計編】,2008.3.
- 2)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-,2008.11.
- 3)地盤工学会北海道支部:寒冷地地盤工学-凍上被害とその対策-,2009.12.