

岐阜大学 正員 森本 博昭
岐阜大学 正員 小柳 治

1. 目的

コンクリート構造物の熱伝導解析を行なう場合、一般には境界条件に適當な仮定を設けることにより、一次元あるいは二次元解析が行なわれることが多い。しかし、構造物の形状あるいは熱流の状態などによつて、これを三次元的に取り扱うるを得ない場合もあり、また解析次元について検討するまでも三次元熱伝導解析は重要である。本研究は要素分割その他の計算データ作成面で有利な四面体複合要素を用いた有限要素解析を試み、これと差分法による解析結果と比較検討したものである。さらに、これらの解析結果と夏および冬の二回にわたり実施した橋脚フーチングにおける測定結果を比較し、解析結果の精度を検討するとともに、内部拘束応力に着目した簡易的なひびわれ予測を試みる。

表-1 コンクリートの配合

粗骨材 最大粒径(φ)	水 量(%)	空気 量(%)	w/c (%)	s/a (%)	単位量 (kg)			
					W	C	S	G
25	8	4	58.7	44.9	162	276	813	1027

2. 温度上昇測定実験

温度上昇測定を実施したコンクリート構造物は愛知県内名古屋通工重原高架橋下部工橋脚フーチングであり、夏(8月)と冬(1月)の二回実施した。夏と冬の測定実験におけるフーチングの形状寸法、コンクリートの配合および型枠材質などは全て同一であり、表-1にコンクリート配合、図-1, 2にフーチング寸法を示す。また、型枠材質は12mm厚ベニヤ合板であった。熱電対による温度測定はフーチングのほぼ中央部鉛直線上の表面から10mmの奥、中心部(表面から125mmの奥)、フーチング底面などを含めて計11点において実施した。

3. 熱伝導解析

α) 有限要素解析——時間依存の場の問題に関する微分方程式と等価な変分問題における汎関数を各要素について最小化を行なうことにより有限要素方程式群が導かれる。この際、方程式群における要素特性を計算するに必要となる。四面体あるいは四面体三角要素を使用した三次元解析を行なう場合、これを最も簡便に行なうためには四面体要素を合成した複合要素を用いるのがよいと考えられる。

そこで本研究では図-3に示すように四面体要素を合成した四面体複合要素を使用した。この場合、要素特性は単に四面体要素特性を加え合わせるにより評価できる。図-2に四面体要素による要素分割を示す。

ここで、節点数は699、要素数は472である。

β) 差分解析——差分法適用にあたっては、橋脚中央部について一次元解析を実施した。図-4に差分網を示す。

γ) 数値計算因子——表-2に計算因子の値を示す。また、外気温は図-5, 6に示す実測値を用いた。

4. 結果と考察

図-5, 6に夏, 冬の数値解析結果のうち表面部(N. 623, N. 7), 表面から10mmの奥(N. 622, N. 2), 中心部(N. 620, N. 6)およびフーチング底面(N. 617, N. 11)と各点における温度実測値を示す。実測値と有限要素解析結果を比較すると、総じて計算値は実測値よりやや低い値となっている。しかし、フーチング各点における温度上昇の傾向はほぼ合致している。次に有限要素解析結果と差分解析結果を比較すると、表面部において

表-2 計算因子の値

コンクリート初期温度(°C)	29(夏), 11(冬)
地盤初期温度(°C)	23(夏), 6(冬)
コンクリート熱伝導率($\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$)	2.1
コンクリート比熱($\frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$)	0.24
コンクリート断面	$T(t) = 35.9(1 - e^{-0.0782t})$ (夏)
温度上昇(°C)	$T(t) = 38.1(1 - e^{-0.0288t})$ (冬)
熱伝導率($\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$)	10(コークス), 8.7(型枠)
地盤の熱伝導率($\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$)	0.77
地盤の比熱($\frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$)	0.33
地盤の単位体積重量($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)	1730

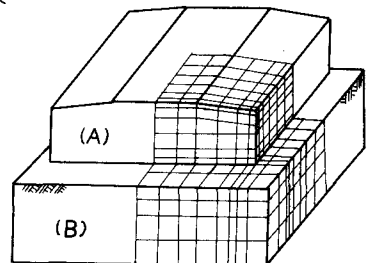


図-1 橋脚フーチング

は両者はよく合致しているが、差分法では水平方向の熱流を無視した解析を行なっているため、フーチング体内における真の有限要素解析結果よりやや高い値となっている。特に発熱速度が大きい夏の場合にこの傾向が著しい。図-7に有限要素解析結果から算出した夏と冬のフーチング中に即ち表面の温度差と平面歪状態における内部拘束応力についての簡略式 $\sigma = \frac{E}{1-\nu} \cdot \alpha \cdot \Delta T$ (E: ヤング率, α : 熱膨張率,

ν : ポアソン比, ΔT : 温度差) から算出したひびわれ発生限界温度差を示す。この限界温度差を算出するにあたり CEB-FIPコード(1978)を参考にし、現度、ヤング率の初期材料による変化を考慮し、かつ温度応力が現度を上まわった時、ひびわれが発生すると考えた。これによると、限界温度差は冬の方がやや低い。これに対し、フーチングにおける温度差は夏、冬とも大差がなく、かつ限界温度差を大きく上まわっている。これより今回、フーチングも考慮しているため限界温度差をかなり高く算定していると思われるが、冬の方が夏より

ひびわれ発生危険性がやや大きいと推定され、実際においても寒期施工のフーチングにおいて、型枠脱型時にひびわれの発生が観察された。

(文献) 森本鶴男, 初級土木工学, 共立出版, P171

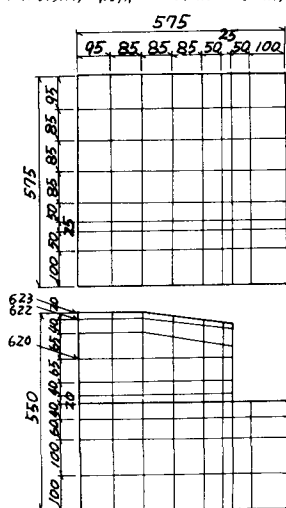


図-2 要素分割図

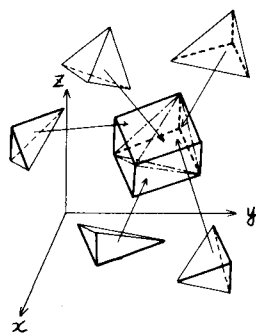


図-3 六面体結合要素

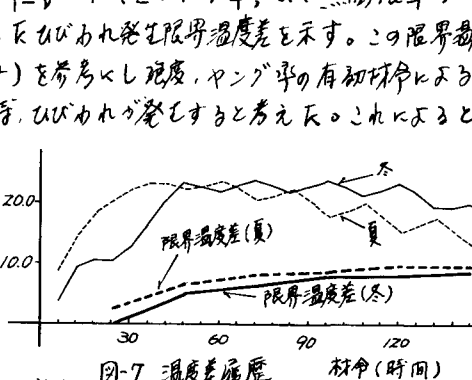


図-7 温度差履歴

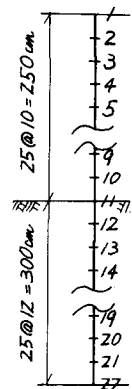


図-4 差分図

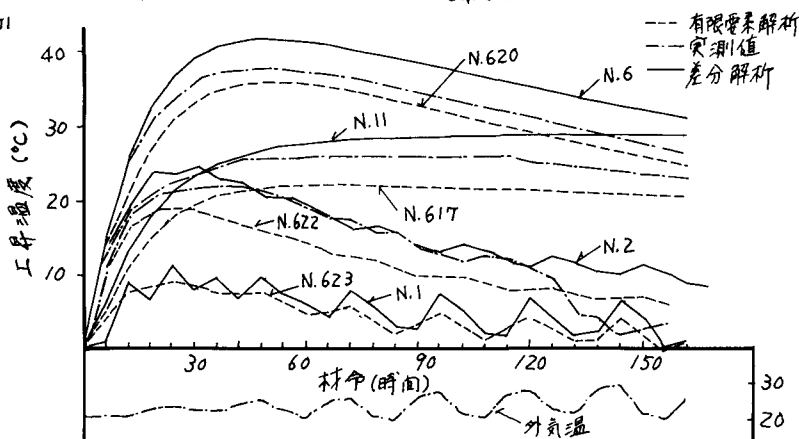


図-5 温度上昇履歴(夏)

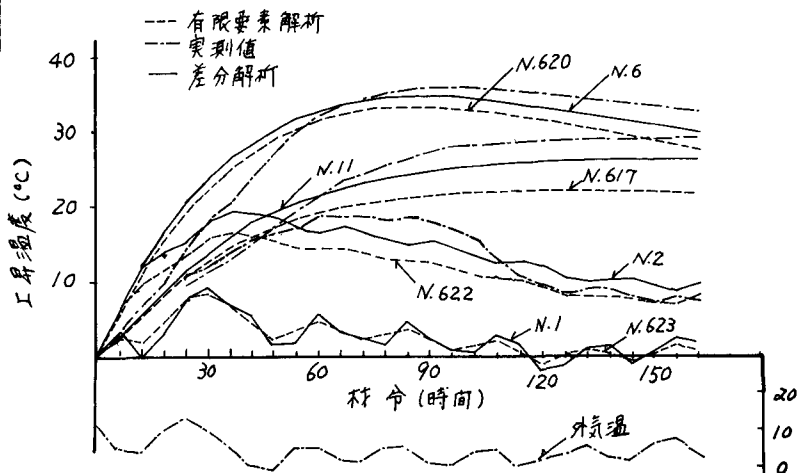


図-6 温度上昇履歴(冬)