

Ⅲ-13 締固め土のせん断強度異方性に関する実験的研究（第三報）

徳島大学大学院 学 生 員○内田道雄

徳島大学工学部 フェロー 山上拓男

徳島大学工学部 正 会 員 蔣 景彩

1. はじめに

盛土地盤を対象とした斜面の安定解析を行う場合、等方性の概念に基づくのが一般的であるが、実際には地盤内部に透水性及び強度特性の異方性が出現しており、後者の強度異方性を考慮すれば、より経済的な設計を行うことが可能になると考えられる。そこで、当研究室では盛土地盤を対象とした斜面の安定解析に強度異方性の概念を取り入れることを最終的な目的とし、これまで静的締固め地盤における強度異方性を明らかにしてきた¹⁾。本報では、地盤をより現場の状態に近づけるため、ローラーによる動的締固め地盤を作成し、一面CD強度による強度異方性を検討すると共に、得られた実験値から異方性を考慮した強度式の誘導を試みるものである。

2. 実験概要

重さ 44kg のローラーにより、動的締固め地盤（縦 720mm 横 190mm 高さ 100mm）を作成し、供試体の乱れを防ぐため -45° で凍結させた後、締固め地盤を（縦 75mm 横 190mm 高さ 100mm）の 7 ブロックに切り分け、コアドリルを用いて凍結サンプリングを行った。この時、鉛直軸とサンプリング軸（一面せん断試験の垂直応力作用方向）とのなす角を θ ($0^{\circ} \leq \theta \leq 90^{\circ}$ 図-1 参照) と定義し、鉛直から水平まで 30° 間隔で 4 方向からサンプリングを行った。この時、 $\theta = 30^{\circ}$ と $\theta = 60^{\circ}$ の供試体はそれぞれ、せん断時に図-2 のように供試体の向きを変えることによって主動せん断と受働せん断の 2 通りの状態が考えられる。ここで、両者を区別するために層とせん断面のなす角を α とし、(図-2 a)の主動状態の α にプラス、(図-2 b)の受働状態の α にマイナスの符号を付けて表すことにした。なお、 $\alpha = 0^{\circ}$ と $\alpha = 90^{\circ}$ の場合は、主動せん断・受働せん断の区別はない。したがって本研究は、 $\alpha = 0^{\circ}$ 、 $\alpha = \pm 30^{\circ}$ 、 $\alpha = \pm 60^{\circ}$ 、 $\alpha = 90^{\circ}$ の計 6 種類の供試体に対して一面CD試験を行った。紙面制約のため具体的な実験手順等については省略するが、詳しくは参考文献 1) を参照されたい。

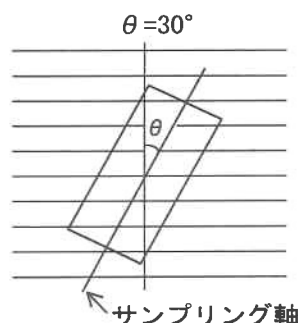


図-1 (サンプリング角度)

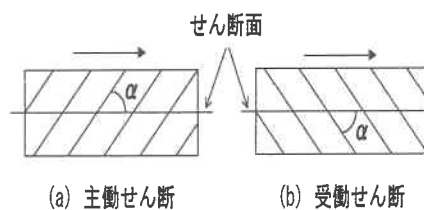


図-2 (α の定義)

3. 試験結果

図-3 は、サンプリング角度の異なる各供試体に対するピーク強度 τ_f をそれぞれの拘束圧 σ で割り、正規化した一面CD強度と角度 α の関係を示している。拘束圧が比較的小さい場合、サンプリング角度の違いによりピーク強度に大きな違いが現れることから強度異方性の存在を顕著に把握する事ができる。強度異方性の特徴として、 $\alpha = +60^{\circ}$ の時最大のピーク強度を示し、水平方向にせん断される $\alpha = 0^{\circ}$ において最小のピーク強度を示す事、また主動せん断は受働せん断より常に大きい強度を示している事などが挙げられる。また、拘束圧の増加に伴い、強度異方性の存在が減少する傾向がみられた。

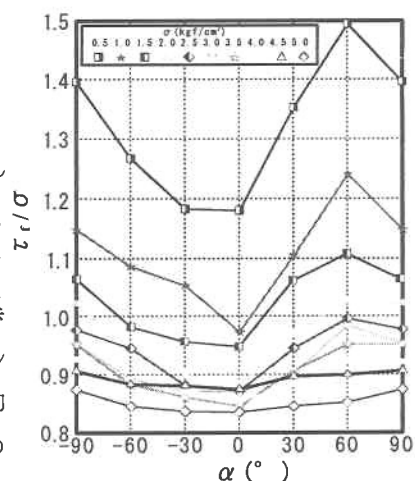


図-3 (正規化された一面CD強度と角度 α の関係)

4. 異方性を考慮した強度式の誘導

盛土地盤の安定解析にせん断強度異方性の概念を取り入れるためには異方性が表現できる強度式の定式化を行う必要がある。そこで本研究では、サンプリング角度の異なる6種類の供試体に対して得られた実験結果を、半径方向に τ_f を、角度方向に α を取った極座標上にプロットしてみた。すると、同じ拘束圧下で得られた実験値を連ねた線が楕円に近い形になっていることから、楕円の式を用いて異方性を考慮した強度式の誘導を試みる事にした。まず、楕円の式を式(1)に示す。

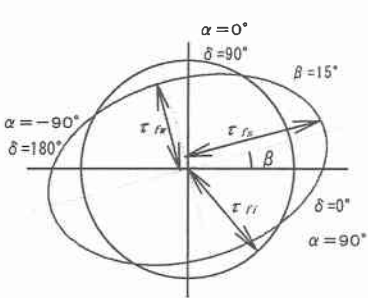


図-4 極座標上の楕円と等価円の関係

$$\tau_f = \sqrt{\tau_{fs}^2 \cos^2(\delta - \beta) + \tau_{fw}^2 \sin^2(\delta - \beta)} \quad \dots (1)$$

式中の τ_{fs} は楕円の長軸半径、 τ_{fw} は楕円の短軸半径、 δ は 90° から α を引いた角度、 β は楕円の傾きである(図-4参照)。式(1)を斜面の安定解析と結びつけるために、 τ_{fs} 、及び τ_{fw} の拘束圧との関係を明らかにする必要がある。そこで、まず各サンプリング角度におけるピーク強度の平均である等方性のピーク強度 τ_{fi} (図-4の等価円の半径)を用いて τ_{fs} と τ_{fw} を以下のように表現した。

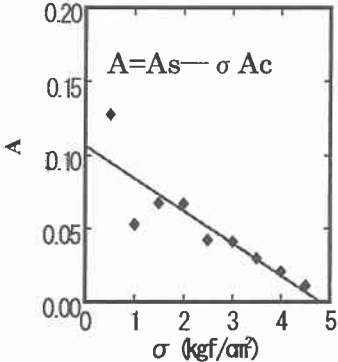


図-5 変数 A と拘束圧 σ の関係

$$\tau_{fs} = \tau_{fi} (1+A) \quad \dots (2) \quad \tau_{fw} = \tau_{fi} (1-A) \quad \dots (3)$$

式(2)、(3)の変数Aは、強度異方性の大きさを表したパラメータである。実験結果から、変数Aの値と拘束圧 σ をA- σ 座標系にプロットすると、図-5のような関係が得られた。この関係を直線で近似すると

$$A = A_s - \sigma A_c \quad \dots (4)$$

となる。なお、等方性強度 τ_{fi} は従来のモール・クーロンの破壊線(図-6参照)により表現できる。

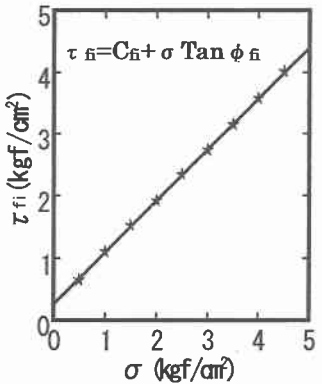


図-6 モール・クーロンの破壊線

$$\tau_{fi} = C_{fi} + \sigma \tan \phi_{fi} \quad \dots (5)$$

式(2)～(5)を式(1)に代入し、整理すると、異方性を考慮した強度式、式(6)、が得られる。

$$\tau_f = (C_{fi} + \sigma \tan \phi_{fi}) \sqrt{\frac{(A_s - \sigma A_c + 1)^2 \cos^2(\delta - \beta) + (1 - A_s + \sigma A_c)^2 \sin^2(\delta - \beta)}{2}} \quad \dots (6)$$

式中の C_{fi} 、 ϕ_{fi} 、 A_s 、 A_c 、 β は、パラメータである。本研究で実施した一面CD強度の実験結果より、 $C_{fi}=0.263$ 、 $\phi_{fi}=0.745$ 、 $A_s=0.106$ 、 $A_c=0.022$ 、 $\beta=15^\circ$ が得られた(図-5、6参照)。式(6)の精度を検証するために、以上のパラメータの値を用いて、各サンプリング角度の τ_f を式(6)により計算した。その結果、計算値は実験値とほぼ一致した。

5. まとめ

動的締固め地盤を対象に強度異方性の振る舞いについて検討を行った結果、顕著な異方性の存在を把握することができた。また、拘束圧の増加に伴い、異方性の影響が減少する傾向が見られた。強度式の誘導については、楕円の式を用いる事により、うまく表現することができた。ただし、強度式には5つのパラメータが存在しているため、今後少ないパラメータで表現できるよう定式化を更に検討する予定である。