

拡幅プロセスを考慮した破堤氾濫流に対する水防林の減災効果に関する研究

九州工業大学大学院 学生会員 ○岡村 賢治
九州工業大学大学院 正会員 重枝 未玲

九州工業大学大学院フェロー会員 秋山 壽一郎
九州工業大学大学院 学生会員 和田 浩輔

1. はじめに

本研究は、砂質堤を用いた模型破堤実験と有限体積法・非構造格子・FDSに基づく平面2次元不定流モデルに堤防決壊後の拡幅プロセスと水防林の取り扱いを組み込んだ河道・氾濫原包括解析(以下「本モデル」という)に基づき、水防林に期待される減災効果について検討を加えたものである。

2. 実験の概要

実験装置は、矩形断面水路(長さ=3.8(m), 幅 B , 粗度係数 $n=0.01$)の左岸側に法面勾配2割の堤防(高さ Y , 幅 T)を設け、堤防部の一部区間(長さ S)を砂質堤としたものである。河道部右岸側および、氾濫原部境界①~③は壁面で、河道部の河床、堤防敷と氾濫原部は同じ高さに設定されている。実験装置と重要な諸量を図-1に示す。

砂質堤は、豊浦標準砂(粒径150~300(μm))を用い、含水比(=14%)と質量(=10(kg))を一定に保った状態で作成した。氾濫原部には、模型水防林(長さ=3.8(m), 幅 L_w , 透過係数 $K_T=0.38(\text{m/s})$), および模型家屋(0.06 \times 0.06(m), 建物占有率=25%)を図-1に示すように設置した。

実験は、水防林を設けない場合(CASE N), 設けた場合(CASE T)について河道上流から一定流量 $Q_{IN}(=0.0111(\text{m}^3/\text{s}))$ を通水し、決壊口が拡幅している状態で堤外水位 h_1 , 堤内水位 h_2 , 氾濫流量 $Q(t)$, 決壊口拡幅幅 $L(t)$ の時系列変化を調べた。また、流出水が完全越流~もぐり越流状態、および前者から後者へ遷移する状態で通水を止め、各決壊口形状をセメントスプレーで固め、拡幅しない定常状態で破堤部近傍の堤内外および模型家屋周りの水位 h , 各決壊口形状, SEC2における流出角度 θ , 模型家屋に働く流体力 D を計測した。実験条件を表-1に示す。

拡幅時の各諸量の測定方法は次のとおりである。 $h_1(t)$, $h_2(t)$ は、各測点に直径が極めて小さい棒を立て、デジタル画像より算定した。 $Q(t)$ は河道下流端の流出流量 $Q_{OUT}(t)$ を量水枡より計測し、 $Q(t)=Q_{IN}-Q_{OUT}(t)$ より算定した。 $L(t)$ は画像解析より定め、越流状態の遷移時間は $h_1/h_2=2/3$ から推定した。定常状態では、 h はポイントゲージで、決壊口形状はレーザー変位計で測定し、 θ はPTV解析より求め、 D は3分力計で測定した。

3. 結果と考察

水防林を設けない場合は、水あたりが強い破堤部下流側が侵食され、決壊口形状と破堤氾濫流の流向が時間経過とともに変化し、流出した堤体材料が堤内地側に堆積する。水防林を設けた場合は、 $w/T=0.2$ では水防林によって氾濫流が堰上げられ、水防林を設けない場合と比較して早期にもぐり越流状態へ遷移し、流出水の流速が緩和されることで堤体の侵食が抑制されるとともに、流出した堤体材料が堤防~水防林の間に堆積することが確認された。なお、紙面の都合から $w/T=0.4$ の考察は割愛する。

図-2は、無次元量 $L(t)/B$ と $Q(t)/Q_{IN}$ の時系列を示したものである。これより、(i)水防林の有無にかかわらず、拡幅は $t_1 \approx 110(\text{s})$ までほぼ線形的に進行し、それ以降は穏やかに拡幅が進行し、堤内外の水位差がなくなる $t \approx 200(\text{s})$ 以降は拡幅がほぼ停止する。このため $Q(t)$ も t_1 程度までほぼ線形的に増加し、 t_1 付近で最大値を取った後はほぼ線形的に減少し、 $t \approx 200(\text{s})$ 以降は極めて小さくなる。(ii) $w/T=0.2$ では、水防林の堰上げ効果により、 $L(t)/B$, $Q(t)/Q_{IN}$ の最大値はいずれも13%程度低減されることが確認された。

図-3は、氾濫流量の実験値 $Q_{EXP}(t)$ と解析値 $Q_{NUM}(t)$ とを比較したもので、本モデルが $Q(t)$ を良好に予測でき

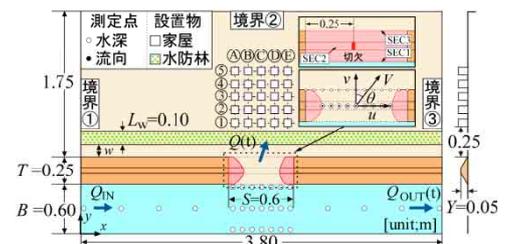


図-1 実験装置と重要な諸量
表-1 実験条件

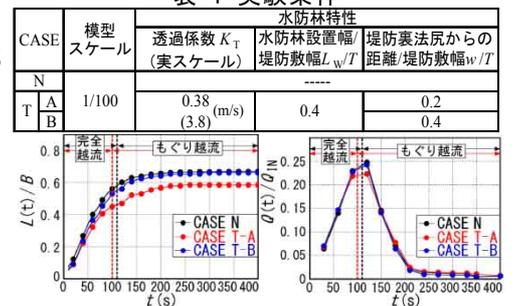


図-2 各無次元量の経時変化
(左: $L(t)/B$, 右: $Q(t)/Q_{IN}$)

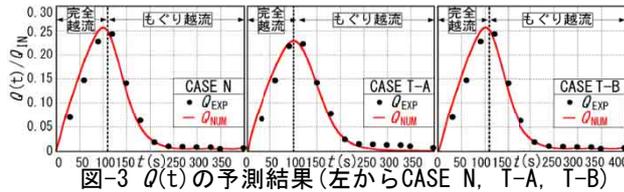


図-3 $Q(t)$ の予測結果(左からCASE N, T-A, T-B)

ることがわかる。なお解析では、決壊口形状にはSEC2の実断面積と等価な断面の矩形断面を用い、拡幅の関係 $L-t$ には、 $t=t_T$ まで一定速度で $0.80L(t_T)$ まで拡幅させ、その後 $0.80L(t_T)$ の一定値とする方法¹⁾を用いた。河道下流端境界条件には、刃形堰の公式を用いて、 $h\sim q$ の関係を与えた。 $Q_{NUM}(t)$ はSEC2における単位幅流量 $q(hv)$ を求め、これを $L(t)$ で積分して算定した。

図-4は、水防林を設けない場合の $D(t)$ と $h(t)$ について、実験結果と実測の決壊口形状を用いた解析結果とを比較したものである。これより、 $D(t)$ 、 $h(t)$ の相対誤差はそれぞれ概ね10%、5%以内に収まっていることが確認できる。なお、 $D(t)$ の誤差は、主に実験装置の関係から、 D_{EXP} の算出に用いる水位が家屋前面では過小に、家屋背面では過大に水位が評価されることに起因する。

図-5は、水防林を設けない場合の $D(t)$ と $h(t)$ について、実測断面と等価矩形断面を用いた解析結果とを比較したものである。これより、 $D(t)$ 、 $h(t)$ が概ね良好に評価されていることから、以下では等価矩形断面で検討する。なお、各諸量はフルードの相似則で実スケール換算し、家屋の流出条件は既往の研究^{2),3)}を参考にした。

図-6は流体力による家屋被害と家屋流出の状況を示しており、図中の■で示した以上の流体力が家屋に働いたときに該当家屋が完全に流出すると仮定して解析したものである。これからわかるように、(i)水防林の有無にかかわらず、拡幅の進行とともに、完全越流状態ではほぼ正面越流し、もぐり越流状態へ遷移後は θ が増加し、氾濫流の主流部は河道下流側へとシフトしていく。(ii)水防林を設けない場合は、 $t \leq 15(\text{min})$ で大半の家屋が流出するため、破堤部に近い家屋による流勢緩和がなくなり、 $t \leq t_T$ までに全家屋が流出する。浸水深は $t \leq 7(\text{min})$ で床下浸水程度($h < 0.5(\text{m})$)、 $7 < t \leq 15(\text{min})$ で床上浸水~1階部分の天井が水没する程度の水深($0.5 \leq h < 2.4(\text{m})$)、 $t \geq 30(\text{min})$ では氾濫原が湛水し全家屋が水没する。(iii)水防林を設けた場合は、流出家屋はライン①のみに限定され、浸水の進行にも1~3min程度の遅延が生じる。

図-7は、水防林を設けた場合の浸水深の低減率 $h_T(t)/h(t)$ 、および流体力の低減率 $D_T(t)/D(t)$ を示したものである。これからわかるように、水防林を設けた場合は、(i)破堤部に近いライン①~③において $h(t)$ が20~40%程度低減されるものの、破堤部から離れた家屋では水防林の有無による $h(t)$ の違いはほとんど認められない。 $D(t)$ は各家屋で50~90%低減され、家屋流出のリスクは著しく減少する。(ii)その一方、例えば $t=10(\text{min})$ の家屋①-⑥のように、水防林を設けない場合に氾濫流の主流方向から外れていた家屋では $h(t)$ が増加し、また $D(t)$ の低減率も他と比較して低くなる場合が生じる。

4. まとめ

拡幅プロセスを考慮した破堤氾濫流に対する水防林の減災機能について検討を加え、本モデルの有用性を明らかにした。

参考文献：1) 秋山ら：土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.70，2014(掲載予定)。2) 佐藤ら：第33回水理講演会論文集，pp.331-336，1989。3) 高橋ら：京学防災研年報，第28号B-2，pp.455-470，1985。

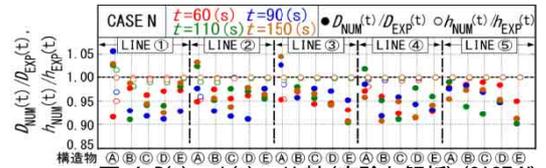


図-4 $D(t)$ 、 $h(t)$ の比較(実験と解析)(CASE N)

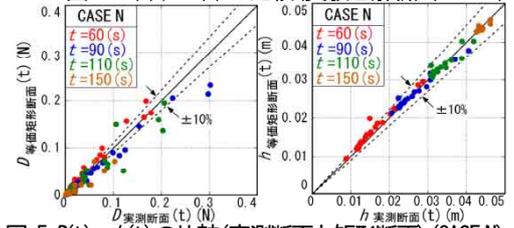


図-5 $D(t)$ 、 $h(t)$ の比較(実測断面と矩形断面)(CASE N)

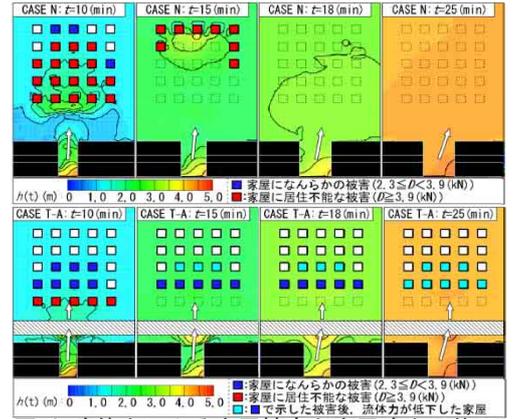


図-6 流体力による家屋被害と家屋流出の状況(上: CASE N, 下: CASE T-A)

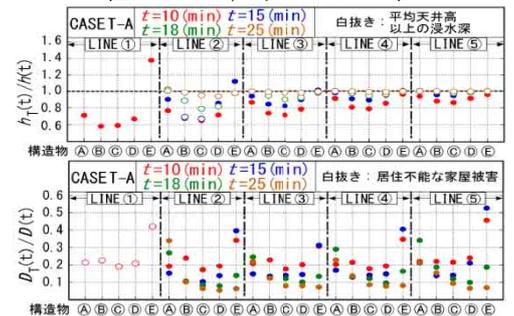


図-7 水防林による低減率(上: $h_T(t)/h(t)$ 、下: $D_T(t)/D(t)$)(CASE N, T-A)