

マルチスケール浸透破壊現象の解明に基づく 鋼矢板を用いた対策効果の評価

一般財団法人大成学術財団 第8回研究成果発表会
2026.10.21(水) 13:10-17:30
於 新宿センタービル 52階大ホール

松田達也(MATSUDA TATSUYA)
内藤直人(NAITO NAOTO)

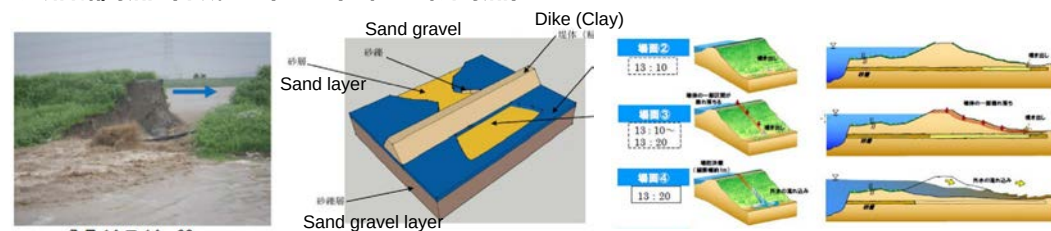
豊橋技術科学大学 建築・都市システム学系
地盤・防災講座: 地盤力学研究室



Toyohashi Univ. of Technology, Dept. of Architecture and Civil Engineering
Division of Geotechnology and Disaster Prevention, GeoMechanics Laboratory

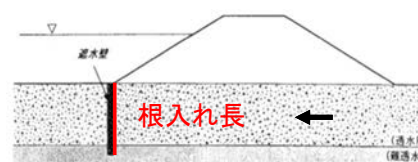
緒言

九州北部豪雨(平成24(2012)年7月集中豪雨)



九州地方整備局筑後川河川事務所 矢部川堤防調査委員会資料

矢板(川表)遮水工法



【計画・設計上の留意点】

浸透流量を半減させるためには、止水壁を透水層厚の**80~90%程度まで貫入**させる必要がある。

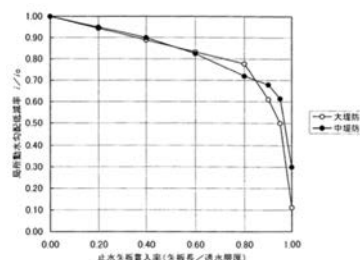
財団法人 国土技術研究センター, “河川堤防の構造検討の手引き”, 2012-02.

研究の問い

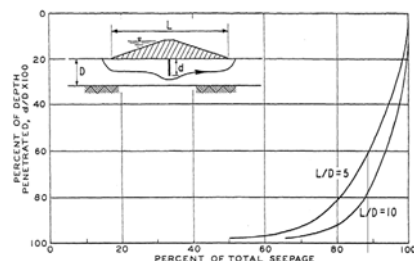
設計上は80~90%程度の根入れが必要と示されているが、その**水理学的・力学的根拠**を十分に明らかにする必要がある。

研究目的

矢板(川表)遮水工法の効果



遮水壁貫入率と局所動水勾配の関係



部分遮水壁の根入れ率と浸透量低減効果の関係
(均質・等方な基礎地盤, USACE: アメリカ陸軍工兵隊)

本研究の最終目標

矢板根入れ長が浸透流構造と地盤安定性に及ぼす影響を明らかにし、根入れ長決定の根拠を提示する。

本研究の目的

水と屈折率が等価な透明砂を用いた間隙水の流速直接計測・浸透流解析に基づき、矢板周りの浸透流れ構造を明らかとし、総浸透流量・有効応力の変化をもって水理学的・力学的根拠を示す。

透明砂による可視化実験

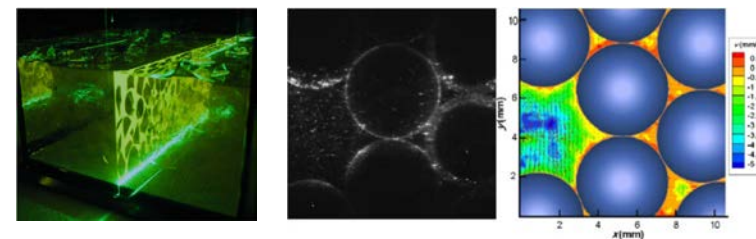
地盤内部を可視化するための技術

石英ガラス(屈折率約1.46)などの材料に、ミネラルオイルなどの屈折率を調整した溶液を飽和させ、屈折率マッチングを行うことで地盤内部の可視化が可能になる

<課題>

- 溶液は粘性のある場合が多く、以下の問題が発生する
 - 流動性の低下
 - 層流から乱流への遷移が遅れる(レイノルズ数の式)
 - 水理現象の進行が本来よりもゆっくりになり、再現性が落ちてしまう

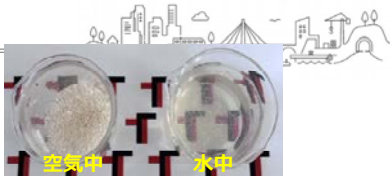
$$Re = \frac{\rho DV}{\mu}$$

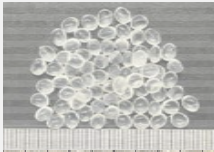
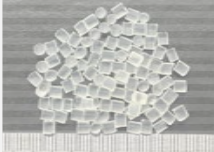


出典: Iskander, M., Bathurst, R. J., and Omidvar, M., "Past, Present, and Future of Transparent Soils," Geotechnical Testing Journal, Vol. 38, No. 5, 2015, pp. 557-573.

透明砂による可視化実験

水と屈折率が一致する透明粒子（屈折率1.33）を用いた。
NOK株式会社が開発した新素材「MEXFLON®」

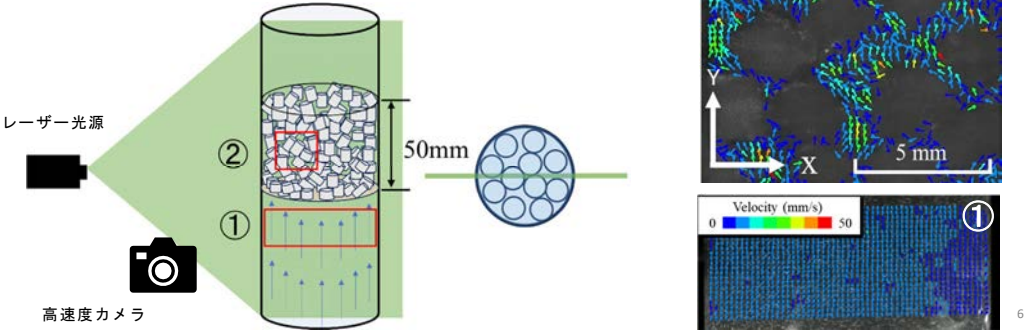


粒径形状	楕円体形	円柱形
形状特性	 長軸：4.30, 中間軸：3.32, 短軸：2.79 丸みの強い塊状体	 直径：2.89 mm, 高さ：3.17mm
最大密度	1.383 kg/m ³	1.281 kg/m ³
最小密度	1.299 kg/m ³	1.356 kg/m ³
気中安息角	32.10°	35.23°
透水係数	4.07×10 ⁻³ m/s	4.01×10 ⁻³ m/s

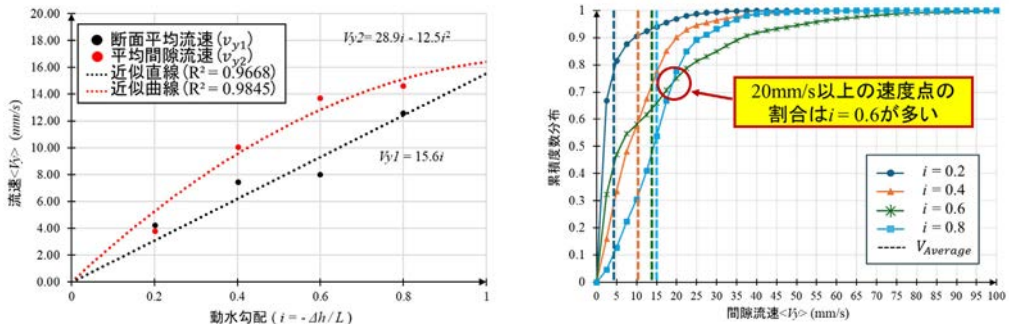
一次元浸透における間隙流れの高精度計測

実験の目的
流れ方向が明確な一次元上向き浸透場を用いて、間隙流速計測法の妥当性と基本特性を確認。
PIV解析により間隙流れの高精度計測を行い、間隙流れ構造を評価

供試体内へ流入する水の流れ場と、供試体内の観測領域での間隙内の浸透流れを高速度カメラで撮影した。



一次元浸透における間隙流れの高精度計測



一次元浸透における流速と動水勾配の関係

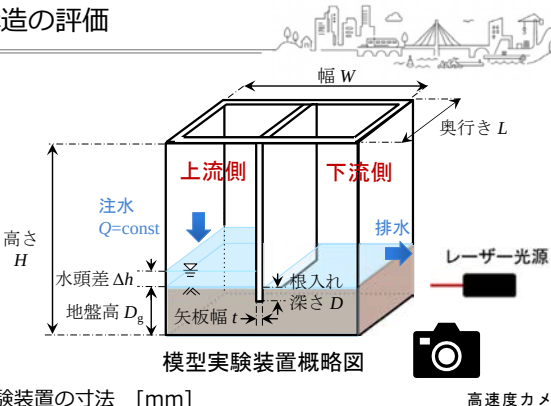
間隙流速の累積度数分布

- 動水勾配の増加に対して、間隙流速は単純な線形増加を示さず、**高動水勾配域で非線形性**が現れた。
- 全体的な傾向として動水勾配の増加とともに速い流れが空間的に増加したが、**単純に最大速度が増大するのではなく、高い勾配域における流路の再配分が発生**している可能性が示唆された。

矢板周りの浸透実験による間隙流れ構造の評価

実験の目的
一次元で確立した間隙流速計測法を、二次元的な矢板周りの浸透流れ場へ展開する。

浸透流解析を併用して矢板周りの浸透流れ構造を明らかとし、総浸透流量・有効応力の変化をもって水理学的・力学的根拠を示す。



模型実験装置の寸法 [mm]

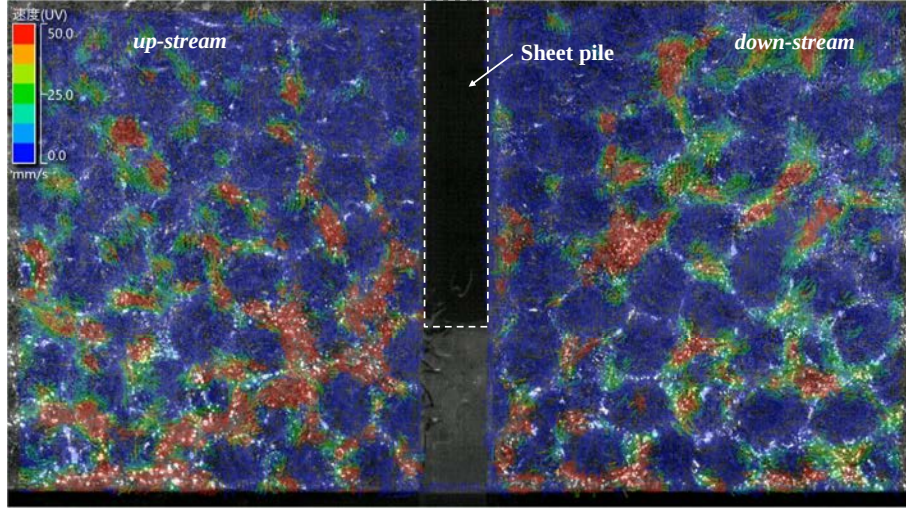
	高さ H	幅 W	奥行 L	矢板幅 t	根入れ深さ D	地盤高 D_g	水頭差 Δh
対象模型	145	150	-	3	32,24,16,8	40	-

矢板の根入れ率 (D/D_g) 地盤層厚に対する矢板の根入れ長の割合
⇒ 20, 40, 60, **80**, 90%へ変化

実験： $i = 0.5$ で定常
解析：水位上昇速度 1mm/s で非定常

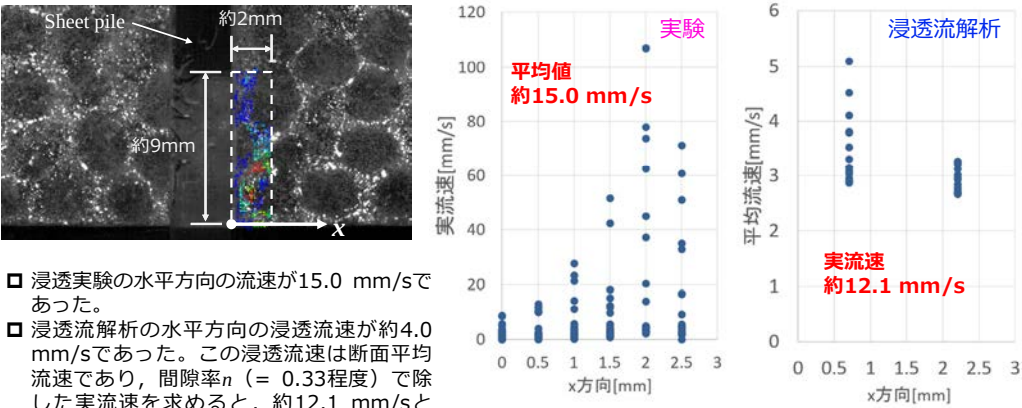
矢板周りの浸透実験による間隙流れ構造の評価

根入れ率 (D/D_g) : 80%, 動水勾配 $i = 0.5$ の定常状態



矢板周りの浸透実験による間隙流れ構造の評価

根入れ率 (D/D_g) : 80%, 動水勾配 $i = 0.5$ の定常状態

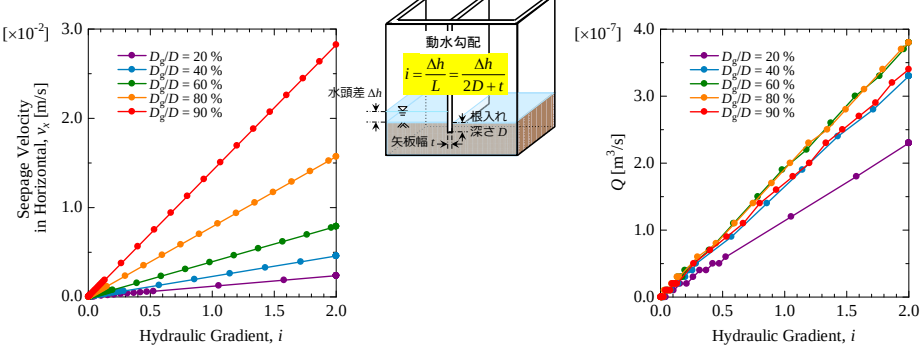


- 浸透実験の水平方向の流速が15.0 mm/sであった。
- 浸透流解析の水平方向の浸透流速が約4.0 mm/sであった。この浸透流速は断面平均流速であり、間隙率 $n (= 0.33$ 程度) で除した実流速を求めると、約12.1 mm/sとなった。
- 矢板の根入れ深さの決定に資する基礎的な実験・解析基盤を構築した。

水平方向の流速

矢板周りの浸透実験による間隙流れ構造の評価

動水勾配による流れ構造の整理



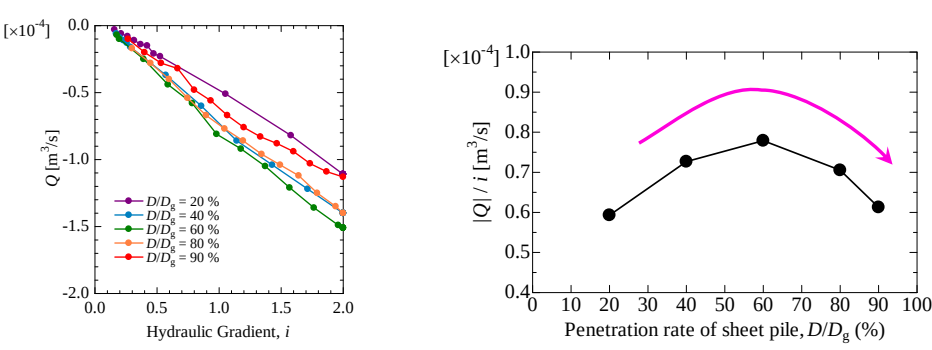
矢板下における通過流速と動水勾配の関係

矢板下における通過流量と動水勾配の関係

- 矢板の根入れ率の増加に伴って矢板下の通過断面積が縮小により、矢板先端付近の流れの集中が発生することが示唆された。

矢板周りの浸透実験による流れ構造の評価

動水勾配による流れ構造の整理



下流側の基礎地盤表面における総流量と動水勾配の関係

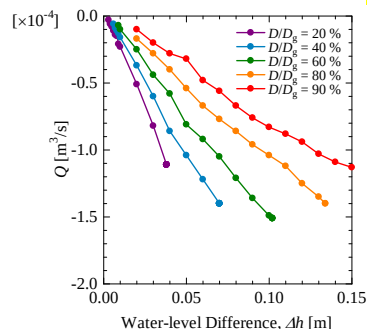
総流量と動水勾配の傾き

- 総流量 Q を動水勾配で整理すると、根入れ率に対して単調な関係を示さなかった。
- なぜ、根入れ率20%と90%は同程度に小さいのか？

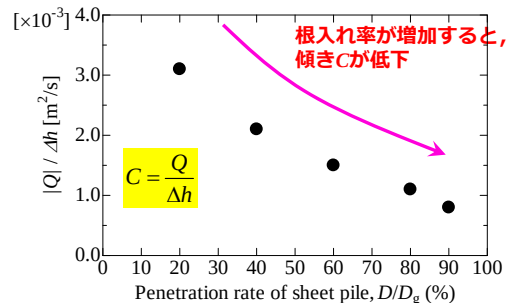


水位差による流れ構造の再整理

$$\Delta h = (2D + t) \cdot i$$



下流側の基礎地盤表面における総流量と水位差の関係



総流量と水位差の傾き

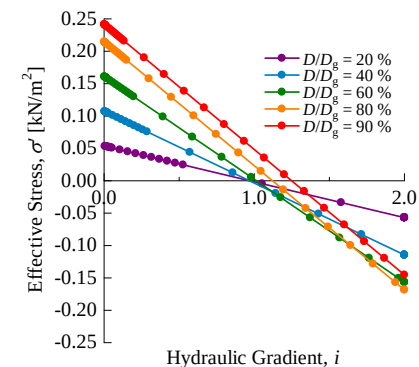
$$\frac{Q}{i} = (2D + t) \cdot C$$

- Q/i には通水性の変化に加え、浸透路長の増加効果も含まれる。
- 水位差で整理すると単位水頭当たりの流量は根入れ率の増加とともに単調に低下した。すなわち、根入れの増加に伴う地盤の通水性の低下を示すには、駆動力である**水位差（水頭差）**で整理する必要がある。

13



有効応力を用いた安定性の検討



有効応力と動水勾配の関係

- 根入れ率の増加に伴い、有効応力がゼロに達するために必要な動水勾配が増加した。特に、**根入れ率が80%以上では、浸透破壊に対する抵抗が向上**することがわかった。
- 総流量の低下は地盤の通水性を示す一方、浸透破壊は動水勾配と有効応力の関係から評価できるため、両者を区別して評価する必要がある。

14

結言



間隙スケールの流れ

間隙流速の直接計測手法を構築した。一次元上向き浸透では、動水勾配の増加に伴って高速流路の空間的な再配分が生じる可能性を確認した。

矢板周りの流れ構造

根入れ率の増加に伴って矢板先端近傍へ浸透流が集中し、矢板下の局所流速が増加することを実験・解析の両面から確認した。

根入れによる遮水効果

下流への総流量 Q を水位差（水頭差）で整理した結果、単位水頭当たりの流量（ $Q/\Delta h$ ）は根入れ率の増加とともに単調に低下した。これにより、矢板に伴う地盤の透水性（通水性）が低下することを示すとともに、流れの局所化や再分配をもたらす可能性が示された。

地盤の安定性

根入れ率の増加に伴い、有効応力がゼロに達するために必要な動水勾配が増加した。特に、根入れ率が80%以上では、浸透破壊に対する抵抗が向上することがわかった。

矢板根入れ効果の評価には、総流量の低減のみならず、**矢板先端近傍に形成される局所的な浸透流構造と有効応力変化を併せて評価**することが重要である。

15