

粘土の異方性が遅れ沈下挙動に及ぼす影響に関する一考察

九州大学工学研究院 正 山田 正太郎

工学研究院 フェロ 落合英俊、正 安福規之、正 大嶺 聖

1. はじめに

構造・過圧密・異方性を有する自然堆積地盤からサンプリングした粘土試料に対して室内試験を行なうと、2次圧密現象に代表される時間依存的な挙動をしばしば示す。浅岡らはこれまでに水～土連成解析を用いて、粘土の2次圧密は過圧密解消後の構造劣化に起因して生じることを示してきた¹⁾。本報告では、特に採取試料の堆積過程に由来する初期異方性と応力誘導異方性に注目して、浅岡らの提案する構造劣化・過圧密解消に加えて異方性の発達・消滅も考慮できる粘土の弾塑性構成式²⁾を用い、原位置からの切出し角度に応じて2次圧密を起こす場合もあれば起こさない場合もあることを示す。

2. 解析条件

回転硬化概念³⁾を有する上・下負荷面修正カムクレイモデル²⁾を用いて、1次元の水～土連成(圧密)計算を行なった。このモデルは、構造・過圧密・異方性とそれらの塑性変形に伴う発展則を考慮した非時間依存型の弾塑性構成式で、異方性(塑性ポテンシャル面の軸の傾き)は回転硬化変数(テンソル) $\beta^{(5),(6)}$ で表す。

縦2cm×横2cmの平面ひずみ供試体を想定し、縦40×横40要素の正方形有限要素に分割している。供試体は、上端面が常に水平に保たれたまま1次元変形をするよう、上端変位に制約を与えるとともに、上端のみ排水境界としている。供試体上端面に、所定の放置荷重(313.920, 318.825, 333.540kPa)まで漸増増荷(載荷速度: 0.981kPa/sec)し、その後の沈下挙動について調べた。供試体内の自重は考慮しておらず、透水係数は一定としている。なお、供試体サイズを、縦2cm×横6cm および縦2cm×横1cm に変えた場合の影響についても考察した。

表1に材料定数および初期値を示す。正規圧密土化指数 m と構造劣化指数 m_1^* , m_2^* の値は、粘土の典型的な変形挙動を表すために、過圧密解消が構造の喪失に比べて早く生じるように決めている³⁾。また、異方性の発達・消滅速度については、極めて遅い場合を想定した。また、サンプリングが堆積面に対して垂直に行なわれた場合と、図1に示すように 10° ずれた場合の2通りを想定したが、後者の切出し角度のずれは、前者の初期の β を(紙面に向かって奥行き方向を軸として) 10° 回転することで表現している。

3. 解析結果

a) 切出し角度による影響

切出し角度が 0° , 10° の場合の比較として、図2に時間～沈下関係を示す。切出し角度がわずか 10° 違うだけで、沈下量、沈下～時間関係ともに大きく異なることが分かる。切出し角度が 10° の場合は、載荷荷重が313.920kPaから318.825kPaにわずか5kPa増加するだけで沈下に大きな差が生じている。もちろんこれらの違いは、土の構成式に異方性を考慮しない場合には得られない。

図3は318.825kPaまで載荷した場合の圧密終了時の変形図(初期からの変位を8倍して強調)であるが、切出し角度が 10° 傾けば、初期異方性の影響により、供試体全体としては1次元変形をしていても供試体内ではもはや一次元変形とはなっていないことが分かる。次に、遅れ沈下を起こす場合(切出し角度: 10°), 放置荷重: 318.825kPa)について、供試体内の様子を詳しく見る。図4に、図2の沈下曲線上にプロットで示した時刻にお

表1 材料定数および初期値

弾塑性パラメータ		
圧縮指数 $\bar{\lambda}$	0.131	
膨潤指数 $\bar{e}$	0.060	
限界状態定数 M	1.2	
p'=98.1kPa における N.C.L.上の比体積 N		
	1.974	
ポアソン比 ν	0.1	
発展則パラメータ		
構造劣化指数 $\left\{ \begin{array}{l} m_1^* \\ m_2^* \end{array} \right.$	m_1^*	0.83
	m_2^*	2.5
正規圧密土化指数 m	4.17	
回転硬化指数 br	0.000083	
回転硬化限界定数 mb	1.0	
初期値		
初期鉛直有効応力 σ'_{v0} (kPa)	78.48	
初期側圧係数 K_i	1.0	
初期構造 $1/R^*_0$	9.92682	
初期過圧密 $1/R_0$	3.57987	
初期異方性 $\zeta_{0^*} = (3/2\beta_{0^*} \cdot \beta_0)^{1/2}$	0.375	
透水係数 k (cm/sec)	7.8×10^{-9}	

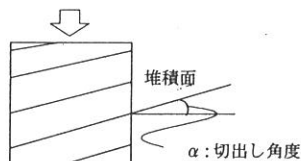


図1: 切出し角度

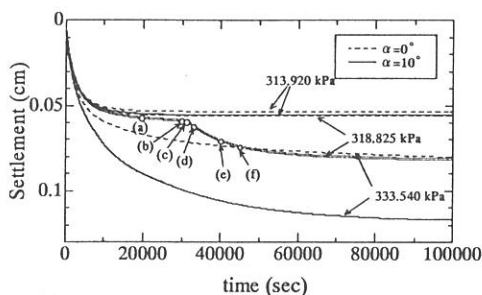


図2: 時間～沈下関係(切出し角度による違い)

ける過剰水圧分布を示す。収束傾向にあった沈下が、再び速度を増す直前で、水圧が湧き出し始めていることがわかる。(d)の時点では、21kPa もの間隙水圧の上昇がみられる。この水圧の湧き出しに伴い生じた過剰水圧の勾配により、供試体内から間隙水を排出し、「再」沈下が生じている。図5に、変形が局所化している箇所の要素の挙動を示す。せん断変形が卓越した要素では塑性圧縮を伴う軟化が起き、これが過剰水圧の湧き出しとその消散に伴う沈下、すなわち2次圧密を生じさせたことがわかる。図6に2次圧密後の供試体内の比体積分布を示す。供試体内部は「局所化」し、深さ方向だけでなく横方向にも、非常に不均質になっている。

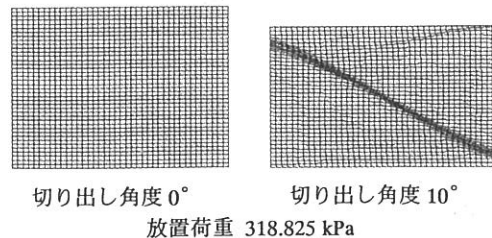


図3：変形図（切出し角度による違い）

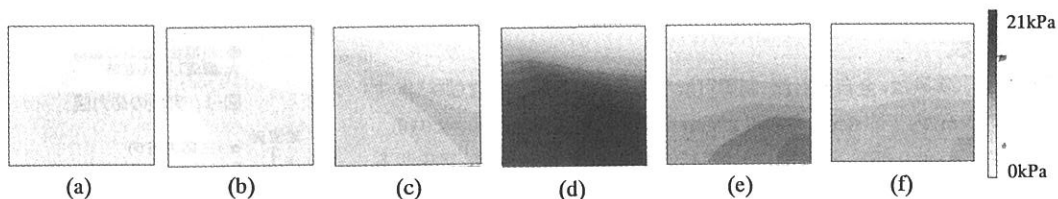


図4：過剰水圧分布の推移

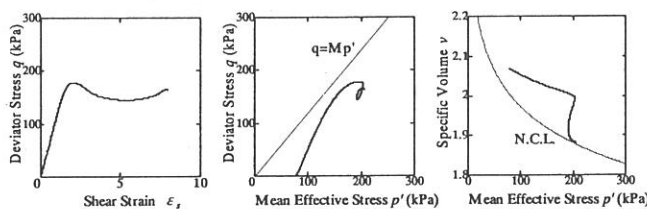


図5：局所化領域の要素の挙動

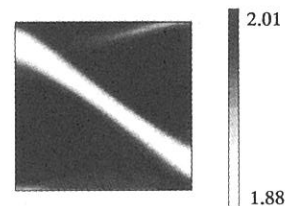


図6：2次圧密後の比体積分布

b) 供試体形状の影響

異なる形状の供試体の、2次圧密後の比体積分布を図7に示す。供試体形状が異なるだけで、変形の局所化の様子が全く異なることが分かる。また合わせて、沈下挙動にも違いが生じる。高さ2cmの硬い真鍮の中にある供試体といえど、異方性を考慮すると、より一層境界値問題としての取り扱いが必要となってくる。

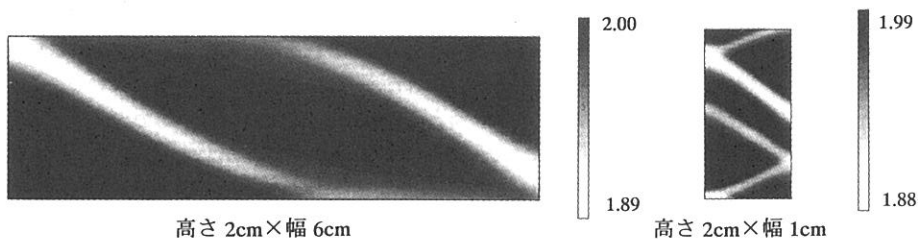


図7：2次圧密後の比体積分布（供試体形状の違い）

4. おわりに

本報告では、供試体の切り出し角度を変えることで、室内試験にて遅れ沈下が生じることを計算により示したが、実際の地盤においても、必ずしも地盤が水平に堆積しているとは限らないこと、また水平に堆積しているような場合でも盛土の局部载荷などの多次元圧密を考えると、この問題は通常のことになって、避けて通れない。構造・過圧密に並んで、異方性の考慮もまた重要である。

5. 参考文献

- 1) Asaoka et al.(2000): "Delayed ...", S&F, 40, 3, 75-85. 2) Asaoka et al.(2002): "An Elasto-plastic ...", S&F, 42, 5, 47-57. 3) 中野ら"砂の過圧密比と粘土の過圧密比", 過圧密土および過圧密地盤の力学に関するシンポジウム論文集, 129-136 (2000). 4) 浅岡 顕(2002): "弾塑性圧密の諸特徴", 地盤工学会「圧密沈下予測の新しい手法」講習会資料 5) Hashiguchi & Chen(1998): "Elastoplastic ...", Int.J. Numer. Anal. Meth. Geomech., 22, 197-227.
- 6) Sekiguchi M. and Ohta H.(1977): "Induced anisotropy ..." *Constitutive Equation of Soils*, Tokyo, pp.229-238.