

# 農業用ため池の豪雨災害リスク評価に基づく 対策優先度評価方法の検討

たなやなみひこ かとうともお くろだしゅういち くりばやしけんたろう むらたしゅんすけ  
棚谷南海彦<sup>1</sup>・加藤智雄<sup>1</sup>・黒田修一<sup>1</sup>・栗林健太郎<sup>1</sup>・村田駿介<sup>2</sup>

<sup>1</sup>株式会社エイト日本技術開発（〒532-0034 大阪府大阪市淀川区野中北1-12-39）

<sup>2</sup>岡山県農林水産部耕地課（〒700-8570 岡山市北区内山下2-4-6）

全国各地に16万か所存在するため池は、頻発・激甚化する豪雨災害による決壊事例が絶えず報告されており、効率的な防災・減災対策の推進は急務である。農林水産省では施設対策の進め方の方針が策定されたが、実働は地方自治体であり、より合理的な豪雨対策整備方針の策定を迫られている。本論文では、ため池が決壊する確率と氾濫被害額を考慮した被災リスクを新たなため池の対策優先度評価手法として提案する。提案手法より、岡山県内の防災重点ため池を対象にすべり破壊、越流破壊に対する被災確率を求めるとともに決壊時の氾濫被害額を算出し、これらを考慮した被災リスクを基準として対策優先度の評価を行った結果について述べる。

**Key Words** : ため池, 豪雨, リスク

## 1. はじめに

近年、頻発する豪雨によりため池の決壊被害が相次いで生じている。これを踏まえて、農林水産省では防災重点ため池の見直しや施設対策の進め方の方針が策定された<sup>1)</sup>。しかし、膨大な数のため池に対して完全な対策を行うには費用や時間の面で現実的ではなく、ため池を管理する自治体はより合理的な豪雨対策整備方針の策定を迫られている。従来の対策優先度の評価は決壊時の下流域への被害額の規模や老朽度を基準としており、決壊に至るかどうかといった実現象として被災する確率は考慮されていないため、効率的な整備計画の推進に向けた考え方を見込む余地がある。

本研究は、新たなため池の優先度評価手法として、現況のため池を対象に近年の豪雨の現状を踏まえた被災リスクの算定手法を提案する。具体的には、現在のため池に対する対策優先度の評価基準である決壊時の下流域被害額に個々のため池が被災する確率を乗じることで、下式(1)より被災リスクとして定義し、これを基準とした新しい優先度の評価を行う。

$$R = P \times C \quad (1)$$

ここで、 $R$ は損失期待値(円)、 $P$ は事象が発生する確率、 $C$ は事象が発生する場合の損失(円)である。本研究では、事象としてはため池の決壊であり、損失は決壊時の資産評価額を対象とする。

従来の対策手法と本研究で提案する手法の概念図を図-1に示す。従来の手法では資産評価額が高いため池から優先的に対策を実施するのに対して、提案手法では被災リスクが高いため池が優先されるため、一定の経過年数で同等の対策費用を投資した場合であっても、対象地域全体の残存リスクは従来の手法に比べ低くなることわかる。

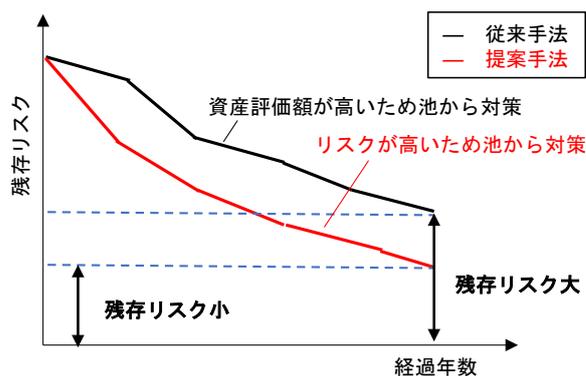


図-1 リスク評価手法の概念図

本論文では、岡山県内の防災重点ため池12か所を対象に、豪雨による代表的な被災形態として考えられるすべり破壊と越流破壊の2つの事象に着目し、これによりため池が被災する確率と決壊時の資産評価額を算出した後、損失期待値に基づく対策優先度評価を実施した。

## 2. ため池の豪雨による被災確率の算出

### (1) 降雨波形の作成

豪雨による被災確率の算定に用いる降雨条件を設定する。降雨条件は、対象地域近傍で観測された雨量観測データ<sup>2)</sup>（以下、原種降雨波形と称する）を元に作成される確率降雨波形を用いる。原種降雨波形は、対象とするため池から概ね50km圏内に位置する全ての降雨観測点（玉野、吉備中央、虫明、和気、福渡、矢掛）における雨量観測データのうち、1日雨量が最大となる観測データを用いる。ここで、岡山県では激甚災害指定を受けた豪雨災害（平成30年7月豪雨）によるため池の被災事例が報告されていることを踏まえ、災害期間（平成30年5月27日～7月10日）をデータ抽出の対象期間とする。以上より、吉備中央観測所で平成30年7月4日～7月5日にかけて観測された1日雨量（156mm/日）が最大となるため、これを原種降雨波形として設定する。

設定した原種降雨波形に対して、岡山県の特気象<sup>3)</sup>に記載される各ため池近傍の降雨観測点の確率日降雨量と原種降雨波形の最大日雨量（156mm/日）との比率を算出し、原種降雨波形にその比率を乗じて各確率年に対する降雨波形を作成する。和気観測所を例に確率年の降雨倍率表とこれを元に作成した確率降雨波形をそれぞれ表-1、図-2に示す。作成した確率降雨波形を用いて、決壊が生じる目安とする各照査値に対してこれを超過する確率年の逆数をため池の被災確率年として定義する。確率年の再現期間は下限値を10年、上限値を200年とし、これを超過しない範囲で被災確率年を定義する。

### (2) すべり破壊による被災確率の算出

作成した確率降雨波形を用いて、対象ため池12か所における不飽和浸透流解析およびすべり安定計算を実施する。解析手法は、逐次変化する降雨浸透に対する非定常不飽和浸透流解析および円弧すべり法（修正フェレニウス法）による安定計算を実施する。解析断面は堤体下流側法面とし、常時満水位を初期水位として降雨による水位上昇を考慮する。確率再現期間は10年、100年、200年とする。表-2に確率降雨に対する最小すべり安全率 $F_s$ の一覧表を示す。同表には、堤体の透水係数 $k$  (cm/s) を併記する。また、図-3にB池を例に各確率降雨に対する安全率と降雨強度の経時変化図を示す。表-2より、対象とした12か所全てのため池で最も降雨強度が大きい200年確立降雨の条件下であっても $F_s$ が1.0を上回ったことから、豪雨時のすべり破壊に対しては比較的安全性が高く、すべりに起因する決壊が生じる可能性は低いと判断される。これは、堤体の透水係数 $k$ がいずれも設計指針<sup>4)</sup>が示す遮水性材料の基準値である $1.0E-05$ (cm/s)前後と比較的遮水性が高い材料が多く、降雨強度の増加に対して浸潤面の上昇が微小な範囲に留まったことが原因として考えられ、最も透水係数が高いB池では他の池に比べ $F_s$ の低下率が大きいことがわかる。

表-1 確率年降雨倍率表（和気）

確率年	10年確率	100年確率	200年確率
時間雨量	133.32	193.92	213.62
補正倍率	0.88	1.28	1.41

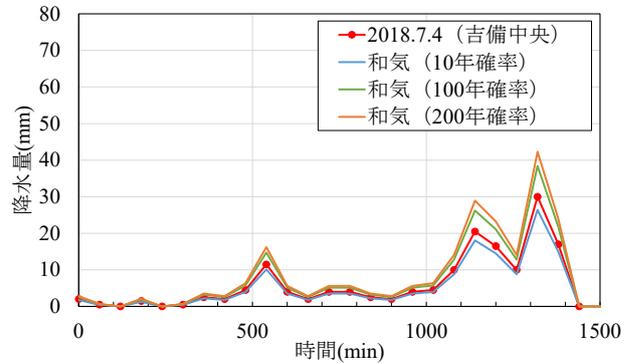


図-2 確率降雨波形の一例（玉野）

表-2 確率年降雨に対する最小すべり安全率

名称	透水係数 $k$ (cm/s)	最小すべり安全率 $F_s$			被災確率
		10年確率	100年確率	200年確率	
A池	8.0E-05	1.125	1.123	1.123	1/200
B池	1.1E-04	1.352	1.304	1.303	1/200
C池	3.2E-04	1.117	1.115	1.114	1/200
D池	1.4E-05	1.152	1.152	1.152	1/200
E池	2.8E-04	1.016	1.016	1.016	1/200
F池	3.0E-04	1.658	1.656	1.655	1/200
G池	2.0E-05	1.012	1.012	1.012	1/200
H池	4.0E-04	1.249	1.244	1.244	1/200
I池	1.9E-04	1.675	1.671	1.671	1/200
J池	2.5E-05	1.429	1.429	1.429	1/200
K池	9.3E-05	1.285	1.283	1.282	1/200
L池	1.2E-04	1.630	1.628	1.628	1/200

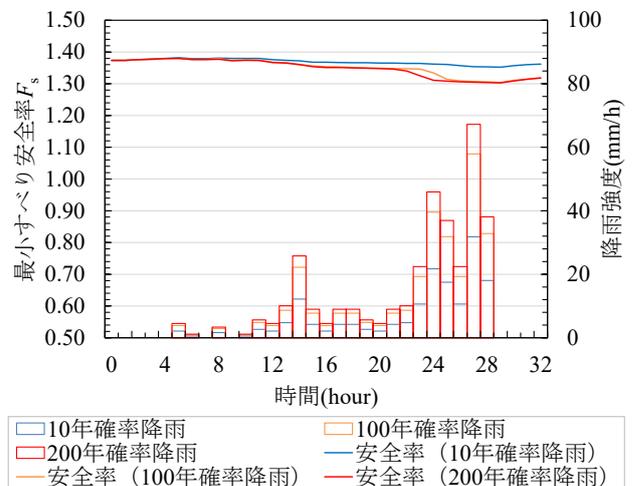


図-3 すべり安全率経時変化（B池）

(3) 越流破壊による被災確率の算出

本研究では、以降に記載する3つの手法により被災確率を定義する。被災確率の算定に用いる各ため池の諸元および定数一覧を表-3に示す。また、各手法により算定された確率年に対する各種定数およびこれに基づく決壊確率の一覧を表-4に示す。同表では、照査の基準値を超過する定数を赤字で記載する。

a) 洪水吐流下能力に対する照査

確率降雨に対する洪水吐の性能照査を実施するため、下式<sup>4)</sup>により洪水流入量を算定する。

$$Q_p = \frac{1}{3.6} \cdot r_e \cdot A \quad (2a)$$

$$r_e = f_p \times r \quad (2b)$$

ここに、 $Q_p$ :ピーク洪水量(m<sup>3</sup>/s)、 $A$ :集水面積(km<sup>2</sup>)、 $r_e$ :洪水到達時間内における平均有効応力強度(mm/h)、 $r$ :最大降雨強度、 $f_p$ :ピーク流出係数<sup>5)</sup>

最大降雨強度 $r$ は、各確率年に対する最大1時間降雨量(mm/h)を代入する。照査の結果、対象とした12か所のうち9か所で10年確率に対するピーク洪水量が洪水吐の流下能力を上回り、洪水吐の能力不足によって貯水が越流する可能性は高いと判断される。

b) 余裕高に対する照査

洪水時に想定される越流水深に対して、堤体の余裕高がこれを上回るかについて照査を行う。堤体の余裕高は堤体天端と各池の常時満水位との標高差により定義する。越流水頭は、洪水吐の型式に応じて水路流入型は(2c)<sup>4)</sup>より、越流堰型および側水路型は(2d)<sup>4)</sup>により算定する。

$$B = \frac{Q_a}{1.704C \cdot H_d^2} \quad (2c)$$

$$B = \frac{Q_a}{C_a \cdot H_d^2} \quad (2d)$$

ここに、 $B$ :水路幅(m)、 $Q_a$ :最大洪水流量(m<sup>3</sup>/s)、 $C$ :流入係数(水路入り口の側壁形状が漏斗状のとき:0.88、直角のとき:0.82)、 $H_d$ :設計水頭(速度水頭を含む越流総水頭)(m)、 $B$ :堰の有効長(m)、 $C_a$ :設計洪水時の流量係数(m<sup>1/2</sup>/s)

表-3 ため池の諸元および各定数一覧

名称	洪水吐型式	流出係数	流域面積	流入係数	洪水吐幅
		$f_p$	$A(\text{km}^2)$	$C$	$B(\text{m})$
A池	水路流入式	0.76	0.650	0.82	6.00
B池	水路流入式	0.76	0.281	0.82	6.50
C池	水路流入式	0.75	0.336	0.82	4.10
D池	水路流入式	0.76	0.269	2.10	3.20
E池	越流堰式	0.77	0.192	0.82	3.80
F池	水路流入式	0.778	0.090	0.82	3.10
G池	水路流入式	0.76	0.392	0.82	2.80
H池	水路流入式	0.76	0.592	0.82	6.50
I池	水路流入式	0.76	1.340	0.82	4.00
J池	水路流入式	0.75	0.581	0.82	5.80
K池	水路流入式	0.76	0.420	1.00	4.20
L池	水路流入式	0.75	0.361	0.82	2.50

照査の結果、対象とした12か所のうち10か所で200年確率に対する越流水頭を余裕高が上回り、貯水位の上昇によって越流破壊が生じる可能性は低いと判断される。

c) 貯水余裕量に対する照査

洪水時に想定される貯水増加量に対して、貯水余裕高がこれを上回るかについて照査を行う。貯水増加量は、洪水吐の処理能力を上回る流量が貯留されるものと仮定し、(1)で作成した降雨波形に対して(2a)より算定される時間当たりの洪水流入量と洪水吐流下能力の差分を足し合わせるにより定義する。貯水余裕量は、次式<sup>4)</sup>により定義する。

$$V_c = A_p \cdot h \quad (2e)$$

ここに、 $V_c$ :貯水余裕量(m<sup>3</sup>)、 $A_p$ :ため池の満水面積(m<sup>2</sup>)、 $h$ :ため池の余裕高(m)

照査の結果、対象とした12か所のうち7か所は10年確率に対する貯水増加量が貯水余裕量を上回り、貯水の増加によって越流破壊が生じる可能性が高いものが多いと判断される。

表-4 越流破壊に対する被災確率算出結果

名称	洪水吐流下能力(m <sup>3</sup> /s)	余裕高(m)	10年確率 $V_c$ (m <sup>3</sup> )	100年確率 $V_c$ (m <sup>3</sup> )	200年確率 $V_c$ (m <sup>3</sup> )	a) ピーク洪水量 $Q_p$ (m <sup>3</sup> /s)			b) 越流水頭 $H_d$ (m)			c) 貯水増加量(m <sup>3</sup> /s)			被災確率		
						10年確率	100年確率	200年確率	10年確率	100年確率	200年確率	10年確率	100年確率	200年確率	a)	b)	c)
						A	2.121	1.43	8030	6050	5500	4.859	6.932	7.522	0.70	0.88	0.93
B	2.298	1.04	5670	3960	3510	2.362	4.184	4.802	0.41	0.60	0.65	2362	4184	4802	1/10	1/200	1/17
C	2.025	1.52	3457	2491	2239	3.348	5.120	5.666	0.70	0.93	0.99	3348	5120	5666	1/10	1/200	1/10
D	0.735	1.26	1500	450	120	2.971	5.262	6.039	0.76	1.11	1.22	2971	5262	6039	1/10	1/200	1/10
E	1.724	1.65	15780	14340	13980	1.522	2.404	2.687	0.33	0.45	0.48	1522	2404	2687	1/19	1/200	1/200
F	0.712	0.56	2448	1632	1428	0.526	0.806	0.887	0.25	0.33	0.35	0526	0806	0887	1/56	1/200	1/57
G	1.027	1.92	5800	4900	4650	2.601	3.582	3.855	0.76	0.94	0.99	2601	3582	3.855	1/10	1/200	1/10
H	1.492	2.27	43250	39000	37750	3.578	5.472	6.056	0.54	0.71	0.76	3578	5472	6.56	1/10	1/200	1/10
I	1.976	1.86	4730	550	0	9.603	13.574	14.757	1.43	1.81	1.91	9603	13574	14757	1/10	1/140	1/10
J	4.746	1.90	10836	9460	9030	4.128	5.835	6.344	0.64	0.80	0.85	4128	5835	6344	1/26	1/200	1/200
K	4.191	1.60	11050	6500	5200	4.469	8.234	9.450	0.75	1.10	1.20	4469	8.34	9450	1/10	1/200	1/36
L	0.884	1.19	342	0	0	3.572	5.565	6.197	1.02	1.36	1.47	3572	5565	6197	1/10	1/35	1/10

### 3. ため池の氾濫被害額の算定

ため池の氾濫被害額の算定は、氾濫分布のGISデータに対応する下流域が浸水した際の資産評価額を求めることにより定義する。氾濫分布データは、ため池氾濫解析ソフト「SIPOND」もしくは「ため池DBハザードマップ簡易氾濫解析機能版」により得られるGISデータを用いる。氾濫被害額は、治水経済調査マニュアル（案）<sup>6)</sup> および治水経済調査マニュアル（案）各種資産評価単価及びデフレクター<sup>7)</sup>に記載される各資産・被害額の算定方法を参考に、表-5に示す被害項目を対象に算定する。本研究では、上記マニュアル上で被害率・被害単価が明記されており、統計的に推計可能な項目を氾濫被害額として設定する。

対象ため池12か所における氾濫被害額算定結果を表-5に示す。同表には、従来の考え方の指標として氾濫被害額の規模に基づく対策優先度評価結果を示す。氾濫被害額はJ池、I池、F池の順に高くなり、浸水範囲や下流域の資産対象物の有無に応じて被害額にばらつきが生じるが、産業被害の規模が総氾濫被害額に占める割合が高いことが確認された。

### 4. 被災リスクに基づく対策優先度評価

算定したすべり・越流破壊に対する被災確率と氾濫被害額より被災リスクを求め、対象とするため池12か所の対策優先度評価を行う。評価結果の一覧を表-7に示す。被災確率は、各照査結果のうち最も大きい確率より定義する。被災リスクはI池、G池、J池の順に高くなり、従来の手法に比べ氾濫被害額だけでなく被災確率も大きいため池が対策優先度が高くなる結果となった。

### 5. おわりに

新たなため池の優先度評価手法により、被災確率、氾濫被害額を考慮した対策優先度を評価することができた。本検討では被災形態としてすべり破壊と越流破壊に着目したが、浸透破壊に対する評価を追加で見込むことで、より精度の高い被災確率の算定が可能になると考えられる。今後、ため池の諸元値から被災確率を求める回帰式の構築等、簡易的に被災リスクを評価可能な手法の開発を進めていく。

### 謝辞

本研究の実施に当たり、岡山大学西村伸一教授、柴田俊文准教授に多くのご指導・ご助言を頂きました。また、本報告の作成に当たり発注担当者および関係者各位から多くのご協力を頂きました。ここに記して謝意を表します。

### 参考文献

1) 農林水産省農村振興局整備部：平成 30 年 7 月豪雨等

表-5 評価対象とする被害項目一覧

被害種別	被害項目
産業被害	家屋、家庭用品、事業所償却資産、事業所在庫資産、事業所営業停止被害、事業所応急対策費用、公共土木施設等被害
農業被害	農産物（米、大豆のみ）、農地、農業用施設

表-6 氾濫被害額の算定結果

名称	産業被害 (千円)	農業被害 (千円)	総氾濫 被害額 (千円)	対策 優先度 (従来)
A池	192,509	133,328	325,837	9
B池	212,140	324,347	536,487	5
C池	221,412	281,048	502,460	7
D池	75,370	180,870	256,240	10
E池	320,544	196,308	516,852	6
F池	643,473	290,827	934,300	3
G池	438,322	295,305	733,627	4
H池	0	101,358	101,358	12
I池	1,391,590	123,049	1,514,639	2
J池	1,600,711	23,579	1,624,290	1
K池	206,640	226,061	432,701	8
L池	142,002	107,250	249,252	11

表-7 対策優先度評価結果

名称	被災確率	総氾濫 被害額 (千円)	被災 リスク (千円)	対策 優先度 (提案)
A池	1/10	325,837	32,584	7
B池	1/10	536,487	53,649	4
C池	1/10	502,460	50,246	5
D池	1/10	256,240	25,624	9
E池	1/19	516,852	27,203	8
F池	1/56	934,300	16,684	11
G池	1/10	733,627	73,363	2
H池	1/10	101,358	10,136	12
I池	1/10	1,514,639	151,464	1
J池	1/26	1,624,290	62,473	3
K池	1/10	432,701	43,270	6
L池	1/10	249,252	24,925	10

を踏まえた今後のため池対策の進め方，2018.11.

- 2) 気象庁 HP：過去の気象データ検索  
<<https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>>，  
2020年10月5日閲覧。
- 3) 岡山県の特殊気象，岡山県農林水産部，平成29年3月。
- 4) 農林水産省農村振興局：土地改良事業設計指針「ため池整備」，2017.3.
- 5) 農林水産省農村振興局：土地改良事業計画設計基準指針「ダム」技術書共通編，pp.346-357，2003.4.
- 6) 国土交通省水管理・国土保全局河川計画課：治水経済調査マニュアル（案），2020.4.
- 7) 国土交通省水管理・国土保全局河川計画課：治水経済調査マニュアル（案）各資産評価単価及びデフレクター，2020.4.