

## 空知地域における防災重点農業用ため池の類型区分と目指す姿

空知総合振興局産業振興部整備課 相田 真人  
〃 橋口 敬仁  
株式会社 ルーラルエンジニア ○綿谷 一樹  
〃 大沢 正人

はじめに

2011年3月の東北地方太平洋沖地震や2018年9月の胆振東部地震における「農業用ため池」の被災は記憶に新しいところである。また、近年全国規模で多発する集中豪雨が原因となった「農業用ため池」の被災事例も数多く報告されている。

こうした背景から北海道においては「決壊時に人的被害を与える可能性のある農業用ため池」126箇所を「特別措置法（令和2年法律第56号）第4条」に基づく「防災重点農業用ため池」として指定し、堤体や洪水吐などの施設の劣化状況、地震耐性、豪雨耐性の評価を進めているところである。

本報文は、空知総合振興局管内の「防災重点農業用ため池」でこれまで進められてきた「耐震性点検」および「耐豪雨性評価」の結果を踏まえ、各ため池の構造的な安定性を「災害発生リスク」の観点から評価したものである。

### 1. 農業用ため池の防災・減災に向けた取り組みの経過

空知総合振興局管内の防災重点農業用ため池は現在42か所（図-1）があり、各自治体からはハザードマップなどの情報が地域に公表されている。また、農政部のHPでは防災工事等の推進に関する基本的な方針が示されている。

この選定の根拠となったのは、これまでに行われた以下の調査・解析資料である。

[調査]

- ・ため池一斉点検
- ・耐震性点検（土質調査・試験）
- ・劣化状況調査

[解析]

- ・浸水想定区域図（ハザードマップ）
- ・豪雨耐性評価
- ・地震耐性評価（堤体安定計算）
- ・劣化状況評価

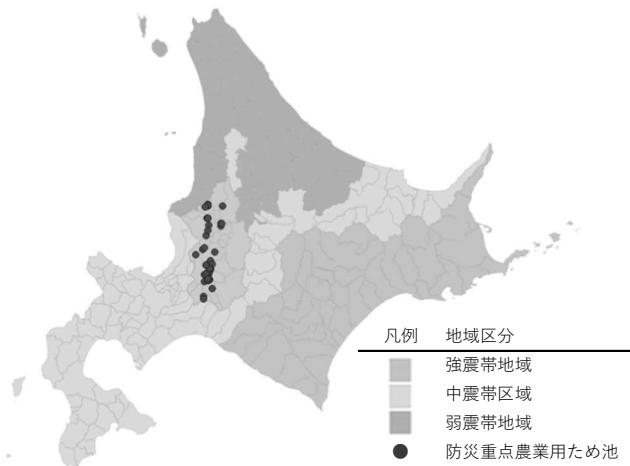


図-1 防災重点農業用ため池  
(空知総合振興局)

空知総合振興局では上記した資料と農業利用の現況、人的被害の有無、管理体制などを勘案して表-1に示した類型区分を行っている。

類型区分は「1. 施設を維持する。」から「6. 廃止対策を進める」までの6区分で、空知総合振興局管内全体42か所のうち、半数超の23施設で防災機能を高める必要があるとしている。

ただ、安定計算の結果（円弧すべりの安全率）のみから地震時の不安定挙動を推測することは技術的に困難であるとともに、日常管理の中で視認できる「見た目の健全度」の延長上で被災リスクを想定することは、より難しい作業と言える。

表-1 防災重点農業用重点ため池の類型化区分（空知総合振興局）

類型区分	防災対策の方向性		類型化要素			
			農業利用	人的被害	健全度	
1	施設を維持	利用するため池は施設を維持する。		あり	なし	高い
2	適正な管理を推進	管理体制を強化する。 異常気象による水害の低減策を強化する。				
3	防災機能を高める	管理体制を強化する。 優先度の高い箇所からハード対策を推進する。	すべり安全率 Fs=0.9~1.2未満		あり	低い
4	防災機能を高める (優先度が高い)	直ちにハード対策に着手しない箇所は、低水位管理等を実施する。 異常気象による被害の低減策を強化する。	すべり安全率 Fs=0.9未満			
5	貯水機能を廃止	貯水機能を廃止する。(落水)		なし	なし	-
6	廃止対策を進める	安全性を考慮した上で廃止工事を行う。 当面は貯水機能を廃止する。(落水)			あり	-

## 2. リスク評価に基づく対策優先度の区分

防災対策の優先度を検討するためには、安定計算の結果に加え、「地震の発生確率」や近年の「集中豪雨の増加傾向」を考慮した「リスク評価」の視点が必要と考えられる。

このため、ため池の構造的な安全性を評価する際の要因として、震度5強以上の地震の発生確率と、近年の降雨資料から推定される1/200年確率洪水量を取り上げ、「リスク評価」の視点から、各ため池で想定される防災対策の優先度を検討した。

### 2-1 地震の発生確率を考慮した堤体の安全指数

本道には数十万年前以降に活動した履歴を有する「活断層」が多数あり、これらを震源とする「内陸直下型地震」では2018年9月に発生した「北海道胆振東部地震」が記憶に新しい。

また、本道東岸の千島海溝を震源とするマグニチュード9クラスの「巨大地震」の発生が予想されており、「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震対策大綱」に基づいた地震・津波対策が進められている。

国の「地震調査研究推進本部」ではこれら、重大災害を生起する可能性の高い地震について、長期的な確率評価と強震動の評価を組み合わせた「確率論的地震動予測地図」を作成し、「地震ハザードステーション(J-SHIS)」としてWEB上で公表している。

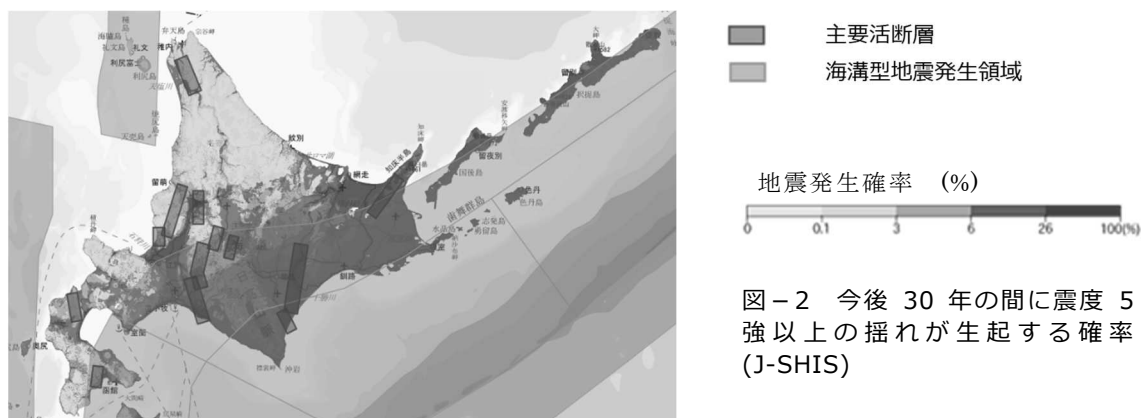


図-2 今後30年の間に震度5強以上の揺れが生起する確率(J-SHIS)

一方、2011年3月の「東日本大震災」では農業用ため池も多くの被害を受け、福島県では全体の24.3%に当たる800箇所が被災し、特に3か所のため池では地震直後の決壊により人命の犠牲を含め、下流域において多大な被害を発生させている。

こうしたことから、ため池に関わる防災対策を進めていくためには、ため池の耐震性能を設計計算における「安全率」のみで判断するのではなく、地震の発生確率を考慮した「リスク評価」の視点が欠かせないと言える。

ここでは、地震の発生確率を考慮した構造的指標として下式で示す「安全指数」を定義し、各ため池を相対評価した。

$$St = Fs / PS$$

St：地震の発生確率を考慮した堤体の耐震性 (=安全指数)

Fs：地震時安定計算の結果 (安全率)

PS：ため池地点における地震の発生確率(J-SHIS)

このうちFsは「ため池耐震診断」で得られた常時満水位における堤体の安全率(上下流断面の最小値)を用い、PSについては「地震ハザードステーション(J-SHIS)」に公開されている地震の発生確率を、図-3に示した各ため池地点ごとにGIS上で読み取った。

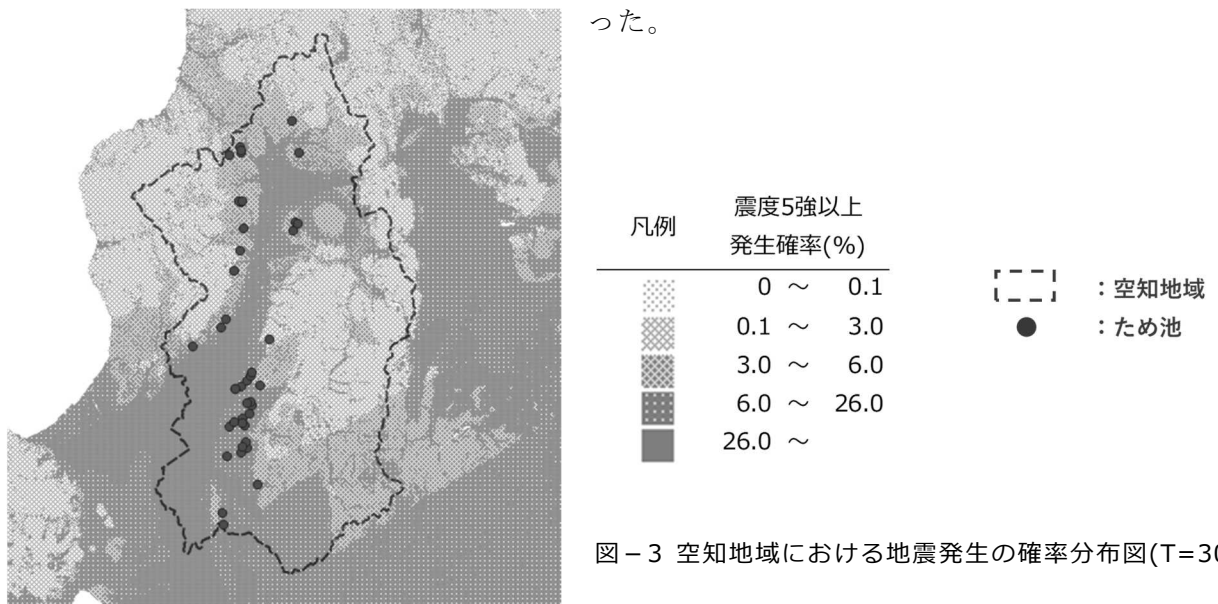


図-3 空知地域における地震発生の確率分布図(T=30年)

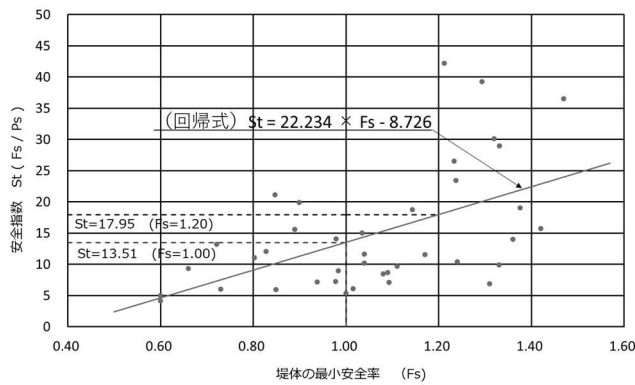
表-2 空知地域の今後30年間に於ける地震の発生確率 (PS)

地震の発生確率(%) J-SHIS	
発生期間(T=30年)	震度5強
最大値	19.0%
最小値	2.9%
平均値	9.4%

空知地域のため池地点で、今後30年間に予想されている震度5強以上の地震の発生確率は、表-2に示したようにPS=2.9%~19.0%の範囲にあり、平均的には9.4%である。

耐震診断の安定計算で求められた堤体の最小安全率(Fs)と地震の発生確率を考慮した堤体の安全指数(St)との関係を図-4に示した。

ため池毎の個別の条件が反映されるためFs-St関係は1:1対応とはならないが、傾向的には正の相関が認められ、以下の1次回帰式が得られる。



回帰式 :  $St = 22.234 \times Fs - 8.726$

安定計算における判断指標であるFs=1.20から上記の回帰式を用いてこれに対応するStを求めるとSt=17.95となり、この値が耐震性を「安全指数」で評価する場合の目安になるものと考えられる。

図-4 堤体の最小安全率(Fs)と安全指数(St)

## 2-2 ため池の耐豪雨性に関わるリスク評価

近年、集中豪雨が頻発する状況にあることから、流域からの雨水到達時間の短いため池では、洪水時のため池の放流能力を再検証することが必要となっている。

### 2-2.1 降雨量の増大

多くのため池が昭和50年前後に改修を行っていることから、当時の設計条件として採用されている「1/200年確率降雨量」と近年の値を比較した。

使用した資料は「北海道の大雨資料(第14編:観測開始~平成30年)」と「同(第8編:観測開始~昭和63年)」である。

図-5は、各々の資料中に示されている確率降雨強度式を用いて同一観測地点(岩見沢)の1/200年確率降雨強度を算出し、比較したものである。

$$Q = 1/3.6 \times re \times A$$

$$re = r \times fp$$

Q : 設計洪水量 (m<sup>3</sup>/s)

re : 洪水到達時間内(tp)流域平均有効降雨強度 (mm/hr)

A : 流域面積 (km<sup>2</sup>)

r : 1/200 確率降雨強度 (mm/hr)

$$r = a / (tp^n + b)$$

a, b, c : 200 年確率降雨強度式定数 (北海道の大雨資料)

tp : 洪水到達時間 (min)

$$tp = C \times A^{0.22} \times re^{-0.35}$$

C=290 (ため池整備.P33/自然丘陵地)

fp : 流出係数=0.70

同図に示したように、「大雨資料（第14編）」から求められる1/200年確率降雨量は「同（第8編）」から求められる値よりも大きく、これから計算される各ため池の設計洪水量も平均的には図-6に示すように当初設計値の1.16倍となった。

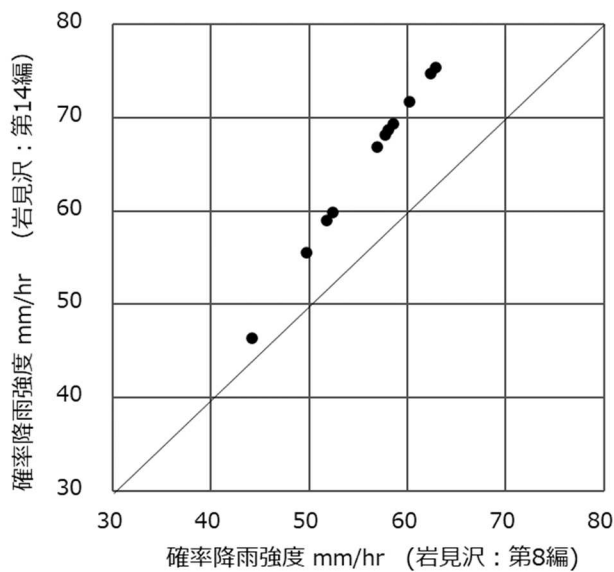


図-5 確率降雨強度(1/200年)の比較

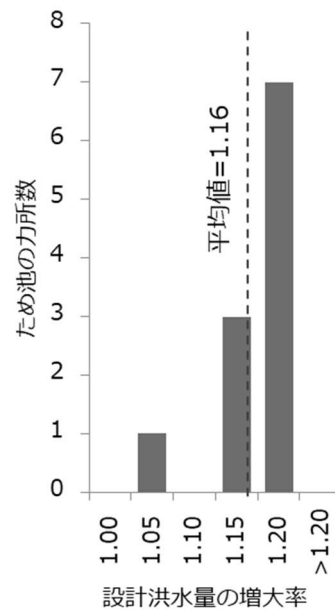


図-6 設計洪水量の増大

### 2-2.2 洪水吐の放流能力

洪水吐の放流能力を「ため池整備」等に示された水理計算手法で求め、前記した「大雨資料（第14編）」から推定される設計洪水量が流下した際の余裕高を検証することで、「放流能力」のリスク評価を行った。

洪水吐の放流能力は下式で算定し、現況施設の越流高と余裕高を求めた。

$$Q_d = C' \times B \times H_d^{3/2}$$

$$C' = 1.704 \times C \dots \text{水路流入型} \quad C=0.88 \text{ (漏斗)} ; C=0.82 \text{ (直角)}$$

$$C' = 2.200 - 0.0416 \times (H_d/P)^{0.990} \dots \text{側水路型 (H=H}_d\text{)}$$

$Q_d$  : 設計洪水量

$C'$  : 流入係数

$B$  : 洪水吐幅

$H_d$  : 設計水頭 (洪水吐敷きからの水深とした)

$H$  : 洪水吐高さ (m)

$P$  : 堰高 (m)

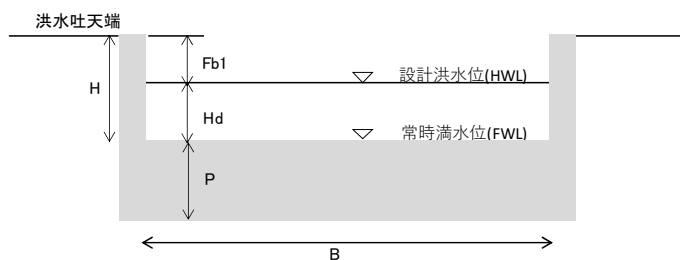


図-7 洪水吐余裕高の算定

これに対し、設計計算で求める「必要余裕高(Fb1)」を下式で求め、上記した越流高との関係を充足率(Fr1)として求めた。

$$Fb1 = 0.07 \times d + V^2 / (2 \times g) + 0.10$$

Fb1 : 余裕高 (m)

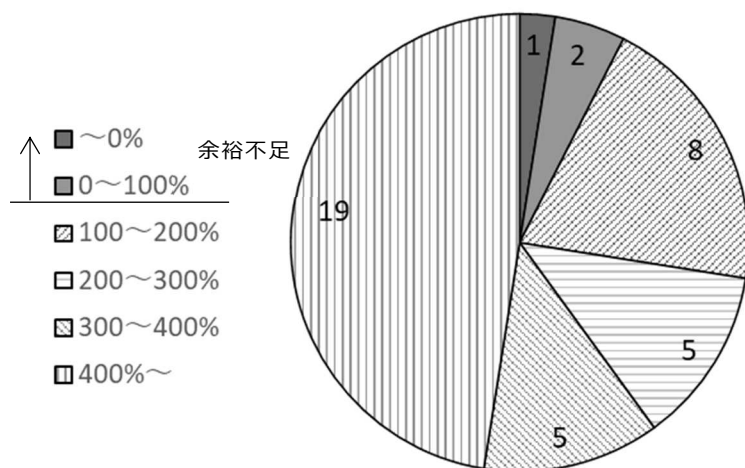
Hd : 水深 (m)

V : 流速 (m/s)

g : 重力加速度 (9.8m/s<sup>2</sup>)

$$Fr1 = (H - Hd) / Fb1$$

Fr1:洪水吐余裕高の充足率



求められた洪水吐余裕高の充足率 (Fr1) は、3 か所のため池を除き近年の大雨資料 (第 14 編) に示されている 1/200 年確率雨量時の洪水量に対して必要な余裕高が確保されている状態 (Fr1>100%) である。(図-8)

図-8 洪水吐余裕高の充足率

### 2-2.3 堤高余裕高

洪水吐の余裕高と同様に、1/200 年洪水時の設計洪水位と現地で実測した堤頂高から余裕高を求め、これについても設計で求める「必要余裕高(Fb2)」との割合 (充足率) を求めた。

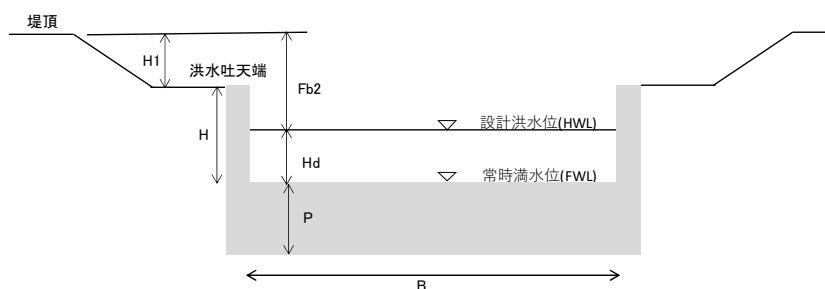


図-9 堤頂余裕高の算定

$$Fb2 = 0.05 \times H_2 + 1.0 \quad (R \leq 1.0\text{m の場合}) \text{ ただし、堤高} < 5.0\text{m の場合最小} 1.0\text{m}$$

$$Fb2 = 0.05 \times H_2 + R \quad (R > 1.0\text{m の場合})$$

Fb2 : 余裕高 (m)

R : 波の打ち上げ高さ (m)

H<sub>2</sub> : 最高水深 (m)

$$Fr2 = (H + H1 - Hd) / Fb2$$

Fr2 : 堤頂余裕高の充足率

H : 洪水吐高さ (m)

H1 : 洪水吐天端と堤頂高の差 (m)

Hd : 設計洪水位 (m)

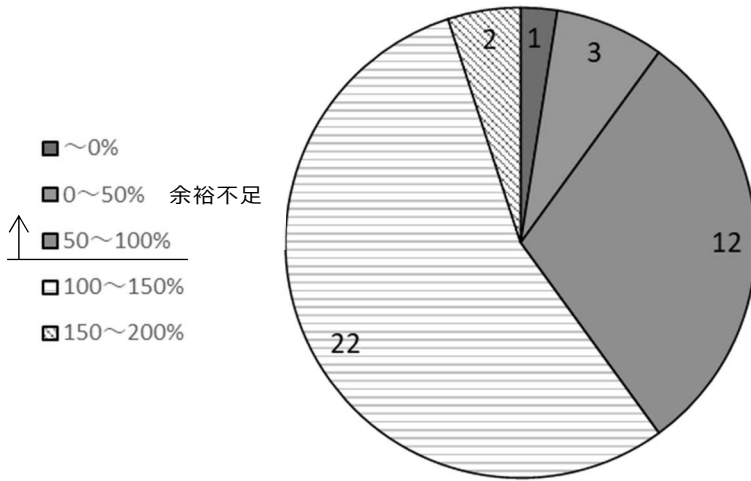


図-10 堤頂余裕高の充足率

大雨資料(第14編)に示されている1/200年確率雨量時の洪水量に対して必要な堤頂余裕高(Fr2)は、16か所のため池で100%が確保されていない状態にある。(図-10)

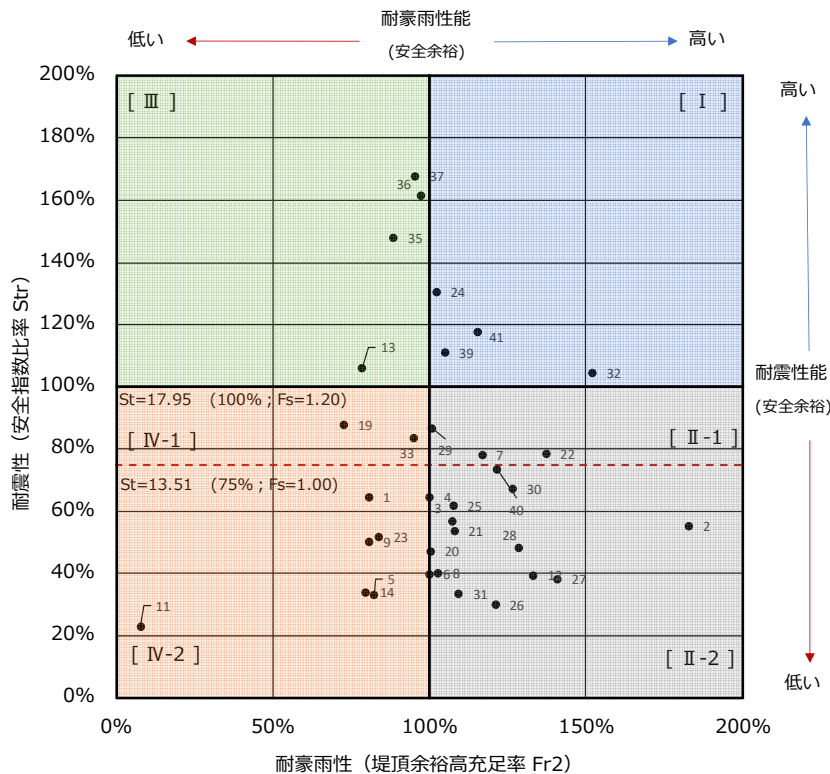
平均的な不足高さは $\Delta h=0.54\text{m}$ であり、多くは1m未満であるが、最も大きな1か所(廃止予定)では $\Delta h=2.28\text{m}$ に及んでおり、余裕高が確保されていない状態にある。

### 3. 構造的リスク評価に基づく類型区分

ため池の構造的リスクを確率評価するため、耐震性と耐豪雨性に関連して以下の2つの指標を算定した。

- (1) 「堤体の安全指数」: 地震時の安定計算結果を、「地震ハザードステーション(J-SHIS)」で公表されている震度5強以上の地震が、今後30年の間に発生する確率で除した値
- (2) 「堤頂余裕高充足率」: 近年の降雨資料から推定した1/200年確率洪水量から求められる堤頂高が有する余裕高の充足率(必要余裕高に対する比率)

洪水吐の余裕高について3箇所を除き満足していることから、ここでは堤頂の余裕高充足率(Fr2)と、堤体の安全指数(St)を安全率 $F_s=1.20$ に対応した安全指数( $St=17.95$ )



で除した値(Str:安全指数比率)とを指標として、各ため池の構造的な安定性をマトリックスで示した。(図-11)

図中には $0 < Str < 200\%$ 、 $0 < Fr2 < 200\%$ の範囲にある36か所のため池をプロットした。

また、[IV-1]および[II-1]の範囲は安全指数比率Strが100%~75%の範囲にあるものを区分している。(安定計算の安全率が $F_s=1.20 \sim 1.00$ に相当)

図-11 構造的リスク評価に基づく類型区分

耐震性と耐豪雨性で区分した4つの範囲は、ため池の構造的な安定性と必要な対策工の目安となるものであり、各々の特徴は下表のようにまとめられる。

表—3 構造的リスク評価に基づく類型区分毎の安定性と対策工一覧表

区分	耐震性能 (リスク)	耐豪雨性能 (リスク)	対策 優先度	想定される対策工
I	高(小)	高(小)	低	日常管理
II-1	中(中)	高(小)	中	堤体押え盛土、地盤改良
II-2	低(大)	高(小)	高	
III	高(小)	低(大)	中	堤体の嵩上げ、緊急放流施設、洪水吐改修(切欠き等)、低水管理、事前放流
IV-1	中(中)	低(大)	高	上記II、IIIに対応する対策工
IV-2	低(大)	低(大)	高	

個々のため池の防災対策は現況の耐震性能、耐豪雨性能により異なるが、各ため池ごとの安全指数比率(Str)と堤頂の余裕高充足率(Fr2)を相対評価することで、構造面から見た場合の「防災対策の優先度」を判断することが可能と考えられる。

#### 4. 今後の課題

本報文では耐震性能に影響する地震の発生確率と、近年の降雨の増大傾向に対応した耐豪雨性能について検討を進めてきたが、ため池の安全性(安全確率)に関わる要素には他にも以下に示したように多くの事項があり、リスク評価の観点から今後、分析・評価を加えることが必要と考える。

##### 4-1 貯水期間を考慮した耐震性のリスク評価

農業用ため池では春先の融雪水の貯水に始まり、貯水、落水のサイクルを毎年繰り返すが、堤体の安全率は貯水位の変化に伴って変化する。(図-12)

こうした条件を確率的に評価するには、以下に示した「通年の安全率」に拠るのが妥当と考えられる。

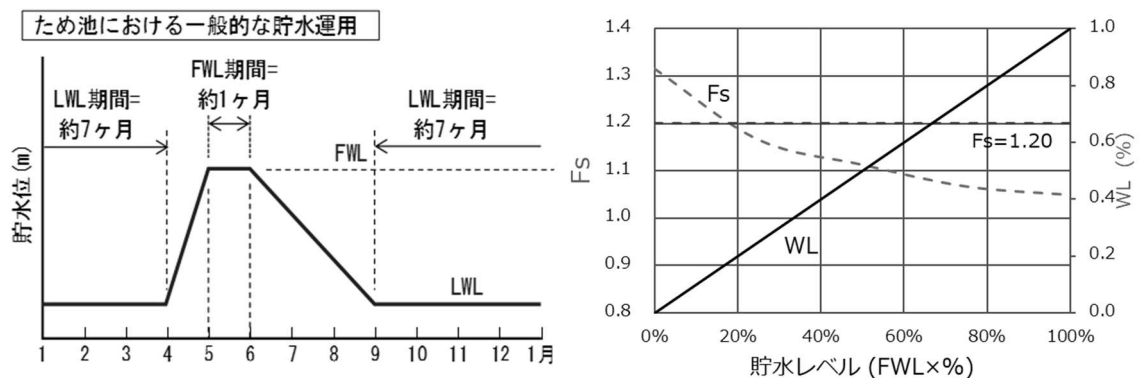


図-12 貯水位の変化に伴う堤体安全率の変化(例)

$$Fs' = \sum (Fsi \times Ti) / 365$$

Ti : 水位降下の期間(日)

Fsi : 水位降下時の堤体の安全率

Fs' : 通年の安全率



また、かんがい終了後の落水など、適正な「貯水管理」が防災の面からも必要であることが明らかになるものとする。

#### 4-2 施設の健全度

ため池の安全を保持するためには、堤体や洪水吐施設などが構造的に健全であることが必要である。

「ため池一斉点検」では、こうした施設を現地で目視確認しており、堤体からの漏水や洪水吐の劣化状態が報告されている。

こうした施設の健全度を数値化するなどの手法によって、より現況を反映させた「構造的リスク」を把握することが可能になると考える。

#### 4-3 周辺地山の崩壊・地すべり

厚真ダムでは、胆振東部地震の際に周辺斜面が崩壊し、土砂が洪水吐に流入することで越水のリスクが増大するとともに、復旧作業に対しても大きな支障となった。

また、下流の管理用道路が土砂崩れなどの被害を受けた場合も復旧作業の遅延など、大きな影響が予想される。

こうした地震に伴うリスクを「地すべり分布図」などから推測し、「構造的リスク評価」に反映させることが必要と考える。

#### 4-4 その他

構造的なリスクと直接的に関連するものではないが、防災事業の推進に当たっては、下記項目に対する検討も重要と考える。

##### (1) 防災対策の費用対効果の検証

- ・ 防災対策費用の推定
- ・ 被災額の推定

##### (2) 関連する団体との情報共有、合意形成

#### おわりに

農業用ため池の防災工事は、令和3年度から12年度にまでの期間(前後半各5か年)で実施することとされており、各ため池の構造的なリスク評価に基づく「類型化区分」と「対策優先度」を検討の上、廃止を含めた対応方針を決定する必要がある。

来年度は検討対象を全道のため池に拡大する計画であるが、本検討が農業用ため池の防災に関わる関係者の合意形成と、必要な防災工事推進の一助となれば幸いである。