

直線・蛇行河道における破堤氾濫流の特性について

九州工業大学工学部 学生会員 會津 和樹 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 正会員 重枝 未玲 九州工業大学大学院 学生会員 門田 竜祐

1. はじめに

本研究は、模型実験に基づき、直線および蛇行河道における完全越流あるいはもぐり越流状態の破堤氾濫流の流動特性について検討を加えたものである。

2. 実験の概要と結果

実験は、図-1に示す直線河道(CASE A)と蛇行河道(CASE B)で、氾濫流量に関する実験と全体的な流況把握に関する実験を実施した。実験装置の河床(勾配 $I=0$)、堤防敷と氾濫原部はアクリル製(粗度係数 $n=0.01$)で、全て同じ高さに設定されている。河道部は、矩形断面水路(CASE Bの蛇行線形はsine-generated curve(蛇行度=1.05))となっている。また、堤防部は、CASE Aでは法面勾配2割の堤防と破堤部(破堤幅 L)が設けられており、破堤幅水路幅比 L/B を3通りに変えられるようになっている。CASE Bでは法面勾配1割の堤防と破堤部(破堤幅 $L=0.3$ (m))が設けられており、破堤箇所を3通りに変えられるようになっている。いずれのCASEも氾濫原部の境界①は壁面、境界②は完全越流では段落ち、もぐり越流では刃形堰(CASE A:堰高 $s=0.03$ m, CASE B: $s=0.025$ m)から越流するようになっている。実験条件を表-1に示す。

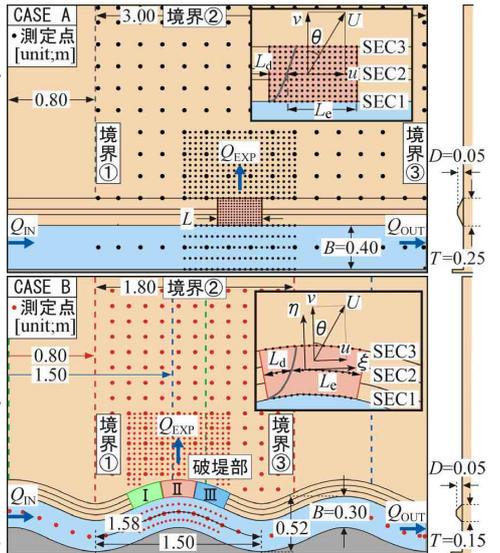


図-1 実験装置と重要な諸量
表-1 実験条件(実験)

CASE	F_r	L/B	破堤部	流入流量 $Q_{IN}(m^3/s)$	氾濫流量 $Q_{EXP}(m^3/s)$
A-1	O1~O4 0.56~0.33	2.0	破堤部Ⅰ	0.0181~0.0083	0.0091~0.0046
	S1~S4 0.52~0.25			0.0181~0.0081	0.0071~0.0017
A-2	O1~O4 0.41~0.22	1.0		0.0139~0.0056	0.0048~0.0021
	S1~S4 0.38~0.24			0.0139~0.0075	0.0040~0.0011
A-3	O1~O4 0.35~0.25	0.5		0.0133~0.0078	0.0029~0.0017
	S1~S4 0.33~0.22			0.0125~0.0069	0.0023~0.0007
B-1	O1~O3 0.54~0.38	破堤部Ⅱ	0.0125~0.0069	0.0028~0.0012	
	S1~S3 0.53~0.39		0.0139~0.0083	0.0030~0.0011	
B-2	O1~O3 0.54~0.37		1.0	0.0124~0.0069	0.0034~0.0017
	S1~S3 0.53~0.38			0.0139~0.0083	0.0036~0.0012
B-3	O1~O3 0.55~0.39		0.5	0.0125~0.0069	0.0033~0.0015
	S1~S3 0.56~0.38			0.0139~0.0083	0.0034~0.0012

O: 完全越流状態, S: もぐり越流状態
 F_r : 河道部上流側のFroude数($F_r=(Q_{IN}/B)(gh)^{-1/2}$)

測定項目は、図-1に●で示した測定点の水深 h と表面流速ベクトル U_s 、破堤部での死水域幅 L_d の特定、河道部での流入流量 Q_{IN} および流出流量 Q_{OUT} である。水深平均流速 $U_M(u_M, v_M)$ は、PTV解析より求めた U_s から等流の関係式($U_M=0.9U_s$)を用いて算定し、 L_d は画像解析より定めた。なお、図-1に示したように、流速 u と v は堤防線形に沿った ζ 軸とその法線方向の η 軸方向の流速、 $\theta(^{\circ})$ は氾濫流の流出角度である。

3. 結果と考察

図-2、図-3はそれぞれ、各越流状態と各河道からの破堤部近傍の流況と、洪水流と氾濫流の全体的な流況の一例を示したものであり、

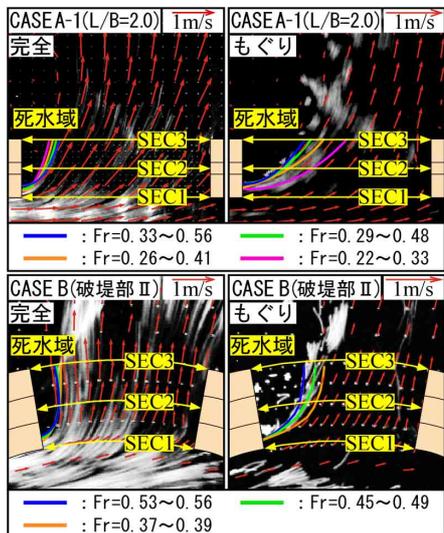


図-2 破堤部近傍の流況

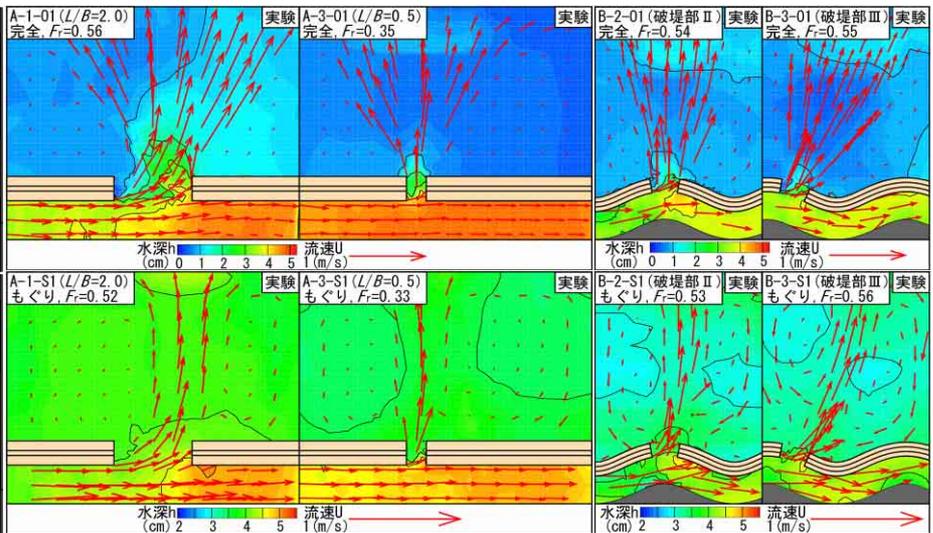


図-3 全体的な流況(上段:完全越流,下段:もぐり越流)(左:直線,右:蛇行)

図-2中の実線は各 F_r に対する死水域を示している。これらからわかるように、破堤部近傍については、流出水は破堤部上流端で剥離し、死水域が発生する。また、死水域幅はもぐり越流の方が完全越流より大きくなる。のために、流出水は破堤部下流側へ偏流・縮流し、同時に破堤部下流端への衝突流れが発生する。また、このような傾向は、直線河道では L/B が大きいほど、蛇行河道では破堤部とで強い。

全体的な流況としては、破堤部で偏流・縮流、破堤部下流端へ衝突した流出水は、主に堤防線形に対して右斜め方向に流出する。このような傾向は、完全越流の方が強く、また直線河道では L/B が大きい方が、蛇行河道では破堤部の方が強い。水深は、偏流・縮流・衝突のため、破堤部とその近傍の氾濫原部で大きくなる。洪水流は、いずれの越流状態、河道形状においても、破堤部からその下流側にかけて水位の上昇が見られ、 $L/B=2.0$ と破堤部の方がその傾向が強い。また、蛇行河道では水衝部での水位上昇、水裏部での水位低下が見られる。

図-4は、表-2中の式(1)と式(2)で与えられる本間の越流公式を用いて算定した氾濫流量 $Q_0(=qL)$ と実験値 $Q_{EXP}(=Q_{IN}-Q_{OUT})$ との比 Q_0/Q_{EXP} と F_r との関係を示したものである。なお、流量係数は $C_1=0.35$ と $C_2=0.91$ の標準値¹⁾を用いている。これからわかるように、直線河道においては、完全越流では、 Q_0 は最大で30%過大評価される。また、 F_r と L/B に依存せず、 Q_0/Q_{EXP} はほぼ一定値($=1.24\pm 0.02$)となる。もぐり越流では、 Q_0 は最大で80%過大評価される。また、破堤条件にかかわらず、 Q_0/Q_{EXP} は F_r の増加とともに減少する($Q_0/Q_{EXP}\sim F_r^{-0.4}$)。 L/B 別に見れば、 $L/B=2.0, 1.0, 0.5$ の順に過大に評価される。蛇行河道においては、完全越流では、 Q_0 は最大で35%過大評価される。また、破堤箇所にかかわらず、 Q_0/Q_{EXP} は F_r の増加とともに若干減少する($Q_0/Q_{EXP}\sim F_r^{-0.2}$)。破堤部別に見れば、 Q_0 は破堤部Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの順に過大に評価される。もぐり越流では、 Q_0 は最大で80%過大評価される。また、破堤箇所にかかわらず、 Q_0/Q_{EXP} は F_r の増加とともに大きく減少する($Q_0/Q_{EXP}\sim F_r^{-1.1}$)。破堤部別に見れば、 Q_0 は破堤部Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの順に過大に評価される。また、同図より、氾濫流量は直線河道では L/B が大きいほど、蛇行河道では破堤部Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの順に大きくなることも確認できる。

図-5は、図-2で示したSEC2で定義した横越流特性(有効疎通率 $\alpha(=L_e/L)$ 、代表流出角度 $\theta(=\Sigma(q\cdot\theta)/\Sigma q)$)と $(F_r)^m(L/B)^n$ との関係について調べたものである。ここに、 L_e :有効破堤幅($=L-L_d$)、 θ :代表流出角度($=\Sigma(q\cdot\theta)/\Sigma q$)である。図中の各実線は各越流状態の直線河道に対応したものである。表-3は直線河道における横越流特性(α, θ)の $F_r, L/B$ に対する依存性を示したものである。これから確認できるように、もぐり越流状態では両河道における θ はほぼ同様な傾向となるが、完全越流状態では蛇行河道の方が θ は小さくなる。一方、 α は θ とは逆の傾向となる。横越流特性(α, θ)を用いて本間公式を補正すると、補正流量 Q は $Q=\alpha Q_0 \cos\theta$ となる²⁾。したがって、表-3に示した直線河道の(α, θ)を用いて蛇行河道の氾濫流量を評価すると、完全越流では θ が直線河道より小さくなるために過大に評価され、もぐり越流では α が小さくなるために過小に評価されることになる。

4. まとめ

模型実験に基づき、直線および蛇行河道の完全越流あるいはもぐり越流状態の破堤氾濫流の流動特性について検討を加え、河道形状、越流状態および破堤条件との関係を明らかにした。

参考文献: 1) 栗城稔ら: 氾濫シミュレーション・マニュアル(案), 土研資料第3400号, 1996.2) 秋山壽一郎ら: 直線河道における破堤氾濫流の横越流特性と流量式の改善, 水工学論文集, 第55巻, pp.901-906, 2011.

表-2 本間の越流公式

完全 ($h_2/h_1 < 2/3$): $q=C_1 h_1 \sqrt{2g h_1}$ (1)	
もぐり ($h_2/h_1 \geq 2/3$): $q=C_2 h_2 \sqrt{2g(h_1-h_2)}$ (2)	
h_1 : 破堤区間における河道部中央の平均水位	
h_2 : 破堤区間における堤防裏法尻部の平均水位	

表-3 横越流特性と $F_r, L/B$

越流状態	横越流特性(直線河道)			
	θ		α	
	$(F_r)^m$	$(L/B)^n$	$(F_r)^m$	$(L/B)^n$
完全	1.6	1.1	一定値(0.83±0.04)	
もぐり	-0.5	0.5	0.3	0.1

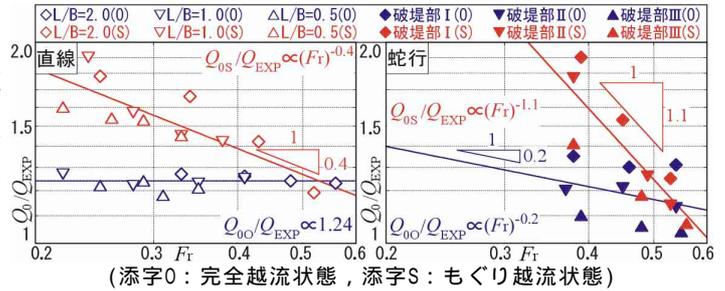


図-4 Q_0/Q_{EXP} と F_r との関係

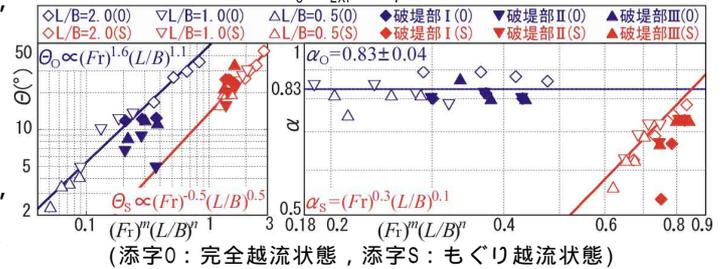


図-5 横越流特性(α, θ)と $F_r, L/B$ との関係