

[研究論文]

豪雨時におけるため池防災通報システム

菊 沢 正 裕¹⁾・谷 川 一 男²⁾・清 水 博 次³⁾

要 旨

近年大規模な集中豪雨が頻発している。そこで本研究では、ため池の溢水を予測・通報し、下流側の被害を軽減することを目的に、ため池台帳管理データベースを利用した防災通報システムを開発した。これは、インターネットから取得した降雨予測情報をもとに、流域からため池への流入量と洪水吐からの流出能力を比較し、危険情報を管理者や住民に提供するシステムである。危険情報は、パソコンでは地図情報と音声によって、また携帯電話ではメール文書として伝達される。地図情報は、GIS（地理情報システム）専用ソフトを用いず、エクセルが稼動する一般のパソコンに表示できるようにした。システムの性能を2つの方法で検証した。1つは、システム開発前の福井豪雨データによる溢水予測であり、もう1つはシステム開発後の豪雨を待って計測した水位と計算水位の経時比較である。その結果、この事例では、溢水を適切に予測できること、および水位を経時的に予測できることを示した。また、経時水位の予測には、ため池固有の特性（堤防や洪水吐の構造、ため池の管理状態、流域の地形）を配慮することが重要であることを指摘した。システムの実用化に際しての留意点や必要な装置についても言及した。

キーワード

ため池、農業防災、水防、防災情報、エクセル、GIS、官民連携新技術

はじめに

近年、台風や梅雨前線に伴う豪雨が頻発し、全国各地に大規模な被害をもたらしている。2004年7月の新潟・福島／福井豪雨、同年10月の台風23号による兵庫県、および2005年9月の台風14号による宮崎県の各被害は、何れも過去に例をみない規模である。福原（2005）によると、福井豪雨時の足羽川天神橋観測点の2日雨量は268.8mm（超過確率年25年）で、その85%にあたる228.9mmが17日5時01分からの6時間に集中している。6時間雨量がこれほど卓

受付日 2007.4.16

受理日 2007.6.13

所 属 1) 福井県立大学学術教養センター
2) ユニ調査設計株式会社
3) 福井県土地改良事業団体連合会

抜すること（超過確率年1000年）がないために、超過確率年は50年、150年、200年と様々な数値で報道された（福井新聞社、2004）。この、従来の物差しが通用しない集中豪雨は、足羽川にそった広い範囲を移動し、本川の堤防の決壊と流域にある幾つかの内水河川を氾濫させた。

門井（2005）は、福井豪雨災害に関する調査研究で「堤防決壊箇所の予測ミスと避難情報の伝達方法（自治会連絡網、広報車等）が機能せず、行政と住民が一体となって水防意識を高める方策を講じることが重要である。」と指摘している。また、社会資本整備審議会河川分科会（2005年4月）は、豪雨災害対策の基本方向として、被害を最小化する「減災」、被害軽減に必要な情報を充実する、および災害情報（災害環境情報・災害行動情報）が平常時から共有される社会への転換という3つの考え方を提起している。

近年の集中豪雨は、小流域にあつて洪水処理能力の小さいため池にも多大な被害をもたらしている。例えば、台風23号（2004.10）による淡路島のため池の被害は、阪神淡路大震災時をはるかに超えるものであった（若林 2005）。ここで、私たちが注目するのは、地震によるため池の決壊は予測できないが、豪雨による決壊は、事前予測がある程度可能なことである。谷（2003、2005）はGIS（地理情報システム）を用いたため池のリアルタイム防災システムを提唱している。中西（2005）は、同防災システムの利用に、ため池の初期水位や河川流量を把握することが重要であるとし、広域水収支解析システムの活用を提案している。青山ら（2005）は、台風23号による淡路島のため池被害データを用いたリスク分析のなかで、ため池の決壊要因の上位5つとして、天端幅、堤頂長、流域面積、満水面積、洪水吐形式をあげた。そしてその関連研究として山本ら（2006）は、流域内の斜面の傾斜がばらついていると斜面侵食を起こす結果、ため池に土砂流入をもたらすリスクを増すこと、越流堰式洪水吐の方が堤体越流を起こしやすいことを判別解析で明らかにした。これらは、ため池の危険度予測に、その固有特性（ため池の諸元、貯水情報、流域特性）が重要であることを示唆する。丹治ら（2005）は、ため池と流域の特性値を用いた、ため池の決壊リスクを簡便に評価する研究を始めている。そのような手法でリスクが大きいと予測されるため池を特定した後は、そのため池について具体的に危険を通報するシステムが必要である。

このように、豪雨によるため池の危険情報を通報するシステムの研究が進み、システム開発に有用な知見が得られ始めているが、福井県に多い小流域・小規模のため池の危険を、ため池管理者および下流域の住民に伝達する具体的なシステムは見られない。本研究では、降雨予測情報、ため池台帳、初期水位に基づいてため池の溢水を予測し、その危険情報を管理者や住民に伝達するシステムを開発した。

豪雨時におけるため池防災通報システム

ため池防災通報システム

防災通報システムの根幹は、流域からの流出量（ため池への流入量）を予測すること、その予測値とため池の諸元から溢水に至る時刻を予測すること、および通報対象の情報機器環境に応じて適切な方法で通報すること、である。

流出量を正確に予測でき、ため池諸元データを整備したとしても、ため池の初期水位が不明では溢水時刻を正確に予測できない。沢山のため池の全てに、水位計を設置することは経済的に無理がある。ここでは、安価な超音波距離計測器（後掲の図8）を堤頂に設置し、現水位が洪水吐敷高に達した時点で、同計測装置からその旨のメールを発信し、その後、流出解析とため池諸元の解析によって危険情報を予測・通報する仕組みを考えた。通報の方法は、ため池管理者のパソコンに、流域内のため池の危険情報を地図情報と音声で配信する方法と、危険ため池の下流側住民の携帯電話にメール文書で通報する2通りの方法である。

ため池防災通報システムのイメージを図1に示す。同図右の防災通報システムは、同図左のため池台帳管理システムを基盤としている。ため池台帳管理システムは、都道府県別に提供されている「ため池防災データベース」を利用し、地図を見ながらため池の地理情報、現地写真、施設諸元等を、検索・表示・更新することができる。とりわけ、一般のパソコンで地理情報を閲覧できるようにシステムを開発している点に本システムの特徴がある。すなわち、GISエンジンとしてGIS ActiveXコントロールによるMap Window を適用し、エクセルVBAによってシ

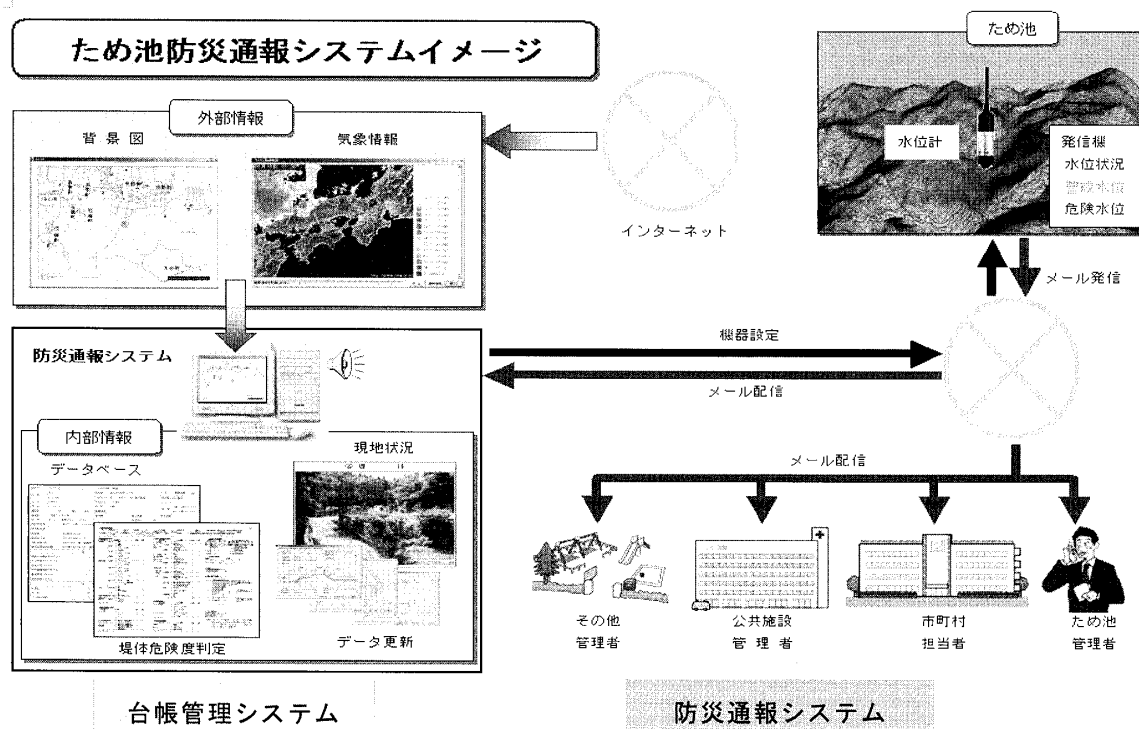


図1 ため池防災通報システムと台帳管理システム

システムを開発しているため、エクセルが起動するパソコンがあれば、特別のGISビューアを整備することなく、本システムを利用できる。

流出計算と危険度判定の解析手順の概略を図2に示す。また、その詳細な手順は以下の通りである。

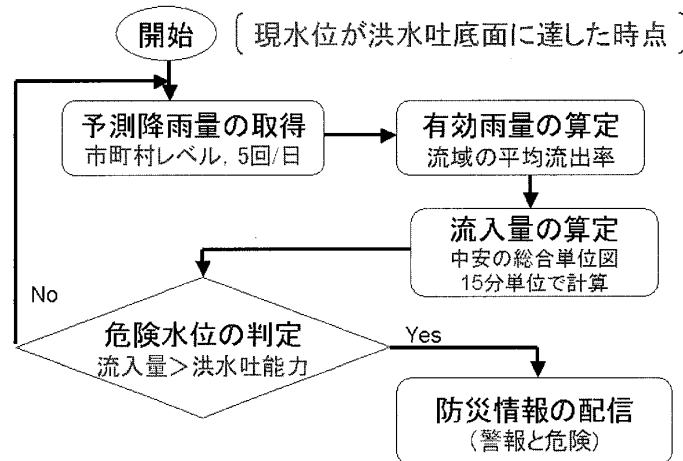


図2 システムの解析手順

- 1) 天気予報などで大雨注意報が発せられた時点でシステムを起動する。
- 2) 気象庁が提供する3時間毎の降雨予測情報をインターネット経由で取得する。
- 3) 降雨予測量を比例配分によって1時間毎の降雨量に換算する。
- 4) ため池の現水位が洪水吐敷高に達した時点で次の解析に進む。この時点は、現地に設置した超音波距離計測器からシステムに発信される信号によって自動的に判断される。
- 5) ため池台帳から流域面積、流路長、ため池面積、洪水吐諸元などを取得する。
- 6) 流域面積、流路長から単位図によって単位流出量を計算する。
- 7) 累加雨量～損失雨量曲線式から有効雨量を算定し、基底流量を含めた1時間毎の流出量、即ち、ため池への流入量を求める。
- 8) ため池への流入量より1時間毎のため池水位を計算する。
- 9) 越流堰式洪水吐からの流出量を算定し、水位が洪水吐高の50%に達した時点「警報」、ため池堤頂高になった時点「危険」とする。
- 10) 水位が「警報」あるいは「危険」という判定基準に達するとき、システムは流域内すべてのため池に関する情報を、パソコンや携帯電話に提供する。

手順の6)では、中安の総合単位図法を利用した。ピーク流量 Q_p の遅れを表す t_b や、流量が $0.3Q_p$ に減少するまでの時間 t_k は、ともに最大流域特性、地形、雨量強度等の複雑な関数となるが、中安の総合単位図では、最大流路延長 L [km]、流域面積 A [km²] の関数として次の簡易式で表す。

豪雨時におけるため池防災通報システム

$$L < 15 \text{ km の場合} : t_g = 0.21 L^{0.7} [\text{hour}] \quad t_k = 0.47 (AL)^{0.25} [\text{hour}]$$

本システムが対象とした流域は、 $L < 0.5 \text{ km}$ と極めて小さく適用性に不安がある。しかし、現地の雨量や流量観測記録がなく、土地改良事業計画設計基準・計画「排水」（平成16年3月改訂）においても流出解析の単位図法として推奨されていることから採用した。以下の事例では、その適用性も検証する。

危険情報を発信するための「判定基準」は、溢水までの時間（例えば、溢水までの時間が30分で「警報」、15分で「危険」など）で与えるのが実用的である。しかし、ため池への流入量とため池施設の諸元から溢水までの時間を計算できるとしても、避難に必要な時間は、ため池と下流地域の位置関係など諸状況から決まることを考え、ここでは手順の9) に示す基準とした。

手順の10) で、システムは流域内すべてのため池の危険情報を、パソコンや携帯電話に提供する。本システムのクライアントとしてのパソコンには、溢水が迫るとGIS画面で青色に示されたため池が黄色に変わる。溢水による想定浸水域（後掲図4で、例えば矢印付近の池様のもので、カラーでは赤線で表示される。またその中の小さい池様のもは、青色または黄色で表示されるため池である）を表示することはシステム上容易であるが、下流側の地理、地形情報を正確に反映し、かつ浸水基準（水深50cmなど）を決めなければ実用的でない。

警報あるいは危険情報はパソコンには音声とリストで配信され、携帯電話にはメールとして自動配信される（図3）。パソコンの音声通報には文字列を音声に変換する Microsoft Voice Text を、携帯電話へのメール自動送信にはエクセルのVBAを、それぞれ利用した。

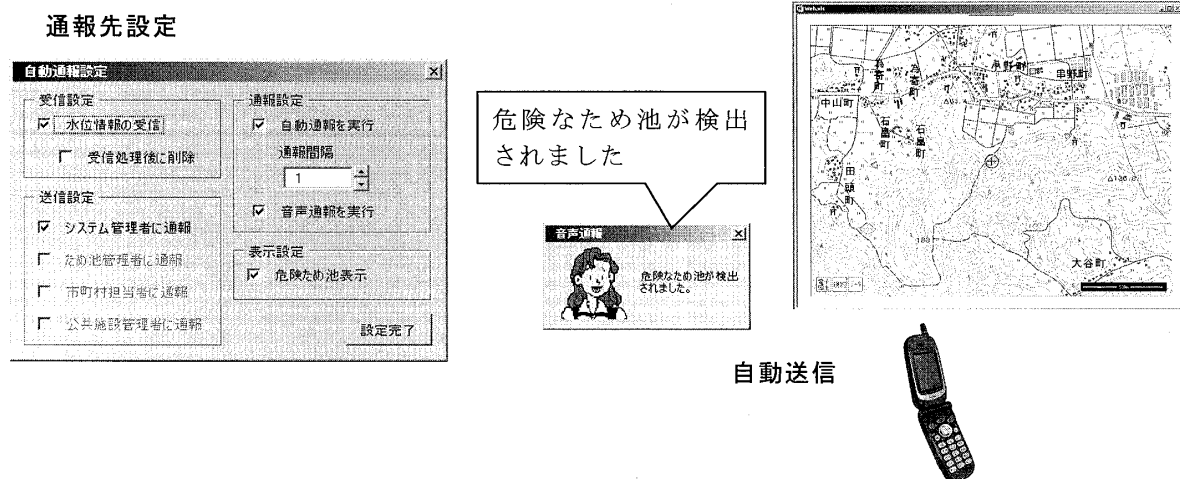


図3 危険情報の配信方法

システムの検証

2つの方法でシステムの機能を検証する。1つ目は、福井豪雨を対象に降雨データの取り込み、解析、危険情報の通報という一連の機能を検証する。同時に、当時溢水したため池が計算上も溢水するか否かをもってシステムの溢水予測機能を検証する。2つ目は、システム開発後に訪れた豪雨を対象に、降雨時の池面水位を計測し、計算水位と経時変化を比較することによってシステムの予測精度を検証する。

福井豪雨によるシステムの一連機能の検証

永平寺町の小流域（流域面積 $0.022\sim 0.604\text{ km}^2$ 、流路延長 $0.15\sim 0.53\text{ km}$ ）にある10個のため池を対象に福井豪雨（2004.7）の降雨データに対する溢水予測を行い、溢水するため池について福井豪雨直後に行った現場調査結果と比較する。

福井豪雨時のため池の初期水位は不明であるが、8月上旬の出穂期に備えて、ため池を満水状態にしておくのが通例である。そこで、初期水位を洪水吐敷高にあったとする安全側の仮定のもとにシミュレーションを行った。図4がシミュレーションの結果である。図4は、最大降

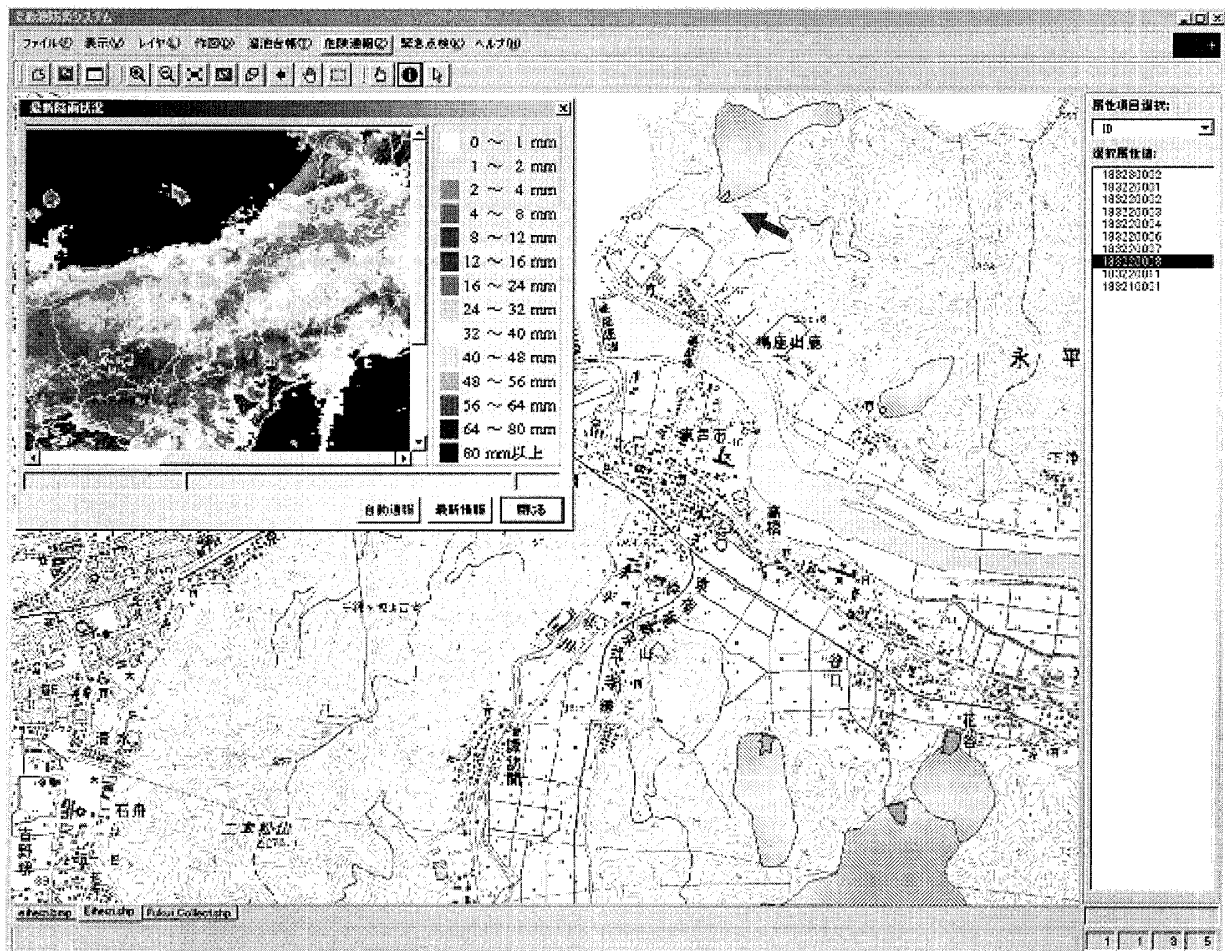


図4 福井豪雨に対する危険情報表示

豪雨時におけるため池防災通報システム

雨（2004年7月18日8:00、時間雨量75mm）時に、この流域にある10個のため池のうち3個が溢水したことを示している（池の色が豪雨前の青色から黄色に変わった）。また溢水により貯水や土砂が下流側に流れ出したときの浸水想定域（ここでは総貯水量と堤体積が下流に流れ出すとして、その水と土砂が平均50cm堆積する領域とした）は赤色で表示された。一方、登録した携帯電話には、「危険」を知らせるメールが配信された。

図4の矢印で示すため池において、福井豪雨後の2004年8月30日に現地調査が行われた。そのときの写真（図5）の台形枠で示す箇所に流水の痕跡（草根や砂利が浮き表土が流出）が認められている。

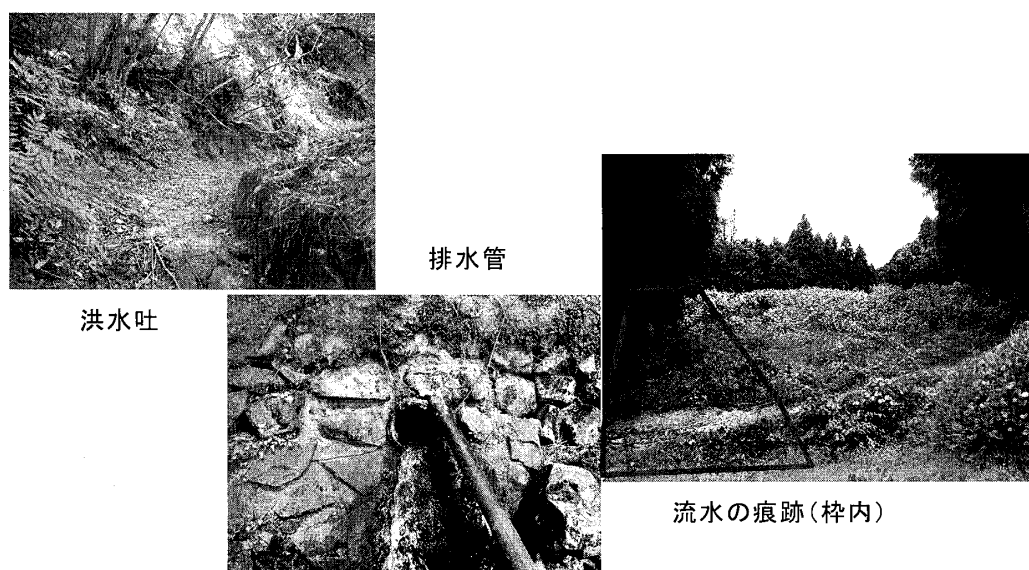


図5 福井豪雨後の現場検証

以上より、システムのもつ一連の機能を検証できた。

水位の経時計測に基づく検証

システムの水位予測精度を検証するため、水圧式水位センサーとデータ収録装置、および、携帯電話によってリアルタイムに計測値をシステムにメール配信する装置からなるシステムを小規模のため池に設置した（図6）。このため池は、福井豪雨シミュレーションで溢水すると判定された池ではあるが、前項で現場検証したものではない。通常の豪雨で水位が洪水吐敷面を越えなければ検証できないため、より小規模のものを選んだ。その諸元は表1の通りである。

防災通報システム完成後の2006年7月、当該流域に3度の連続した降雨があり、水位計測を実施した。図7は、ハイエトグラフ、およびその時の水位の観測値と計算値を示す。同図の右縦軸は雨量 [mm]、左縦軸は標高 [m] である。図中の2本の横線は、洪水吐敷高と堤頂高（天端）である。観測期間は7月15日1時より17日24時の71時間である。貯水面上昇が始まった7月15日19時より降雨終了までの46時間の経時変化を図示した。

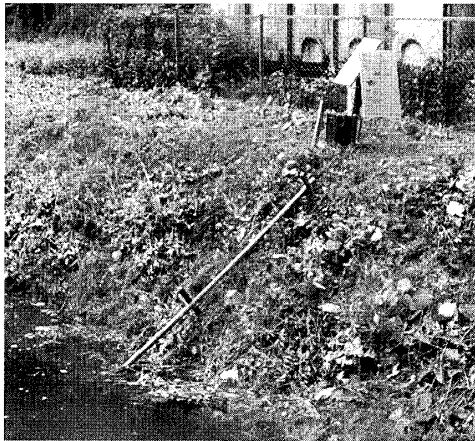


図6 水位検知装置

表1 ため池の諸元

堤長	L字型で41m+30m
貯水量	約 3000m ³
平均貯水面積	約 1020m ²
最大水深	3.0m
基底流入量	0.028m ³ /s
洪水吐	幅0.5m×高さ0.6m
洪水吐能力	0.49m ³ /s
排水施設	斜樋
貯水形状	皿池
所在地	永平寺町轟

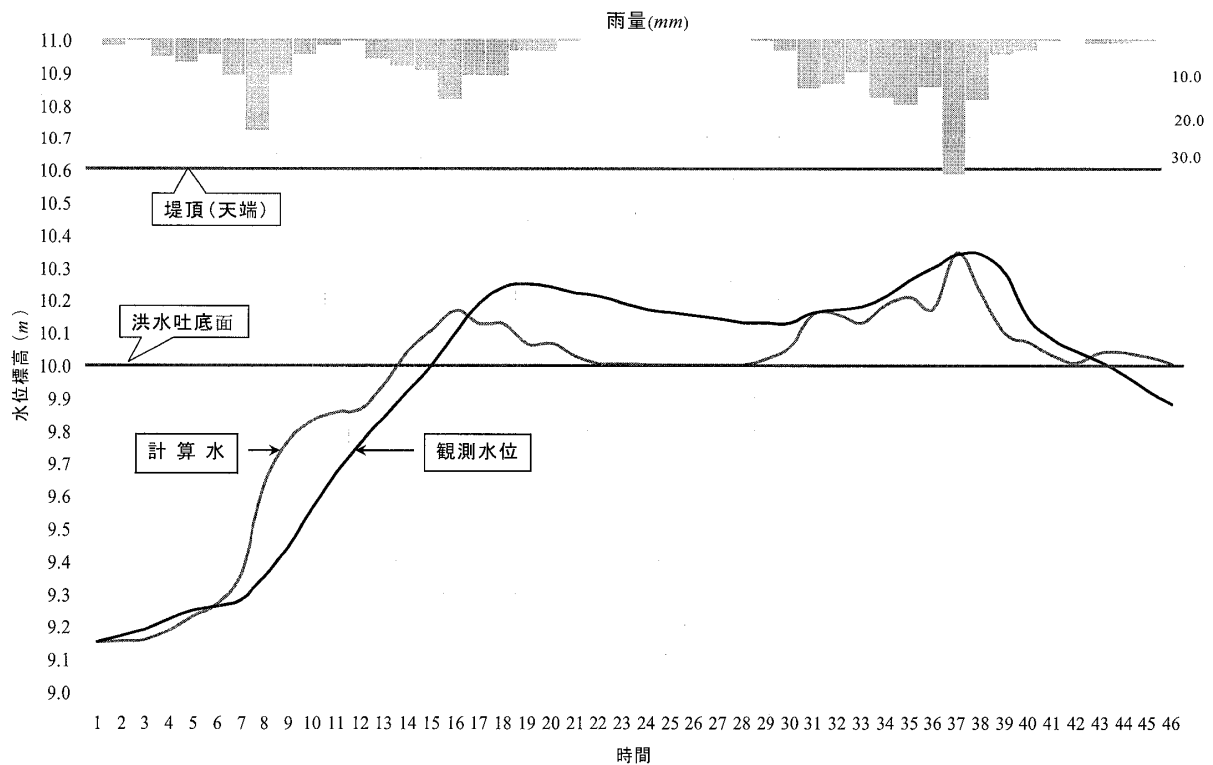


図7 降雨時の水位の経時変化

図7の横軸の経過時間に沿って計算水位と観測水位を比較・考察する。最初の降雨のあった1時間目から6時間目(横軸の数字を基に[1-6]と略す)では、計測値と計算値がよく合致している。しかし、降雨量が最大になったあとの[8-10]においては、計算と観測の間に、水位上昇特性の相違が認められる。この要因としては、(1)ため池からの流出(漏排水)量の過小評価、(2)ため池諸元の評価誤差、(3)流域からの流出量(ため池への流入量)の過大評価が考えられる。この3つについて順に説明する。

豪雨時におけるため池防災通報システム

まず、表1のとおりため池への流入は、幅0.5m程度の小川およびL字型堤防上流側からの、いわば基底流量 $0.028\text{ m}^3/\text{s}$ であり、その全てを斜樋から下流側（洪水吐横の排水路を通して）河川へ放流する、として計算している。ここで、降雨が終了した後も、洪水吐敷高より観測水位が減少する [43-44] に着目すると、この水位の減少割合は、およそ $0.014\text{ m}^3/\text{s}$ と概算される。これは基底流入量の半分であり、要因（1）の過小評価は当たらない。要因（2）については、表1のとおり貯水面積は、小規模池ということでため池台帳では、貯水面積の代表値しかなく、計算流入量を平均面積で割って水位を計算している。皿池ではあるが、この水位標高での堤防や池背面の勾配は1割以上ある。この点を勘案すると、観測水位上昇率 $10\text{ cm} / \text{hour}$ に対する計算水位上昇率 $20\text{ cm} / \text{hour}$ は、 $15\text{ cm} / \text{hour}$ 程度に低減され、観測と計算の相違は小さくなる。最後の要因（3）は、中安の総合単位図による到達時間 t_g と減衰時間 t_k の評価精度である。先に示したように、この単位図は今回のため池の流域より大規模の流域をモデルとしている。図7で、最初の降雨に対応する水位は、数分という短い t_g を反映してハイレートグラフの最大降雨直後に急上昇している。3度目の降雨時の考察でもこの点に言及するが、この規模の流域では、 t_g と t_k がともに過小評価されると思われる。

本システムを実用化する際には、前節の解析手順4)で指摘したとおり、水位が洪水吐敷高以上になってからシステムを稼働させる。よって、敷高以下の計算誤差、とくに要因（1）（2）というため池の諸元や管理（放流）状態に起因する誤差は實際上問題ではない。ただ、モデルに起因する誤差の可能性と量的特性を把握しておく必要はある。

溢水まで20数cmに達するまでの [31-38] における計算と観測の水位特性は類似している。仔細に見ると、37時間目の計算上のピーク水位とその後の水位低下は、観測水位より少し早めである。先の t_g と t_k の過小評価と洪水吐からの放水路の能力の過小評価が考えられるが、実用上許容範囲である。

[18-29]の時間帯については、洪水吐敷高を越え、かつ2度目の降雨が終了していることから、水位は計算値のようになると考えられる。この間の観測水位が10数cmを保持している原因は、事後の現場の状況調査から、放水路（幅0.5m、高さ0.6mのコンクリート製開水路）が枝葉等によって一時的に一部閉塞し、放水能力を低下させたことによると推察する。31時間目以降の水位が計測値と計算値がよく合致しているのは、3度目の降雨による流水が放水路の閉塞状態を解除したことによると推察する。

結 論

- 1) 2つの事例による検証ではあるが、その限りで本システムは溢水の可否、および溢水の時間を予測できるものとする。
- 2) 福井県には極めて小規模なため池が多い。流域も小さいので大流域を対象とする“中安の

総合単位図”を流出量予測に適用することに不安があったが、個々の流域での実測値がほとんど無いために同法を適用した。本事例では、流出モデルの t_g や t_k が短い目に評価されると判明したが、実用的観点からは、溢水予測に適用できると考える。

- 3) 福井県に限らずわが国のため池は老朽化し、維持管理が不十分な場合も多い。本システムを適用する場合は、ここで示したように、水位計により事前検証でため池の水位上昇特性を明らかにしておくことが大切である。
- 4) 本システムは、実用に際して、ため池水位が洪水吐敷高に達すると同時に危険解析を開始するとしている。敷高に達したことをシステムに通知する手段として、堤頂に設置して洪水吐敷までの距離を計測する安価なツール（図8に示す超音波計測器）を現在開発している。

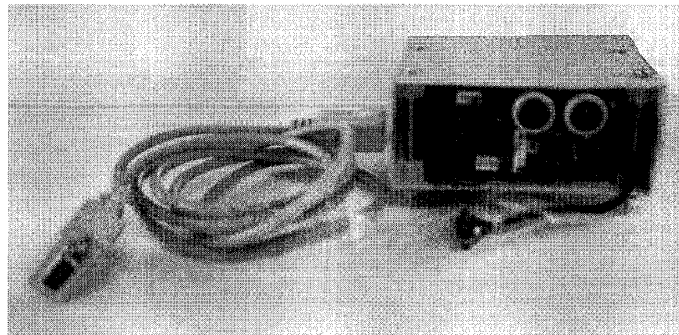


図8 超音波計測器

謝 辞

本研究は、農林水産省農村振興局平成17年度官民連携新技術開発事業の助成を受けた。ここに記して謝意を表する。

引用文献

- 青山咸康・河地利彦・田中勉・木全卓（2005）平成16年台風23号による淡路島のため池被災、平成17年度農業土木学会全国大会（CD版）
- 福井新聞社（2004）福井豪雨2004. 7. 18報道記録集：p. 148.
- 福原輝幸（2005）福井豪雨における気象・降雨状況と洪水特性、平成16年度科学研究費補助金（研究代表者 高濱信行、課題番号16800001）研究成果報告書「平成16年7月新潟・福島、福井豪雨災害に関する調査研究」：106-111.
- 門井直哉（2005）福井豪雨における水防・避難と今後の課題、平成16年度科学研究費補助金（研究代表者 高濱信行、課題番号16800001）研究成果報告書「平成16年7月新潟・福島、福井豪雨災害に関する調査研究」：200-205.
- 中西憲雄・井上敬資・中里裕臣・加藤敬（2005）ため池の防災機能発揮・減災にむけた管理について、平成17

豪雨時におけるため池防災通報システム

年度農業土木学会全国大会（CD版）

中安の総合単位図法、土地改良事業計画設計基準・計画「排水」（平成16年3月改訂）

社会資本整備審議会河川分科会豪雨災害対策総合政策委員会（2005）総合的な豪雨災害対策の推進について
（提言）：p. 18.

谷茂・福原正斗（2003）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）：198-199.

谷茂（2005）中山間地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）：687-690.

丹治肇・桐博英・中矢哲郎（2005）ため池の決壊リスク評価法の提案、平成17年度農業土木学会全国大会（CD
版）

山本裕介・小林晃・青山咸康（2006）GISと高分解能衛星画像DEMを用いたため池決壊の要因分析、平成18年度
農業土木学会全国大会（CD版）

若林徳朗（2005）台風第23号による淡路島のため池被害について、農業土木学会誌73（8）：669-672.