

第5章 被災時の調査・応急対策について

5.1 農業用ダムの被災の特徴

ここでは、農業用ダムで過去に地震動によって生じた被災事例を分類・整理し、取りまとめたものである。

我が国の農業用ダムにおいて過去に発生した大規模地震時に発生した変状事例は以下のとおりである。

対 象	確認された変状の事例
フィルダム	<ul style="list-style-type: none"> ○堤頂道路舗装の継目クラック ○堤体天端からのクラック（ダム軸方向、横断方向） ○堤頂法肩部波返工（パラペット）の目地の開き・段差・ずれ ○堤体上流法面保護工の段差、はらみ出し、ずれ ○天端の沈下 ○浸透量の増加 ○間隙水圧（堤体・基礎地盤）の変動（増大、減少）
（参考）ため池	<ul style="list-style-type: none"> ○堤体の決壊（青田新池、中池、下小森ため池の3例） ○天端の沈下 ○上流・下流斜面のすべり破壊、はらみ出し ○縦断・横断クラック ○上流法面保護工の変形、転倒 ○上流波返工（パラペット）の転倒 ○底樋管の破損、離脱、土砂吸い出し ○下流法面からの漏水 ○地表地震断層による損傷
表面遮水型 フィルダム	<ul style="list-style-type: none"> ○表面アスファルト遮水壁のクラック
コンクリートダム	<ul style="list-style-type: none"> ○継目排水孔からの浸透量増加 ○基礎排水孔からの浸透量増加 ○揚圧力、間隙水圧の増加 ○天端高欄コンクリートの剥落、舗装継目の開き、段差
付帯施設	<ul style="list-style-type: none"> ○洪水吐コンクリートの損傷 ○洪水吐コンクリートのクラック・傾倒・目地の開き ○取水構造物の変状（斜樋・底樋のクラック及びクラックからの漏水、操作室の傾倒等） ○下流分水工の損壊による漏水

※参考資料：農業工学研究所技報、国総研資料、地盤工学会報告資料

農業用ダム等で発生した変状事例（被災状況）について主なものを以下に示す。

表-5.1-1 農業用ダム変状事例（被災状況）一覧表

■ 復旧事例の整理結果（総括）

ダム名 (所在地) [竣工年]	被災地震	ダムタイプ (堤高)	主な被災状況	備考
川西ダム (新潟県) [1980(S55)]	2004(H16)年10月23日 新潟県中越地震	アース (h=43m)	・堤頂部クラック、上流面すべり 破壊 ・附帯施設損傷	
藤沼ダム (福島県) [1949(S24)]	2011(H23)年3月11日 東北地方太平洋沖地震	アース (h=18.5m)	・本堤決壊 ・副堤法面すべり 破壊	
西郷ダム (福島県) [1955(S30)]	2011(H23)年3月11日 東北地方太平洋沖地震	アース (h=32.5m)	・堤頂部クラック、波返工(パラペット)の段差等 ・附帯・周辺施設損傷	
羽鳥ダム (福島県) [1956(S31)]	2011(H23)年3月11日 東北地方太平洋沖地震	アース (h=37.1m)	・堤頂部クラック、波返工(パラペット)目地の開き、下流法面の開口亀裂等	
大柿ダム (福島県) [1988(S63)]	2011(H23)年3月11日 東北地方太平洋沖地震	ロックフィル (h=84.5m)	・堤頂部クラック、変位、法面凸部	
常盤ダム (兵庫県) [1974(S49)]	1995(H7)年1月17日 兵庫県南部地震	アース (h=33.5m)	・堤頂部クラック ・基礎岩盤の透水性増大の疑い	
浅河原調整池 (新潟県) [1945(S20)]	2004(H16)年10月23日 新潟県中越地震	アース (h=37m)	・堤頂部クラック、段差 ・周辺法面、護岸の亀裂・段差	※参考 (発電)
山本調整池 (新潟県) [1954(S29)]	2004(H16)年10月23日 新潟県中越地震	アース (h=27.5m)	・堤体上流法面に段差、噴砂(7箇所)の発生、沈下 ・コンクリート止水壁と堤体の境界部に空隙、クラック	※参考 (発電)
山本第二調整池(新潟県) [1990(H2)]	2004(H16)年10月23日 新潟県中越地震	ロックフィル (h=42.4m)	・堤体上流面に段差、噴砂、堤体下流面にはらみ出し、沈下(85cm)	※参考 (発電)



写真-5.1-1 天端のクラック（ダム軸方向）
（西郷ダム）



写真-5.1-2 天端舗装面のクラック
（大柿ダム）



写真-5.1-3 天端の段差・沈下（浅河原調整池※参考）
：右図写真-1



図-3 浅河原調整池の平面



写真-5.1-4 天端の沈下
（山本第二調整池※参考）



写真-5.1-5 波返工（パラペット）の
目地の開き・段差（西郷ダム）



写真-5.1-6 堤体上流法面の段差・ずれ
（山本調整池※参考）：右図写真-5

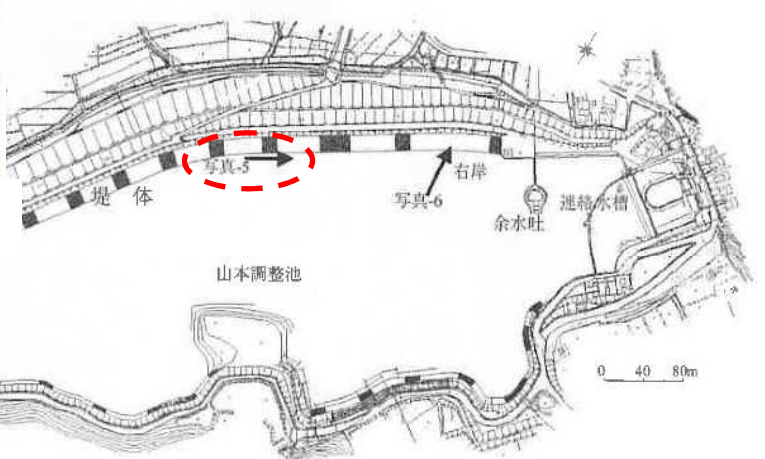


図-7 山本調整池の平面



堤体下流斜面のクラック

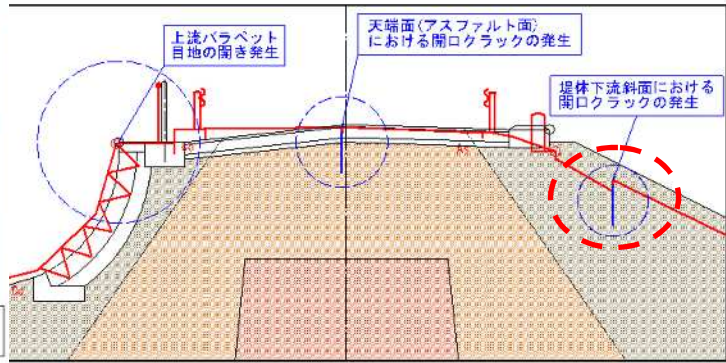


写真-5.1-7 堤体下流法面の段差・ずれ
(羽鳥ダム)



写真-5.1-8 下流法面のはらみ出し
(山本第二調整池※参考) : 右図写真-10

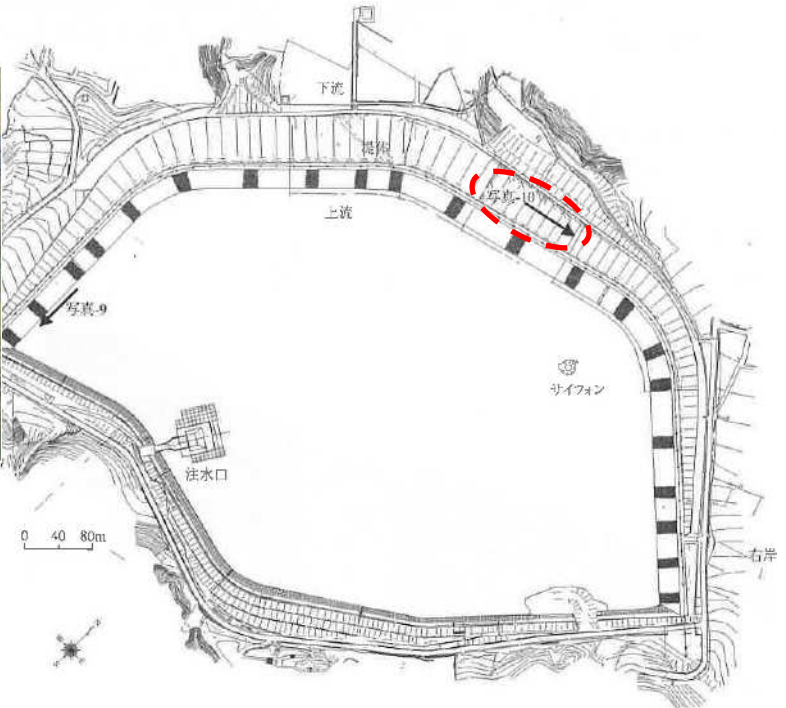


図-13 新山本調整池の平面



写真-5.1-9 洪水吐(導流壁)のクラック
(西郷ダム)



写真-5.1-10 洪水吐側壁の倒壊
(川西ダム)



写真-5.1-11 波返工(パラペット)石積工の上流への崩落及び高欄の傾倒
(衣川1号ダム)

5.2 被災時の調査方法

ここでは、農業用ダム（フィルダム）被災時の調査方法の検討に際しての留意点を示す。ただし、施設毎に管理マニュアル等が定められている場合は、そちらを優先する。

※参考資料：「平成 8 年度 緊急時土地改良施設点検調査（重要構造物にかかる緊急時点検技術の開発）委託事業 報告書 平成 9 年 3 月 （財）日本農業土木総合研究所」

※参考資料：「地震被災後のため池緊急点検」
国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

被災時の調査方法を、「緊急目視点検（一次）：地震による被災状況把握のための調査」、「緊急詳細調査（二次）：復旧工法選定のための調査」の具体例を以下に示す。

(1) 緊急目視調査（一次）

被災後の調査において、巡回目視点検による亀裂、変形、漏水及び湧水等の発見が第一番目の安全性の確認である。

特に地震後の漏水の量及び濁りの監視が重要である。この監視は、内部の損傷が外部に現れるには時間遅れがあるため、ある程度の期間が必要である（満濃池では、地震後、一ヶ月経って漏水が拡大して決壊したという記録もある）。

【目視による点検】

- ・ダム堤体に亀裂を発見した場合
 - ① 先ず、下流法面に漏水が発生していないか、直ちに点検する。
 - ② しばらくの間、亀裂の幅が拡大していないか、漏水が発生していないか、注意深く監視する。
 - ③ 亀裂や漏水が発生していた場合、被災後の余震や降雨の状況を考慮して、十分に安全な貯水位まで低下させる。
- ・亀裂には下図に示すように、ダム軸に直角方向の「横断亀裂」、ダム軸に平行な「縦断亀裂」がある
 - ① 「横断亀裂」の場合、亀裂が上下流に堤体を貫通している場合、漏水が発生する可能性が大きく、特に注意が必要である。
 - ② 「縦断亀裂」でも段差がある場合には、法面がすべっている可能性がある。

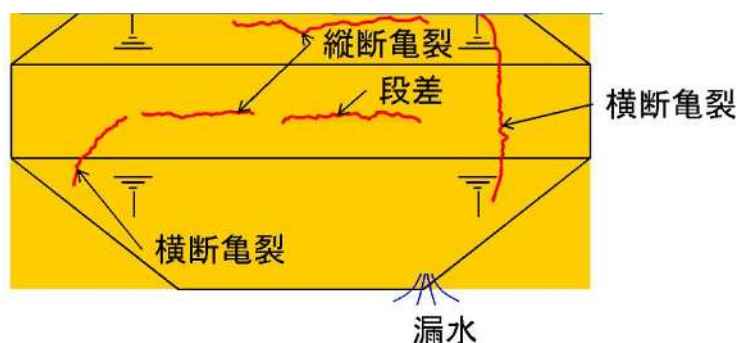


図-5.2-1 地震により発生する変状（亀裂・漏水等）

【漏水調査】

堤体の下流法面から漏水の発生の有無を確認する。漏水が発生していた場合、漏水に濁りがないかを確認する。濁りがある場合には、漏水が拡大して決壊に至る場合がある。ただし、地震直後は一時的に漏水が濁り、その後濁りが無くなることもあるので、漏水量と濁りを定期的に点検することが重要である。

漏水量を計測するには、水路に漏水を集めた上、三角堰により測定する方法や直接バケツなどで測定する方法がある。また、漏水量を測定すると同時に貯水位も計測する。

漏水の範囲を明示するため、カラーテープを着けたポールを立てると共にカラーズプレー等によって境界を示すことも重要である。

・漏水量の計測方法には以下の方法がある

- ①雨樋・塩ビパイプ等を利用
- ②竹が入手できれば二つ割りにして樋として利用
- ③段ボールをV字型に整形（ビニール製のラップ・袋があれば被せる）して利用

【亀裂幅や堤体形状の定期的な測定】

地震後、余震や降雨により堤体の変形が進行する場合がある。被災後の堤体の変状や亀裂幅を記録しておくことで、変形の進行を確認することができる。

(2) 緊急詳細調査（二次）

亀裂発生場所の試掘により、亀裂が遮水性に影響を及ぼすかどうかの判断が重要である。

亀裂の試掘のみでは、内部損傷を見落とししている可能性がある。このような場合には、築堤時のボーリング資料、岩盤写真、盛土管理実績、試験湛水時からの埋設計器データ、浸透量観測値等の資料から地震時に起こり得る損傷の推定と現在の状況との比較検討を行い判断することとなる。

また、再湛水時及びそれ以後に十分な安全管理が行えるように、埋設計器、浸透量等観測装置の保守・管理も重要な点である。

【石灰水注入による亀裂の深度調査】

被災したダムを復旧するには、亀裂がダムのどの程度の深さまで及んでいるかを知る必要がある。ところが、地震によってダムに発生した亀裂は、被災後に雨が降ると、すぐに詰まって閉じてしまい、数週間経つと亀裂の深さを正確に測ることができなくなってしまふ。そこで、被災後すぐに亀裂に石灰水等のトレーサーを入れておくことで、亀裂深さを確認でき、後で復旧計画を立てやすくなる。

※石灰水以外のトレーサーとして、メチレンブルーや水性ペンキを使用している例もある。また、コアやフィルタなどゾーンによってトレーサーを使い分けている例もある。

1) 準備するもの

- ①消石灰
- ②石灰水をつくるためのタンク、バケツ等（亀裂の大きさに応じて大きさを決める）
- ③かき混ぜるためのひしゃくか棒のようなもの
- ④亀裂に流し込むためのバケツ
- ⑤貯水池の水をくみ上げる水中ポンプ（※用意出来れば）



写真-5.2-1 タンク

2) 作り方

- ①消石灰と水（おおよそ消石灰 10kg に水 40～50 リットル）をひしゃく等で混合する。
溶け残りが無いように良くかき混ぜる。目安は、粉ミルクを水で溶かしたような状態である。
- ②亀裂の奥まで行き渡るように、どろどろした濃いものにならないよう気をつける。
- ③石灰水は注入したときに亀裂内に少し貯まるぐらいの量を用意する。



写真-5.2-2 石灰水（消石灰混合状態）



写真-5.2-3 石灰水を攪拌している状況

3) 注入方法

- ① 亀裂部分にバケツ・水中ポンプ等で、石灰水を流し込む。小型の水中ポンプがあれば、ポンプから直接亀裂に流し込むことができ、効率的に注入ができる。
- ② 石灰水が亀裂の下の方で貯まっているのが確認できれば、作業を終了する。



写真-5.2-4 石灰水注入状況（着色料混入）



写真-5.2-5 石灰水注入状況（ポンプ注入）

4) 亀裂の深さ確認

石灰水を注入した箇所でトレンチを掘削する。このとき、注入した箇所を全て取り除いてしまわないように慎重に掘削する。バックホウで掘削した断面は乱れているので、掘削断面をスコップで少し崩すと、石灰水の白色の痕跡を確認することができる。白色の痕跡から亀裂の方向や深さを確認する。

兵庫県南部地震で被災したため池では、堤体の一番下まで亀裂が進展していた場合もある。また、亀裂の進展が止まっても、更に下まで延びている場合もあるため、周辺状況等を踏まえ、掘削深度を決定することが重要である。



写真-5.2-6 亀裂確認状況（堤体開削）

■参考事例 1 (地震により天端にクラックが発生したダムでの緊急詳細調査の事例：大蘇ダム (熊本県))

■被災直後の調査

・コア上面にクラックが到達しているか否かを確認した上で、クラックが確認された場合には、水平方向及び深度方向へのクラック分布を追跡。

【亀裂深度追跡手順】
① 開口亀裂充填材(消石灰+フローレンソード溶液)の作成
② アスファルト上の開口亀裂・目地に充填材を投入
③ アスファルトの撤去・掘削
④ 砕石面の亀裂分布確認(充填剤(石灰)跡の「白」が見えるか否か)
⑤ 砕石面より充填材を投入
⑥ 砕石の撤去
⑦ コア面清掃・観察
⑧ コア面の亀裂分布確認
【亀裂が確認された場合】
⑨ コア面より充填材を投入
⑩ コア掘削(バックホウにより30～50cm掘削)
⑪ 掘削面清掃(人力掘削・エアークリーン) バックホウ掘削位置から亀裂方向へ人力掘削
⑫ 亀裂分布確認 充填材(石灰)跡やフェノールフタレイン反応等により亀裂有無を確認。 亀裂の走向・傾斜、条線(引掻き傷)の方向、亀裂面の湾曲等を観察。
⑬ 亀裂消滅まで⑩～⑫を繰り返す



② アスファルト上の開口亀裂・目地に充填材を投入



③ アスファルトの撤去・掘削



⑦ コア面清掃・観察

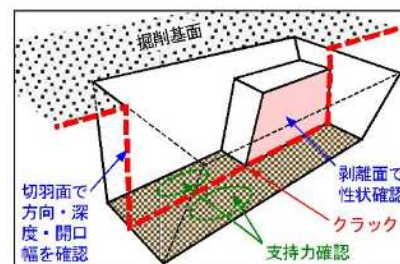
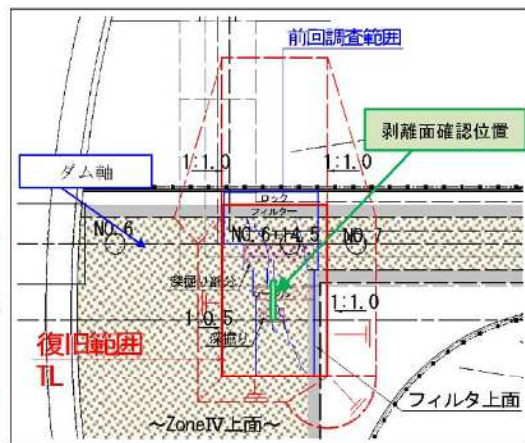


⑧ 亀裂分布確認

■対策工の設計・施工時の調査 (クラック発生機構の整理)

・被災直後の調査で確認されたクラックにおいて、クラックの除去に併せて、クラック発生機構整理を目的として、クラック剥離面の性状確認を行う。

【クラック剥離面の性状把握の調査手法】
クラック面の状態を把握するため、せん断の有無について詳細に観察。
【手順】
① クラック深さ方向への連続性、開口幅、および深度等の「断面形状」については、通常のトレンチ調査のように「掘削切羽面」で確認する。
② 掘削深度間隔1m程度でその都度掘削底盤を仕上げ、その盤におけるスケッチと写真撮影を行うことにより、平面的な連続性を記録するとともに、その立体的な状況についても再現を図る。また、クラック周辺での支持力をコーンペネトロメーターで確認する。
③ クラック面(下図中「剥離面」)を平面的に観察できるように、トレンチ内の一部において、右図中に示すようにクラック面に沿って片方のみを掘削する。
④ まずはクラックに対して30cm程度の余裕をもって重機掘削を行い、クラックまでの区間は人力によって土塊を剥離させるようにして丁寧に取り除く
⑤ このように露出したクラック表面については、目視による条痕の有無、または触診による軟弱化部分の有無の確認を行うとともに、土塊硬度計を用いて定量的な硬軟評価を行う(健全部分でも同様な計測を行って比較対象とする)。
⑥ これらのデータに基づき、クラックの発生機構を整理する。



■参考事例 2 (地震により天端にクラックが発生したダムでの緊急詳細調査の事例：瑞穂ダム (北海道))

■被災直後の調査

- ・被災直後は、代表的な開口亀裂部に石灰を投入し、クラック分布を追跡。
- ・調査結果に基づき、対策工規模 (施工範囲) を決定。



④40cm掘削面の観察 (写真撮影、スケッチ、クラック幅などの観察)
※リボンロッドは、高欄基礎コンクリートから1.5mの位置に設置



⑦100cm掘削面の観察 (写真撮影、スケッチ、クラック幅などの観察)
石灰水の注入80L



②クラック追跡調査
・テストピットを天端から3.3mばで掘削し、仕上げた。



④40cm掘削面のクラック部に石灰水注入80L



半透水性材料の透率は高く(施工時の盛立管理試験結果では80%)
マトリックスは比較的緻密、ブロックサンプリングは困難な印象

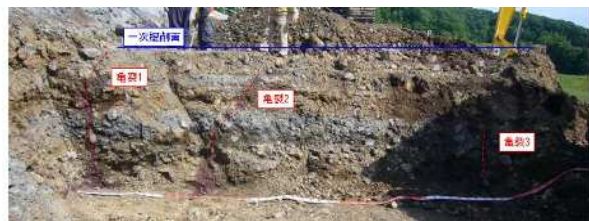
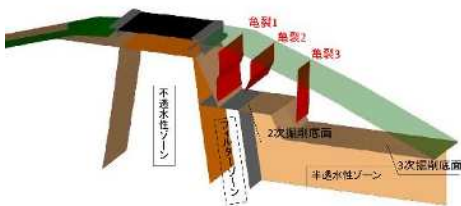


②クラック追跡調査
・クラックは3条確認された。

■対策工の設計・施工時の調査

- ・堤体下流斜面に発生した亀裂が、堤体の改修により全て掘削除去される必要があることから、亀裂の追跡を行いながら掘削作業 (対策工事：置換工) を行った。

立体図 No.20



・【亀裂1】は、4号清田土から、フィルターゾーン上面の位、8.5~4mまで貫通しているため、その後は土質が認められるため、フィルターゾーンへの影響は無いと判断される。



・【亀裂2】は、下流斜面の4号土、8.5~6mまで貫入しているが、下流斜面には到達していない。



・【亀裂3】は、下流斜面の4号土、8.5~3mまで貫入しているが、二次掘削方面には到達していない。



・【亀裂3】は、下流斜面の4号土、8.5~3mまで貫入しているが、二次掘削方面には到達していない。

(3) 研究段階の調査法（紹介）

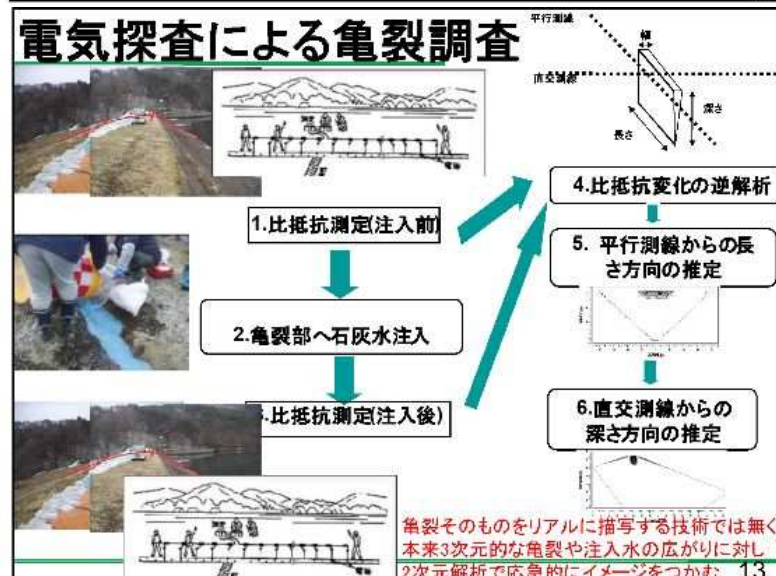
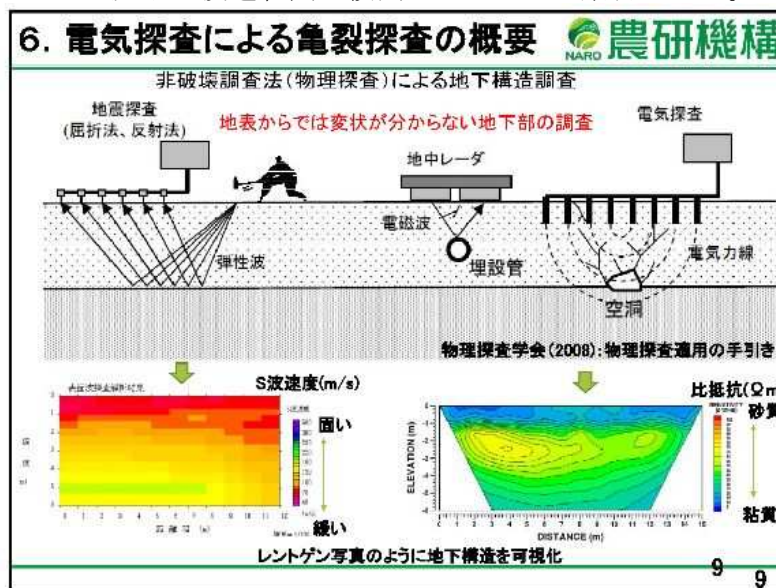
※参考資料：「2次元電気探査による地盤の亀裂範囲推定手法」

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

地震等で発生した地盤の亀裂に、石灰水のような電解物質を注入し、亀裂に対して平行な測線及び直交する測線で2次元電気探査を注入前後に行い、亀裂範囲を推定する手法が提案されている。

一般に、土構造物が被災し亀裂が発生した場合は、石灰水やメチレンブルー溶液を亀裂部に注入し、復旧工事時に掘削しながら亀裂範囲を把握することが行われている。これらの方法は確実ではあるが、掘削するまで亀裂範囲を把握できず、最終的な復旧計画の策定を事前に行うことはできない。また、貯水状況によっては、掘削自体が不可能な場合もある。このような場合、地表面から地盤内の状態を非破壊で推定できる物理探査手法が亀裂範囲の特定に貢献できる可能性がある。

物理探査手法の中でも、電気探査は繰り返し測定が容易で、比抵抗変化を測定できる。石灰水の注入により、石灰充填による間隙率の低下、浸透範囲における体積含水率の増大、間隙水の比抵抗の低下が想定される。これらは亀裂及びその周辺の地盤比抵抗を低下させるため、亀裂部に注入した石灰水の浸透範囲を検出できることが期待される。

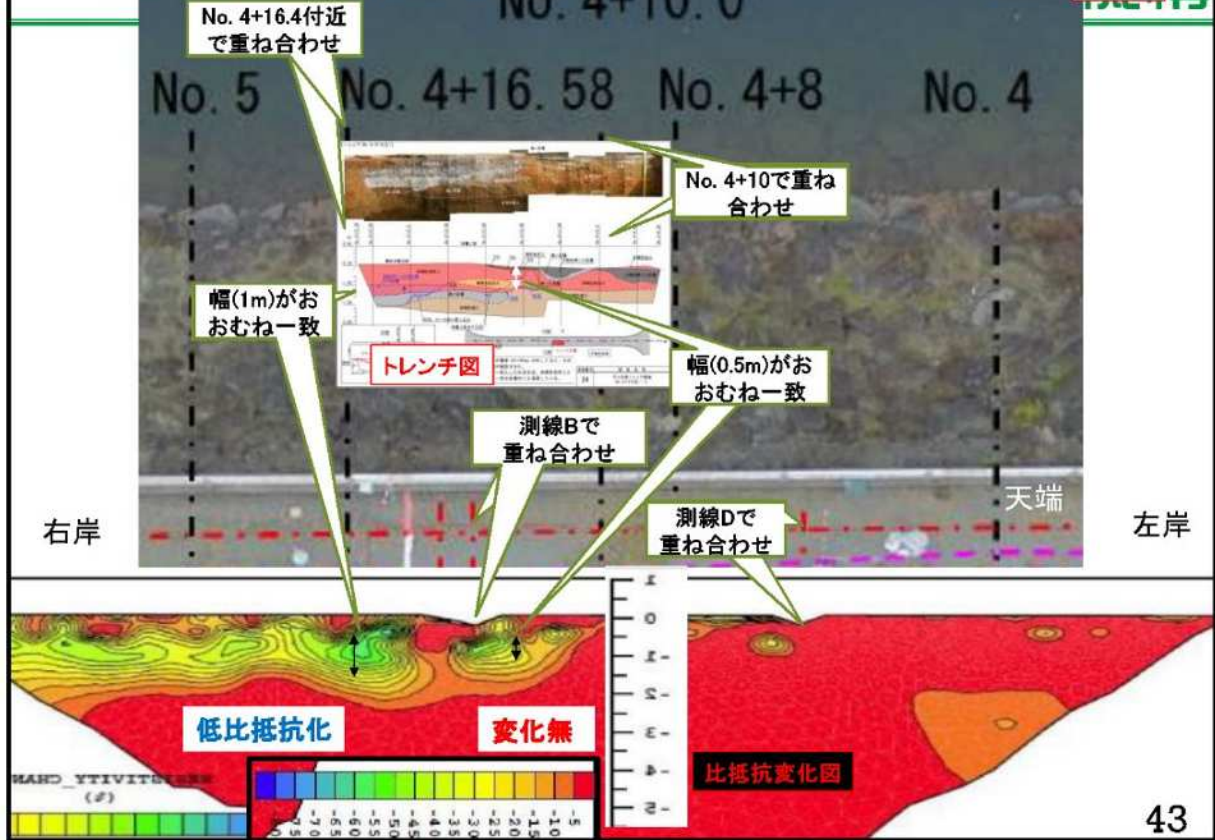


10. トレンチ結果との比較

上流

平面図

機構



5.3 被災時の応急対策

被災時の応急対策は、確認された変状が進行しないように留意しなければならない。
ここでは、被災直後に実施すべき事項についてとりまとめたものである。

被災によりフィルダム堤体にクラックやすべり破壊が発生した場合の応急対策として、変状計測等の被災状況の把握、計測データの収集、ブルーシートによる雨水侵入対策、押え盛土（土のう等）、緊急落水等がある。

また、最近では無人航空機（UAV、通称ドローン）を利用して、地震・台風・豪雨等による被災調査・全容把握が行われている事例もある。



写真-5.3-1 天端クラックのブルーシートによる保護（衣川1号ダム）



写真-5.3-2 下流法面クラックのブルーシートによる保護（衣川1号ダム）



写真-5.3-3 天端クラックのブルーシートによる保護（浅河原調整池）

その他、平成30年（2018）年9月6日に発生した北海道胆振東部地震で被災した厚真ダムでは、堤体右岸下流側の斜面崩壊により仮排水路トンネル出口部に土砂が流入し、浸透量観測室が埋没・破壊、放流ゲート操作室が破損したため、次に示す応急対策を実施している。

- ・浸透量観測設備の仮復旧。
- ・ゲート操作室は倒壊したが、仮排水トンネル内（操作室と上流のゲートはトンネル内の油圧配管でつながっている）に油圧ユニットを搬入し、ゲート操作を実施、貯水位低下のための放流を開始。



図-5.3-1 ダム被災状況写真
(厚真ダム (北海道))



- 水圧計 (三角堰越流水深を計測) ・ ・ ・ 毎時計測、無線によりサーバーに転送し、外部からインターネットにより常時データ確認可能
- 水温計 (浸透水の温度を計測) ・ ・ ・ 毎時計測、現地においてデータ収録

図-5.3-2 浸透量観測施設の仮復旧
(厚真ダム (北海道))