

III-110 円柱状の粘性土塊の非排水安定問題

宇都宮大学工学部 ○日下部 治
宇都宮大学工学部 萩原 敏行
東京都庁 菊原 信隆

1. はじめに

筆者の一人は、先に軸対称掘削の安定問題を解析した¹⁾が、形状としてはその逆の安定問題である円柱状の土塊の安定問題があまり研究されていないことに気付き、今回その塑性解析を行ってみた。三次元の鉛直土塊の安定例としては地中壁を用いた箱型の杭基礎の施工時などに現われるし、一軸圧縮試験もその例である。解析結果の検証として、遠心装置による破壊実験も行なった。

2. 塑性計算

均質な非排水強度 c_u を有する半径 r_0 、高さ D なる円柱状の土塊を考えて、図-1(a)~(c)に示す3種類の破壊メカニズムを設定した。破壊メカニズムI(図-1(a))は、領域Iの土塊が鉛直下方に動き、領域IIは塑性変形を生じながら外側へ動き、領域IIIは静止剛体とした。破壊メカニズムIIは、破壊メカニズムIにおいて、 $\alpha=1$ 、 $H=D$ とした場合である。また破壊メカニズムIIIは、破壊メカニズムIIが上下対称にあるとしたものである。破壊メカニズムIは、上下境界面が粗な場合、破壊メカニズムIIIは滑な場合に相当する。

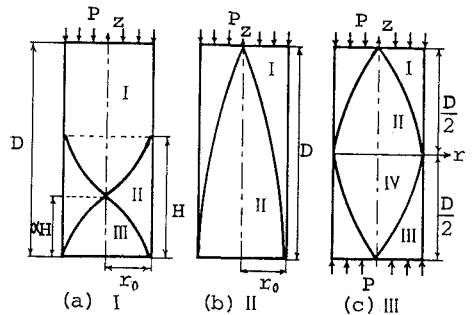


図-1 破壊メカニズム

上界定理により内部消散と外力仕事を等値すれば、それぞれの破壊メカニズムについて上界値として以下の関係式が得られる。

$$c_u \{ 1 + 2 r_0 / H + 4 H (1 - 2\alpha + 2\alpha^2) / (3 r_0) \} = P + (D - H) \gamma + H \gamma / 2 \quad (\text{破壊メカニズム I})$$

$$c_u \{ 1 + r_0 / D + 4 D / (3 r_0) \} = P + \gamma D / 2 \quad (\text{破壊メカニズム II})$$

$$c_u \{ 2 + 4 (r_0 / D) + 4 D / (3 r_0) \} = 2 P + \gamma D / 2 \quad (\text{破壊メカニズム III})$$

また、下界応力の一つは容易に $P + \gamma D = 2 c_u$ である。ここで γ は、土の単位体積重量である。

これらの式において $P=0$ とすれば安定数 $N (= \gamma D / c_u)$ を与える式となり、 $\gamma=0$ とすれば支持圧 P / c_u を与える式となる。上式において、パラメーター α 、 H/D について最小化の計算を行なえば最小の上界値が得られる。また、円柱土塊が泥水内にある場合の安定数も上式の外力仕事の項に泥水圧に対する仕事を加えることにより容易に求めることができる。

3. 遠心模型実験

塑性計算の解析精度を遠心模型実験により検討した。遠心模型実験装置（有効半径1.18m、最大加速度100g）は、昭和62年度中央大学より移設したものである。用いた試料は、宇都宮市内より採取した関東ローム²⁾で、含水比を110%に調整して締固め円柱供試体を作成した。供試体を試料容器内に自立させて、自重により破壊するまで遠心力加速度を徐々に上げた。実験中は一定間隔で写真撮影を行ない、実験後供試体の観察を行なった。

4. 計算結果と実験値との比較

図-2は、安定数 N と D/r_o の関係について上・下界値と実験値を比較したものである。クリティカルな破壊モードは、 $D/r_o=1$ 前後を境に破壊メカニズムIIから破壊メカニズムIへと移行している。

実験値は、ほぼ上界値と下界値の間に存在している。図-3は、実験後に観察した供試体の破壊形状のスケッチを示したものである。全体の破壊形状は、図-1の破壊メカニズムIとよく対応している。

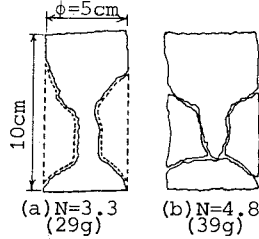


図-3 最終破壊形状

5. 一軸圧縮強度への応用

図-4は、支持圧 P/c_u について上・下界値の結果をまとめたものである。支持圧は D/r_o が1を超えるとほぼ一定値に落ち着き境界面の粗い破壊メカニズムIがクリティカルな破壊モードとなり、境界面の粗滑の影響がなくなる。このことは、二次元の帯基礎において根入れ深さを大きくしていくと境界面の粗滑に関係なくブラントル型の破壊モードとなる結果⁹⁾とよく対応している。

今回の計算からは、軸対称変形をする場合の支持圧の正解値の範囲は、

$$2.0 \leq P/c_u \leq 3.3$$

となる。また計算結果は、図-5に示す三笠による一軸圧縮強さと供試体の高さ直径比についての過去の研究結果⁴⁾とも、定性的な一致を示すものである。

6. おわりに

今回設定した破壊メカニズムにより、軸対称変形をする円柱状土塊の安定をある程度説明できるようである。一軸圧縮強度への適用については、今後さらに慎重に解の精度を検討していく予定でいる。

<参考文献>

- Britto A. M. & Kusakabe O.: Stability of unsupported axisymmetric excavations in soft clay, *Geotechnique*, Vol.32, No.3, 1982.
- 柳岡、日下部、横山: 不撓乱状態における北関東ローム（宝木ローム）の圧密、せん断特性、第23回土工学研究会発表会、1988.
- Chen, W.F.: *Limit Analysis and Soil Plasticity*, Elsevier, pp. 222-244, 1975.
- 土質工学会編: 土質試験法（第1回改訂版）より引用、pp. 336-360, 1969.

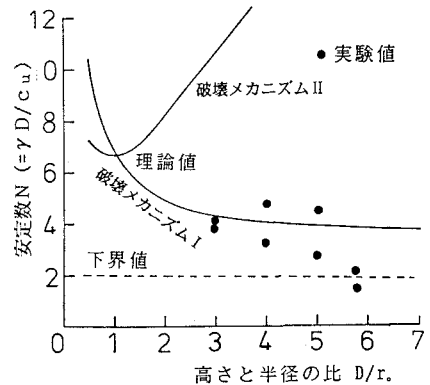


図-2 安定数 N と D/r_o の関係

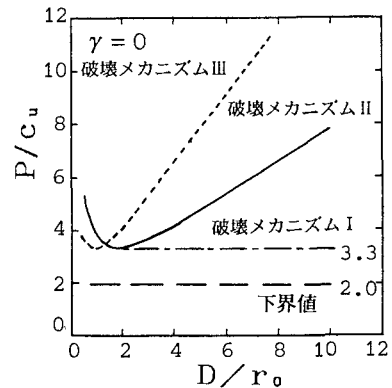


図-4 支持圧 P/c_u と D/r_o の関係

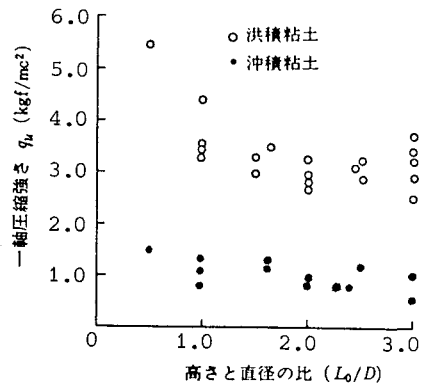


図-5 L_o/D と q_u との関係（三笠、1969）