

〔農工研技報 218〕
〔65 ~ 76, 2016〕

平成26年8月豪雨被災ため池での流入土砂の実態

正田大輔* 吉迫 宏* 紺野道昭* 井上敬資* 鈴木尚登**

*施設工学研究領域広域防災担当

**企画管理部

要 旨

発生件数の増加する短時間強雨による土砂災害で、農業用ため池の被災する事例がある。本報告では、平成26年8月豪雨時に発生した土砂流入により、京都府福知山市と兵庫県丹波市で被災したため池を対象として以下のことを実施した。土砂災害警戒情報の算出手法の一つであるRBFネットワークによる、ため池周辺での被災日における土砂災害発生危険度の把握を行った。また、踏査を基本とする被災状況の調査を実施し、ため池被災時の事象とため池の機能について整理を実施した。さらに、「砂防基本計画策定指針」による流入土砂量の目安について試算を行った。

キーワード：ため池，土石流，平成26年8月豪雨，調査，土砂量の試算

I 緒 言

時間雨量50 mm以上の短時間強雨の発生件数が約30年前の約1.4倍に増加し、日降水量100 mm, 200 mm以上の発生日数も増加している。また、伊豆大島や広島市においては大規模な土砂災害が発生するなど、全国各地で水害・土砂災害が頻発し、甚大な被害が発生している(気象庁(2015a))。

農業用ため池においては、農林水産省(2014)の調べで、平成16年～25年度の被害の約90%が豪雨によるものとされており、地震等に比べて被害が多い。また、豪雨によって土砂が流入することによるため池の被害事例がある。このような事例について、以下のような報告がこれまでにされている。

平成9年7月に鹿児島県出水市針原川で発生した土石流では、上流からの土石流の影響でため池が決壊しており、この事例対象に深層斜面崩壊の数値解析が行われた(中川ら, 1998)。平成16年台風23号においては、兵庫県のため池決壊の特徴として、土砂が貯水池に流入したことや土石流による親子池の決壊事例について報告がされている(堀ら, 2015)。平成21年7月中国・九州北部豪雨においては、被害が甚大だった防府市で、全ため池の9割で土砂流入があった(田上, 2010)。また、同豪雨では、山陽新幹線の上流50mほどの位置に堤体があるため池について、洪水吐の機能により貯水上昇が低減され、ため池下流への土砂災害の低減事例もあった(毛利ら, 2015)。平成26年8月の豪雨では、広島市での豪雨で発生した土石流に対してため池による減災効果を、災害前後の標高差分により評価している(正田ら, 2015a)。また、洪水吐天端と堤頂天端の差が大きい、つ

まりバッファ容量が大きかったため池の土砂流入被害の抑止効果について言及している(堀ら, 2015)。同じく平成26年8月の豪雨でため池への土砂流入のあった丹波市の事例においては、築造時期不明の古いため池が、洪水吐改修により決壊を免れた(小田ら, 2015)。

本報は、平成26年8月豪雨のうち、京都府福知山市と兵庫県丹波市で土砂災害のあったため池を対象に実施した調査を報告するものである。平成26年8月15日から20日にかけて、前線が本州付近に停滞し、西日本と東日本の広い範囲で大気の状態が非常に不安定となった。15日から18日までに観測された最大48時間降水量が、京都府福知山市福知山で341.0 mm、兵庫県丹波市柏原で278.5 mmとなり、それぞれ観測史上1位の値を更新した(気象庁, 2014)。上記の豪雨時の土砂災害で被災した近畿地方のため池8ヵ所を対象として、以下の、①土砂災害警戒情報の算出手法の一つであるRBFネットワークによるため池周辺での被災日における土砂災害発生危険度の把握、②現地調査により、ため池被災時の事象とため池の機能について整理、③ため池への流入土砂の定量化するため、ため池上流からの流入土砂量の試算を実施した。

II 対象ため池の概要

調査や土砂量の試算を行った本報の対象ため池の場所をFig. 1に、ため池の諸元をTable 1に示す。洪水吐の断面図についてはFig. 2に示す。Fig. 1の背景図は国土地理院 地理院地図 写真判読図を使用しており、8月19日撮影垂直写真及び斜め写真から、土砂流出範囲を赤の範囲ように判読したものである。図中①～⑧が対象ため池



Fig. 1 調査ため池の場所 (引用 国土地理院 地理院地図 写真判読図 (8月19日撮影垂直写真及び斜め写真の範囲から土砂流出範囲を判読したもの))
Survey sites of small earthfill dams

Table 1 調査ため池の諸元
Dimension of the dams

	堤高 (m)	貯水量 (m ³)	堤長 (m)	洪水吐
①塩津新池	6.7	10,000	31	側水路流入型 幅1.9 m × 高さ0.8 m
②塩津古池	4.8	3,000	22	水路流入型 幅1.0 m × 高さ0.6 m
③宮ノ下池	5	4,000	45	正面越流型 幅3.8 m × 高さ1.1 m
④室口池	9.3	21,000	82	側水路型 幅3.0 m × 高さ3.6 m
⑤室中池	8	16,000	153	正面越流型 幅3.1 m × 高さ1.6 m
⑥室奥池	6.8	36,000	64	水路流入型 幅3.6 m × 高さ0.8 m
⑦木古庵池	4	3,000	43	水路流入型 幅1.0 m × 高さ1.5 m
⑧篠藪池	4.5	500 (推定)	55	水路流入型 幅2.0 m × 高さ0.7 m

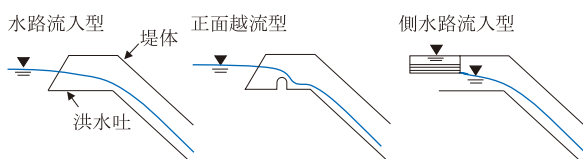


Fig. 2 洪水吐の断面図 (農林水産省, 2015)
Cross section of spillway

であり、ため池の位置と崩壊判読位置を比較すると、⑦を除くため池については、判読されていない小規模な崩壊あるいは判読対象にならなかった地域においてため池が被災したことがわかる。また、①池と②池は近接しているが、重ね池ではない。④～⑥池は⑥が上流、④が下流に位置する重ね池である。

Ⅲ ため池周辺での土砂災害発生の危険度

3.1 土砂災害発生危険度の算出

気象庁では、土砂災害発生の危険度について土砂災害警戒情報として防災情報を発信している。住民や行政機関で一般的な防災情報として利用されている土砂災害警戒情報は、土砂災害発生の危険度を5段階に区分した判定結果を表示している。本項では、区分前の元データを算出し、ため池周辺での被災日における土砂災害の危険度について把握を試みた。

土砂災害警戒情報の算出手法の一つとして、RBFネットワーク (たとえば、倉本ら, 2001) を用いた土砂災害発生基準線がある。本報では、福知山市と丹波市におけるそれぞれ1箇所のため池③宮ノ下池と⑦木古庵池周辺において、土砂災害発生基準線の基となる応答曲面を「RBFネットワークを用いたCL作成プログラム」により求めた。この応答曲面から、ため池周辺の土砂災害の危険性について把握した。解析に用いたデータは、対象ため池周辺の災害発生時のレーダーアメダスと、過去の雨量 (気象庁の5 kmメッシュの1時間レーダーアメダス 2001～2014年分) をため池DBハザードマップにより抽出した。ここで、「ため池DBハザードマップ」は、平成7年より現 (一財)日本水土総合研究所と(株)ジーアンドエス、現農研機構農村工学研究所により開発された「ため池防災データベース」を逐次改良したものである。また、土壌雨量指数については、直列3段のタンクモデルを使用した。(気象庁, 2015b)

3.2 応答曲面の算出結果

得られた応答曲面の出力値を、60分間積算雨量と土壌雨量指数の最大値で縦軸・横軸に平行になるようデータを補正 (国土交通省, 2005) した。ため池周辺の雨量データによる応答曲面を **Fig. 3** に示す。2つのため池とも被災したのは8月17日未明であり、0.1の曲面より小さい領域でプロットされている。60分間積算雨量と土壌雨量指数のデータが密にプロットされる領域ではRBFネットワークの出力値が高くなり、疎の領域では出力値が低くなる。よって、数値が小さいほど土砂災害の危険性が高くなる。このことから、対象ため池周辺においても、被災日時において土砂災害の危険性が高かったことがわかる。

IV 被災ため池の調査

平成26年8月に発生した台風11号の豪雨により、京都府、兵庫県においてため池が多数被害を受けた。被災原因の究明や今後の防災対策等のため、農林水産省防災課から農村工学研究所に対して災害対策支援要請があった。これを受け平成26年9月26日に、Fig. 1およびTable 1に示す被災ため池の調査を実施した。踏査を基本とする調査結果について以下に記載する。

4.1 ①塩津新池

Fig. 4に①塩津新池の撮影位置図を示す。Fig. 4中の1

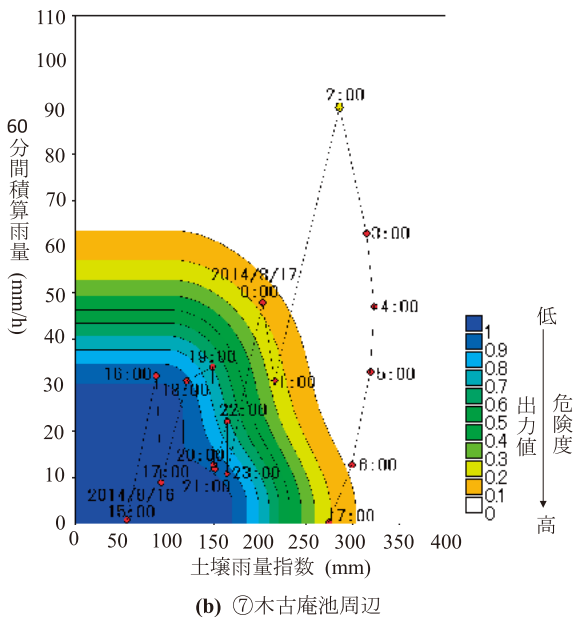
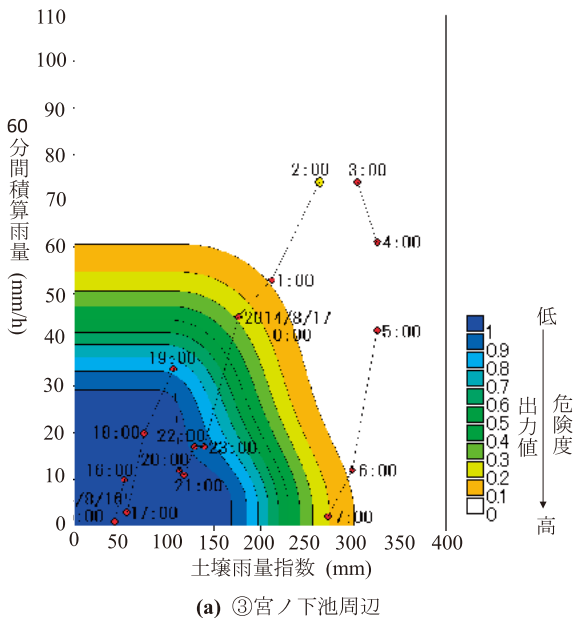


Fig. 3 ため池周辺の雨量データによる応答曲面

Critical line of slope failure during heavy rain around small earthenfill dams

にあたる Fig. 5のため池貯水池左岸側に沿う道路面（舗装なし）が侵食されていたこと、堤体天端と約0.4 mの標高差（道路側の貯水池法面が低い）があることから、

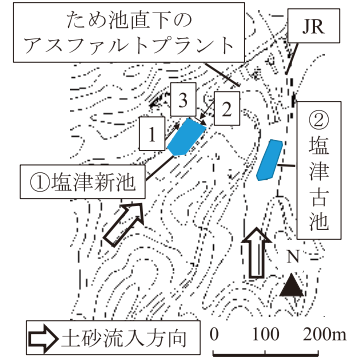


Fig. 4 ①塩津新池の撮影位置図（国土地理院基盤地図情報）
Location map of photographs at ① Shiotsu shin-ike



Fig. 5 ①池の左岸側に沿う道路
Road along left side of ① ike



Fig. 6 ①池の貯水池内に流入した土砂
Sand and wood flowed into ① ike



Fig. 7 ①池の洪水吐の状況
Spillway of ① ike

上流側からの土砂や水が左岸側に沿う道路面を流下したものと推察される。堤体には決壊等の大きな被災はなかった。

調査日においても、本池上流からの土砂や流木がFig. 6のように堆積していた。下流側法面に越流による流木ならびに侵食跡があり、越流があったと判断できる。Fig. 7のように洪水吐には流木が堆積していたものの、閉塞はしていなかった。地元では、被災一か月前に間伐を行ったとのことだった。この際、間伐材の搬出は行っていないとのことだったので、この影響が示唆される。

本池から流出した土砂や水の影響で、堤体直下にあった道路の舗装面がめくれ、またその下流にあるアスファルトプラント (Fig. 4中記載) へ土砂が流れ込んだ。本池では越流が発生し、下流に対して被災を招いたものの、流入土砂の多くはため池で受け止められたと判断できる。

洪水吐が正面越流型であったことや、堤体に変形が生じていないことから判断して、塩津新池のため池施設は比較的最近に改修が行われているものと考えられる。また、堤体下流側と道路法面が接していて、腰ブロックは底樋の出口付近に一部設置されている。堤体の草刈りが行われていることから、ため池管理者による日常的な維持管理は行われているものと考えられる。

4.2 ②塩津古池

Fig. 8に②塩津古池の撮影位置図を示す。堤体左岸側がFig. 9のように決壊していた決壊部の堤体断面の観察から、堤体材料は粘性土である。また、堤体が残っていた右岸側の貯水池堤体付近には上流側から流出した土砂はほとんど見られなかった。

洪水吐は石積であり、取水施設は場所打ちコンクリートで作られ木栓を用いた古い形式であった。堤頂幅が狭いなど堤高に対して堤体断面が小さく、張ブロックはない。また、腰石垣もないことから、土地改良事業設計指針「ため池整備」に準じて整備されたため池よりも堤体強度は小さかったと考えられる。また、洪水吐の放流能力や余裕高が不足していた可能性が高く、未改修であったことが堤体の決壊を招いた素因の一つとして考えられる。さらに、上流側法面は波浪による侵食跡が見られ、下流側法面には小さな横穴が生じているなど、堤体の老朽化が進んでいた。

草丈が短く、灌木類の侵入が無いことから草刈りが行われていると判断できること、上流側法面の一部が土のうで補修されているなど、ため池管理者による日常的な維持管理は行われていると考えられる。

ため池下流には、貯水や土砂の影響により、下流にあったプラントへ土砂流入があった。調査日にはすでに大部分は撤去されていたが、高さ約1.4 mの位置に土砂の痕跡があった。ただし、左岸側直下流の地山でも、土

砂の崩壊が見られ、ため池下流にあったこの斜面崩壊の土砂もプラントへ流出している。

ため池上流部の勾配は、緩勾配であったため、Fig. 10のように貯水池上流側で土砂の一部が堆積していた。貯水池流入部を緩勾配にすることで、流入土砂の減勢や流出土砂の抑制につながると考えられる。

4.3 ③宮ノ下池

Fig. 11に③宮ノ下池の写真位置を示す。Fig. 12 (Fig. 11の1の位置) に示すように左岸側の洪水吐のコンクリート構造物と堤体土の境界部が決壊位置であった。Figs. 13, 14のように貯水池内には上流からの土砂が洪水吐吐端まで堆積していた。調査日には、決

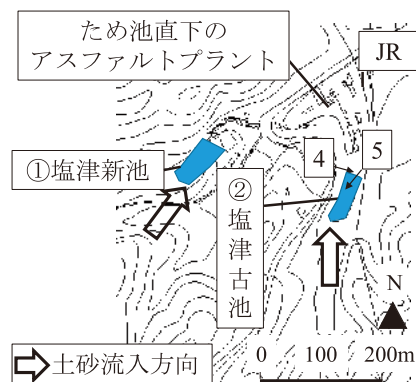


Fig. 8 ②塩津古池の撮影位置図 (国土地理院基盤地図情報)
Location map of photographs at ② Shioitsu furu-ike



Fig. 9 ②池の決壊断面
Cross section of failure part at ② ike



Fig. 10 ②池の貯水池内に流入した土砂
Sand and wood flowed into ② ike

壊部と堤体の上にそれぞれ土嚢が積み、ため池上流部とため池貯水部のそれぞれの土砂流出に対する応急対策が施されていた。洪水吐が正面越流型であることや、堤体下流側に抑え盛土がされていたことから、比較的最近

に改修が行われたものと考えられる。決壊の程度が小規模であった要因として、洪水吐天端まで土砂が達していることから、改修された洪水吐からの土砂・水を流出させることにより堤体越流量が抑えられたことが考えられる。

ため池下流側については、堤体天端と下流側法面に流木等が堆積していたこと、下流側法面に侵食跡があることから、越流が発生したと判断できる。洪水吐に接続する下流水路には溢水の痕跡が認められたが、本ため池においては、流入土砂・流木の大部分をため池で止めたあるいは減勢したと考えられる。流木に関しては、堤体側で確認され、洪水吐周りでは確認されなかった。仮に、流木が流入した場合には洪水吐が閉塞され、さらに被害が拡大した可能性があり、ため池における流木対策も今後の検討課題として考えられる。また、ため池の上流部に砂防堰堤が1か所確認でき、砂防堰堤周辺でFig. 13のように流木が多く堆積していたことから、この施設による減勢効果もあり、ため池での越流や堤体への衝撃力を緩和したと考えられる。

堤体の草刈りが行われていることから、ため池管理者による日常的な維持管理はなされているものと考えられる。

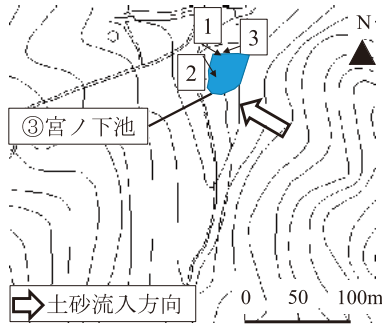


Fig. 11 ③宮ノ下池の撮影位置図 (国土地理院基盤地図情報)
Location map of photographs at ③ Miyanoshi-no-ike



Fig. 12 ③池の土砂流入による被災状況
Disaster site of ③ ike due to debris flow



Fig. 13 ③池の貯水池内に流入した土砂
Sand and mud flowed into ③ ike



Fig. 14 ③池の洪水吐天端まで達した土砂
Sand and mud above spillway of ③ ike

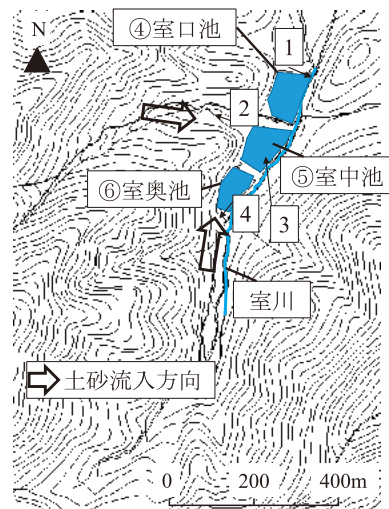


Fig. 15 ④室口池⑤室中池⑥室奥池の撮影位置図 (国土地理院基盤地図情報)

Location map of photographs at ④ Murokuchi-ike, ⑤ Muronaka-ike and ⑥ Murooku-ike

ため池左岸にある地山からも、ため池貯水池内に土砂が流入した (Fig. 17)。ため池と接する地山斜面にはレキ分が多く堆積していた。細流分を除き、下流河川への土砂や流木の流出が認められないことから、ため池で土砂を受け止めたと考えられる。

降雨と土砂の流入があったが、越流は生じなかった。このことから、洪水吐の放流能力や堤体の余裕高が、防災上十分なものであったと推察される。また、上述のことから減災機能の検討にあたっては、流入水量のみならず流入土砂量についても推定する必要性が示唆される。

調査日においては、ため池右岸上流部で崩壊した河川堤防部の仮復旧がなされていた。堤体は草刈りが行われていたことから、ため池管理者による維持管理はなされているものと考えられる。

4.5 ⑤室中池 (三連中池)

室中池では、Fig. 18のように流木や礫等の流入はほとんど見られず、水と一緒に流入した細流分が主に流入したのと考えられる。また、池底にある全ての土砂が本災害によって堆積したかは不明である。

堤体や洪水吐の損傷は無かった。但し、取水施設が傷んでおり、仮設サイホンによる取水を行っていた。取水施設の傷みと災害の関係は不明である。下流側法面には表面が洗われて石が露出した箇所があるものの、越流の存在を明確に認める痕跡は存在しなかった。

目視により洪水吐コンクリートは打設から年数が経過

していたことや取水施設の現状から、比較的最近に改修は行われていないと考えられる。また下流側法面下部に盛土部 (地山の可能性あり) があることから、腰石垣・張ブロックの設置はされていない。

草刈りが行われていたことから、ため池管理者による維持管理はなされているものと考えられる。

4.6 ⑥室奥池 (三連上池)

貯水池最奥部は谷の出口にあたり、右岸側の川を通じて上流から流れてきた土砂と流木が貯水池内に流入した (Fig. 19)。土砂と流木は河道だけでなく、谷幅一杯に流れた痕跡がある。

草の傾きと土粒子の痕跡から、室川側に越流が発生したと判断できる。川から貯水池への取水口は土砂で完全に閉鎖していた。但し、堤防の損傷はない。ため池堤体については越流を認める痕跡は存在しなかった。

細流分を除き、ため池堤体下流側への大量の土砂や流木の流出が認められないことから、ため池で土砂を受け止めたのと考えられる。取水施設が巻上げハンドル付きの斜樋工であること、堤体の斜面勾配から、比較的最近に改修がおこなわれているものと考えられ、ため池内に土砂を留めた要因と考えられる。また、ため池上流に砂防堰堤があったことも、ため池での越流防止や堤体への衝撃力の緩和の要因と考えられる。

ため池上流側においては、危険渓流の把握や、流入土砂量の推定、流入土砂による衝撃力の試算、貯水池上流



Fig. 16 ④池の洪水吐
Spillway of ④ ike



Fig. 17 ④池左岸上流部から流入した土砂
Sand and mud flowed from left side bank upstream of ④ ike



Fig. 18 ⑤池貯水池内の堆砂状況
Sand and mud flowed into ⑤ ike



Fig. 19 ⑥池上流部の状況
Upstream of ⑥ ike

の砂防堰堤の把握等により、ため池による減災効果や貯水池手前での減勢効果・方法について検討することが重要になると考えられる。

草刈りが行われていたことから、ため池管理者による維持管理はなされているものと考えられる。

4.7 ⑦木古庵池

Fig. 20 に⑦木古庵池の撮影位置図を示す。堤体左岸側が決壊しており、流木が多く堆積していた (Fig. 21)。堤体上にも流木と土砂が堆積しており、また下流側法面には浸食跡があることから、越流が発生していると判断できる (Fig. 22)。堤頂幅が狭く、堤高に対して堤体断面が小さく、腰石垣が設置されていなかったことから、土地改良事業設計指針「ため池整備」に準じて整備されたため池よりも堤体強度は小さかったと考えられる。また、洪水吐の放流能力や余裕高が不足していた可能性もあり、未改修であったことが堤体の決壊を招いた素因の一つとして考えられる。

越流で堤体表面が Fig. 22 のように侵食されていることから、草刈りなどの現況に基づくため池管理者による管理状況は判断できなかった。洪水吐についても、流木と土砂が堆積しており、越流発生時には閉鎖していた可能性が高い。洪水吐の形式等から、最近の改修は行われていないと見られる。なお、張ブロックの設置はされて

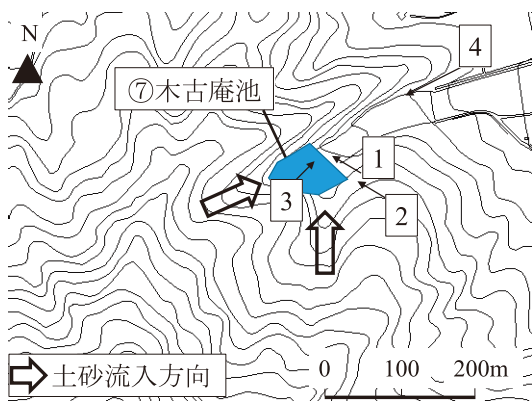


Fig. 20 ⑦木古庵池の撮影位置図 (国土地理院基盤地図情報)
Location map of photographs at ⑦ Kikoan-ike

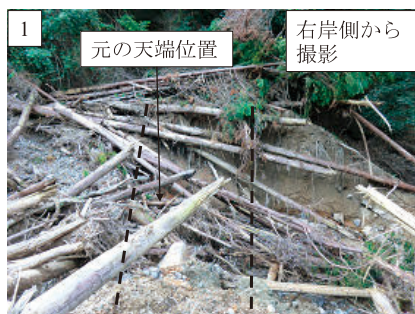


Fig. 21 ⑦池の決壊断面
Cross section of failure part at ⑦ ike

いなかった。

貯水池内には上流側から流れ込んだ土砂が水平に堆積していた (Fig. 23)。貯水池内は水を貯めるために勾配が緩くなっており、また、貯水池内には土砂の流入当時水が存在していたことから、流下する土砂のエネルギーは減勢されたことが考えられる。

直下流は地形から元農地であったと考えられる。堤体が決壊し、下流側へ一部土砂の流出が発生していた (Fig. 24)。

氾濫水は谷に沿う水路を通じて流下している。水路のコンクリートフリユームは水流と土砂でほぼ破損した状態にあった。

4.8 ⑧篠藪池

Fig. 25 に⑧篠藪池の撮影位置図を示す。土砂と流木が流入し、堤体の天端高さまで埋没していた (Fig. 26)。



Fig. 22 ⑦池の侵食された下流法面
Eroded downstream slope of ⑦ ike



Fig. 23 ⑦池の貯水池内の流入土砂
Sand and wood flowed into ⑦ ike



Fig. 24 ⑦池下流部の堆積土砂
Deposited sand at downstream part of ⑦ ike

堤体天端の流木と土粒子の痕跡の状況から、堤体の越流が発生したと判断される。洪水吐にも土砂の堆積が認められた。堤体に大きな破損は認められない。洪水吐の破損もない。

ため池下流の水田にもため池を越流した土砂が流れ込んでいるものの、水田への流入土砂量は少ない (Fig. 27)。また、水田への流入土砂は細流分が主体である。下流側への大量の土砂や流木の流出が認められないことから、ため池で土砂の大部分を受け止めたと考えられる。

洪水吐は新しい形式に改修されているものの、放水路の下部は石積のままであることから、部分改修が行われた可能性がある。また、腰石垣や張ブロックは確認できなかった。

草刈りが行われていたことから、ため池管理者による

維持管理はなされているものと考えられる。

V 被災事象とため池機能の整理

本調査対象ため池において、改修・越流・決壊・土砂流入・上流からの土砂流出抑制の項目ごとの整理を Table 2 に示す。3連ため池の中池で、土砂流入の痕跡や大きな損傷が見られなかった⑤池を除いている。

改修については、洪水吐と取水施設の形式、堤体の形状等から現場で判断して、表中に整理しており、④池のみ近畿農政局からの情報に基づいている。本調査のため池においては改修されたため池4か所のうち1箇所 (③池) が決壊している。しかしながら、前述のとおり下流域への被害は軽微で、貯水池内で土砂を留めていた。

ため池の堤体越流については、現地調査時の堤体上部の痕跡あるいは聞取りから区分している。越流した4か所のうち2か所で決壊しており、決壊したため池3箇所のうち2箇所で越流している。

調査実施した全てのため池について土砂の流入は確認された。決壊した3箇所の池のうち2箇所については、下流のプラント (②池) や農地 (⑦池) へ土砂が堆積した。残りの池 (③池) については決壊したが、ため池貯水池内で土砂を受け止めて、下流への被害は上述2か所と比較して軽微であった。なお、決壊ため池の貯水量は $3,000 \text{ m}^3 \sim 4,000 \text{ m}^3$ である。

ため池貯水池内にある堆砂の状況から判断すると、いずれの池にも上流から発生した土砂が堆積していることから、下流への流出を抑制したと考えられる。一方で、傾斜地にある小規模なため池の堤体が決壊した場合には被害が拡大する可能性がある。土石流流速においてはマニング型の式で定式化されている (国土交通省国土技術政策総合研究所, 2007)。

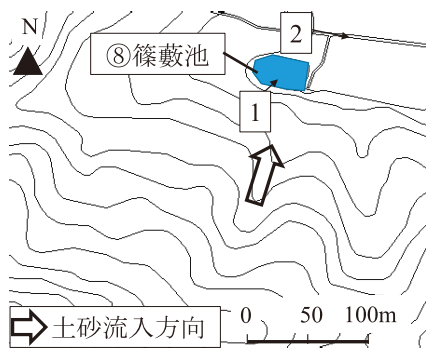


Fig. 25 ⑧篠藪池の撮影位置図 (国土地理院基盤地図情報)
Location map of photographs at ⑧ Shinoyabu-ike



Fig. 26 ⑧池貯水池内の堆積土砂
Deposited sand of ⑧ ike



Fig. 27 ⑧池の下流部
Downstream site of ⑧ ike

Table 2 本調査での項目ごとの整理
Arrangement of each content on this survey

	改修	越流	決壊	土砂流入	上流からの土砂流出抑制
①塩津新池	○	○		○	○
②塩津古池			○	○	△**
③宮ノ下池	○	○	○	○	○
④室口池	○			○	○
⑥室奥池	○			○	○
⑦木古庵池		○	○	○	○
⑧篠藪池	△*	○		○	○

* : ⑧池は、洪水吐と堤体内の導水路部についてはコンクリートで改修されていたが、放水路の一部は石積みのみであった。

** : ②池は、決壊部分の堤体土は流出したが、貯水池上流側に流入土砂は堆積していた。

$$U = \frac{1}{K_n} D_r^{2/3} (\sin \theta)^{1/2} \quad (1)$$

ここで、 U (m/s)は土石流の流速、 D_r (m)は土石流の径深、 θ は溪床勾配、 K_n ($s\ m^{-1/3}$)は粗度係数である。つまり、上流からの土砂がため池貯水と混じり、流下土砂の容積・径深が増えて、粗度係数が小さくなった場合には、被害の範囲を広げる可能性もある。ため池の土砂流出抑制に関しては、これまでの災害事例収集や今後の事例収集、さらにこれまでの事例において上流側の地形勾配や土質、雨量等から知見の整理が必要である。

Ⅵ 流入土砂量についての試算

6.1 土砂量の算出方法

ため池直上流の勾配やため池の貯水容量、洪水吐の排水能力等によっては、ため池下流への土砂流出を抑制する砂防堰堤的な機能が期待される。この機能を評価するためには、ため池上流から流入土砂量の目安を把握することが重要と考えられる。

土石流対策および流木対策の基本的な考え方と河川砂防技術基準計画における必要最小限準拠すべき事項が、砂防基本計画策定指針において示されている。本報では、⑦と⑧ため池上流を対象に、上述の砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説（国土交通省国土技術政策総合研究所（2007））で示されている試算式による土砂量と、航空レーザーデータから求めた侵食量、ため池の貯水量を比較した。なお、調査対象ため池上流溪流では巨礫を含む土石流災害は発生していないが、「砂防基本計画策定指針」（国土交通省国土技術政策総合研究所，2007）の中で、保全対象の一つに「土石流危険溪流」があり、調査対象池については1箇所のみ以外で「土石流危険溪流」内もしくは下流に位置したため、流入土砂量の試算は土石流対象の式を用いて行った。

計画流出土砂量の算出にあたっては流域内の移動可能土砂量 V_{dy1} と計画規模の年超過確率の降雨量によって運搬できる土砂量 V_{dy2} を比較して小さい方を採用することとしている。しかしながら、 V_{dy1} の算出にあたっては、土石流発生時に侵食が予想される平均溪床幅や、土石流発生時に侵食が予想される溪床堆積土砂の平均深さ、現地調査、近傍溪流における土石流時の洗掘状況等の参考情報が必要であり、調査を実施しなければ算出が困難である。そこで、本報においては V_{dy2} を算出することにより、発生する土砂量について試算した。試算式は以下の式である。

$$V_{dy2} = \frac{10^3 \cdot P_p \cdot A}{1 - K_v} \left[\frac{C_d}{1 - C_d} \right] K_{J2} \quad (2)$$

ここで、 V_{dy2} (m^3)は計画規模の年超過確率の降雨量によって運搬できる土砂量、 P_p (mm)は計画規模の年超過確率の降雨量、 A (km^2)は流域面積、 C_d は流動中の土石流濃度、 K_v は空隙率、 K_{J2} は流出補正率である。また、

式(2)中の流動中の土石流濃度 C_d の算出式は以下の通りである。

$$C_d = \frac{\rho \tan \theta}{(\sigma - \rho) (\tan \phi - \tan \theta)} \quad (3)$$

σ (kg/m^3)は礫の密度、 ρ (kg/m^3)は水の密度、 ϕ は溪床堆積土砂の内部摩擦角、 θ は溪床勾配である。

未知数については、国土交通省国土技術政策総合研究所（2007）において、参考値が示されており、この値を用いた。

この中で示されていない溪床勾配 θ 、流域面積 A 、降雨量 P_p (mm)については、対象ため池及び災害時の値を用いた。

6.2 航空レーザーデータを用いた侵食量の推定

試算値と比較するため、災害前後の2時期の航空レーザーデータ（兵庫県庁県土整備部土局砂防課提供）の差分をすることで、ため池の上流域における侵食量について推定した（正田ら，2015b）。災害前は平成25年1月～3月、災害後は平成26年9月、この2時期のデータがある⑦池と⑧池を対象としている。差分の結果、⑦池流入域の侵食量 E は5,832 m^3 、⑧池流入域の侵食量 E は2,762 m^3 であった。本報ではこの値の土砂が下流のため池へ流出したものと考察を行った。

6.3 土砂量の算出結果

⑦池と⑧池における溪床勾配 θ と、流域面積 A 、降雨量、土砂量 V_{dy2} 、6.2で求めた侵食量 E をTable 3に示す。降雨量は決壊日2014年8月17日のデータを使用し、この日の最大雨量を記録した2:00までの24時間雨量をそれぞれのため池で用いた。また、溪床勾配は、約200 m上流の谷筋に点をいくつか設け、その2点間距離の重み付き平均値として以下の式で求めた。

$$\theta = \frac{\sum_{i=1}^n L_i \theta_i}{\sum_{i=1}^n L_i} \quad (4)$$

ここで、 L_i は2点間距離、 θ_i は2点間勾配である。

算出結果は、⑦池の土砂量 V_{dy2} は33,856 m^3 、⑧池上流の土砂量 V_{dy2} は9,905 m^3 であった。いずれのため池においても侵食量 E よりは大きくなっていった。また、それぞれのため池の V_{dy2} は、侵食量 E の約6倍（⑦池）、約3倍（⑧池）となっており、算出結果は安全側の試算値と

Table 3 侵食土砂量の算出結果
Calculation result of eroded transportable debris flow

	平均溪床 勾配 θ (°)	流域面積 A (km^2)	24時間 雨量 (mm)	土砂量 V_{dy2} (m^3)	侵食量 E (m^3)
⑦木古庵池	15.2	0.1	346.1	33,856	5,832
⑧篠藪池	20.0	0.03	337.5	9,905	2,762

なり、ため池上流からの流入土砂量の目安として使用できると考えられる。

実際の災害現場適用例ではないが、嶋 (2007) の試算でも流域内の移動可能土砂量 V_{dy1} に比して計画規模の年超過確率の降雨量によって運搬できる土砂量 V_{dy2} が9.3倍大きな算出結果となっており、 V_{dy2} が大きな算出結果になる場合を示している。

一方で、中瀬ら (2004) は土石流発生履歴のある3溪流で試算した結果、2溪流において災害記録での流出土砂量より試算値が小さい結果となった。数式 (式(2)) から算出結果を考察すると、溪床勾配 θ が試算値に与える影響が大きい。本報の適用した2溪流は 15° 以上であり、土石流の発生区間内であった。中瀬ら (2004) の対象とした3溪流の溪床勾配は 3.89° 、 10.66° 、 9.52° であり、本報の勾配より小さいことが影響していると考えられる。また、流出補正率 K_p は、本報では上限値0.5を使用した。ため池上流域の流出補正率がどの程度かを検討する必要がある。

試算値とため池の貯水量 (Table 1) を比較すると、試算値の方が1オーダー程度大きくなっている。現地での調査や聞き取りなどから、試算値ほどの土砂の流出は見られなかった。当該ため池については「土石流危険溪流」内もしくは下流に位置しているため、ため池上流からの流入土砂量の目安として試算値は使用できると考えられるが、設定雨量や地形勾配、流域面積の決定について、今後適用事例を増やす必要がある。特に設定雨量については、「土砂災害警戒情報」を土砂災害発生の危険度が高まったときに、都道府県と気象庁が共同で発表している。この発表時の雨量を用いて推定土砂量を算出することで精度の高い算出結果となることが考えられる。

Ⅶ 結 言

平成26年8月豪雨のうち、京都府福知山市と兵庫県丹波市で土砂災害のあったため池を対象に、RBFネットワークによる土砂災害発生危険度の把握、現地調査 (平成26年9月26日)、侵食土砂量の試算をそれぞれ実施し、以下の結論を得た。

1. RBFネットワークを用いて土砂災害発生基準線の基となる応答曲面を算出した結果、ため池が被災した8月17日未明において、対象ため池周辺において土砂災害の危険性が高かった。
2. 本調査対象のため池のうち、3箇所のため池において決壊を確認した。
3. 洪水吐と取水施設の形式、堤体の形状等から現場で改修の有無を判断し、ため池4か所が改修されていた。そのうち1箇所が決壊しているが、下流域への被害は軽微で、貯水池内で土砂を留めていた。
4. 越流した4か所のうち2か所で決壊しており、決壊したため池3箇所のうち2箇所越流している。

5. ため池貯水池内にある堆砂の状況から判断すると、いずれの池にも上流から発生した土砂が堆積していることから、下流への流出を抑制したと考えられる。
6. ため池の減災機能の検討にあたっては、流入水量のみならず流入土砂量についても推定する必要性が本調査から示唆される。
7. 一方、ため池の堤体が決壊し、上流からの土砂が貯水と混ざった場合、土石流流速式から判断すると、被害の範囲を広げる可能性もあり、上流側の地形勾配や土質、雨量等から知見の整理が必要である。
8. 既往の試算式からの流入土砂量と、災害前後の2時期の航空レーザーデータの差分からの侵食量とを比較すると、算出量は侵食量の約3~6倍となり、算出結果は安全側な試算値となり、ため池上流からの流入土砂量の目安として使用できると考えられる。
9. 流出補正率は、上限値0.5を使用した。ため池上流域の流出補正率がどの程度であるか等、ため池上流域での土砂量試算について検証が必要である。
10. 試算土砂量とため池貯水量を比較すると、試算値の方が1オーダー程度大きくなっている。現地での調査や聞き取りなどから、試算値ほどの土砂の流出は見られなかった。当該ため池については「土石流危険溪流」内もしくは下流に位置しているため、試算値はため池上流からの流入土砂量の目安として使用できると考えられるが、地形勾配や流域面積の決定について、今後適用事例を増やす必要がある。

謝辞：本報での被災ため池調査に際しては、近畿農政局から2名の同行いただいた。また、京都府・兵庫県等の行政部局に、現場等での対応ならびに情報提供を賜った。

土砂災害発生基準となる応答曲面の算出には、(有)山口ティー・エル・オーの「RBFネットワークを用いたCL作成プログラム」を使用した。また、航空レーザーデータについては、兵庫県国土整備部土木局砂防課より借用した。

本研究の一部は、総合技術会議のSIP (戦略的イノベーション創造プログラム)「レジリエントな防災・減災機能の強化」(管理法人JST)によって実施された。関係者各位へ感謝申し上げます。

引用文献

- 堀 俊和, 正田大輔, 中里裕臣, 鈴木尚登, 渡辺博之, 新保義剛 (2015) : 土石流が流入した場合のため池の安全性および下流域に与える影響, 基礎工, **43(6)**, 101-104.
- 国土交通省 (2005) : 国土交通省河川局砂防部と気象庁予防部の連携による土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法, 8-9.
- 国土交通省国土技術政策総合研究所 (2007) : 国土技術政策総合研究所資料 砂防基本計画策定指針 (土石流・流木対策編) 解説, **7**, 32-37.

- 倉本和正, 鉄賀博己, 東 寛和, 荒川雅生, 中山弘隆, 古川浩平 (2001) : RBF ネットワークを用いた非線形がけ崩れ発生限界雨量線の設定に関する研究, 土木学会論文集, No.672/VI-50, 117-132.
- 気象庁(2014) (参照2015.9.14) : 前線による大雨 平成26(2014)年8月15日～8月20日, (オンライン), 入手先 < http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2014/20140815/jyun_sokuji20140815-20.pdf >
- 気象庁(2015a) (参照2015.9.8) : 気候変動に適応した治水対策検討小委員会, (オンライン), 入手先 < http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouinkai/kikouhendou/pdf/1508_02_toushinhonbun.pdf >
- 気象庁(2015b) (参照2015.9.14) : 土壌雨量指数, (オンライン), 入手先 < <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/bosai/dojoshisu.html> >
- 中川 一・高橋 保・里深好文・立川康人・市川 温・吉田義則・中村行雄 (1998) : 平成9年鹿児島県出水市針原川で発生した土石流災害について, 京都大学防災研究所年報, **41 (B-2)**, 287-298.
- 中瀬有祐・藤本睦・江頭進治・伊藤隆郭 (2004) : 流出土砂量予測に関する一考察 - 既存手法とシミュレーションとの比較 -, 第53回平成16年度砂防学会研究発表会概要集, 44-45.
- 農林水産省(2014) (参照2015.9.8) ため池の災害, (オンライン), 入手先 < http://www.maff.go.jp/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/ >
- 農林水産省(2015) 土地改良事業設計指針「ため池整備」, 63.
- 小田哲也, 三輪 顕, 野村純数, 田中丸治哉 (2015) : 平成26年8月豪雨に伴う兵庫県丹波市の土砂流入ため池被災, 農業農村工学会誌, **83 (8)**, 39-42.
- 嶋 大尚 (2007) (参照2015.9.11) 土石流・流木対策の技術指針に関する講習会 - 計画例・設計例 -, (オンライン), 入手先 < http://www.stc.or.jp/13present/file/071211_jirei.pdf >
- 正田大輔, 吉迫 宏, 堀 俊和, 中里裕臣, 山岸雄一, 鶴殿俊昭 (2015a) : 平成26年度広島豪雨災害におけるため池の土砂被害調査, 平成27年度農業農村工学会講演要旨集, 832-833.
- 正田大輔, 吉迫 宏, 井上敬資, 鈴木尚登, 西川泰史, 本間信一 (2015b) : 平成26年豪雨での土砂流入時におけるため池の被災実態, 土木学会第70回年次学術講演会, 467-468.
- 田上愛仁 (2010) : 平成21年7月中国・九州北部豪雨におけるため池被害対策およびため池の土石流防御・貯留効果, 農業農村工学会中国四国支部講演会講演要旨集, **65**, 38-40.
- 毛利栄征, 有吉 充, 林 貴史 (2015) : 豪雨時の土砂崩壊とため池の新たな機能, 基礎工, **43 (6)**, 35-38.

受理年月日：平成27年10月27日

Survey of Small Earthfill Dam Damaged by Debris flow due to Concentrated Heavy Rain in August 2014

SHODA Daisuke*, YOSHISAKO Hiroshi*, KONNO Michiaki*,
INOUE Keisuke* and SUZUKI Hisato**

*Facilities and Geotechnical Engineering Research Division, Disaster Prevention

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

Abstract

This study aimed to survey and analyze the small earthfill dams for agriculture in a case of sediment disaster due to concentrated heavy rain. In this paper, subjected to the disaster of sediment flowed into small earthfill dams by heavy rain in 2014, the following three survey and analysis were completed. 1. The danger of sediment disaster was calculated. 2. The survey of broken small earthfill dams was conducted. 3. The volume of sediment was calculated. As the result, the sites around the small earthfill dams were also at increased risk from the analysis result. 3 dams out of 8 surveyed dams were broken by this rain. Verifying the disaster reduction function of small earthfill dams, the function to catch the water, mud, sand and debris should be considered. The amounts of transportable debris flow due to rainfall of yearly exceedance probability of plan scale were larger than the volume of dams. The calculated amount could offer the potential for a better prediction by verifying the parameters in details.

Key words: *Small earthfill dam, Concentrated heavy rain in August 2014, Debris flow, Survey, Calculation of transportable debris flow*