蛇行河道における破堤氾濫流と河道・氾濫域包括解析の適用性の検討

九州工業大学工学部	学生会員	〇門田	竜祐	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	山尾 匡人

1. はじめに

本研究では、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(SA-FUF-2DF MODEL)¹⁾を用いた河道・氾濫域包括解析(以下「本解析法」という)を蛇行河道における破堤氾濫流に適用し、(1)破堤氾濫流量、(2)氾濫流の全体的な挙動の再現精度について検証した.

2. 実験の概要

河道部は,上流側に直線部を有する水平の矩形断面sine-generated curve 蛇行水路(河道幅*B*=0.3m,粗度係数*n*=0.01,蛇行度=1.05)の左岸側に法面勾 配1割の堤防(堤防高*D*=0.05m,堤防敷幅*T*=0.15m)と破堤部(破堤幅*L*=0.3m) を設けたものである.

図-1に示すように破堤部(上流から破堤部 I, II, III)を3通りに変えられ るようになっている. 氾濫原部の境界は,境界①と③は壁面,境界②は完 全越流では段落とし,もぐり越流では刃形堰(堰高*s*=0.025m)から越流する ようになっている.実験は,氾濫流量に関するCASE Aと全体的な流況把握 に関するCASE Bを実施した.実験装置と重要な諸量を図-1,実験条件を表 -1に示す.なお,表中のOとSは越流状態がそれぞれ完全越流ともぐり越流 であることを示している.

測定項目は、河道部・破堤部・氾濫原部の水深hと表面流速ベクトルU_s、 破堤部での死水域の特定および河道部への流入流量 Q_{IN} と河道部からの流 出流量 Q_{OUT} である.氾濫流量 Q_{EXP} は、 $Q_{EXP}=Q_{IN}-Q_{OUT}$ より求めた.水深hは、 図-1中に●で示した測点で求めた.表面流速ベクトル $U_{S}=(u_{S}, v_{S})$ は、直径約 0.005mの発泡スチロール球のPTV解析より求めた.次に $U_{S}=(u_{S}, v_{S})$ を対数 則 $(U_{M}=0.9U_{S})$ を用いて水深平均流速 $U_{M}(u_{M}, v_{M})$ に変換した.破堤部の死水 域幅 L_{d} は、発泡スチロール球の動きを画像から読み取り定めた.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、 θ は氾濫流の流出角度($^{\circ}$)である.

3. 結果と考察

図-2は、各越流状態における破堤部近傍での流況とPTV解析から得 られた流速ベクトルの一例(破堤部 II)を示したものである. 図中の実線 (赤色: F_r =0.53~0.56,緑色: F_r =0.45~0.49,橙色: F_r =0.37~0.39)は、各 F_r に 対するSEC1(堤防表法尻)、SEC2(中央)、SEC3(裏法尻)の死水域を示し ている.ここで、 F_r :河道部上流側でのFroude数(=(Q_{IN}/B)/(gh^3)^{1/2})である.

ようなことがわかった. (1)完全越流状態では, F_r や破堤部の位置の影響をほとんど受けない. (2)もぐり越流状態では,破堤部の位置に関係なく,各SECにおいて F_r が大きくなるにつれて増加する傾向がある.これは,直線水路での関係(完全越流で $a \approx 0.84(\pm 0.03)$,もぐり越流で $a \sim (F_r)^{0.5}$)と同様である²⁾.



表-1 実験条件

CASE		破退区間	流入流量	氾濫流量	
		视地区间	$Q_{IN}(m^3/s)$	$Q_{\rm EXP}({\rm m}^3/{\rm s})$	
A 1	01~03	础 坦 动 I	0.0125~0.0069	0.0028~0.0012	
A-I	S1~S3	11(1日3月)	0.0139~0.0083	0.0030~0.0011	
A-1	01~03	破退或Π	0.0124~0.0069	0.0034~0.0017	
	S1~S3	HIX YE DI U	0.0139~0.0083	0.0036~0.0012	
A-1	01~03	Table Land III	0.0125~0.0069	0.0033~0.0015	
	S1~S3	WyEnpm	0.0139~0.0083	0.0034~0.0012	
B-1	01	础 坦 如 I	0.0125	0.0028	
	S1	HX 45E DD 1	0.0139	0.0030	
B-2	01	破退或Π	0.0125	0.0034	
	S1	HIX YE DI U	0.0139	0.0036	
B-3	01	础担立/Ⅲ	0.0125	0.0033	
	S1	₩₩₩₩	0.0139	0.0034	



図-2 破堤部の流況(破堤部Ⅱ)



図-3 Q_{FXP}と各SECでのQ_{NIM}の比較

図-3は、各SECにおける各越流状態での氾濫流量の解析値Q_{NUM}と実験値 Q_{EXP} を比較したものである. Q_{NUM} は、本解析法から得られた各SECでのhとvより単位幅流量q(=h v)を求め、これを破堤幅Lで積分して得られたもの である.ここで,SEC1.5とは、河道側の堤防天端における断面である.

これより、越流状態や破堤部の位置の違いにかかわらず、SEC1.5~SEC3 では、 Q_{NUM} は十分な精度を有していることが確認できる.なお、SEC1で $Q_{\text{NUM}}/Q_{\text{EXP}}$ <1.0となるのは,解析値では堤防表法面に沿って破堤部へ流入す る流量が氾濫流量として考慮されないためである. SEC2でのQ_{NUM}/Q_{EXP}の |越流状態別の平均値は、完全越流でQ_{NUM}/Q_{EXP}=1.01(±0.09)、もぐり越流で Q_{NUM}/Q_{EXP}=0.99(±0.06)であり,破堤部別の両越流状態の平均値は,破堤部 I で1.07(±0.06), II で $Q_{\text{NUM}}/Q_{\text{EXP}}=0.98(\pm 0.07)$, III で $0.95(\pm 0.03)$ であった.

図-4は、河道部と氾濫原部での全体的な流況について解析結果と実験結 果を比較したものの一例(破堤部Ⅱ)である.また,図-5は、図-4中に○で示 した各点での氾濫流の流速の絶対値と水深を比較したものである.

氾濫原部での全体的な流況については次のような様子が再現されている. 図-4 全体的な流況の比較(破堤部 II) 完全越流状態では、(1)実験結果では、破堤部右側にやや偏って氾濫原 部に放射状に流出する.流出水の最大流速の方向は,破堤部法線方向 🧃 に対してやや右斜めとなり,氾濫流の右側の水深の方がやや大きくな る.(2)解析結果では,破堤部上流側の死水域を再現しておらず,流出 角度もやや大きくなっている.一方,もぐり越流状態では,(1)実験結 果では,破堤部下流側に偏り,破堤部法線方向に対してやや右斜め方





図-5 流速と水深の比較

向に流出する.(2)解析結果では、より右斜め方向に偏り集中して流出する.また、氾濫原部における向きが 反対の一対の循環流や,破堤部上流側での死水域をほぼ再現しており,流出角度も全体的に再現している.

流速ベクトルUMは、越流状態にかかわらず、流速が大きいところでは、相対誤差は概ね±15%以内に収ま っている.水深hは,越流状態にかかわらず,相対誤差は概ね±10%程度に収まっている.流出水の方向や流 れの集中の程度が必ずしも再現されていない箇所で誤差がやや大きくなっている.また,直線河道の結果³⁾ と比較すると、流速ベクトルと水深の傾向は同様であるが、いずれもやや予測精度の低下が見られた.

図-3~図-5で見たように、本解析法は、高精度・高解像度な平面2次元不定流モデルに基づいているが、平 面2次元モデルとしての制約があるため、横越流特性を適正に再現できない. その一方では蛇行河川からの破 堤氾濫流の全体的な流況を概ね再現できており、また氾濫流量をほぼ正確に評価できている.これは、本解 析法では全てが外部境界条件から決定されるからであり、図−3で見たように、Q_{NUM}/Q_{EXP}はSEC1.5~SEC3で同 程度となり、堤防表法面に沿った流量が考慮される河道側のSEC1.5からSEC3の間の断面であれば、氾濫流量 をほぼ正確に評価できる.本解析法では、平面2次元モデルとしての制約は、図-3~図-5で見たように、死水 域を含む破堤部近傍での局所的な流況や河道と氾濫域での全体的な流況に限定的に反映されることとなる.

4. まとめ

本解析法の蛇行河川における破堤氾濫流への適用と検証を行った。その結果、本解析法は、破堤部の位置 および越流状態(完全越流,もぐり越流)にかかわらず,蛇行河川(蛇行度1.05のsine-generated curve)からの破 堤氾濫流の全体的な流況と氾濫流量を必要十分な精度で予測できることが確認された.

参考文献:1) 例えば, 重枝未玲ら: 複雑な地形起伏を有する場における氾濫流の数値シミュレーション, 水工学論文集, 第47巻, pp.871-876, 2003. 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,2011(掲載予定).3)秋山壽一郎ら:破堤氾濫流の横越流特性と河道・氾濫域包括解析の適用性の検討,水 工学論文集, 第54巻, pp.853-858, 2010.