

大型ケーソンの温度応力に関する一考察

(株) 白 石 吉川信男 茂木浩二 久米 太

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。しかしながら、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。ケーソンを容器として使用する場合には漏水などの観点から、コンクリートのひびわれを最小限に押さえる必要があり、解析手法の確立が望まれている。

本論文は、大型ケーソンにおける温度応力解析手法の確立を目的とし、温度の解析精度がひびわれ指数へ及ぼす影響を検討したものである。解析はレインボーブリッジ台場主塔ケーソンを対象とし、計算結果と首都高速道路公団の計測結果との比較を行い検討を行っている。

2. 解析モデル

解析対象ケーソンは、図－1に示す平面寸法 49.0×21.0m の大型ケーソンであり、沈下掘削開始までの 2 ロットを解析対象としている。解析モデルは図－2に示す 3 次元 1/4 対称モデルとした。

解析で考慮した境界条件を図－3に示す。ケーソンは水中浮遊状態であり、第 1 ロット打設時には鋼殻の内側、第 2 ロット打設時には第 2 ロット上端を気中の設定とした。応力解析では、対称面で x 方向(長辺方向)、z 方向(短辺方向)の変位を拘束し、ケーソン刃先は y 方向の変位を拘束した。

3. 解析条件

(1)解析期間

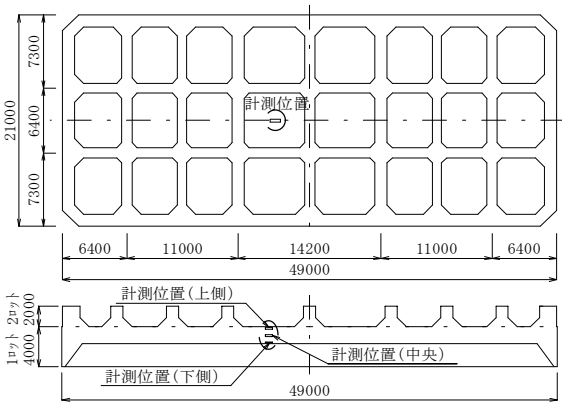
解析ステップを表－1に示す。解析期間は第 1 ロット打設時から 912 時間(38 日間)であり、第 2 ロット打設は 15 ステップの 312 時間に行われている。

(2)物性値

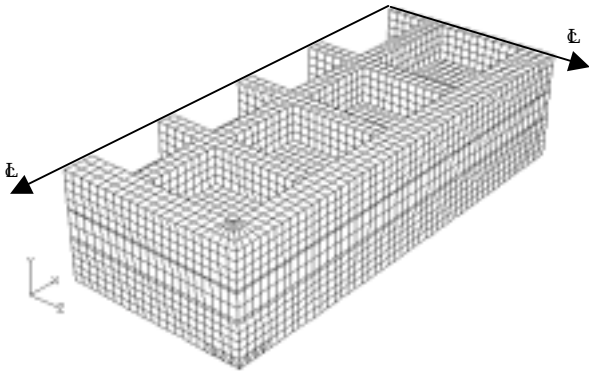
解析に用いた物性値を表－2に示す。条件 1 では外気温、水温は解析期間の平均値を使用している。条件 2 では、実測値と解析値の温度がほぼ等しくなるように外気温、水温、熱伝達率および比熱を適時変化させている。

表－1 解析材齢

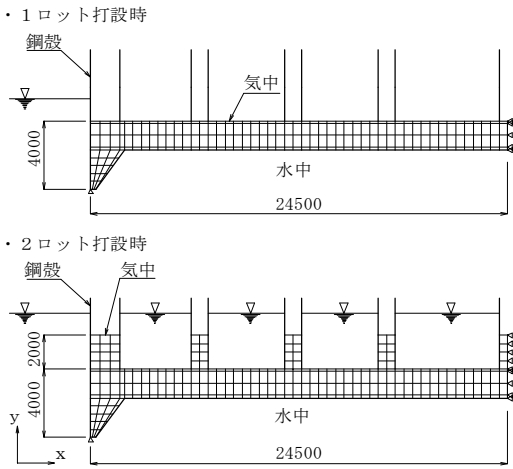
ステップ	1	2	3	4	5	6	7	8
材齢(h)	0	3.0	6.0	9.0	12.0	18.0	24.0	36.0
ステップ	9	10	11	12	13	14	15	16
材齢(h)	48.0	72.0	96.0	120.0	168.0	240.0	312.0	315.0
ステップ	17	18	19	20	21	22	23	24
材齢(h)	318.0	321.0	324.0	330.0	336.0	348.0	360.0	384.0
ステップ	25	26	27	28	29	30	31	32
材齢(h)	408.0	432.0	480.0	552.0	624.0	720.0	816.0	912.0



図－1 ケーソン構造寸法図



図－2 解析モデル



図－3 境界条件

Keyword：大型ケーソン，温度応力解析，ひびわれ指数

(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

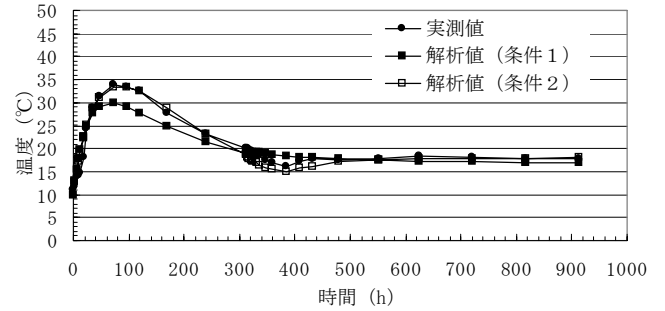
表－２ 物性値

	解析条件	単位	設定値	
			条件1	条件2
温度解析	外気温 t_a ^{※3}	(℃)	15.0 ^{※1}	9.0～18.0
	水温 t_w ^{※3}	(℃)	17.0 ^{※2}	13.0～18.0
	熱伝達率 η ^{※3}	(W/m ² ℃)	空気中：12.0 水中：14.0	5.0, 16.0
	セメントの種類	---	高炉セメント	
	単位セメント量 C	(kg/m ³)	300.0	
	コンクリートの打設温度 t_c	(℃)	10.0	
	終局断熱温度上昇量 Q_∞	(℃)	47.0	
	温度上昇速度に関する定数 γ	---	0.493	
	材齢t日における断熱温度上昇量 $Q(t)$	(℃)	$Q(t) = Q_\infty (1 - e^{-\gamma t})$	
	熱伝導率 λ_c	(W/m℃)	2.60	
温度応力解析	比熱 c_c ^{※3}	(kJ/kg℃)	1.05	1.05, 1.26
	密度 ρ	(kg/m ³)	2350.0	
	材齢28日のコンクリートの圧縮強度：設計基準強度 $f'_c(28)$	(N/mm ²)	24.0	
	a	---	6.20	
	b	---	0.93	
	c	---	0.35	
	材齢t日のコンクリートの圧縮強度 $f'_c(t)$	(N/mm ²)	$f'_c(t) = t \cdot f'_c(28) / (a + b t)$	
	材齢t日のコンクリートの引張強度 $f_t(t)$	(N/mm ²)	$f_t(t) = c \sqrt{f'_c(t)}$	
	材齢t日における有効ヤング係数 $E_e(t)$	(N/mm ²)	$E_e(t) = \Phi(t) \times 4.7 \times 10^3 \sqrt{f'_c(t)}$	
	温度上昇時におけるクリープの影響が大きいことによるヤング係数の補正係数 $\Phi(t)$	---	材齢3日まで $\Phi = 0.73$ 材齢5日以降 $\Phi = 1.00$ 材齢3日から5までは直線補間	
	ポアソン比 ν	---	0.167	
	熱膨張率	(1/℃)	1.00E-05	

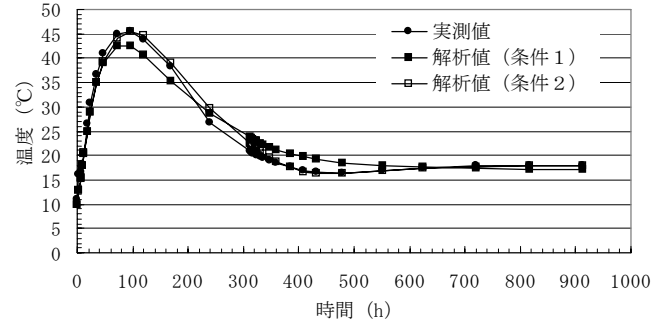
※1 気象庁監修アメダス観測年報より、解析期間中の日平均気温の平均値を使用

※2 日本海洋データセンター資料より、解析期間中の月平均水温の平均値を使用

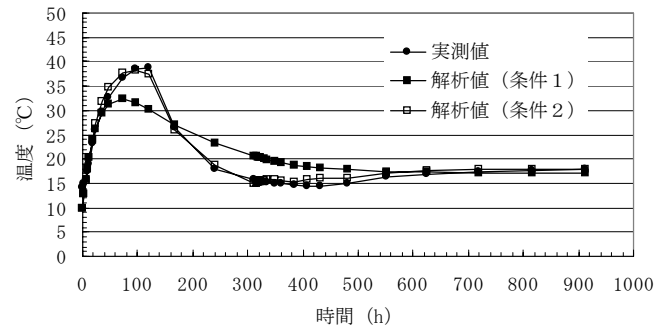
※3 条件2で変更した物性値



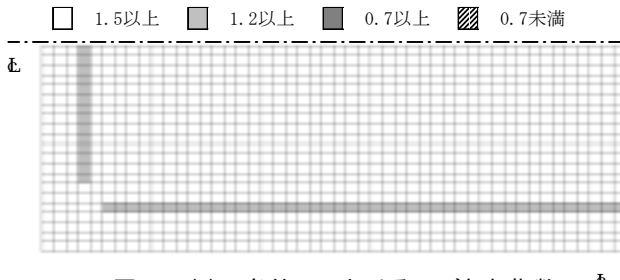
図－4(a) 温度の経時変化(スラブ上側)



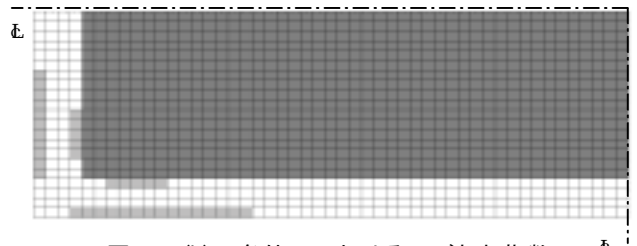
図－4(b) 温度の経時変化(スラブ中央)



図－4(c) 温度の経時変化(スラブ下側)



図－5(a) 条件1におけるひびわれ指数



図－5(b) 条件2におけるひびわれ指数

4. 解析結果

作業室天井スラブ下側，中央，上側におけるの温度解析結果と実測値の比較を図－4に示す．条件1では，解析値が実測値を下回る傾向があり，特にスラブ下側での整合性が悪い．一方，条件2では外気温，水温，熱伝達率および比熱等の条件を材齢ごとに細かく設定したことにより，解析値と実測値はほぼ一致している．次に，条件1および条件2における作業室天井スラブ下面でのひびわれ指数の比較を図－5に示す．ここでのひびわれ指数は，全材齢における最小のひびわれ指数を示している．条件1ではひびわれ指数は一部の個所を除いてほとんどの個所で1.5以上を示しているが，条件2ではスラブの中央部分でひびわれ指数が1.2未満となり，ひびわれが発生する可能性がある結果となっている．

以上の結果は温度解析の精度がひびわれ指数に及ぼす影響が大きいことを示しており，設計時にも高い精度でコンクリート温度を推測する必要があること示している．今後，応力の測定結果との整合性を検討し，熱伝達率，外気温等の設定方法を考慮したケーソンの温度応力設計法の確立を図る予定である．

<参考文献> 土木学会：コンクリート標準示方書施工編，平成8年制定