

堤防の破堤確率を考慮した洪水被害の経済評価手法に関する基礎的研究*

A Primary Study on Economic Evaluation Method of Flood Disaster Loss with the Probability of Dike Break*

森寛典**・高木朗義***

By Hironori MORI**・Akiyoshi TAKAGI***

1. はじめに

わが国では現在、治水経済調査マニュアル(案)¹⁾に沿って洪水被害額が算定されている。この方法(現行方式)では、河川水位が計画高水位に達すると、すべての破堤地点で破堤するという仮定で計算されている。しかし、計画高水位に達しても破堤しない場合や、計画高水位に達しなくても破堤する場合も考えられる。したがって、破堤は確率事象として捉えることが理想的といえる。

このような背景の下、先行研究²⁾では堤防の破堤確率を考慮した洪水被害額の算定方法(新方式)を考案し、仮想氾濫原において比較・検討を行った。その結果、堤確率を考慮することによって堤防の性能を反映した洪水被害額の算定が可能となることを示した。本研究では先行研究で提案したモデルを用い、支川合流を考慮する、より現実に即した仮想氾濫原で比較・検討を行う。

2. 洪水被害額算定方法

(1) 堤防の破堤確率の捉え方

治水経済調査マニュアルでは、洪水被害額を算定する条件として対象氾濫原を複数の氾濫ブロックに分割し、氾濫ブロックごとに破堤地点を設定している。このような条件下、現行方式では計画高水位に達したすべての氾濫ブロックの被害額の総和を、対象氾濫原の被害額として算定している。したがって、現行の洪水被害額算定式は(1)式で表される。

$$D = \sum_i \sum_j d_j \quad (1)$$

ここで、添字 i : 流量規模, d_j : 流量生起確率, 添字 j : 氾濫ブロック, d : 氾濫ブロック当たり被害額。

この算定方法では、河川水位が計画高水位に達するとすべての破堤地点で破堤するという条件で洪水被害額が算定される。しかし、堤防の破堤は確率事象であり、必

*キーワード: 河川計画, 公共事業評価法, 整備効果計測法

**学正員, 岐阜大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻

(岐阜県岐阜市柳戸1番1)

***生員, 博(工), 岐阜大学工学部社会基盤工学科

(岐阜県岐阜市柳戸1番1, TEL 058-293-2445,

FAX 058-230-1248, E-mail:a_takagi@gifu-u.ac.jp)

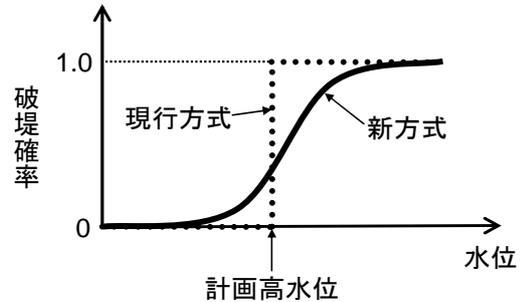


図 - 1 現行方式と新方式の破堤確率の概念

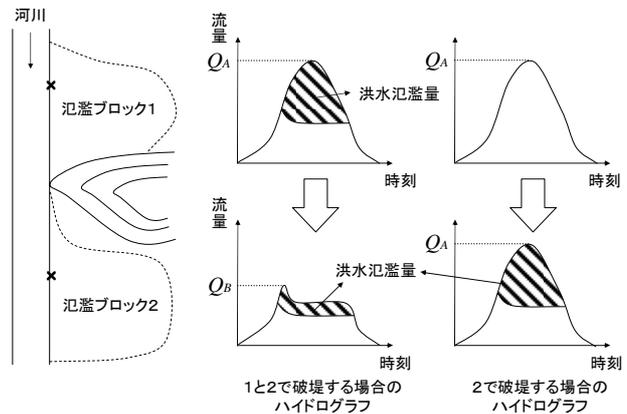


図 - 2 流量低減のイメージ

ず複数の破堤地点で同時に破堤する訳ではない。本研究では、このような状況を捉えるために河川水位に対する堤防の力学的な破堤確率(力学的破堤確率)と、複数の堤防が同時に破堤する確率(同時破堤確率)の二種類の破堤確率を捉えた洪水被害額算定方法を考案する。

(2) 力学的破堤確率(流量に応じた破堤確率)

現行方式では河川水位が計画高水位未満では破堤せず、計画高水位以上では必ず破堤するという仮定が設定されている。つまり、現行方式の破堤確率は図-1に示した点線として表される。しかし、実際には河川水位が計画高水位未満でも破堤する可能性や、計画高水位以上でも破堤しない可能性もある。したがって、力学的破堤確率は図-1に示した実線のように考えられる。

(3) 同時破堤確率(破堤後の流量低減)

現行方式では、河川水位が計画高水位に達したすべての破堤地点で同時に破堤すると仮定している。しかし、

実現象として複数の破堤地点が同時に最大規模で破堤するという事は考えにくい。実際には、図 - 2 に示すように堤防の破堤に伴い下流の河道流量が減少するため、その破堤箇所より下流に位置する破堤地点の破堤確率は低下すると考えられる。本研究では、上流から順に破堤するか否かを考え、破堤する場合は流量低減、破堤しない場合は流量低減なし、という条件を仮定する。これにより複数の破堤地点で同時に破堤する確率を表現する。また、この場合の破堤確率は破堤地点の流量に依存すると考えられる。

ここで、同時破堤確率の考え方の例として、図 - 2 の中央列に示すように氾濫ブロック1で破堤し、かつ氾濫ブロック2でも破堤する場合を想定すると、確率は(2)式のように表される。

$$P_s = P_d(Q_A) \times P_d(Q_B) \quad (2)$$

ここで、 P_s ：同時破堤確率、 $P_d(Q)$ ：河道流量に応じた破堤確率（力学的破堤確率）。

また、図 - 2 の右列に示すように、氾濫ブロック1では破堤せず、氾濫ブロック2のみで破堤する確率は(3)式のように表される。

$$P = (1 - p(Q_A)) \times p(Q_A) \quad (3)$$

本研究では、このように力学的破堤確率と破堤後の流量低減を考慮することによって同時破堤確率を捉える。

以上のような二種類の破堤確率を考慮すると洪水被害額算定式は(4)式のように表される。

$$D = \sum_i \sum_j P_d(Q_j) \prod_k (1 - P_d(Q_k)) d_j \quad (4)$$

ここで、添字 k ：対象破堤地点より上流の破堤地点。

3. 被災確率モデルによる破堤確率の試算

新方式によって洪水被害額を試算するために、宇野ら³⁾によって構築された被災確率モデルを採用して力学的破堤確率を算出する。この被災確率モデルは、当時全国を対象にアンケート調査で収集した中小河川堤防の被災事例（破堤、表法欠壊、裏法崩壊、軽無被害に区分）のデータに基づいて推定されたモデルであり、(5)、(6)式に示す二項ロジットモデルで表現されている。

$$P_d = \frac{1}{1 + \exp(-V)} \quad (5)$$

$$V = \theta_0 + \theta_1 X_1 + \dots + \theta_{12} X_{12} \quad (6)$$

ここで、 V ：堤防の被災ポテンシャル、 X ：特性要因（堤防規格や河道状況など）、 θ ：パラメータ。

このモデルで破堤確率を算出するには堤防規格などの情報が必要となる。ここでは、試算のための堤防規格

表 - 1 堤防規格の設定

堤防規格	I河川堤防	仮想堤防A	仮想堤防B
天端幅(m)	4.9	5.0	4.0
裏法高(m)	5.7	6.0	6.0
小段幅(m)	—	5.0	4.0
法勾配	—	1/2.0	1/2.0
堤体断面積(m ²)	131.7	132.0	120.0

表 - 2 河川水位の設定

河川水位	I河川堤防	仮想堤防A	仮想堤防B
堤防天端高水位(m)	—	7.5	7.5
計画高水位(m)	6.3	6.5	6.5
危険水位(m)	5.8	5.5	5.5

表 - 3 特性要因のパラメータ推定結果³⁾

	特性要因	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
θ_0	選択肢ダミー変数	2.156	4.538	1.962	-3.502
θ_1	天端幅	-0.439	-0.628	—	—
θ_2	裏法高	—	—	-0.839	0.742
θ_3	堤体断面積	—	—	0.037	-0.014
θ_4	堤体土質	-1.919	-3.094	-2.195	—
θ_6	流下能力/被災時流量	—	—	-1.201	—
θ_7	表法構造【透水性構造】	—	—	—	—
θ_8	天端舗装【透水性構造】	—	—	—	—
θ_9	漏水あり	1.590	—	—	1.443
θ_{10}	河道状況【蛇行凹岸部】	—	—	—	—
θ_{11}	河道状況【蛇行凸岸部】	0.981	2.429	—	—
θ_{12}	河道状況【橋梁:横工】	—	—	—	—

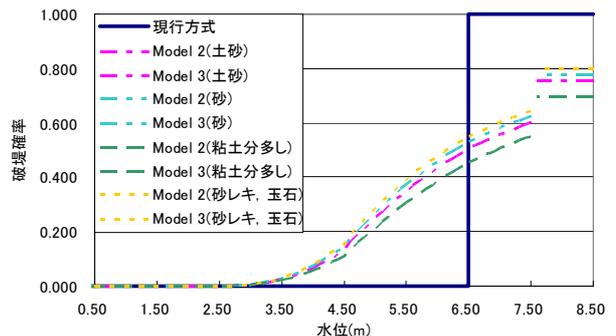


図 - 3 堤防 A の場合に Model 2 と Model 3 によって算出された破堤確率

や河川水位などのパラメータを、I河川堤防やその基準地点における水位などを参考に仮定し、これを仮想堤防 A とした。また、これより規格の小さい堤防を仮想堤防 B として想定した。これらを表 - 1、表 - 2 に示す。

次に、被災確率モデルにこれらの値を入力して破堤確率を算出する。被災確率モデルを用いることによって、堤防規格や河道流量、堤防の材質といった様々な要因を考慮した破堤確率を算出することが可能になる。現行方式では河川水位が計画高水位に達すると破堤するという仮定が設けられているが、被災確率モデルでは表 - 3 に示した様々な要因を含めた破堤確率の算出が可能となるため、堤防ごとの破堤確率に違いが生じる。すなわち、氾濫ブロック毎の洪水リスクが評価可能になるといえる。

破堤確率の算出において、堤防天端高を 7.5m と仮定したため、河川水位が 7.5m に達するまでは越流しない場合の評価モデルである Model 3 を用いる。それを超える水位においては越流する場合の評価モデルである

河道流量に応じた破堤確率（力学的破堤確率）を考慮する．また，破堤する場合は流量が低減し，破堤しない場合は流量が変化しないとする．一方，河川が合流する地点においては流量が増加する．破堤や河川合流によって変動する河道流量に応じた破堤確率を算出し，これを破堤地点（氾濫ブロック）の数だけ繰り返す．これにより，氾濫ブロック1と氾濫ブロック4の2箇所破堤する場合や，氾濫ブロック2でのみ破堤する場合のように5箇所の氾濫ブロックのうち，破堤するブロックと破堤しないブロックの組み合わせが考えられる．流量に応じた破堤確率と流量の変動を考慮し，そのような破堤パターンとなる確率の算出式を(7)式に示す．

$$P_s = P_d(Q_j) \prod_k (1 - P_d(Q_k)) \quad (7)$$

以上より，各河道流量に対して破堤する氾濫ブロックを表す破堤パターンと，その確率が算出される．また，破堤時の河道流量および浸水によって被害を受ける氾濫ブロックは破堤パターンによって明らかとなる．そのため，破堤時の河道流量に応じた被害額を足し合わせることで，その破堤パターンでの洪水被害額が算出される．このように算出された洪水被害額にその破堤パターンとなる確率を乗じたものを期待被害額として算出した．1/200 流量が生じた場合における破堤パターンと期待被害額の一例を表 - 5 に示す．表中の「Q4」などの値は，該当氾濫ブロックにおいてその河道流量で破堤することを表している．同様に 1/100 流量，1/80 流量，1/50 流量においても期待被害額を算出した．

このように算出された期待被害額を横軸に，流量生起確率を縦軸にとって描かれた曲線をイベントカーブという．例として，堤体土質が「土砂」の場合を図 - 6 に示す．新方式では河川水位が計画高水位未満で破堤することも考慮されているため，計画高水流量に満たない流量が生起しても洪水被害が発生し得る．一方，現行方式では計画高水流量未満で洪水被害が発生することはない．年平均被害額は現行方式で 991（百万円/年），新方式で 243（百万円/年）と算定された．新方式によって算定された年平均被害額は，現行方式の 25% 程度となることがわかる．また，その他の堤体土質において算定された年平均被害額を図 - 7 に示す．ここで仮定した条件では，堤体土質の違いによらず，新方式による洪水被害額算定結果は現行方式の 25% 程度の値となった．また，氾濫ブロックが 1 箇所の場合は粘着力が大きい堤体土質ほど，洪水被害額が小さく算定されたが，氾濫ブロックが 5 箇所の場合，わずかに粘着力が大きいほど洪水被害額が大きく算定された．これは，河道流量が小さい上流で破堤する確率が高くなることによって，下流における河道流量が小さくなり，その影響で氾濫源全体の期待被害額を軽減しているためだと考えられる．したがって，上下流一貫した堤防整備が望まれるといえる．

表 - 5 1/200 流量が生起時の破堤パターンの一例

氾濫ブロック					確率	被害額 (百万円)	期待被害額 (百万円)
1	2	3	4	5			
Q4	Q1	Q4			0.260	40,323	10,471
Q4		Q4	Q3		0.197	47,458	9,361
Q4		Q4		Q3	0.113	47,458	5,381
Q4		Q4			0.153	40,027	6,134
	Q4		Q5	Q3	0.005	70,142	369
	Q4		Q5		0.007	62,711	446
			Q6	Q3	0.001	83,315	89
			Q6		0.001	75,884	109

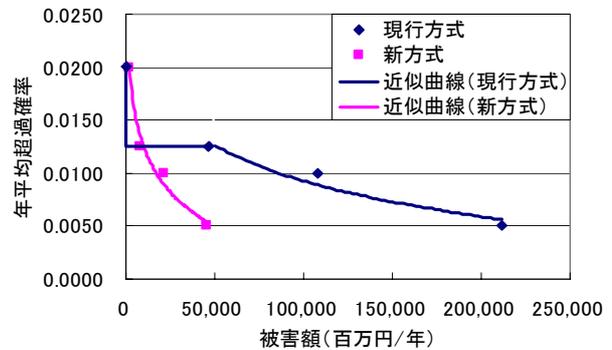


図 - 6 堤体土質が土砂の場合のイベントカーブ

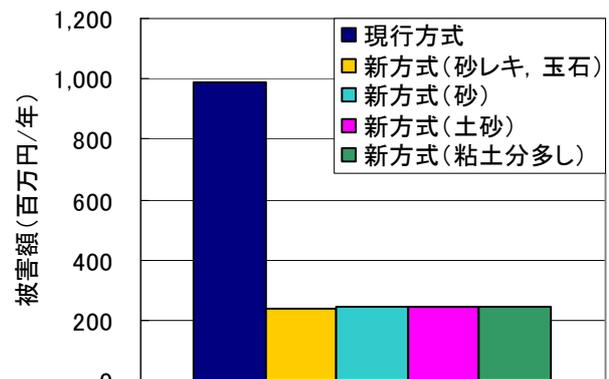


図 - 7 5 氾濫ブロックの場合の洪水被害額の比較

5. おわりに

本研究では，破堤確率を考慮して洪水被害額を算定する方法を提案した．これにより，堤防の性能を反映した洪水被害額の算定が可能となった．すなわち，堤防の破堤に対する抵抗力に即した洪水被害額が算定可能となる．したがって，堤防や河川などの状態を含めた洪水リスクがわかり，より住民の感覚に適合した洪水被害額の算定が可能になると考えられる．

参考文献

- 1) 建設省河川局：治水経済調査マニュアル（案），2000.
- 2) 森寛典，高木朗義：堤防の破堤確率を考慮した洪水被害額の算定方法に関する基礎的考察，河川技術論文集，第 13 巻，pp.297-302，2007.
- 3) 宇野尚雄，森杉壽芳，杉井俊夫：堤防安定性評価のためのロジットモデル，地盤工学におけるリスク評価手法に関するシンポジウム発表論文集，I-3，pp.15-20，1987.