

Study on damage factors to earth dams for irrigation due to earthquake motions : In the Case of the 2011 Offshore Pacific Coast Tohoku Earthquake

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2019-03-22 キーワード (Ja): キーワード (En): Tohoku Earthquake, earth dam, seismic damage, estimated seismic intensity, damage ratio, damage factor, damage risk 作成者: 鈴木, 尚登 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24514/00002261

農業用ため池の地震動による被災要因に関する研究

— 2011年東北地方太平洋沖地震を例として —

鈴木尚登*

*企画管理部 防災研究調整役

要 旨

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震では、多数のため池が被災し、藤沼湖では決壊・氾濫で死者・行方不明者を出す惨事となる等、頻発する大地震に対して甚大な被害をもたらすため池の被災危険度評価は必要不可欠である。本研究では、ため池の地震動による被災要因を多角的・客観的に評価するため、甚大な被害が生じた東北地震を事例に、気象庁の推計震度、ため池データベース及び国・県の被災情報を用いて、被災率 (R_d) を定義することによって地形・地質、堤軸方向や堤体形状について被災検証を行った。その結果、 R_d は推計震度によって増加し、特定の地形、堤軸方向や堤頂の長さ、高い堤高で天頂幅が広く・上流法勾配が緩い横断面形状が高い被災リスクとなる等、地震動による階層的な被災リスク構造を被災要因概念図として提案した。

キーワード：東北地方太平洋沖地震、ため池、地震被害、推計震度、被災率、被災要因、被災リスク

I 緒 言

1.1 研究の背景と目的

わが国のため池は、古墳時代から造営され、日本の水田農業を支える重要な生産資源である。少し大袈裟にいうならば、日本民族はため池によって扶持されてきた。ため池に頼らざるを得なかった理由は、日本の地形と気候に大いに関係がある。先ず、日本列島は四つのプレートが重なり合う地殻構造で、プレート活動に伴う褶曲と隆起によって山谷や無数の断層が形成され、その国土は複雑で急峻な地形を成している。一方、気候はアジアモンスーン型で年間降雨量は比較的多い割に、台風常襲など時季的に不安定なため、適期に、多量な用水を必要とする稲作農業にとっては、水を溜めおくポケット (=溜池) が不可欠となる。そのため、全国各地の起伏に富む国土で、時代毎・地域毎の農業土木技術を結集した土堰堤 (=ため池) 造営は、日本農業の歴史的必然であった。同じ灌漑でも、世界最長の大河・ナイル川ではエジプト古代文明繁栄の礎となり、今日も緩やかな地形勾配とエチオピア等の上流域国側の安定した雨季と乾季によって国家の基盤を成している。

本研究は、国内観測史上最大となった2011年東北地方太平洋沖地震 (以下、「東北地震」という) に伴い東日本に多数のため池被害が発生し、福島県内では藤沼湖の決壊・氾濫により8名の人命災害が起こったことを契機としている。即ち、農業土木関係者は、ため池も大きな地震動で決壊し、人命に危害を及ぼす人工構造物であり、「工学的な安全性評価が社会通念上、最高レベルで要請されている」(高瀬, 1967) ことを再認識した。特に今

回の震災を契機に、大規模地震に対する安全性評価については、世論の関心が急激に高まっている。

現在、農水省の通達により全国的に「ため池一斉点検」が実施され、一部で堤体材料をサンプルリングし、耐震性診断まで試みられている。明治以降、欧米由来の造るための土木工学的手法で、多様なサイト地形に古い時代から築造されているため池の安全性評価が本当に可能なのか、著者には疑問符が消えることはない。その最大の理由は、ため池の歴史性に起因する三つの命題に集約できる。一つ目は、全国のため池個数は約21万個で、千数百年の歴史的遺産としては今も膨大な数が現存している。二つ目は、その90%以上が昭和期以前 (年代不明を含む) の築造で、堤体の内部構造、築堤材料、施工方法等、土木工学的要素が殆ど不明である。三つ目は、ため池が時代 (=人口増加) と共に開田可能な全国津々浦々に造られ、今日も複雑・急峻な地形上に点在していることである。これが戦後施工の国営農業用ダムの200個程度であれば、規模は大きい数量も限定され、記録も残り、工学的知見からサイト選定がされている。一方、ため池は数の問題もあり、堤体毎にサンプルリング数点だけでは、信頼面で雲泥の開きがある。さらに、農村地域の人口減少・高齢化等の今日的な社会経済情勢下で、対象数万カ所のため池に対して、数千億円から数兆円の費用捻出が国家財政的に可能になるとは考えにくい。

日本の建築分野では、大規模地震毎に建物被災データの収集・分析を行い、関連耐震技術の進歩に役立てている。都市部は狭い範囲に多数の建物が密集し、地震計設置間隔が狭く、全壊時の罹災証明申請等を集約することで、建物到壊率が統計的に算定できる。その結果は、耐

震設計に係わる技術全般の向上にも役立てられ、地震災害対応上不可欠な被害想定基礎資料となっている。建物の倒壊率は、建築年代(建築基準の改正年等)、地盤、構造等の分類毎に統計的な確率として求めることができる。但し、データ量が過少では精度が低く、また無被災データがなくては、被災確率は求められない。

リスク評価・診断は医療の基本テーマである。漢方医や老内科医が行う診断方法は、患者の外見(身長、体重、年齢、表情、風貌等)と併せて、最近の日常生活や仕事環境等の問診によって病状が判断される。つまり、聴診器、脈拍及び血圧測定は診察第二段階で、血液検査等は過剰な診察行為とされる。医者は昔から人間を造らない代わりに健康面のリスクを患者個人の外見と環境要因で判断している。但し、この診断方式は、しっかりとした統計的裏付けがなければ、占いと同じであり、医療行為にはならない。特に伝染病に係る疫学は、基礎的データを収集し、統計的分析を駆使して病因究明が最大の目的と考えられている(重松, 1977)。因みに、この医療方式は、リスクを患者の個体要因と発症に至らしめた環境要因とに分けて病因究明がなされるもので、病因を地面の揺れ(地震動)に置き換えれば、本研究にも応用可能となる。

では何故、建築や医療の方式が、過去のため池地震動被災研究に応用可能されなかったのであろうか。まず、被災の誘因(村井, 2011)となる地震規模は、ため池が一般に小規模で地震計は設置されず、各サイトが地震計の設置される中心市街地から離れて点在するため、ため池毎の震度捕捉が難しかった。次に地震災害時の人命救助最優先の緊急事態下で、壊滅的被害ため池は注目されるが、無傷のものは注目されず、無被災分を含めた被災全体の情報収集や蓄積がされてなかった。加えてため池が多様な地形・地質上の立地や堤体形状を有するにも関わらず、災害報告が調査・研究者個々の主観的判断に委ねられ、その被災要因が多角的、包括的な統計的手法によって解明されてこなかった。

気象庁は、2004年から全国約4,300ヶ所観測点の計測震度網を活用して、1 kmメッシュ推計震度分布の公表を開始した。また、農研機構農村工学研究所では長年の地震災害に係る調査研究成果を踏まえ、1995年から農水省等と共同で全国的なため池データベース(DB)化を行い、2010年度に農村地域の防災情報システムとして「ため池DBハザードマップ」を完成させた。これにより実際に地震被災情報が入手できれば、最大震度5弱以上地震時のため池毎の推定震度と堤体諸元で包括的な危険度評価が可能な条件を備えていた。

本研究では、ため池の地震時危険度評価に向けて、被災要因を多角的、客観的に評価することを目的とした。そのために、甚大なため池被害が生じた東北地震について、気象庁が発表した推計震度、ため池データベース(DB)及び国と被災県から入手した被災情報を基礎デー

タとして用いた。これらのデータを用いて、ため池毎に推計震度を求め、地形・地質、堤軸方向や堤体形状の個体要因と組み合わせて、多角的に被災の検証を行った。そのため、被災の指標として、被害額と面積による被災密度とため池の被災数によって被災率 R_d を定義した。

1.2 研究の構成

本研究は、7章より構成される。第I章は序論であり、本研究の位置付けと目的について記述する。第II章では既往研究のレビューを行う。すなわち、これまでの農業用ため池を含めた農地・農業用施設の地震動被災に関する研究経過と課題を概観した後、震度、震央距離、地形・地質及び堤軸方向を環境要因に、堤体形状を個体要因として各被災要因別にレビューする。

第III章では、震度と震央距離について被災分析を行った。そのため、ため池を含む農地・農業用施設等の市町村単位の被害額に対して被災密度(D_i)を定義し、気象庁の1 kmメッシュ推計震度を用いた平均推計震度(\bar{i})によって、震度と被害の関係を明らかにする。また、ため池毎に推計震度を同定し、震度上昇と R_d の関係並びに震央距離と震度及びため池被災の関連について検証している。

第IV章では、震度とため池被災の関係が明確になったことを踏まえ、堤軸震央方向角度(ω_i)を定義し、広域的な地形・地質と推計震度及び ω_i と R_d の関係を検証する。その結果、地震動被災は堤軸方向によって R_d に差があり、山地と平地の境で震度が大きく変動することを述べる。

第V章では、ため池被災が集中したエリアに注目し、無被災から決壊レベルに至る要因を検討する。そのため、福島県内で最も被災が集中したエリアを抽出し、集中域を内と外にエリア分けした被災要因分析と共に、ため池サイトの地形タイプを5つに分類し、集中域内でさらに詳細な被災分析を行った。その結果、集中域内では震度6弱以上がスポット的に生じる中で、ため池個々が立地する傾斜・地形(谷地や山丘等)条件によって R_d に大きな差があることを述べる。

第VI章では、福島県中・南域内のため池の堤体形状について、過去の研究と比較検証するため、統計的区分方法を用い、震度による R_d とも併せて検証した。具体的には、ため池DBから堤高、堤頂長、堤頂幅、上下流法勾配等と R_d の関係を求める。この結果、ため池 R_d は、堤頂長には明確な関係性が見られ、堤高・堤頂幅・法勾配の組み合わせによって、高被災リスクの横断面形状があることを述べる。

VII結言では、「環境要因と個体要因」、「誘因としての震度」、「被災要因相互間の関係」が明確になったことを踏まえ、「ため池地震動被災要因の概念図」を提案し、ため池被災要因について総括する。

II 既往研究のレビュー

2.1 概説

既往研究については、次の三点から包括的なレビューを行う。一つ目は、これまで農業土木分野の自然災害及び防災・減災に関する研究経過と課題に関することである。ここでは地震災害に限らず、台風・豪雨等の自然災害全般に関する研究の流れを俯瞰した。この場合、農業用ため池が農業土木分野でどのように位置付けられてきたか、時代背景等も含めて時系列的にレビューすることで、何故、被災情報を集積するシステムが今日まで出来なかったか、その背景を考える。二つ目はため池の歴史性について、ため池 DB 等から地震被害研究の特性や技術的課題の抽出を行った。三つ目がため池地震動被災に直接関係する研究レビューである。ここでは被災に関わる要因を環境要因（外的要因・誘因）と個体要因（内的要因・素因）に大別した。環境要因は震度、震央距離、地形・地質、堤軸方向等地震の揺れに関連するものである。個体要因は堤高、堤頂長、堤頂幅、上下流法勾配等堤体形状に関連するもので、過去の研究成果から被災要因因子毎にレビューを行った。

2.2 農地・農業用施設等の災害被害研究

2.2.1 農業土木学会と自然災害

農業土木分野の自然災害に関わる研究経過を見るために、農業農村工学会（旧・農業土木学会）発行の論文集と農村工学研究所（旧・農業土木試験場、以下、「農工研」という）発行の所報告及び所技報から、災害研究に関連性を有するものを Appendix 1~2 に時系列で整理した。因みに、農業土木学会（以下、「農土学会」という）は明治41年発足の耕地整理研究会を引き継ぎ、1929年（昭和4年）に改組、新たに学会として発足し、同年に「農業土木研究」を発刊している。農工研は1961年に農業土木分野の国の試験研究機関として発足し、1963年に場報告（後の所報告）、1965年に場技報（後の所技報）を各々発刊している。なお、農業土木の学祖とされる上野英三郎博士は、1929年学会発足の四年前に逝去しており、上野博士が「農業土木学と耕地整理と明確に区別され・・・、更に深く研究する必要がある」との考えは、（片岡、1929）が「農業土木研究の発刊」時に明らかにしている。この学会発足を機に、1900年に開始された耕地整理事業で土木学に属する研究がさらに深まることになった。Table 1 に主な自然災害との関連した歴史的経過（森瀧ら、2007）を整理したが、明治期末にはため池工事等が耕地整理事業に追加され、大規模な土地改良工事が急務化し、土木学に属する研究進展が喫緊事となっていた。

自然災害に関する最初の研究は、（雨森、1939）による耕地水害の全国規模分析である。同氏は農林省耕地課職員で、現在なら農村振興局防災課が担当する事項であ

る。この研究目的を、「災害を未然に防止するため、全国各地方のため池余水吐の設計排水量の資料を集め、統計的に検討し将来の設計に反映させる」とし、翌年も淡路島の降雨によるため池決壊災害を報告している。

地震災害については、（秋葉ら、1941）が秋田県男鹿地震で行った溜池被害調査研究を始まりとし、その後のため池地震被害研究のガイドラインになっている。ここで注目すべきは、東京大学農学部の学者である秋葉が、共著者で秋田県耕地課の役人である仙波と一緒に現地調査を行ったことにある。当時、上野博士の長年の尽力で全国の県庁耕地課内に農業土木学会員が相当数確保され、災害時被害調査は在京大学研究者と地方県庁行政官が一体で行う体制が既に形成されていたと考えることができる。

Table 1 農業土木と主な自然災害に係る歴史的経過
Historical procedure on agricultural engineering and main natural disasters

1872年(M4)	: 上野英三郎(以下「上野又は上野博士」という)が三重県生誕
1894年(M27)	: 日清戦争開戦
1895年(M28)	: 上野が東京帝国大学農科大学農学科卒業
1899年(M32)	: 「耕地整理法」制定(2/3同意で施行可能になる)
1900年(M33)	: 耕地整理事業が着工、上野が大学院満了農科大学講師
1904年(M37)	: 日露戦争開戦
1905年(M38)	: 耕地整理法改正(区画整理にため池と灌漑排水工事を追加)
1908年(M41)	: 「耕地整理研究会」発足、「耕地整理研究会報」の発刊
1909年(M42)	: 耕地整理法改正(開墾工事追加、2/3同意で耕地整理組合設立)
1911年(M44)	: 上野博士が東大農科大学教授就任、農業工学講座の開設
1914年(T3)	: 耕地整理法改正(埋立と干拓工事追加)
1918年(T7)	: 米騒動勃発
1919年(T8)	: 「開墾助成法」制定(自産能保護のため開墾資金の利子補給)
1921年(T10)	: 「米穀法」制定(政府の米穀買入が可能)
1923年(T12)	: 関東大震災耕地整理学を準用した帝都復興計画策定
1924年(T13)	: 上野が秋田犬「ハチ」を購入
1925年(T14)	: 上野博士逝去(53歳)
1926年(T15)	: 東大農科大学農業工学講座から農業土木学専修へ
1929年(S4)	: 「農業土木学会」が耕地整理研究会を改組発足「農業土木研究」発刊
1931年(S6)	: 農業土木ハンドブック編纂発行
1933年(S8)	: 農林省が国営第1号巨椋池干拓事業着工(初代所長: 可知貫一)
1937年(S12)	: 可知貫一が京都帝国大学農学部教授就任
1941年(S16)	: 太平洋戦争開戦
1945年(S20)	: 第2次世界大戦(太平洋戦争)の終戦
1949年(S24)	: 土地改良法の制定
1957年(S32)	: 八郎潟干拓事業着工
1959年(S34)	: 伊勢湾台風災害
1961年(S36)	: 農業基本法の制定
1961年(S36)	: 農林省農業土木試験場の設置
1961年(S36)	: 災害対策基本法の制定
1963年(S38)	: 中海干拓事業着工
1966年(S41)	: 土地改良事業計画設計基準「フィルダム」編改定案
1981年(S56)	: 土地改良事業計画設計基準「ダム」編制定
1989年(H元)	: 「農業基盤整備事業費」から「農業農村整備事業費」に予算科目変更
1990年(H2)	: 雲仙菅岳の噴火
1995年(H7)	: 阪神淡路大震災
2004年(H16)	: 新潟県中越地震
2011年(H23)	: 東日本大震災
2013年(H25)	: 国土強靱化法制定

2.2.2 戦後の農業土木と自然災害研究

農土学会発行の農業土木研究は、終戦の2年前の1943年まで発行され、日本の植民地及び占領地の水利事業や災害に関する研究も増えていた。戦後は1948年に再開され、同年雨森は「ため池の洪水防止と発電利用に関する研究」、1949年に「河川の最大洪水量の低減方策」を発表しており、同氏が農林省技官として「災害水文」を長年研究していたことが分かる。同じ年に京都大学農学部の澤田敏男は、浸透流に関する論文を発表し、今日に至るフィルダム工学の長年の研究が浸透問題から始まって

いる。

これより前に戦後食糧難による大規模土地改良事業が既に始まっており、1949年に土地改良法、自然災害からの農地・農業用施設の復旧に関して「農林水産業施設災害復旧事業費国庫補助の暫定措置に関する法律」（以下、「暫定法」という）が1950年に制定されると共に、農工研発足の最も古い母体組織・農林省農業技術研究所農業土木部が発足した。農林省は1952年に「コンクリート堰堤」、翌年に「土堰堤」の設計基準を制定し、大ダム工事を伴う国営事業の本格的な推進を図った。

戦後初の災害調査研究報告は、昭和28年6月の九州水害に関するもので、翌1954年の農業土木研究に特集号が組まれた。当時の農土学会は秋葉が会長で、総括、農地、頭首工、ダムの4調査班が、7大学から11名、総理府1名、農林省農業技術研究所3名の計15名をメンバーとした。その後、1957年台風による塩害報告があり、1959年9月の伊勢湾台風（1961年「災害対策基本法」の契機災害）に関する調査報告書が、1960年会誌の報告・資料となった。これは、農林省からの委託で農土学会が災害対策特別委員会を設け、東京教育大学和田教授を委員長、大学関係者等の委員9名、農林省農地局等の幹事12名（九州農業試験場1名を含む）で構成された。この報告書は発災後2週間目に現地調査を行い、補足調査と3回の委員会開催で半年後に完成した。

2.2.3 農業土木試験場の発足と災害研究

災害対策基本法が制定された1961年には農業基本法も成立しており、農林省に農業土木試験場が設立した。また、1965年に農土学会の定期発行雑誌は、農業土木研究から「農業土木学会論文集」（以下、「農土論集」と「農業土木学会誌」（以下、「農土誌」）の2雑誌となった。農業土木試験場は、1963年に「場報告」を、2年後には「場技報」を発刊している。因みに、場技報は完成度が高い研究論文（主に学位論文）、場技報は中間的な研究成果で速報的な報告、論文、技術資料とされている。1966年以降も農土論集で災害に関連する論文が多数掲載されているが、かつて「官学」の大調査団による災害現地調査報告を掲載することは皆無となった。一方、農業土木試験場は1964年新潟地震で被災現地に10名の研究職員を派遣し、翌年に第1号場技報で特集・発刊した。農業土木試験場は発足当時から「防災及び災害対策」を重点研究課題に挙げており、農業土木分野が幅広い研究領域を有する中で、有機的な災害調査が可能な国の研究組織として大いに期待・歓迎されていた。なお、同地震では農林技官の高瀬が「アースダムの安全性評価」の観点から、農業土木試験場と共同で研究していた。

その後農業土木試験場は、1968年十勝沖地震、1978年新潟平野6.26豪雨、1983年日本海中部地震等、大規模な地震・豪雨災害時には研究職員を被災地へ派遣し、災害対策上の技術支援と共に、災害及び防災に関する研究論

文を場技報で発行している。特に新潟平野6.26豪雨研究は、国営西蒲原排水地区農地防災事業の新規事業創設契機となる等、防災事業の制度化にも貢献している。

農業土木試験場は、2001年4月に国の研究機関から独立行政法人農業工学研究所になるに伴い、災害対策基本法の指定公共機関となった。2004年の台風・豪雨と新潟県中越地震等の度重なる災害、さらに2006年の農研機構農村工学研究所の改組・設立後には、2007年の能登半島地震と新潟県中越沖地震の災害対応を所技報の特集号とした。加えて歴史的な大災害となった2011年東北地方太平洋地震では、全所全領域を動員して被災現地調査及び災害時技術支援を実施し（鈴木ら、2012）、その翌年研究成果を所技報・特集号として発行している。

2.2.4 災害研究成果報告の現状

1983年日本海中部地震時に農業土木総合研究所（以下、「総研」という）が東北農政局の受託先となり、研究と行政が一体的に被災調査を行った。この方式はその後実施されず、被災地は専ら農工研が調査した研究報告だけが残る形態となった。また、農業土木試験場が自然災害現地調査と技報発行による研究成果報告を組織として担い、かつ農業土木研究が農土論集と農土誌に分離するに伴い、農業工学分野の大規模自然災害に関する研究論文を一般の農業土木学会員が目にする機会が少なくなった。

一方、これら論文の多くは、「土と基礎」（地盤工学会）に掲載されている。例えば、①1964年新潟地震のため池（アースダム）被害は、高瀬国雄（農林省農地局設計官）が筆頭著者で1966年10月の「土と基礎」に掲載され、その共同著者である山下進（農業土木試験場造構第1研究室）が場技報で報告、②1968年十勝沖地震では守谷正博（農業土木試験場造構第3研究室）が、筆頭著者で同年9月の「土と基礎」に、翌年1月に場技報に、同6月（単独著者、コンサルタントへ転出）に農土誌に掲載され、③1983年日本海中部地震で谷茂（農業土木試験場造構造部第3研究室）が筆頭著者で、1985年9月に「土と基礎」、同年11月に場技報に掲載された。

このようにため池地震災害研究の場合は、農業土木試験場設立以降、農林省の研究機関として専ら被災現地の調査研究報告を担うことことで、所技報と他学会論文集の投稿・掲載がパターン化し、かつて大学研究者と行政官の合同による災害調査報告が農業土木研究に掲載された頃とは大きく様変わりした。加えて、論文集の災害研究に関するテーマも、被害調査結果の統計的研究よりも、被害探手法、被災状況把握手法等、通信・情報に関する新技術導入を前提とした災害支援や防災・減災システム化の提唱等の研究報告がより多く見られる。

2.2.5 災害調査研究の課題

災害時被害推定や予測手法開発は、「防災及び災害対

策研究」の目標であり、そのための災害時毎の被災情報は不可欠かつ唯一の検証データとなる。また、それら研究の正否は、統計的分析が可能なデータの質と量にも掛かっている。これを上記①～③と1939年男鹿地震の秋葉らのケースで検証する。先ず、被災ため池は、4地震の最低が58個で、最高218個である。これに無被災分を含めた情報収集には、行政機関の全面的な協力が不可欠である。秋葉には秋田県庁が、①山下には農林省の高瀬技官が、③谷には、(東北農政局, 1984)が主体となってデータ収集を担っていたが、②守谷には行政機関との共働体制が確保できていないようである。

その後、1990年に噴火した雲仙普賢岳では調査派遣の要請実績が確認できず、1995年兵庫県南部地震では行政との災害現地調査実績が見られず、歴史的災害であったにも拘わらず農工研技報・特集号はない。2001年4月の「独立行政法人」化以降、さらに行政との一体的な調査体制が稀薄化し、2004年新潟県中越地震、2007年能登半島地震及び新潟県中越沖地震、2011年東北地方太平洋沖地震では、技報・特集号は発行したが、農水省及び被災県からの被災情報の共有関係は築けていない。1961年の農業土木試験場発足時に「防災及び災害対策」を重点研究課題に挙げていたにも拘わらず、誠に残念な状態である。

これは、(高瀬, 1967)が「災害報告書においても、その場その場の調査者の主観的判断に終始しており、被害の原因や核心を極め、より広い統計面からの客観的考察によって、その実態を正当に位置づける研究領域は、従来まったく未開発であった」と指摘した当時と変わらない状況である。今後、農業土木分野の災害時被災情報の統計的分析の重要性に鑑み、IT分野の進歩に適合した行政・研究の相互連携及び情報共有体制の整備と時代の変化に応じた災害に対する問題認識の醸成が研究・行政双方に必要と思われる。

2.3 ため池研究の特色

2.3.1 ため池の定義

我が国のため池は古墳時代から築造され、現在、全国に約21万個と言われ、灌漑農業を象徴する歴史的施設である。最新の農業農村工学ハンドブックでは「ため池に対する厳密な定義はないが、古来より造られてきた土質材料・岩質材料(フィル材)を主材料として築造される比較的小規模な貯水池を、一般に、ため池という(規模の大小にかかわらず、フィル材で築造される農業用貯水池を広くため池とよぶこともある。)」と記述されている。

定義がないとされる理由は、昭和41年初版の農業土木標準用語事典で、「溜池(ためいけ)」は古語・方言(農工学会が定める標準用語でない)に分類され、平成4年の改訂四版では古語・方言のほかに貯水工(ダムおよびその付帯施設等の計画・設計・施工に関する用語を取

録)に分類され、「灌漑目的のため歴史時代に築造されたアースフィル堰堤による貯水池。わが国の多くのものは西暦700年前後に築造が、開始されたものと推定され、その数はこれまでに約30万個といわれる」とされている。さらに、平成15年の改訂五版では古語・方言からは外され、貯水工の分類中で「灌漑目的のため築造されたアースフィル堰堤による貯水池(以下、平成4年の改訂四版同じ)」とされ、「歴史時代に」が削除されている。一方、農水省の土地改良事業設計指針「ため池整備」(2000年制定)では、「堤高15m未満のフィルダムタイプのため池の改修に適用する」とされ、堤高15m以上の農業用ダムと区別された。即ち、「ため池」は農業土木用語からは一旦外れ、今日に至って専門用語に復活した希有な名称である。

本研究の「ため池」は、堤体に起こる地震動被災に注目することから、「土質材料・岩質材料を主材料として築造される土堰堤」と定義し、高さ規模等の要件はない。

2.3.2 ため池の歴史的課題

(松尾, 1937)は、農業土木学会設立期に「2000年以上前の崇徳天皇の頃にため池が出来たことが日本書紀の記述にある」として、当時、ため池は農業土木関係者にとって先駆的な土木構造物のシンボルであった。古代からのため池築造の歴史に係る最初の問題は、今も①膨大な数が存在していることである。さらに、歴史的な数に関連した問題として、②立地の分散性と、③工学的な不統一・不透明性がある。

ため池の数に関して、Appendix 3では平成9年度に農水省構造改善局地域計画課(現・農村振興局土地改良企画課)が行った長期要防災事業量調査で集計された「ため池台帳」と農水省防災課が総研及び農工研の協力の下で整理した「ため池DB」都道府県別全国集計の比較表である。現在、ため池総数は210,769個所であるが、上記用語集の約30万個は、(高瀬, 1967)の1955年時点の農林省農地局「溜池台帳」では27万個超とあり、過去には現在よりもさらに多くのため池が存在していた。

以下では、ため池の歴史的観点から、築造の歴史、老朽化問題、ため池DBの3テーマを取り上げ、防災・災害対策に係る問題を論じる。

2.3.2.1 ため池築造の歴史

ため池築造数の歴史的推移は、(高瀬, 1967)によると、受益面積5ha以上のため池数は江戸時代前に2万個弱だったが、泰平が続く300年間の人口増加に伴い約2倍の4万個に達した。その後明治維新を契機に人口増加が更に加速し、20世紀にはため池数も急増している。農業土木学会編の「本邦高土堰堤誌」に掲載されている高堤ため池(高土堰堤; 堤高50尺(15.15m)以上、かつ貯水容量5,000立坪(30,000m³)以上、かつ灌漑受益面積10ha以上)中で、朝鮮半島内の41個を除く221個の

ため池の86%が明治期以降の築造である。1905年(明治38年)に始まった耕地整理事業付帯のため池工事によって、今日、農業用ダムと呼ばれる高土堰堤が、食糧増産に不可欠な生産基盤施設として、如何に急ピッチで全国的に展開されたか理解できる。

明治期末から大正期のため池築造状況が分かる記事が、「耕地整理研究会」(1908年(明治41年)発足)の「耕地整理研究会報 第20号」(大正4年3月)に「溜池一覧」と「溜池直営工事概況」が掲載されていた。著者は農林省国営巨椋池干拓事業初代所長(鈴木ら, 2007)の(可知, 1915a, 1915b)で、当時、岐阜県庁技師として自ら設計した耕地整理事業付帯ため池31個所の設計諸元と現地の工事進捗状況を投稿し、研究会員に向けての技術的発信を行っていた。Table 2には、当該記事から可知が設計した31個所のため池諸元一覧表(尺間法からメートル法に変更表示)を示した。31ため池の平均堤高は10.6m(中間値9.1m)で、全般に規模が大きく、表中のNo.28と29の石堰堤を除き、堤体形状は堤高が高くなるに従って堤頂幅が広く、上下流法勾配が緩くなる傾向が見られる。また、31個中6個が15m以上の高土堰堤であり、その全てが「本邦高土堰堤誌」にもリストアップされ、工期も概ね大正3~5年着工で記事内容と符合していた。工事概況の記事には、500名内外の作業員を駆使し、如何に工事施工を司ったか等が詳細に記述されているが、築堤に使った土質材料や突き固め方法等の技術的な事項には全く触れられていない。会報を発行していた耕地整理研究会には、1915年(大正4年)時点の会員数が約1,300名で、在京の大学・農務局関係者と地方の

県庁等の関係者で構成されていた。この頃築造のため池堤体断面図が「本邦高土堰堤誌」に掲載され、かなり設計の標準化が図られているように見受けられる。このような事情から類推すると、当時全国の県庁在職研究会員が主体となって、ため池の設計・施工に関わっていたと考えられる。

因みに、(山崎, 1935)に拠ると、造構の研究は、明治44年(1911年)以降に農業工学の一部として行われ、大正15年東京帝国大学で農業土木学専修となった際に、農業造構学として講義が行われた。堰堤誌の中で、江戸期以前で築堤年代が判り、かつ堤体断面図が付いていたものが8個あった。これらの堤体構造から、明治期に入る10~20年前には既に「前法刃金」と「中心刃金」タイプは、明治期以降の様式に類似していた。

ため池の歴史性から生ずる工学的問題は、70%以上のため池が江戸時代以前と築造年代不明で、明治期以降も岐阜県の可知氏のように設計者が確認できるケースは極めて稀で、堤体断面図さえ不明なため池が大部分である。さらに岐阜県の例でも築堤材料や施工様式に至っては、想像の域を出ない。つまりため池は、設計、施工、材料等の土木工学的要素の不明度性が極めて高く、現存する大部分が、外見的形状以外は決壊の発生か全面改修しない限り堤体内部を知ることはできない。

近年施工された堤高15m以上のダムは、決壊時に下流域への影響度が甚大なため、特に構造的に高い耐震性が要求されている。一方、ため池は今日的耐震基準以前にその殆どが築造され、国内で頻発する地震・豪雨災害経験を踏まえた「伝承工法」に拠ったものと考えられる。

Table 2 大正期の岐阜県内耕地整理地区関連ため池一覧

List of earth dams for irrigation under land consolidation projects in Gifu Prefecture Taisho Era (1912-1926)

No.	受益面積 (ha)	H(堤高)m	L(堤頂長)m	W(堤頂幅)m	勾配		備考
					U(内)	D(外)	
1	1.14	6.7	40.0	2.7	1.5	1.5	No.1-2で1地区
2	6.7	30.9	2.7	1.5	1.5		
3	1.15	7.3	90.9	3.6	1.5	2.0	
4	3.00	9.1	72.7	3.6	2.0	2.5	
5	3.00	7.6	65.4	3.6	2.0	1.8	
6	7.00	10.9	83.6	2.7	1.8	1.8	
7	1.51	7.6	125.4	2.7	1.5	1.5	
8: 南宮池	4.70	19.7	61.8	7.3	1.8	1.8	
9	2.47	8.8	83.6	3.6	2.0	2.0	
10	0.88	8.2	60.0	2.7	2.0	2.0	
11	1.18	10.3	43.6	3.6	2.0	2.0	
12	0.82	7.3	34.0	2.7	2.0	2.0	
13	2.98	11.2	33.8	3.6	2.0	2.0	
14	0.35	5.5	21.8	1.8	1.8	1.5	
15	8.8	29.5	3.6	1.8	1.8		
16	6.00	3.9	23.6	2.7	1.8	1.5	No.15-17で1地区
17	8.5	50.0	3.6	2.0	2.0		
18	1.76	10.6	118.2	3.6	2.0	2.0	
19	1.50	11.5	150.9	3.6	2.0	2.0	
20	0.27	7.0	56.4	1.8	2.0	1.5	
21	0.92	7.6	202.7	2.7	2.0	2.0	
22: 小泉第一号溜池	7.00	17.3	216.2	5.5	2.2	2.0	
23: 小泉第二号溜池	1.20	15.2	110.9	4.5	2.0	2.0	
24	1.56	10.6	86.4	4.5	2.2	2.0	
25	1.05	7.9	83.6	3.6	2.2	2.0	
26: 北部総合第一号池	14.00	18.5	69.1	3.9	2.2	2.0	No.26-27で1地区
27: 北部総合第二号池	21.2	83.6	5.5	2.2	2.0		
28	12.7	34.5	2.4	0.5	1.2	石堰堤, No.28-29で1地区	
29	13.9	26.4	2.4	0.5	1.2		
30: 坂本池	5.90	15.2	79.3	4.5	2.2	2.0	☆図面有り
31	4	12.7	69.8	4.5	2.2	2.0	
平均	2.5	10.6	75.4	3.5	1.9	1.8	
中間値	1.56	9.1	69.1	3.6	2.0	2.0	

出典: 可知貴一, 耕地整理研究会報第20号p32-36, 大正4年3月発行

そもそも農業土木では、2千年に亘る灌漑用ため池築造に係る伝承技術を有していたが、20世紀に入ってからの大規模な耕地（水田）拡大に伴い、より高堤高の土堰堤築造技術の導入が必要となってきた。1929年（昭和4年）に耕地整理研究会を改組し、農業土木学会を発足させた背景には、近代的な土木工学を農業・耕地整理分野に取り入れ、国内で大規模土地改良事業による食糧増産の国家戦略があったものと考えられる。その後、1931年の「農業土木ハンドブック」発行を皮切りに、1933年に「国営巨椋池干拓事業」の着工を始め、全国各地で大規模な土地改良事業が展開された。因みに、福島県の藤沼湖の着工は戦前の1937年であった。

戦前後の数期間は、人員と物資不足で全国の土地改良事業は休止を余儀なくされたが、戦後の危機的食糧難のために土地改良事業が全国で劇的に推進されたのは云うまでも無い。この時期、投資効果の面から大きな受益面積を有する地区が優先され、新規水源に大ダム建設の需要急増は必然であった。そこに京都大学名誉教授沢田敏男らは、農業土木分野のフィルダム工学に関する学術的レベルを短期間で圧倒的に向上させた。これは終戦3年目以降、農業土木研究に目白押しに掲載された論文数から容易に理解される。この間、ため池、土堰堤、アースダムに関して本農業土木研究に論文が掲載されることが稀となり、フィルダム工学に関する論文が70年代末まで立て続けに発表された。同時期に東北農政局管内では堤高100m級のロックフィルダムが複数着工されていた。

2.3.2.2 老朽ため池問題と安全性評価

戦後復興による農村からの人口流出が顕在化する頃、老朽ため池が社会問題となり、1953年に農林省は老朽ため池補強事業を創設した。元来、ため池築造は（可知、1915b）ように大型重機のない時代は、農村地域で豊富な労働力となる農民を集め、地区内で採取でき盛土材料を使った「土方」作業によっていた。多量な用水を必要とする稲作農業にとって、ため池は極めて大切な地域の命脈的農業資源であり、台風や大地震等の自然災害時には「村」全体で必死に守られ、仮に一部損壊しても地域皆で造った「土」構造物だから、村総出で復旧を行い得た。村の命脈施設に対する「草刈り」、「泥上げ」等の保守管理は、村内では堆肥ともなり、問題なく万全に行い得た。即ち、農村地域が人口（＝農家・農民）過密な時代には、ため池老朽化問題の発生はあり得ない現象であった。つまり、ため池が土構造物である限り、一旦築造すれば長い年月を掛けて土が締まることで構造的に安定化し、人手さえあれば保守管理に専門家は不要である。土堰堤であるため池は、人口過密気味の農村地域で最も合理的な農業土木施設であり、この合理性こそが我が国に最大30万個のため池がストックされた理由ではないかと考えられる。言い換えれば、ため池老朽化問題の発端は、農村人口が過密から過疎へのシフトにあり、戦後日

本の高度経済成長と深く関連した社会現象であった（鈴木、1987）。

このことは、1967年に高瀬氏が「アースダムの安全性に関する統計的研究」を学位論文とした年代、さらに少し前の昭和30年（1955年）に農林省が「ため池台帳」をまとめた時代とも関連している。戦後日本の経済的復興が本格化した契機は、1950年の朝鮮戦争に伴う特需からで、昭和30年代には過剰な農村人口は急激な経済成長によって都会への流出が始まっていた。これまでは造ってさえあれば、農家や村社会において命脈的に維持管理されるため池は、国や県の関与が殆どない施設であったが、農村人口の流出、出稼ぎ、農家の兼業化が増加することで保守管理の粗放化が進み、草刈りや泥上げ等も化学肥料の普及によって経済行為としての価値が急落した。そのため保守管理に手抜きが始まったため池は、全国的に老朽化問題が顕在化した。加えて、都市近郊農村地域では混住化が進み、農業的には命脈的地域資源が、非農家側からは人命に危害を加える「危険施設」と見なされるようになった。

決壊する恐れのあるため池改修については、1937年に農業土木研究に掲載された「水害防止協議会決定事項（抄録）」の中で、次のことが書かれていた。「溜池堰堤の築造及其の維持に関しては特に其の取締を完全ならしむるは勿論現存溜池堰堤にして決壊の虞ありと認められるものは之が改築を促進するため助成の途を拡充すること」とある。これは内務省内の同協議会で決定されたもので、農業土木にも相当関連するとして載せてあった。即ち、昭和10年代の戦時体制から始まる農村人口の流出は、ため池が水害の元凶として、適切な維持管理と改修が社会的にも求められる施設となった。それが昭和30年代後半に農林技官・高瀬の学位論文テーマ「ため池・アースダム安全性」は、全国27万個を超える膨大な農業インフラストックの老朽化問題がベースとなり、当時、国の担当行政官が採るべき至極当然の研究テーマ設定であった。

ため池のストック管理に国や県等の行政関与の度合を高めたもう一つの背景には、その施工法の変化が考えられる。従来、ため池築造には農民を多数集めた人海戦術による土方工事が基本であった。戦後復興の本格化に伴い、農業用ダム建設やため池改修・改築に大型機械施工が一般化し、一方で農家側は出稼ぎや兼業収入で農業機械を購入し、農作業から肉体労働が解消された。さらに農家人口の減少や機械化農業が進行する中で、ため池の築造・改修も大型機械を有する土建業者の工事請負が一般化する。地震や豪雨によるため池は決壊・破損しても、かつてのように農家自らが総出して補修や復旧する光景は見られなくなった。地元自治体が主体となってため池を改修することで、さらに行政的関与度は年を追う毎に上昇した。今現在に至っては、災害リスクのあるため池に対して、平成25年の国土強靱化法の制定過程の中で国や自治体の行政的責任はさらに高まって来ている。

2.3.2.3 ため池DBの防災・災害対策上の課題

国家関与の初歩的行為となった全国版「ため池台帳」作成は昭和30年に始まり、その後数度に亘って再整理された。Appendix 3の最新版・平成9年の「ため池台帳」では、約21万個のため池が都道府県別に集計されているが、目的が長期の要防災事業量調査であるため、受益面積、ため池形式、事業主体、築造年代、管理の現状や課題に関する結果が集計されているだけで、ため池個々施設の安全性に関する評価に利用する前提にない。ため池台帳のあり方が問題化する切っ掛けになったのが、1995年兵庫県南部地震であり、国内初の震度7が適用され、ため池被害数も1,200個以上に及んだ。元々兵庫県は奈良・大阪に近く、気候柄も古くからため池造営が行われ、県内ため池数約4万8千個は、全国ため池数の23%にあたり、日本一のため池保有県であった。そこで結果的に決壊数9箇所を含め千個以上のため池に被害が生じたのがあるが、発災当初、何処でどれだけのため池に被害が発生したのか皆目分からず、地元市町村から県、農政局、農水本省までの災害対策関係者は、混乱に陥った。この教訓を下に農水省は総研に委託し、農工研はその依頼を受けて、検索機能付きため池台帳として「ため池DB」の開発を行い、同時期、都道府県はため池毎に所在地、施設諸元、管理者、管理状況等のデータ収集・整理・入力を実施した。データ入力及び検索システムの開発は(株)G&Sが行い、その後も農工研はGISを活用した検索・表示機能、地震、降雨等の気象情報の取り込み、簡易氾濫解析等機能充実を平成21年度まで順次進め、ため池DBの登録数も約12万個まで拡大させた。

この期間、地震災害では農工研技報で特集号化した大規模地震が3つ、2004年には台風豪雨災害により淡路島で多数のため池被害が生じたが、農水省も農工研もため池DB使って本格的な被害調査や研究報告を行っておらず、農水省の災害対策行政からも「ため池DB」忘れ去られた存在となっていた。そして2011年3月の東北地震では「藤沼湖決壊」の報道情報に対し、農水本省防災課は即時に被害箇所確認が取れなかった。「天災は忘れた頃にやってくる」は、寺田寅彦の有名な言葉であるが、備えの道具は持っていたのに使えなかったのである。

前節では、戦後、大型施設造営が社会的要請となっていた農業土木分野において、防災・災害対策に関わる脆弱な体制と研究・行政間の連携及び情報共有の希薄性の問題を指摘した。結局、(高瀬, 1967)の「災害報告書において、その場その場の調査者の主観的判断に終始しており、被害の原因や核心を極め、より広い統計面からの客観的考察によって、その実態を正当に位置づける研究領域は、従来まったく未開発であった」ことも、阪神・淡路大災害時に「農業土木分野の行政と研究が協力し、災害経験を踏まえた防災・災害対策研究の継続的蓄積」に対する教訓もその後、実質的に活かされることはなかった。

農村地域の人口減少・農家の高齢化や担い手不足の深刻化は、地方の存続すら危うくする情勢である。60年前に始まるため池の維持管理・老朽化問題は、地域の防災問題とも関連し、既に農家と地域住民だけでは背負いきれない状況下にある。また東日本大震災を契機に「行政側に対する責任論」が急速に高まりを見せ、平成25年の災害対策基本法の改正及び国土強靱化法の制定に伴って、警戒すべきため池についてはハザードマップを作成することが義務付けられた。今後は緊急に地震・豪雨時のため池災害リスク評価が求められるが、全国に5~6万個といわれる受益面積2ha以上のため池について、築堤材料の採取から解析評価までの対応は、必要性は認めても、工学的、時間的及び財政的な面から、適切かつ現実的な方法とは考えられない。ここで最優先すべき事は、「被害の原因や核心を極め、より広い統計面からの客観的考察によって、その実態を正当に位置づける」ため、過去の災害調査結果をレビューし、ため池DBを駆使した被害研究によって、現実に適合した防災・減災対策に繋げて行くことであると考えられる。

2.4 ため池の地震動被害に関する研究

Table 3には、我が国における大規模地震動によるため池被害を示した。ため池地震被害については、統計的研究のために、先人達は被害ため池と一緒に無被害池のデータ収集も必要としたが、そこには災害緊急時特有の制約があった。また、ため池の歴史性と地域性から派生する問題として、①膨大な数量、②立地の分散性、③工学的な不統一・不明性が有ることを前提条件としておく必要がある。一方、ため池の地震被害を統計面から分析検討するためには、やはり得られるデータが充分でなければ客観的な考察には役立てられない。上記3条件に関連して平時に長い年月を要して全国的に集積された「ため池DB」ではあるが、諸元データの全てを捕捉していくことは簡単なことではなかった。

Table 3 日本の主な地震のため池被害

Damages to earth dams due to past large earthquakes in Japan

地震名	発生日月	マグニチュード	ため池被害数
北丹後	Mar. 07,1927	7.3	90
男鹿	May 01,1939	6.8	74
新潟	Jun. 16,1964	7.5	146
十勝沖	May 16,1968	7.9	202
宮城県沖	Jun. 12,1978	7.4	83
日本海中部	May 26,1983	7.7	238
北海道南西沖	July 12,1993	7.8	18
兵庫県南部	Jan. 17,1995	7.3	1,222
鳥取県西部	Oct. 06,2000	7.3	71
芸予	Mar. 24,2001	6.7	205
宮城県北部	July 26,2003	6.4	33
新潟県中越	Oct. 23,2004	6.8	561
能登半島	Mar. 25,2007	7.2	175
新潟県中越沖	July 16,2007	6.9	90
岩手・宮城内陸	Jun. 14,2008	6.8	102
東北地方太平洋沖	Mar. 11,2011	9.0	1,990

Table 4は、Appendix 3を基に各都道府県のため池DBに登録された項目別データの充足率を整理したものである。堤高、堤頂長に関するデータ登録における充足率は、全体でも95%超で府県別のバラツキも少ない。これと比較して堤頂幅、勾配、地形では、充足率8割～7割と低下し、築堤材料に関しては半分にも満たない状況である。このような充足率になる理由は、外見的に確認できるものはいつでも捕捉できるが、築堤年代や材料に関するものは過去の記録がなければ捕捉困難だからである。そのために本研究では、現状でデータ充足率の低い築堤年代、材料、ため池型式等堤体の内部構造に関する項目は参考程度に止める。

Table 4 ため池DB 諸元データの充足率

Satisfaction ratio of covering data concerning earth dams for irrigation on Tameike Data Base (DB)

		単位:千個							
①ため池台帳	②ため池DB	③堤高	④堤頂長	⑤堤頂幅	⑥勾配U	⑦勾配D	⑧地形	⑨堤体材料	
総数	210.8	116.8	111.4	111.1	97.4	86.0	85.9	93.4	49.0
指数	100	0.55	0.95	0.95	0.83	0.74	0.74	0.80	0.42
平均値	-	-	5.08	62.53	2.89	1.45	1.77	-	-

注)U上流, D下流

2.4.1 研究の概観

本研究でレビューするため池地震動被害に関する研究は、農業農村工学分野が耕地整理技術から土木工学的な技術研究・振興に舵を切った1929年の農業土木学会発足以降とした。また、同学会が発行した「農業土木研究」の研究論文をベースとし、1965年以降に農工研が発行した「所報告」及び「所技報」を含めた。さらに、関連する内容が地盤工学会の「土と基礎」等、他学会で掲載された研究論文等も包含した。

なお、本研究がため池DBを用いて統計面から地震動被災の要因研究をも趣旨するため、ため池形状諸元に関する研究の有無もレビューの必要条件にした。

Table 5では、それら研究結果を主要な地震災害毎に時系列的に整理した。

農業土木分野のため池地震動被害研究は、(秋葉ら, 1941)が1939年秋田県男鹿地震で行ったのが最初で、その調査研究は統計的手法を駆使し複合的に分析を行っている。その背景には、1934年に農業土木学会編の「本邦高土堰堤誌」が発行され、その前後にため池に関連して、(和久井, 1932)が地質学的考察、(井上, 1937)が天端率と内外法率の関係、(和田, 1937)が堤体断面決定、(石橋, 1939)が堤高と堤頂幅の関係について研究発表し、秋葉らも高堤高アースダム時代に向けて、従来のため池形状と地震被害の関連を検証する意図があったと推察できる。その結果、秋葉は「従来の農業用溜池の土堰堤及び其の附属構造物の計画・築造・管理には、震力の考慮が非常に欠けていて、経験にのみ依頼した結果、遺憾ながら被害の度を激しくしたかの感があったことである」とし、さらに「一地方に大地震が襲うのは・・・稀ではあるが、其の災害の戦慄すべきを思えば、あらゆる部門から、これが調査研究をなし、対策を講じなくてはならぬ。地震については専門家に任せて置けと云うが如き無責任極まる態度を排すべき」と総括した。

本節では、その後のため池地震動研究に大きな影響を与えた、秋葉らの被害調査研究項目をベースとし、Table 5の研究レビュー総括表に示すように、地震動に関連する三つ(①震度、②震央距離、③地形・地質)の環境要因と、ため池堤体形状に関して五つ(①堤高、②堤頂長、③堤頂幅、④堤体上下流法勾配、⑤堤体横断面形状)の

Table 5 ため池の地震被害に関する研究レビュー
Review of studies on seismic damages to earth dams in Japan

地震名(年)	論文等・著者名(年)・雑誌等	環境要因				個体要因						備考
		震度	震央距離	地形等	堤軸角	堤高	堤頂長	堤頂幅	法勾配	横断形状	マルチ	
男鹿(1939)	秋葉(1941), 農業土木研究	△	-	○	△	○	-	○	○	○	-	
新潟(1964)	高瀬・山下ら(1966), 土と基礎, 技報	○	○	○	○	○	△	-	● ?	○	-	
十勝沖(1968)	守谷ら(1968-9)技報, 土と基礎, 学会誌	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	
宮城県沖(1978)	東北農政局(1979)他, 中島(1979)学会誌	○	○	○	△	●	-	-	-	-	-	土質, Rd(不明)
日本海中部(1983)	谷ら(1985)技報, 東北農政局(1984)	○	○	○	○	○	△	○	○	-	-	
男鹿(1939)・新潟(1964)・十勝沖(1968)・日本海中部(1983)	谷・長谷川(1987), 学会誌, 谷所報	○	○	○	-	○	△	○	○	-	-	レビュー
日本海中部(1983)	山崎ら(1989), 土木学会	-	○	○ ?	●	○	○	○	○	-	◎	多変量解析
北海道南西沖(1993)	谷(1995)技報	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	レビュー, 土質
兵庫県南部(1995)	谷(1997)大ダム, 谷他(1998)所報	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	土質, 被害, レビュー
兵庫県南部(1995)	藤井(2005)	-	○	○	○	○	○	-	-	-	◎	多変量解析
宮城県北部・鳥取西部・芸予(1996)	谷(1998)技報, 谷(2005)学会誌	○	◎	-	-	-	-	-	-	-	-	ため池DB
芸予(2001)愛媛	小林ら(2002)学会論文	-	○	○	-	○	○	○	○	-	◎	多変量解析
芸予(2001)広島	山本ら(2002)土と基礎	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	被害, 土質
新潟県中越(2004)	毛利ら(2006)技報	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	土質, 被害形態
能登半島・新潟県中越沖(2007)	毛利ら(2008)技報	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	土質, 被害形態
東北地方太平洋沖(2011)	堀ら(2012)技報	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	土質, 被害形態

○:関係有り ●:関係有り(結果反対)△:無関係

個体要因に区分した。但し、ため池堤軸方向は、ため池サイトの地形と深く関わるため、③地形・地質の環境要因に含めた。最後に、被災要因を多変量解析で求めた事例を紹介する。

2.4.2 地震等の環境要因によるため池の地震動被害

2.4.2.1 震度とため池被害

現在の農業用ため池の地震後緊急点検要領では、震度5弱以上で全ての対象ため池が、震度4では対象ため池のうち堤高15m以上のもので実施することになっている。対象ため池とは：①堤高10m以上、②貯水量10万 m^3 以上、③決壊した場合、人的被害を及ぼす恐れがある、④地域防災計画等に定められているのうち、①～④のいずれかに該当するものである。この点検要領で規定されている震度とは、以下の研究成果の要旨がベースとなっている考えられる。

(高瀬ら, 1966)は、新潟地震の震度と被害ため池分布で、「震度3程度では全く被害がない、被害ため池は震度4と震度5の地域で、多くは震度5に含まれる」、「震度5で堤体破壊(決壊)がないので、決壊は震度6以上で起こる」と結論した。さらに「震度は市街地で観測され、ため池付近でないの、概略の値しか示していない点に注意すべき」としている。(谷, 1985)は、1968年十勝沖地震と日本海中部地震の震度コンタを、市町村別ため池被害率を6区分した分布図に重ね、両地震で「震度5の範囲に被害ため池はほぼ入る」とした。さらに、(谷, 2005)は、2000年鳥取県西部、2001年芸予地震、2003年宮城県北部地震の計測震度とため池被害率の関係から、「被害率は計測震度5.7付近から急激に大きくなる傾向が見られる」とした。

震度とため池被害の関係は、全ての研究でその関連性を前提に検討されているが、高瀬らの指摘のようにため池毎の震度特定に十分な精度がなく、谷らが市町村毎にため池被害率として示すことが、当時、唯一可能な方法であった。

2.4.2.2 震央距離とため池被害

(谷ら, 1998)は震央距離と R_d に着目し、各地震の震央距離別に R_d を並べて、地震被害が生じる最大震央距離と最短震央距離の R_d を推定し、地震マグニチュードと被害発生の限界震央距離関係を明らかにした。但し、マグニチュード8.0以上でため池被害の記録がないことや特定の震央距離に高い R_d が生じるなど、被害傾向を表す意図は理解できるが、推定式には地形・地質要因を考慮しておらず、問題がないとは言えない。

2.4.2.3 地形・地質とため池被害

地形・地質と地震被害の関係は、(秋葉ら, 1941)が最初に着目したテーマであり、地層や土壌分布等も比較考察し、被災池は地形的に「平地と山地の境で最も顕著

だった」とした。なお、秋葉らは地形と地震被害の関係考察のため、当時の地勢図上にため池位置表示した図面を作成していたが、時節柄(論文が発表された昭和16年は、太平洋戦争開戦年であり、国防上の配慮からか)省略されている。その他、重ね池では単一池よりも被害が甚だしく、特に上流池に被害が大きいことにも着目している。

(高瀬ら, 1966; 谷, 1985)では、地形の境界に着目し、秋葉らと同様な結果であった。(山崎ら, 1989a, 1989b)は同じ日本海中部地震で地形分類から、台地が最も R_d が高くなった。また、(藤井ら, 2005)は兵庫県南部地震で標高を地形分類に代用し、高位標高で被災度が大きくなっており、地形に関して、秋葉らの結論と矛盾する結果はその後もなかった。

2.4.2.4 堤軸方向とため池被害

堤軸震央方向角度について、(秋葉ら, 1941)は男鹿地震で「堤体の方向と最大震動の方向及び震源地の方向には特別な因果関係は発見されない」と結論したが、この問題に対する関心は極めて高く、「堤体も一つの構造物なる以上震動の方向と無関係であり得ない」と考え、当時、相当綿密な現地調査を行っていた。その後、(高瀬ら, 1966; 守屋ら, 1969; 中島, 1979; 東北農政局, 1984; 山崎ら, 1989a, 1989b; 藤井ら, 2005)がこのテーマで検討したが、中島以外は全て因果関係ありと報告され、うち山崎ら以外は、「震央」-「堤体」-「貯水池」の位置関係で、さらに直角付近の R_d が大きい傾向があるとした。但し、複数の地震事例で研究レビューを行っているが、このテーマに関する統一的整理は行われていない。

2.4.3 堤体形状等を個体要因とするため池の地震動被害

過去のため池地震動被害研究では、①堤高(H)、②堤頂長(L)、③堤頂幅(W)、④上下流法勾配の4つを堤体形状に関する諸元とし、②/①形状係数(L/H)、①と③、①と④及び③と④を形状諸元の組み合わせで検討されている。以下、ため池地震動被害に関して、①から④までを諸元毎(但し、 L/H は②に含める)に、さらに堤体横断形状諸元(①、③及び④の組合せ)、多変量解析と順次レビューする。

2.4.3.1 堤高とため池被害

昭和9年発刊の「本邦高土堰堤誌」では、高堤高ため池(高土堰堤)を堤高50尺(15.15m)以上、貯水容量5,000立坪(30,000 m^3)以上、灌漑受益面積10ha以上で定義とされ、堤高は構造物として最重要諸元であり、「地震時ため池緊急点検」でも、堤高によって点検対象が異なっている。(秋葉ら, 1941)の研究でも最初の堤体諸元として堤高を挙げ、これを5区分して被害との関係をみて

いる。戦前の尺間法では、～5尺(1.5m)、～10尺(3.0m)、～20尺(6.1m)、～30尺(9.1m)、30～54尺(9.1～16.4m)区分されている。

次の(高瀬ら, 1966)は、新潟地震で堤高を5m毎に分割し、無被災ため池数との対比で被害率としている。

(東北農政局, 1984)は、堤高0～1.5mまでを第一区分とし、1.5～7.5mまでを1.0m毎で6分割、7.5m以上を1区分の計8分割で被災ため池数を整理し、堤高区分毎に R_d の変化を見ている。(谷ら, 1987)は、堤高と被害の関係を十勝沖・宮城県沖・日本海中部の3地震の被害事例を並べて比較した。堤高区分は、(高瀬ら, 1966)と同じ5.0m毎で、いずれの場合も「堤高が大きいほど被害が大きくなる」と結論した。因みに、著者毎に堤高分割に違いがあるのは、一応に区分毎の個数のバラツキを極力少なくする工夫と考えられる。その後も、地震被害研究の報告はされているが、単一の堤体形状諸元による被害分析研究は見当たらない。例えば、(山崎ら, 1989a, 1989b; 藤井ら, 2005; 小林ら, 2002)は、多変量解析に併せて R_d を算定し、堤高と被害に因果関係があると報告した。

2.4.3.2 堤頂長とため池被害

ため池形状を代表する諸元として堤高に次ぐものは通常、堤頂長である。しかし、地震被害関係で堤頂長を単独で論じたものは、(秋葉ら, 1941)にはなく、(高瀬ら, 1966)が行った、被害との関係検討では、「明確な傾向は見られない」であった。唯一、(東北農政局, 1984)が堤頂長25m毎毎の被災池度数分布を示し、「被害池は堤頂長25-50mのものが多く、100m以下が大多数」とだけ結論した。(谷ら, 1987)は、「堤頂長と被害の関係は特に見られない」とし、十勝沖と日本海中部地震の被害例について、「堤頂長/堤高を L/H として、2.5以下では被災がなく、5.0以下では R_d は小さく、5.0超では R_d は一定レベルで大きくなる」とした。 L/H と地震被害の関係性については、(畑中, 1952)の、「堤頂長が堤高の3～4倍以上であれば、自由振動周期として共振現象を起し得る」とした研究結果を根拠としている。その後、(山崎ら, 1989a, 1989b; 藤井ら, 2005; 小林ら, 2002)は多変量解析と併せて被害率を算定し、堤頂長規模とは因果関係があると報告した。

2.4.3.3 堤頂幅とため池被害

一般に堤頂幅は高堤高ため池では広くなるため、堤頂幅単独で地震被害との関係を論じられることは少ない。過去の研究事例では(東北農政局, 1984)が唯一のもので、「被害ため池は堤頂幅2-4mが一番多い」としている。(秋葉ら, 1941)は、堤高と堤頂幅を関連付けて分析し、天頂幅の大小は被害に殆ど影響がないとした。(谷ら, 1987)は、日本海中部地震を事例に「堤頂幅が広くなると被害が多くなる」とし、「堤高が大になるにつれ

て堤頂幅が大きく、堤高の大きいものほど被害率が高くなることを反映したもの」と理由付けした。(山崎ら, 1989b; 小林ら, 2002)が示した被害率では、堤頂幅が大きいほど大きくなっている。

堤頂幅決定の研究では、①(井上, 1937)が天頂幅率と内外法率の関係から、②(石橋, 1939)は高土堰堤の堤高と堤頂幅の関係を、昭和9年の「本邦高土堰堤誌」の263個のため池から統計的に研究し、関係方程式を提案した。①及び②は異なる手法であるが、結論の「堤高(①は水深)が大きいほど堤頂幅は広くする」は、基本的に同じである。

2.4.3.4 上下流法勾配とため池被害

堤体上下流法勾配は、(秋葉ら, 1941)が最も多くの図表を用い徹底して地震被害との関係を検討しており、「法勾配が緩くとも被害は免れず、被害、無被害何れに関しても一概に論じられない」としたが、秋葉らが提示した図表から、上流法勾配が緩やかなほど被害の程度が大きくなっていった。(高瀬ら, 1966)の法勾配と被害の関係は、「上下流とも勾配が緩いほど被害率が上がっている」。また、上下流法勾配比では、「上流緩・下流急」の場合に「被害池が一番多いが、無被害池数も多いため被害率は最低」となった。また、「上流急・下流緩」では、「被害池数は最も少ないが、無被害池数も少ないため被害率(被害池数/無被害池数)が最大であった。

(東北農政局, 1984)は、上下流法勾配で0～1.5割を最初の区分とし、それ以上2.5割までを0.1刻みで計12区分し、各々の被害池数を集計した。その結果、「上下流とも2.0割の被害池が一番多く、急な1.5割以下、緩い3.0割以上でも被害が生じていた」。さらに上下流法勾配比の比較では、「上流緩・下流急」の場合に「被害池が一番多く」、「上流急・下流緩」で「被害池数は最も少なく、決壊池も無かった」。日本海中部地震の場合、無被害池数が不明で被害率で比較できないが、(高瀬ら, 1966)の新潟地震被害のパターンと大きな違いはない。

(谷ら, 1987)は「上下流の法面勾配と被害の関係」は、男鹿、新潟、十勝沖、日本海中部地震で「上下流ともおおむね緩くなるほど被害率が高くなる」ことを認めている。また、日本海中部地震で、堤高別に法勾配と被害の関係を上下流で調べても、「堤高区分に関係なく、勾配が緩くなると被害率が大きくなる」傾向にあるとした。

さらに①(山崎ら, 1989a, 1989b)の日本海中部地震、②(小林ら, 2002)の芸予地震における研究でも上下流法勾配が緩いほど被害率が高くなっていった。①と②は共に多変量解析を行い、緩い勾配の被害率が高いことを確認しているが、①は「従来の工学的知見とは逆の結果」であることを認め、「勾配が緩いものほど、堤体の材質等の施工条件が悪かった」と考察し、②では「一般に、盛土斜面は緩勾配の方が安定するが、堤体材料や基礎地盤の強度が小さい場合に法勾配を緩にすることから、土

質材料の特性が顕著に現れたもの」と考察している。

堤高と上下流法勾配との関係は、(石橋, 1942) が「本邦高土堰堤誌」のため池263個で統計的研究を行い、堤高の大きさに従い勾配が緩くなり、堤高15m以上では「上流勾配を下流勾配より相対的に緩くする」ように勧めていた。

2.4.3.5 横断面形状とため池被害

(秋葉ら, 1941) は、堤高と堤頂幅を組合せて、2図1表を用いた被害分析から、「堤高/堤頂幅が2.5以上に決壊がない等、一定の高さに対して天端幅が狭くなれば決壊の患がないという矛盾を感じる結果が表れた」とした。また、堤高と法勾配及び被害の関係では、2割5分以上では堤高の高低に関係なく被害があった。(高瀬ら, 1966) は、堤頂幅/堤高比と被害の関係から、堤高に対して極端に堤頂幅が大きいのは危険であるとした。

2.4.4 多変量解析によるため池被害分析

ため池諸元に関わる多変量解析は、1983年日本海中部地震で(山崎ら, 1989a, 1989b)、1995年兵庫県南部地震で(藤井ら, 2005)、2001年芸予地震の愛媛県内で(小林ら, 2002)の各々が、異なるに分析手法で研究している。山崎らは震央距離、堤頂幅、堤頂幅/堤高及び上流法面勾配が、藤井らは震央距離、堤軸角度、堤体積(堤高×堤頂長)、標高及び地質、小林らは震央距離、地形、堤高、堤頂長及び上下流法勾配が被害率に関連性が強いとした。

2.5 まとめ

Table 5の中で2004年新潟県中越地震、2007年能登半島地震、同年新潟県中越沖地震及び2011年東北地方太平洋沖地震のため池被害研究については、農工研技報の特集号に掲載されている。しかしながら、堤体諸元に基づく検討が含まれておらず、専らため池個々の被害形態と土質面からの考察であり、上記のレビューでは全く触れることはなかった。ここでは、第II章のまとめとして、本研究の目的であるため池の地震動被災要因について、要因毎の検証テーマを以下の通り整理した。但し、被災の検証に当たっては、次章でため池被災率(R_d)を改めて定義し、危険度評価の指標とした。

(1) 環境要因(誘因・外的要因)

- 1) 震度は R_d と関連性があることは明白であるが、これまでため池毎の震度が曖昧であった。そのため、ため池毎の推計震度を同定し、同一震度グループ毎に R_d を求めて関係を検証する。
- 2) 震央距離が近いほど R_d は増加傾向にあるが、遠い距離でも局所的に震度及び R_d は高い場合が見られる。そのため震央距離と R_d の関係を、震度と地形・地質の関連性から検証する。
- 3) 地形・地質については、「山地と平地の境」で R_d

が高い傾向が一般的に見られることから、地形・地質と震度及び R_d の関係を検証する。但し、推計震度にも地形・地質要素が含まれるため、県ブロック等の広域的な観点とため池サイトの狭域的観点に分けて被災要因の分析を行う。

- 4) 堤軸下流方向が震央と正対の関係の場合に被害率が高いとする事例が多数を示されているが、未だ一致した見解となっていない。そのため、ため池毎に堤軸の震央方向角度(ω_i)を定義し、 R_d でその関係性を検証する。

(2) 個体要因(素因・内的要因)

- 1) 堤高が高いほど被害率が高いとする研究結果が一般的であるが、統計的確率から再検証すると共に、震度と堤軸方向の関係と併せて確認する。
- 2) 堤頂長は被害率との関連性の有無について定まった見解が得られていない。そのため、堤高と同じ手法で R_d の検証及び確認を行う。
- 3) 堤頂幅は広いほど被害率が高いとする研究結果になっているが、統計的確率から R_d を再検証する。
- 4) 理由は未解明であるが、堤体上下流法勾配が緩いほど、また上流勾配が緩いほど被害率は高いとする研究結果である。そのため、上下流の勾配別に R_d を検証する他、上下流勾配比を定義して統計的確率から R_d を再検証する。
- 5) 横断面形状について、堤高と堤頂幅、堤高と上下流法勾配比及び堤頂幅と上下流法勾配比の関係について統計的確率から R_d を検証する。

(3) 被災度と要因間の整序化

地震動によるため池被災は、多様な要因が複雑に絡み合っており、その被災レベルも軽微なクラックから堤体崩壊まで幅が広い。そのため、被災要因究明に当たっては、ため池 R_d と併せて第V章で定義する被災度によって検証を行うと共に、要因間の相互性・階層性を念頭に置いて被災要因の整序化を行う。

III 震度によるため池の被災分析

3.1 概説

どれくらいの震度から農地やため池を始めとした農業用施設に被災が生じるか、統計的に研究されたものがない。その理由は農地・農業用施設が日本全国各地に広く分布し、農家個々から県・国まで多様なレベルで所有・管理され、大地震災害時の混乱下にあつて無数の被災箇所情報の収集・整理は容易な作業ではなかった。また、地盤揺れの尺度である震度は、かつては気象庁観測所が府県毎に2~3箇所しかなく、人口粗密な農村地域に広く分布する各農地や農業用施設と整合するものではなかった。さらに震度階には地震加速度で大きな幅があるため、被害度を測る尺度としては不十分であった。そのため農業土木分野では、建築分野のように建物被害について

震度を用いて検証する研究方向へ進んで行かなかった。

今日、大きな地震発生時には推計震度分布と一緒に震央が発表され、その距離に応じて被災影響が大きくなると考えられている。そのため震央距離から地域の被災レベルを想定する研究や提案もあるが、災害緊急時に震度と震央距離のどちらを判断基準とすべきか、事前に明確にしておくことも大切である。特にため池は地震時に決壊・氾濫の危険性があるため、被災度を大地震発生時毎に判断し、緊急時の点検や住民避難等の防災・減災対応が必要不可欠となっている。

3.1.1 震度と農地・農業用施設等の被害

(高岡ら, 1984) は1983年日本海中部地震の被災2県で農業用施設の個所当たり被害額を市町村別に求めていたが、これは「農林水産業施設災害復旧事業費国庫補助の暫定措置に関する法律」(昭和25年制定)に基づき市町村単位で農水省に被災報告されたデータに基づいている。但し、この方法では、1件だけの大きい被害額によって、当該市町村全体の被災程度が大きくなってしまふ。

また当時の震度分布は、県内数点の観測震度がコンタ表示され、地形・地質は考慮されず、場所毎の震度は目安程度でしかなかった。今日の推計震度分布は、地震時の地表地盤の揺れ方を考慮し、1kmメッシュ毎に小数点一位まで公表されている。

本章では、農地・農業用施設等の地震動被災に関して、公的な被害額を用いて説明が可能かを検証した。そのため、被災市町村毎の平均推計震度と被災密度の新しい指標を提案し、震度を尺度とする農地・農業用施設等の地震動被災分析を行った。

3.1.2 震度とため池被災

(高瀬ら, 1966) は1964年新潟地震で「震度は、市街地で観測されたもので、ため池付近でないので、概略の値しか示していない点に注意すべき」としていた。また、

(谷, 1985) は、震度コンタ図に市町村別のため池 R_d を重ねて関係を検討した。さらに1996年に気象庁が計測震度を正式導入後、(谷, 2005) は、2000年鳥取県西部、2001年芸予地震、2003年宮城県北部地震のため池被災市町村の計測震度とため池被害率の関係を報告した。

本章では、気象庁の1kmメッシュ推計震度から、ため池毎の震度を同定し、震度増加とため池被災の関係を検証した。加えて、震度と震央距離及びため池被災分布から、被災要因としての震央距離の扱いを考察した。

3.1.3 東北地震の農地・農業用施設等被害

平成23年3月11日14時46分01秒、三陸沖、牡鹿半島の東南東130km付近、深さ24kmを震源とするモーメント・マグニチュード(M) 9.0の地震(本震)が発生し、同日気象庁は、「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地

震」(以下、「東北地震」という)と命名した。東北地震は、太平洋プレートと陸プレートの境界で発生した海溝型地震で、その規模は国内観測史上最大、世界でもスマトラ島沖地震(2004年)以来で、1900年以降では4番目に大きな巨大地震であり、宮城県北部で最大震度7、東北・関東8県で震度6以上など、東日本を中心に日本列島全体が大きく揺れた(Fig. 1)。

また、地震により津波遡上高は国内観測史上最大の40.5mに上る大津波が発生し、震源域に近い東北地方中南部から北部関東の太平洋沿岸部で約56,000haが浸水し、そのうち農地では約23,000haが冠水し、深刻な塩害と排水機能麻痺を引き起こした。大津波以外にも地震の揺れや液状化現象、地盤沈下などによって、東北及び関東の広大な範囲で各種ライフラインの寸断や建物、港湾、漁港等の施設に大きな被災が発生した。政府はこの震災の名称を「東日本大震災」とした。

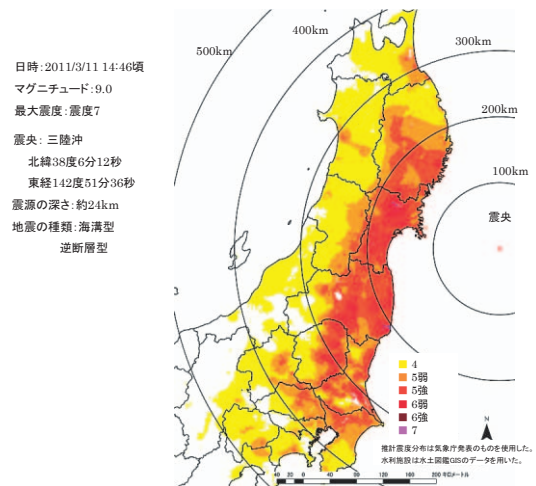


Fig. 1 東北地方太平洋沖地震の推計震度分布
Distribution of estimated seismic intensity during the 2011 Offshore Pacific Coast of Tohoku Earthquake in Japan Archipelago

未曾有の津波被災に加えて、内陸部でも強震動によって農業用施設等へ甚大な被災が生じた。特に農業用ため池、ダム、パイプラインなど基幹施設の被災が大きく、福島県須賀川市の藤沼湖では決壊・氾濫により8名の死者・行方不明者を出す人命災害となった。Table 6には、平成23年11月時点の東日本大震災農地・農業用施設等被害額を示した。被害は全国15県、被害額は約8,300億円に及び、うち宮城県が全体の55%を占め、福島県29%、岩手県7%、茨城県6%と続き、被害額上位4県が全体の96%と震源に近い太平洋沿岸に面した地域に被害が集中していた。

東日本大震災の農地・農業用施設被害を過去20年間と比較したのが、Fig. 2である。各年の被害額は平成24年版災害統計等により整理したが、豪雨・台風被災も含めた年間の平均的被害額が1,000億円程度に対し、今回は震災被害額だけで7倍近い被害額となった。また、過去

Table 6 東北地方太平洋沖地震の農地・農業用施設等被害額

Summary of damages to farmland and agricultural facilities during the 2011 Offshore Pacific Coast of Tohoku Earthquake in Japan

県名	農地		農業用施設等		農村生活関連施設		合計	
	箇所	被害額	箇所	被害額	箇所	被害額	箇所	被害額
青森県	20	1	23	5	2	0.2	45	6
岩手県	13,321	226	3,644	309	41	10	17,006	546
宮城県	317	2,769	2,994	1,489	102	267	3,413	4,535
秋田県	0	0	7	0.1	11	0.2	18	0.4
山形県	102	0.4	134	3	2	0.2	238	3
福島県	1,794	943	3,731	1,246	111	226	5,635	2,415
茨城県	640	40	7,597	342	100	93	8,337	475
栃木県	238	6	510	90	23	6	771	102
群馬県	0	0	32	3	0	0	32	3
埼玉県	0	0	67	4	0	0	67	4
千葉県	113	11	2,225	142	6	17	2,344	170
神奈川県	0	0	1	0.01	0	0	1	0.01
長野県	746	8.6	239	14	4	4	989	27
静岡県	0	0	2	0.1	0	0	2	0.1
新潟県	165	6	252	12	7	9	424	26
合計	17,456	4,012	21,457	3,658	409	633	39,322	8,302

注1) 農業用施設等の被害は、主に、ため池、水路、揚水機、農地海岸保全施設の被害である。
 注2) 農村生活関連施設の被害は、主に、集落排水施設の被害である。
 注3) 茨城県及び千葉県の農業用施設等には、(独)水資源機構から報告のあった、水資源開発施設の被害額を含んでいる。
 ※農林水産省(2013.11.11プレスリリース)

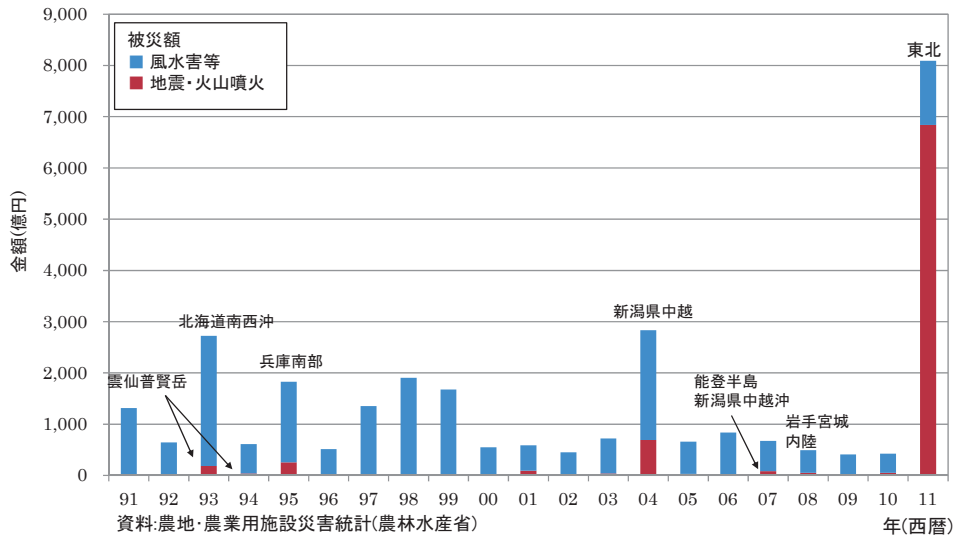


Fig. 2 過去20年間の自然災害による農地・農業用施設被害額の推移
 Cost of damages to farmland and agricultural facilities for natural disaster events in Japan since 1991

に最大震度7を記録した2004年新潟県中越地震や1995年兵庫県南部地震と比べても、それぞれ約10倍と約26倍であり、いかに甚大な被災が生じていたかが分かる。

3.1.4 東北地震のため池被災

ため池の被災箇所数及び被害額は、暫定法に基づき被災市町村毎に農水省に報告される。Table 3の東北地震に伴う被災ため池数1990箇所は、2012年4月までに農村振興局防災課において集計されたものである。これには東北地震の翌日未明に発生した最大震度6強の長野県北部地震で被災した長野県と新潟県内のため池も含まれている。但し、本被災報告のため池数は、その後農水省が行う災害査定前のもので、被災規模や被災場所等公式の確認が行われていない状態にある。

Table 7では、東北地震のため池が被災した東北3県と関東4県の計7県について、被災ため池数及びその被災

総額と災害査定ため池数とその査定総額を示した。被災7県の被災ため池は1,961個、被災総額は315億円であるが、査定ため池では564個(被災池数の29%)、査定総額76億円(同24%)である。査定池が被災池の個数と総額で各々30%以下になっているが、その理由を現地で関係者に聞き取ったところ、被害が比較的軽度で地元農家レベルで補修・復旧対応可能、堤体天端の道路舗装破損等で他公共災害復旧工事等で対応したとの説明であった。被災池数と査定数の差の大きさや大震災時の混乱から推測すると、発災当初に確認されたクラックも、後日、再調査では消滅していたケースも多数あったものと考えられる。

ため池被災7県の内、最大は福島県で査定池257個(全数の46%)、査定総額53億円(総額の69%)で数量及び金額とも他県を圧倒している。但し、これには2012年3月時点で福島第一原発事故により災害査定が実施できな

かった池は入っておらず、今後、さらに他県とは差が広がることを見込まれている。宮城県2位、岩手県が3位と続き、東北上位3県で査定池数の90%、査定額の92%を占めている。通常、地震動被災は震央に近いほどその被災も大きいと想定されるが、今回の地震では、震央に最も近い宮城県よりも福島県内の方が被災ため池が多く、さらに震央から距離の離れた群馬県内でも被災池が生じていた。

Table 7 東北地方太平洋沖地震のため池被災 Damages to earth dams due to the Tohoku Earthquake

県名	ため池数	被害ため池数	左記被害総額 (百万円)	災害査定 ため池数	左記査定総額 (百万円)
岩手県	1,218	401	1,387	121	548
宮城県	2,535	630	3,492	127	1,188
福島県	3,299	803	23,689	257	5,260
茨城県	1,123	78	1,234	45	367
栃木県	142	37	1,394	8	116
群馬県	587	5	250	5	91
千葉県	1,291	7	63	1	17
合計	10,195	1,961	31,508	564	7,587

資料：農林水産省農村振興局防災課調べ(2012年6月)

注)ため池数はため池DB登録数

また本震災は、午後の早い時間帯に発災したため、自衛隊ヘリからの津波映像を始め様々な動画記録や地震及び津波に関する各種観測データが迅速に公表された。気象庁は地震の規模を示すマグニチュードを3度に亘って改訂したが、揺れを示す震度(計測震度及び推定震度分布)については、発震後30分以内に発表されている。現在、計測震度は全国で約4,300個所に設置された。観測点から地震動被災想定に直結するものとして、各方面の災害対応態勢始動やこれをベースとした防災・減災対策の体制作りに重要な役割を果たしている。

3.2 分析方法

3.2.1 データベース

3.2.1.1 東日本大震災の被害額

農地・農業用施設の自然災害からの復旧に関しては、昭和25年に制定された「農林水産業施設災害復旧事業費国庫補助の暫定措置に関する法律」(以下、「暫定法」という)に基づき、災害事件毎に各被災市町村から都道府県を經由して農水省へ被害額が報告されている。**Table 8**は、農水省農村振興局防災課が発災後3ヶ月経過した6月16日時点で市町村からの報告をベースに集計したものを、被災県毎に津波と地震動のみの被災形態別に被害額を整理したものである。被災県11県において、津波被災は47市町村、地震動被災(震災被災市町村数から津波被災市町村を除いた数)は239市町村、合計286市町村(被災県全市町村の61%)から農地・農業用施設等被害が報告されていた。なお、本章で検討する市町村毎の農地・農業用施設等被害額は、**Table 8**の集計表をベースとしたものである。

Table 8 東日本大震災における県別の被災形態別被害額 The damages caused by the earthquake and tsunami in each prefecture during the Tohoku Earthquake

県名	市町村数	震災被害		津波被災		地震被災	
		市町村数	総額	市町村数	被害総額	市町村数	被害総額
		①+③	②+④	①	②	③	④
青森県	40	7	443	2	135	5	308
岩手県	35	25	54,366	11	50,048	14	4,318
宮城県	36	31	379,283	13	375,208	18	4,075
秋田県	25	5	38	0	0	5	38
山形県	35	17	328	0	0	17	328
福島県	59	47	230,258	10	190,838	37	39,420
茨城県	44	44	38,824	6	4,893	38	33,931
栃木県	30	19	7,167	0	0	19	7,167
群馬県	38	8	262	0	0	8	262
千葉県	56	33	15,138	5	3,837	28	11,301
埼玉県	70	3	115	0	0	3	115
合計	468	239	726,221	47	624,959	192	101,263

データ：農林水産省農村振興局防災課2011年6月16日集計より

3.2.1.2 ため池データベース

ため池に関するデータベースは、平成7年1月の阪神・淡路大震災を契機とし、紙ベースの「ため池台帳」が電子データ化された「ため池データベース」(以下ため池DBと略す)として、現在、全国約12万個のため池が登録されている。データ項目は、名称、所在地、位置座標、施設諸元等であり、各都道府県でため池台帳代わりに使用される他、リアルタイム気象情報による警報システムや簡易氾濫解析によってため池決壊時の洪水氾濫域予想(ハザードマップ作成)等の機能を有している(谷, 2005)。

ため池DB中、東北地震で暫定法に基づく災害査定が行われたため池を「被災ため池」、無被災(=災害査定のない)ため池を「無被災ため池」と定義した。また、ため池DB中の各ため池は、東北地震時の1kmメッシュ内推計震度で同定した。但し、ため池DBの位置座標等の分析に使用する必要情報は、福島県及び関係農政局に依頼して収集・確認・訂正を行っている。

3.2.2 分析手法

3.2.2.1 計測震度

現在、気象庁が日本国内で地震時に発表している震度は、器械で計測された震度によるもので、かつて専門の観測官が体感し、当時の建物被害の目安となった震度に調合するものである。そのため、人が揺れを感じやすい周波数帯や構造物に影響しやすい周波数帯に着目し、実際に強震計(周波数0.01~100Hzの範囲)で観測された地震波に**Fig. 3**で示すフィルター処理を行い、計測震度算定に用いる加速度を求めている。フィルター処理された3成分加速度は、**Fig. 4 (a)**でベクトル合成され、10秒毎に区分された合計時間0.3秒以上を満たす加速度をもって、以下の計測震度の算定式(1)の加速度とaなっている(気象庁HP)。

$$I=2\log a+0.94 \quad (1)$$

また、Fig. 4 (b) は計測震度と加速度の関係を示したが、同(c)では、同じ加速度 a 数値から求まる計測震度でも、 a が含む地震波の周波数で大きく異なり、周波数 0.6~0.7Hz (周期1.67秒) 周波数帯を多く含む地震波ほど計測震度は大きくなる。

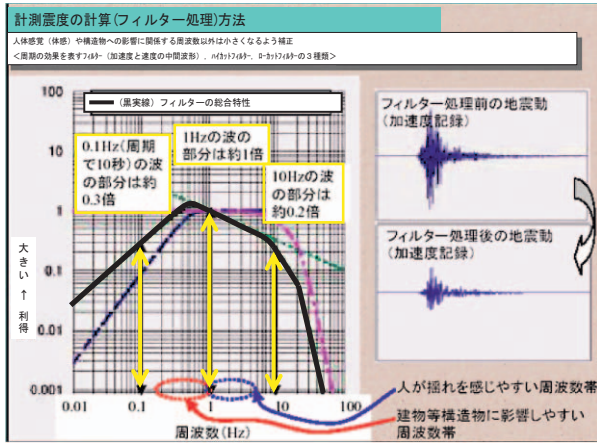


Fig. 3 計測震度の計算方法 (気象庁資料)

Method of measurement seismic intensity (How to filter relevant seismic acceleration)

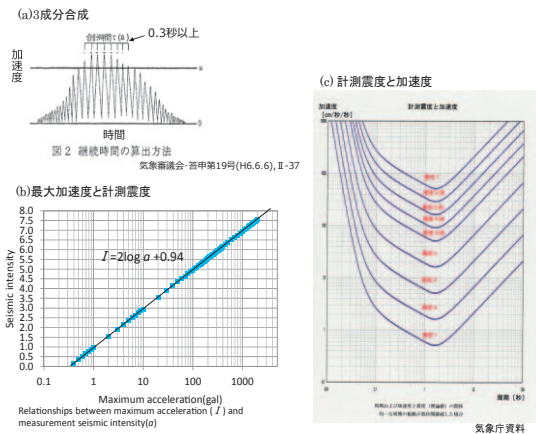


Fig. 4 計測震度と加速度の関係

Relationships between seismic acceleration and measurement seismic intensity

3.2.2.2 推計震度と平均推計震度

1995年の阪神・淡路大震災を契機に全国的な震度観測網の整備が進み、気象庁は2004年から国内で最大震度5弱以上の地震が発生した場合に推計震度分布を公表することとなった。また、2006年以降、全国各地の1 kmメッシュ推計震度データが地震発生から30分以内に得られるようになったことで、ほぼリアルタイムに人口疎密な農村地域でも震度情報が入手可能となった。Fig. 5には推計震度の算出方法の概要を示したが、全国4,300箇所余りの観測点で計測された震度に基づき、それを工学的基盤面と表層地盤の特性で既定された増幅度との関係で周

辺を補間する方法で震度が推計されている (気象庁, 2004)。

国土数値情報では微地形区分と表層地質から13区分され、統計処理によって割り当てられた係数を算出、表層地盤の増幅度が求められている。

本研究では気象庁が震度4以上で公表している1kmメッシュデータを使用し、当該1 kmメッシュ内の小数点一位の推計震度をエリア内の代表震度とし、各ため池推計震度は、所在する1 kmメッシュ震度で同定した。また、一定エリア毎の平均震度 (\bar{I}_i) は式 (2) より算出した。なお、同一1 kmメッシュ内に複数の市町村エリアが含まれる場合は、メッシュ中心を含む市町村の該当エリアとした。

$$\bar{I}_i = \frac{\sum_{j=1}^n I_j}{n} \tag{2}$$

但し、 I_j : 1 kmメッシュ j 内の推計震度、 n : 一定エリアのメッシュ数。

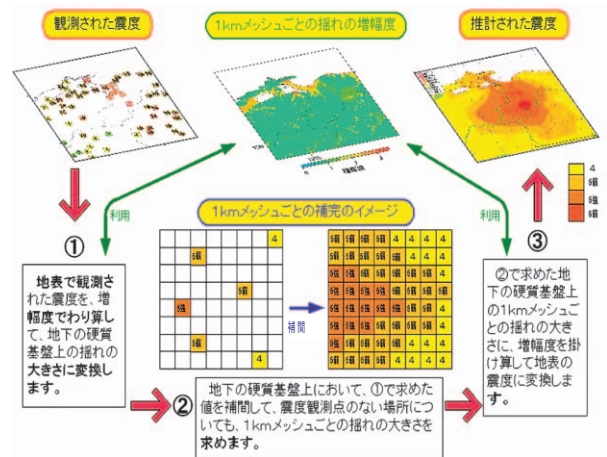


Fig. 5 推計震度分布の算出方法 (気象庁資料)

Method of estimated seismic intensity distribution map

3.2.2.3 被災密度

暫定法に基づき異常な自然災害により一箇所当たり40万円以上の被災を受けた農地・農業用施設等について、被災市町村はその被害額報告を農水省に行う必要がある。ここで農業用施設等とは、農業用ダム・ため池、頭首工、用・排水路、揚水機などのかんがい排水施設や農道等の農業用施設と農地保全施設、農地海岸施設である。これとは別に、主に集落排水施設等の農村地域の生活関連施設も関連して報告される。なお、自然災害被害を表現する際に被害額を用いて市町村単位の被災状況比較は可能であるが、被災総額が市町村の行政区画面積に応じて大きくなるため、市町村毎の被災レベルの比較にはならな

い。

通常、土地改良事業を実施する際は、どれだけの農地が裨益するかを「受益面積」で表し、事業規模を計る指標とされる。また、農地と農業用ダム・ため池、頭首工、揚水機、用排水路、農道等の農業用施設は、一体的な農業生産システムとして地域内に存在している。このことから、各市町村の農地・農業用施設等の被災(ダメージ)レベルを指標化するために、各市町村毎の総被害額を耕地面積で割り戻し、単位耕地面積 (ha) 当たり被害金額を見ることで、どの程度の被災水準となるかを比較検討できるようにした。因みに、各市町村の被災水準の数量化は、式 (3) を定義することで被災密度 (D_i) としている。

$$D_i = \frac{C_i}{A_i} \quad (3)$$

但し、 C_i ：市町村 i の被害総額 (円)、 A_i ：市町村 i の耕地面積 (ha)。

3.2.2.4 ため池被災率

ため池の被災率 (R_d) は、式 (4) により算定するものとし、分母と分子には各々 Table 7 のため池 DB の池数と被災 (= 災害査定) 池数から求める。

$$R_d = \frac{N_d}{N_t} \times 100 \quad (4)$$

但し、 N_d ：ある条件下での被災ため池数、 N_t ：左記と同一条件下の(被災及び無被災)ため池数。

3.2.3 分析手順

3.2.3.1 被災密度と平均推計震度

農地・農業用施設等被害に関しては、まず被災市町村毎の被災密度を区分して日本地図上に表示し、震度分布との関係で「見える化」した。さらに津波と地震動で被災形態別に区分し、平均推計震度との関係で被災分析を行った。

3.2.3.2 推計震度とため池被災率 (R_d)

ため池被災に関しては、まず推計震度分布図上に被災池と無被災池を色分け表示し、震度と被災状況を俯瞰した。また、ため池被災の大きかった宮城県と福島県で、ため池の推計震度毎に R_d を求めて比較した。さらに、ため池位置が確認できた震度 5 強以上を記録した 7 県分のため池について、推計震度別に R_d を求め、過去のため池 R_d と比較すると共に、震度及び震央距離とため池被災の関係と比較検討した。

3.3 結果と考察

3.3.1 震度と被災密度

大きな地震動が発生した場合、その震度に応じて施設に対するダメージが大きくなると言われている。Fig. 6 では、式 (3) により市町村毎の農地・農業用施設等の被災密度を算出し、7 段階に区分してその分布を表示した。被災密度が高いエリアが岩手県、宮城県、福島県、茨城県に集中するなど、Fig. 1 の東北地震の推計震度分布とかなり似かよっていることが分かる。また、被災密度は震央・震源に近い太平洋沿岸域で最も高く、一部、内陸側にも被災密度が高いエリアが見られる。

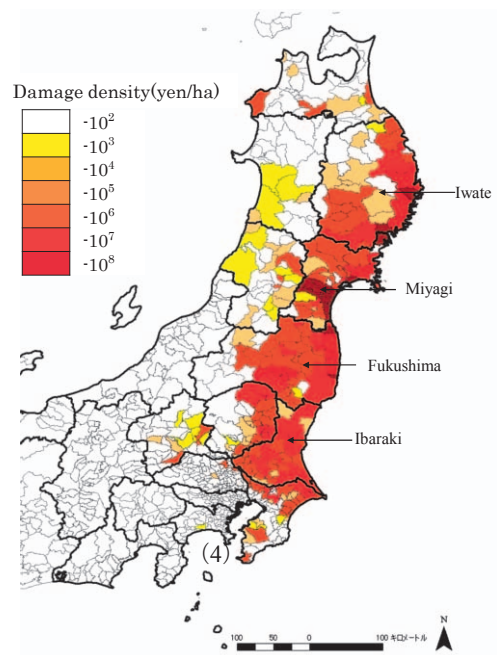


Fig. 6 東北地方太平洋沖地震における市町村別農地・農業用施設等被災密度分布図

Distribution of damage densities to whole agriculture facilities in Tohoku and Kanto regions due to the Tohoku Earthquake

Fig. 7 には、被災市町村毎に、縦軸に被災密度 (D_i) と横軸に平均推計震度 (\bar{I}_i) をプロットした。この際、沿岸域津波被災市町村を青色三角に、内陸側で地震動被災市町村を茶色四角に被災形態別に表示した。図中では主な被災市町村名を示している。これにより以下のことが明らかになった。

- ・青色三角の津波被災密度を緑色線①、茶色四角の地震動被災密度を赤色線②で近似線を示したが、全体的に大きな震度の市町村ほど、その D_i が指数関数的に大きくなる傾向がある。これは、推計震度の元となる計測震度が、地震加速度の対数式から求められ、 D_i はこの加速度と相関関係があることを意味する。
- ・同じ震度でも津波被災の D_i が著しく高く (赤色矢線③では約30倍)、震度が大きくなる程その格差が広がる傾向にある。

- ・津波被災は震央半径200km圏内の市町村 (Aの黄色破線) の D_i が著しく大きい。
- ・茨城県稲敷市や千葉県神崎町など (Bのオレンジ破線) では、小さい \bar{I}_i にも拘わらず液状化等によって比較的大きな D_i となっている。

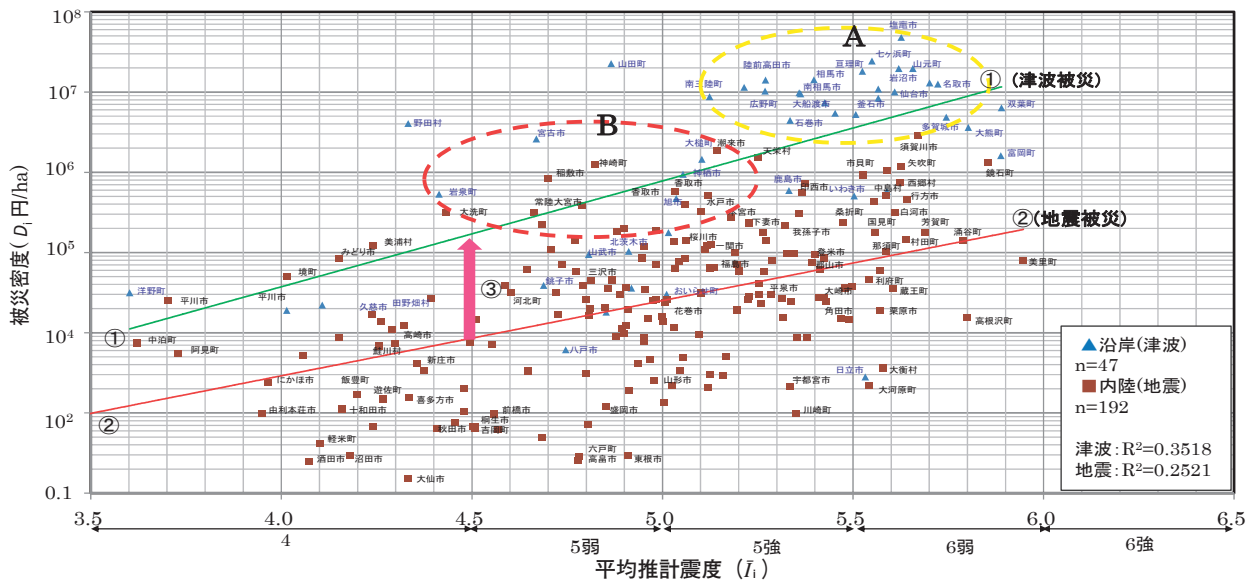
このことから農地・農業用施設等に関する被災は、地震動の大きさ (= 震度規模) に応じてそのダメージが増加すると共に、津波被災の場合は、その震度によって地震動よりも20~50倍に被災レベルが上がる。また、津波被災は震央距離に近く大きな震度であった市町村ほど D_i が指数関数的に増大したことが分かる。

Table 9 は、東北地震で被災した11県について、被災形態別に農地とそれ以外 (施設関係) に分けてその被害額を区分した。津波被災47市町村だけで被災総額全体の約86%を占め、大震災被害額の大半が津波によるものと推定された。また、農地被災の約98%が津波被災市町村によるもので、津波被災がなかった市町村の施設関係被災は施設被災全体の3割近くを占めている。津波被災地

は、地震動のみの市町村と比較して平均で約43倍の D_i で、津波被災地も事前に地震動による被災があったと想定され、その割合は各 D_i の概ね2~4% (被災倍数の逆数 (1/50~1/25) 程度と推定される。

3.3.2 震度と農地・施設別被災密度

Fig. 8 は、Fig. 7 で地震動被災密度が上位20市町村の平均震度 (\bar{I}_i) と該当各市町村の農地、ため池、水路、頭首工の被災密度 (D_i) の関係をグラフにした。20市町村の平均震度の範囲は4.4~5.7で全体的に高い震度レベルにある。工種別に見ると、農地では平均震度が小さい市町村でも液状化によって、平均震度が大きい所より被災密度が大きく、頭首工では通常、基礎部が河床に岩着し、近代の建造でその多くが耐震構造であるなど、20の内、半数の市町村内は被災密度ゼロで、全体的な被災密度も低い。また、水路は震度の大きさに関わりなく被災密度が全般的に大きい。これら3工種と比較して、ため池は平均震度と被災密度に関係が見られる。



注) 対象は東北地方太平洋沖地震で揺れの大きかった東北6県 (宮城, 岩手, 福島, 青森, 秋田, 山形)、関東5県 (茨城, 栃木, 千葉, 埼玉, 群馬) の平均推計震度3.5以上、ha被害額100円以上の市町村。

Fig. 7 東北地方太平洋沖地震の平均推計震度と市町村単位の被災形態別農地・農業用施設等被災密度 Relationships between mean seismic intensities and damage densities during the Tohoku Earthquake

Table 9 東北地方太平洋沖地震の被災形態別被災密度 Comparison of the damages between caused by the earthquake and by tsunami

被害総額	津波被害市町村				単位被災額 ④(③/②)	地震被害市町村				単位被災額 ⑦(⑥/⑤)	倍率 ④/⑦
	①	個数	耕地面積	被害額		割合(%)	⑤	⑥	⑧/①		
被害全体	7,262	47	120,546	6,250	86.1	5,185	192	844,383	1,013	13.9	43.2
内農地	3,964	42	103,772	3,887	98.1	3,746	106	472,138	77	1.9	234.1
内農地以外	3,298	46	120,178	2,364	71.7	1,967	191	818,368	941	28.5	114

注)四捨五入の関係で合計が合致しない場合がある

(単位:億円,千円/ha)

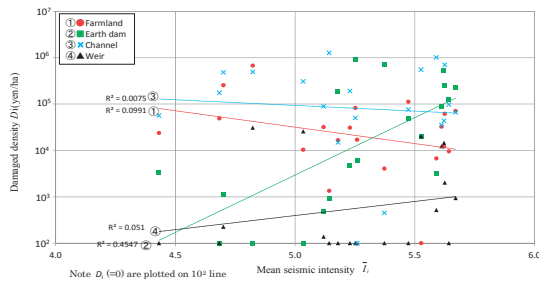


Fig. 8 東北地方太平洋沖地震の平均推計震度と農地・ため池・水路・頭首工の被災密度

Relationships between mean seismic intensities and damage densities for farmland, earth dams, channels and weirs in 20 serious damaged municipalities due to the Tohoku Earthquake

3.3.3 震度とため池被災率 (R_d)

ため池被災7県のため池DBで位置情報を確認できた池の位置を推計震度分布図上にプロットし、Fig. 9に示した。緑色は無被災を示し、Table 7に示した被災ため池を災害査定額毎に6区分し紫色で示した。因みに、東京電力福島第一原子力発電所周辺は、原発事故により平成24年4月時点で災害査定が未実施のため、関連地域内のため池は被災池表示がない。通常、震央に近いほど地震動被災が増大するが、東北地震被災では必ずしもその形態になく、震央から400km以上離れた群馬県下でも複数のため池が被災しているのに対し、震央半径200km圏内で無被災のため池が数多く存在している。さらに被災ため池は、比較的強震度の特定エリアに集中しており、宮城北部、仙台平野南部の海岸部から福島県相双域へ延びる区域や福島県中域エリアで被災池が顕著である。

なお、第IV章では、福島県中域の被災集中エリアに絞って被災分析を行う。

被災数が多かった宮城・福島両県のため池について、ため池サイトと1kmメッシュ推計震度を照合し、小数点一位推計震度毎に被災(災害査定有り)をピンクと無被災(災害査定なし)を宮城県緑色、福島県を青色に分けてため池数を集計(但し、原発事故関連で被災調査が実施されていない市町村域分のため池は除外)し、棒グラフにため池震度毎のR_dをオレンジ折線にしたのがFig. 10である。この図から同じ地震に対し両県は異なる被災レベルであったと見ることが出来る。即ち、震央に近い宮城県側は福島県よりも震度が全般的に大きく、その大部分が震度5.4から5.7の範囲にあり、最多数は震度5.5であった。一方、震央から離れて東西に広がる福島県では、震度別ため池数は全体的に大きなピークもなく、震度は概ね5.0から6.1の範囲にある。

宮城県内被災ため池は震度4.8から、福島県では震度4.9から始まり、宮城県の震度別R_d曲線は全体的にフラットで明確なピークが見られず、福島県は震度5.7と6.0にピークが見られ、最高R_dは震度6.0で20%である。全体的なため池震度は宮城県側が大きいですが、福島県内平均R_dは10%超と宮城県5%よりも高率である。

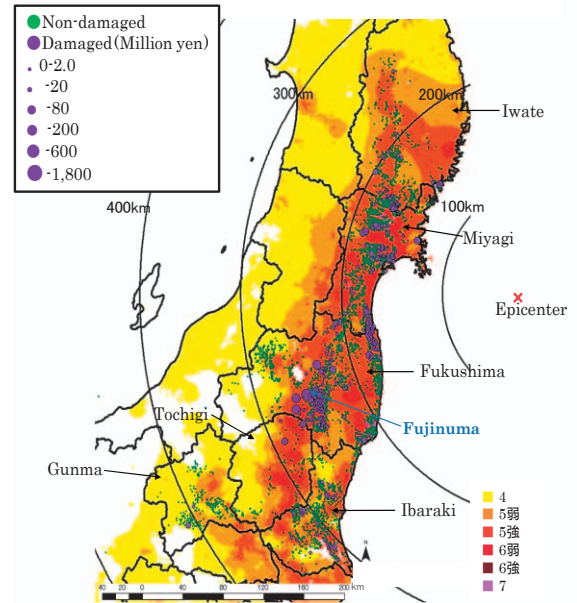


Fig. 9 東北地方太平洋沖地震におけるため池の被災分布
Locations of damaged and non-damaged earth dams in Iwate Miyagi, Fukushima, Ibaraki, Tochigi and Gunma Prefecture due to the Tohoku Earthquake (Based on Restoration Assessment)

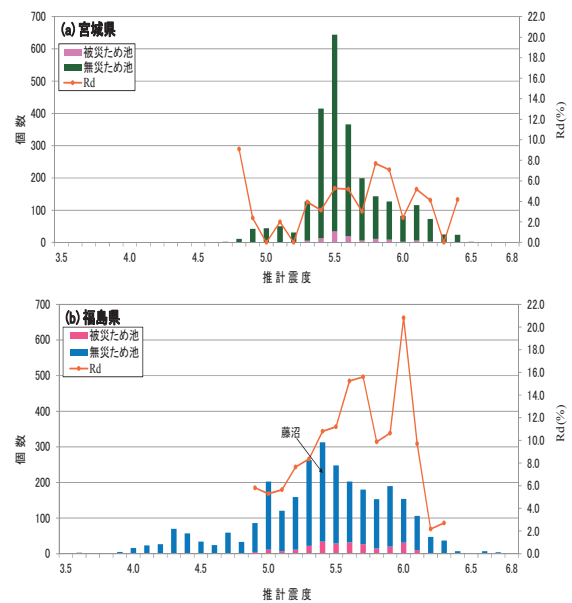


Fig. 10 東北地方太平洋沖地震の宮城・福島県内ため池の推計震度と被災率 (R_d)

Relationships between seismic intensities estimated at each dam site and damages of earth dams (a) Miyagi Pref., (b) Fukushima Pref. by the Tohoku Earthquake

Fig. 11は宮城・福島両県のため池被災市町村毎に、被災ため池総数を横軸に、被害総額(災害査定総額)を縦軸にして関係を見たものである。ため池一箇所当たりの被害額は、近似線の傾きから被災ため池数が多いところほど大きくなる傾向が見られ、被災ため池一箇所当たり被害額で見ても、福島県内の方が宮城県よりも全体的に大きなダメージを受けていたことが理解出来る。

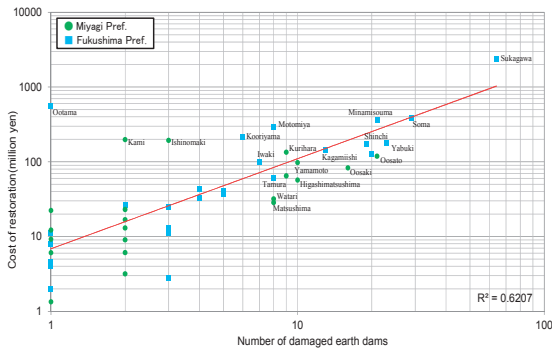


Fig. 11 東北地方太平洋沖地震の宮城・福島県内市町村別被災ため池数と災害査定総額

Relationships between number of damaged earth dams and total costs of restoration of each municipality due to the Tohoku Earthquake, in Miyagi and Fukushima Prefecture

3.3.4 推計震度及び震央距離と被災率 (R_d)

ため池毎の推定震度同定に使った1kmメッシュについて、東北地震発生時の両県の震度別メッシュ数及びため池数を各々 Fig. 12 に、また Fig. 13 には、県毎の累積度数で比較した。西寄りの会津地方を含む福島県域は震央距離の範囲が広く、震度毎のメッシュ数やため池数は宮城県側よりも均等化されたものとなる。但し、震度6弱(震度5.5以上)を超える範囲では、福島県内ため池数が宮城県よりも多い場合が増えてくる。これを Fig. 13 の累積度数で見ると、福島県は震度メッシュ5.0以下が4割に対し、宮城県は2割未満、震度5.5以上では福島県内が2割未満に対し、宮城県は4割未満で、宮城県全域では大きな強震度だったことが確認できる。

一方、宮城県内のため池は震度5.0以下が3%に対し福島県は22%で、震度上昇に伴って双方の累積度数は急速に縮まり、震度5.6の累積度数68%で交わっている。即ち、両県間に震度5.0以下で20%近くあった累積度数の差が、震度5.0から急速に縮まり、震度5.6以上でほぼ同程度となった。その結果、震度6.0以上の強震度ため池の相対度数は両県間に差がなく、数的にはむしろ福島県内が多かったことになる。

推計震度メッシュとため池震度の比較から、両県のため池は共により大きな強震度メッシュに属し、例えば、福島県の累積度数75%のメッシュ震度が5.4に対し、ため池震度は5.7でため池が比較的高い震度エリアに分布していたことが分かる。その理由は、ため池がより揺れ易いとされる水田地帯に分布することによると考えられる。

通常、震央に近い程、震度が大きくなると言われるが、前2図から、震央から遠いため池でも大きな震度であったことが分かる。Fig. 14 では、宮城・福島両県観測所の計測震度を縦軸と震央距離を横軸にして関係を見た。宮城県内では震央距離120kmから210kmの範囲にあり、1観測点を除く全ての観測点が震度5.0以上で、全体的に震央距離に近いほど大きな震度であった。一方、福島県

は最短距離170kmから330kmまで広範囲にまたがり、震度と震央距離の関係は緩やかな負の相関が見られと共に、震央距離250km前後の福島県中・南域観測所の計測震度でスポット的上昇が見られる。また、当該エリア計測震度は、宮城県内最大級の震度水準までに達していたことが分かる。

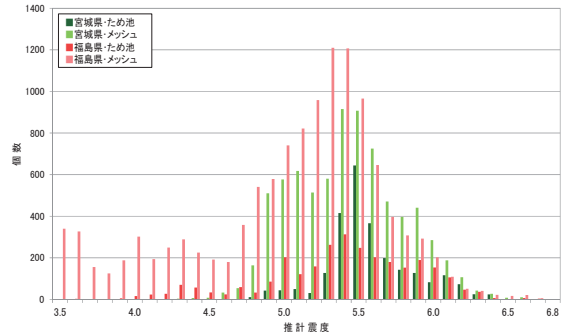


Fig. 12 東北地方太平洋沖地震の宮城・福島県の推計震度毎メッシュ数とため池数

Relationships between number of 1km-mesh and number of earth dams based on estimated seismic intensity in Miyagi and Fukushima Prefecture during the Tohoku Earthquake

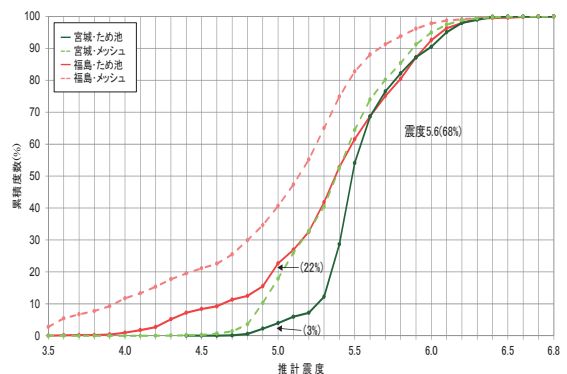


Fig. 13 東北地方太平洋沖地震の宮城・福島県の推計震度別メッシュ及びため池の累積度数

Cumulative curve on number of 1km-mesh and number of earth dams based on estimated seismic intensity in Miyagi and Fukushima Prefecture during the Tohoku Earthquake

Table 10 では、東北地震のため池被災6県(岩手県を除く)に埼玉県を含めた7県内のため池について、推計震度毎に被災と無被災に分けてそのR_dを整理した。これを推計震度の棒グラフとR_dの折線で図示したのが Fig. 15 である。推計震度分布では震度3.5以上のメッシュデータが公表されるため、図表中のため池推計震度も3.5から始まっている。ため池数は推計震度5.5をピークに最大推計震度6.8まで分布していた。R_dは震度4.1以下は0であるが、震度4.2で被災が発生しているが、震度4.8まではR_dが1%未満であった。震度4.9からR_dは3%を超え、震度5.5までは10%未満であった。また、震度5.6~6.0はR_dが10%以上に上昇・推移し、震度6.0でR_d=17%でピークとなった。震度6.1超ではR_dが減

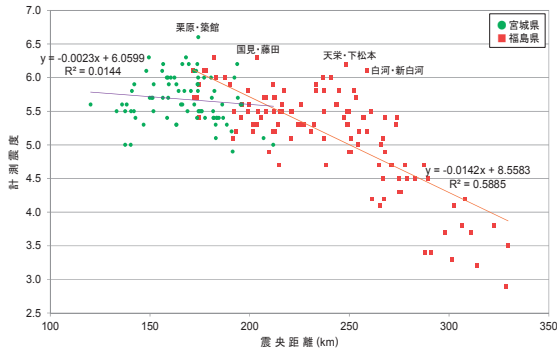


Fig. 14 東北地方太平洋沖地震の宮城・福島県内観測所震央距離と計測震度

Relationships between measurement seismic intensity and distance from epicenter in Miyagi and Fukushima Prefecture during the Tohoku Earthquake

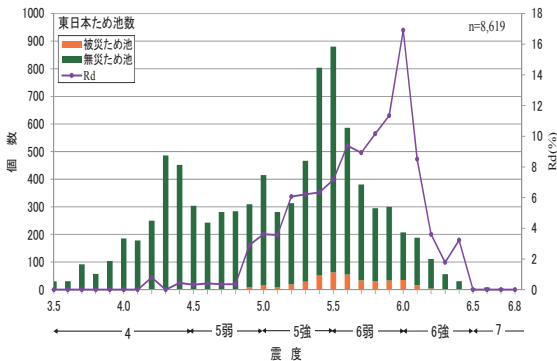


Fig. 15 東北地方太平洋沖地震のため池推計震度と Rd の関係 Relationships between estimated seismic intensity and damaged earth dams in stricken prefectures during the Tohoku Earthquake

少傾向となり、震度6.5超は Rd = 0%である。つまり、推計震度は概ね震度5弱以上から安定的に Rd が発現し、震度上昇に伴って Rd は一定の確率で上昇する。

また、本来は震度6.1以上でさらに Rd は上昇するはずが、震度6.0から6.1に上がった段階で Rd が半分以下になったように、震度が大きいだけで Rd が必ず高くなるとは限らないことを示している。但し、仮に震度6.5の Rd が統計的確率で30%と仮定した場合、Table 10 から4個のため池が全て無被災で Rd = 0%となるには、式 (5) から24%の確率で発生し得る現象であり、有意水準として棄却できるレベルでない。なお、震度6.1以上でなぜため池 Rd が低下傾向になるかは、第四章以降で検討する。

Table 10 東北地方太平洋沖地震の推計震度別ため池数

The number of damaged and non-damaged earth dams based on estimated seismic intensities during the Tohoku Earthquake

震度	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	計
被災ため池	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	1	1	1	1	9	15	10	19	29	51	63	55	34	30	34	35	16	4	1	1	0	0	0	0	414
無災ため池	30	31	92	57	104	186	178	248	486	450	303	242	280	283	300	400	271	294	438	753	817	531	347	265	266	172	172	107	55	30	4	8	4	1	8,205
合計	30	31	92	57	104	186	178	250	486	452	304	243	281	284	309	415	281	313	467	804	880	586	381	295	300	207	188	111	56	31	4	8	4	1	8,619
Rd(%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	0.0	1.2	0.7	0.8	0.5	0.5	3.2	3.8	3.4	6.3	6.2	6.3	7.2	9.4	8.9	10.2	11.3	16.9	8.5	3.6	1.8	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8

注ため池波、宮城、福島、茨城、群馬、栃木、千葉、埼玉県の7県分を集計

$$(1 - 0.3)^4 = (0.7)^4 = 0.2401 \quad (5)$$

Fig. 16 では、東北地震の7県内ため池の推計震度と震央距離の関係を被災・無被災池に区別してプロットした。2つの右下がり補助線は、マグニチュードと震央距離から震度を求める河角の推定式 (大崎, 1983) で、M = 8.5とM = 8.0で比較した。ため池推計震度は、震央距離の関係で概ねM = 8.5推定ライン上側にあるが、福島県内で震央距離250km前後と茨城県内300km超では、M = 8.5ラインよりかなり上方で被災池が見られた。また、震央から離れたため池ほど、推計ラインより上方にある傾向がある。即ち、東北地震のような数百kmにも及ぶ広大な震源域を有する巨大地震では、複数のM7クラスの強震動生成域によって震央から離れた場所でも大きな震度が生ずる場合がある (Asano, 2012)。

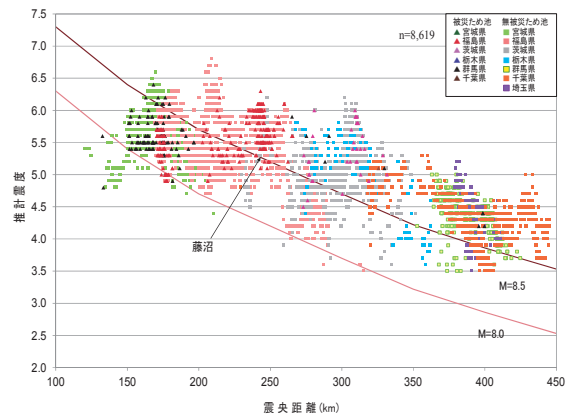


Fig. 16 東北地方太平洋沖地震のため池震央距離と推計震度の関係 Relationships between estimated seismic intensity and distance from the epicenter to damaged and non-damaged earth dams in stricken prefectures during the Tohoku Earthquake

そのため、M8クラス以上の巨大地震の場合、震央距離から被災ため池を想定するよりも、推計震度から Rd を想定する方が合理的である考える。Fig. 17 はFig. 10の宮城・福島両県の推計震度の Rd を水色と赤線で、Fig. 15の被災7県の震度の Rd を黒線で、宮城・福島両県の被災45市町村 (但し、域内のため池数が最低10個以上) 毎のため池平均推定震度と Rd 及び (谷, 2005) の3地震の市町村計測震度と Rd (但し、宮城県北部の一部データは削除) を合わせてプロットしたものである。Fig. 17から明らかなように、市町村単位の方が Rd のバラツキ

は大きく、全国の方が県単位よりも R_d が平均化され、カーブが滑らかである。このことから、 R_d は震度によって上昇するが、母数となるため池数が少ないと各エリア内身体の性向が R_d のバラつく要因になっていると考えられる。

また同図で東北地震とは異なる3地震との関係で見ても、地震マグニチュードの違いによる震度と R_d 間の傾向の違いは確認されず、基本的に推計震度でため池 R_d を確率的に評価することは可能であると考えられる。

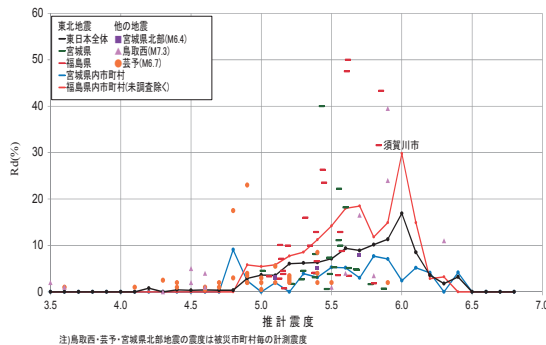


Fig. 17 ため池の市町村別平均推計震度と被災率の関係
Relationships between estimated seismic intensity and damage ratio of earth dams in stricken areas during the Tohoku Earthquake

3.4 まとめ

第Ⅲ章では、まず農地・農業用施設等の地震動被災について、新指標として市町村単位に被災密度 (D_i) と平均推定震度 (\bar{I}_i) を定義し、震度と被災の関係を考察した。次にため池の被災率 (R_d) を定義し、宮城・福島県内ため池について推計震度を同定し、その震度毎に R_d を求め、震央距離との関係を含めて考察した。最後に過去の地震動被災ため池 R_d と東北地震の R_d を比較して、以下のことが明らかになった。

1) 被災密度 D_i と平均推定震度 \bar{I}_i の関係は、 \bar{I}_i の増加によって D_i が数級的に増加していた。また、 D_i は津波と地震動の被災形態毎に異なる関係を有し、津波 D_i は、地震動 D_i の概ね40倍になると推定された。

なお、推定震度の基となる計測震度は、地震加速度の対数式から求められ、 D_i はこの加速度との相関関係を意味していた。

2) 地震動の D_i の上位20市町村の農地、水路、ため池、頭首工で各々 D_i を求め、当該 \bar{I}_i と比較したところ、両者の関係は職種間に相違が見られ、特にため池は震度と被災に関係が見られた。

3) 東北地震のため池 R_d は推計震度5弱から発現し、震度の増加に伴って増加する。また、地域毎に R_d 発現上の相違が見られる。例えば、

- ・震度は宮城県内が全般的に大きいが、福島県内のため池 R_d は宮城県の約2倍である。
- ・被災レベルは、被災ため池数が多い市町村ほど池個々の被災レベルが高い。

・震度とため池 R_d の関係は、宮城県内では明確な上昇傾向は見られないが、福島県内では震度に伴い R_d が大きくなり、震度6.0で概ね20%に達した。

・東北地震に関係した約8,600個のため池では、 R_d は概ね震度5弱から発現し、5強に近づくに伴い顕著な R_d の上昇が見られ、震度6.0で $R_d = 17%$ となった。

4) 東北地震でも震央から離れるに従って推計震度は小さくなる傾向であるが、 R_d は必ずしも震央距離が近いほど増加するとは限らずない。また、福島県中地方等では、震央から多少離れた特定エリアに強震度が発現し、ため池被災が激化した。

以上から、ため池毎の地震時危険度は推計震度によって評価が可能で、震央距離を用いなくとも被災想定は可能である。

Ⅳ 地形・地質とため池被災

4.1 概説

第Ⅲ章では、ため池地震動被災が、推計震度によって危険度評価が可能であることを明らかにした。しかし、同じ東北地震でも宮城・福島両県内のため池推計震度が同程度であるのに、両県の R_d には大きな差があり、推計震度だけで地震動被災は説明できないことも分かった。また、過去のため池地震動被害研究では、震央に近いほど R_d が大きくなる傾向であったが、東北地震では震央に近い宮城県よりも福島県内の R_d が大きく、距離400kmの震度4.2でも被災事例が生じている。そのため、ため池 R_d を増加させる震度は、震央に近いだけで大きくはならない。

この章では、震度増減の要因となる地形・地質に着目して、 R_d との関係を検討する。この場合、震央距離が地形・地質との関係で震度にどのように影響するか、また、震央方向と地形（特に堤軸方向、傾斜方向等）の関係が R_d にどう影響するかについて検討する。

4.1.1 地震動被災と地形・地質

地震動による被災は通常、地面の揺れによって引き起こされる。これを（伯野，1992）は、地盤構造や地形が地震動に影響を及ぼすとして、硬地盤に近い軟弱地盤、盆地、崖っぷち、傾斜地などがよく揺れるとした。我が国のため池は水田の用水源として築造されるため、その大多数が揺れ易い地盤条件下にある。過去のため池地震動被害研究では、（秋葉ら，1941）が、「山地と平地の境で被害が多い」と報告以降、その後の研究でも地形変化に着目した被災現地調査が行われ、ほぼ同様な結果であった。これは1995年兵庫県南部地震の「震災の帯」で「硬軟の地盤が錯綜する地層では地盤の揺れが増幅する」（気象庁，2009）とした結論と符合するもので、ため池被災要因としても検証が必要である。

近年、(小林ら, 2002; 藤井ら, 2005) がため池 DB から位置と地形・地質情報を重ね合わせ、地震動被災との関係を見る研究が行われているが、ため池サイトの地盤評価が相対関係(地盤が岩盤上にあれば岩盤と同定すること)では、地形境界(硬軟地盤の変化等)部のため池被災は説明できない。つまり、ため池の属する地盤メッシュと隣接地盤メッシュ間で硬軟の質的变化を見れば地震揺れ増幅(=震度の増加)との関連を見ることができる。仮に、硬地盤メッシュ(推計震度は低めに評価される)内のため池でも、実際のサイト震度が境界部で大きくなれば、 R_d も増大すると考えることができる。

本章では、広域的な地形・地質による震度の変化について、ため池の推計震度、震央距離、堤軸方向及び R_d の関係から考察する。

4.1.2 震央距離とため池地震動被災

第II章で述べた通り、過去のため池地震動被害研究では、震央距離を遠近区分して統計的に R_d を求める場合と震央距離を説明変数にして R_d の関係を見るものがあった。何れの場合も、震央に近いほど R_d が上がる傾向ではほぼ一致した結果であった。しかしこれは、「震央に近いほど、震度が大きく R_d は上昇する」を言い換えただけで、地震発生後に震央位置が地図上に明示される理由が、「震央距離に近いほど震度が大きい」ことを、単純な前提としているからである。かつては震度に関する十分な情報が無い中では、大概の揺れの大きさが想定できて良かったが、実際は震央から離れた場所でも大きなため池被災が見られ、現在は推計震度分布の有効性が認知されてきている。つまり震央距離とため池被災については、推計震度をベースに検証・整理を行う環境が既にできてきたと考えるべきである。

本章では、第III章で比較した宮城・福島両県内のため池位置を震央距離との関係で検討すると共に、ため池が2ヶ所で決壊する等、甚大な被災が生じた福島県中地方を対象に震央距離と震度の関係を検証する。

4.1.3 堤軸震央方向角度と地震動被災

ため池堤軸の震央方向角度と地震動被災について、(秋葉ら, 1941) は男鹿地震を事例に「無関係」としたが、その後の研究では、「何らかの関係を有する」が大勢を占めている。どちらの信憑性が高いかの検証は、震央位置に対してどの方向の堤軸が高被災リスクとなるかであり、ため池地震動被災に関しては重要な危険評価要素である。特に有意な関係があれば、堤軸方向を被災リスク要因として評価し、それに応じた災害時緊急対応が可能となる等、合理的なため池緊急点検が図れることになる。

本章では、福島県中地方のため池を対象に、堤軸震央方向角度を定義・データベース化し、位置情報を重ね合わせた地形図や推計震度及び R_d によって、複合的に検討する。

4.2 分析方法

4.2.1 地形と傾斜

ため池 DB 上には、地形、地質に関して山麓、台地、平地等で区分される「地形」、岩類、砂類などの「地表地質」及び硬岩、砂質土、粘土などの「基礎地盤」の3項目のデータが登録されている。入力データは地形・地質区分図からため池毎に照合可能であり、現地踏査を前提としたデータではない。例えば、ため池サイトが同じ山麓の分類でも、平地に近い所なのか、或いは山地内なのか、傾斜の向きや勾配大きさ等、記載データだけでは判断できない。あくまでもため池が位置する場所の区分図上の属性を示すだけで、隣接地との関係性や地形情報は得られない。つまり過去の地震動被害研究で、「山地と平地の境」が揺れやすい場所であったとしても、周辺との関係性を有しない点的な属性だけであり、これによって揺れやすい地形は判断できない。

そのため、ため池 DB で位置座標データ(地球測地系)を各種地図情報と重ね合わせて複合的に観察することで、山地と盆地間の震度分布、地形と堤軸方向、地形と被災ため池の分布などの関係性分析が可能となる。本研究上の、地図情報は、衛星画像(Arc-GIS Base Map)、シームレス地質図(防災科研)、推計震度分布(気象庁)、10DEM(国土地理院)等を分析に使用した。

4.2.2 ため池震央距離と緯度・経度

震央距離とマグニチュードから被害発生範囲の予測・想定が防災・災害関係で一般的に行われることから、(谷ら, 1998b) はため池被害事例から被害範囲を限界震央距離で推定した。今日、全国何処でも瞬時に震度分布が判るようになると、震央距離と震度分布が必ずしも整合した関係にないことは明かで、特にM9.0を記録した東北地震では強震度域が震央からの同心円というより真鱈模様であり、ため池被災集中箇所も震央距離とは連動していなかった。

Fig. 9の被災ため池分布図では、緯度・経度の位置で図示したが、東西方向或いは南北方向に震央距離何kmで被災池が集中しているか、必ずしも明確ではない。本章では、各ため池の緯度・経度座標と震央距離を使って、被災と無被災を色分けして地図情報上に図化することで、地形・地質、推計震度、ため池 R_d 等の関連性を検討する。

4.2.3 ため池堤軸震央方向角度

福島県内各ため池位置座標(世界測地系)は、グーグルアースの衛星画像を用いて確認し、Fig. 18から堤軸左右兩岸の緯度経度を求め、左岸部から震央までを各ため池の震央距離とした。

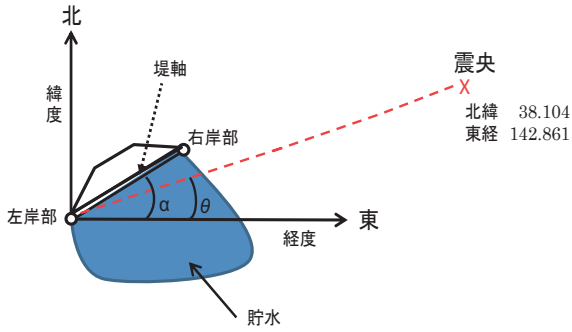


Fig. 18 ため池堤軸の震央に対する角度
Angle of dam axis with respect to the epicenter

また、ため池 i 堤軸の震央方向に対する角度 ω_i は、式 (6) 及び (7) より求めることができる。

$$\omega_i = \alpha_i - \theta_i \quad \alpha_i \geq \theta_i \text{ の時,} \quad (6)$$

$$\omega_i = 360^\circ + (\alpha_i - \theta_i) \quad \alpha_i < \theta_i \text{ の時.} \quad (7)$$

ここに、 α_i : ため池 i の堤軸と東西方向軸に対する交角、 θ_i : ため池 i の東西方向軸と左岸部への震央からの交角である。

4.3 結果と考察

まず、震央に近い宮城県内の被災ため池分布を緯度・経度、震央距離、地形、推計震度等を使って複合的に検討し、被災発生エリアの特徴を考察する。次に福島県内の被災ため池分布を宮城県と比較検討し、最後に東北地震で被災ため池が最も集中した福島県中地方を対象に詳細な被災分析を行う。

4.3.1 宮城県内の被災ため池分布

宮城県内ため池の緯度・経度分布を、東北地震の被災池と無被災池を地域ブロック毎に色分けして Fig. 19 に示した。

県北域の被災池の大多数が北緯38.40~38.50及び38.60~38.70付近で東西に並んでおり、県南域は北緯37.90~38.00の範囲で福島県相双域まで連なっていた。宮城県域に対する震央位置は、概ね仙台南部(山元町付近)と同じ緯度であり、県北域のため池から東南東方向にある。

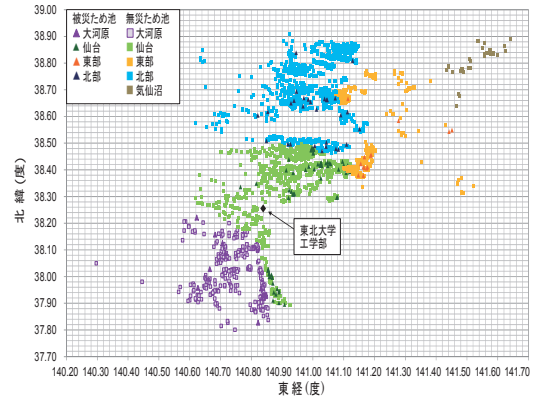


Fig. 19 東北地方太平洋沖地震の宮城県内被災ため池の緯度・経度分布
Latitude and longitudinal distribution of damaged earth dams in Miyagi Prefecture during the Tohoku Earthquake

Fig. 20 には、宮城県内の推計震度分布及び地形図(衛星画像)上に被災黒●と無被災白○に分けてため池位置をプロットした。左図でより赤く見える部分が震度6強のエリアで、最大震度7を記録した栗原市築館はほぼこの中心にある。震度6強エリアは震央距離160~180kmの範囲にあり、震央距離が130km前後の牡鹿半島よりも震度がかかなり大きい。また、震央距離半径150km以内で震度5弱~5強と震度が低めのエリアは、右の画像より山地であることが確認できる。ため池の被災分布では、必ずしも震度6強エリアに被災池が集中している状況ではなく、仙台市内北部及び亶理・山元地区の震度6弱エリアに多数の被災池が確認できる。

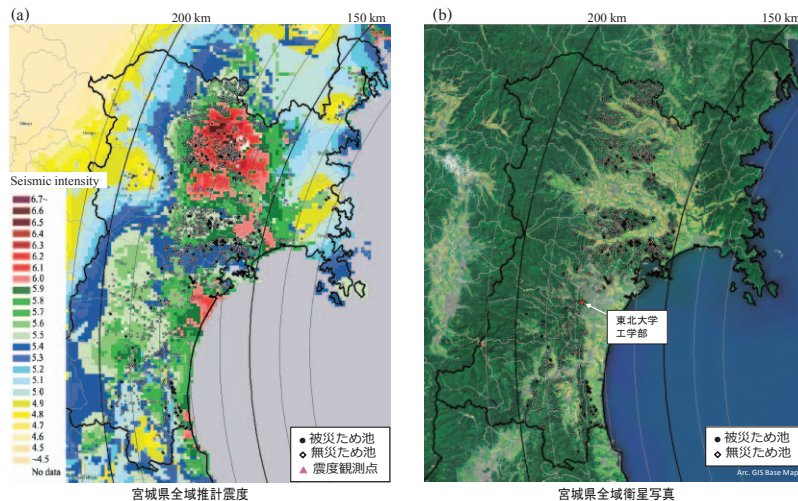


Fig. 20 東北地方太平洋沖地震の宮城県内推計震度と被災ため池分布

Distribution of estimated seismic intensity during the Tohoku Earthquake and damaged & non-damaged earth dams in Miyagi Prefecture

Fig. 21 には、震度6強エリアのシームレス地質図 (a) と古図 (b) を示したが、かつてこのエリアは大きな沼地で、元来揺れ易い軟弱な地盤からなり、そのため推計震度が周辺よりも高くなっている。ここから推計震度6強以上でも、ため池 R_d が必ず大きくなるとは限らないことが分かる。

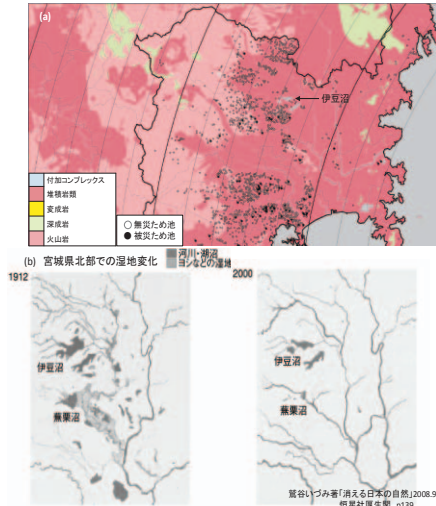


Fig. 21 宮城県北部の湿地変化 (古図)
Transformation from swamps in Northern Miyagi Prefecture

宮城県内ため池の震央距離と経度及び緯度関係について、横軸に経度、縦軸に震央距離として Fig. 22 (a) にプロットした。また、Fig. 22 (b) では緯度を縦軸に、震央距離を横軸とした。被災池が震央距離150~180kmの範囲で分布し、特定経度に偏った形跡は見られず、単純に西方向へつながっている。Fig. 22 (b) では Fig. 19 の分布図と類似し、大きな震度が有った県北部域の被災ため池は、震央の緯度位置に対して南北に分かれて平行に分布している。また、ため池プロットがない空白部分は、仙台市街地であるが、地形の全体的な傾斜面が、震央に正対する向きにないことが分かる。

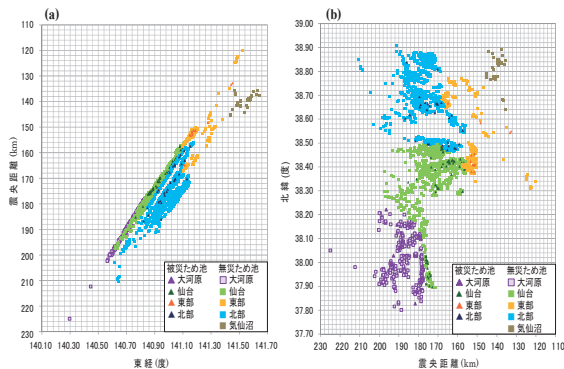


Fig. 22 東北地方太平洋沖地震の宮城県内ため池の震央距離と緯度・経度位置
Relationships between distance from epicenter and longitudinal (a) & latitude (b) location of earth dams in Miyagi Prefecture

4.3.2 福島県内の被災ため池分布

Fig. 23 では、福島県内ため池の緯度・経度分布を、被災池と無被災池を地域ブロック毎に色分けして示した。但し、被災池のない南会津地方は含んでおらず、被災池が殆ど無い会津地方は、県中地方に隣接した関連部分のみを表示した。なお、相双地方南部は原発事故で災害査定未了のため、被災池表示がない。

図から県内被災ため池集中域は、県北東部の相双地方と県中・県南地方に見られ、特に被災池数の半分以上が県中地方に集まっていた。県南地方の被災池は、県中地方で被災池が集中したエリアに隣接して分布しており、被災集中エリアとしてはほぼ一体を成していた。同図に決壊3ため池の位置を示したが、県北地方の青田新池は県中地方に隣接し、被災集中域にも比較的近い場所にあった。

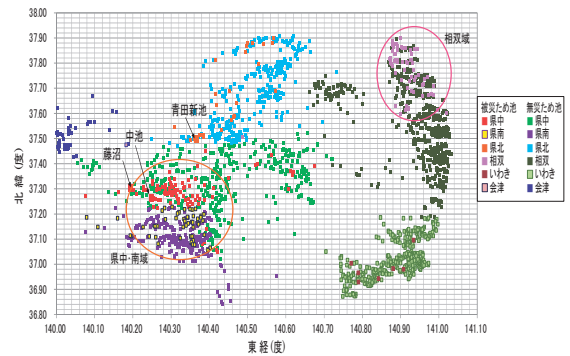


Fig. 23 東北地方太平洋沖地震の福島県内被災ため池の緯度・経度分布
Latitude and longitudinal distribution of damaged earth dams in Fukushima Prefecture during the Tohoku Earthquake

Fig. 24 では、福島県内のため池について Fig. 22 の宮城県と同様に、震央距離と経度及び緯度の関係を示した。Fig. 24 (a) では、被災池が縦軸の震央距離170kmから230kmのピンク線で囲った範囲に、相双地方北部と県北地方が経度上で並んでおり、同様に200kmから270kmの範囲でいわき地方から県中地方、県南地方、会津地方へ被災池が並んでいる。また、県中及び県南地方では震央距離240kmから250kmの範囲 (オレンジ線) で被災池の集中が際立つようになった。

Fig. 24 (b) は Fig. 23 と多少似た分布模様であるが、宮城県の Fig. 22 (b) が震央と緯度的に並んでいたことに比較し、県域全体の緯度が低いため、震央距離と連動した傾きを持った分布になっている。また、北緯37.10°から37.30°の範囲 (オレンジ線) に県中・県南地方の被災池が集中し、相双地方では震央距離が10km前後の範囲に北緯37.65~38.90°で被災集中が見られ、低緯度 (相双南) では震央からさらに10km離れていた。

Fig. 24 の2つの被災集中域は Fig. 23 と比較して分布域の凝集度が高くなっている。このことから、震央から

一定距離の場所には、震度と共にため池被災を増加させる何らかの地形・地質的要因を想起できる。

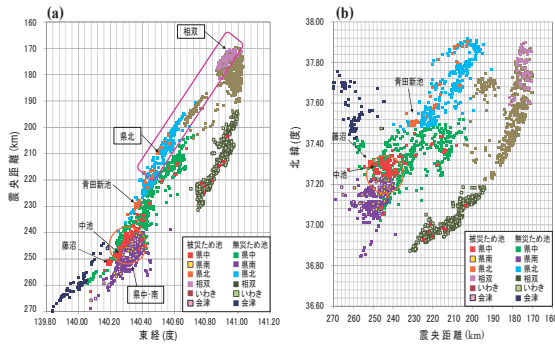


Fig. 24 東北地方太平洋沖地震の福島県内ため池の震央距離と経度及び緯度
Relationships between distance from epicenter and location of earth dams in Fukushima Prefecture(Left (a): longitudinal, Right (b): latitude)

4.3.3 福島県中地方の被災ため池分析

被災ため池数が最も多かった福島県中地方を見るために、東経140.00から140.80度までの東西70.9km、北緯37.00から37.50度までの南北55.7kmの範囲に区切ってため池の被災状況を整理した。Fig. 25 から福島県中地方では、推計震度5.4と5.9にため池数のピークが見られ、震度は大きく二つに分けることができる。一つは、山地で比較的低い震度、もう一方は盆地内で高い震度である。被災池数は震度増大に伴って増加し、 R_d は震度6.0で40%近くに達していた。また、震度5.8~5.9で R_d が一旦低下しているが、これはFig. 10 (b)の R_d 低下と同じ震度であり、県中域の当該状況が反映したものと考えられる。

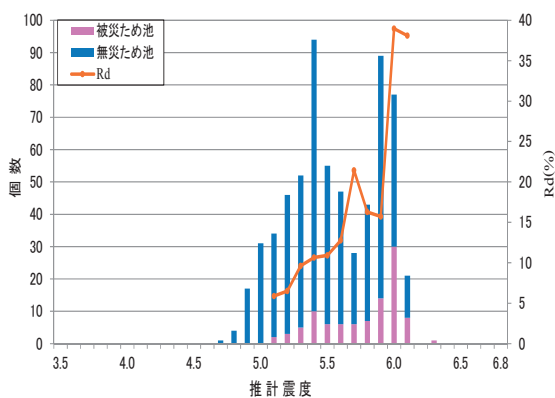


Fig. 25 東北地方太平洋沖地震の福島県中地方ため池の推計震度と被災率
Relationships between seismic intensities estimated at each dam site and damages of earth dams in Central Fukushima due to the Tohoku Earthquake

Fig. 26 は、福島県中地方の被災ため池分布である。図 (b)には衛星画像上に被災池を黒●、無被災池を白○でプロットし、藤沼湖がある A-A 断面を国土地理院の10

mDEM から地形標高を図 (a)に示した。また図 (c)では被災池を災害査定額区別別に、○印の大きさと査定額を区分 (但し、小さな□は無災池) し、さらに○の中を推計震度毎に色分けした。赤色系は震度6強で、大きな○印が集まる北緯37.3度、東経140.30度のエリアに被災池が集中していた。多数のため池が深刻なダメージを受けたエリアは、狭い範囲に集中しており、特に震度の高いエリアは、その大半が水田に隣接する傾斜地形となっている。

Fig. 26 全体を見比べると、東側の阿武隈山地内では震度5強レベルで被災池も少なく、標高が下がって郡山盆地に入り阿武隈川を越えた所から地形は東に面して傾斜している。震度は6弱から6強に上昇するに伴い、被災池の数も急激に増え、藤沼湖も中池も赤い部分の周辺にある。

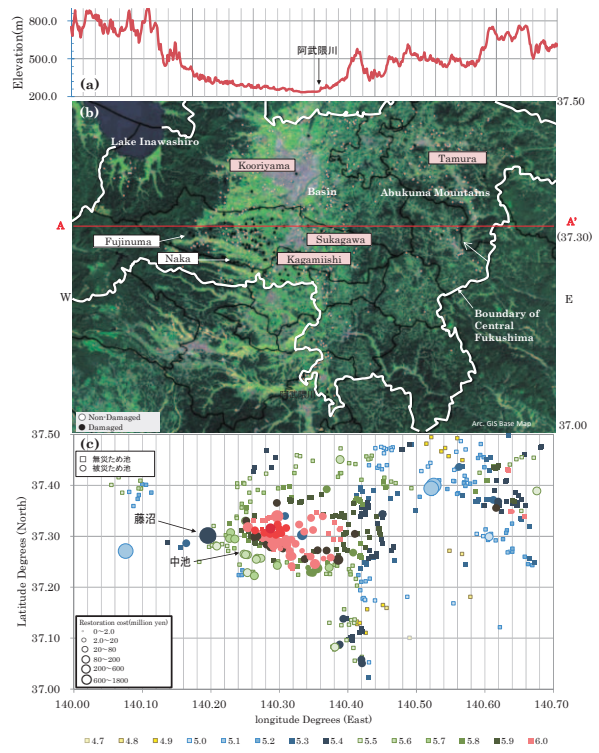


Fig. 26 東北地方太平洋沖地震の福島県中地方ため池の被災分布
Relationships between locations of earth dams and damages estimated from restoration costs in Central Fukushima by the Tohoku Earthquake

Fig. 27 (b) は、ため池経度位置を横軸に、縦軸に震央に対する堤軸角度 ω_i を、赤色を被災池、緑色を無被災でプロットして地形図と見比べた。山地と盆地の境にオレンジの破線を引くと、①部分の堤軸方向は下流面西向きが大半で、反対に②の青色点線は盆地内で東向き (ω_i は240-360°の範囲が大半 (全体3分の1角度範囲に6割を占める) であり、多数のため池堤体下流斜面が震央に

向き)で、かつ被災池の大半が東経140.30度付近に集中し、地形的には山地と盆地に挟まれたエリアであった。

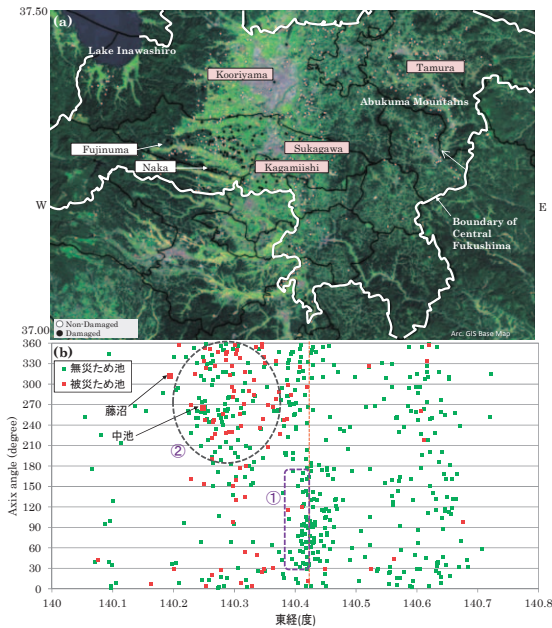


Fig. 27 東北地方太平洋沖地震の福島県中地方被災ため池の経度と堤軸方向
Relationships between angle of dam axis with respect to the epicenter and longitudinal locations of earth dams in Central Fukushima

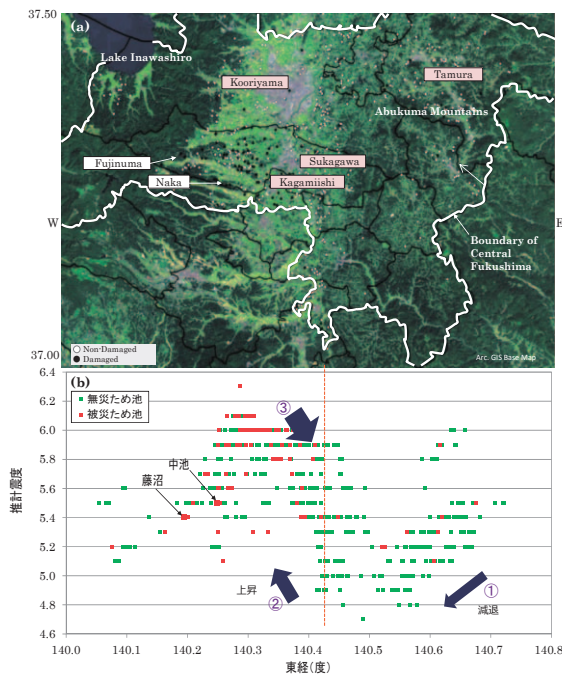


Fig. 28 東北地方太平洋沖地震の福島県中地方被災ため池の経度と推計震度
Relationships between estimated seismic intensities during the Tohoku Earthquake and longitudinal locations of earth dams in Central Fukushima

Fig. 28 (b) は、横軸の経度位置に対し縦軸を推計震度にしたものである。東経140.45度の境界ラインの東側で山地から境界に向かって震度が減退①し、境界を越えたところで震度の急上昇②が見られる。これは、山地内の震度は震源域から離れるに従って減衰し、平地(盆地)では震度が増大したためである。但し、境界の西側で比較的大きな推計震度にも関わらず被災池が少ないのは、推計震度評価が盆地内の震度6強の影響③を受けて多少過大になった可能性があり、**Fig. 25** のため池数の2つのピークと R_d の落ち込みの原因と考えられる。

ため池堤軸方向 ω_i を縦軸に、推計震度を横軸として **Fig. 29** に示した。震度が5.4以下の時、 ω_i が30~180°では被災池は皆無で、震度6弱までは殆ど被災池が見られない。一方、堤軸下流が震央方向にある $\omega_i = 270^\circ$ 付近では、震度5強でも被災池が見られ、藤沼湖や中池はこの ω_i 領域に含まれている。

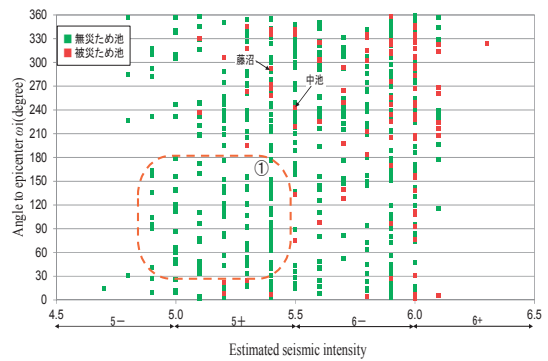


Fig. 29 東北地方太平洋沖地震の福島県中地方被災ため池の震度と堤軸方向
Relationships between angle of dam axis with respect to the epicenter and estimated seismic intensity during the Tohoku Earthquake in Central Fukushima

Fig. 30 は、福島県中域のため池 R_d と堤軸 ω_i の関係図である。 R_d の値は、震度5強(震度5.0-5.4)、震度6弱(震度5.5-5.9)、震度6強(震度6.0以上)の3震度階に区分し、 ω_i の値を以下の6等分にしてレーダーチャートに整理した。まず、グループaは ω_i が0°を中心として0°~30°及び330°~360°の範囲で、同様にグループb~fまで全体を各60°毎に区分して6つのグルーピングを行い、グループ毎に震度階毎の R_d を計算した。全般に震度の増大に伴って R_d は大きくなる中で、震度5強ではb及びcグループで R_d がゼロであった。また、同じ震度5強でも堤体下流面が震央と正対するa、e及びfの R_d は比較的高く(10%以上)、他の3グループでは5%以下の低い R_d であった。また、震度6弱ではグループc及びfは R_d が20%を超え、グループa、d及びeでもそれらに次ぐ15%程度であった。反対にグループbでは、震度6弱でも R_d は5%程度であった(**Fig. 29** のオレンジ破線①の部分)**Fig. 30** の①で示すところである)。さらに、震度が6強に上がると、全グループに

において R_d は30%から40%を超える状況になり、 ω_i による R_d に大きな差は見られなくなっている。即ち、堤体下流斜面が震央方向の場合は全般に R_d が高くなり、ため池上流（貯水面）が震央側の場合は、被災リスクは小さくなると考えられる。

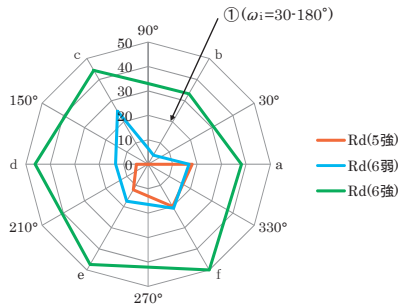


Fig. 30 東北地方太平洋沖地震の福島県中地方ため池の震度及び堤軸角度別被災率

Relationships between damage ratio based on estimated seismic intensity during the Tohoku Earthquake and angle of dam axis with respect to the epicenter in Central Fukushima

Fig. 31 は、シームレス地質図（防災科研 HP）上に Fig. 24 の県中・南地方のため池被災集中域を概ね赤い四角で囲った範囲を重ね合わせた図である。県中・南地方のため池集中域の東端は阿武隈山地西縁に接し、南西部分には棚倉構造線が通過する等、囲った領域は東西から中生代の硬い地盤に挟まれる共に、内部は火山岩からなる丘陵・台地と堆積層から成る平地が混在している。このような地盤構造エリアでは、地震波の多重反射等によって揺れが増幅し易い傾向にあり（伯野, 1992）、集中域内は周辺と比較して顕著な強震度になったと推測できる。因みに、本エリア内の棚倉構造線は地形的に明確な起伏形態がないため、増幅の要因となり得る硬い地盤としては見落とされ易い。

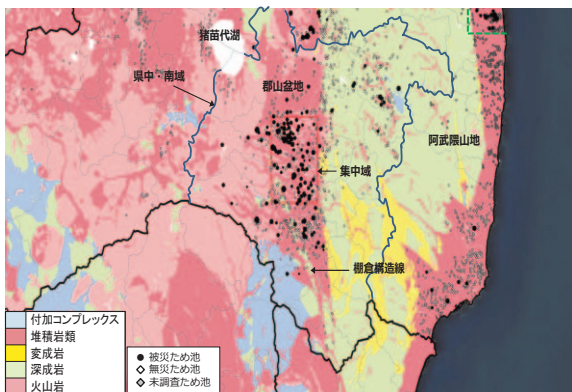


Fig. 31 福島県中・南地方の地質と被災ため池の分布
Geological ground structure and distribution of damaged earth dams in Central-Southern District of Fukushima Prefecture

Fig. 32 の地形学的な形成過程（小池, 1965）が示す通り、Fig. 31 で囲った被災集中域は「古郡山湖」の南

半分と重なっており、大小起伏山地、丘陵、台地に沖積層等、低平部と傾斜部が入り組んだ複雑な地形を呈している。即ち、この集中的なため池被災要因には、東側に硬い地層の阿武隈山地があり、かつて湖底にあった揺れやすい軟弱な地盤を挟んで、西側に硬い構造線が貫通する等、地震波の反復反射が起りやすい広域的な地形・地質条件が関係したものと考えられる。

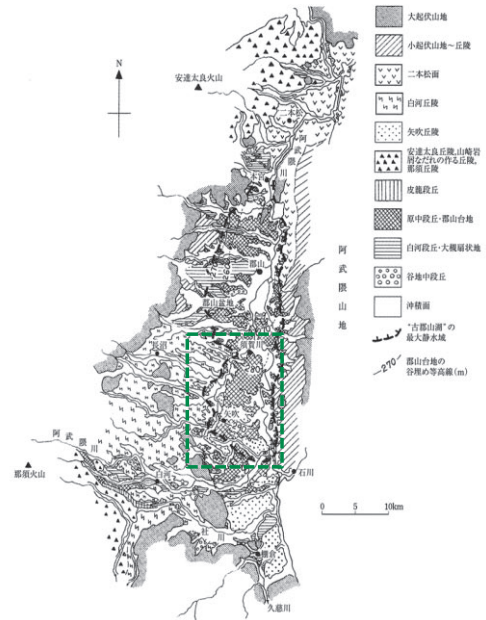


Fig. 3.2 郡山盆地の地形学図 [小池, 1965b を他の報告や新知見を加えて改定]
出典: 日本の地形3 東北p126

Fig. 32 福島県中・南地方の地形学図
Topographical map of the in Central-Southern District of Fukushima Prefecture

4.4 まとめ

第IV章では、ため池地震動被災要因解明のために、緯度・経度分布、震央距離、推計震度分布、広域的な地形・地質、堤軸震央方向角度等の関係要素について複合的な検討を行った。そのため、先ず、被災ため池数が多かった宮城県と福島県を比較し、特に被災が集中した福島県中地方を対象域に詳細な検討を行った。以下、本章のまとめでは、両県の被災分布比較、広域的な地形・地質及び堤軸震央方向に分けて要因分析結果の総括を行う。

(1) 両県の被災比較

- ・福島県内は震度6強エリア周辺に被災ため池が集中したが、宮城県では震度6強域内でも顕著な被災集中は見られなかった。
- ・両県の被災ため池集中エリアは、宮城県北部、亶理町・山元町から南相馬市（同市南部は原発事故後、立ち入り制限区域で未調査）までの県境を跨ぐ沿岸市町エリア及び福島県中から県南地方であった。

(2) 地形・地質条件と震度及び被災率 (R_d)

- ・ため池の被災は、地盤の揺れ（震度）が小さくなる

硬い岩盤（山地・丘陵等）と震度が大きくなる軟弱な堆積層（平地）の両方が混在した場所（山地と平地の境）に多く発生していた。

- ・福島県中地方では、山地から盆地に向う地形・地質構造変化に伴い震度の減退・上昇現象が見られた。
- ・福島県中地方では盆地内の特定の緯度・経度域に強震度がスポット的に生じると共に、当エリア内の R_d は震度6.0では40%であった。
- ・推計震度は間詰め方式で求められるために、地形の変わり目等で震度の推計誤差が生じる場合があった。

(3) 堤軸方向と被災率 (R_d)

- ・福島県中地方の被災ため池は地形条件（例えば、水田との位置関係等）から、堤体下流面が震央に向いている場合が過半である。
- ・震度5強～6弱までは堤体下流が震央向きの場合に R_d が高い傾向にあり、震度6強ではその傾向が不明瞭となった。

以上から、地震動には広域的地形・地質において震央・震源からの方向性が見られ、それが推計震度に反映すること。また、ため池堤軸方向は下流面が震央に正対する場合に、 R_d が大きくなることが明らかとなった。

V ため池被災集中域の分析

5.1 概説

第IV章では、東北地震に伴い被災ため池が集中した福島県中内の事例から、 R_d を増加させる推計震度と広域的な地形・地質には深い関わりがあることを考察した。特に東西両側には硬い地盤の阿武隈山地と棚倉構造線があり、その間に軟弱な地盤の盆地が挟まっていたことが、震度上昇と被災集中の要因となっていた。また、堤軸と震央方向の関係は、堤体下流が震央方向に正対する場合に R_d が高くなっていた。しかしながら被災現地をさらに細かく見ると、同じ震度や堤軸方向であっても、決壊に至る場合と無被災の池が隣接する等、狭域の R_d ため池サイト条件の違いで R_d の結果が大きく異なっていた。

第V章では、福島県内で最も被災が集中したエリアを震央距離と緯度経度から特定し、被災レベルを導入して被災度別に分布形態を詳細に観察する。さらに集中域内のサイト地形を分類し、 R_d と被災度で要因分析を行う。

5.1.1 ため池被災度

第III～第IV章ではため池被災を災害査定の有無によって、被災池と無被災池の2区分で評価してきた。実際のため池被災は、ため池被覆工のクラックや堤体天端に起こる軽微なクラックから、堤体自体が滑りによって崩壊・決壊する等、被災の状態やレベルは大きく異なる。第V章では、東北地震に伴う福島県内の被災ため池について、過去の被害研究事例を踏まえて被災ため池毎に被災度評価を行い、被災要因を分析する。

5.1.2 被災集中域内ため池サイトの地形・傾斜

第IV章では、宮城・福島両県の地域ブロック別に比較的広範な地形・地質から、被災ため池の集中状況を見てきた。被災集中域内では、同じ強震度エリア内にありながら、ダメージの大きい被災池と全く無被災の池が隣接する場合が見られる。そのため第V章では、福島県内で最も被災ため池が集中したエリアを特定し、個々の立地サイトの地形・傾斜を細かく見るために、グーグル・アース画像と立体地形傾斜図を用いて、サイト周辺の地形（傾斜・勾配や谷地形等）で分類し、震度及び堤軸方向等と併せて被災要因の検討を行った。

5.2 分析手法

基本的な分析手法は第IV章と同じであるが、集中域内部の被災状況をより詳細に検討するために、被災ため池毎に被災のレベルに応じた「被災度」を設定した。これにより被災と無被災の2段階評価から、無被災の被災度0から堤体崩壊レベルの被災度5までの6段階評価とした。第IV章では福島県中域のみを検討したが、改めて福島県全域からため池被災集中域を抜き出し、集中域の内と外で被災要因別に比較検討を行った。さらに集中域内のため池毎に地形・傾斜別にタイプを分類し、被災度別に分布状況を詳細に検討し、隣接ため池間で被災・無災を分けた要因を究明する。

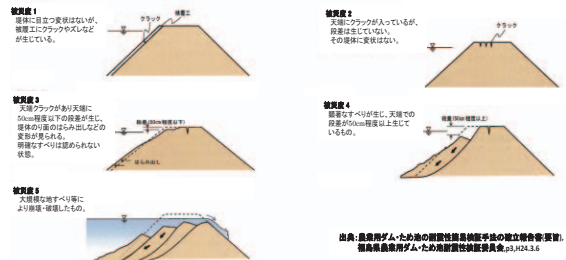
5.2.1 被災レベルとため池被災度

第IV章までは、「暫定法」(昭和25年法律第169号)に基づき東北地震で災害査定されたため池を「被災ため池」と定義した。第V章からは各ため池に対し、無被災を被災度0（ゼロ）とし、災害査定ため池で被災レベルが上がる毎に1～5まで被災度を設定した。具体的なため池被災度分類基準は、(福島県, 2012)のTable 11に基づき、福島県から提供された「ため池災害査定地区別整理カード」(2013年3月末時点)に拠って被災ため池毎に分類した。

Table 11 ため池の被災度分類

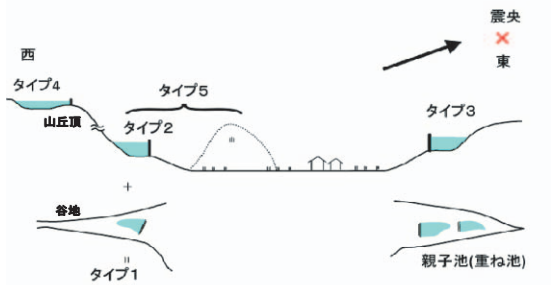
Classified list on damages to earth dams due to earthquake motions

被災度	状態 (レベル)
0	無被災
1	堤体に目立つ変形はないが、被覆工にクラックやずれなどが生じている。
2	天端にクラックが入っているが、段差は生じていない。その他地質に変化はない。
3	堤体クラックが走り、天端に50cm程度以下の段差が生じ、堤体のり面のほ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。
4	顕著なすべりが生じ、天端の段差が50cm程度以上生じているもの。
5	大規模なすべり等により崩壊・破壊したものの。



5.2.2 傾斜・地形タイプ

Fig. 33により被災集中域内のため池サイト地形を、5タイプに分類した。タイプ1は、東に面して傾斜し(但し、東側に山丘がない)、谷地内にある「傾斜・谷地タイプ」、タイプ2は、東に面して傾斜し東側に山丘はないため池で、谷地内にもないものを「傾斜・非谷地タイプ」、タイプ3は「逆傾斜タイプ」で、西に面した傾斜地にあるため池、タイプ4はため池サイトが山丘の頂き等の比較的緩い勾配にある「緩傾斜タイプ」、タイプ5は、タイプ1又は2で東面に山丘がある「東山タイプ」ため池とした。各ため池の傾斜・地形タイプ照合は、第IV章で堤軸方向 ω_i を求める際に使用したグーグル・アースの画像(Fig. 34)及び立体傾斜図(Fig. 35)に拠った。上記で地形・傾斜が判定しにくい場合には、国土地理院5mDEMを使ってため池周辺の傾斜勾配をさらに確認した。因みに、Fig. 35のため池被災集中域内立体傾斜図は、(株)横山空間情報研究所に依頼し、国土地理院5mDEMを基にため池位置を重ね合せたものである。



- 分類タイプ**
- ・タイプ1(傾斜・谷地): 東に面して傾斜し谷地内で東面に山がないため池
 - ・タイプ2(傾斜・非谷地): 東に面して傾斜し非谷地内で東面に山がないため池
 - ・タイプ3(逆傾斜): 西に面した傾斜ため池
 - ・タイプ4(緩傾斜): 山等緩い勾配のため池
 - ・タイプ5(東山): タイプ1と2の内の頂にあって東面に山丘があるため池

Fig. 33 ため池サイトに関する傾斜・地形タイプ分類
Classification of gradient-landform on earth dams



Fig. 34 福島県中・県南地方のため池被災集中域の傾斜・地形タイプ

Types of geographical features for earth dam site on Google Earth in Central-Southern District of Fukushima Prefecture

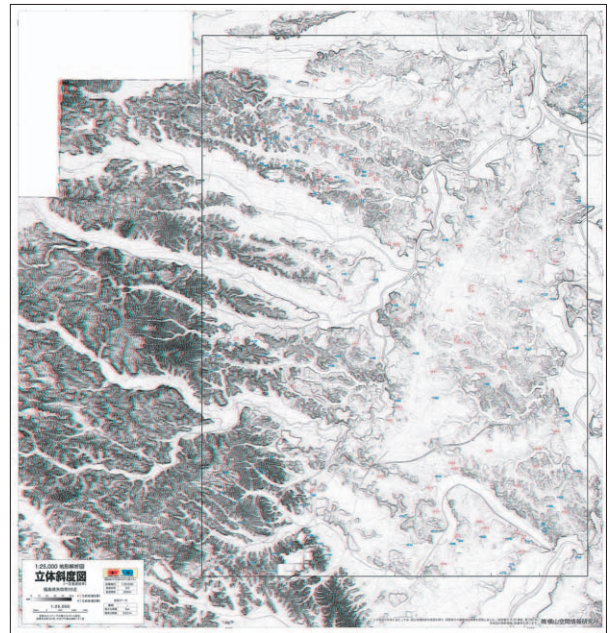


Fig. 35 福島県中・県南地方のため池被災集中域立体傾斜図
Location of earth dams on three-dimensional decline map in the intensive damaged area for earth dams of Central-Southern District of Fukushima Prefecture

5.3 結果と考察

5.3.1 福島県内のため池被災度

Table 12には、福島県内ため池をTable 11の被災度分類に基づき評価した結果を示す。同県内では南会津地方を除く6域で合計283個の被災ため池が確認された。これは同県内のため池総数2,400個の約1割強に当たる。また、被災数最多が県中地方の98個で全体の35%, R_d では相双地方が22.6%で最も高く、県南、県中地方がそれに続き、当該3地方で被災池全体の87%を占めていた。さらに被災度別では、被災度3が152個で被災池全体の過半を占め、被災数が少ない地方でも被災度3の割合が最も大きい。被災度5は全県で9個、被災池全体の3%であった。

Table 12 東北地方太平洋沖地震の福島県内地域ブロック被災度被災度別ため池

Number of earth dams based on damage classification due to the Tohoku Earthquake in Districts of Fukushima Prefecture

地方	ため池総数※	被災レベル							被災数合計	被災率(%)	備考
		0(無被災)	1	2	3	4	5	不明			
県北	371	342	7	8	7	6	1	29	7.8		
県中	550	452	12	15	56	9	3	98	17.8	羽瀨ダム含む	
県南	298	243	8	8	29	7	3	55	18.5	西郷ダム含む	
相双	411	318	8	18	56	9	2	93	22.6		
いわき	367	361	0	2	3	2	0	7	1.9		
会津	414	419	0	0	1	0	0	1	0.2		
合計	2,411	2,128	35	51	152	33	9	283	11.7		

※原発事故等による災害査定等未実施地区及び無被災の南会津域のため池は対象から除く、不明池は被災度で被災度判定不能

Fig. 36では、福島県全域のため池位置を被災度0（無被災）の白○と被災池の黒●に分け、1～5まで段階毎に黒丸のサイズを大きくし（被災度別のサイズ表示は以下同じ）、震央距離等距離線を付けた推計震度マップ上に表示した。被災池は、震央距離170-180kmの相双地方と240-250kmの県中及び県南地方の両エリア内に集中し、いずれも震度6弱（計測震度5.5）以上のエリアに集っていた。また、ため池被災度分布は全体的に分散しており、被災集中域内でも全てが高被災度池で占められている訳ではなかった。例えば、3決壊池（青田新池、中池、藤沼湖）近辺で無災池が多数存在し、被災池数の少ない県北、県中地方東部、いわき地方でも高被災度池が散見された。なお、相双地方南部沿岸部の震度6強エリアは、東京電力福島第一原子力発電所事故の関係で災害査定が2013年4月時点までに未実施であった。また、いわき地方の震度7（計測震度6.5以上）エリアでも被災池が少ないことが分かる。

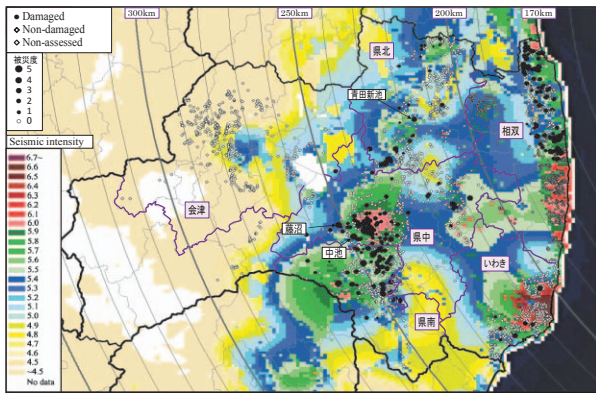


Fig. 36 東北地方太平洋沖地震の福島県内推計震度と被災度別ため池の分布

Distribution of estimated seismic intensity during the Tohoku Earthquake and damaged & non-damaged earth dams in Fukushima Prefecture

Fig. 37 (a) は、東北地震時の福島県内ため池について推計震度を横軸として青色を無災池、ピンクを被災池数にして、震度毎の R_d をオレンジ折線で表示している。県全体の R_d は12%で、震度4.8から被災が見られ、 R_d は震度上昇に伴って増加傾向で、震度5.6と震度6.0で20%と30%の2つのピークがあり、推計震度6.1から R_d が低下していた。因みに、Fig. 10 (b)での2つのピークが16%より増加しているのは、相双地方内で1年後に災害査定を行なった26個の被災池が追加されたためである。

右図 (b)は、地域別に県北は水色、県中は緑色、県南はオレンジ色、相双は紫色、いわきはピンク色、会津は黄土色に各々の池数を推計震度別に棒グラフにし、 R_d の青色折線と一緒に示した。震度6.1以上ため池の85%が、Fig. 33で最も強震度が分布するいわき地方のもので、県中、県南、相双地方がこれに続いていた。但し、いわき地方内の被災池自体が少ないため、青 R_d ライン

は震度6.1以降で無災池数のみの増加によって急激に低下していた。

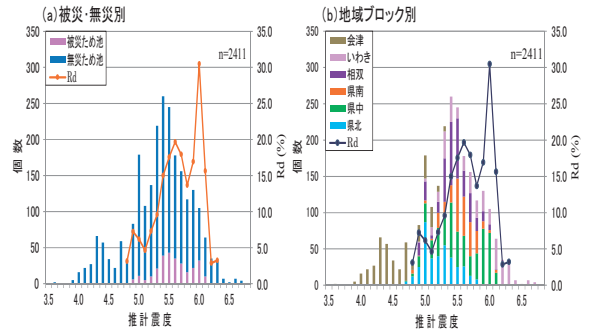


Fig. 37 東北地方太平洋沖地震の福島県内ため池震度と被災率 Relationships between seismic intensities estimated at each dam site and damages of earth dams (a) in Fukushima Prefecture, (b) in each district of Fukushima Pref. by the Tohoku Earthquake

Fig. 38 (a) は、福島県内全域の被災ため池だけを推計震度毎に被災度別に示し、Fig. 37と同じ震度別 R_d を折線で表示した。ため池被災数は震度と共に増加し、 R_d も増加傾向にあるが、被災度は震度によってレベルが上がる傾向は見られず、いずれの震度でもレベル3が過半を占めていた。

Fig. 38 (b)では被災池を震度毎・地域別で見たが、震度6.1以上 R_d の顕著な落ち込み理由は、震度6.0で県中地方の被災池は全数72個中31個、いわき地方は21個中1個、震度6.1では同じく県中の17個中8個、いわきは42個中0個で、いわき地方では強震度池が増える割に被災池が殆どないことが分かる。また震度6.0の被災池は殆どが県中地方であるが、被災度ではレベル3が過半を占めており、震度が大ききとも被災レベルが上がるとは限らないことが分かる。

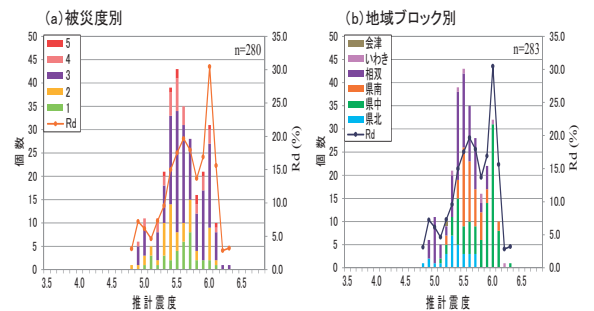


Fig. 38 東北地方太平洋沖地震の福島県内被災ため池震度と被災度・被災率

Relationships between seismic intensities estimated at each damaged earth dams (a) based on damage classification in Fukushima Prefecture, (b) in each district of Fukushima Pref., due to the Tohoku Earthquake

5.3.2 被災ため池集中域の設定

Fig. 39は福島県内ため池について、縦軸に震央距離を横軸に経度（東経）をとり、各池の位置毎に被災度別

のサイズと地域別に色を変えてプロットした。震央から近い順に、相双地方で距離170-180km, 東経140.88-141.02度 (経度差: 0.14度), 県中・県南地方では距離240-250km, 東経140.24-140.40度 (経度差: 0.16度) の範囲に各々被災集中が見られた。他域では特定の震央距離範囲に同様な被災集中は確認できない。

Fig. 40 は縦軸に緯度 (北緯) を横軸に震央距離をとって前図と同様にため池位置をプロットした。相双地方では前図と同距離間に北緯37.50-37.90度 (緯度差: 0.40度), 県中・県南地方で同距離間に北緯37.15-37.33度 (緯度差: 0.18度) に被災池集中域があり, 県中・県南地方の方が緯度差は小さく南北間22kmで被災集中度が高い。

両域の比較から県内で被災池が最も集中したエリアは, 県中・県南地方の震央距離10km範囲で東西距離は14kmであった。なお, 県中・南の被災集中域の面積約300km²の範囲内には, 郡山市, 須賀川市, 白河市の3市を始めとして, 9つの市町村が関連していた。

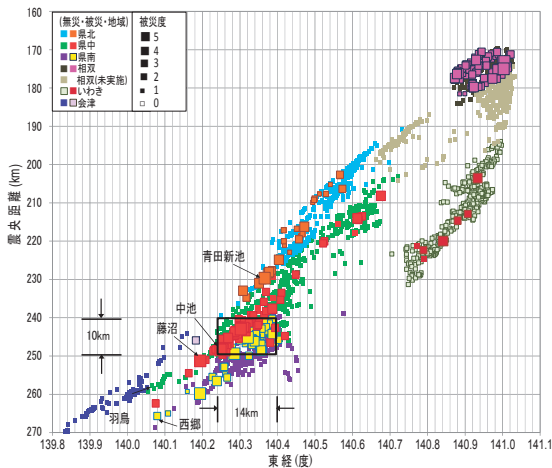


Fig. 39 東北地方太平洋沖地震の福島県内ため池の被災度別震央距離・経度分布
Relationships between distance from epicenter and longitudinal location of earth dams in Fukushima Prefecture

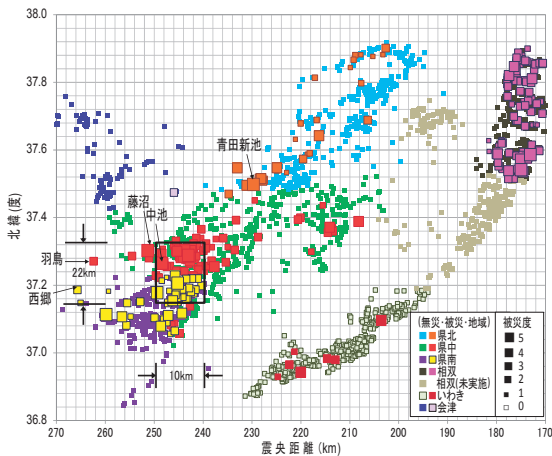


Fig. 40 東北地方太平洋沖地震の福島県内ため池の被災度別震央距離・緯度分布
Relationships between distance from epicenter and latitude location of earth dams in Fukushima Prefecture

Fig. 39 と **Fig. 40** の両図から, 県北地方は震央距離200~235kmで東経140.30-140.56度, 北緯37.50-37.90度, いわき地方は205~225kmで東経140.78-140.94度, 北緯37.10-36.90度の範囲に各々分布し, 両域の震央距離範囲は丁度, 相双と県中・南の両被災集中域の中間に位置していたが, 特に被災の集中域は見られない。

Fig. 41 (c) は, **Fig. 39** と **Fig. 40** で県中・県南地方内に設定した被災集中域の範囲を衛星画像に赤枠で囲い, さらに集中域内外の地形・勾配を見るために域内で最も被災が集中した箇所を通過する A-A 線を, 国土地理院10DEMによって同図 (a) に横断面図で示した。加えて相双地方南部に B-B 線を設け, 同図 (b) に示した。赤枠で示した集中域は郡山盆地の南部から矢吹丘陵に跨がる範囲にある。(a)図において, 集中域東端は阿武隈山地が盆地まで下がりきった地点から始まり, 西端が奥羽山脈に向けた急傾斜面手前までの平均勾配6.4%で東に傾斜している。被災池は阿武隈川より西側の東傾斜面に多く見られ, 阿武隈山地から川に向かって盆地に下る西向き斜面では殆ど無災あった。(b)図に示した相双地方では, 平均勾配が7.1%であり, 両域とも震央方向に向かって同程度傾斜していた。

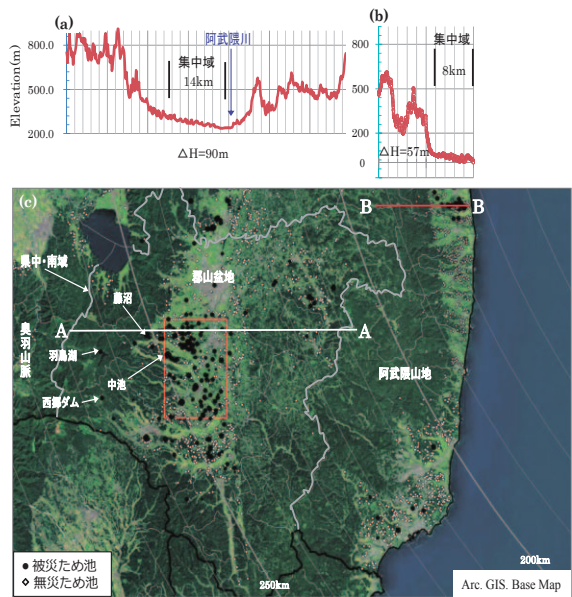


Fig. 41 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池被災集中域
Location of intensive damaged area for earth dams in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

5. 3. 3 被災集中域内外の比較分析

福島県中・県南地方内848個のため池の内, 集中域内300km²には, 被災及び無災池が228個確認できた。**Fig. 42 (a)** では, 県中・県南地方の全ため池を推計震度毎に被災池をピンクで, 無災池を青色で, R_d をオレンジ折線で示した。被災池は震度5.1からで, 震度5.5超の R_d は20%前後で, 震度6.0から R_d は40%を超え, 震度6.1で R_d

は50%であった。

Fig. 42 (b) は、集中域内ため池をピンクで、域外を青色にして、震度毎に集中域分の占有率を赤色の折線で示した。集中域内は震度5.2から始まり、震度5.5超から3~4割に、震度6.0超では8割前後となる等、強震度のため池が集中域内に多く集まっていることが分かる。

Fig. 42 (c) は、県中・県南地方内150個の被災池を震度毎、被災度別に色分け表示し、オレンジ色の R_d 折線と比較した。集中域内には県中・県南地方全体の27%のため池があるが、被災池では全体の63%が集中域内にある。全般に震度増大に伴って被災池数と R_d は上昇傾向にあるが、震度5.7-5.9で被災数は減少した。被災度はレベル3が過半を占め、震度によって被災レベルが上がる傾向は見られなかった。

Fig. 42 (d) は、集中域内ため池を無災分も含めて推計震度毎に被災度別で色分けし、 R_d をオレンジ折線で示した。集中域内は震度5.5-6.1ため池が98%を占め、うち最多は震度6.0であった。集中域内の R_d は、30から50%の間で上下しており、この範囲内の震度によって R_d の上昇傾向は見られず、被災度はどの震度でもレベル3が過半を占め、特定の被災レベルに偏る傾向は見られなかった。

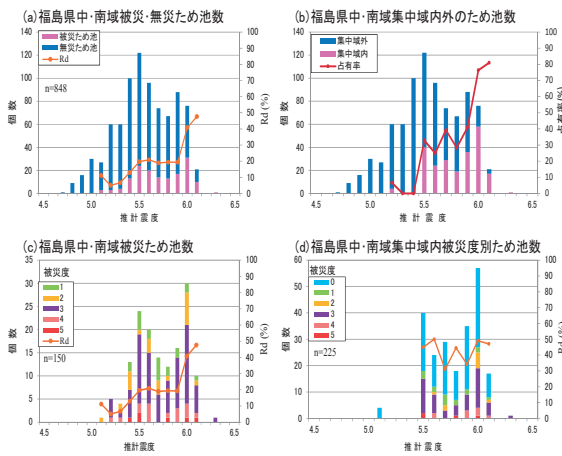


Fig. 42 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池被災集中の震度・被災度別域内外比較

Relationships between seismic intensities estimated at each dam site and damages of earth dams based on (a) damage ratio, (b) share between intensive damaged area and outside of the area, (c) damage classification, in Central-Southern District, (d) damage classification in the intensive area of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

Fig. 43 は県中・県南地方ため池について、経度を横軸に、堤軸震央方向角度(ω_i)を縦軸として、Fig. 42 (a) は集中域外だけを、Fig. 43 (b) は集中域内だけを被災度別に色分けして示した。なお、図 (a)では藤沼湖、羽鳥ダム、西郷ダムを、Fig. 43 (b) は中池を参考に明示した(以下も同様)。先ず Fig. 43 (a) では集中域の少し東側(東経140.40-140.45°)に $\omega_i = 0-180^\circ$ のため池が卓越して

いる場所が一部あるが、全体としては $\omega_i = 180^\circ - 360^\circ$ のため池が多数を占めている。 ω_i を4等分して被災池の割合と R_d を比較すると、 $\omega_i = 0-90^\circ$ が19%と $R_d = 8\%$ 、 $\omega_i = 90-180^\circ$ が11%と $R_d = 5\%$ 、 $\omega_i = 180-270^\circ$ が30%と $R_d = 11\%$ 、 $\omega_i = 270-360^\circ$ が40%と11%となり、集中域外の R_d は全体的に下流面が南東向き池ほど大きくなっている。同様に Fig. 43 (b) の集中域内では $\omega_i = 0-90^\circ$ が10%と $R_d = 48\%$ 、 $\omega_i = 90-180^\circ$ が14%と $R_d = 33\%$ 、 $\omega_i = 180-270^\circ$ が40%と $R_d = 45\%$ 、 $\omega_i = 270-360^\circ$ が35%と $R_d = 42\%$ と大部分の ω_i が180°以下の池数自体が少なく、 R_d には大きな差が見られない。

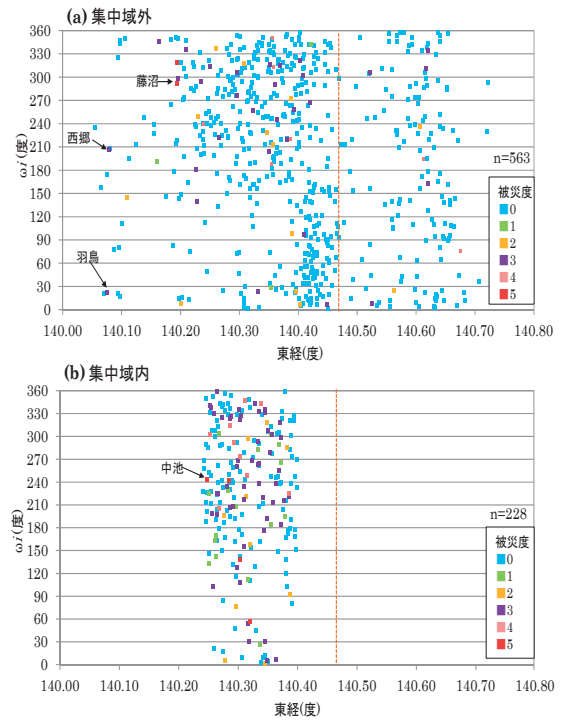


Fig. 43 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池経度と堤軸方向の被災集中域内外比較

Relationships between angles of dam axis with respect to epicenter and longitudinal locations of earth dams (a) outside, (b) inside of the intensive damaged area in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

Fig. 44 には、県中・県南地方ため池について、ため池DBから地形区分別の被災池と無災池数及びその R_d をグラフにしたものである。当域内のため池は、地形的に台地のため池が3分の1以上あるが、 R_d では丘陵地が29%で最も高い。因みに、通常、地形区分だけで揺れ方を判断する場合には、低地の地盤が揺れ易く、 R_d が最大と考えられるが、実際の R_d では丘陵地と台地の率が高くなっている。山麓地と低地のため池数は各々2割程度で、山地に囲まれている割に山麓地のため池は少ない。なお、本地域の地形に関する「ため池DB」捕捉率は76%であった。

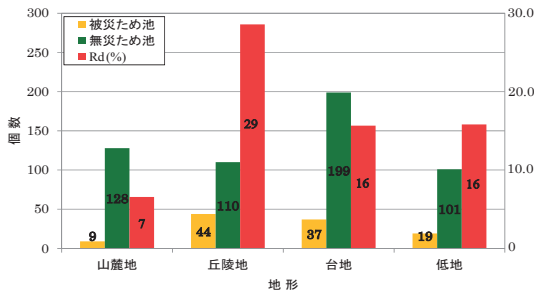


Fig. 44 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池地形区分別被災率

Damage ratio of earth dams based on geographical features of earth dam site in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

Fig. 45 は, Fig. 44 を被災集中域内外に分けて R_d を比較したものである。集中域内外とも, 丘陵地の R_d が最も大きい, 左図 (a) 集中域内では台地及び低地とも R_d に差が余りなく, 地形区分による差はあまり確認できない。因みに, 集中域内は地形が錯綜していて, 丘陵地や台地に隣接して低地が存在しており, ため池が「山地と平地の境」で R_d が高いこととの関連で説明が可能である。また, 右図 (b) の集中域外では, 硬地盤の山麓地と低地の R_d が同程度で, 台地よりも高くなっており, 地盤が錯綜する「山地と平地の境」の R_d が高くなるのを支持する結果となっている。

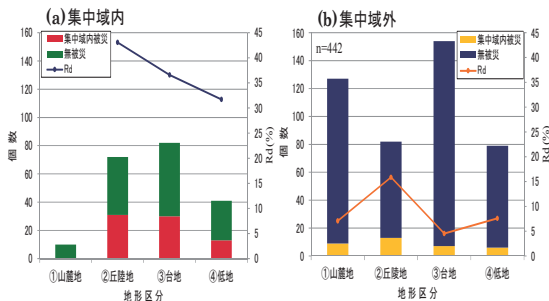


Fig. 45 東北地方太平洋沖地震福島県中・県南地方のため池被災集中域内外地形区分別被災率比較

Comparison of damage ratios of earth dams between (a) inside of the intensive damaged area, (b) outside, in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

Fig. 46 では, 被災集中域を内と外に分けて, 横軸に経度を, 縦軸に震度を取って被災度別に色分けプロットして, 東西方向でため池震度推移が分かるようにした。Fig. 46 (a) の集中域外では, オレンジ点線の阿武隈山地のピークから下がり始める東経140.50度より東側のため池は, 西へ行くほど震度が低下する傾向にあり, この経度を底にしてさらに西に向かって震度は上昇傾向となる。その後, 集中域が始まる東経140.40から140.20度までは上昇傾向にあり, 集中域西端の140.20度を境に再び減少している。Fig. 46 (b) の集中域内では, 震度5.5を最低レベルとして東経140.30度付近で震度6.3をピークに, 強震度が塊状になっていた。

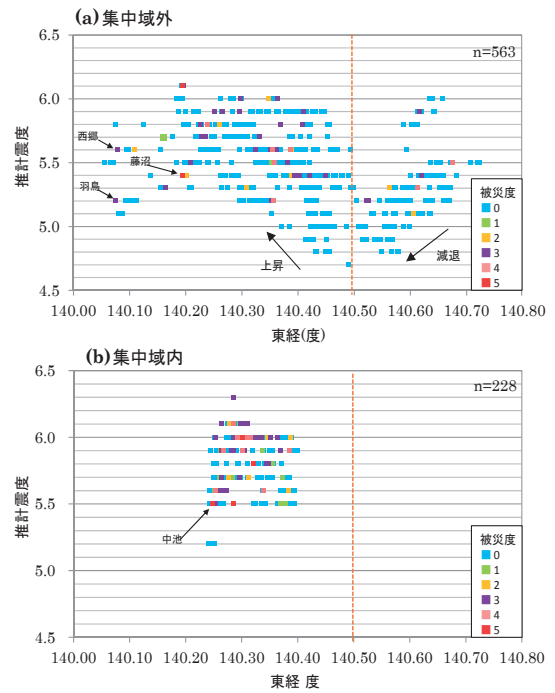


Fig. 46 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池経度と震度の被災集中域内外比較

Relationships between estimated seismic intensities during the Tohoku Earthquake and longitudinal locations of earth dams (a) outside, (b) inside of the intensive damaged area in Central-Southern District of Fukushima Prefecture

Fig. 47 は, 横軸に推計震度を, 縦軸に ω_i を取って被災度別にため池を色分けし, 集中域外の Fig. 47 (a) と集中域内の Fig. 47 (b) で比較した。Fig. 47 (a) で $\omega_i = 30-180^\circ$ で被災池が6個 ($R_d = 3.1\%$) で, それ以外の ω_i 区間の51個 ($R_d = 12.0\%$) と比較して被災池数が極めて少なく, 特に震度5.3まで (オレンジ破線の範囲) は全く被災池がなかった。Fig. 47 (b) では, $\omega_i = 0-180^\circ$ のため池数が60個 (全体の26%) と少なく, 震度6.0に19個が集中する等, 震度階毎に ω_i 区間別の R_d を比較するには母数が過少で偏り過ぎていた。一方, $\omega_i = 180-360^\circ$ では池数が相対的に多く, 震度階毎の数も適度に分散している。被災集中域内ため池を ω_i 区分して震度上昇と R_d を比較することは, 個数の確保が難しいことに注意しなければならない。

Fig. 48 は, Fig. 47 (a) の被災集中域外ため池について, 震度を4.7-5.0, 5.1-5.4, 5.5-5.8, 5.9-6.3の4等分, ω_i を 0° から 90° 間隔で4等分の16区分とし, その区分毎に被災度別に色分けした池数の棒グラフと R_d を示した。

また, R_d は ω_i の区間毎に $\omega_i = 0-90^\circ$ を黒, $\omega_i = 90-180^\circ$ を緑, $\omega_i = 180-270^\circ$ を青, $\omega_i = 270-360^\circ$ を赤の折線で示した。なお, 図中右上の4本の点線は, 集中域内の同じ ω_i と震度区分毎の R_d を同色の点線で示して比較した。この図では $\omega_i = 180-360^\circ$ のため池は概ね全ての震度区分で被災数が多く, 震度増大に伴う R_d の増加傾向も明かであった。

また、右上集中域4点線は、どの区分の集中域外より常に R_d が高く、震度による増加傾向も $\omega_i = 90-180^\circ$ で逆転する以外は、概ね増加傾向にあった。被災度では、被災度3が何れの区分でも多数を占めるが、被災度4以上の大部分は ω_i が $180-360^\circ$ 範囲に多く集っていた。

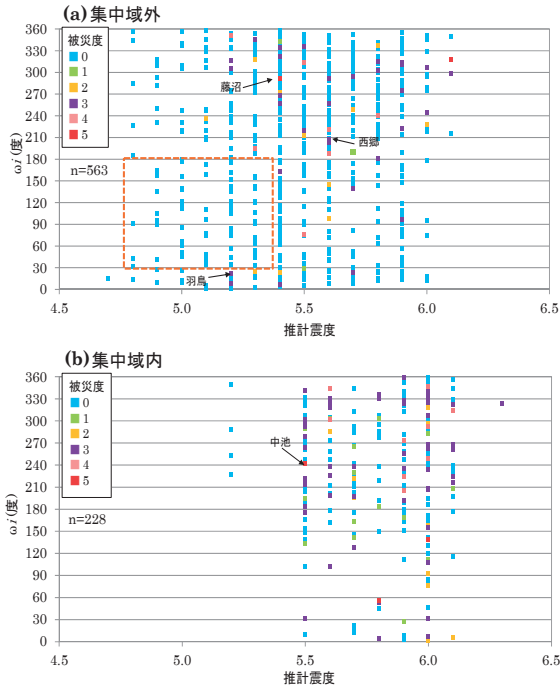


Fig. 47 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池の震度と堤軸方向の被災集中域内外比較
Relationships between angles of dam axis with respect to epicenter and estimated seismic intensities during the Tohoku Earthquake (a) outside, (b) inside of the intensive damaged area in Central-Southern District of Fukushima Prefecture

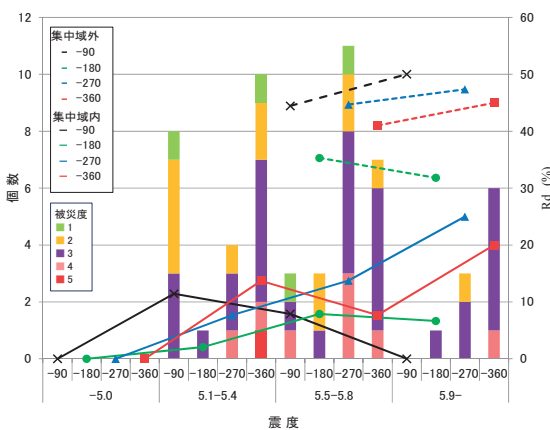


Fig. 48 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池の被災集中域外の震度別・堤軸方向別被災率比較
Relationships between angles of dam axis with respect to epicenter and damage ratios based on estimated seismic intensities during the Tohoku Earthquake outside of the intensive damaged area in Central-Southern District of Fukushima Prefecture

5.3.4 被災集中域内の被災要因分析

Fig. 49 (a) では、福島県中・県南地方で被災池が集中した東西14km, 南北22kmの約300km²エリア内だけをクローズアップして、推計震度と被災度別ため池の分布図を示した。斜め線は震央距離2km毎のコンタ線で、枠外で数字の240と250を囲った斜線の範囲が震央距離240-250km区間である。四角の赤色は震度6強で、サイズが大きいほど被災度が大きくなっている。当域約300km²内には225個のため池が含まれ、その内93個が被災池で、集中域内全体の R_d は41%である。被災池分布は一様ではなく、高被災度池は震度6.0以上のエリアだけでなく、震度5.5前後でも多数確認できた。四角で囲った250kmコンタ線と重なる所に棚倉構造線があり、震央方向と直角となっていた。

集中域内の R_d を比較するために震央距離間隔4kmで、遠い震度距離から順にブロック分けした。但し、池数が距離240~246km区間で過多なため、被災池が著しい部分を目視で括り出し、最南西のブロック①から北東(震央)方向へ順に⑥ブロックに区分した。因みに、高い R_d として括り出したブロック④は、震央距離242kmを挟んで両側に1.6kmの範囲内にあり、棚倉構造線から約8kmの場所で平行するブロックとなった。

Fig. 49 (b) はブロック毎に被災度別池数の棒グラフと、被災率 R_d の折線グラフで示した。 R_d が最も高いブロック④は、集中域全体平均の $R_d = 41%$ に対して70%となった。両脇の②, ③及び⑤ブロックの R_d は、平均と同レベルの40%前後で、両端①及び⑥の R_d は10%台と大きな開きがあった。 R_d と被災度の関係は、ブロック③と④で被災池が30個前後あるが、被災度3の池が大半を占め、 R_d が低いブロックが必ずしも被災度が低いと限らない。但し、被災度4以上のため池は、高 R_d の②から④ブロックに集まっていた。また東経140.29度・北緯37.29度周辺(中池の直ぐ東北側区域)では、震度6.0超エリアで多数の高被災度池に接近して無災池が多数入り交じっているのが観察される。福島県中・県南地方の被災集中域内では、同一の強震度区域内で近接するため池が、高被災度池と無災池に分かれる事例が多数見られた。そのため集中域内の全ため池を **Fig. 33** に基づき5タイプに分類して被災度との関係を分析した。

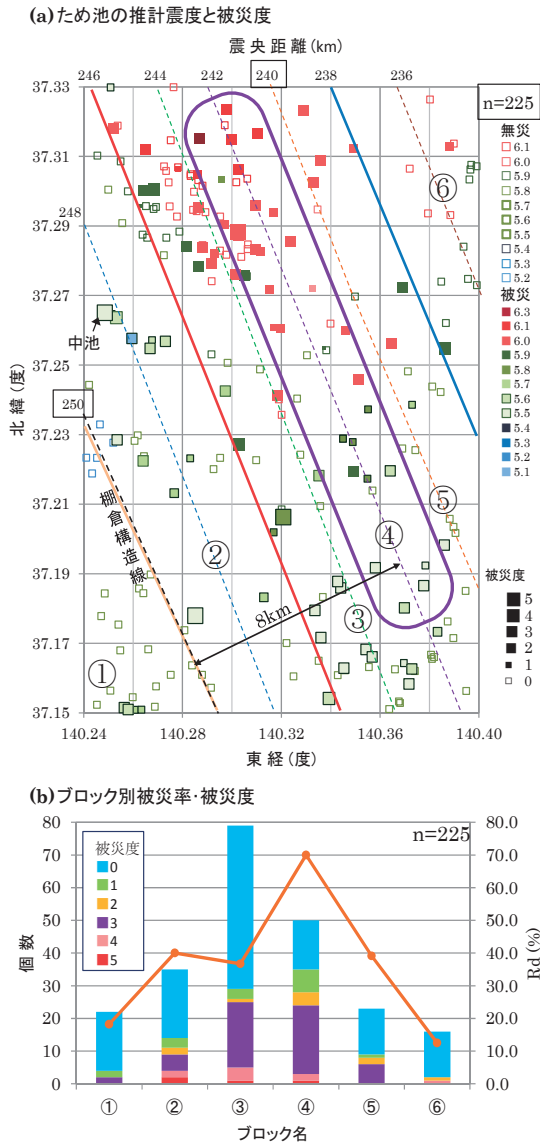


Fig. 49 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方の被災集中域内の震度・被災度別ため池分布

Distribution of damaged and non-damaged earth dams based on estimated seismic intensity and damage degrees (a), damage ratio in 6 blocks (b), due to the Tohoku Earthquake inside of the intensive damaged area in Central-Southern District of Fukushima Prefecture

Fig. 50 は, Fig. 43 (b) のため池を経度と ω_i は同じ縦横軸として, サイト傾斜・地形タイプ毎に1を赤色, 2をオレンジ色, 3を緑色, 4を紫色, 5を青色で色別し, 被災度別にサイズを大きくしてプロットしたものである。

Fig. 43 (b) で $\omega_i = 180\text{-}360^\circ$ で被災した池の大多数が傾斜・谷地型で, 特に堤軸下流が震央に直角方向となる $\omega_i = 210\text{-}330^\circ$ に比較的多くの被災池が集まっていた。また緑色の逆傾斜型は, 西に面した傾斜で $\omega_i = 0\text{-}180^\circ$ になるが, 被災池の多くが点線で囲った親子池 (重ね池) であった。さらに緩傾斜型や東山型では ω_i に関係なく被災事例が殆ど見られない。

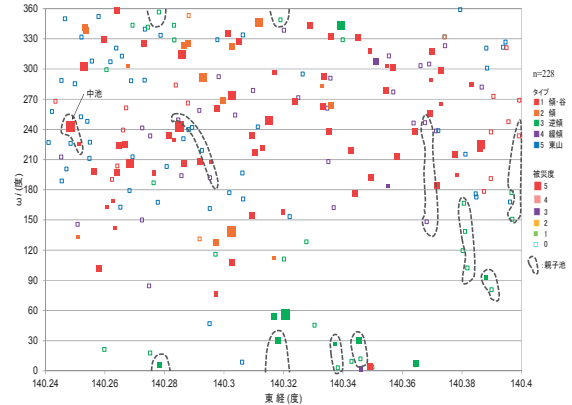


Fig. 50 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方の被災集中域内ため池の堤軸方向及び被災度と傾斜・地形タイプの関係

Relationships between angles of dam axis with respect to epicenter and types of gradient-landform on damaged and non-damaged earth dams based on damage degrees due to the Tohoku Earthquake inside of the intensive damaged area in Central-Southern District of Fukushima Prefecture

Fig. 51 は ω_i の区間を, a で $0\text{-}90^\circ$, b で $90\text{-}180^\circ$, c で $180\text{-}270^\circ$, d で $270\text{-}360^\circ$ の4つに区分し, サイト傾斜・地形タイプ毎に被災度別ため池数を棒グラフに, ω_i 区分毎の R_d を青の折線にしたものである。これまでは堤軸 ω_i が $180\text{-}360^\circ$ のときに R_d が大きくなっていましたが, c では被災池の39%が集中し, 無災池数も47個と全体の37%が集まり, その結果 $R_d = 43\%$ と平均的な R_d で, a 区分よりも低い。その理由は多数の無被災池サイトが緩傾斜と東山タイプであり, d も同様に緩傾斜と東山タイプの池数が多く, R_d は区分 a よりも低い。一方, 区分 a 内はタイプ3の逆傾斜型が7割以上で, $R_d = 48\%$ と被災池数が最低で R_d は最大となっていた。

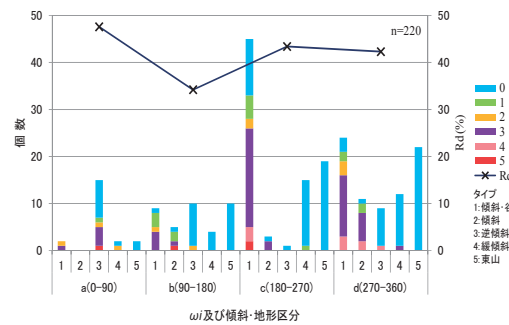


Fig. 51 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方の被災集中域内ため池の堤軸方向及び傾斜・地形タイプ別被災度

Relationships between damage ratios and damage degrees based on types of gradient-landform for earth dams due to the Tohoku Earthquake inside of the intensive damaged area in Central-Southern District of Fukushima Prefecture

集中域内のサイト傾斜・地形タイプと ω_i の関係は, ω_i 区分で c 及び d で池数全体の73%であるなど堤軸下

流が東に面した $\omega_i = 180-360^\circ$ が圧倒的で、丘陵地、台地等が介在する地形の中で、緩傾斜勾配や東山タイプでは被害緩和となり、平地から谷地に向かう傾斜・谷地タイプでは被害が促進されたと考えることができる。即ち、集中域外で見られた ω_i と R_d の関係が、震度6強の集中域で曖昧になった理由は、地形・傾斜タイプ4及び5に属する多数の無災池が、区分c及びdに多数含まれていたこと、さらに区分aとbに属する池数が極端に少ない中で、親子池等の特殊なパターンの被災池の存在が R_d を押し上げたことによると考えられる。

Fig. 52は、Fig. 49(a)と同じ被災集中域エリア内を被災度別とサイト傾斜・地形タイプに置き換えた分布図である。ピンクの破線で囲った震度6強の範囲は、傾斜・地形タイプ1（傾斜・谷地）及び2（傾斜）で被災度が大きく、タイプ4（緩傾斜）と5（東山）は被災を免れている。全般的に堤軸が東に面して傾斜のある谷地内に立地するため池は、被災度が大きくなる傾向が見られる。一方で、高被災度池から僅か200-300mしか離れていない場所でも、山丘の頂きや平地で緩勾配の場所にあるため池や東側の山丘が堤体を隠す（地盤揺れを緩和する）形となり、大多数が被災を免れている。言い換えると、谷地内にあるため池は、低平地から谷筋を通して山頂に向う傾斜で、地盤の揺れが直接的に堤体下流面にぶつかり、被災を促進させた格好である。これら5タイプは何れもが地表面上の地形と深い関係にあるものばかりであった。

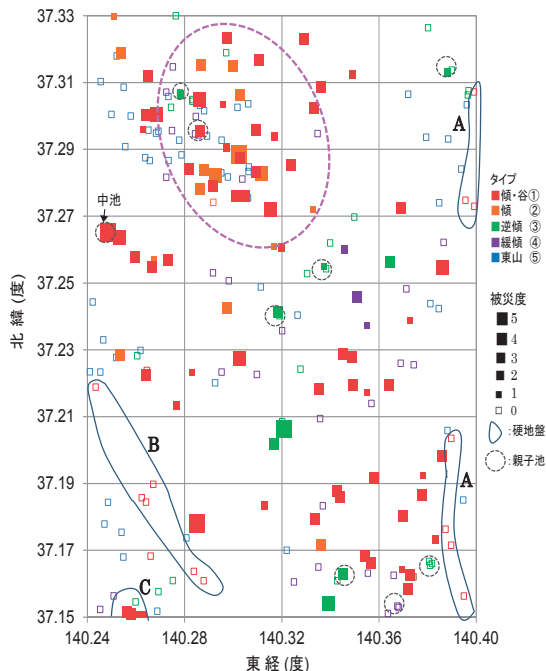


Fig. 52 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方等の被災集中域内ため池の被災度及び傾斜・地形タイプ別分布
Distribution of damaged and non-damaged earth dams based on damage degrees and based on gradient-landform types inside of the intensive damaged area in Central-Southern District of Fukushima Prefecture

但し、タイプ1（傾斜・谷地型）であっても、青色実線で囲んだ部分は無災池であった。この理由は、Aは集中域の東端、Bは棚倉構造線上に位置し、何れもがFig. 49(a)の④ブロックに含まれず、地震動の増幅が地形的に抑えられた場所と考えられる。なお、Bの構造線の南西部で無災池が広がる南側（cで囲った部分）の4つの被災池は、堤軸が全て南に面した傾斜・谷地型である。また西に向かって傾斜する緑色の逆傾斜タイプ3では被災度が全体に低い、紫色破線で囲んだ親子池の場合は、被災度が上がる事例が確認された。

Fig. 53は、サイト傾斜・地形タイプ毎に被災度別池数を棒グラフと R_d を折線にしたものである。因みに、タイプ1（傾斜・谷地）の中で、Fig. 52で東端Aと棚倉構造線上Bの14池は揺れ方の状況が明らかに異なるため、除外扱いとした。タイプ1のため池数は、集中域内の32%しかないが、被災池全体の70%と最大割合を占め、次いでタイプ2, 3, 4の順で被災池数が少なくなり、タイプ5（東山）では被災池が0であった。無被災池数は被災池とは反対にタイプ5から順に数が多くなっており、タイプ別 R_d はタイプ1が97%と極めて高いほか、タイプ2が84%、タイプ3が20%台、タイプ4では9%となる等、ため池サイトの地表面の傾斜・地形条件が R_d に深く関係していることが明らかになった。

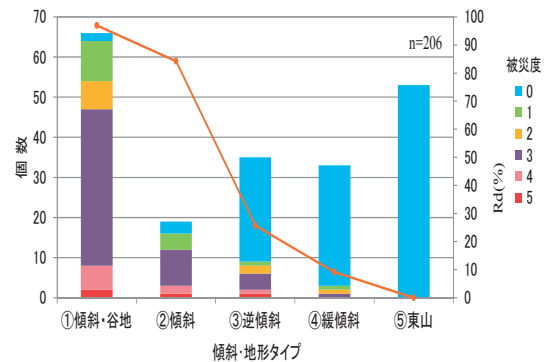


Fig. 53 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方の被災集中域内ため池の傾斜・地形タイプ別被災度・被災率
Comparison between types of gradient-landform on damaged and non-damaged earth dams based on damage degrees due to the Tohoku Earthquake inside of the intensive damaged area in Central-Southern District of Fukushima Prefecture

5.4 まとめ

東北地震に伴う福島県内ため池について、被災が最も集中したエリアを特定し、その内外域の比較及び集中域内部の詳細な被災状況分析を行った。その際、ため池被災度及びサイト地形分類を新たな分析指標として導入し、狭域的な地形・地質要因と被災の関係性から以下の総括を行った。

(1) 被災ため池集中域

1) 福島県内の被災集中域

- ・相双地方の震央距離170-180kmと県中・県南地方の同240-250kmに被災集中域が2箇所形成され、遠距離集中域の方が狭いエリアで被災池が多い。
 - ・県内集中域は、地形が全体的に震央方向（東方）に面して概ね6-7%平均勾配の傾斜地で、平坦部から山地に跨がる領域で被災池が顕著であった。
- 2) 福島県中・県南地方の被災集中域
 - ・郡山盆地南部で阿武隈山地と棚倉構造線に挟まれた約300km²の範囲。
 - ・集中域内は強震度のみが集中し、そのバラツキは極めて少ない。
 - 3) 被災集中域内
 - ・震央距離等高線は棚倉構造線に平行（震央方向に直角）で、被災池の分布はこれに沿っていた。
 - ・震央距離241-243kmの $R_d = 70\%$ のピークゾーン④は、棚倉構造線に平行して約8kmの距離にあった。
 - ・被災池最濃密のエリア内に各200-300m範囲で被災池と無災池が混在していた。
- (2) 震度とため池被災
- ・最大の推定震度であったいわき地方で被災池が少ないため、県全体の R_d が震度6.1以上で低下した。
 - ・震度6強域内でも、 ω_i 及びサイト地形によって R_d の差が極めて大きい。
- (3) 集中域内の地表面に係る被災要因
- 1) 堤軸震央方向角度 (ω_i)
 - ・ $\omega_i = 90-180^\circ$ では逆傾斜が多く、被害が緩和される。
 - ・ $\omega_i = 180-360^\circ$ では東面の傾斜が多く、被害が促進される。
 - 2) 傾斜・地形タイプ
 - ・ $\omega_i = 180-360^\circ$ の傾斜・谷地タイプでは、被災が促進される。
 - ・東山丘の存在で被災事例が無く、被災が緩和される。
 - ・平坦地と山・丘陵の頂き等、緩傾斜勾配、西に面した逆傾斜面、非谷地形の順で被災緩和の度合いが大きい。
 - 3) 重ね（親子）池
 - ・傾斜の親子池は、高標高の上池側の被災傾向がある。
 - ・逆傾斜で親子池は、低標高の下池側の被災傾向がある。
 - 4) その他
 - ・集中域東端と棚倉構造線上のため池では例外的に被災がない。

以上、ためサイト地形の傾斜・地形タイプによって、 R_d は90%を越える傾斜・谷地タイプから緩傾斜と東山タイプでは R_d が10%以下など大きな開きがある。即ち、地震動には広域的な地形・地質だけでなく、狭域のサイト地形にも方向性が見られる。

VI 堤体形状とため池被災

6.1 概説

地震動被災は地面の揺れによって引き起こされるが、ため池の場合は、第V章で検討したようにサイトの狭域的な地形条件や堤軸の震央方向と関係があることが分かった。つまり、(秋葉ら, 1941) が「堤体も一つの構造物なる以上震動の方向と無関係であり得ない」と考えた通り、堤体の「有り様」が地震動被災の要因であることの確証が得られた格好となった。同様に地表面上で一定の高さ（堤高）や長さ（堤頂長）を持った形状も地震動被災の重要な個体上の被災要因であり得る。そのため、秋葉らの被害研究以降もため池堤体形状と地震動被災を関連付ける研究が数多く行われた。しかしながらこれら被災研究が、各自各様のやり方で分析整理がなされるため、現時点も R_d 等で被災リスク評価として統一の見解が出されるに至っていない。

その最大理由は、被災データに対する確率・統計上の「不確実性」（小島, 2006）の問題がある。ため池の地震動被災の有無には様々な要因が関係し、その背後には何らかの「不確実性」が働いている。これは「確率現象」（涌井ら, 2010）と言い換えられ、一定の被災リスクとして評価するためには、「大数の法則」に基づく必要がある。即ち、「1つの母集団から、 n 個のデータを観察しその標本平均 \bar{x} を作る。このとき、 n が大きければ大きいほど、標本平均は母集団 μ に近い数値をとる可能性が高くなる」（小島, 2006）である。一方、ため池堤体諸元は小規模が大多数を占める「正の非対称分布」であり、過去の研究では該当ため池が数個しかない中で、 R_d を求める事例も見受けられている。加えて、地震規模でため池被災数が少ない場合等も、要因別に被災リスクを確率的に求めるためには母数が過少となり、信頼性（確率的安定性）が乏しくなってしまう。

本章では、第V章で検討した福島県中・県南地方のため池を事例にして、過去の分析方法と比較検証すると共に、大数の法則を考慮し、複合的に R_d 算定を行うことで、堤体形状の統一的な検証を行った。併せて、第III～第V章のため池推計震度と R_d の関係及び堤軸 ω_i と R_d の関係を踏まえて、堤体形状区分毎に R_d 及び被災度を指標として被災要因分析を行った。

6.1.1 過去の堤体形状諸元と地震動被害

過去のため池形状に関する地震被害研究では、第二章のレビューの通り、①堤高 (H)、②堤頂長 (L)、③堤頂幅 (W)、④上下流法勾配 ($1:U$ 及び $1:D$)、⑤横断面形状等の堤体形状が R_d に影響を及ぼすとされてきた。諸元別には、① H が高いほど R_d は高い、② L は R_d との関連性が明確でない、③ W は広いほど R_d が高い傾向がある、④ U と D が緩いほど R_d が高く、特に U が緩い場合に R_d が高い、⑤横断面形状は、 H と W 、 H と D/U

及び W と D/U 等の関係があるが、統一的に被災傾向を見いだす研究はされていない。但し、ため池形状は H が高いほど、一般に U と D は緩く、 W も広くなる傾向があり、この傾向が R_d を高める方向にあると考える向きもある。なお、ため池被災に関する多変量解析では、堤体形状諸元相互の関連を見ているが、諸元毎に R_d を求める手法にはなっていない。

過去の地震被害研究でも「大数の法則」は考慮され、ため池被災が多数発生する大規模地震時が事例とされている。つまり少数の被災事例では堤体諸元別に R_d を求められないと理解されていた。但し、 R_d 算定時の分母となる無被災池もデータベース化され、大数の法則を満足出来る状態かは別の問題である。本章では、堤高及び堤頂長について、先ず「大数の法則」の観点から過去の研究事例を検証し、統一見解に至らなかった背景を検証する。

6.1.2 ため池堤体形状諸元と度数分布

堤高や堤頂長等ため池形状諸元は、正規分布でなく、小規模なものが圧倒的多数を占める「正の非対称分布」である。また本研究で事例としたため池群が、全国或いは福島県内で特異的か、平均的かを確認しておくことは重要である。Table 13 は、Appendix 3 を基に対象域の堤体形状諸元 (H, L, W , 法面勾配 (U, D)) 4 項目の比較表である。対象地域は盆地や低い丘陵地形を反映して堤高の平均が若干低く、平均的な L は少し長めで、 $L=50\text{m}$ 以下の割合が少ない等の特徴が見られるが、県内、被災7県内及び全国的と比べても概ね一般的な堤体形状であると考えられる。

Table 14 には、地形と堤体材料に関するデータの捕捉率を含めて示した。全体的に堤体内部に関するデータの捕捉率は特段に低く、県毎に大きなバラツキが見られ、堤体材料の福島県内捕捉率は0%である。そのため、堤体材料を用いた地震動と R_d の関係検証は行えなかった。

堤体諸元の被災リスクを検討するには、極端な「正の非対称分布」を前提に考える必要がある。例えば、全国の堤高15m以上は、「ため池DB」から1,318箇所て全体の1.2%しかない。仮にある高さ以上の唯一のため池が被災した場合、その区分の R_d は100%となる。Fig. 54 のサイコロ回数による確率のバラツキ (小林, 2012) から、妥当な R_d 算定法と言えるか大いに疑問である。また、過去の被害調査事例では、どうしても甚大な被災ため池に関心が集中し、突然の災害時には無被災ため池のデータ収集が充分できない等、諸元区分毎の R_d が実態を反映していないことが考えられる。反対に母数を一定以上確保するために対象を複数被災県に跨がらせたことで、地形・地質や堤体材料等、各県特有のローカル性も一緒に包含して、大きなバイアスとなることも考慮すべきである。

以上のことから、本章では福島県中・県南地方を対象

地域として、過去の被害研究事例とも比較検討し、統計的確率を求める際の問題点を明らかにすると共に、(清水, 1996) の統計分析手法を参考に堤体形状諸元別に R_d の検討を行った。

Table 13 ため池堤体形状諸元の平均値及び度数比較
Comparison between the mean of each dimensional shape parameter and the frequency of the mean values

区分	個数		堤高(m)	堤頂長(m)	堤頂幅(m)	勾配 U	勾配 D	備考
県中南域	1,035	平均	4.1	68.2	3.33	1.6	1.7	全国と同じ
		度数	67.5	41.6	50.0	40.7	38.0	
福島県	3,299	平均	4.9	64.8	3.45	1.7	1.7	全国と同じ
		度数	68.8	53.6	57.5	47.1	42.9	
被災県	10,193	平均	4.6	68	3.4	1.6	1.9	全国と同じ
		度数	73.1	54.1	59.4	56.5	50.3	
全国	116,781	平均	5.1	62.5	2.9	1.5	1.8	
		度数	5m以下	50m以下	3m以下	1.5以下	1.5以下	
			67.3	64.8	68.4	62.5	64.6	

Table 14 ため池堤体諸元データの捕捉率
Satisfactory of covering data for each dimensional shape parameter of earth dams

	DB 個数	堤高	堤頂長	堤頂幅	勾配 U	勾配 D	地形	堤体材料
県中南域	1,035	1.00	1.00	0.94	0.94	0.94	0.63	0.0
福島県	3,299	0.99	0.99	0.86	0.86	0.86	0.82	0.0
被災県	10,193	0.97	0.95	0.84	0.71	0.69	0.6	0.33
全国	116,781	0.95	0.95	0.83	0.74	0.74	0.8	0.42

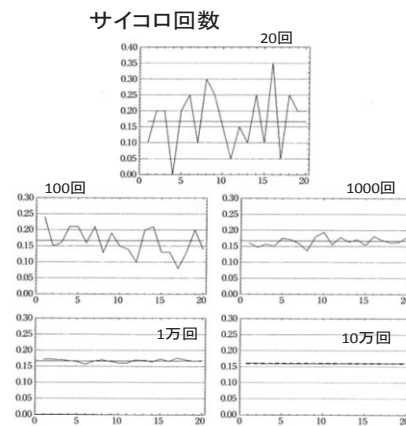


図 4.1 20人がサイコロを20回(上), 100回(中左), 1000回(中右), 1万回(下左), 10万回(下右)投げて □の目が出た相対頻度

小林道正: ため池にひそむ確立法則, 岩波書店, p50

Fig. 54 サイコロ回数と確率の関係
Relationships between the number of dice trial and occurring probability

6.2 分析方法

過去のため池被害研究では、 H 及び L が「正の非対称分布」の関係で、区分方法が不統一で、規模の大きなため池は、被災及び無被災池とも極端に数が少ない中で各自の手法で被災率 (≒被災率 (R_d)) の算定を行っていた。本章では、過去の区分方法に則り東北地震の対象地域を事例に比較検証すると共に、以下の統計的分析手法を用いて検討した。

6.2.1 分析手法

地震災害時のため池被災は、有る程度限定されたエリアで発生し、その数は最大でも数百個程度である。 R_d 算定では、該当区分内の被災と無災池数の合計を分母とする。母数が極端に少なくなると、Fig. 54のサイコロのように確率現象である R_d が大きく乱高下し、実態を反映しなくなる。そのため、本章の検討では分母の数を一定数確保できるよう、以下の分析手法を用いた。

6.2.1.1 累積度数分布と四分位区分

Fig. 55には、「人口および死亡者数の累積値の割合」を確率の一例として示した(清水, 1996)。横軸は年齢区分である。人口(左線)と死亡者数(右線)のカーブがかなり離れ、右線は30代の年齢層まで傾きが緩く、60歳超の年代から傾きが急になるなど、自然の摂理として年齢が増すことで死亡確率が上がることが分かる。この手法を応用して、「正の非対称分布」の H と L の R_d を算定する時は、以下の点に留意する必要がある。

度数分布では、平均値や中間値から離れるに従って、数(度数)少なくなり、分母数が過少となり、確率現象の確率値が安定しない。これを回避するため、度数を均等化し、一定数以上の母数を確保できる区分値が必要である。Fig. 56では「度数分布と累積度数分布」を重ね合わせ、度数を4等分する四分位(清水, 1996)区分を示している。なお、四分位では堤高(H)や堤頂長(L)の分布幅が広いことから、必要に応じて母数全体を8等分する八分位区分によっても R_d 算定を行った。

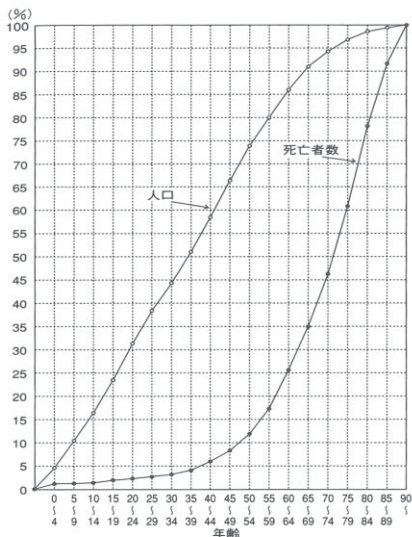
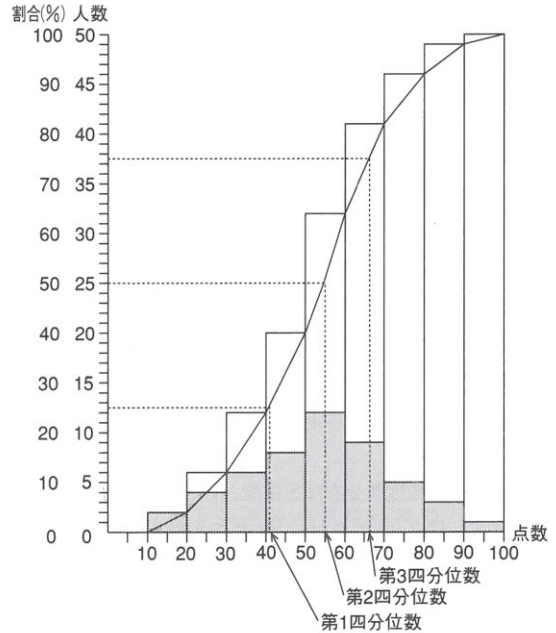


図3-3 人口および死亡者数の累積値の割合
注: 死亡者数は'93年10月から'94年9月までに死亡した者の数
資料: 総務庁「'94年10月1日現在推計人口」

清水 誠: データ分析ははじめの一步, 講談社p59

Fig. 55 日本の人口及び死亡者数の累積度数分布

Accumulate frequency distribution of age population and death number



清水 誠: データ分析ははじめの一步, 講談社p57

Fig. 56 度数分布と累積度数分布

Frequency distribution and accumulate frequency distribution

6.2.1.2 推計震度の重ね合わせ

第三章から第五章で、ため池推計震度と R_d の関係を明らかにした。仮に H が高いほど地震動(震度)に応じて R_d が増大するならば、第3四分位以上の高 H 区分の R_d の方が、第1四分位の低 H 区分の R_d よりも高率になる筈であり、かつその震度が大きくなるほど、両者の差は拡大傾向になると想定できる。そこで四分位区分のため池 H 毎に、推計震度を①5.0以下, ②5.1-5.4, ③5.5-5.8, ④5.9以上の4区分でクロス集計し、16(=4×4)ロットで R_d を比較した。

6.2.1.3 堤軸 ω_i の重ね合わせ

推計震度で比較する考え方は、堤軸 ω_i でも適用可能である。ここでは、① $\omega_i = 0-90^\circ$, ② $\omega_i = 90-180^\circ$, ③ $\omega_i = 180-270^\circ$, ④ $\omega_i = 270-360^\circ$ の4区分をクロス集計し、震度と同じ16ロットで R_d を比較した。

6.2.1.4 諸元データの重ね合わせ

堤体横断面形状を検討する際は、諸元データの組合せが必要となる。例えば上下流法勾配の場合は、上流を1:U, 下流を1:Dとして上下流勾配比(D/U)を設定し、他の H 及び W の諸元データと組み合わせる。但し、組み合わせた諸元データは、累積度数分布で4分位数設定ができないので、2種類のデータをX-Y座標にプロットし、両軸の各ロット数が上中下で概ね3等分できる値で、9(=3×3)ロットに分割し、各 R_d で比較を行った。

6.2.2 分析手順

6.2.2.1 被災分析エリアと分析データ

事例とした福島県中・県南地方のため池諸元は、「ため池DB」に登録されたデータをベースに、第V章と同じく福島県からの被災情報収集及び照合確認したものである。また、Table 15の被災度別ため池数は、第V章の分析で使用したものと同じである。対象域内のため池数は848個で、その内、位置情報が不明、重複登録、被災度不明等のデータ欠損があり、実際のため池母数は840個（歩留まり99.1%）となる。また、ため池DB中の諸元データ欠損により、さらにデータ数が少なくなる場合もある。なお、築堤材料に関しては、Table 13のため池DB中で盛土材が確認できるのは6（全て粘性土）池であり、平成25年度に実施された170箇所の一斉点検結果では、158箇所が粘性土であった。

Table 15 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方の被災度別ため池

The number of damaged earth dams based on damage degrees due to the Tohoku Earthquake in Central-Southern District of Fukushima Prefecture

ブロック	全数	被災レベル																
		0	1	2	3	4	5	不明	内集申域外			被災レベル						
県中	被災	64	0	10	7	35	7	2	3	被災	34	0	2	8	21	2	1	0
	無災	452	85	85						無災	307	367						
合計	550	149	85	10	7	35	7	2	3	合計	401	367	2	8	21	2	1	0
県南	被災	32	0	6	3	19	2	2	0	被災	23	0	2	5	10	5	1	0
	無災	243	47	47						無災	196	196						
合計	298	79	47	6	3	19	2	2	0	合計	219	196	2	5	10	5	1	0
中・南	被災	153	96	0	16	10	54	9	4	被災	57	0	4	13	31	7	2	0
	無災	695	132	132						無災	563	563						
合計	848	228	132	16	10	54	9	4	3	合計	620	563	4	13	31	7	2	0

6.2.2.2 過去の被害ため池との比較

複数の事例を比較した谷ら（1997）の研究を踏まえ、 H はTable 16、 L に関連した形状係数(L/H)ではTable 17により、本研究の分析対象ため池と比較を行う。堤体諸元に係る分析順序は、堤高 (H) 及び堤頂長 (L) では、統計的手法や震度と ω_i などの他要因を考慮した分析を行い、その後、形状係数 (L/H)、体積係数 ($H*L$) と比較検討を行う。また、堤体横断面形状に関しては、堤頂幅 (W)、上下流法勾配 (D,U) 及び同勾配比 (D/U) の順で検討し、 H と W 、 H と D/U 、 W と D/U を各々組み合わせた三等分で R_d 比較を行った。Fig. 16には、ため池堤体形状諸元の模式図を示す。

Table 16 堤高とため池被害（十勝沖，宮城県沖，日本海中部地震）

The number of damaged earth dams based on dam-height by Tokachi-Oki, Miyagiken-Oki, and Nipponkai-Chube Earthquakes

堤高	十勝沖地震		宮城県沖地震		日本海中部地震	
	全数	被害率 (%)	全数	被害率 (%)	全数	被害率 (%)
0~4.9	932	138	3990	27	1235	123
5.0~9.9	241	55	2645	45	481	81
10.0~14.9	25	5	255	6	79	9
15.0~19.9	2	1.0	88	5	28	5
20.0~29.9	9	2	44.4	5	9	0
30以上	1	0	29	0	2	0
計	1208	202	7007	83	1834	218

* 農林水産省地域計画課（1981）、溜池台帳（15m以上のものについては1969年以降のものは除く）

Table 17 形状係数（堤頂長／堤高）とため池被害（十勝沖，日本海中部地震）

Relationships between coefficient of dimensional shape (L/H) and damages to earth dams during Tokachi-Oki and Nipponkai-Chubu Earthquakes

堤頂長/堤高	十勝沖地震		日本海中部地震			
	被害数	率 (%)	全数	被害数	率 (%)	被害率 (%)
0~2.49	0	0.0	8	0	0.0	0.0
2.5~4.99	7	3.4	72	2	0.9	2.8
5~7.49	16	7.9	193	26	11.9	13.5
7.5~9.9	22	10.9	182	19	8.7	10.4
10~19.9	81	40.1	639	77	35.4	12.1
20~29.9	27	13.4	316	35	16.0	11.1
30以上	49	24.3	403	59	27.1	14.6
計	202	100.0	1834	218	100.0	11.9

谷 茂、長谷川高士：日本海中部地震を中心とした溜池の地震被害、農業土木学会誌、第55巻第10号、p939-947

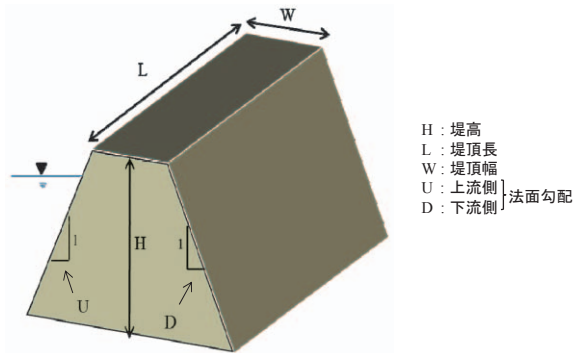


Fig. 57 ため池堤体形状諸元模式図

Earth dam schematic diagram of dimensional shape parameter

6.3 結果と考察

6.3.1 堤高と被災率 (R_d)

H は区分の仕方では R_d がどう変化するか、また、ため池被災要因とした震度及び堤軸 ω_i を加味した場合で R_d に差が生じるか等、 H と R_d の関係を検証した。

6.3.1.1 堤高の定尺区分と R_d

Table 18では、福島県中・県南地方（以下、「対象全域」という）内ため池の堤高 H について、対象全域の（ため池数840個）と対象被災集中域（以下「集中域」という、ため池数220個）に分けて、（谷ら，1987）のTable 16の区分でロッド分けして表示した。最大度数のロッドは、堤高5m未満が4分の3以上で、過去3地震の事例と同じである。 H 区分毎の R_d の傾向は、 H が高くなるに従い R_d が上っており、4つの地震動被災傾向には大きな相違は見られない。

Fig. 58は、Table 16の区分により $H=20m$ 未満までを5.0m毎及び20m以上30m未満と30m以上の計6区分し、対象全域の被災及び無災ため池個数をピンクと青色で区別した棒グラフで、また、当該 R_d をオレンジ折線で示した。さらに集中域の R_d を赤色線で図示した。加えて、Table 16から十勝沖（水色点線）、宮城県沖（緑色点線）、

日本海中部（紫点線）の各 R_d を重ね合わせた。対象全域の堤高区分毎の R_d （オレンジ線）は、 $H=15\text{m}$ 未満までは $R_d=20\%$ 未満で安定していたが、 $H=5\text{m}$ 以上で一旦、 $R_d=50\%$ まで上昇し、次の区分で $R_d=0\%$ 、その次で $R_d=57\%$ と大きく上下した。ため池個数が少なくなるに伴って R_d の増減振幅が拡大し、 30m 以上では7個中に被災池が4個だった。集中域 R_d （赤線）では、 $H=15\text{m}$ 未満までの範囲で $R_d=40\%$ から $R_d=50\%$ まで上昇するなど、対象全域と比べ震度が大きいエリア内の R_d は2倍以上になっていた。

過去3地震との比較では、緑点線の宮城県沖は全池数が対象全域の8倍以上で $R_d=1\%$ 未満から6%の低いレベルで上昇が見られる。紫点線の日本海中部では全数が2.2倍で R_d は10~20%の範囲にあり、水色点線の十勝沖では全数が1.4倍で R_d は H が 20m 未満までは、対象全域とほぼ同様な傾向であった。以上5事例のグラフ表示からは、 H が大きいほど R_d が大きくなると明確な判定はできないと考えられる。

Table 18 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池堤高別被災数

The number of damaged earth dams based on dam height in Central-Southern District of Fukushima Prefecture during the Tohoku Earthquake

堤高	福島県(中・南域)				同被災集中域				比率(%)	
	①全数	率(%)	②被災数	率(%)	③全数	率(%)	④被災数	率(%)	③/①	④/②
0-4.9	633	75.4	111	17.5	185	84.1	74	80.4	40.0	29.2
5-9.9	184	21.9	30	16.3	33	15.0	17	18.5	51.5	17.9
10-14.9	11	1.3	2	18.2	2	0.9	1	1.1	50.0	18.2
15-19.9	4	0.5	2	50.0	0	0	0	0	0	0
20-29.9	1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
30以上	7	0.8	4	57.1	0	0	0	0	0	0
計	840	100.0	149	100.0	220	100.0	92	100.0	41.8	26.2

* 全域の7つの被災池には、二つ調整池、羽鳥ダム及び苅掛ダムが含まれている。

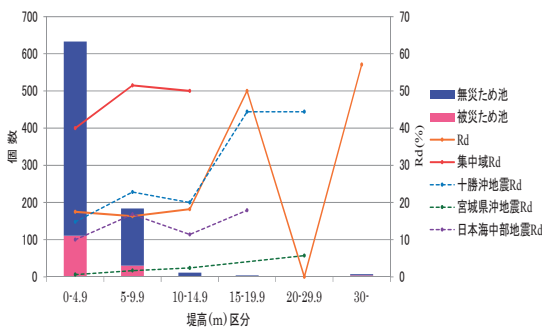


Fig. 58 東北地方太平洋沖の地震福島県中・県南地方のため池堤高別被災率

Damage ratio of earth dams based on dam height in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

Fig. 59 は、対象全域のため池の H を 1m 毎に区分した個数と R_d を図示した。 $H=3\text{m}$ 以上 4m 未満の相対度数28%が最大で、 R_d は $H=1\text{m}$ 以上から $H=6\text{m}$ 未満までの6区分が16~18%の範囲内にあり、 H が高くなるに伴う R_d 増加は見られない。さらに $H=6\text{m}$

~ 7m 未満で R_d は一端8%まで下がり、 $H=8\text{m}$ 以上から増加傾向になり、 $H=10\text{m}$ 以上で $R_d=35\%$ まで上昇するが、区分個数は相対度数で2~3%に縮小していた。

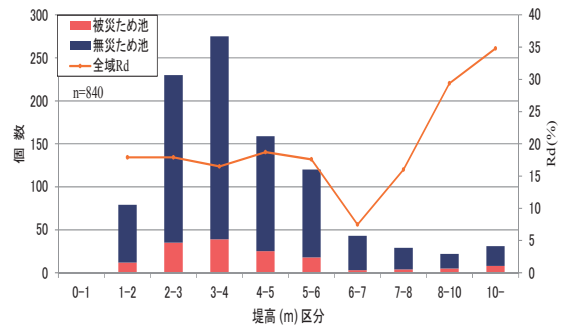


Fig. 59 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池堤高 (1m毎) 別被災率

Damage ratio of earth dams based on dam height divided with 1m each in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

6.3.1.2 堤高の統計的区分と被災率 (R_d)

Fig. 60 では、対象全域と集中域のため池を $H=0.5\text{m}$ 毎に最大 20m まで累積度数を図示した。集中域内全ため池（青線）は、累積度数25%（第1四分位）が $H=2.0\text{m}$ に対し、全域内全池（緑線）が 2.5m となり、それ以上でも累積度数で両方の線が交わらない。また、全池を全域と集中域の堤高 5m で比べると、累積度は全域83%と集中域90%で、全域の $H=5\text{m}$ 以上ため池の割合が多い。このことから、集中域は盆地内において堤高が全般に低めである。被災池は全域 $H=5\text{m}$ までの被災池度数（赤線）と全池度数（緑線）の線はほぼ同じ所であり、集中域でも $H=5\text{m}$ までの被災池度数が幾分高い程度であり、高い堤高ほど被災が高まる傾向は見られない。さらに、 $H=10\text{m}$ の全域全池の緑線は、累積度数97%の 2σ （標準偏差）以上にあり、 $H=10\text{m}$ 以上がため池が如何に例外的な高さか理解できる。このことを **Fig. 58** 及び **Fig. 59** と見比べると、集中域は H が 5m 未満で若干 R_d が低めであり、全域では $H=6\text{m}$ までは R_d の変化は少なく、 7m 付近で R_d が一旦低下し、 8m 以上で上昇と同じになっていることが理解できる。

Fig. 61 は **Fig. 60** の堤高累積度数から、対象全域ため池を四分位毎に、第1四分位区間を $H=0-2.5\text{m}$ 、第2を $H=2.6-3.5\text{m}$ 、第3を $H=3.6-4.9\text{m}$ 、第4を $H=5.0\text{m}$ 以上で区分し、被災（ピンク）と無災（青色）池個数の棒グラフと R_d の折線である。堤高別 R_d は4区間で16-18%とほぼ均等となり、**Fig. 59** の高堤高で高い R_d も第4四分位の $H=5.0\text{m}$ 以上ため池が1ロッドとなって、平均化した形になった。この図からも、「堤高の大きさで地震に伴う R_d 上昇」は説明できない。

Fig. 62 では、対象全域の堤高 H を八分位で分割し、**Fig. 61** と同様に区分毎に集計し、区分毎に R_d を図示し

た。八分位の R_d も全区分で15-20%の範囲内にあり、 H による大きな変化は見られない。また、Fig. 59 では $H = 10\text{m}$ 以上で $R_d = 36\%$ だったものが、母数 $H = 6\text{m}$ 以上では $R_d = 20\%$ 前後に低減しており、 H の大きいため池では母数が少ない場合に R_d は大きくなるのが分かる。

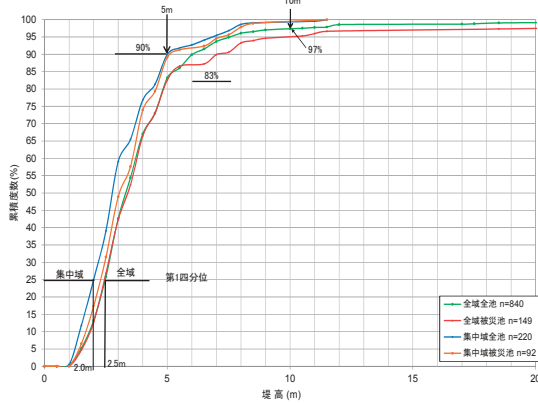


Fig. 60 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池被災別堤高累積度数分布

Accumulate frequency distribution of whole earth dams and damaged earth dams based on dam height in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

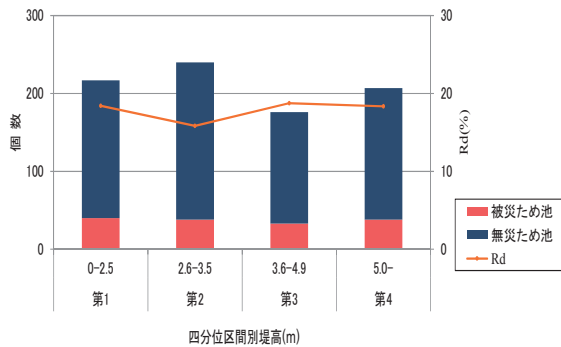


Fig. 61 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池堤高四分位区分被災率

Damage ratio of earth dams based on dam height divided with quartile in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

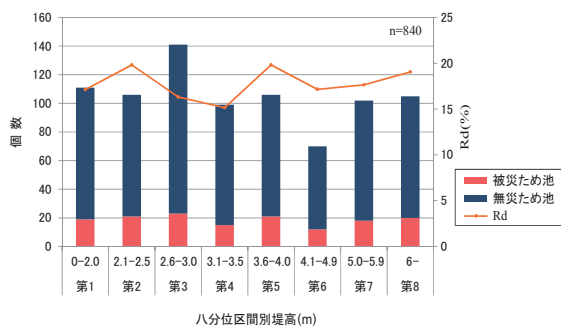


Fig. 62 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池堤高八分位区分被災率

Damage ratio of earth dams based on dam height divided with one eighth in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

Fig. 63 では、横軸を対象全域内の堤高とし、堤高0.5m毎と Fig. 58, Fig. 59, Fig. 61 及び Fig. 62 の各ロッド内平均堤高と当該ロッドの R_d を縦軸にプロットし、区分毎に結んで重ね合わせた。なお、全域には $H = 30\text{m}$ 以上の池が7個有るが、スケールの関係で25mまで表示した。 $H 0.5\text{m}$ 毎 (青線) では、堤高 $H = 6\text{m}$ を超える付近から R_d の振れ幅が大きくなり、 H の増加に伴いさらに増幅する。 $H 1\text{m}$ 毎 (紫線) では振れ幅は全般的に縮小し、9m付近から R_d は概ね30%で安定化する。Fig. 58 の6区分 (緑線) は $H = 11\text{m}$ 付近まで R_d の変化は少ないが、12m以上で R_d は最も大きく振れている。これに比較し四分位 (オレンジ線) 及び八分位区分 (赤線) では、全堤高区間で変動の少ない R_d となっている。このような高い堤高の R_d 上昇と振れ幅増大は、母数となる池個数が少ないことと関係がある。

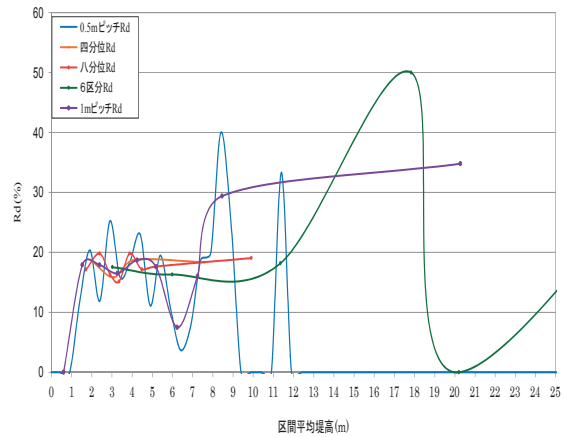


Fig. 63 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池堤高区分別被災率比較

Comparison of damage ratio of earth dams among various average dam heights based on several division patterns in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

6.3.1.3 堤高の四分位・震度・堤軸角度別区分と被災率 (R_d)

対象全域のため池は、第IVと第V章で震度増加に伴う R_d の増加を確認しており、堤高による R_d の変化を震度レベル別に比較可能である。Fig. 64 では、横軸にため池推計震度を①5.0以下、②5.1-5.4、③5.5-5.8、④5.9以上に4区分し、縦軸を堤高に被災度別に第V章と同じ色分けで表示した。ここでは無災池 (□) の堤高を下側 (0の下) 領域に表示することで、被災傾向を対比し易くした。震度が大きくなるに伴い被災池数は増加するが、特に高い堤高ほど被災数が増える傾向は見られない。

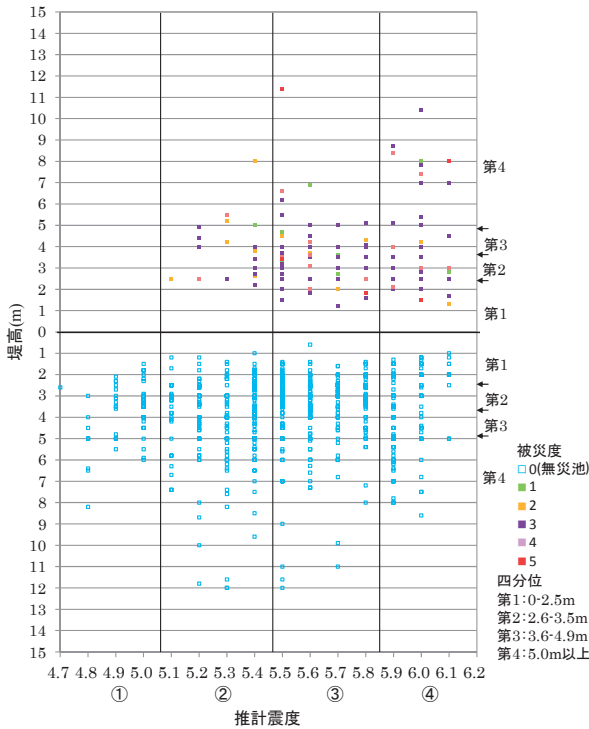


Fig. 64 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池震度及び堤高別被災度

Damage degrees of earth dams based on seismic intensity and height of dams in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

Fig. 65 は、横軸に Fig. 64 の 4 震度区分と縦軸に Fig. 61 の 堤高四分位を合成した 16 ロット毎の R_d を図示し、堤高区分毎に第 1 を赤線、第 2 を青線、第 3 を紫線、第 4 を緑線で結んだ。どの堤高区分も震度の上昇によって、①の 0% から④の $R_d = 30%$ 前後まで確実に R_d が増加するが、第 1 から第 4 分位まで H による R_d 差は殆ど見られない。

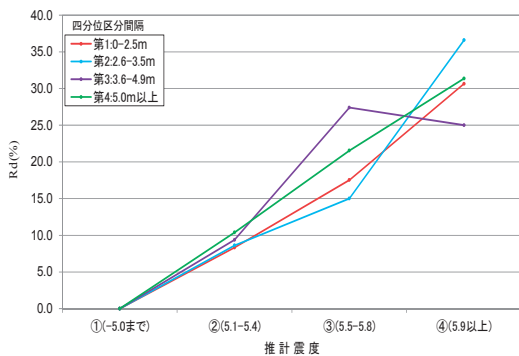


Fig. 65 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池震度及び堤高区分別被災率

Comparison of damage ratio of earth dams based on seismic intensity and height of dams in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

Fig. 66 では、横軸はため池堤軸震央方向角度 (ω_i) を各 90° で区分し、Fig. 64 の震度と同様の方法で整理した。第 V 章で見たように対象全域 $\omega_i = 0-180^\circ$ の区間の

被災池は少なく、 $\omega_i = 180-360^\circ$ で被災池数が増えるのは確認できるが、堤高によって被災池が増える傾向は見られない。

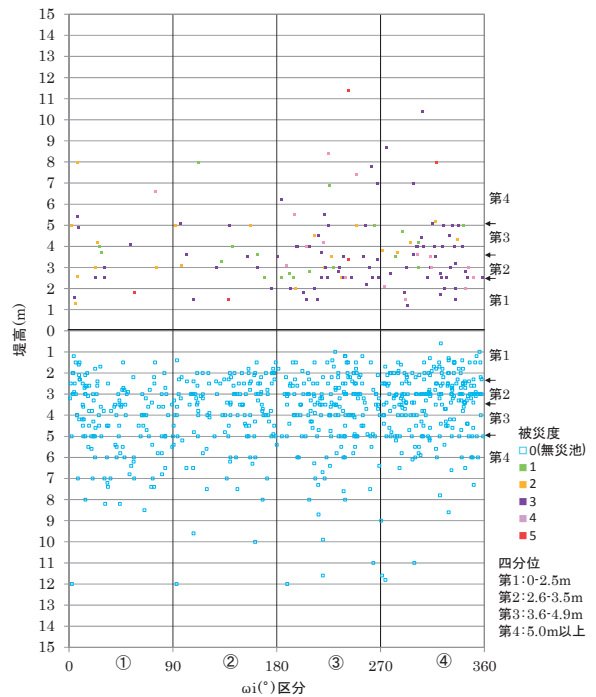


Fig. 66 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池堤軸震央方向角度及び堤高別被災度

Damage degrees of earth dams based on angle of dam axis with respect to the epicenter and height of dams in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

Fig. 67 では、Fig. 65 と同様の方法で Fig. 66 の 4 つの ω_i 区分を横軸に、Fig. 61 の 4 堤高区分を合成した 16 ロット毎の R_d を縦軸に図示し、堤高区分毎に色分けして線で結んだ。Fig. 65 の震度ほどではないが、 ω_i 区分では R_d が $\omega_i = 180-270^\circ$ で全体的に最も大きくなるが、 H による R_d の変化は不規則で、第 1 から第 4 分位まで H の高低による R_d 差は殆ど見られないことが分かる。

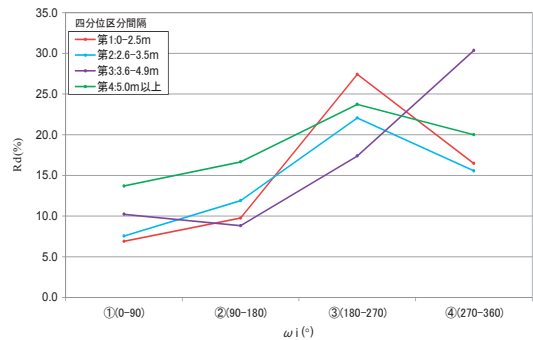


Fig. 67 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池堤軸震央方向角度及び堤高区分別被災率

Comparison of damage ratio of earth dams based on angle of dam axis with respect to the epicenter and height of dams in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

6.3.1.4 堤高と被災率 (R_d) のまとめ

Fig. 68 では, Fig. 63 の内で $H=0.5\text{m}$ 毎以外の R_d を縦軸に, 横軸を各区間の当該平均堤高をプロットし, その回帰式を図示した。回帰線は一見して堤高の増大に伴い R_d も増加し, 決定係数が $R^2=0.425$ で正の相関が見えるが, 実際は四分位黄●と八分位区分緑◆では $R_d=15\sim 20\%$ の幅で平均 H が $1\sim 10\text{m}$ 範囲では変動が殆ど見られない。図中で最も R_d の振れ幅の大きい6区分の紫▲の平均 H が小さい順に①~⑥の番号を付けたが, ③までは $R_d=15\sim 20\%$ の幅の中にあるが, ④では $R_d=50\%$ と③までの範囲から大きく逸脱し, ⑤では $R_d=0\%$, ⑥で $R_d=57\%$ とさらに大きく振れた。さらに 1m 毎の赤■も同様に, 平均 H が 6m 以上のものを低い順に a, b, c, d を付けて比較すると, 確かに a~d に H が高くなるに従って R_d は大きくなるが, 上昇パターンは a~c と c~d は大きく異なる。

以上から, 一定規模の度数 (= 母数) が確保された四分位及び八分位区分では, H の大きさに関係なく R_d は一定範囲内にあり, 母数にバラツキのある6区分及び 1m 毎区分では, 堤高が小さい時に R_d は 20% 以下で, 堤高が大きい場合に R_d は大きく変動している。

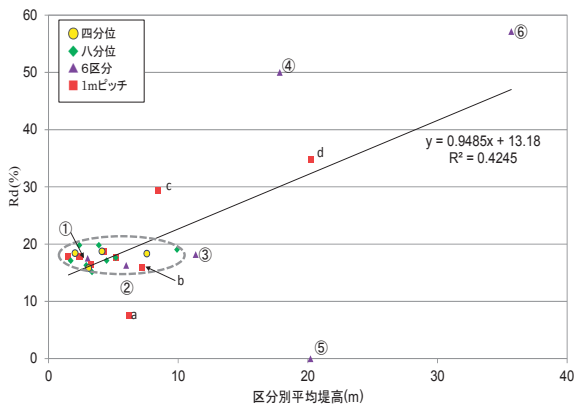


Fig. 68 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池区分別平均堤高と被災率

Relationships between damage ratio of earth dams and average height of earth dams under various division patterns in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

Fig. 69 は, 堤高区分毎の相対度数と R_d の変化を見るために, 横軸に各 H 区間の相対度数と縦軸に区分毎の R_d を色分け図示した。相対度数が 10% 以上の灰色破線で囲ったところは, R_d が $15\sim 20\%$ のほぼ一定範囲内にあり, 相対度数が小さくなるほど R_d の増減が大きくなっている。因みに, Fig. 68 で6区分の紫▲に①~⑥まで番号付けものと同じ番号を Fig. 69 の同じ6区分の紫▲プロットにつけたが, 相対度数 1% 以下では平均 H が 17m 以上の④~⑥で R_d が大きく変動していた。これより, H の大きさで R_d が安定的に上昇する傾向は見出せない。さらに 1m 毎の赤■にも H が小さい順に a~d

を付けたものでは, 赤■は相対度数が 5% を下回るところから一定幅を逸脱し, 相対度数がさらに小さくなると R_d の増幅の度合いが益々大きくなる。加えて 0.5m 毎の黒×で見ると, さらに相対度数と R_d の関係がよく分かる。即ち, R_d は H の高さで増加するものではなく, R_d 算定の分母黒×になる母数が少なくなることで, 充分な度数が確保できず, 統計的確率がバラついたと考えられる。そのため, R_d を算定する時は, 当該区分内の相対度数を 10% 程度は確保しなければ, 信頼できる R_d は確保できないことになる。なお, 対象地域内 800 個のため池で, R_d の信頼性を高めるには, 母数が 100 個程度必要となる。

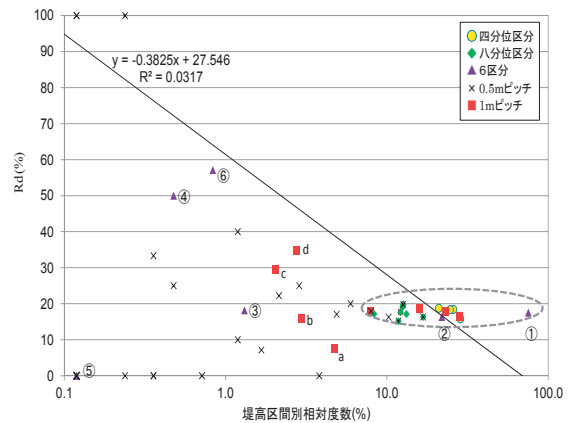


Fig. 69 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池区分別堤高相対度数と被災率

Relationships between damage ratio of earth dams and relative frequency based on various division patterns of dam height in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

6.3.2 堤頂長と被災率 (R_d)

ここでは, 前節の堤高 (H) と同様な方法で, 堤頂長 (L) と R_d の関係を検証する。

6.3.2.1 堤頂長の定尺区分と被災率 (R_d)

ため池の L と地震動被災の関係を分析した研究が殆どなく, (谷ら, 1987) も「特に関係は見られない」として, 関連図表が全く提示されていない。そのため, オソドックスに $L=50\text{m}$ 区分で, Table 17 の形状係数 (L/H) 区分を踏まえた L の定尺区分と, 四分位及び八分位区分によって, R_d の関係を比較検討した。

先ず Fig. 70 は, 対象全域のため池 L を 50m 毎で, ① $L=0\sim 50\text{m}$ 未満, ② $L=50\sim 100\text{m}$ 未満, ③ $L=100\sim 150\text{m}$ 未満, ④ $L=150\sim 200\text{m}$ 未満, その後を⑤ $L=200\sim 300\text{m}$ 未満, ⑥ $L=300\text{m}$ 以上の6分割し, 前節と同様に区分毎の池数の棒グラフと R_d の折線グラフである。対象全域の①と②区分の合計度数は 84% で, R_d は①の 10% 台から順次上昇し, ⑤の $L=200\sim 300\text{m}$ 未満でピーク R_d が 50% となった。

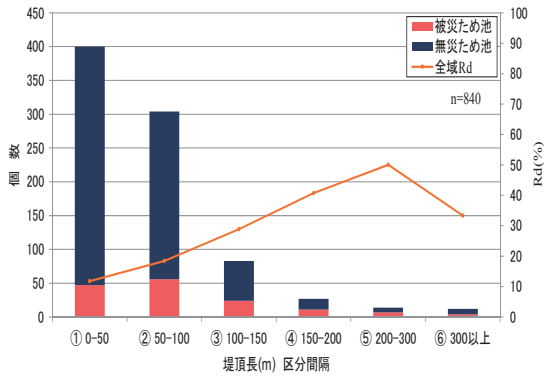


Fig. 70 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池堤頂長別 (50m毎) 被災率

Damage ratio of earth dams based on dam crest length divided with 50 m each in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

Fig. 71 は, Table 17 から L の区分間隔を逆算して, ① $L=12.5$ m未満, ② $L=12.5-50.0$ m未満, ③ $L=50.0-112.5$ m未満, ④ $L=112.5-200$ m未満, ⑤ $L=200-600$ m未満, ⑥ $L=600-900$ m, ⑦ $L=900$ m以上の7分割し, 対象全域ため池を①~⑦の区分毎に池個数の棒グラフと R_d の折線グラフである。①から③の合計度数は89%であるが, R_d は①の20%台から②で10%台に一端低下し, その後, ⑤で緩いピーク $R_d=41\%$ (区間度数8%) となり, さらに⑦で $R_d=100\%$ に跳ね上がっており, 全体的には L が長くなるに伴って R_d は上昇傾向であった。

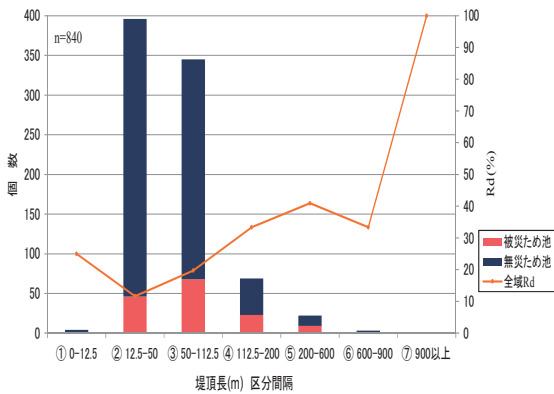


Fig. 71 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池堤頂長別 (形状係数ベース) 被災率

Damage ratio of earth dams based on dam crest length divided with the coefficient of shape (L/H) pattern in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

Fig. 72 は, 正の非対称分布の初期区間を細分化し, $L=100$ mまでを20m毎で①~⑤に5分割し, $L=200$ mまでを50m毎で⑥と⑦の2区間に, さらに $L=200$ m以上の⑧で区分し, 池個数の棒グラフと R_d の折線グラフである。全域の①~③までの合計度数は幾分低下し, R_d は最長区間⑧まで一貫して上昇して $R_d=40\%$ を超えていた。

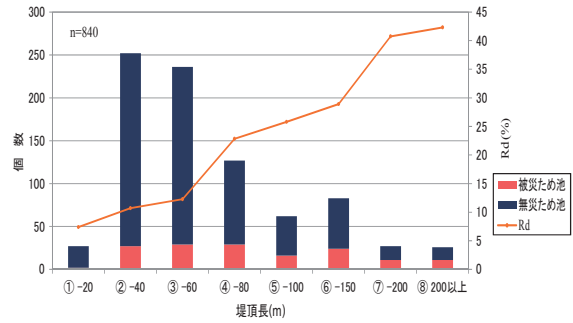


Fig. 72 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池堤頂長別 (20m毎) 被災率

Damage ratio of earth dams based on dam crest length divided with 20m each in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

6.3.2.2 堤頂長の統計的区分と被災率 (R_d)

Fig. 73 は, 対象全域及び集中域のため池 L を10m毎の累積度数分布で最大200mまでの図である。図中の累積度数25% (第1四分位) L の長さは, 全域と集中域共に $L=35$ mであるが, 同50%では集中域の方が4m長くなっている。即ち, 盆地内の集中域内の H は低めでも, L は若干長めの割合が多かった。また, 被災池は第1四分位値が両域共に42mで, 全池35mよりも7mも長く, さらに被災池の第2四分位値で $L=68$ mと全域全池より20m長くなっており。これは Fig. 55 の人口及び死者数で見た年齢が大きいほど死亡率が高いのと同じで, L が大きいほど R_d が大きくなる傾向になる。

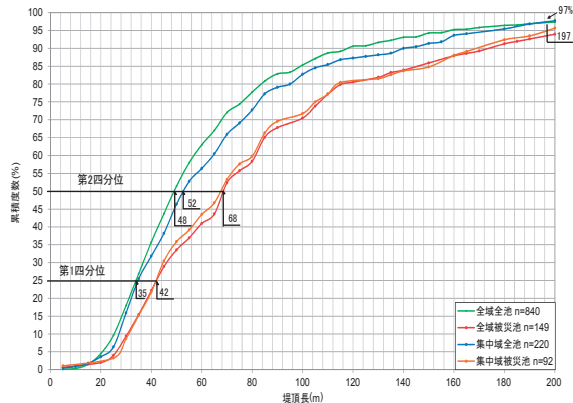


Fig. 73 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方等のため池堤頂長累積度数分布

Accumulate frequency distribution of earth dams and damaged earth dams based on dam crest length in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

Fig. 74 では, 対象全域の L について四分位と八分位区分し, 各分位区間の被災と無被災で分けた池数の棒グラフと R_d の折線グラフを図示した。因みに, 四分位は被災池を黄, 無被災池を紫色に, 八分位では被災池を赤, 無被災を青色に, 各々の池数分だけを棒グラフにした。両分位とも L が大きくなるに伴い下側の被災池数が

徐々に増加した。 R_d では、四分位の黒線は堅調な右肩上がりで、八分位のオレンジ線は第3から第5にかけて若干の浮沈はあるが概ね順調な上昇傾向を示している。特に第3から第4四分位間及び第5から第6以上の八分位で被災池数が大きく増加しており、八分位 L の最長区間 $R_d=35\%$ 超と最短区間 $R_d=8\%$ では、 R_d が4~5倍大きい。

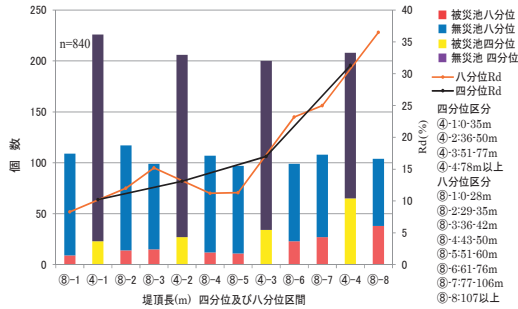


Fig. 74 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池四分位・八分位堤頂長別被災率

Damage ratio of earth dams based on dam crest length divided with quartile and with one eighth in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

Fig. 75 は、横軸を対象全域の堤頂長 (L) として、 L が10m毎、Fig. 70~Fig. 72 及び Fig. 74 の各ロット内平均堤頂長と R_d を縦軸にプロットし、区分毎に結んで重ね合わせたものである。但し、スケールは $L=360\text{m}$ までとした。まず、 $L=10\text{m}$ 毎 (青線) では、 $L=15\text{m}$ 以上80m までは比較的 R_d の振幅は大きくなかったが、それ以上は $R_d=0\sim100\%$ で大きく振れ、母数が少ない状態で R_d は安定しないことが再確認できた。 $L=20\text{m}$ 毎 (緑線) は安定的であるが、 $L=100\text{m}$ 以上は Fig. 71 の50m 毎と100m 毎の R_d で、 $L=400\text{m}$ を超える範囲はスケール外にある。Fig. 70 の50m 毎6 区分 (紫線) では、母数が少ない $L=200$ 以上で R_d が50%と最も高くなっている。

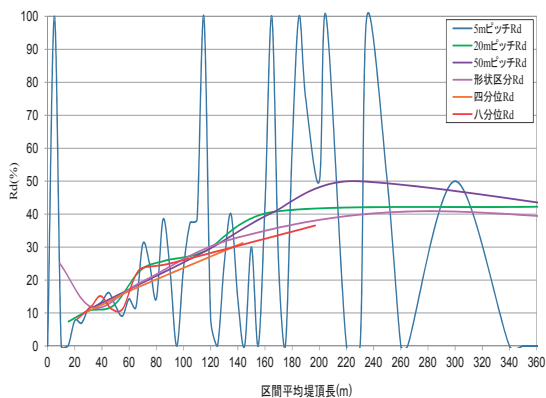


Fig. 75 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池区分別平均堤頂長の被災率比較

Comparison of damage ratio of earth dams among various average dam crest lengths based on several division patterns in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

また、Fig. 71 の形状係数区分 (ピンク線) では、 $L=400\text{m}$ 以上が含まれず、 R_d の初期区間以外は安定している。Fig. 74 の四分位 (オレンジ線) と八分位 (赤線) は、共に他の全ての曲線の間を通過し、 R_d 線全体の代表的な線と見なすことができる。

6.3.2.3 堤頂長の四分位・震度・堤軸角度別区分と被災率 (R_d)

Fig. 76 では、Fig. 64 と同様に横軸にため池推計震度を4区分し、縦軸に推計震度別に堤頂長 L と被災度を色分けプロットした。無災池の堤頂長は Fig. 64 と同様に下方領域に表示し全体の被災傾向を見たが、震度が大きくなるに伴い被災池数が増えると共に、特に L が長い方にその傾向が強く見られる。

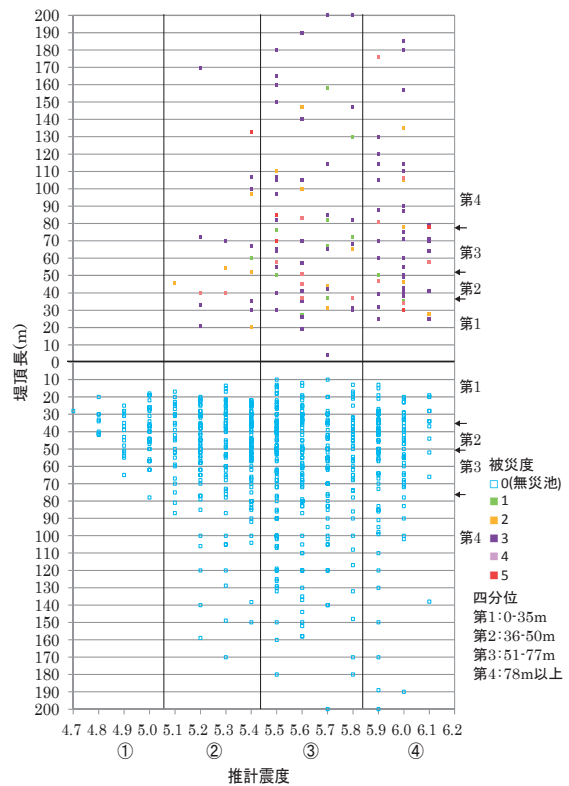


Fig. 76 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池震度と堤頂長別被災

Damage degrees of earth dams based on seismic intensity and crest length of dams in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

Fig. 77 は、Fig. 65 と同様に横軸に Fig. 76 の4 震度区分と縦軸に L の四分位を合成した16ロット毎の R_d を図示した。全ての L 区分で①震度区分 (震度5.0以下) は $R_d=0\%$ であり、震度が大きくなるに伴って各 L 区分とも確実に R_d の増加は見られるが、 L が最長の第四分位 (緑線) では、常に R_d の値が他の区分より常に大きく、概ね第1分位 (赤線) の3倍、第3分位 (紫線) の2倍になっている。

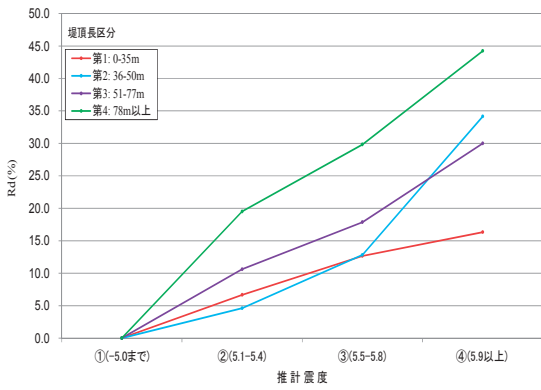


Fig. 77 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池震度及び堤頂長区分別の被災率

Comparison of damage ratio of earth dams based on seismic intensity and crest length of dams in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

Fig. 78 では、Fig. 66 と同様の方法で対象全域ため池を ω_i と L 及び被災度別に色分けプロットした。 ω_i が①及び②の0-180°区間の時と比較し、③及び④の180-360°区間の方が被災池は多くなり、また L の長い池の被災が多いことが分かる。

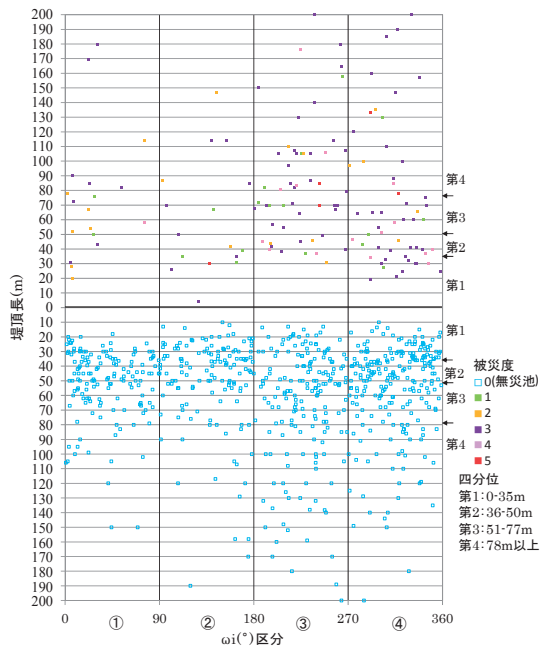


Fig. 78 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池堤軸震央方向角度と堤頂長別被災

Damage degrees of earth dams based on angle of dam axis with respect to the epicenter and crest length of dams in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

Fig. 79 では、Fig. 66 と同様に横軸にFig. 78 の4つの ω_i 区分と縦軸に L の四分位を合成した16ロット毎の R_d を図示した。 L が最長の(第4分位緑線)では、全ての ω_i 区分で R_d が常に高いレベルにあり、 L が長い方が R_d は大きくなるのがここでも明らかになった。一方、 L

が短い区分では堤体上流が震央方向側 ($\omega_i = 0-180^\circ$) にある場合は、ピンクの破線で囲ったように R_d は全般に低い。また、堤体下流が震央方向側 ($\omega_i = 180-360^\circ$) では、黄色破線で囲ったように R_d が一段高くなっていた。これは Fig. 77 の震度との関係ほど明確ではないが、 L が長いほど堤軸向き (ω_i) の影響を受けて R_d が大きくなり、 L が長い(緑線)場合の R_d は、他より概ね1.5~2倍となっていた。

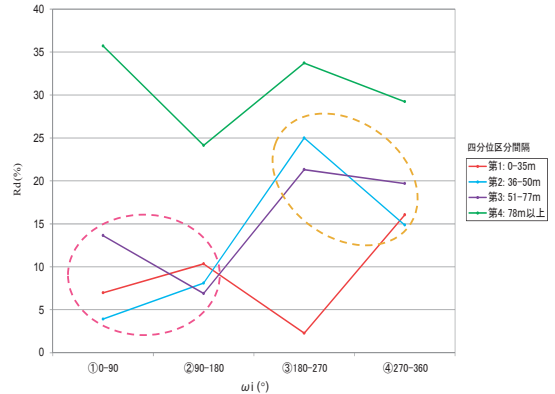


Fig. 79 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池堤軸震央方向角度及び堤頂長別被災率

Comparison of damage ratio of earth dams based on angle of dam axis with respect to the epicenter and crest length of dams in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

6.3.2.4 堤頂長と被災率 (R_d) のまとめ

Fig. 80 では、 L についてFig. 68 と同様、区分ロット毎の L の平均と R_d の関係を色分けプロットし、その回帰式を図示した。回帰線自体は L の増大に伴い R_d も増加して見えるが、傾き0.06、 $R^2=0.290$ で Fig. 68 と比較して正の相関は低く、傾きも緩くなっている。図中、破線(灰色)で囲った四分位と八分位区分の R_d は、回帰線の傾きより急で、相関も高いことが分かる。因みに、破線の範囲は $L=200$ m未滿で、第8八分位区間の平均 $L=197$ mは、Fig. 73 の累積度数97% (標準偏差的には2 σ と3 σ の間)に当たり、大部分の堤頂長を包含している。図中に Fig. 68 と同様、最も R_d の振れ幅の大きい形状区分の黄土▲を平均 L の小さい方から順に①~⑦の番号を付けたが、④までは破線(灰色)の中にあり、⑤の平均 $L=280$ mで $R_d=41\%$ と距離が④の倍近く長くなった割に R_d は余り上ってない。また⑥では平均 $L=810$ mで⑤の約3倍の長さになったが、 R_d は④と同じレベルまで下がった。さらに⑦では、平均 $L=930$ mで⑥より少しだけ長くなっただけで、 $R_d=100\%$ まで跳ね上がった。20m毎の赤■も同様に、 L が大きくなるに従って R_d が上下に大きく振れていることが分かる。さらに50m毎紫▲について、同様に平均 L が短い順にa~fを付けて観察すると確かにaからeまでは L が長くなるに従って R_d は大きくなるが、この上昇パターンはfで降下している。

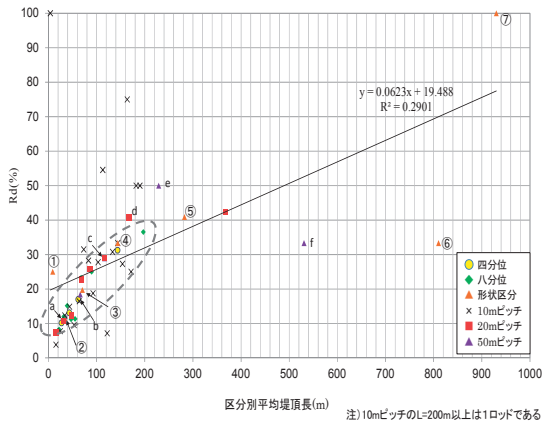


Fig. 80 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池区分別平均堤頂長と被災率

Relationships between damage ratio of earth dams and average crest length of earth dams under various division patterns in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

Fig. 81 ではFig. 69 と同様に L の区分別相対度数と R_d の関係を図示した。堤高 H の時とは違って、灰色点線で囲った八分位緑◆の相対度数10%以上で $R_d = 8 \sim 37\%$ と $4 \sim 5$ 倍の差があった。これは最短の平均 $L = 22\text{m}$ 及び最長の平均 $L = 197\text{m}$ であり、 L が 10m 長くなる毎に R_d は 1.62% 上昇する傾きになる。また、灰色破線の四分位黄●の相対度数20%以上では、 $R_d = 10 \sim 32\%$ と長短間に $3 \sim 4$ 倍の差があった。

Fig. 69 においては、 R_d は H に関係なく $15 \sim 20\%$ の範囲でほぼ一定であり、全般的に相対度数が小さくなるほど R_d の増減幅が大きくなることを確認したが、Fig. 81 では、 R_d が L の長さに応じて大きくなる中で、 L の区間別相対度数と R_d の変動を観察する必要がある。そのため、Fig. 81 では、先ず八分位区分のプロットを囲った灰色点線の上下限に $L = 200\text{m}$ 相当の $R_d = 38\%$ 線と $L = 20\text{m}$ 相当の $R_d = 8\%$ の所にピンク色一点破線で平行線を引いた。また、振幅が最も大きい形状区分黄土▲を平均 L が小さい順に①～⑦の番号を付けた。因みに、これと同じ番号が Fig. 80 にも付けてある。先ず、①は L が最も短く、度数が 1% を下回っており平行線のほぼ中間にあり、②～③は灰色破線の右側(相対度数が大きい)にあって、四分位の同じ平均 L とほぼ同じ R_d 水準にある。④は平均 $L = 144\text{m}$ であるが、灰色点線の左側(相対度数は 10% 以下)にあり、八分位の同じ平均 L とほぼ同じ R_d 水準にある。⑤は平均 $L = 282\text{m}$ の相対度数 3% でほぼピンク線上にあるが、同じ平均 L とほぼ同じ R_d 水準にある。⑥は平均 $L = 810\text{m}$ の相対度数 0.4% でピンクの延長線の下側にあり、低い R_d 水準になっていた。⑦には $L = 930\text{m}$ の被災池1個だけで $R_d = 100\%$ で過大である。同様に 50m 毎・ 6 区分紫▲で a~f を付けて検討したが、結果は形状区分と殆ど同じであった。

これは Fig. 69 の考察結果と同じで、相対度数 10% で

は安定的であった R_d が、度数 5% を切ると本来あるべき水準から逸脱が始まり、さらにその度数が小さくなると R_d の増幅の度合いが益々大きくなる。即ち、 R_d は相対度数 10% が確保される場合は L の長さで増加するが、相対度数(母数)が 10% より低下すると統計的確率としてはバラツキが大きくなる。 R_d を被災池と無被災池から算定する時は、当該区分内の相対度数を 10% 程度(母数で 100 個程度)、最低でも 5% 以上確保しなければ、ある程度的確な被災 R_d 率評価はできないことになる。

以上の考察結果から何故過去の被害研究では正反対の結果となったかである。正の非対称分布のため池では、大多数の L や H は小さいものばかりであり、 R_d 算定時の小規模池の相対度数(母数)は必然的に大きく、その分 R_d はバラツキが少なく、かつ R_d の値が低くなる可能性が高い。逆にサイズの大きいため池は、計算時の母数が極めて少なく、 R_d は極端に高くなるか又は低くなる可能性が高い。堤高が大きいほど危険性が高いと一般に認識される中で、 R_d が高いという結果は説明が付き易く、特に疑う必要がない。一方、堤頂長 L に関しては、少ない母数で R_d は大きく増減する中で、ため池の規模は通常堤高によって代表され、特に長い堤頂長と R_d の関係を深く考察する必要もなかったと考えられる。

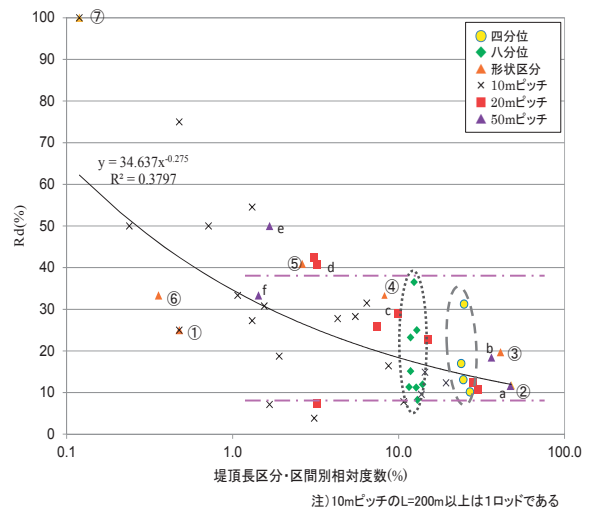


Fig. 81 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池区分別堤頂長相対度数と被災率

Relationships between damage ratio of earth dams and relative frequency based on various division patterns of dam crest length in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

6.3.3 形状係数 (L/H)・体積係数 ($L*H$) 別区分と被災率 (R_d)

(谷ら, 1987) は、Table 17 でため池を L/H と被害率 ($\approx R_d$) の関係を検証していた。本節では、先ず堤高 (H) 及び堤頂長 (L) と R_d の関係を比較検討し、 L/H から $L*H$ と順にその関係を検討する。

6.3.3.1 堤高 (H) 及び堤頂長 (L) と被災率 (R_d) の関係

Fig. 82 は, Fig. 61 と Fig. 63 から H の四分位区分及び八分位区分別の R_d を, Fig. 75 からは, L の四分位及び八分位区分別の R_d を重ね合わせたグラフである。前節の考察結果「 H は R_d に関係なく, L は長いほど R_d は上昇」は, 過去の研究結果「 H と R_d は関係があり, L は R_d と無関係」と正反対の結果となっている。Fig. 82 から前節の考察結果が明らかで, H の R_d は, 統計的確率は15~20%の狭い変動範囲にあり, L では, 最短の7%から最長の35%と5倍以上の開きがある。

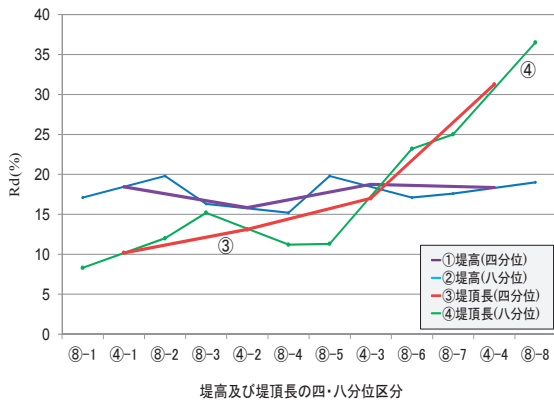


Fig. 82 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池四・八分位区分堤高及び堤頂長被災率

Comparison of damage ratios of earth dams based on scale of dam height and crest length divided with quartile and with one eighth in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

Fig. 83 には, H 及び L と R_d の関係を比較するため, L を横軸に H を縦軸として被災度別に色分けでプロットした。ここではため池の規模を考慮した判読のためにスケールを $L=200\text{m}$ 以下, $H=20\text{m}$ 以下に制限した。被災ため池は比較的高い H と長い L にもランダムに見られ, 敢えて言えば長い堤頂長側に被災池が多めに見える。因みに, Table 17 でのため池の L/H と R_d の関係分析を踏まえ, $L/H=10$ のラインを真中斜め線に引いたが, $L/H=5$ 以下では該当ため池が極めて少なく, 被災池は $L/H=10$ 以上のラインよりも下の方により多く見受けられている。

6.3.3.2 形状係数と被災率 (R_d)

Fig. 84 は, Table 17 の区分に従い対象全域を L/H で区分して被災池を赤, 無被災を青色の棒グラフと各ロット別に R_d を計算してオレンジ折線で結んだ。また, Table 17 の日本海中部地震の紫色 R_d 線を重ね合わせて比較した。谷らが「 $L/H=5$ を超えると被害率はほぼ同じで, 5 以下では率は小さくなり, 2.5 以下では被害は発生していない」とした結果が紫線に反映されている。両 R_d 線は L/H が20未満までは概ね類似した傾向を示しているが, 係数20以上では対象全域の R_d が2倍以上になっている。この背景には, 日本海中部地震の被災エリアの $L/H=20$ 以上の全池数が相対的に大きいことで, R_d が上昇しなかったことが考えられる。また, $L/H=2.5\sim 5$ 未満では, 池母数が過少ないため, R_d が大きくなることも考えられる。

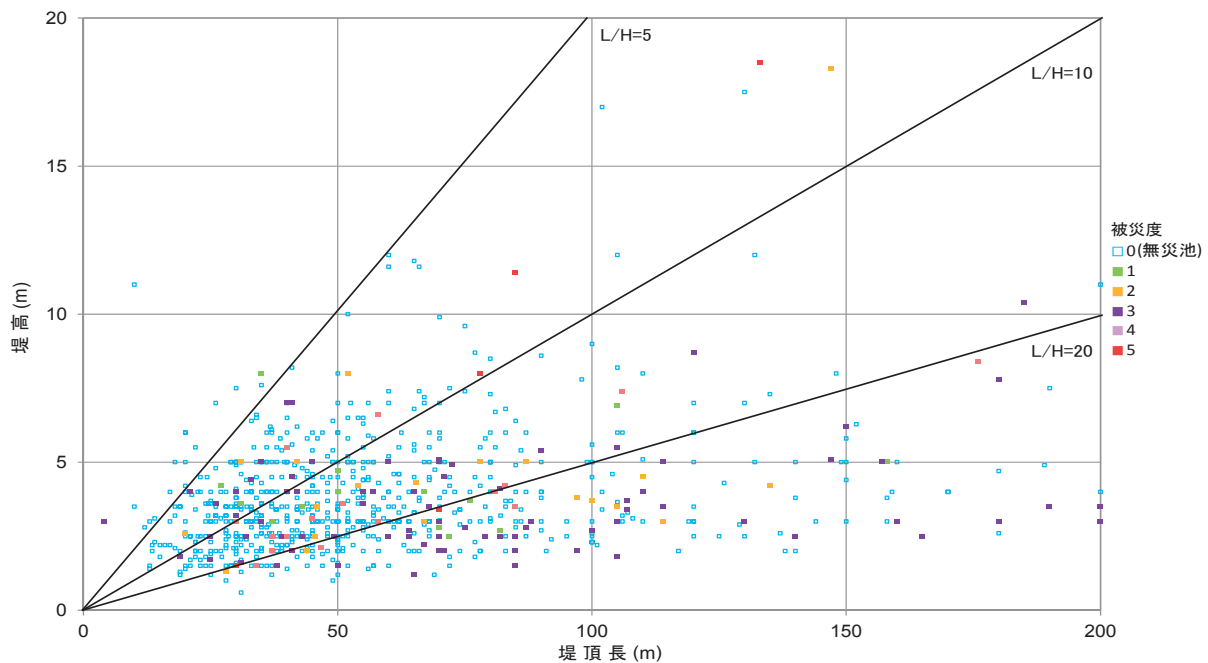


Fig. 83 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池堤高及び堤頂長と被災度

Damage degree of earth dams based on scale of dam height and crest length in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

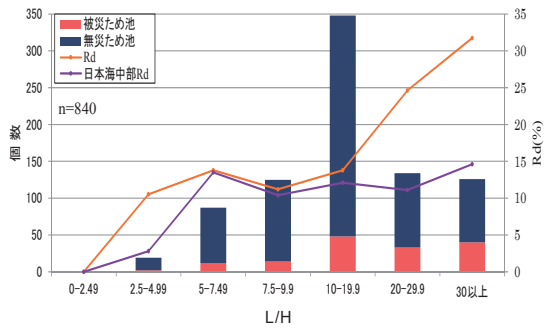


Fig. 84 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池形状係数と被災率

Damage ratio of earth dams based on the coefficient of shape (L/H) divided with 2.5 each in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

Fig. 85 (a) では、Table 17 から日本海中部地震の被害池数と無被害池数をピンクと青の棒グラフで、区分毎の R_d を折線グラフで図示した。また、Fig. 85 (b) は当該地震で被災した青森・秋田両県のため池 DB を分母とした場合の池数とその R_d である。Fig. 85 (a) の無災ため池に関する資料は、被災関係市町村から聞き取ったとあり、それ以上詳しくは分からない。Fig. 84 の対象全域のため池 L/H 別の度数分布と Fig. 85 (a) の分布形態では微妙に異なっているが、Fig. 85 (b) の度数分布の棒グラフとでは、両方はかなり似かよっており、 R_d の傾向も分母が対象域の 4 倍であるために全体として R_d は低下するが、区分毎の上昇傾向はかなり類似したものになった。さらに Fig. 85 (a) で R_d が $L/H = 5$ 以上で増加しないのは、 $L/H = 10$ 以上無災ため池の個数が相対的に過大であったとも推定できる。因みに、 L/H が大きくなるほど、通常、ため池規模も大きくなるため、数量として捕捉する確実性も高くなるのが考えられる。何れにしても、ため池 R_d を統計的確率で求める際には、如何に無災池数を的確に捕捉できるかが重要である。

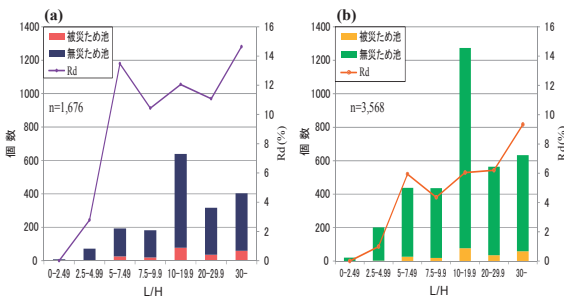


Fig. 85 日本海中部地震のため池形状係数 (L/H) 別被災率 (R_d)
Damage ratio of earth dams based on the coefficient of shape (L/H) divided with 5.0 each in Aomori & Akita Prefectures due to Nipponkai-Chubu Earthquake

Fig. 86 は、Fig. 84 の L/H を 1.0 毎で区分した被災及び無災池のヒストグラムと R_d の折線グラフである。

Fig. 84 でも L/H の増加に伴う R_d の顕著な上昇が見られたが、ここでは L/H が 20 までは R_d が幅 10~20% で上下し、20 以上では上下振れ幅はさらに大きくなるが、 R_d は概ね上昇傾向であった。

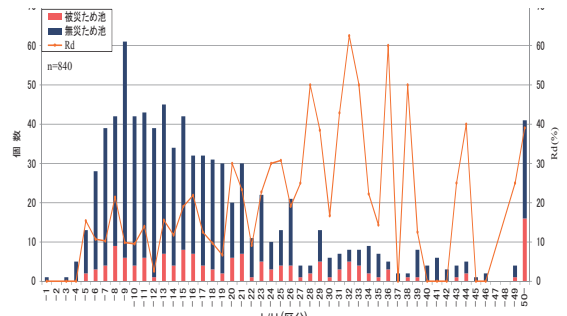


Fig. 86 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方等のため池形状係数別 (1.0 毎) 被災率

Damage ratio of earth dams based on the coefficient of shape (L/H) divided with 1.0 each in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

Fig. 87 では、Fig. 61 と同様に①第 1 の $L/H = 0-9.39$ 、②第 2 の $L/H = 9.40-14.48$ 、③第 3 の $L/H = 14.49-22.44$ 、④第 4 の $L/H = 22.45$ 以上に四分位区分し、区分ロッド毎の R_d をオレンジ折線で図示した。①と②は $R_d = 11-13\%$ が、③で $R_d = 18\%$ が上昇し、④で $R_d = 30\%$ と急上昇している。ここから H に対して L の比率が大きい方が、 R_d を押し上げると考えられる。

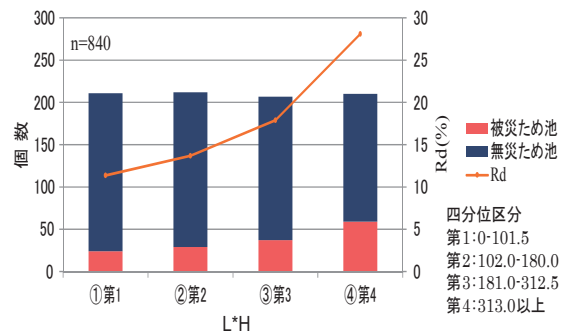


Fig. 87 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池四分位区分形状係数 (L/H) 別被災率

Damage ratio of earth dams based on the coefficient of shape (L/H) divided with quartile in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

6. 3. 3. 3 体積係数と被災率 (R_d)

Fig. 88 は、対象域内ため池の $L * H$ を①第 1 の $L * H = 0-101.5$ 、②第 2 の $L * H = 102.0-180.0$ 、③第 3 の $L * H = 181.0-312.5$ 、④第 4 の $L * H = 313.0$ 以上の四分位に区分し、区分ロッド毎の R_d をオレンジ折線で図示した。ここでは L と同様に段階的に R_d が上昇する形態となっている。

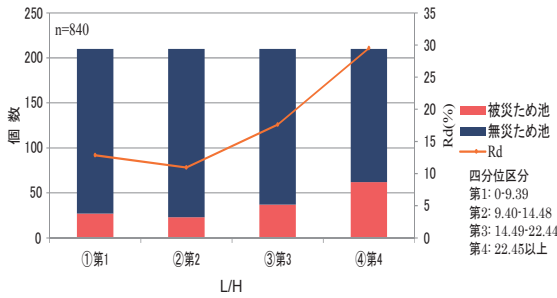
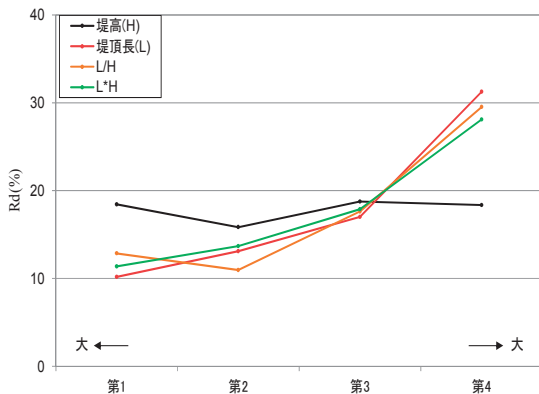


Fig. 88 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池四分位区分体積係数 ($L*H$) 別被災率 (R_d)

Damage ratio of earth dams based on the coefficient of volume ($L*H$) divided with quartile in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

6.3.3.4 形状係数及び体積係数の被災率 (R_d) まとめ

Fig. 89 では L/H (オレンジ) と $L*H$ (緑) の四分位別 R_d と H (黒) 及び L (赤) の4つを並べて比較した。 H はほぼ一定で、 L は右方上がりで L/H と $L*H$ の R_d の変化に反映している。詳細に見ると、 L は第1で最低、第4で最高と上下差が最も大きく、 L/H は第2で H と一緒に R_d が低下している。一方、 $L*H$ の場合は L が H の標準で10倍以上のために、 H の影響を L/H ほど受けないため、 $L*H$ が最低レベルの時の R_d は L と L/H の間になり、反対に $L*H$ が最高レベルの時は、 L/H よりも R_d が小さくなる。即ち、Fig. 89 の結果は、「 H の R_d はほぼ一定で、 L の R_d は L が大きいほど上昇する」から推定可能であり、 H と L の R_d における特性がさらに確認できた。



	第1四分位	第2四分位	第3四分位	第4四分位
H(m)	0-2.5	2.6-3.5	3.6-4.9	5.0-
L(m)	0-35	36-50	51-77	78-
L/H	0-9.39	9.4-14.48	14.5-22.44	22.5-
L*H	0-101.5	102-180	181-312.5	313-

Fig. 89 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池堤体諸元及び四分位別被災率の比較

Comparison of damage ratios of earth dams based on 4 different dimensional shape parameters divided with quartile in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

6.3.4 横断面形状と被災率 (R_d)

ため池の横断面形状に関する過去の被害研究には、「堤頂幅が大きくなるにつれて被害率が高くなる」、「堤高が同じ場合には、堤頂幅の大小は被害にあまり関係ない」、「どの堤高区分においても斜面傾度が緩くなると被害率が大きくなる」などの報告がある。ここでは、堤頂幅 (W) と上下流法勾配 ($1:U$ 及び $1:D$) 及び勾配比 (D/U) に関して、前節までと同様の手法で各々検証すると共に、横断面形状の構成要素である H を組み合わせたクロス集計した R_d を用いて比較検討する。

6.3.4.1 ため池堤頂幅 (W) と被災率 (R_d)

Fig. 90 には、対象域の堤頂幅 (W) を1.0m毎で①~⑨に区分し、その区間毎池数のヒストグラムと各 R_d オレンジ折線を図示した。 W は3m未満までは $R_d=10\%$ 余であるが、④3-4m区間の度数38%で $R_d=19\%$ となった後、⑤4-5m区間で $R_d=13\%$ と一端下がり、⑥5-6m区間からは $R_d=20\%$ 台を超え、⑧7-8m区間の $R_d=27\%$ でピークとなった。即ち、⑤4-5m区間以降の度数は12%から5%になり、⑦6-7m以降は度数1-3%である。総じて R_d の大きなピークはないが、 W が広いほど R_d は高くなる傾向である。

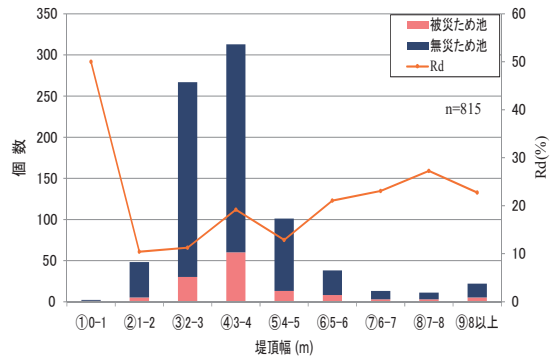


Fig. 90 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池堤頂幅 (1.0m毎) 別被災率

Damage ratio of earth dams based on dam crest width divided with 1.0m each in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

Fig. 91 は、Fig. 61 と同様に、 W を四分位毎に第1を① $W=0-2.5m$ 、第2を② $W=2.6-3.0m$ 、第3を③ $W=3.1-3.8m$ 、第4を④ $W=3.9m$ 以上で区分した個数と R_d の折線グラフである。③の度数が小さいのは、②に $W=3.0m$ の個数が集中した分、③の区間度数が減少した。 R_d がピーク区間は、③の $R_d=20\%$ で、①の $R_d=11\%$ から② $R_d=7\%$ と順に増加し、④では②と同じ R_d になっている。Fig. 90 では大きな W ほど R_d が大きくなる傾向であったが、④ $W=3-4m$ の最初のピークが第3四分位区分のピークは照合していた。なお、③の第3四分位の度数は約110個であるが、相対度数は10%以上が確保され、 R_d 的には信頼できると思われる。

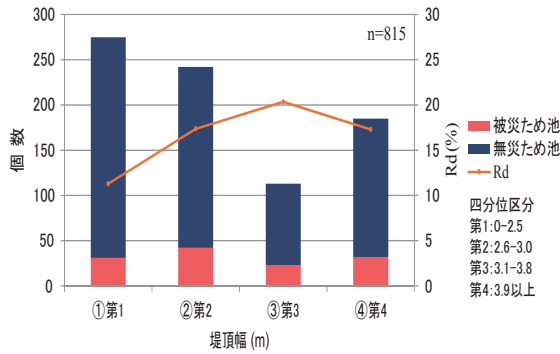


Fig. 91 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池四分位区分堤頂幅別被災率

Damage ratio of earth dams based on dam crest width divided with quartile in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

6.3.4.2 堤体上下流法勾配と被災率 (R_d)

Table 19 は、対象全域ため池の堤体上下流法勾配別の R_d を、過去の研究事例にならって整理した。法面勾配区分は、1:0.5毎に区分し、1:2.5以上で一括りにした。これまでは勾配が緩いほど R_d は大きくなると指摘されたが、本表からも同様な傾向が見られる。上下流別では、上流勾配 (U) が緩くなるに従って R_d が大きくなるの対し、下流は勾配 (D) が1.5-2.0の時に最大であるが、特に大きなピークではない。

Table 19 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池堤体上下流法勾配 (D・U) 別被災率

Damage ratio of earth dams based on downstream slope (D) and upstream slope (U) divided with 0.5 each in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

斜面傾度(割)	全域(A)		被災池(B)		B/A × 100(%)	
	上流	下流	上流	下流	上流	下流
0.5-1.0	69	25	6	4	8.7	16
1.0-1.5	182	146	18	20	9.9	13.7
1.5-2.0	252	370	43	65	17.1	17.6
2.0-2.5	255	224	50	32	19.6	14.3
2.5-5.0	45	38	10	6	22.2	15.8
計	803	803	127	127	15.8	15.8

Fig. 92 では、Fig. 60 と同様に、U及びDの各々を四分位毎(以下、Uを代表とした)に、第1四分位区間を①U=0-1.2、第2を②U=1.3-1.5、第3を③U=1.6-1.9、第4を④U=2.0以上で区分した池個数と各 R_d の折線を図示した。なお、四分位は上流側 U で区分したため、下流 D に①と③で度数が少なくバラツキが生じたが、1つのロットで最低130個、相対度数16%は確保していた。下流 D の R_d は概ね15~20%の範囲で比較的安定しているが、上流 U の場合は①と③で最低の R_d = 7%で、勾配が最も緩いロットの④で最大 R_d = 33%となる等、上下変化が大きい。

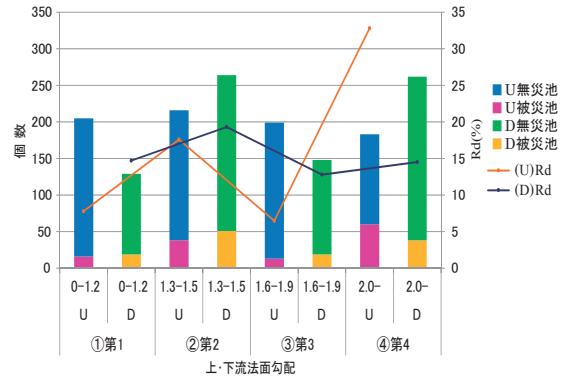


Fig. 92 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池堤体上下流法勾配 (D・U) の四分位別被災率

Damage ratio of earth dams based on downstream slope (D) and upstream slope (U) divided with quartile in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

Fig. 93 では、堤体の上下流法勾配比 (D/U) を1.0毎に、①0-1.0未満、②1-2.0未満と順に⑪まで区分し、各々ロット毎の R_d を求めて図示した。①は相対度数31%で R_d = 22%で最大となり、②は60%の相対度数で R_d = 13%に低下し、③では相対度数5%に急落するが R_d は余り変わらず、④以降は相対度数が1%以下で、⑤からは R_d = 0%である。即ち、下流勾配が相対的に緩いほど R_d が小さくなっていった。Fig. 93 では、対象全域のため池は上下流法勾配がバランスする D/U = 1.0付近で多数あることがわかった。

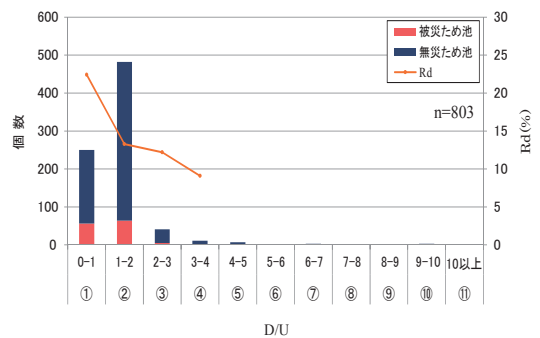


Fig. 93 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池堤体上下流法勾配比 (D/U) 1.0毎別被災率

Damage ratio of earth dams based on ratios of downstream and upstream slope (D/U) divided with 1.0 each in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

Fig. 94 では、①D/U = 1/3未満、②D/U = 1/3-1/2未満、③D/U = 1/2-1/1未満、④D/U = 1/1-4/3未満、⑤D/U = 4/3-2/1未満、⑥D/U = 2/1以上に6区分し、区分ロット毎に R_d を折線グラフにした。因みに、①~③は上流勾配が下流よりも緩い区分に入り、上流勾配が相対的に緩い①の R_d = 50%、②の R_d = 38%、③の R_d = 22%が大きい。但し、相対度数は①と②は0.2%と1%で、③の30%より前は度数が極めて僅かである。

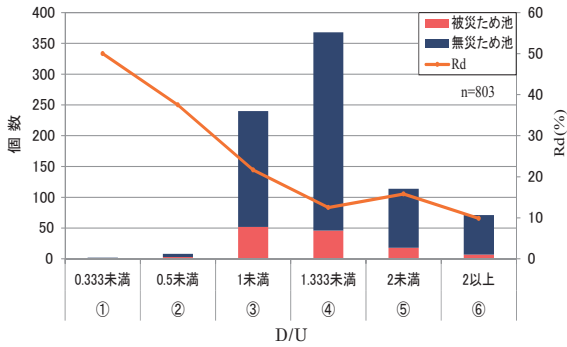


Fig. 94 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池堤体上下流法勾配比 (D/U) 6区分別被災率

Damage ratio of earth dams based on ratios of downstream and upstream slope (D/U) divided with 6 divisions in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

Fig. 95 は、D/U を四分位区分し、区間毎に R_d をグラフにした。第3の相対度数が14%と低いのは、D/U = 1.0のため池が252個と多数が集中し、第2の区分にそれを全て含めたためである。区分別 R_d では下流勾配 D がさらに若干緩い第3区分の1.05-1.25で $R_d = 6\%$ と最低になり、下流勾配が相対的に緩くなる第4区分では $R_d = 13\%$ と、第3分位の2倍以上となった。

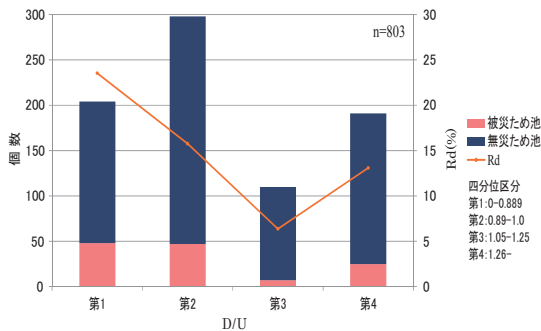


Fig. 95 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池堤体上下流法勾配比 (D/U) 四分位別被災率

Damage ratio of earth dams based on ratios of downstream and upstream slope (D/U) divided with quartile in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

6.3.4.3 横断面形状諸元の比較と組み合わせ検証

Fig. 96 では、Fig. 89 から H と L、Fig. 91 から W、Fig. 95 から D/U の四分位区間別 R_d のみを抜き出して比較したものである。ここで対象全域の R_d は約17%であり、各形状諸元 R_d も無制限に上下変動することはない。例えば、ある区間の R_d が大きい時は、他の区間の R_d は小さくなる。そのため、H は平均 R_d 付近を変動する「安定型」、L は第3で平均 R_d を超える「一途上昇型」、W は第1の R_d が低く第3でピークとなる「中位ピーク型」、D/U は第1の R_d が高く、第3で底となる「中位ボトム型」に分類できる。即ち、W と D/U の R_d は正反対に動

き、その間で H が安定した R_d にあり、堤体の横断面形状 3 諸元間には R_d 増減との関連が想定される。一方、L はこれら 3 諸元と比べ R_d の動きは独立性が高いように見受けられる。

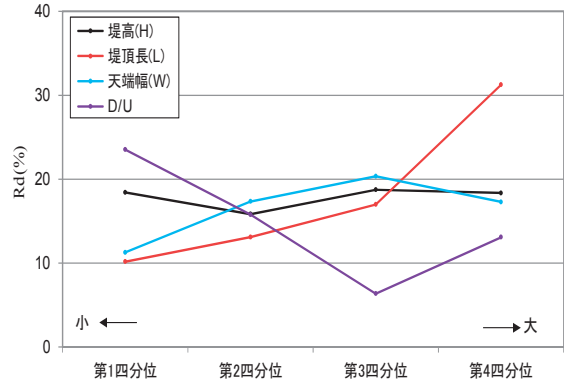


Fig. 96 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池堤体横断面諸元と堤頂長及び四分位別被災率比較

Comparison of damage ratio of earth dams based on dimensional cross section shape parameter (H, W, D/U) and scale of dam crest length divided with quartile in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

	第1四分位	第2四分位	第3四分位	第4四分位
H(m)	0-2.5	2.6-3.5	3.6-4.9	5.0-
L(m)	0-35	36-50	51-77	78-
W(m)	0-2.5	2.6-3.0	3.1-3.8	3.9-
D/U	0-0.889	0.89-1.0	1.05-1.25	1.26-

Fig. 97 には、対象域内ため池の H を横軸、W を縦軸にして、被災度別 (但し、無被災池は被災度 0) にプロットし、H 及び W の池数がほぼ均等になるように各々を大、中、小に 3 分割して、9ヶ所のロット毎に R_d を求めた。但し、H はプロットの状況が分かるようにスケールを H = 12m までとし、図中の数字 (分母は全池数、分子は被災池数) には対象池全てが含まれている。ここでは、全体的に W が広い領域ほど R_d が高く、H の高い領域ほど R_d が低くなるが、両方の重なり方 (\cap : 和集合、 $H_{大} \cap W_{大}$ (H が高く W が広い断面) 領域の $R_d = 20.6\%$ が最も高くなっていた。また、 $R_d = 5.5\%$ で最低となった $H_{大} \cap W_{小}$ 領域は、H が高く W が小さい場合の組合せであるが、最大 R_d の 4 分の 1 であった。

Fig. 98 は、Fig. 97 と同様に H を横軸にし、9つの領域毎に R_d を求めた。ここでの最高 $R_d = 26.3\%$ は、 $H_{大} \cap D/U_{小}$ 領域 (H が高く上流側法勾配が緩い断面) であり、 $H_{大} \cap D/U_{大}$ (H が高く下流側法勾配が緩い断面) では、最低 $R_d = 4.9\%$ の領域となっていた。因みに、D/U 中の領域は、H の高さが変わっても、 $R_d = 13-16\%$ で殆ど差が無い。その理由は、Fig. 95 で第3四分位の D/U (=1.05-1.25) 区分の大半がこの D/U_大 領域に入っており、この範囲では被災池が極めて少ない。

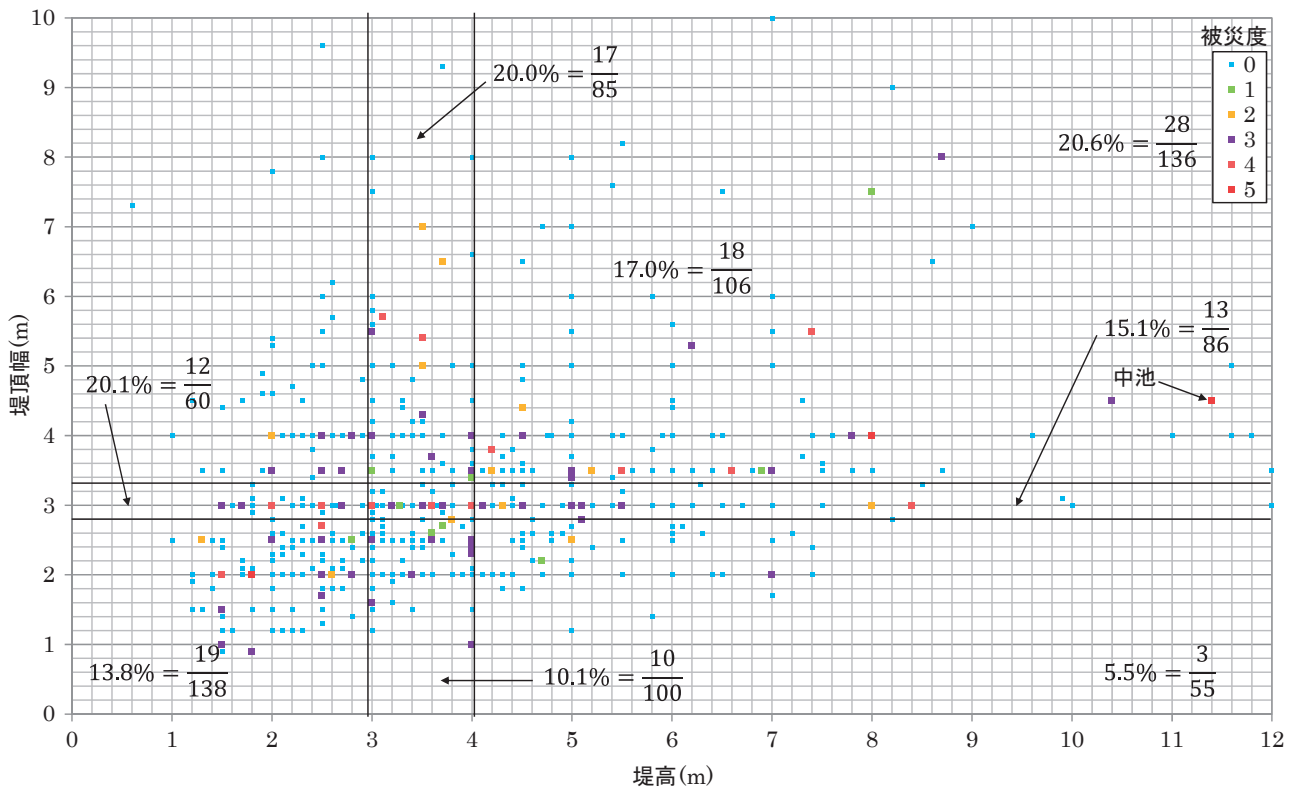


Fig. 97 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池堤高及び堤頂幅と被災度

Relationships between damage degree of earth dams and dimensional cross section shape based on scale of dam height

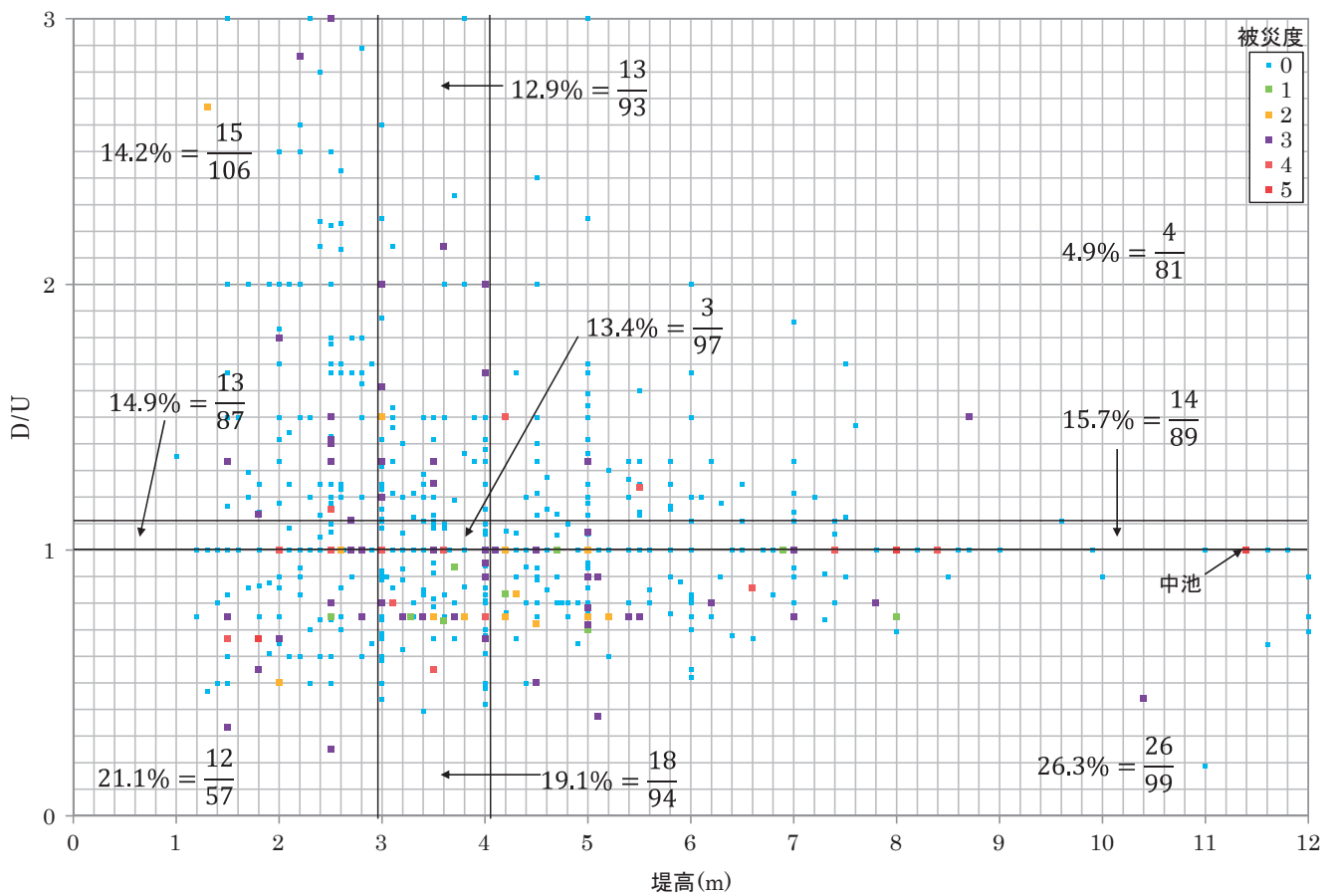


Fig. 98 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池堤高及び堤体上下流法勾配比 (D/U) と被災度

Relationships between damage degree of earth dams and dimensional cross section shape based on scale of dam height and D/U

Fig. 99 は、 D/U を横軸、 W を縦軸にして Fig. 97 及び Fig. 98 のように被災度別にプロットした。最大 R_d は $D/U_{小} \cap W_{大}$ (上流側法勾配が緩く堤頂幅が広い断面) の領域で $R_d = 30.1\%$ と最も大きな R_d 値であった。最小 R_d は、 $D/U_{中} \cap W_{小}$ と $D/U_{大} \cap W_{大}$ で $R_d = 9.1\%$ と $R_d = 9.4\%$ で特に小さな値ではなかった。なお、Fig. 95 で第3四分位 D/U ($=1.05-1.25$) 区分のため池がこれら領域の一部に入り、 R_d を低下させていた。

Fig. 100 は、Fig. 97~Fig. 99 の結果から、ため池堤体横断面に関して地震動被災リスクを整理したものである。本図左側は、 H 、 W 及び D/U の大中小毎にクロス集計したロッド毎の R_d について、クロス毎の最大 R_d をピンクで、最小 R_d を水色に着色し、それに関わる形状を同色でマークした。先ず、堤高では $H_{大}$ で $W_{大}$ 又は $D/U_{小}$ の時 (以上、ピンク着色で赤下線) に R_d が最大になり、同じ $H_{大}$ でも $W_{小}$ 又は $D/U_{大}$ の時 (青着色の赤下線)

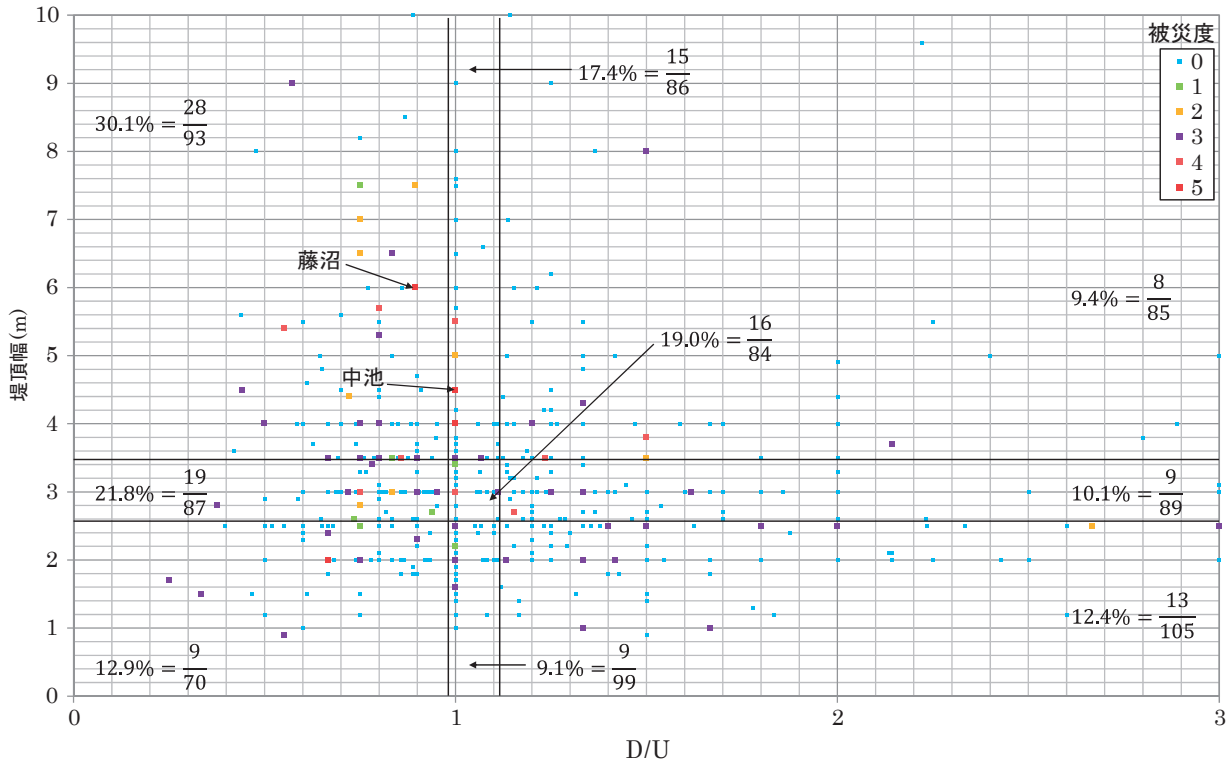


Fig. 99 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池堤体上下流法勾配比 (D/U) 及び堤頂幅と被災度 Relationships between damage degree of earth dams and dimensional cross section shape based on scale of dam crest width and D/U cross tabled in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

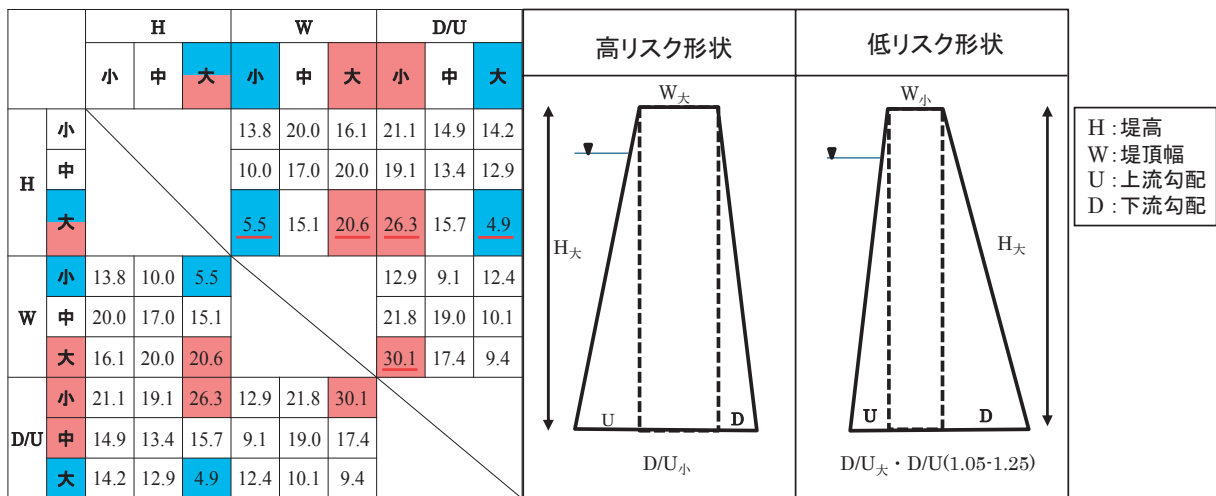


Fig. 100 東北地方太平洋沖地震の福島県中・県南地方のため池堤体横断面形状別被災率と被災リスク Damage ratio and higher & lower risk types of earth dams based on dimensional cross section shape in Central-Southern District of Fukushima Prefecture due to the Tohoku Earthquake

に R_d は最小であった。即ち、 H が高い時は、 W と D/U の状態によって被災リスクが上がる場合と、その反対にリスクが下がる場合がある。例えば、 $W_{大}$ の場合は R_d が上がり、 $W_{小}$ の時 R_d は下がる。 D/U では $D/U_{小}$ (上流法勾配が緩い) の時に R_d が上がり、 $D/U_{大}$ (下流法勾配が緩い) の時に R_d が下がる。

上記のことを堤体横断面の高リスクと低リスク形状イメージを右図で示した。つまり、堤体横断面形状で地震動被災リスクの高い組合せは、 $H_{大} \cap W_{大}$ (H が高く W が広い)、 $H_{大} \cap D/U_{小}$ (H が高く上流法勾配が緩い) 及び $D/U_{小} \cap W_{大}$ (上流法勾配が緩く堤頂幅が広い) の3つであった。因みに、決壊した藤沼湖は3つ全ての組合せに入っていた。逆に、リスクの低い組合せは、 $H_{大} \cap W_{小}$ (H が高く W が狭い) 及び $H_{大} \cap D/U_{大}$ (H が高く下流法勾配が緩い) があつた。また、 D/U と W の組合せで特にリスクが低いものはない。さらに Fig. 98 と Fig. 99 から、 $D/U (=1.05-1.25)$ で被災池が極めて少なく、下流側が若干緩めで上下流法面がバランスした勾配の形状は被災リスクが低かつた。

6.3.5 ため池堤体形状と被災度

第VI章では被災度で被災レベルを示しながらも、ここまで全て R_d だけで堤体形状との関係を説明してきた。本節では、堤体形状が地震動被災度にどのように影響していたか検討する。

6.3.5.1 堤体形状諸元とため池被災度

Fig. 101 には、対象域内ため池の被災度1~5を H , L , W 及び D/U の堤体形状の四分位区分別に示した棒グラフで図示した。被災度別色分けは、Fig. 83 と同じである。各形状諸元の四分位区分での相対度数は、Fig. 91 の D/U 第三区分での度数14%以外、各区分とも原則25~20%程度の相対度数が確保され、被災池数の棒グラフの高低は、ほぼ R_d の大きさに連動している。最低被災池数は D/U ③第三区分の7個 ($R_d = 6\%$) で、最高数の L 第4区分の64個の9分の1であったが、その被災度3と4だけで、1~2の低レベル被災はなかつた。反対に R_d が高い (多数の被災池がある) 場合でも、低被災度池がかなりの割合で含まれている。これは、第V章でも考察したように R_d が高い場合であっても、被災度も必ず高くなる訳ではないことを物語っている。

6.3.5.2 堤体横断面形状とため池被災度

Fig. 102 は、Fig. 97 から横断面形状に係る H と W の大中小組合せ9グループ毎の被災度別池数を示した棒グラフと R_d の折線で図示した。組合形状③の $H_{大} \cap W_{小}$ では被災数3個が最低で、被災度1~3が各1つで R_d の低さが際立っている。反対に被災数最大は、⑨ $H_{大} \cap W_{大}$ の形状で27個であるが、被災度は1~5まで含まれていた。ここで Fig. 101 の堤体諸元と比較すると、Fig. 102 は全

体的に被災池数が多いほど被災度の高い池 (4及び5) が多く含まれているように見える。但し、被災数が多くても被災度1~3もかなり含まれており、 H と W の形状要因だけで、被災度まで決まるとは考え難い。因みに、決壊した藤沼湖と中池は⑨のグループに入っている。

なお、①~③では $W_{小}$ の時 H が大きいほど被災リスクが下がり (灰色点線)、⑦~⑨では反対に $W_{大}$ の時に H が大きいほどリスクは上がっている (灰色破線)。

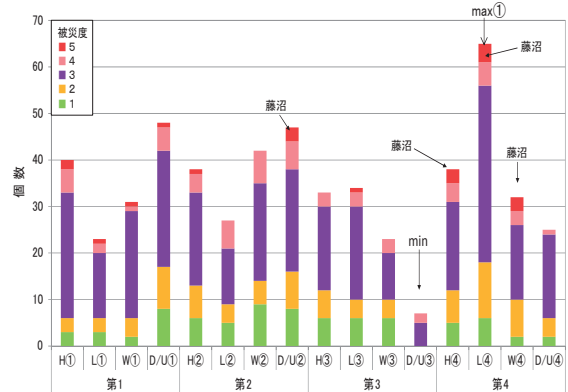


Fig. 101 堤体形状諸元四分位区分・被災度別ため池数
Number of damaged earth dams based on dimensional shape parameter divided with quartile and damage degree

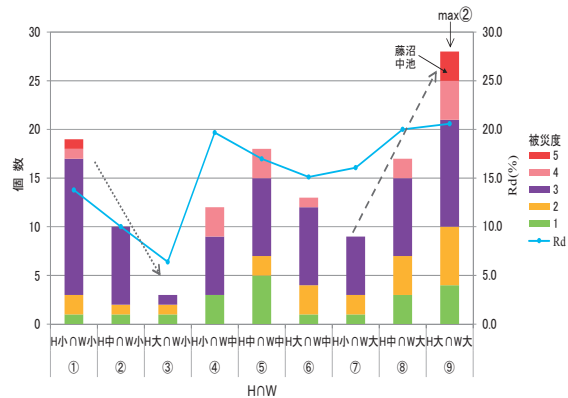


Fig. 102 ため池堤高及び堤頂幅の規模区分別被災度・被災率
Damage degree and ratio of earth dams based on scale of dam height and crest width cross tabled divided with one third

Fig. 103 では、Fig. 98 から横断面形状に係る H と D/U の大中小組合せを、Fig. 102 と同様に図示した。最小被災数は⑨の $H_{大} \cap D/U_{大}$ の4個で、他の形状区分は被災池数が10個以上ある中で顕著に少ない。最大被災数は③の $H_{大} \cap D/U_{小}$ が26個で、最低区分⑨の6倍強であるが、被災度は1~3が多数含まれている。それ以外の7つのグループは、被災池数が 15 ± 3 の範囲内にあり、この分類では最低最高の差が際立っている。但し、被災度に関しては、前2グループと同様に特定のレベルに偏ったものはなかつた。因みに、藤沼湖は③に、中池は⑥に入っている。

なおグループ①～③では $D/U_{小}$ （上流勾配が緩い）場合、 H が大きいくほど被災リスクは上がり（破線）、⑦～⑨では反対に $D/U_{大}$ （下流勾配が緩い）の時、 H が大きいくほどリスクが低くなっている（点線）。

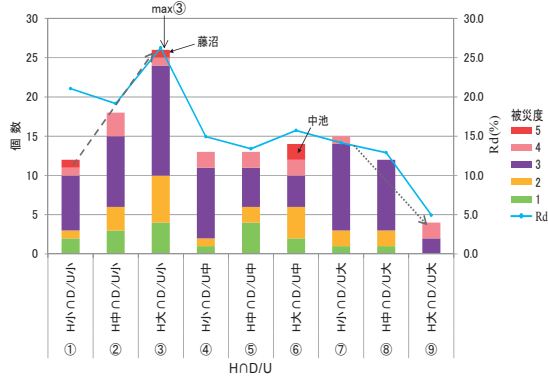


Fig. 103 ため池堤高及び法勾配比率 (D/U) の規模区分別被災度・被災率
Damage degree and ratio of earth dams based on scale of dam height and D/U cross tabled divided with one third

Fig. 104 には、**Fig. 99** から横断面形状に係る W と D/U の組合せを、**Fig. 102** と同様に図示した。ここでは前2図と異なり、被災数5以下で著しく被災池が少ない区分は見られず、被災池数7～8個が4グループで、 W が狭い2グループ（①及び②）、 D/U が大きい2グループ（⑥及び⑨）である。また、断トツに被災池数が多い形状は、⑦の $D/U_{小} \cap W_{大}$ で28個で、残り4グループ（③、④、⑤及び⑧）の被災池数は 15 ± 3 個の範囲にある。被災数最大の⑦区分も **Fig. 102** と **Fig. 103** での最大形状区分と同様な被災度構成となっている。因みに、藤沼湖は⑦に、中池は⑧に入っている。

なお⑦～⑨では反対に $W_{大}$ の時に、 D/U が大きくなる（下流が緩い）ほど被災リスクは小さくなっている（灰色点線）。

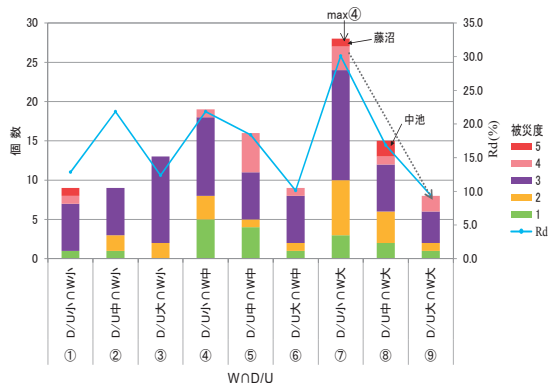


Fig. 104 ため池堤頂幅及び法勾配比率 (D/U) の規模別区分別被災度・被災率
Damage degree and ratio of earth dams based on scale of dam crest width and D/U cross tabled divided with one third

Fig. 105 には、**Fig. 102**～**Fig. 104** で被災池数が最高だった3区分について、推計震度毎の被災度別池数を棒グラフにした。**Fig. 105 (a)～(c)**とも震度によって被災池が増える傾向は見受けられるが、各形状グループとも震度の大きさだけで被災度が上がる状況は見受けられず、ため池被災度は強震度下であっても一つだけの高被災リスク堤体形状要因だけでは甚大な被災レベルに至るようには見受けられない。

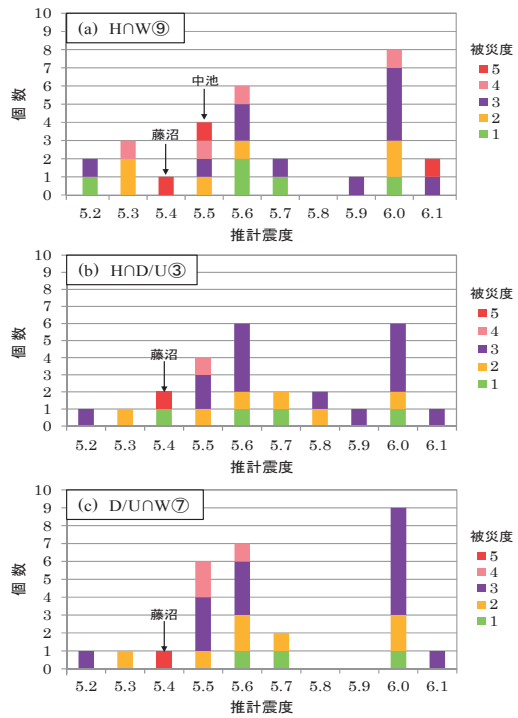


Fig. 105 高被災リスク横断面形状ため池の震度別被災度
Damage degree of earth dams with higher risk dimensional cross section shape based on seismic intensity

6.4 まとめ

東北地震により最もため池被災が集中した、福島県中・県南地方のため池総数848個（被災池153個と無被災池695個）を対象に、堤高（ H ）、堤頂長（ L ）、堤頂幅（ W ）、上下流法勾配（ U 及び D ）の堤体諸元毎に、震度や堤軸震央方向角度（ ω_i ）を踏まえ、統計的手法を用いて R_d 等の分析を行った。いわば、対象エリア内にある844個の規模や形状の異なるため池群を、一つの大きな揺れ（地震動）によって、その諸元や形状毎に被災数や被災レベルがどうなるか、現地実験の結果を考察したのと同じ意味となる。その結果は以下の通りで、ため池堤体形状諸元の関するこれまでの地震動被害研究結果と相反する部分を含むと共に、新たな知見も見出すことができた。以下では、諸元毎及び横断面形状と地震動の関連性について、総括を行った。

(1) 堤体形状諸元に係る被災リスクまとめ

- 1) 堤高（ H ）及び堤頂長（ L ）と被災率（ R_d ）
堤体形状諸元の H と L については、バッチ毎に

多様な区分度数でロッドを設けて R_d を算定して比較検討を行うと共に、既に R_d との関係性を明らかにした推定震度と堤軸震央方向角度 (ω_i) と組み合わせ R_d の比較を行った。さらに、 H と L に関連し、形状係数 (L/H) 及び体積係数 ($L * H$) と R_d の関係性を検討し、以下のことが明らかになった。

- ① 区分度数と被災率 (R_d)
 - ・形状諸元に対する R_d は算定母数のとり方によって、その率は同じにならず、相対度数が大きいほど、 R_d のバラツキは小さくなる。
 - ・ R_d は相対度数が少ない程バラツキが大きくなり、その R_d は全体的に高めと見る傾向がある。
 - ・区分 R_d は、相対度数が10%以上で安定し、相対度数5%以下ではバラツキが大きくなる。因みに、対象域ため池数は約840個で、 R_d 算定の分母としては100個以上、或いは最低でも50個以上が必要となる。
 - ② 堤高 (H) と被災率 (R_d)
 - ・ H は高さの関係で R_d が大きくなる傾向がなく、「安定型」である。
 - ・震度が大きくなると、 H に関係なく R_d は大きくなる。
 - ・ ω_i が270-330°の範囲に近いほど、 H に関係なく R_d は高くなる。
 - ③ 堤頂長 (L) と被災率 (R_d)
 - ・ L は長くなるほど R_d が大きくなる「一途上昇型」である。
 - ・震度が大きくなるほど L の長さに応じて R_d はさらに増大する。
 - ・ ω_i が270-330°の範囲に近いほど、 L の長さに応じて R_d はさらに大きくなる。
 - ④ 形状係数 (L/H) 及び体積係数 ($L * H$) と被災率 (R_d)
 - ・ L/H は L の長さで R_d が大きくなる傾向を反映して、その値が大きい程 R_d は大きくなる。
 - ・ $L * H$ は L/H と同様の傾向を持つが、 L/H より H の安定型の影響を受けた R_d になる。
- 2) 堤体横断面形状と被災率 (R_d)

横断面形状については、堤頂幅 (W)、上下流法勾配 ($U \cdot D$) 及び勾配比 (D/U) の順で複数の区分ロッド毎の被災率 (R_d) の比較検討と共に、堤高 (H) と堤頂幅 (W)、堤高 (H) と勾配比 (D/U) 及び勾配比 (D/U) と堤頂幅 (W) で各々クロス集計した9等分ロッドで R_d を求めて比較検討し、以下のことが明らかになった。

- ① 堤頂幅 (W) と被災率 (R_d)
 - ・1.0m毎区分の R_d は、 W が大きくなるに従って段々と大きくなる。
 - ・四分位区分の R_d は、第3区分の「中位ピーク

型」となる。

- ② 上下流法勾配 (U 及び D) 及び勾配比 (D/U) と被災率 (R_d)
 - ・ U が緩くなる従って R_d が大きくなり、第4四分位で R_d が30%を超える。
 - ・ D は緩急による R_d の大きな変化はない。
 - ・ D/U 四分位の R_d は、第3 (1.05-1.25) が最低となる「中位ボトム型」である。
- ③ 横断面形状と被災率 (R_d)
 - ・ H 、 L 、 W 及び D/U の R_d から、 L の被災リスクは縦断形状として独立である。
 - ・横断面形状に係る H 、 W 及び D/U は、相互に関連したりリスク要因を成す。
 - ・ H 、 W 及び D/U の組合せリスクは、 $R_d = 5\%$ から $R_d = 30\%$ まで6倍の差がある。
 - ・ R_d (=被災リスク) の大きい横断面形状は、 $H_{\text{天}} \cap W_{\text{天}}$ 、 $H_{\text{天}} \cap D/U_{\text{天}}$ 及び $W_{\text{天}} \cap D/U_{\text{天}}$ で、藤沼湖は3つ全てに入っている。
 - ・ R_d (=被災リスク) の小さい横断面形状は、 $H_{\text{天}} \cap W_{\text{天}}$ 及び $H_{\text{天}} \cap D/U_{\text{天}}$ で、 $D/U = 1.05-1.25$ では特にリスクが低い。

3) 堤体及び横断面形状と被災度

堤体諸元及び横断面形状の四分位区分毎に被災度別ため池数を整理し、比較検証を行った結果、以下のことが明らかになった。

- ① 堤体形状諸元と被災度
 - ・ H 、 L 、 W 及び D/U の被災数では、最高 (第4四分位 L) と最低 (第3四分位 D/U) で概ね6~7倍の差があった。
 - ・形状毎に被災リスクの差はあっても、被災度の片寄りが少ないことから、特定の堤体形状要因だけで被災度を大幅に引き上げることはない。
- ② 横断面形状と被災度
 - ・ H 、 W 及び D/U 被災数の格差は大きいですが、各横断面形状とも被災度は均質的で、特定の形状だけで被災度が上がる要因にならない。
 - ・被災リスクが大きい横断面形状グループだけで推計震度と被災度を比較したが、震度の大小に関わらず被災度はバラついており、単独要因によって高い被災度に至る状況は説明できないことが明らかになった。

以上、第VI章のため池堤体形状要因分析結果から、過去の研究成果と矛盾した内容が一部確認されたが、概ね過去の研究結果の理由や背景を裏付け、体系的説明が可能な内容となった。特に堤頂長の規模に伴う被災リスクの上昇、堤高と堤頂幅及び上下流法勾配と被災リスクの関係など、特筆すべきものとする。

(2) 個体要因に係る被災リスクのまとめ

第IV章及び第V章では、「地震動の方向性」について、

堤体上流が震央方向にある $\omega_i = 30\sim 180^\circ$ で R_d が小さいなど、地震動は広域的な地形・地質や堤体に対して方向性が見られ、 R_d の出現傾向に影響することが分かった。因みに、震度では6弱までは $\omega_i = 270^\circ$ つまり、①「堤体下流面が震央と正対する」場合に R_d が大きな値を示したが、震度6強ではどの方向でも R_d は大きな値を示した。

第V章では、福島県中・南地方の被災集中エリア内の詳細な被災分析のために、被災レベルを5段階（レベル5が最も被災度が高い）にした。被災度は福島県全域で被災度3が過半を占め、被災集中エリアでも同様であった。また、集中エリア内のため池サイトの地形を5タイプに分類したところ、②「サイト地形が傾斜・谷地」の場合は R_d が極めて高く、反対に震度6強エリア内でも、東面に山丘があるサイト地形では被災を免れるなど、地震動は狭域的にも方向性を有し、ため池被災は地形の影響を強く受けることが明らかとなった。

第VI章では、福島県中・南を対象域とし、堤体形状と R_d の関係を明らかにするために、堤高 (H)、堤頂長 (L)、堤頂幅 (W)、上下流法面勾配 ($1:U$ 及び $1:D$) を形状諸元とし、既往研究の被災分析結果と比較するために、諸元毎の相対度数（母数）を考慮して R_d を求めた。 H は R_d に影響を及ぼさず、どの堤高でも一定値を示したが、③「 L が長い」方が R_d は増加した。ため池横断面形状では、④「 H が高く、 W が広く、上下流勾配比 (D/U) が小さい（上流勾配が緩い）組合せ」において、 R_d は大きな値を示した。これまでの地震動被災は、「 H が大きいほど R_d は増加し、 L は R_d に関係ない」とされてきたが、今回は正反対の結果となった。さらに、横断面形状に関する被災リスクは、新しい知見となった。因みに、震度5強で決壊した藤沼湖は、上記①～④の高被災

リスク特性を全て含んでいた。

ここまでの考察を基に Fig. 107 に「ため池地震動被災要因の概念図」を提案することで結言とした。この概念図は、要因間で階層構造を有し、下部階層が大きく上部に行くほど小さくなる台形状をしている。つまり、底辺の幅が広い程被災リスクが大きくなることを示している。下部は環境要因であり、強震動地震、広域的な地質及び推計震度の順で下から上へ構成される。上部は個体要因であり、それは外部と内部要因で構成されている。外部要因はサイト地形と堤軸方向が、内部要因は堤体形状が構成要素である。なお、本研究では言及していないが、堤体材料や構造は、内部要因として位値付けが可能である。この概念図によって、これまで震度との関連で曖昧になっていた被災要因について、要因毎の関係を説明することができる。

環境要因の地震に関して誘因①と誘因②に分けた。その理由は、小規模な農業用ため池にとって唯一の地震情報である「推計震度」が、危険度評価に向けた重要指標と成る得ることを強調するため。また、誘因①と②の関係から、「推計震度」では、危険度評価時に強震動の揺れ時間及び推計上の精度等にも留意すべきである。

以上の様に、「ため池地震動被災要因の概念図」によって被災要因相互の関係を明らかにすることができたことから、今後、(a) 地震時緊急点検では、ため池毎の推計震度と堤体要件を踏まえて的確・効率的な点検実施に資する、(b) 農村地域の防災・減災対策のための大規模地震発生時の災害想定の基本資料として貢献できると思われる。但し、そうなるためには、全国のため池防災関係者は、ため池DBの精度向上に努めると共に、個体要因となった堤軸方向及びサイト地形に関するデータベース化にさらに取り組む必要がある。

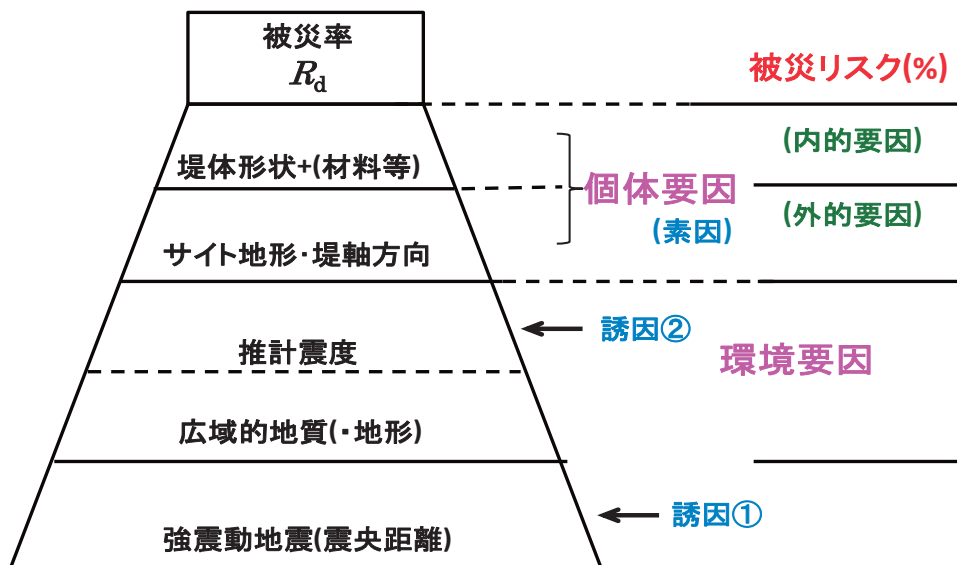


Fig. 107 ため池地震動被災要因の概念図

Conceptual diagram of damage factors to earth dams due to earthquake motions

謝辞：本研究は筆者の35年に及ぶ国家公務員としての成果をまとめたものであり、取り分け、京都府下在職中、平成17年秋に文化勲章を受章された沢田敏男京都大学名誉教授から「坂の上の雲を目指した農業土木の歴史」について直々に講義賜ったことが、今日に至る重要な原動力になっております。さらには、多くの方々のご縁、ご助力と励ましなしにはとうてい成し遂げることができませんでした。東京農工大学農学部向後雄二教授には、本論文の構成から内容に至るまで適切な指導、助言並びに励ましを頂きました。深甚より感謝致します。茨城大学農学部中石克也教授、東京農工大学農学部斎藤広隆准教授、同加藤亮准教授並びに宇都宮大学農学部飯山一平准教授には、本論文をまとめるに当たり貴重な助言と指導を頂きました。心よりお礼申し上げます。

文部科学省研究開発局地震・防災研究課の歴代の地震調査官で小屋政裕様、飯野英樹様、岩切一宏様には、毎月定例で行われる地震調査研究本部説明会において、地震に関する様々な疑問や質問に懇切・丁寧に御教授賜ると共に、貴重な資料提供及び多くの関係する方々をご紹介頂きました。特にこのご縁で、気象庁地震火山部地震津波監視課強震解析係長浦谷純平様には、計測震度、推計震度について懇切丁寧に御教授頂くと共に、東北地震時の震度観測について貴重な資料を提供及び紹介頂きました。また、京都大学防災研究所地震災害研究部門強震動研究分野助教の浅野公之博士には、強震動生成域に関するご自身の研究成果を長時間亘り丁寧に御教授頂きました。これらの方々のお教えなくしては、地震学に対して門外漢であった著者が学位論文としてまとめることは到底出来ませんでした。衷心より感謝申し上げます。

震災県との関係各位には、災害対応で超多忙な最中にも拘わらず本研究にとって不可欠な被災情報の提供を頂いた。取り分け、震災翌年4月に福島県農林水産部で災害復旧事業を担当する農村基盤整備課長に就任された小島重紀様(現相双農林事務所長)は、東京農工大時代からの学友・親友であり、本研究の目的を的確に理解し、本論文の肝となった福島県内ため池DBの整理・照合について陣頭指揮を取って頂いた。特に、同課水利防災担当主任主査の鈴木秀一郎様(現県中農林事務所農村整備課長)には、県内各ため池の位置情報の再確認と共に、手間の掛かる被災データの収集・整理の実務を司り、筆者らの被災ため池現地調査時のご案内・ご手配を頂いた。また、同県前農地管理課長菊池和明様(現農村基盤整備課長)には、著者の被害実態分析結果報告に対して、適宜・適切なコメントと震災後に見直された福島県内の防災・減災対策に関して貴重な情報を頂いた。これらのご理解・ご支援・ご協力がなければ、本論文を防災に関わる研究論文として成就させることができませんでした。深甚より感謝申し上げます。

宮城県内の農業基盤施設復旧事業対応では、宮城大学食産業学部教授郷古雅春博士(前宮城県農林水産部農地復興推進室長)に発災当時の対応状況を伺い、また、ため池被害に関する各種データの提供及び確認調整をお願いした。さらに、京都府から福島県へ災害支援のために先遣調査された、元農林水産部農村振興課副課長池垣明彦様(現同部水産課長)からは、震災直後

のため池被害形態から、震央・震源方向との関連性が有る旨のエンジニアとしての見解を伺うことができた。この4年振りの奇遇な再会は、本論文を成し遂げる重要な研究要素と動機であり続けた。

農林水産省の防災・災害対策の関係同僚各位からは、震災時の貴重な体験談と共に、本研究に関係する各種資料及び情報の提供を頂きました。中でも農村振興局防災課佐々木聡ため池防災係長は、前職の東北農政局防災課時代に東北地震を体験され、ため池地震被害及び復旧の取りまとめ、翌年4月から全国的な立場でため池地震時危険度評価等のため池防災・減災施策を担当され、謂わば著者の同志的存在として本研究の重要性の議論を深め、問題認識を常に共有させて頂きました。また、同じく震災翌年4月に着任された前防災班担当課長補佐北田裕道様(現設計課付課長補佐)は、ため池の一斉点検の実施、ため池データベース更新等を全国都道府県に指導通達すると共に、関係府県ため池防災担当者を構成員とする「ため池防災・減災に関する検討会」を立ち上げ、本研究内容を当会で報告する機会を何度も与えて頂き、ため池研究の社会的意義を広く共有できました。さらに、同課海岸・防災事業調整官遠藤知庸様とは、前職の日本水士総合研究所調査研究部長からため池防災関連でご一緒頂き、その工学的不透明性に問題提起を行い、農業土木工学との歴史的関わりを掘り下げる契機を与えて頂いた。これら同僚の真摯な行政的取組・対応が、著者の研究モチベーションを維持できた最大の要因であり、深甚よりお礼申し上げます。

加えて、著者の職務柄のカウンターパートとなる農村振興局防災課災害対策室各位には、震災後の着任直後から諸々の情報提供・交換をして頂き、特に歴代災害班担当課長補佐石橋正之様、平山和徳様、伊藤光弘様及び現課長補佐東崇史様とは、災害対応課題を共有すると共に、本研究に対する貴重なコメントを沢山頂きました。その他、同室前災害査定官木村充様(現モロッコ国派遣専門家)には、東北地震発災直後の災害対応体験を共有頂く共に、災害査定制度や被害報告データもご提供頂いた。現在も続く大震災の対応で多忙な最中、各種データ整理や提供にご協力頂いたことに対し、心からお礼を申し上げます。

さらに被災局となった東北及び関東両農政局防災課各位には超多忙な中で、被害データ整理や復旧工事の進捗状況等の情報提供頂く等、この上なくお世話になりました。特に東北農政局防災課防災係長佐藤幸太郎様と関東農政局元防災課長古木信也様(平成25年3月定年退職)には、関係県からの被害データを入手頂くと共に、著者の研究に対しても適宜、被災地の現況を踏まえた貴重な助言を頂き、さらに元資源課地質官大塚文哉様(現農村振興局農村環境課課長補佐)には、群馬県内被災ため池に関する数々の資料をご提供賜りました、本当に有り難うございました。

本研究は、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において実施したものであり、研究を遂行するに当たって、多くの上司・同僚各位から有形無形の御助力及びご助言を頂きました。特に前施設工学研究領域長毛利栄征博士(現茨城大学農学部教授)には、ため池全般及び耐震研究に関して貴重なご助言を頂いた。また、本研究のベースとなった「ため

池DB」は、元来、施設工学研究領域広域防災担当の研究成果として引き継がれており、前担当上席研究員川本治博士（現日本大学農学部教授）始め、現担当各位には、本研究始動当初から全面的な協力を頂き、取りまとめに当たって貴重な助言を頂いた。さらに防災研究調整役着任よりご同室戴いている上席研究員中里裕臣博士及び久保田佐和子様からの全面的なサポートに対しては、感謝の言葉も見つかりません。

最後に東京農工大学博士課程小嶋創様には、修士課程時代から本研究に協力頂き、現地調査やデータ整理を手伝って頂きました。本研究は、これらの方々を含む多くの諸氏とのご縁と、ご指導、ご援助の賜と存じます。ここに記して深謝の意を表します。

引用文献

- Asano, K. and T. Iwata (2012): Source model for strong ground motion generation in the frequency range 0.1-10 Hz during the 2011 Tohoku earthquake, *Earth Planets Space*, **64**, 1111-1123
- Suzuki H, Kohgo Y (2014): Relationships between Seismic Intensities and Damages to Earth Dams for Irrigation during the 2011 Offshore Pacific Coast Tohoku Earthquake, *PWE*
- 秋葉満寿次 (1594) : 昭和28年6月の豪雨による九州災害調査報告, *農業土木研究*, **22(3)**, 1-177
- 秋葉満寿次・仙葉秀 (1941) : 秋田県男鹿地震と溜池被害, *農業土木研究*, **13(1)**, 31-59
- 雨森常夫 (1939) : 雨量の分布と耕地災害, *農業土木研究*, **11(2)**, 157-162
- 雨森常夫 (1940) : 淡路の溜池破壊が農業経営に及ぼす影響並に之が復舊対策に就て, *農業土木研究*, **12(1)**, 1-9
- 雨森常夫・山下源彦 (1948-1949) : 溜池による洪水防止並に其の灌漑発電用水源としての利用性に關する調査研究 (豫報), *農業土木研究*, **16(3-4)**, 111-112
- 有田博之 (2009 a) : 新潟県中越地震における災害査定の特徴と課題, *農業農村工学会論文集*, **77(1)**(通号 **259**), 93-98
- 有田博之・湯澤顕太 (2009 b) : 2004年新潟県中越地震における農業生産基盤の小規模被害と復旧対策, *農業農村工学会論文集*, **77(4)**(通号 **262**), 417-422
- 五十嵐太郎編 (2013) : 見えない震災 建築・都市の強度とデザイン, みすず書房, 9月
- 石橋 豊 (1939) : 本邦高土堰堤に於ける堤高と堤頂幅との關係に就ての統計的研究, *農業土木研究*, **11(4)**, 341-347
- 石橋 豊 (1942) : 本邦高土堰堤に於ける堤高と内法並に外法勾配との關係に就ての統計的研究, *農業土木研究*, **14(3)**, 141-147
- 井上 勇 (1937) : 土堰堤断面決定に際し天幅率と内外法率との關係に就て, *農業土木研究*, **9(2)**, 17-24
- 大崎順彦 (1983) : 「地震と建築」, 岩波新書 (黄版) 240
- 片岡 謙 (1929) : 農業土木研究の發刊に際して, *農業土木研究*, **1(1)**, 1-6
- 可知貫一 (1915a) : 岐阜県下耕地整理地区溜池一覽表に就て, *耕地整理研究会報*, **20号**, 32-36
- 可知貫一 (1915b) : 岐阜県可見郡小泉村耕地整理地区溜池直営工事概況, *耕地整理研究会報*, **20号**, 60-68
- 可知貫一 (1932) : 京都府巨椋池干拓と其の沿岸耕地改良事業, *農業土木研究*, **4(4)**, 341-358
- 可知貫一 (1937) : 追憶 上野博士と将来の農業土木, *東京大学農学部農業工学科八十周年記念誌*, *東京大学農業工学同窓会*, 昭和59年, 54-56
- 気象庁 (2009) : 気象庁震度階級の解説, 平成2年3月
- 小池一之 (1965) : 阿武隈川中流域の地形 (短報), *地理学評論*, **38**, 519-525
- 功刀 卓・青井 真・鈴木 亘・中村洋光・森川信之・藤原広行 (2012) : 2011年東北地方太平洋地震の強震動, *防災科学技術研究所, 主要災害調査*, **48**, 67
- 小島寛之 (2006) : 完全独習 統計学入門, *ダイヤモンド社*, 9月
- 小林範之・吉武美孝・勝山邦久・岡林千江子 (2002) : ため池地震危険度評価システムの構築, *農業土木学会論文集*, **70(6)**, 69-75
- 小林宏康 (2008) : 平成19年 (2007年) 能登半島地震及び新潟県中越沖地震における農村工学研究所の対応と技術支援力の強化, *農村工学研究所技報*, **208**, 1-13
- 小林道正 (2012) : でたためにひそむ確立法則 地震発生確率87%の意味するもの, 岩波書店, 7月
- 澤田敏男 (1949-1950) : 滲透水の流動に關する研究, *農業土木研究*, **17(2-3)**, 57-68
- 重松逸造 (1997) : 疫学とはなにか 原因追究の科学, *講談社*, 6月
- 清水 誠 (1996) : データ分析 はじめの一步, *講談社*, 10月
- 白石英彦・岩崎和巳・大西亮一・伊藤喜一 (1980) : 新潟平野における6.26豪雨について, *農業土木試験場技報*, **B**, 水理, **48号**, 1-26
- 鈴木尚登 (1987) : 我が国農業構造変動の定量的分析・マルコフモデル及び地域変動特性の分析-, *埼玉大学 政策科学研究科修士論文*
- 鈴木尚登・中里裕臣 (2012) : 平成23年 (2011年) 東日本大震災における農村工学研究所の対応と農地・農業用施設等の被害実態, *農村工学研究所技報*, **213**, 1-21
- 鈴木尚登・花岡茂樹・森瀧亮介・柳浦良行 (2007) : 巨椋池干拓の「作業日誌」に見る可知氏の設計思想, *農土誌*, **75(2)**, 97-100
- 高岡恭三 (1984) : 1983年日本海中部地震調査報告, *農業土木試験場技報*, **Nov-84(3)**, 1-42
- 高瀬国雄・天野 充・山下 進 (1966) : 地震によるアースダムの被害, *土と基礎*, **(14)10**, 3-9
- 高瀬国雄 (1967) : アースダムの安全性に關する統計的研究, *京都大学学位論文*
- 高月豊一・南 勳 (1955) : アースダム法面安定に關する一考察, *農業土木研究*, **23(4)**, 199-206
- 高月豊一・南 勳 (1956) : アースダム滑動安定に対する静力学的考察, *農業土木研究*, **24(4)**, 187-192

- 谷 茂 (1985) : 1983年日本海中部地震によるため池の被害調査報告, 農業土木試験場技報, CE, 造構, 4号, 1-92
- 谷 茂・長谷川高士 (1987) : 日本海中部地震を中心とした溜池の地震被害, 農土誌, (55) 10, 17-25
- 谷 茂・長谷川高士 (1990) : 溜池堤体材および基礎地盤の土質工学的性質, 農業土木学会論文集, **150**, 57-65
- 谷 茂・長谷川高士 (1991) : 溜池の地震時安全性の評価法, 農業土木研究, **152**, 55-64
- 谷 茂 (1995) : 北海道に被害をもたらした地震におけるフィルダムの挙動について, 農業工学研究所技報, Mar-95 (**192**), 17-39
- 谷 茂 (1998a) : 宮城県北部地震による農業施設の地震被害調査報告, 農業工学研究所技報, **196**, 29-43
- 谷 茂・堀 俊和 (1998b) : 日本におけるため池を含めた農業用フィルダムの地震被害に関する研究, 農業工学研究所報告, **37**, 51-90
- 谷 茂 (2005) : ため池リアルタイム防災データベースの開発, 農土誌, **73(9)**, 817-820
- 谷 茂 (2006) : 農地・農業用施設被害の概要について, 農業工学研究所技報, Mar-06 (**205**), 1-4
- 東北農政局 (1984) : 「日本海中部地震」-土地改良施設の災害と復旧-
- 中里裕臣・井上敬資・海野寿康 (2007) : GISを利用した農地地すべり予測システムの開発, 農業農村工学会誌, **75(11)**, 979-982
- 中島淳一郎 (1979) : 宮城県沖地震による土地改良施設災害の実態と一考察, 農土誌, **47(6)**, 409-418
- 新潟地震調査報告 (1965), Oct-**65(1)**
- 農業土木学会編 (1934) : 本邦高土堰堤誌, 農業土木研究臨時刊行, 1934年6月
- 農業土木学会編 (1937) : 水害防止協議会決定事項 (抄録), 農業土木研究, **9(1)**, 89-95
- 農業土木学会伊勢湾台風災害対策特別委員会 (1960) : 伊勢湾台風災害対策調査報告書, 農業土木研究, **28(2)**, 59-81
- 伯野元彦 (1992) : 「被害から学ぶ地震工学」-現象を素直に見つめて-, 鹿島出版会
- 畑中元弘 (1952) : 土堰堤の振動に関する三次元的考察-自由振動について-, 土木学会誌, **37(10)**, 423-428
- 福島県農業用ダム・ため池耐震性検討委員会 (2012) : 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, 3
- 藤井弘章・難波明代・西村伸一・島田 清・西山竜朗 (2005) : 兵庫県南部地震による淡路島北部5町のため池被害・無被害要因の多変量解析, 自然災害科学**24-1**, 59-78
- 堀 俊和・上野和広・松島健一 (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, 農村工学研究所技報, **213**, 175-199
- 松尾欣二 (1937) : 技術的に見たる往古の農業土木事業, 農業土木研究, **9(4)**, 15-17
- 南 勲 (1960) : アースダム耐震性に関する一実験, 農業土木研究, **28(1)**, 51-52
- 村井俊治 (2011) : 東日本大震災の教訓-津波から助かった人の話-, 古今書院, 8月
- 毛利栄征 (1985) : 1983年日本海中部地震によるパイプラインの被災調査報告, 農業土木試験場技報, Nov-**85(4)**, 93-147
- 毛利栄征・堀 俊和・松島健一・有吉 充 (2006) : 平成16年 (2004年) 新潟県中越地震によるため池と集落排水施設の被災, 農業工学研究所技報, **205**, 61-76
- 毛利栄征・谷 茂・堀 俊和・有吉 充・増川 晋・田頭秀和・林田洋一 (2008a) : 平成19年 (2007年) 新潟県中越沖地震によるため池の被害, 農村工学研究所技報, **208**, 75-88
- 毛利栄征・堀 俊和・有吉 充・林田洋一・谷 茂 (2008b) : 平成19年 (2007年) 能登半島地震によるため池の被害, 農村工学研究所技報, **208**, 15-23
- 森瀧亮介・鈴木尚登 (2007) : 食料安全保障と第1号国営巨椋池干拓事業の成立背景, 農土誌, **75(2)**, 93-96
- 守屋正博・高岡恭三・山下 進 (1968) : 十勝沖地震によるアースダムの被害調査とその考察, 土と基礎, **541**, 39-45
- 守屋正博・高岡恭三・山下進 (1969) : アースダムの被害, 1968年十勝沖地震調査報告, 農業土木試験場技報, F, 総合, 3号, 1-10
- 山崎 晃・三宅克之・中村正博・池見 拓 (1989a) : ため池の地震被害の分析, 土木学会論文集, **404/I-2**, 361-366
- 山崎 晃・三宅克之・中村正博・池見 拓 (1989b) : 地震被害を受けたため池の悉皆調査に基づく被災率, 土木学会論文集, **404/I-2**, 367-374
- 山崎不二夫 (1935) : 農業造構學の概念, 研究対象, 研究範囲及び研究方法, 農業土木研究, **7(2)**, 29-40
- 山下 進 (1965) : アースダムの被害, 農業土木試験場技報, F, 総合, 1号, 59-86
- 和久井清次 (1932) : 高堰堤の地質學的考察, 農業土木研究**4(3)**, 299-314
- 涌井良幸・涌井貞美 (2010) : 史上最強凶鑑これならわかる! 統計学, ナツメ社, 10月
- 和田 保 (1937) : 土堰堤の断面決定に就て, 農業土木研究, **9(4)**, 105-111
- 和田 保 (1965a) : 農業土木の現状と将来, 農業土木学会論文集, **32(6)**, 36-39
- 和田 保 (1965b) : 農業土木の現状と将来, 農業土木研究, **32(6)**, 36-39
- http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/kyoshin/kaisetsu/calc_sindo.htm
- <http://www.j-shis.bousai.go.jp/map/JSHIS2/download..htm>

Study on damage factors to earth dams for irrigation due to earthquake motions

– In the Case of the 2011 Offshore Pacific Coast Tohoku Earthquake –

SUZUKI Hisato*

*Department of Planning and General Administration, Coordinator for Disaster Prevention Research

Abstract

There are approximately 210 thousand earth dams for irrigation in Japan. The 2011 Offshore Pacific Coast Tohoku Earthquake damaged a large number of dams and a breach of Fujinuma dam caused reservoir water flooding that killed 7 people and left one person missing. It is necessary to estimate the damage risks of dams that cause serious damage because of earthquakes occurring frequently in Japan. In this study, to clarify factors related to the seismic damages of dams, the author analyzed the relationships between damaged and non-damaged dams from the Tohoku Earthquake using the Japan Meteorological Agency seismic intensity, earth dams data base and damage collection from administrative organizations. In the process, the following indexes were introduced: 1 km mesh seismic intensities, damage ratio, angle of dam axis with respect to the epicenter, types of geographical features, and dimensional shape parameter. We found that the damage ratio increased with an increase in seismic intensity when dam axes were normal to the epicenter with a specific geographical location and dimensional shape.

Key words: Tohoku Earthquake, earth dam, seismic damage, estimated seismic intensity, damage ratio, damage factor, damage risk

Appendix-1 農地・農業用施設と自然災害に関する研究文献 (農業農村工学会)

年	タイトル	著者	巻号・年	ページ
農業土木研究(1929-1965)				
1929	☆ 農業土木研究の發刊に際して	片岡 謙	1(1)1929	1-6
1930	△ 鐵筋コンクリート設計資料一	大淵 貞榮	2(1)1930	73-92
	△ 溜池水利計畫例	君塚 貢	2(2)1930	159-179
	△ 中空式鐵筋混凝土堰堤の理論と設計	木村 久満	2(3)1930	249-268
1931	☆ 農業土木ハンドブック發行(農業土木学会編)			
1931	△ 轉動堰堤(ローリング・ダム)の理論と設計例	木村 久満	3(2)1931	237-280
1932	△ 廣頂堰に就て	古市 與一	4(2)1932	139-149
	○ 高堰堤の地質學的考察	和久井清次	4(3)1932	299-314
	☆ 京都府巨椋池干拓と其の沿岸耕地改良事業	可知 貫一	4(4)1932	341-358
1934	☆ 本邦高土堰堤誌	農業土木学会編	1934. 6月	1-94
1935	△ 堰底に作用する揚壓力の分布	狩野 徳太郎	7(1)1935	1-4
	△ 農業造構學の概念, 研究對象, 研究範圍及び研究方法	山崎不二夫	7(2)1935	29-40
	△ 彈性基礎上の函渠の受くる應力計算	柴田 道生	7(2)1935	51-57
	○ 災害河川の流量と搬出砂礫との關係に就て	雨森 常夫	7(2)1935	59-78
	○ 軟弱地盤に施工せる築堤沈下の力學的解析	柴田 道生	7(3)1935	51-64
1936	☆ 何故我が農業移民は北滿に迭るか	加藤 久男	8(1)1936	1-15
1936	△ 大阪府泉北郡光明池支配地域用水改良事業	青木 勝治	8(2)1936	17-40
1936	△ 宮崎縣杉安堰用水改良工事報告	柳原 鹿松	8(2)1936	41-52
	○ 「セメントグラウチング」に関する報告	前川 純三	8(3)1936	61-70
	○ 鋼土の粘着力に及ぼす石灰の影響	山崎不二夫	8(4)1936	31-40
1937	△ 群馬縣勢多郡新里村外五箇村用水改良事業として施行せる土堰堤工事とその歩掛りの一部に就て	齋藤美千司	9(1)1937	39-48
	△ 滋賀縣淡海溜池の設計とその完成後の概況		9(1)1937	71-86
	○ 水害防止協議會決定事項(抄録)		9(1)1937	89-95
	○ 粘質土の剪斷抵抗	山崎 不二夫	9(2)1937	7-16
	○ 土堰堤断面決定に際し天幅率と内外法率との關係に就て	井上 勇	9(2)1937	17-24
	☆ 技術的に見たる往古の農業土木事業	松尾 欣二	9(4)1937	15-17
	○ 二和土の締固め	山崎不二夫	9(4)1937	19-26
	○ 土堰堤基礎調査とグラウチングの實例に就て	柴田 道生	9(4)1937	91-94
	○ 土堰堤の断面決定に就て	和田 保	9(4)1937	105-111
	△ 犬走の効果及其位置に就て	緒方 末松	9(4)1937	119-123
1938	△ 福島縣本宮町外一ヶ村農業水利事業三森溜池取水塔と分水装置	澁川 幸雄	10(3)1938	363-372
1939	○ 土堰堤堤體の透水調査法として簡便なるパイプ試験	後藤 與治, 下川 善之	11(1)1939	12-17
	○ 雨量の分布と耕地災害	雨森 常夫	11(2)1939	157-162
	○ 本邦高土堰堤に於ける堤高と堤頂幅との關係に就ての統計的研究	石橋 豊	11(4)1939	341-347
1940	○ 淡路の溜池缺壊が農業經營に及ぼす影響並に之が復舊對策に就て	雨森 常夫	12(1)1940	1-9
	☆ 蒙疆の土地改良と水利問題	師岡 政夫	12(2)1940	113-114
	☆ 北支那に於ける水害と其の對策	藤井 順治	12(3)1940	157-171
	☆ 國土計畫に就いて	溝口 三郎	12(3)1940	178-204

	△ 本邦高土堰堤の工事費に就ての統計的研究	石橋 豊	12(4)1940	228-246
1941	◎ 秋田縣男鹿地震と溜池被害	秋葉満壽次, 仙波 秀男	13(1)1941	31-59
	☆ 混凝土重力堰堤内應力の計算例	立山 一徳	13(2)1941	112-126
	△ 溜池の池敷係數に就て	石橋 豊	13(3)1941	204-222
	☆ 佛印に於ける水利事業 (譯)	和田 保, 戸塚 正夫	13(3)1941	223-251
	☆ 佛印に於ける水利事業 (譯)(續)	和田 保, 戸塚 正夫	13(4)1941	283-308
	○ 土堰堤築堤材料の締固に就て (抄譯)	菊岡 武男	13(4)1941	309-315
1942	☆ 朝鮮の洪水	中村總七郎	14(1)1942	37-44
	☆ 農業土木事業に於ける學生々徒集團勤勞作業に関する調査研究 (序報)	石橋 豊	14(2)1942	104-109
	○ 本邦高土堰堤に於ける堤高と内法並に外法勾配との關係に就ての統計的研究	石橋 豊	14(3)1942	141-147
1943	△ ポートランドセメント混和劑としての初穀利用	松田 俊正	15(1)1943	1-8
	☆ 共榮圏各地農業水利開發に對する基礎的考察の差異	可知 貫一	15(2-3)1943	103-116
	△ 溜池に於ける最大水深と平均水深との相關關係に就て	石橋 豊	15(2-3)1943	311-317
1945	☆ 第二次世界大戦終戦			
1948	△ 溜池による洪水防止並に其の灌漑發電用水源としての利用性に關する調査研究 (豫報)	雨森 常夫, 山下 源彦	16(3-4)1948-1949	111-112
1949	△ 河川の最大洪水量を低減する方策について	雨森 常夫	17(1)1949-1950	23-24
	○ 堰堤下の水流	田中 宏平	17(1)1949-1950	35
	☆ アメリカに於ける OVERHEAD IRRIGATION に就て	吉良 八郎	17(1)1949-1950	41-43
	△ 洪水調節について	廣松 直人	17(1)1949-1950	46-47
	○ 滲透水の流動に關する研究	澤田 敏男	17(2-3)1949-1950	57-68
	△ 洪水対策資料としての農作物浸水被害の實驗 (第1報)	高月 豊一, 吉田茂三郎	17(2-3)1949-1950	95-97
	△ 防水溜池設計計畫の基本的概念	出口 利祐	17(2-3)1949-1950	135-142
1949	☆ 土地改良法の制定			
1950	△ 小阪部川農業水利事業の計畫概要及び堰堤築造コンクリートの二三の調査	上瀧 要美	18(3)1950-1951	224-233
	○ 滲透水の流動に關する研究 (3)	澤田 敏男	18(3)1950-1951	270-280
1950	☆ 昭和25年に農林水産業施設災害復旧事業費国庫補助の暫定措置に関する法律(暫定法)に基づき制定			
1950	☆ 農林省農業技術研究所農業土木部、九州農業試験場干拓部発足			
1952	☆ 土地改良事業計畫設計基準「コンクリート堰堤」編 制定			
1953	△ 統計的に見た温水溜池に關する考察	秋葉満壽次他	21(3)1953.09	151-159
	△ 計畫洪水量に關する順序統計学的考察	角屋 睦	21(3)1953.09	188-195
1953	☆ 土地改良事業計畫設計基準「土堰堤」編 制定			
1954	△ 滲透水の流動に關する研究-5-	沢田 敏男	21(5)1954.01	273-283
	△ 低堰堤の揚圧について	田中 宏平	21(5)1954.01	307-310
	○ アースダムに關する研究 (抄録)		21(5)1954.01	323-329
	△ 可見川石塊堰堤の設計および施行について	林 桂, 荒井 正義	22(2)1954.07	148-160
	○ 昭和28年6月の豪雨による九州災害調査報告	秋葉満壽次	22(3)1954.08	1-177
	○ 水路および貯水池の漏水防止のための疎水性土壤の研究	山崎不二夫	22(4)1954.10	413-414
1955	△ 堰堤溢流面の合理的曲線の一試案	山本 茂	22(6)1955.03	495-500
	△ 潮受堤防の災害復旧についての研究	松尾 欣二	22(6)1955.03	518-525
	△ 伊勢湾の異常潮位に關する一考察	川原 琢磨	23(2)1955.07	81-85
	○ アースダム法面安定に關する一考察	高月 豊一, 南 勳	23(4)1955.11	199-206
1956	△ 土堰堤の締固め過程における間隙圧について-1-	和田 保他	24(1)1956.05	9-12

- | | | | |
|--|-------------------------------------|--------------------|---------|
| ○ 豪雨時アースダムに発生した地這り面の形の解析法 | 高月 豊一他 | 24(1)1956.05 | 18-23 |
| △ 浸透水運動の基礎理論 | 中村 充 | 24(1)1956.05 | 40-44 |
| ○ 前双金を有する堤防の浸透 | 田町 正誉 | 24(3)1956.08 | 125-129 |
| ○ 土の応力と変形についての基礎的考察 | 山田伴次郎他 | 24(3)1956.08 | 130-133 |
| △ 特殊地盤を基礎としたコンクリートダムの設計 | 遠藤 虎松, 山崎 順作
宮本 国雄 | 24(3)1956.08 | 139-144 |
| △ 帯状構造物に及ぼす地盤反力の静力学的影響-6- | 山田伴次郎 | 24(3)1956.08 | 158-166 |
| ○ アースダム滑動安定に対する静力学的考察 | 高月 豊一, 南 勳 | 24(4)1956.10 | 187-192 |
| △ 浸透水運動の基礎理論 (II) | 中村 充 | 24(4)1956.10 | 218-222 |
| 1956 ☆ 土地改良事業計画設計基準「アースダム」編 改定案 | | | |
| 1957 △ 帯状構造物に及ぼす地盤反力の静力学的影響-7- | 山田伴次郎 | 24(6)1957.02 | 329-335 |
| △ 山口県營温見ダムにおける堤体内部温度について | 田中 真, 森 正義
光田 照秀, 木村 一郎
山口 重雄 | 24(7)1957.04 | 383-386 |
| ○ 災害復旧における浸透抑制について | 清水 義雄他 | 24(8)1957.05 | 417-419 |
| △ 地層の電気比抵抗と透水係数 | 桂山 幸典 | 24(8)1957.05 | 421-422 |
| ○ 第12号台風による南児島塩害について | 小林 清 | 24(8)1957.05 | 439-440 |
| 1958 △ 紀の川新六箇頭首工災害復旧工事におけるイントリユージョン工法とガンクリート | 高橋 三夫 | 25(5)1958.02 | 325-328 |
| △ 豊沢川ダムにおけるコンクリートの品質管理について | 秋篠 憲作 | 25(8)1958.05 | 462-464 |
| △ 地スベリに対する一考察 | 吉原 公男 | 25(8)1958.05 | 506-507 |
| 1959 △ 破碎帯地スベリについての考察-1- | 高橋寅吉他 | 26(7)1959.03 | 438-440 |
| △ Vega ダムの施工とその管理について | 中原 通夫 | 27(1)1959.05 | 29-33 |
| 1959 ☆ 農林省農地局建設部実験研修室発足 | | | |
| 1960 △ 榭沢ダムのクラッシングプラントの設計とその実績について | 北山 定一, 朝倉 愿
荒ヶ田国和, 北村 純一 | 27(7)1960.03 | 440-442 |
| △ 土えん堤かさ上げの設計一例 | 矢上 光男
滝口 賢三, 近藤 庄平
泉川 利雄 | 27(8)1960.04 | 494-496 |
| △ 大夕張ダムのコンクリート打設について | 榭原 高男, 橋本 吉夫 | 27(8)1960.04 | 518-521 |
| ○ アースダム耐震性に関する一実験 | 南 勳 | 28(1)1960.06 | 51-52 |
| ○ 伊勢湾台風災害対策調査報告書 | 農業土木学会伊勢湾台風
災害対策特別委員会 | 28(2)1960.08 | 59-81 |
| △ 高潮について | 宮崎 正衛 | 28(2)1960.08 | 82-86 |
| 1961 ☆ 農業基本法の制定 | | | |
| 1961 ☆ 3機関を母体に農林省農業土木試験場設立 | | | |
| 1961 ☆ 災害対策基本法の制定 | | | |
| 1961 ☆ 新農村建設とは何か | 小倉 武一 | 29(6)1961.12 | 241-243 |
| ☆ 農業基本法と農業土木の将来 | 堀 真治 | 29(6)1961.12 | 261-262 |
| ☆ 農業基本法と農業土木の将来 | 和田 保 | 29(6)1961.12 | 269-274 |
| ☆ 農業土木の技術学・工学および基礎学 | 山崎不二夫他 | 29(6)1961.12 | 50-52 |
| 1963 △ 関東ロームの粒度分析 火山灰土の物理性の研究 | 多田 敦他 | 別冊(通号5)
1963.01 | 17-23 |
| △ 堤防の津波対策に関する水理学的研究-1-3- | 福井 芳朗他 | 別冊(通号5)
1963.01 | 31-48 |
| 1964 △ 刀利アーチダムの設計について | 久徳 茂雄, 八木 直樹 | 31(5)1964.01 | 251-257 |
| 1965 ☆ 農業土木の現状と将来 | 和田 保 | 32(6)1965.02 | 36-39 |
| 農業土木会論文集('66-'07) | | | |
| 1966 ○ 建設中のアースダム堤体内間ゲキ水圧の解析について | 沢田 敏男他 | 15)1966.03 | 16-20 |
| 1966 ☆ 土地改良事業計画設計基準「フィルダム」編 改定案 | | | |
| 1968 △ 積雪災害度の気候学的表示 | 中峠 哲朗 | 23)1968.03 | 9-18 |

	△ 複合ダム接合部に関する研究 (I) 複合ダム接合部の応力解析と形状設計	沢田 敏男, 辻 誠一	23) 1968. 03	25-28
1969	○ アースダムの振動性状に関する一解析法	沢田 敏男他	28) 1969. 06	17-21
	△ 岩盤内を伝バする弾性波の特性について	沢田 敏男他	28) 1969. 06	22-28
	△ ホローダムの振動性状に関する解析的研究	沢田 敏男他	30) 1969. 12	12-20
	△ 内の倉ホローダムの設計に関する研究	沢田 敏男他	30) 1969. 12	21-26
1971	「河川管理設計等構造令」の施行			
1972	○ 締固め土のクリープについて 締固め土の力学的性質について (II)	鳥山 暁司	40) 1972. 04	67-72
	△ 表面沈下量による締固め度の判定 フィルダムの締固めに関する実験的研究(I)	藤井 弘章他	41) 1972. 07	49-55
	△ 貫入抵抗による締固め効果の判定 フィルダムの締固めに関する実験的研究(II)	藤井 弘章他	41) 1972. 07	56-61
	△ 土圧計の検定ならびにその埋設における問題点について フィルダムの締固めに関する実験的研究(III)	藤井 弘章他	41) 1972. 07	62-69
	△ 締固め機械によって生ずる力について フィルダムの締固めに関する実験的研究(IV)	藤井 弘章他	41) 1972. 07	70-77
	△ タイヤローラーによって生ずる地中応力 フィルダムの締固めに関する実験的研究(V)	藤井 弘章他	42) 1972. 10	35-41
	△ 振動ローラーによって生ずる地中応力 フィルダムの締固めに関する実験的研究(VI)	藤井 弘章他	42) 1972. 10	42-46
	△ 振動ローラーによる締固め地盤の動的性質の推定 フィルダムの締固めに関する実験的研究(VII)	藤井 弘章他	42) 1972. 10	47-53
1973	○ フィルダムの地震時応力解析-1-フィルダムの固有モードについて	青山 咸康他	46) 1973. 08	49-55
	○ 有限要素法による堤体および基礎における浸透流解析	沢田 敏男他	47) 1973. 10	16-21
	○ フィルダムの地震時応力解析-2-フィルダムの地震応答解析について	青山 咸康他	47) 1973. 10	22-34
	△ コンクリートダム施工計画の最適化に関する研究-1-ダムコンクリート打設に関する最適な順序付け	浅井喜代治	47) 1973. 10	35-43
1974	△ コンクリートダム施工計画の最適化に関する研究-3-型ワク人夫数の制限を考慮した修正 PERT 計算の適用例とその考察	浅井喜代治	49) 1974. 02	35-40
	○ 締固め土の力学的性質について-4-締固め土のクリープへの含水比の影響	鳥山 暁司	52) 1974. 08	35-40
	○ 締固め土の力学的性質について-5-含水比によるクリープ後の締固め土のせん断特性の変化	鳥山 暁司	53) 1974. 10	33-38
1975	△ 破壊面の応力解析による残留強度の決定	藤川 武信, 宜保 清一	57) 1975. 06	33-38
	○ 特殊外力条件に対するフィルダムの設計-1-自動車走行によって発生するアースダム堤体挙動の特性	沢田 敏男, 長谷川高士 内田 一徳	58) 1975. 08	27-32
	○ 土の締固めにおける水分の役割に対する一考察	近藤 武	58) 1975. 08	21-26
	△ 構造物最適設計に対する FEM の適用	長谷川高士	59) 1975. 10	35-45
	○ 特殊外力条件に対するフィルダムの設計-3-堤頂に自動車道路をもつフィルダムの安定解析と結果の設計への適用	沢田 敏男, 長谷川高士 内田 一徳	59) 1975. 10	53-61
	△ 特殊外力条件に対するフィルダムの設計-2-自動車走行外力のシミュレーションと非線形応力解析	沢田 敏男, 長谷川高士 内田 一徳	59) 1975. 10	45-52
	○ アースダムの三次元浸透流解析	沢田 敏男, 渡辺 忠 吉武 美孝	60) 1975. 12	49-54
1976	△ 締固め土の力学的性質について-6-締固め土のクリープへの側圧の影響	鳥山 暁司	61) 1976. 02	31-36
	△ 締固め土の力学的性質について-7-クリープを受けた締固め土のせん断特性への側圧の影響	鳥山 暁司	62) 1976. 04	28-33
	△ 擬似地震動下 アースダムの応力挙動 [英文]	青山 咸康	65) 1976. 10	65-72
1977	○ アースダムの三次元浸透流解析-流量および浸出点について	沢田 敏男, 渡辺 忠 吉武 美孝	70) 1977. 08	46-51
1978	△ 三軸圧縮試験における土の応力と変形について	井上 宗治	74) 1978. 04	75-81
	○ FEM による斜面安定解析の一手法-最適設計過程としての斜面安定解析-1-	長谷川高士	74) 1978. 04	67-74
	○ 最適設計過程としての斜面安定解析-2-設計過程の構成	長谷川高士	75) 1978. 06	76-80
	△ 締固め粘性土のせん断特性へのヒズミ速度の影響	鳥山 暁司	78) 1978. 12	45-50
	△ 正規圧密粘土の体積変化特性について	沢田 敏男, 長谷川高士 鳥田 清	78) 1978. 12	31-39
	△ 日本における貯水池の捕ソク率と土砂収支	吉良 八郎	78) 1978. 12	16-23
1979	○ Three dimensional free vibrations of embankment dams	Shigeyasu Aoyama	79) 1979. 02	47-54
	△ 貫入深さを考慮に入れたコーン貫入抵抗の三次元的解析	藤川 武信, 甲本 達也	79) 1979. 02	33-38
	△ シラスの直接せん断強さに及ぼす粒子分布の影響	藤川 武信, 三輪 晃一	79) 1979. 02	39-46
	△ 最適設計過程としての斜面安定解析-3-動的状態に対する斜面安定性の解析	長谷川高士	80) 1979. 04	50-56

	△ 貯水池における滞砂分布の経験的予測	吉良 八郎, 広瀬 哲夫 大田 恵司	80)1979. 04	32-41
	△ ダイレタンシー特性と有効応力変化 発生間ゲキ水圧との関係	吉田 昭治	80)1979. 04	42-49
	△ フィルダムの震動解析-1-内部減衰力の評価と減衰モデルに関する一つの提案	沢田 敏男, 長谷川高士 菊沢 正裕	81)1979. 06	76-86
	△ フィルダムの締固めに関する実験的研究-9-ブルドーザーによる締固め地盤内の地中応力	藤井 弘章, 沢田 敏男 渡辺 忠	81)1979. 06	94-103
	△ 集中豪雨による改良山成畑の崩壊について	福岡 喜弘, 宮崎 毅 井上 久義	81)1979. 06	9-16
	○ フィルダムの震動解析-2-複合減衰モデルの実ダム動的解析への適用	沢田 敏男, 長谷川高士 菊沢 正裕	82)1979. 08	58-64
	△ 正規圧密粘土の CU・CD 試験時におけるセン断ヒズミについて	島田 清	83)1979. 10	30-37
	△ フィルダムの締固めに関する実験的研究-10-ブルドーザーの地中応力波形モデルの設定と実測波形	藤井 弘章, 沢田 敏男 渡辺 忠	83)1979. 10	44-55
1980	○ 締固め粘性土のセン断特性の水浸および締固め含水比による変化	鳥山 暁司	85)1980. 02	56-62
	○ Hardin 型復元力を有する振動系の応答性状	青山 咸康	86)1980. 04	51-56
	△ 不連続面へのジョイント要素の導入について-有限要素法による盛土斜面の解析-1-	永井 啓一, 中谷 三男	86)1980. 04	57-63
	△ 表面流出を伴う豪雨時の出水解析について	武上成比古	86)1980. 04	36-41
	○ 一次元上昇浸透流による砂柱の破壊に関する理論的研究-2-一次元二層系砂柱の浸透破壊問題	沢田 敏男, 長谷川高士 田中 勉	89)1980. 10	48-54
	○ 一次元三層系砂柱の浸透破壊問題-一次元上昇浸透流による砂柱の破壊に関する理論的研究-3-	沢田 敏男, 長谷川高士 田中 勉	90)1980. 12	63-73
	△ 土性と飛散侵食について-土の初期水食に関する土質理工学的研究-1-	藤川 武信, 内田 勝利	90)1980. 12	1-8
1981	△ 傾斜地盤上の盛土斜面の安定解析に関する一考察-有限要素法による盛土斜面の解析-2-	永井 啓一, 中谷 三男	94)1981. 08	55-60
	○ 初期剪断応力を受けた土の動的強度	長谷川高士, 内田 一徳 立石 卓彦	94)1981. 08	61-71
	○ アースフィルダム築堤材料の動的変形特性の定量化-初期剪断応力を受けた土の動的特性-3-	内田 一徳, 長谷川高士	94)1981. 08	72-81
	○ 振動台模型実験におけるフィルダムの動的挙動-フィルダムの動的特性に関する研究-1-	長谷川高士, 菊沢 正裕	95)1981. 10	57-64
	△ 一次元上昇浸透流による砂柱の破壊に関する理論的研究-5-限界時の残留有効応力と砂層の安定性	田中 勉, 長谷川高士	96)1981. 12	36-40
	△ 三軸圧縮供試体内の間隙水圧分布について	井上 宗治	96)1981. 12	49-57
	△ 材料及び幾何学的非線形性をとり入れた地盤・土構造物の静的解析	田中 忠次	96)1981. 12	64-71
	△ ローラーによる砂質ロームの締固め効果に関する実験的研究	吉田 勲, 河野 洋	96)1981. 12	41-48
	○ フィルダムの動的特性に関する研究-2-フィルダムの動的解析及び動的変形特性の同定	長谷川高士, 菊沢 正裕	96)1981. 12	20-29
1981	☆ 土地改良事業計画設計基準「ダム」編 制定 (「コンクリートダム」及び「フィルダム」を統合)			
1982	☆ 老朽ため池整備便覧を作成			
1983	△ 境界要素法によるフィルダム浸透流量に関する一考察	近藤 武, 河端 俊典	104)1983. 04	81-87
	△ 飽和-不飽和浸透流解析法とその適用上の問題点について-フィルダムの飽和-不飽和浸透特性-1-	長谷川高士, 森井 俊広	105)1983. 06	69-75
	△ フィルダムの定常および非定常浸透特性-フィルダムの飽和-不飽和浸透特性-2-	長谷川高士, 森井 俊広	107)1983. 10	1-8
	△ フィルダム監査廊の応力変形解析	長谷川高士, 内田 一徳	108)1983. 12	33-44
	△ 深山ダムの静的計測データの解析-表面アスファルト遮水壁型ロックフィルダムの挙動-1-	長谷川高士他	108)1983. 12	45-54
	○ 深山ダムの地震応答データの分析と動的挙動の予測-表面アスファルト遮水壁型ロックフィルダムの挙動	長谷川高士他	108)1983. 12	55-63
1984	△ フィルダム監査廊の応力特性-鉄筋コンクリート断面の解析-1-	石黒 覚, 中谷 三男 長谷川高士	110)1984. 04	19-28
	△ フィルダム監査廊の断面設計-鉄筋コンクリート断面の解析-2-	石黒 覚, 中谷 三男 長谷川高士	110)1984. 04	29-38
1984	☆ 1983年日本海中部地震・土地改良施設の災害と復旧			
1985	△ 浪岡ロックフィルダムの常時微動解析	長谷川高士, 菊沢 正裕 松本 伸介	115)1985. 02	41-47
	△ 実地震波観測記録に基づくフィルダムの動的物性値の推定	長谷川高士, 菊沢 正裕 松本 伸介	115)1985. 02	49-54
	△ 有限要素法による材料非線形性を考慮した Biot 圧密方程式の解析	向後 雄二	115)1985. 02	25-32
	△ 監査廊コンクリート打設時温度分布の境界要素解析	青山 咸康, 白滝 山二	116)1985. 04	67-77
	○ 日本海中部地震津波による熊石漁港内の水理現象と漁船避難への影響に関する研究	早瀬 吉雄	117)1985. 06	53-60
	△ 締固め方法の違いから見た土の充填特性	吉田 力	120)1985. 12	47-53
	△ 自然降雨の雨滴径分布と降雨エネルギーの理論的考察 [英文]	南 信弘, 小椋 正澄 藤原 輝男	120)1985. 12	29-35

1986 △ 加古川西部地区溜池群の貯水量変動特性—溜池地域の水管理に関する研究-1— 藤井 秀人, 南 勲 122) 1986. 04 19-28
 ○ アースダムの動弾性模型実験と3次元固有値解析 安中 正実 124) 1986. 08 19-25
 △ Kalman フィルタによるダム漏水量の予測—ダムの安全性管理 長谷川高士, 村上 章 126) 1986. 12 1-8
 △ Characteristics of soil erosion caused by rain water flow-5-A Method of Estimating Soil Loss in Inclined Fields Tatsuro Kusaka 126) 1986. 12 41-49
 △ 雨裂からの土砂流出に関する解析 高木 東, 中野 政詩 126) 1986. 12 51-58
 1987 △ 溜池水量に対する満足度規定要因の分析—溜池地域の水管理に関する研究-3— 藤井 秀人, 南 勲 129) 1987. 06 39-47
 ○ 地盤・斜面崩壊の3次元有限要素解析—動的緩和法の適用 田中 忠次, 川本 治 131) 1987. 10 79-86
 ○ Endochronic 理論に基づく砂の繰返し3軸試験の液状化解析 田中 忠次, 谷 茂 132) 1987. 12 50-61
 △ 締固め不飽和土の2, 3の圧縮特性について 鳥山 暁司 132) 1987. 12 63-70

1988 ☆ 農林水産省農業工学研究所へ改組・設立

1989 △ 粘性土の圧縮指数と物理特性の相関関係について 内田 一徳, 長谷川高士 141) 1989. 06 115-119
 ○ 深田ダムの3方向地震入力3次元動的解析 安中 正実 141) 1989. 06 79-87
 ○ モード重畳法を用いたフィルダムの3次元動的有限要素解析法 安中 正実 141) 1989. 06 71-78
 1990 ○ 「モード重畳法を用いたフィルダムの3次元動的有限要素解析法」について(安中正実「農土論集」141号71-78, 1989掲載) 安中 正実回答 145) 1990. 02 99-101
 ○ 土石流災害記録のある小流域における流入土砂量の推定 中島賢二郎, 渡辺 敏 149) 1990. 10 11-18
 ○ 溜池堤体材および基礎地盤の土質工学的性質 谷 茂, 長谷川高士 150) 1990. 12 57-65
 1991 ○ 溜池の地震時安全性の評価法 谷 茂, 長谷川高士 152) 1991. 04 55-64
 ○ フィルダムの耐震性診断に関する2つの試み—年確率地震加速度スペクトル推定と耐震性の簡易診断システム 青山 咸康, 庄野 和隆 152) 1991. 04 91-99
 △ 砂地盤におけるトラップドエア問題の研究-2-有限要素解析による進行性破壊とスケール効果の検討 田中 忠次, 酒井 俊典 153) 1991. 06 1-10
 △ 堤体内間隙圧分布に関する一解析法 井上 宗治 153) 1991. 06 55-61
 △ 有限要素法によるモデル斜面滑り面上の応力と安全率 国武 昌人 153) 1991. 06 11-21
 △ 剪断帯を伴うひずみ軟化構成モデルと有限要素法による地盤の支持力解析 田中 忠次 154) 1991. 08 83-88
 1992 ○ 変動水圧による液状化を防止するための地表面載荷について 桑原 久実, 玉井 佐一 159) 1992. 06 1-7
 1993 ○ 年最大加速度分布の推定と設計問題への適用—中部地方西部の2地点における地震危険度解析 清水 英良, 仲野 良紀 164) 1993. 04 73-79
 △ 豪雨の波形特性と最大雨量の分布—京都における事例研究 増本 隆夫 164) 1993. 04 105-113
 △ 複峰型豪雨波形の一表現法 角屋 睦, 増本 隆夫 164) 1993. 04 115-123
 △ 積雪層中の融雪水降下過程を考慮した山岳地流域の時間融雪流出解析 秀島 好昭, 星 清 164) 1993. 04 65-71
 1995 ○ フィルダムの地震時挙動に土質基礎の及ぼす影響 増川 晋, 安中 正実 176) 1995. 04 207-213
 ☆ 戦後干拓事業の変遷について—わが国の戦後干拓事業の実態に関する研究 田頭 秀和, 吉武 美孝, 松本 伸介 177) 1995. 06 383-393
 △ The Effect on Seepage through Embankment Dams by the Nonlinear and Anisotropic Characteristics of Permeability Watcharin Gasaluck, Takeshi Kondo, Ken Ohno 178) 1995. 08 449-459
 △ The Estimation of the permeability in the Embankment Dam Watcharin Gasaluck, Takeshi Kondo, Ken Ohno 178) 1995. 08 437-447
 ○ 火山灰粘土質ロームの圧縮および引張の力学的特性に関する実験的研究—農業用溜池の漏水に関する研究-2— 西村 真一, 清水 英良 179) 1995. 10 649-657
 ○ Stability of Earth Dams Subjected to Storms with Changing External Water Levels 仲野 良紀, 森井 俊広, 服部九二雄, 長谷川高士他 180) 1995. 12 777-784
 1996 ○ フィルダムにおける地震時安全率算定の新提案に関する考察 青山 咸康, 稲田 克彦 183) 1996. 06 515-520
 △ コンクリート重力ダムの地震挙動—兵庫県南部地震による呑吐ダムの事例 沢田 敏男, 福川 和彦 183) 1996. 06 529-540
 △ フィルダム基礎の漏水のメカニズムに関する解析的研究—農業用溜池の漏水に関する研究(3) 平野 重久, 西村 真一, 清水 英良 184) 1996. 08 563-569
 △ A Comprehensive Comparison Study on Estimation of Time to Ponding under Rainfall 仲野 良紀, Danyao Zhu, Masashi Nakano, Tsuyoshi Miyazaki 185) 1996. 10 785-795
 △ 干拓地の地震危険度解析 吉武 美孝, 桜井 雄二, 森下 一男他 186) 1996. 12 1027-1036
 1997 △ Cause of Leakage along the Outlet Conduit underneath a Low Fill Dam with Special Reference to Hydraulic Fracturing Samson Ngambi, Ryoki Nakano, Hideyoshi Shimizu 他 65(2) 1997.04 263-272

- | | | | | |
|------|--|---|--|--------------------|
| △ | 石川県能登地域における中山間ため池地帯の水管理 | 北村 邦彦, 喜多威知郎 | 65(2)1997.04 | 315-322 |
| △ | フィルダム取水塔の地震加速度観測と応答解析 | 青山 咸康, 石田昇一郎 | 65(4)1997.08 | 491-497 |
| △ | 降雨の時間集中度を利用した年最大1時間雨量の推定法 | 松田 誠祐, 大年 邦雄
George D. Uligan 他 | 65(5)1997.10 | 639-645 |
| △ | 不飽和土の三軸応力条件下での力学的挙動に対する弾塑性論的解釈 | 向後 雄二, 森山 英樹 | 65(6)1997.12 | 771-781 |
| 1998 | △ 不飽和シルトおよび砂・粘土混合土の三軸応力条件下での体積変化およびせん断挙動 | 向後 雄二, 森山 英樹 | 66(1)1998.02 | 35-49 |
| △ | Fast Solution for Implicit Flood Routing in Channel Networks of General Configuration (一般的なネットワーク河川の洪水解析) | Quang Kim Nguyen, 河野 広 | 66(1)1998.02 | 51-59 |
| △ | A Simulation Model for Quantification of Retention Characteristics of Watershed (流域保水特性の定量化のためのシミュレーションモデル) | Syahrul, 後藤 章
水谷 正一他 | 66(1)1998.02 | 61-67 |
| △ | The Regional Characteristics of the Parameters for Estimating the Annual Maximum 1-hour Rainfall (年最大1時間雨量を推定するために用いるパラメータの地域特性) | G. D. Uligan, 松田 誠祐, 大年 邦雄
他 | 66(1)1998.02 | 147-158 |
| ○ | 北海道南西沖地震における農地造成盛土の被害 | 谷 茂, 中島 正憲
谷 忠 | 66(1)1998.02 | 169-176 |
| △ | A Fracture Mechanics Approach to the Mechanism of Hydraulic Fracturing in Fill Dams (フィルダムにおける水理破砕のメカニズムへの破壊力学の適用) | Samson Ngambi, 清水 英良, 西村 真一他 | 66(3)1998.06 | 411-422 |
| 1999 | △ Slope Stability Analysis Considering Reduction of Shear Strength of Unsaturated Soil Due to Rain Infiltration (降雨浸潤による不飽和土のせん断強度低下を考慮した斜面安定解析) | 島田 清, 森井 俊広
藤井 弘章他 | 67(6)(通号204)1999.12 | |
| △ | Change of Shear Strength of Unsaturated Decomposed Granite Soils with Matric Suction (マトリックサクシジョンの変化にともなう不飽和まさ土のせん断強度の変化) | 島田 清, 藤井 弘章
西村 伸一他 | 67(3)(通号201)1999.06 | 395-400 |
| 2000 | △ 低平地における洪水時排水の実時間予測モデルについて | 曹 豊, 豊田 勝
三沢 眞一
宜保 清一, 中村 真也
江頭 和彦 | 68(2)(通号206)2000.04
68(6)(通号210)2000.12 | 253-128
785-790 |
| △ | 地すべり土の残留強度と物理的・鉱物学的性質との関係 | | | |
| 2000 | ☆ 土地改良事業設計指針「ため池整備」制定 | | | |
| 2001 | ☆ 独立行政法人農業工学研究所設立 | | | |
| 2001 | △ 第三紀泥質岩(富山県西部地すべり丘陵地)の物理的風化特性に関する基礎的実験研究-エアスレーキングの影響について | 荒井 涼 | 69(3)(通号213)2001.6 | 259-271 |
| 2002 | △ 二つのサクシジョン効果を考慮した修正弾塑性モデル | 向後 雄二, 浅野 勇
林田 洋一 | 70(1)(通号217)2002.2 | 9-18 |
| △ | Pore Pressure Behavior on Embankment Dams during Construction (建設中のフィルダムの間隙水圧挙動) | Shemsu Kemal, 青山 咸康 | 70(1)(通号217)2002.2 | 25-33 |
| △ | ため池の雨水貯留可能量の評価-香川県及び大阪府のため池の空き容量と水田の雨水貯留可能量との比較から | 中西 憲雄, 加藤 敬
小林 宏康他 | 70(1)(通号217)2002.2 | 101-107 |
| △ | ロックフィルを通る流れの非線形水頭損失式に関する室内実験検証 | 森井 俊広 | 70(1)(通号217)2002.2 | 119-124 |
| △ | ロックフィルを通る非線形流れのパラメータ推定 | 森井 俊広 | 70(2)(通号218)2002.4 | 215-221 |
| △ | 地中レーダによるため池の漏水経路の調査手法 | 堀 俊和, 森 充広
毛利 栄征他 | 70(2)(通号218)2002.4 | 241-251 |
| ○ | 豪雨による農業用ため池の破壊原因と被災の特徴 | 堀 俊和, 毛利 栄征
青山 咸康 | 70(2)(通号218)2002.4 | 253-263 |
| △ | ハイドロリックフラクチャリングによって発生する亀裂進展の特徴-農業用ため池の浸透破壊に関する実験的研究 | 堀 俊和, 毛利 栄征
松島 健一他 | 70(3)(通号219)2002.6 | 383-392 |
| △ | 大阪府松沢池における洪水低減機能とその確率評価-ため池の洪水低減機能の評価 | 加藤 敬, 佐藤 政良 | 70(6)(通号222)2002.12 | 637-644 |
| △ | 実降雨のパターンを考慮したため池の洪水調節機能評価 | 加藤 敬, 佐藤 政良
太田 高志 | 70(6)(通号222)2002.12 | 645-651 |
| ◎ | ため池地震危険度評価システムの構築-芸予地震による愛媛県のため池被害を事例として | 小林 範之, 吉武 美孝
勝山 邦久 | 70(6)(通号222)2002.12 | 697-703 |
| ○ | 地震時の斜面安定問題を対象とした準静的弾塑性有限要素解析と円弧すべり計算 | 森 洋, 田中 忠次 | 70(6)(通号222)2002.12 | 713-720 |
| 2003 | ☆ 土地改良事業設計指針「ダム」制定 基準及び運用の解説、技術書の作成、「共通編」、「コンクリートダム編」「フィルダム編」作成 | | | |
| 2004 | △ 残留係数を導入した地すべりの三次元安定解析-沖縄、仲順地すべりについて | 中村 真也, 宜保 清一
林 義隆 | 72(1)(通号229)2004.2 | 47-53 |
| △ | 三次元変位観測手法による斜面崩壊計測 | 小林 晃, 近藤 修一
青野 智則他 | 72(4)(通号232)2004.8 | 371-378 |
| △ | 空中写真判読とGISによる三宅島農地復興のための噴火被害状況把握 | 横山 雄介, 吉野 邦彦 | 72(5)(通号233)2004.10 | 515-521 |
| 2005 | △ 洪水吐ゲートを有する農業用ダムの洪水緩和機能の評価-安濃ダムを事例として | 浪平 篤, 小林 宏康
高木 強治他 | 73(2)(通号236)2005.4 | 193-200 |
| △ | 砂斜面崩壊実験の弾塑性有限要素解析 | 田中 忠次, 阿部 剛士 | 73(3)(通号237)2005.6 | 221-230 |
| △ | 抑止壁を伴う地震時斜面安定問題に関する準静的弾塑性有限要素解析 | 森 洋, 田中 忠次 | 73(3)(通号237)2005.6 | 267-273 |
| △ | Laboratory Study on Shear Behavior of Unsaturated Granular Soil During Cyclic Suction Loading (繰返しサクシジョン負荷過程での不飽和粒状土のせん断挙動に関する実験的研究) | Shemsu Kemal, 木山 正一, 青山 咸康他 | 73(4)(通号238)2005.8 | |
| △ | Systematic Approach Evaluating Flood Mitigation Effect of an Irrigation Tank (システム論的アプローチによる溜池の洪水緩和機能評価) | 吉本 周平, 宇波 耕一
河地 利彦 | 73(5)(通号239)2005.10 | 491-496 |
| △ | 表面流出に及ぼす法面被覆植物の影響 | 永井 明博, 立 忠司
沖 陽子他 | 73(5)(通号239)2005.10 | 513-520 |

△ 繰返し単純せん断を受ける埋設管の浮上メカニズム	河端 俊典, 大石 順司 中瀬 仁他	73(5)(通号 239)2005. 10	521-528
2006 ☆ 土地改良事業設計指針「ため池整備」改定			
2006 ☆ 独立行政法人農研機構農村工学研究所改組・設立			
2006 △ 農村地域における水田を利用した震災時の避難労力低減効果	左村 公, 岡澤 宏 高田 沢彦他	74(2)(通号 242)2006. 4	265-272
△ 遅延率を用いたため池洪水緩和量推定法	竹下 伸一, 別枝 宏平 三野 徹他	74(3)(通号 243)2006. 6	291-300
△ 固化処理底泥土による老朽ため池堤体改修の新設計法の提案	谷 茂, 福島 伸二	74(3)(通号 243)2006. 6	301-308
△ セル・オートマトンによる堤体のパイピングシミュレーション	小林 範之, 吉武 美孝 安藤 光	74(3)(通号 243)2006. 6	323-331
△ 小型貯水池における水・物質収支—農業用ため池と洪水調整池の事例研究	多田 明夫, 百済 昌人 田中丸治哉他	74(6)(通号 246)2006. 12	891-902
2007 △ 弾性波を用いたため池堤体内の水分状況推定	小林 晃, 丹羽 亮太 柳本 智也, 山本 清仁 青山 咸康	75(6)(通号 249)2007. 6	231-238
△ 河川堤防を対象とした粒状体個別要素法による液状化解析	森 洋, 小川 好	75(6)(通号 249)2007. 6	239-246

農業農村工学会論文集('07-'13)

△ GPS 可降水量を用いた大雨予測指標の検討	森 牧人, 田中 宏延 平松 和昭, 原田 昌佳	75 (通号 250)2007. 8	363-371
○ 老朽ため池における漏水領域の特定と抵抗電気探査による改修効果の評価	小林 範之, 吉武 美孝 松本 伸介, 宇佐美幸大	75 (通号 252)2007. 12	727-736
2009 ○ 新潟県中越地震における災害査定の特徴と課題	有田 博之	77 (通号 259)2009. 2	93-98
△ 地すべり崩土の力学特性と変形の局所化	川本 治, 宮崎 毅 中野 政詩	77 (通号 262)2009. 8	385-393
○ 2004年新潟県中越地震における農業生産基盤の小規模被害と復旧対策	有田 博之, 湯澤 顕太	77 (通号 262)2009. 8	417-422
△ 新潟県中越沖地震における現場打ちコンクリート水路の目地部損傷メカニズム	森 丈久, 森 充広 渡嘉敷 勝, 中矢 哲郎	77 (通号 264)2009. 12	631-636
2010 ○ Mechanism of Failure and Damage Probability of Irrigation Tank at Mid Niigata Prefecture Earthquake	Akira KOBAYASHI, Takuma HAYASHI Kiyohito YAMAMOTO Shoichi KIYAMA	78(2)2010	75-82
○ 2004年12月の巨大津波によるインドタミルナドゥ州の農地における塩性化被害と回復評価	久米 崇, 梅津千恵子 K. Palanisami	78(2)2010	83-88
△ 地域確率雨量の経年変化	工藤 亮治, 永井 明博 近森 秀高	78(2)2010	127-133
○ Seismic Risk Management of Irrigation System in an Earthquake? Based on data from the Mid Niigata prefecture earthquake ?	Akira KOBAYASHI, Takuma HAYASHI, Kiyohito YAMAMOTO, Shoichi KIYAMA	78(5)2010	305-315
○ 豪雨リスクを考慮したため池のライフサイクルコスト算定手法と最適な豪雨対策の選定手法	堀 俊和, 毛利 栄征 松島 健一, 有吉 充	78(6)2010	493-503
△ 地すべり土の強度図を用いたすべり面平均強度定数の推定— 沖縄, 島尻層群泥岩地すべりを事例として —	木村 匠, 宜保 清一 中村 真也	78(6)2010	445-453
2011 △ 堰基礎地盤浸透破壊問題での浸透路長の有効性の再検討と弾塑性有限要素解析の適用	岡島 賢治, 田中 忠次 小松 宜紘, 飯田 俊彰	79 (2)(通号 272)2011.	65-73
○ 新潟県中越地震後の時間経過と農業生産基盤の被害発現	有田 博之, 宮澤 紗文	79 (3)(通号 273)2011.	187-194
△ 砂・粘土混合材料の侵食速度測定と室内越流破壊実験	藤澤 和謙, 村上 章 西村 伸一	79 (3)(通号 273)2011.	195-205
○ 中越地震後の養鯉池における復旧事業の利用特性	坂田 寧代	79 (6)(通号 276)2011.	387-392
2012 ○ 中越地震後の養鯉池における復旧実態と未復旧地の立地特性	坂田 寧代, 吉川 夏樹 三沢 真一	80(1)(通号 277)2012. 2	59-64
△ Peak Over Threshold 理論による確率日雨量の推定	近森 秀高, 永井 明博	80(2)(通号 278)2012. 4	167-175
△ 大規模地震災害における農地・農業施設の地域形成的復旧	有田 博之, 橋本 禪	80(2)(通号 278)2012. 4	187-194
△ A Simple Model for Estimating Phreatic Surface Location and Seepage Discharge through a Small Homogeneous Earth Dam on Inclined Foundation	Yoshitaka YOSHITAKE, Masayuki FUJIHARA, Noriyuki KOBAYASHI, Tatsuro NISHIYAMA, Tomoki IZUMI	80(3)(通号 279)2012. 6	261-266
△ 流域水循環のモデル化における低平河川からの氾濫過程の導入方法	吉田 武郎, 増本 隆夫 堀川 直紀, 鮑津 博史 Vinliam BOUNLOM, Boulaythong KOUMPHONH	80(5)(通号 281)2012. 10	401-408
△ 上向き浸透流による浸透破壊時の砂粒子の移動速度	藤澤 和謙, 西村 伸一 中谷理友美, 村上 章	80(5)(通号 281)2012. 10	409-416
2013 ○ ため池コア材への旧堤体土・底泥土再利用に関する一考察—兵庫県下における老朽化ため池を事例として—	鈴木麻里子, 河端 俊典 内田 一徳	81(2)(通号 284)2013. 4	171-176
○ 堤体表面被覆によるため池の豪雨対策と波浪侵食対策	堀 俊和, 毛利 栄征 土橋 和敬, 高橋 浩 前田 和亨	81(3)(通号 285)2013. 6	245-256

Appendix-2 農地・農業用施設と自然災害に関する研究文献 (農工研所報)

	タイトル	著者	発行年月	号	開始 ページ	終了 ページ
1961	☆ 3 機関を母体に農林省農業土木試験場設立					
農業土木試験場報告(1963-1994)						
1970	○ フィルダムの耐震設計に関する新安定計算法 (2)	中島保治, 山下進 上原健一	Mar-70	8号	231	246
1971	△ 数理モデルによる非定常現象の解析	中村充, 白石英彦	Mar-71	9号	137	158
	△ 粗粒材料のせん断抵抗角に関する研究	村尾重信, 三品直樹	Mar-71	9号	159	194
	△ 三軸ネジリ装置を用いた飽和砂のせん断特性	川口徳忠	Mar-71	9号	195	206
1976	△ 直立透過堤による港内水位の上昇及び港内水位の振動特性に関する研究	菅原輝男 長野章	Mar-76	14号	137	144
	△ 碎波による港内水位の上昇及び港内水位の振動特性に関する研究	菅原輝男 神瀬哲	Mar-76	14号	145	182
1983	△ 一面せん断試験を中心とした地すべり粘土の強度測定	古谷保	Jan-83	23号	31	54
1988	☆ 農林水産省農業工学研究所へ改組・設立					
農業工学研究所報告(1995-2006)						
1995	△ 不飽和土の力学的特性と土質構造物の安定性の解析について	向後雄二	Mar-95	34号	39	162
1996	○ 平成5年(1993年)北海道南西沖地震による農地・農業用施設の被害調査報告	安中正実, 谷茂 毛利栄征	Mar-96	35号	111	142
1998	◎ 日本におけるため池を含めた農業用フィルダムの地震災害に関する研究	谷茂, 堀俊和	Mar-98	37号	51	90
2000	△ 耐風性向上のためのプラスチックハウス等の簡易基礎構造および立地配置を考慮した耐風設計に関する研究	豊田裕道	Mar-00	39号	121	160
2002	△ 地震観測による複数のフィルダムの地震時挙動	増川晋, 向後雄二 浅野勇, 林田洋一	Mar-02	41号	19	59
2005	○ 農業用ため池の豪雨災害に関する研究	堀俊和	Mar-05	44号	139	247
	△ 宮城県沖の地震(2003年5月26日)における農業用大ダムの地震時挙動	増川晋, 中西憲雄	Mar-05	44号	105	138
2006	△ 老朽化フィルダムにおける固化処理した底泥土を用いた堤体改修の設計法	谷茂, 福島伸二 北島明, 西本浩司	Mar-06	45号	1	19
	△ ダムの築造および管理過程における非破壊調査技術の応用に関する研究	森充広	Mar-06	45号	21	109
2006	☆ 独立行政法人農村工学研究所改組・設立					
農村工学研究所報告(2007-2014)						
2014	△ ジオンセティックスを用いた土質材料の補強メカニズムの解明と水利構造物への適用性に関する研究	松島健一	Feb-14	49号	49	199
	△ 河口低平農地における高潮氾濫モデルに関する研究	桐博英 Kiri, H.	Apr-14	51号	109	164

農地・農業用施設と自然災害に関する研究文献（農工研技報）

	タイトル	著者	発行年月	号	開始 ページ	終了 ページ
1961 ☆	3 機関を母体に農林省農業土木試験場設立					
農業土木試験場技報(1965-1994)						
1965 ●	新潟地震調査報告		Oct-65	1号		
	○ 農地災害の特質	金子良	Oct-65	1号	1	16
	△ 用排水機能障害の事例	中川昭一郎	Oct-65	1号	43	46
	○ 農地施設の被害とその復旧	田地野直哉	Oct-65	1号	47	50
	○ 農業土木構造物の震害と地盤性状	三品直樹, 佐藤瑞夫	Oct-65	1号	51	58
	◎ アースダムの被害	山下進	Oct-65	1号	59	86
	△ 農地地スベリに及ぼした影響	大平成人	Oct-65	1号	87	88
1966 ○	長野県地スベリ対策調査報告 (1)	大平成人, 岸本良治郎 仲野良紀, 萱野勇新	Jan-66	1号	67	118
	△ 鳥根県地スベリ対策調査報告 (1)	大平成人, 岸本良治郎	Mar-66	2号	1	29
	○ 長野県地スベリ対策調査報告 (2)	大平成人, 岸本良治郎 萱野勇新	Mar-66	3号	1	27
	△ 防波体の消波効果に関する水理模型実験報告	前田清康, 桜井喜十郎 鈴木博	Jan-66	4号	1	10
1967 ○	高潮および洪水流発生機構について	山口英太郎, 満田雅男 大西亮一	Mar-67	3号	1	31
	△ 東富士アースダム耐震設計に関する実験	中島保治, 山下進, 高瀬 国雄	Feb-67	4号	1	28
	△ 耐流力に関する研究	中村充, 白石英彦, 佐々 木泰雄, 伊藤三甲雄	Mar-67	13号	37	45
1968 △	均一型アースダムの安定計算	村尾重信	Mar-68	2号	125	134
	△ 須山タメ池斜面アスコン舗装材料についての研究	海老名芳郎, 岩崎和巳, 竹内正一	Mar-68	5号	15	35
	△ 永源寺ダム接続部振動模型実験報告	中島保治, 山下進, 上原 健一	Mar-68	6号	15	43
	△ 深山ダム振動模型実験報告	中島保治, 山下進, 上原 健一, 川口徳忠	Mar-68	6号	1	14
1969 ●	1968年十勝沖地震調査報告		Jan-69	3号		
	◎ アースダムの被害	守屋正博, 高岡恭三, 山 下進	Jan-69	3号	1	10
	○ 十勝沖縄地震津波と津波対策	中村充, 白石英彦, 佐々 木泰雄	Jan-69	3号	11	35
	△ 盛土斜面の安定計算法	川口徳忠	Mar-69	4号	57	74
	○ 稲取海岸波浪調査報告書	佐藤稔夫, 西尾重男	Mar-69	6号	1	34
	△ 神代地区地スベリ調査報告	仲野良紀, 大平成人, 萱 野勇新	Mar-69	7号	31	50
	△ 内の倉ダム用コンクリートに関する研究	海老名芳郎, 竹内正一 岩崎和巳	Mar-69	7号	51	68
1970 ○	長野県地スベリ調査報告 (3)	岸本良治郎	Mar-70	8号	53	64
	○ 長野県地スベリ調査報告 (4)	岸本良治郎	Mar-70	8号	65	68
	△ 双葉ロックフィルダムの振動模型実験報告	中島保治, 山下進, 田中 忠次	Nov-70	10号	1	31
	△ 深山ロックフィルダムの振動模型実験報告	中島保治, 山下進	Nov-70	10号	33	46
	△ フィルタイプダム限界コウ配形状と震度円安定解析法の解説	中島保治, 山下進	Nov-70	10号	47	58
1971 △	種々の形態の異形ブロックの安定と消波に関する研究	桜井喜十郎, 鈴木博	Mar-71	26号	1	18
1972 △	深山アスファルトフェイスングの実験報告と構造設計	中島保治, 田中忠次	Mar-72	13号	1	38
	△ 双葉アスファルトフェイスングの振動模型実験報告	中島保治, 菅ノ又仁治	Mar-72	13号	39	46
	△ 孫沢ダム浸透および振動模型実験報告	菅ノ又仁治, 中野博視	Mar-72	13号	47	76
	△ アスファルトフェイスングダムのギャラリー接続部にアスファルト パネルを使用した場合の模型実験	中島保治, 田中忠次	Mar-72	13号	77	92
1974 △	構造解析・浸透解析における有限要素法の応用	仲野良紀, 田中忠次	Mar-74	9号	35	94
1975 △	有限要素法による二次元・三次元連続体の応力解析	田中忠次, 仲野良紀	Mar-75	16号	1	22

1976	△	降雨による地すべり地の地下水位変動予測	古谷保	Mar-76	17号	55	79
1977	△	ダムの老朽度と漏水機構の簡便な実証的解析法	木村重彦, 小前隆美	Mar-77	14号	17	26
	△	地すべり地における地表面応力分布について	中山康	Mar-77	18号	33	36
	△	水窪ダムの堆砂量の推定と洪水時のセキ上げによる影響範囲の解析	白石英彦, 岩崎和巳, 大西亮一	Mar-77	39号	55	66
1980	○	新潟平野における6.26豪雨について	白石英彦, 岩崎和巳, 大西亮一, 伊藤喜一	Mar-80	48号	1	26
1981	△	一志・大倉川・深田ダムの地震観測結果とフィルダムの動特性	田中忠次	Mar-81	21号	1	57
	△	繰返し三軸試験による大柿ダム・コア用土の動的性質	川口徳忠, 谷茂	Mar-81	22号	1	11
	△	共振法三軸試験機による土の動的性質の研究	谷茂	Mar-81	22号	13	39
	△	奈良尾地すべり地区の第三紀層泥岩及び粘土のせん断強度と安定解析による強度常数の検討	古谷保	Mar-81	22号	41	52
1982	○	園芸施設の豪雪による被害について	山下進, 佐藤義和	Mar-82	28号	35	60
	○	園芸施設の台風による被害について	山下進, 小倉力	Mar-82	28号	61	84
	△	干拓農地潮風害の実態解析	植田昌明, 端憲二	Mar-82	51号	33	47
1983	△	ダム用コンクリートに及ぼす碎石・砕砂の影響	毛利栄征, 海老名芳郎, 野村栄作	Mar-83	1号	13	33
	○	豪雨による農地・農業用施設災害と地域性との関連	矢野均	Mar-83	1号	69	82
1984	△	深田ダムの動弾性模型実験によるフィルダムの三次元的動特性	安中正実	Mar-84	2号	1	8
	△	日中ダム洪水吐水理模型実験報告	松本良男, 川合亨	Mar-84	2号	1	15
	△	中小洪水時における護岸工の浮上り現象の解明と対策	山本徳司	Mar-84	2号	89	98
	△	海岸堤防前小段上の共振波動と越波量	木ノ瀬紘一	Mar-84	2号	99	107
	△	干拓農地潮風害の実態解析 (2)	端憲二	Mar-84	2号	109	120
	○	1983年日本海中部地震調査報告	高岡恭三	Nov-84	3号	1	42
	△	葛丸ダム洪水吐水理模型実験報告	加藤敬, 石野捷治	Nov-84	3号	1	19
	△	二庄内ダム洪水吐水理模型実験報告	石野捷治	Nov-84	3号	21	32
1985	◎	1983年日本海中部地震によるため池の被害調査報告	谷茂	Nov-85	4号	1	92
	○	1983年日本海中部地震によるパイプラインの被災調査報告	毛利栄征	Nov-85	4号	93	147
1986	△	日中ダム洪水吐水理模型実験報告 (2)	松本良男	Mar-86	5号	15	22

1988 ☆ 農林水産省農業工学研究所へ改組・設立

農業工学研究所技報(1995-2006)

1995	△	土質基礎上のフィルダムの地震時挙動	増川晋, 安中正実, 田頭秀和	Mar-95	192号	1	15
	○	北海道に被害をもたらした地震におけるフィルダムの挙動について	谷茂	Mar-95	192号	17	39
1997	○	農業用ダムと活断層の位置関係に関する調査	初川栄治, 安中正実, 増川晋	Mar-97	194号	1	150
1998	○	宮城県北部地震による農業施設の地震被害調査報告	谷茂	Mar-98	196号	29	43
	△	フィルダムの貯水後の長期挙動特性	初川栄治, 安中正実, 浅野勇	Mar-98	196号	45	70
1999	△	御前山ダム洪水吐の水理模型実験	中西憲雄, 加藤敬, 常住直人	Mar-99	197号	39	60
	△	新宮川ダムコンクリートの熱及び力学的特性値について	浅野勇, 長束勇	Mar-99	197号	61	72
	◎	ため池災害と底樋設計の検討	中島正憲, 毛利栄征	Mar-99	197号	73	81
2000	△	ダムの地形・地質三次元解析支援システムの開発	谷茂, 安中正実, 福原正斗	Mar-00	198号	101	111
2001	○	1998年台風7号による奈良・和歌山県下の果樹用ハウスに関する被災調査	森山英樹, 松島健一, 豊田裕道, 藤本直也	Feb-01	199号	149	163
	○	豪雨被災ため池の土質について	田頭秀和	Feb-01	199号	165	182
2002	△	トレーサー試験による岩盤地すべり斜面の地下水流動状況の解明	石田聡, 二平聡, 今泉眞之, 藤田裕一, 榎並信行	Mar-02	200号	33	42
2003	○	農地法面の崩壊・侵食事例と圃場の造成形態の特徴	古谷保, 小倉力, 中尾誠司, 加藤敬	Mar-03	201号	1	12
	△	地すべりブロック内におけるため池の浸透防止工による地下水流動の変化	奥山武彦, 黒田清一郎, 中里裕臣, 長束勇	Mar-03	201号	165	172
2004	△	排水トンネル施工による地すべり地の地下水の挙動	石田聡, 原郁男, 土原健雄, 今泉眞之	Mar-04	202号	91	100

	△	地すべり危険度区分における空中電磁法の適用性	中里裕臣, 黒田清一郎, 奥山武彦, 伊藤吾一, 佐々木裕	Mar-04	202号	197	204	
2005	△	中山間地域の自治防災組織を支援する防災情報通信システムの開発	山本徳司, 安中誠司	Mar-05	203号	9	19	
	△	地すべり対策地下水排除工による自然電位の変化	奥山武彦, 中里裕臣, 黒田清一郎, 竹内睦雄	Mar-05	203号	231	237	
	△	GPS 測位による地すべり対策事業概成後の安定性確認	黒田清一郎, 奥山武彦, 中里裕臣, 有吉充	Mar-05	203号	239	244	
2006	△	ため池周辺の地下水流入・流出量の評価	今泉真之, 石田聡, 土原健雄, 吉迫宏	Mar-06	204号	157	174	
	△	地すべり地における地下水流動調査のための比抵抗モニタリング	井上敬資, 中里裕臣, 中西憲雄, 菊池茂史, 大塚文哉	Mar-06	204号	287	294	
2006	●	平成16年(2004年)新潟県中越地震対応						
	○	農地・農業用施設被害の概要について	谷茂	Mar-06	205号	1	4	
	○	平成16年(2004年)新潟県中越地震	増川晋	Mar-06	205号	5	15	
	○	平成16年(2004年)新潟県中越地震による水田の被害	藤森新作, 若杉晃介, 谷本岳	Mar-06	205号	17	24	
	○	平成16年(2004年)新潟県中越地震による信濃川左岸地区の水利機能被害および施設復旧に関する調査	中達雄, 後藤真宏, 樽屋啓之, 田中良和, 吉永育生, 端憲二	Mar-06	205号	25	36	
	○	平成16年(2004年)新潟県中越地震による農業用フィルダムの被害	向後雄二	Mar-06	205号	37	45	
	○	平成16年(2004年)新潟県中越地震による農業用水路の被害	浅野勇, 向後雄二, 林田洋一, 井上敬資	Mar-06	205号	47	59	
	◎	平成16年(2004年)新潟県中越地震によるため池と集落排水施設の被災	毛利栄征, 堀俊和, 松島健一, 有吉充	Mar-06	205号	61	76	
	△	大規模崩壊地の遠隔画像モニタリング	奥山武彦, 黒田清一郎, 有吉充, 林田洋一	Mar-06	205号	77	83	
	○	平成16年(2004年)新潟県中越地震における農地地すべりとその調査観測手法について	黒田清一郎, 奥山武彦, 有吉充	Mar-06	205号	85	93	
	○	空中電磁探査法による広域斜面災害調査	中里裕臣, 井上敬資, 中西憲雄	Mar-06	205号	95	101	
	○	新潟県釜塚地すべりににおける中越地震前後のGPS 移動観測事例	中里裕臣, 奥山武彦, 荒川隆嗣	Mar-06	205号	103	107	
	○	大規模地震における農地・農業用施設の液状化被害の早期予測システム	井上敬資, 増川晋, 中里裕臣, 中西憲雄	Mar-06	205号	109	112	
2006	☆	独立行政法人農村工学研究所改組・設立						
農村工学研究所技報(2007-2014)								
2007	△	老朽化フィルダムの堤体改修の事例調査	谷茂, 福島伸二	Mar-07	206号	1	24	
	△	ため池群の持つ洪水軽減効果シミュレータの開発	吉迫宏, 小川潤, 小川茂男, 島武男, 中西憲雄, 大西亮一	Mar-07	206号	209	217	
	△	洪水流入防止のための無動力止水ゲート	向井章恵, 川井明, 村上文明, 江田保正, 佐竹正文, 中達雄	Mar-07	206号	267	274	
2008	●	平成19年(2007年)能登半島地震対応及び新潟県中越沖地震対応						
	○	平成19年(2007年)能登半島地震及び新潟県中越沖地震における農村工学研究所の対応と技術支援力の強化	小林宏康	Mar-08	208号	1	13	
	◎	平成19年(2007年)能登半島地震によるため池の被害	毛利栄征, 堀俊和, 有吉充, 林田洋一, 谷茂	Mar-08	208号	15	23	
	○	平成19年(2007年)能登半島地震による海岸施設の被害	毛利栄征, 堀俊和, 有吉充, 林田洋一	Mar-08	208号	25	31	
	○	平成19年(2007年)能登半島地震による地すべり災害と災害調査法	中里裕臣, 井上敬資, 海野寿康	Mar-08	208号	33	42	
	○	平成19年(2007年)能登半島地震による水路等コンクリート構造物の被害調査	林田洋一, 増川晋, 有吉充	Mar-08	208号	43	59	
	○	平成19年(2007年)能登半島地震による地すべり地水田の被災と営農状況	小倉力, 若杉晃介, 藤森新作	Mar-08	208号	61	66	
	○	平成19年(2007年)能登半島地震による農地被害調査	若杉晃介, 藤森新作	Mar-08	208号	67	74	
	◎	平成19年(2007年)新潟県中越沖地震によるため池の被害	毛利栄征, 谷茂, 堀俊和, 有吉充, 増川晋, 田頭秀和, 林田洋一	Mar-08	208号	75	88	
	○	平成19年(2007年)新潟県中越沖地震による農業用水路被害と災害調査	森丈久, 森充広, 渡嘉敷勝, 中矢哲郎, 増川晋, 田頭秀和	Mar-08	208号	89	101	
	○	平成19年(2007年)新潟県中越沖地震による農業集落排水施設の被害	有吉充, 毛利栄征	Mar-08	208号	103	110	
2009	○	平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震による震源近傍の老朽水利施設被災状況に関する調査	常住直人, 森丈久, 田中良和, 高木強治	Mar-09	209号	139	152	
2010	○	氾濫解析を用いたため池決壊に伴う下流域の被害算定法	谷茂, 井上敬資	Mar-10	210号	137	144	
	○	老朽化フィルダムの地震リスクを考慮した安全性評価法	谷茂, 堀俊和	Mar-10	210号	145	152	

	△	ワイヤレス間隙水圧計の長期計測性能の検証	林田洋一, 遠目塚良一, 浅野勇, 増川晋, 田頭秀和	Mar-10	210号	243	254	
2011	△	GISを活用した傾斜地水田における指標のマッピング	正田大輔, 川本治	Mar-11	211号	1	7	
	△	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	松島健一, 毛利栄征, 堀俊和, 有吉充, 上野和広	Mar-11	211号	205	214	
	○	平成21年(2009年)に発生した山形県鶴岡市七五三掛(しめかけ)地区における地すべり災害対策への農工研の参画と技術開発	木下勝義, 川本治, 正田大輔, 石田聡, 中里裕臣, 田頭秀和	Mar-11	211号	215	221	
2012	△	農村工学研究所内における総合気象観測システムの構築とそのデータ品質管理	吉田武郎, T.増本隆夫, 堀川直紀	Mar-12	212号	43	52	
2012	●	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震対応						
	○	平成23年(2011年)東日本大震災における農村工学研究所の対応と農地・農業用施設等の被害実態	鈴木尚登, 中里裕臣	May-12	213号	1	21	
	○	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震によるため池堤体亀裂に対する緊急的な電気探査	中里裕臣, 井上敬資, 吉迫宏, 堀俊和	May-12	213号	23	28	
	△	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による地域復興計画支援における景観シミュレーションの活用と役割	山本徳司, 福与徳文	May-12	213号	29	38	
	○	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による津波被災農地の堆積物・土壌の理化学的特徴	北川巖, 友正達美, 原口暢朗, 塩野隆弘, 若杉晃介, 芦田敏文, 瑞慶村知佳	May-12	213号	39	51	
	○	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による水田面の起伏(不陸), 亀裂, 液状化に関する復旧対策技術	若杉晃介, 瑞慶村知佳, 北川巖, 原口暢朗	May-12	213号	53	62	
	○	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による利根川沿いにおける液状化を起因とする塩害が営農にもたらした影響	瑞慶村知佳, 北川巖, 若杉晃介, 原口暢朗	May-12	213号	63	71	
	○	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による津波で冠水被害を受けた砂質畑の土壌塩分モニタリング	宮本輝仁, 亀山幸司, 塩野隆弘	May-12	213号	73	78	
	○	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による津波被災農地における平成23年春期除塩作業の実施状況と今後の課題	友正達美, 坂田賢, 内村求	May-12	213号	79	87	
	○	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による宮城県沿岸部の園芸施設の被害状況	石井雅久, 奥島里美, 森山英樹, 相澤正樹	May-12	213号	89	103	
	○	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震における海岸堤防の後背農地による津波減勢	毛利栄征, 丹治肇	May-12	213号	105	116	
	○	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による宮城県内の頭首工および水門の被害	渡嘉敷勝, 浅野勇, 森充広, 西原正彦	May-12	213号	117	143	
	○	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による利根川下流沿岸域の用排水路等の被害と特徴	浅野勇, 渡嘉敷勝, 森充広, 西原正彦	May-12	213号	145	173	
	◎	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	May-12	213号	175	199	
	○	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による国営隈戸川農業水利事業における農業用パイプラインの被災と復旧	有吉充, 毛利栄征, 浅野勇, 上野和広	May-12	213号	201	215	
	○	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による国営農業用フィルダムの被害	増川晋, 田頭秀和, 黒田清一郎, 林田洋一, 國枝正, 高木強治, 中田達, 森丈久	May-12	213号	217	242	
	○	平成23年(2011年)長野県北部地震による農地・農業用施設の被害	丹治肇, 桐博英, 田中良和, 人見忠良, 堀川直紀	May-12	213号	243	254	
	○	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震に伴う津波による水門・樋門と排水機場の被災状況	桐博英, 丹治肇, 松島健一, 中矢哲郎, 毛利栄征	May-12	213号	255	268	
	○	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震津波による岩手県沿岸部の被災状況	桐博英, 丹治肇, 福与徳文, 毛利栄征, 山本徳司	May-12	213号	269	277	
	○	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震を対象にした減災農地の津波減勢効果の検証	福与徳文, 山本徳司, 桐博英	May-12	213号	279	286	
	△	岩手県大船渡市吉浜地区における農地復興計画作成支援	福与徳文, 山本徳司, 桐博英	May-12	213号	287	295	
	○	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による津波被災農地の植生管理の必要性	嶺田拓也, 友正達美	May-12	213号	297	304	

Appendix-4 福島県中・南被災集中エリアため池リスト

No.	被災 有無	IdNo	施設名 Name	座標 左岸経度 左岸緯度	被災度	震度	堤高	堤頂長	1/H	ゾーン	プロック	ω	地盤 タイプ	地形傾斜				親	親子	
														傾斜	地形	形状	地域			
県中	220																			
1	無	720312122	原池	140.3802 37.32634		6	7.5	190	25.3	6	R1	119.4	190	3	3	2	0	0	0	
2	有	720712002	上の池	140.2509 37.32978	1	5.5	3.3	930	283.5	3	L1	132.5		2	1	2	0	0	0	
3	有	720712003	雁俣池	140.2976 37.32336	3	6.1	3.0	70	23.3	4	L1	260.3		1	1	1	0	0	0	
4	有	720712005	山田池	140.329 37.32307	3	6	2.8	75	26.8	5	C1	343.4		1	1	1	0	0	0	
5	有	720712009	北の内池	140.3105 37.31663	3	6.1	4.5	71	15.8	4	C1	216.6		1	1	1	0	0	0	
6	有	720712014	大池	140.2958 37.3033	1	6.1	2.8	70	25	4	L2	208		1	1	1	0	0	0	
7	有	720712015	ねぎ田池	140.3096 37.29582	3	6	2.8	87	31.1	4	C2	234		1	1	1	0	0	0	
8	有	720712016	袖振沢池	140.317 37.29377	2	6	4.2	135	32.1	4	C2	296.4		1	1	1	0	0	0	
9	有	720712017	笹平池	140.3332 37.30234	3	6	7.8	180	23.1	5	C2	262.6		1	1	1	0	0	0	
10	無	720712018	十貫田池	140.3348 37.29469		6	7.5	72	9.6	5	C2	260.9		4	2	1	0	0	0	
11	有	720712021	清水田池	140.3492 37.31226	2	6	3.5	46	13.1	5	R1	318		1	1	1	0	0	0	
12	無	720712024	上人池(第1)	140.3721 37.30645		6	5.0	55	11	6	R2	238.7	160	5	2	1	1	0	0	
13	有	720712025	稲大池	140.3238 37.2854	3	6	7.0	40	5.7	4	C3	267.5	100	1	1	1	0	0	0	
14	有	720712026	田桑池	140.3328 37.2719	1	6	3.5	43	12.3	4	C3	283.3	190	2	1	2	0	0	0	
15	有	720712027	芳池	140.3153 37.2718	4	6	7.4	106	14.3	4	C3	248.8	190	1	1	1	0	0	0	
16	有	720712028	蓮台池	140.317 37.26077	1	6	8.0	35	4.4	4	C4	111.8	100	2	1	2	0	0	0	
17	無	720712029	吉戸大池	140.2918 37.25302		5.9	4.9	189	38.6	3	L4	258.7	140	4	2	2	0	0	0	
18	無	720712030	寺作田池	140.2983 37.25061		5.7	2.4	44	18.3	3	L4	292.3	140	4	2	2	1	0	0	
19	無	720712031	南前山池	140.3114 37.24875		5.7	4.0	44	11	3	C5	242.5	190	5	2	1	1	0	0	
20	無	720712032	琵琶池	140.3794 37.29358		6	5.0	53	10.6	6	R2	358.9	160	5	2	1	1	0	0	
21	無	720712033	合羽池	140.3885 37.29307		6	4.5	68	15.1	6	R2	300.8	160	5	2	1	1	0	0	
22	無	720712034	釜池	140.3848 37.27394		5.9	4.0	53	13.3	6	R3	172.6	160	5	2	1	1	0	0	
23	無	720712036	柏崎池	140.3938 37.28403		5.9	7.8	98	12.6	6	R3	321.6	160	5	1	1	1	1	0	
24	無	720712037	仁井池	140.3956 37.27475		5.9	4.9	85	17.3	6	R3	247.5	160	1	1	1	0	1	0	
25	無	720712038	新兵衛池	140.3993 37.27293		5.9	6.4	85	13.3	6	R3	268.8	190	1	1	1	0	1	0	
26	無	720712039	富士池	140.3866 37.26209		5.9	3.6	46	12.8	6	R4	281.9	160	4	2	1	0	0	0	
27	有	720712040	二池	140.3863 37.25469	4	5.9	8.4	176	21	6	R4	224.8	160	1	1	1	0	0	0	
28	無	720712041	草池	140.3713 37.24817		5.8	2.9	74	25.5	5	R5	238.3	140	4	2	1	0	0	0	
29	無	720712042	三ツ池(第1)	140.39 37.31365		6	6.8	65	9.6	6	R1	80.6	160	3	3	1	0	0	1上	31親子
30	無	720712043	羽黒池	140.3962 37.3033		5.9	8.0	35	4.4	6	R2	167.8	160	5	2	2	1	0	0	
31	有	720712094	三ツ池(第2)	140.3881 37.31296	2	6	5.0	87	17.4	6	R1	92.6	160	3	3	1	0	0	1下	29親子
32	無	720712095	昭和池	140.3966 37.30618		5.9	4.9	30	6.1	6	R2	177.1	160	3	3	1	0	1	1下	33,34親子
33	無	720712096	曲池	140.3969 37.30749		5.9	3.5	28	8	6	R2	150.7	160	3	3	1	0	1	1上	32,34親子
34	無	720712097	新池	140.3991 37.30714		5.9	4.0	38	9.5	6	R2	233.4	160	1	1	1	0	1	1横	32,33親子
35	無	720722001	追揚池	140.3061 37.27551		5.9	2.1	28	13.3	4	C3	8.6	100	5	1	2	1	0	0	
36	有	720722002	鎌取沢池	140.3051 37.27588	3	5.9	2.5	32	12.8	4	C3	327.2	100	1	1	1	0	0	0	
37	有	720722003	横山池	140.3013 37.27599	3	6	2.0	41	20.5	4	C3	335.3	100	1	1	1	0	0	0	
38	無	720722004	平内池	140.2918 37.27411		6	2.5	21	8.4	3	L3	131.1	100	2	1	2	0	0	0	
39	有	720722005	大池	140.2919 37.27909	3	6	4.0	55	13.8	3	L3	208.1	190	1	1	1	0	0	0	
40																				
41	有	720722007	安場池	140.2731 37.25679	3	5.6	5.0	35	7	2	L4	324.8	100	1	1	1	0	0	0	
42	有	720722008	上新田坊池	140.2668 37.25479	3	5.6	5.0	45	9	2	L4	225	100	1	1	1	0	0	0	
43	有	720722009	雁ノ内池	140.2676 37.25709	1	5.6	4.2	27	6.4	2	L4	303.3	100	2	1	2	0	0	0	
44	有	720722010	滝ノ入池	140.2596 37.25762	3	5.6	4.5	41	9.1	2	L4	329.5	100	1	1	1	0	0	0	
45	無	720722011	大ヶ久保下池	140.2725 37.28157		5.8	2.0	50	25	3	L3	149.8	100	4	2	2	0	0	0	
46	有	720722012	山森池	140.2532 37.26362	4	5.6	3.6	51	14.2	2	L4	302	190	1	1	1	0	0	0	
47	有	720722013	女鹿池	140.2513 37.26462	1	5.6	6.9	105	15.2	2	L4	225.3	190	1	1	1	0	0	1下	48親子
48	有	720722014	中池	140.2486 37.26499	5	5.5	11.4	85	7.5	2	L4	242.5	190	1	1	1	0	0	1上	47親子
49	無	720732004	堂布坂池	140.2764 37.32989		6	3.0	54	18	3	L1	186.8	100	3	3	2	1	0	0	
50	無	720732008	不動池	140.2521 37.3179		6	5.0	261	52.2	3	L1	331.7	160	5	1	2	1	0	0	
51	無	720732011	新池(五百池)	140.2847 37.29982		6	2.0	78	39	3	L2	249.4	100	4	2	2	0	0	0	
52	有	720732012	新池①	140.2866 37.29532	3	6	1.5	38	25.3	3	L2	206	100	1	1	1	0	0	0	
53	無	720732014	後田池	140.2778 37.29271		6	3.8	55	14.5	3	L2	167.4	100	5	1	2	1	0	0	
54	無	720732015	原田池	140.2953 37.29269		6	2.0	39	19.5	4	L2	161.3	100	5	1	2	1	0	0	
55	有	720732016	梨ノ木平池	140.2972 37.29039	2	6	3.0	114	38	4	L2	75.9	100	1	1	1	0	0	0	
56	有	720732018	刈又池	140.3027 37.28739	3	6	1.5	50	33.3	4	C3	107.9	100	1	1	1	0	0	0	
57	無	720732019	明池	140.2787 37.2883		5.9	2.0	51	25.5	3	L3	333.5	100	5	1	2	1	0	0	
58	有	720732020	鱒田池	140.2817 37.28412	3	5.9	3.0	105	35	3	L3	234.4	100	1	1	1	0	0	0	
59	無	720732021	鍛冶之入池	140.2881 37.2844		6	1.2	69	57.5	3	L3	353.2	190	2	1	2	0	0	1下	98親子

60	有	720732022	寺池	140.2928	37.28205	4	6	1.5	34	22.7	3	L3	291.7	190	2	1	2	0	0	0	
61	無	720732023	太池	140.2952	37.28288		6	1.5	47	31.3	3	L3	46.8	190	5	2	2	1	0	0	
62	無	720732024	熊之池	140.2978	37.28166		6	1.3	31	23.8	3	L3	329.1	190	5	2	2	1	0	0	
63	無	720732025	油久保池	140.3038	37.28107		6	1.2	37	30.8	4	C3	254.2	190	4	2	2	0	0	0	
64	無	720732026	蓮池	140.3065	37.28464		6	2.0	23	11.5	4	C3	170.7	190	5	1	2	1	0	0	
65	無	720732027	向池	140.3064	37.28332		6	1.5	23	15.3	4	C3	333.8	190	5	1	2	1	0	0	
66	有	720732028	白山池	140.2866	37.31517	3	6.3	4.0	235	58.8	4	L1	323.5	100	2	1	2	0	0	0	
67	無	720732029	荷川池	140.2972	37.3189		6.1	2.0	66	33	4	L1	115.8	100	3	3	1	0	0	0	
68	有	720732030	杉葉池	140.2998	37.31487	3	6.1	2.5	79	31.6	4	L1	268.2	100	2	1	2	0	0	0	
69	無	720732031	和久池①	140.3018	37.30251		6.1	2.0	44	22	4	C2	177	160	5	1	2	1	0	0	
70	無	720732032	火澄壇池	140.3062	37.30355		6.1	1.5	28	18.7	4	C2	196.7	160	5	1	2	1	0	0	
71	有	720732033	入池①	140.2861	37.30474	4	6.1	3.0	58	19.3	3	L2	314.2	190	1	1	1	0	0	0	
72	無	720732035	中蔵池	140.2752	37.31464		6.1	2.0	138	69	3	L1	233.4	160	4	2	2	0	0	0	
73	無	720732036	荒池	140.2725	37.30707		6	2.0	58	29	3	L2	241.3	100	4	2	2	0	0	0	
74	無	720732037	諏訪池	140.2734	37.3058		6	3.0	47	15.7	3	L2	288.8	160	5	1	1	1	0	0	
75	無	720732038	金刀比羅池①	140.2782	37.30682		6.1	1.5	34	22.7	3	L2	356.5	160	3	3	1	0	0	1下	102親子
76	無	720732039	勝場池①	140.2833	37.30482		6.1	2.5	34	13.6	3	L2	343.4	160	3	3	1	0	0	1下	103親子
77	無	720732040	新池	140.2745	37.30251		6	2.5	83	33.2	3	L2	341.5	100	3	3	1	1	0	0	
78	有	720732041	鶴賀池	140.2686	37.30033	4	5.9	4.0	81	20.3	3	L2	205.6	100	1	1	1	0	0	0	
79	有	720732042	十三佛池	140.2628	37.29578	1	5.9	2.5	39	15.6	3	L2	169.2	100	1	1	1	0	0	0	
80	無	720732043	荒池	140.2652	37.2957		5.9	1.5	29	19.3	3	L2	162.5	100	5	2	2	1	0	0	
81	無	720732044	蛇池①	140.2683	37.29483		5.9	1.5	21	14	3	L2	179.1	100	5	1	2	1	0	0	
82	無	720732045	神蛇池	140.2748	37.29558		6	3.0	33	11	3	L2	84.4	100	4	2	2	0	0	0	
83	無	720732046	竹ノ内池	140.2556	37.29075		5.8	1.5	37	24.7	2	L2	307.8	100	5	2	2	1	3	0	
84	無	720732047	黒沢池	140.2638	37.28746		5.9	1.5	33	22	2	L3	320.8	100	5	1	2	1	0	0	
85	無	720732048	清水池	140.2657	37.28661		5.9	1.3	19	14.6	2	L3	312.8	100	5	1	1	1	0	0	
86	無	720732049	蟹沢池	140.2734	37.2866		5.9	2.0	27	13.5	3	L3	339.5	100	5	1	1	1	0	0	
87	有	720732050	石井池	140.2648	37.31192	3	6.1	2.5	64	25.6	3	L1	224	100	1	1	1	0	0	0	
88	無	720732051	北ノ俣池	140.2455	37.31022		5.9	3.0	50	16.7	2	L1	188.6	160	5	2	1	1	3	0	
89	無	720732052	五葉山池	140.255	37.30853		5.9	5.0	40	8	2	L2	227.1	100	5	1	1	1	3	0	
90	無	720732053	諏訪池	140.2499	37.30039		5.8	1.5	57	38	2	L2	285.3	100	5	2	2	1	3	0	
91	無	720732054	分校池	140.2579	37.29991		5.9	1.5	35	23.3	2	L2	352.1	100	5	1	1	1	3	0	
92	有	720732055	カバ池	140.2641	37.30017	3	5.9	2.5	25	10	3	L2	358.3	100	1	1	1	0	0	0	
93	有	720732091	不動池②	140.2538	37.31883	3	6	5.0	157	31.4	3	L1	338	160	2	1	2	0	0	0	
94	無	720732092	新池②	140.2857	37.29425		6	1.5	20	13.3	3	L2	193.9	100	4	2	1	0	0	1下	96親子
95	無	720732093	新池③	140.2893	37.29394		6	1.5	29	19.3	3	L2	241.9	100	5	1	2	1	0	0	
96	無	720732094	新沢池	140.2843	37.29458		6	1.5	60	40	3	L2	240.5	100	4	2	1	0	0	1上	94親子
97																					
98	有	720732096	弁天池	140.288	37.28369	3	6	2.0	71	35.5	3	L3	325.4	190	2	1	2	0	0	1上	59親子
99	有	720732097	二ガ池①	140.3028	37.30624	3	6.1	1.7	25	14.7	4	C2	322	160	2	1	2	0	0	0	
100	無	720732101	入池④	140.2864	37.30314		6.1	1.0	28	28	3	L2	230.6	100	5	1	1	1	0	0	
101	無	720732102	荒池②	140.2881	37.30151		6.1	1.2	19	15.8	3	L2	239.6	100	5	1	2	1	0	0	
102	有	720732103	金刀比羅池②	140.2784	37.30644	2	6.1	1.3	28	21.5	3	L2	6	160	3	3	1	0	0	1上	75親子
103	無	720732104	勝場池②	140.2833	37.30434		6.1	2.0	37	18.5	3	L2	328.8	160	3	3	1	0	0	1上	76親子
104	無	720732105	蛇池②	140.2693	37.2954		5.9	1.5	13	8.7	3	L2	212.7	100	5	1	2	1	0	0	
105																					
106	有	734212003	一貫池	140.3645	37.25628	3	6	5.4	90	16.7	5	R4	7	160	3	3	2	0	0	0	
107																				0	
108	無	734212006	大池	140.3499	37.26968		5.9	3.0	95	31.7	5	R4	3.6	140	3	3	1	0	0	0	
109	有	734212007	五斗蒔池	140.3459	37.26005	2	6	5.0	78	15.6	4	R4	2	140	4	2	2	0	0	0	
110	無	734212008	川崎池	140.3399	37.2619		6	2.0	64	32	4	C4	329	140	3	3	1	0	0	0	
111	有	734212009	岡ノ内池1	140.3373	37.25492	1	5.9	4.0	50	12.5	4	C4	26.8	140	3	3	1	0	0	1下	112親子
112	無	734212010	岡ノ内池2	140.3383	37.25424		5.9	2.0	30	15	4	C4	3	140	3	3	1	0	0	1上	111親子
113	無	734212011	七曲池	140.3305	37.25279		5.8	3.6	35	9.7	4	C4	45.2	190	3	3	1	0	0	0	
114																					
115	有	734212014	蓮池	140.345	37.22886	3	5.8	3.0	200	66.7	4	R6	330.9	100	1	1	1	0	0	0	
116	有	734212015	小橋池	140.3552	37.23722	1	5.8	2.5	72	28.8	4	R5	184.2	140	4	2	1	0	0	0	
117	有	734212016	梨池	140.3511	37.24575	3	6	4.0	110	27.5	4	R5	307	140	4	2	1	0	0	0	
118																					
119																					
120	無	734212019	借俣池	140.3277	37.22419		5.7	3.0	50	16.7	3	C6	128.2	140	3	3	1	0	0	0	
121	無	734212021	越中池	140.3202	37.23568		6	3.0	29	9.7	3	C5	338.5	190	4	2	1	0	0	0	
122	無	734212022	海ノ窪池	140.3265	37.24034		5.8	2.5	37	14.8	4	C5	294.9	140	5	1	1	1	0	0	
123	無	734212023	後山池	140.3812	37.24379		5.7	2.5	57	22.8	5	R5	215.2	140	5	2	1	1	0	0	

124	無	734212024	七ツ池	140.3846	37.24224		5.7	2.0	43	21.5	5	R5	175.9	190	5	1	2	1	0	0	
125	有	734212025	諏訪池	140.373	37.23855	1	5.7	5.0	158	31.6	5	R5	265	140	1	1	1	0	0	0	
126	無	734212026	高野池	140.369	37.22594		5.6	3.0	144	48	5	R6	304.8	140	4	2	2	0	0	0	
127	無	734212027	新池	140.3743	37.22547		5.6	2.0	83	41.5	5	R6	323.1	140	4	2	2	0	0	0	
128	有	734212028	太良坊池1	140.3182	37.24134	3	6	2.5	43	17.2	3	C5	30.5	190	3	3	1	0	0	1下	129親子
129	無	734212029	太良坊池2	140.319	37.24016		6	3.0	33	11	3	C5	348.9	190	3	3	1	0	0	1上	128親子
130	有	734412002	北小屋池	140.2973	37.24255	3	5.7	3.0	4	1.3	3	L5	127.6	140	2	1	2	0	0	0	
131	無	734412006	長者池	140.2422	37.24423		5.6	3.7	52	14.1	2	L5	257.7	140	5	1	1	1	3	0	
132	無	734412008	狸入池	140.2466	37.2329		5.2	6.0	50	8.3	2	L5	349.9	140	5	2	2	1	3	0	
133	無	734412009	地藏池	140.2411	37.22333		5.2	3.0	100	33.3	1	L6	226.9	40	5	1	2	1	3	0	
134	無	734412010	国旗池	140.252	37.22765		5.2	3.0	50	16.7	2	L6	252.4	100	5	1	2	1	3	0	
135	有	734412011	深沢池	140.2535	37.22848	3	5.5	4.0	40	10	2	L6	340.9	140	2	1	2	0	0	0	
136	無	734412012	細入池	140.2619	37.22973		5.5	4.5	50	11.1	2	L6	307.1	140	5	2	2	1	0	0	
137	無	734412013	三ノ輪池	140.2606	37.22815		5.5	11.0	10	0.9	2	L6	299.3	100	3	1	2	0	2	0	
138	無	734412015	上小井田輪池	140.2644	37.22377		5.7	6.0	20	3.3	2	L6	223.2	100	1	1	1	0	2	0	
139	無	734412016	関ノ入	140.2454	37.22329		5.2	2.5	30	12	1	L6	288.6	40	5	1	1	1	2	0	
140	無	75012002	雀池	140.3949	37.15626		5.6	3.2	30	9.4	5	R9	321.1	190	1	1	1	0	1	0	
県南																					
141	無	720513001	塩田池	140.2548	37.16792		5.7	4.6	62	13.5	1	L9	211	190	5	1	1	1	2	0	
142	無	720513004	山田池	140.2688	37.15174		5.7	3.5	30	8.6	1	L9	288.2	100	5	1	1	1	2	0	
143	有	720513009	荒田ノ入池	140.2607	37.15081	1	5.7	3.6	31	8.6	1	L9	163.1		1	1	1	0	3南	0	
144	有	720513010	河張池 No.2	140.2633	37.1509	1	5.7	4.0	67	16.8	1	L9	141.6		1	1	1	0	3南	0	
145	有	720513012	雁沢池 N	140.2563	37.15146	3	5.6	4.0	57	14.3	1	L9	198.3	100	1	1	1	0	3南	0	
146	無	720513013	犬久保池	140.2453	37.15226		5.6	6.3	152	24.2	1	L9	212.5	40	4	2	1	0	0	0	
147	無	720513054	七曲り池	140.2508	37.15633		5.7	3.0	35	11.7	1	L9	145.5	190	4	2	1	0	0	0	
148	無	720513055	蟹ヶ作池	140.2752	37.16085		5.7	2.6	30	11.5	1	L9	17.6	100	3	3	1	0	3北	0	
149	無	720513056	呑内池	140.2693	37.15757		5.7	2.7	28	10.4	1	L9	343.4	190	3	3	1	0	3北	0	
150	無	720513057	大山池	140.2599	37.15449		5.7	3.3	34	10.3	1	L9	21.3	190	3	3	1	0	3北	0	
151	有	720513058	雁沢池 No.2	140.258	37.15095	3	5.6	3.6	26	7.2	1	L9	101.9	100	1	1	1	0	3南	0	
152	無	720543003	金山	140.2434	37.21877		5.5	3.5	63	18	1	L6	267.8	40	1	1	1	0	3	0	
153	有	720543006	芹沢	140.2766	37.21318	2	5.7	2.0	44	22	2	L6	196.2	100	1	1	1	0	0	0	
154	無	746413012	山ヶ入池	140.2916	37.15715		5.7	3.0	76	25.3	2	L9	239.1	160	2	1	2	0	2	0	
155	無	746413016	八ヶ代池	140.2879	37.16085		5.7	3.0	105	35	2	L9	266.1	190	1	1	1	0	2	0	
156	無	746413017	証古池	140.2838	37.16362		5.7	3.0	80	26.7	1	L9	283.9	190	1	1	1	0	2	0	
157	無	746413018	日向池	140.3221	37.16999		5.5	3.0	86	28.7	2	C9	153.3	140	5	1	2	1	0	0	
158	無	746413019	坂ノ合池	140.2808	37.17371		5.7	3.0	55	18.3	2	L8	203	190	5	1	2	1	2	0	
159																					
160	無	746413021	一の沢池	140.2661	37.16823		5.7	3.0	55	18.3	1	L9	239.2	160	1	1	1	0	3	0	
161	無	746413022	新池	140.2541	37.17534		5.6	5.5	68	12.4	1	L8	247.9	40	5	1	1	1	3	0	
162	無	746413023	長久保池	140.2471	37.17777		5.6	4.0	33	8.3	1	L8	200.5	40	5	1	1	1	3	0	
163	無	746413024	博蜜久保池	140.2485	37.18433		5.6	4.0	33	8.3	1	L8	226	40	5	1	1	1	3	0	
164	無	746413026	梅ヶ入池	140.2624	37.18571		5.5	3.0	62	20.7	1	L8	190.2	40	1	1	1	0	3	0	
165	無	746413027	梅ヶ入下池	140.2642	37.18436		5.5	2.5	68	27.2	1	L8	203.6	40	1	1	1	0	3	0	
166	無	746413028	石倉池	140.2671	37.18972		5.5	5.0	53	10.6	1	L8	261.2	40	1	1	1	0	3	0	
167	無	746513001	松崎大池	140.3897	37.17143		5.5	4.4	150	34.1	5	R8	191	100	1	1	1	0	1	0	
168	無	746513002	踊池	140.3874	37.17625		5.6	2.3	100	43.5	5	R8	178.2	100	1	2	1	0	1	0	
169	有	746513003	横池	140.3832	37.17331	2	5.6	3.7	100	27	5	R8	285	100	1	1	1	0	0	0	
170	無	746513004	雁俣池	140.3661	37.16246		5.5	5.5	78	14.2	3	R9	303.3	140	4	2	1	0	0	0	
171	有	746513005	岩ヶ作池	140.3697	37.16425	1	5.5	4.7	50	10.6	3	R9	289.1	100	1	1	1	0	0	0	
172	無	746513006	中池	140.3742	37.162		5.5	3.0	50	16.7	3	R9	331.9	140	5	1	2	1	0	0	
173	有	746513007	菖蒲釜池	140.3729	37.16263	3	5.5	3.6	55	15.3	3	R9	298.7	100	1	1	1	0	0	0	
174	有	746513008	孫六池	140.3717	37.15832	3	5.5	6.2	150	24.2	3	R9	184.1	100	1	1	1	0	0	0	
175	無	746513009	本法寺池	140.3637	37.15107		5.5	3.0	13	4.3	3	R9	246.3	140	4	2	1	0	0	0	
176	無	746513012	蟹沢上池	140.3676	37.15325		5.5	2.0	34	17	3	R9	246.7	140	4	2	2	0	0	1上	177親子
177	無	746513013	蟹沢下池	140.3681	37.15283		5.5	3.5	37	10.6	3	R9	148.1	140	4	2	2	0	0	1下	176親子
178	無	746513022	薬師池	140.381	37.16548		5.5	4.5	77	17.1	3	R9	138.4	100	3	3	2	0	0	1下	179・180親子
179	無	746513023	泥鱒池	140.3819	37.166		5.5	2.4	50	20.8	3	R9	102.2	100	3	3	2	0	0	1上	178・180親子
180	無	746513024	真菰池	140.3806	37.16664		5.5	2.2	45	20.5	3	R9	166.5	140	3	3	2	0	0	1上	178・179親子
181	無	746613001	吉作後池	140.3898	37.20344		5.6	2.5	50	20	5	R7	237.4	190	1	1	1	0	1	0	
182	無	746613002	吉作前池	140.3906	37.20171		5.6	4.0	55	13.8	5	R7	272.7	140	1	1	1	0	1	0	
183	有	746613003	赤池	140.386	37.19822	3	5.5	5.5	105	19.1	5	R7	221.1	140	1	1	1	0	0	0	
184	無	746613005	坂口池	140.3946	37.185		5.5	4.5	80	17.8	5	R8	326.7	100	5	1	2	1	1	0	
185	有	746613009	原池	140.3784	37.19228	1	5.5	2.5	70	28	4	R7	194.8	140	1	1	1	0	0	0	
186	有	746613010	神ノ内池	140.3777	37.18656	3	5.5	1.5	85	56.7	4	R8	215.5	140	1	1	1	0	0	0	

187	有	746613012	波柳池	140.3641	37.2196	3	5.6	2.5	140	56	4	R6	238.3	140	1	1	1	0	0	0
188	無	746613013	行人田池	140.3569	37.21389		5.8	2.5	45	18	4	R6	277.1	100	4	2	1	0	0	0
189	有	746613014	牡丹池	140.3549	37.21732	1	5.8	3.0	130	43.3	4	R6	302.9	100	1	1	1	0	0	0
190	有	746613015	仲間池	140.3494	37.21938	3	5.9	2.0	70	35	4	R6	191.9	100	1	1	1	0	0	0
191	有	746613016	大池	140.3352	37.21817	3	5.7	3.5	200	57.1	4	C6	238.2	140	1	1	1	0	0	0
192	無	746613017	小池	140.3358	37.20940		5.7	2.0	140	70	3	C7	290.8	140	4	2	2	0	0	0
193	無	746613019	館池	140.3202	37.20845		5.9	2.0	35	17.5	3	C7	111.1	190	3	3	1	0	0	0
194	有	746613020	柳池	140.3208	37.20623	5	5.8	1.8	830	461.1	3	C7	56.2	190	3	3	1	0	0	0
195	有	746613021	二ツ池	140.3169	37.20187	3	5.8	4.1	82	20	3	C7	53.6	160	3	3	1	0	0	0
196	無	746613022	大池	140.3098	37.22261		5.8	2.0	74	37	3	C6	278.7	190	4	2	1	0	0	0
197	無	746613023	長命池	140.2953	37.22327		5.8	2.5	48	19.2	2	L6	191.9	100	4	2	1	0	0	0
198	無	746613024	入の沢池	140.2926	37.22007		5.8	3.0	68	22.7	2	L6	219	100	5	1	1	1	0	0
199	有	746613025	北田池	140.2831	37.22316	1	5.7	3.0	37	12.3	2	L6	229.1	100	1	1	1	0	0	0
200	有	746613026	前久保池	140.3698	37.18019	3	5.6	3.5	190	54.3	4	R8	317.3	100	1	1	1	0	0	0
201	有	746613029	荒池	140.3543	37.16825	3	5.5	2.7	64	23.7	3	R9	279	140	1	1	1	0	0	0
202	有	746613030	菱池	140.3568	37.16605	3	5.5	4.0	65	16.3	3	R9	301.6	140	1	1	1	0	0	0
203	無	746613031	銅矢場池	140.3555	37.16313		5.7	4.6	61	13.3	3	R9	312.9	190	4	2	1	0	0	0
204	無	746613034	夏張池	140.3459	37.16219		5.7	2.5	95	38	3	R9	11.8	190	3	3	1	0	0	1上 205親子
205	有	746613035	渡利池	140.3453	37.16283	3	5.5	3.0	180	60	3	R9	30.6	190	3	3	1	0	0	1下 204親子
206	無	746613036	茶平池	140.3429	37.16082		5.5	2.3	100	43.5	3	R9	9.3	140	3	3	2	0	0	0
207	有	746613037	原池	140.3581	37.19172	3	5.5	2.0	97	48.5	4	R7	212.7	140	1	1	1	0	0	0
208	有	746613038	上池	140.344	37.18589	3	5.5	2.0	85	42.5	3	R8	175.8	140	1	1	1	0	0	0
209	有	746613039	浅井名池	140.3428	37.18774	3	5.5	2.5	82	32.8	3	R8	218.8	140	1	1	1	0	0	0
210	無	746613040	牡丹池	140.3369	37.18326		5.6	3.0	158	52.7	3	C8	162.2	140	4	2	2	0	0	0
211	有	746613041	松房池	140.3336	37.17946	3	5.5	3.0	160	53.3	3	C8	292.4	140	1	1	1	0	0	0
212	有	746613042	堤内池	140.3361	37.17163	3	5.5	2.5	165	66	3	C8	263.4	190	2	1	2	0	0	0
213	無	746613043	申久保池	140.3351	37.16494		5.5	3.0	120	40	3	C9	208	140	4	2	2	0	0	0
214	無	746613044	新池	140.325	37.16046		5.5	2.5	125	50	2	C9	271.5	140	4	2	2	0	0	0
215	有	746613046	釜池	140.3129	37.18324	2	5.7	3.0	205	68.3	2	C8	221.2	140	1	1	1	0	0	0
216	有	746613047	堀ノ内池	140.3393	37.15411	4	5.6	2.0	37	18.5	2	C9	343.5	140	3	3	1	0	0	0
217	無	746613048	三ツ池	140.3882	37.20578		5.5	3.0	30	10	5	R7	320.6	190	5	1	1	1	1	0
県中																				
218	有		桜川(桜川池)	140.336	37.30874	3	6	5.0	60	12	5	C2	332.2		1	1	1	0	0	0
219	有		一本木第1(上ノ池)	140.2865	37.27824	3	5.9	2.5	60	24	3	L3	323		2	1	2	0	0	0
220	有		榎松第1(仏田池)	140.3199	37.2605	2	6	5.0	42	8.4	4	C4	157.5		1	1	1	0	0	0
221	有		高久田堤(高久田堤池)	140.3691	37.27233	3	5.9	3.5	114	32.6	5	R3	255.6		1	1	1	0	0	0
222	有		坂井第2(西ノ内池)	140.3095	37.28311	3	6	3.5	114	32.6	4	C3	154.4		1	1	1	0	0	0
223	有		田中(田中池)	140.3116	37.28272	4	6	3.0	30	10	4	C3	346.6		2	1	2	0	0	0
224	有		花見堂第2(花見堂池)	140.3026	37.28826	5	6	1.5	30	20	4	C3	138.1		2	1	2	0	0	0
225	有		大山第1(ボタ塚池)	140.349	37.22782	3	5.8	1.6	31	19.4	4	R6	4.8		1	1	1	0	0	0
226	有		穴田第2(北向池)	140.264	37.22244	3	5.7	4.0	42	10.5	2	L6	197.2		1	1	1	0	0	0
県南																				
227	有		矢吹町 池の入池	140.3027	37.22731	4	5.9	2.1	46.7	22.2	3	C6	273.8		1	1	1	0	0	0
228	有		泉崎村 原山地区	140.2852	37.17789	5	5.5	3.4	70	20.6	2	L8	242.3		1	1	1	0	0	0
不明 8																				
40	無	720722006	荒池	140.2879	37.27554		6	2.0	19	9.5		L3	336.2	190						一本木
97	無	720732095	池平池②	140.3026	37.28826		6	1.0	29	29		C3	141.6	100						花見堂
118	無	734212017	二池	140.3511	37.24577		5.8	1.5	91	60.7		C5	306.3	140						梨池
119	有	734212018	滋賀池	140.345	37.22875		5.8	1.5	102	68		C6	335.3	140						蓮池
159	無	746413020	新池	140.2852	37.17787		5.5	3.0	150	50		L8	242.1	140						原山
被災度無																				
105	有	734212001	ハヤ釣り池	140.3751	37.25828		6	2.5	45	18		R4	203.9	160	4	2	2	0	0	0
107	有	734212005	蒲ノ沢池	140.3561	37.27242		5.9	2.0	50	25		R3	247.1	100	4	3	2	0	0	0
114	有	734212013	サカサ池	140.3418	37.23834		5.8	3.0	190	63.3		R5	212.1	140	4	2	2	0	0	0