

高速な開水路流れに伴う地盤内浸透流の流入・排水が洗掘にもたらす影響

名古屋工業大学 学 ○丹羽 俊介 正 前田 健一
学 鈴木 悠真 学 安江 絵翔

1. はじめに

津波等の高速流体が地盤に作用すると地盤内部で浸透流が生じる。既往の研究により、地表面の起伏内では上流側法面から浸透して流入し、下流側法面から排出することが確認された(図-1)。浸透流の排出は表層土粒子に浮遊作用を及ぼし、洗掘現象を助長する危険性がある。そこで、排出の根本的な要因となる浸透流の発生条件について明確に整理することとした。現段階で発生因子として予想されるのは 1. 水面水位分布(水位差)に伴うエネルギー差, 2. 地盤表面近傍を流れる高速流体が粘性により地盤表層の間隙水に及ぼすせん断力, 3. 土粒子や地盤表面の起伏に作用する流体の慣性力(遠心力), 4. 地盤表面近傍を流れる流体の空間的な水圧変化等が挙げられる。4 に関しては、既往の研究により、流体が地盤表面の起伏から受ける抵抗に伴って変動した地盤極表層のピエゾ水頭分布(これがエネルギー差となる)により、浸透流が誘発されることを明らかにした。そこで本論文では、1~3 の発生因子について検討し、地盤内浸透流の発生機構を総括的、可視的に把握するという目的のもと、単純化した水平地盤や模擬地盤に水面波のない高速な開水路流

れを作用させる、水理模型実験及び解析を実施した。

2. 実験概要

実験は長さ 2.0m×幅 0.3m×高さ 0.3m の開水路を用いた。長さ方向に上流から 1.0m を起点として土槽を設け、ポンプで水を循環させることで連続的に高速流体を作用した。比較を行うため、必要に応じて土槽に設置する材料等を変えることで3 ケース行った(表-1)。

3. 実験・解析結果と考察

3.1. 高速流体作用時に飽和地盤内部で生じる浸透流

初めに、単純化された地盤・水理条件における浸透挙動を把握するため、飽和水平地盤に対して水面波のない着色流体を高速で作用させた(ケース 1, 図-2)。なお、着色には非常に希薄なインクを用いており、粘性・比重共に殆ど純水と同等であることを確認している。結果、洗掘等の地盤変状はなく、流体作用の直後から間隙水が上流側から徐々に着色された。また、土槽中央を約 1.17mm/s で進行する浸透流が観察された。

3.2. 水面水位分布(水位差)に伴うエネルギー差

図-2 で観察された浸透流の発生要因について検討する。まずは、既往の研究においてよく指摘される水面水位分布に伴うエネルギー差の影響を定量的に評価するため、浸透流解析を実施した。実験条件と同様の寸法、物性値でモデルを作成し、土槽区間の飽和浸透流を対象として定常解析を有限要素法で行った。境界条件は、実験において観察された水面水位を入力し、流体の流れは考慮せず静水圧状態を仮定した。解析結果(図-3)より、浸透流は土槽の上下流の境界から流入・

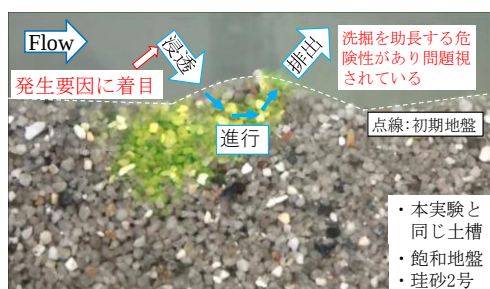


図-1 表面地盤の起伏の浸透現象

表-1 検討ケース

ケース	土槽区間	透水係数 k (m/s)	平均粒径 d (mm)	相対密度 D_r (%)	実験前水位 H (mm)	実験中水位 H' (mm)	平均断面流速 v (m/s)
1	地盤(珪砂2号)	2.20×10^{-2}	3.27	40	0	約30	0.31
2	水	-	-	-	30	約80	0.12
3	模擬地盤(アルミナボール)	-	30.00	-	50	約90	0.10

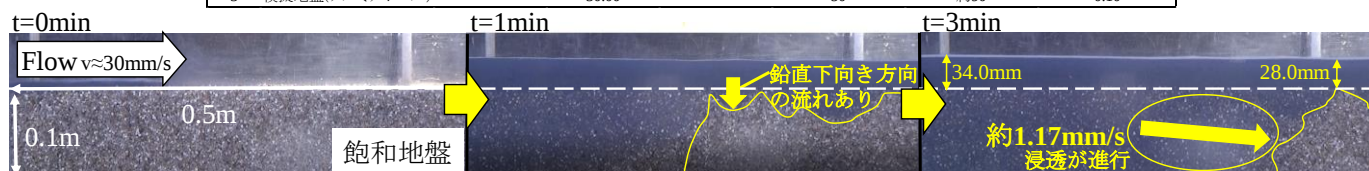


図-2 飽和地盤内部を進行する浸透流の可視化 (黄線: 浸透流の進行境界 白線: 地盤表面)

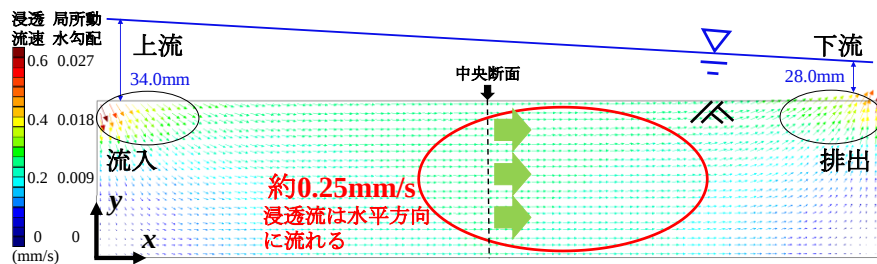


図-3 水面水位分布を入力した浸透流解析の結果 (流線ベクトル)

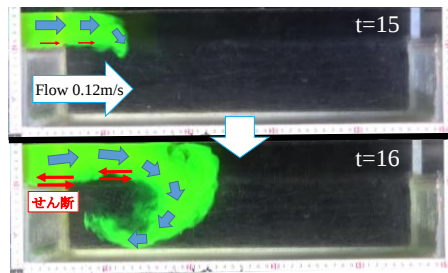


図-4 地盤がない場合の着色流体の作用

排出し、土槽中央断面においては約 0.25mm/s で水平方向に流れる浸透が生じる結果となった。この結果を実験で得た浸透速度 1.17mm/s と比較すると、約 80%遅く、また実験では鉛直方向に流れる浸透も観察されたため、挙動に相違がある。よって、水位分布以外の要因によって浸透流が生じることが定量的に示された。

3.3. 粘性により地盤表層の間隙水に及ぼすせん断力

浸透流の発生因子として、地表面を流れる高速流体と、地盤表層の静止あるいは低速の間隙水との境界においてせん断が作用し、系全体として均一の流速分布に向かう現象（粘性）が考えられる。そこで、粘性の影響を受ける流体の挙動について可視化を行った。土槽に地盤がない場合と極端に大きな土粒子径を有す模擬地盤の場合において、着色流体を作用させた（ケース 2, 3）。結果、ケース 2（図-4）においては、静止していた土槽内の流体に対して高速流体が作用することでせん断が働き、渦を成しつつ土槽深さ 90mm まで流体が移動した。またケース 3（図-5）では、着色水が表面地盤の間隙において微細な渦を成し、地盤内に流入する様子が観察された。よって、この両ケースは粘性により渦を巻きながら地盤内部に流体が移動したと考えられるため、実地盤の土粒子間隙においても同様の影響を受けて浸透流が地盤内に流入すると考えられる。

3.4. 表面土粒子の凹凸に作用する流体の慣性力

高速で流れてきた流体が表面土粒子を避けようと放射状に移動する現象（慣性力）についても、浸透流の発生要因として予想される。ケース 3（図-6）において、土粒子が周囲よりも 10mm ほど高く積まれた箇所において、周辺の土粒子間隙よりも鉛直下向きに先行して進む浸透フロントが観察された。このことから、

3.2. で行った実験（図-2）において観察された鉛直下向きに流れる浸透流について考察すると、慣性力の連続的な作用により、水面水位分布という因子に上乗せする形で浸透流が誘発されたと推察される。したがっ

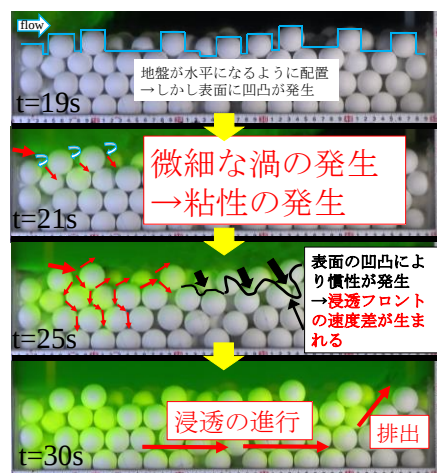


図-5 模擬地盤の場合の着色流体の作用

て、3.3. と 3.4. の結果より、粘性と慣性により地盤内への浸透流の流入が助長され、地盤表層において浸透流をより多く排出すると考えられる（参考：図-5）。

4. 結言

地盤内で生じる浸透流の発生機構を総括的、可視的に把握するという目的で、基本的な水理模型実験及び浸透流解析を実施した結果、以下の知見が得られた。

- 1) 流体の水位分布（水位差）に起因して地盤内で浸透流が生じる。しかし実際の浸透挙動においては、この要因以外の因子の影響により、さらに速い浸透速度や異なる進行方向をもった挙動となる。
- 2) 地盤表面近傍を流れる高速流体と、地盤表層の静止あるいは低速の間隙水との境界において、粘性によるせん断作用が働く。また、慣性力の持つ流体が表面土粒子を避けるように放射的に移動する。その結果、地盤内の浸透流を誘発し、同時に排出することが可視的に明らかとなった。

以上の因子により浸透流が複雑に発生することで地盤表層にて流入と排出が生じ、洗掘現象等を助長する危険性があると考えられる。

・参考文献

- 1) 安江絵翔ら，土木工学会論文集 B2（海岸工学），Vol.75, No.2, pp.I_709-I_714, 2019.