

ため池の災害について



Damage to Earth Dams Caused by Heavy Rainfall and Earthquake

谷 茂 Shigeru TANI (独立行政法人 農業工学研究所)

ため池と呼ばれるかんがい用の小規模アースダムは約75%程度が築造後100年以上を経過し、老朽化により改修を必要としているものも多い。豪雨・地震により多くのため池が被災している。本報告ではため池の豪雨、地震による被災の概要、及び最近の事例について述べる。また、これらのため池災害の防止対策としての被害予測の方法の現状と今後について述べる。

キーワード：ため池，豪雨，地震，災害，災害予測

(IGC: E06,E08,H04)

1. はじめに

ため池と呼ばれるかんがい用の小規模アースダムが日本には貯水容量1,000m³以上のため池に限っても、約10万箇所あり、その内で約75%程度が築造後100年以上を経過し、老朽化により改修を必要としているものも多い。また、ため池周辺の都市化、混住化が進み、災害時における下流域への影響が大きくなっていて、早急に改修・補修が必要となっているものもある。本報告ではこれらのため池災害の現状と、災害予測の現状について述べる。

2. ため池の災害について

2.1 過去のため池災害の概要

図-1, 2は昭和61年から平成8年度、及び平成9年度から14年度までのため池の被災箇所数を地域別に分類したもので、表-1は平成9～14年度の年度別、農政局別の被災箇所数である。地域的には中国四国、近畿管内の比率がそれぞれ61%, 58%と高い。兵庫県南部地震による被災を除くと、豪雨による災害がほとんどである。平成16年度には台風13号、新潟県中越地震等により4,166箇所のため池が被災した。台風23号では決壊したため池も多く発生し下流の農地、家屋の浸水被害が発生した。近年、ため池下流域の住宅化、混住化が進んでいるために、ため池が決壊すると下流域に重大な影響を与える懸念がある。

2.2 平成16年台風23号による被害の事例

平成16年の台風23号では近畿地方で多くのため池が被災したが、急峻な地形のため重ねたため池が連続して決壊した事例も発生している。ここではその1事例を紹介する。2004年10月20日に台風23号による異常な降雨により近畿地区にあるため池群(3箇所)が破堤・越流して洪水(小河川の氾濫)が発生し、農地等に災害が生じた。ため池群の被災後の航空

写真にため池の位置、洪水域(土石の残留等の痕跡から洪水が流れたと判断される範囲)を示したものが図-3中の赤い線である。氾濫域は土砂が堆積した箇所を全部含めているために、氾濫域の多くでは被害は軽微であった。氾濫は幅1m程度の小河川を中心に起こっており、河川がカーブする箇所では水深が約1.4m程度になったのが最大水深で、ここでは納屋に被害が発生した。この事例では上流で発生した小規模の土石流が最上流のため池の堰堤に衝突して決壊した。2番目、3番目のため池は越流により決壊したものと推定される。近隣では越流した痕跡があるため池でも、小規模な侵食が生じただけで決壊に至らない事例もあり、越流継続時間、越流速度、堤体の植生、土質などによる違いと考えられる。

2.3 新潟県中越地震による被害事例

平成16年10月23日に発生した平成16年新潟中越地震により農業施設に甚大な被害が発生した。現在までに集計されている農地・農業施設被害の概要は2004年11月12日時点で45市町村で14,848箇所、89,518百万円となっている。図-4にはその中でため池の被災分布を示したが、小千谷市、山古志村の被害数が多かった。ため池被害が561箇所となっている。ため池の被害は山古志村で194箇所、小千谷市で118箇所、栃尾市で65箇所、その他で69箇所となっている。被害は地震動が大きかった小千谷市、山古志村の被害数が多かった。

3. ため池災害の予測とため池被害の軽減について

新潟中越地震でも中山間地域において農地盛土の大規模崩壊、かんがい用の水源であるため池の被災等により、農業生産への甚大な影響があり、防災・減災へ向けた技術開発が急務となっている。ため池の決壊等により下流に洪水が発生する場合に、この災害を最小化するためにはため池の強化が重要になるが、限られた整備予算の中ではすべてのため池を強

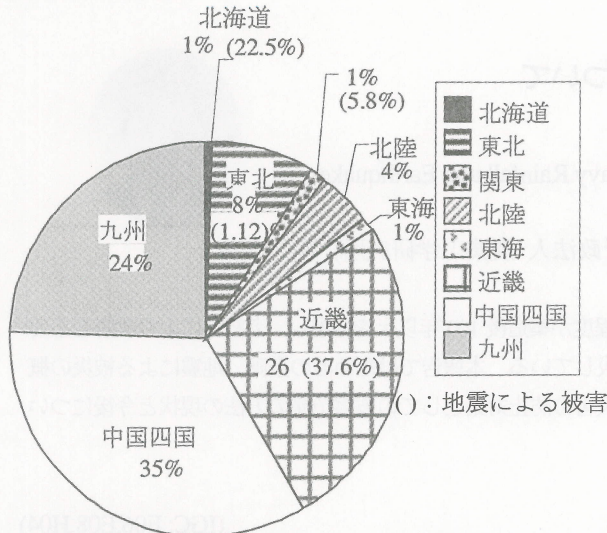


図-1 ため池の被災地域の分布と被災原因
(被災総数12,825箇所, 昭和61-平成8年度)

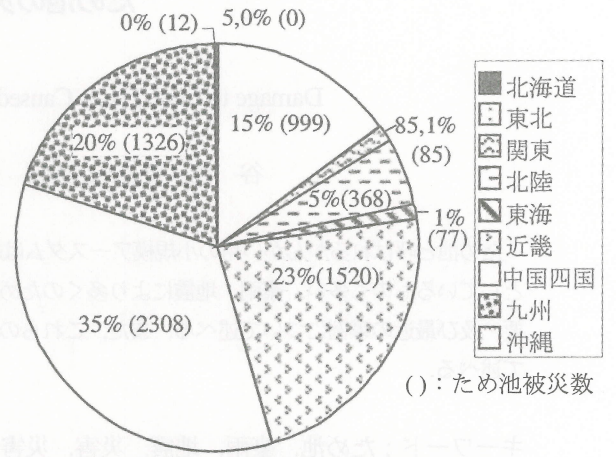


図-2 ため池の被災地域の分布
(被災総数6,700箇所, 平成9-14年度)

表-1 ため池災害一覧

| 局名 | 平成9年度 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 合計(箇所) |
|------|-------|------|------|-----|-----|-----|--------|
| 北海道 | 1 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| 東北 | 79 | 236 | 216 | 38 | 46 | 384 | 999 |
| 関東 | 0 | 25 | 21 | 31 | 3 | 5 | 85 |
| 北陸 | 50 | 172 | 50 | 45 | 12 | 39 | 368 |
| 東海 | 8 | 5 | 18 | 29 | 11 | 6 | 77 |
| 近畿 | 399 | 445 | 522 | 103 | 45 | 6 | 1520 |
| 中国四国 | 631 | 607 | 573 | 117 | 375 | 5 | 2308 |
| 九州 | 507 | 204 | 298 | 81 | 165 | 71 | 1326 |
| 沖縄 | 3 | 1 | 1 | 4 | 2 | 1 | 12 |
| 合計 | 1678 | 1698 | 1700 | 448 | 659 | 517 | 6700 |



ため池破堤の引き金となった頂部付近の山腹崩壊。崩壊ボリュームは約200m³でその1/3がA池に流入土砂による段波でため池の水が越流し破堤した。



A池の破堤状況を上流から見る。堤体の約1/3が流出している。流入した土砂が破堤した箇所に延びて堆積している。



B池の破堤状況。(堤体の1/2程度が破堤している。下流は巨礫が堆積している。)



C池の破堤状況。堤体下部まで流水によりきれいに侵食されている。

--- 氾濫域

図-3 台風23号による重ねため池の被害事例

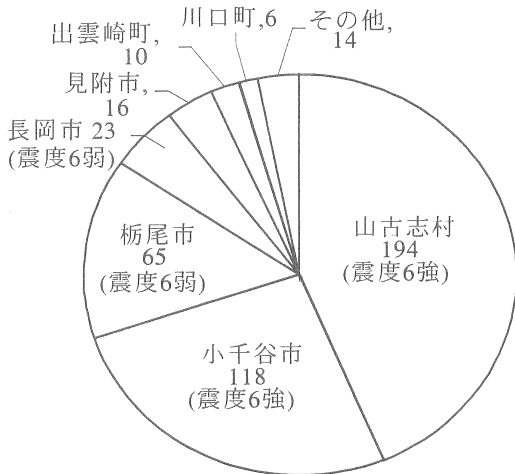


図-4 ため池の市町村別被災数

化することは困難である。このために災害の影響を事前に推定し、リアルタイムに災害を予測すること、ハザードマップにより、適切な避難を行うという、‘ソフト対策’が減災に向けた重要な事項となる。ここではリアルタイム気象情報に基づいて、地震、豪雨によるため池の広域被害予測法について述べるとともに、ハザードマップの作成技術の現状と展望について述べる。

3.1 地震災害

地震災害についてのデータからため池災害の発生条件を整理した(図-5)。地震については北丹後地震から新潟県中越地震の被災データに基づく地震被害の発生限界のマグニチュード、震度による被害率の予測式を用いる。震度は、平成8年10月に器械計測である計測震度計による新しい震度階が発表されるようになった。全国で3,000箇所を越える観測点が整備されており、計測震度と被害の関係が得られるようになった。

マグニチュードと被害の関係については、過去の被害データから、図-5のようにマグニチュードに応じて震央距離と被災率の関係が得られる。被害率がゼロになる震央距離(限界震央距離と称する)、及び図中の実線の関係から、図-6のようにマグニチュードと被害が発生する限界距離の関係及び、図-7のようにマグニチュードと震央距離から各地区の被害率を推定する関係が得られている¹⁾。個々のため池の地盤条件が異なるため、ここでは最も悪い条件で起こりうる限界震央距離及び被害率という意味をもつ。この場合には地盤条件や構造物の条件を考慮しないで、最大の被災率ということになるため、被害を大きめに見積もることになる。各サイトでの震度がわかれば、上の方法に比べ被害をより正確に見積もることが可能になると考えられる。このために震度とため池被害の関係に注目し検討した。

次に震度と被害率の関係について述べる。兵庫県南部地震までは旧震度階であったが、平成8年10月から器械計測である計測震度計による新しい震度階が発表されるようになった。震度階の使用上の注意については、文献²⁾等で述べているよ

うに地域性的問題、構造物との相互作用の問題、地震動の周波数特性、高震度における短周期の強調などがあることを認識して使わなければならないとしている。図-8~11は日本海中部、兵庫県南部、鳥取県西部、芸予地震の震度と被害率を整理したものである。日本海中部、兵庫県南部地震については計測震度がなかったために震度階(II)を用いた。新潟県中越地震のデータを加えて、まとめたものが図-12になる。

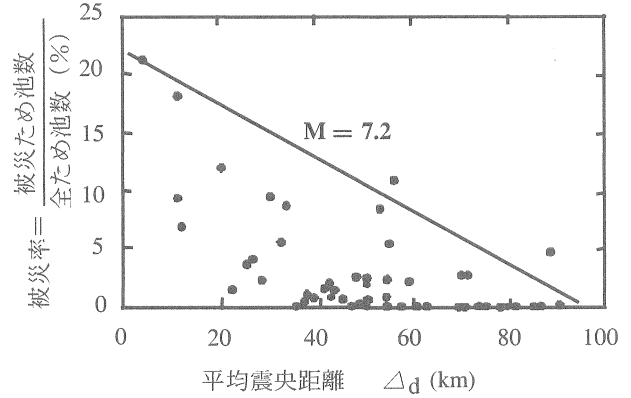


図-5 震央距離と被災率の関係(兵庫県南部地震)

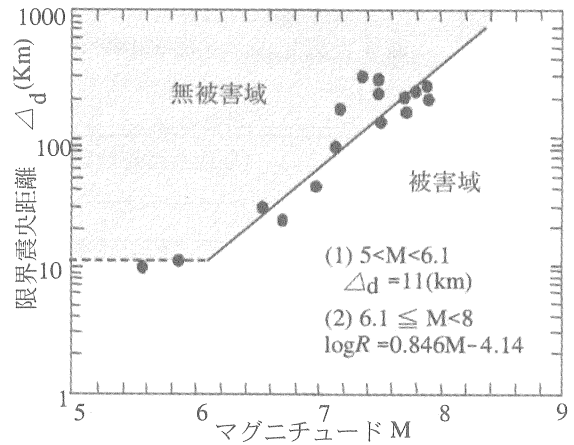


図-6 マグニチュードと限界震央距離の関係

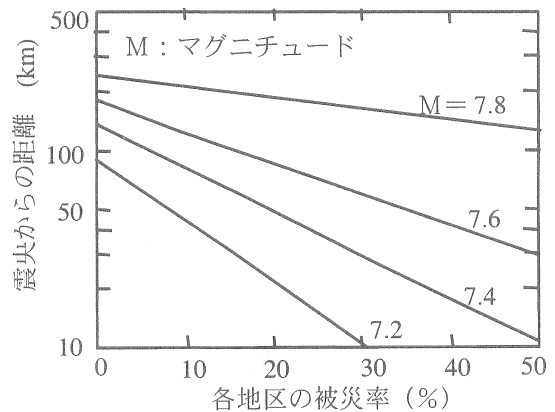


図-7 マグニチュードと被災率の関係

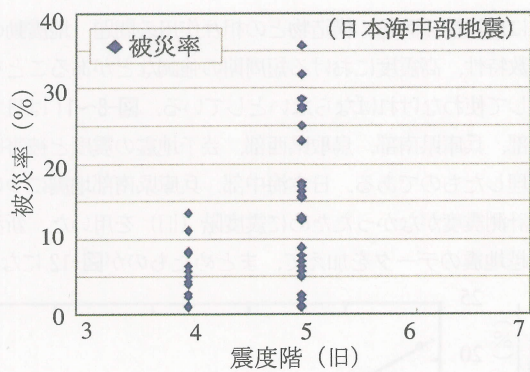


図-8 計測震度とため池被災率の関係

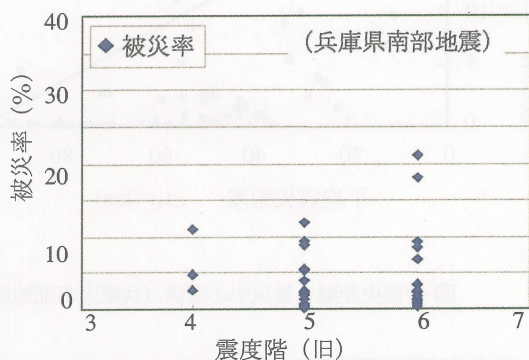


図-9 計測震度とため池被災率

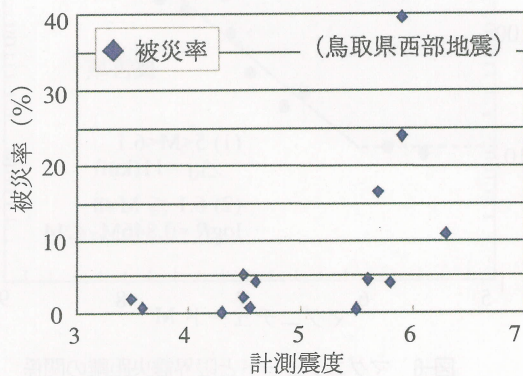


図-10 計測震度とため池被災率

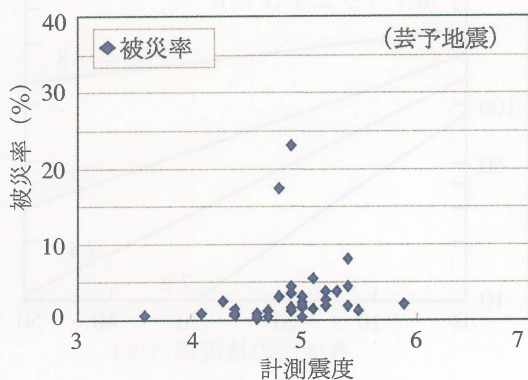


図-11 計測震度とため池被災率

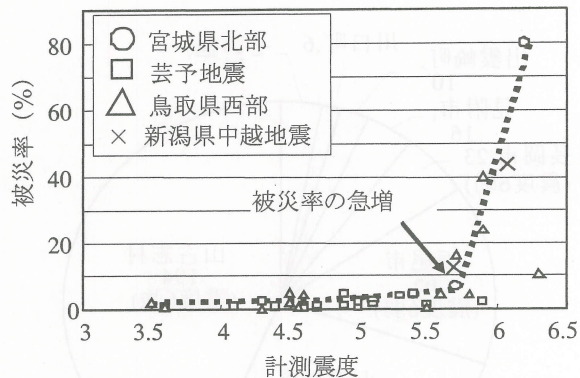


図-12 計測震度と被災率の関係



図-13 豪雨によるため池災害の事例 (決壊中の状況)



図-14 豪雨によるため池災害の事例 (決壊後)

3.2 豪雨災害

図-13, 14 は山口県で発生した豪雨によるため池の災害事例を示したもので、決壊していく状況及び決壊後の写真を示したものである。

次に災害の発生と降雨の状況の関係を示すデータについて述べる。平成 14 年の台風 6 号豪雨により、7 月 10 日未明に石川県羽咋郡にあるため池で、幸い決壊には至らなかったが下流斜面 2 箇所でのすべりとすべり面における複数箇所におけるパイピングが発生した。被害発見時 (10 日未明) の貯水位は天端まで達しており、越流があったものと推定されている。図-15 に降雨記録を示したが、9 日未明と 10 日未明に集

中的に降った。被害は降雨の3回目のピーク（7月10日4時頃）直後に発生している。過去のため池被害の事例でも同じように、時間最大雨量の発生した前後で決壊のような大きな被害が発生している。この事例では10日午前12時までの連続雨量は197mm、時間最大雨量は34mmが記録されている。

最近の豪雨によるため池の災害事例について、特に降雨量と災害の関係について検討するために、1997～1998年の間のため池の豪雨災害について調査した。降雨量はアメダスデータと他の観測データを用いた。1997年7月の台風9号で山口県むつみ村を中心として、約8箇所のため池に被害が生じた。概ね被害は連続雨量250mmかつ時間最大雨量で18mm以上の範囲に入っていた。

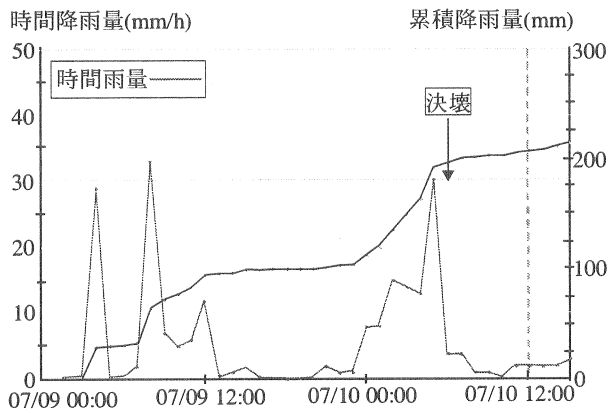


図-15 平成14年台風6号による被災アースダムでの降雨記録(2002年7月9日午前0時～7月10日午前12時)

1998年10月の中国地方の豪雨では岡山県、広島県のため池に災害が発生した。図-16, 17は広島県の連続雨量、時間最大雨量とため池の被害箇所を示したものである。貯水出来ないほどの被害の大きいため池の場合（図中のAランク）は概ね連続雨量140mmかつ時間最大雨量で20mm以上の範囲に入っている。図-18, 19は岡山県の連続雨量、時間最大雨量を示したもので、概ね連続雨量130mmかつ時間最大雨量で25mm以上の範囲に被災ため池は入っている。降雨量と盛土・斜面災害の間の相関関係については、文献⁷³⁾等で述べられているが、ため池の場合は貯水構造物であるため、豪雨前の貯水位が大きく影響する。また土質や基礎地盤の条件によっても変わりうるものである。図-20はため池について過去のデータから災害の発生限界での連続雨量と時間最大雨量のデータをプロットしたものである。降雨量から、ため池の豪雨災害の発生を概略予測できる可能性があることを示している。ため池の豪雨時の災害事例について調査を行い、降雨量と被害の関係を検討したが、単純に連続雨量と時間最大雨量のデータから災害発生を正確に予測することは困難ではあるが、連続雨量、時間最大雨量および水位の急上昇と災害の発生が関係している事が示唆された。

雨量観測ポイントが現在のように多くなかった事などによ

り、降雨条件が正確に求められない場合もあるが、概略の判断基準にはなり得る。また、2001年の東海豪雨のケースでは、他の災害に比べ異なった傾向が認められる。この原因として、その地方における降雨履歴により、豪雨に対する災害の発生限界は大きく異なるといわれていることから、地域に応じた降雨の限界値を設定していくために、降雨特性の異なる地区ごとのため池に関する限界降雨条件のデータを蓄積していくが必要になる。今後データを増やし、詳細に検討していけばため池の豪雨災害を概略予測する手段となり得ると考えられる。

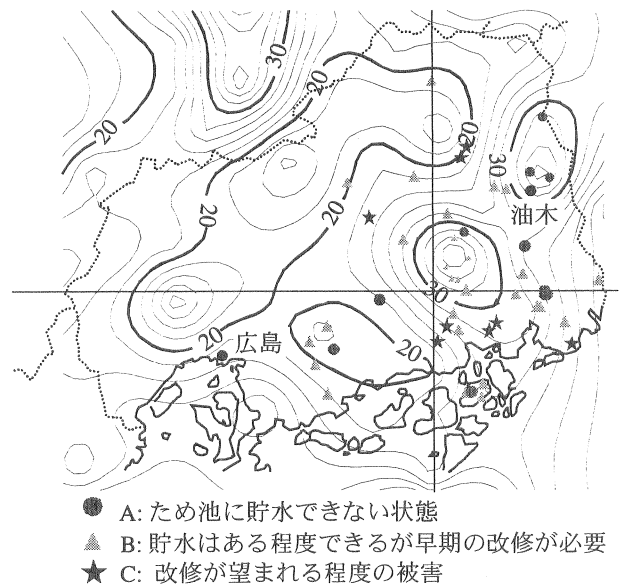


図-16 広島県における時間最大雨量の分布と被災ため池図

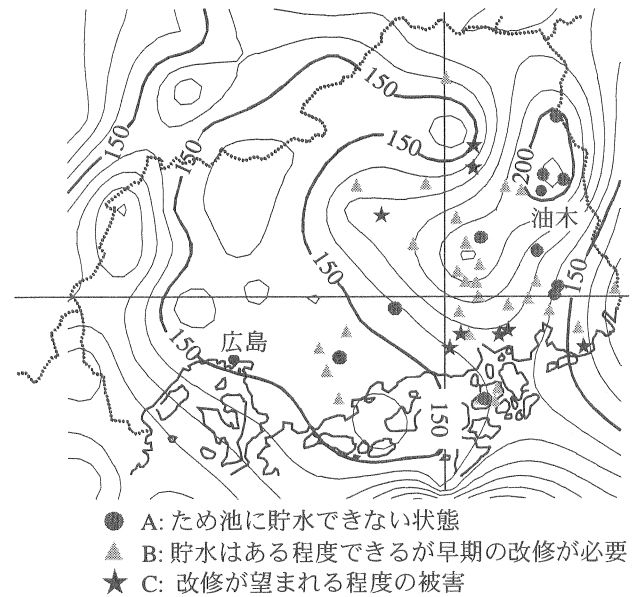


図-17 広島県における連続雨量の分布と被災ため池の位置

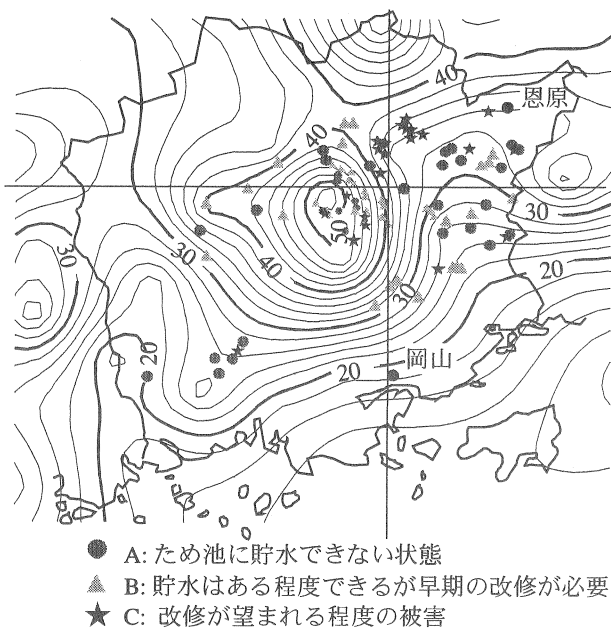


図-18 岡山県における時間最大の分布と被災ため池の位置

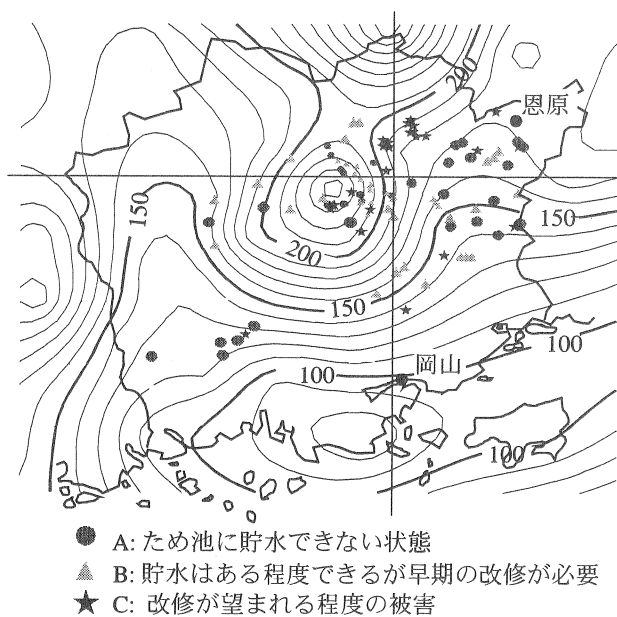


図-19 岡山県における連続雨量の分布と被災ため池の位置

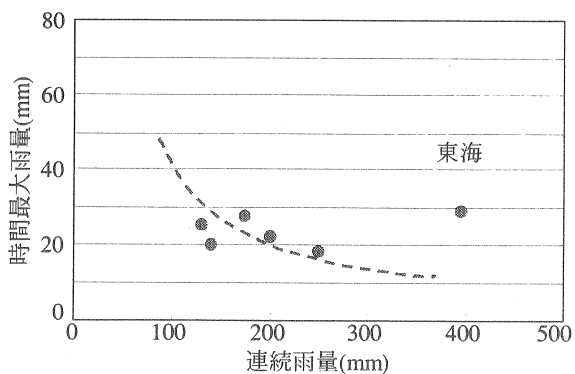


図-20 ため池に被害が発生する降雨条件

次にこれらのデータとリアルタイム気象情報を用いたリアルタイム災害予測システムについて述べる。地震によって被害が発生する限界距離とマグニチュードの関係(図-6)を用いることで、ため池が被災する可能性のため池を抽出することが出来、地震後に速やかな点検が可能になる。また、過去の災害データから計測震度とため池被災率の関係(図-5)から計測震度が5.7程度(震度階6弱)から被災率が急増している。この関係から地域ごとの被災率が予測できるが、特に計測震度が5.7以上の地域については被災率が数10%を超えることが予測され、東南海地震のようなシナリオ地震動が事前に評価されている場合には、重点的、効率的なため池の耐震化が可能になる。2004年11月からは1kmメッシュ単位での計測震度が気象庁からリアルタイムに提供されるようになったため、詳細な被災率が予測可能になっている。豪雨については過去のため池に関する災害データから、時間最大雨量と継続雨量に基づいて、災害の可能性を判断することが出来る。「ため池リアルタイム防災システム」³⁾によりリアルタイムにため池危険度の評価が可能である。

3.3 ため池決壊による洪水解析について

ため池の決壊による下流域の洪水範囲、規模を予測し、家屋浸水、農地の浸水等への影響を定量的に評価するためにはGISシステムとの結合が重要になる。ここでは実例に基づき最新のため池の洪水解析を紹介する。前述した台風23号による近畿地区にあるため池群(3箇所)が破堤・越流して洪水(小河川の氾濫)が発生した事例について、この氾濫域を以下のような簡易的な方法で再現を試みた⁴⁾。

(1) 地形情報

解析範囲は氾濫の実績を考慮して氾濫した池より1,000~2,000m下流までとする。地形に関する情報は、都市計画図より2m~10m程度の一定間隔で標高値を取得した。航空写真からも標高データは作成可能であるが解析には用いなかった。建造物は存在しないものとして、全て田畑として適切な粗度係数を与える。

(2) 流入量

流入量に関する情報はため池台帳による。台帳がないものについては破堤後の池が空になった状態の地形図を空中写真測量により取得し、その情報を基に貯水量を推定する。流入方法はダムブレイク(全て初期水深として与える)とする。解析時間は流動がほぼ停止するまでとするか、または氾濫域を比較する時間(例えば破堤から10分)とする。

(3) 解析手法

本解析では基本的に浅水方程式を用いた二次元不定流計算を行った(詳細については省略)。

解析条件として、現地調査に基づく事実から以下に述べるシナリオとした。ため池群の被災後の航空写真にため池の位置、洪水域(土石の残留等の痕跡から洪水が流れたと判断される範囲)を示したものが図-3である。A池の満水状態から、上部の沢で発生した土石流による土砂流入分上流の水位

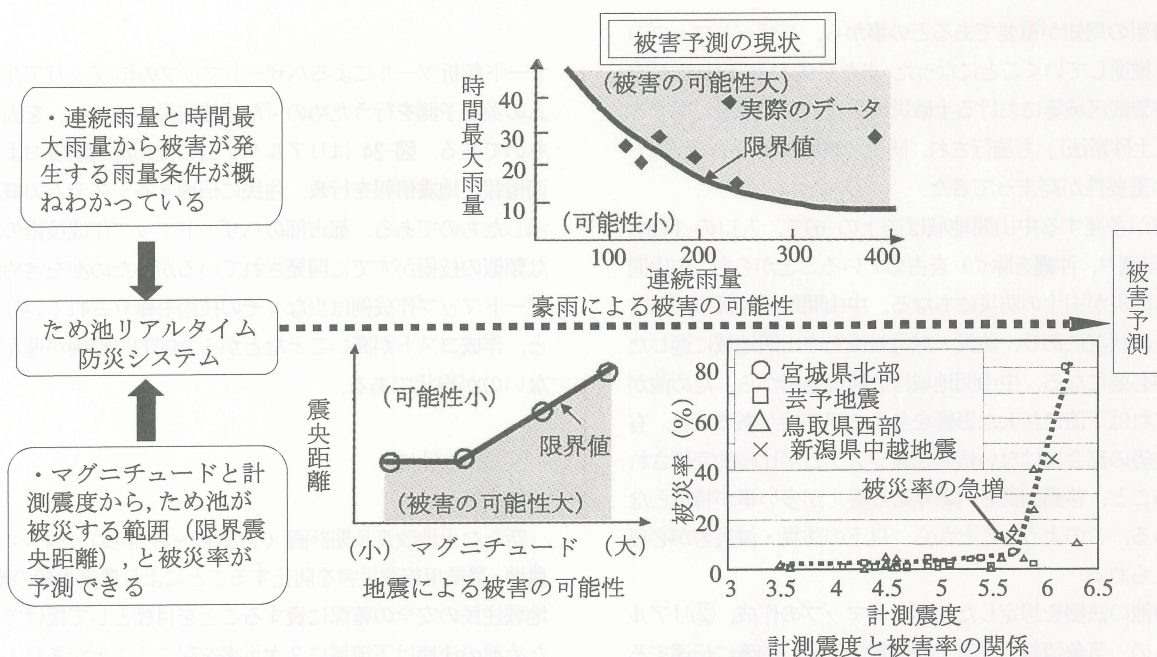


図-21 豪雨、地震時におけるため池被害の予測

が上がり、下流に向かって水が流れ出す。A池の堰堤に到達すると、崩壊可能領域上(被災後の決壊断面、A池では右岸の一部が決壊した)水を流れる。すると、掃流砂力により、崩壊可能領域が上から削られていく。A池から流れ出た水は満水のB池に入り込み、同様にB池の崩壊可能領域(被災後の決壊断面)が崩壊していく。B池から流れ出た水は、一部はC池に入らずに下流に流れるが、一部は満水のC池に流入する。そして同様にC池の崩壊可能領域(被災後の決壊断面)が崩壊して下流域に洪水が流れる。

解析結果の1部(10分後の最大水深の分布)を示したものが図-22である。全体的に見ると領域、水深で調査結果と一致しないが、洪水域の中の立木や家屋の浸水痕跡から見て取れる最大水深(1.5m)については概ね解析結果は一致した結果となった。この結果を既存のGISシステム「ため池防災データベース」³⁾上に表示すれば、ため池決壊を含めたハザードマップが作成できる。ため池以外の施設情報、住居情報、土地利用図等をデータベースに追加、表示すればより詳細なハザードマップの作成が出来る、浸水による農地の冠水面積等の具体的被害量も評価出来る。

本解析ではため池盛土の決壊について河床変動解析を準用して、土の代表粒径データを与えて‘盛土の侵食過程’を解析しているが、本来は流下水と土の抵抗から‘堤体の侵食モデル’を作る必要がある。また解析のために地形データ(詳細な標高データ)の取得にコストがかかることが課題である。このことがハザードマップの普及が進まない原因と考えられる。ハザードマップ作成に必要な地形情報、航空写真、施設情報及び解析ツールはWebサーバにあらかじめ収納しておいて、必要に応じてダウンロードするようにすると、解析コストの大幅な削減が可能になると思われる。

地形情報、航空写真については現在民間ベースで全国単位

での整備が進められていて、数年後には利用可能なデータ供給システムが構築される予定である。このデータを利用することにより、低コスト(市町村単位で数百万円程度)でハザードマップ作成のためのデータが取得可能となるが、これらのデータを利用したため池洪水解析手法の開発を含めたハザードマップ作成技術の開発を進めていく必要がある。

LEVEL CONTOUR

- 最大水深(m)
- 0.001-0.01
- 0.01-0.1
- 0.1-0.2
- 0.2-0.3
- 0.3-0.4
- 0.4-0.5
- 0.5-0.7
- 0.7-1
- 1-2
- 2-4

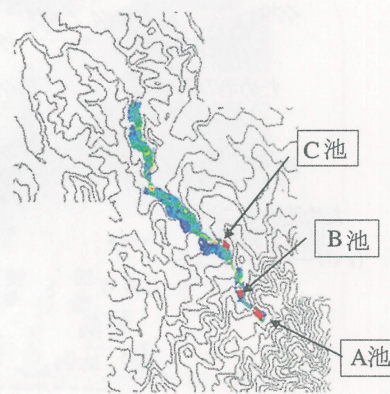


図-22 洪水解析結果(10分後の最大水深)

4. ため池災害の防止対策の展望について

防災対策として従来は施設の耐震性、耐豪雨性を向上させる、あるいは河川改修などの‘ハード対策’が主に行われてきた。平成13年7月には水防法の一部を改正する法律が施行された。東海豪雨の教訓から中小河川での洪水予測、水害の危険性・

避難情報の周知が重要であるとの事から、ハザードマップの整備を推進していくことになった。また平成13年4月には「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律（土砂新法）」も施行され、防災・減災対策の中でソフト対策の重要性が高まってきた。

災害が多発する中山間地域は国土の69%、人口の14.8%（1990年調べ、沖縄を除く）を占めていることから、中山間地域の防災が国土の防災にもなる。中山間地域は都市地域とは違った状況にあり、防災・減災対策も中山間地域に適したものが become 必要になる。中山間地域は急峻な地形から、ため池が決壊すれば下流に甚大な影響を与える可能性があること、有線放送等の都会にはない情報伝達システムが比較的完備されていること、移動困難者（お年寄り等）が多い事が特徴となっている。このようなことから、以下の防災・減災が必要と考えられる。

- ①ため池の決壊を想定したハザードマップの作成、②リアルタイムの、気象情報、災害予測情報を適時、的確に伝達することが出来るシステムの構築と避難態勢の確立、③防災対策の程度（コスト）とリスクを住民に知ってもらい、防災教育を含めた双方向の防災・減災対策の実施。

この中でも特に事前のハザードマップの作成技術の高度化、リアルタイムでの災害予測技術が重要になる。図-23、24を合わせたものが中山間地域における総合防災システムの概念を示したものである。図-23は事前の災害予測のための「ハ

ザード解析ツールによるハザードマップの作成」、リアルタイムの災害予測を行うための「ため池防災システム」を表したものである。図-24はリアルタイムのため池危険度および降雨情報、地震情報を行政、住民に伝達するシステムの概念を示したものである。都市部のハザードマップ作成技術のような類似の技術がすでに開発されているが、ため池を含めたハザードマップ作成例は少なくその技術も確立されていないこと、作成コストが高いことなどから全国的に整備が進んでいないのが現状である。

5. おわりに

新たな土地改良長期計画（平成15～19年度）においても、農地・農業用施設災害を防止することにより農業生産の維持、地域住民の安全の確保に資することを目標として掲げている。ため池の決壊は下流域に2次災害を起こすことがあり、災害に強いため池にしていくことが重要である。今後はため池の耐震補強対策などのハード対策と併に、ため池の災害予測、ハザードマップなどのソフト対策により「安心・安全な農村地域」を構築していくことが重要である。

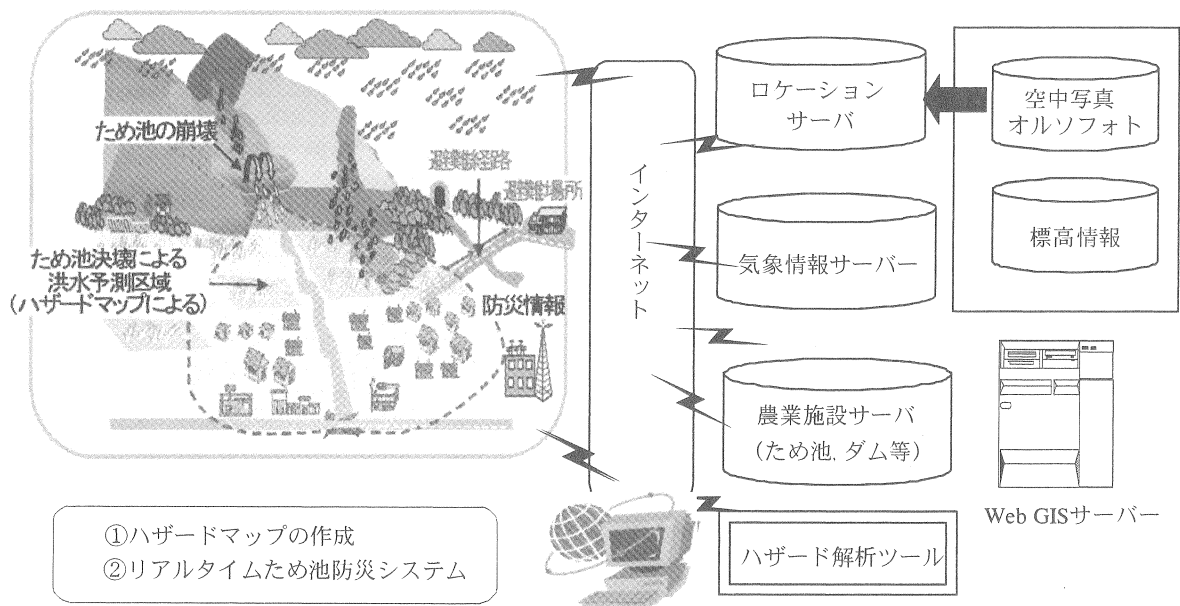


図-23 ハザードマップ作成とリアルタイムため池防災システムの概念

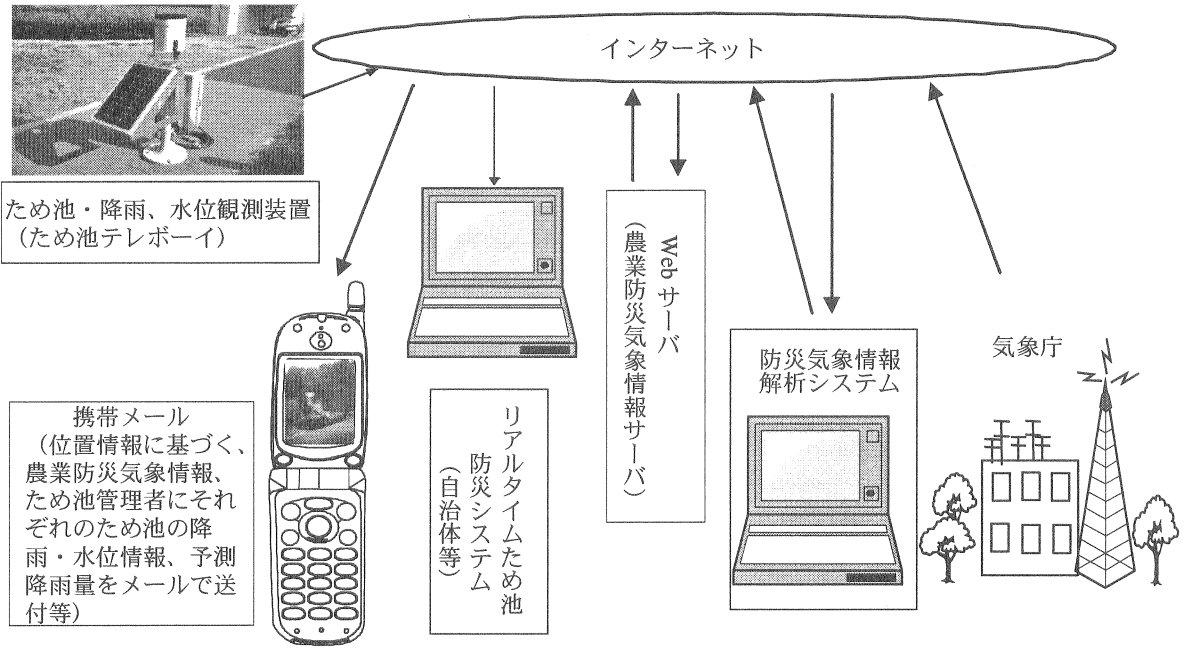


図-24 リアルタイム防災情報の伝達システムの概念

参考文献

- 1) Tani, S. and Nakashima, N.: Earthquake damage to small earth dams, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 18(8), pp. 593-602, 1999
- 2) 宮島昌克: 防災情報としての計測震度, 26回地震工学研究発表会論文集, pp.5-6, 2001
- 3) 谷 茂・福原正斗: GISデータベース上でのリアルタイム防災システムの構築, *情報地質* 14 (2), pp. 198-199, 2003.
- 3) 谷 茂: 中山間地域における総合防災システムについて, *農業土木学会誌*, 73 (8), pp.687-690, 2005

(2005年9月2日 受付)