

粘土地盤の大規模掘削に伴う変形・安定挙動の水～土連成解析

名古屋大学（正）浅岡顕、野田利弘、山田英司
 名古屋大学（学）栗山和之

1 はじめに

本報告では、開削工法による大規模掘削に伴う掘削底部の盤膨れの要因とその抑制工法について、平面ひずみ条件下での水～土連成有限変形計算¹⁾によって検討した。粘土と砂の構成式には、構造、過圧密、異方性の概念を取り入れた回転硬化概念を有する上・下負荷面修正カムクレイモデル²⁾を用いた。

2 計算条件と地盤の初期状態

盤膨れを生じる地盤として粘土層の下部に被圧した砂層がある場合を想定した（図1）表1に解析に用いた粘土層、砂層の材料定数を示す。地盤の初期状態は、以下の手順によって決定した³⁾。①自重と表1に示す初期値を有する地盤の地表面に30kPaの等分布荷重を一次元載荷した後に、同じ大きさの荷重を除荷する。②その後、被圧帯水層左端（図1中の辺ab）から深さ方向に一樣に静水圧より19.6kPa（水位にして2m分）の水圧を加えて十分に放置する。この結果、地盤内の比体積 v_0 、過圧密比 $1/R_0$ および単位体積重量 γ_t は、図2に示すように土被り圧に応じて深さ方向に分布する。②の後、図1に示すように矢板とアンカー（矢板は「長さ不変」と「角度不変」、アンカーは「長さ不変」の制約条件⁴⁾で役割を表現）を設置し、図1の領域cdefを瞬時に（1秒で）掘削する。掘削面は間隙水圧が常にゼロとなる排水境界とした³⁾。

3 掘削時における地盤の変形挙動

掘削後の地盤の変形挙動を図3に示す。掘削直後ではなく時間が経過するにつれて徐々に掘削底部が浮き上がっている。図4に掘削後の間隙水圧分布を示す。掘削により掘削底部の水圧は減少して負圧が発生する。その後、非掘削部と掘削底部間の水頭差によって掘削底部へと間隙水が流入し、掘削底部の被圧層の間隙水圧が非掘削部と等しくなるにつれて徐々に掘削底面が浮き上がった。すなわち、非掘削部と掘削底部との間の水頭差からくる浸透力が、粘土地盤の不透水性ゆえに揚圧力となって掘削部の粘土層に上向きに作用し、盤膨れが生じた。

4 盤膨れ抑制工法の効果の検討

盤膨れ抑制工法として、(1)井戸揚水による地下水位低下工法、(2)矢板による遮水工法、(3)水中掘削工法、の三種類に着目し、それぞれの効果を水～土連成計算によって検討する。

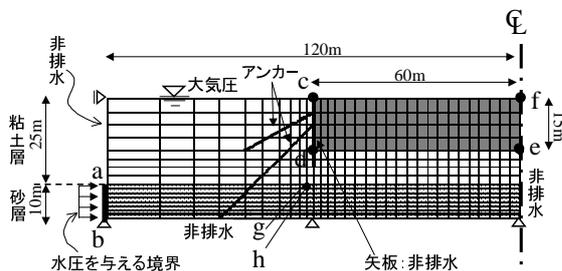


図1 有限要素メッシュ図と境界条件

表1 材料定数および初期値

	粘土層	砂層
<弾塑性パラメータ>		
圧縮指数 $\tilde{\lambda}$	0.131	0.042
膨潤指数 $\tilde{\kappa}$	0.02	0.012
限界状態定数 M	1.4	1.08
N.C.L.の切片 N	1.96	1.98
$(p' = 98\text{kPa}$ における比体積)		
ポアソン比 ν	0.333	0.3
<発展則パラメータ>		
構造劣化指数 a	0.29	1.39
構造劣化指数 b	1.0	1.0
構造劣化指数 c	1.0	1.0
正規圧密土化指数 m	0.71	0.04
回転硬化指数 b_r	7.1×10^{-5}	27.8
回転硬化限界定数 m_b	1.0	0.5
<初期値>		
初期構造 $1/R_0^*$	5.0	5.0
初期過圧密比 $1/R_0$	1.0	7.5
初期側圧係数 K_0	0.7	0.7
初期異方性 ζ_0	0.375	0.375
$(= \sqrt{3/2} \ \beta_0\)$		
透水係数 $k(\text{cm/sec})$	3.7×10^{-8}	4.09×10^{-2}
土粒子の密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	2.6	2.65

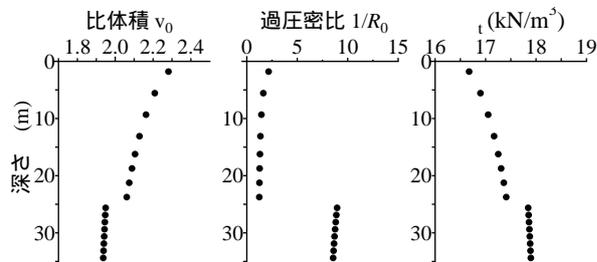


図2 地盤の初期状態

キーワード 盤膨れ、水中掘削、水～土連成、有限要素法

〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学工学研究科地圏環境工学専攻 TEL 052-789-3834

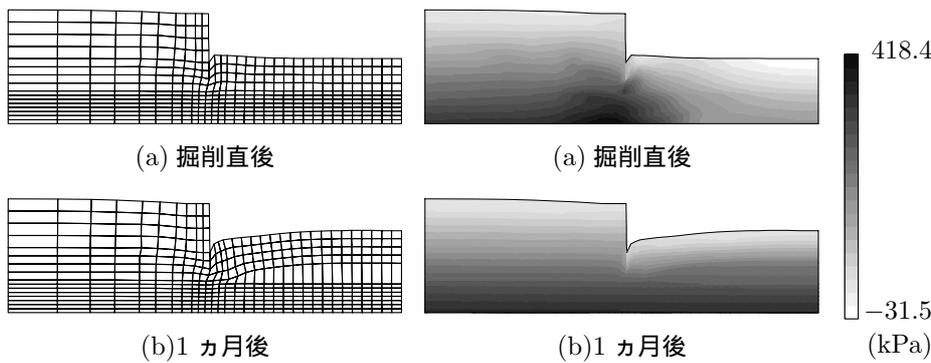


図3 掘削後の地盤の変形

図4 間隙水圧分布

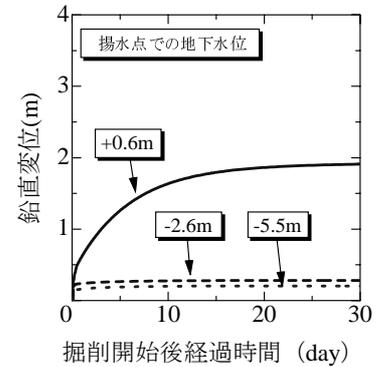


図5 地下水位低下の効果

(1) 井戸揚水による地下水位低下工法

掘削前の初期地盤で、図1中の辺ghにおいて揚水した後に掘削した時の図1点dでの鉛直変位～時間関係を図5に示す。静水圧から-2.6m以下まで水位を低下させると盤膨れは抑制できる。

(2) 矢板による遮水工法

図6に矢板の根入れ長を変化させた時の図1中の点dでの鉛直変位～時間関係を示す。矢板の根入れ長を不透水層まで延伸(20m)すれば、掘削側に供給される水が遮断され盤膨れは抑制できた。しかし、遮水が不完全だった場合(18.75m)は、矢板をほとんど入れない場合(2.5m)とほぼ同じように盤膨れが生じる。

(3) 水中掘削工法

掘削時の水位は地表面に一致させたまま土粒子分のみを掘削する水中掘削工法による盤膨れ抑制の効果を調べた。図1点dでの鉛直変位は結果は図7に示すように、ほぼ数cmのオーダーで、他の工法に比べ盤膨れ抑制の効果が大きいことが分かる。水中掘削掘削後1年経過した時の地盤の変形を見ると(図8)図3との比較からこの境界条件において水中掘削工法が掘削底部のみならず、壁面にも安定効果を発揮していることが分かる。図9にはそれぞれ(a)開削工法と(b)水中掘削工法での矢板に作用する曲げモーメント分布を示す。最大曲げモーメントは、開削工法では約2MN・m/mに対し、水中掘削工法では掘削完了と同時にモーメントの増加は止まり半分以下に抑えることができる。

5 おわりに

掘削時において、荷重の除去によって生じる非掘削部と掘削部との水頭差からくる浸透力が、粘土地盤の不透水性ゆえに揚圧力となって掘削部の粘土層に上向きに作用し、粘土層が盤膨れする様子を水～土連成計算によって示した。次に、各種の盤膨れ抑制工法の効果を比較した結果、水中掘削工法が井戸揚水による地下水位低下工法や矢板による遮水工法よりも盤膨れ対策として有効であることが分かった。

参考文献

1) Asaoka et al.(1994): Soil-water coupled behaviour of saturated ..., S & F, Vol.34, No.1, pp.91-106. 2) Asaoka et al.(2002): An elasto-plastic description ... S & F (投稿中). 3) 野田ら(1999): 水～土連成計算による ..., 土木学会論文集 No.617/Ⅲ-46, pp.125-138. 4) Asaoka et al.(1998): Displacement/traction boundary conditions ..., S & F, Vol.38, No.4, pp.173-181.

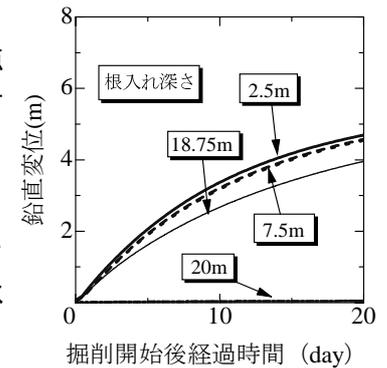


図6 根入れ深さの効果

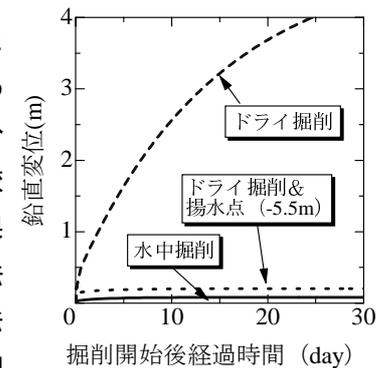


図7 諸条件下での比較

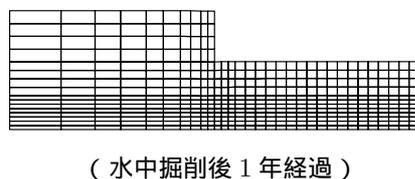


図8 水中掘削後の地盤の変形

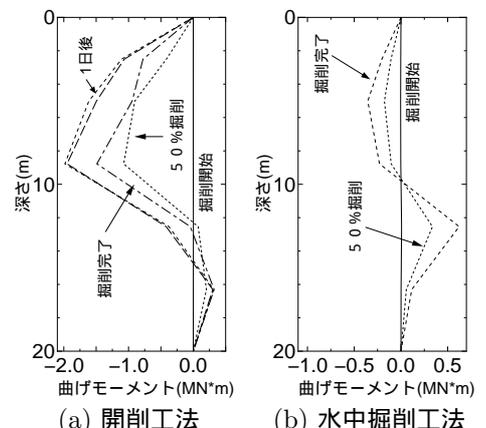


図9 矢板に作用する曲げモーメント