

早稲田大学 学生会員 本丸 哲也
 (株)熊谷組 正会員 岩波 基
 早稲田大学 岡本 大樹
 早稲田大学 正会員 小泉 淳

1. はじめに

立坑の大深度大規模化に伴い、シールド工事の全体の中で立坑の工事費が占める割合が大きくなる傾向にある。このため、連続地中壁(以下、連壁と呼ぶ)を仮設山留め壁として使用するだけでは不経済であるため、本体壁の一部として利用することが多くなってきている。しかし、大深度の立坑では連壁にひび割れが発生する例が多く見られ、これをそのまま本体として利用するには立坑の長期的な止水性や耐久性に問題がある。本研究では、このひび割れ発生原因のうち、まずコンクリートの水和熱に起因する温度応力に着目した。

本報告は、8ブロックに分けて打設した円形立坑の連壁コンクリートを対象として、その温度変化とそれに伴って発生する応力状態を検討したものである。通常、壁構造の温度解析に用いる一次元解析法(シュミット法)と三次元FEMを用いて解析しそれらの結果を比較するとともに、水和熱によるひび割れの発生について考察を加えたものである。

2. 解析条件

外気温は東京周辺の気温をまた、連壁および基礎地盤の熱物性値はいくつかの計測データを参考にして定めた。その他の物性値はコンクリート標準示方書を参考にした。表1～表4はそれらの物性値などを示したものである。

表 - 1 コンクリートの熱的性質

項目	コンクリートの熱的性質
断熱温度上昇量(℃)	$Q=61, \gamma=1.571$
熱伝導率(W/m ² ℃)	2.67
熱伝達率(W/m ² ℃)	12
密度(kg/m ³)	2.3×10^3
比熱(kJ/kg℃)	1.151

表 - 2 コンクリートの打設日程

打設リフト	リフト打設	間隔
1(先行エレメント)	1993/4/18	
2(後行エレメント)	1993/5/18	30
3(先行エレメント)	1993/6/1	14
4(先行エレメント)	1993/6/22	21
5(後行エレメント)	1993/7/5	13
6(先行エレメント)	1993/7/23	18
7(後行エレメント)	1993/8/5	13
8(後行エレメント)	1993/8/31	26

表 - 3 コンクリートの力学特性

項目	コンクリートの力学的性質
圧縮強度(N/mm ²)	$f'_c(t) = t / (a + bt) \times f'_c(91)$ ここに、 $f'_c(91)$: 材令91日のコンクリート圧縮強度 コンクリート標準示方書による定数($a=4.5, b=0.95$)
引張強度(N/mm ²)	$f_t(t) = c f'_c(t)^{1/2}$ ここに、コンクリート標準示方書による定数($c=0.35$)
有効弾性係数(N/mm ²)	$E_c(t) = \phi(t) \times 4.7 \times 10^3 f'_c(t)^{1/2}$ ここに、 ϕ : 弾性係数の補正係数 $\phi = 0.73$ ($t \leq 3$ 日) $\phi = 0.73 + 0.135(t-3)$ ($3日 < t < 5$ 日) $\phi = 1.00$ ($t \geq 5$ 日)
ポアソン比	$\nu = 0.2$
熱膨張係数(1/℃)	$\alpha = 1.0 \times 10^{-5}$

表 - 4 連壁・基礎地盤の物性値

項目	基礎地盤	連壁
熱物性	密度(kg/m ³)	2.0×10^3
	比熱(kJ/kg℃)	2.3×10^3
	熱伝導率(W/m ² ℃)	2.67
力学特性	弾性係数(N/mm ²)	50
	ポアソン比	0.3
	熱膨張係数(1/℃)	1.0×10^{-5}

3. 温度解析

3. 1 解析モデル

一次元のシュミット法による温度解析と連壁エレメントの打設順序を考慮した3次元FEM温度解析をそれぞれ図-1～図-3と図-4に示すモデルにより行った。なお三次元FEM解析に用いるモデルの解析領域は、事前の予備解析を行って定めた。

キーワード：大深度 連続地中壁 ひび割れ 温度解析

連絡先：〒169-0072 東京都新宿区大久保3-4-1 早稲田大学理工学部小泉研究室 Tel 03-3204-1894

3.2 温度解析結果

図 - 5に一次元解析結果と三次元解析結果とを比較したものを、また図 - 6に先行エレメントとそれに隣接する後行エレメントの解析結果を示す。

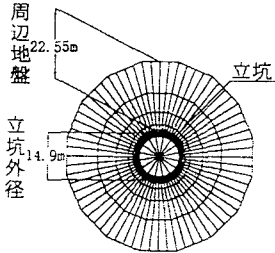


図 - 1 解析平面図

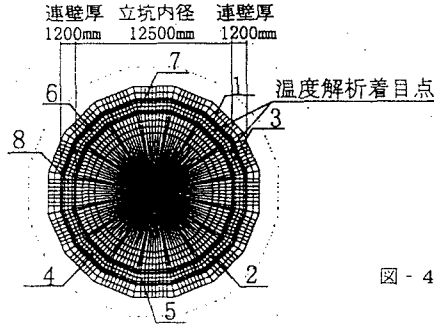


図 - 3 立坑の拡大図

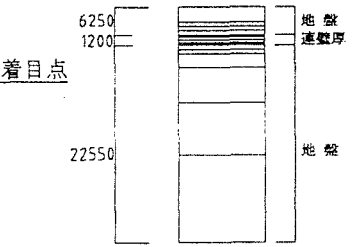


図 - 4 一次元解析モデル図

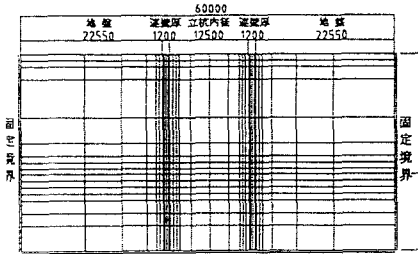


図 - 2 解析縦断面図

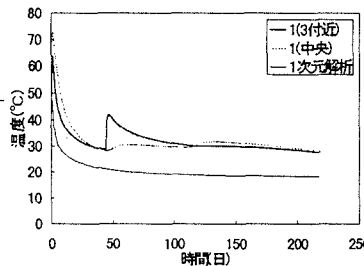


図 - 5 一次元解析結果と三次元解析結果の比較

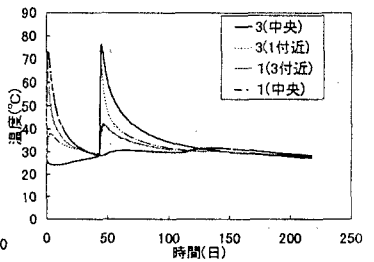


図 - 6 先行エレメントと後行エレメントの比較

一次元解析では最高温度は47℃であったのに対して、三次元解析では最高温度が73℃という結果になった。また、一次元解析では温度低下が早く、材令100日で18℃の安定温度になるのに対して、三次元解析では材令50日以後にまた温度が上昇する結果となった。

また、先行エレメントと後行エレメントの最高温度については、後行エレメントの方が最高温度で3℃高い結果になった。

4.応力解析結果

温度応力解析は、後行エレメントについてCP法により行った。温度は三次元解析の結果を用いている。図 - 7に最大応力発生位置の応力の経時変化を示す。

5.考察

連壁の温度解析ではエレメント間相互の影響が考慮できないことから、一次元解析ではその挙動を表現し得ないと考えられる。特に安定温度についてはエレメント間相互の影響が大きい(図 - 5, 6参照)。

応力解析結果から見ると最小ひび割れ指数は1.15とり、連壁には掘削前の状態ですでに温度応力によるひび割れが発生していると考えられる。

6.おわりに

今回は連壁の温度解析を行ったが現在、温度以外の外荷重に対する三次元FEM解析を実施中である。またこれらの解析結果は、今後計測データが入手できた段階でそれらと比較し、解析手法の妥当性などについて検討を加える予定である。

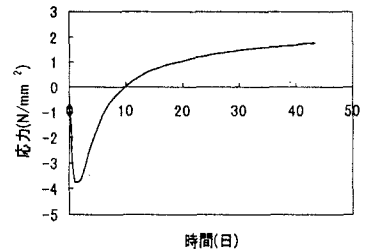


図 - 7 応力の経時変化