

寒冷地のコンクリート構造物の高品質施工のための温度応力解析の検討

北見工大 正員 桜井宏 正員 岡田包儀 フェロー 鮎田耕一
 北大 フェロー 佐伯昇
 西村組 正員 山角浩一 正員 吉田稔

1.はじめに 寒冷地海洋コンクリート構造物は夏期に打設されると、高温で硬化した躯体が施工直後のひびわれ等は防げても、越冬時に外気が氷点下まで低下し、打設時より数十度の温度差を受けひびわれが発生することがある。ひびわれは寒冷地海洋環境下では凍結融解作用が加わり構造物の品質低下の主要因¹⁾となる。

本研究は、寒冷地海洋コンクリート構造物の高品質施工を実現するために施工時のセメントの水和熱や越冬時のひびわれ防止に必要なコンクリート構造物内の温度、歪み、応力等の分布を一般構造解析システムを応用し有限要素法により3次元的に連性解析で評価し検討する。

2.方法 対象構造物は親水防波堤の海岸擁壁で解析の断面と要素及び測定点を図-1及び図-2に示す。柱の拘束を受ける部分には拘束点を設けた。解析条件として、表-1にコンクリートの配合、表-2に新・旧（擁壁基礎のケーソン上部の既設部）コンクリートの温度条件、表-3に気象条件を考慮した打設後各材令の温度の伝達条件を示す。次式より有効弾性係数(E : kgf/cm^2)を求めた。

$$Ee(t) = \psi(t) \times 1.5 \times 10000 \times (f'c(t))^{1/3} \text{-----式(1)}$$

ここで、各材令の圧縮強度($f'c(t)$: kgf/cm^2)、 $\phi(t)$:クリープ(2.0)とする。温度解析は水和によるセメントの発熱を考慮し非定常3次元熱伝導問題として式(2)で解析する。

$$\partial T / \partial t = \lambda / C \cdot \rho \cdot (\partial^2 T / \partial x^2 + \partial^2 T / \partial y^2 + \partial^2 T / \partial z^2) + dQ(t) / dt \text{----式(2)}$$

ここで、 T :コンクリート温度($^{\circ}\text{C}$)、 t :時間(h)、 Q :断熱温度上昇量($^{\circ}\text{C}$)、 λ :熱伝導率($\text{kcal/mh}^{\circ}\text{C}$)、 C :比熱($\text{kcal/kg}^{\circ}\text{C}$)、 ρ :密度(kg/m^3)とする。熱伝導と歪み及び応力を連成解析で式(3)、(4)で求める。

$$Mu'' + D(T)u + K(T)u = f \text{----式(3)}, C(T)T' + K(T)T = Q + Q' \text{----式(4)} \quad \text{表-3 温度伝達条件(単位:kcal/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C)}$$

ここで、 u :歪み、 f :荷重ベクトル、 Q :熱流束、 M :温度依存性質量マトリクス、 $D(T)$:減衰マトリクス、 $K(T)$:温度依存性を考慮した熱伝導マトリクス、 $C(T)$:温度依存性を考慮した熱容量マトリクスとする。会話型のコンクリート構造物の温度、歪み及び応力分布の解析評価システムを MARK・MENTAT II で開発した。

3.検討結果及び考察 図-3に示すように、温度の解析値と実測値は全般的にほぼ近く、ひびわれに影響のある断面中央の最大温度の解析値と実測値でも誤差は 3°C 程度以内であった。解析値の温度の方が早く低下するのは実測値が日射による影響を受けたためと思われる。図4の3次元表示した歪みの解析結果によると、堤内側(内湾側)の柱で拘束を受ける部分に平行な壁面(図中の明るい部分)は最大で 200×10^{-6} 以上歪みが生じ、

表-1 コンクリートの配合

W/C	s/a	単位量(kg/m^3)				
		C	W	S	G*	Ad*
46.5	42.9	295	137	804	1071	1.106

注:*1:最大寸法40mm, *2:AE減水剤

表-2 新旧コンクリートの温度条件

コンクリート	初期温度 $^{\circ}\text{C}$	比熱 $\text{kcal/kg}^{\circ}\text{C}$	熱伝導率 $\text{kcal/mh}^{\circ}\text{C}$	密度 kg/m^3
新	22.5	0.25	2.2	2308
旧	17.0	0.25	2.2	2308

表-3 温度伝達条件(単位:kcal/m²h[°]C)

材令(日)	内湾側	外湾側	上部側	右側	左側*1
0~6	2.2	12.0	12.0	2.2	対称 断面
6~7	2.2~5.0	12.0~10.0	12.0~10.0	2.2	
7~28	5.0	10.0	10.0	2.2	

キーワード 寒冷地、温度応力解析、3次元、有限要素法、連性解析

連絡先(〒090-8507 北見市公園町165 Tel&Fax 0157-26-9489)

目地や鉄筋等のひびわれ防止対策等が必要である。図-5 に応力の3次元解析結果(冬期)を示す。外気温-12℃の条件では柱による拘束の影響で天端と擁壁基礎に相当に高い応力が発生し、ひびわれ防止対策が必要な水準である。したがって、柱等の3次元的な拘束がある部分は打設直後だけではなく越冬期にも大きい歪みや応力が発生するため、拘束の影響を受ける部分全体のひびわれ防止対策等が必要である。

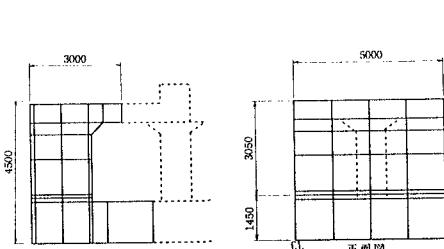


図-1 解析断面と要素

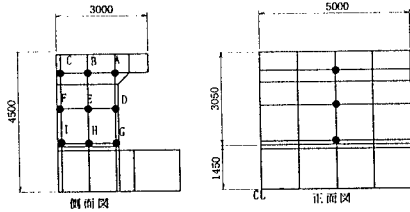


図-2 測定断面

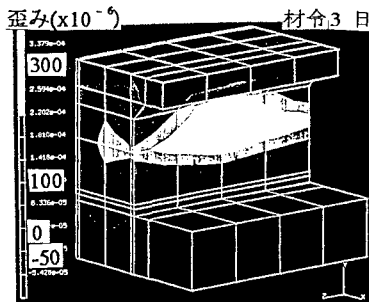


図-4 歪みの3次元解析結果(打設直後)

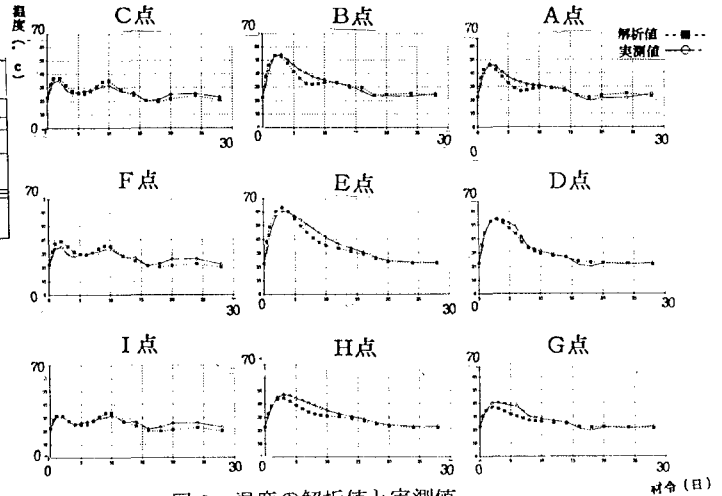


図-3 温度の解析値と実測値

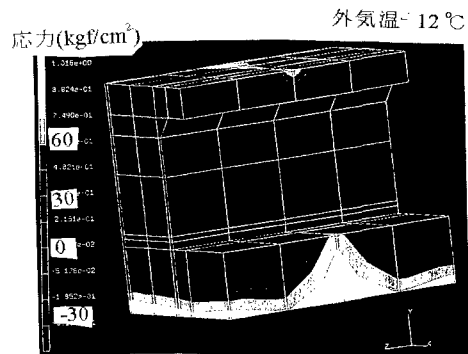


図-5 応力の3次元解析結果(冬期)

4. まとめ 寒冷地海洋コンクリート構造物の高品質施工の研究の結果を以下のような結論を得た。① 3次元有限要素法でかつ温度と応力の連性解析で、コンクリート構造物の水和熱や外気による温度と歪み分布等の解析が可能である。② 柱等の拘束を有する3次元的なコンクリート構造物は、打設直後の材令3日では柱に平行な壁面に、冬期間では柱部分の天端と擁壁基礎に高い応力の集中が起きるため、柱の拘束の影響を受ける部分に対し目地や補強鉄筋等のひびわれ防止対策が必要である。

謝辞 本研究は、西村組の井上所長、北大大学院の塩永亮介君、開発局浮津課長、北見工大コンクリート基礎学研究室に在籍した西村、米田、筒井、野崎君等の修卒論生と共同で実施し、また日本マーク社にはシステム開発時にご支援頂きここに感謝する。

【参考文献】1) H.SAKURAI, K.AYUTA, K.OKADA, T.NISIMURA and K.YAMAKADO: Experimental Study on Performance Evaluation of Repair Material to Reinforced Concrete in Cold Sea Environments, Memoirs of Kitami Inst. of Tech., pp.1~13, Sept. 1996