

平成 25 年度豪雨による決壊ため池の氾濫解析検証

正田大輔* 川本 治* 鈴木尚登** 吉迫 宏* 井上敬資* 小嶋 創***

*施設工学研究領域 広域防災担当

**企画管理部 防災研究調整役

***東京農工大学

キーワード：ため池，決壊，氾濫解析，計測，豪雨

I 緒言

近年，局所的で突発的な豪雨が発生しており，人や公共等の構造物，作物に対して被害を与えている。このような状況の中，気象庁では，平成 25 年 8 月から，「特別警報」を運用し，これまでに経験したことのないような大雨について，最大限の警戒を呼びかけるようになった。被害を受ける構造物の中に農業用ため池があり，その多くは江戸時代以前に造られており，老朽化が進み抜本的な改修を必要とするものも少なくない（佐々木ら，2013）。

近年の豪雨災害の 1 例として，ため池に大きな被害をもたらした 2004 年の台風 23 号では，淡路島内だけで 181 箇所のため池が決壊し，農地農業用施設の総被害額は，阪神淡路大震災を上回るものであった（兵庫県農林水産部，2005）。

このような中で，豪雨時のため池に関する技術開発及び研究が進められており，ため池管理者が行う防災対策を支援するシステムの構築（谷ら，1999）や，地域内での連絡体制を活用して防災情報から避難する検討（石垣ら，2009）が行われている。ため池決壊時の氾濫域に関する研究は，大竹ら（2006）がため池が密集する地域の 87 箇所を対象に氾濫時のシミュレーションを行っている。また，正田ら（2012）は実際に決壊したため池において氾濫解析を実施し，現地での聞き取りをもとに解析精度について検討している。さらに，川本ら（2013）は，ため池の氾濫解析における平面上の間隔の異なる標高データや，粗度係数，決壊位置についての考え方の整理を行っている。

海外においても，ため池やダムが決壊に関する研究が行われており，米国の連邦緊急事態管理局（FEMA，2007）が，米国やヨーロッパでの決壊実験や解析等を取りまとめている。また，英国においてもため池及びダムの危機管理あるいは決壊時における貯留水の流出量についてまとめている（Hughes, A. et al. 2000）。

ため池以外の氾濫に関する研究については，河川や天然ダムなどがある。河川の氾濫に関する研究は，河川堤防の

決壊を対象に昭和初期から行われている（松尾，1953）。この中では，昭和 28 年における九州水害時の降雨記録（6 月 25～29 日 623.7mm，最大日降雨量 311.3mm，最大時間降雨量 63.2mm）と，決壊原因との関連についてまとめられている。現在河川堤防の決壊時の氾濫シミュレーションの計算条件などで，使用されている氾濫シミュレーション・マニュアル（案）（栗城ら，1997）の中でも，上記の水害時に決壊した筑後川のデータを使用して検証が行われている。また，末次ら（1998）の研究では，上記の昭和 28 年の水害を対象に，計測された 5 箇所の最高浸水深及び 2 箇所の逆破堤時刻の実績データから，氾濫解析モデルの検証も行われている。

天然ダムの決壊に関する研究としては，森ら（2005）がフェレニウス法によりダムのすべり破壊の可能性を評価しており，里深ら（2007）が，平成 17 年 9 月の台風により形成された天然ダムの決壊を想定し，水流層と砂礫移動層をモデル化してシミュレーションを行っている。

ため池は主に営農目的の施設であり，比較的標高の高い場所にあり，決壊した場合の下流に対する影響は河川堤防等とは異なる。そこで本報では，決壊したため池において①決壊断面の測量結果を用いて，既存式でのため池からの最大流出流量の比較，②氾濫解析での最大水深結果の現地踏査による検証，③決壊による痕跡が大きかった箇所についての氾濫解析の最大流速結果と測量結果の比較，以上の点に着目し，ため池の氾濫解析の検証を行った。

II 決壊ため池周辺雨量と決壊点の流出流量

各決壊ため池の貯水量・堤高・堤長（(財)日本農業土木総合研究所 2000，谷ら 1999）と土砂流出面積，決壊断面の寸法，決壊時の雨量についてまとめたものを **Table 1** に示す。**Table 1** の決壊ため池について，後述する氾濫解析結果の現地検証または土砂流出域と決壊断面についての測量を実施した。2-中ため池については，現地検証・測量いずれも行っていない。

2.1 決壊ため池周辺雨量

決壊発生日の時間最大雨量とため池への積算流入量について参考のため Appendix 1 (a)~(i)に示す。各時間の流入量 I については以下の式 (農林水産省, 2006) により算出している。

$$I = A \times r \tag{1}$$

ここで、 A は流域面積と満水面積 ((財) 日本農業土木総合研究所 2000, 谷ら 1999) の和 (m^2)、 r は時間雨量 (m/h) である。また、各ため池の貯水量についても併記している。

雨量については、「ため池 DB (データベース) ハザードマップ」((財) 日本農業土木総合研究所 2000, 谷ら 1999) から得られる気象庁 1km メッシュ解析雨量を用いている。流入量の算出は、ため池地点の雨量データのみを使用している。

2.2 決壊点の流出流量

決壊ため池において、ため池決壊点から流出する最大流量について比較を行う。比較を行ったのは次の3つの式は、Costa (1998) と Froehlich (1995), 土地改良事業の費用対効果算定手法(農林水産省, 2007)で示された式で、それぞれ式(2)と式(3), 式(4)に示す。ここで、 Q_C は Costa 式による最大流量 (m^3/s)、 H は堤高 (m)、 V は貯水量 (m^3)、 V_C は貯水量 (m^3) を 10^6 で除した値、 Q_F は Froehlich 式による最大流量 (m^3/s)、 Q_L は費用対効果算定手法による最大流量 (m^3/s)、 H_w は決壊高さ (m) である。

$$Q_C = 325 (H V_C)^{0.42} \tag{2}$$

$$Q_F = 0.607 H_w^{0.295} V^{1.24} \tag{3}$$

$$Q_L = 4.5 H_w^{5/2} \tag{4}$$

Table 1 で示した諸元を用いて Table 2 の最大流量を算出した。Froehlich 式や費用対効果算定手法の式については、決壊高さを用いて算出しているが、計測できなかった5-石原ため池と11-上ジゲ池については堤高を用いて算出を行

っている。7, 8-野崎上下池については、貯水量は上池と下池の合計値、堤高は下池の堤高を用いて流出流量を算出している。

Table 2 より、1-谷内の池や6-新堤池のように、決壊高さが堤高に比べて小さい場合、決壊高さを用いた Froehlich 式や費用対効果算定手法の式では流出流量が小さくなった。また、堤高を用いて算出した5-石原ため池と11-上ジゲ池については費用対効果算定手法の式で他の式に比べて大きな値となった。さらに、決壊高さが5mを越えている9-真山池についても費用対効果算定手法の式では他の式に比べて大きな値を示した。上下池ともに決壊した7, 8-野崎上下池の場合は、決壊データを用いた Froehlich 式や費用対効果算定手法の式では流出流量が小さくなった。

以上のことから、①Costa 式と費用対効果算定手法の式は近い値を示した。しかしながら、堤高もしくは決壊高さが大きくなるケースについては費用対効果算定手法において大きな値となる。②Froehlich 式は他の式に比べて小さい値を示した。③上下池ともに決壊した場合、Costa 式では流出流量が大きくなった。

本報では、決壊高さを計測していないケースがあったため、氾濫解析時の流出流量の算定には Costa 式を用いる。

III 決壊ため池での最大水深による現地検証

ため池の氾濫解析について精度を検証するには、決壊現場での氾濫状況との比較が重要である。そこで、本項では Table 1 の決壊ため池について、土砂の流出や農地法面の侵食等で氾濫状況を確認し、二次元不定流の氾濫解析の妥当性について検証した。

氾濫解析には、上述の「ため池 DB (データベース) ハザードマップ」の簡易氾濫解析 (谷・井上, 2009) の改良版 (川本ら, 2013) を使用した。粗度係数は0.04, 解析総時間は60分、標高データは国土地理院の基盤地図情報5mメッシュで、未整備部分については10mメッシュを用いた。粗度係数は、谷部の池が多かったため、土木学会 (1999) の二次元不定流モデルにおいて、樹林地帯の係数として提案

Table 1 決壊ため池の諸元と周辺雨量
Dimension of failure dam and rainfall around dam

No.-名称	県名	土砂流出面積 (m^2)	貯水量 (m^3)	堤高 (m)	堤長 (m)	決壊幅 (m)			決壊高さ (m)	累積24時間雨量 (mm)	時間最大雨量 (mm)
						下	上	平均			
1-谷内の池	富山県	-	2,200	4.0	25	-	5	-	1.6	149.3	23
2-中ため池	山形県	-	11,300	10.0	37	-	-	-	-	180.4	29
3-沖堤	新潟県	1786.79	12,500	15.0	60	4.37	13.54	8.96	4.19	76.5	35
4-火打岩ため池	山口県	2766.12	22,500	4.7	96	14.88	18.35	16.62	3.73	312	115
5-石原ため池 (重ね池)	山口県	-	12,000	5.2	72	-	-	-	-	536.8	85
6-新堤池	福岡県	1749.19	10,800	8.2	58	1.97	5.69	3.83	1.77	159.7	37
7-野崎下池	青森県	4641.74	23,400	4.0	80	3.48	10.22	6.85	3.11	116.8	22
8-野崎上池	青森県		21,600	2.0	127	3.88	7.98	5.93	1.73		
9-真山2号	秋田県	-	35,000	7.0	52	9.35	23.7	16.53	6.9	182.2	44
10-宝谷池	兵庫県	1207.97	9,000	5.8	37	3.74	7.04	5.39	2.65	210.7	22
11-上ジゲ池 (重ね池)	兵庫県	-	1,200	3.5	40	-	-	-	-	229	23

Table 2 最大流量算出結果
Calculation result of maximum outflow

No.-名称	Costa式 (解析で使った式)	Froehlich式	費用対効果の 算定手法
1-谷内の池	44.52	10.53	14.57
3-沖堤	160.90	58.03	161.96
4-火打岩ため池	126.50	59.67	120.79
5-石原ため池 (重ね池)	101.36	74.88*	277.47*
6-新堤池	117.41	19.08	18.76
7, 8-野崎上池+ 下池	158.16	58.36	76.48
9-真山2号	180.03	145.83	562.78
10-宝谷池	94.04	29.87	51.61
11-上ジグ池 (重ね池)	32.63	23.24*	103.13*

*印は堤高を使用

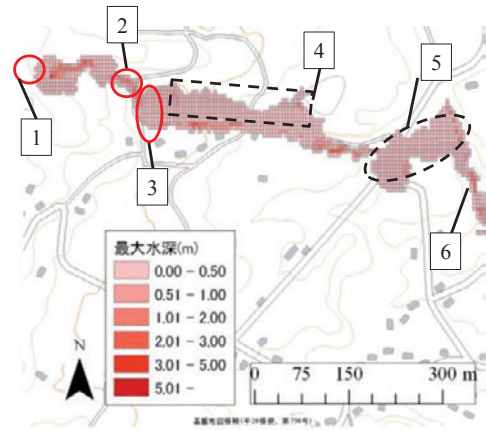


Fig.1 (a) 1-谷内の池の氾濫解析による最大水深と写真位置図
Result of maximum water depth in Yachino-ike using inundation analysis and each point of pictures

されている値を用いた。背景図には、農業・食品産業総合研究機構が開設した「基盤地図情報 25000WMS 配信サービス」による国土地理院の 25,000 分の 1 基盤地図を用いた。本項で対象としたため池は、著者らが踏査した以下 9 基の池、1-谷内の池、3-沖堤、4-火打岩ため池、5-石原ため池、6-新堤池、7-野崎下池、9-真山 2 号、10-宝谷池、11-上ジグ池である。

3.1 1-谷内の池

梅雨前線影響（内閣府，2013a）のため、6 月 19 日の豪雨により、堤体の一部が破堤した。**Fig.1(a)**に、谷内の池の氾濫解析による最大水深と写真位置図を、**Fig.1(b)**に、谷内の池周辺の各地点での写真を示す。**Fig.1(b)**の写真中の番号は **Fig.1(a)**中の番号位置で撮影したことを示しており、以後のため池も同様である。**Fig.1(b)** -1 が決壊断面である。堤体直下部にあった倉庫 (**Fig.1(a)** -2) の、高さ 1.8m の場所にあった **Fig.1(b)** -2 中の窓から、土砂が流入した。これは、**Fig.1(a)** -2 の最大水深結果ともほぼ一致する。さらに、流出した土砂が下流の池に埋没、農地（畑）にも流入した (**Fig.1(b)** -3)。また、**Fig.1(a)** -4 の箇所は踏査時には被災状況は確認できず、水路の標高が反映されていない箇所があることが考えられる。**Fig.1(a)** -5 の箇所には水路上に橋 (**Fig.1(b)** -5) があったため、氾濫解析においてはこの橋の標高が水路底面の標高と置き換わったため、水路がせき止められた結果、貯留・越流のため氾濫域が広がったものと示唆される。**Fig.1(a)** -6 の箇所からは **Fig.1(b)** -6 のように水路があり、解析結果同様ここを流れ下った。

3.2 3-沖堤

7 月 31 日の豪雨により、決壊した。堤体の一部が破堤（約幅 9m）した。**Fig.2(a)**に、沖堤の氾濫解析による最大水深と写真位置図を、**Fig.2(b)**に、沖堤周辺の各地点での写真を示す。**Fig.2(b)** -1 が決壊断面である。**Fig.2(a)** -2 の堤体直下にある農地に土砂が流入しており、最大水深は 1~2m であった。さらに下流側の農機具小屋へ土砂が流入したようであるが、決壊日と調査日の間の期間が長くなったこともあり、**Fig.2(a)** -3 の範囲では大きな痕跡は確認できなかった。

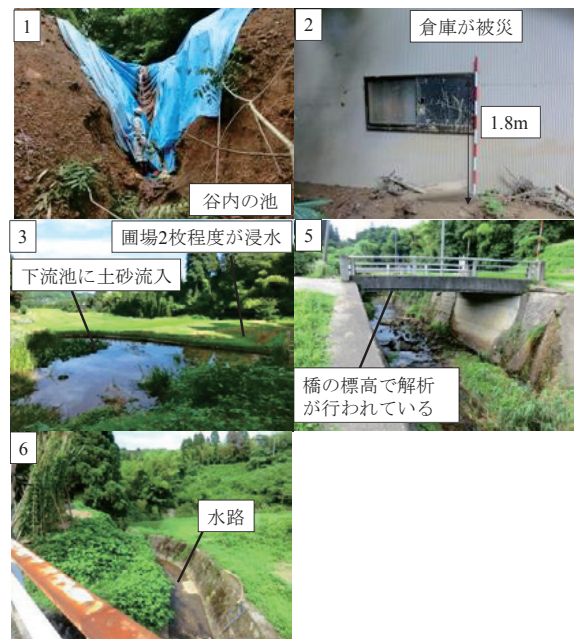


Fig.1(b) 谷内の池周辺の各地点での写真
Pictures around Yachino-ike

3.3 4-火打岩ため池

7 月 26 日から 8 月 2 日にかけて、島根県や山口県などで局地的に大雨となり、山口県の須佐で 1 時間降水量 138.5mm、24 時間降水量 351.0mm を記録した（内閣府，2013b）。この雨の影響で、火打岩ため池の堤体の一部が破堤（幅約 16.5m）した。**Fig.3(a)**に、火打岩ため池の氾濫解析による最大水深と写真位置図を、**Fig.3(b)**に、火打岩ため池周辺の各地点での写真を示す。**Fig.3(b)** -1 の赤丸部分が決壊断面である。決壊断面の右岸側の堤体にも越流侵食の痕跡が確認できた。**Fig.3(b)** -2 に堤体直下の写真を示す。農地に土砂流出し、決壊時の明確な痕跡が確認でき、最大水深は 0.5~1m であった。また、**Fig.3(a)** -2 に示す解析結果からは、この近傍で比較的水深が高くなっている。さらに、**Fig.3(a)** -3 に示す箇所では **Fig.3(b)** -3 に示すような田が広がり、調査日には目立った痕跡は見られなかった。比較的緩勾配であったことで大きな痕跡を残さなかった可能性

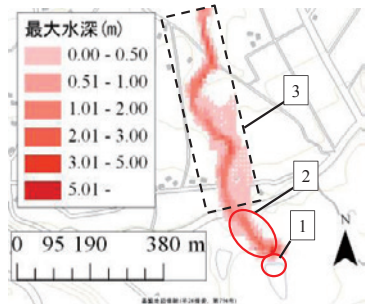


Fig.2 (a) 3-沖堤の氾濫解析による最大水深と写真位置図
Result of maximum water depth in Oki-tsutsumi using inundation analysis and each point of pictures



Fig.2 (b) 3-沖堤の池周辺の各地点での写真
Pictures around Oki-tsutsumi

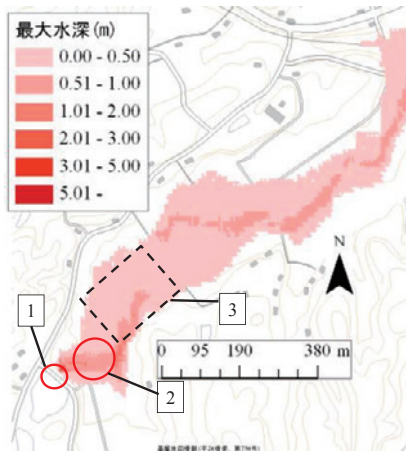


Fig.3(a) 4-火打岩ため池の氾濫解析による最大水深と写真位置図
Result of maximum water depth in Hiuchiwa-ike using inundation analysis and each point of pictures

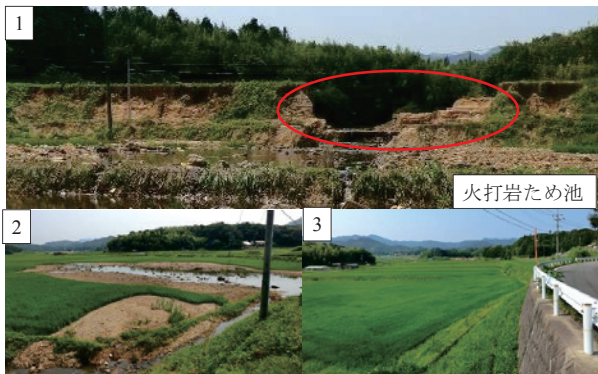


Fig.3 (b) 4-火打岩ため池周辺の各地点での写真
Pictures around Hiuchiwa-ike

がある。解析結果からも浸水範囲において最大水深 0 ~ 0.5m となっていた。

3.4 5-石原ため池

7月28日の豪雨により決壊した。Fig.4(a)に、石原ため池の氾濫解析による最大水深と写真位置図を、Fig.4(b)に、石原ため池周辺の各地点での写真を示す。Fig.4(b) -1 の上側の赤丸部分が決壊断面で、堤体に侵食跡が確認できなかったため、越流はなかったものと推察される。下側の赤丸部が下池堤体侵食部分である。上池貯水は直下流のため池に流入して、Fig.4(b) -1 の下側赤丸のように下池の堤体部分を越流し侵食した。さらに Fig.4(b) -2 のように、下池直下にあった2つのビニールハウスへ土砂の流入が確認できた。Fig.4(a) -2 の最大水深結果においては、最大水深 1~2m となっている。また、Fig.4(a) -3 の箇所には大きな痕跡は見られなかったが、Fig.4(a) -4 の赤丸箇所には Fig.4(b) -4 のように土砂が流出した痕跡が見られ、ここにも決壊時に水が流出したことがわかる。さらに、Fig.4(b) -4 の水路を解析結果の表示のように流れ下ったと推察される。

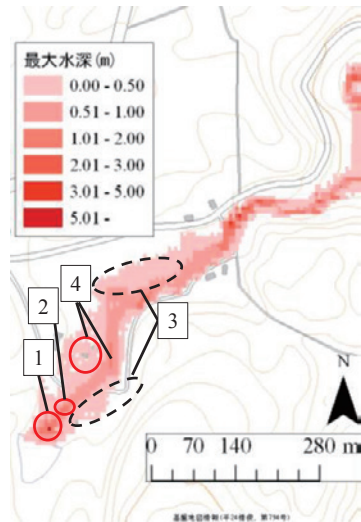


Fig.4 (a) 5-石原ため池の氾濫解析による最大水深と写真位置図
Result of maximum water depth in Ishihara-ike using inundation analysis and each point of pictures

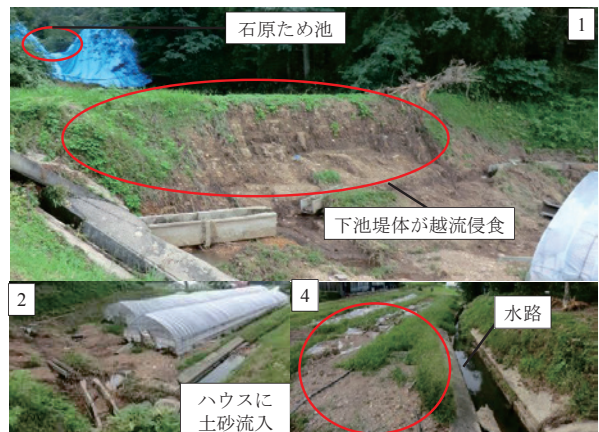


Fig.4 (b) 5-石原ため池周辺の各地点での写真
Pictures around Ishihara-ike

3.5 6-新堤池

台風第 15 号から変わった低気圧等の影響により九州・中国地方で大雨となり、福岡県福岡で 1 時間降水量 72.5mm、24 時間降水量 240.5mm を記録した（内閣府，2013c）。8 月 31 日の豪雨により、堤体の一部が破堤（幅約 4m）し、新堤池が決壊した。Fig.5(a)に、新堤池の氾濫解析による最大水深と写真位置図を、Fig.5(b)に、新堤池周辺の各地点での写真を示す。Fig.5(b)-1 の赤丸部分が決壊箇所である。Table 1 からわかるが、堤長や堤高に対して決壊箇所の断面は他の池と比べて小さい。Fig.5(a)-2 の箇所では土砂の痕跡があり最大水深は 5m 以上と他のため池と比較しても水深の高い場所に痕跡が見られた。Fig.5(a)-3 の箇所では Fig.5(b)-3 に示すように農地法面の侵食跡があった。Fig.5(a)-3 の最大水深の結果では、区画に沿うように水深が 3~5m と高い箇所が見られる。Fig.5(a)-4 の領域には、大きな痕跡は見られなかった。これは、決壊断面が小さく、貯水の流出量が少なかったことで、実際の浸水域の方が解析結果の浸水域より小さくなったと示唆される。

3.6 7-野崎下池・8-野崎上池

9 月 15 日は、前線や台風 18 号周辺から流れ込む湿った空気の影響で、東日本や北日本で局地的に激しい雨が降った。9 月 16 日は、台風に伴う雨雲により、四国から北海道

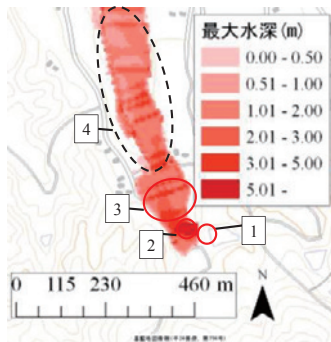


Fig.5 (a) 6-新堤の氾濫解析による最大水深と写真位置図
Result of maximum water depth in Sintsutsumi-ike using inundation analysis and each point of pictures

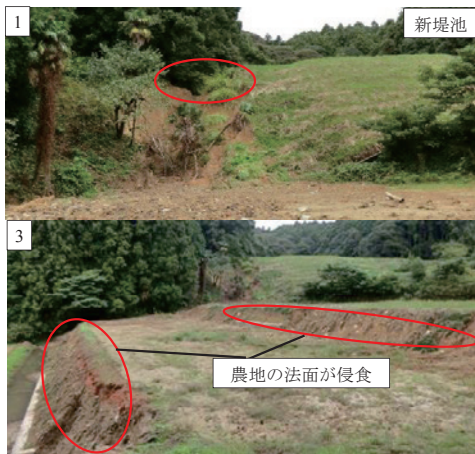


Fig.5 (b) 6-新堤周辺の各地点での写真
Pictures around Sintsutsumi-ike

にかけての広い範囲で大雨となった。特に福井県、滋賀県、京都府では、記録的な大雨となった（内閣府，2013d）。9 月 16 日 14:30 頃豪雨により、上池が幅約 6m にわたって決壊、その直後に下池も幅約 7m にわたって決壊した。Fig.6(a)に、野崎下池の氾濫解析による最大水深と写真位置図を、Fig.6(b)に、野崎下池周辺の各地点での写真を示す。Fig.6(b)-1 の赤丸部分が決壊箇所である。下流転作水田に土砂流入し、冠水した。Fig.6(a)-2 の箇所では土砂の痕跡があり、最大水深は 1~2m であった。Fig.6(a)-3 の箇所にはコンクリート製水路の崩落と農地法面の侵食跡が見られた（Fig.6(b)-3）。解析結果においては最大水深 0.5~1m であったが、周辺と比較して高い値ではなかった。今後も、水深と侵食の関連については情報集積が必要である。また、Fig.6(a)に示す水路や道路が、Fig.6(b)-4 のようにさらに下流に存在する。Fig.6(a)の点線で囲われた部分は目視での痕跡は確認できなかった。これは、氾濫水が道路を越えなかったあるいは水路を流下したことにより、大きな痕跡が残らなかったためと考えられる。

3.7 9-真山 2 号

9 月 16 日の豪雨により決壊した。右岸側からの道路伝いあるいは水路から溢れた水の影響で決壊が生じたと推察される。 Fig.7(a)に、真山 2 号の氾濫解析による最大水深と

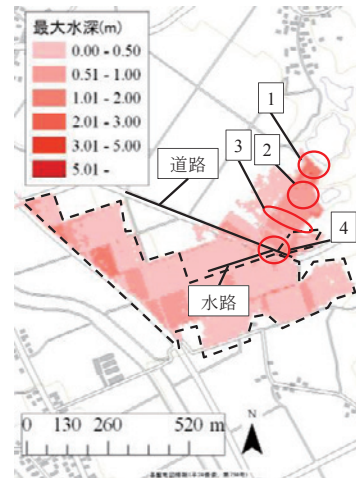


Fig.6 (a) 7-野崎下池の氾濫解析による最大水深と写真位置図
Result of maximum water depth in Nozakisimo-ike using inundation analysis and each point of pictures



Fig.6 (b) 7-野崎下池周辺の各地点での写真
Pictures around Nozakisimo-ike

写真位置図を、Fig.7(b)に、真山 2 号周辺の各地点での写真を示す。Fig.7(b)-1 の赤丸部分が決壊断面である。Fig.7(a)-2 が示す赤枠部分で土砂の流出が確認でき、最大水深としては 0 ~ 5m であった。その下流にある Fig.7(a)-3 の水路 (断面約 2m×2m) に到達後は、水路伝いに流下したものと推察される。解析結果についても Fig.7(a)点線黒枠のように水路伝いに流下した結果を示した。

3.8 10-宝谷池

9 月 16 日の豪雨により決壊した。決壊は前触れなく突如として起こり、全貯水が流出するのに 30 分はかからなかったとの証言もあった。Fig.8(a)に、宝谷池の氾濫解析による最大水深と写真位置図を、Fig.8(b)に、宝谷池周辺の各地点での写真を示す。Fig.8(b)-1 の赤丸部分が決壊断面である。Fig.8(a)-2 の箇所では土砂の痕跡があり、最大水深は 0.5 ~ 3m であった。Fig.8(a)に示した県道では、Fig.8(a)-3 の最大水深は 2~3m となっており、この県道が土砂流出により通行止めとなった。Fig.8(a)-4 の箇所 Fig.8(b)-4 のような農地法面の侵食跡が見られた。解析結果では最大水深 0.5 ~ 1m の箇所であった。また、Fig.8(a)の点線黒枠箇所については、水路の標高が反映されていない箇所があるため、浸水域としては若干広めであるが、水路伝いに流下したと推察される。

3.9 11-上ジゲ池

9 月 15 日から 16 日の台風 18 号による大雨により決壊した。Fig.9(a)に、上ジゲ池の氾濫解析による最大水深と写真位置図

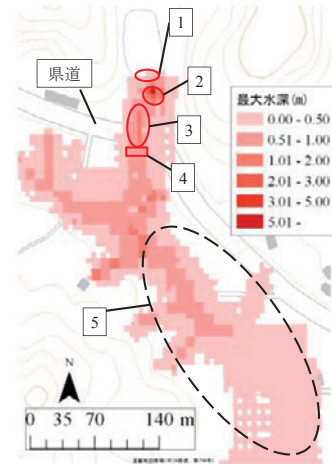


Fig.8 (a) 10-宝谷池の氾濫解析による最大水深と写真位置図
Result of maximum water depth in Hondani-ike using inundation analysis and each point of pictures



Fig.8 (b) 10-宝谷池周辺の各地点での写真
Pictures around Hondani-ike

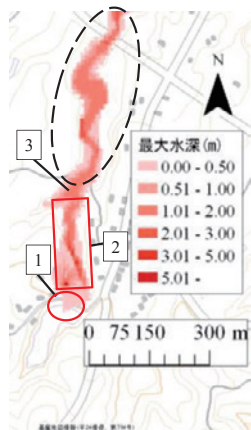


Fig.7 (a) 9-真山 2 号の氾濫解析による最大水深と写真位置図
Result of maximum water depth in Sinzan2-gou using inundation analysis and each point of pictures



Fig.7 (b) 9-真山 2 号周辺の各地点での写真
Pictures around Sinzan2-gou

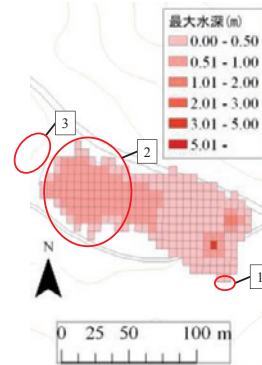


Fig.9(a) 11-上ジゲ池の氾濫解析による最大水深と写真位置図
Result of maximum water depth in Kamijige-ike using inundation analysis and each point of pictures

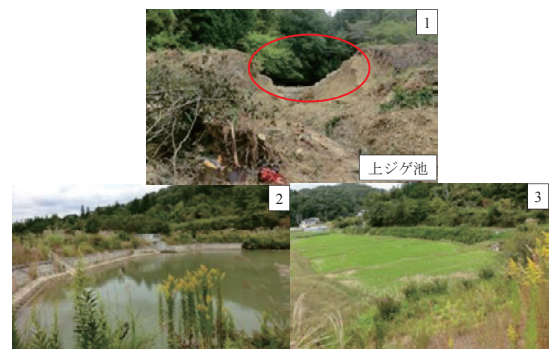


Fig.9(b) 11-上ジゲ池周辺の各地点での写真
Pictures around Kamijige-ike

位置図を、Fig.9(b)に、上ジゲ池周辺の各地点での写真を示す。Fig.9(a)-1の赤丸部分が決壊断面である。決壊した後貯水は、Fig.9(b)-2の下流にある池に流入した。Fig.9(b)-3に示す下池の下流農地に若干土砂の堆積が見られたが、大きな痕跡はなく、下池によって被害が抑えられていた。解析においても、Fig.9(a)と同じような浸水範囲が10分後から示されており、下池への流入した現象と解析結果とが整合していた。

IV 決壊ため池での最大流速と測量結果比較

氾濫解析における流速結果については、堤体近傍で大きな値をとっており、現場においては堤体近傍で土砂の流出という明確な決壊による痕跡が確認できた。そこで本項では、最大流速結果とあわせて土砂の流出範囲の計測結果についても示した。

4.1 計測の概要

決壊したため池について、土砂の流出域と決壊断面について計測を行った。計測を行ったのは5基のため池であり、3-沖堤、4-火打岩ため池、6-新堤池、7-野崎下池、10-宝谷池である。流出域の全体を見渡せるところに測量機を設置し、この点を原点としている。

土砂流出域については、Fig.10のように、ため池堤体からの土砂で埋没した領域を計測範囲とし、その領域の外枠にプリズムをたて計測を行った。プリズム間でデータの補間が必要な場合には、ノンプリズムで計測を行った。計測結果についてはTable 1に示す。

決壊断面については、上部は残った堤体の左と右の際にプリズムをたて、下部は決壊断面で最も低い箇所の左と右にプリズムをたてそれぞれ4点を計測し、決壊断面の幅と決壊高さを求めた。計測結果についてはTable 1に示す。

使用した機材はノンプリズム式の測量機材(TSTCR307JS)である。

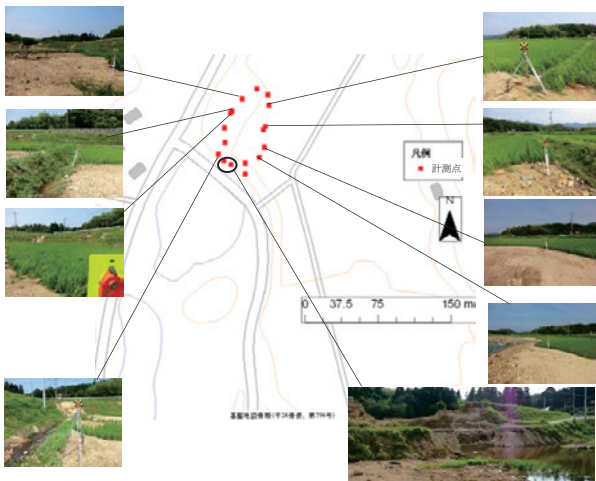


Fig.10 土砂流出域の計測時の写真
Picture of measurement washout area

4.2 最大流速と土砂流出の計測結果

Fig.11に最大流速と土砂流出の計測結果について示す。各池について黒点が計測点で、点を結んだ領域を土砂の流出範囲としている。また、コンタ図は最大流速を示している。Fig.11(a)の沖堤については、流速6m以上の速い領域へ土砂が進行していることがわかる。Fig.11(b)の火打岩ため池については、流速の速い領域は池から東方向に向かっているが、計測結果からはこれと若干異なる北方向に流出している。Fig.11(c)の新堤池については、流速6m以上の速い領域と土砂の計測領域とがほぼ一致している。Fig.11(d)の野崎下池については、池から南西方向の流下方向において流速3m以上の比較的流速の速い領域と計測領域とが概ね一致した傾向が見られた。Fig.11(e)の宝谷池については、流速6m以上の領域まで計測点が達していなかった。しかしながら、現地での聞き取りでは、図中の県道でアスファ

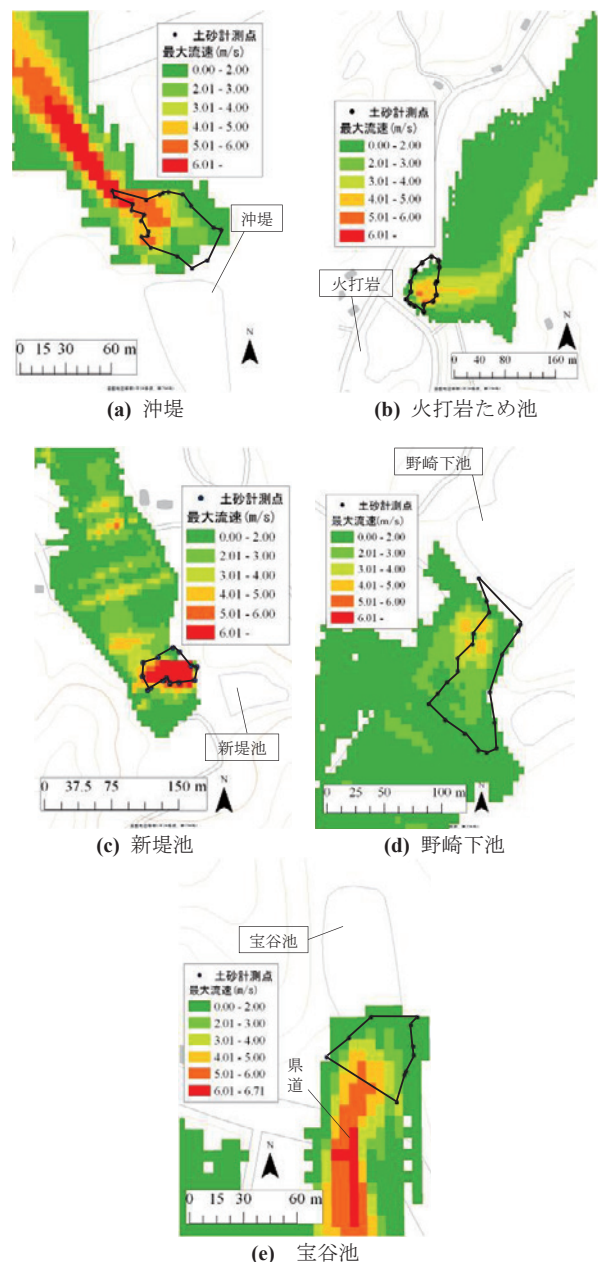


Fig.11 最大流速と土砂流出の計測結果
Result of maximum flow velocity and washout area

ルトが剥がれる被害があった。調査日はすでに復旧後であったことから、土砂の流出領域は道路方向へ広がっていたと示唆される。

以上のことから、各ため池において相対的流速が速い箇所
に土砂の流出した領域が概ね一致した。ただし、データ数
が 5 個と少ないことから、傾向についての妥当性は今後さら
に件数を増やしたうえで、判断が必要である。

VI 結 言

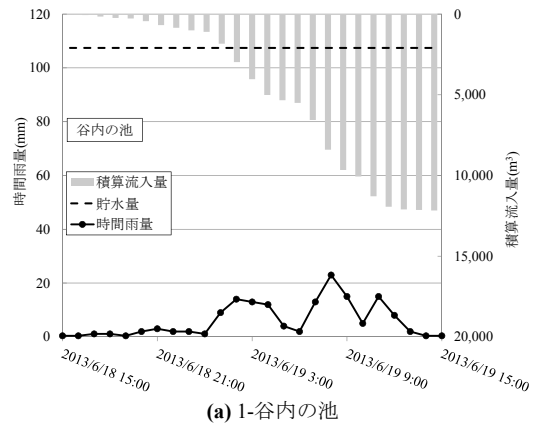
平成 25 年度の決壊ため池において、氾濫解析結果を検証
するという目的で、現地踏査と、土砂流出域の測量を行い、
以下の結論を得た。

- i) 決壊ため池を対象に、最大流出流量の経験式について比較を行った。結果として、①Costa 式と費用対効果算定手法の式は近い値を示した。しかしながら、高さに関する未知数が大きくなるケースについてはその傾向はみられなかった。②Froehlich 式は他の式に比べて小さい値を示した。
- ii) 最大水深結果について、現地踏査により検証を行った。
 - ①最大水深結果は実際の流下方向と概ね一致していた。
 - ②一方で、浸水域が若干大きくなる傾向があった。これは水路や周囲より少し高い道路の影響を加味していなかったことが要因として挙げられる。
 - ③農地法面の侵食やコンクリート製水路の崩落が踏査時には確認され、各ため池において比較的水深の高い箇所ですそれらの事象が確認された。ただし、解析結果でのこれらの事象の把握や定量評価については更なる情報蓄積が必要である。
 - ④重ね池の場合、上池の決壊に伴い下池が決壊したケースと、上池は決壊したが下池で貯水や土砂を受け止めたケースがあった。上池・下池ともに決壊した場合は、2 池分の被害の範囲が下池下流にみられた。上池のみの決壊ケースは下池で減勢され、下池下流への決壊の影響はあまり見られなかったケースと、上池決壊の影響が下池を越流して下流に見られたケースがあった。
- iii) 最大流速については、堤体近傍で流速が大きくなる傾向があり、現場ではこの周辺で土砂の痕跡が確認されたため、最大流速結果と土砂の流出領域について同一図面上に記載し、検討を行った。①各ため池において相対的流速が速い箇所に土砂の流出する領域が存在した。②データ数が 5 個と少ないことから、傾向についての妥当性は今後さらに件数を増やしたうえで、判断が必要である。

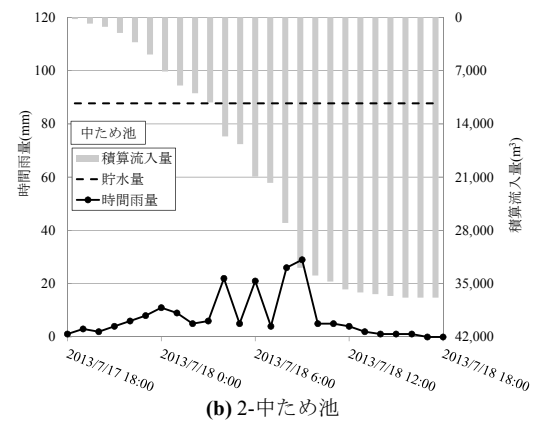
謝辞：本報は、農林水産省農村振興局整備部防災課をはじめ、東北農政局・北陸農政局・近畿農政局・中国四国農政局・九州農政局、青森県、秋田県、山形県、新潟県、富山県、兵庫県、山口県、福岡県等の行政部局には、ため池決壊時の現況把握という基礎研究としての本調査の主旨をご理解いただき、現場等での対応ならびに情報提供を賜った。現場ではこのような災害に対して迅速に対応されていることに敬意を表し、関係者各位へここに記して感謝申し上げます。

付録

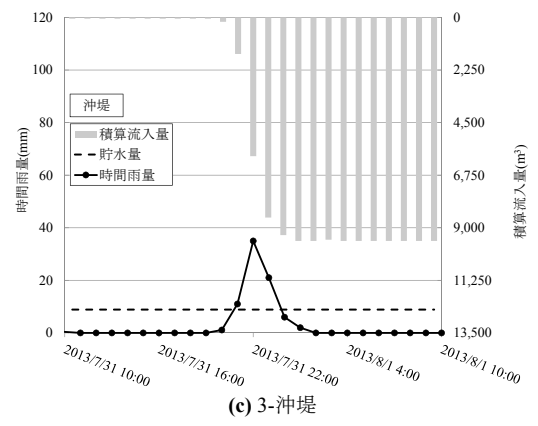
時間雨量と流入流量について、Appendix 1(a)～(i)に図を示す。



(a) 1-谷内の池

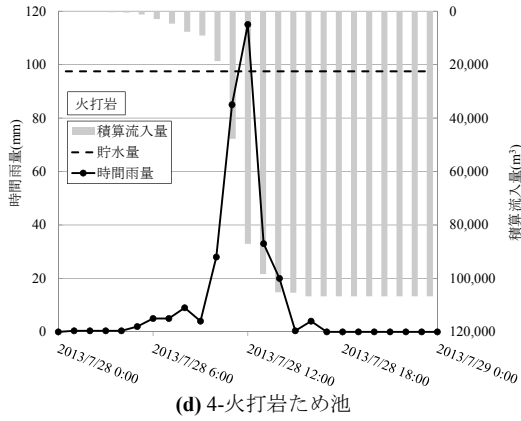


(b) 2-中ため池

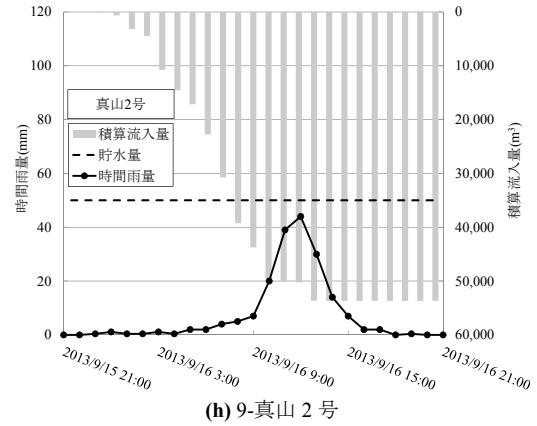


(c) 3-沖堤

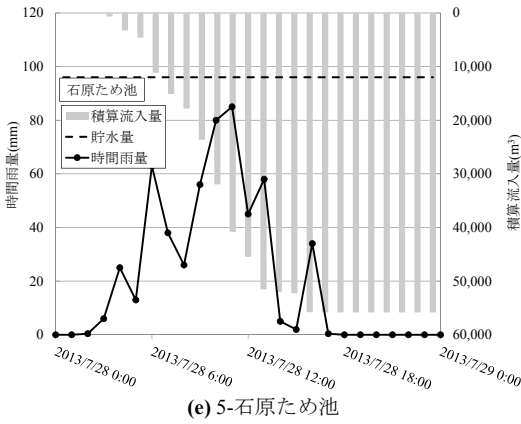
Appendix 1 決壊時近傍の時間雨量と積算流入量
Total inflow and 1-hour rainfall at dam failure



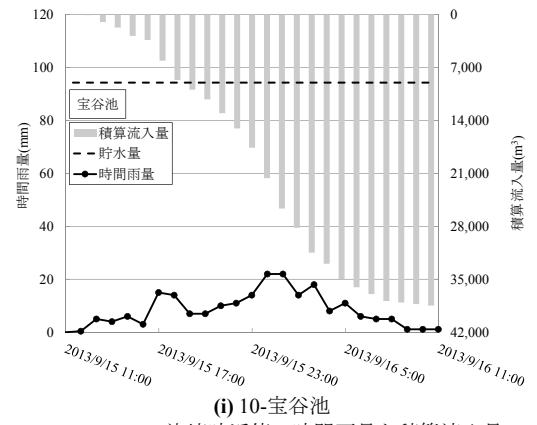
(d) 4-火打岩ため池



(h) 9-真山 2 号

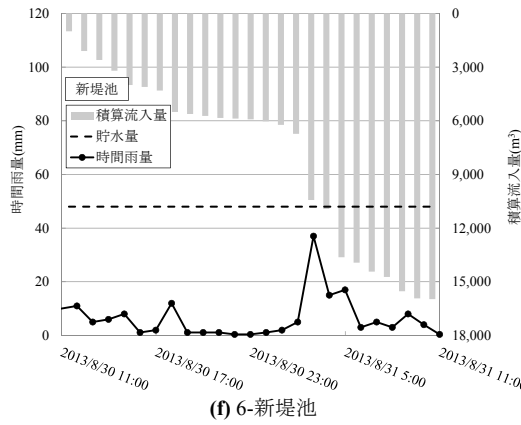


(e) 5-石原ため池

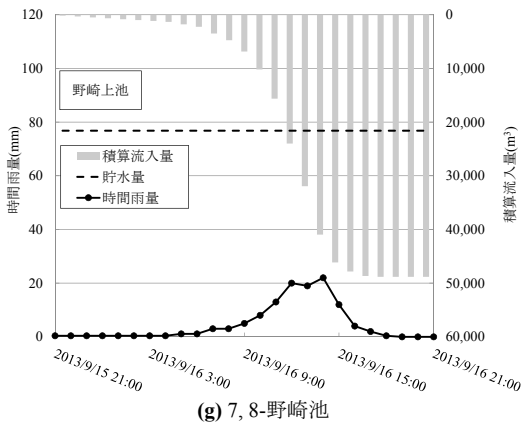


(i) 10-宝谷池

Appendix 1 決壊時近傍の時間雨量と積算流入量
Total inflow and 1-hour rainfall at dam failure



(f) 6-新堤池



(g) 7,8-野崎池

Appendix 1 決壊時近傍の時間雨量と積算流入量
Total inflow and 1-hour rainfall at dam failure

参考文献

Costa, J. (1988) Floods from Dam Failure, Flood Geomorphology, 436-439.

土木学会 (1999)：水理公式集 平成 11 年版, 131

Federal Emergency Management Agency (FEMA) (2007)：The National Dam Safety Program

Froehlich, D. (1995)：Peak Outflow from Breached Embankment Dam, J. Water Resources Planning and Management, 121(1), 90-97

Hughes, A. et al. (2000)：Risk management for UK reservoirs, Construction Industry Research & Information Association (CIRIA)

兵庫県農林水産部 (2005)：台風 23 号 (平成 16 年 10 月 20 日) 農地農業用施設災害記録誌, 兵庫県

石垣広男・新保博英・勝山達郎・北川 涼・道下真也 (2009)：ため池管理体制の構築による地域力の向上, 農業農村工学会誌, 77(11),11-14

川本 治・鈴木尚登・福原正斗・吉迫 宏・井上敬資・鈴木智宏 (2013)：ため池決壊時の簡易氾濫解析の改善に関して, 農業農村工学会誌, 81(8), 7-11

栗城稔・末次忠司・小林裕明 (1997)：氾濫シミュレーション・マニュアル (案) -シミュレーションの手引き及び新モデルの検証-, 土木研究所資料

内閣府 (2013a)：台風第 4 号及び梅雨前線による被害状況等について, http://www.bousai.go.jp/updates/h25taifuu04/pdf/h25taifuu04_02.pdf, (2013.10.17 アクセス)

- 内閣府 (2013b) : 7月26日からの大雨等による被害状況について, http://www.bousai.go.jp/updates/h25ooame07/pdf/h25ooame07_11.pdf, (2013.10.17 アクセス)
- 内閣府 (2013c) : 台風第15号及び前線の大雨等による被害状況等について, http://www.bousai.go.jp/updates/h25taifuu15/pdf/h25taifuu15_02.pdf, (2013.10.17 アクセス)
- 内閣府 (2013d) : 台風第18号の大雨等による被害状況等について (第11報), http://www.bousai.go.jp/updates/h25typhoon18/pdf/h25typhoon18_11.pdf, (2013.10.17 アクセス)
- 農林水産省 (2006) : 土地改良事業設計指針「ため池整備」, 133-136
- 農林水産省 (2007) : 新たな土地改良の効果算定マニュアル, 372, 大成出版社。
- 松尾春雄 (1953) : (1)堤防の決壊(九州水害について), 季刊土と基礎 1(3), 48-54
- 森 俊勇・伊藤達平・水山高久・小田 晃 (2005) : 天然ダム決壊時におけるすべり破壊可能性の検討, 砂防学会誌, 58 (4), 41-45
- 大竹 正・本岡利章・中川 剛・北村 聡・加藤宏司・大竹由紀夫 (2006) : 2次元平面モデルを用いたため池はん濫解析とため池ハザードマップ, 農業土木学会全国大会講演要旨集, 910-911
- 佐々木 聡・鈴木浩之・北田裕道 (2013) : ため池の防災・減災の施策について, 農業農村工学会誌, 81(8), 23-26
- 里深好文・吉野弘祐・水山高久・小川紀一郎・内川龍男・森俊勇 (2007) : 天然ダムの決壊に伴う洪水流出の予測手法に関する研究, 水工学論文集, 第51巻, 901-906
- 正田大輔・川本 治・鈴木尚登 (2012) : 豪雨を考慮したため池決壊時の氾濫解析, 地盤の環境・計測技術に関するシンポジウム論文, 47-52
- 末次忠司・栗城 稔 (1998) : 改良した氾濫モデルによる氾濫流の再現と防災への応用に関する研究, 土木学会論文集, No.593/I-1-43, 41-50
- 谷茂・小林秀匡・福原正斗 (1999) : 高度地理情報を有する「ため池防災データベース」の構築, 情報地質, 10(2), 118-119
- 財団法人 日本農業土木総合研究所 (2000) : 平成11年度ため池防災データベース更新業務報告書

受理年月日 平成 25 年 12 月 6 日

Inundation Analysis of Failure Dam due to Heavy Rain in 2013

SHODA Daisuke*, KAWAMOTO Osamu*, SUZUKI Hisato**, YOSHISAKO Hiroshi*,
INOUE Keisuke* and KOJIMA Hajime***

Facilities and Geotechnical Engineering Research Division, Disaster Prevention*
Department of Planning and General Administration, Senior Disaster Prevention Research Coordinator**
Tokyo University of Agriculture and Technology Agency***

Summary

There were the cases of the dam failure caused by concentrated heavy rain in 2013. An inundation analysis was conducted on these failure cases in this study. Inundation areas were compared in the analysis result and the field survey result, measurement result. The flowing results are obtained. (i) Compared with peak outflows using the anamnestic calculations, the result of Costa equation is close to the equation of business effect. The result of Froehlich equation is smaller than the results of other equations. (ii) The collapsed slope of agricultural land is corresponding to the relatively high parts of maximum water depth in each analysis result. However the flowing study is needed about quantitative evaluation of the water depth. (iii) Measured washout area is corresponding to the relatively high parts of maximum velocity result in each analysis result.

Key words : Small earth fill dam, Failure, inundation analysis, Measurement, Heavy rain