

## 河川堤防の基礎地盤漏水被災に及ぼす堤外側の流入境界の影響

名古屋工業大学  
名古屋工業大学

学生会員 ○伊神 友裕 正会員 前田 健一  
学生会員 高辻 理人 学生会員 牧 洋平

## 1. はじめに

河川堤防において、基礎地盤が透水層の上に低透水層が被覆した複層構造の場合など、パイピングの危険性が高い堤内側の基礎地盤特性については定性的に明らかにされてきた<sup>1)</sup>。また、地盤工学では堤体土の特性の把握に注力されてきたが、堤外側の流入境界特性については見逃されてきた。今後は、堤外側の基礎地盤特性についても考察を行い、浸透破壊の弱点箇所をさらに精度よく抽出する必要がある。そこで、本稿では表法尻から堤外側端部までの距離（以後、堤外距離 $L_a$ とする）を変化させた模型実験を行い、堤外側の基礎地盤距離が河川堤防の安定性にどのような影響を及ぼすのか、堤内地基礎地盤内の圧力や漏水流量に着目して考察を行った。

## 2. 実験概要

図-1 に実験模型概略図を示す。基礎地盤は水中落下法で堆積させ、上層は珪砂7号、下層は珪砂2号を使用し、相対密度が70%程度になるように締め固めた。堤体には藤森粘土を使用し、含水比20%程度で作成した。実験に用いた材料の透水係数は珪砂7号 $k_u=1.40 \times 10^{-4}(\text{m/s})$ 、珪砂2号 $k_l=1.80 \times 10^{-2}(\text{m/s})$ 、藤森粘土 $k_c=3.00 \times 10^{-8}(\text{m/s})$ である。実験に用いた各材料の粒度分布は図-2 に示す。表-1 に実験ケースの一覧を示す。図-3 に水位条件を示す。また、今回の実験では、パイピングおよび法すべり等により堤体が破堤した場合、もしくは実験時間が $t=133\text{min}$  ( $i=0.40$ :  $i$ は堤外側の水位高さを堤体敷幅で除した平均動水勾配を表す) を経過した時点で破堤に至らなかった場合、実験終了とした。実験中は、裏法尻直下の基礎地盤の境界層における過剰間隙水圧(図-1; 水圧計設置箇所)および堤内側の漏水流量を計測した。ただし、噴砂が発生すると漏水流量が急増し、また堤内側に伝播していた水圧が瞬時に消散され、水圧が低下し比較が困難であるため、噴砂発生前(基礎地盤に変状が見られない状態)における圧力および漏水流量について検討を行った。また、実験

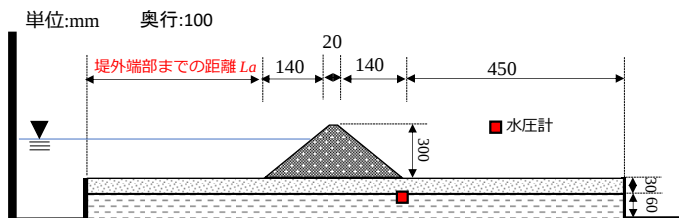


図-1 実験模型概略図

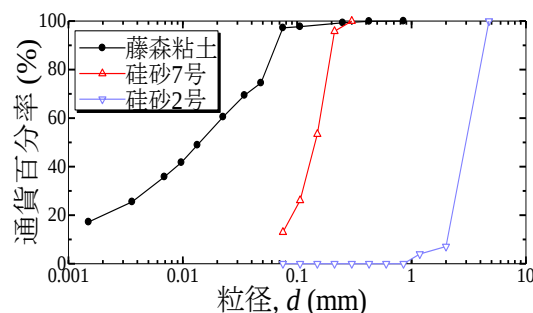


図-2 実験に用いた試料の粒度分布

表-1 実験ケース一覧

| case名 | 堤外端部までの距離 $L_a(\text{mm})$ | 噴砂発生時間  | 噴砂発生時の平均動水勾配 $i$ |
|-------|----------------------------|---------|------------------|
| case1 | 90                         | 発生せず    | ×                |
| case2 | 450                        | 0:57:00 | 0.20             |
| case3 | 900                        | 0:46:30 | 0.17             |

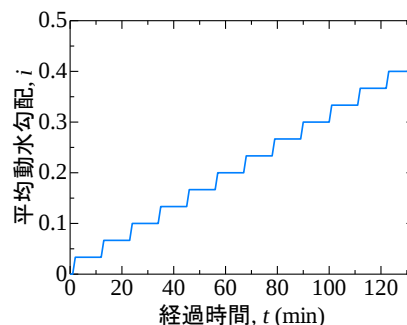
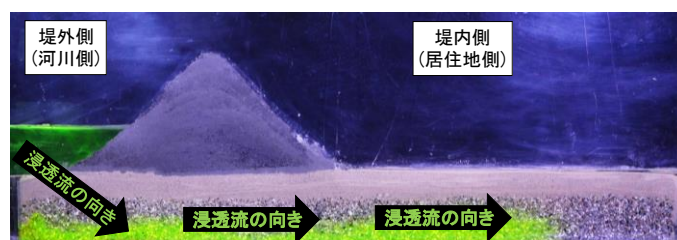


図-3 平均動水勾配の経時変化

図-4 実験時の様子 (case1  $L_a=90\text{mm}$ )

中は地盤内を移動する浸透流を可視化するため、ウランで黄色く着色した液体を注射器を用いて適宜堤外側境界層から注入した(図-4 参照)。

### 3. 実験結果

#### 3.1. 堤外端部までの距離と間隙水圧の関係

図-5 に実験時の裏法尻直下の境界層 (図-1 ; 水圧計設置箇所) における過剰間隙水圧計の結果を示す。図-5 から, 同一外力条件下における case1( $L_a=90\text{mm}$ ) の間隙水圧の値は case2( $L_a=450\text{mm}$ ) および case3( $L_a=900\text{mm}$ ) の同値に比べて, 50%程度となっている。これは, 流入面積が極端に小さいと, 外力の大きさに対して堤内側に伝播する圧力が減少するという解析の結果と整合が取れる<sup>2)</sup>。したがって, 実務において安全照査等を実施する際には堤外距離  $L_a$  についても基準を設定しないと, 正確な圧力を求めることができず, 堤内側に伝播する圧力を過小評価してしまう危険性がある。

また, case2( $L_a=450\text{mm}$ ) と case3( $L_a=900\text{mm}$ ) を比較すると, 水圧計がほぼ同じ値をとっていることが確認できる。このことから, 一定の堤外距離  $L_a$  を設ければ, 堤内側に伝播する圧力の値が堤外距離  $L_a$  の大きさの違いによる影響を受けないといえる。今後は圧力の値が堤外距離  $L_a$  の大きさに依存しない条件, すなわち堤外距離  $L_a$  の閾値を検討するために実験ケースを増やして考察を深める必要がある。

#### 3.2. 堤外端部までの距離と漏水流量の関係

図-6 に実験時の漏水流量の結果を示す。図-6 より平均動水勾配の上昇に伴い, 漏水流量も増加している様子が確認できる。また, 噴砂発生前までの各ケースを比較すると, 堤外距離  $L_a$  が大きくなるほど, 漏水流量も増加している。これは堤外距離  $L_a$  が大きくなるほど, 堤外側の流入面積が大きくなることにより, 堤外側からの流入量が増加するためだと考える。また, 全ケースの噴砂発生前である,  $t=45\text{min} \sim 46\text{min}(i=0.13)$  における単位時間あたりの漏水流量について, case1( $L_a=90\text{mm}$ ) を基準にして比較したところ, case2( $L_a=450\text{mm}$ ) では case1( $L_a=90\text{mm}$ ) の約 2 倍, case3( $L_a=900\text{mm}$ ) では case1( $L_a=90\text{mm}$ ) の約 3.5 倍となっていた。このことから, 堤外距離  $L_a$  が大きくなるほど漏水流量の増加率は減少し, 漏水流量が収束する傾向が確認できた。これは, 堤外側から堤内側に向かって基礎地盤を通過する浸透流量は, 堤防横断方向の基礎地盤の断面積や透水係数が支配的となるため, 浸透流量に限界があり, 漏水流量が収束

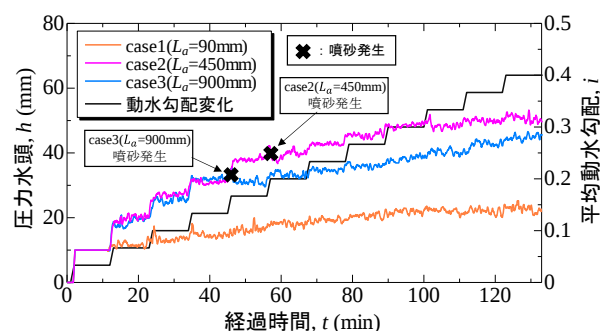


図-5 実験時の間隙水圧

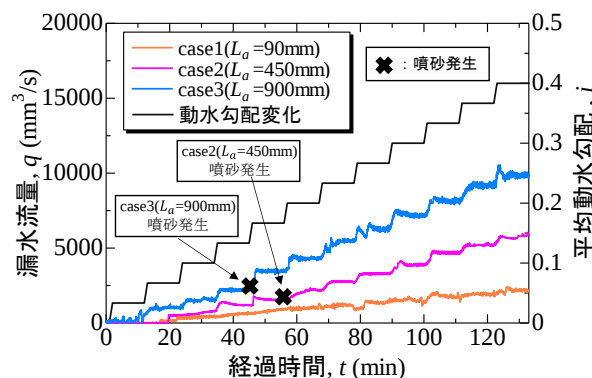


図-6 堤内側での漏水流量

傾向を示したと考えられる。

### 4. まとめ

今回の実験結果から得られた知見を以下に示す。

- (1) 堤外距離  $L_a$  が極端に小さいと, 外力の大きさに対して堤内側に伝播する圧力が減少するため, 堤内側に伝播する圧力の値を過小評価してしまう恐れがある。
- (2) 一定の堤外距離  $L_a$  を設ければ, 堤内側に伝播する圧力の値が堤外距離  $L_a$  の大きさの違いによる影響を受けないと考えられる。
- (3) 堤外距離  $L_a$  が大きくなれば, 堤内側における漏水流量の増加率は減少し, 収束傾向を示す。

### 5. 参考文献

- 1) 西村征哉, 前田健一, 高辻理人, 牧洋平, 泉典洋: 実堤防の調査結果に基づいた河川堤防のパイピング危険度の力学的フローの提案, 河川技術論文集第 25 巻, pp.499-504, 2019.
- 2) 高辻理人, 前田健一, 牧洋平, 伊神友裕, 泉典洋: 堤外側の基礎地盤特性が河川堤防の安全性に及ぼす影響, 第 7 回河川堤防技術シンポジウム論文集, pp.9-12, 2019.