盤ぶくれ遠心模型実験のシミュレーション解析と設計法の提案

1. はじめに

掘削時の盤ぶくれの照査方法には、揚圧力に対する抵抗要素として掘 削底面地盤の自重に加え底面地盤と土留め壁の摩擦抵抗と底面地盤のせ ん断抵抗を見込む方法がいくつかの機関で提案されている (図-1)。 筆者 らはこの方法の妥当性を検証すること、またこれら抵抗の B/H (掘削幅 と底面地盤厚の比)依存性について明らかにするため、遠心模型実験を 行った¹⁾。本報ではこの実験のシミュレーション解析について示すとと もに、提案する盤ぶくれの設計法について報告する。

2. 実験概要

実験は、図・2に示す土槽を用い 70gの遠心加速度で行った。こ の実験では、盤ぶくれを生じさせることが主目的であり、不透水 層下面の全応力を低下させればよいことから、掘削面内に満たし た水を排出させることにより掘削に伴う応力の解放を模擬した。 実験のパラメータは掘削幅 B とし、B=∞(土留め壁な し),42m,25m,14m の4ケース行った(数値は実物大換算)。底 面地盤厚Hは各ケースとも14mである。土槽と地盤の間にはテフ ロンシートおよびグリスで摩擦を低減させ、土留め壁の掘削面側 には実験砂と同じものを塗布し摩擦が発揮できるようにしている。

図-3に掘削面内水位と粘土層変位(掘削面中央位置)の関係を 示す。図および数値は実物大換算の値で示す。この実験では掘削 面内水位を下げることによって掘削を模擬しているので、水位を 下げることは深く掘削していくことを示している。どのケースも 掘削深度がある深度に達すると、粘土層の上方への変位量が急激 に増えはじめ、その粘土地盤が急激に上昇する深度は、掘削幅が 狭くなるほど土留め壁のないケース(B=∞)に比べ深くなってい る。また B=∞のケースの盤ぶくれ深度は、揚圧力と水荷重も含 む底面地盤の自重がバランスする深度にほぼ等しかった。これに より掘削幅が狭くなると、盤ぶくれ抵抗が増加していることがわ かり、それは底面地盤の壁面摩擦抵抗およびせん断抵抗が盤ぶく れ抵抗に寄与しているためと考えられる。

3. FEMシミュレーション解析

盤ぶくれ破壊メカニズムを検証するため実験結果のシミュレー ション解析を行った。用いた解析手法は土/水連成FEM弾塑性 解析(解析コード:DACSAR)である。図-4に解析メッシュを示 す。解析範囲は実験土槽(実物大換算)とし、掘削解放応力は実 験と同様掘削面内の水圧を低下させて模擬した。各地盤モデルの 入力定数は実験後のサンプリング試料の室内試験結果から定めた。

図・3には掘削面内水位-粘土層変位の解析値も示してある。各 ケースとも実験結果との対応がよく、掘削巾が狭くなるほど粘土

キーワード:掘削、盤ぶくれ、遠心模型実験、FEM、安全率 〒541-0056 大阪市中央区久太郎町 4-1-3(大阪センタービル内) TEL 06-6252-8121 FAX 06-6252-4583



粘土層

図-5 変形図

層が膨れ上がる深度が深くなっている。図・5 に B=25m の最終ステップにおける 変形図を示す。掘削面内では粘土層直下の被圧層の要素が大きく膨れており、そ れにより粘土層が持上がって壁際の粘土層に大きなせん断変形が生じているのが わかる。図・6 に同ケースの要素の破壊域進行状況を示す。joint 要素の降伏、粘 土層直下の被圧層要素の引張破壊、粘土層のせん断破壊の順で破壊域が進行して いる。粘土層直下の引張破壊はこの要素の有効応力が負となって引張限界を超え たためであり、底面地盤の自重が揚圧力よりも小さくなって粘土層と砂層の間に 剥離が生じたことを表している。この剥離が生じた後、壁際の粘土地盤がせん断 破壊することで、底面地盤は最終的な盤ぶくれ破壊に至っており、盤ぶくれに対 する抵抗として土留め壁と地盤の摩擦および粘土地盤のせん断抵抗が寄与してい ることが解析結果からも明らかになった。

<u>4. 安全率の設定と設計法の提案</u>

2

実験および解析結果をもとに盤ぶくれの 照査式を以下のように提案する。

$$\frac{W}{F_{s1}} + \frac{2f_1H_1}{F_{s2}} + \frac{2f_2H_2}{F_{s3}} \ge U$$
(1)
こに、W:奥行き当りの土の重量、B:
掘削幅、H₁:土留め壁の根入れ
長、H₂:土留め壁先端から不透
水層下面までの厚さ、f₁:H₁間
の摩擦抵抗、f₂:H₂間の粘土層
のせん断抵抗、U:奥行き当りの

揚圧力、Fs₁, Fs₂, Fs₃:安全率 (Fs₁=1.1, Fs₂=Fs₃=3.0)



式(1)は、左辺第1項は底面地盤の重量、第2項は底面地盤の壁面摩擦抵抗、 第3項は不透水層(粘土層)のせん断抵抗であり、それぞれを安全率で除した 合計が揚圧力以上になることを規定している。壁面摩擦抵抗の値f1は大阪神戸 平野地域のうち湾岸地域の場所打ち杭の載荷試験結果²⁾から定め、せん断抵抗 の値f2は土木学会の基準³⁾に準ずることとした(表-1)。

各項の安全率は、基本的に鉄道構造物あるいは建築学会などの既往基準が採 用している部分安全係数を参考に定めた。定めた安全率を用いて、各項の諸量 のばらつきを正規分布と仮定しその変動係数から安全性指標βを算出すると表 -2のようになる。各項毎の安全性指標は2程度であり、超過確率は1.2~2.9% 程度となる。

粘土層のせん断抵抗に関わる第3項の安全率 Fs₃は、土留め壁の施工による 乱れの影響を受けないため Fs₂よりも小さくすることも考えられたが、現在の ところ現位置における強度試験のデータがないこと、掘削による応力解放の影 響が未解明であることなどから Fs₂と同じ安全率を採用することとした。

B Final H1 W H2 Final H2 Final U U W U W U W U W U W U

<u>表−1 f₁および f₂</u>				
£1	砂	0.3N (≦15)		
	粘土	C or N (≦15)		
f2	砂·粘土	Ko σ'_v ·tan ϕ +c'		
	表-2	β 算出結果		

	物性値	変動係数	安全性指標β
第1項	単位体積重量	0.04 ⁴⁾	2.27
第2項	周面摩擦力度	0.35 ²⁾	1.90

<u>5. おわりに</u>

盤ぶくれの遠心模型実験およびそのシミュレーション解析を行い、底面地盤と土留め壁の摩擦抵抗と底面地盤 のせん断抵抗を盤ぶくれ抵抗として考慮する設計法を提案した。本設計法により土留め壁の根入れ長の削減が可 能となり、開削工事のコストダウンに寄与すると考えている。しかしながら揚圧力の設定には、地下水位の季節 変動や潮汐変動、周辺での揚水などに十分配慮した設定が、これまでにも増して必要であると考えている。

-283-

【参考文献】¹⁾足立ら:掘削時の盤ぶくれ挙動に関する遠心模型実験、第36回地盤工学研究発表会²⁾阪神高速道路公団:場 所打ち杭の支持力設計要領、平成2年6月³⁾土木学会:トンネル標準示方書開削工法編・同解説⁴⁾地盤工学ー 信頼性設計の理念と実際-:松尾稔、技報堂、1984