

豪雨地盤災害に対する 地盤工学の課題と提言

—ため池に関する提言—

ため池WG長

毛利栄征

(茨城大学農学部 教授)

【ため池WG】メンバー

氏名	所属	関連委員会・推薦・調査団
毛利栄征(※)	茨城大学	JGS監事
森 洋	弘前大学	ため池WG長推薦
岡島賢治	三重大学	ため池WG長推薦
野村英雄	基礎地盤コンサルタンツ	ため池WG長推薦
中井健太郎	名古屋大学	中部調査団幹事長
藤澤和謙	京都大学	関西調査団
西村伸一	岡山大学	岡山調査団長
柴田俊文	岡山大学	岡山調査団
原 忠	高知大学	四国調査団
小林範之	愛媛大学	四国調査団
神山 惇	宮崎大学	山口調査団
辻 修	帯広畜産大学	北海道支部推薦
酒井俊典	三重大学	中部支部推薦
石蔵良平	九州大学	九州支部推薦
小高猛司	名城大学	JGS災害連絡会議幹事長

(※WG長)

豪雨によるため池破壊

【梅ノ木谷池の豪雨による大規模破壊】 平成30年7月豪雨

- 貯水を下げていたことから、辛うじて決壊は免れた。
- 飽和した堤体の斜面が崩壊し、下流部に50m以上流動している。
- 最終形状は設計で仮定している円弧状のすべり破壊とは若干異なる



【地盤工学的課題】

1. 豪雨による堤体の浸透現象と堤体強度
2. 飽和した堤体の流動予測
3. 堤体土の種類と流動性



【ターゲット】

1. 堤体の危険度予測技術
2. そのためのモニタリング



【社会実装】

1. 設計指針、マニュアルへの反映
2. 避難の判断基準

洪水時のため池周辺の状況

- 平成21年7月中国・九州北部豪雨災害（7/19～7/26）を事例にして
・山口県防府市の総雨量が500mm、24時間雨量で275mmを記録。



【玉泉ため池】

貯水量の半分の5万～6万 m^3 の土石流が流入

【長尾ため池】

貯水量の1万2千 m^3 の土石流が流入

- 2つのため池で土石流を100%受け止める
- ため池下流の市街地の被害は皆無



【地盤工学的課題】

- ① 土石流の発生と流動性の解明
- ② 池周辺道路からの流出水による侵食
- ③ 広域的な斜面崩壊発生現象の解明
- ④ ため池による減災の解明

地盤工学に関する課題の抽出（ため池WG）

【基本コンセプト】

1. 広域・多所・同時災害の発生を前提
2. 防災と減災の適切な連携

【研究・技術課題】

1. 安全性予測と避難につながる技術開発
2. 堤体決壊プロセスの解明と予測・対策技術の開発
3. 豪雨・貯水浸透、越流などの複合要因による破壊リスク評価

【行政・社会連携】

1. 設計施工基準や指針への反映
2. 地元の技術者や管理者との連携強化
3. 流域管理を前提とした総合的な地盤災害対策の視点での研究展開
4. 地盤災害の的確な予測に基づく、避難・アラートの発信

地盤工学的取組による国土強靱化と地域貢献

自然災害の軽減は地盤災害の現象解明が不可欠

災害を皆無にすることは
不可能

災害の発生と危険性を
明確に予測できれば

目標設定

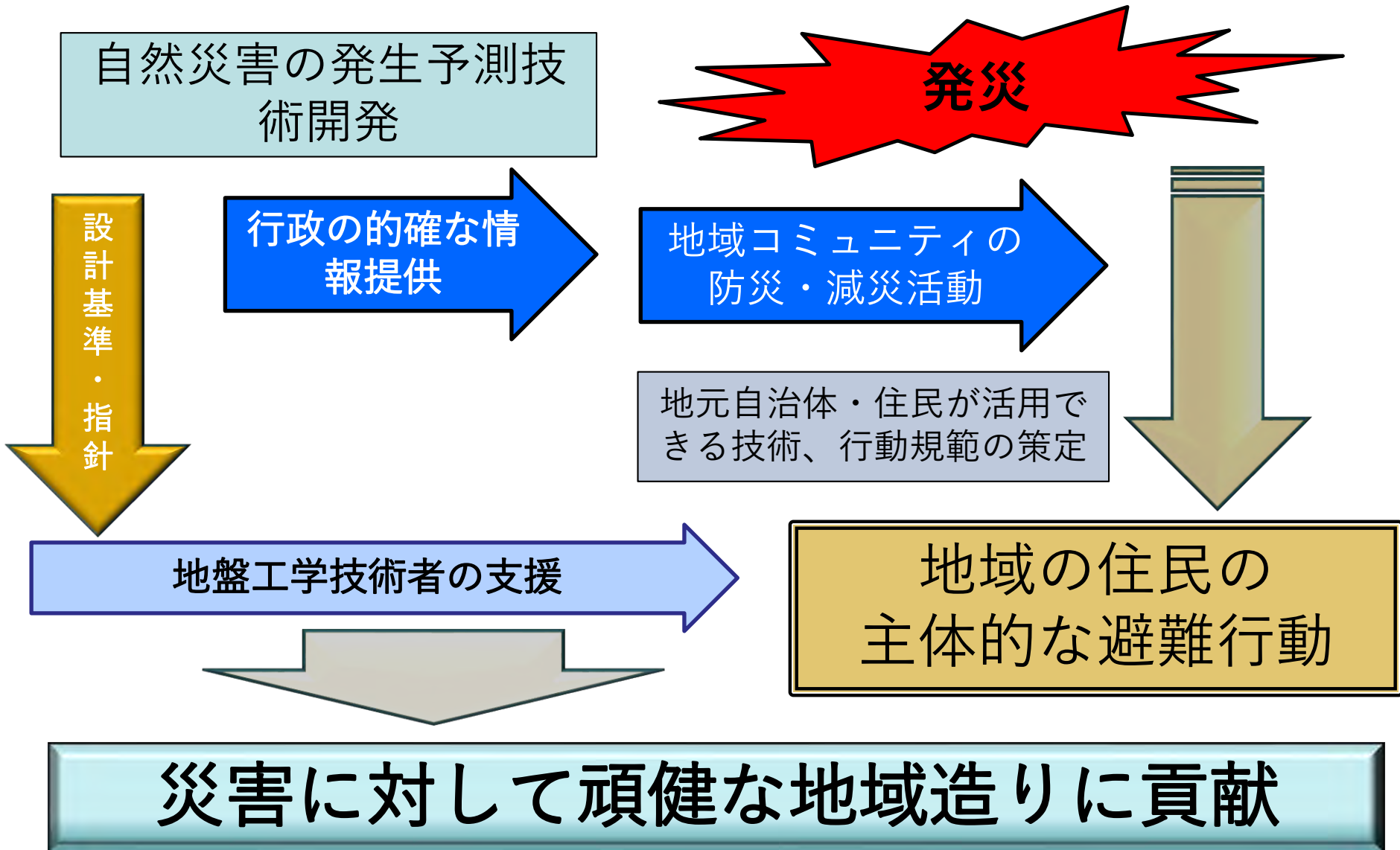
地盤工学的手法で災害の規模を縮小 == > 減災の実現

的確な対策

避難の初動発信

- 広域・多所・同時災害の発生リスク低減
- 山間地から沿岸部までの災害の連鎖を封じ込める

地盤工学技術者による地域減災支援



ため池の特徴

歴史的な築造技術による改修の履歴を多様に内在している， => 不均一な堤体構造

- ため池は全国に約20万箇所存在
- ため池の築造年代は，江戸時代以前（不明を含む）が69%（ため池データベースにある受益面積が0.5ha以上を持つ9.6万箇所）
- 池の管理については59%を地域の集落や個人が担当
- ==> 歴史的な背景を内在するため池堤体の内部構造は，必然的に複雑な状態のまま

1. 平成30年7月豪雨（西日本豪雨）による被害
2. 2府4県で32件の決壊
 - ・ 広島県23箇所，岡山県4箇所，京都府2箇所，大阪府1箇所，愛媛県1箇所，福岡県1箇所



3. 重大な損傷を受けたため池数も膨大
4. 設計や施工指針の検証
5. 地域の減災事業推進の面からも意義深い

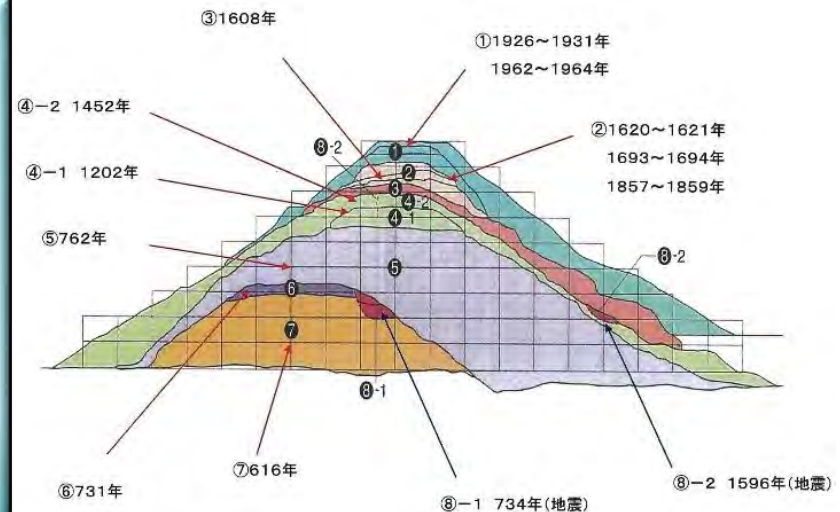


図4.1 狭山池の堤体の改修履歴と構造
(参考文献1に加筆)

提言4.1 ため池堤体の豪雨時の崩壊機構の解明と定量的な挙動予測手法の確立

(長期的, 社会全体・専門家)

1. すべり破壊, 浸透破壊, 越流侵食が複合的に起こる可能性がある
2. ため池堤体の破壊に対しては, 包括的な安定性予測手法の開発が望まれる.
3. さらに, 簡便で確度が高い診断技術の開発を進めることが必要である.

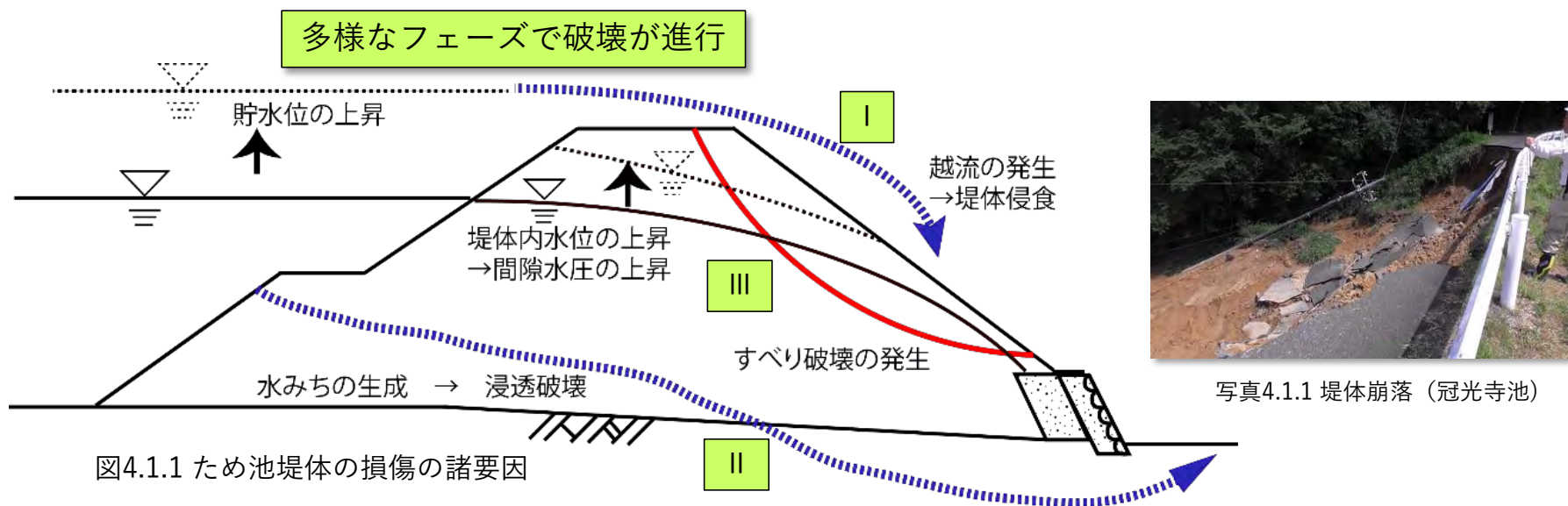


図4.1.1 ため池堤体の損傷の諸要因

1. 多くのため池で堤体下流法面の崩落が発生
2. 要因: 法面への降雨浸透, 間隙水圧の発生によるせん断強度の低下
3. ため池整備指針では, これらの要因を考慮した設計方法が示されていない
4. 被害状況との整合性を明らかにし, 今後のため池設計に取り入れるべき安定性評価手法を検討するべきである

提言4.2 ため池堤体の越流時の侵食から崩壊に至る機構の検証とその安全性照査技術の開発

(長期的, 社会全体・専門家)

1. 洪水や土石流の流入による水位急上昇時に発生する堤体越流から破堤に至る機構を解明
2. その崩壊危険度予測と対策技術の開発を進める必要がある。

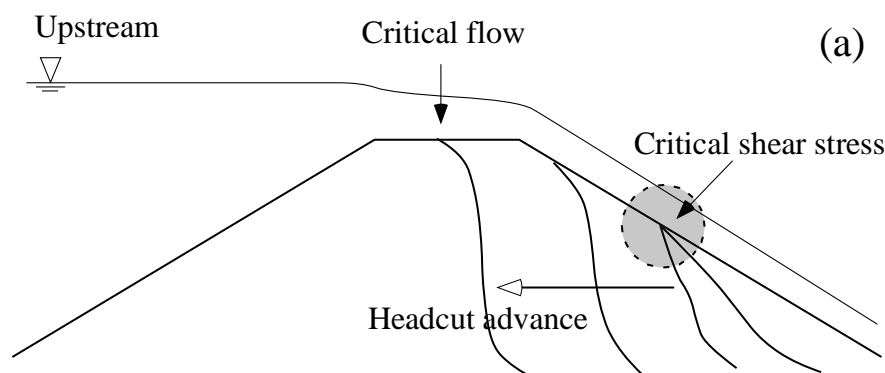


写真4.2.1
越流によるため池の破堤 寺田池(東広島市)
(平成30年7月豪雨)

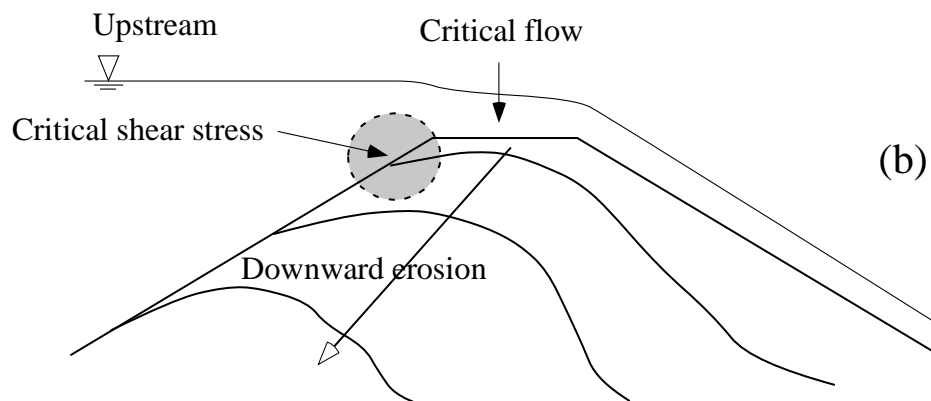


図4.2.1 越流による堤体侵食過程 (藤澤ら, 2011) 2)

“越流”と“破堤”の認識

- 越流に対する実現可能な対策を講じるには, 「“越流”=“破堤”」の考え方には限界がある。



- 越流による堤体の崩壊機構の解明



- 防災・減災の社会的需要に応える
- => 越流による破堤時間を提示。

提言4.3 豪雨時のため池堤体の浸透の変化に伴う堤体の崩壊機構の検証とその安全性照査技術の開発

(長期的, 社会全体・専門家)

1. 洪水流入によるため池の貯水上昇に起因する堤体の不安定化現象の解明
2. 堤体の漏水と崩壊危険度予測手法の開発と実証的な事例による検証
3. 対策技術の開発 (部分改修、大規模改修)

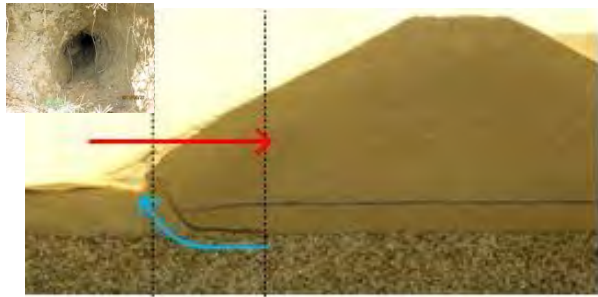


写真4.3.4 内部侵食の進展⁵⁾



写真4.3.5 法尻に敷設したすべり破壊⁵⁾

法先にドレーンを敷設した例では、
変状は全く発生しない



写真4.3.6 法尻に敷設したドレーン⁶⁾

1. 一口にパイピングと言っても、その原因には様々な現象が存在
 2. 堤体内の亀裂、浸透による侵食や浸透破壊の進行過程の解明が重要
- ↓
3. 法先部での内部侵食をきっかけとして発生するすべり破壊であっても、法先部での浸透時の堤体材料のせん断強度の適切な評価によって、円弧すべり解析での崩壊予測の可能性はある
- ↓
4. パイピングの現象予測は困難であるが、浸透及び変形を考慮した総合的な観点からパイピングによる破堤を評価することが重要である。

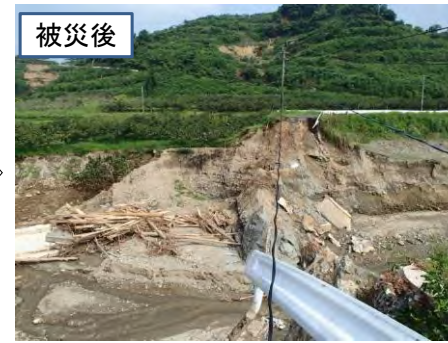
提言4.4 流木や土砂の貯水池への流入などによる、堤体の越流破壊の発生機構の検証とその安全性照査技術の開発

(長期的、社会全体・専門家)

1. 洪水時の流木などの流入による洪水吐閉塞と、貯水の上昇や越流に伴う堤体の侵食プロセスの実証
2. その抑止対策技術の開発
3. 特に、洪水吐の性能を適正に発揮させるため、流木等が洪水吐に接近しないような付帯施設の効果を検証
4. また、越流した場合でも、被害を軽減できる地盤工学技術を活用



(a) 被災前の洪水吐 (引用：Googleストリートビュー)



(b) 破堤部断面 (洪水吐の流出)

写真4.4.4洪水吐の閉塞が原因で破堤したと推察されるため池 (平成29年7月九州北部豪雨)

1. ため池堤体の越流抵抗性を要求機能として設定する
2. 洪水吐の構造様式と付帯施設の要求機能の検討

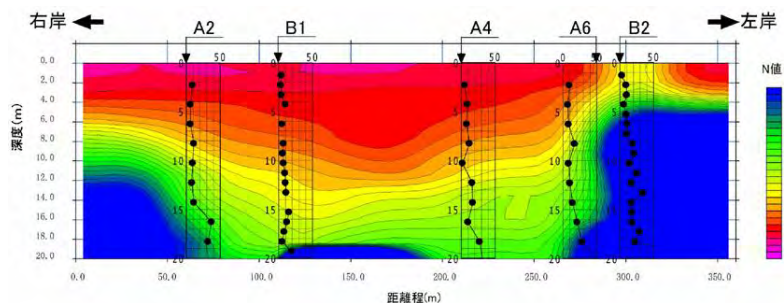


1. 流木や岩塊などは貯水池上流端でトラップ (透過型の砂防施設等の設置)
2. 洪水吐に流木が接近しないように付帯施設を設置 (網場などの設置)
3. 管理橋下の余裕高さを確保し、流入部、導流部で閉塞しない構造
4. 洪水吐および水路の上部の堤体や地山地盤は越流に対する抵抗性を有する構造 (補強土工法や表面補強・被覆工法の利用など)
5. 堤体から下流の水路についても遊水地を配置するなど越水を考慮した設計

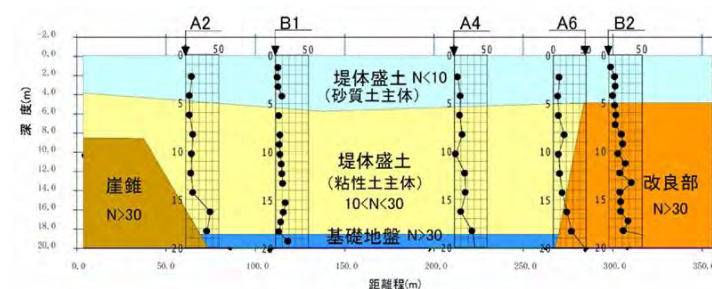
提言4.5 老朽度の進んだ堤体の診断と評価技術における地盤工学的課題

(長期, 社会全体・専門家)

1. 堤体内部の緩みなどの状態評価と安定解析などに適用する力学的特性の把握
2. ため池堤体の老朽化と危険度を定量的に診断・評価するための調査技術
3. 大量のため池を安価に調べられる簡易な調査技術の開発と確立が必要



推定N値断面図



推定土質断面図

●約20万箇所 of 堤体の力学特性を簡便で短期間に調査可能な簡易な技術



1. 堤体の規模と重要度、老朽度に応じた調査技術を適切に適用することが重要
2. 堤体のボーリングによる貫入試験や不攪乱試料採取による強度試験、孔内載荷試験
3. 堤体全体の面的な力学情報を得るための物理探査技術とサウンディングの併用



1. ため池の状況把握を目的としたセンシング技術の開発 (水位計によるモニタリング)
2. UAVを用いた迅速な点検, GISを用いた効率的な被災状況の管理手法の開発

提言4.6 老朽度の進んだ堤体や基礎地盤に弱部を内在するため池の改修技術の確立

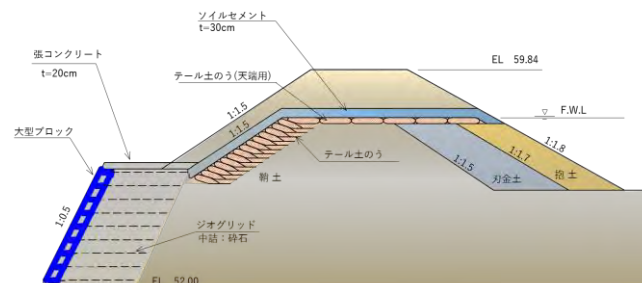
(長期的, 社会全体・専門家)

1. 弱部が内在する可能性のある堤体を前提として、部分補強と全面改修の適切な選択
2. 長期的な耐久性の向上、維持管理の軽減、
3. 堤体の規模や重要度、維持管理を考慮した簡便で確度が高い対策技術の開発

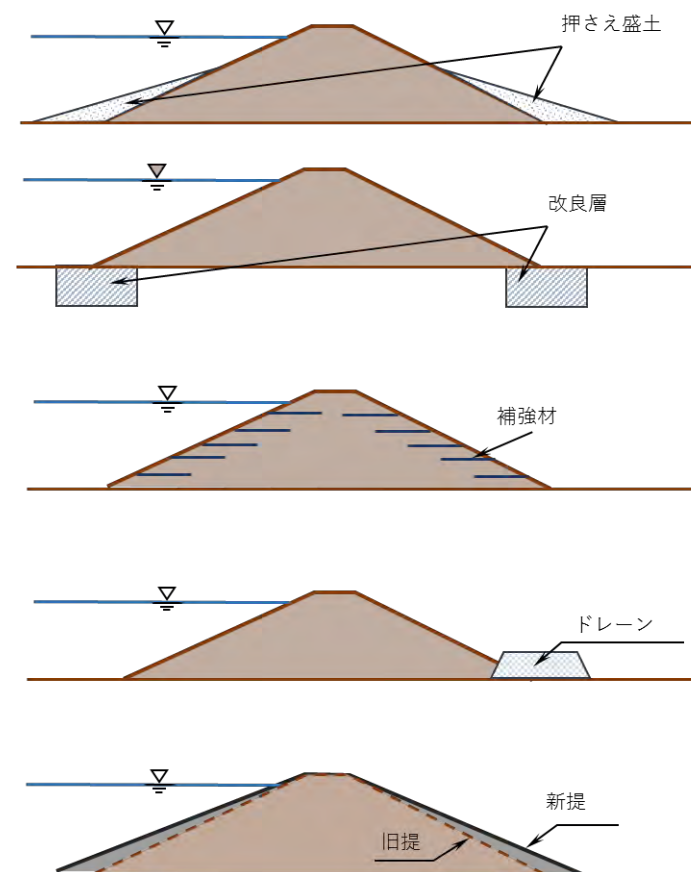


写真4.6.2 越流による堤体の侵食

- 2004年豪雨災害でのため池の被災
- 土質選定と締固度の適切な管理による高耐久化の可能性



補強土工法による堤体の高耐久化事例
(能登半島地震対策)



ため池における主要な耐震対策工
(設計指針「ため池整備」から引用・加筆)

ため池堤体の高耐久化技術に関する課題

1. 設計指針は全面改修を前提とし、部分改修による高耐久化は記載がない
2. 適切な最低限の部分改修（補強）によって大規模崩壊を軽減する必要がある
3. その簡便で経済的に優れた対策技術の有効性を検証することが重要
4. 貯水構造物を対象とした簡便な補強方法の開発が必要
5. 貯水状態、あるいは中間貯水状態での迅速補強技術の開発が必要
6. 複合的破壊（越流、すべり、浸透）に対応できる補強技術の開発が必要
7. 多様な災害に対する安全性を同時に向上できる補強技術の開発が必要

提言4.7 複合災害によるため池の被災を軽減し地域の安全を実現するための避難における地盤工学的課題

(長期的, 社会全体・専門家)

1. 個別の施設災害が連鎖して流域の地域が甚大な被害を受ける連鎖的な複合災害を前提に地域の減災を実現
2. 適切な避難行動とその行動を支援するための施設整備の連携・強化は不可欠
3. 流域全体での避難のあり方や地域全体の災害を最小化するための地域整備と必要な技術開発
4. 特に, 避難開始の判断やそのための情報入手と伝達方法も含めた技術とシステム開発を総合的に進める必要

「平成30年7月豪雨による水害・土砂災害からの避難に関するワーキンググループ」の避難対策への提言

中央防災会議防災対策実行会議(内閣府)

1. 避難に対する基本姿勢
 - ①住民が適切に災害を理解し, 防災対策や避難行動がとれるよう, 住民と行政が一体となって取組む
 - ②災害リスクの普及啓発, 避難訓練・防災教育, 地域防災リーダーの育成, 専門家による支援体制の整備
 - ③各種災害のリスク情報の集約・重ね合わせ表示と提供
2. 「自らの命は自らが守る」意識の徹底や災害リスクと住民のとるべき避難行動の理解促進
 - ④住民が自らの判断で避難行動をとり, 行政はそれを全力で支援するという住民主体の防災意識の構築
3. 地域における防災力の強化
 - ⑤行政情報から避難を判断する防災リーダーの育成のため, 土砂災害などの専門家による支援体制構築
4. 高齢者等の要配慮者の避難の実効性の確保
 - ⑥地域の防災力(共助)による高齢者等の要配慮者への避難支援強化
5. 防災気象情報等の情報と地方公共団体が発令する避難勧告等の避難情報の連携
 - ⑦ハザードマップのような静的な情報とリアルタイムな情報の組み合わせと避難行動への展開
 - ⑧小河川やダム下流, ため池下流への防災情報の発信
6. 防災情報の確実な伝達
 - ⑨防災行政無線の戸別受信機など, 個々人が確実に避難情報等を受け取ることができる伝達手段の整備
 - ⑩高齢者等の要配慮者などの情報弱者への確実な情報伝達