# 熱-水-土連成有限要素法を用いた温度圧密のシミュレーション

子土云貝	尚田	且明
フェロー	岡 二	三生
正会員	木元	小百合
正会員	肥後	陽介
	字生会員 フェロー 正会員 正会員	字生会員 高田 フェロー 岡 二 正会員 木元 正会員 肥後

1.はじめに

温度圧密とは、地盤の温度上昇に伴って発生する過剰間隙水圧が消散することによって地盤が圧密される現 象である<sup>1)</sup>。この手法はカナダなどの寒冷地方で実際に試みられた方法で、温度上昇による水の粘性の低下及 びそれに起因する透水係数の増加が圧密速度に深く関わっている。本研究では構成式に弾熱粘塑性構成式を適 用し、熱-水-土連成有限要素法<sup>2)</sup>を用いて、飽和粘土地盤の温度圧密のシミュレーションを行なった。

# 2.温度変化による過剰間隙水圧発生と透水係数の変化

本研究では温度変化によって発生する過剰間隙水圧を式(1)で表わし<sup>1</sup>、透水係数の変化を式(2)で表  $bbc^{3}$ 

 $\Delta u = \frac{n\Delta\theta(\alpha_s - \alpha_w) + \alpha_{st}\Delta\theta}{m_v} \quad \dots (1) \qquad \qquad k = \frac{K\gamma_w(\theta)}{\mu(\theta)} \quad \dots (2)$ 

なお式中のnは間隙率、 $\theta$ は温度、 $\alpha_s$ は温度変化による土粒子の体積膨張率、 $\alpha_w$ は温度変化による水分子の 体積膨張率、 $\alpha_{st}$ は温度による内部構造変化の物理化学的係数、 $m_{v}$ は土骨格の体積圧縮係数、kは透水係数、 Kは材料固有の透水係数、 $\gamma_w(\theta)$ は温度による水の単位堆積重量、 $\mu(\theta)$ は動粘性係数を表わす。

# 3. 解析条件

解析に用いた境界条件を図1に示す。対称性を考慮し実際 に考えているモデルの半分で解析を行なった。縦45m×横 45mの地盤を仮定し、地下15mは粘土地盤とし、それ以下は 弾性地盤とした。モデル上端左端から3mと9mの位置に熱 源を貫入し、熱源温度を60とし、1年間地盤に熱を与え続 けた。また解析に用いたパラメータを表1、表2に示す。

#### 4.解析結果

図2は温度分布を表わしたものである。<br />
熱は熱源を中心 として時間の経過とともに地盤に伝播していく様子が確認 できた。図3は過剰間隙水圧の分布を表わしたものである。 地盤の温度が上昇するに従って、過剰間隙水圧が発生し、 温度と同様熱源を中心に分布していることがわかる。5ヶ 月前後で過剰間隙水圧はピークを迎え、その後熱源付近で は過剰間隙水圧が消散し始め、またそれと同時に過剰間隙 水圧の分布は地盤全体に広がっている。図4は平均有効応

表2 解析に用いたパラメータ(弾性体)

せん断弾性係数	G	424500(kPa)
体積膨張整数	K	341000(kPa)
透水係数	$k = k_x = k_y$	1.0 × 10 <sup>-6</sup> (m/s)

キーワード 温度圧密,弾熱粘塑性,飽和粘土

·連絡先 〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL075-753-5086



表1 解析に用いたパラメータ(弾粘塑性体)

圧縮指数		0.191	
膨潤指数		0.043	
初期間隙比	e <sub>0</sub>	1.10	
初期圧密応力	me	392 (kPa)	
先行圧密応力	mbi	392 (kPa)	
静止土圧係数	K <sub>0</sub>	1.0	
粘塑性パラメータ	m'	24.3	
粘塑性パラメータ	C( r)	5.8 × 10 <sup>-10</sup> (1/s)	
変相応力比	M <sup>*</sup> m	1.14	
せん断弾性係数	G	17700 (kPa)	
透水係数	$k = k_x = k_y$	1.63 × 10 <sup>-9</sup> (m/s)	
基準温度	r	15.0	
比熱	С	938 (J/kg · )	
熱伝導率	k	1.16 (W/m·)	
温度による粘土粒子の体積膨張係数	S	0.35 × 10 <sup>-4</sup>	
温度による内部構造変化の物理化学的係数	st	0.50 × 10 <sup>-4</sup> (1/s)	
熱粘塑性パラメータ		0.15	
内部構造パラメータ	maf	170 (kPa)	
内部構造パラメータ		10.0	

土木学会第59回年次学術講演会(平成16年9月)

力の分布を表わしたものであ る。過剰間隙水圧が発生して いる箇所では平均有効応力が 減少していることが分かる。 これは粘土は透水係数が小さ いため、過剰間隙水圧が発生 した直後の粘土地盤は非排水 状態となる。その結果、全応 力の釣り合いを満たすために 平均有効応力が減少している ものである。その後過剰間隙 水圧の消散とともに、その消 散の早い熱源周辺では平均有 効応力は増加しているのが分 かる。図5は粘塑性体積ひず みの分布図を表わしたもので ある。過剰間隙水圧の消散の 早い熱源の上端から熱源周辺 に体積ひずみが発生していく のが分かる。図6は地盤の左



図5 粘塑性体積ひずみ

上端節点における沈下量の時刻歴を表わしたグラフである。熱源から その周辺地盤に温度が伝播し、それにともなって土粒子、水粒子が膨 張するため、圧密開始しばらくは熱源に挟まれた地盤が盛り上がって いることが分かる。その後は時間とともに沈下量が増加している。ま た、図3を見ても分かるように12ヶ月経っても依然過剰間隙水圧が 存在しているため、圧密はさらに進行すると考えられる。

### 5.まとめ

本研究では熱-水-土連成有限要素法を用いて飽和粘土地盤の温度 圧密のシミュレーションを行なった。その結果、地盤に熱が伝播する にしたがって過剰間隙水圧が発生し、それが消散することにより地盤 が圧密されることを確認した。また圧密開始しばらくの間は、熱源付 近で温度上昇に伴う土粒子、水粒子の膨張が起こるため、熱源に挟ま れた地盤が盛り上がることが分かった。



# 参考文献

1) Campanella, R.G. and Mitchell, J.K.: Influence of temperature variations on soil behavior, *ASCE, J. of SMFE*, Vol.94, No.3, pp.709-734, 1968. 2) 岡二三生, 肥後陽介, 金榮錫, 井村雄一, 木元小百合: 弾-熱粘塑 性構成式を用いた熱-水-土連成有限要素法と飽和粘土の変形解析, 応用力学論文集, Vol.6, pp..427-436, 2003. 3) Yashima, A., Leroueil, S., Oka, F. and Guntoro, I.: modelling temperature and strain rate dependent behavior of clays: one dimensional consolidation, *Soils and Foundations*, Vol.38, No.2, 1998.