# 二線堤による氾濫被害軽減効果の可視化

Research on Visualization of Flood Damage Reduction Effect by Double Line Levees.

室蘭工業大学	○学生員	柳谷友輝	(Yuki Yanagiya)
室蘭工業大学	学生員	清水皓太	(Kota Shimizu)
室蘭工業大学	正 員	中津川誠	(Makoto Nakatsugawa

# 1. まえがき

近年日本では豪雨災害が頻発している. 2015年9月の 関東・東北豪雨 1)では、台風 18 号が上陸し、その影響 によって関東,東北地方を中心に河川の氾濫,土砂災害 が発生した.これにより鬼怒川では、流下能力を上回る 洪水となり,越水による堤防の決壊が発生し甚大な被害 が生じた. また, 2016年8月の北海道豪雨では, 4つの 台風が連続して上陸及び接近し、十勝川水系と石狩川水 系の空知川上流で堤防の決壊や河川の氾濫が発生した. これにより空知川上流では越水による堤防の決壊が発生 し、南富良野町市街地を中心に多大な浸水被害をもたら した. 南富良野における被害状況を写真-1<sup>2</sup>に示す.

さらに、2018年7月の西日本豪雨 3)では、本州付近に 停滞する梅雨前線の活動が活発になり、九州から東北に かけて広い範囲で断続的に激しい雨が降り続き、甚大な 被害が発生した.これにより岡山県倉敷市では高粱川の 支川の小田川で2箇所,小田川支川の末政川,高馬川等 でバックウォーターによる決壊が発生し、真備町の4分 の1が浸水する被害が生じた. 倉敷市の被害状況を写真 -23)に示す.バックウォーターとは、下流側の水位の 変化が上流にも影響を及ぼす現象のことで、大雨などの 影響により、増水した本流の流れによって支川の流れが せき止められ、支川の水位が上昇する現象である.

以上を背景に、本研究ではバックウォーターによる被 害状況及び、その対策としての二線堤4の氾濫被害軽減 効果の可視化を行った. 二線堤とは本堤背後の堤内地に 築造される堤防のことをいう. 道路盛土を嵩上げして堤 防の機能をもたせることもある. 万が一,本堤が破堤し た際に、洪水氾濫の被害を防ぎ被害を最小限に抑える役 割を果たす.また、気候変動適応策の有力な対策の1つ となると考える.可視化を行うにあたって、EMRIVER EM3<sup>5</sup>と iRIC2.3 Nays2D Flood<sup>6</sup>という実験装置及びソフ トウェアを用い比較検討を行った. これらによるバック ウォーターを模型やシミュレーション動画で可視化する ことによって、外水氾濫の危険性及び二線堤の効果を一 般社会に認知させることを本研究の目的とする.

#### 2. 方法

#### 2.1 実験装置(EMRIVER EM3<sup>5)</sup>について)

Little River Research&Design 社製の EMRIVER EM35)(本 稿では以下 Em3 と表記する)は河川のダイナミックな水 の流れや河道の形成過程を実験で再現することができる 実験装置であり、研究や教育に有用なツールである. そ の仕組みは、上流部にあるタンクに貯水し、装置上部に あるポンプで水をくみ上げ水を流下させる. Em3 で使

用している河床材は、通常の砂とは異なり流出しやしや すく,軽い材料を使用している.この材料はメラミンプ ラスチックで人工的に作られており、粒径が 1.4, 1.0, 0.7, 0.4 mm で 4 種類あり, それぞれ黄, 白, 黒, 赤と 異なった特徴があるため,土砂移動による浸食や堆積, 蛇行といった川の基本原理を可視化できる.本研究で用 いる Em3 のイメージを写真-3. 写真-4 に示す.

本研究で扱う河川は、2018年の西日本豪雨において バックウォーターの影響で破堤した小田川の支川を参考 に、実際のサイズの 1/100 スケールを想定して作成した <sup>7)</sup>. 本研究で用いる Em3 のスケールを図-1 に示す. 川 幅を 10cm とし、その両岸に高さ 15 cm の発泡スチロー ルで作成した堤防を設置した.その堤防のうち,左岸側 に延長 20 cm の堤防がない区間を設け、この区間は Em3 の河床材を使用し、天端幅 6.5 cm,堤防高 7.5 cm, 裏法 部堤防敷幅 15 cm の 2 割勾配の堤防を作成した.堤内地 の地盤高は, 2.5 cm とする. 実験を行った条件を表-1 に示す.

次にバックウォーターを再現するにあたり, Em3 の 最下流部に高さ 12 cm の木製の板を配置することにより 水の流出を防ぎ、バックウォーターの再現を行う.また、 写真-3 に示すように二線堤を設置した際の比較検討を 行うために、破堤箇所から12 cm離れた地点に高さ2 cm、



写真-1 空知川氾濫時の被害状況 (国土交通省関東地方整備局<sup>2)</sup>)



写真-2 高馬川氾濫の被害状況 (国土交通省北海道開発局<sup>3)</sup>)

幅 5 cm の二線堤を作成し、比較することで二線堤の効 果を可視化する、二線堤は Em3 の河床材をプラスチッ ク製の板で囲み、テープで固定することで浸透しない二 線堤を作成する.

# 2.2 シミュレーション(iRIC Nays2D Flood<sup>6)</sup>について)

iRIC Navs2D Flood<sup>6)</sup>(本稿では以下 iRIC と表記する)は、 河川の流れ・河床変動解析を行うソフトウェアであり, 地形・河川のデータ・粗度のデータ等を入力し、氾濫計 算を行うソルバーの1つである.

本研究における計算条件は、実験で行った条件と同様



写真-3 Em3の外観(真上から)



写真-4 Em3の外観(下流側から)



図-1 Em3の構造と寸法 表 - 1 Fm3 と想定した実物との比較

祝 一 ここで この た の に 秋				
	模型(model)	想定した実物(prototype)		
縮尺	1	100		
川幅 (m)	0.1	10		
流量 (m <sup>3</sup> /s)	0.00012	12		
堤防高 (m)	0.15	15		
河床勾配	1/2300	1/2300		

参考) フルード相似則に基づく模型(m)と実物(p)の倍率, 縮尺 *r=x<sub>p</sub>/x<sub>m</sub>* (x<sub>p</sub>:実物長さ, x<sub>m</sub>:模型長さ), 流速 *U<sub>p</sub>=r<sup>12</sup>・U<sub>m</sub>*, 流量 *Q<sub>p</sub>=r<sup>52</sup>・Q<sub>m</sub>*, 時間 *t<sub>p</sub>=r<sup>12</sup>・t<sub>m</sub>* 

の設定とした.二線堤が無い場合の地形データは x, y, zの3方向の座標データを4地点分用いて作成する.二 線堤が有る場合は, Em3 における二線堤配置箇所の地 形データの標高を 1.5cm 上げることで二線堤を再現する. 流入量は Em3 と同じ 120 ml/s, 粗度係数は 0.03, 家屋部 分の家屋占有面積率は 0.3 に設定した. また, 計算サイ ズは 2.28 m×0.94 m,格子数は模型横断方向 102 個,縦 断方向 57 個とする.背景画像として実験前の家屋の位 置、二線堤の位置に合わせて iRIC 上でもそれぞれ障害 物セル、破堤セル、家屋占有面積率、二線堤の位置を設 定する.計算前の画像を図-2 に示す.計算後に家屋到 達時の流速、水深を計算する際に用いる家屋部分のセル を図-2上に×印で記す.破堤開始時間は, Em3の実験 で破堤した時間と同じ 90 秒に揃える.また、越水時の 水深を実験と合致させるため、堰上げ位置を 0.45 m 上 流にずらすように設定した.

#### 3. 結果と考察

#### 3.1 Em3 を用いた氾濫実験結果

Em3 を用いたバックウォーター再現実験の二線堤が 有る場合と無い場合における破堤してから同時刻の比較 画像を写真-5,写真-6 に示す. 流速の計算は動画解 析をし、模型における家屋の先端部と末端部の長さを 各々到達した時間の差分で除し,平均流速を計算した. (1)二線堤が無い場合の実験結果

実験結果より得た家屋部の水深および流速、家屋先端 部分および末端部分到達時間を表-2 に示す. 毎秒 120 ml の水が上流部から流入することにより、河川水位が 上昇し堤防高を超えた水は堤防を越流し,破堤が起きた. これにより、破堤と同時に多量に貯留されていた河川の 水が堤内地側へ流れ込む結果となった.また,破堤地点 に最も近い家屋は水の勢いにより倒壊した. (2)二線堤が有る場合の実験結果

実験結果より得た家屋部の水深および流速、家屋先端 部分および末端部分到達時間を表-3 に示す.二線堤が 無い場合と同様に、水が堤防を越流し多量の水が堤内地 側へと流れ込んだが、家屋への浸水が生じたのは、破堤 開始から約 24 秒後であった. これは, 破堤箇所と家屋 の間の二線堤が、水を一時的に受け止め、破堤箇所から 直接流れ込んでくる水のエネルギーを減勢させたためと 考える.その結果、家屋への浸水は見られたが、倒壊の 被害は生じなかった.

(3)二線堤の有無での実験結果の比較

2 つの条件を比較すると破堤後、家屋に水が浸水する



までの時間は二線堤が有ることで4倍となり, 18秒の 差が生じた.また,家屋に浸水した時の流速は,二線堤 があることで1/10となった.これらの値をフルード相 似則に当てはめると,実際のスケールにおいて浸水する までの時間で180秒の差となり,家屋に浸水した時の流 速では2.0 m/sが0.2 m/sとなり,家屋の倒壊が発生しな かったと考える.このような時間差や流れの減勢効果を 活かし,上方への避難など緊急時の対応が可能となると 考える.

# 3.2 iRIC Nays2D Flood を用いた氾濫計算結果

iRIC による二線堤が無い場合における水深,流速の 計算結果をそれぞれ図-3,図-4 に,二線堤が有る場 合における水深,流速の計算結果をそれぞれ図-5,図 -6 に示す.水深,流速は 2.2 で説明した×印のセルに おける値を iRIC 上で求める.

(1)二線堤が無い場合の計算結果

計算結果より得た家屋部の水深および流速,家屋先端 部分および末端部分到達時間を表-4に示す. Em3 での 実験結果と同様に,河川水位が上昇し堤防が破堤した直 後,河道に貯まっていた水が堤内地側へ流れ込んだ. Em3 の実験結果と比較した際に水深の値に大きな差が



写真-5 実験画像(二線堤無し)



写真-6 実験画像(二線堤有り) 表-2 Em3の実験結果(二線堤無し)

	模型(model)	想定した実物(prototype)		
家屋部分水深(m)	0.002	0.200		
家屋部分流速(m/s)	0.20	2.00		
家屋先端部分到達時間(s)	6	60		
家屋末端部分到達時間(s)	8	80		
表-3 Em3の実験結果(二線堤有り)				
	模型(model)	想定した実物(prototype)		
家屋部分水深(m)	0.002	0.200		
家屋部分流速(m/s)	0.02	0.20		
家屋先端部分到達時間(s)	24	240		
家屋末端部分到達時間(s)	45	450		

生じたがこれは iRIC での計算が地盤への浸透を考慮し ていないためと考える.

(2)二線堤が有る場合の計算結果

計算結果より得た家屋部の水深および流速,家屋先端 部分および末端部分到達時間を表-5 に示す.この結果 は Em3 の結果よりはやや大きい.しかしながら,いず れにしても破堤箇所から直接流れ込んでくる水流のエネ ルギーを減勢させる効果があることがわかる. (3)二線堤の有無での計算結果比較

2 つの条件を比較すると破堤後,家屋に水が浸水する までの時間は二線堤が有ることで 2.5 倍となり 3 秒の差 が生じた.また,家屋に浸水した時の流速は,二線堤が



	模型(model)	想定した実物(prototype)
家屋部分水深(m)	0.030	3.000
家屋部分流速(m/s)	0.080	0.80
家屋先端部分到達時間(s)	5	50
家屋末端部分到達時間(s)	27	270

有ることで1/2.5 となった. これらの値をフルード相似 則に当てはめると,実際のスケールにおいて浸水するま での時間で30秒の差となり,家屋に浸水した時の流速 では2.0 m/sが0.8 m/sとなった.2.2 で説明した図-3の ×印の位置のセルにおける流速の変化を図-7に示す.





図-8 実験画像(Em3, 二線堤無し, 破堤 10 秒後)



図-9 計算画像(iRIC, 二線堤無し, 破堤 10 秒後)





図-11 計算画像(iRIC, 二線堤有り, 破堤 10 秒後)

これらのことから二線堤を配置することにより家屋に水 が浸水するまでの時間を稼ぐことができ,家屋に水が浸 水した後においても二線堤の減勢効果によって構造物の 倒壊や流出などを妨げることが示唆できた.なお,構造 物の倒壊,流出の定量的評価についてはさらなる検証が 必要である.

### 3.3 Em3 と iRIC における実験結果比較

堤防が破堤してから 10 秒後における二線堤が無い場 合の実験結果の比較を図-8,図-9,二線堤が有る場合 の実験結果の比較を図-10,図-11に示す.

二線堤が有る場合における実験結果を比較した際, iRIC の方が早く浸水が生じたが,家屋の先端に浸水が 生じてから末端に到達するまでの時間の差はほとんどな かった.これより二線堤については同様の効果を可視化 して確認することが出来たと考える.

# 4.あとがき

本研究で得られた成果を下記に記す.

- バックウォーターによる破堤被害の大きさを実験に よる破堤の様子や家屋の倒壊の様子で確認すること ができた.二線堤を配置することにより家屋に水が 浸水するまでの時間を稼ぐことができ,浸水による 家屋への被害の軽減効果を確認することができた.
- 2) iRIC Nays2D Flood<sup>6</sup>を用いた二線堤の比較計算を行った結果、二線堤を配置することで家屋に浸水する際の流速を小さくし、氾濫被害を軽減することが出来ることが確認できた。

#### 参考文献

- 国土交通省関東地方整備局:「平成 27 年 9 月関 東・東北豪雨」に係る洪水被害及び復旧状況等に ついて, http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr\_content/000638 258.pdf(2018.11.28 閲覧)
- 国土交通省北海道開発局:平成28年8月北海道豪 雨災害 被災とその影響、そしてこれから, https://w ww.hkd.mlit.go.jp/ky/saigai/splaat0000000tsj-att/splat 0000000ugk.pdf(2018.11.21 閲覧)
- 国土交通省中国地方整備局:国管理河川 小田川 の河川管理施設等の被害及び応急復旧対策の状況, http://www.cgr.mlit.go.jp/emergency/2018/pdf/02odaga wahaifu.pdf (2018.11.21 閲覧)
- 国土交通省水管理・国土保全局, http://www.m lit.go.jp/river/pamphlet\_jirei/kasen/jiten/yougo/05\_06.ht m(2018.11.28 閲覧)
- 5) LITTLE RIVER RESEACH&DESIGN, https://emriver.co m/ (2018.11.20 閲覧)
- iRICプロジェクト: iRICソフトウェア, http://i-ric. org/ja/ (2018.11.20閲覧)
- 前野詩朗:岡山県における河川災害の概要,水工 学委員会平成30年西日本豪雨災害調査報告,http://c ommittees.jsce.or.jp/report/system/files/maeno.pdf(2018.1 1.28 閲覧)