

III-114

浸透破壊における限界流速

中部大学工学部 正会員 ○杉井俊夫
 岐阜大学工学部 正会員 宇野尚雄
 佐伯建設工業(株) 三橋浩司

1. はじめに

パイピング等の浸透破壊に対する安定性を判断する方法として「限界動水勾配」によるものと「限界流速」による2通りの考え方がある。前者は、Terzaghi 式による地盤内の平均的な動水勾配から、後者は土粒子の移動限壊の流速により判断され、後者は特に流れ方向が鉛直と異なる場合や流速の局所集中が生じる場合の解析に有効となる。これまでに著者ら^{1)・2)}は、均等径試料に対する限界流速を一部の混合粒径試料に対し適用を試みてきたが、今回さらに大きな均等係数をもつ試料および粗粒子の乱流時についても検討を行った。

2. 限界流速式と実験概要

表-1 各限界流速式の概要

限界流速	V [cm/s]	備 考
大野らの実験式 ³⁾	$V = 2.25d^{1/4}$	d: 粒径 [mm] (※混合粒径の場合 25~32% 粒径)
多粒子限界流速式 ^{1)・2)}	$V = n^{1/2} \sqrt{\frac{4}{3C_0}} g(Gs-1)D$ *粒子レイノルズ数には Rubey の式 ⁴⁾ を使用	g: 重力加速度 [cm/s ²] D: 粒径 [cm] n: 間隙率 C ₀ : 抵抗係数 Gs: 比重 1/m: レイノルズ数によって定まる 補正係数 Re<0.2.....1/m=4.45 0.2<Re<1.0.....1/m=4.36Re ^{-0.03} 1.0<Re<500.....1/m=4.45Re ^{-0.1} 500<Re<7000.....1/m=2.36
流動化開始速度 ²⁾	$V = \frac{1}{5v} \frac{n^2}{1-n} g(Gs-1) \frac{1}{S_v^2}$ *真の流速で表示	g: 重力加速度 [cm/s ²] n: 間隙率 Gs: 比重 v: 動粘性係数 [cm ² /s] S _v : 砂の比表面積 [cm ² /cm ³] (または S _v =6/D, D _v : 等体積相当粒径 [cm])

限界流速式として、Justin 式¹⁾、Koslova 式^{1)・2)}、大野らの式³⁾、多粒子限界流速式^{1)・2)}、流動化開始速度式²⁾が挙げられるが、いずれも均等径試料に対するものである。また、均等粒径試料において Justin 式、Koslova 式については実験値に対し、過大評価することが得られており、今回説明を省略した。表-1は大野らの式、多粒子限界流速、流動化開始速度式の概要を示す。実験試料は図-1(a)の試料に図-1(b)の粗粒分と標準砂の粉砕砂の混合試料を追加、相対密度を60~70%とした。さらに乱流時についても調べるために表-2の試料の均等径試料を用いた。鉛直一次元の円筒管を使用、浸透破壊の基準を表面膨張とし、そのときの流量をもとに見かけの流速を間隙率で除した限界実流速として算出した。

3. 結果と考察

図-2は流動化開始速度式

による理論値と実験値の関係を示すが、いずれの粒度の試料においても十分な結果が得られている。しかし、等体積相当粒子径が得られない場合には、砂の比表面積の測定(すなわち透水係数の測定)が必要となることや粒径の大きい場合の乱流域の適用に限界がある。図-3は大野らの式と多粒子限界流速式による実験値との比較である。大野らの式はその定義より平均径をD₂₇

(27%粒径)で算出した。実験値に近い値を示しているが、M6などの大きな粒径を多く含む粒度に対し大きく異なる傾向が現れており、対象としている粒径範囲が小さいことや間隙情報が無視されているため、粒度

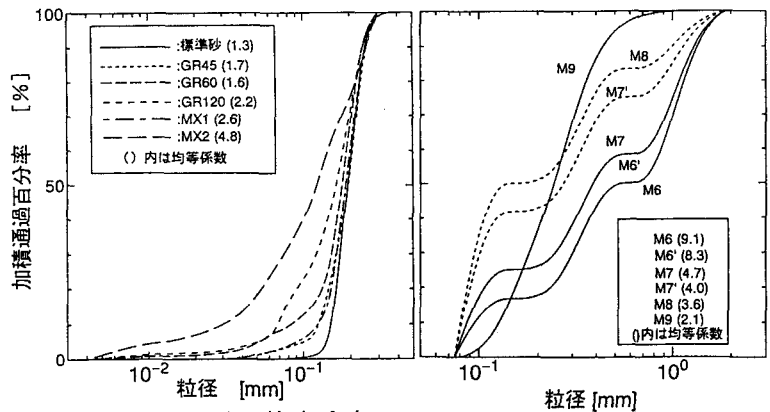


図-1(a) 粒度分布

図-1(b) 粒度分布

表-2 粗い粒径試料

試料	粒 径	比重
U6	0.85~1.40mm(平均1.125mm)	2.643
U7	1.40~2.00mm(平均1.700mm)	2.653
U8	2.00~4.75mm(平均3.375mm)	2.653

分布や密度による誤差が生じていると考えられる。均等径試料で提案された多粒子限界流速では代表粒径の定義がなく、均等係数4.8、粒径0.3mm以下(図-1(a))の試料について細粒子を重要視する体面積平均径 D_w （式(1)）により算出を行ったが²⁾、粒径や均等係数が大きくなるほど誤差が生じたため、同じく細粒子を重要視する式(2)の体積長さ平均径 D_{va} を用いて算出し直した。これによると、均等係数や粒径の大小に関係なくほぼ実験値との整合性を得る結果となった。

$$\text{体面積平均径}^{5)} D_w = \frac{\sum w}{\sum (w/d)} \quad (1)$$

$$\text{体積長さ平均径}^{5)} D_{va} = \sqrt{\frac{\sum w}{\sum (w/d^2)}} \quad (2)$$

ここに w : 重量, d : 粒径 である。

図-4は粒径と限界流速との関係を示しており、大野らの実験式は間隙の影響は考慮されないため、粒径のみに支配され、密度や形状の影響の説明が難しいことがわかる。さらに大野らの実験は粒径範囲が小さいためM6のような粒径差(均等係数)の大きい混合試料には適用しがたいことが考察される。一方、多粒子限界流速は間隙率 n が大きくなれば、曲線は左に移動し、破壊が発生しやすくなり、形状が角張ることにより抵抗係数が大きくなるため曲線は右に移動し破壊が発生しがたい傾向を説明することが可能である。乱流時のU6, U7, U8の実験結果では、粒径範囲が粒径に比例し広くなることから多少の誤差が懸念されるが、大野らの式によれば、粒径が大きくなるほど数倍の過大評価となっている。また、多粒子限界流速の値はやや実験値より小さいが、乱流域についても大野らの式に比べ誤差が少なく、幅広い適用性を持っているといえる。

4. おわりに

今回、混合粒径試料についても適用可能な限界流速式について

実験的検討を行った結果、多粒子限界流速式で代表径に体積長さ平均径 D_{va} を用いた流速値により、均等径から混合径、乱流域の流速値まで算出可能であることが得られ、幅広い試料への適用性が得られた。本研究は中部大学特別研究費の援助を受けた。関係者各位に謝意を表する。

【参考文献】1) 杉井・佐藤・宇野・山田：浸透破壊の発生プロセスと土の不均質性、土と基礎、Vol. 37, No. 6, pp. 17-22(1989). 2) 杉井・宇野・平野・吉田：粒度配合を考慮した浸透破壊の発生機構、第38回土質工学シンポジウム論文集, pp. 17-24(1993). 3) 大野・山崎・トラフエツカ：砂のパイピング特性に関する実験的研究(続)、間組研究年報, pp. 33-40(1984). 4) 椿：水理学Ⅱ, 森北出版, pp. 233-234(1972). 5) 三輪：粉粒体工学, 朝倉書店, pp. 56-64(1972).

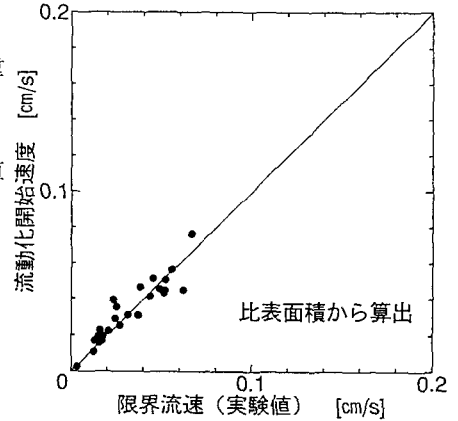


図-2 流動化開始速度と実験値

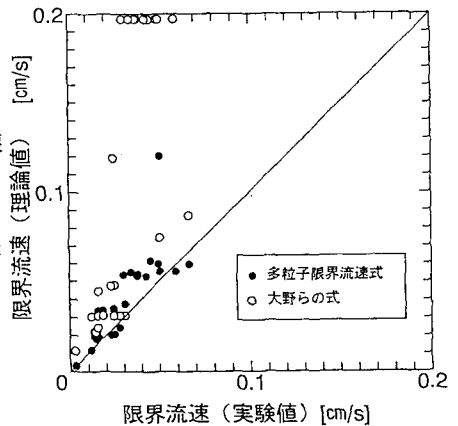


図-3 各限界流速と実験値

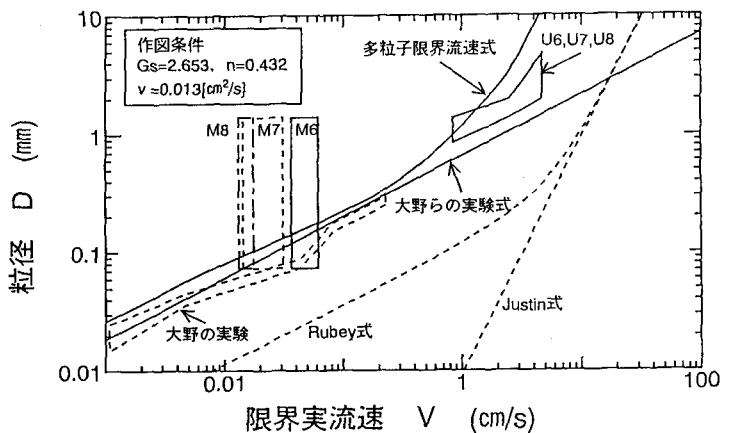


図-4 粒径と限界流速