

十勝川千代田実験水路を活用した堤防実験

柿沼 孝治
独立行政法人土木研究所
寒地土木研究所
寒地水圏研究グループ寒地河川チーム
総括主任研究員



ただいまご紹介いただいた、土木研究所寒地土木研究所の柿沼です。本日、このような機会に話題提供させていただきありがとうございます。基調講演というふうになっていますが、話題提供というつもりで参りましたので、いろいろ議論していただいてご意見を聞かせていただければと思っております。よろしくお願いします。

今日の話は、北海道にある一級河川、十勝川にある大型の水路実験施設で破堤実験を行っておりますので、実験の概要、あるいは成果についてご説明したいと思います。

私たち寒地河川チームは、水理学的な観点から研究をしておりますが、今日は土質の関係の先生も多くいらっしゃいますので、私たちが解釈した内容というよりは、こんな実験をしてこういう結果が出たというところを、少し詳しくご説明したいと思います。

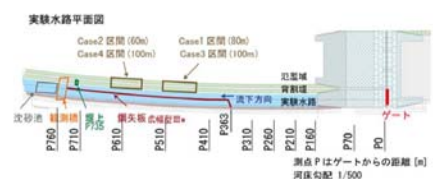
まず、実験施設の概要です。実験箇所は十勝川の河口から30キロぐらいのところで、堤防が右側にあつて、左岸は山付で、河川が広がっているところです。河道には大きな堰があつて、これは歴史的構造物で取り外せないということで、ここは洪水時だけ流れる新水路をつくった箇所です。この新水路のうちの約4分の1の部分を背割堤で仕切つて、実験水路として整備をしています。新たにつくられた合流部の1つのゲートだけ用いて流量をコントロールしながら水理的な実験を行うという施設であり、全長約1.3キロ、幅が約30メートルの、日本国内では最大級の実験施設かと思います。

破堤実験ですが、右側が前述の上流のゲートです。水路幅は30メートルですが、流量に限りがある中で、破堤実験の場合には水位を上げる必要があつたため、矢板で河道を半分以下に狭めました。この背割堤だった部分の護岸を一

十勝川千代田実験水路の概要



破堤実験の概要



- ・新水路部分を氾濫域とすることにより、広い氾濫域が設定可能
- ・水深を確保できないため、鋼矢板を用いて実験水路幅を8mに縮小し、堰上げ施設を設置

部剥いで成形をして破堤堤防をつくりました。

こちら右側の写真が実験の様子です。氾濫域を模した箇所は、実験場所から100メートルぐらいの幅がありますので、十分氾濫域として使えると考えております。

後で詳しいケースをお話しますが、もともと背割堤だったものを幅3メートル、高さ3メートルの堤防に成形しました。また、一部分に切欠をつくって、必ずそこから越流をさせています。どこで越流するかわからない状況だと実験にならないので、50センチ程度の切り欠けをつくって、そこから破堤をさせているという実験です。

ケースは4ケースあり、基本ケースが砂礫堤——後で粒径をお示ししますが、砂礫堤の堤防で、流量が70 m^3/s 。Case2は流量を半分の35 m^3/s にしたもの。Case3は堤防の材料を細粒分にしたもの。Case4は堤防の幅を広げたものです。Case3の細粒分ですが、施工上、どうしても基盤部分を置きかえられなかったなので、堤体の上2メートル部分だけが細粒分の条件で実験を行いました。表のり面は流水による侵食を防ぐためブロックを張りました。

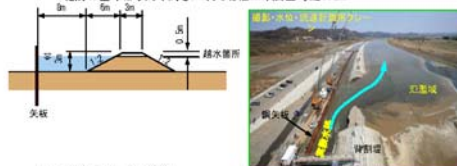
次に観測の概要です。図の上側が上流です。まず、流量を2カ所で測りました。そうすると、2カ所の差し引きで破堤の流量がわかるということになります。

重要なのは堤体の中の挙動を把握することです。加速度センサーを堤体に埋め込み、いつどこが侵食したのかがわかるようにしてあります。図の右側にクレーンが2台見えていますが、上から静止カメラとビデオカメラで写すことで、後で流速や破堤幅がわかるような観測をしてい

破堤実験の概要

【実験条件】

- 堤防の基本形状は、高さ3m、天端幅3m、法面勾配1:2.0

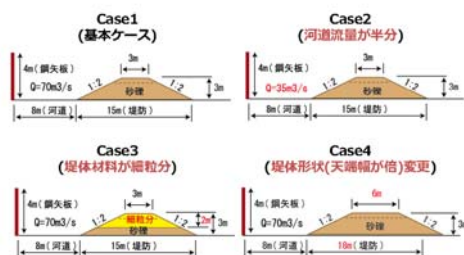


- 実験は4ケースで実施

ケース	流量	堤体工質	堤体天端幅
Case1	70 m^3/s	砂礫	3m
Case2	35 m^3/s	砂礫	3m
Case3	70 m^3/s	細粒分	3m
Case4	70 m^3/s	砂礫	6m

破堤実験の概要

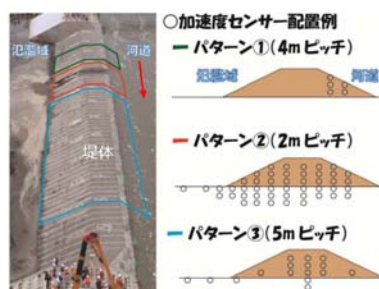
- 4ケース実施（堤防は土堤・裸堤）



破堤実験の概要



破堤実験の概要



ます。それから、実験終了後に精密な3次元のレーザー測量を行っています。

加速度センサーは、切欠部に近いところはやや密に配置して、遠ざかるにつれてやや粗い配置にしました。事前に室内で実験を行って水温センサーも試しましたが、加速度センサーの方がレスポンスが良好でした。センサーは後で回収し、それがいつ流出したかというのがわかるようになっております。

堤体の材料については、先ほど砂礫とか細粒分と一口で説明しましたが、どうしても現場の材料を使う関係で均一にはできませんでした。

Case 1 とCase 2 は比較的同じような材料です。Case 3 は堤体の上方が細粒分、スライドではオレンジの線になります。Case 4 は、Case 1 とCase 2 と同じ材料にしたかったのですが、後で試験したところ、やや粗い材料でした。まとめますと、Case 1 とCase 2 が同じで、Case 3 が堤体の上部だけ細粒分、Case 4 はその間ぐらいの材料だったということです。細粒分といってもシルト系で粘着性はそれほど強くなかった材料でした。

これが実験の流量です。Case 1、2、4の目標は $7.0 \text{ m}^3/\text{s}$ ですが、現場の状況によりそれぞれ微妙に違っております。Case 4 が少し多くて $8.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 。Case 2 は $3.5 \text{ m}^3/\text{s}$ となりました。

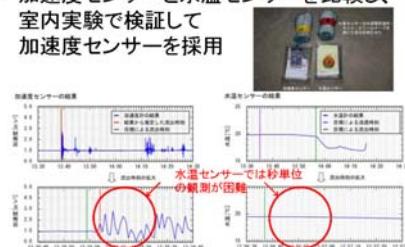
実験の様子をごらんいただくのが一番いいと思いますので、ビデオを流します。お手元の資料に静止画がありますので、参考にしながらご覧下さい。

最初の映像はCase 1 です。実験区間の堤防で裸堤の堤防の上から、わかりやすいように1メートル間隔で白線を引いており、5メートル間隔で線は引いています。

切欠部から少しずつ越水していく様子が見ら

破堤実験の概要

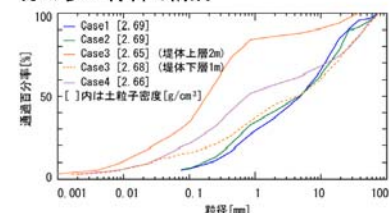
- 加速度センサーと水温センサーを比較し、室内実験で検証して加速度センサーを採用



破堤実験の概要

【堤体材料】

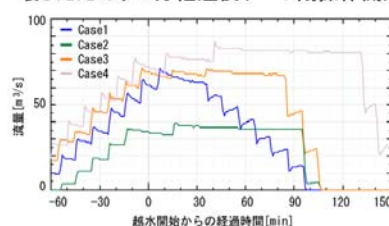
- Case 1・2・4は砂礫材、Case 3については細粒分の多い材料で構成



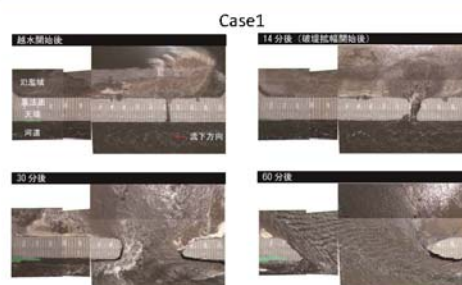
破堤実験の概要

【流量】

- Case 1は流量安定前に実験区間の大半が崩壊したため、40分経過後ゲート閉操作開始



破堤実験の概要



れると思います。

堤防が欠けてきますと流量が増えるので、一気に破堤が進みます。破堤部下流が水がかぶってみえますが、越流しているというよりは水がかぶっているという感じです。

中盤を過ぎると水の流れが破堤部下流に集中して、堤防の下流部での侵食が主に進み、上流部はあまり侵食しなくなります。

水の流れは少し斜めになるので、堤防も斜めに欠けていくという状況です。

最後は水位が大体平行状態になります。

Case 2 は流量が小さいだけで、Case 1 の現象が少し遅くなったという程度の違いです。

Case 3 は堤防の上 2 メートル分だけ細粒分の材料になっており、色もやや茶色っぽい色になっているかと思います。

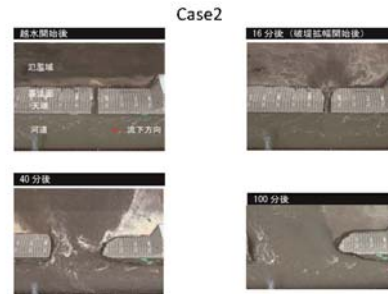
Case 3 の特徴としては、初期の越流で裏のりがだんだん侵食しますが、この時間が非常に長くて、なかなか堤防の欠壊拡幅までいかなかったというのが 1 つの特徴です。また、後で欠壊の拡幅が始まるとわかりますが、堤体がブロックで崩落していく様子もわかるかと思います。その関係もあって、堤防欠壊の拡幅速度は Case 1 に比べると少し早いというのが Case 3 の特徴です。写真では分かり難いですが、これを間近に見ると段々というか段落ちみたいになって侵食されておりました。

Case 4 は、天端幅が 6 メートルということで堤体のボリュームも大きいので、やはり欠壊の拡幅に至るまでは時間を要しています。それから堤防の材料も、先ほどの Case 1 に比べると若干、細粒分が多く含まれています。

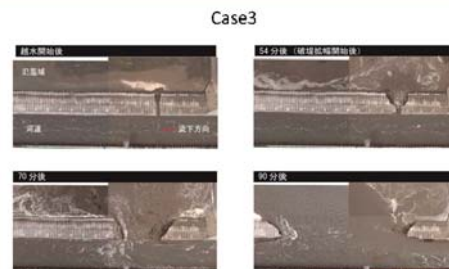
後でデータをお示ししますが、Case 4 の場合、若干、基盤部の深掘れが他のケースに比べては小さかったというのが特徴になっています。

こちらは、先ほどビデオで説明しましたが、特に Case 3 でみられた現象で、ブロックごと落ちて破堤が進むというのが観察されています。

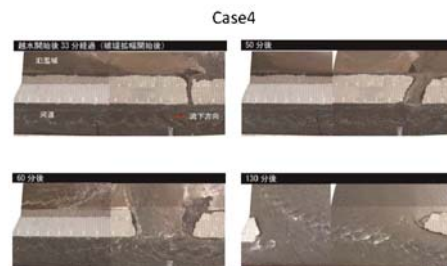
破堤実験の概要



破堤実験の概要



破堤実験の概要



破堤実験の概要

堤体崩壊の様子

- ・堤体が塊で崩壊する現象を繰り返す（特にCase3で顕著）



次に各種観測結果です。青い線が河道の水位で、緑色の線が氾濫域の水位。のり尻から4メートルぐらいのところで水位を計っています。横軸の0は越水開始時間です。破堤の拡幅が始まると、一気に川側の水位が落ちて氾濫域の水位が上がり破堤が落ち着くというのが、大体どのケースにも見られています。

こちらが氾濫流量です。これは上流の流量から下流の流量を引いて求めたものです。こちらについても、各ケース越水開始時間からそろえています。破堤拡幅の開始までの時間が違うので、各ケースごとに氾濫流量の立ち上がりは違いますが、おおむね拡幅が始まった直後ぐらいいから増えていくのが見えるかと思います。この増え方については、破堤の拡幅の速度と関係しますので、勾配の急なもの、緩いものが見えます。これについては後ほど説明します。

このスライドは加速度センサーと、上から撮ったビデオで判定した破堤拡幅幅の関係を整理したものです。

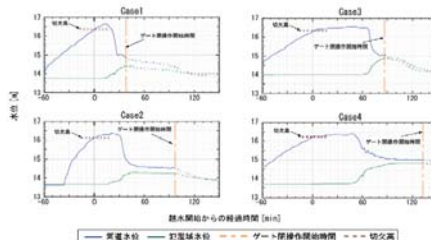
横軸が時間で、0が越水開始の時間になります。縦軸の0は切欠部を示しており、プラスが下流側、マイナスが上流側を表しています。実線が2つに分かれるのは、プラスに行くのが、下流側に進行した破堤幅（切欠からの距離）です。マイナスが上流側の破堤拡幅です。したがって、この2つの離れが破堤幅になります。

点がいっぱい打ってありますが、右下の図にある加速度センサーの流出時間と位置をプロットしたものです。堤体の中と基盤部の加速度センサーがいつ流出したかというのを表しています。したがって、例えばCase 1では実線に近いところに加速度センサーのプロットがあるので、上から見た天端の流出時間と加速度センサーが一致しているということは、ほぼ堤防が天端から基盤まで同時刻に破堤していった、侵食していったということを表し

破堤実験の概要

【水位】

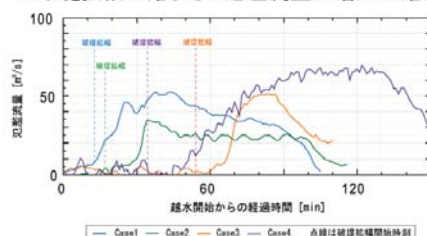
- 破堤部の拡幅とともに河道水位が低下



破堤実験の概要

【氾濫流量】

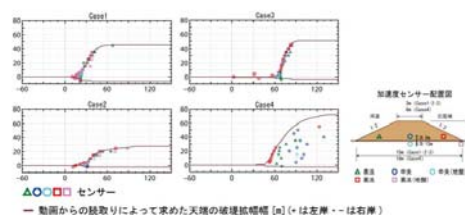
- 破堤拡幅が始まると氾濫流量が増加が始まる



破堤実験の概要

【加速度センサー】

- Case 4の基盤に近い堤体部分では30分から40分程度ほど遅れて侵食が進行



ています。Case 4 だけが少し他のケースと傾向が違います。これは天端が早く、基盤近くが後から流出していったということで、先に堤体の上方が侵食していった、後から氾濫流によって基盤が掘られて流出していったと考えています。

この図からわかることをいくつか説明します。Case 1 とCase 3 を比べると、まず、欠壊するまでの時間が、明らかにCase 3 のほうが遅いということと、欠壊してからの拡幅速度はCase 3 のほうが大きいというのがわかります。これによって、Case 3 は最初ねばって、欠壊が始まったら一気に拡幅が進んだというのがわかります。Case 2 については明らかに拡幅速度が遅くて、また、最終の破堤幅も小さい。これは流量が小さいからだと考えています。Case 4 については、欠壊するまで時間がかかったということと、拡幅速度がCase 1 に近いという結果になっています。

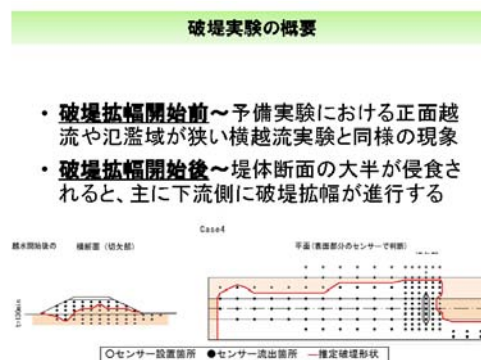
こちらは加速度センサーをアニメーションにしたものです。上から見ただけだと中はどうなっているのかがわかりづらかったので作成しました。左の図は切欠部の断面、右の図は上から見た堤防表面の結果です。

左側が川です。裏のりが削れていって、まだ表のりの方は残っています。この状態だとあまり氾濫流量が多くないので、まだ欠壊の拡幅は進んでない状況です。ここの表のりの部分が侵食されだすと流量が増えるので、破堤が拡幅しだす25分から段々拡幅しだすのがわかります。

こちらはCase 2 です。同じような進行ですが、Case 2 の場合は流量が小さいので、破堤は短い拡幅距離で止まったものです。

次にCase 3 ですが、これは細かい材料でねばったのでなかなか表のりまで侵食がなかなかた。69分に表のりが崩れ、以後、一気に破堤拡幅が進んでいったというのがわかります。

最後、Case 4 ですが、破堤拡幅は進みましたが、基盤まであまり掘れなかったというのが特徴です。



次に、こちらは通水後の測量結果です。赤桐先生の治水形図の話にもあったように、落堀のようなものができているのがわかります。左側がCase 1、右側がCase 2です。

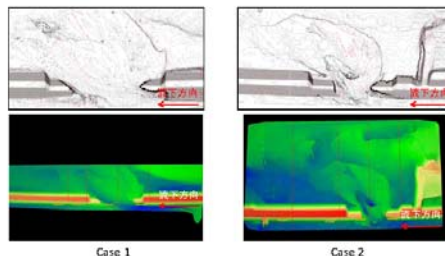
氾濫域の破堤口の上流側のほうは、だんだん堆積しながら破堤が進行しますので堆積傾向にあるのがわかります。こちらはCase 3とCase 4です。縮尺とか範囲が違うのでわかりづらいかもしれませんが、大体同じような傾向にあると思います。

以上をまとめて破堤を4つのStepに分けてみました。Step 1が破堤初期段階。これは裏のりが侵食されている段階です。Step 2が破堤が拡幅し始める段階で、表のりまで侵食が達したぐらいの段階です。Step 3は、切欠部の断面がほとんどなくなり氾濫流量が増えて破堤の拡幅が加速度的に進行する段階です。Step 4は、開口部が広がるので水の流れは弱まりますが、強い流れが相変わらず下流の堤防に当たっており、減速するものの下流側に破堤が進む段階です。ただ、実際の河川は川幅が広いので、破堤してもなかなか水位が下がらず、Step 4というのは本当に最後の最後かなと思っています。ステップ2とかステップ3の時間帯が、一級河川のように大きい川だと長く続くと考えています。実験施設の限界がありますので、実際の河川に当てはめると、少し長さの感覚は違うと思います。

破堤実験の概要

【通水後測量】

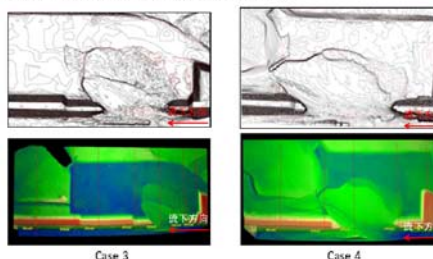
- 開口部は下流側へ斜めに大きく削れている



破堤実験の概要

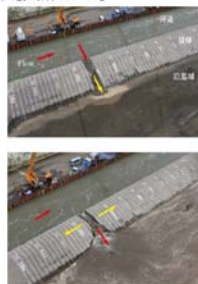
【通水後測量】

- 開口部は大きく開いた八の字



破堤実験の整理

【破堤拡幅状況-1】



- Step1[初期破壊段階]**
- ・越水開始後、越水部の裏法面・裏法面が侵食される。
 - ・天端は裏法面から表法面に向かって徐々に侵食される。
 - ・氾濫流量は増加しない。
- Step2[拡幅開始段階]**
- ・越水部の表法面周りで侵食が到達すると、急激に断面が侵食されて、破堤拡幅が上下流方向に徐々に進行する。
 - ・氾濫流量が増加し始める。

破堤実験の整理

【破堤拡幅状況-2】



- Step3[拡幅加速段階]**
- ・堤体断面の大半が侵食されると、破堤拡幅が急激に進行し進行方向は主に下流側となる。
 - ・破堤口下流の流速が早く、この流れが堤体にぶつかり堤体を侵食しながら破堤が下流方向に進行する。
 - ・氾濫流量がピークを迎える。
- Step4[拡幅減速段階]**
- ・下流方向への堤体侵食と氾濫域の土砂堆積を繰り返しながら、氾濫流の主流部がほぼ一定の幅で下流へ移動する。
 - ・氾濫流量はほぼ一定で推移し、破堤拡幅速度は遅くなる。
 - ・破堤口の下流端は、氾濫域側に顕著に斜め形状となって破堤が進行する。

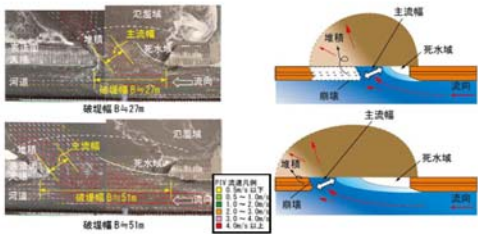
このスライドは、どういうふうにして破堤が進行していったか模式図的にしたものです。これがCase 1 の例で破堤が27メートル開いたとき、51メートル開いたときです。51メートルの方は、若干、速い流れの主流幅が広がってはいますが、上流のところに死水域が出来るので、破堤幅全体を流れるというよりは、下流域に流れが集中して行って堤防を崩していくというのがこの模式図です。堤防を崩して、その土砂が堤内地に堆積して、またその破堤口に強い流れが当たってをくり返すので主流幅がそれほど広がらずに、水の勢いも落ちないで破堤が進行していくというのが、破堤進行の特徴です。

ここからは、実験結果の定量的分析になりますが、結果をまず先にお示しします。

横軸は、無次元掃流力といって水の流れの強さのようなものです。縦軸が堤体の崩壊スピードです。無次元化して整理したところ、かなりいい相関で式に落とし込めたというのが1つの成果です。これは川底の河床材料が水の力で動かされるというのと同じような式になっています。堤防が崩れるんですが、結局、水の力で流されるので、掃流砂の式に近い結果になったということです。

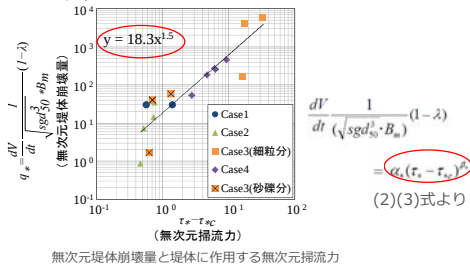
破堤実験の概要

- 破堤口の全幅を流れず、下流側に一定幅の主流



破堤実験の整理

係数 β_* = 約3/2となり掃流砂量式と近い結果



破堤実験の整理

崩壊土量は氾濫流の主流部周辺の掃流力で流送
流砂量式はMeyer-Peter&Mülleの式形を参考

$$q_B = \alpha_* (\tau_* - \tau_{*c})^{\beta_*} \sqrt{sgd^3} \quad (1)$$

q_B :単位幅当たりの掃流砂量, τ_* :無次元掃流力, τ_{*c} :無次元臨界掃流力, s :砂粒の水中比重, g :重力加速度, d :砂粒の粒径を示す。

堤体崩壊量を仮定

$$q_* = \frac{q_B}{\sqrt{sgd^3}} = \alpha_* (\tau_* - \tau_{*c})^{\beta_*} \quad (2)$$

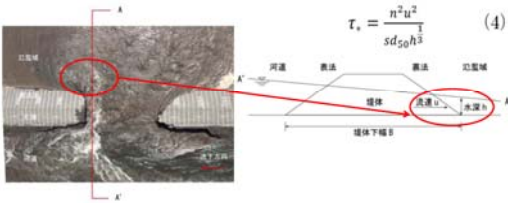
q_* :無次元堤体崩壊量, α_* , β_* :係数を示す, q_* と τ_* は実験式を用いて求める。

$$q_* = \frac{dV}{dt} \frac{1}{(\sqrt{sgd_{50}^3} \cdot B_m)} (1-\lambda) \quad (3)$$

q_* :無次元堤体崩壊量, V :堤体崩壊量, t :時間, s :砂粒の水中比重, g :重力加速度, d_{50} :砂粒の50%通過粒径, B_m :堤体下幅, λ :空率率を示す

破堤実験の整理

- 破堤拡幅の進行は、開口部下流端に流れがぶつかりながら進行→破堤部近傍の水理量を用いて破堤拡幅現象を評価



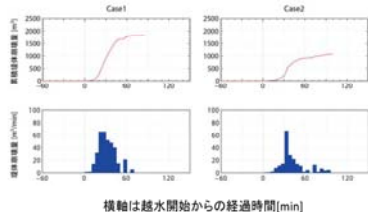
横軸に関してどこの水理量を取ったかということ、堤防裏のりが侵食されたということで、裏のりに近いところの水理量を用いて無次元掃流力 τ_* を算出しています。縦軸の堤防崩壊スピードは、加速度センサーから1分間でどれぐらい堤体が崩壊したかがわかります。崩

壊スピードと τ^* との相関を取ったのが先ほどの式になります。このような形で定量的に評価ができるというのがこの実験の一つの成果になっています。

破堤実験の整理

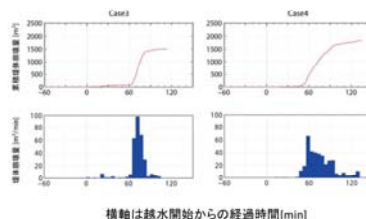
【崩壊速度】

- 堤体内や地盤の加速度センサーの結果を用いて、基礎地盤を含む堤体崩壊量を算出



破堤実験の整理

- 堤体内や地盤の加速度センサーの結果を用いて、基礎地盤を含む堤体崩壊量を算出



以上が破堤実験についての説明です。次に今日のもう1つの本題である破堤抑制工実験についての説明に入ります。

破堤抑制工というのは、ブロックをあらかじめ堤防の上に配置しておいて、それが破堤で崩れることによって少しでも破堤の進行を抑制しようという工法です。先ほどの破堤実験は平成22年、23年の2カ年で4ケース行いましたが、この破堤抑制工実験は平成25年に1回目をやったところですので、速報という形になります。

抑制工実験の概要です。このように堤防にあらかじめブロックを配置して、それが破堤で落ちるときに破堤を止められることを期待しています。

図の右下が実験に使ったブロックで、通称トラスフットと呼ばれている2トンブロックで、根固め工に使うものです。

流量は $70 \text{ m}^3/\text{s}$ で、先ほどの破堤実験Case 1と同じ流量です。

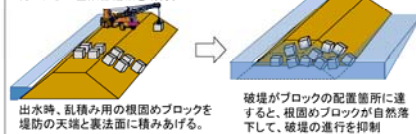
破堤抑制工実験の概要

【超過洪水時の減災】

- 破堤発生後に、進行を抑制する手法

【実際の洪水時におけるブロック投入工】

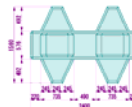
破堤箇所の下流側にて、破堤が連なる前に堤防天端と堤内側法面にブロックを設置する。破堤が当該地点に達するとブロックが自然落下し、破堤の抑制による氾濫被害軽減を期待。



破堤抑制工実験の概要

【実験概要】

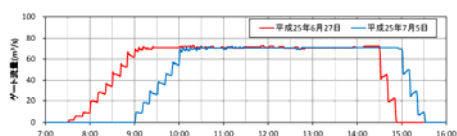
- 破堤抑制工検証
 - 破堤箇所の下流側に設置した破堤抑制工（根固めブロック）の位置まで破堤が進行した際、ブロックが自然落下することで破堤進行を抑制する効果を検証した。
- 再通水、ブロック撤去
 - 破堤抑制工（ブロック）を撤去して、破堤口の拡大が再進行するかについて実験を行い、ブロックによる破堤抑制の効果を検証した。
- 使用ブロック
 - トラスフット（2t型）
- 通水流量
 - $70 \text{ m}^3/\text{s}$ （破堤実験を踏襲）



破堤抑制工実験の概要

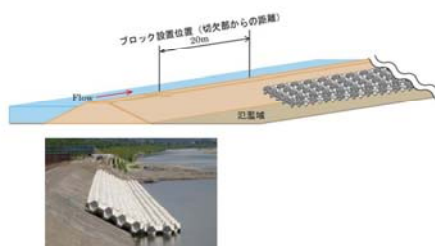
【通水流量】

- 通水流量は $70 \text{ m}^3/\text{s}$ を目標



破堤抑制工実験の概要

【ブロックの配置】

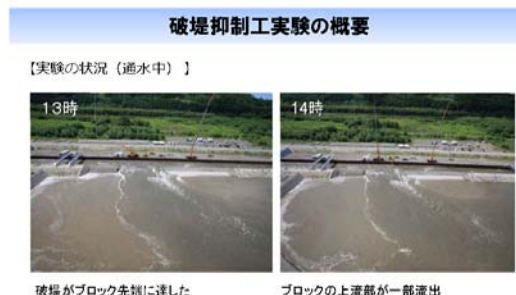
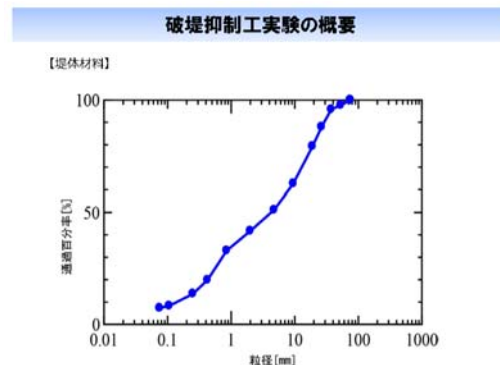


ブロックの配置は、切欠部から20メートル離れたところから置き始め、のり尻部に1つ、裏のり部に2つ、計3列、これを下流へ向かって並べて、どこまで破堤が止まるかを実験しました。実験は2回行っていて、2回目はブロックを取って本当に破堤が止まったのかを再検証したものです。

こちらは堤体材料の粒径分布で、先ほどのCase 1と同じぐらいの材料になっています。



こちらが実験の様子です。破堤実験と同じように破堤が進行していった、ブロックの位置まで到達すると、そこから10メートルぐらい破堤は進行しましたが、あとは平衡状態になって破堤が抑制されたというのが結果です。



これは別の角度から見たところです。

破堤抑制工実験の概要



破堤抑制工実験の概要



破堤抑制工実験の概要



実験終了後の様子ですが、ブロッカー、二個は堤内地側に転がりましたが、ほとんどのブロックはこのような形で残っていて、吸い出しを受けてその堤で下がっていったというような結果でした。

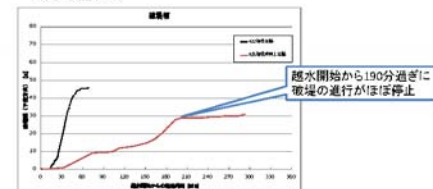
スライドの横軸は時間、縦軸が破堤幅です。下流方向だけ表わしたのですが、この破堤抑制工実験では30メートルのところで概ね止まったというのがわかります。ただし、まだ分析中ですが、Case 1と同じような条件にもかかわらず、ブロックに到達する前が非常に遅い破堤進行でして、どうも原因は、基盤部がCase 1に比べて若干よく締まっていたようで、なかなか基盤が掘れなかったというのが一方の結果としてあります。実験は現場材料を使っているということもあって、なかなか室内実験のようにうまく条件が整えられなかったというのが反省点です。

破堤抑制工実験の概要



破堤抑制工実験の概要

- 【破堤幅の進行】
- 190分過ぎには破堤口の拡大はほぼ停止した。
 - 停止がブロックによる効果なのか確認するために、ブロックを撤去して継続実験を実施した。



これは、2回目の実験ですが、本当にそこで止まったのか確認するため、念のためにブロックを剥いで1週間後に実験をしたときの様子です。再通水しますと、やはりこのように破堤が進行して50メートルまで拡幅して止まったという結果になっています。



最初に配置したブロックがどこへ動いたか比較したところ、一、二個は飛びましたが、後は大体その場で沈んだということがわかりました。

それから、少しだけ分析した結果を紹介します。

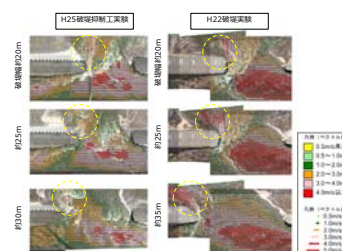
図の左側は破堤抑制工実験、すなわちブロックがある場合です。右側がCase 1の実験でブロックがない場合です。速い流れが、堤防の裏のりあたりに当たっているのがブロックがないときで、ブロックがあると堤防付近には速い流れが当たらず、流れが少し遠ざけられるというのがデータからも確認できます。

一番下のほうが見やすいと思いますが、速い流れが、ブロックによって抑えられると考えられます。

こちらは水面勾配を見たものです。図の左側がブロックがない場合です。右側がブロックがある場合で、ブロックがないと、特に縦断面を見るとわかりますが、ちょうど堤防のあたりで水面勾配が大きくなり、ここで大きな剪断力が出て堤防が崩壊すると考えられ、ブロックがあると、ブロックより川側の水面勾配が緩くなって堤防にかかる剪断力が小さくなるので、破堤の進行が抑えられたと考えています。

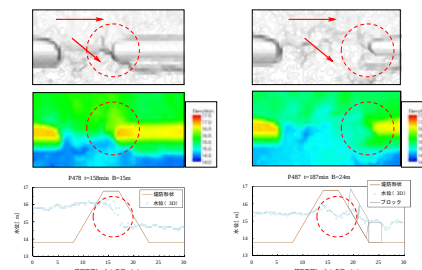
破堤抑制工実験の結果

- PIVによる破堤部周辺の流速分布を以下に示す。
ブロックがある場合、裏法面から裏法面周辺の流速は小さい傾向にある。



破堤抑制工実験の結果

- 3D高度解析による破堤部周辺の水面形と最大流速を以下に示す。
ブロックがある場合、水面勾配は小さい傾向にある。



このときにも加速度センサーと色砂を、両方入っていました。スライドは、色砂の結果ですが、上から見た図で、0が切欠部、黒い点が切欠部から15メートル、赤い三角が20メートル、青、菱形というふうにだんだん切欠部から遠ざかっています。これは基盤部に入れた色砂

なので、最大どこまで掘れたかがわかります。結果より、切欠部から15メートルだとかなり裏のり下が深掘れしています。いわゆる落堀だと思えます。これが20メートルのところ、すなわちブロックが置いてある場所以降はほとんど深掘れがないことがわかります。そのかわりにちょっと川側に少し深掘れがあります。いわゆる落堀がそこで水の流れを強めて破堤を進行させているという考えもありますので、こういうこともこの実験からわかりました。

こちらは加速度センサーの結果ですが、先ほどの色砂とほとんど同じような結果になっていますので、省略します。

最後にまとめます。今日最初にご紹介した破堤拡幅実験ですが、これによって破堤拡幅機構や破堤拡幅速度の推定といったことが実験でわかったので、今後は、例えばですけど数値シミュレーションの開発をして、破堤による氾濫流量の推定精度を上げていくというのが1つの方向です。それから、2番目にご説明した破堤抑制工実験ですが、今後、締切工の検証などもやることで、いざというときの水防力、防災力の向上を図っていきたいと考えております。

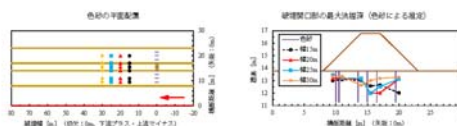
どうもありがとうございます。

破堤抑制工実験のまとめ

- ブロックによる破堤抑制効果を確認
- 河床材の吸出しにより沈降したものの、大部分のブロックは残った
- ブロックが破堤部の水面勾配を低下させ、落堀も抑制し、破堤の進行が止まった

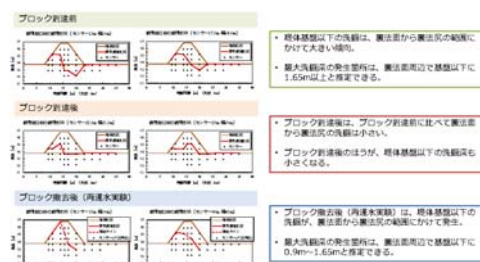
破堤抑制工実験の結果

・ 堤体内に設置した色砂から求めた、破堤断面の洗掘状況を以下に示す。
ブロックがある場合、破堤部の洗掘量は小さくなる。



破堤抑制工実験の結果

・ 堤体内に設置した加速度センサーの波比結果から推定した、破堤断面の洗掘状況を以下に示す。
ブロックがある場合、破堤部以下の洗掘量は小さくなる。



まとめ

