

農業用ダム・ため池の耐震性簡易検証手法の確立

## 報 告 書（要旨）

平成 24 年 3 月 6 日

福島県農業用ダム・ため池耐震性検証委員会

# 農業用ダム・ため池の耐震性簡易検証手法の確立

## 報告書（要旨）

### I はじめに

県内には、3,730箇所の農業用ダム・ため池が存在し、農業用水の貴重な水源としての役割はもとより、多様な生物の生育の場や豊かな自然環境とのふれあいの場ともなっており、ダム・ため池の役割は極めて重要である。

県内のため池は、古くは江戸時代に建設されたものも存在し、老朽化への対応として、計画的に改修工事が進められている。改修工事においては、地震に対する安全性の向上も図るべく、耐震性を確保するための設計が行われている。

このような状況下において、平成23年3月11日の東北地方太平洋沖地震（発生時刻14時46分、M9.0、以下「今回の地震」という）により、県内では約750箇所でフィル型式の農業用ダム・ため池が被災した。

このため、県はフィル型式の農業用ダム・ため池の耐震性検証を目的として、同年8月4日に学識経験者等で組織する「福島県農業用ダム・ため池耐震性検証委員会」を設立した。同委員会は、今回の地震被害を踏まえ、県内のため池の耐震性を簡易に検証する手法の確立を目的とした調査・検討を行った。

第1回の検証委員会を、8月4、5日に開催し、それ以降平成24年3月6日の第6回検証委員会まで、被害状況調査・地質調査・解析等を行いながら、①被害状況の整理・分析、②簡易な地質調査手法、③簡易な耐震診断手法について各種検討を行い、耐震性簡易検証手法の確立を目指した。特に、簡易な耐震診断手法の検討では、藤沼湖の決壊原因調査結果から得られた知見（堤体に緩い砂質土層が存在する場合、地震の繰返し作用による強度低下により決壊に至る可能性があることなど）を反映し、同様の被害が想定されるものとそうでないものを仕分けて耐震診断を実施していく枠組みを提案した。

本報告書は、検証委員会が実施してきたこれらの内容について報告するものである。

## Ⅱ 耐震性簡易検証手法の確立に向けた検討の概要

### 1. 被害状況の整理・分析

県内のアースダムのうち警戒区域内に位置するもの及び今回決壊した藤沼ダム（須賀川市）を除く23箇所のダム（堤高15m以上）と既存のボーリングデータ等が存在する16箇所のため池（堤高15m未満）の被害状況について整理し、被害とその要因の分析を行った。以下に検討の概要を示す。

- ① 現地調査を実施し、堤体の被害状況を図－1に示す6段階の被災度に分類した。この分類によれば、被災度4以上は堤体に顕著なすべりが生じるもので、深刻な被害状況と判断できるものである。なお、対象施設の内、堤高15m以上のダムの被災度は最大で3であり、被災度4以上となったものは堤高15m未満のため池のみであった。
- ② 各施設位置で作用した地震動は、東日本エリアにおける地震観測点（独立行政法人防災科学技術研究所によるK-NET及びKiK-net等）の観測記録をもとに、施設位置の地盤条件や観測点からの距離などから計算された地震動指標値（計測震度、地表面最大加速度、地表面最大速度、SI値）を用いた。
- ③ ②で推定した地震動と被災度の関係について整理したところ、地震動が大きくなるほど被災度も大きくなる傾向が確認でき、特に計測震度と被災度の相関が高く、15m未満のため池では、図－2に示すように震度5強以上の地震動で被災度4以上となることが分かった。なお、ダム形式と被災度の関係では、均一型や傾斜遮水ゾーン型を問わず、被災度4以上となることが分かった。
- ④ 堤高と被災度の関係では、堤高15m未満のため池の被災度が大きく、低いものほど被災度が大きい傾向が伺えたが、今回の地震による地震動は短周期成分が卓越したものであり、固有周期の短い堤体が共振した可能性が考えられる。
- ⑤ 竣工年（改修履歴のあるものは最新の改修年）と被災度の関係では、堤高15m以上のダムに関しては、1957年（ダム設計基準の制定年）より古いものが被災度3、新しいものが被災度3未満となっており、1957年がひとつの目安になることが分かった。一方、堤高15m未満のため池は、近年改修されたものでも被災度の高いものが多く存在し、改修年と被災度の相関は見い出せなかった。しかし、竣工年の古いものは被災度の高いものが多かった。
- ⑥ 法面勾配と被災度の関係では、堤高15m以上のダムの場合、1：3より緩い勾配のものでは無被害となっているが、堤高15m未満のため池はほとんどが1：2～1：3の間にあり、法面勾配と被災度の相関は見い出せなかった。

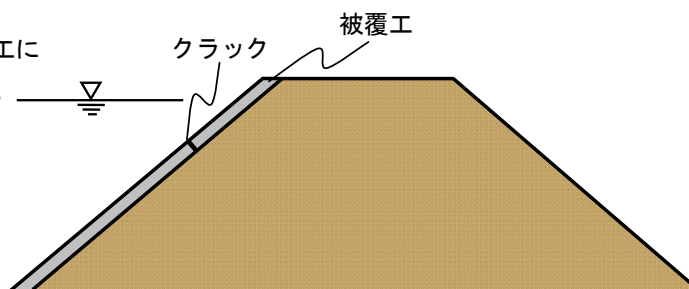
以上のことから、震度5強以上の地震では、ため池の堤体に顕著なすべりをもたらす深刻な被害を及ぼす危険性があることが分かった。また、竣工年の古いため池は耐震性が低い可能性があることが分かった。

【被災度 0】

無被害

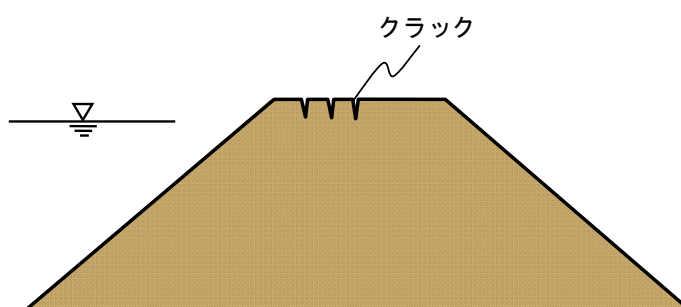
【被災度 1】

堤体に目立つ変状はないが、被覆工に  
クラックやズレなどが生じている。



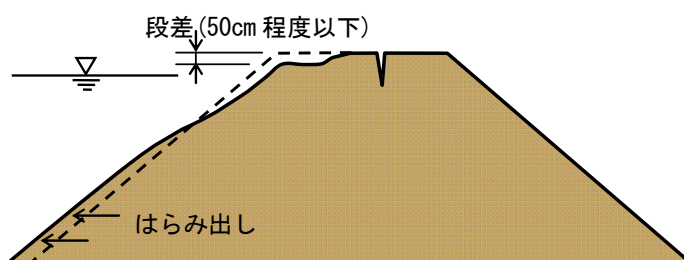
【被災度 2】

天端にクラックが入っているが、  
段差は生じていない。  
その他堤体に変状はない。



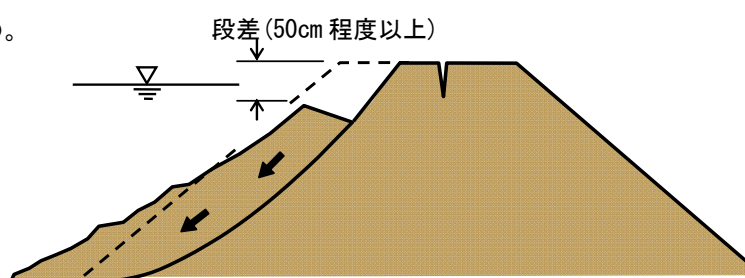
【被災度 3】

天端クラックがあり天端に 50cm 程度以下の段差が生じ、  
堤体のり面のはらみ出しなどの変形が見られる。  
明確なすべりは認められない状態。



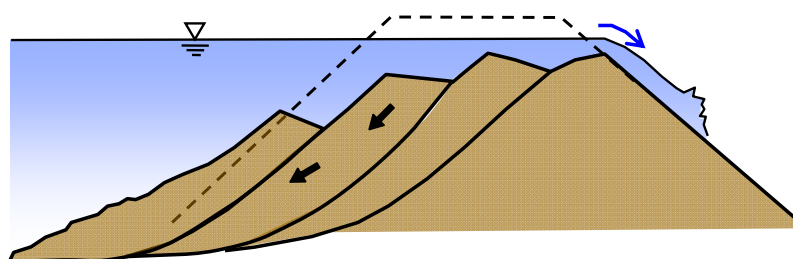
【被災度 4】

顕著なすべりが生じ、天端での段差が  
50cm 程度以上生じているもの。

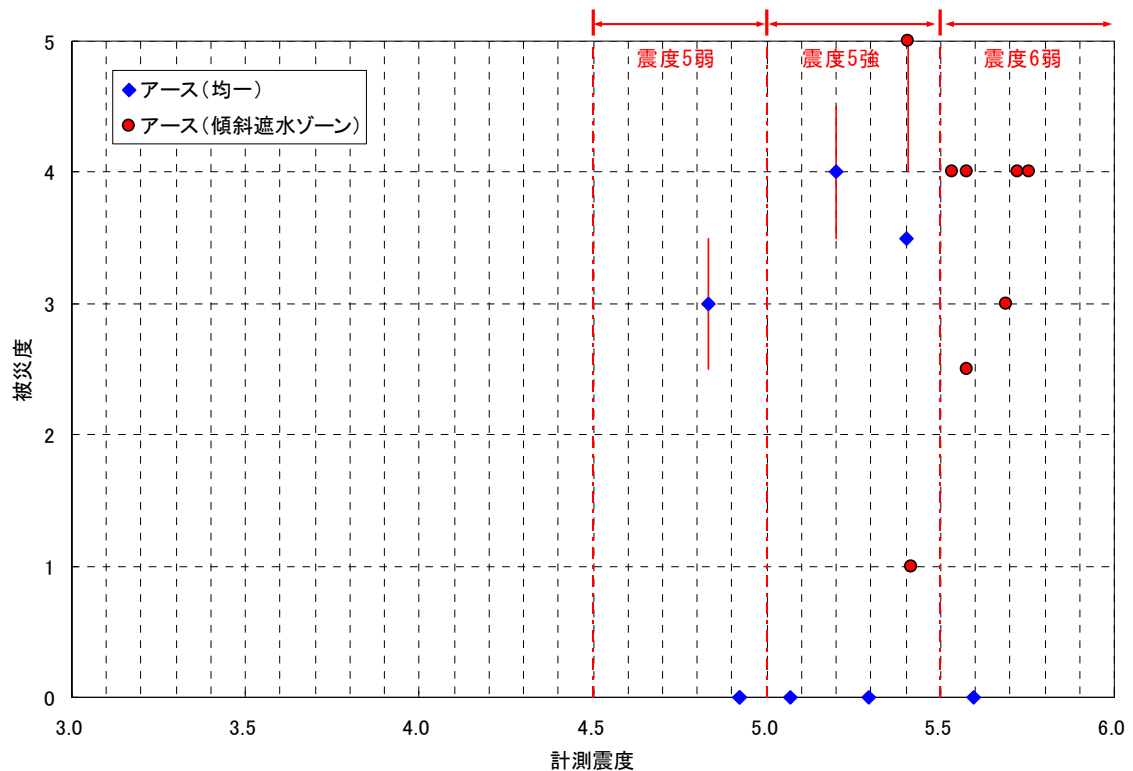


【被災度 5】

大規模なすべり等により崩壊・破堤したもの。



図－１ 被災度の分類



図－２ 計測震度と被災度の関係（堤高 1.5 m 未満のため池）

## 2. 簡易な地質調査手法の検討

ため池の耐震診断では、一般に堤体及び基礎地盤条件について調査を行い、得られた情報からすべり安定計算を実施する。特に、せん断強度定数（ $c$ 、 $\phi$ ）の把握は重要で不可欠であるが、通常これらはボーリング調査を実施し、不攪乱試料を採取して室内試験を実施する必要があるが、大がかりな仮設と手間を伴うとともにコストも高い。

したがって、ボーリング調査に代わる簡易でかつ精度の高い地質調査手法を選定することを目的に、各種調査及び試験を実施した。以下に検討の概要を示す。

- ① ボーリング調査に代わる簡易な地質調査手法として、一般的なサウンディング調査手法の中から、調査方法、特徴等を比較表に整理し、適応可能と思われる以下の３種類の手法を選定した。
  - ・調査手法１：電気式静的コーン貫入試験（CPT）
  - ・調査手法２：自動サウンディング試験（NSWS）
  - ・調査手法３：小型動的コーン貫入試験（ミニラムサウンディング）
- ② 選定した３つの手法を用いて、既往のボーリング調査結果、三軸圧縮試験結果がある堤体材料について大型土槽による室内試験を実施し、換算N値及びせん断強度についてこれらとの比較を行った。
- ③ この結果、以下の理由により自動サウンディング試験（以下、「NSWS」という）が有利と判断した。
  - ・サンプラーにより試料採取が可能であり、土質区分を直接確認できる。
  - ・貫入試験において、土質や地盤の締固め度を反映した換算N値が測定できる。

- ・孔内せん断試験の実施により、地盤のせん断定数（ $C$ 、 $\phi$ ）を三軸試験に最も近似したレベルで把握することが出来る。
  - ・ため池の堤体では法面上での実施が多くなることが予想されるが、機材の搬入の容易さや、傾斜地での試験も簡易に実施可能である。
- ④ NSWS の現場での適用性と試験結果の妥当性を確認するために、不動池(須賀川市)、細蕨沼（国見町）、黒森ダム（西郷村）の3現場において、堤体天端及び法面上からの貫入試験と孔内回転せん断試験を実施した。
- ⑤ この結果、以下のことが判明した。
- ・貫入試験で得られた換算N値は、既往のボーリング調査で得られたN値とほぼ一致した。
  - ・孔内回転せん断試験結果は、既往の三軸圧縮試験（ $\overline{CU}$  試験）によるせん断強度とほぼ一致した。

以上のことから、簡易な地質調査手法として、NSWSを選定した。

選定した NSWS の特徴を表－1 に示すとともに、調査機器の概要を図－3、試験結果の例を図－4 に示す。

表－1 NSWS の特徴

		内容	備考
調査機器など		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 本体寸法：平面 50cm×50cm×高さ 2.5m</li> <li>・ 本体重量：約 80kg</li> <li>・ 簡易な架台設置により傾斜地でも測定可能</li> <li>・ 鉛直のみならず斜め削孔も可能</li> </ul>	
得られる情報		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 換算 N 値（測定頻度：最小 2.5cm）</li> <li>・ せん断強度定数 <math>c</math>、<math>\phi</math> （貫入試験後の孔内回転せん断試験による）</li> <li>・ 攪乱試料（土質の目視確認が可能）</li> <li>・ 地下水位（中空ロッド使用による水位測定）</li> </ul>	孔内回転せん断試験の適用地盤は、深度 4～6m 程度以下、N 値 4～5 程度以下
適用地盤		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ N 値 30 以下の砂層及び粘性土、有機質土層及びこれらの互層地盤</li> <li>・ 礫混じり土の場合は貫入出来ない場合がある</li> <li>・ 調査可能深度（実用深度）は 10m 程度</li> </ul>	
技術登録	NSWS	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 特許取得</li> <li>・ NETIS：No. KK-070026-A</li> <li>・ 東京都建設局・新技術登録：No. 0801011</li> </ul>	(株)大北耕商事による開発
	孔内回転せん断試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 特許出願中</li> </ul>	農村工学研究所及び(株)大北耕商事との共同開発

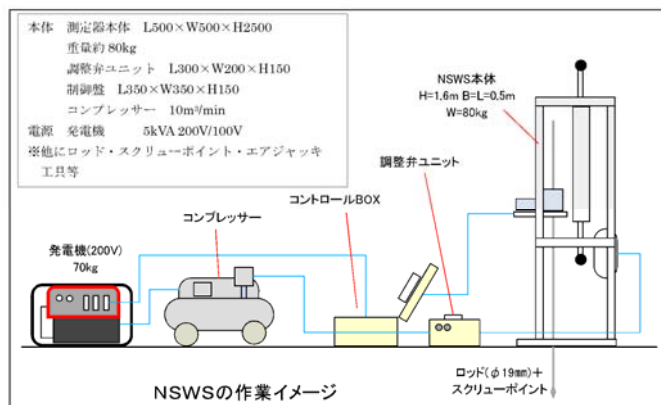
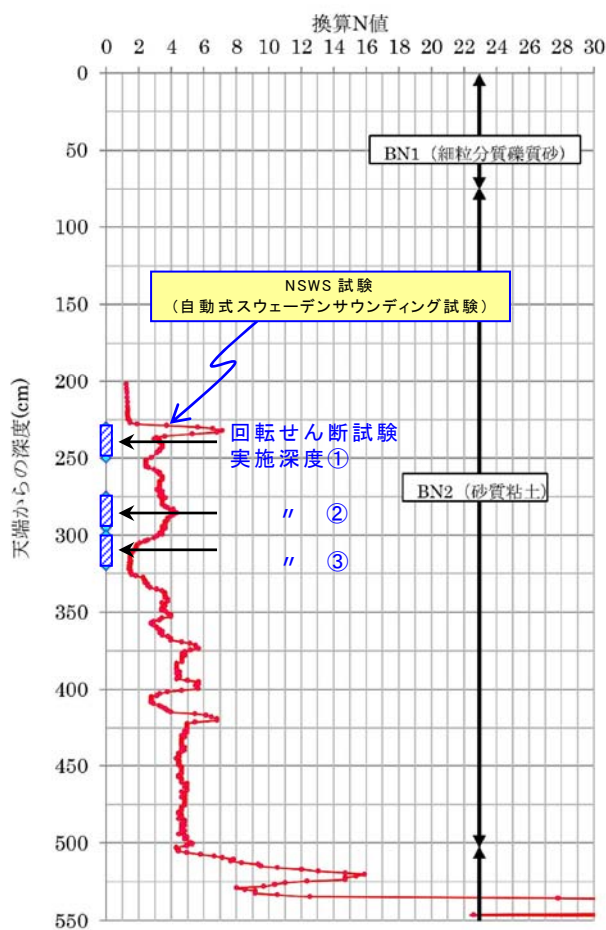
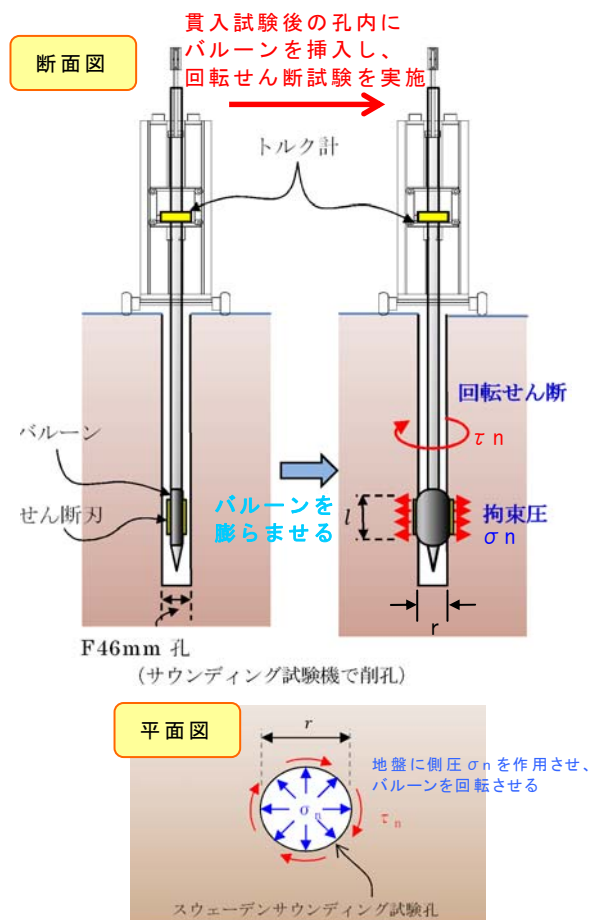


図-3 自動サウンディング試験 (NSWS) 調査機器の概要

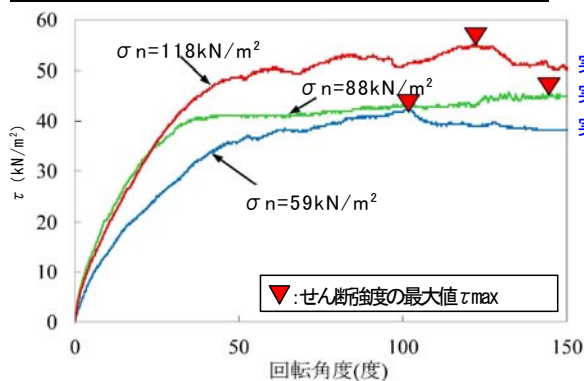


(a) 貫入試験結果



(b) 孔内回転せん断試験実施イメージ

回転せん断試験実施深度ごとの  $\tau$  と回転角度の関係



(c) 孔内回転せん断試験結果

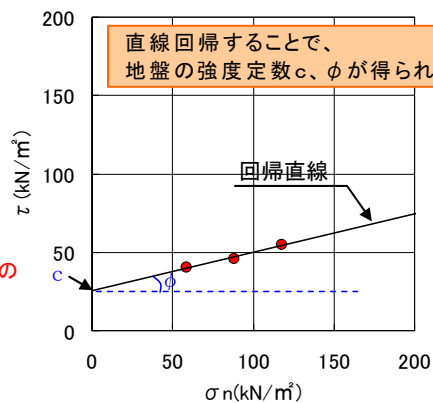


図-4 自動サウンディング試験 (NSWS) 試験結果の例

### 3. 簡易な耐震診断手法の検討

ため池の耐震性評価では、堤体形状・寸法、堤体や基礎地盤の土質、堤体の締固め度等が影響するため、耐震性評価には現行基準「土地改良施設 耐震設計の手引き 平成 16 年 3 月 農林水産省農村振興局整備部設計課監修 社団法人農業土木学会発行（以下、「耐震設計の手引き」という）によるすべり安定解析の実施が必要である。しかしながら県内の 3, 730 箇所のダム・ため池の全施設を対象に現行基準に照らして耐震診断を実施した場合、膨大な費用と手間がかかる。

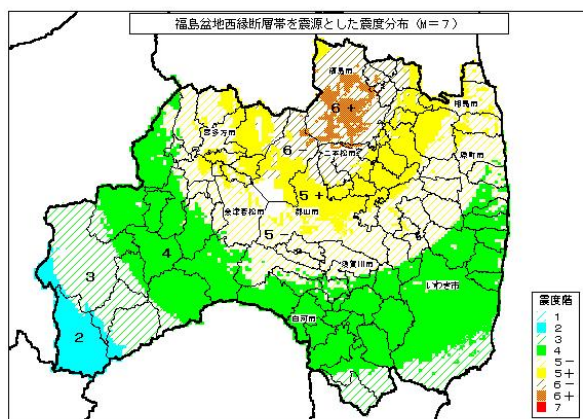
このため、本委員会では、①耐震診断対象施設の優先順位、②耐震診断手法、について検討を行った。以下に検討の概要を示す。

#### (1) 耐震診断対象施設の優先順位

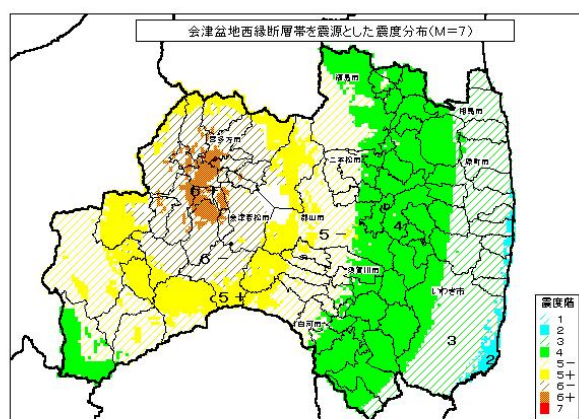
耐震診断対象施設の優先順位については、以下のとおりである。

- ①「農業用ため池緊急点検」の対象となっているため池（「堤高10m以上」、「貯水量10万 $\text{m}^3$ 以上」、「決壊した場合に下流の人命、人家、公共施設に直接被害の及び得るもの」のいずれかに該当するため池）
- ②東北地方太平洋沖地震時に震度5強以上が観測された地域にあるため池
- ③福島県地震・津波被害想定調査で設定された地震により震度5強以上が想定される地域にあるため池

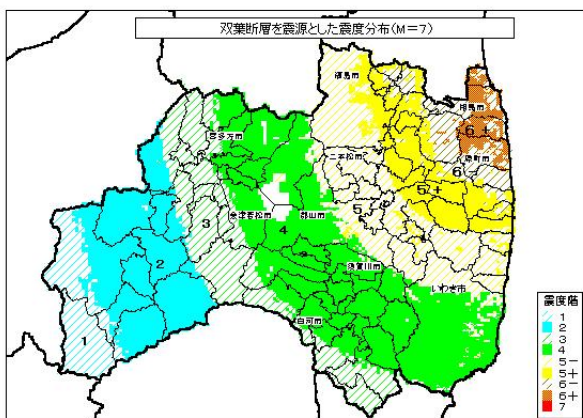
なお、今回の地震で被災した箇所については、復旧工事を実施済みあるいは実施予定であり対象外とする。



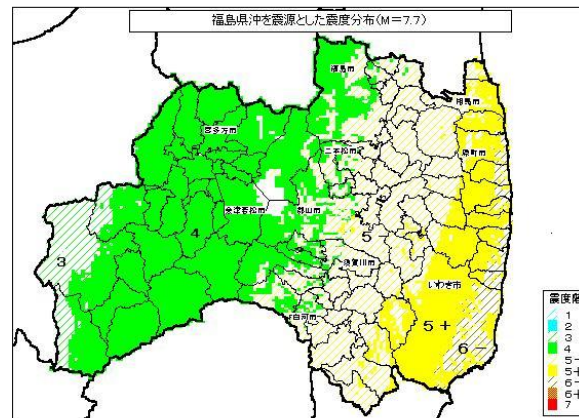
(a) 福島盆地西縁断層帯を震源とする地震



(b) 会津盆地西縁断層帯を震源とする地震



(c) 双葉断層を震源とする地震



(d) 福島県沖を震源とする地震

図－5 福島県地震・津波被害想定調査で設定された想定地震による震度分布

## (2) 耐震診断手法

「耐震設計の手引き」に準拠して実施した代表ため池における被災分析結果より、所定の安全率 ( $F_s \geq 1.2$ ) が確保できている場合は、被災度4以上の大規模な被災には至らない可能性が高いことが分かった。

このことから、耐震診断は、すべり安定解析を実施して行うこととする。

耐震診断手法の具体的な手順を以下に示す。

### ①既存の地質調査資料より堤体及び基礎地盤の土質・強度が把握できる場合

粘着力 ( $c$ ) と内部摩擦角 ( $\phi$ ) からすべり安定解析を実施し安全率を求め、堤体盛土の耐震性を評価する。

### ②地質調査が行われていない場合

簡易な地質調査手法であるNSWSを少なくとも堤体天端及び法尻2箇所で実施し、 $c, \phi$ を推定する。その後、すべり安定解析を実施し、安全率を求め堤体盛土の耐震性を評価する。

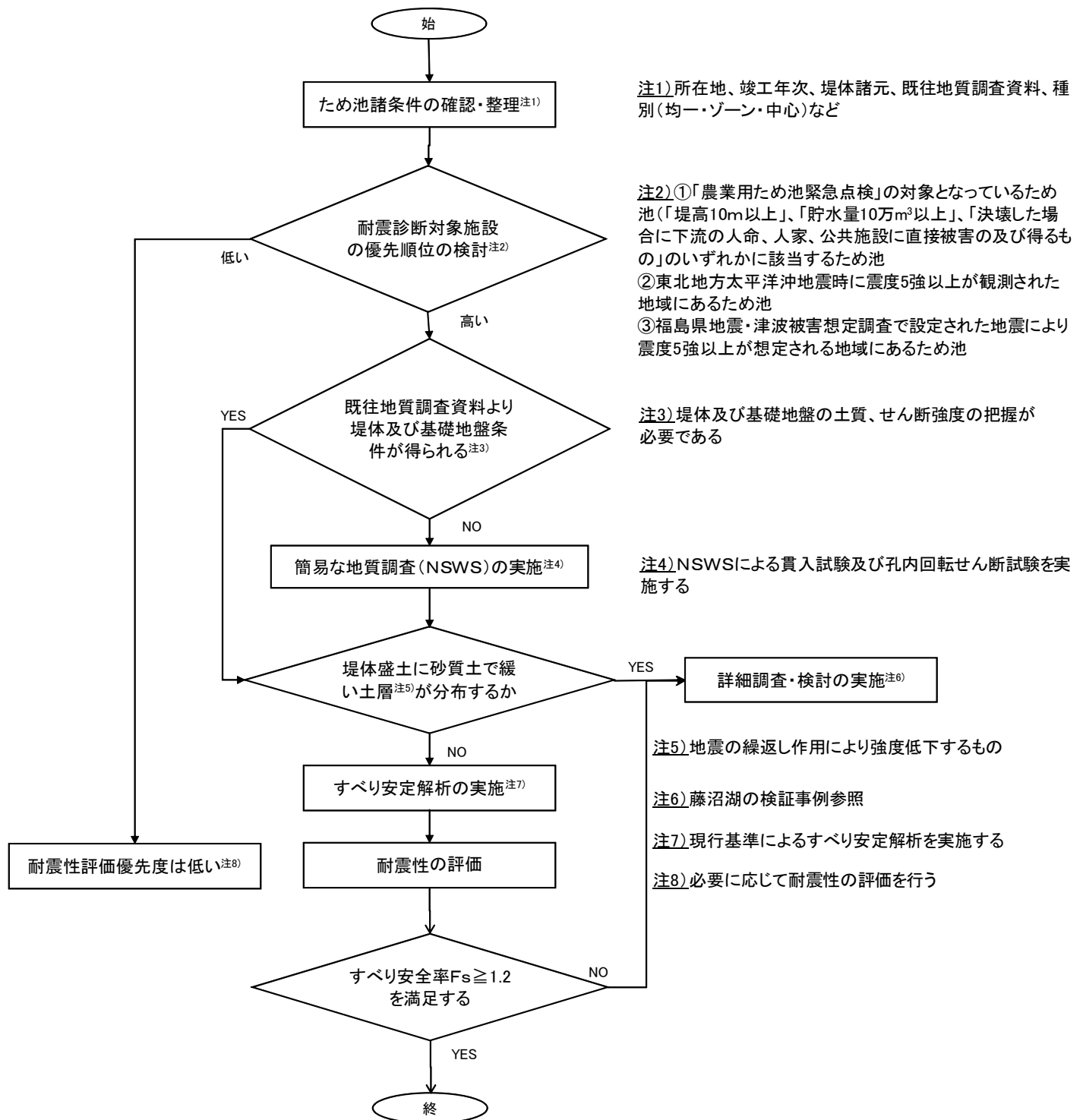
### ③ただし、堤体に緩い砂質土層が存在する場合は、地震の繰返し作用による強度低下により決壊に至る可能性があるため、堤体の土質及び締固め度を調査し、これに該当する場合は、別途詳細な調査・検討を実施することとした。

なお、藤沼湖の決壊原因調査では、N値が2～6程度以下で、細粒分含有率FCが20%程度のものが確認された。

以上のように、ため池の耐震性簡易検証では、耐震診断の対象施設を選定したのち、簡易な地質調査等を実施した上で、堤体盛土の土質及び締固め度を把握し、決壊に繋がるような砂質土で緩い土層が分布するものを漏れなく抽出することが重要である。

### Ⅲ ため池の耐震性簡易検証フロー

一連の調査・検討結果を踏まえ、ため池の耐震性簡易検証の手順を図－７に示すとおり提案した。



図－７ ため池の耐震性評価の実施手順

## IV おわりに

本検証委員会では、ため池の耐震性簡易検証手法を確立することを目的として、県内の代表的なダム・ため池を対象に、東北地方太平洋沖地震による被害状況調査、地質調査、解析等を実施した。

簡易な地質調査手法の検討においては、被災した堤体材料の強度定数（ $c$ 、 $\phi$ ）と既存調査結果を比較検討し、現地における試験結果の妥当性や有効性を確認することにより、従来の機械ボーリング調査に代わる簡易で精度の高い地質調査手法を選定した。

また、簡易な耐震診断手法の検討においては、県内の代表的なダム・ため池の被害状況の整理・分析結果を加味して耐震診断対象施設の優先順位を検討するとともに、藤沼湖の決壊原因調査結果から得られた知見を踏まえた堤体材料の土質や締固め度に着目した検証手順を提案した。

なお、今後の課題として、土質データの蓄積と評価を継続し、耐震性簡易検証手法の精度の向上につなげていく必要があるものと考えられる。

おわりに、本委員会としては、ため池の耐震性検証の推進により県民の安全・安心の向上に寄与することを願うものである。

### 福島県農業用ダム・ため池耐震性検証委員会

役 職	氏 名	所 属 等
委員長	田 中 忠 次	社団法人地域環境資源センター 理事長
委員	龍 岡 文 夫	東京理科大学 理工学部教授
委員	毛 利 栄 征	独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所 施設工学領域長