

砂の密度と一次性質による ϕ_d の推定について

株式会社ウエスコ	正会員	田平 健二
株式会社ウエスコ	正会員	越智 洋秀
株式会社ウエスコ	正会員	藤原身江子
株式会社ウエスコ	正会員	奥山 一典

1. はじめに

土槽実験や現場実験から砂質地盤の N 値と内部摩擦角 ϕ_d のいろいろな関係式が提案されている。これらの関係式は、設計時に N 値を利用して強度定数を定める際によく用いられている。しかし、同じ N 値でも関係式によって ϕ_d の値はかなり異なる。これは、主に地盤条件に関する多くの影響因子(応力状態、土の一次・二次性質など)が複雑に関連して N 値あるいは ϕ_d に影響を及ぼすことに起因すると思われる。とは言え、この関係式は実務的には便利であり、さらに精度の良い N 値と ϕ_d の関係が追究されつつある¹⁾。一方、 N 値は用いず、砂の強度式(ϕ_d と密度の関係式)を用いて密度から ϕ_d を推定する方法が考えられる²⁾。この推定方法には強度式中の定数を如何に決定するかという問題はあるが、この問題を解決した上で地盤内の密度を安価に把握できる方法³⁾が確立されれば、 ϕ_d の推定精度が高い方法となろう。本報告では、最上⁴⁾の強度式中の定数 k を砂の一次性質と関連付け、砂の密度と一次性質から ϕ_d を推定する方法を提案し、土槽実験による提案方法の検証を行う。

2. ϕ_d の推定方法の提案

砂の強度式として、次に示す最上⁴⁾の強度式を用いる。

$$\sin \phi_d = \frac{3k}{2(1+e_0)+k} \quad (1)$$

ここに、 e_0 : 初期間隙比、 k : 強度特性を表す定数であり、粒子形状と均等係数によって定まるとされている。

表一¹²⁾に示す各種試料の三軸(CD)圧縮試験から得られた定数 k と平均粒径 D_{50} 、均等係数 U_c 、最大間隙比 $e_{\max}$ 、形状係数 FU ⁵⁾を重回帰分析した結果、定数 k に関する重回帰式は次式となった。

$$k = 0.251 e_{\max} - 1.755 \text{FU} + 2.135 \quad (R = 0.944) \quad (2)$$

表-1 各種試料の物理特性²⁾

試料名	D ₅₀ (mm)	U _c	e _{max}	FU	e _o	φ _s (度)	k
標準砂	0.190	1.48	0.963	0.792	0.669 0.756 0.831	40.0 37.8 36.0	0.910 0.901 0.892
GB	2.030	1.19	0.706	0.962	0.664 0.638	24.9 26.2	0.543 0.565
碎石 (C-40)	0.091	1.19	1.273	0.777	1.057 0.905	39.2 42.0	1.096 1.094
吉井川砂 (洪積)	0.091	1.19	1.330	0.810	1.052 0.891	37.8 38.9	1.053 1.000
	0.181	1.19	1.204	0.818	0.953 0.815	37.8 40.2	1.002 0.994
	0.725	1.19	1.018	0.834	0.831 0.733	37.6 41.4	0.934 0.980
砂川砂	0.940	2.04	1.079	0.858	0.898 0.789	36.8 38.9	0.947 0.947
砂丘砂	0.320	1.88	0.911	0.839	0.748 0.649	39.9 41.1	0.949 0.924
桂浜砂	1.400	2.14	0.718	0.895	0.584 0.504	37.4 39.5	0.803 0.809

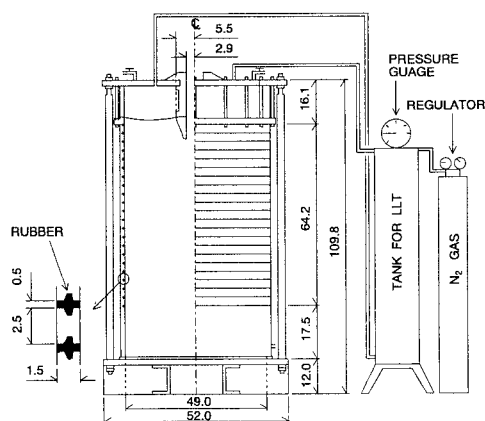


図-1 実験用土槽(単位:cm)

したがって、式(1), (2)に二重管式標準貫入試験³⁾から得られる原位置の e_0 , $e_{\max}$ およびFUを代入すれば、原位置の ϕ_c を推定することができよう。

キーワード：砂，密度，一次性質，内部摩擦角，N値

連絡先：〒700-0033 岡山市島田本町 2-5-35、TEL086-254-2460、FAX086-254-2573

3. 提案法の検証

図-1 に示す土槽で三種類の試料を用い、二重管式標準貫入試験を行った。その結果を表-2 に示す。表中の推定 e_0 は、二重管式標準貫入試験から求めたものであるが、次式³⁾によって密度補正を行っている。

$$\rho_{df} = \rho_{ds} / (0.0423 \sigma'_v + 1.012) \quad (\text{g/cm}^3) \quad (3)$$

ここに、 ρ_{df} ：土槽内の乾燥密度、 ρ_{ds} ：二重管式標準貫入試験試料の乾燥密度、 σ'_v ：上載圧 (kg/cm^2) である。

また、表中の実測 ϕ_d は、土槽内に試料をセットした際の密度に対応した三軸試験結果である。

図-2 に提案法によって推定した ϕ_d と表-2 に示す土槽の実測 ϕ_d の関係を示す。また、同図には、比較のため、N値による推定 ϕ_d と実測 ϕ_d の関係を合わせて示す。N値による ϕ_d の推定は次式で行った。

畑中らの式¹⁾

$$\phi_d = (20 N_i)^{0.5} + 20, \quad N_i = N / (\sigma'_v)^{0.5} \quad (4)$$

国鉄の式⁶⁾

$$\phi_d = 1.85 (N / \sigma'_v + 0.7)^{0.6} + 26 \quad (5)$$

道路橋示方書の式⁶⁾

$$\phi_d = (15 N)^{0.5} + 15 \leq 45^\circ, \quad N > 5 \quad (6)$$

N値による推定 ϕ_d は、道路橋示方書では $10 \sim 20^\circ$ 、国鉄では $10 \sim 15^\circ$ 、畑中らの式では 10° 程度、実測 ϕ_d より小さく推定している。一方、提案法による推定 ϕ_d は、実測 ϕ_d と $\pm 3^\circ$ 程度の違いである。このことは、提案法によって原位置の ϕ_d を精度良く推定できる可能性を示唆していると言える。

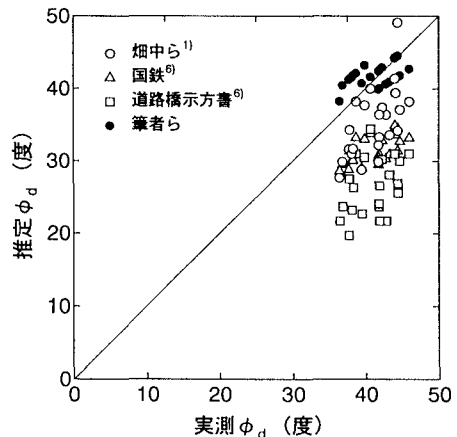
4. おわりに

本報告では、砂の密度と一次性質による ϕ_d の推定方法の提案と検証を試みた。その結果、N値から推定する従来の関係式を用いた場合より実測 ϕ_d に近い推定結果を得ることができた。しかし、本報告では、均等係数の大きい試料などでの実験が足りないため、提案法の十分な検証には至っていない。今後は、この推定方法の実用化を目指して、①粒子の材質、②超微視的な表面構造、③粒子形状、④粒度組成、⑤比重などの砂の一次性質を考慮した実験を行ってきたい。

表-2 土槽実験結果³⁾

試料名	ρ_s (g/cm^3)	D_{50} (mm)	U_c	$e_{\max}$	FU	土槽の 実測 ϕ_d (度)	上載圧 σ'_v (kgf/cm^2)	N値 (回)	推定 e_0
標準砂	2.644	0.2	1.6	0.973	0.792 (表-1 の値を 使用)	37.6	0.05	1.5	0.759
						38.2	0.55	4.5	0.745
						36.9	1.05	5.0	0.797
						38.2	1.05	10.5	0.745
						39.5	1.05	16.0	0.675
						38.4	1.05	17.0	0.720
						38.0	1.55	8.5	0.733
和気川砂	2.637	0.7	2.5	1.036	0.842	43.1	0.05	3.0	0.659
						43.2	0.55	7.5	0.615
						39.9	1.05	5.0	0.690
						42.5	1.05	9.0	0.685
						44.6	1.05	15.0	0.607
						45.3	1.05	17.0	0.570
						42.7	1.55	11.5	0.644
吉井川砂 (沖積)	2.672	0.8	3.0	0.844	0.830	42.7	0.05	3.0	0.532
						43.7	0.05	9.5	0.463
						42.3	0.55	5.5	0.535
						44.9	0.55	17.0	0.473
						38.0	1.05	3.0	0.715
						39.6	1.05	4.0	0.606
						41.8	1.05	15.5	0.519
						44.9	1.55	23.5	0.469
						41.6	1.55	25.0	0.567

(1 $\text{kgf/cm}^2 = 98 \text{ kPa}$)

図-2 実測 ϕ_d ～推定 ϕ_d 関係

参考文献

- 1) M. Hatanaka, A. Uchida: EMPIRICAL CORRELATION BETWEEN PENE TRATION RESISTANCE AND INTERNAL FRICTION ANGLE OF SANDAY SOILS, SOIL AND FOUNDATIONS Vol. 36, No. 4, pp. 1-9, 1996.
- 2) 田平健二, 奥山一典, 井上真理子, 越智洋秀: 砂の定数 k と粒子形状の関係について, 第 33 回地盤工学研究発表会, 1998. 投稿中
- 3) 八木則男, 藤原身江子, 篠原潤, 今泉伸二: 二重管式標準貫入試験器による砂礫地盤の密度測定に関する研究, 愛媛大学工学部環境建設工学科共同研究報告書, 1998. 3.
- 4) 最上武雄編: 土質力学, 技報堂出版, pp. 1029, 1982.
- 5) 吉村優治, 小川正二: 砂のような粒状体の粒子形状の簡易な定量化法, 土木学会論文集, No. 463/III-22, pp. 95-103, 1993.
- 6) 土質工学会: N値および c , ϕ , pp. 9, 1992.