

## 簡易な安息角試験（排出法）による砂の密度と停止安息角の関係

中央大学 学生会員 ○亀ヶ谷江梨  
中央大学 正会員 西岡英俊 平川大貴

### 1. はじめに

砂質土の内部摩擦角 $\phi$ は三軸試験等の室内土質試験で求めるのが望ましいが、標準貫入試験のN値から推定せざるを得ない場合も多い。N値からの $\phi$ の推定式(以下、推定式と表記)は統計的な検討により得られたものであり、非常に大きなばらつきを有しているため推定精度が低く、安全側に設定されている。そのため、その推定精度を向上できれば工学的に様々な利点が期待できる。本研究は、標準貫入試験と同時に採取される乱した試料に簡易な物理的・力学的試験を行うことで推定式の精度を改善することを最終的な目標としている。追加する試験の候補に安息角試験<sup>1)</sup>がある。本稿では安息角試験(排出法)<sup>2)</sup>に注目し、より簡易な試験方法を提案するとともに、異なる3種類の試料に対して密度を変化させて停止安息角 $\alpha_R$ を測定した結果について報告する。

### 2. 実験概要

本実験で用いた試料は豊浦砂、山砂およびガラスビーズ(球形)で、いずれも土質区分は砂質土である。これらの粒度分布を図-1に示す。

本実験で新たに考案した試験方法は、「砂の最小密度・最大密度試験(JIS A 1224)」と同一の内径60mm、高さ40mm、容積113.1cm<sup>3</sup>のモールドを用い、排出法<sup>2)</sup>の測定原理を用いたものである(図-2)。モールドの上端面は鋭角状とし、その上に高さ40mmのカラーを組み合わせた。モールドとカラー内にJIS A 1224と同様な方法で試料を入れ、まず乾燥密度 $\rho_d$ を計測する。密度条件は、空気乾燥状態でとり得る密度状態の上界および下界となるよう、JIS A 1224と同様の最大および最小間隙比の2つとした。これにより得られた各試料の最小・最大密度を表-1にまとめて示す。 $\rho_d$ 値を測定した後にカラーを鉛直方向に静かに引き上げて斜面を作成し、その斜面角をそれぞれの密度状態における停止安息角 $\alpha_R$ とした。本研究では完全な円錐形状であると仮定し、頂点部の高さから $\alpha_R$ 値を求めた(図-3)。

なお、山砂の密な地盤では円錐状ではなくカラー上面が残った台形状となったため、上面に残った円形状の平面の縦幅・横幅をノギスで計測し、その平均を用いて断面を台形と仮定して斜面角を求めた。これはカラー高さの不足によるものであり、今後器具の改良を予定している。

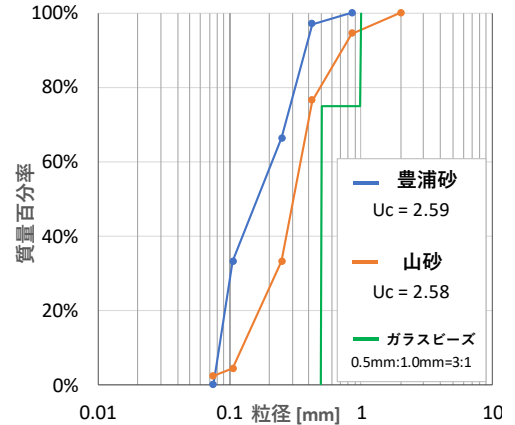


図-1 試験に用いた試料の粒度分布

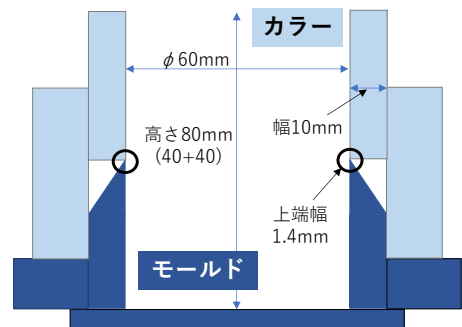


図-2 モールドとカラーの断面図

表-1 試料の最小・最大密度 (g/cm<sup>3</sup>)

	豊浦砂	山砂	ガラスビーズ
最小密度	1.365	1.271	1.493
最大密度	1.641	1.578	1.593

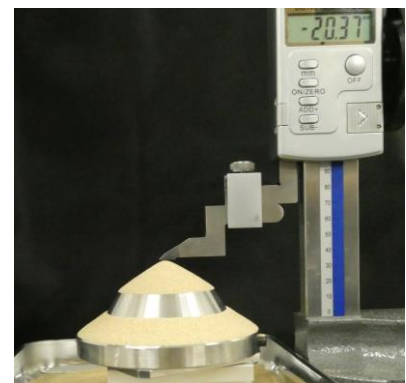


図-3 停止安息角計測状況

キーワード 内部摩擦角, 豊浦砂, ガラスビーズ

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学工学部都市環境学科 基礎・地下構造研究室 TEL: 03-3817-1804

### 3. 試験結果及び考察

乾燥密度 $\rho_d$ から求めた相対密度 $D_r$ と停止安息角 $\alpha_R$ の関係を図-4に示す。密な地盤の山砂は前述した測定法の都合により比較的ばらつきが大きくなったが、それ以外の試料・密度条件では提案手法の測定結果のばらつきは比較的小さく、実用性は十分にあると考えられる。

図-4より、試料ごとの $\alpha_R$ 値は、密度状態によらず、ガラスビーズ、豊浦砂、山砂の順で大きくなることが確認できる。一般に、安息角の値は「土粒子自体の物理特性（粒度、粒径、粒子形状、表面粗度）」に大きく依存することが知られているが、本実験結果は、球形かつ表面粗度の低いガラスビーズの $\alpha_R$ 値が最も小さくなっており、この傾向を反映した結果となっている。

また、図-4では、相対密度に応じた $\alpha_R$ 値の変化量（相対密度 $D_r$ に対する感度）も、同じ順で大きくなることが確認できる。これまで相対密度が安息角の値に及ぼす影響についての体系的な実験結果はほとんど報告されていないが、本実験の結果より安息角は「土の構造特性（間隙比、相対密度）」の影響を受け、その影響の度合い（最大密度時と最小密度時の $\alpha_R$ 値の差）が試料によって異なっていることが確認された。ガラスビーズが $\alpha_R$ 値の差が最も小さくなっていることからすれば、その影響度合いは「土粒子自体の物理特性（粒度、粒径、粒子形状、表面粗度）」の影響も受けることが示唆される。

このほか、既往の安息角に関する研究事例には内部摩擦角 $\phi$ との直接的な関係に着目しているもの（例えば3）もあるが、これらでは上述した密度が安息角に及ぼす影響は十分に考慮されていない。そこで相対密度 $D_r$ と内部摩擦角 $\phi$ との関係が明らかとなっている豊浦砂（図-4中の直線4）を対象に、本実験結果との関係について比較する。本実験の $\alpha_R$ 値と内部摩擦角 $\phi$ は比較的分布範囲は近いものの、定量的には前述の密度に応じた $\alpha_R$ 値の変化量（密度に対する感度）に明らかに違いがあることがわかる。すなわち、安息角のみから内部摩擦角 $\phi$ を直接推定することは困難と考えられる。

### 4. おわりに

本稿では、新たに考案した簡便な安息角試験方法を用いて、異なる3種類の試料について密度を変化させて停止安息角 $\alpha_R$ を測定した結果について報告した。その結果、考案した試験方法は実用性があることが確認できた。また、安息角には、「土粒子自体の物理特性（粒度、粒径、粒子形状、表面粗度）」だけでなく「土の構造特性（間隙比、相対密度）」の影響も受けることが確認された。安息角はその土の力学的特性を表す一つの指標として有用であることから、統計的に内部摩擦角 $\phi$ を推定する指標をN値単独から、考案した試験方法を用いて簡便に求めた停止安息角 $\alpha_R$ を加えた2つの指標とすることで推定精度を大幅に改善できる可能性があると考えられる。ただし、停止安息角 $\alpha_R$ は密度によっても変化することが確認されたことから、統計的な検討を行う際の指標としては密度の条件を明確に規定すること（例えば最小密度相当とすること、あるいは最小密度相当と最大密度相当の両方の指標を用いること）が必要と考えられる。

### 参考文献

- 1) 松倉公憲, 恩田裕一: 安息角一定義と測定法にまつわる諸問題一, 筑波大学水理実験センター報告, pp.27-35, 1989.
- 2) Nakata, Yukio et al.: Experimental data of 3D printed granular material for verification of discrete element modeling simulation, Soils and Foundations, Vol.62, Issue.4, 101178, 2022.
- 3) 郭 程敏, 落合英俊, 安福規之, 大野司郎: 砂質土の安息角とせん断抵抗角について, 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集, III-A24, 1998.
- 4) 地盤工学会: N値と $c \cdot \phi$ の活用法, p.167, 丸善株式会社, 2005.

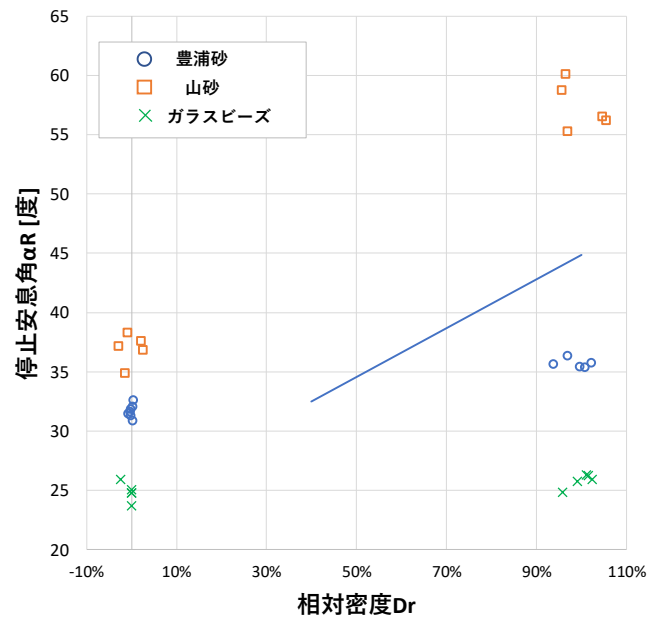


図-4 相対密度 $D_r$ と停止安息角 $\alpha_R$ の関係