

立命館大学理工学部 正 員 福本武明
立命館大学大学院 学生員 炭崎章幸
竹中工務店(株) 加藤正治
建設省近畿地建 澤田健一

1. まえがき 砂のせん断特性、特にせん断抵抗角(内部摩擦角) ϕ_d と間隙比 e との関係については、基本的に重要で以前から多くの研究があり、既にいくつかの定式化が成されている。本報では、このうち最上の式¹⁾²⁾を取り上げ、式中の係数の平均値 $\bar{k}$ と最小間隙比 e_{min} との関係を扱った諸戸の式³⁾⁴⁾をも含めて式の適合性を、著者らが数年前から系統的に取り組んできたわが国の自然砂に関する三軸圧縮試験の結果⁵⁾に基づいて、詳しく検討しようと試みている。

2. 実験方法 試料は、Fig.1に示す全国各地26カ所の自然砂で、水洗いののち炉乾燥しデシケートに保存したものをを用いた。試料の粒度は、Fig.2に示す通りである。考察に必要な最小間隙比 e_{min} は、2.0mmふるい通過試料に対し、最大最小密度試験方法(JSF T 161)に従って測定した。せん断試験は、ノルウェー型三軸圧縮試験機を用い、相対密度 $D_r = 30, 60, 90$ (%) の3通りの供試体を作製し、拘束圧 $\sigma_3 = 1.0$ (kgf/cm²)、ひずみ速度1.0 (%/min) に設定して、圧密排水(CD)条件下で実施した。

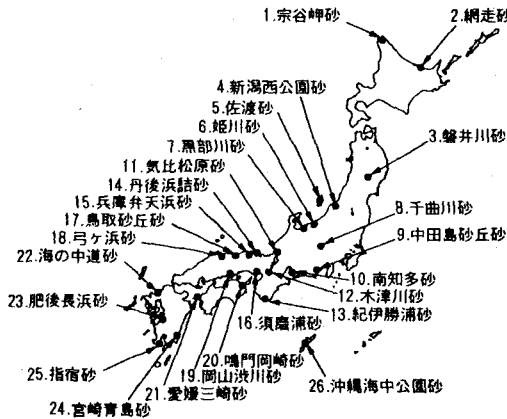


Fig.1 実験に使用した自然砂の採取場所

3. 結果及び考察 Fig.3は、三軸圧縮試験より得られたせん断抵抗角 ϕ_d と初期間隙比 e_i との関係を一括図示したものである。図から明らかなように、 $\phi_d - e_i$ 関係は、周知の右下がりの緩やかな曲線になっている。この関係に、次式で示される最上の式¹⁾、すなわち、

$$\sin \phi_d = \frac{k}{1 + e_i} \quad (1)$$

を当てはめて、まず式中の係数 k の平均値 $\bar{k}$ を求め (Table 1参照)、次に表中の $\bar{k}$ と e_i を (1) 式に代入して ϕ_d を算定し、得られた ϕ_d の計算値と実測値とを対応づけるとFig.4が得られる。図から明かなように、点群のほとんどが45°線上に位置しており、(1)

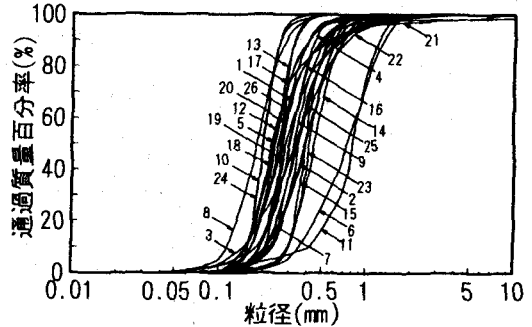


Fig.2 全国自然砂の粒径加積曲線

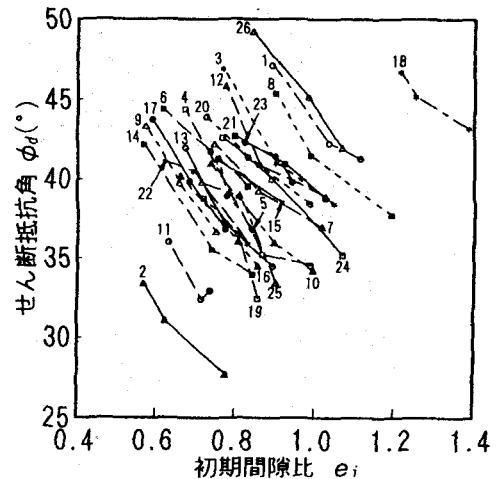


Fig.3 せん断抵抗角と初期間隙比の関係

Takeaki FUKUMOTO, Nobuyuki SUMISAKI, Syouji KATOH, Kenichi SAWADA

式の適合性が非常に良いことが分かる。

Fig.5は、(1) 式中の係数の平均値 $\bar{\lambda}$ と最小間隙比 e_{min} の関係を図示したものである。図中の直線を最小二乗法により求めると、

$$\bar{\lambda} = 1.306 e_{min} + 0.283 \quad (2)$$

(相関係数 $r = 0.924$)

となる。このことから、 $\bar{\lambda}$ と e_{min} の間には、諸戸³⁾が指摘するような濃い相関関係が認められる。ただし、諸戸らの式⁴⁾、すなわち、

$$\bar{\lambda} = 1.290 e_{min} + 0.314 \quad (3)$$

(相関係数 $r = 0.953$)

と(2)式とでは、式中の係数値に若干の隔たりのある。

なお今回、最上の式の係数の平均値 $\bar{\lambda}$ と他の要素、つまり粒径(平均粒径 D_{50})・粒度(均等係数 U_c)・粒子形状(Angularity²⁾ A)との関係についても調べたが、粒子形状の影響が少し勝っているとはいえ、いずれの場合にもはっきりとした傾向を確認することができなかった。

Table 1 最上の式の係数の平均値 $\bar{\lambda}$

No.	試料名	$\bar{\lambda}$ 値	No.	試料名	$\bar{\lambda}$ 値
1	宗谷岬砂	1.384	14	丹後浜詰砂	1.032
2	網走砂	0.842	15	兵庫弁天浜砂	1.172
3	磐井川砂	1.271	16	須磨浦砂	1.060
4	新潟西公園砂	1.125	17	鳥取砂丘砂	1.080
5	佐渡砂	1.126	18	弓ヶ浜砂	1.616
6	姫川砂	1.150	19	岡山洪川砂	1.049
7	黒部川砂	1.186	20	鳴門岡崎砂	1.214
8	千曲川砂	1.337	21	愛媛三崎砂	1.250
9	中田島砂丘砂	1.061	22	海の中道砂	1.080
10	南知多砂	1.124	23	肥後長浜砂	1.242
11	気比松原砂	0.941	24	宮崎青島砂	1.202
12	木津川砂	1.254	25	指宿砂	1.094
13	紀伊勝浦砂	1.087	26	沖縄海中公園砂	1.394

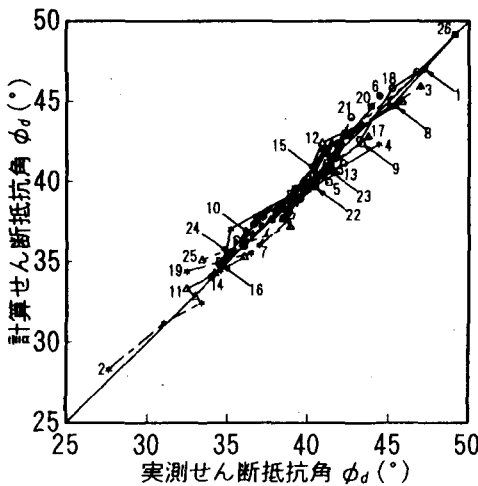


Fig.4 計算せん断抵抗角と実測せん断抵抗角の関係

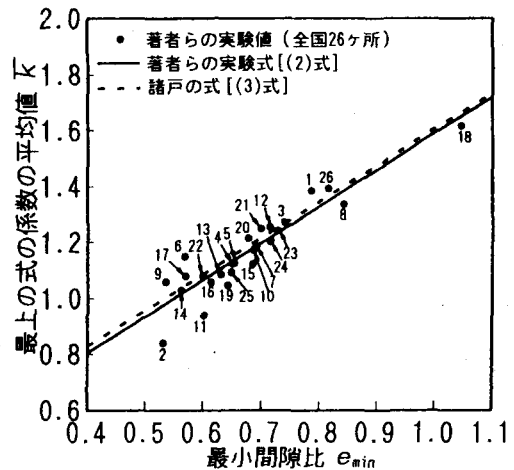


Fig.5 $\bar{\lambda}$ 値と最小間隙比の関係

4. 結論 以上より、①せん断抵抗角と初期間隙比との間には、最上の式が精度良く成り立つこと、②最上の式の係数の平均値 $\bar{\lambda}$ が、砂の種類によってかなり異なり、今回の場合、 $0.84 < \bar{\lambda} < 1.62$ の範囲 (Table 1 参照) であること、③ $\bar{\lambda}$ と最小間隙比の間に、諸戸の指摘する関係式がかなり厳密に成り立つこと (ただし、式中の係数が若干異なること)、などの事柄が判明した。今後は、もっと多くの自然砂を採取して三軸圧縮試験データの蓄積をはかるとともに、変形性を含むせん断特性全般に範囲を広げて詳細に検討していきたい。

【参考文献】 1)Mogami: A statistical approach to the mechanics of granular materials, Soils and Foundations, Vol.5, No.2, 1965 2)最上武雄: 土質力学, 技報堂出版, 1969 3)Moroto: An application of Mogami's strength formula for soils, Soils and Foundations, Vol.22, No.1, 1982 4)下辺・諸戸: 粗粒土の粒子物性、締り具合と内部摩擦角, 土木学会第45回年次学術講演会, 1990 5)立命館大学地盤研究室卒業論文: 砂質土の強度特性と支持力問題への適用 (1991、1992、1993年度)