

研修生（若築建設㈱） 正会員 木村 光俊

運輸省港湾技術研究所 正会員 清宮 理

運輸省港湾技術研究所 正会員 山田 昌郎

1. まえがき

コンクリート構造物の大型化にともないセメントの水和熱による温度ひび割れが港湾構造物においても問題化してきている。厳しい海洋環境下に設置される港湾構造物では、部材を貫通する温度ひび割れは海水による鋼材の腐食を招き、耐久性の観点からも温度ひび割れの発生を抑制することがのぞまれる。現在、釜石湾口に建設されている防波堤の大型ケーソンでは消波工構造として大型の柱梁部材が使用されているが、この梁部材に温度ひび割れが発生している。そこで柱梁部材の一部を取り出し門型ラーメンの温度ひび割れ解析をおこなうものであるが、拘束体および部材長等の関係上、2次元解析では対応が困難である。また、ACIによる方法では応力分布の把握および境界条件の考慮ができない。そこで3次元有限要素法による温度ひび割れ解析をおこない、応力分布状況と拘束度を調べた。

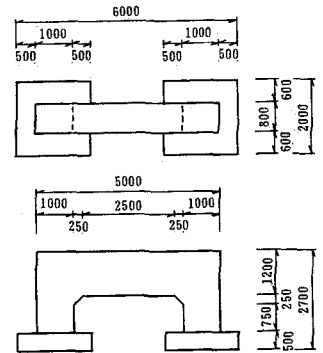


図-1 門型ラーメン形状図

2. 解析条件

図-1に解析をおこなった門型ラーメンの形状を示す。梁部寸法は長さ3.0m、高さ1.2m、奥行0.8m、柱部寸法は幅1.0m、高さ2.2m、奥行0.8m、拘束体寸法は幅2.0m、高さ0.5m、奥行2.0mである。対称を考慮してこの門型ラーメンの1/4を要素分割したモデル図が図-2である。3次元ソリッド要素を用いており、総節点数604、総要素数364となっている。

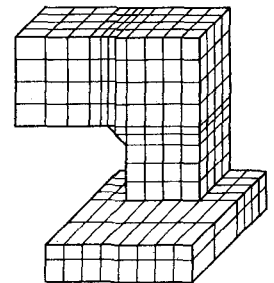


図-2 解析モデル図

表-1に示したコンクリートの熱定数および強度定数を用いて熱伝導解析および温度応力解析をおこなった。

3. 解析結果

温度の経時変化を図-3に示す。最高温度はコンクリート打設後18時間で65℃となった。梁部材断面の2次元温度解析結果と比較してみると、最高温度で約5℃低い値を示した。このことから3次元解析をおこなうべきであるといえる。

応力分布を図-4に示す。初期材令では梁部材の上端部に引張応力が発生し、長期材令では梁部材内部および下端部に引張応力が発生している。梁断面内の応力は梁のどの断面においてもほぼ一様な応力分布を示しているが、ハンチ部では下端に大きな引張応力が発生しており、ハンチ部からひび割れが発生しやすいことがわかる。

解析結果から得られた温度と応力から、拘束度を次式により計算する。

表-1 解析に用いた定数

熱伝導率	0.137 kcal/mh°C
比 熱	0.25 kcal/kg°C
単位体積重量	2350 kg/m³
断熱温度上昇量	$T=44.8(1-\text{EXP}(-2.644t^{1.53}))$ °C
熱伝達率	7.0 kcal/m²h°C 型枠
	12.0 kcal/m²h°C 散水
外気温度	25.0 °C
打設温度	31.7 °C
線膨張係数	10×10^{-6} 1/°C
ポアソン比	0.21
圧縮強度	$F'c=t/(5.06+0.944t) \times 435$ kgf/cm²
引張強度	$Ft=1.4\sqrt{F'c}$ kgf/cm²
弾性係数	$E=\psi \times 1.5 \times 10^4 \sqrt{F'c}$ kgf/cm²

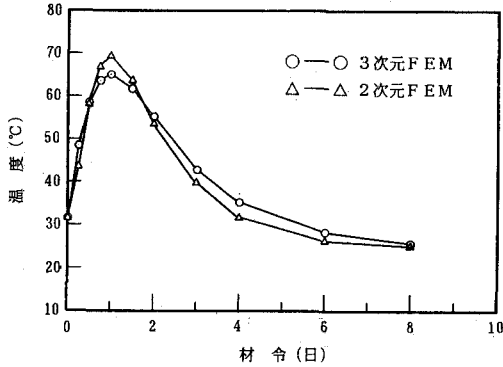


図-3 温度経時変化図

$$K_R = \frac{\Delta \sigma}{\alpha \cdot E \cdot \Delta T}$$

ここで、 $\Delta \sigma$; 応力の変化量 (kgf/cm²)

ΔT ; 温度降下量 (°C)

α ; コンクリートの線膨張係数 (1/°C)

E ; コンクリートの弾性係数 (kgf/cm²)

また、次式のACIの方法によって拘束度を求めた。

$$K_R = \frac{1}{1 + \frac{A_B \cdot h^3}{4 \cdot L \cdot I_c}}$$

ここで、 L ; 体積変化を生じる梁の長さ

A_B ; 体積変化を生じる梁の断面積

I_c ; 支持材の平均断面2次モーメント

h ; 支持材の平均高さ

その結果、拘束度は図-5に示ようになる。

ACIの方法で求めた拘束度は梁部材全域にわたって一定の値を示し、応力集中等の状況を考慮することができない。有限要素法では梁部材の下縁の拘束度は端部断面以外ではACIとほぼ同じ値を示すが、端部断面では大きい値を示す。また、下縁以外では全断面において同様の拘束度分布となり、断面中央部の拘束度はACIよりも大きい値を示す。このことから、温度ひび割れ発生の有無および位置の把握には3次元有限要素法が有効であるといえる。

4. 結論

門型ラーメンの3次元有限要素法による解析の結果、以下の結論が得られた。

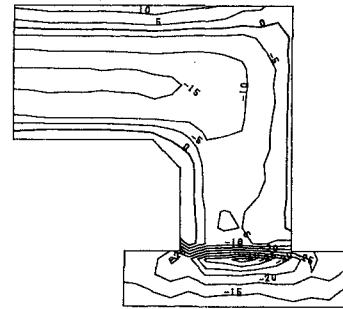
- ①温度ひび割れは梁部材の端部（ハンチ部）から発生しやすい。
- ②3次元有限要素法の拘束度はACIの方法による拘束度より大きい値を示す。
- ③温度ひび割れ発生の予測は応力集中等の状況を考慮できる3次元有限要素法が有効である。

～参考文献～

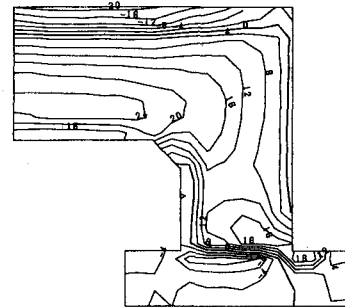
日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひびわれ制御指針、1985年

土木学会：コンクリート標準示方書（平成3年版）、1991年

ACI：Effect of Restraint, Volume Change, Reinforcement on Cracking of Massive Concrete, 1973年



初期材令



長期材令

図-4 応力分布図

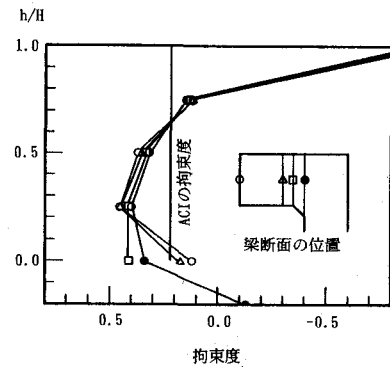


図-5 拘束度