

砂質土からなる河川堤防の決壊プロセスに関する水路実験

早稲田大学理工学術院	正会員	関根 正人
早稲田大学大学院	学生員	○ 鈴木 昌宏
早稲田大学大学院	学生員	佐野 正太
早稲田大学大学院	学生員	堀江 翼

1. はじめに

我が国の都市は基本的には沖積平野上にあるため、我々の生活は堤防により洪水から守られている。ところが、近年の地球規模での気候変動により豪雨の極端化が進み、計画上の想定を上回る豪雨による洪水に襲われる危険が高まっている。こうした中、昨年9月には鬼怒川の堤防が決壊し、大規模な浸水被害が発生することになった。河川堤防の決壊に関する知見の集積は喫緊の課題であると言える。この決壊のメカニズムについては、地盤工学ならびに水工学の両面から研究¹⁾²⁾などされてきているものの、様々な要因が複雑に絡み合う複雑な現象であるため未解明な部分も多い。本論文では、砂質土なる模擬堤防を対象にして、その越流破堤時のプロセスについてさらに明らかにするために、基礎的な移動床水理実験を行った。

2. 実験の概要

実験は、図-1に示すような幅1 m、奥行き1.6 m、高さ0.25 mの水平矩形水路内に作成した「模擬堤防」を対象に行われた。この水路は下流端が開放されており、水路を横断するようにつくられた模擬堤防の下流側を堤内地、上流側を河川に見立て、河川区間の水位上昇に伴い越水が生じて模擬堤防が決壊していくプロセスならびにメカニズムを探ることを目指した。本研究では、研究の第一段階として、堤体の材料を非粘性の珪砂7号(粒径0.15 mm、比重2.65)とし、締め固め度が90%を超えるように十分締め固めて堤体ならびにその下方の基礎地盤(厚さ0.04 m)を作成した。模擬堤防の形状は、高さを基礎地盤から0.15 m、天端幅を0.05 mとし、法面の傾斜角を珪砂7号の空中安息角に等しい30°とした。また、堤防天端は左右対称軸を境にそれぞれ0.3 mにわたって1%の勾配の傾斜をつけており、その結果、中心軸上では他よりも最大3 mmだけ低くなっている。なお、河川区間には原則として流れはなく、注水に伴い水位が上昇していく。ただし、堤防決壊時には堤内地に向かう流れが生じ、その水ならびに砂は最終的には水路下流端から流出することになる。

実験開始と同時に、河川区間にゆっくりと注水し、その後、堤体が十分に湿潤状態となるように静置した。このとき、堤体の裏法尻部において浸透によるわずかな変化が認められた。しかし、時間をおいてもこれが進行しないことが確認されたため、これがその後の現象に影響することはないと判断した。実験中は、堤体を上方から撮影したビデオ画像に加え、河川水面下の堤防表法面で生じる変化を水中で撮影し、その変化の状態を調べた。また、河川区間の水位の時間変化を知るため、超音波変位センサーによる計測を行った。さらに、破堤後の堤体ならびに基礎地盤の地形の形状を把握するため、実験前後にレーザ式変位センサーを用いた地形高の面的測定を行った。

3. 実験結果と考察

まず、図-2には流出した「水ならびに砂の総流出量」の時間変化の計測結果を示した。この図より、ここでの模擬堤防の決壊はわずか180秒程度で終了したことがわかる。図-3は堤防が破壊されていくプロセスを4枚の連続写真によって示したものである。2.で説明したとおり堤防天端高は中心軸上で最も低いため、この軸上で筋状の浸食が生じる。この浸食は、越流開始から10秒後であった。また、その筋状の溝は時間の経過とともに下方に彫り刻むように伸びていき、やがてその浸食が基礎地盤にまで達すると、今度は側方への浸食が卓越するようになる。その後、この水は幅の大きな開口部へ広がっていく。越流開始65秒後にはその開口部下方の幅が25 cmにも達している。その後、上部に取り残された土塊が支持力を失い、間欠的な崩落が生じるようになる。図-3に示した実験の場合には、開口部上部の土塊の崩落が活発化する前に実験を終了す

キーワード：堤防決壊、越水破堤、浸食のメカニズム、堤防の下刻現象、局所洗掘

連絡先：〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1, TEL 03-5286-3401, FAX 03-5272-2915

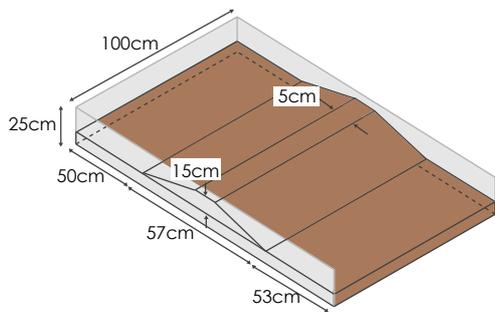


図-1 実験水路内の模擬堤防の概要

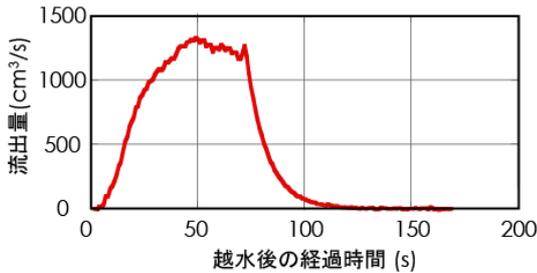


図-2 水路下流端から流出した水と砂の総量の時間変化

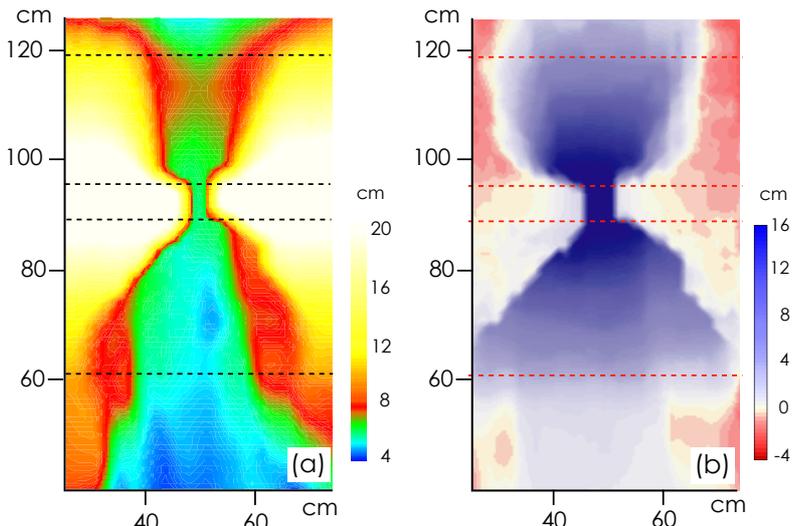


図-4 堤防周辺の最終地形形状：(a) 地形表面高ならびに (b) 初期状態からの地形変化量のコンター図（凡例の単位は cm）

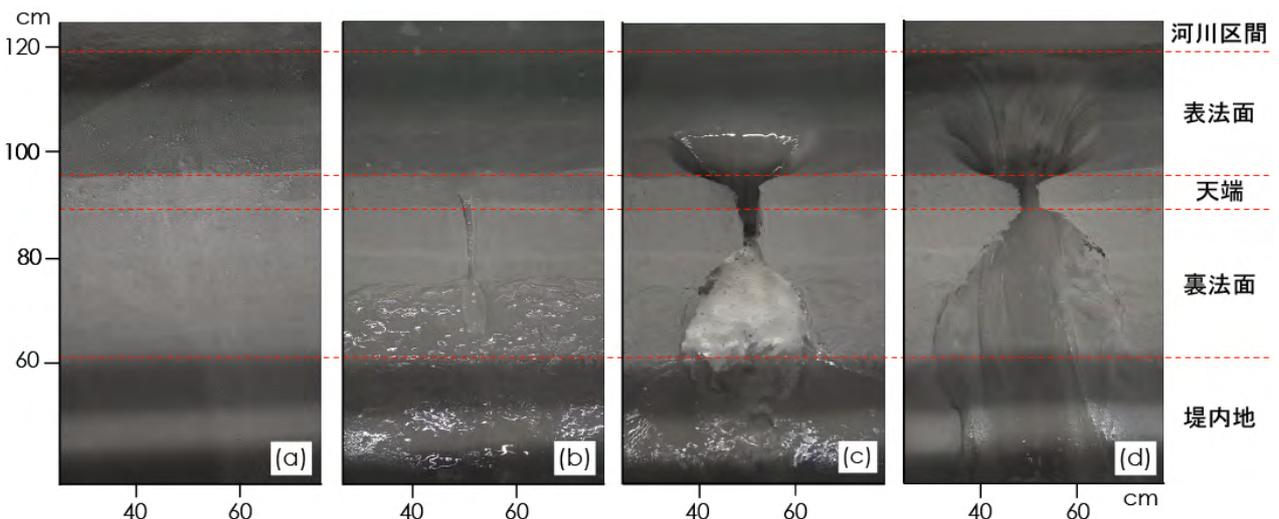


図-3 堤体が決壊するプロセス：(a) 実験開始前, (b) 越流後 10 秒, (c) 越流後 65 秒, (d) 実験終了後 (180 秒後)

ることになった。この開口部の最終的な幅は 35cm 程度である。また、図-4 には実験終了時の模擬堤防周りの地形高と、初期地形からの変化量のコンター図を併せて示した。これは図-3(d) に対応するものである。開口部の堤内地側には落ち堀と呼ばれる局所洗掘が生じていることが確認できる。

4. おわりに

本研究では、実験水路内に砂質土からなる模擬堤防を作り、これが破堤に到るプロセスとメカニズムを理解することを目指して基礎的な実験を行った。砂質土からなる模擬堤防の場合、越流水が堤体を下方に浸食する「幅の狭い下刻形式の浸食」が先行して発生する結果となった。そして、この溝状の浸食が基礎地盤にまで到達すると、浸食は側方へのもに変わっていき、その幅を増すように進む。このような側方浸食は天端付近にまで及ぶことはないが、この浸食に伴って天端付近の土塊は支持力を失い崩落を繰り返すことになる。堤体の天端を固結化させ補強した基礎実験も行っており、今後は堤体を砂質土に限定することなくさらなる検討を続けていく予定である。

参考文献：1) 島田友典・平井康幸・辻珠希：千代田実験水路における越水破堤実験，土木学会水工学論文集，Vol.54，811-816，2010。2) 藤田裕一郎・村本嘉雄・田村多佳志：河川堤防の決壊に伴う外水と土砂の流入について，京都大学防災研究所年報，第 30 号，B-2，527-549，1987。