堤防の土質構造の違いが決壊プロセスに及ぼす影響

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 ○	佐藤	耕介
早稻田大学大学院	学生員	堀江	翼
早稲田大学大学院(当時)	学生員	佐野	正太
早稲田大学大学院(当時)	学生員	鈴木	昌宏

1. はじめに

気象変動にともなう記録的な豪雨によって,近年,河川堤防の決壊による浸水被害が相次いでいる.河川 堤防は洪水から人命ならびに社会資産を守る最後の砦となる構造物であるため,越流により堤防が決壊して しまうとその被害は甚大なものとなる.そのため,河川堤防の決壊メカニズム解明は喫緊の課題である.堤 防決壊についての研究はこれまでもなされてきたが,堤体内部の状況をリアルタイムで把握することは困難 なため,未解明な部分が多く残されているのが現状である^{1),2)}.堤防決壊の現象を複雑にしているものの一つ は堤体の土質構造であり,複雑な内部構造を有する堤防がほとんどである.本論文では,粘着性土層と砂層 からなる互層構造の模擬堤防と,粘着性土のみからなる模擬堤防を対象にした越流破堤実験を通じて,土質 構造の違いが堤防の決壊プロセスに与える影響について検討した.

実験の概要

実験に用いた水路は、高さ 0.25m,幅 1m,奥行き 1.6mのステンレス製水路であり、図-1のように下流端が開放されている.本実験では、水路全幅にわたって模擬堤防を作成し、その上流側を河川区間、下流側を堤内地とし、河川区間の水位を上昇させ越流を生じさせた.これにより、堤防が決壊するメカニズムを明らかにすることを目的とした.堤体材料には、硅砂7号(粒径 0.15 mm,比重 2.65)と、TA カオリン(粒径 7.0×10³ mm,比重 2.65)を用いた.対象とする模擬堤防は 2 通りとし、以下のように異なる土質構造をもつものとする. Case 1 の模擬堤防は堤体が三層からなっており、上層が粘着性土層、中層が砂層、下層が粘着性土層となっている.砂層には硅砂7号を、粘着性土層には TA カオリンと硅砂7号を粘土含有率 R_{cc} = 9%で一様に練り混ぜたものを、それぞれ用いて作成した.ここに、粘土含有率 R_{cc} とは、粘土と砂の全重量に占める粘土の重量の比率である.一方、Case 2 の模擬堤防は、上記の粘着性土層に用いたものと同じ材料のみで構成されている.いずれも十分に締固めを行っており、その締固め度は 90%以上である.また、基礎地盤は 硅砂7号を十分に締固めて作成し、その厚さ 0.05m とした. 模擬堤防の形状は、基礎地盤から 0.15m の高さをもち、天端幅を 0.05m、法面の傾斜角を 30°とした.また、堤防天端には左右対称軸から 0.3m にわたって横断方向に 2%の勾配がついており、中心軸上で両端より 6mm ほど低い切欠け部になっている.これは、水路側壁付近で越流を生じさせないためであり、結果として決壊は水路中心軸付近で発生する.

堤体高さの8割にあたる12cmの高さまで河川区間に注水を行う.堤体が十分に湿潤するまでこの水位を維持した.このとき、堤体を浸透した水が裏法尻部から流出する.この水の量を測定し、これが一定となった時点で堤体が十分に湿潤したと判断した.その後、注水を再開し、天端を越える流れが生じた時刻をもって実験開始とした.実験中は、模擬堤防の上方ならびに裏法面側上方からビデオ画像を撮影するとともに、超音波変位センサを用いた河川区間の水位計測を行っている.

実験結果ならびに考察

図-2は、堤体上に刻まれた破堤口のフロントの位置ならびに幅の時間変化を比較した図である.また、図-3は、越流開始後の各時刻における堤内地への流出水量の時間変化を表す.ここに、フロントとは、天端上 を河川側に向かって遡上するように浸食が進行する際の先端部のことを意味し、図-2の左側の縦軸の原点は キーワード:堤防決壊、土質構造、越流、粘着性材料 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

-213-





4 大端に形成される流路の進行フロセス: Case 1 は上層と下層を粘着性土層, 中間層を砂層とした互層構造の模擬堤防, Case 2 は粘着性土のみで一様に構成 された模擬堤防を対象とした実験である. 図中の緑色と青色の矢印はそれぞれ, 上層と中間層の境界,中間層と下層の境界の位置を示す.

中心軸上の天端裏法肩の位置を表している. この値が 7cm となった時点でフロントは表法面にまで達したこ とを表している. 図-2より, Case 2 に比べて Case 1 の場合には, フロントが表法肩に到達する時点で既に上 層が大幅に浸食されており, 破堤幅が最大値をとる. このため, 流出水量がピークを迎える時刻が大幅に早 くなったと推察できる. また, 図-2と図-3より, フロントが表法面に到達した時点を境に, 河川区間からの 流出水量が急増することがわかる. 図-4は, 各ケースの実験における堤防決壊時の様子を示したものである. 越流水が中心軸上の天端裏法肩に達した瞬間を時間の原点としている. Case 2 では, 越流水により階段状の流 路を形成しながら浸食が進むが, 堤体内の土質が一様であるため, Case 1 で確認したような急激なフロントの 移動は生じない. 一方で, Case 1 では, 浸食によって中間層の砂が露出した箇所から砂の流出が進み, 取り残 された粘着性土からなる上層が崩落することになった. これは, 粘着性により上層が浸食されにくいためで ある.

4. おわりに

本研究では、堤体の土質構造の違いが堤防の決壊プロセスに及ぼす影響について明らかにするため、実験 水路内に作成した模擬堤防の越流破堤実験を行った.粘着性材料からなる層の下方に浸食を受けやすい砂の 層が存在する場合、砂の層に浸食が及んだ箇所から急激な砂の流出が進むため、上層である粘着性土層が支 持を失い崩落することになる.このように、堤体内に砂層が挟まれるように存在するだけで、堤防の決壊は 速やかに進行することがわかった.

謝辞:本研究は文部省科学研究費基盤研究(C)(研究代表者:関根正人,課題番号:No. 16K06519)を受けて行われたものである.

参考文献: 1) 島田友典, 渡邊康玄, 横山洋, 辻珠希:千代田実験水路における横断堤越水破提実験, 水工学論文集, 第 53 巻, 2009 年 2 月. 2) Jose A. Feliciano Cestero, Jasim Imran, and M. Hanif Chaudhry: Experimental Investigation of the Effects of Soil Properties on Levee Breach by Overtopping, J. Hydraul. Eng., 2015, 141(4): 04014085.