

## 講演②

## ため池の耐震性能照査手法と対策工法について

農研機構 農村工学研究部門施設工学研究領域施設整備グループ  
主任研究員 泉 明良

## 1. はじめに

ため池は日本全国に約 15 万箇所<sup>1)</sup> 存在し、このうち防災重点農業用ため池に指定されているため池は約 5 万 2 千箇所<sup>2)</sup> に達する。防災重点農業用ため池は、決壊した場合の浸水区域に家屋や公共施設等が存在し、人的被害を与えるおそれのあるため池を指定され、現在、防災工事が計画的かつ集中的に推進されている。防災工事は、ため池の劣化状況や地震耐性、豪雨耐性を評価したうえで、必要な対策をた施工するものである。ため池は、その 7 割が江戸時代以前に築堤されており<sup>3)</sup>、堤体土の劣化や、堤体全体が経年的な変形の発生、近代的な設計・施工に基づいていないこと等の脆弱性から、地震時や豪雨時にその脆弱性によって被害が発生することが懸念されるためである。

近年、地震や豪雨が頻発しており、ため池にも多くの被害が発生している。2013（平成 25）年度から 2022（令和 4）年度までの 10 年間で発生したため池被害のうち、豪雨による被害が 6,643 件と全体の 94% を占める一方で、地震による被害も 430 件あり全体の 6% を占めている<sup>4)</sup>。平成中期以降の地震に着目すると、2004（平成 16）年の新潟中越地震、2011（平成 23）年の東日本大震災、2024（令和 6）年の能登半島地震において多くのため池に被害が発生した。

地震時のため池の典型的な被害形態については、フィルダムの被害形態と類似しており、(a)天端を含むスベリ、(b)法面内でのスベリ、(c)堤頂付近の緩みによる変形、(d)引張亀裂の発生に大別される。また、2014（平成 26）年度から 2023（令和 5）年度までの 10 年間に

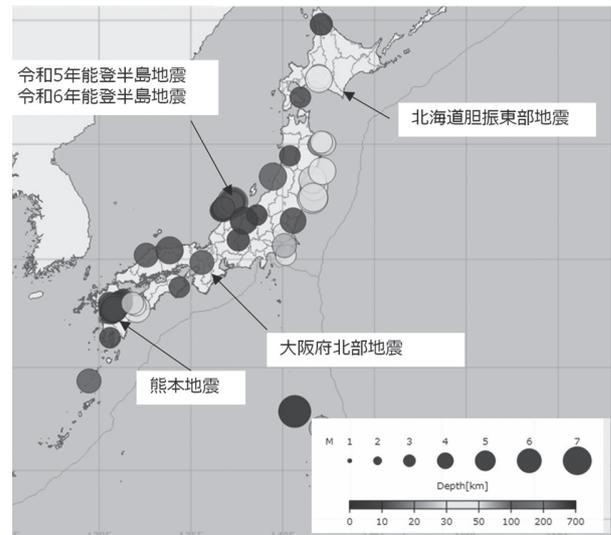


図-1 過去 10 年で発生した震度 5 強以上の地震分布  
(気象庁、震度データベース検索から加筆)

震度 5 強以上の地震は 61 回も発生しており<sup>5)</sup>、想定し得る地震に対して、適切に耐震性能照査を実施したうえで、必要に応じて対策工法による防災工事を実施することが重要である。本報では、ため池の耐震性能照査手法と対策工法ならびに防災工事と併せて推進されている廃止工事の現状について述べる。

## 2. 耐震性能照査手法

土地改良事業計画設計指針「ため池整備（以下「ため池整備」という。）」では、ため池は下流の土地利用や地域状況等により重要度区分が設定されている<sup>6)</sup>。表-1に示す重要度区分により要求される耐震性能が異なる。AA 種の目安として、中央防災会議等で震度 6 弱以上と推定される地域の中にあるため池で、貯水量 10 万 m<sup>3</sup> 以上、堤高 10m 以上、地震時に強度低下が起きやすい堤体材料であることが挙げられ

表-1 ため池重要度区分

重要度区分	
AA種	①堤体下流に主要道路や鉄道、住宅地等があり、施設周辺の人命・財産やライフラインへの影響が極めて大きい施設 ②地域防災計画によって避難路に指定されている道路に離接するなど、避難・救護活動への影響が極めて大きい施設
A種	被災による影響が大きい施設
B種	AA種、A種以外のため池

る。重要度区分ごとの耐震性能を表-2に示す。レベル2地震動に対する耐震性能はAA種についてのみ設定されている。レベル1地震動に対する耐震性能はAA種とA種について設定されている。

レベル1地震動に対する耐震性能照査は、円形すべり面スライス法により安定計算を行い、許容安全率1.2を満足するか否かにより評価する。レベル2地震動に対する耐震性能照査は、安定計算によって算定される沈下量と許容沈下量を比較し、算定した沈下量が許容沈下量以下であれば耐震性能を満足していると評価する。ここで、許容沈下量は、①堤頂高と常時満水位との標高差②堤頂高と設計洪水位との標高差③1.0mのいずれかを設定する。

レベル2地震動に対する安定計算手法は、塑性すべり解析または有限要素法により実施されている。塑性すべり解析は、地震時の堤体土の強度低下を考慮したニューマークD法が用いられている。地震時の堤体土の強度を一定として円弧すべり計算により、土塊の変位量から堤体の沈下量を計算する手法であるニューマーク法と比較して、ニューマークD法は、繰り返し作用する地震荷重による堤体土の強度低下を考慮することで、実際の堤体の変位量に近い結果が得られる特徴を有している。堤体土の強度低下の算定については、累積損傷度理論に基づき、非排水条件下における繰り返し三軸圧縮試験、および繰り返し三軸圧縮試験からの静的載荷試験結果からせん断強度低下曲線を推定する。

表-2 ため池重要度区分

重要度区分	耐震性能	
	レベル1地震動	レベル2地震動
AA種	健全性を損なわない	限定された損傷に留める(液状化対策工の評価を行う)
A種	健全性を損なわない(液状化対策工の評価を行う)	耐震設計なし
B種	耐震設計なし	耐震設計なし

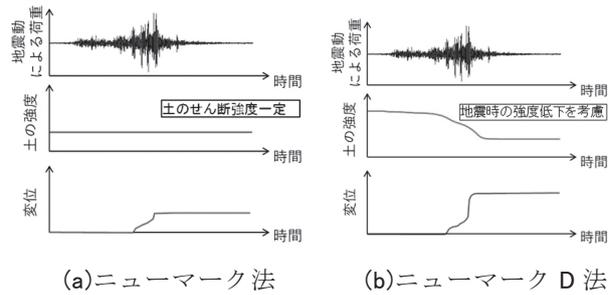


図-2 ニューマークD法の概念

有限要素法による安定計算は、2次元FEM動的変形解析であるFLIPやFEM静的変形解析であるALID等が用いられている。FLIPは有効応力解析であり、地震時の堤体の残留変形から沈下量を算定する。パラメータとして、堤体土の物理特性に加え、せん断特性や変形特性、液状化特性が必要である。一方、ALIDでは静的有限要素解析と残留変形解析手法を組み合わせることで堤体の沈下量を算定する。パラメータとして、物理特性に加えて、変形特性が必要である。

レベル1およびレベル2地震動に対する安定計算においては、堤体ならびに基盤の適切なモデル化が重要である。ため池の築堤年代が古く、過去の施工状況や堤体土の土質が不明なため池も多い。既存のボーリング調査が未実施のため池については、過去の資料から推定される断面形状等から、ボーリング調査位置を入念に検討するとともに、柱状図ならびにN値、透水係数等から土質を判断する必要がある。また、強度定数として重要な粘着力と内部摩擦角を求めするために三軸圧縮試験を実施するが、過大な圧密応力を設定すると粘着力は過少に、内部摩擦

角は過大に評価する場合がある。そのため、ため池の堤高や浸潤線の位置を考慮して、地層全体を代表する有効土被り圧を算定し、その前後に圧密応力を設定することが望ましい。なお、圧密応力の設定にあたって、浸潤線の位置が適切に把握できない場合には、間隙水圧は考慮しない。また、試験機の対応可能な範囲内で圧密応力を設定することにも留意する。

### 3. 対策工法について

安定計算結果から、ため池の重要度区分に応じた耐震性能を満足しない場合、対策工法を検討する。対策工法は、ため池の立地や周辺環境、貯水の利用形態等を考慮し、施工性ならびに経済性を検討して選定する必要がある。対策工法の例を図-3に示す。対策工法を選定するにあたり、以下に示すような施工上の制約の有無について、現地調査等から検討することが望ましい。

- (1) 良質な土質材料の調達が困難。
- (2) 貯水容量を減少させることが困難。
- (3) 宅地化等により堤体下流の施工が困難。
- (4) 施工中の天端を通行することが困難。
- (5) 大型重機使用のための工事用道路の整備が困難。
- (6) 施工中の落水が困難。

従来工法として、押え盛土工法や前刃金土工法が多く採用されているが、近年、良質な土質材料が枯渇傾向にあり、調達することが困難な地域がある。「ため池整備」では、表面遮水シート工法や地盤改良工法、矢板工法等が記載されているが、近年、新たな対策工法が開発されている。例えば、遮水系ベントナイトシートを用いたベントナイトシート工法の採用が増加している。また、セメント等の固化材を既設堤体土に添加した改良土に補強する堤体盛土改良工法が採用されているため池もある。「ため池整備」に記載されている工法に加えて、農業農村整備情報総合センターの新技术情報提供システム<sup>7)</sup>や、新技术情報提供システム<sup>8)</sup>、官民連携新技术研究開発事業で研究開発が完了した研究課題

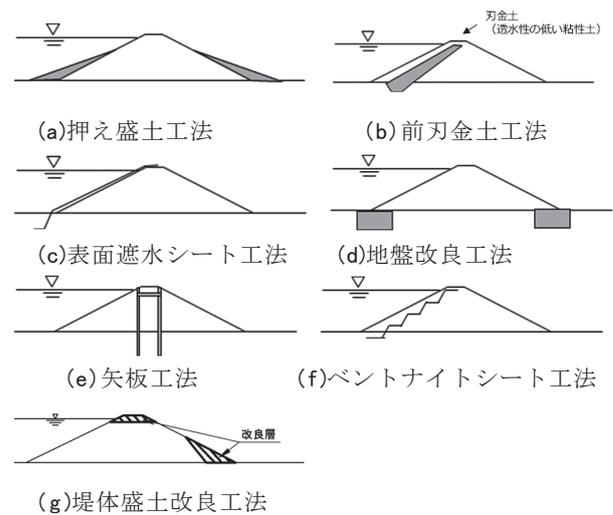
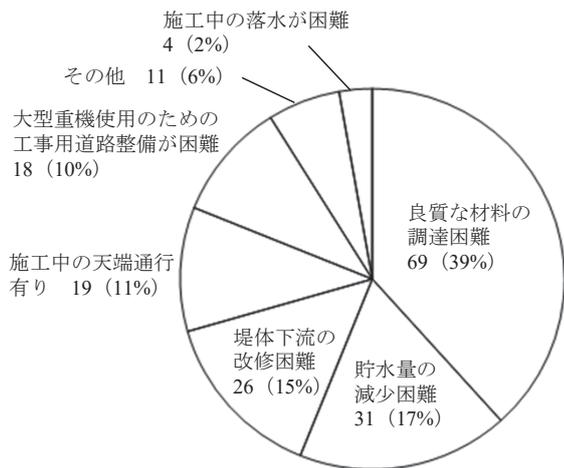


図-3 対策工法の例

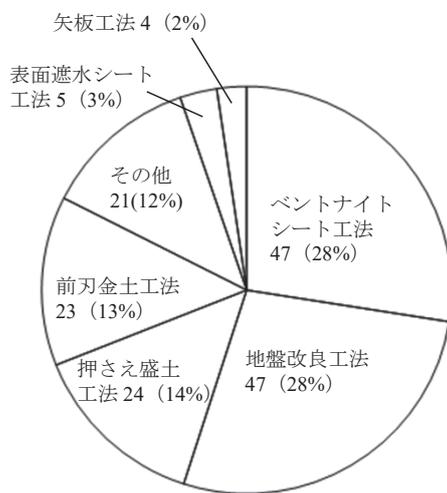
の工法等<sup>9)</sup>を合計するとため池堤体の対策工法として約30の工法が登録されている。

既往研究において図-4に示すように、全国のため池146箇所を対象に施工上の制約条件と採用した対策工法の関係が整理されている<sup>10)</sup>。施工上の制約条件があるため池は109箇所である。最も回答数の多い制約条件は、良質な材料の調達が困難であることであり、制約条件があるため池の39%を占める結果となった。その結果、従来工法よりもベントナイトシート工法や地盤改良工法の採用が多くなっていることが読み取れる。

新規の技術を現場に適用する場合、対策工法の安定性を模型実験や数値解析により評価するとともに、設計・施工方法を確立することが重要である。また、施工時の各制約条件へ対応の可否や施工性、経済性等の工法の特徴を整理して、マニュアル化することが望ましい。また、ベントナイトシート工法等の人工材料を利用する場合、材料の経年劣化が堤体の安定性に影響を与える場合がある。ダムと異なり、ため池では、堤体内にセンサーを設置することはほとんどないが、長期的な堤体の安定性を評価することを目的に、堤体内に観測孔を設置することによって、定期的に堤体内水位を観測することが可能となる<sup>11)</sup>。観測結果から、設計時の浸潤線の位置と大きく異なるかを確認することで堤



(a) 施工上の制約条件



(b) 採用した対策工法

図-4 施工上の制約条件と採用した対策工法

体の遮水機能の変化を把握し、人工材料の劣化の有無を評価することができる。

#### 4. 廃止ため池について

ため池の対策工法の施工による防災工事が推進されているが、並行して廃止工事も実施されている<sup>8)</sup>。営農地域の過疎化や担い手不足といった要因から、耕作面積の減少により、過去にため池貯水を農業用水として利用していたが、現在は利用されなくなったため池については、廃止工事を実施することで、災害時のため池の決壊による被害を防止することが有効な場合がある。ため池のベネフィットとして、第一に農業用水として貴重な水源であることが挙げ

られるが、そのほかに地域の歴史や文化の継承、水辺空間の創生、生態系の保全等がある。一方で、地震や豪雨時に、ため池が決壊した場合、下流の宅地や公共施設等へ被害を及ぼすリスクを有している。そのため、貯水が農業用水として利用されず、かつ適切な維持管理が難しいため池では、廃止工事によって決壊によるリスクを除去することも必要である。

#### 5. おわりに

本報において、耐震性能照査手法と対策工法ならびに廃止工事の現状について述べた。全国で集中的かつ計画的にため池の防災工事が推進されているなかで、良質な土質材料の調達が困難であること等の課題を解消するために、対策工法の技術が各種開発されている。適切に耐震性能照査を実施し、個々のため池の特徴に応じた対策工法によってため池防災工事が効率的に推進されることを望む。

#### 引用文献

- 1) 農林水産省、ため池とは、[https://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai\\_saigai/b\\_tameike/attach/pdf/index-46.pdf](https://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/attach/pdf/index-46.pdf)
- 2) 農林水産省、防災重点農業用ため池の都道府県別指定箇所数、[https://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai\\_saigai/b\\_tameike/attach/pdf/koujitokusohou-12.pdf](https://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/attach/pdf/koujitokusohou-12.pdf)
- 3) 農林水産省、ため池の歴史、[https://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai\\_saigai/b\\_tameike/attach/pdf/index-116.pdf](https://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/attach/pdf/index-116.pdf)
- 4) 農林水産省、ため池被災状況、[https://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai\\_saigai/b\\_tameike/attach/pdf/index-49.pdf](https://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/attach/pdf/index-49.pdf)
- 5) 気象庁、震度データベース検索、気象庁、震度データベース検索、<https://www.data.jma.go.jp/eqdb/data/shindo/index.html>
- 6) 農林水産省農村振興局整備部設計課、土地改良事業設計指針「ため池整備」、農業農村工学会(2015)
- 7) 農業農村整備民間技術情報データベース、<https://nn-techinfo.jp/>
- 8) 新技術情報提供システム、<https://www.netis.mlit.go.jp/netis/>

- 9) 例えば、官民連携新技術研究開発事業新技術概要書「ベントナイト系土質材料を用いた遮水層によるため池堤体改修工法」、<https://www.maff.go.jp/j/nousin/sekkei/kanmin/attach/pdf/kanryou-6.pdf>
- 10) 泉明良、寺家谷勇希、大山峻一、ため池防災工事における制約条件と対策工法の関係、農業農村工学会誌、92（2）、91-94（2024）
- 11) 農林水産省、防災重点農業用ため池に係る防災工事等基本指針、[https://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai\\_saigai/b\\_tameike/attach/pdf/koujitokusohou-10.pdf](https://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/attach/pdf/koujitokusohou-10.pdf)



いずみ あきら  
◆泉 明良氏 略歴

<経歴>

2016（平成 28）年 神戸大学大学院（農学研究科博士課程）卒業

2016（平成 28）年～現在（国研）農研機構農村工学研究部門にて勤務

<業績（研究内容）>

- ・ため池の耐震対策技術の開発に従事
- ・地震・豪雨で被災したため池の現地調査による被災要因分析
- ・地震・豪雨時にため池の危険度を「見える化」し、行政機関による速やかな情報共有、災害対応を支援する「ため池防災支援システム」を開発