

V-149

鋼製橋脚フーチングの水中コンクリートの温度応力

関西国際空港㈱

関西国際空港㈱

㈱大林組

㈱大林組

正会員 鈴木 達彦

正会員 石岡 英男

正会員 原田 暁

正会員 小沢 郁夫

1. はじめに

特殊水中コンクリートの大型橋梁への採用が本格化し、最近では水中コンクリートの一般工法として定着しつつある。しかし、特殊水中コンクリートは一般に単位セメント量が多く、コンクリートの温度上昇量が大きくなることが予想されるが、実構造物での温度計測事例は少ない。

本報告は、関西国際空港連絡橋下部工で打設した特殊水中コンクリートの長期的な温度計測結果、逆解析による断熱温度上昇量、境界面熱伝達率、熱伝導率および温度応力の傾向などの検証結果について述べるものである。

2. 計測概要

対象構造物は、図-1~2の橋脚フーチング部で、中央部（㊸断面）と端部（㊹断面）の2カ所で表-1の計測を1年間実施した。なお、コンクリートはブランク船にて17ブロックを連日作業で打設し、総打設量約 5500m³/基、日最大打設量約 800m³（2ブロック施工）であった。

3. 計測結果および考察

計測結果のシュミレーションは、図-3のようにモデル化し、2次元FEMによった。なお、解析はコンクリート温度のシュミレートに主眼をおき、最終温度解析値による温度応力を表-2の条件で求め、その発生傾向をみた。

3.1 断熱温度上昇量

表-3の㊸断面の計測および解析結果より、両者はかなり一致していると思われる。これから、温度上昇推定量（K値）の約90%強の温度上昇量を示しており、フーチング中央部ではほぼ断熱状態での温度上昇となっているものと推定される。

3.2 境界での熱伝達率および熱伝導率

図-4.5は、①潮流最大 1ノット、水深 20mの海中において海水の熱伝達率 20Kcal/m²・hr・℃②砂の熱伝導率 2.0Kcal/m・hr・℃とした場合の㊹断面の計測および解析結果である。

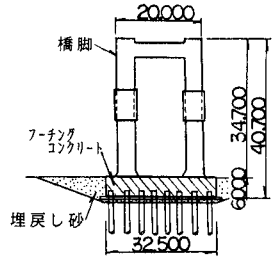


図-1 橋脚標準断面図

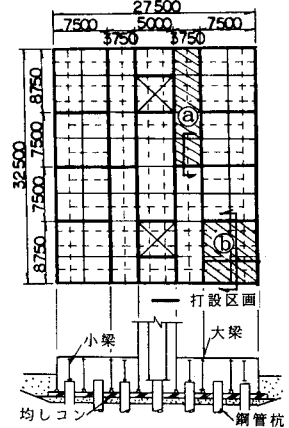


図-2 計測ブロック位置

表-1 計測内容

計測項目	主目的	センサ	点数
㊸	温度	断熱温度上昇	C-C 熱電対
	ひずみ	中央部温度応力の発生傾向	埋込型ひずみ計 (KM-100B)
㊹	温度	熱伝達率の検証	C-C 熱電対

表-2 最終解析条件

	設定値	備考
配合	$f_{ck}=240 \text{ kgf/cm}^2$, $C=357 \text{ kg/m}^3$	
打設温度	17.5℃	実測値
工程	実施工に準ず	
単重	2190 kg/m ³	試験結果
熱伝導率	2.0 kcal/m・hr・℃	仮定
比熱	0.25 kcal/kg・℃	仮定
線膨張係数	$7.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$	仮定
圧縮強度	$f_c = 78.5 \text{ N/mm}^2$	試験結果
弾性係数	$E = 22600 \cdot f_c^{0.411}$	試験結果
ポアソン比	0.167	仮定
クリープ	CEB-FIP に準ず	仮定
環境温度	海水温度実測値	

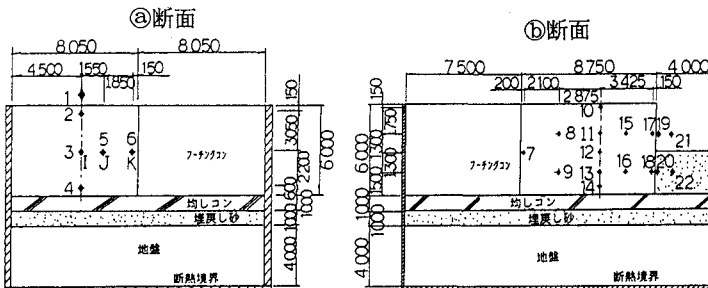


図-3 計測位置および解析モデル

海水による熱伝達率および砂の熱伝導率とも通常値で比較的良く再現できたが、埋戻し砂の状態が不明なことから境界面付近では両者間に多少の差異が認められた。

3.3 長期的な温度および温度応力挙動（③断面）

図-6に温度履歴、図-7に応力履歴を示す。温度は打設後 8~9か月ではほぼ均一な状態（温度降下速度は中央部で 0.2℃/day程度）となっており、その後は海水温度変化の影響を若干受けるものと推定される。

温度応力の発生傾向も同様で、打設後 9か月後にはその変化も概ね収束しており、今後特に大きな変化はないと思われる。隣接ブロックの影響の少ない中央部の応力 I, J（図-3③断面）は、若干のバラツキはあるが材令初期に圧縮、材令経過に伴い引張側へ移行した。解析との比較では、その発生傾向は把握できるが、絶対値の評価は今後の課題と考えている。表層部は解析値のみであるが、材令初期に引張、その後圧縮側へ移行している。したがって、当構造形式の応力発生機構としては、内部拘束卓越型に分類できるものと思われる。なおひずみ計からの応力換算では有効弾性係数を用い、クリープによる応力低減率は 2/3と仮定した。

4. まとめ

当構造物でのコンクリートの温度応力発生機構は、ブロック分割、施工工程、鋼管杭基礎や鋼棒ジベル筋などの拘束の影響から、各ブロックごとに異なった様相を呈しているものと思われる。このため、一概にコンクリートの温度応力挙動を説明することはできないが、今回の検討結果より、その傾向として内部拘束応力が卓越すると推定される。

なお、実施工では、事前の温度応力解析より断面内温度差、温度上昇量が非常に大きいと予測されたため、その一つの対策として表層部に設計段階でひびわれ用心鉄筋（D32@250）を考慮した。

最後に、今回の計測およびそのシュミレーションにより、実現象をある程度解析しうることが確認されたが、今後特殊水中コンクリート構造物の温度ひびわれ発生機構を総合的に評価するため、より多くの計測事例と解析との照合が必要不可欠と考えられる。

表-3 温度上昇の検証結果

	T=K(1-e ^{-αt})		最高温度		温度 上昇量
	K	α	℃	日	
実測値（③：3）	—	—	64.1	5.0	46.6
解析値	51.0	0.865	63.6	5.5	46.1
参考	セメント水和熱 断熱温度試験	46.0 52.0	（高炉B：70.6kcal/kg） （空気循環式）		

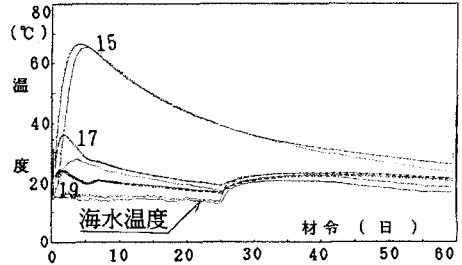


図-4 ③断面上部温度結果
（16, 18, 20, 22）

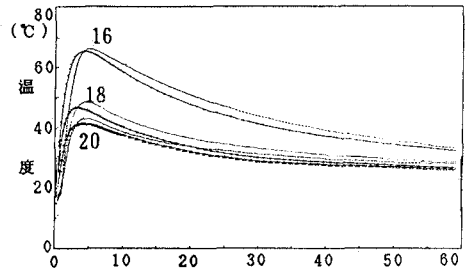


図-5 ③断面下部温度結果
（15, 17, 19, 21）

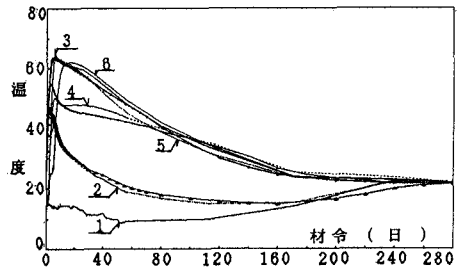


図-6 長期③断面温度結果

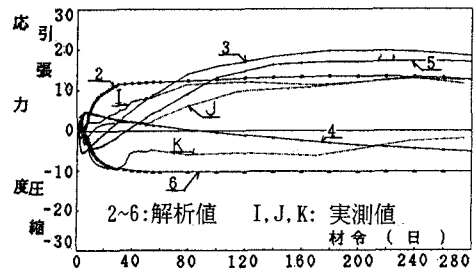


図-7 長期③断面応力結果