

論文 マスコンクリートの温度変形にともなう地盤の挙動について

音部広樹*1・児嶋保明*1・森本博昭*2

要旨：温度応力をFEMなどにより解析する場合、一般に地盤・旧コンクリートを含めた形で構造物のモデル化が行われる。その際の地盤・旧コンクリート部分のモデル化の範囲は、解析精度、解析時間および解析費用に大きく影響を及ぼす重要な検討項目である。本研究は岩盤を含めた壁状構造物の3次元FEMによる温度応力解析から、壁の温度および温度変形の地盤などへの影響範囲を明らかにして、適切な解析モデルを設定する上での有用な資料を得ようとするものである。
キーワード：壁状構造物、温度応力、解析モデル、コンペンセーションプレーン

1. はじめに

FEMなどにより、マスコンクリートの温度応力を解析する場合、多くの場合、地盤あるいは旧コンクリートを含めた形で構造物のモデル化が行われる。この際の解析モデルの設定、特に岩盤・旧コンクリートのモデル化の範囲については、その適否が解析精度、解析時間、および解析費用を左右するため、十分に検討を行う必要がある。岩盤などのモデル化の範囲を合理的に決定するためには、壁の温度および温度変形の地盤などへの影響の範囲を明らかにすることが重要である。

本研究では、3次元FEM解析により、壁状構造物の温度応力解析を行い、構造物モデル全体の温度およびひずみの分布性状、ならびに岩盤の変形領域を明らかにした。そしてこれらの結果を基に構造物モデルの設定、特に岩盤の適切なモデル化の範囲について提案を行う。

2. 解析概要

2.1 解析対象構造物

本研究で検討の対象とした構造物は図-1に示すように岩盤上のスラブの上に構築されるコンクリート壁状構造物で、壁厚を1m、壁高さHを3m一定にし、壁長さLを

1, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21mの7通りに変化させた。ここで検討を行った壁モデルのL/Hは1, 2, 3, 4, 5, 6, 7となる。また岩盤の弾性係数 E_r も 5.0kN/mm^2 および 1.0kN/mm^2 と変化させた。

コンクリートの材齢28日の弾性係数 E_c は 25.0kN/mm^2 とした。コンクリートと岩盤の弾性係数比 E_c/E_r は5および25となる。解析は各要因を組み合わせせた計14ケースについて行った。温度解析、温度応力解析ともに3次元FEM解析を用いてそれぞれ実施した。

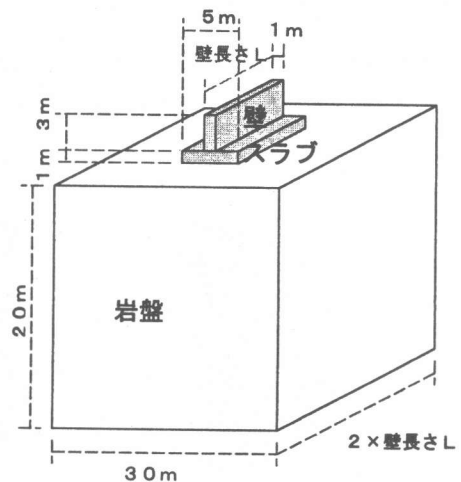


図-1 解析対象構造物

*1 岐阜大学大学院 工学研究科土木工学専攻 (正会員)

*2 岐阜大学教授 工学部土木工学科 工博 (正会員)

2.2 解析条件

温度解析および温度応力解析に用いたコンクリートおよび岩盤の物性値を表-1に示す。

(1) 温度解析

温度解析は構造物モデルの対象性を考慮して全体の1/4を解析モデルとした。境界条件については、岩盤底面を固定境界、岩盤の切断面は断熱境界、その他の境界は熱伝達境界とした。コンクリートの配合についてはスラブ、壁体ともに普通ポルトランドセメントを使用し、単位セメント量は 300kg/m^3 とした。また、コンク

リートの初期温度は 20°C 、外気温を 20°C 一定にして、スラブ打設後30日経過してから壁を打設するものとした。

(2) 温度応力解析

温度応力解析の境界条件としては、岩盤底部は固定、その他の境界面については、断面鉛直方向は拘束、その他の方向は自由とした。

3. 解析結果

3.1 温度解析結果

$L=3\text{m}$ のモデルについての温度解析結果を図-2に示す。コンクリート各部の温度は、壁

表-1 物性値

項目	単位	コンクリート	岩盤
熱伝導率 λ	kcal/mh $^\circ\text{C}$	2.3	3.0
比熱C	kcal/kg $^\circ\text{C}$	0.275	0.190
密度 ρ	kg/m 3	2350	2650
断熱温度上昇式 $Q(t)=Q_\infty(1-e^{-\gamma t})$		$Q_\infty=46.0$ $\gamma=1.104$	
熱伝達率 η	kcal/m $^2\text{h}^\circ\text{C}$	12.0	12.0
有効ヤング係数	kN/mm 2	$15\psi(t)\sqrt{f'c(t)}$	1.0 or 5.0
クリープの影響を考慮したヤング係数の補正係数		$\psi(t \leq 3)=0.73$ $\psi(5 \leq t)=1.0$ $\psi(3 < t < 5)=0.73 \sim 1.0$	
圧縮強度 $f'c(t)$	kN/mm 2	$\frac{309t}{4.5+0.95t}$	
引張強度 $ft(t)$	kN/mm 2	$1.4\sqrt{f'c(t)}$	
ポアソン比 ν		0.2	0.2
熱膨張係数 α	/ $^\circ\text{C}$	10×10^{-6}	10×10^{-6}
単位セメント量	kg/m 3	300	

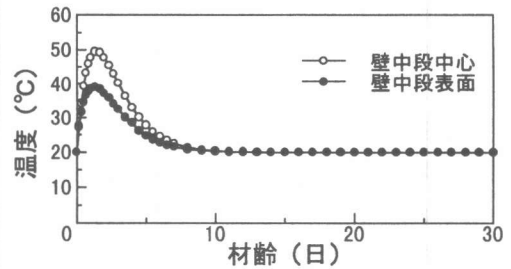


図-2 コンクリート温度(3m)

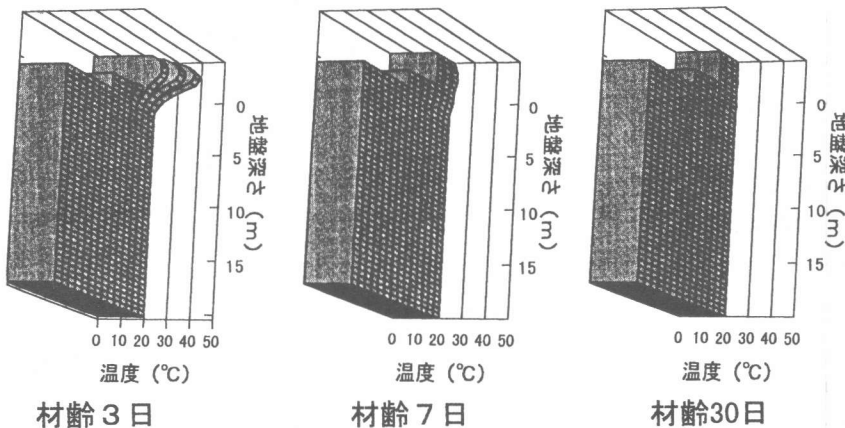


図-3 温度分布性状

長さに関係なく、いずれのモデルもほぼ同様の結果が得られた。最高温度は壁中段中心において打設後約 32 時間で 49.5℃ となった。

図-3 に解析モデル全体の温度分布性状を示す。図から、壁の温度上昇にともない、スラブ、地盤の温度も次第に上昇していくことが分かる。壁の温度上昇の影響を受ける範囲は、スラブに

ついてはほぼ全域、一方、岩盤については 1m 程度までである。

3.2 温度応力解析結果

壁中段中心における温度応力を図-4 に示す。各図から、壁の温度応力は壁長さ L の影響を大きく受け、L が大きくなるに連れて圧縮応力、

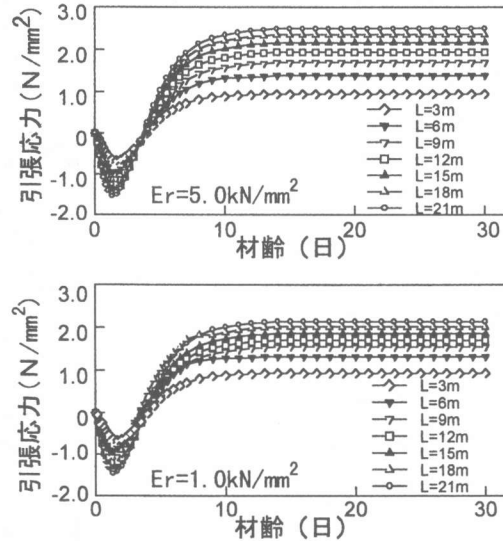


図-4 壁中段中心におけるコンクリート応力

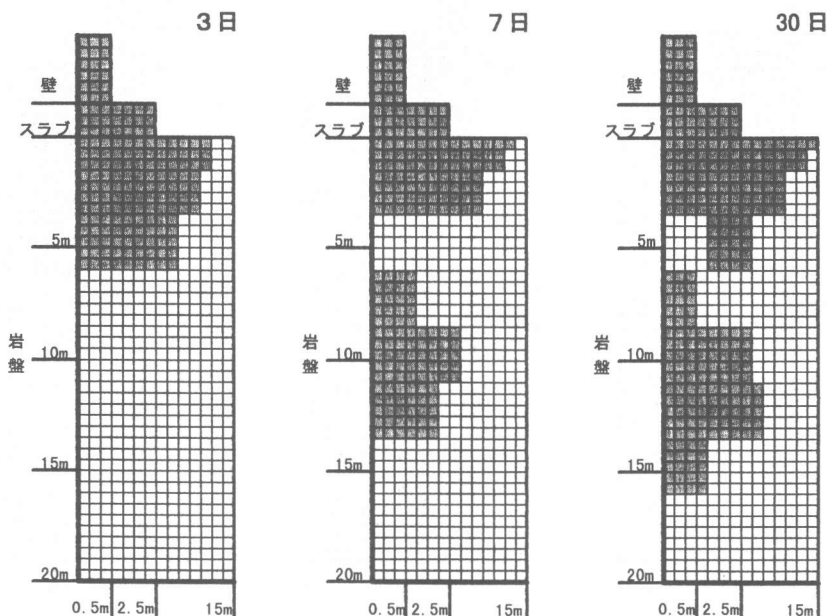


図-5 材齢による変形領域の変化 ($E_r=1.0\text{kN/mm}^2$, $L=21\text{m}$)

引張応力ともに大きくなる傾向を示す。また、岩盤の弾性係数にも影響を受け、岩盤の弾性係数が大きくなると温度応力も増大することが分かる。

(1) 岩盤への影響

図-5に $E_r=1.0\text{ kN/mm}^2$ 、 $L=21\text{ m}$ の中央断面の変形領域（全ひずみの値が 1μ 以上となった部分）の材齢による変化を示す。

図から、スラブには壁の温度変形に追従して全領域に変形を生じている。一方、岩盤部分にも変形が生じ、材齢の進行にともない領域が拡大していく傾向にある。しかし、表面から6m以上の深さの部分のひずみは $1\sim 2\mu$ 程度で、この部分を無視すると、全材齢を通して6mまでの領域に収まっている。幅（片側幅）については、15m以内の範囲にある。

図-6は $E_r=5.0\text{ kN/mm}^2$ 、 $L=21\text{ m}$ の材齢30日における変形領域を示したものである。図から E_r が 5.0 kN/mm^2 に大きくなると、変形領域は小さくなる傾向が認められる。

図-7は、 $E_r=1.0\text{ kN/mm}^2$ 、 $L=3, 6, 12\text{ m}$ それぞれの材齢30日における変形領域を示したも

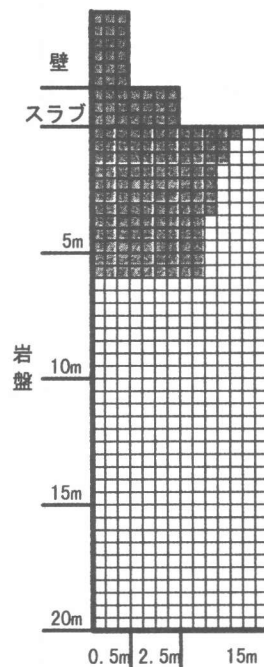


図-6 変形領域 ($E_r=5.0\text{ kN/mm}^2$, $L=21\text{ m}$)

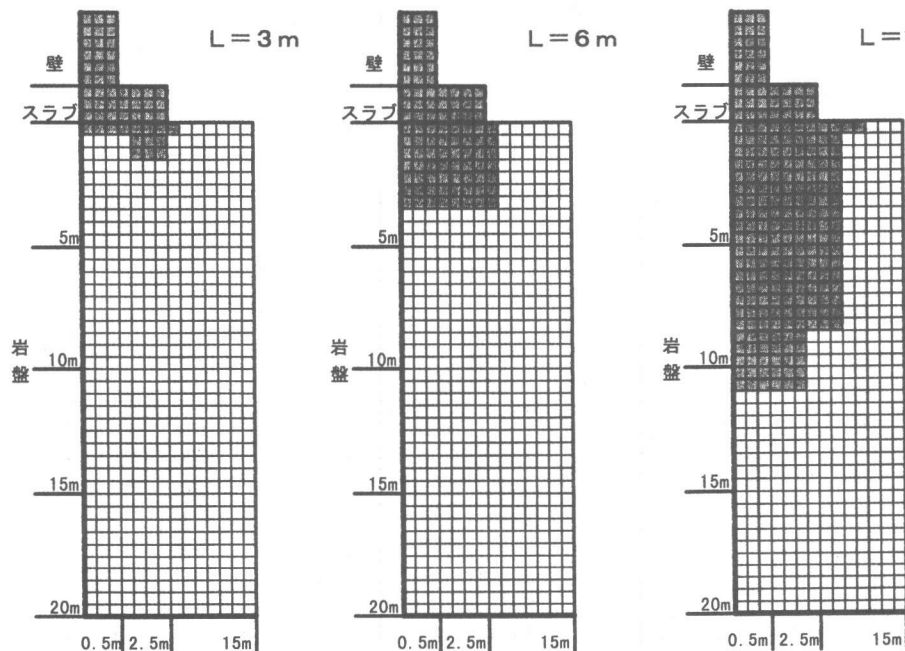


図-7 壁長さによる変形領域の変化 ($E_r=1.0\text{ kN/mm}^2$)

のである。図から、変形領域は L/H の影響を大きく受け、 L/H が大きくなる（壁長さが大きくなる）にともない変形領域も拡大することが分かる。ただし図中、 $L=12\text{m}$ の岩盤の変形領域で、約 5m 以上の領域のひずみは約 1μ で無視できる程度のものである。

図-8、9は、変形領域の最大深さと片側最大幅に及ぼす L/H および岩盤の弾性係数の影響をまとめたものである。

図-8から L/H が1から7に増大すると、変形領域の最大深さは $E_r=5.0\text{kN/mm}^2$ の場合は 1.5m から 6m に、一方、 $E_r=1.0\text{kN/mm}^2$ では 1.5m から 16.5m へそれぞれほぼ直線的に大きくなっていく。ただし、前述のように 6m 以上におけるひずみは $1\sim 2\mu$ 程度の小さな値である。 $E_r=1.0\text{kN/mm}^2$ の方が $E_r=5.0\text{kN/mm}^2$ に比べて、 L/H の影響が大きいことが分かる。

図-9から、 L/H が1から7に増大すると、

変形領域の片側最大幅は、 $E_r=5.0\text{kN/mm}^2$ の場合は 2.5m （対スラブ幅比1）から 11m （対スラブ幅比4.4）に、 $E_r=1.0\text{kN/mm}^2$ では 3.5m （対スラブ幅比1.4）から 15m （対スラブ幅比6）へとそれぞれほぼ直線的に広がっていく。岩盤の弾性係数の影響は比較的小さい。

(2) 全ひずみ分布形状

図-10に、 $E_r=1.0\text{kN/mm}^2$ の各壁体における中央断面上の全ひずみの分布性状を示す。図から壁形状（ L/H ）は構造物の全ひずみ分布に大きく影響をおよぼすことがわかる。 $L/H=1$ では、壁の全ひずみは曲面状に分布している。 $L/H=2$ では、壁、スラブ、それぞれにおける全ひずみの分布が平面状になる。しかし、壁とスラブの境界において二つの全ひずみ平面間で折れ曲がりが生じている。 $L/H=4$ 以上になると壁、スラブ、岩盤の上層部を通して一つの全ひずみ平面がほぼ形成されるようになる。

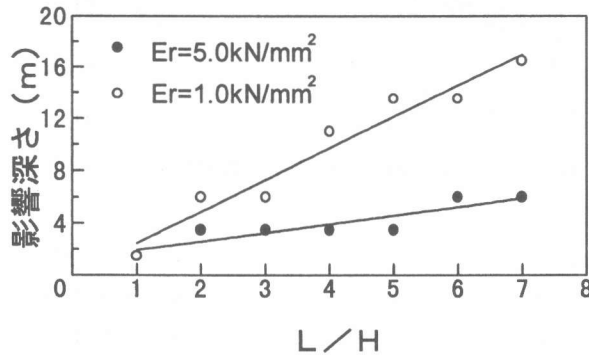


図-8 岩盤への影響深さ

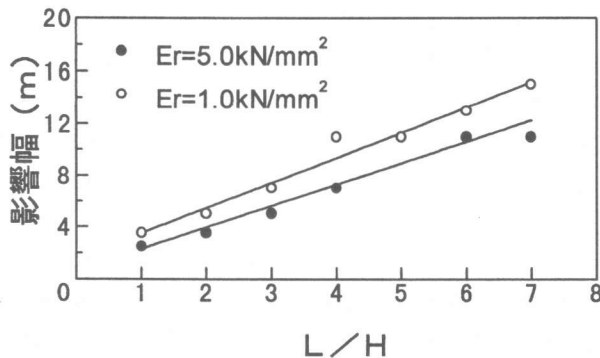


図-9 岩盤への影響幅

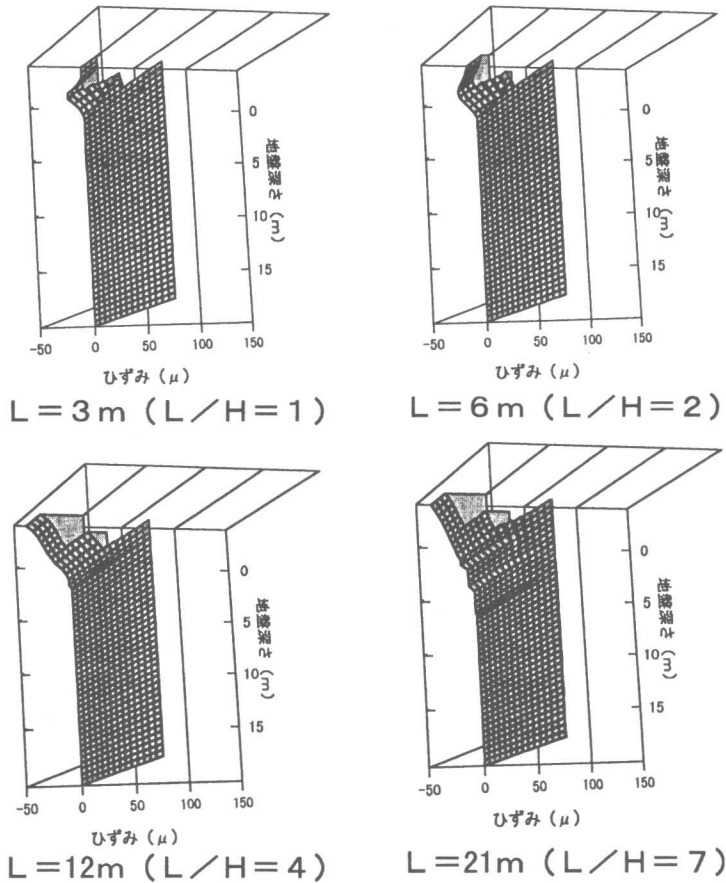


図-10 材齢30日における中央断面の全ひずみ分布性状 ($E_r=1.0\text{kN/mm}^2$)

岩盤部で全ひずみ面が形成される領域は、最大で表面から6 m程度である。

以上のように、本研究で検討を行った構造物モデルでは、壁の温度変形の影響範囲は、スラブについては全断面、そして岩盤については最大、幅(片側)15m、深さ6 m程度となった。一方、温度の影響についても前述のように、地盤の表面から1 m以内であるので、岩盤のモデル化の範囲は最小限、片側幅15m、深さ6 m程度確保しておけばよいものと考えられる。

4. 結論

本研究では、壁状構造物を対象として壁部の温度変形の影響範囲ならびに全ひずみの分布性状について解析的に検討した。本研究で得られた結論を以下にまとめる。

- ①壁の温度変形により、スラブ全断面および岩盤の幅(片側)約15m、深さ約6 m以内の領域に変形が生じることが明らかとなった。
- ②壁の温度上昇の影響を受ける岩盤の領域は、深さ約1 m以内であった。従って、岩盤部分のモデル化の領域は最低限、幅(片側)15m×深さ6 mを確保しておけばよいと考えられる。
- ③岩盤の変形領域は壁の形状(L/H)、岩盤の弾性係数およびコンクリートの材齢により変化する。
- ④壁形状 L/H が6以上になれば、岩盤の変形領域を含めて解析モデル全体についての全ひずみ平面がほぼ形成される。