

III-21 強度増加を考慮した円弧すべり計算について

佐賀大学正員 ○古賀 勝喜
正員 荒牧 軍治

1. まえがき

軟弱粘土地盤上に盛土を構築する場合、施工中におけるすべり破壊に対する安定性を検討しておくことが必要な事は周知の事実である。通常のすべり破壊に対する安全率の計算法として、簡便な円弧すべり計算法を用いているが、盛土により発生する間隙水圧の影響や、圧密による強度増加を考慮していない。その理由としては圧密期間中の間隙水圧の消散過程や応力増加過程を2次元的として合理的に計算する手法が確立されていなかったためと考えられる。安全率の計算が急速載荷による盛土完工時のみを対象とする限り、その計算法は合理的であるといえる。しかし盛土速度を管理し、粘土地盤の強度増加をはかりつつ、より合理的で安全な施工を目指すには、盛土による粘土の圧密過程を考慮に入れた計算法の確立が急がれる。

著者等は、2次元圧密有限要素法解析により得られる間隙水圧を円弧すべり計算法に導入する手法を発表したが、有明粘土を対象とした解析においては、間隙水圧の消散による安全率の上昇はほとんどみられなかった。

そこで、今回はSkemptonが提案した強度増加率という考え方をを用い、圧密による間隙比の減少が粘着力Cの増加に与える影響を考慮した円弧すべり計算法を提案し、圧密期間中の安全率の変化、載荷速度の安全率に与える影響を検討したのでここに報告する。

2. 強度増加率

藤川・高山は有明粘土の自然圧密による強度増加率を求めている。それによると非排水状態では C_u と圧密圧力 p との間には次の関係があるとしている。

$$\frac{C_u}{p} = 0.17 + 0.0043 \cdot I_p \quad (1)$$

ここで、 I_p は塑性指数で有明粘土の I_p は $30 < I_p < 90$ とされている。著者等は圧密圧力 p を地盤内に発生した応力と等価であると見做し、荷重増加および間隙水圧の消散にともなう応力の増加による粘着力の増分を次式のように仮定した。

$$\Delta C_u = (0.17 + 0.0043 \cdot I_p) \Delta p \quad (2)$$

ただし、 $\Delta p = (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) / 3$ である。

3. 安定計算

安定計算に用いる粘着力 C_t を次式のようにおく。

$$C_t = C_0 + \Delta C_u \quad (3)$$

C_0 は荷重がないときの粘着力とする。また、塑性指数 I_p は55で計算を行なっている。

盛土載荷時及び圧密時における応力の計算には、Biot型圧密有限要素法プログラムを用いる。計算プログラムは漸増荷重を取り扱うことができるので、盛土載荷時の間隙水圧及び有効応力の変動を計算することができる。

安定計算の手順は、

- 1) F. E. M. により各荷重段階における地盤内に発生する応力 σ_{xi} 、 σ_{yi} 、 σ_{zi} ($i = 1 \sim N$: N は有限要素数)を求めておく。

2) 前述の考え方に従って、円弧すべり計算を行なう。すべりの計算には分割法を用い、次式により安全率 F_s を求める。

$$F_s = \frac{1}{\sum W_i \sin \alpha_i} \sum (c_t l_i + \tan \phi W_i \cos \alpha_i) \quad (4)$$

F_s : すべりに対する安全率 C_t : 土の粘着力 ϕ : 土の内部摩擦角
 W_i : 細片の重量 α_i : 水平に対するすべり面の傾き l_i : 細片のすべり弧長

本プログラムはBiot型圧密解析より地盤内の応力を求め、それに伴う粘着力の変化を評価しようとするものである。分割された細片がどのような応力状態にあるかを知るため、次のような操作を行なっている。

- (1) 円弧すべりの計算を行ない、分割した細片のすべり面における座標値を求める。
- (2) 求めた座標値から対応する要素の応力状態を知り、求めた値を式(2)に代入して細片のすべり抵抗を $C_t l_i$ とし、安定計算を行なう。

4. 計算例

図-1に解析に用いた2次元モデルを示す。モデルは節点数97、要素数159のメッシュを有し、高さ4m、天端幅6mの盛土がなされている。円弧すべり計算に用いた粘着力を除いた諸定数は表-1に示す。地盤は有明粘土を想定している。

応力解析は、盛土完成までの载荷速度を3つのタイプに分けて計算し、時間については1000日までの19ステップで計算している。すべり計算にはその内の6ステップを選んだ。図-2に、载荷速度の違いによる安全率の変化を示す。タイプ-1は盛土完成が20日、タイプ-2は160日、タイプ-3は550日となっている。横軸の日数は模式的に示す。図から見るように载荷速度がゆっくり行なわれると最小安全率（いずれも盛土完成時となっている。）は上昇している。このことは、盛土により地盤の圧密が促進され、地盤の強度が増加してすべりに対する抵抗が増加したためと考えられる。

5. 結語

すべり計算に圧密過程中的地盤の応力の評価を考慮するという考え方で計算を行なったが、結果はほぼ予想していたとおりとなった。軟弱地盤上に盛土構造物を構築する場合、一般には急速盛土施工は行なわれなくて、施工速度を管理しながら行なわれる。従って、従来までの急速载荷を想定した安全率の求め方より経済的かつ合理的に施工できるように方向づけを行ない得たものと考えられる。

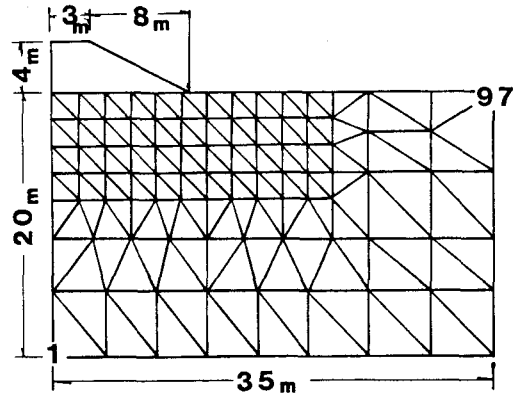


図-1 解析地盤有限要素モデル

表-1 すべり計算に用いた諸定数

斜面の水平長さ	8 (m)
上層地盤の天端長さ	3 (m)
上層地盤の厚さ	4 (m)
すべり面中心のX方向の分割数	8
すべり面中心のY方向の分割数	8
円弧すべり面の分割数	10
下層地盤の厚さ	20 (m)
下層地盤の分割長さ	1 (m)
下層地盤の分割長さの繰り返し回数	2
上層の土の単位体積重量	1.8 (t/m ³)
上層の土の粘着力	2 (t/m ²)
上層の土の内部摩擦角(度)	30
下層の土の単位体積重量	1.4 (t/m ³)
下層の土の内部摩擦角(度)	0 (t/m ²)

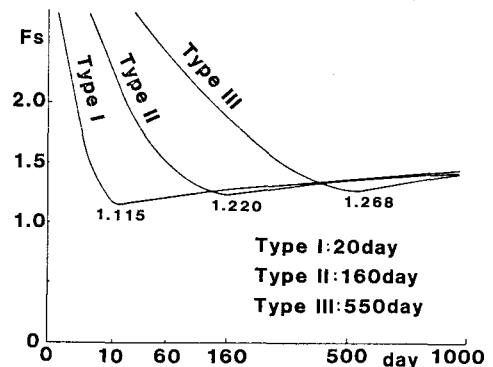


図-2 安全率の時間変化