

III-507

粒子破碎に伴う透水係数の低下度

立命館大学大学院 学生会員 ○木山 修一

立命館大学大学院 学生会員 深津 真彦

立命館大学理工学部 正会員 福本 武明

1. はじめに 真砂土のような脆い粒子からなる土の透水性を考える場合、粒子破碎現象を無視することはできない。^{1)~4)} 粒子破碎の程度とそれに伴う透水係数の低下度との間に、真砂土の場合、(1)式の関係⁵⁾が成り立つと考えられている。式中、 k_0 と k はそれぞれ破碎前と後の透水係数、 S_w と S_w' はそれぞれ破碎前と後の比表面積、そして ν は実験条件より決まる定数である。

$$\frac{k}{k_0} = \left(\frac{S_w'}{S_w} \right)^{-\nu} \quad \text{----- (1)}$$

本論文では、基本に戻って従来未着手のままであった均一径試料を取り上げ、(1)式が均一径の場合にも成り立つか否か、また ν の値が従来の $\nu \approx 4.0$ とゆう値^{5)~7)} でよいか、あるいは試験中の粒度変化状況などについて検討したので、その結果について報告する。

2. 実験方法 今回使用した試料は、表-1に示すように産地の異なる8種類の真砂土をふるい分けて得た均一径試料(2.00~0.85mm)である。試料を10cm径モールドに入れ(3層)、自動突固め装置を用い、所定の突固め回数で締固めた後、JISA1218の手順に従って定水位透水試験を実施した。なお、粒子破碎の影響を鮮明にするために、粒子の堅固な加古川砂を用い、上と同一の条件下で比較実験を行った。実験結果は表-2に示す通りである。表中、 S_w と S_w' の値は、粒径加積曲線に基づき、各粒径間の粒子を球形と仮定して算定した値である。

表-1 試料の物理的性質

試料	比重 G_s	最小密度 $\rho_{dm \min} (g/cm^3)$
①六甲山系A	2.660	1.124
②六甲山系B	2.660	1.124
③六甲山系C	2.674	1.174
④生駒山系A	2.679	1.229
⑤生駒山系B	2.687	1.172
⑥比叡山系	2.663	1.241
⑦山口県産	2.625	1.143
⑧広島県産	2.657	1.169

注記) 粒径は全て2.00~0.85(mm)である。

3. 粒子破碎に伴う透水性低下 粒子破碎に伴う透水係数の低下度を見積もるには、粒子を破碎しないと仮想した場合の透水係数、すなわち無破碎状態の透水係数 k_0 を求めなければならない。その手順は、まず非破碎性土と見なし得る加古川砂で測定した乾燥密度 γ_{ds} に材質補正 M を施すことによって、(3)式により無破碎状態の乾燥密度 $\gamma_{d'}$ を推測する。^{5)~8)} この $\gamma_{d'}$ を間隙比 e_0 に直し、(5)式に代入することにより無破碎状態における透水係数 k_0 を算定する。

図-1はこのようにして求めた k と k_0 の比を縦軸にとり表-2中の (S_w'/S_w) を横軸にとって、両対数紙上にプロットしたものである。図より、各点がユニークな直線付近に位置しており、(1)式の妥当性が認められる。したがって、このことから均一径試料の場合にも(1)式の関係が成り立つといえる。

4. 係数 ν について (1)式中の係数 ν の値については、計算の結果、試料により若干異なり、2.443~3.082の間にあった。こ

の差異についてまず比重、表面積との関係に注目して調べてみたが、はっきりした相関関係が見い出せなかった。それ故、他の実験要因(例えば、最小密度の測定精度等の影響)に基づくばらつきと考えて処理することにした。平均値は $\nu = 2.70$ であった。これに対し、従来 $\nu \approx 4.0$ と見なされており、両者に大きな隔たりがある。この原因として、1つには粒子破碎量 S_w' の算出方法が従来と違う点が挙げられること、もう1つには、 ν を従来のように一定値と考えず厳密に粒度の関数と考えた方がよいのかも知れない。いずれにしても

$$k = \frac{1}{K \cdot (S_w')^2} \cdot \frac{e^3}{1+e} \quad \text{----- (2)}$$

$$\gamma_{d'} = M \cdot \gamma_{ds} \quad \text{----- (3)}$$

$$e_0 = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{\gamma_{d'}} - 1 \quad \text{----- (4)}$$

$$k_0 = \frac{1}{K \cdot (S_w)^2} \cdot \frac{e_0^3}{1+e_0} \quad \text{--- (5)}$$

$$\frac{\mu}{\mu_\infty} = \frac{\left(\frac{N}{N_B} \right)^\xi}{1 + \left(\frac{N}{N_B} \right)^\xi} \quad \text{----- (6)}$$

この点は今後の検討課題である。

5. 試験中の粒子破碎状況 既報^{9)~11)}において、各種土質試験過程の、土粒子の壊れ方に規則性があることを指摘した。今回も、試験後の粒径加積曲線に粒度式^{9)~11)}を当てはめてみたところ一致性の良いことから、この事が確認できた。さらに今回は外力(締固め回数、 N)の増加に伴う試験後の粒径分布の変化に着眼し、従来の方法^{9)~11)}で分布の平均 μ を求め、 μ と N との関係を調べてみた。結果を図-2に示す。図から、全試料に対して(6)式で示されるような双曲線式(実線で図示)が精度良く成り立つことがわかる。なお表-3に(6)式中の係数値を示しておく。

6. 結言 以上の考察の結果、①均一径試料の場合にも(1)式の関係が成り立つこと、②(1)式中の係数 ν の値が従来と異なっており更なる検討を要すること、③試験中の土粒子の壊れ方が規則的であること、④試験時の外力の増加とそれに伴う実測粒径分布の変化との間の関係が双曲線式で表せること、などの事柄が判明した。

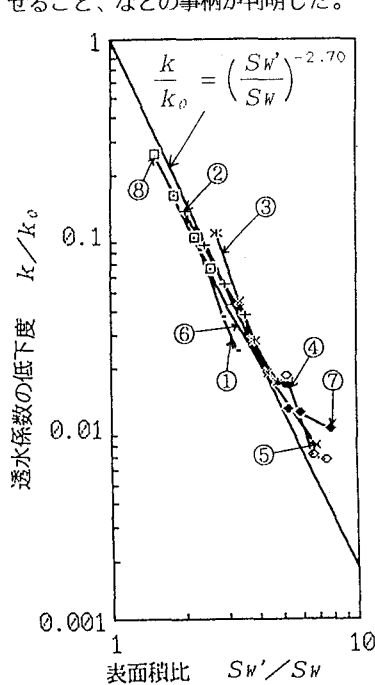


図-1 $(k/k_0) \sim (S_W'/S_W)$ 関係

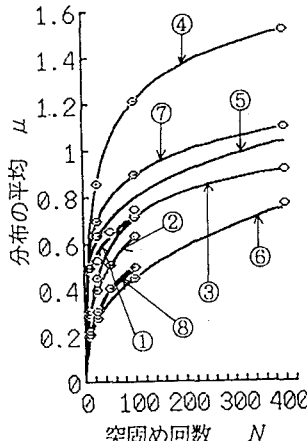


図-2 μ と N との関係

表-2 実験結果

試料	突固回数(回)	透水係数 k (cm/s)	土粒子表面積比 (S_w'/S_w)
①	10	1.02×10^{-1}	2.313
	25	5.21×10^{-2}	2.493
	50	1.36×10^{-2}	2.883
	100	4.13×10^{-3}	3.296
②	10	1.78×10^{-1}	1.996
	25	1.11×10^{-1}	2.403
	50	2.55×10^{-2}	2.912
	100	1.01×10^{-2}	3.518
③	25	3.91×10^{-2}	2.687
	100	3.03×10^{-3}	3.830
	400	6.66×10^{-5}	4.791
④	25	1.17×10^{-3}	5.205
	100	5.01×10^{-3}	6.684
	400	7.03×10^{-5}	7.504
⑤	25	3.90×10^{-2}	3.348
	100	4.88×10^{-3}	4.356
	400	7.05×10^{-4}	6.885
⑥	25	7.40×10^{-2}	2.023
	100	1.79×10^{-2}	2.961
⑦	400	2.66×10^{-4}	4.636
	25	4.20×10^{-3}	5.284
	100	2.07×10^{-3}	5.990
⑧	400	1.60×10^{-4}	7.821
	10	3.26×10^{-1}	1.505
	25	2.26×10^{-1}	1.819
	50	6.84×10^{-2}	2.194
	100	4.62×10^{-2}	2.556

注記) 破碎前の比表面積 $S_w=42.2535(\text{cm}^2/\text{cm}^3)$

表-3 (6)式中の係数値

試料	①	②	③	④
μ_{∞}	204.253	504.948	1.096	1.096
N_B	1.341×10^{16}	3.482×10^{10}	43.103	42.676
ξ	0.174	0.340	0.720	0.520
試料	⑤	⑥	⑦	⑧
μ_{∞}	1973.165	2161.695	1.738	0.948
N_B	9.038×10^{19}	1.341×10^{11}	84.890	86.997
ξ	0.189	0.369	0.340	0.610

参考文献 1)土質工学会真砂土研究委員会編:真砂土の工学的性質とその取扱い指針、1970 2)土質工学会編:第18回土質工学シンポジウム(真砂土)発表論文集、1973 3)土質工学会編:日本の特殊土、第3編真砂土、1974 4)土質工学会編:土質工学ハンドブック(1982年版)、P.412 5)福本:真砂土の締固め特性と透水性に関する基礎的研究、1978 6)土質工学会編:風化花崗岩と真砂土の工学的性質とその応用、1979 7)西田 一彦:風化残積土の工学的性質、鹿島出版、P.161、1986 8)福本:真砂土の締固め密度に関する一考察、立命館大学理工学研究紀要、第37号、1979 9)福本:粒子破碎機構に関する一考察、第24回土質工学研究発表会、1989 10)福本・笠谷・木山:泥岩のスレーキング現象に関する一考察、第27回土質工学研究発表会、1992 11)福本・深津:粒度変化現象への粒度式の適用、土木学会関西支部年次学術講演会講演集、1993