

# スウェーデン式サウンディング試験による内部摩擦角の推定 Estimation for angle of internal friction by Swedish sounding test

○金本 拓也\*, 柴田 俊文\*, 西村 伸一\*, 珠玖 隆行\*

Takuya Kanamoto, Toshifumi Shibata, Shin-ichi Nishimura and Takayuki Shuku

## 1. 目的

スウェーデン式サウンディング試験 (SWS) では、試験結果より、N 値や一軸圧縮強さ、支持力を求める式が報告されているが、粘着力や内部摩擦角を直接得ることは困難である。本論文では、二種類の珪砂を対象に SWS を行い、試験結果から内部摩擦角を推定する式を示す。

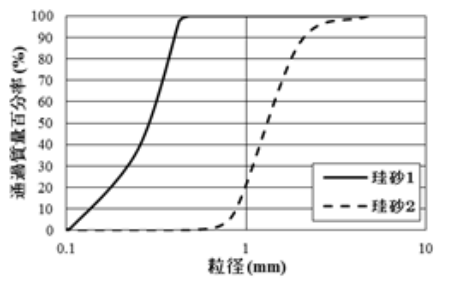


Fig.1 粒径加積曲線  
Particle size distribution curve

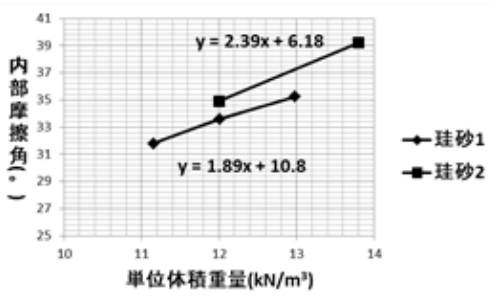


Fig.2 単位体積重量と内部摩擦角の関係  
Relationship between unit weight and angle of internal friction

## 2. 試験方法

本論文では 2 種類の珪砂 (珪砂 1, 珪砂 2 とする) を用いてそれぞれ三軸圧縮試験と SWS を行う。Fig.1 に実験に用いた試料の粒径加積曲線を示す。なお、珪砂 1 の曲率係数および均等係数は、0.952 と 2.143、珪砂 2 が 0.840 と 1.778 である。また、最小/最大密度は、それぞれ 1.270/1.570 および 1.343/1.606 である。

次に、高さ 1m、内径 60cm の筒状の試験装置に試料を入れ、SWS を実施する。土圧を 100kPa、200kPa、300kPa に設定し、試験を行う。3 パターンの単位体積重量を準備し、試験を実施することで相関を確認する。そして、これらの珪砂を用い、三軸圧縮試験を実施する。三軸圧縮試験では単位体積重量が最大の時と最小の時それぞれ試験を実施し、その関係を検証している。これら二つの結果を比較することで、SWS の試験結果から内部摩擦角を推定する式を導出する。

## 3. 結果および考察

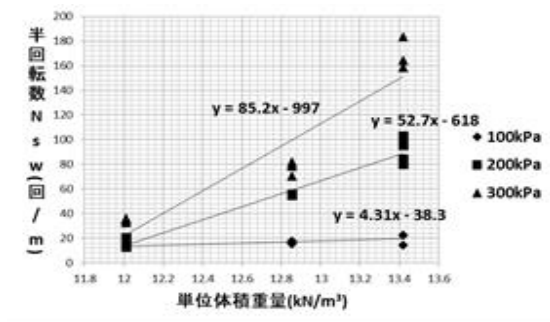
三軸圧縮試験において、2 種類の珪砂は、内部摩擦角と単位体積重量との間に比例の関係が見られ、Fig.2 に示す関係式 (最小二乗法による) がそれぞれ得られた。一方、SWS では、土圧や単位体積重量の上昇に伴い半回転数が増加することが分かった。Fig.3 (a), (b) は、SWS における単位体積重量と半回転数の関係を、各土圧においてそれぞれ示したものである。最小二乗法で求めた近似式は、珪砂 1 は式(1)、珪砂 2 は式(2)で表すことができる。

$$N_{SW} = (0.39\sigma - 0.328 \times 10^2) - (4.72\sigma + 0.407 \times 10^3) \quad (1)$$

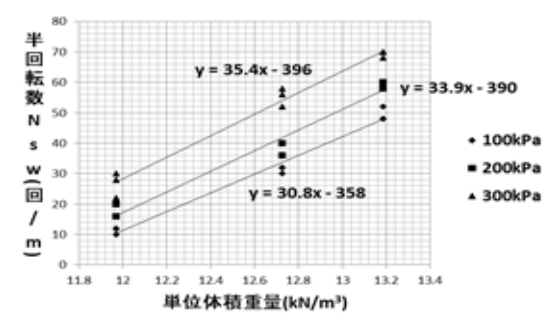
$$N_{SW} = \left\{ (0.299 \times 10^{-1})\sigma + 0.288 \times 10^2 \right\} \gamma - (0.190\sigma + 0.343 \times 10^3) \quad (2)$$

\*岡山大学大学院 環境生命科学研究科, Graduate School of Environmental and Life Science, Okayama University

キーワード: スウェーデン式サウンディング試験, 内部摩擦角



(a) 珪砂 1  
Silica sand #1



(b) 珪砂 2  
Silica sand #2

Fig.3 単位体積重量と半回転数の関係

Relationship between unit weight and number of half rotations

ここに、 $N_{sw}$ は半回転数 (回/m)、 $\gamma$ は単位体積重量 ( $\text{kN/m}^3$ )、 $\sigma$ は土圧 (有効上載圧) (kPa)を表す。式(1)および式(2)と、Fig.2で示した内部摩擦角との関係式より、式(3)と式(4) (それぞれ珪砂 1 と珪砂 2) の半回転数と内部摩擦角の関係式を求めることができる。

$$\phi = \frac{N_{sw} + 7.00\sigma + 0.596 \times 10^3}{0.210\sigma + 17.4} \quad (3)$$

$$\phi = \frac{N_{sw} + 0.268\sigma + 0.417 \times 10^3}{(0.125 \times 10^{-1})\sigma + 120} \quad (4)$$

ここに、 $\phi$ は内部摩擦角 ( $^\circ$ )、 $N_{sw}$ は半回転数 (回/m)、 $\sigma$ は土圧 (有効上載圧) (kPa)である。

#### 4. 各機関の内部摩擦角の推定方法との比較

各機関の基準で用いられている推定式<sup>1-4)</sup>を抜粋し、本試験の結果との比較を行う。本研究で扱う珪砂 1 および珪砂 2 の内部摩擦角は、 $34^\circ \sim 40^\circ$ の範囲で得られた。一方、Table 1 に示すように4つの機関の推定式では $21^\circ \sim 31^\circ$ の範囲と示されており、内部摩擦角をやや過小評価していることがわかる。異なる地盤のデータを基に各機関の式が導出されており、このことが、本論文の結果と若干乖離している原因であると考えられる。

#### 5. おわりに

粒径の異なる珪砂 1 および珪砂 2 を対象に、スウェーデン式サウンディング試験 (SWS) で得られる半回転数から内部摩擦角を推定する式を提案した。この式を用いることによって SWS の半回転数から簡略的に地盤の内部摩擦角を求めることができる。各機関の基準の式と比較した結果、本論文の推定式では内部摩擦角をやや過小評価することが明かになった。

#### 参考文献

- 1) 日本道路協会, 道路橋示方書・同解説, IV 下部構造編, 2012.
- 2) 国土交通省鉄道局, 鉄道総合技術研究所編, 鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物, 2013.
- 3) 日本港湾協会, 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 2007.
- 4) 日本建築学会, 建築基礎構造設計指針, 2001.

Table 1 内部摩擦角の比較  
Comparison of angle of internal friction

	N値	土圧		
		100kN/m <sup>3</sup>	200kN/m <sup>3</sup>	300kN/m <sup>3</sup>
珪砂1	3	35.7°	34.4°	34.1°
	5	34.9°	34.9°	34.5°
珪砂2	3	36.9°	35.5°	34.4°
	5	39.1°	37.6°	36.3°
日本道路協会の式	3	23.3°	22.3°	21.7°
	5	24.4°	23.4°	22.7°
鉄道総合技術研究所の式	3	28.6°	28.0°	27.6°
	5	29.5°	28.7°	28.2°
日本港湾協会の式	3	29.3°	28.4°	27.9°
	5	30.5°	29.4°	28.7°
日本建築学会の式	5	30.1°	28.0°	27.8°