

砂層の浸透破壊に及ぼす局所不安定構造の判定

中部大学工学部 正 杉井 俊夫 山田 公夫
日構技術センター 正 名倉 晋

1.研究目的 著者らはこれまでに、全体破壊に達する以前に土試料内で間隙率の変化を測定し、粒子の移動による目詰まりが発生する可能性があることを理論的に証明してきた¹⁾。ここで、どのような粒度分布を示す砂層が破壊以前 (I_{cr} 以下で) に粒子移動による目詰まり発生の可能性をもつのかを検討するため、粒度分布を仮定し、Kenney らの式(フィルター安定条件式)²⁾と多粒子限界流速式³⁾を用いて破壊以前 (I_{cr} 以下で) の目詰まり発生の有無を検証することとした。

2.目詰まり発生の可能性をもつ粒度分布の検討 検討の際の計算手順(図-1)は仮定した全ての粒度分布(均等係数 $U_c = 1.7 \sim 11.3$, 曲率係数 $U_c = 0.7 \sim 1.7$)に対して図-2 に示すように Kenney らの式で不安定 ($H/F < 1$) にある粒子群を、また、移動しうる粒子に必要な流速を図-3 の多粒子限界流速式(図-3 の式(1),式(2))で計算し、た。粒子移動のエネルギーとなる流速については各分布に対して破壊時の実平均流速 V_{cr} (cm/s)を多粒子限界流速式で、 V_{cr} の 0.5, 0.7, 0.9 倍を与え、粒子の移動と拘束から目詰まりの判断をした。

各粒度分布の砂層に対して初期密度を $1.5 \text{ (g/cm}^3\text{)}$, 水温を 15 (液体の粘性係数 $= 1.12 \times 10^{-3}$) とし、過去の粒度分布のデータ⁴⁾から均等係数 U_c と初期間隙率 $n(-)$ の相関関係から得られた式(3)より初期間隙率 $n(-)$ を仮定した。

$$n = 2.54 \times 10^{-2} U_c + 4.63 \times 10^{-1} \quad (3)$$

ここに、 n : 初期間隙率(-), U_c : 均等係数(-)

Terzaghi の理論式(式(4))から Terzaghi の限界動水勾配 $I_{cr}(-)$, Taylor の式(式(5)) から $I_{cr}(-)$ 時の透水係数 k (cm/s)が求まり(形状係数 $C_T=3.43 \times 10^{-3}$ 、土粒子の直径 D_s (cm)は面積平均径 D_w (cm)を用いた)、式(6)より破壊時の Darcy 流速 v_d (cm/s)が得られ、式(7)より破壊時の実平均流速 V_{cr} (cm/s)を求めることができる。

$$I_{cr} = \frac{G_s - 1}{1 + e} \quad (4)$$

$$k = \frac{\gamma_w}{\eta} C_t \frac{e^3}{1 + e} D_s^2 \quad (5)$$

$$v_d = ki = k \cdot I_{cr} \quad (6)$$

$$v = \frac{v_d}{n} \quad (7)$$

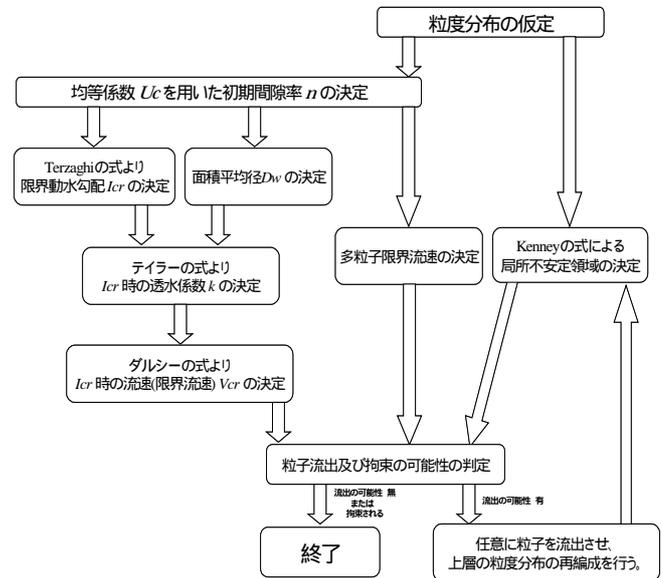


図-1 計算手順のフローチャート

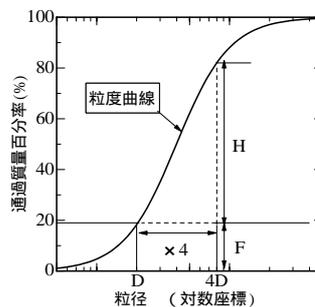


図-2(a) FとHの考え方

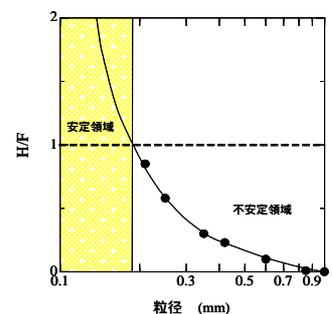


図-2(b) H/F による安定性の判断

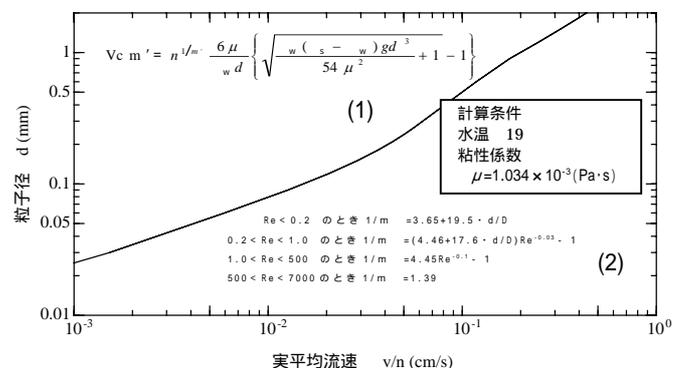


図-3 多粒子限界流速

キーワード 浸透破壊, 粒子流出, 目詰まり, Kenney らの式, 多粒子限界流速式

連絡先 〒487-8501 愛知県春日井市松本町 1200 中部大学工学部都市建設工学科 杉井研究室 TEL0568-51-1111

ここに、 e ：間隙比(-)， n ：初期の間隙率(-)， I_{cr} ：Terzaghi の限界動水勾配， G_s ：土粒子の比重(-)， k ：透水係数(cm/s)， μ ：液体の粘性係数(Pa・s)， γ_w ：水の単位体積重量(gf/cm³)， C_f ：形状係数(=3.43×10⁻³)， D_s ：土粒子の直径(cm)， v ：実平均流速(cm/s)， v_d ：ダルシー流速(cm/s)， i ：動水勾配

3.計算結果 15通りの粒度分布に対して計算結果から目詰まり発生の可能性を表-1に示す。これより滑らかな粒度分布砂層では、初期粒度分布における均等係数 U_c が約 3~5 程度の試料(~)において破壊発生以前の局所的な密度増加が起こる可能性が大きく、これよりも均等係数が大きい場合(~)や小さい場合(~)においては限界流速に達した粒子が全て Kenney の式による安定領域にあり、粒子は流出以前に拘束され目詰まり発生の可能性は低いことが推察される。 U_c が約 3 以下と粒径範囲が狭い粒度分布は最小粒径まで Kenney らの式 ($H/F > 1$) を満たし、5 以上で目詰まりが起こり難くなる原因は、Terzaghi の限界動水勾配に達するまでの流速で考えているため、均等係数が大きくなると粒径が大きくなり Kenney らの式で移動可能性のある粒子は移動させる流速まで達しないものと考えられる。

図-4 は、志村ら⁵⁾、杉井ら⁶⁾、大野ら⁷⁾が行った浸透破壊時の全体の動水勾配と限界動水勾配の比と均等係数の関係を示した図である。これより、均等係数 3~5 の試料については Terzaghi の限界動水勾配より小さい値で破壊していることが示されており、本研究の結果から、均等係数 3~5 の試料については目詰まり発生に起因する局所的な密度増加が起こり、局所動水勾配が増加することによって浸透破壊が生じたということを考えると、それを裏付けるものであると判断できる。

4.参考文献 1)杉井俊夫,山田公夫,名倉晋:浸透時の砂層内の不安定性と浸透破壊発生に関する研究,土木学会中部支部研究発表会講演概要集 pp.289~290,2005. 2) T.C.Kenny and D.Lau:Internal stability of granular filters,CAN.GEOTECH.J.,VOL.22,1985. 3) 杉井俊夫・山田公夫・中島賢:多粒子限界流速を用いた地盤の浸透破壊メカニズムに関する研究,浸透破壊メカニズムと評価法に関するシンポジウム論文集,pp.123-128,2002. 4) 中島賢:限界流速を用いた浸透破壊の発生条件に関する基礎的研究,平成12年度中部大学大学院修士論文,2000. 5) 志村孝吉:粗粒度における限界動水勾配について,電力中央研究所報告,No.71001,1971. 6) 杉井俊夫・宇野尚雄・平野貴士・古田敬:粒度分布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平成5年度発表論文集,社団法人土質工学会,pp17~24,1993. 7) 大野睦雄・山崎弥・トラベック・フィ・オア: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.

表-1 各粒度分布における均等係数 U_c と最小粒径と目詰まり発生の可能性の有無

	均等係数 U_c	最小粒径(mm)	目詰まり発生の可能性
	1.7	0.075	発生の可能性は小さい
	1.9	0.053	発生の可能性は小さい
	2.2	0.053	発生の可能性は小さい
	2.8	0.053	発生の可能性は小さい
	3.8	0.075	0.7 V_{cr} で発生の可能性有り
	4.1	0.075	0.9 V_{cr} で発生の可能性有り
	4.4	0.075	0.9 V_{cr} で発生の可能性有り
	4.6	0.075	0.5 V_{cr} で発生の可能性有り
	4.8	0.053	0.5 V_{cr} で発生の可能性有り
	5.6	0	発生の可能性は小さい
	5.6	0.075	発生の可能性は小さい
	6.4	0.075	発生の可能性は小さい
	8.3	0.075	発生の可能性は小さい
	11.3	0.075	発生の可能性は小さい
	10.8	0.075	発生の可能性は小さい

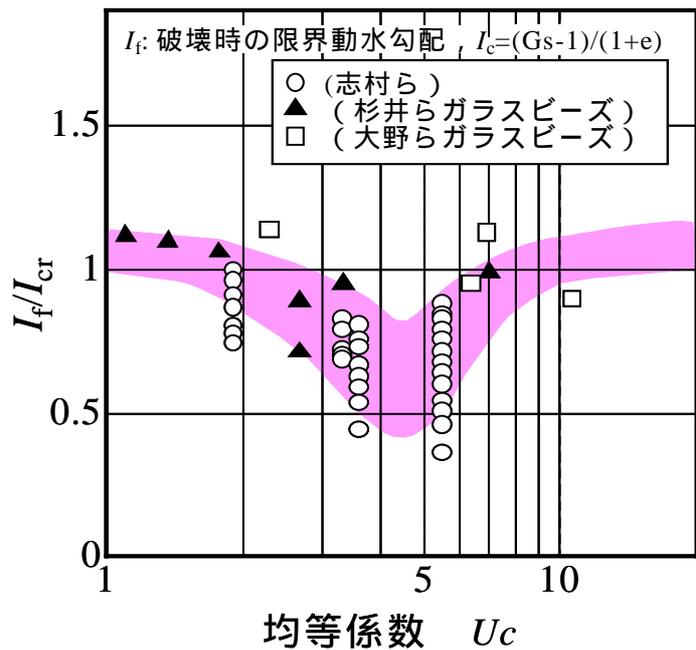


図-4 均等係数と限界動水勾配に対する破壊時の動水勾配