

破堤氾濫流に対する水防林の流勢緩和・流向制御機能

九州工業大学工学部 学生会員 ○田島 瑞規
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 岩本 浩明

1. はじめに

本研究は、破堤氾濫流の特性を考慮した模型実験に基づき、水防林に期待される流勢緩和・流向制御等の機能について検討したものである。

2. 実験の概要

河道部・堤防部は、矩形断面水路(勾配 $I=0$ 、粗度係数 $n=0.01$)の左岸側に法面勾配2割の堤防(堤防高 $D=0.05\text{m}$ 、堤防敷幅 $T=0.25\text{m}$)と破堤部(破堤幅 L)を設けたものである。河道部右岸側は壁面、氾濫原部の境界①と③は壁面、境界②は段落ちとなっている。河床高、堤防敷高および氾濫原部の地盤高は全て同じに設定されている。また、河道部下流端には水位調節用の刃形堰が設けられている。実験装置と重要な諸量を図-1に示す。

実験条件は、計測上の制約や測定精度を勘案して予備実験より、Froude数 $F_r=(Q_{IN}/B)/(gh^3)^{1/2}=0.56$ 、 $L/B=2.0$ と定め、水防林なし(CASE A)、あり(CASE B)の実験を実施した。ここに、 h は河道部上流側での水位である。なお、この場合の氾濫流量 $Q_{EXP}(=\text{流入流量 } Q_{IN}-\text{流出流量 } Q_{OUT})$ は $0.009(\text{m}^3/\text{s})$ であった。

模型水防林の諸元(長さ T_i 、厚さ T_j)は、X川(T県)近傍の屋敷水防林(総数72)の調査結果(平均値： $T_i \approx 24(\text{m})$ 、 $T_j \approx 6(\text{m})$)より、模型スケールを $L_m/L_p=1/100$ として、 $(T_i \times T_j)_m=0.24(\text{m}) \times 0.06(\text{m})$ のように決定した。ここで、添え字 m と p はそれぞれ模型と実スケールを表している。模型水防林には、プラスチック製の多孔体(透過係数 $K_m=0.64(\text{m/s})$)¹⁾を用いた。なお、Froudeの相似則($K_p=K_m \times (L_p/L_m)^{1/2}$)より、実スケールでは $K_p=6.4(\text{m/s})$ である。

模型水防林の設置位置(x, y)と配置については、後述するCASE Aの実験結果より、 $\rho V^2 h$ が等しい範囲の図心を求め、これを連ねて最大流体力が発生するライン(以下「Sライン」という)を定め、Sラインに沿って、破堤部での最大流体力の75%となる位置で堤防に平行(CASE B-1, 配置a)、Sラインに垂直(CASE B-2, 配置b)となるように配置した。

測定項目は、図-1中に●で示した測点の水深 h と表面流速ベクトル V_s 、Sラインに沿った流体力 F 、および河道部での Q_{IN} と Q_{OUT} である。水深平均流速ベクトル V はPTV解析より得られた V_s から等流の関係式($V=0.90V_s$)を用い算定した。水深 h はポイントゲージで、 Q_{IN} と Q_{OUT} はそれぞれ電磁流量計と量水枡で計測し求めた。流体力は $\rho V^2 h$ を指標とした。ただし、Sラインに沿って示した○の測点では、以下の2点の理由により、3分力計(定格容量：2(kgf))を用いて流体力 F を測定した。① 破堤部～水防林の流れが急激に加速される箇所や水防林前背面では、 V が正しく計測できない可能性があり、 $\rho V^2 h$ も正しく評価できない可能性があること。② F は物体前背面の圧力差なので $\rho V^2 h$ とは定義が異なり、流体力の指標として $\rho V^2 h$ の妥当性の確認が必要なこと。

3. 結果と考察

図-2は、Sライン上の $\rho V^2 h$ と3分力計より得られた F とを比較したものである。ここに、 S は破堤部の堤防天端中央からSラインに沿って測った距離である。両流体力の違いは、水深や流速に依存することから、CASE Bの値を同位置におけるCASE Aの値を用いて無次元化し、これを $F^\#(=F_{\text{CASE B}}/F_{\text{CASE A}})$ のように表示している。これより、以下のことが確認できる。① 破堤部～水防林で流れが加速される箇所や水防林前背面では、 $\rho V^2 h^\#$ が正しく評価されていないこと。② ①を除けば、 $\rho V^2 h^\#$ と $F^\#$ は同様な傾向を示しており、 $\rho V^2 h$ が流体力の指標として妥当であること。なお、 $S/B=4.5 \sim 5.0$ で両者がほぼ同様となるのは、3分力計に取り付けた物体背後の水深がほぼゼロだからである。

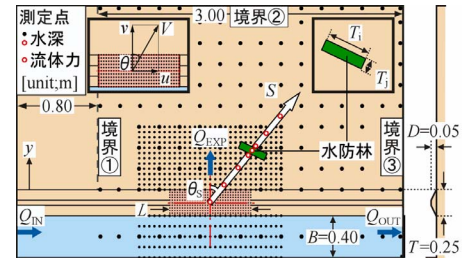


図-1 実験装置の概要と重要な諸量

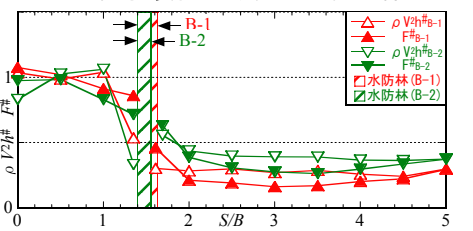


図-2 流体力 $\rho V^2 h$ と F (3分力計)の関係

図-3は、 S/B に対する各CASEの $\rho V^2 h$ と h の実験結果を示したものである。なお、 h は限界水深 $h_c=((Q_{EXP}/L)^2/g)^{1/3}$ 、 $\rho V^2 h$ は $\rho g h_c^2$ でそれぞれ無次元化し、これを*で示している。これより、以下のことが確認できる。

① 流体力は、CASE Aでは $S/B \div 1.0$ から緩やかに減少し、 $S/B=3.0$ では破堤部の約50%に減勢される。また、射流域での低減率 $(=\Delta \rho V^2 h^*)/(\Delta S/B)$ は-0.20程度である。CASE Bでは、水防林背面で急減し、そこから緩やかに減少する。水防林背後では、配置aでは破堤部の25%以下、配置bでは50%以下に低減される。また、低減率は、配置aでは-0.12、配置bでは-0.07程度であり、配置aの方が減勢効果は高い。② 水深は、CASE Bでは $S/B \div 2.5 \sim 3.5$ で若干水深が低下するが、その影響をほとんど受けない。全体的には、 $S/B \div 0.65$ で限界水深となり、そこから緩やかに減少する。また、射流域での低減率 $(=\Delta h^*)/(\Delta S/B)$ は-0.60程度である。

図-4は、両CASEの流況と流体力のコンター図である。 $\rho V^2 h$ と h は図-3と同様に、流速ベクトルの絶対値は限界流速 $(gh_c)^{1/2}$ で無次元化している。堤防に平行な破線は、 S ライン上の流体力が破堤部での最大流体力の75%~25%となる y/B である。すなわち、最大流体力で見たときの危険度を堤防からの距離として示したものである。図中の黄矢印は、水防林の流向制御機能によって、 S ラインからシフトした大きな流体力が発生するラインを示している。黒枠は、先述の理由より $\rho V^2 h$ の信頼性が低いと判断された範囲である。

図-4より、以下のことが確認できる。両CASEに共通した特徴は、① 破堤部上流端で生じる死水域のために破堤幅が実質的に減少し、流出水は破堤部下流側に偏流・集中する。② 流出水は右斜め上方向に大きな流速を持つと同時に、一部が破堤部下流端に衝突するため、堤防法線方向にも大きな流速を持つ。③ 流出水は $S/B \div 0.65$ で常流から射流に遷移し、水深は限界状態の上下流付近で急減し、流れは加速される。

また、CASE Aでは、① 上記の流出水の特性的ために、氾濫流も破堤部から見てやや右斜め上方向に偏って堤内地に広がっていく。このため、水深も堤内地右側で若干大きくなる。② 氾濫流の流況には、①のような特徴があるので、破堤部下流側で破堤部における最大流体力の85%程度の大きな流体力となる。特に氾濫流の主流で大きく、その範囲も広くなる。これより S ラインは氾濫流の右端近傍となり、その角度は、破堤部近傍では流出水とほぼ同様で、 $\theta_s=40^\circ$ 程度の大きさとなる。③ 大きな流体力は、破堤部における最大流体力の75%程度となる範囲内で発生し、範囲内での流体力は大きく変わらない。また、堤防から離れるにつれて流体力は急減する。一方、CASE Bでは、① 水防林により氾濫流がその左右に分流・分散され、配置aでは水防林右側、配置bでは左側への流向制御が強い。② このような水防林による氾濫流の分散・流向制御機能と流出水の流向の関係から、氾濫水の主流は水防林の左側へシフトする。これに伴い、黄矢印で示したように、大きな流体力の範囲も水防林左側の河道法線方向に広がる。この傾向は、配置bの方が強く表れる。③ 水防林~堤防での流体力は水防林の影響を受けない。

5. まとめ

模型実験に基づき、以下の知見を得た。① 水防林の設置によりその背後で流体力は半減され、家屋の倒壊・流失等の被害リスクは大幅に減少する。② 配置については、 $S/B=2.0$ における $\rho V^2 h^*$ が配置aでは0.30、配置bでは0.44であり、堤防に対して平行に設置した方が効果的である。③ 水防林の設置次第では氾濫流の主流の方向が変化し、防御対象以外の箇所に被害が及ぶ可能性がある。

参考文献：1) 例えば、福岡捷二，藤田光一：洪水流に及ぼす河道内樹木群の水理的影響，土木研究所報告，180-3，1990。

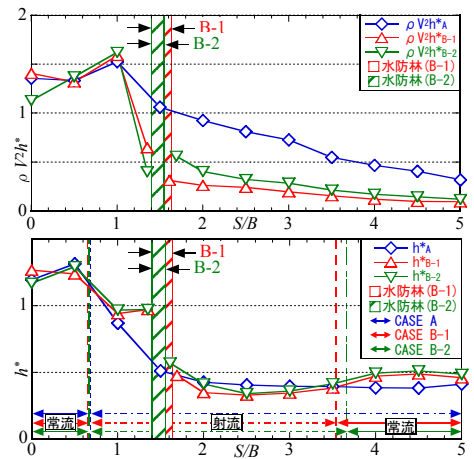


図-3 S ラインに沿った流体力と水深

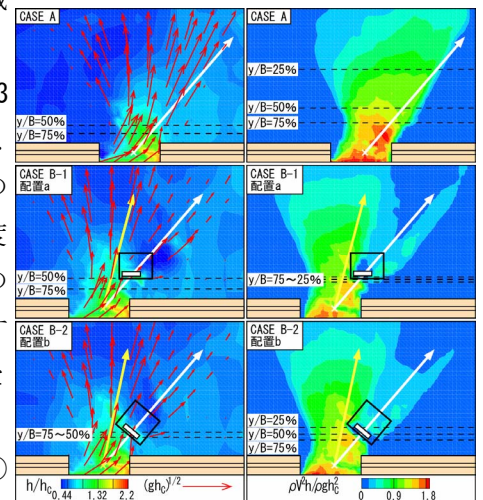


図-4 水防林の有無による氾濫流の流況(左)と流体力(右)