

粒状体の透水係数と限界流速に関する研究

岡山大学大学院
広島大学量子生命科学プロジェクト研究センター
福山大学工学部

学生会員 ○龍満 弘誠
正会員 藤井 敏美
正会員 西原 晃, 柴田 徹

1. はじめに

上向き浸透水流によって生じる地盤の液状化においては限界流速が最も重要な指標であることが過去の研究により明らかになってきた¹⁾。これまでに、パイピング現象に関連して、限界流速に関する実験的あるいは理論的研究が多く行われている²⁾。しかし、それらの研究の多くは流体力学的な観点からものであり、限界流速は粒径の関数として表され、間隙比の影響については考慮されていない。一方、地盤工学的立場からいえば、限界流速は透水係数と限界動水勾配の積として表される。そこで本研究では、粒状体の透水係数と粒径および間隙比の関係に関して実験を行い、その結果をもとに限界流速と粒径および間隙比の関係について考察を行った。

2. 実験の概要

透水係数と粒径の関係を調べるために、粒度範囲の異なる6種類の試料を用いて定水位透水試験を行った。実験に用いた試料の特性を表-1に示す。透水試験では間隙比の影響を調べるために、試料の締め固め方法を調整して、間隙比を変化させた。

表-1 実験に用いた試料

試料	記号	比重 Gs	粒径範囲 (mm)	D ₅₀ (mm)
ガラス ビーズ	GB1	2.484	1.0~1.4	1.334
	GB2	2.491	0.55~0.71	0.594
豊浦砂	TS1	2.637	0.075~0.425	0.174
珪砂6号	SS1	2.635	0.075~0.85	0.296
珪砂7号	SS2	2.641	0.015~0.25	0.119
珪砂8号	SS3	2.631	0.01~0.25	0.054

3. 実験結果および考察

図-1は、透水係数と間隙比の関係を示したもので、それぞれの点は間隙比の近いデータの平均値である。図中の直線は透水係数の対数と間隙比が直線関係にあるとして、線形回帰によって求めた関係を示している。

図-2は、図-1の回帰直線を用いて、間隙比を一定としたときの粒径と透水係数の関係を示したものである。これまで、透水係数と粒径および間隙比の関係について多くの研究が行われており、一般に次のような関係が成り立つとされている³⁾。

$$k = C f(e) D^2 \quad (1)$$

ここに、Cは実験定数、f(e)は間隙比の関数、Dは粒径である。そこで、式(1)にならって、次の関係が成り立つとして、最小二乗法によって係数Bを求めると表-2のようになる。

$$k = B D_{50}^2 \quad (2)$$

なお、図-2に示す点線は最小二乗法によって求めた回帰直線である。

図-3は、間隙比と係数Bの関係を示したもので、係数Bと間隙比は直線関係にあり、次の関係が成り立つ。

表-2 係数Bの値

間隙比	係数B	相関係数
0.6	0.00457	0.986
0.7	0.00676	0.990
0.8	0.00891	0.589
1	0.01349	0.997

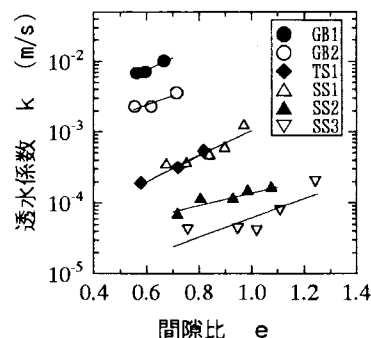
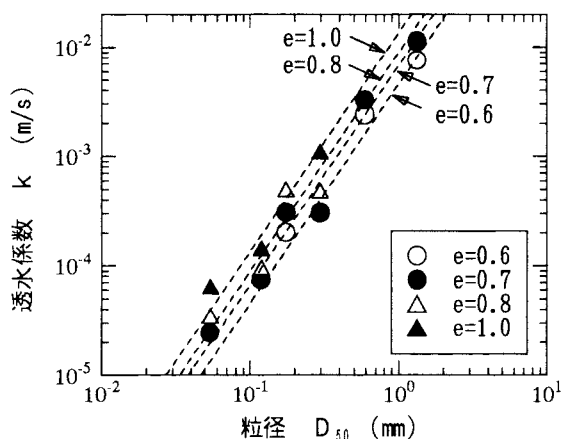


図-1 間隙比と透水係数の関係

図-2 D₅₀と透水係数の関係

$$B = 0.021e - 0.008 = 0.021(e - 0.38) \quad (3)$$

したがって、式(2)、(3)より、

$$k = 0.02(e - 0.38)D_{50}^2 \quad (4)$$

が導かれる。ここで、透水係数と50%粒径の単位はそれぞれ、 k ; m/sec, D_{50} ; mm である。

ダルシー則によれば、限界流速は透水係数と限界動水勾配を用いて、

$$V_c = k \cdot i_c \quad (5) \quad i_c = \frac{G_s - 1}{1 + e} \quad (6)$$

与えられるから、式(4)~(6)より、

$$V_c = \frac{2.81(e - 0.38)(G_s - 1)}{1 + e} D^2 \quad (7)$$

の関係式が得られる。

図-4は、杉井ら²⁾が報告している実験結果で、限界流速と間隙比の関係を示している。この図より、間隙比が増加するにつれて、限界流速も大きくなることがわかる。また、図中の実線は式(7)による計算値であり、計算値と実測値がよく一致していることがわかる。

図-5は限界流速と粒径の関係を示した結果で、図中の実線は式(7)による計算値である。なお、計算では、比重を2.6としている。図中のプロットは、藤井ら¹⁾および杉井ら²⁾が報告している実験結果であり、実測値と計算値はよく一致していることがわかる。また、この図から限界流速においては間隙比よりも粒径の影響が大きいこともわかる。

4. まとめ

本研究の結果、限界流速は粒径と間隙比の関数として表現でき、限界流速は間隙比より粒径の影響が大きいことがわかった。しかし、限界流速の実測データが少なく、実測データの粒径幅も短いため今後、ガラスビーズや豊浦砂以外の試料で精度の高い限界流速の実測データの収集が望まれる。

参考文献

- 1) 藤井敏美, 西原晃, 柴田徹: 液状化した砂の膨張特性, 第55回土木学会中国支部研究発表会発表概要集, pp.229-230, 2003.
- 2) 杉井俊夫, 宇野尚雄, 山田公夫, 山田謹吾: 浸透破壊における粒子群を考慮した限界流速, 地下水技術第39巻第8号, pp.28-35, 1997.
- 3) 土質工学会編「土質工学ハンドブック」, pp.67-69, 1985

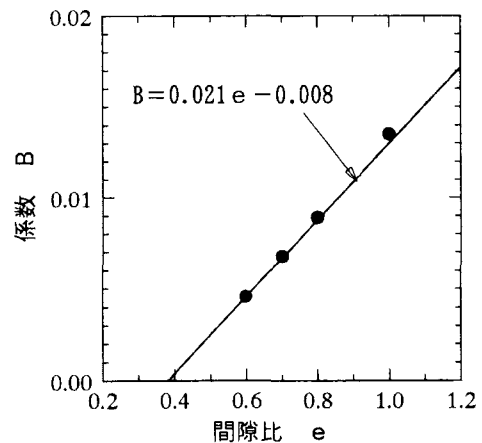


図-3 間隙比と係数Bの関係

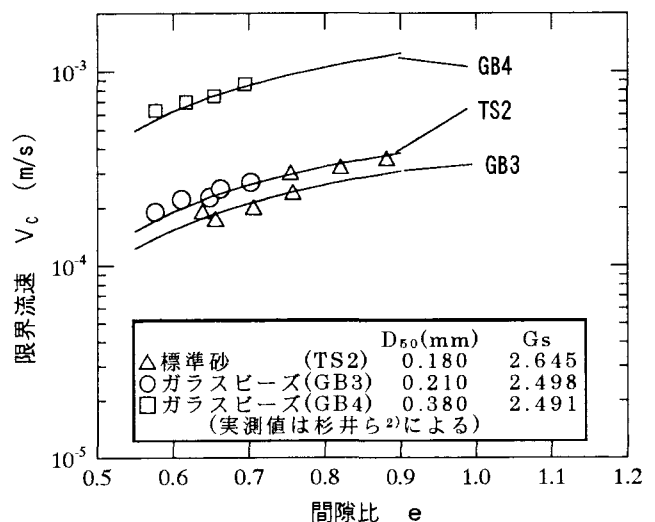


図-4 限界流速と間隙比の関係

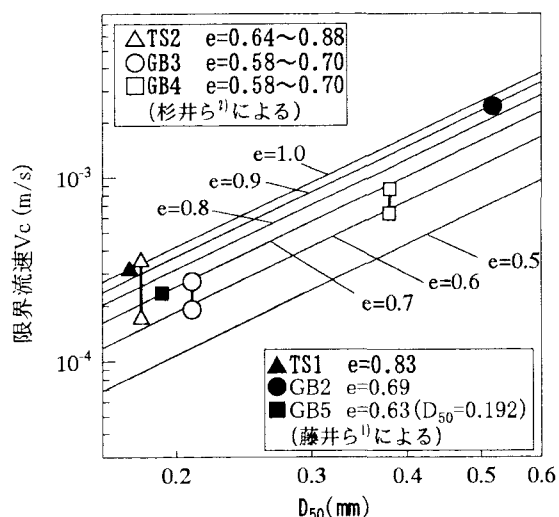


図-5 D_{50} と限界流速の関係