

東北地方太平洋沖地震に伴う福島県 須賀川市藤沼ダム決壊の概要

小野 桂介*・風間 聡*・川越 清樹**・横尾 善之**

Dam Break caused by the 2011 off the Pacific Coast of
Tohoku Earthquake, Fukushima Prefecture, Japan

Keisuke ONO*, So KAZAMA*,
Seiki KAWAGOE** and Yoshiyuki YOKOO**

Abstract

A gigantic earthquake, with a magnitude of 9.0, the maximum ever recorded in Japan, struck the Tohoku region of Japan on 11th March, 2011. As a result, as many as 745 reservoirs in Fukushima prefecture were damaged. The failure of the earth-fill dam at Fujinuma reservoir in Fukushima prefecture, which resulted in eight deaths in a village downstream, was only the second such dam to fail completely in recorded history, the first being Mnnou lake dam due to Ansei Nankai earthquake in 1854. According to official records, of the 210,000 reservoirs in Japan, at least 20,000 dams are vulnerable to future earthquakes. Therefore, it is imperative that the failure mechanism of the Fujinuma reservoir be understood. As such, we developed several theories to explain what happened. Adherence to recommendations made in this report will reduce the potential for damage in future catastrophic events.

キーワード：アースフィルダム，ため池，鉄砲水，氾濫被害

Key words：earth-fill dam, storage reservoir, flash flood, flood damage

1. はじめに

2011年3月11日午後2時46分に牡鹿半島の東南東約130km付近の深さ約24kmを震央としたマグ

ニチュード9.0の日本観測史上最大の地震(以下東北地方太平洋沖地震)が発生した¹⁾。東北地方太平洋沖地震に伴う津波により東日本の太平洋沿岸

* 東北大学大学院工学研究科
Department of Civil Engineering, Tohoku University

** 福島大学大学院共生システム理工学研究科
Division of Environmental System Management, Faculty
of Symbiotic Systems Science, Fukushima University

本報告に対する討論は平成24年5月末日まで受け付ける。

域は甚大な被害を受け、地震による死者・行方不明者20,899人²⁾の概ねは津波を原因にしている。その一方、内陸域でも地震動、および地震動に伴う地殻変動による被害が認められ、人為的な造成地形、軟弱な地層を呈する沖積平野、急峻な斜面での災害が数多く生じている。

内陸域に含まれる福島県須賀川市(図1)では、藤沼ダム決壊による出水に伴いダム下流域の集落は壊滅的な被害を受け、死者・行方不明者8人の人的被害が発生している。地震による日本国内のダム決壊は1854年安政南海地震による満濃池決壊以来、世界的に見ても有名なものとしては1925年のカリフォルニア州サンタバーバラ郡のシェフィールドダム決壊以来の希な事例である。

津波被害に注目されているものの内陸域でも地震関連して未曾有な被害が認められている。今回の被災は、地域の灌漑を担う「ため池」に係るが、全国各地には、約21万箇所のため池が存在し、その内の約2万箇所が改修必要とされている³⁾。改修の必要なため池の多くは、築造から長い年月を経て老朽化していることともに、現在の耐震基準に準拠できない経験的技術に依存して築堤されて

いる。これに対し、2000年の土地改良事業設計指針「ため池整備」⁴⁾、2004年の土地改良施設耐震設計の手引き⁵⁾等により補強策が示されているものの、補強対象数が多いこと、築堤の母材そのものが経験的手法当時のものであることから、整備が困難な状況である。また、築堤の多くは土材が利用されており、時間経過とともに老朽化するため池が更に増加すること、並行して補強対象数も増えることも想定される。ため池の下流域には、灌漑施設としての用途から集落や農地が集中している。そのため、人命、資産を保全するための一層の防災対策、ため池管理を講じなければならない。こうした背景をふまえ、本文では、将来的なため池に係る防災対策と管理の提案を見据え、藤沼ダム決壊による被害の事例について報告し、今後の防災上の留意事項を考察する。

2. 藤沼ダムの概要⁶⁾

決壊した藤沼ダムは、阿武隈川水系江花川・箕の子川支流に存在する堤高18.5m、堤頂長133.0m、堤体積99,999m³の灌漑用アースフィルダムであり、1937年に着工し、戦中を含む12年間を経過し

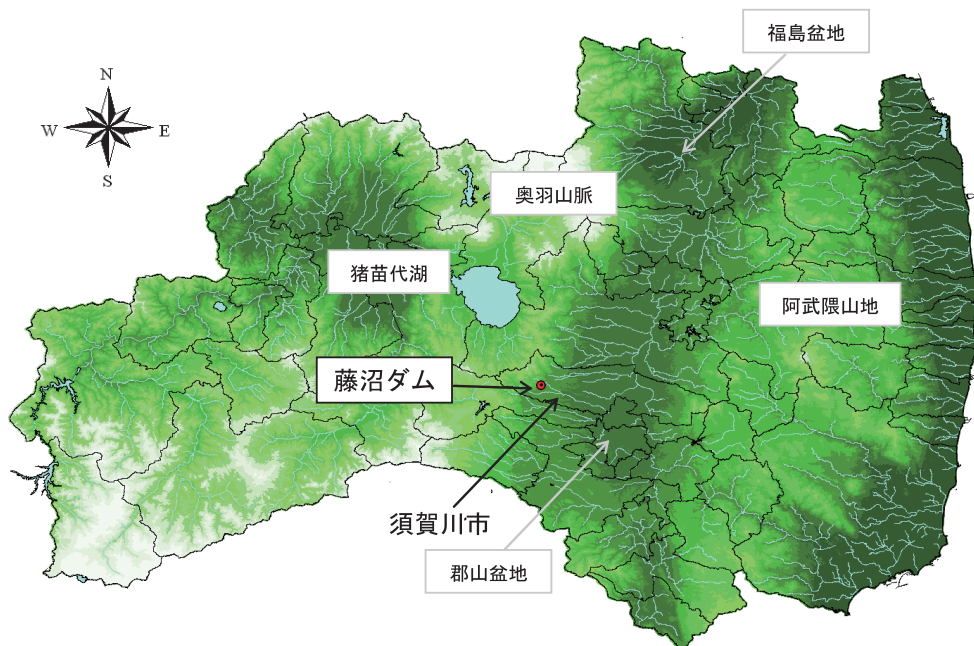


図1 藤沼ダム位置図

て1949年に竣工された。福島県の郡山盆地は、水田地帯が広がる一方で降水量が少ない気象条件を呈している(参考値 AMeDAS:長沼 1979年~2000年の平均値1332.7mm/year⁷⁾)。そのため、阿武隈流域の分水嶺の外に存在する猪苗代湖から取水する安積疎水が整備されているように、当該地では、灌漑用の水資源を確保するための対策と施策が古くから講じられていた。こうした背景もあり福島県の南部には、ため池が多数分布している。藤沼ダムにより貯水される藤沼湖は周辺地域の最大級規模のため池である(有効貯水量は約150万m³)。ため池からは、856haに及ぶ肥沃な水田に農業用水が配られており、水不足解消からの生産性の高い営農への取り組みがなされてきた。また、アースダム竣工以降は、時間経過や日本各地における近年のため池老朽化問題も踏まえて、幾

度も護岸やグラウトなどによる補修を行ってきた記録がダム碑に残されている(表1)。現在、藤沼湖周辺には、温泉、コテージ、オートキャンプ場等のレクリエーション施設を含む約80haの公園が整備されており、年間10万人の観光客が訪問する地域における観光資源として役割も担っている。

3. 福島県内の地震動およびため池被害

気象庁の報告による東北地方太平洋沖地震の震度記録⁸⁾を福島県分布図としてまとめたものが図2である。福島県の太平洋沿岸域から福島県の中央に位置する福島盆地、郡山盆地、そして奥羽山脈にかけての広い範囲で震度6弱から震度6強の記録が認められている。藤沼ダムの最も近隣である須賀川市長沼においても震度6弱が記録されている。地域的な傾向として、福島県南部は、太平洋沿岸域に次いで震度6強の記録の多い特徴を有している。また、防災科学技術研究所による東北地方太平洋沖地震による強振動のレポートを参考にすると、藤沼ダムの分布する須賀川市周辺のK-NET 白河で地震時の7番目(1425gal)、KiK-net 西郷で8番目(1335gal)の最大加速度が観測されている⁹⁾。これらの機関の報告からも福島県南部は東北地方太平洋沖地震において強震が生じていたことが明らかであり、藤沼ダムの決壊も強

表1 藤沼ダム修復の履歴⁶⁾

竣工年度	事業名	工事名
昭和48年	ため池等整備事業	護岸工:1,270m
昭和52~54年	ため池等整備事業 (土砂崩壊防止)	波除工:1,044.33m 余水吐工:274.31m
昭和57~60年	ため池等整備事業 (土砂崩壊防止)	水路工:619.3m
昭和59~64年	ため池等整備事業	グラウト:75m ³ 取水工:3箇所 波除工:1700.0m

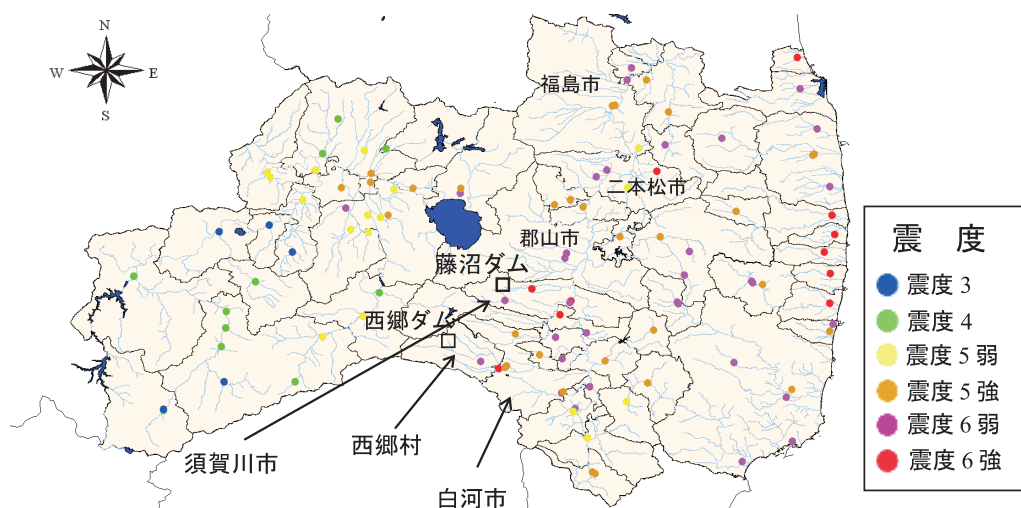


図2 福島県の東北地方太平洋沖地震の震度分布

震が誘発原因であることを示している。

なお、東北地方太平洋沖地震に関連して、相双地区を除く福島県内では、現段階で745箇所のため池損傷による被害が報告されている¹⁰⁾。従来から震度の大きい地震によりため池損傷の頻発する事例は多い。例えば1995年の兵庫県南部地震では1222箇所¹¹⁾、2004年の新潟中越地震では561ヶ所のため池に被害が認められ¹²⁾、ため池の老朽化、現在の耐震基準に準拠できない実情が示唆されている。ただし、こうした地震等を経験しているにも関わらず地震によるダム決壊という事例は約160年来の希少なものである。そのため、決壊現象と被害の状況を検証し、今後の防災対策と管理の提案に反映しなければならない。

4. 調査結果と考察

図3に藤沼ダムおよびその周辺の概要を示す。調査結果と考察は、藤沼ダムにおける被害と下流域の集落における被害に分類して報告する。

4.1 藤沼ダムにおける被害

藤沼湖は、旧地形より北東方向と東方向に認められる2つの沢地形（支川）に築堤し堰き止めることにより貯水されている。北東の築堤が堤高15.0mを超えており藤沼ダムと称されている。今回の決壊は藤沼ダムで生じており、ダム左岸側においてダム形状が残存する一方、ダム右岸側においては沢地形を堰き止めていたダム堤体の形跡は皆無である。右岸側においては決壊に伴う流出水による表土の浸食も激しく、こうした状況から破堤はダム右岸側から生じたことが明らかである。図4は、ダム右岸側の全景写真と調査結果をまとめた概要図である。土砂流出によりダムの形状は残存してないが、押し出された土砂がダム下流側の河道脇に堆積している。堆積した土砂には大別して3箇所の段差が認められている。堆積土砂の比高の連続性から、これらの段差は滑落崖になっていることが有力であり、土塊がスランプ状に移動した形跡が認められている。また、破壊によりアースフィルダムの内部構造を随所で確認できるが、ダムの構造は水平の層理構造（層厚20～

50cm）を成している。目視より認められる土層は、腐植土層（炭化）、砂礫層、軽石混じりの火山灰が主であり、同一の構成材であっても土層により密実度、粒径等の様相は異なる。なお、堤体の一部がスランプ上に移動したことにより、土砂堆積部においても移動土塊の中に層理構造が傾斜を変えて残存している。堆積部での層理傾斜の統一性はないものの、堆積部流末先端では河床勾配に対し受け盤で残存するものが多く、堆積部では流れ盤のものが卓越する。

東北地方太平洋沖地震の後に福島県内のアースフィルダムを調査した結果、多くの貯水池で堤体の亀裂や斜面の張り出し等の被害が見られた。特に藤沼ダムの南西15kmに位置する西白河郡西郷ダム（図2）の被害は大きく、堤頂部に複数の亀裂があり、堤内外の斜面が張り出していた。また、地震当時、福島県内の灌漑用ため池は代掻きに備えて満水位に近い状態であった。フィルダムにおける地震被害に関する文献¹³⁾および現地状況を踏まえて、藤沼湖のアースダム決壊にいたるメカニズムを考察すると以下の3つのメカニズムケースが考えられる。なお、これらは独立な現象ではなく複数のケースが同時進行で生じる場合もある。

- Case ① 地震動によりダム頂において縦クラック、堤体の上流側のり面において滑動が生じ、その後、堤体が決壊
- Case ② 地震に伴う液状化による堤体の変形もしくはボイリングによる堤体自身の崩壊
- Case ③ 堤体内の異なる土層内で生じた滑りによる崩壊

現地の痕跡のみを考慮すれば、Case ①、Case ③のメカニズムが推定される。Case ①単独の場合は、崩壊後に決壊に至るまでのタイムラグが生じていることとなる。しかしながら、住民からの状況聴取によれば、地震発生直後に土石流が集落到達していた。また、右岸の林地には決壊による出水の痕跡が広い範囲で堤頂より約1m下に認められていた。Case ①の単独であれば、堤体付近の水位は堤頂付近であるものの、下流側は河床勾配にあわせて傾斜する痕跡になることが推測さ

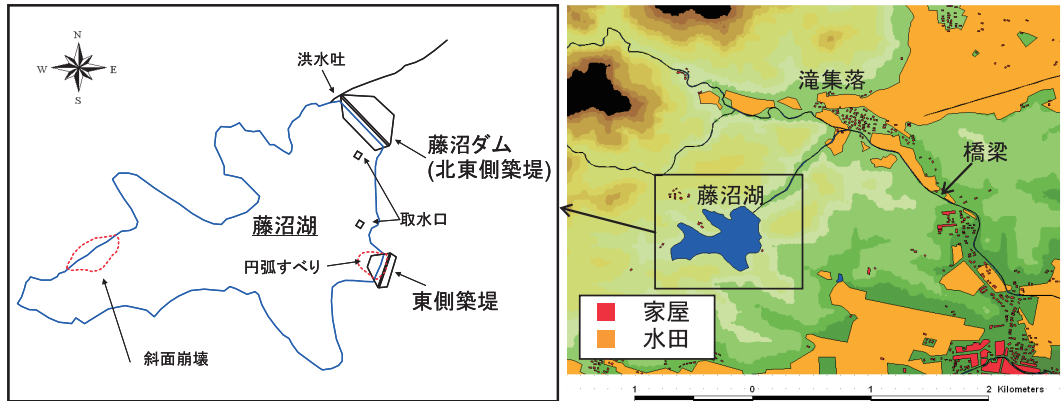


図3 藤沼ダムおよびその周辺の概要

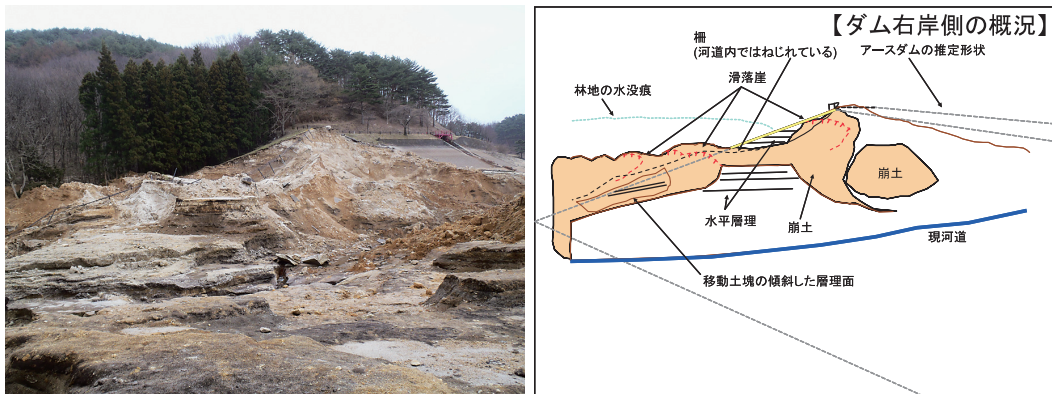


図4 ダム右岸の概要



図5 ダム左岸の概要

れる。こうした状況からも、右岸アースフィルダムの決壊は、Case ①と Case ③が同時に発生したことにより引き起こされた可能性が高い。また、Case ③の同時的な発生を推測させる要因として、被災時期が3月という融雪時期であったことも挙げられる。この地区では、融雪時期に代掻き用の貯水を行うため貯水位が高い状態に設定する。そのため、水圧負荷の増加も Case ③の発生を助長していた可能性も高い。

図5はダム左岸側の全景写真と調査結果をまとめた概要図である。右岸側に比べ、左岸側においてはダム形状が明瞭に残存している。また、右岸側において生じた決壊および決壊位置へ向かう貯水池内の流れにより、残存したダムの堤頂部材がダムの軸よりも上流側に移動している。同様の理由により、ダム上流側に整備された護岸およびそのコンクリート梁が右岸側決壊方向へ流されていることが認められている。コンクリート梁の状況は、右岸決壊および流出水に影響されて左岸側堤体の現存の形状が残されていることを示唆している。ダム軸の岸に残るダム天端と連続するアスファルトと現存する右岸の堤体土砂の天端はほぼ一致した幅をなしている一方で、2 m程度沈下している。これは、決壊に伴い堤体底部の土砂が流出したことを示唆している。

なお、ダムの湖岸では堤体決壊だけではなく崩壊現象も認められている。東側の築堤ではダム側で円弧すべりが生じている(写真1)。また、ダム奥部の斜面でも崩壊が認められている(写真2)。



写真1 東側堤体の円弧すべり

これらの現象は、地震動と決壊に伴う急激な水位の変化により生じたものと推測される。

4.2 下流域の集落における被害

ダム決壊における全ての死者・行方不明者は滝集落を含む長沼地区において被災した。滝集落はダム直下約1.5kmに位置し、主に農業を営む住民が居住する。また、ダムから集落に至る1.5kmの間には、沢地形に沿って林地、水田が広がっている。写真3はダム直下の林地の状況を示している。決壊に伴う出水により、沢地形に沿って洗掘された河道が形成されている。また、その河道沿いの杉は、根こそぎ抜きさらされている。また、河道内には杉の流木が点在している。こうした状況から河道内に分布していた杉は出水により下流の集落へ流下していることが明らかである。写真4は滝集落付近の水田跡地である。出水により表土



写真2 貯水池奥部の円弧すべり被害



写真3 ダム下流、滝集落上流の林地

がはがされ水田の痕跡は皆無で、基岩となる凝灰岩が露頭している。流出した土砂は最大厚で3.5m、目測による平均値は約2.0mである。数値地理情報を用いて土砂流出した水田の面積を計測した結果、約25,000m²であり水田跡地からおおよそ50,000m³の土砂が流出したと推測される。写真3, 4の被災状況から、ため池の出水と同時に流木、土砂が相当量流出していたことが推測される。実際の流出物には、ため池内に堆積していた土砂と沢地形に分布していた岩塊等も加わる。

箕の子川を挟み北東側の藤沼ダムの正面に滝集落が存在する。調査時、箕の子川左岸側沿岸の被災家屋等は概ね自衛隊により撤去された状態であり(写真5)、河周辺の被災状況を把握することができなかった。ただし、箕の子川河道より約50mから100m沿岸に関しては、家屋全壊するまでに至らず現存し、いずれも出水による痕跡が集落の

地盤レベルより1.5mから2.0mの高さで認められている(写真6, 7)。なお、痕跡の高さの差異は、周辺の建物配置と微地形の影響により生じている。現存する家屋は痕跡内で部分的に破損している様子が見て取れる(写真7)。損傷の痕跡から上流から流下した流木や岩塊、集落内に存在していた重量物が衝突したものと推測される(写真8)。写真9に示されるとおり出水に伴う自動車の転倒跡も認められることから、相当の流体力が生じたことがうかがえる。写真10に示す箕の子川の護岸損傷、および護岸裏込めの土砂流出も集落内で数箇所認められている。

下流側の痕跡からこの出水の範囲は広く及んで



写真4 滝集落上流の水田跡地



写真5 滝集落箕の子川左岸側



写真6 滝集落家屋の浸水痕跡(浸水約1.5m)



写真7 滝集落家屋の浸水痕跡と破損(浸水約2.0m)



写真8 滝集落家屋の流木による破損



写真11 滝集落下流の橋梁破損



写真9 滝集落内の自動車の転倒跡



写真12 護岸コンクリート板の流出跡



写真10 簗の子川の護岸損傷、および護岸裏込めの土砂流出

いたことが明らかにされている。滝集落よりも1.0km下流においては護岸のコンクリート板の流出が認められている(写真11, 12)。コンクリート板の比高は約2.5mから3.0mであり(写真12),

出水の異常な流体力が推測される。なお、橋梁付近の漂流物の状況から、河道と橋梁の空間において漂流物が障害となり堰止め状態になり、河道から越流が生じ、裏込めの土砂流出と流体力により護岸崩壊まで至ったと推測される。なお、この橋脚より下流側に関すれば、重量漂流物が極端に少なくなる。調査時の状況から、滝集落の3km下流側までは漂流物が認められていた。

5. まとめ

将来的に更に増加が懸念されるため池の地震被害に対して防災対策と管理を提案する基礎資料を作成するため、ダム決壊という希少な被災事例を報告した。ダム決壊は、日本観測史上最大の東北地方太平洋沖地震を素因に生じているが、代掻き時期の貯水池の満水位も誘因になっていた可能性

が高い。また、ダム直下の流路沿いに集落が存在していたこと、衝撃を増加させる林地や土砂（水田）がダムと集落の間に存在していたことが被害を増大させたといえる。林地はある程度速度までは水勢の緩衝効果をもたらすが、超過した流れは植生そのものを抜根させるまでに至り、より大きな被害が生じる。既に水工学分野でこうした植生の検討がなされてきたが、アースフィルダムのリスクとして考慮されておらず、今後アースフィルダム決壊による影響に対する安全管理上で林地配置の検討も必要である。このような現状も踏まえて、一層のアースフィルダムの管理と対策の強化が望まれる。施工完了するまでのタイムラグも予測されるため、構造を補強させるハード対策を加えるだけではなく、効率的な管理手法の確立、ため池決壊ハザードマップの整備と周知、避難体制に示されるソフト対策も行っていく必要がある。

謝 辞

水土里ネットあぶくまの宮田様に西郷ダムの被災現場見学を許可して頂いた。本研究の調査の一部は、水文・水資源学会東日本大震災対応支援調査研究の助成を受けた。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) N. Mimura, K. Yasuhara, S. Kawagoe, H. Yokoki and S. Kazama: Damage from the Great East Japan Earthquake and Tsunami-A quick report, Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change, 2011.
- 2) 首相官邸：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）について (http://www.kantei.go.jp/cache.yimg.jp/saigai/pdf/201107121700_jisin.pdf), 2011年7月12日閲覧。
- 3) 奥野日出・木戸口勝・小林正幸：老朽ため池堤体の改修に関する合理的設計手法の提案, 全地連「技術 e-フォーラム2003」さいたま講演資料, pp. 87-88, 2003.
- 4) 農林水産省構造改善局監修・(社) 農業土木学会発行：土地改良事業設計指針「ため池整備」, 2000.
- 5) 農林水産省構造改善局監修・(社) 農業土木学会発行：土地改良施設耐震設計の手引き, 2004.
- 6) 日本ダム協会：ダム便覧 (<http://damnet.or.jp/Dambinran/binran/TopIndex.html>), 2011年5月17日閲覧。
- 7) 気象庁：気象統計情報 (<http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>), 2011年5月17日閲覧。
- 8) 気象庁：最近の有感地震 (http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/shindo_db/db_map/index0.html), 2011年5月17日閲覧。
- 9) 防災科学技術研究所：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震による強震動 (http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/html20110311144626/main_20110311144626.html 作成日：2011/04/28), 2011年5月17日閲覧。
- 10) 福島県農林水産部：東北地方太平洋沖地震による農林水産部公共施設等被害について (http://www.cms.pref.fukushima.jp/download/1/230427aff_higai-02.pdf), 2011年5月17日閲覧。
- 11) 谷 茂：ため池（小規模アースダム）の耐震性を考慮した改修, 土と基礎, Vol. 50 No. 1, pp. 16-18, 2002.
- 12) 毛利栄征：新潟県中越地震における農業用ため池の被害, 平成17年度農業土木学会全国大会講演要旨集, pp. 104-105, 2005.
- 13) 発電水力協会：最新フィルダム工学, 発電水力協会, pp. 550-551, 1972.

(投稿受理：平成23年5月23日)

訂正稿受理：平成23年10月14日)