破堤氾濫流に対する高精度・高解像な平面2次元不定流モデル に基づく河道・氾濫域包括解析の適用性

九州工業大学工学部	学生会員	○ 大庭	康平	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	梅木 雄大
九州工業大学大学院	学生会員	伊藤	雄亮			

1. はじめに

破堤氾濫流量は,一般に本間の越流公式で評価される.しかし,本間 公式には横越流特性が考慮されていないため,時には50%以上も過大な 流量を与えることがわかっている¹⁾.本研究は,(1)完全越流ともぐり越 流状態での破堤氾濫流の横越流特性の把握,(2)常射混在流が取り扱え る高精度・高解像な平面2次元不定流モデルを用いて,河道での洪水流 と氾濫域での氾濫流を包括的に取り扱う解析法²⁾(以下,「河道・氾濫域 包括解析」という)の破堤氾濫流に対する適用性を検討したものである.

実験の概要

河道部は、水平の矩形断面水路(河道幅*B*=0.4m, 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*=0.05m, 堤防敷幅*T*=0.25m)と破堤部 (破堤幅*L*)を設けたものである.なお、河道部は破堤部高より0.05m掘り 込まれており、右岸側は壁面となっている.氾濫原部の境界は、氾濫流 量に関する実験(CASE A)では、境界1は壁面とし、境界2と境界3は完全 越流状態では段落、もぐり越流状態では刃形堰を越流するようにした. 一方、全体的な流況把握に関する実験(CASE B)では、氾濫原部の水深を 確保するために境界3を壁面とした.実験装置と重要な諸量を図-1に、 実験条件を表-1に示す.

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} と河道部下流 での流出流量 Q_{out} である.水深hは、図-1中に●で示した測点で求めた. 水深平均流速U(u, v)は、直径約0.005mの発泡スチロール球の動きをPTV 解析し、得られた表面流速ベクトル $U_s=(u_s, v_s)$ から等流の関係式 $(U=0.90U_s)$ を用いて算定した.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った.氾濫流量 Q_{exp} は、電磁流量計と量水枡 でそれぞれ Q_{in} と Q_{out} を計測し、 $Q_{exp}=Q_{in}-Q_{out}$ から求めた.

3. 結果と考察

図-2は、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(CASE A-1, CASE A-2)を示したものである. 図中の実線(黄色: Q_{in}=0.0081, 緑色: Q_{in}=0.0112,赤色: Q_{in}=0.0139 [unit;m³/s])は、各CASEの死水域を示して いる. これより次のことがわかる. (1) 完全越流状態では破堤部の両側で死 水域が生じ、上流側で大きくなるが、L/B=2.0では上流側のみに生じる. (2) もぐり越流状態では破堤部上流側で大きな死水域となり、死水域は河道で の流量の減少あるいはL/Bの増加に伴い拡大する. (3) 流出角度θは破堤区間 でかなり異なった値を取ると共に、L/Bの増加に伴い大きな値となる.

CASE			流入流重	流出流重	もあった。山いるは	児介		
		<i>L</i> (m)	$Q_{in}(m^3/s)$	$Q_{out}(m^3/s)$	越而状態	1	2	3
A-1 01 S1 S2 S3	01		0.0139	0.0064		$^{\circ}$	\times	\times
	0.90	0.0113	3 0.0050 完全		0	\times	\times	
		0.0082	0.0035		Ο	\times	\times	
	S 1	0.80	0.0139	0.0088	もぐり	Ο	0	$^{\circ}$
	S2		0.0112	0.0077		Ο	0	0
	S3		0.0081	0.0064		$^{\circ}$	Ο	\bigcirc
A-2 03 S1 S2 S3	01	0.40	0.0139	0.0086		0	\times	\times
	02		0.0112	0.0069	完全	0	\times	\times
	O3		0.0081	0.0049		Ο	\times	\times
	S1		0.0139	0.0099		Ο	Ο	\bigcirc
	S2		0.0112	0.0085	もぐり	Ο	Ο	\bigcirc
		0.0081	0.0066		Ο	0	$^{\circ}$	
	01	0.20	0.0110	0.0083		0	\times	\times
A-3 02 A-3 03 81 82 83	O2		0.0082	0.0059	完全	0	Х	\times
	O3		0.0055	0.0042		0	Х	\times
	S1		0.0112	0.0086		0	0	\bigcirc
	S2		0.0081	0.0065	もぐり	Ο	0	0
	S3		0.0055	0.0048		Ο	0	0
	01		0.0112	0.0093		0	\times	\times
	O2		0.0082	0.0067	完全	Ο	×	\times
	O3	0.12	0.0055	0.0045		Ο	×	\times
A-4	S1	0.12	0.0113	0.0093		Ο	0	0
	S2		0.0081	0.0069	もぐり	Ο	0	0
	S3		0.0055	0.0050		Ο	0	0
B-1 C	01	0.80	0.0168	0.0094	完全	0	\times	\bigcirc
	S1	0.80	0.0168	0.0125	もぐり	0	0	0
B-2	01	0.40	0.0168	0.0121	完全	0	\times	\bigcirc
	S1	0.40	0.0168	0.0136	もぐり	Ο	0	0
В-3	01	0.20	0.0168	0.0141	完全	\bigcirc	\times	\bigcirc
	S1	0.20	0.0168	0.0147	もぐり	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc
B-4 01	01	0.12	0.0168	0.0148	完全	Ο	\times	0
	S1	0.12	0.0168	0.0155	もぐり	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc

表-1 実験条件





図-2 破堤部の流況と流速ベクトル (左:完全越流 右:もぐり越流)

図-3は、破堤部のsec1(堤防表法尻)、sec2(堤防中央)および sec3(堤防裏法尻)における単位幅氾濫流量 q_{PTV} の分布を無次元 表示したものの一例(CASE A-2)である.また、 $q_{exp}=Q_{exp}/L$ である. $q_{PTV}を積分して得られた各secでの氾濫流量<math>Q_{PTV} \ge Q_{exp} \ge 0$ 比 Q_{PTV}/Q_{exp} は、完全越流状態ではsec1で0.83、sec2で1.01、sec3で 0.95、もぐり越流状態ではsec1で0.81、sec2で0.97、sec3で0.92 であった.この結果に基づき、sec2をもって有効破堤幅 $L_e(=L-L_d)$ を定める断面とした、sec2では、 q_{PTV}/q_{exp} は完全越流状態では水 深と同様に破堤部の下流端側に向かって上昇しているが、もぐ り越流状態では一様化していることがわかる.

図-4は、河道・氾濫域包括解析結果と実験結果を比較したも のの一例(CASE B-2)である.完全越流状態では、(1)流出水は 破堤部下流側に偏って氾濫原部に放射状に流出する.(2)流出 水の最大流速の方向は、堤防線形に対してやや右斜め方向とな る.(3)拡大図から、解析結果は破堤部上流側での流れの剥離 に伴う死水域を再現しておらず、左岸近傍での流向もやや小さ くなっている.もぐり越流状態では、(1)流出水は破堤部下流 側に大きく偏り、下流側の堤防横断面に沿ってやや右斜め方向 に流出する.(2)氾濫原部では流出水の両側に向きが反対の一 対の循環流が形成される.(3)拡大図から、解析結果は破堤部 上流側での死水域をほぼ再現しており、流向も全体的にほぼ再 現している.

図-5(a),図-5(b)および図-5(c)は、それぞれ氾濫流量の実験結果 Q_{exp} と本間公式による予測結果(Q_0 , Q_e)および河道・氾濫域包括解析結果 Q_{num} とを比較したものである. Q_0 は、式(1)と式(2)より単位幅氾濫流量を求めた後に、破堤幅Lで積分したものである. Q_e は、実験から得られた流向に沿って水位を取り、式(1)と式(2)から単位幅氾濫流量を求め、これに流向補正を施した後に有効破堤幅 L_e で積分したものである.また、 Q_{num} は、河道・氾濫域包括解析により得られた水深hと流速 vから単位幅氾濫流量を求めた後に、破堤幅Lで積分したものである.これより次のことが確認できる.(1) Q_0 は、完全越流状態では20%程度過大に、もぐり越流状態では60%程度過大に評価される.(2) Q_e は、L/B=2.0では氾濫流量を予測することは難しい.(3) Q_{num} は、いずれの越流状態についても、少なくとも $L/B\geq0.30$ であれば氾濫流量をほぼ正確に予測できる.

4. まとめ

完全越流ともぐり越流状態での破堤氾濫流の横越流特性について、模型実験に 基づき検討を加えると共に、河道・氾濫域包括解析²⁾の破堤氾濫流への適用性につ いて検討した.その結果、河道・氾濫域包括解析は、合流点以外での破堤幅・河 道幅比*L/B*が河道幅*B*=10~400mで*L/B*≒6.36~0.31であるとの実破堤に関する調査結 果³⁾を踏まえると、少なくとも河道幅*B*≤約400mでの破堤氾濫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基本性能を有していると考えられる.

参考文献:1) 例えば, 栗城稔ら:土木技術資料, Vol.38, No.11, 1996. 2) 例えば, 秋山壽 一郎, 重枝未玲:土木学会論文集B, Vol.63, No.3, pp.224-237, 2007. 3) 栗城稔ら:土研資 料第3400号, 1996.



完全越流 $(h_2/h_1 < 2/3)$: $q = 0.35h_1\sqrt{2gh_1}$ (1) もぐり越流 $(h_2/h_1 \ge 2/3)$: $q = 0.91h_2\sqrt{2g(h_1 - h_2)}$ (2) h_1 =河道部中央の水位, h_2 =堤防裏法尻の水位

