

相対密度と安息角の関係に試験方法が及ぼす影響について
—排出法と傾斜法の違い—

中央大学 学生会員○亀ヶ谷 江梨 正会員 西岡 英俊 正会員 平川 大貴

1. はじめに

砂質土の内部摩擦角 ϕ は、実務では標準貫入試験の N 値から推定せざるを得ないことも多く、その推定精度向上が期待されている。著者らは、標準貫入試験と同時に採取される乱した試料に対して簡易な安息角試験を追加実施することで安価に ϕ の推定精度を改善する手法の提案を目指し、実務的な安息角試験方法の確立に取り組んでいる。

安息角の試験方法には排出法および傾斜法など複数の方法があり、試験結果には差異が生じる可能性がある。また安息角は限界安息角 α_C と停止安息角 α_R があり、試験法により計測できる値が異なることが指摘されている¹⁾。ここで排出法は、一旦壁に沿って垂直に堆積させた砂から壁を取り外して砂を排出させた際に形成される斜面の角度を α_R 値とする試験法である。一方、傾斜法は試料を入れた箱を傾けて斜面が崩壊する限界の角度および崩壊後の斜面の角度を計測することで、 α_C 値と α_R 値の両方を評価することができる試験法である。

著者らは安息角試験方法として排出法に着目し α_R 値と同時に相対密度 D_r も簡易に測定可能な器具を考案してその有用性を確認するとともに、砂の種類の違いによって α_R 値が異なるだけでなく D_r に応じた α_R 値の増加傾向（勾配）にも差異が生じ、この D_r - α_R 関係の勾配が ϕ の推定精度向上に有効なパラメータとして活用できる可能性があることを明らかとした²⁾。本稿では、3種類の砂試料を対象に排出法および傾斜法で安息角試験を実施し、 D_r と安息角の関係に試験方法の違いが及ぼす影響について検討した結果を報告する。

2. 実験概要

本実験で用いた乾燥試料は豊浦砂、山砂、川砂で、土質区分はいずれも砂質土である。各試料の拡大写真を図-1、最小・最大密度および平均粒径 D_{50} を表-1に示す。

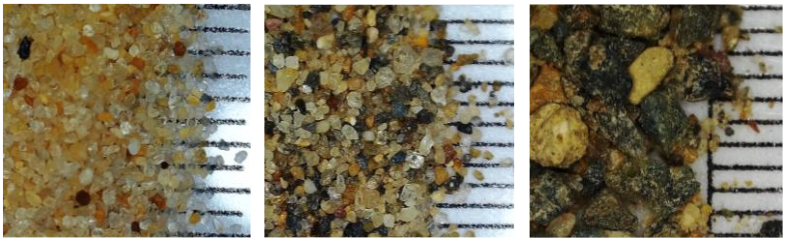


図-1 試料の拡大写真粒子形状

排出法は「砂の最小密度・最大密度試験 (JISA 1224)」に準じてモールドに試料を詰め、モールド側壁を解放することで形成される斜面から α_R 値を求めた。試験器具や方法の詳細は既報²⁾を参照されたい。なお、モールドの打撃回数を変化させることで、 D_r を変化させた。

傾斜法で用いた実験装置を図-2に示す。幅 90 mm、深さ 45 mm、奥行 40 mm、厚さ 5 mm のアクリル製計測箱に、5 層に分けて試料を詰めており、排出法と同様に打撃回数により密度を変化させている。なお、傾斜法は D_{50} の 60~70 倍以上の斜面長が必要であるという知見³⁾があり、この計測箱の幅（斜面長）はそれを満たしている。試料を詰めた後に密度を計測し、計測箱を 1 秒で最大 0.2-0.25 度ずつ傾斜させていく。試料が初めて崩壊した角度を α_C 値、その崩壊した試料が停止した斜面の角度を α_R 値とした。なお、 α_R 値は斜面の上側側壁での流出長さから求めた角度 $\Delta\alpha$ を用いて簡易的に $\alpha_R = \alpha_C - \Delta\alpha$ として求めた。しかし、山砂と川砂で密度が大きい条件で崩壊後の斜面が一樣とならない場合があった。この場合は斜面を一樣と仮定して参考値として α_R 値を算出した。

表-1 試料の諸元

	豊浦砂	山砂	川砂
最小密度(g/cm ³)	1.365	1.271	1.389
最大密度(g/cm ³)	1.637	1.578	1.657
D_{50} (mm)	0.17	0.30	0.61

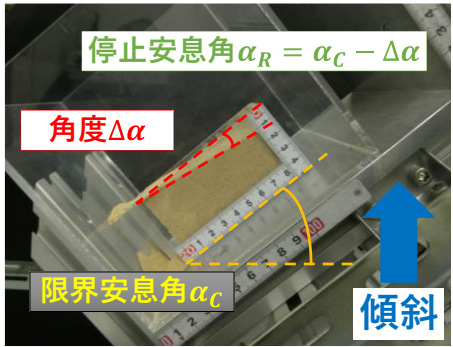


図-2 傾斜法の実験装置

キーワード 安息角、安息角試験、豊浦砂、相対密度
連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部都市環境学科 基礎・地下構造研究室 03-3817-1804

3. 試験結果

図-3 に各試料の D_r と α_c 値および α_R 値の関係を示す．なお，前述した通り斜面が一樣とならなかった結果については参考値として点を塗りつぶして表記している．

まず D_r と α_R 値の関係について確認する．豊浦砂（図-3 a）は両試験法でほぼ一致した．これに対して， D_{50} が大きい山砂（図-3 b）と川砂（図-3 c）は傾斜法の α_R 値は排出法よりもばらつきが大きくなった．

次に，傾斜法での $\Delta\alpha$ 値（ $=\alpha_c$ 値と α_R 値の差）の特徴について確認するため，全 3 試料について D_r と $\Delta\alpha$ 値の関係を図-4 に示す．なお，図-4 では崩壊後の斜面が一樣とならない参考値を除いてプロットしている．図-4 より，いずれの砂試料でも $\Delta\alpha$ 値は 5～8 度程度の範囲でばらついているものの， D_r には依存しない値であることがわかる．

そこで各試料の $\Delta\alpha$ 値の平均値および変動係数を求めた結果を表-2 に示す．豊浦砂と比べて，山砂と川砂の方がばらつきが大きくなり，その変動係数は 40%を超え，砂試料の違いを表す指標としては，精度が不足する結果となった．

4. おわりに

本稿では，異なる 3 種類の試料に対して排出法および傾斜法による安息角試験を行い， D_r と安息角の関係に及ぼす試験方法の影響について報告した．試験法間の α_R 値は豊浦砂ではほぼ一致したが，山砂と川砂では傾斜法のばらつきが大きくなった．傾斜法では粒径と粒子形状の影響によっては斜面の一樣性が確保できなくなるため，簡易な方法での斜面計測方法では十分な精度が確保できなかったと考えられる．なお，傾斜法は排出法に比べて α_c 値と α_R 値の両方を同時に計測できるという利点があるものの，簡易的な傾斜法では両者の差を十分な精度で測定すること自体が困難と考えられる．これらのことから， ϕ の推定精度向上に有効なパラメータを得るための簡易な安息角試験法としては，傾斜法の活用性は低いと考えている．

一方，排出法は砂の種類の違いによって α_R 値が異なるだけでなく D_r に応じた α_R 値の増加傾向（勾配）にも差異が生じており，測定誤差も少ないことが確認できている．このことから， ϕ の推定精度向上に有効なパラメータを得るための簡易な安息角試験法は排出法が最も適していると考えている．今後，他の試料においても同様の検討を実施して，検討を深度化していきたい．

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) 亀ヶ谷江梨，西岡英俊，平川大貴：簡易な安息角試験（排出法）による相対密度と停止安息角の関係，第 58 回地盤工学研究発表会，2023．（投稿中）
3) 松倉公憲，恩田裕一，井石博之：安息角測定における斜面長の影響に関する予察的実験，筑波大学水理センター報告，pp. 37-44，1989．

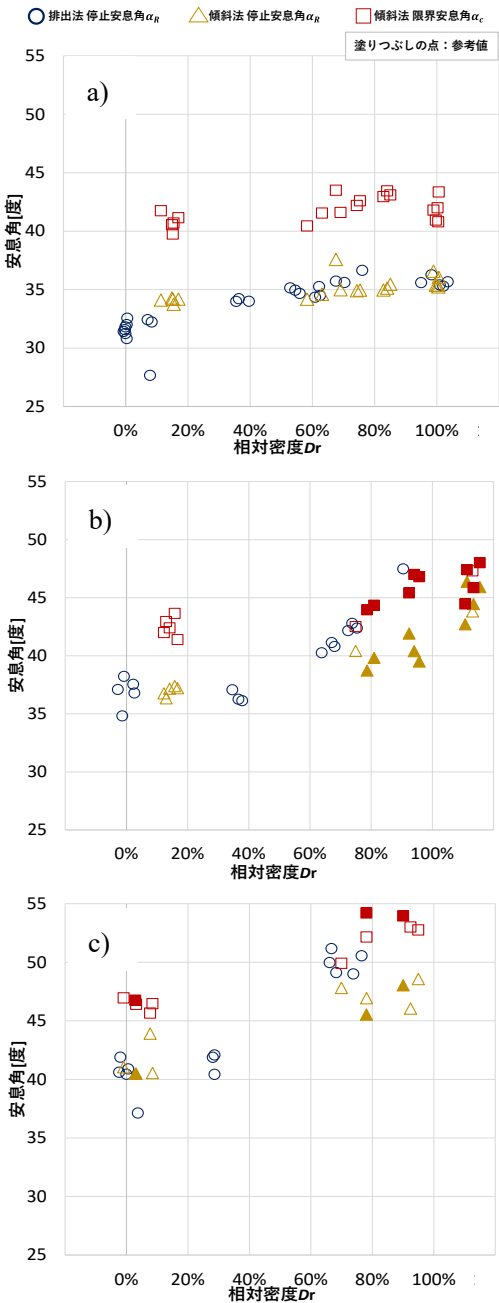


図-3 相対密度 D_r と安息角の関係
(a 豊浦砂 b 山砂 c 川砂)

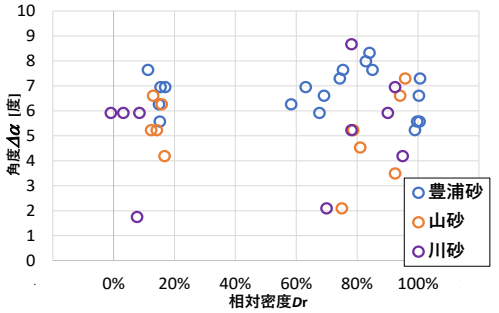


図-4 相対密度 D_r と角度 $\Delta\alpha$ の関係

表-2 角度 $\Delta\alpha$ の平均値と変動係数

	豊浦砂	山砂	川砂
平均値	6.75	4.53	4.74
変動係数	13.4%	40.6%	40.3%