

III-488

粒子群の干渉効果を考慮した限界流速式の提案

岐阜大学大学院 学生員 山田謹吾

岐阜大学工学部 正 員 杉井俊夫

岐阜大学工学部 正 員 宇野尚雄

1. はじめに

浸透破壊の発生条件としては、Terzaghiの限界動水勾配と、JustinやKoslovaの限界流速という二つの側面からのアプローチが行われている。

著者らはこれまで、鉛直一次元透水場において、Terzaghiの限界動水勾配はほぼ適応可能であることを確認した^{1),2)}。一方、Justin式やKoslova式から計算される限界流速は、多くの研究者により、実験値に対して過大評価であることが報告されており、実用性が少ないと考えられていた。しかし、粒子群の干渉効果を考慮して、多粒子の干渉沈降の考え方を援用することにより、浸透破壊に対して限界流速からのアプローチも十分可能であることを報告する。

2. 単粒子限界流速と多粒子限界流速²⁾

鉛直一次元透水場において、単一の土粒子が上向きに受ける掃流力と自重のつり合いにより、平衡状態の流速を限界流速 V_c [cm/s] とすると、 V_c は式(1)となる。

$$V_c = \sqrt{\frac{4}{3 C_D} \cdot (G_s - 1) \cdot d \cdot g} \quad (1)$$

ここに、 G_s :土粒子比重、 g :重力加速度 [cm/s²]、 d :土粒子径 [cm]、 C_D :抵抗係数(Reynolds数 R_e の関数)である。

一般に、抵抗係数 C_D は、 $R_e \leq 1$ のとき $C_D = 24/R_e$ が成立し、Stokesの抵抗則である式(2)となる。

$$V_c = \frac{1}{18 \nu} \cdot (G_s - 1) \cdot d^2 \cdot g \quad (2)$$

ここに、 ν :動粘性係数 [cm²/s] である。

式(1)で $C_D = 2$ とした場合がJustin式となる。また、 $R_e > 1$ のとき、 C_D は R_e 数が増加するにつれ粒子形状ごとにある一定値に漸近していく³⁾。

著者らの実験結果^{1),2)}と理論的關係を対比するため、初期間隙比と限界動水勾配の關係を図-1に、初期間隙比と限界実流速の關係を図-2に示す。図-2から、初期間隙比が大きいほど、破壊発生時の実流速が大きくなる傾向が認められる。すなわち、単粒子を浮上させる流速よりも、粒子群(多粒子)を浮上させる流速の方が小さくてよいと言えよう。したがって、式(1)は単粒子の限界流速を考えているだけなので、さらに周辺土粒子の影響を考慮する必要がある。そこで、多粒子の干渉沈降の考え方に基づくRichardsonらの式^{3),4)}を援用し、空隙率 ε を間隙率 n とみなすことにより、土粒子が浮上する浸透破壊現象に適用すると、式(3)のようになる。

$$V_n = n^{1/m} \cdot V_c \quad (3)$$

ここに、 V_n :間隙率 n のときの限界流速、 $1/m$: R_e 数 $(= V_c \cdot d / \nu)$ によって定まる指数(参考文献4)参照)、 n :間隙率である。

式(1)、式(3)の關係を図-3に描いた。また同時に、鉛直一次元場の前述の実験結果及び大野ら、中島らの実験結果、水平透水場の久楽らの実験結果も併記した^{5),6),7)}。この図によれば、式(3)は実験結果とほぼ一致している。

図-1、図-3から、限界動水勾配と限界流速は別の現象時を説明するものでなく、両者は同じ破壊現象を

表すものであると言えよう。また式（3）は、間隙比、粒径および形状係数 C_D の項が含まれるため、試料の乾燥重量、粒径、粒子形状の相違が限界値に影響してくると推察される。なお、水平透水場では、水中重量とのつり合いではなく、土粒子の抵抗力（水中重量×摩擦係数）とのつり合いとなるため、式（3）に比べ、限界流速が小さくても破壊すると考えられ、久楽らの実験結果にはその傾向が明確に現れている。

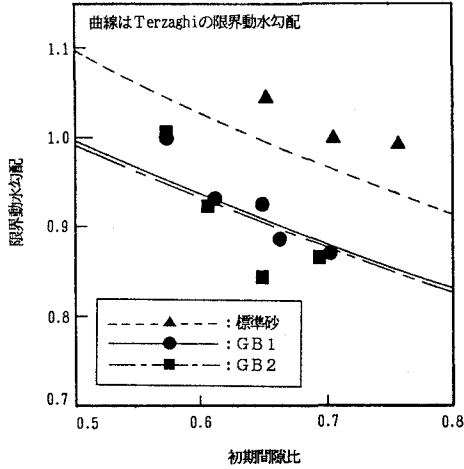


図-1 初期間隙比と限界動水勾配の関係

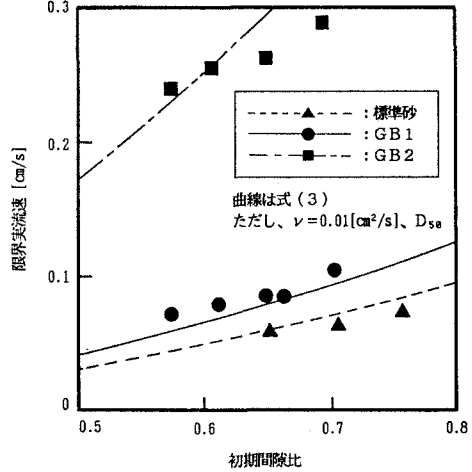


図-2 初期間隙比と限界実流速の関係

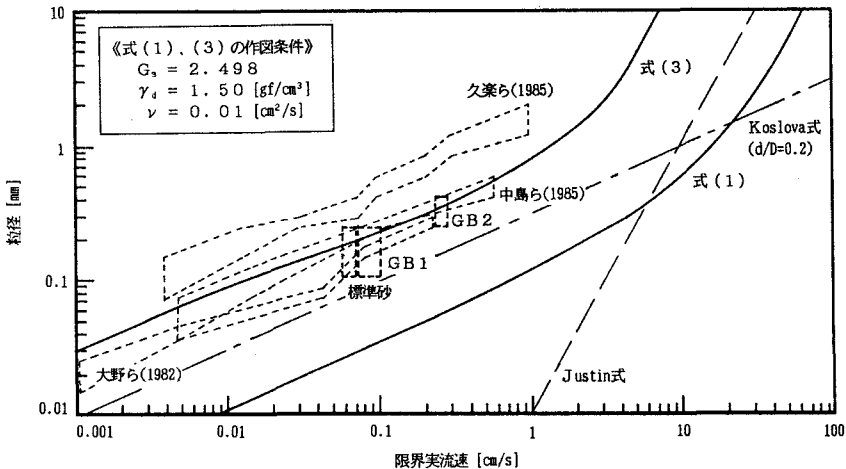


図-3 粒径と限界実流速の関係

- 【参考文献】 1) 宇野、杉井、山田：限界動水勾配の検証，第23回土質工学研究発表会講演集，pp.1857～1858，1988 2) 杉井、佐藤、宇野、山田：浸透破壊の発生プロセスと土の非均質性について，土と基礎，Vol.37，No.6，1989 3) 土木学会編：水理公式集（昭和46年改訂版、昭和60年版），1971，1985 4) Richardson, J. F and Meikle, R. A.: Sedimentation and Fluidization III, Trans.Int.Chem. Engrs., Vol.39, No.5, p.348, 1961 5) 大野、山崎、ランデック：砂のパイピング特性に関する実験的研究，第17回土質工学研究発表会講演集，pp.2317～2320，1982 6) 中島、松原、飯島：X線写真を利用したパイピング現象の観察（第一報），第20回土質工学研究発表会講演集，pp.1479～1482，1985 7) 久楽、吉岡、佐藤：水平方向浸透流下における砂地盤のパイピングについて，第20回土質工学研究発表会講演集，pp.1483～1484，1985