

III-102 三軸圧縮、平面ひずみおよび直接せん断試験 における砂の内部摩擦角の関係

日本大学短期大学部

正会員 下 辺 悟

（財）山形県建設技術センター

渡 辺 浩 司

日本大学理工学部

正会員 酒 井 左武郎

1. はじめに

筆者らは、三軸圧縮および平面ひずみ試験における砂の内部摩擦角 ϕ_{TC} 、 ϕ_{PS} について、内外の既往の実験結果に基づき、主に両者の内部摩擦角の相互関係や三軸圧縮時の内部摩擦角 ϕ_{TC} と初期相対密度 Dr との関係を統計的に調べてきた。^{1)・2)} 本研究では、上記の研究成果の再構成やRoweの提案した直接せん断試験と平面ひずみ試験での砂の内部摩擦角 ϕ_{DS} と ϕ_{PS} の関係式³⁾を若干修正することによって、これら3種の室内試験における砂の内部摩擦角の簡易予測式を構築し、実験結果との検証を行った。

2. 三軸圧縮および平面ひずみ試験における砂の内部摩擦角の簡易予測法

砂の $\phi_{PS} \sim \phi_{TC}$ 関係については各種の提案式があるが、下辺(1984)は既に論文等で公表された内外の109組の実験データを統計的に検討した結果、次のような相関性の高い直線回帰式を得た。¹⁾

$$\phi_{PS} = 1.265 \phi_{TC} - 6.705 \quad (\text{deg.}) \quad (r = 0.9372, \text{Se} = 1.5645^\circ) \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 r は相関係数、 Se は標準誤差である。式(1)は各地の砂に対して $\pm 10\%$ の誤差で適用できる。

下辺ら(1986)は三軸圧縮試験での限界状態における摩擦角 $(\phi_{cv})_{TC}$ をパラメータとした $\phi_{TC} \sim Dr$ 関係について、32種類の砂の全データを回帰分析した結果、次のような簡易予測式を提示した。²⁾

$$\phi_{TC} = (\phi_{cv})_{TC} + (0.041 Dr^2 + 6.134 Dr) \times 10^{-2} \quad (\text{deg.}) \quad (r = 0.8792, \text{Se} = 1.407^\circ) \quad \dots \dots (2)$$

なお、 $(\phi_{cv})_{TC}$ は既往の実験データを検討した結果、安息角 β で近似できることから、 $(\phi_{cv})_{TC} \approx \beta$ (実測値)としても良いことがわかった。また式(2)は各地の砂に対して $\pm 2^\circ$ 程度の誤差で適用して良い。

したがって、平面ひずみ試験での $\phi_{PS} \sim Dr$ 関係は式(1)と式(2)を組み合わせれば簡単に得られる。図-1、2は砂の三軸圧縮および平面ひずみ試験における本簡易予測法の実験結果との比較を示したものである。その結果、本簡易予測法は十分に実験結果を説明できる。

3. 直接せん断試験と平面ひずみ試験における砂の内部摩擦角の関係および ϕ_{DS} の簡易予測法

砂の $\phi_{DS} \sim \phi_{PS}$ 関係では、Rowe (1969)³⁾、落合(1975)⁴⁾、諸戸(1986)⁵⁾の理論的研究があげられる。ここでは、上記の3提案式を解釈・評価し、実験結果によって比較検討した結果、簡単に比較的適用性の高いRoweの関係式を次式のように若干修正して採用することにした。

$$\tan \phi_{DS} = \tan \phi_{PS} \cdot \cos (\phi_{cv})_{PS} \quad \dots \dots \dots (3)$$

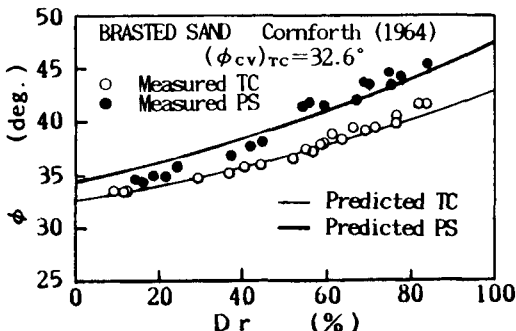


図-1 $\phi \sim Dr$ 関係 (TC、PS)

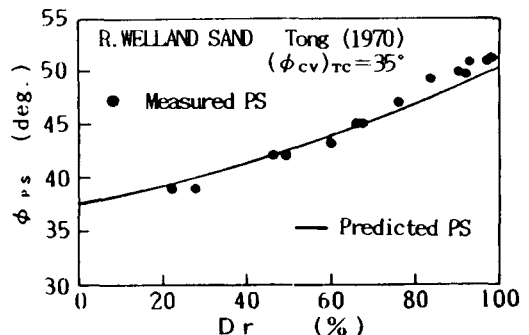


図-2 $\phi_{PS} \sim Dr$ 関係

ここで、 $\phi_{DS} = \arctan(\tau/\sigma_N)_t$ 、 $(\tau/\sigma_N)_t$ ：直接せん断試験における破壊時の水平面上のせん断・垂直応力比、 $(\phi_{cv})_{PS}$ ：平面ひずみ試験における限界状態での摩擦角。なお、式(3)の $(\phi_{cv})_{PS}$ については、従来実用的には $(\phi_{cv})_{TC} \equiv (\phi_{cv})_{PS} = \phi_{cv}$ としていたが、厳密には三軸圧縮条件下でのHorne(1969)による $(\phi_{cv})_{TC} \sim \phi_{\mu}$ (粒子間摩擦角)関係⁶⁾、平面ひずみ条件下でのProcter(1974)による $(\phi_{cv})_{PS} \sim \phi_{\mu}$ 関係⁷⁾および既往の実験データを比較検討した結果、 ϕ_{cv} は砂の基礎的なパラメータではなく、変形のメカニズムの相違に依存するため、 $(\phi_{cv})_{TC} \neq (\phi_{cv})_{PS}$ であると考えられることによる。

したがって、通常の $(\phi_{cv})_{TC}$ の範囲での $(\phi_{cv})_{PS}$ を精度良く評価するために、式(1)を用いて次式のよう書き変えた。

$$(\phi_{cv})_{PS} = 1.265(\phi_{cv})_{TC} - 6.705 \quad (\text{deg.}) \quad \cdots (4)$$

砂の $\phi_{DS} \sim Dr$ 関係は式(1)、(2)～(4)を組み合わせることにより得られる。図-3に三軸圧縮、平面ひずみおよび直接せん断試験における砂の内部摩擦角と初期相対密度との関係を知るために、 $(\phi_{cv})_{TC} = \beta = 28^\circ, 32^\circ, 36^\circ$ についての各マスターカーブを示した。また、図-4は本簡易予測式の適用例を示したものである。その結果、同じ砂で同一相対密度の場合 $\phi_{PS} > \phi_{TC} > \phi_{DS}$ の値を示し、実験データとも比較的一致していることがわかった。ただし、 $\phi_{PS, TC} = \arcsin[(\sigma_1 - \sigma_3)/(\sigma_1 + \sigma_3)]_t$ で求めており、 ϕ_{DS} の算出法と異なることに注意する必要がある。

4. おわりに

三軸圧縮、平面ひずみおよび直接せん断試験における砂の内部摩擦角と初期相対密度との関係を、既往の室内試験結果の解釈・評価により統計的に構築した。これにより、上記3種類の室内試験法による $\phi \sim Dr$ 関係は、砂の安息角試験により $(\phi_{cv})_{TC} = \beta$ を求めるだけで、せん断試験なしで簡易に予測できる特徴を有している。ただし、本簡易予測法は ϕ の初期推定値を算定するものであり、まだ種々の欠点があることを念頭におかなければならない。

5. 参考文献

- 1) 下辺ら(1985)：第20回土質工学研究発表会講演集，PP.307～310.
- 2) 下辺ら(1986)：第21回土質工学研究発表会講演集，PP.261～264.
- 3) Rowe(1969)：Geotechnique, VOL.19, NO.1, PP.75～86.
- 4) 落合(1975)：土質学会論文報告集，VOL.15, NO.4, PP.113～118.
- 5) 諸戸(1986)：第21回土質工学研究発表会講演集，PP.325～328.
- 6) Horne(1969)：Proc. Roy. Soc., VOL.310, A., PP.21～34.
- 7) Procter(1974)：Geotechnique, VOL.24, NO.3, PP.269～288.

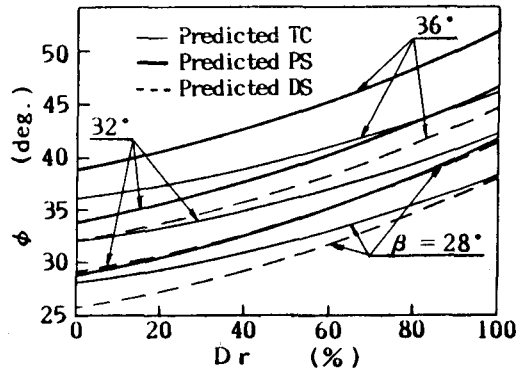


図-3 $\phi \sim Dr$ 関係のマスターカーブ (TC、PS、DS)

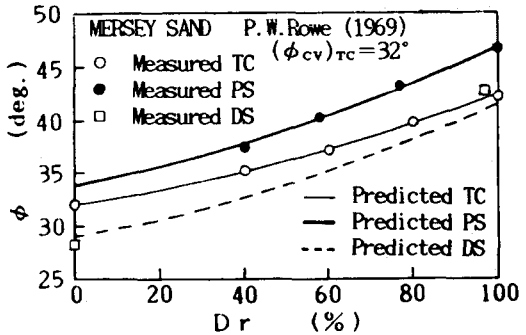


図-4 $\phi \sim Dr$ 関係 (TC、PS、DS)