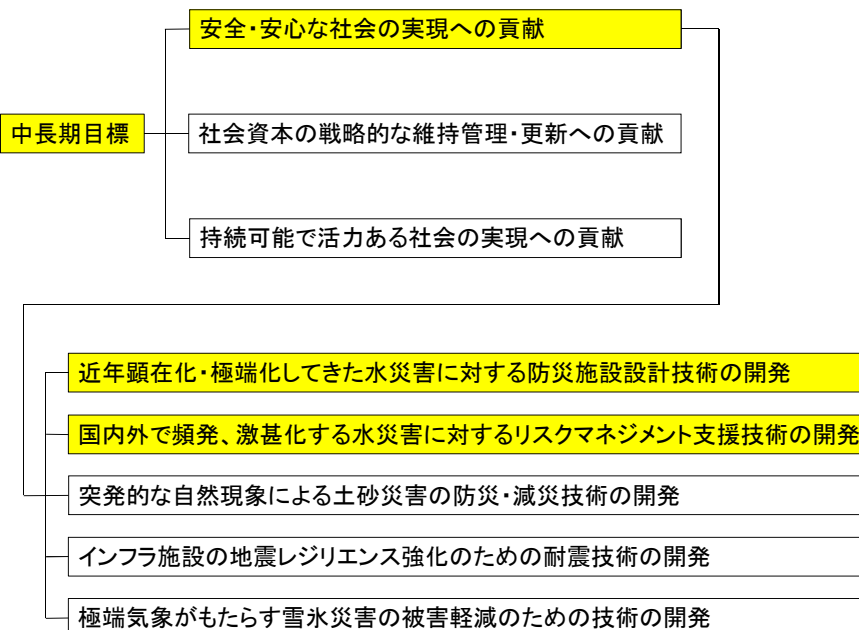


激甚化する水災害に対する 寒地土木研究所の取組

土木研究所講演会
2019年10月16日(水) 一橋ホール
寒地土木研究所 寒地水圏研究グループ 上席研究員
前田 俊一

1

土木研究所の第4期中長期計画(平成28年度～令和3年度)



2

本日のお話

近年顕在化・極端化してきた水災害に対する防災施設設計技術の開発

- ・破堤被害を最小化するための破堤氾濫流量の軽減技術に関する研究
- ・高流速下の水流・水面波・掃流砂による構造物の安定性評価と維持管理技術の開発

国内外で頻発、激甚化する水災害に対するリスクマネジメント支援技術の開発

- ・3D浸水ハザードマップ作成技術に関する研究

3

破堤被害を最小化するための破堤氾濫流量の軽減技術に関する研究

堤防決壊後に河川水が堤内地に流入している状況下で
決壊口を早期に締め切る技術の開発

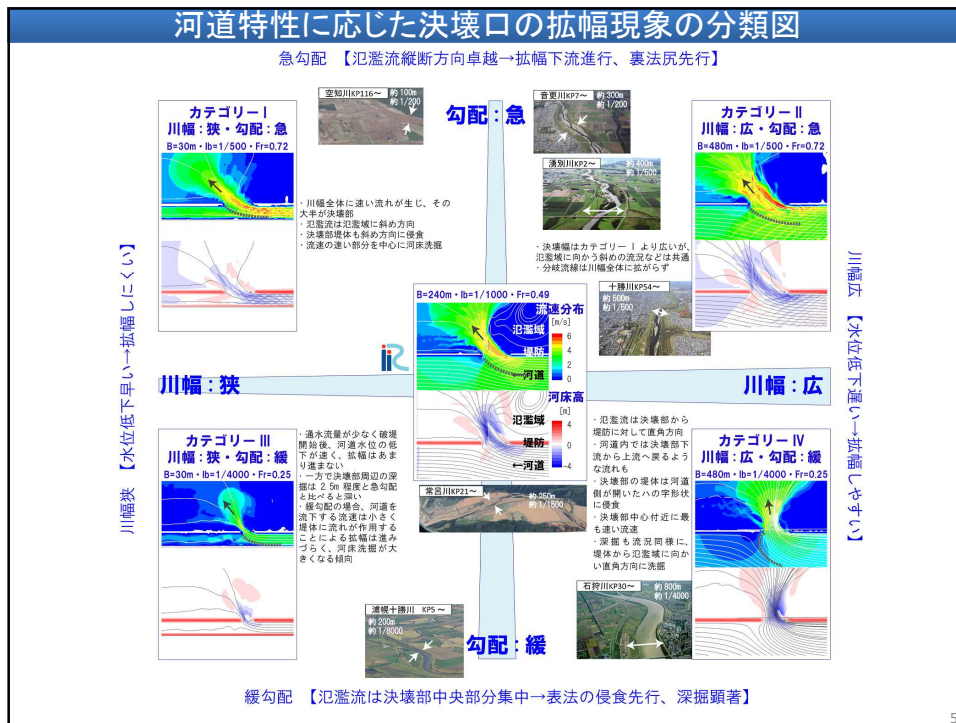
背景

- ・近年、堤防決壊に至るような出水が頻発
- ・堤防決壊後に、決壊口を早期に締め切ることができれば、
 - ①総氾濫ボリュームが減少し、洪水被害の軽減につながる
 - ②次の出水に迅速に備えることができる
- ・堤防決壊後の決壊口の拡がり方が不明であるため、効率的な締切工事の進め方がわからない



- ①河道特性に応じた決壊口の拡幅現象の分類と拡幅現象に応じた締切工事の要点の提示
- ②締切資材投入の効率化に向けた実験

4



- ### 決壊口の拡幅現象の分類と 拡幅現象に応じた締切工事の要点
- (1) 河床勾配が急な場合
 - ・決壊口内の流速が大きく、氾濫流の流向は斜め下流方向となり、**下流側への決壊口の拡幅が卓越**
 - 決壊口の下流側での欠口止工が**最優先**で、可能であれば漸縮工も引き続き行う。氾濫流が比較的穏やかな決壊口の上流側では施工条件が厳しくないため漸縮工を効率的に進めることができる。
 - (2) 河床勾配が緩い場合
 - ・堤防法線に対して直角方向に氾濫する流況となり、決壊口中央では流速が大きく、**深掘れが生じる傾向**
 - 決壊口の両側からの漸縮工が効果的であるが、**深掘れ箇所では多くの投入資材が必要**となる
 - (3) 川幅が広い場合
 - ・決壊口の拡幅が継続して決壊幅は大きくなる
 - 氾濫流量が大きいため締切工事による減災効果が発揮されやすい。**河床勾配も急な場合には決壊口内の流速が大きくなるので、投入資材の流出防止等の工夫が必要**となる。

締切資材投入の効率化に向けた実験

北海道内での緊急締切工事等の事例調査

調査事例の全てで、**工事の初期段階では締切資材の投入にクレーンではなくバックホウを使用**



バックホウを使用し、決壊口に見立てた箇所に複数の方法でブロックを投入して、各投入方法の作業効率を計測



締切資材の投入実験



北海道庁提供



堤内地

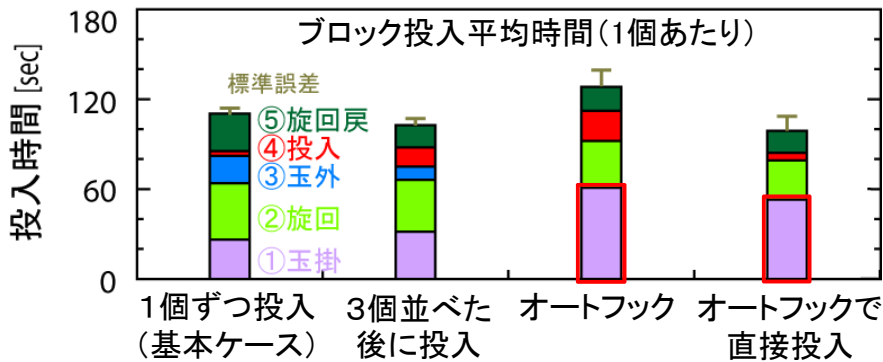
北海道開発局提供



緊急締切工事の事例

7

締切資材投入の効率化に向けた実験



- ・バックホウでのブロック投入速度は概ね2分/個
- ・オートフックを用いた場合では、大幅な時間短縮とはならず
 - オートフックでは玉掛けに要する時間が30秒程度長くかかる
 - オートフックの玉掛作業の訓練による作業効率の向上の余地あり
- ・オートフックを用いる場合には、ワイヤーの絡まりに注意

※どの投入方法を採用するかは、実際の現場条件次第

10

参考情報

堤防決壊時に行う緊急対策工事の
効率化に向けた検討資料（案）

平成 30 年 3 月

国土交通省 北海道開発局
国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所

- ・研究成果を「堤防決壊時に行う緊急対策工事の効率化に向けた検討資料(案)」として公表
- ・「十勝川千代田実験水路を活用した水防技術開発」として、平成30年度の全建賞を受賞



全建賞の盾

11

高流速下の水流・水面波・掃流砂による構造物の安定性評価と維持管理技術の開発

背景

急流河川では、洪水時に水面が三角状に切り立つ三角波が発達することがある



高速流による三角波(昭和56年8月 豊平川
『石狩川流域誌』(北海道開発局)より)

問題点

- ①三角波の発生条件が不明
- ②三角波が河川構造物の被災要因の一つである可能性があるものの、三角波の河川構造物に及ぼす影響は不明



豊平川床止工近傍の写真
(平成23年9月出水後 北海道開発局提供)

研究内容

- ①三角波の発生する水理条件を明らかにすること
- ②三角波が構造物に及ぼす影響を評価する技術を開発すること
- ③三角波発生時の構造物の被災防止技術を開発すること
- ④三角波の発生を再現できる数値解析モデルを開発すること

10

三角波の発生条件を明らかにするための実験

実験条件：フルード数、無次元掃流力、水路幅－水深比等のパラメータを幅広く網羅するように設定(全27ケース)

| | 水路幅 (m) | 粒径 (mm) | 勾配 | 流量 (l/s) | 平均水深 (m) | フルード 数 | 水路幅 水深比 | 無次元 掃流力 |
|-------|------------|------------|--------|-----------------|-------------|-----------|------------|------------|
| Run1 | 0.5 | 1.42 | 0.0080 | 15.2 | 0.045 | 1.02 | 11.1 | 0.154 |
| Run2 | 0.5 | 1.42 | 0.0080 | 36.8 | 0.079 | 1.04 | 6.3 | 0.273 |
| Run3 | 0.5 | 1.42 | 0.0145 | 8.1 | 0.025 | 1.30 | 20.0 | 0.155 |
| Run4 | 0.5 | 1.42 | 0.0145 | 1.8 | 0.010 | 1.16 | 50.0 | 0.062 |
| Run5 | 0.5 | 5.00 | 0.0180 | 19.5 | 0.045 | 1.31 | 11.1 | 0.098 |
| Run6 | 0.5 | 5.00 | 0.0180 | 26.7 | 0.055 | 1.32 | 9.1 | 0.120 |
| Run7 | 0.5 | 5.00 | 0.0180 | 42.9 | 0.075 | 1.34 | 6.7 | 0.164 |
| Run8 | 0.5 | 5.00 | 0.0320 | 10.3 | 0.025 | 1.66 | 20.0 | 0.097 |
| Run9 | 0.5 | 5.00 | 0.0320 | 21.7 | 0.040 | 1.73 | 12.5 | 0.155 |
| Run10 | 0.5 | 5.00 | 0.0320 | 30.7 | 0.050 | 1.76 | 10.0 | 0.194 |
| Run11 | 1.0 | 5.00 | 0.0150 | 44.6 | 0.050 | 1.27 | 20.0 | 0.091 |
| Run12 | 1.0 | 5.00 | 0.0150 | 113.3 | 0.090 | 1.34 | 11.1 | 0.164 |
| Run13 | 1.0 | 5.00 | 0.0150 | 67.8 | 0.065 | 1.31 | 15.4 | 0.118 |
| Run14 | 1.0 | 5.00 | 0.0250 | 57.5 | 0.050 | 1.64 | 20.0 | 0.152 |
| Run15 | 1.0 | 1.42 | 0.0110 | 44.5 | 0.050 | 1.27 | 20.0 | 0.235 |
| Run16 | 1.0 | 1.42 | 0.0110 | 76.2 | 0.070 | 1.31 | 14.3 | 0.329 |
| Run17 | 1.0 | 1.42 | 0.0250 | 15.1 | 0.020 | 1.71 | 50.0 | 0.213 |
| Run18 | 0.5 | 1.42 | 0.0303 | 12.4 | 0.026 | 1.89 | 19.2 | 0.336 |
| Run19 | 0.5 | 1.42 | 0.0303 | 9.5 | 0.022 | 1.86 | 22.7 | 0.285 |
| Run20 | 0.5 | 1.42 | 0.0250 | 11.3 | 0.026 | 1.72 | 19.2 | 0.277 |
| Run21 | 0.5 | 1.42 | 0.0080 | 8.0 | 0.030 | 0.98 | 16.7 | 0.102 |
| Run22 | 0.5 | 1.42 | 0.0080 | 23.8 | 0.060 | 1.03 | 8.3 | 0.205 |
| Run23 | 0.5 | 1.42 | 0.0080 | 12.6 | 0.040 | 1.01 | 12.5 | 0.137 |
| Run24 | 0.5 | 1.42 | 0.0040 | 16.8 | 0.060 | 0.73 | 8.3 | 0.102 |
| Run25 | 0.5 | 1.42 | 0.0040 | 31.0 | 0.090 | 0.73 | 5.6 | 0.154 |
| Run26 | 0.5 | 1.42 | 0.0040 | 47.4 | 0.120 | 0.73 | 4.2 | 0.205 |
| Run27 | 0.5 | 1.42 | 0.0040 | 71.5 | 0.160 | 0.71 | 3.1 | 0.273 |

11

三角波の発生条件を明らかにするための実験

実験で見られた三角波の例



Run2 通水30分後
中央に一の波

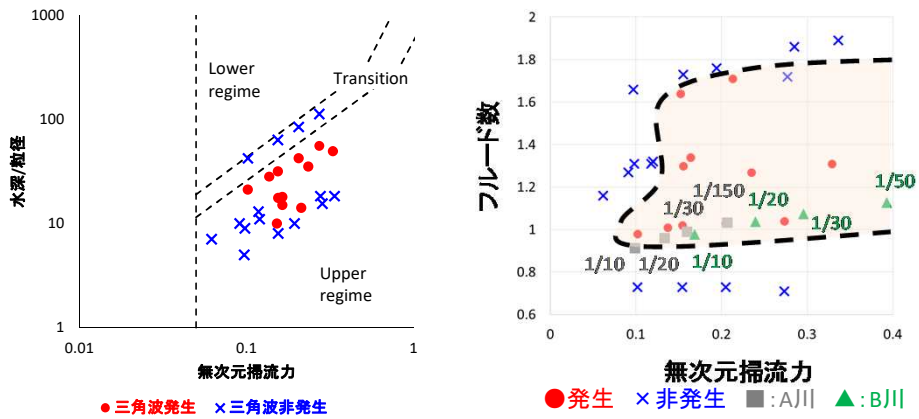


Run3 通水5分後
横断方向に三列の波

従来、三角波は低水路の中央付近での発生報告が多かったが、河道内のより広い範囲で同時に発生する可能性を示唆している

12

三角波の発生条件を明らかにするための実験



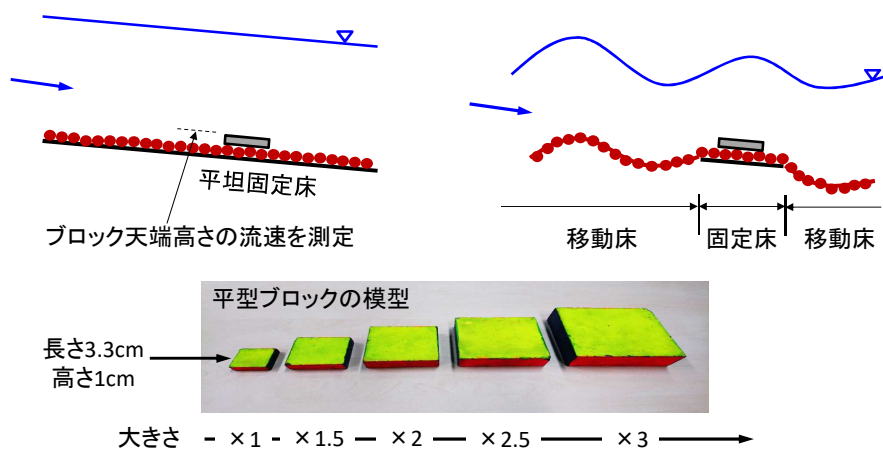
- ・フルード数と無次元掃流力が大きめの領域で発生する
- ・フルード数が大きすぎると発生しづらくなる傾向
- ・発生ケースは全てUpper regime(射流域)だが、粒径に対して水深が小さい場合は発生しない傾向
- ・気候変動により豪雨が従来よりも頻繁に発生するようになれば、三角波もそれに応じてより頻繁に発生すると考えられる

13

三角波の発生が構造物の安定性に及ぼす影響

室内実験 三角波が発生するとブロックが移動しやすくなるのか？

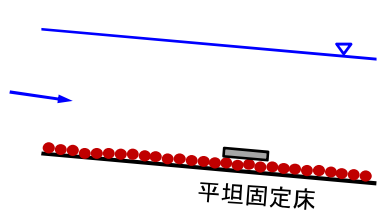
- ・平坦固定床(粗度付き)と移動床で模型ブロックの移動状況を比較
- ・重量が異なる相似の平型ブロックの模型を5種類用意し、様々な水理条件でのブロックの停止と移動の判定を行う



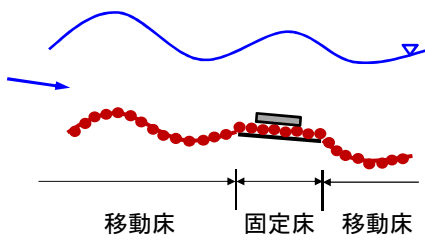
14

三角波の発生が構造物の安定性に及ぼす影響

平坦固定床 (移動床の場合は三角波が発生する水理条件)

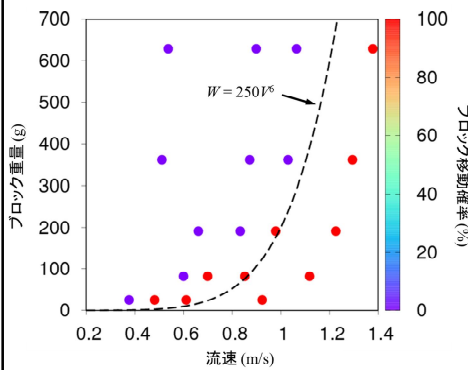


移動床 (三角波が発生する水理条件)

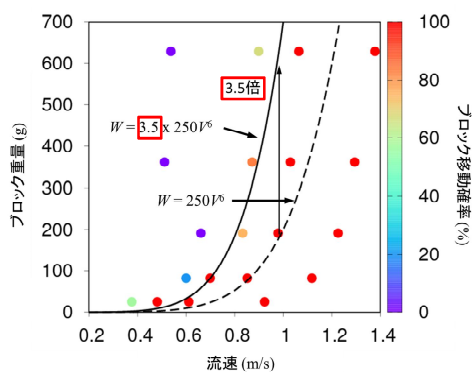


三角波の発生が構造物の安定性に及ぼす影響

平坦固定床



移動床



「護岸の力学設計法」(ブロックの必要重量 \propto 流速の6乗)で実験結果をうまく説明できる

平坦固定床に比べて、ブロックが移動しないためには、**3.5倍のブロック重量が必要**

三角波が発生する場では、護岸等のブロックが移動しやすくなり、ブロックの必要重量が顕著に増加することを示唆

三角波発生時の流況測定

流況測定の目的

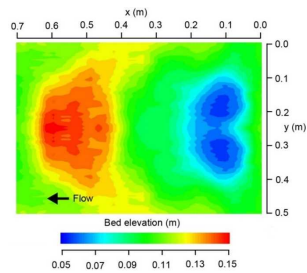
- 三角波発生時のブロックの不安定化要因の解明

計測手法

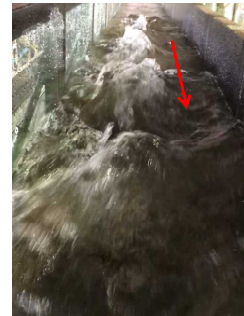
- 移動する反砂堆上の詳細な流況測定は、水面や河床の時間変化が大きいので困難
- 河床形状(反砂堆)は、通水を停止すると、大きく変化してしまうので、通水後の河床形状を測定しても意味が無い。

→**光切断法**で通水中に河床形状(反砂堆)を測定し※、それをもとに固定床を作成し、移動床と同じ流量をその固定床に流した上で流況を測定

※右岸側のみ計測し、左岸側は計測した右岸側の対称地形としている



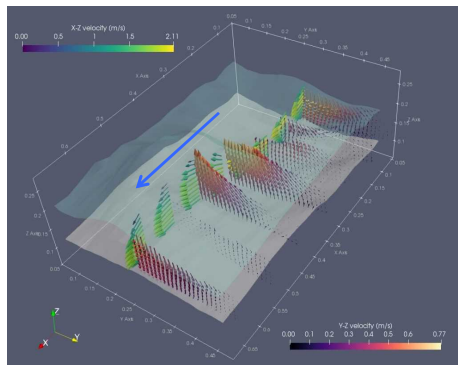
測定した反砂堆の河床形状



固定床実験における三角波

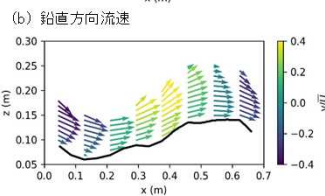
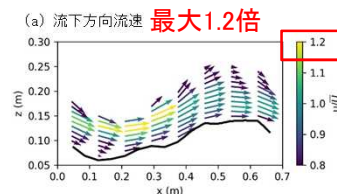
17

三角波発生時の流況測定



固定床実験で計測した流速分布

(x-z方向の流速ベクトルの長さは、y-z方向の流速ベクトル長さの半分で描画)



局所流速と平均流速の比

- 平均流速 \bar{U} が護岸の必要重量算定で用いられる代表流速に相当するならば、**三角波発生時のブロックの必要重量は平坦河床に比べて約3倍**($1.2^2=2.986$)となり、ブロックの移動実験の結果の約85%($3/3.5$)の値

流下方向の流速増大箇所の発生が、
ブロックの移動しやすくなる主要因の一つ

- 流速の時間変動や上昇流の影響(v/\bar{U})も主要因となり得る(今後検討)

18

ハザードマップの問題点

- ・全戸配布されているが、意識の高い方しか見ない
- ・説明会を開催しても意識の高い方しか来ない



これまでの洪水ハザードマップ(札幌市)

いざという時に初めて見ても
見方(色の意味等)がわからない

- ・居住市町村外に通勤・通学する方には、会社や学校の所在市町村のマップは配布されない
- ・旅行者が配布されたマップを見る可能性はほぼゼロ
仮にスマホ等でマップを見たとしても、土地勘が無いので、マップのどこに自分がいるのかわからない
- ・日本語がわからない外国人には理解不可能。
特に土地勘も無く、日本語もわからない外国人旅行者は絶望的状況

22

3D浸水ハザードマップ

現状のハザードマップは浸水深や避難ルート等の事前確認が前提となっているため、事前確認していない人には殆ど役に立たない

住民目線のソフト対策への転換(水防災意識社会再構築ビジョン)

本研究の目的

- ・浸水リスクや避難場所等の情報を、その地域を初めて訪れた方にもわかりやすく伝えることのできるハザードマップを提案
- ・Google Earth及びStreet Viewを活用したハザードマップ(3D浸水ハザードマップ)の提案

3D浸水ハザードマップの利点

- ・地形や建物、街並み等の3次元モデルが整備されており、平面的な眺め、鳥瞰的な眺め及び街角からの眺めを任意の角度で見ることが可能
- ・無料で利用可能
→市町村のマップ作成費用が安価



札幌駅周辺の浸水状況(鳥瞰図)

© 2018 Google、© 2018 ZENRIN

20

まとめ

- ①破堤被害を最小化するための破堤氾濫流量の軽減技術に関する研究
 - ・河道特性に応じた決壊口の拡幅現象を分類するとともに、分類ごとの締切工事の要点を示した
 - ・バックホウを用いた様々な締切資材の投入方法について、作業効率及び留意点を示した
- ②高流速下の水流・水面波・掃流砂による構造物の安定性評価と維持管理技術の開発
 - ・三角波の発生する水理条件を明らかにした
 - ・三角波が発生すると護岸等のブロックが移動しやすくなることを示した
 - ・流下方向の流速増大箇所の発生が、ブロックの移動しやすくなる主要因の一つであることを示した
- ③3D浸水ハザードマップ作成技術に関する研究
 - ・Google Earth及びStreet Viewを活用し、様々なアングルで浸水状況を直感的に把握することのできる3次元ハザードマップを作成した

21

参考情報

寒地河川 検索

北海道における3D浸水ハザードマップ

このコンテンツでは、現場で役立つマニュアルやプログラムをダウンロード頂けます。ぜひご利用ください。

3Dハザードマップ

札幌市及び近郊における3D浸水ハザードマップ

技術基準・マニュアル類

中小河川を対象とした洪水はん濫計算の手引き(案)

結氷河川における流量観測時の留意事項(河川砂防技術基準調査編)

大規模出水時調査要領(案)

樹林化抑制を考慮した河岸形状設定のガイドライン(案)

沖波河川堤上予測の手引き(案)

河川結氷時の流量推定手法マニュアル(案)

結氷河川解析マニュアル(案)

岩盤河床における河床低下危険度評価の手引き(案)

2wayによる逆行復元ガイドライン(案)

寒冷地河川域の沖波痕跡調査マニュアル(案)

堤防決壊時に行う緊急対策工事の効率化に向けた検討資料(案)

ファイルのダウンロード方法等の説明が記載

堤防決壊時に行う緊急対策工事の効率化に向けた検討資料(案)

平成30年3月

国土交通省 北海道開発局
国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所

25