

粒状体の間隙のモデル化について

鹿児島大学工学部 学生員 田口博文

同 上 正 員 北村良介

鹿児島大学大学院 学生員 新地正志

1. まえがき

砂質土のような粒状体は、土粒子実質部分と、その間隙から成っている。したがって、粒状体の種々の力学的挙動を総合的に把握するためには、土粒子実質部分のみならず、その間隙にも着目する必要がある。また、北村らはマルコフ・モデルと称する力学モデルを提案してきているが、モデルを浸透、圧密現象に適用する際には、間隙のモデル化が必要になってくる。

このような認識のもとに、本報告では、間隙のモデル化を提案し、そのモデルを用いた数値実験より透水係数と pF 値を求めている。また、豊浦砂、ガラスビーズを用いた透水試験、 pF 試験を行い、それらの結果とモデルを用いた数値実験結果を比較することによりモデルの妥当性を検討している。

2. 間隙のモデル化

北村・宮崎¹⁾は図-1に示すような間隙モデルを提案している。図は粒状体の間隙を径が D 、傾きが θ の管に置きかえてモデル化していることを示している。図中の H_e は粒状体の平均粒径程度の大きさを有するものとする。管径 D と傾き θ を確率変数とし、それぞれの確率密度関数を $P_d(D)$ 、 $P_c(\theta)$ すれば、透水係数 k 、間隙比 e は次式で求められる。

$$k = \int_0^{\infty} \int_{\pi/2}^{\pi/2} \frac{D^2 \cdot \gamma_w \cdot \sin \theta}{3 \cdot 2 \cdot \mu} P_c(\theta) \cdot P_d(D) d\theta dD \quad (1)$$

ここに、 μ ; 流体の粘性係数、 γ_w ; 流体の単位体積重量。

$$e = \int_0^{\infty} \int_{\pi/2}^{\pi/2} \frac{D \cdot \pi}{\sin \theta} \left(\frac{D}{\sin \theta} + \tan \theta - \frac{D \cdot \pi}{4 \cdot \sin \theta} \right) \cdot P_c(\theta) \cdot P_d(D) d\theta dD \quad (2)$$

さらに、 pF 値は次式で求められる。

$$pF = \log_{10} hc \quad (3)$$

$$\text{ここに、} hc = \int_0^{\infty} \int_{\pi/2}^{\pi/2} \frac{4 \cdot Ts}{D \cdot \sin \theta} P_c(\theta) \cdot P_d(D) d\theta dD \quad , Ts \text{ は表面張力} \quad (4)$$

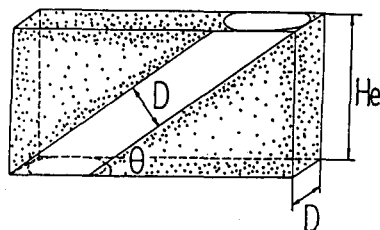


図-1 間隙のモデル化

3. 透水試験、 pF 試験、数値実験及びモデルの妥当性の検討 豊浦砂、および、粒径 0.2 mm のガラスビーズを用い、定水位透水試験、および、 pF 試験（吸引法、遠心法）を行った。表-1、表-2は試験結果をまとめて示したものである。次に、粒状体の透水係数と間隙比の関係を求める数値実験を行った。表-3は数値実験に用いた入力データを示している。表中の H_e は平均粒径の $1/2$ とした。管径の平均、標準偏差、管の方向の確率関数 (P, D, F) の最低高さを変化させて、 k と e の関係を求めた。その関係を図-2に示す。Kozenyの式によると、透水係数は、次のように表される。

$$k = Ds \frac{\gamma_w}{\mu} \cdot \frac{e^3}{1+e} \cdot C \quad (5)$$

ここに、 Ds は土粒子の直径、 C は形状係数。

表-1 透水試験結果

試料	試験番号	間隙比	透水係数 (cm/s)
豊浦標準砂	T-1	0.878	3.27×10^{-2}
	T-2	0.838	2.67×10^{-2}
	T-3	0.745	2.40×10^{-2}
	T-4	0.714	2.02×10^{-2}
ガラスビーズ	G-1	0.655	3.22×10^{-2}
	G-2	0.627	2.92×10^{-2}
	G-3	0.625	2.84×10^{-2}
	G-4	0.615	2.71×10^{-2}

表-2 pF試験結果

測定法	吸引法					濾心法			
	pF 値	0.0	1.0	1.5	2.0	2.2	2.5	2.8	3.1
豊浦標準砂	測定番号	T-①	T-②	T-③	T-④	T-⑤	T-⑥	T-⑦	T-⑧
	体積含水率(%)	92.50	92.20	85.40	15.70	4.38	3.59	2.20	1.94
	含水比(%)	64.70	64.50	59.70	10.98	3.08	2.51	1.54	1.36
ガラスビーズ	測定番号	G-①	G-②	G-③	G-④	G-⑤	G-⑥	G-⑦	G-⑧
	体積含水率(%)	98.50	97.00	85.90	20.50	1.69	1.04	1.02	0.97
	含水比(%)	66.30	65.30	64.60	13.80	1.14	0.70	0.69	0.65

表-3 入力データ

入力パラメータ	入力値
素体積の高さ He (cm)	0.01
管径の平均 (cm)	$0.5 \times 10^{-3} \sim 4.0 \times 10^{-3}$
管径の標準偏差 (cm)	0.1, 0.01, 0.001
	0.0001, 0.00001
管の方向のP, D, Fの最低高さ	0, 0.159, 0.368
流体の粘性係数 (gf·s/cm ²)	1.161×10^{-6}
圧力水頭差 (gf/cm ²)	2.8

図-2より、数値実験結果は(5)式で示されるような k と $e^3/(1+e)$ との間の関係を満足していることがわかる。また、ガラスビーズの実測値と数値実験値がほぼ適合しており、豊浦砂の場合は傾きがずれている。

次に、pF値と体積含水率の関係を求める数値実験を行った。体積含水率 W_v (%)は次式で求めている。

$$W_v = \frac{\gamma_w \cdot e}{1+e} \cdot \frac{h_c}{H_e} \times 100 \quad (6)$$

これより求めたpF-体積含水率関係図がpF試験結果とともに図-3に示してある。

図より、実測値と数値実験値との間には、差があることがわかる。

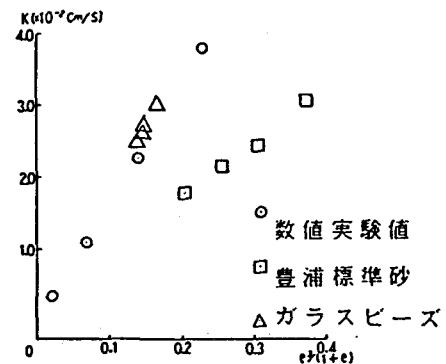
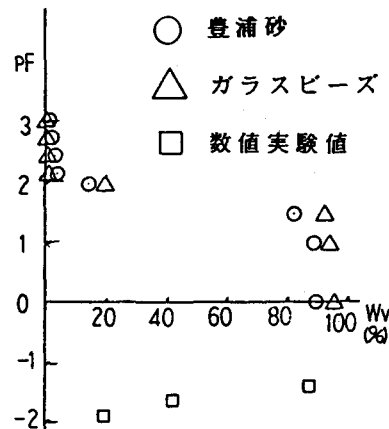
4. あとがき

pF-体積含水率関係の実測値と数値実験値が異なっていた。これからは、モデルの改良を行っていきたい。

本研究は昭和61年度科研費(一般(c))の援助を受けたことを付記し、謝意を表します。

～参考文献～

- 1) 北村、宮崎：昭和59年度土木学会西部支部研究発表会、Ⅲ-23、1985。

図-2 $k-e^3/(1+e)$ の関係図-3 pFと W_v の関係