

地下水位低下に起因する長期広域地盤沈下の水~土連成計算

名古屋大学 正会員 金田一広，浅岡顕，中野正樹，野田利弘
 名古屋大学 学生会員 中西健太

1. はじめに

図1に濃尾平野の地盤沈下と地下水揚水量の経年変動を示す¹⁾。地盤沈下は過剰な地下水揚水が原因であることは知られているが，本報告では，地下水位低下に起因する地盤沈下について水~土連成有限変形計算を行い，そのメカニズムを明らかにする。構成式は回転硬化上・下負荷面修正カムクレイモデルを用いる。詳しくは参考文献²⁾を参照。計算は砂・粘土互層地盤で，1次元及び平面ひずみ条件とする。

2. 境界条件と初期条件

図2に(a)1次元および(b)平面ひずみの境界条件を，表1に計算で用いた材料定数，発展則パラメータ，初期値を示す。どちらも，粘土と砂がそれぞれ3層重なった地盤を仮定する。上端は過剰間隙水圧をゼロとし，砂層が10m堆積しているとして上載圧182kPaをかける。1メッシュは1次元の場合は，粘土層は50cm×50cm，砂層は50cm×250cm，平面ひずみの場合は，粘土層は2.5m×5.0m，砂層は5.0m×5.0mとし，初期水圧は静水圧分布，初期比体積・初期応力は上載圧と粘土・砂の自重から決定している。砂は簡単のためすべて同じパラメータにしているが，過圧密比10，構造の程度1(初期の構造のない)のよく締まったものを用いている。発展則パラメータは，粘土は過圧密の解消が早く，構造の喪失・異方性の発展が遅いように，砂は構造の喪失・異方性の発展が早く過圧密の解消が遅いようなものを用いる。また，回転軸の傾きは初期地盤の異方性を表している。計算では図2の点Aに示した初期の地表面から52.5mの砂層からの揚水を想定し，地下水位を変動させる。

2.1 次元多層系地盤の計算

図3に1次元での地下水位の経年変動および各粘土層，地表面の沈下量の計算結果を示す。図の点線は地下水位で，図1の1925年以降の揚水量のカーブと似せ，揚水規制後の地盤が約1.6m沈下するように，はじめの47年で-25m低下させ，その後10年で-12.5mまで回復させた。実線が地表面での沈下量を，1点鎖線が粘土層の，2点鎖線が粘土層の，太い実線が粘土層の沈下量を示している。図4には図3の記号(a)~(d)の間隙水圧の等時曲線を示す。図中の白丸は土要素が軟化，灰色は除荷，黒色は硬化していることを示す。地下水位を低下させた時は，粘土層が沈下し，(a)，(b)に見られるように間隙水圧が発生する。このメカニズム³⁾は次のようである。構造

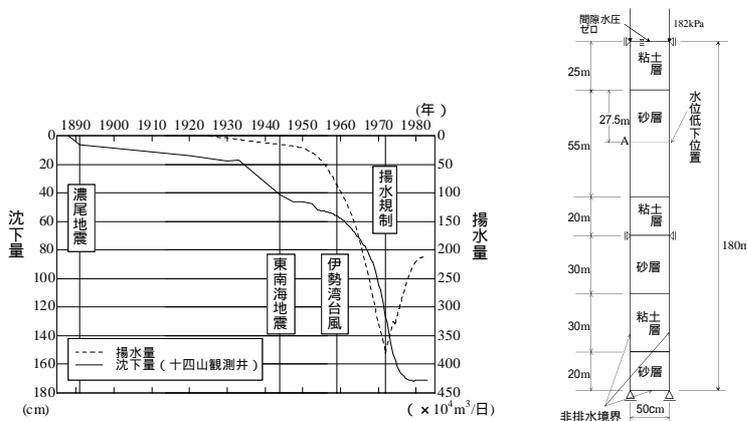


図1 濃尾平野における地盤沈下と地下水揚水量の経年変動

図2(a) 1次元の地盤条件

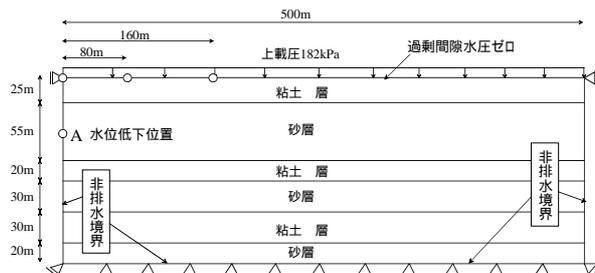


図2(b) 平面ひずみの地盤条件

表1 パラメータ群

	粘性土	砂質土		
[材料定数]				
圧縮指数	0.131	0.042		
膨潤指数	0.065	0.012		
限界状態定数 M	1.2	1.08		
$\rho = 98\text{kPa}$ の時の比体積 N	1.974	1.994		
ポアソン比	0.2	0.3		
土粒子の密度 $\rho_s(\text{t/m}^3)$	2.6	2.65		
[発展則パラメータ]				
正規圧密土化指数 m	7.0	0.04		
構造劣化指数 a	1.5	2.0		
構造劣化指数 b	1.0	1.0		
構造劣化指数 c	1.0	1.0		
回転硬化指数 b_r	0.001	10.0		
回転硬化限界定数 m_b	1.0	0.5		
[初期値]				
初期過圧密比 $1/R_0$	1.32	1.11	1.01	10
初期構造 $1/R_0^*$	9.0	8.3	7.8	1.0
初期側圧係数 K_1	0.8	0.8	0.85	0.85
回転軸の傾き	0.8	0.8	0.85	0.85
透水係数 k (cm/sec)	2.0×10^{-7}	1.2×10^{-7}	1.0×10^{-7}	4.1×10^{-2}

キーワード：地盤沈下，地下水位低下，構造，有限要素法，軟化

連絡先：〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学工学研究科土木工学専攻 TEL 052-789-4624

を有する粘土が1次元変形などの塑性変形を受けると、構造の喪失に起因する塑性圧縮を伴う軟化域に到達することができる。荷重（地下水位）が一定の場合は土要素が軟化すると、過剰間隙水圧がそれを補うべく発生する。さらに、間隙水圧の発生は回りの要素の除荷を伴う。また、地下水位を一定に保っても、地盤は元には戻らずわずかながら沈下が進む。これは粘土層で塑性圧縮を伴う軟化域が地盤深部に伝達していくためである（図3(c)）。地下水位一定に保ち約80年後には粘土層の沈下が起こり始め、これも塑性圧縮軟化を伴いつつ200年に亘って沈下が続いている^{4),5)}。

3. 2次元多層系地盤の計算

図5に平面ひずみでの地下水位の経年変動および図2(b)の点()~()までの地表面の沈下量の計算結果を示す。地下水位履歴は1次元のものと同じである。地下水の低下に伴って全体的に沈下し、地下水の回復によってわずかであるが、リバウンドが見られる。図6には図5の(a)~(c)における構造の程度(1/R*), 過剰間隙水圧の分布を示す。1/R*は1になるほど構造が喪失していることを示す。地下水位を低下させ、一定に保つことで粘土層の構造の喪失が進み、わずかながら過剰間隙水圧の上昇を伴いつつその領域が拡大している。

4. まとめ

1次元計算では、不完全な地下水位の回復が将来にわたる遅れ沈下を引き起こす可能性があることを示した。2次元平面ひずみの計算では、地下水位の低下によって構造の喪失域及び過剰間隙水圧の上昇域が時間とともに変化することを示し、進行性破壊を示した。

参考文献

- 植下 協(1990): 濃尾平野の広域地盤沈下と地下水問題, 土質工学会(現地盤工学会)中部支部第2回地盤工学シンポジウム論文集, pp.93 ~ 98.
- Asaoka A. et al.(2002): An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanics of soils, *S & F*, 42(5), pp. 47-57.
- Asaoka, A. et al. (200): Delayed compression/consolidation of natural clay due to degradation of soil structure, *S & F*, 40(3), pp. 75-85.
- 浅岡ら(2001): 地下水位低下に起因する地盤沈下現象のメカニズム, 第35回地盤工学研究発表会講演集, Vol.1, pp.997 ~ 998.
- 浅岡ら(2001): 地下水位低下による多層系地盤の地盤沈下の特徴, 第35回地盤工学研究発表会講演集, Vol.1, pp.999 ~ 1000.

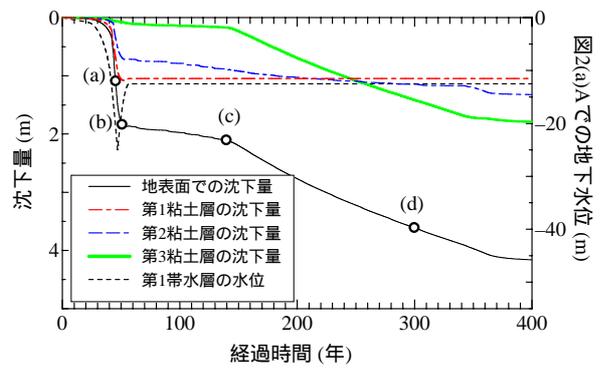


図3 1次元多層系地盤の沈下量・地下水位～時間関係

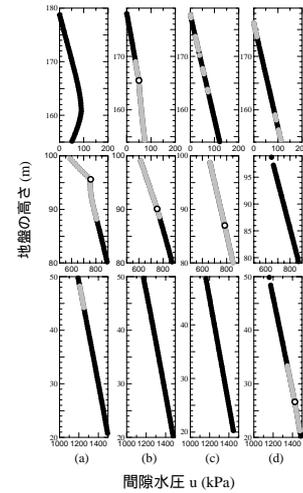


図4 間隙水圧の等時曲線

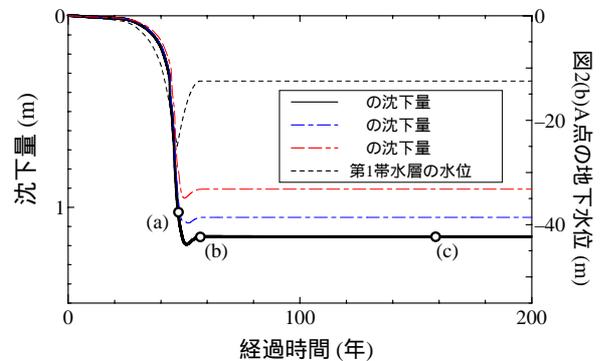


図5 平面ひずみ多層系地盤の沈下量・地下水位～時間関係

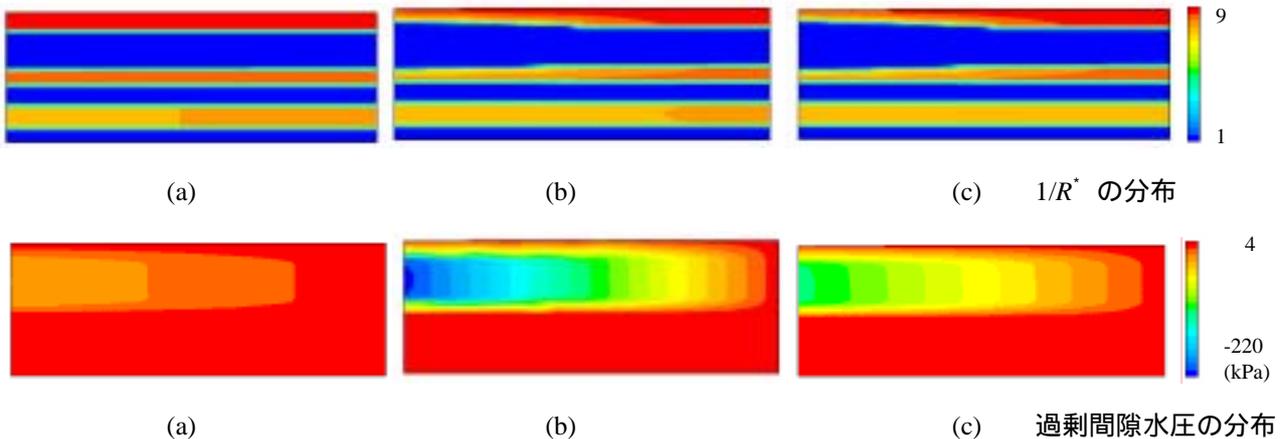


図6 構造の程度(1/R*), 過剰間隙水圧の分布