

## 水平流体の作用時に防護工下で生じる地盤内浸透流が洗掘に及ぼす影響

名古屋工業大学 学 〇丹羽 俊介 正 前田 健一  
学 鈴木 悠真 学 安江 絵翔  
鉄道総合技術研究所 正 渡邊 諭 正 内藤 直人

## 1. はじめに

近年、激甚化する台風、豪雨の外力に起因して河川の橋脚周りにおける洗掘災害が頻発している。橋脚周辺においては洗掘対策のための施策として防護工が設置されている。しかし、防護工の変状プロセスはよく分かっていない。そのため、防護工の性能について定量的に示されていないことから、防護工の性能の詳細化が必要である。既往の研究では、洪水流のような高速な開水路流れが作用すると地盤内で浸透流が生じることが分かっており、掃流力だけでなく地盤内部の観点から洗掘現象を捉える必要がある。本研究では、地盤に設置した防護工模型に対し、洪水流を模した高速開水路流れを作用させる実験を行い、防護工周りで生じる洗掘現象に対して浸透流といった地盤内部の因子に着目して考察を行った。

## 2. 実験条件

図-1 に示す開水路模型を用いた。水路内の土槽区間に豊浦砂（平均粒径： $D_{50}=0.174\text{mm}$ ）を  $Dr=40\%$ （透水係数： $k=1.81\times 10^{-4}\text{m/s}$ ）で水中落下法で設置した。地盤表面に被覆した防護工模型を図-2 に示す。設置方法に関しては、地盤深さ 8cm まで地盤を詰め、防護工を設置した後にさらに 2cm 地盤を詰めることで被覆した。洪水流はポンプで定常の循環流を発生させることで再現した。流量は  $Q=0.12\text{m}^3/\text{s}$  で、堰を用いて平均断面流速を 30 分ごとに 3

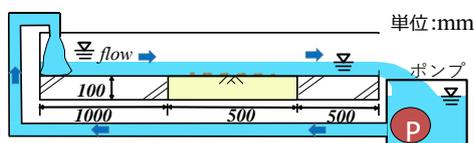


図-1 実験装置概略図



図-2 土槽（上部から撮影）

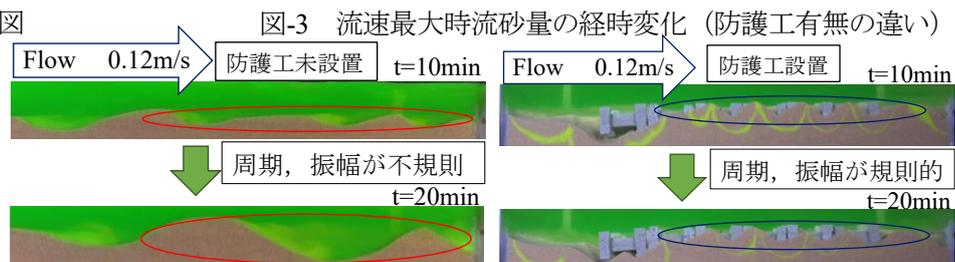


図-4 流速最大時洗掘現象の様子（左：防護工なし 右：防護工あり）

段階で変化させた（約  $0.08\text{m/s}\rightarrow 0.10\text{m/s}\rightarrow 0.17\text{m/s}$ ）。地盤内浸透を可視的に追跡するために、あらかじめ地盤表層 1cm 分の間隙水を着色した。

## 3. 実験結果と考察

## 3.1. 防護工の設置有無による洗掘現象の違い

流速  $0.08\text{m/s}$ ,  $0.10\text{m/s}$  では、地盤変状は観察されたが流砂量は極小だったため評価を割愛する。図-3 は最大流速（約  $0.17\text{m/s}$ ）設定後に各 10 分ごとに開水路の端部で流砂量を計測した結果である。この結果、開始 10 分では、防護工を設置しない場合の流砂量が多かった。しかし、最大流速設定後 18 分以降では防護工を設置した場合の流砂量が防護工を設置していない場合の流砂量を越した。よって、防護工は、一定時間までしか機能を発揮しないものと考えられる。この結果について実験中の様子から考察した。平均断面流速最大（約  $0.17\text{m/s}$ ）において防護工を設置しなかった場合の実験結果を図-4（左）に示す。地盤表面の変化に着目すると、地盤表面に外力がかかると土槽全体で砂澁の周期や振幅が不規則に発生した。一

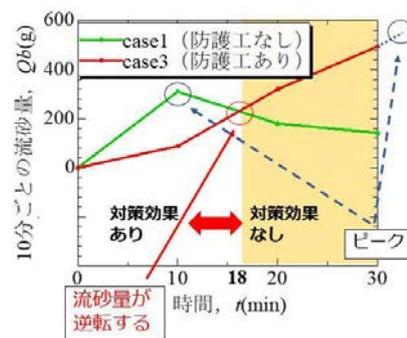


図-3 流速最大時流砂量の経時変化（防護工有無の違い）

キーワード 洪水, 防護工, 渦流, 浸透流, 洗掘

連絡先 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学 16 号館 227 号室 TEL052-735-5497

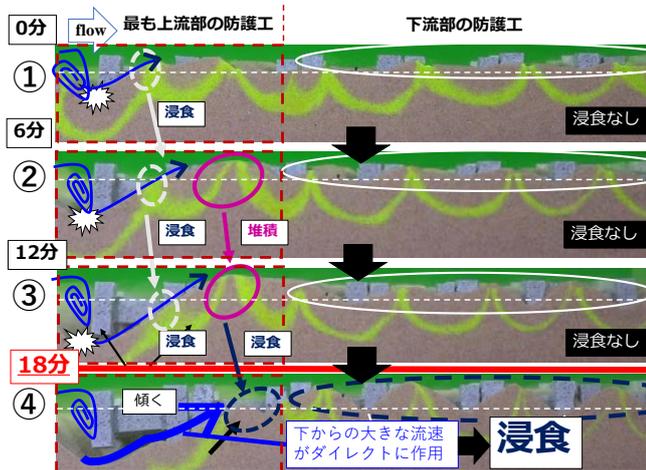


図-5 渦流による地盤の浸食の様子（最大流速設定時から6分ごとに現象を切り取った）

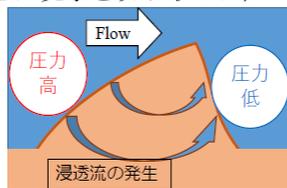


図-6 地盤内浸透流の発生要因

方、防護工の設置した場合（図-4（右））、砂漣（便宜上ここでは砂漣と呼称する）の周期、振幅が規則的に発生した。また、最上流部の防護工と下流部の防護工で地盤の浸食の様子に違いが見られた。

### 3.2. 渦流が洗掘に及ぼす影響（防護工有）

図-5は、最大断面平均流速（約0.17 m/s）設定直後から防護工の機能を失う18分までの防護工周りにおける様子のフローである。流速設定直後、上流部の防護工では、脚部において渦を巻いた流れが発生し、浸食が進展した。一方、下流部においては、外力の作用が最上流部の防護工により抑えられているため浸食が進展しなかった。時間が経過すると、最上流部の防護工の脚部において浸食が徐々に進展する。また、背部では浸食と堆積が進展した。背部における砂の堆積により外力が抑えられ下流側の防護工には浸食が大きく進展しなかった。しかし、18分を迎えると最上流部の防護工が傾き機能しなくなる。傾いた結果、渦に起因して発生していた防護工脚下からの流速が速くなり後方の砂が堆積していたところを勢いよく浸食が進展した。結果、下流部の防護工に大きな影響を及ぼし浸食され始める現象が見られた。

### 3.3. 地盤内浸透流が洗掘に及ぼす影響（防護工有）

最後に地盤内浸透流による影響を考察した。図-6に地盤内浸透流の模式図を示した。既往の研究<sup>9)</sup>により表面地盤に発生する起伏において、上流部と下流部による圧

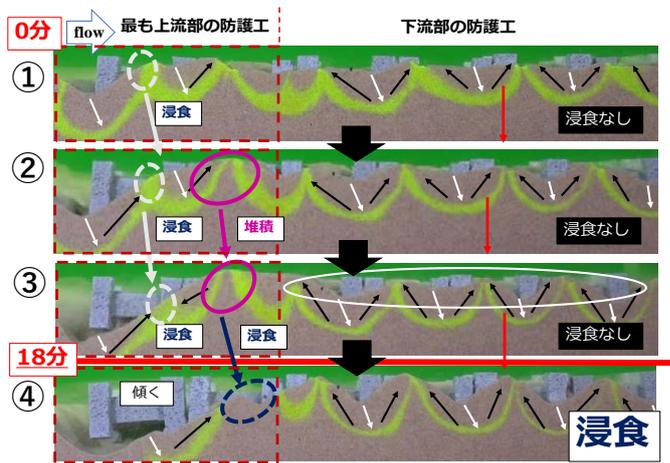


図-7 防護工周りでの地盤内浸透流の様子（最大流速設定時から6分ごとに現象を切り取った）

力差が発生することが分かっている。その結果、地盤内において円弧状の浸透流が発生する。浸透流が発生することにより浸透流の排出口では、土粒子の有効応力を減少させる。結果、地盤内浸透流により地盤の浸食が助長されていると思われる。図-7は、防護工を設置した場合の地盤内浸透流の様子を切り取ったものである。この図からもわかる通り、地盤表面において浸食部から浸透流が流入し、流下方向に対し防護工の背部に堆積した頂部から排出している。最上流部の防護工下では、脚部において浸透流の排出口が発生することで洗掘現象が助長され、防護工の転倒が起こったと考えられる。また、最大流速設定後18分後、下流部の防護工の浸透流の排出口では外力の影響が大きくなり、浸食の進展速度が速くなった。

## 4. まとめ

開水路実験の結果、現状の洗掘防護工は、比較的短い継続時間（本実験結果では18分以下）の洪水時では防護工の変状が少ないため、洗掘量抑制効果が認められる。しかし、長い継続時間の洪水時には、防護工群の最も上流側の周辺地盤において、地盤内浸透流による表面粒子の有効応力低下及び渦流の二つに起因する多量の流砂が生じる。このことより、弱部になる可能性があり、その発生条件や対策などについて今後検討が必要である。また、維持管理の観点では、通常全般検査や随時検査などにおいて防護工に変状がないことを確認することが大切と考える。今後は、浸透流による洗掘現象に着目し平均断面流速を変化させた実験を試みる。

## 参考文献

- 1) 安江絵翔ら、土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.75, No.2, pp.I\_709-I\_714, 2019.