

## 高水作用を受ける河川堤防の裏法崩壊メカニズム

愛媛大学大学院 学生会員 笠谷 亮太  
愛媛大学大学院 正会員 岡村 未対

### 1. はじめに

近年、集中豪雨による高水で河川堤防が破壊する事例が多く報告されている。最大の破壊原因は越流と言われているものの、水位上昇に伴う裏法面のすべり破壊も重要な問題となっている。そこで本研究では均質な砂質土堤防に対し繰返し高水作用させ、裏法面の変状の進行メカニズムを遠心模型実験により調べた。

### 2. 実験概要

本研究では、図 1 に示す不透水性の基礎地盤上の均一な砂質堤防の模型を豊浦標準砂を用いて作製し、25g の遠心加速度場にて高水を模した外水位を与え、堤体の崩壊挙動を観察した。

実験模型は次のように作製した。はじめに、表面に豊浦砂を接着し粗な状態としたアクリル板を土槽内に設置し、その上に堤体模型を設置した。堤体は含水比を 14% に調整した豊浦砂を 3 層に分けて締固め、高さ 10cm の水平地盤を作成後、所定の形状に削り整形した。土槽は給水タンクと電磁弁、小型ポンプを接続し、土槽から排水された水を繰返し給水に使用できる構造とした。また、外水位と堤内水位を測定するための小型間隙水圧計を設置した。図 1 に作用させた外水位の時刻歴を示す。原型スケールでおよそ 12 時間の高水位をほぼ一定に保ち、その後は水の供給を停止し、堤体内の水位が低下しきって安定するのを待ってから次の高水を開始した。実験条件を表 1 に示す。Case0 では相対密度 90%、ドレーンなしの堤体、Case1、2 ではそれぞれ相対密度が 90%、50% で法尻にドレーンがある堤体の実験を行った。ドレーンは珪砂 4 号を締め固めて作成した。

### 3. 実験結果

これ以降では実験結果を全て原型スケールで示す。図 2 は高水作用時における  $Dr=90\%$  の密な堤体の崩壊状況を示したものである。1 回目の高水で浸潤線が法面に達した時、達した箇所から崩壊が始まり、崩壊面は浸潤線に沿いながら法面の上方に向かって進展し、崩壊した部分の砂は法尻付近に堆積した。このことは相対密度や法面勾配、ドレーンの有無に関わらず全ての実験ケースにおいても同様に観測された。今回の実験条件における滑り破壊は、円弧状のすべり面上の砂が一体となって変形するのではなく、法面表面の砂が少しずつ段階的に崩落することが確認された。図 2 には法尻にドレーンがあるケースと無いケースを示してある。ドレーンの有無による違いは、崩壊した土砂が堆積した法尻付近の形状に見られる。すなわち、ドレーンが無い場合には堆積土砂の表面はほぼ一定の緩やかな勾配となっているが、ドレーンがある場合には急勾配となっている。これはドレーンによってこの部分の水位が低下し、不飽和状態となっていたためであることが浸潤線の位置から確認できた。

図 3 は  $Dr=50\%$  の緩い堤体の崩壊例を示す。崩壊の進展は、密な堤体と同様に 1 回目浸水時に浸潤線が法面に達した箇所から始まり、崩壊面は浸潤線に沿いながら天端に向かって進展し、崩壊砂は崩壊開始地点から法尻側に堆積した。法面勾配が 1:2 の Case2-2 では崩壊砂がドレーン上に堆積したが法尻まで覆い尽くすことはなく、ドレーンが実験終了時まで機能していたため法尻部に堆積した砂は急な勾配を保った。しかしながら Case2-3 では、2 回目の高水の途中で崩壊砂がドレーン全体を覆い尽くしドレーン機能が失われ、法尻の浸潤面が上昇し、急勾配で堆積していた部分が崩壊した。

浸水実験後の崩壊部（法尻の急勾配部を除く）の表面角度からこれに対応する稼働摩擦角を無限斜面の条件を仮定して求め図 4 に示す。飽和領域部の稼働摩擦角は約  $30^\circ$  から  $45^\circ$  の間にある。 $Dr=90\%$  のケースの稼働摩擦角は図中に示した豊浦砂の安息角と同等かそれ以上となっており、一方  $Dr=50\%$  のケースでは同等かそれ以下となっている  $Dr=90\%$  のケースでは、せん断変形に伴い負の過剰間隙水圧が発生するため崩壊の進展が遅く、繰返し高水回数が増加するとともに表面角度（稼働摩擦角）が低下し安息角に近づいたものと考えられる（図 5 参照）。一方  $Dr=50\%$  のケースで、特に 2

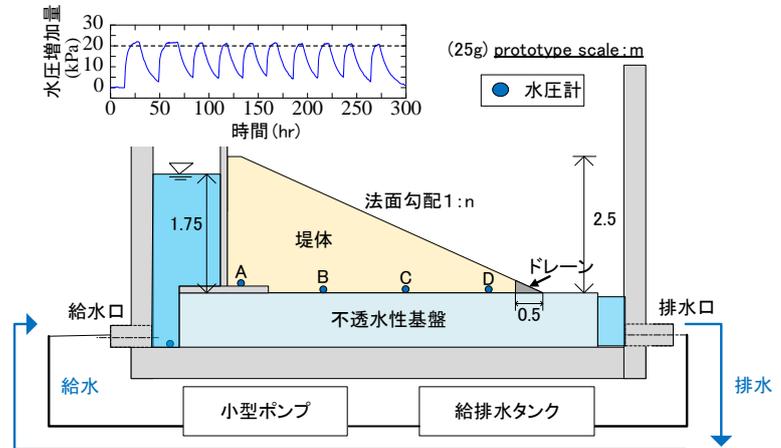


図 1 模型概要図

表 1 実験条件

実験ケース	相対密度	法面勾配 (1:n)
Case0(ドレーン:無)	90%	1.7, 2.0
Case1(ドレーン:有)	90%	1.7, 2.0, 2.2
Case2(ドレーン:有)	50%	1.7, 2.0, 2.5

回目の高水でドレーンの機能が失われて崩壊が急激に進行した Case2-1 と 2-3 では、1 回目の高水中は安息角程度となっているが 2 回目以降では過剰崩壊土中に間隙水圧が発生したために安息角よりも小さな稼働摩擦角しか発現出来なかったと考えられる。図 6 は平均崩壊速度（崩壊土量を高水時間で除したもの）と稼働摩擦角の関係を示したものである。稼働摩擦角は、崩壊速度が大きくなるほど小さくなっており、崩壊時の排水性が表面角度に及ぼす影響が表れている。

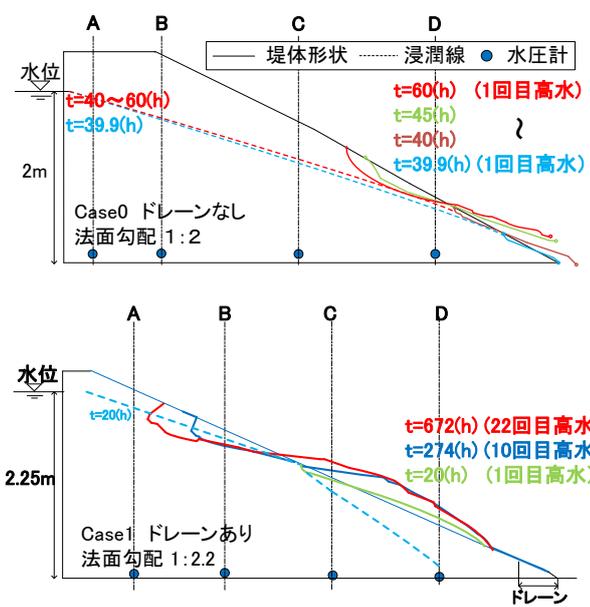


図 2 密な堤体の崩壊進展図

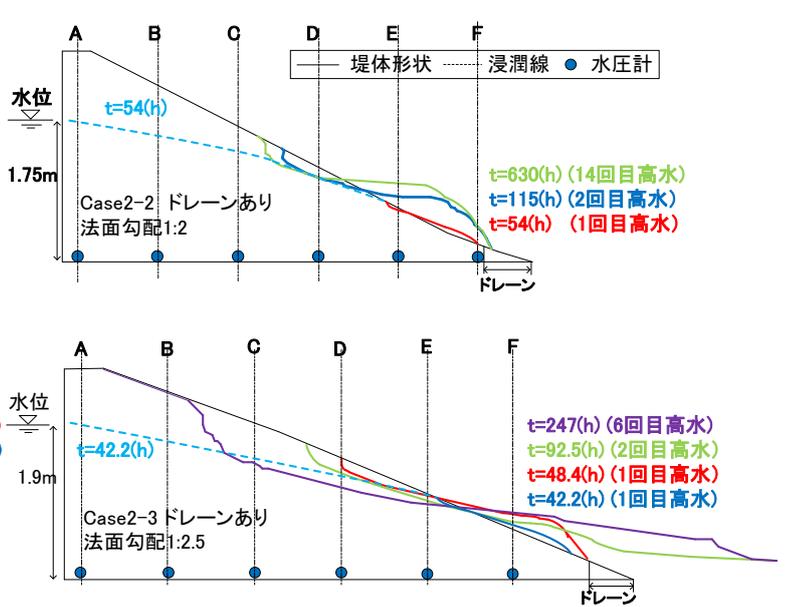


図 3 緩い堤体の崩壊進展図

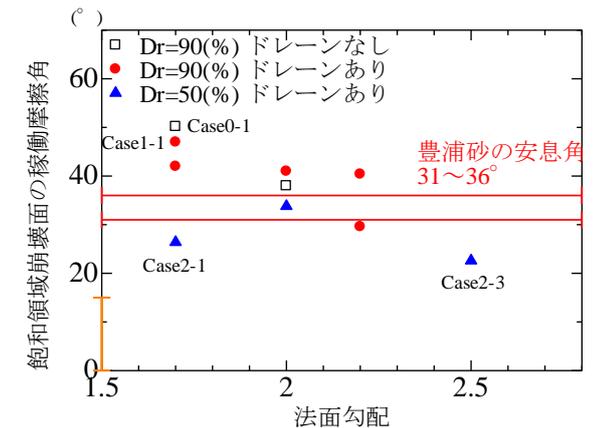


図 4 飽和部稼働摩擦角と法面勾配の関係

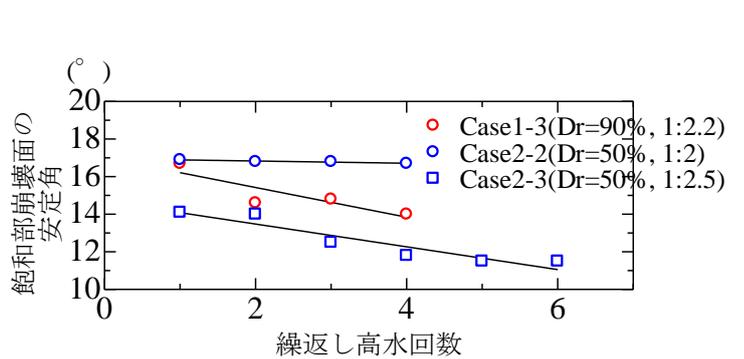


図 5 飽和部崩壊面の安定角（高水終了時）と繰返し高水回数との関係

4. 崩壊メカニズムのモデル化とまとめ

本研究では、相対密度、法面勾配を変化させた均質な砂質土堤防に対し、遠心場で繰返し高水を作用させ、裏法面の変状の進行メカニズムを調べた。その結果、法面の崩壊は 1 回目浸水時に浸潤線が法面に達した地点から始まり、崩壊面は浸潤線に沿いながら天端に向かって進展する。そして、崩壊部の形状は密な堤体土や緩い堤体土であっても排水性の良い条件の場合には、安息角にほぼ等しい稼働摩擦角となる斜面角度（およそ 17° 程度）で安定することが分かった。そのような場合の崩壊領域の形状をモデル化すると図 7 のように示すことが出来、これを用いれば崩壊領域の範囲を予測することが出来る。堤防の裏法面の安定性については、本来の堤防の機能からすると滑り破壊を生じることが問題ではなく、止水機能に支障を及ぼすような大崩壊が生じるかが問題であり、そのためにはこのような崩壊域の大きさの予測法を検討することは重要であると考えられる。

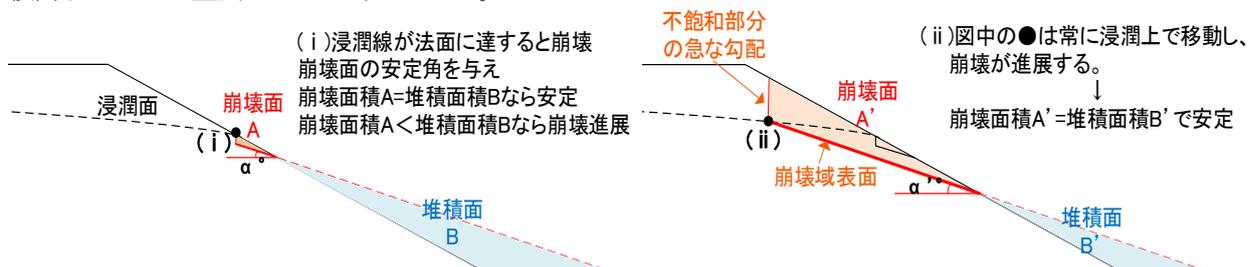


図 6 裏法面の崩壊メカニズム