

バイピングによる堤体決壊

京都大学防災研究所 正員 村本嘉雄 正員 藤田裕一郎
京都大学大学院 学生員 ○ 八尋 裕

1. まえがき 本研究では、高水圧側からパイプ状空洞が発生・進行していた堤体の浸透決壊過程を模した基礎実験を行い、空洞の進行状況や堤体材料の相違が堤体の安定性や決壊過程に及ぼす影響を検討する。

2. 実験の条件及び方法 実験には図-1に示した全長3m, 幅7cmの水路を用いた。堤体は法高30cm, 天端幅30cm, 法面勾配2割とし、堤体材料には3種のほぼ均一な砂(粗砂: 平均粒径 $d_m=1.42\text{mm}$, 中砂: $d_m=0.64\text{mm}$, 細砂: $d_m=0.21\text{mm}$)を用いた。先端及び全面から浸透する空洞を模した3種の角パイプ(上面の先端40mmに金網を張った内高が15mmと6mm, 及び上面全体を金網とした内高15mm)を用意し、先端を表-1の位置に置いて実験を行った。なおRun10以降では、バイピング発生時の堤体内の間隙水圧変化の測定時に下流法面の變形を拘束する金網製の枠を使用した。実験中は、上流側の水位(27~28cm)を一定に保ち、堤体の形状変化をカメラとVTRで、間隙水圧測定用マノメータをカメラで撮影した。また、浸透流量を水路下流端において測定した。

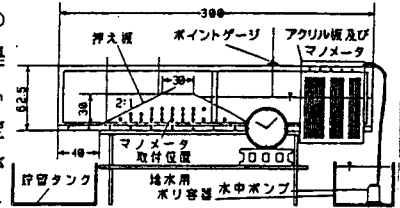


図-1 実験装置 (単位 cm)

表-1 実験条件と実験番号

材料	浸透実験	バイピング実験					
		下流側法面中央位置			下流側法面中央位置		
		15°パイプ	6°パイプ	縦パイプ	15°パイプ	6°パイプ	縦パイプ
粗砂	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8	Run9
中砂	Run1	Run16	-	Run19	Run17	-	Run18
細砂	Run2	Run12	-	Run15	Run13-1 Run13-2	-	Run14

3. 実験の結果 堤体の決壊過程の特徴に着目して実験結果を分類すれば図-2のようである。グループAは浸透のみの実験及びパイプ先端を下流側法面に設置した実験である。このうち、グループ(1)は図-3(上)のように、下流側法面に生じた局部破壊が上流側に進行して上流側法面に達した時点で越流し全面決壊に至ったものである。この間、浸透流量及び間隙水圧はそれぞれ図-4及び図-5(左)の $t=40\text{min}$ 以降のように、局部破壊で土塊が崩落すれば、それぞれ一旦減少、上昇したものの、破壊の進行と共に増加、低下していった。グループ(2)は上述のグループ(1)の過程が途中で止まった細砂での実験である。グループBはすべてパイプ先端を下流側法面中央に設置した実験であり、法面の不安定性が増大して局部破壊の進行中に噴砂が生じた。噴砂後、パイプ内流量の増加により浸出流量は図-4の $t=70\text{min}$ 以降のように急増し、間隙水圧は図-5(右)の $t=1\text{min}$ 以降のように急減した。噴砂後の破壊の進行過程の相違により、グループBはグループ(3),(4)に二分される。グループ(3)は粗砂, 中砂での実験であり、粗砂では図-3(中)のように噴砂後もパイプ開口部に砂が残ったため上流側の水位低下は緩慢で、局部破壊が継続し全面決壊に至った。中砂ではパイプ開口部の砂がすべて流送されパイプ流が急増し、上流側の水位が急激に低下し、水位を再上昇させるまで破壊の進行は止まった。両者共に噴砂後は、グループ(1)よりも低

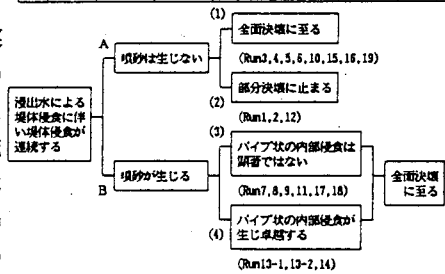


図-2 堤体の決壊過程の分類

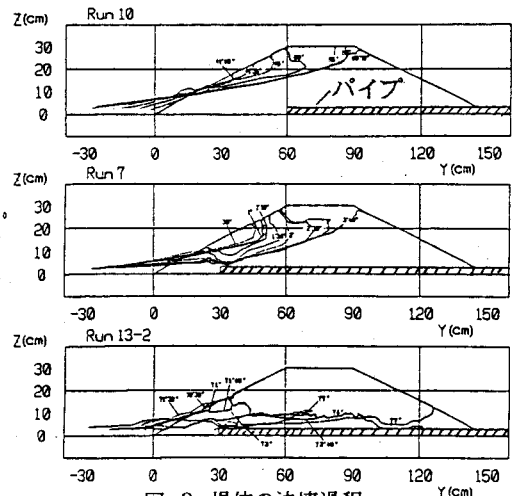


図-3 堤体の決壊過程

Yoshio MURAMOTO, Yuichiro FUJITA, Yutaka YAHIRO

い位置で局部破壊が進行しており、浸潤面は低下していたと思われる。グループ(4)は細砂の実験であり、図-3(下)のように噴砂後パイプ上面と堤体との間に新たなパイプ状空洞が発生し、上流側に向かって急速に進行した。空洞が上流側法面近くまで進行すると、上流側からも破壊が生じて全面決壊に至った。

グループ(1),(2)間の現象の相違は、堤体材料(透水係数)の相違による浸出流量の差異に起因すると考えられる。また破壊の進行速度も浸出流量によって異なり、流量が大きいほど当然

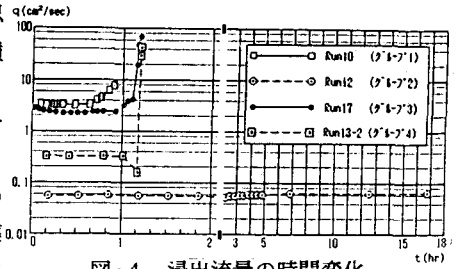


図-4 浸出流量の時間変化

大きくなる。また、パイプのある場合はない場合と比べて浸潤面が上昇しているために、堤体のより高い位置で局部破壊が生じ、破壊の進行速度は大きくなる。グループBの破壊の進行速度はAの場合と比べて非常に大きく、グループ(3),(4)間の現象の相違は、堤体材料の流送され易さの差異に起因している。先端浸透型と全面浸透型の空洞性状の相違は、浸出点が後者でやや高くなるのみで現象にはほとんど影響を及ぼさず、空洞の進行位置が現象を支配している。また、浸透のみによる堤体破壊に対する安定性は粒径の細かな材料ほど高いが、ひとたびパイプ状空洞が発生し下流側法肩を越えて進行すると逆に細粒径の材料ほど、不安定性の増大が著しいといえる。

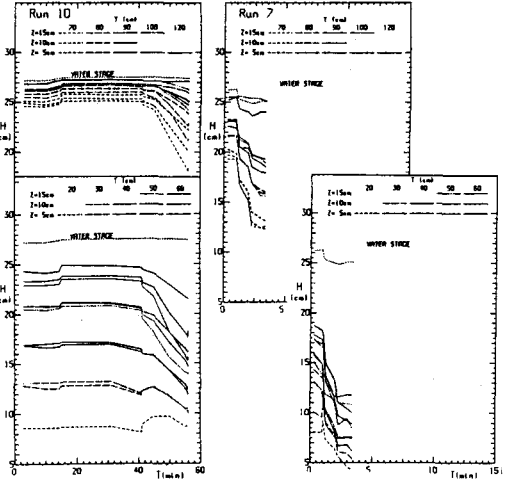


図-5 間隙水圧の時間的変化

4. 浸透解析による検討 空洞の発生に伴う浸透流量や間隙水圧の変化の予測のために、パイピング開始直後の初期段階について、堤体内の定常飽和浸透

解析を有限要素法¹⁾で行った。なお、パイプ開口部には上流側の水頭を与えた。図-6の解析結果で浸透のみの場合(Case0)の浸潤面の位置はCasagrandeの方法とほぼ一致している。また、解析結果は計算水位が実験水位とやや異なることや計測の内挿方法を考慮すると、図-7の実験結果と良く一致している。パイプの性状と設置位置、及び水位の変化による全浸出流

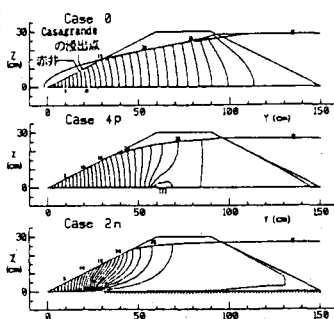


図-6 水頭分布(解析結果)

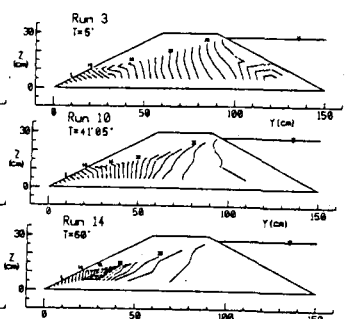


図-7 水頭分布(実験結果)

量の変化を透水係数で除して図-8に示す。同図よりパイプ性状の相違による影響は小さく、また、パイプの進行位置が下流側法肩を越えると浸透流量は急増することが分かり、パイプの進行が下流側法面中央付近に達すると急激に堤体侵食が進むことが推定できる。また、同図の結果と実験の浸出流量との比から透水係数を算出すると、表-2のように堤体材料ごとにほぼ一定となり、Casagrandeの方法によるものとも一致した。

表-2 透水係数

材料	透水係数 (cm/s)	材料	透水係数 (cm/s)
粗砂	Run 3 0.991	粗砂	Run 2 0.9196
4 0.619	12 0.0002		
5 0.573	13-1 0.0123		
6 0.674	13-2 0.0105		
7 (3.69)	14 0.0157		
8 0.390	15 0.00900		
9 0.506			
10 0.556			
11 0.607			
中砂	Run 3 0.318	中砂	Run 3 0.858
16 0.155			
17 0.120	中砂	1 0.226	
18 0.137	細砂	2 0.0158	
19 0.150			

5. あとがき 今後、局部破壊の進行過程を予測すると共に、本実験では生じなかったすべり破壊についても考察していく予定である。

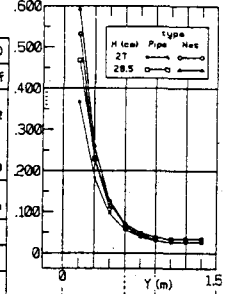


図-8 全浸出流量

参考文献 1)川谷健:土木学会関西支部研修会テキスト,1987,pp93~109