

3次元FEM解析による大型ケーソンの温度応力に関する一考察

(株)白石 正会員 ○久米 太 茂木浩二

1. はじめに

ケーソンが大型になるにつれ、作業室天井スラブや側壁などの部材厚も大きくなり、マスコンクリートとしての検討が必要になる。しかし、大型ケーソンに対する温度応力の解析手法は確立しておらず、設計時に検討されていない事例も多い。

このような背景から、筆者らは大型ケーソンの温度応力によるひびわれ防止設計法の確立を目的に、ケーソンの温度応力解析手法の検討を続けている¹⁾。本報文は、過去に温度と応力の計測が行われている下水処理場ケーソンを対象として3次元温度応力解析を行い、解析結果と実測値の温度、応力の整合性および解析モデル中でのひびわれ危険箇所の検討を行った。

2. 解析モデル

解析対象ケーソンは、図-1に示す平面寸法48.0×22.5mの大型ケーソンであり、沈下掘削開始前の第2ロット打設までを解析対象とした。温度および応力の計測は、作業室スラブ中央部において上側、中央、下側と3箇所で行われている。

解析モデルは図-2に示す3次元1/2対称モデルとした。

拘束条件としては、地盤の下側でz方向の変位、対象軸でx方向の変位を固定した。

3. 解析条件

解析に用いた物性値は表-1に示すとおりである。また、解析解析期間は1176時間(49日)であり、第2ロット打設は作業室スラブコンクリート打設から432時間(18日)後である。

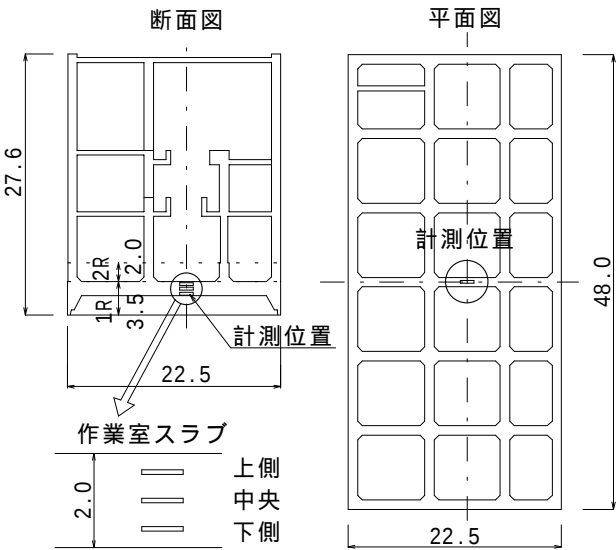


図-1 構造図

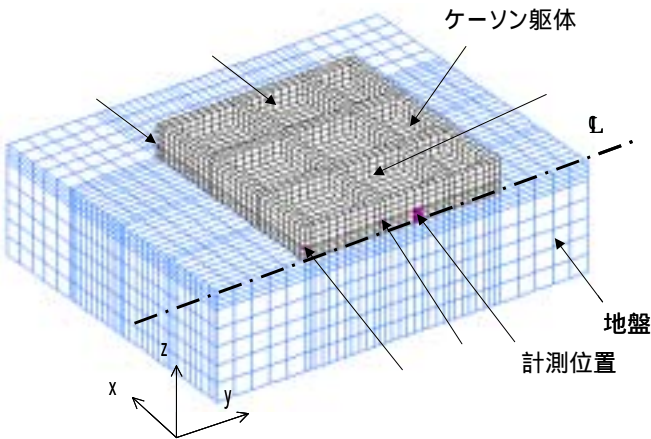


図-2 解析モデル

表-1 物性値

温度解析				温度応力解析			
解析条件	記号	単位	設定値	解析条件	記号	単位	設定値
外気温	ta		1 ロット打設時: 12.0 2 ロット打設時: 15.0	材齢28日におけるコンクリートの圧縮強度	fc'(28)	N/mm ²	24.0
熱伝達率	η	W/m ²	12.0	a	-	-	4.50
セメントの種類	-	-	普通セメント	b	-	-	0.95
単位セメント量	C	kg/m ³	300.0	c	-	-	0.35
初期温度	tc		コンクリート: 20.0 地盤: 15.0	材齢t日におけるコンクリートの圧縮強度	fc'(t)	N/mm ²	f'(t) = t · f'(c(28)) / (a + bt)
終局断熱温度上昇量	Q _∞		46.0	材齢t日におけるコンクリートの引張強度	ft(t)	N/mm ²	ft(t) = c · √f'(c(t))
温度上昇速度に関する定数	y	-	1.104	材齢t日における有効ヤング係数	Ee(t)	N/mm ²	Ee(t) = Φ(t) × 4700 · √f'(c(t))
材齢t日における断熱温度上昇量	Q(t)		Q(t) = Q _∞ · (1 - e ^{-yt})	ヤング係数補正係数	Φ(t)	-	材齢3日まで: 0.73 材齢3日以降: 1.00
熱伝導率	λc	W/m	コンクリート: 2.8 地盤: 1.7	ポアソン比	ν	-	コンクリート: 0.167 地盤: 0.20
比熱	Cc	kJ/kg	コンクリート: 1.05 地盤: 0.88	線膨張率	α	1/	コンクリート: 1.0 × 10 ⁻⁶ 地盤: 1.0 × 10 ⁻⁶
密度	ρ	kg/m ³	コンクリート: 2300 地盤: 1600				

Keyword：3次元温度応力解析，大型ケーソン

(株)白石 技術本部 土木設計部 東京都千代田区岩本町 2-11-2

4. 結果

作業室スラブ応力の実測値を図 - 3 に示す。実測値では、スラブ自身の温度上昇により、スラブ上側で引張応力が発生している。したがって、ここではスラブ上側の温度および応力に対する検討結果を示す。

計測位置における実測値と解析値の温度の比較を図 - 4 に示す。実測値と解析値はほぼ等しく、解析条件を適切に設定する¹⁾ ことにより実測値をほぼ再現できた。

計測位置における実測値と解析値の応力の比較を図 - 5 に示す。スラブ打設時には実測値と解析値はほぼ等しくなり、解析の妥当性が確認できる。第2ロット打設時には、実測値に自重等の温度応力以外の応力が含まれているため値は一致しないが、両者共に温度応力により圧縮応力が発生している。したがって、解析条件を適切に設定すれば、温度応力も実測値を再現可能なことが確認できた。

次に、解析モデル中の各着目点（図 - 2 参照）での解析結果を図 - 6 に示す。この結果から、中央部、
、
での引張応力はほぼ等しく、周面部からある程度内側へ離れた位置では、引張応力はほぼ等しくなると推定できる。また、最大引張応力は周面部と
で発生し、隅角部
では小さな応力しか発生しない。スラブ上側で最も温度が高くなる材齢 33 時間の温度分布を図 - 7 に示す。中央部ではどの箇所でも温度はほぼ等しくなるが、周面部では急激に温度が下がり、急な温度勾配が生じている。この温度勾配が周面部で引張応力が大きくなる原因であると考えられる。

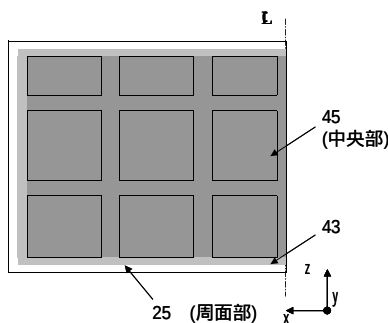


図 - 7 作業室スラブの温度分布

5. 結論

今回の検討結果から、解析条件を適切に設定し3次元解析を行うことにより、ケーソン作業室スラブの温度および応力はほぼ推定可能であることが確認できた。また、解析結果では周面部は中央部より大きな引張応力が発生し、最もひびわれに対して危険であることが分かった。しかし、ケーソン周面部の応力が計測された例はなく、実測値との整合性を確認することはできなかった。今後、ケーソン周面部においても解析値と実測値の整合性を確認し、ケーソンの温度応力によるひびわれ防止設計法の確立を図る予定である。

<参考文献>

- 1) 吉川，茂木，久米：大型ケーソンの温度応力に関する一考察，第56回土木学会年次学術講演会講演概要集，2001

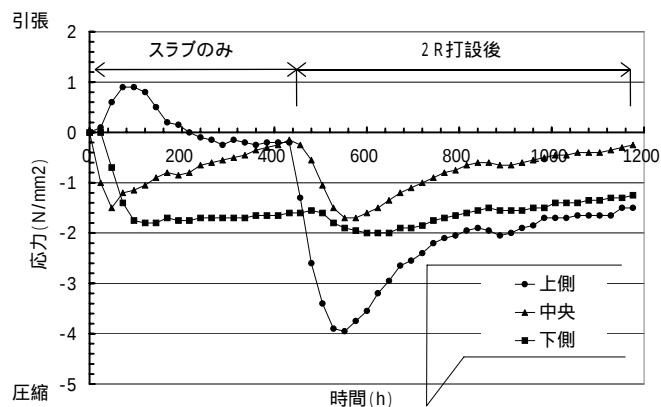


図 - 3 応力の実測値

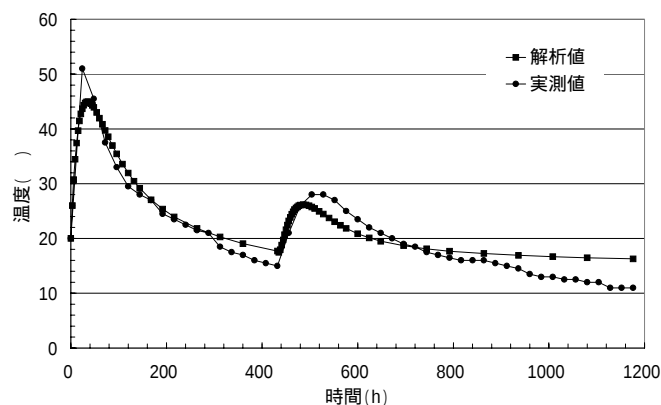


図 - 4 実測値と解析値の温度の比較

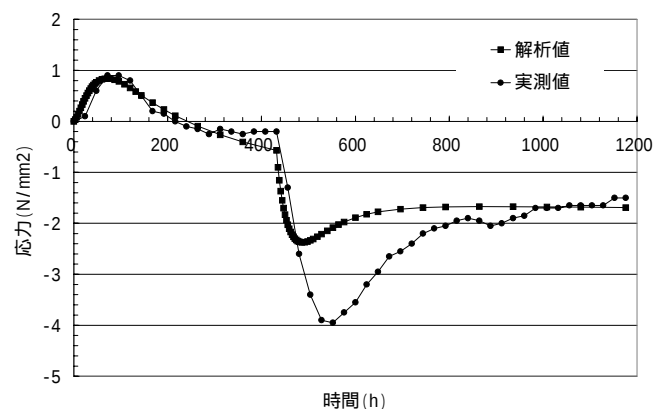


図 - 5 実測値と解析値の応力の比較

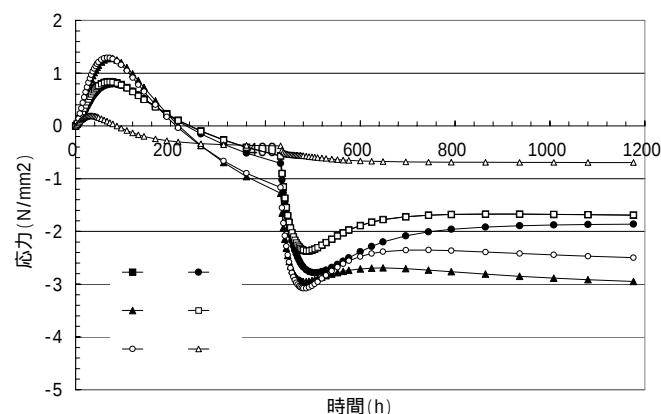


図 - 6 解析モデル中の各着目点の応力