

浸透破壊における限界流速の評価規準に関する基礎的実験

日本大学工学部 学生会員 ○芦田 未来矢・川上 成二
正会員 梅村 順・中村 晋

1. はじめに

浸透破壊をはじめとする地中侵食や表面侵食等、地盤の侵食に関する問題は古くからある。これらの問題について、地中侵食では、Justin 式の土粒子個々の力のつり合いに着目した限界流速式や、Terzaghi 式の土粒子の集合体の力のつり合いに着目した限界動水勾配式等、数多くの評価規準がある。著者らは、前者の限界流速の評価に関する基礎的実験として、簡単に実施できる沈降速度を求める試験を考えた。本文では、まず、この試験での評価方法について、ガラスビーズを用いて検討した。次いで、ガラスビーズ、まさ土、および、しらすを対象に求めた限界流速を比較して、限界流速に及ぼす土粒子の形状の定量化を検討した。ここで、限界流速とは、鉛直上向き水流中に置かれた土粒子が受ける流体抗力（上向き）と、土粒子の重量（下向き）が釣り合うときの水流の流速としている。

2. 試験装置、試験方法およびその検討

試験装置には図-1に示すような、アクリルパイプを用いたものである。試験では、蒸留水で満たしたアクリルパイプに、上部から土粒子試料を1個ずつ静かに落下させ、水温と図に示す区間1および区間2それぞれの通過時間を計測して、終末沈降速度を求める方法で行った。この終末沈降速度を、相対的な速度関係から、限界流速と見なした。

まず、試験方法の検討は、ガラスビーズ試料を対象に行った。その試験結果の一例として、区間1での限界流速の平均と標準偏差と落下個数の関係を図-2に示す。これらの結果から、それぞれでの粒径範囲に対する沈降速度は、30個程度の土粒子について計測すれば、その平均値、標準偏差の変化は小さくなることが判った。次いで、図-3に示す

ように、区間1、区間2でそれらの値を比較したところ、それらの値はほぼ同じであった。これらのことから、区間1、区間2いずれも、終末沈降速度＝限界流速に達し、また、その平均は30個以上の土粒子について平均を求めれば十分であると判断した。

3. 試験結果および限界流速の検討

試料には、表-1に示すガラスビーズ、まさ土、および、栗駒しらす（以下、しらすとする）を所定の粒径範囲になるよう調整したものを用いた。

ガラスビーズ、まさ土、および、しらすを対象に行った試験で得た限界流速の平均を、標準偏差と併せて、図-3、図-4、図-5に示す。これらの結果から、粒径が大きくなると共に、ガラスビーズに比べて、まさ土、および、しらすのほうが、限界流速が小さくなることが判った。

これらの結果について、既往の結果と比較するため、それぞれの結果を併せて、図-6に示す。本試験の結果は、各試料で同じ粒径に対する限界流速が既往の結果より大きくなり、Justinの理論とほぼ同じ値であった。既往の結果は、停止している土粒子に、水の流れを作用させる方法で評価する流動化装置¹⁾²⁾を用いた方法であることから、水流の乱れ

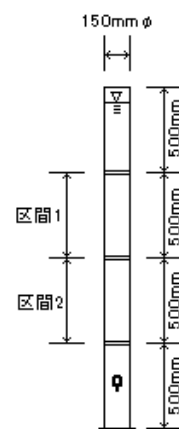


図-1 試験装置の概略図

表-1 用いた試料の粒径範囲と土粒子の密度

粒径範囲 (μm)	土粒子の密度 ρ_s (g/cm^3)		
	ガラスビーズ	まさ土	しらす
355-500	2.499	2.633	3.009
600-850	2.488	2.625	2.961
1000-1400	2.497	2.621	2.885
1700-2360	2.482	2.622	2.960
2800-4000	2.500	2.627	2.837

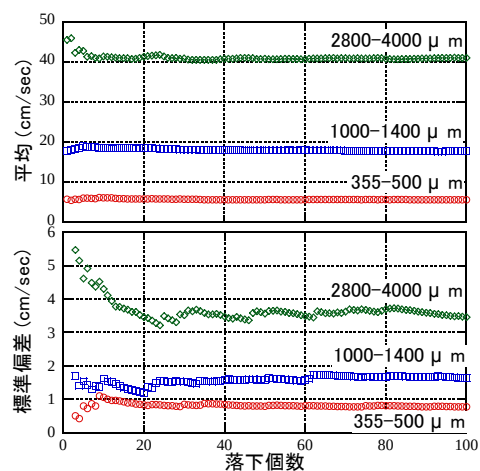


図-2 平均と標準偏差と落下個数の関係

キーワード 限界流速 沈降速度 浸透破壊 地中侵食

連絡先 日本大学工学部 福島県郡山市田村町徳定字中河原1 TEL 024-956-8709 FAX 024-956-8858

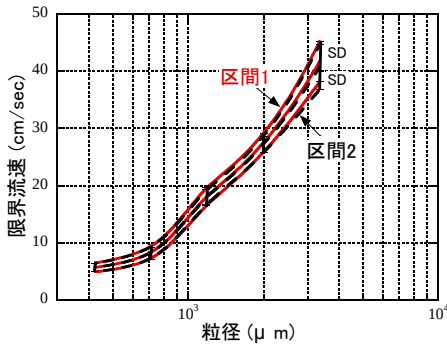


図-3 ガラスビーズの試験結果

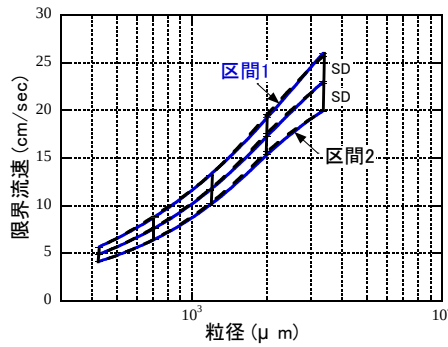


図-4 まさ土の試験結果

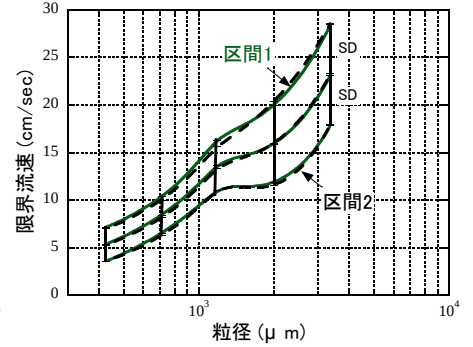


図-5 しらすの試験結果

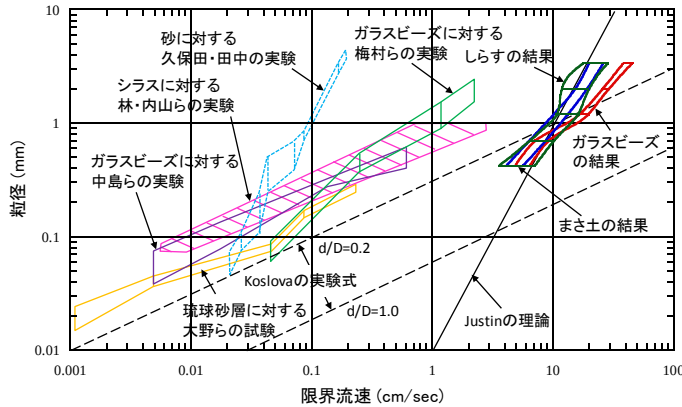


図-6 粒径と限界流速の関係 1)²⁾

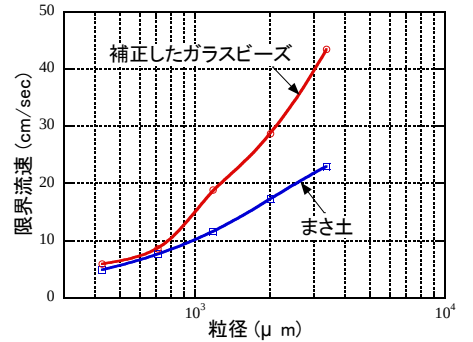


図-7 補正後のガラスビーズとまさ土

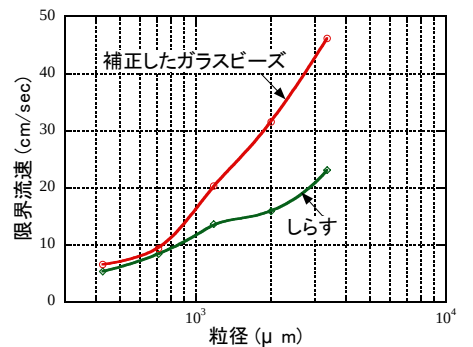


図-8 補正後のガラスビーズとまさ土

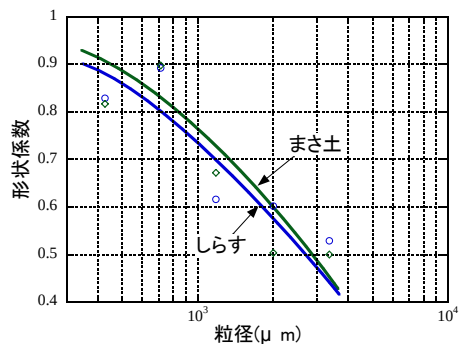


図-9 まさ土としらすの形状係数

が影響を及ぼし、小さな限界流速を示したためと考えられた。

4. 形状の定量化

試験の結果から、限界流速に及ぼす土粒子形状の定量化のために、まず、試験時の水温と試料の土粒子の密度を補正した。補正式は、単粒子自由沈降速度式³⁾(1)を利用し、水温補正式(2)、土粒子の密度補正式(3)を求めた。

$$V = \sqrt{\frac{4}{3} \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right) \frac{g}{C_D} d} \quad (1) \quad V_i = \sqrt{\frac{\rho_{sn} - 1}{\rho_{wn}}} V_n \quad (2) \quad V_i = \sqrt{\frac{\rho_{si} - 1}{\rho_{wn}}} V_n \quad (3)$$

ここに、サブスクリプトの n：試験時に得た値、i：基準とする値

補正したガラスビーズと、まさ土、および、しらすの試験結果を図-7、図-8に示す。これから、粉体工学で用いられている動力学的形状係数⁴⁾を参考に、ガラスビーズを球と見なして、式(4)で形状係数を評価した。

$$\text{形状係数} = \frac{\text{対象土粒子の限界流速}}{\text{水温・土粒子密度補正した同粒径のガラスビーズの限界流速}} \quad (4)$$

この式で求めたまさ土としらすの形状係数を図-9に示す。粒径が小さくなるとともに形状係数が大きくなった。土粒子は一般に、粒径が大きいほど形状が複雑なので、この値が小さい程流体抗力が大きくなり、限界流速が小さくなる。この値は、それに対応しており土粒子の形状を定量的に表わす一つの指標にできる。

なお、本研究は、科学研究費補助金（課題番号 22560499）の補助を受けた。ここに記して御礼を申し上げる。
参考文献 1) 長瀬迪夫（1987）：浸透破壊に関する考え方と破壊発生条件—諸文献における記述と用例—，応用地質年報，No.9，pp.43-124. 2) 梅村順・森芳信（1995）：流量制御方式による土の浸透破壊実験，土木学会東北支部技術研究発表会，pp.320-321. 3) 4.2.1，粒子の沈降，第5編，上下水道・水質保全編，水理学公式集，土木学会，pp.416-417. 4) 遠藤茂寿（2005）：2.2.5 動力学的形状係数，第2章 粒子形状，粉体の基礎物性，粉体工学叢書，第1巻，粉体工学会編，日刊工業新聞社，pp.44-45.