

平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震による福島県のため池被災の特徴と応急対策

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 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 公開日: 2025-12-26 キーワード: 作成者: 堀, 俊和, 上野, 和広, 松島, 健一 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24514/0002001450

〔農工研技報 213〕
175～199, 2012〕

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震による 福島県のため池被災の特徴と応急対策

堀 俊和*・上野和広*・松島健一*

目 次

I 緒言	175	III 緊急対策と復旧	192
II ため池の被害	175	1 クラック調査と貯水位管理	192
1 決壊したため池	175	2 余震等による被災の拡大	194
2 クラックやすべりが発生したため池	179	3 復旧方法	194
3 軽微な被害が発生したため池	187	IV 今後の地震を想定したため池の減災対策	195
4 被災しなかったため池	189	1 減災対策要否の判定方法の提案	195
5 被災パターンの整理	189	2 減災対策の方法の提案	196
6 被災の特徴	191	V 結 言	197
7 耐震診断・設計に関する今後の検討	192	参考文献	198
		Summary	199

I 緒 言

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震により、福島県を中心に数多くのため池が被害を受けた。福島県内で、合計 745 カ所のため池にすべりやクラック発生などの被害が出たと報告されている（福島県農林水産部，2011）。また、3 個のため池が決壊し、下流域に多大な被害を及ぼした。本報告では、ため池の被害が大きかった福島県内のため池を地震直後の 3 月 14 日と追加調査として 6 月 6 日に現地調査を行い、被災状況を取りまとめるとともに、被害の特徴を分析した結果を報告する。また、被災調査結果を基に、緊急対策や復旧対策の方法、今後の地震を想定したため池の減災対策について提案する。

II ため池の被害

本章では、東北地方太平洋沖地震で被災した個々のため池の被災状況についての調査結果および分析結果を記述する。被災調査はため池の被災が多かった福島県で行った。始めに、決壊したため池、次に、クラックやすべりが発生したため池について記述する。次に、改修暦などの要因が被害の有無や程度に与えた影響を明らかにすることを目的として、被災したため池の近傍にあり、軽微な被害あるいは無被害であったため池について調査を行った結果を述べる。これらの調査結果を基に、今後

の地震によるため池の被災の特徴および被災パターン、大きな被害が出た要因や改修暦等の要因の影響について述べる。調査を行った被災ため池の諸元および被災の概要を **Table 1** に、位置図を **Fig.1** に示す。**Fig.1** 中、△マークは決壊したため池、□マークはクラックやすべりが発生したため池、○マークは軽微な被害または無被害のため池を示している。また、小さな丸のマークはこの地域の全てのため池の位置を示しており、被害は報告されていない。

1 決壊したため池

①藤沼貯水池（須賀川市）

藤沼貯水池は 1937 年に着工し、人力で 1949 年に完工したとされ、本堤と副堤から構成されている。本堤の堤高は 18.5m、総貯水量は 1,504,000m³ である。1978 年に堤体グラウトや張ブロック、取水口、波除工、浚渫工等の改修が行われているが、堤体本体は築堤から改修はされていない。本堤は、ダム設計指針よりもかなり以前の築堤であり、堤体の仕様はため池であるといつてよい。

藤沼貯水池は、地震直後に堤体が大きく変形し、貯水が堤体上を越流して、決壊に至ったと報告されている (**Fig.2**)。決壊により、貯水が下流の住宅に直撃し、8 名の犠牲者が出た。堤体の右岸側が侵食により大きく欠損し、左岸側は流水により侵食されているものの堤体材料が残存している。堤体材料は、上部に砂質土、中下部にシルト（高液性限界）であり、基礎地盤に若干固結した黒色の細粒分質砂が確認されている。堤体材料は、一見して多種類の土が層状に分布しており、基礎地盤直上にも砂質土の薄い層が確認されている。また、副堤は天端

* 施設工学研究領域 土質担当

平成 23 年 12 月 14 日受理

キーワード：ため池、地震、被害、緊急対策、減災対策

Table 1 調査ため池の諸元表
Properties of the investigated small earth dams

施設コード	名称	所在地	天端幅 (m)	堤体積 (m ³)	堤高 (m)	堤頂長 (m)	上流斜面勾配	下流斜面勾配	総貯水量 (m ³)	有効貯水量 (m ³)	流域面積 (km ²)	満水面積 (km ²)
07207 22024	藤沼貯水池	福島県須賀川市江 花石倉山 4	6	9900	18.5	133	2.8	2.5	1504000	1504000	8.23	0.2
07214 11009	青田新池	福島県本宮市青田 西原 46	3	42220	8.3	275	2.0	2.0	17000	17000	0.22	
07207 22014	中池	福島県須賀川市榊 衝大久保山 1	4.5	20000	11.4	85	2.2	2.0	35000	35000	0.24	0.01
07322 11008	三ツ森池	福島県安達郡大玉 村玉井守谷山 21	7.5	265000	28.5	205	2.0 (高さ 1.8m 鉛 直波除工)	1.4	720000	720000	8.2	0.083
07322 11001	堂前池	福島県安達郡大玉 村大山荒池	2	2268	6	84	鉛直コンクリート ブロック	1.4	36150	24100		0.01
07322 11004	荒池	福島県安達郡大玉 村大山荒池 3	2.5	7762	9	75	1.2	1.3	48000	48000		0.023
07214 11015	岩根大池	福島県本宮市岩根 深沢 5	3	26730	7.5	26.4	2.0	1.4	59000	59000	2.16	
07214 11010	大谷池	福島県本宮市青田 愛宕 5-8	3	14220	3.8	288	1.4	1.4	59000	59000	0.63	
07214 11002	蛇ノ鼻中ノ池	福島県本宮市本宮 蛇ノ鼻 145	3.5	6850	6.4	153	2.0 (高さ 1.7m の 石積み波除工)	2.0	55000	55000	0.29	
07214 11001	蛇ノ鼻上ノ池	福島県本宮市本宮 蛇ノ鼻 38	4.7	7290	5.5	81	高さ 1.2m 鉛直 波除工	1.4	24000	24000	0.17	
	細蔵池	国見町大字大木戸 字夕陽山			5.0	40			31,700	11.0		
07203 12005	酒蓋池	福島県郡山市市池ノ 台 19-17	2.8	7400	5.1	147	コンクリート擁 壁	1.7	49000	40800	0.1	0.031
07207 12040	二池	福島県須賀川市前 田川二池 17	5	17000	8.4	176	2.0	1.8	32000	32000	0.18	0.015
07207 12094	三ツ池 (第 2)	福島県須賀川市あ おば町 115	2	4700	5	87	1.7	1.7	18000	18000	0.63	0.009
07207 12006	菖蒲池	福島県須賀川市仁 井田大谷地 130	7	3800	3.5	105	コンクリート擁 壁	2.0	17000	17000	0.1	0.011
07207 12009	北の内池	福島県須賀川市袋 田池ノ下 14	6	3200	4.5	71	2.0	1.4	23000	23000	0.3	0.013
07207 22013	女鹿池	福島県須賀川市榊 衝石角坊 3	3.5	10000	6.9	105	2.0	2.0	15000	15000	0.36	0.08
07207 12026	田桑池	福島県須賀川市稲 四十垣 22	3.5	900	3.5	43	2.0	2.2	4000	4000	0.06	0.002
07207 12017	笹平池	福島県須賀川市吉 美根十石内 44	4	22400	7.8	180	2.9	2.0	175700	176000	0.48	0.052
07214 11019	二ツ池上	福島県本宮市岩根 於巻窪 3	2	10630	6.7	127	満水位以上：1.8 満水位以下：2.2	1.3	10000	10000	1.06	
07203 12058	松山池	福島県郡山市喜久 田町堀之内外左エ 門段 40	2.5	3100	7	50	1.0	1.5	4500	3800	0.1	0.002
07203 12020	荒池	福島県郡山市安積 町笹川荒池下 28	5.6	5000	5	132	1.4	2.0	25000	58000	0.03	0.07
07207 12018	十貫田池	福島県須賀川市吉 美根二枚橋南 52	4.3	6000	7.5	72	2.0	1.5	38000	38000	0.2	0.0106
07207 22023	家老内池	福島県須賀川市江 花山ノ神 54	5.2	5200	8	52	1.7	1.4	11500	3000	0.43	0.004
07207 22018	八ノ口池	福島県須賀川市長 沼八ノ口 174	3.5	9500	6	120	2.0	2.0	55000	55000	0.53	0.025
07214 11007	年中池	福島県本宮市青田 年中 22	2.5	29540	13	90	1.8	1.8	7350	7000	0.46	
07214 11003	蛇ノ鼻下ノ池	福島県本宮市本宮 蛇ノ鼻 230	3	9030	7	89	1.8	1.3	19000	19000	0.29	

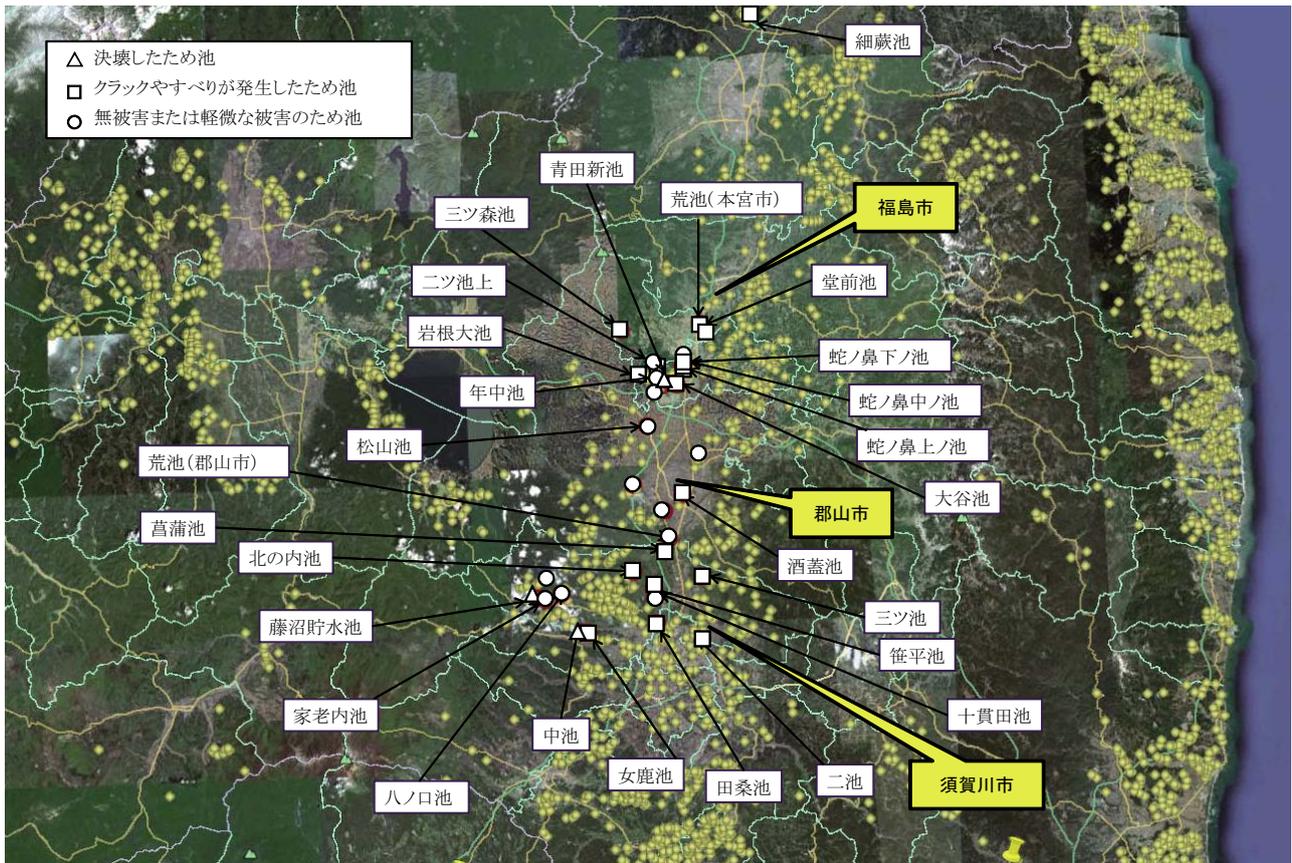


Fig. 1 調査ため池位置図
Positions of investigated dams

から上流斜面が全てすべりにより崩落していた。執筆現在（2011 年 12 月），福島県において調査委員会が発足し，調査が進められており，決壊原因の究明が行われている。

②青田新池（本宮市）

東側の堤体（以下，東堤）と南側の堤体（以下，南堤）で構成される廻り堰であり，東堤の左岸側に洪水吐，東堤の中央部に底樋が設置されている。堤高は 8.3m，総貯水量は 17,000m³ であり，改修歴は不明である。東堤の下流直下には民家が存在している。

東堤と南堤の結合部である屈曲部で決壊していた（Fig.3, Fig.4）。決壊時の水位はほぼ満水であったと報告されている。天端には，東堤から南堤にわたってほぼ全面にクラックが入っており，東堤の下流斜面（決壊部の左岸側）にはすべりが発生していた。決壊による氾濫水は民家の横を通り抜け，下流の水田，ため池（後述する大谷池）に流下しており，決壊による民家への直接的な二次災害は無かった。

決壊した残存部を観察した結果，堤体は粘土（高液性



Fig. 2 決壊した藤沼貯水池
Fujinuma dam after breach



Fig. 3 決壊した青田新池
Aota-shinike dam after breach

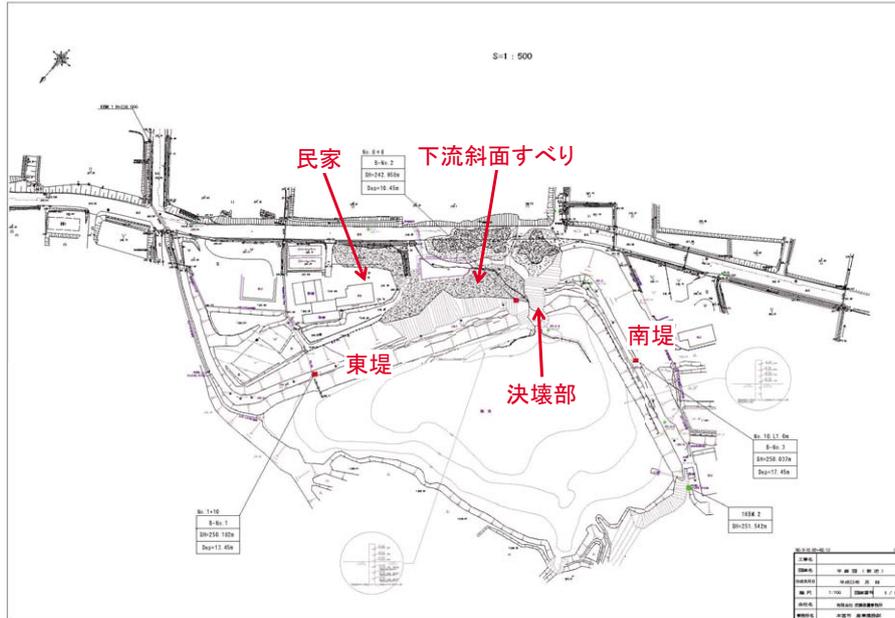


Fig. 4 青田新池平面図
Plan of Aota-shinike dam

限界)の均一型であった。堤体の残存部から不攪乱試料を採取し、三軸圧縮試験を行った結果、堤体土の強度は $Cd=4.0$, $\phi d=28.0$ 度であり、ボーリング調査結果からも N 値が 2~3 の軟弱な堤体であることが分かった。基礎材料は、堤体直下は N 値約 10 の礫混じりシルトであるが、その下層には N 値 4~5 の軟弱なシルト層が確認されている。

三軸圧縮試験から得られた強度を用いて、ニューマーク法(鉄道総合研究所, 2007)で変形量を算定した結果の一例を Fig.5, Fig.6 に示す。入力地震動は郡山の K-NET の数値を用いている。滑動変位量, 最小安全率は, 上流斜面のすべりでそれぞれ 0.7m, 0.99, 下流斜面すべりで 0.3m, 1.00 であり, 安全率が 1.0 を下回りかつ比較的大きな沈下が発生したことが解析からも分かる。余盛り高さは約 2m であるため, 解析結果の 0.7m の沈下量だけでは決壊を説明できないが, その原因として, (i) 決壊は東堤と南堤の境界で発生しており三次元的に変形が安定性に影響したこと, (ii) 強度定数に繰り返しによる強度低下を考慮していないこと, などが考えられる。今後は, 繰り返し三軸圧縮試験等を行い, 解析パラメー

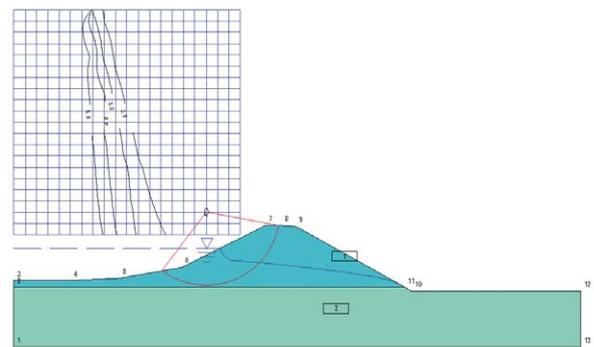


Fig. 5 青田新池の安定解析結果
Slope stability analysis of Aota-shinike dam

タの精度を向上するとともに, 三次元や入力地震動の影響等も実施して決壊原因の究明を行う予定である。

③中池(須賀川市)

堤高 11.4m, 総貯水量 35,000 m^3 の均一型堤体である。1953 年および 1981 年に堤体工, 余水吐, 取水工の改修が行われている。堤体土はシルト(高液性限界), 基礎は若干固結した黒色の有機質細粒分質砂である。中池は,

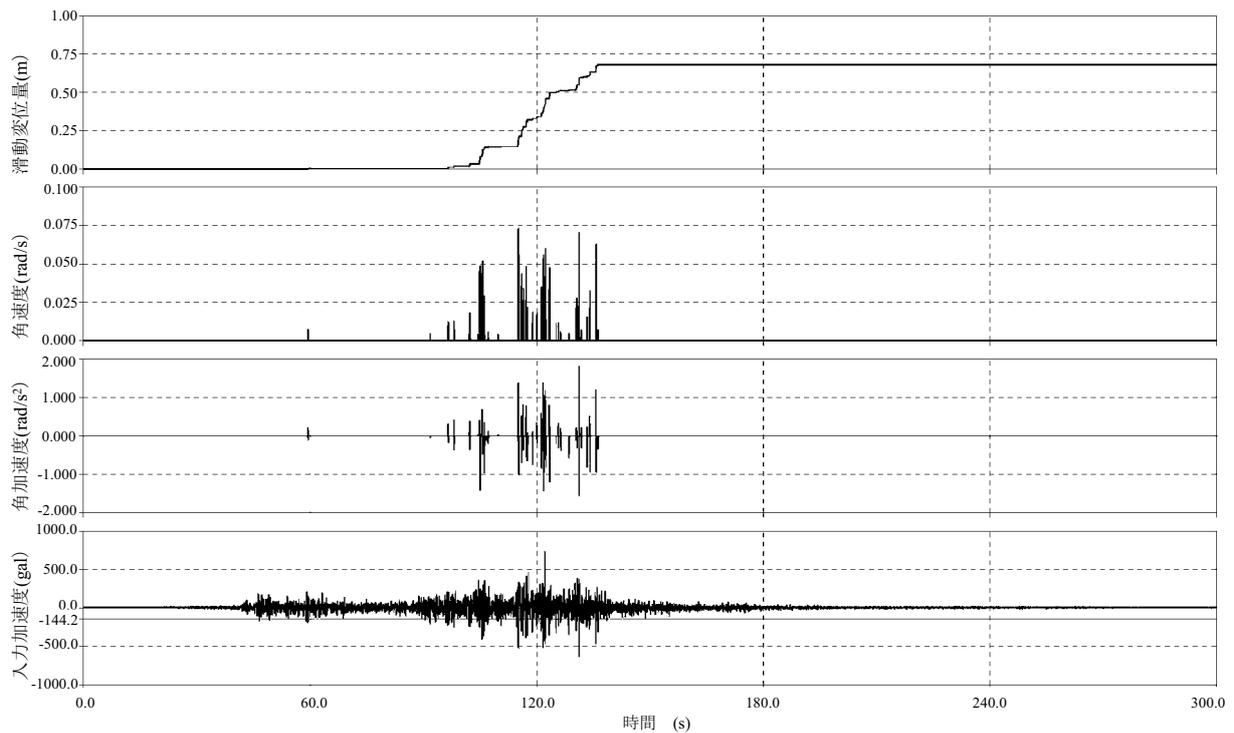


Fig. 6 ニューマーク法による青田新池の滑動変位量計算結果
Calculated settlement of Aota-shinike dam by the Newmark method



Fig. 7 決壊した中池（下流から撮影）
Nakaike dam after breach (viewed from the downstream area)



Fig. 8 決壊した中池堤体（左岸より撮影）
Nakaike dam after breach (viewed from the left side)

決壊して大きな二次被害が発生した藤沼貯水池からは直線距離にして 6.3km しか離れておらず、堤体材料および基礎地質は藤沼貯水池と類似している。

決壊により、左岸側および右岸側の数 m 区間を残して底樋設置部分を中心に堤体はほぼ消失していた (Fig.7, Fig.8)。基礎地盤には改修の際に用いられたと見られる木杭が残っていた。底樋の下部の有機質細粒分質砂は洗掘されていないことから、基礎地盤より上部あるいは基礎地盤と堤体土の境界ですべり等の崩壊が発生し、決壊に至ったものと推定される。決壊により流下した貯水は全て、下流にある女鹿池（後述）へ流れ込んだが、決壊水は女鹿池の洪水吐を通して流下した。女鹿池

は決壊を免れており、下流の民家への被害は無かった。

2 クラックやすべりが発生したため池

①三ツ森池（安達郡大玉村）

堤高 28.5m の中心コア型堤体であり、総貯水量 720,000 m^3 である。1939 年に築堤、1955 年に堤体グラウト工が実施されたが、1974～80 年に漏水が発生、1980～83 年に堤体グラウト工、堤体のかさ上げと洪水吐、波除工、取水工の改修が行われている。堤体のかさ上げは余盛部のみであり、上流斜面法肩には高さ 1.8m のコンクリート製 L 型擁壁の鉛直な波除工が設置されている。

地震により、天端に縦断クラックが約 130m にわたっ



Fig. 9 三ツ森天端の縦断クラック (左岸から撮影)
Longitudinal cracks on the crest of Mitsumori dam (viewed from the left side)



Fig. 10 上流斜面石積みの変形 (上流斜面左岸側より撮影)
Deformation of stone protection on the upstream slope (viewed from the left side)

て発生した (Fig.9)。この縦断クラックは、上流側が下流側よりも低くなっており、最大で高さ約 60cm の段差が生じていた。また、上流斜面法肩のコンクリート製の鉛直波除工が上流側に僅かに転倒しており、その変形に伴い、波除工直下の石積みが鱗状にめくれ上がるような変形を生じていた。また、天端から斜距離で約 11m 下の上流斜面でも堤軸方向全体に石積みのはらみ出しが生じていた (Fig.10)。被災直後、下流斜面にもクラックが確認されたとの報告があるが、調査時点では確認できなかった。地震直後の水位は、満水位 (洪水吐クレスト高さ) であった。

天端に発生した縦断クラックには二つの可能性が考えられた。一つ目は、鉛直に立ち上げられた波除工が地震により上流側に傾き、それに伴って余盛部に引張クラックが発生した可能性である。この場合、損傷は余盛部周辺のみに限られる。二つ目として、堤体に上流側へと大きなすべりが発生した可能性が考えられた。この場合、余震や落水によってすべりが進行し、堤体の安定性が損なわれる可能性が懸念された。そこで、水で溶いた消石灰をクラックに流し込み、トレンチ掘りを行なってクラックの追跡を行うとともに、塩水を投入した電気探査が実施された。この結果、クラックは天端から鉛直方向に深度約 4m まで進展していることが確認された (Fig.11)。また、福島県の調査により、上流斜面保護の石積みの変形部分において、石積みを撤去して上流斜面堤体土のトレンチ掘りが行われた。この結果、上流斜面堤体土にすべり変形を伴う地層のズレは確認されなかったと報告されている。したがって、石積みの変形は、石

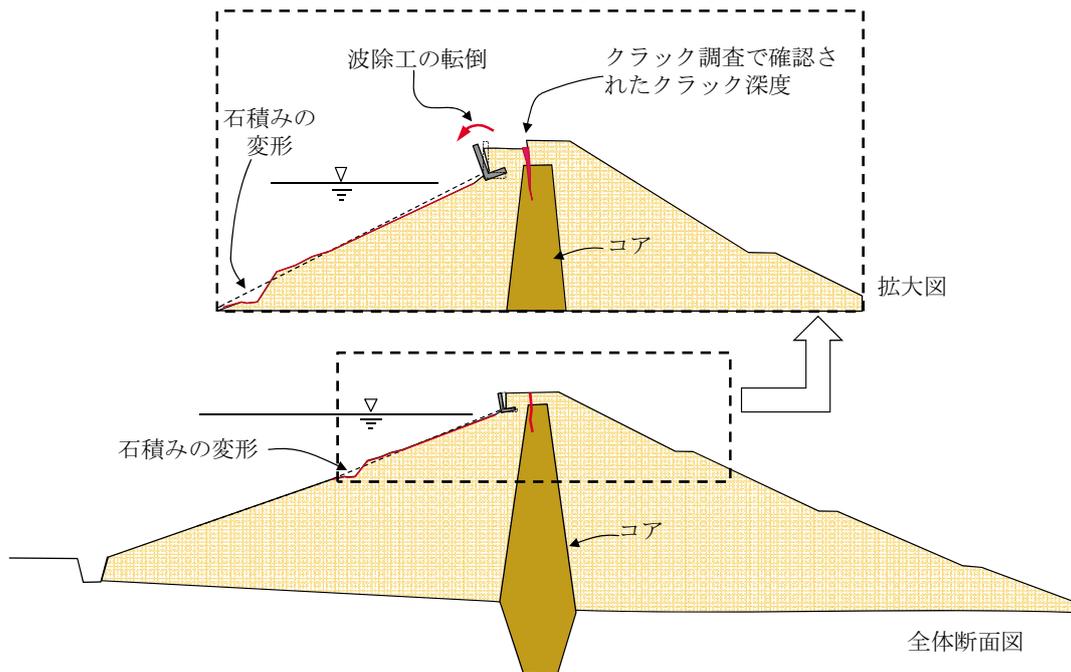


Fig. 11 三ツ森池の縦断クラック
Cross section of Mitsumori dam and the depth of the crack

積みが地震により下方にずれただけのものであり、上流斜面の大きなすべり変形は発生していないことが分かった。鉛直方向のクラックはややコアに到達しているものの、被害のほとんどは余盛り部分のみにとどまっていることが確認された。復旧計画については、執筆現在で、クラック発生部分を取り除き、再盛り立てするとともに、強化復旧として前刃金と下流押さえ盛土の実施が検討されている。

②堂前池（安達郡大玉村）

堤高 6m、総貯水量 36,150m³の均一型堤体である。1983～84年に堤体の上流斜面にコンクリートブロック（1辺約 80cm）が堤体中央部の斜樋より右岸側で 2 段、左岸側で 3 段積み重ねられた構造の波除工が施工された。天端にはほぼ全面に縦断クラックが発生しており、一部では上流斜面のすべりに伴ってコンクリートブロックが池側へ転倒していた（Fig.12）。調査時点（6月6日）には完全落水していた。

③荒池（安達郡大玉村）

堤高 9m、総貯水量 48,000m³の均一型堤体であり、1981年に樋口が改修されている。地震後、下流法先に

において底樋のやや右岸側で 0.4L/分の漏水が発生した（Fig.13）。また、堤体下流直下の休耕地において地震前にはなかった水溜まりが発生した。貯水位を満水より 10cm 低下させた時点で漏水が停止したと報告されている。この漏水停止が貯水位を 10cm 低下させたことによるものか、地震後の一時的な漏水が自然に停止したものかは不明である。堤体にクラックやすべりなど他の被害は報告されておらず、調査時点（6月6日）においても確認されなかった。調査時点（6月6日）で貯水位は満水位より 1.7m 下であった。

④岩根大池（本宮市）

岩根大池は、堤高 7.5m、総貯水量 59,000m³、堤長 100m 以上の均一型堤体であり、農業用水の他、養鯉池としても利用されている。改修歴は不明である。

上流斜面の斜面保護コンクリートパネルに長さ 70m にわたり、縦断方向のクラックが発生した。上流斜面に一部、数 10m にわたり、すべりによる崩落があった（Fig.14, Fig.15）。被災前から左岸側下流斜面法先に漏水があり、被災後、漏水量が増加したとの報告があった。地震時は満水であり、地震直後から落水を開始し、調査



Fig. 12 堂前池の縦断クラック（左岸から撮影）

Longitudinal cracks on the crest of Domae dam (viewed from the left abutment)



Fig. 14 岩根大池の上流斜面すべり（池側から撮影）

Sliding on the upstream slope of Iwane-oike dam (viewed from the reservoir)



Fig. 13 荒池の漏水箇所

Location of leakage at the toe of Araiike dam



Fig. 15 岩根大池の上流斜面すべり（右岸から撮影）

Sliding on the upstream slope of Iwane-oike dam (viewed from the right abutment)



Fig. 16 大谷池天端の縦断クラック (左岸から撮影)

Longitudinal cracks on the crest of Otani dam (viewed from the left abutment)

時点 (3月14日)には満水位から約50cm水位が低下した状態であった。調査時点で左岸下流の漏水はほぼ停止していた。

養鯉池として用いられているため、完全落水ができない状態であり、9月末の時点までは貯水位は上流斜面のすべりの下端である常時満水位より約2m下で管理されていた。地震後、降雨により貯水位が若干上昇し、2度にわたり満水位より-2mまで落水が行われている。余震および落水により、本震の発生以降、すべりの範囲が拡大したと報告されているが、これについてはⅢ2で詳細に述べる。

⑤大谷池 (本宮市)

決壊した青田新池の下流 (直線距離で数100m)に位置する均一型堤体であり、堤高は3.8m、総貯水量は59,000m³である。1983年に斜樋と底樋が改修されている。農業用水の他、養鯉に用いられている。

地震直後、上流の青田新池が決壊し、決壊水が大谷池に流入したが、堤体越水や決壊は免れている。天端全面に複数の縦断クラック (幅約50mm)が発生しており、堤体中央部の下流斜面がやや下流側に変形していた (Fig.16)。これらの変形が地震によるものか、青田新池の決壊水が流れ込んだことによるものかは不明である。

青田新池の決壊水が流れ込んだことにより、一時貯水位が天端高さすれすれまで上昇し、決壊の懸念があった。落水を試みようとしたが、夜間、底樋の位置を確認するのが困難であったとの報告がある。

⑥蛇の鼻中ノ池・上ノ池 (本宮市)

蛇ノ鼻池は3連の親子ため池である (Fig.17)。蛇ノ鼻上ノ池が堤高5.5m、総貯水量24,000m³、蛇ノ鼻中ノ池が堤高6.4m、総貯水量55,000m³である。1963年に蛇ノ鼻上ノ池の樋管が改修されているが、その他の改修暦の詳細は不明である。3つの池全体が公園化されており、農業用水の利用の他に、釣りや桜の花見観光に用いられている。

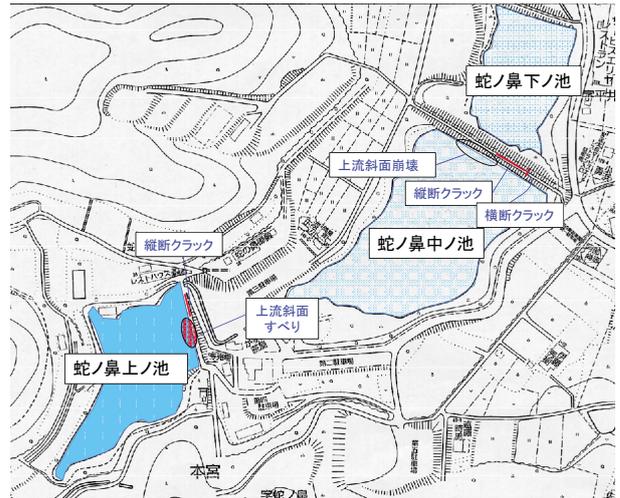


Fig. 17 蛇の鼻上ノ池・中ノ池・下ノ池の平面図

Plan of Janohana-kamino, Janohana-nakano and Janohana-simono dam



Fig. 18 蛇の鼻中ノ池上流斜面すべり (右岸側より撮影)

Sliding on the upstream slope of Janohana-nakanoike dam (viewed from right side)



Fig. 19 蛇の鼻上ノ池上流斜面すべり (左岸上流側より撮影)

Sliding on the upstream slope of Janohana-uenoike dam (viewed from left upstream side)

蛇ノ鼻中ノ池の堤体天端の上流斜面にはコンクリートパネル製の波除工が設置されており、その上部から上流斜面法肩まで急傾斜となっている。この急傾斜部分に比

較的太い桜の木が植えられていた。堤体中央部で、幅約 20m にわたり、上流斜面が桜の木とともに貯水池内に崩落していた (Fig.18)。天端には、ほぼ全面にわたって縦断クラックが発生し、崩落部の右岸側には横断クラックも確認された。下流斜面に漏水等の変状は確認されなかった。

蛇ノ鼻上ノ池では、蛇ノ鼻中ノ池と同様に、堤体天端に植えられた桜の木とともに、上流斜面法肩に幅約 10m にわたり、すべりが発生していた (Fig.19)。また、上流斜面には、基礎の根入れがない鉛直なコンクリートブロック製の波除工が設置されており、この波除工が地震により池側に転倒していた。横断クラックは確認されおらず、下流斜面に漏水は確認されなかった。

蛇ノ鼻中ノ池、蛇ノ鼻上ノ池ともに堤体天端上流斜面法肩の急傾斜部分に桜の木が植えられており、地震時に木がゆすられて堤体にクラックが入り、すべりにつながったものと考えられる。蛇ノ鼻中ノ池の直下流に位置する蛇ノ鼻下ノ池（後述）では、波浪により上流斜面が大きく侵食され、堤体の老朽化が進んでいたが、天端上に植木はされておらず、無被害であった。

⑦細蕨池（伊達郡国見町）

堤高 4.0m、総貯水量 31,700m³ の前刃金タイプのため池である。1982 年、新幹線敷地の補償で新築された。1983 年に漏水が発生し、地山と堤体の境界部で堤体グラウトが施行されている。堤体中央部で屈曲した構造となっており、右岸側と左岸側で材料が異なっている。前刃金の裏側には高さ約 2m の鉛直ドレーンが入っており、鉛直ドレーンからの漏水は底樋に集水されるようになっている。

堤体中央の屈曲部付近の左岸側で天端に多数の斜め方向のクラック（幅約 4cm）、上流斜面で小規模のすべりが認められた (Fig.20)。また、堤体右岸側では水位観測孔周りの沈下状況から約 10cm の堤体沈下が確認された。貯水位は常時から満水位以下約 1.5m で管理されており、調査時点（3 月 14 日）でも同様の水位であった。この水位で、鉛直ドレーンから底樋管を通して比較的、量の多い漏水が発生していた (Fig.21)。この漏水は地震発生前から発生していたとのことである。漏水に濁りはなかった。

天端に斜め方向のクラックが発生し、前刃金のある上流斜面にすべりが発生していること、鉛直ドレーンからの漏水が多いこと、などの状況から、左岸側の前刃金の遮水性が一部失われている可能性がある。ただし、漏水はドレーンで集水されている水であり濁りがなく安定的に排水されていること、余盛り高さが十分にあることから、決壊等の被害につながる可能性は低いと推定された。

⑧酒蓋池（郡山市）

堤高 5.1m、総貯水量 49,000m³ であり、改修歴は不明である。郡山市の市街地に位置しており、堤体および池敷は公園化されており、堤体直下に住宅がある。天端に



Fig. 20 細蕨ため池の被災状況
Condition of Hosowarabi dam after the earthquake



Fig. 21 細蕨ため池のドレーンからの漏水
Leakage through a pipe drain of Hosowarabi dam



Fig. 22 酒蓋池天端の縦断クラック（右側に下流住宅地）
Longitudinal cracks on the crest of Sakabuta dam

縦断クラック（長さ約 70m、幅約 20cm）が発生し (Fig.22)、池敷（公園化されて、一部埋め立てされている）にも複数箇所液状化と思われる沈下とクラック（幅約 20cm）が数多く発生していた。また、酒蓋池の左岸下流には養鯉用の小さなため池が隣接、接続しており、酒蓋池と養



Fig. 23 酒蓋池と養鯉池との境界部の崩落
Failure between Sakabuta dam and a neighbored fishery pond

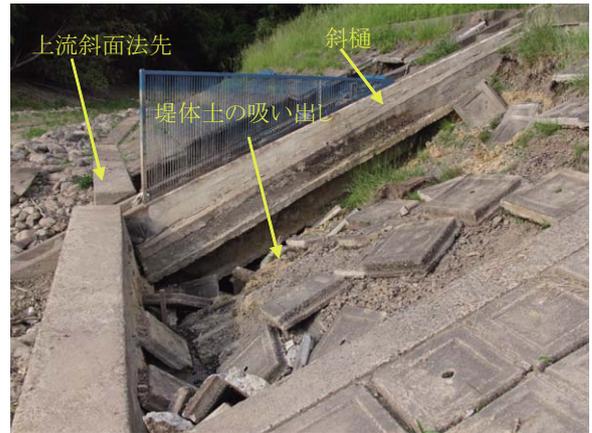


Fig. 25 二池底樋入り口周辺の吸い出し
Erosion around the entrance of the outlet pipe at Futaike dam



Fig. 24 二池上流斜面のすべり
Sliding on the upstream slope of Futaike dam



Fig. 26 三ツ池の天端縦断クラック (左岸より撮影)
Longitudinal cracks on the crest of Mitsuike dam

鯉池の境界のアスファルト道路および橋が大きく崩落していた (Fig.23)。調査時点で貯水位は満水位より0.3m下であった。

⑨二池 (須賀川市)

二池はため池データベースには親子ため池と登録されているが、上池は堤体跡が残っているのみで、二つの池は統合され、一つの池となっていた。堤高は8.4m、総貯水量は32,000m³であり、1978年に堤体、取水工、余水吐が改修されている。堤体右岸側天端に長さ約40m、幅約60cmの縦断クラックが発生し、その一部区間(約24m)では上流斜面にすべりが生じ、波除工の張りブロックがはらみ出していた (Fig.24)。また、右岸池敷斜面の法肩に長さ約60mの縦断クラックが発生し、その一部区間(約50m)で、すべりが生じ、護岸の張りブロックがはらみ出していた。また、斜樋の両脇の張りブロック背面で堤体土の吸い出しが生じており、張りブロックが陥没していた (Fig.25)。また、底樋管上部の天端および下流斜面にも変形が認められている。底樋管で漏水が発生し、堤体土の吸い出しが生じて斜面が陥没したものと推定される。また、調査時点(6月6日)には完全落水しており、直下流の農地の作付けはされていなかった。

⑩三ツ池 (須賀川市)

堤高は5m、総貯水量は18,000m³であり、1979年に堤体、取水工、余水吐が改修されている。斜樋よりも左岸側の天端に縦断クラック(長さ15m、幅30cm程度)が生じていた (Fig.26)。下流側法先にブロック積みの腰石垣が設置されており、天端に縦断クラックが生じている範囲でブロックのはらみ出しが生じていた (Fig.27)。調査時点(6月6日)には完全落水していた。

⑪菖蒲池 (須賀川市)

堤高は3.5m、総貯水量は17,000m³であり、改修歴は不明である。天端上がアスファルト道路になっており、上流斜面法肩に縦断クラックが発生し、長さ約30mにわたって上流側へすべりを生じていた (Fig.28)。その一部区間において、上流斜面のコンクリート製の鉛直な波除工がため池側へ転倒していた (Fig.29)。また、下流斜面の一部ではらみ出している箇所が確認された。調査時点(6月6日)で常時満水位であった。

⑫北の内池 (須賀川市)

堤高4.5m、総貯水量23,000m³であり、1994年頃、堤体工、取水工、余水吐工、波除工の改修が実施されており、左岸池敷には養鯉施設が設置されている。斜樋よりも右



Fig. 27 ミツ池腰石垣の孕み出し
Deformation of toe drain blocks of Mitsuike dam



Fig. 29 菖蒲池上流斜面波除工の転倒
Falls of erosion-protection walls on the upstream slope of Shobu dam



Fig. 28 菖蒲池上流斜面のすべり（左岸より撮影）
Sliding on the upstream slope of Shobu dam



Fig. 30 北の内ため池上流斜面のすべり
Sliding on the upstream slope of Kitanouchi dam

岸側の上流斜面で池側へすべりが生じており（Fig.30）、約 1.2m の段差が生じていた（Fig.31）。また、それに伴って上流斜面の張りブロックのはらみ出し（約 24m 区間）と天端のクラック（幅 20cm 程度）が生じていた。また、下流法先の腰石垣ブロックと堤体の間に僅かに隙間が発生しており、下流方向への変形も発生していた。調査時点（6月6日）で貯水位は満水位より 1.0m 下であった。

堤体下流右岸側に位置する住宅の基礎擁壁（高さ約 3m）が数 10cm 転倒し、上部の家屋が全壊していた。

⑬女鹿池（須賀川市）

堤高 6.9m、総貯水量 15,000m³ のため池であり、決壊した中池の直下流に位置し、中池とは親子ため池の関係にある。1981 年に堤体、余水吐、取水工の改修が行われている。

中池の決壊により、大量の水が女鹿池へ流れ込んだが、堤体越流により侵食された跡はなく、改修された洪水吐で中池決壊水の全てを放流できたものと考えられる。洪水吐水路は堤体下流斜面法先付近から断面が小さくなっており、放流された水が堤体下部で溢れて下流斜面法先直下の地山を大きく洗掘していた（Fig.32）。また、底樋入り口の左岸側脇に大きな穴が開き、堤体土が侵食さ



Fig. 31 北の内ため池上流斜面のすべり（右岸より撮影）
Cracks on the crest of Kitanouchi dam (viewed from right abutment)

れていた（Fig. 33）。堤体内で底樋が破損し、堤体土が吸い出されたと推察される。また、上流斜面の張りブロックに 4.5m × 5.0m 程度の範囲ではらみ出しを生じていた。これらの被害が地震によるものか、中池の決壊水が流れ込んだ衝撃によるものかは不明である。調査時点（6月6日）には完全落水していた。



Fig. 32 中池の決壊水による女鹿池の洪水吐水路周辺の侵食
Erosion around spillway of Mega dam caused by run-off water from breached Nakaikame dam



Fig. 34 田桑池の腰石垣の孕み出し
Deformation of toe drain blocks of Takuwa dam



Fig. 33 底樋入口左岸側の堤体土の吸出し
Erosion of the upstream slope into the cracked inlet pipe dam



Fig. 35 田桑池左岸池敷の道路の崩落
Failure of a road along the reservoir of Takuwa dam

⑭田桑池 (須賀川市)

堤高は 3.5m, 総貯水量は 4,000m³ であり, 時期および内容は不明であるが改修が行なわれた記録はある。堤体天端および池敷はアスファルトの道路となっている。

左岸側に設置された洪水吐と堤体天端の境界で段差(約 10cm)が生じており, 堤体が沈下したと推察される。下流斜面には, 複数の縦断クラックが発生しており, 下流法先のブロック積み擁壁(腰石垣)にはらみ出しが生じていた (Fig.34)。左岸地山取り付け部と洪水吐付近の上流斜面張りブロックに陥没した箇所があった。また, 洪水吐のコンクリート継目が開き, 隙間を生じていた。また, ため池左岸池敷に設置された道路の歩道がため池側へ大きく崩落し, 0.7~1.3m の段差が生じており, 護岸用の鉛直コンクリート擁壁が池側に転倒していた (Fig.35)。調査時点(6月6日)で貯水位は満水位より 0.2m 下であった。

⑮十貫田池 (須賀川市)

堤高は 7.5m, 総貯水量は 38,000m³ であり, 下流直下には東北新幹線が位置している (Fig.36)。1979 年に洪水吐が改修されている。左岸アバットの天端の簡易舗装



Fig. 36 十貫田池天端と東北新幹線
Crest of Jyukanda dam and Tohoku-super express dam

面に縦断クラック(長さ 13m, 幅 1.5cm 程度)が生じていた (Fig.37)。堤体にすべりなど他の被害は確認されなかった。調査時点(6月6日)で貯水位は満水位より 0.3m 下であった。

⑯笹平池 (須賀川市)

堤高 7.8m, 総貯水量 175,700m³ の前刃金タイプのた



Fig. 37 十貫田池天端の縦断クラック
A longitudinal crack on the crest of Jyukanda dam



Fig. 38 笹平池上流斜面の崩落
Sliding on the upstream slope of Sasadaira dam

め池である。農業用水の他、養鯉にも用いられている。2008年に堤体工、波除工、取水口、洪水吐工が完了しており、堤体が全面的に再盛り立てされたとの報告がある。

天端、上流斜面に縦断クラック（天端：長さ約12m、幅約20cm、上流斜面：長さ約8m、幅約6cm）が生じており（Fig.38）、横断クラック（幅約5cm）も確認された。また、上流斜面で長さ約24mの範囲ですべりが生じ、すべりに伴い段差（約20cm）やクラック（幅30～40cm、深さ60～120cm）、天端の沈下が生じていた。また、斜樋に幅約3mm程度のクラックが生じていた。また、下流斜面では幅34m程度の範囲で僅かにすべりが生じ、下流斜面全体にわたってクラックが無数に発生する（Fig.39）とともに、法先の腰石垣ブロックに孕みだしによる変形が生じていた。調査時点（6月6日）で貯水位は満水位より2.0m下であった。

2000年以降に改修されたため池の中で唯一、すべり変形を伴う比較的大きな被害が生じたため池である。笹平池の設計図書によれば、材料の三軸圧縮試験（UU試験）により強度定数を求め、震度法による安定解析が行われ、安全率1.2以上の安定性が確認されている。笹平池の耐震設計や今後の検討については、II 7で詳細に述べる。

3 軽微な被害が発生したため池

①二つ池上（本宮市）

二ツ池下との親子ため池の上流池であり、堤高は6.7m、総貯水量は10,000m³である。改修歴は不明である。天端から斜距離で約3m下がった位置の斜樋にクラックが発生しており、地震後に斜樋から底樋管内へと漏水したため、クラックより上には貯水が維持できなくなった（Fig.40）。地震後はクラックの高さで貯水を維持し、受益地の作付け終了後、完全落水した。また、堤体にクラックやすべりなど他の被害は確認されなかった。

②松山池（郡山市）

堤高は7m、総貯水量は4,500m³であり、1969年に樋管、



Fig. 39 笹平池下流斜面のクラック
Longitudinal cracks on the downstream slope of Sasadaira dam



Fig. 40 二つ池上斜樋のクラック
A crack on the inclined inlet pipe of Futatsu-ikeue dam

底樋が改修されている。堤体には桜の木が複数植えられていた。

天端上を通るアスファルト道路の上流斜面法肩付近に縦断クラックが発生していた（Fig.41）。また、斜樋の上部とアスファルト道路で約5cmの段差が生じていたため、堤体が沈下した可能性がある。ただし、この変状



Fig. 41 松山池天端のクラック
Cracks on the crest of Matsuyama dam



Fig. 42 荒池天端のクラック
Cracks on the right side abut of Araiike dam

が今回の地震で生じたかどうかは不明とのことであった。左岸側直上流の民家には外観では損傷は認められなかった。調査時点(6月6日)で貯水位は満水位より0.5m下であった。

③荒池(郡山市)

堤高5m、総貯水量25,000m³のため池であり、荒池の直下流は全体が住宅化されており、現在は養鯉のみに用いられているようである。改修暦は不明である。池内の標高が若干低く、余盛り高さが大きいので、満水位の状態でも、直下流の民家の敷地と貯水位にはほとんど高低差がない状態であった。上流斜面の右岸アバット部にクラック(長さ4m、幅6cm程度)が発生していた(Fig.42)。また、右岸アバットの地山に約12mにわたり、縦断クラックが発生していた。調査時点(6月6日)で満水位であった。

④家老内池(須賀川市)

堤高は8m、総貯水量は11,500m³であり、決壊した藤沼貯水池の最も近く(直線距離で600m)に位置するため池である。2005年に堤体工、波除工、取水口、洪水吐工の改修が完了しており、改修後、間もないため池である。天端は道路として利用されており、堤高と比較して広い天端幅を有している。

上流斜面の張りブロックが池側に若干ずり落ちており、約2cm程度の開きを生じていた(Fig.43)。また、天端三カ所(両岸アバット部、天端中央部)のアスファルト舗装に横断クラックが発生しており、最大で約4cmのズレ(堤体が上流側にずれている)が生じていた(Fig.44)。しかし、上下流斜面には舗装面のクラックと連続した変状やクラックは確認されなかった。調査時点(6月6日)で貯水位は満水位であった。

⑤ハノ口池(須賀川市)

ハノ口池は、堤高が6m、総貯水量が55,000m³であり、比較的規模の大きなため池の中では、決壊した藤沼貯水池に最も近い場所(直線距離で2.3km)に位置する。2009年に堤体工、波除工、取水口、洪水吐工の改修工事が完了しており、改修後間もないため池である。



Fig. 43 家老内池上流斜面張りブロックのずれ
Movement of upstream slope protection blocks of Karoushi dam



Fig. 44 家老内池天端舗装面の横断クラック
Transverse cracks on the crest pavement of Karouchi dam

天端の落下防止柵が大きく湾曲して変形しており、地震による揺れがいかにか大きかったかが推測されるが、堤体にはクラック等の被害は認められなかった(Fig.45)。洪水吐のコンクリート継目が開き、約5cmの隙間を生じていた(Fig.46)。また、左岸池敷の工事用道路の護岸ブロックマットが池側へ崩落していた(Fig.45)。調



Fig. 45 八ノ口池の堤体と左岸池敷の崩落

Embankment of Ynokuchi dam and a failure of the reservoir shore slope



Fig. 47 年中池上流斜面

The upstream slope of Nenjyu dam



Fig. 46 八ノ口池洪水吐の目地の開き

Open gap in a joint of the spillway concrete of Yanokuchi dam



Fig. 48 蛇の鼻下ノ池上流斜面

The upstream slope of Janohana-shitanoike dam

査時点(6月6日)で貯水位は満水位より1.0m下であった。

4 被災しなかったため池

①年中池（本宮市）

年中池は、堤高が13m、総貯水量が7,350³であり、決壊した青田新池と沢を一つ隔てた山側に位置する。青田新池とは直線距離で約500mしか離れていない。1983年に斜樋及び底樋の一部が改修され、1996年に堤体が改修されている。堤体にクラックや変形などの変状は認められず、無被害であった(Fig.47)。調査時点(6月6日)で貯水位は満水位であった。

②蛇の鼻下ノ池（本宮市）

蛇の鼻下ノ池は、堤高が3.0m、総貯水量が19,000³であり、上流斜面にすべりが発生した蛇の鼻中ノ池および蛇の鼻上ノ池の下流に位置する親子ため池である。改修歴は不明である。蛇の鼻中ノ池および蛇の鼻上ノ池と同様に観光地化され、農業用水の利用の他、ヘラブナの釣り場として利用されている。堤体上流斜面は、波浪侵食により堤体断面が薄くなり、急傾斜となっていた。また、長年の侵食により斜樋の裏に空洞ができており、堤体の老朽化が進んでいた(Fig.48)。

蛇の鼻中ノ池と蛇の鼻上ノ池が上流斜面ですべり破壊しているのに対し、下ノ池には全く被害は認められなかった。蛇の鼻中ノ池や蛇の鼻上ノ池のように堤体上に桜の木は植えられておらず、この差異が被害の有無につながったものと考えられる。調査時点(3月14日)で貯水位は満水位であった。

5 被災パターンの整理

今回の地震で、ため池に見られた被災パターンをFig.49、Table 2に列挙する。また、被災パターン別の頻度分布をFig.50に示す。これらの被災件数は、同一のため池で2種類の被災パターンがあった場合には、両方の被災パターンにカウントしており、これらの破壊現象の項目は独立していないことを付記しておく(例えば、すべりが発生すると縦断クラックも発生する)。

①天端の沈下

天端の沈下は、堤体土自体の圧縮変形、ゆすり込み沈下、上下流斜面のすべり変形によって生ずる。10cm程度の沈下は、目視では明確に判別できない場合が多いが、細蕨池や田桑池のように水位観測孔や洪水吐等の沈下が抑制された構造物の周囲、笹平池のように改修直後の堤

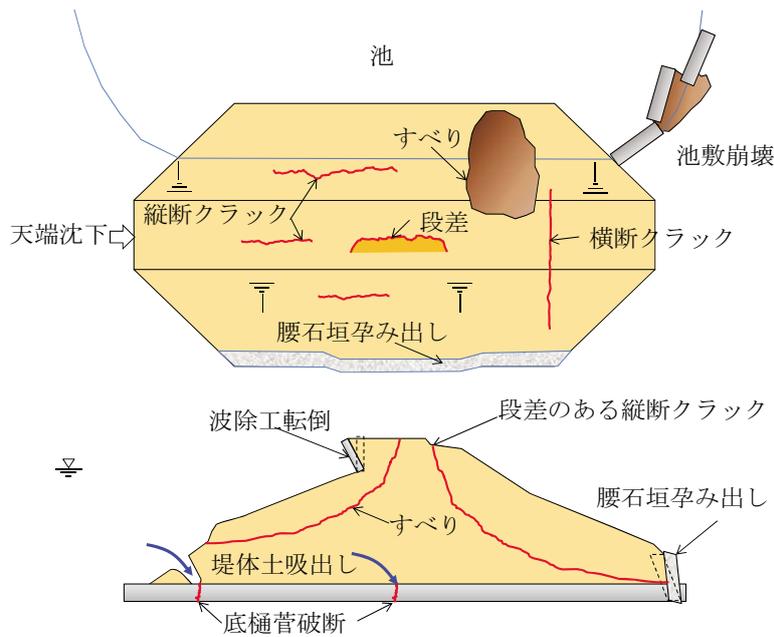


Fig. 49 地震によるため池の被災パターン
Patterns of failure induced by the earthquake

Table 2 被災パターン
Observed failure patterns induced by the earthquake

	損傷タイプ	件数	ため池名称
①	天端の沈下	4	田桑池, 笹平池, 松山池, 細蕨池
②	上流斜面のすべり・孕みだし	11	堂前池, 岩根大池, 蛇ノ鼻中ノ池, 蛇ノ鼻上ノ池, 三ツ森池, 田桑池, 二池, 菖蒲池, 北の内池, 笹平池, 細蕨池
③	下流斜面のすべり・孕みだし	5	大谷池, 青田新池, 田桑池, 笹平池, 三ツ池 (第2),
	うち腰石垣の変形・倒壊	3	田桑池, 三ツ池 (第2), 笹平池
④	縦断クラック	19	堂前池, 岩根大池, 大谷池, 蛇ノ鼻中ノ池, 蛇ノ鼻上ノ池, 三ツ森池, 酒蓋池, 新池, 大久保池, 荒池, 田桑池, 二池, 三ツ池 (第2), 十貫田池, 青田新池, 菖蒲池, 北の内池, 笹平池, 細蕨池
⑤	横断クラック	6	蛇ノ鼻中ノ池, 青田新池, 北の内池, 笹平池, 家老内池, 細蕨池
⑥	上流斜面保護の変形・転倒	11	堂前池, 岩根大池, 蛇ノ鼻中ノ池, 蛇ノ鼻上ノ池, 三ツ森池, 二池, 菖蒲池, 笹平池, 女鹿池, 家老内池, 北の内池
	うち急傾斜斜面の波除工の転倒	4	堂前池, 蛇ノ鼻上ノ池, 三ツ森池, 菖蒲池
⑦	底樋管の破損・離脱・土吸い出し	2	二池, 女鹿池
⑧	洪水吐コンクリート目地の開き	2	田桑池, 八ノ口池
	斜樋の破損	2	三ツ池上, 岩根大池
⑨	下流斜面からの漏水	2	荒池, (細蕨池)
⑩	池敷斜面・道路の崩壊・すべり	5	堂前池, 酒蓋池, 二池, 八ノ口池, 田桑池
	うち急傾斜斜面の波除工の転倒	3	堂前池, 八ノ口池, 田桑池
⑪	決壊	3	青田新池, 中池, 藤沼池

体では明確に沈下が観測できる。

②上流斜面のすべり・孕み出し

2番目に多く発生している現象は、上流斜面のすべりである。地震時には、繰り返す荷重によって、水分状態が高い上流斜面において堤体土の強度が低下して、せん断破壊が発生するものと考えられる。今回の地震では、ため池が満水状態である場合が多かったため、地震直後に

上流斜面のすべりの有無を確認できない事例が多かった。

③下流斜面のすべり

下流斜面にすべりが発生している事例では、上流斜面にも変状が発生し、天端の沈下も伴っている場合が多い。このような場合、堤体土の強度が低下し、安定性が大きく低下している可能性が高い。決壊した青田新池では、決壊部以外にも広い範囲にわたって下流斜面にすべりが

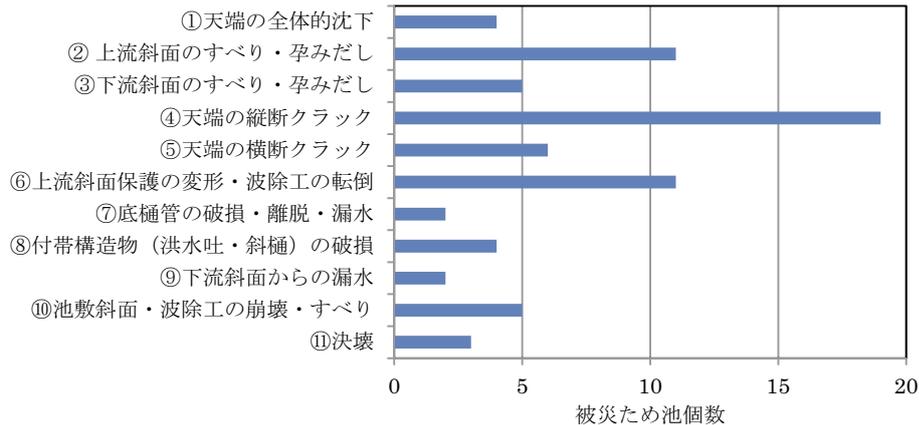


Fig. 50 被災パターンの頻度
Numbers of failure patterns observed in the investigated dams

発生していた。また、大谷池、田桑池、笹平池では、下流斜面のすべりに伴うと思われる斜面や腰石垣（下流法先ドレーン）の孕み出しがあった。

④縦断クラック

今回、最も多く見られた現象は、天端の縦断クラックである。天端の縦断クラックには、堤体が上下流方向に揺られて天端に引張応力が発生して鉛直に発生するタイプと上流斜面または下流斜面のすべりを伴うタイプの二つに分類される。漏水対策として堤体グラウトが施工されたため池では、グラウト面が不連続面となり、前者のクラックが発生することが多い。クラック発生後の浸透の問題を考慮すると、前者のクラックは浸透の状態に大きな影響を与えないが、後者のすべりを伴うクラックは上下流方向にも進展しているため、漏水発生の原因となることがある。また、後者のクラックは、余震や貯水位降下によって、大きなすべりに進展する可能性もある。後述する緊急対応の際には、どちらのクラックであるかを判定することが重要となる。

⑤横断クラック

横断クラックとは、堤体上下流方向に発生するクラックである。堤体の屈曲部や地山との取り付け部に発生することが多く、地震による揺れにより、三次元的に異なる方向へと振動することに発生すると考えられる。また、堤体と地山との不等沈下により発生する場合もある。横断クラックは、堤体上下流方向に連続した浸透経路を発生させるため、特に注意が必要である。

⑥上流斜面保護の変形・波除工の転倒

今回、特徴的な現象として、波除工の転倒が挙げられる。調査した地域では、波除工として鉛直または急傾斜のコンクリート擁壁を用いているものが多く、大きく転倒している事例が見られた。三ッ森池では、上流斜面上部に鉛直のL型コンクリート製擁壁の波除工が取り付けられており、地震の揺れにより転倒し、天端に段差のある縦断クラックが発生していた。また、菖蒲池、蛇ノ鼻上ノ池では、波除工として、根入れのほとんど無いコ

ンクリートブロックが堤体上流側に鉛直に設置されており、地震により容易に転倒しやすい状況であった。

⑦底樋管の損傷・離脱

二池および女鹿池では堤体内の底樋管や底樋管と斜樋の接合部付近で離脱または損傷し、底樋入り口周辺の堤体土が吸い出しを受けていた。吸出しが進行すると、パイピングにより堤体全体の決壊につながる可能性もあり、危険な現象である。

⑧その他の被災パターン

その他の破壊現象として、洪水吐や洪水吐水路のコンクリート目地の開き、斜樋の破損、下流斜面からの漏水などがある。また、今回、事例が多かったのは、池敷に設置された鉛直の護岸壁の転倒である。ため池堤体の安定性には直接影響がないものの、今後、護岸壁の構造については検討していく必要がある。

6 被災の特徴

a 地震の発生時期の影響

過去のレベル2地震では、兵庫県南部地震（1月）、新潟県中越地震（10月）はともに農閑期の地震であったのに対し、東北地方太平洋沖地震は、3月11日に発生した。この時期は、灌漑期直前であり、ため池のほとんどは満水状態にあったと推定される。実際に3月14日に調査を行った際には、常時から若干低い水位で管理されていた細蕨ため池以外のため池は全て満水状態であった。また、兵庫県南部地震では、堤体の崩落等の被害は発生しているが下流域に被害を及ぼす決壊被害はなかった。また新潟県中越地震においても、小規模なため池で決壊している他は下流域に被害を及ぼす決壊はなかった。これに対し、今回の地震では、藤沼貯水池の決壊により8名の犠牲者が出た他、青田新池においても下流住宅のすぐ横を決壊水が流出する被害が発生しており、比較的規模の大きいため池で大きな被害が発生し、かつ下流域に多大な二次被害が発生したことが特徴である。

b 被災パターンの考察

前節で述べたように、被災のパターンについては、急傾斜の波除工や鉛直の護岸工、堤体上の植木、底樋の破断による堤体土の吸い出し等が特徴的に認められた破壊パターンであった。特に、急傾斜の波除工や鉛直の護岸工、堤体上の植木は上流斜面のすべりなど被害を大きくしている傾向があるため、今後の復旧や耐震対策の際には留意すべきである。

一方で、新潟県中越地震では、緩いシルト質土の堤体において、ゆすり込みによって天端が50cm以上沈下する事例が多く見られた(例えば、野田ため池や牛ヶ久保ため池など(毛利ら, 2008))。今回は、堤体が沈下した事例は田桑池、笹平池、細麻池(決壊したため池は除く)の3例であり沈下量もあまり大きくなかった。むしろ、より明確なすべり形状を伴って天端の一部が崩落する事例が多く見られた。堤体土質等の調査を行い、破壊メカニズムの違いについて今後検討していく必要がある。

また、藤沼貯水池や三ツ森ため池など、規模が大きいため池で堤体グラウトにより改修が行われており、大きな被害が発生している。堤体グラウトは、天端から鉛直堤軸方向の面に広がり、地震時にはこの不連続面で引張り亀裂が生ずる可能性がある。また、堤体グラウトは漏水を遮断するだけであり、堤体の強度自体の改善はされていないことに留意すべきである。しかし、堤体グラウト自体が被害にどのような影響を与えているかは不明であり、今後その影響について検討する必要があるだろう。

7 耐震診断・設計に関する今後の検討

今回、行った調査では、大きな被害が発生したため池の近傍のため池調査も実施した。その結果、青田新池近傍の年中池、藤沼貯水池近傍の北の内ため池や八ノ口ため池など、平成5年頃以降に堤体を改修されているため池のほとんどは、軽微なクラック以上の被害は発生していない。このことから、近年、堤体を改修されたため池は一定の耐震性があると推察できる。一方で、唯一の例外として、笹平ため池は2008年に堤体が全面的に再盛り立てされて改修されているにもかかわらず、上下流斜面に多数のクラックを伴うすべり変形が認められている。笹平ため池では、材料の三軸圧縮試験(UU試験)を行い、震度法により耐震設計が行われている。

現在の耐震設計法である震度法により改修されたため池がどの程度の地震力まで耐久性を持っているかという問題を検討するためには、調査および試験法の精度や不確実性、解析の精度、施工管理の方法等も含めて検証していく必要がある。今後は、ため池の耐震診断・設計を考える上で、以下のような検討を行う予定である。

①調査・試験法の検討

上述したように、笹平ため池では、材料の三軸圧縮試験(UU試験)を行い、震度法により耐震設計が行われている。安定解析に用いられた強度定数、つまり三軸圧

縮試験の方法やその精度について検証する。今後は、笹平ため池の復旧工事に合わせて堤体土の不攪乱試料のサンプリングを行い、三軸圧縮試験を実施し、設計に用いられているパラメータの精度を検証する予定である。

また、既往のため池堤体の耐震診断を行うにあたり、対象となるため池の数が多く、調査法としてそれら全てでボーリングや三軸圧縮試験を行うことは調査コストの面で困難である。簡易なサウンディング試験を用いて設計に用いる強度定数を推定する手法の開発を行う予定である。

②施工に関する検討

通常、築堤の締固め管理は、現場密度試験等を行い、下限値管理で行われている。今後は、笹平ため池を対象に、不攪乱試料から得られた密度と設計時の密度を比較して、施工の状態について検証する予定である。

③設計手法に関する検討

現在の耐震設計法である震度法は、経験的に定められた水平震度を用いて静的な安定解析を行うものであり、この水平震度は実際の地震力との直接対応関係がない。そこで、設計法(解析法)の検証については、以下のような検討を行う予定である。i) 始めに、笹平ため池を対象に、設計時のパラメータおよび復旧工事の際に採取する不攪乱試料から得られたパラメータを用いて、それぞれ震度法による安定解析を実施する。これによりパラメータの不確実性が震度法による解析結果にどのように影響するかについて、検証する。ii) 笹平ため池は、すべり変形が生じているが、完全な崩落は発生していない。したがって、安全率で言えば、1.0を若干下回った状態であるといえる。震度法を用いた解析から得られた安全率と比較することにより、一つの事例としてではあるが、実際の地震力と水平震度の関係を得ることができる。また、他の解析手法(例えば、ニューマーク法や動的応力変形解析)を実施し、実際の破壊形態と比較して、変形量を指標とした性能照査型の設計手法についても検証を行う必要がある。

III 緊急対策と復旧

1 クラック調査と貯水位管理

a クラック調査

3月14日以降に被災ため池を調査した際の緊急対策について述べる。緊急対策の目的は、地震によりクラックやすべり、漏水などの被害が発生したため池において、貯水の維持や余震によって堤体の安定性がさらに損なわれ、被害が拡大して決壊等の大きな被害に進展するのを防止することである。緊急対策として、先ず必要なことは貯水位管理である。堤体の危険性を完全に取り除くには貯水を完全に落水すればよいが、上述したように、地震発生は灌漑期の直前であり、落水すれば受益地においてその年の作付けを断念することになる。また、養鯉池

として用いられているため池が多く完全落水ができない場合も多かった。そこで、被害の程度から堤体が安全性を保つ貯水位を推定し、その水位を維持する対策を行った。地震によりクラックが生じたため池の安定性を定量的に推定し適切な貯水位を決定する必要がある、今後の課題である。今回はクラックの深度を推定し、その深度より下で貯水位を維持する対策を取った。

クラックの深度を調査する方法としては、クラックに石灰水を注入し、掘削して着色跡を追跡する方法がある。石灰水は、消石灰と水（おおよそ消石灰 10kg に水 40～50L）を混合し、溶け残りがないように良くかき混ぜて作成する。できるだけ細かいクラックまで行き渡るように、粘性が大きくなりすぎないように注意し、クラック内に少し貯まる程度の量を注入する。また、降雨によりクラックが埋まってしまうので、被災後できるだけ早い時期に石灰水を注入しておくことが重要である。Fig.51 に、新潟県中越地震で被災したため池のクラックに石灰水を注入したときの写真を示す。堤体土が薄い色を呈している場合には、水に容易に解けるメチレンブルーを使用する場合もある（ただし、危険物に分類されるため、眼、口、皮膚等への付着には注意を要する）。

クラック調査の他の方法としては、クラックに塩水を注入し、塩水注入前と注入後に電気探査を行い、比抵抗の変化するところを抽出する方法もある。この方法では、非破壊でクラックの深さや方向を 2 次元または 3 次元的に推定することができる。

b 貯水位管理

被災パターンやその程度、クラックの深度等から、管理を行う貯水位を決定する。上述したように、灌漑期直前の被災であったため、できるだけ高い貯水位を維持することが望まれた。貯水位の決定方法について、被災パターン別に述べる。

今回、事例は少ないが、Fig.49 に示した被災パターンのうち、被災後に発生した漏水には特に注意が必要である。また、堤体の屈曲部や地山取り付け部で発生した開いた横断クラックも、時間の経過とともに漏水が発生する要因となるため、注意が必要である。特に、漏水量が大きい場合や時間とともに増加する場合には、上流斜面の安定性が損なわれようとも、急速な落水が必要である。今回、地震後に漏水があったと報告されたため池は荒池（本宮市）のみであったが、6 月 6 日の調査時点では、完全に落水されていた。

次に、今回被害が最も多かった天端の縦断クラックの場合について述べる。上述したように、天端の縦断クラックは、鉛直に発生するクラックとすべりに伴うクラックの 2 種類が考えられる。いずれの場合も、Ⅲ 1 a で示したクラック調査を行い、クラックの深度を推定するとともに、貯水位をある程度を低下させて、上流斜面にすべりや孕み出し等の変状がないかを確認する必要がある。上流斜面にすべりが認められる場合はすべり下端より下ま



Fig. 51 クラックの確認状況
Measurement of a crack depth



Fig. 52 能登地震の後に降雨ですべりが発生したため池（銭茂谷内ため池）

Sliding on the upstream slope induced by rainfalls after the Noto earthquake (Zenimoyachi dam)

で、鉛直なクラックの場合はクラック深度以下まで貯水位を低下させる。また、上流斜面のすべりに伴うクラックが疑われる場合は、水位低下時にすべりが進行しないように、できるだけゆっくり水位を低下させる必要がある。

また、クラックはブルーシート等で保護しておくことが重要である。Fig.52 は能登地震後に降雨によってすべり発生したため池である。このように、クラックに雨水が浸入すると、クラック周辺の間隙水圧が上昇し、すべりを誘発する可能性がある。

また、地震後に斜樋栓を閉めても底樋管から水が排出される場合、貯水位以下で斜樋が破断しているか、堤体内で底樋が破断しているかの 2 通りの可能性が考えられる。後者の場合は、堤体土が侵食され、パイピング等の重大な破壊が進行しかねない。したがって、底樋管からの流出がある場合には、貯水位を低下させ、原因を特定



Fig. 53 岩根大池の上流斜面すべり形状の変化
Enlargement of the sliding failure on the upstream slope of Iwane-ooike dam

する必要がある。また、新潟県中越地震の場合には、地震発生が非灌漑期の10月であり、翌年の春に貯水する際に、初めて底樋管の破断が発見されたため池もある。本復旧の遅れを生じさせないためには、底樋管の破断を確認できるように、管内カメラ等を早急に準備し、貯水がある間に管内の水漏れを調査しておく必要がある。

また、余震や豪雨などが発生する可能性を考慮し、以下の検討を行っておく必要がある。被災したため池の集水域等を確認し、降雨時の流出量を簡便に推定できるように準備しておく、また、余震等により万が一決壊した場合を想定し、決壊時の下流域の被害域を推定し、避難体制を構築しておく、などの対策が必要である。

2 余震等による被災の拡大

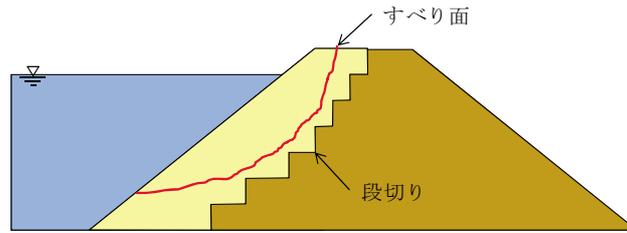
今回の地震では、多くの比較的大きな余震が発生した。岩根大池では、Fig.53に示すように、余震や2度の貯水位降下により、上流斜面のすべりの幅が数m広がるとともに、すべり土塊が池側に若干滑動した。しかし、決壊に繋がったり、復旧計画が大きく変わるような大きな変化は発生していない。蛇ノ鼻上ノ池でも、余震によりコンクリート壁護岸の背面地盤の変形が進行したが、破堤につながるような変化は生じていない。また、三ッ森池では、被災後、連続した監視体制のもとで貯水位管理が行われ、地震後のクラック幅の変化が測定されていたが、特段の変化はなかった(数mm程度)と報告されて

いる。これらのことから、前節で述べたように、クラック深度やすべりの範囲を調査し、貯水位管理を行うことで、今回の余震レベルでも破壊が大きく進行しなかったといえる。

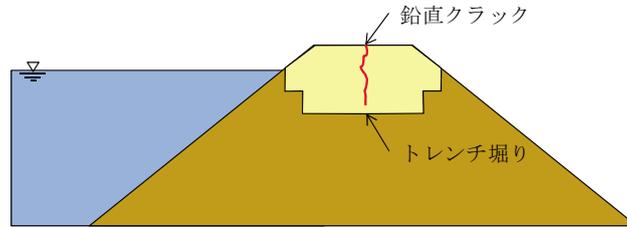
3 復旧方法

クラック探査、貯水池内のすべり及び底樋管・斜樋の破断を確認したら、復旧計画を立てる。底樋が破損している場合には、堤体を上下流方向にV字カットし、底樋の付け替えが必要となるため、改修の規模は大きくなる。次に、クラックの補修対策について記述する。クラック調査を行った後、クラック部分を全て掘削により取り除き、再盛り立てを行う。Fig.54(a)に示すように、すべり変形を伴っている場合には、変形部分を取り除き、再盛り立てを行う。刃金土で盛り立て、前刃金形式とすることが望ましい。また、Fig.54(b)に示すように、発生したクラックが鉛直クラックであり、上下流斜面に大きなすべり変形がない場合には、クラックを追って天端直下を掘削した後、再盛り立てを行う。クラックがコアまで達している場合には、刃金土で入念に締固める必要がある。

また、復旧の際には、下流域の状態を考慮し、決壊した場合に二次被害が発生する可能性がある規模の大きいため池では、単なる原型復旧ではなく、耐震基準を満足するように強化復旧を行うことが望ましい。三ッ森池で



(a) 上流斜面のすべりが発生している場合



(b) 鉛直な天端クラックが発生している場合

Fig. 54 クラックが発生した堤体の復旧
Repair methods of damaged embankments with cracks

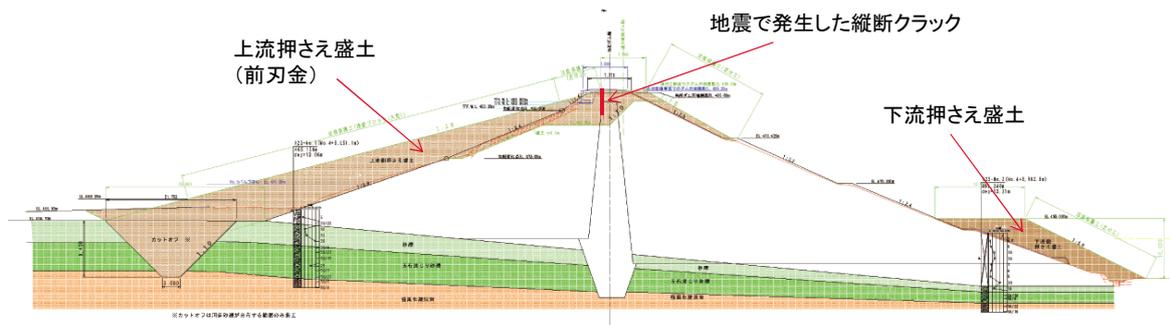


Fig. 55 三ツ森池の復旧計画
Plan for retrieval of Mitsumori dam

は、Fig.55 に示すように、地震で発生した縦断クラック部分の補修だけでなく、上流斜面の押さえ盛土（前刃金）や下流押さえ盛土を含めた復旧が検討されている。また、今回被害が多かった急傾斜の波除工についても、再度、地震で崩壊しないような対策（IV 2b で後述する）が必要である。

IV 今後の地震を想定したため池の減災対策

1 減災対策要否の判定方法の提案

ため池の地震対策は、従来、「土地改良事業設計指針 ため池整備」および「土地改良施設 耐震設計の手引き」に従って行われるが、数多くのため池の対策を実施するには、多大なコストと時間を要する。そこで、数多くのため池から緊急に対策が必要なため池を選定する手順を提案する。

豪雨を対象とした対策要否の判定については、農村振興局防災課で「農業用ため池緊急点検（平成 17 年度）」が実施され、早急に対策が必要なため池が約 2,200 カ所選定されている。この点検では、外観から得られるため

池の特徴（流域比、堤体諸元、老朽度、下流の状態等）を点数化し、過去の被害との相関から決定された判定式を用いて堤体の安定性を評価し、決壊の恐れがあるため池を選定している。豪雨の場合は、洪水吐や流域の状態がため池の安定性に大きく影響するため、このような外観による判定が効果的である。

一方、地震の場合には、外観から調べることが可能な洪水吐や堤体諸元、老朽度だけでなく、外観では調査が不可能な堤体や基礎地盤の強度が極めて重要であり、豪雨の場合に用いた点数化による評価の適用は困難である。堤体強度を調べるためには、ボーリング等の調査が必須となり、コストの観点から全てのため池で実施することができない。以上のことから、対策要否の選定には、始めに、決壊した場合の下流域のリスクを元に絞りこみを行い、絞り込んだため池を対象に堤体強度の評価を行う選定手順を提案する（Fig.56）。始めに、ため池データベースに記載のある貯水量、改修暦、被災想定戸数から、1 次スクリーニングを行う。次に、氾濫解析を実施し、ため池が決壊した場合の二次被害の範囲を特定する。

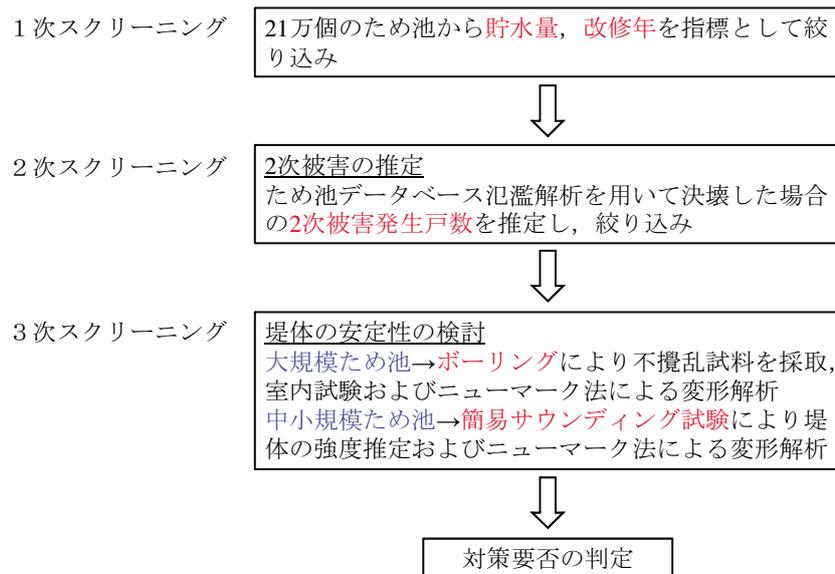


Fig. 56 減災対策の要否の判定方法

Selection method of small earth dams that need countermeasures reducing risks of downstream areas

この2次被害の大きさから、2次スクリーニングを行う。最後に、3次スクリーニングとして、ため池堤体の地震時安定性を検討するために、ボーリングやサウンディング調査を行って、土質パラメータを取得し、震度法やニューマーク法等による解析を行って、対策の要否の判定を行う。

a 1次スクリーニング

今回の被災の特徴として、大きな被害が発生したため池の近傍でも、近年堤体が改修されたため池では、すべりなどの堤体の変形を伴う大きな被害は発生していない。したがって、堤体が改修された年度でスクリーニングすることが可能である。フィルダムの設計基準および土地改良事業標準設計指針「ため池整備」で震度法が明文化されたのが、それぞれ1956年と2000年であり、これらの年の前か後かがスクリーニングの一つの基準となると考えられる。よりスクリーニングの精度を高めるためには、過去の設計図書や過去にため池の設計を行なった担当者からの聞き取り等から、ため池の設計に震度法を導入した年について調査を行なって基準年を決定するとよい。

また、ため池データベースには貯水量と決壊した場合の被災想定戸数が記載されている。これらのデータから決壊した下流域の被害の概略を推定することができる。改修年、貯水量、被災想定戸数の指標をどの程度の基準としてスクリーニングするかは、次の2次スクリーニング（氾濫解析）で実務上、検討することが可能な値とするべきである。

また、ため池の設計資料が残っていることが少ないことが、今後の耐震診断に大きな障壁となっている。今後は、ため池データベースを更新するとともに、耐震診断

に必要な項目（堤体強度やボーリング資料、設計資料）についてもデータベース化していくことが望ましい。

b 2次スクリーニング

2次スクリーニングは、決壊した場合の2次被害の大きさで決定する。ため池データベース（谷ら、2002）を用いることにより、データベース化されたため池の位置と貯水量から、決壊した場合の下流氾濫域と水深、到達時間を簡便に計算することができる。氾濫解析結果から設定した一定の最大水深（例えば、水深1mなど）以上の領域に住宅や公共施設がある場合に、次の3次スクリーニングの対象とする。最大水深の深さは、3次スクリーニングが検討可能な個数となるように決定する。

c 3次スクリーニング

3次スクリーニングでは、堤体の安定性の調査、解析を行う。大規模ため池では、ボーリングを実施し、不攪乱試料を採取して、せん断試験を実施して堤体土の強度定数を推定する。中小規模のため池であれば、自動式スウェーデンサウンディング試験機を用いて堤体強度を推定することも可能である。また、規模の大きな堤体の場合でも、堤体内のばらつきを考慮して、サウンディングにより多点の調査を行うことにより、ボーリングによるデータを補完することができる。堤体土の強度定数を決定したら、震度法や繰り返しによる堤体土の強度低下を考慮したニューマーク法（修正ニューマーク法）等を用いて、堤体の変形量を推定する。また、基礎地盤および堤体の液状化の可能性も検討する。液状化が発生する場合や、解析結果である一定の変形量（例えば、貯水位を下回る沈下量）を超える場合は減災対策を実施する計画を立てる。

2 減災対策の方法の提案

a ソフト対策

豪雨災害の場合には、気象予報等や降雨量、貯水位等のモニタリングにより、決壊をある程度予測できるため、ため池決壊の事前に避難を開始することが可能であり、現在、対策の実用化に向けて研究開発が行われている。しかし、地震の場合には、地震直後に決壊が始まったとすると、一般的なため池で数分から数十分の間に決壊水が下流域に到達するため、行政や管理者が避難警報を発令してから避難を開始することは時間的に困難であろう。

唯一の方法としては、i) 地震発生と同時に住民が自主的に避難できるようにハザードマップを作成し、避難訓練等を実施する方法や、ii) 被害が大きいと推定されるところに防波堤を作成したり、遊休農地に決壊水を導流して、避難時間を確保するなどの補完的なハード対策を設置する方法が考えられる。前者については、「海岸地域で地震が発生すると、津波を予測して、自主的に避難する」と同様に、「ある一定の震度（震度階）があれば、ため池下流域の住民が自主的に予め定めた避難路で避難を開始する」、などの事前の通知や訓練が必要であり、今後、ハザードマップを下流住民に公開するとともに、ため池の受益者、管理者、地方自治体、下流住民を含めた協議を行っていくことが必要不可欠である。この合意形成の手法についても検討が必要であろう。

b ハード対策

地震の減災対策として最も有効な方法は、堤体を補強することである。今回の地震では、堤体が改修されたため池（堤体グラウト工による改修を除く）では、決壊被害やすべりを伴う大きな被害は発生していない。したがって、現行のレベル 1 の耐震基準に基づいた設計や修正ニューマーク法による設計を基に耐震対策を行えばよいものと考えられる。ただし、これら安定解析をベースとした方法では、ため池のような比較的小さな盛土構造物の場合、強度定数の粘着力 c が敏感なパラメータとなることが多く結果の信頼性が問題となる場合がある。今後は、堤体土の強度のばらつきや調査・試験方法の不確かさを考慮した設計方法（パラメータの決定方法）を検討していく必要がある。

耐震対策として、前刃金工法による浸潤線低下や下流法先部の腰石垣、抑え盛土等の補強が一般的である。また、堤体の安定性を向上させるために上下流斜面を緩勾配にしなければならない場合があるが、下流側の土地に制約がある場合など斜面長を延長できないときには、ジオテキスタイルを用いた堤体補強工法（松島ら，2011）やセメント改良した底泥土を用いた堤体補強方法（谷ら，2002）が有効である。また、今回、上流斜面に急勾配の波除工（パラペット）が崩壊する事例が数多く見られたが、このような場合でも、Fig.57 に示すように、上述したジオテキスタイルを用いた堤体補強工法を用いること

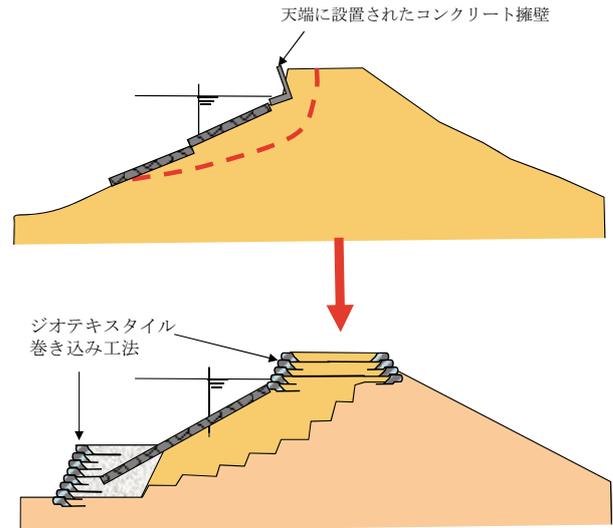


Fig. 57 ジオテキスタイルを用いた急勾配部の補強方法
Reinforcement of a steep slope in an embankment dam using geo-textile

によって、低コストかつ簡便に堤体の耐震性を向上させることができる。

V 結言

本報告は、東北地方太平洋沖地震によって被災した福島県内の個々のため池の被災状況を述べるとともに、無被害のため池の調査結果も含めて、被災発生の特徴について分析を行なったものである。これまでの地震被害と同様に、堤体に縦断クラックや上流斜面のすべりが多く発生するとともに、急勾配の波除工の転倒や底樋の破断に伴う堤体土の吸い出しなどの被災パターンがあった。また、灌漑期前の貯水位の高い時期の地震であったことが、被害を大きくした可能性がある。今回の被害の最大の特徴は、比較的大きな規模のため池が決壊し、多大な 2 次被害を発生させたことである。決壊した青田新池におけるニューマーク法による解析が実際の被災と比較的良好一致を示したが、再現解析については、今後さらに検討・実施していく必要がある。また、改修済みで被害を受けたため池、無被害のため池を対象に、被害の有無を分けた原因について究明していく予定である。

また、被災調査の結果から、クラック調査や貯水位管理等の緊急対応方法について取りまとめた。また、記述した緊急対策を実際に行った結果から、今回のような比較的大きな余震を繰り返し受けても、被害の大きな拡大につながっていないことが分かった。

最後に、今後のレベル 2 地震を想定し、ため池の減災対策方法について提案した。対策を必要とするため池を選定する手法として、次の手順を提案する。①ため池データベースに記載の過去の改修年度や貯水量、被災想定戸数から 1 次スクリーニングを行う、②決壊した場合の氾

濫解析から下流域の二次被害を算定し、ある最大水深以上の住宅個数などを基準として2次スクリーニングを行う。③ボーリングやサウンディング試験を行い、堤体土の強度（特に、繰り返しによる強度低下の有無や液状化）を判定し、震度法や修正ニューマーク法によって対策の要否を検討する。対策の方法の具体的手法については、今後検討していかなければならないが、従来方法以外のソフト対策や低コストなハード対策、新技術を積極的に導入していく必要があるだろう。特にソフト対策を行うためには、ため池決壊時のハザードマップを公開して、地域住民、ため池の受益者や管理者、地方公共団体による協議が必要であるとともに、その合意形成の手法についても検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 谷 茂 (2002) : ため池災害の現状と予測技術, 農業土木学会誌, 70 (5), 33-36
- 2) 谷 茂・福島伸二・北島 明・石黒和男: 老朽ため池における砕・転圧盛土工法による堤体改修法 (2002), 農業土木学会誌, 70-12
- 3) 鉄道総合技術研究所 (2007) : 鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物, 413-417
- 4) 農林水産省農村振興局整備部設計課監修 (2006) : 土地改良事業標準設計指針「ため池整備」, 農業土木学会, 51-54
- 5) 農林水産省農村振興局整備部設計課監修 (2004) : 土地改良施設 耐震設計の手引き, 農業土木学会, 371-378
- 6) 福島県農林水産部 HP (2011) : http://wwwcms.pref.fukushima.jp/download/1/230427_aff_higai-02.pdf
- 7) 松島健一・毛利栄征・堀 俊和・有吉 充・上野和広 (2011) : ジオテキスタイル工法による石川県宮ノ本池の強化復旧事例—下流法先部の補強およびパイピング防止対策—, 農工研技報, 211, 205-214
- 8) 毛利栄征・堀 俊和・松島健一・有吉 充 (2008) : 平成19年(2007年)能登半島地震によるため池の被害, 農工研技報, 208, 15-24

Damages of Small Earth Dams Induced by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

HORI Toshikazu, UENO Kazuhiro and MATSUSHIMA Kenichi

Summary

Many small earth dams were damaged induced by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. 3 dams were totally collapsed. The reserved water ran off the downstream area and killed 8 people. In this paper, conditions of each damaged dams and the features of damages were described. Longitudinal cracks on the crests and sliding failures on the upstream slopes were mostly often observed and falls of wave protection wall on the upstream slopes enlarged the damages. The water levels of the dams when the earthquake happened were full because it was just before the irrigation season and it is one of the causes of large damages. In order to prevent breaches of the damaged dam after earthquake, emergency measures such as investigations of the depth of the cracks and controls of the reserved water levels were performed.

We proposed a method of countermeasures for small earth dams against future earthquakes. Year of past countermeasures and damaged area in case of dam breaches are important factor to select dams which need countermeasures among 210,000 dams. After that, soil strength of an embankment using boring or sounding should be decided for a stability analysis or Newmark analysis. Finally, we can decide small earth dams which need disaster mitigation.

Keywords : small earth dams, earthquakes, damages, emergency measurement, disaster mitigation