

ため池群の持つ洪水軽減効果シミュレータの開発

- 広島県椋梨川流域への適用 -

吉迫 宏*・小山 潤**・小川茂男*・島 武男*・中西憲雄***・大西亮一****

目 次			
緒 言	209	2 シミュレータの構築	211
シミュレータの仕様と構成	210	洪水流出モデルの検証	213
1 ため池群の果たす洪水軽減効果とシミュ レータ	210	1 洪水流出モデルの選択	213
2 洪水流出モデル	210	2 シミュレーション結果の検証	214
3 GISの活用とデータ処理	210	椋梨川流域のため池群が持つ洪水軽減効果 ...	214
4 シミュレータの構成	210	結 言	215
椋梨川流域におけるシミュレータの作成	211	参考文献	215
1 対象流域の概況	211	Summary	217

緒 言

ため池は、農業用の貯水施設として近畿地方や瀬戸内地方を中心に、日本各地で古くから築造されてきた。現代においても、ため池は農業水利や地域防災において重要な役割を果たすと共に、生物の生息・生育の場や地域住民の憩いの場の提供など、地域社会において多様な役割を果たしている。

ため池の持つ地域防災の役割については近年、ため池が下流域に果たす洪水軽減効果が着目されている。ため池は、満水時には貯水が貯水位を高めつつ洪水吐を流下することによる貯留効果、満水位未満の場合にはさらに空き容量への貯留により、下流への洪水の流出を抑制、ないし流出を遅延させる機能がある。ため池は流域内に少数のみ存在する場合もあるものの、多数のため池が流域内に存在する地域も多い。流域内に多数存在するため池（以下、「ため池群」とする）の総貯水量がダム貯水量に匹敵する地域もあり、ため池群の果たす洪水軽減効果への期待も高い。

愛知県下を流れる境川の総合治水対策では、流域内のため池326箇所を保全し、洪水時の貯留機能を高めるこ

とを目標としている（愛知県河川整備計画流域委員会、2006）。大和川の総合治水対策では、奈良県下において流域内のため池を極力維持するとともに、約60箇所のため池において約110万 m^3 の治水容量を確保している（渡辺、2006）。

自流域を持つ谷池単体であれば、貯水池での洪水流の貯留量と洪水吐が接続されているため池直下の水路における流量の関係から、洪水軽減効果を評価出来る。加藤・佐藤（2002）は、大阪府下の松沢ため池において、洪水軽減の実績を貯水位と降水量の記録から分析すると共に、確率降雨を用いて洪水をシミュレーションで再現し、下流水路に対する洪水軽減効果を評価した。加藤ら（2002）は、同池において実降雨の降雨パターンを分析し、この結果に基づいて行った洪水シミュレーションから、貯水池の水位低下管理は洪水ピーク軽減効果の増強に有効であることを明らかにした。農林水産省（2006b）の土地改良設計指針「ため池整備」においても、確実に貯留効果が発揮できるため池は、貯留効果を考慮して設計洪水水位を定めてよいとしており、貯留効果の計算例も参考資料として示されている。また、浪平ら（2005）は、洪水吐ゲートを有する農業用利水ダムにおいて洪水時の放流操作の違いによる下流河川に対する洪水緩和機能に与える影響について、安濃ダムを事例に流況解析モデルを用いて水理学的に示した。

境川や大和川における総合治水対策で想定されているような100箇所を超えるため池群が果たす洪水軽減効果を評価するためには、ため池群を組み込んだ洪水流出モデルの作成が必須である。また、ため池の水位管理のあ

*農地・水資源部土地資源研究室

** ハイドロシステム株式会社

*** 独立行政法人水資源機構水路事業部

**** 財団法人日本水士総合研究所

平成19年3月19日受理

キーワード：ため池、洪水軽減効果、シミュレータ、洪水流出モデル、地理情報システム（GIS）

り方や改修, すなわち洪水吐の改築や貯水池の浚渫, 堤体の嵩上げ等と洪水軽減効果の関係を明らかにするためには, ため池の諸条件や降雨等を任意に設定して洪水軽減効果を評価するためのシミュレータが必要である。しかし, ため池群を組み込んだ洪水流出モデルの作成に関わる研究報告は, 大八木ら(2005)による福岡県御笠川流域におけるため池群の治水効果を検討した事例や増本ら(2006)による広島県椋梨川流域におけるTOPMODELにため池群の貯留効果を組み込んだ分布型流出モデルの開発事例など, 少数に留まる。

本報では, 広島県椋梨川流域における地理情報システム(GIS)と洪水流出モデルを連携させたため池群が果たす洪水軽減効果シミュレータ(以下, 単に「シミュレータ」とする)の開発について報告する。

なお, 農村工学研究所農村総合研究部高橋順二部長からは研究全般に対して, 同部加藤敬上席研究員からは洪水流出モデルの作成に対して有益な助言を頂いた。対象流域における資料収集と観測に際しては, 農林水産省中国四国農政局中国土地改良調査管理事務所尾崎保雄前所長, 上田晴久前事業計画管理官に協力を頂いた。記して謝意を表す。

シミュレータの仕様と構成

1. ため池群の果たす洪水軽減効果とシミュレータ

ため池群の洪水軽減効果は, ため池群下流の河川や水路(以下, 両者を合わせて「河道」とする)における流量・水位を指標に, その低下度合をもって評価するものとする。この河道流量・水位の低下は, 各ため池において発現される洪水軽減効果の集合体であると共に, 各ため池の洪水軽減効果が河道を経て河道上の一地点に到達するまでの洪水軽減効果の発現時間差を含むものである。従って, 河道流量・水位を求める際には, 河道を通じて洪水軽減効果が河道上の評価地点に到達するまでの過程, 及びこの過程における各ため池の洪水軽減効果の重なり合いや打ち消し合いを踏まえた上で, シミュレーションを行うことが必要である。

また, ため池群の果たす洪水軽減効果の評価は, 現況のため池や河道, 土地利用等に対して行う場合のみならず, ため池の潰廃や改修に伴う洪水軽減効果の変動評価, あるいはため池群による洪水軽減効果と河川改修やダム建設による効果との対比なども考えられる。このため, 各ため池や河道の諸元, すなわち洪水吐の構造, 貯水池の水面積や常時満水位, 初期水位, 及び河道の断面構造等について, 水理学的な意味付けを明確に設定出来, かつ容易に変更可能なものとするのが求められる。

従って, シミュレータにおいては, 洪水時の河道流量・水位を洪水流出モデルによって水理学的に求めるものとし, ため池を始めとした流域内の諸条件に基づく洪水流出モデルを容易に生成, かつ任意に与えた降雨条件

やため池水位等の初期条件に対応したシミュレーションが出来るものとする。

2. 洪水流出モデル

河道流れに適用する洪水流出モデルには, ダイナミックウェーブモデルである中村・白石(1971)や白石(1971)の不定流解析法を用いた。ため池からの流出は全て洪水吐を経るものとし, 貯水池を単一要素のボックスモデルとして非定常計算により後述の流入域からの流入量とため池水位, 洪水吐からの流出量を求めた。また, 河道やため池に対する流出域からの降雨流出に対しては, 木村(1975)の貯留関数法を適用した。

3. GISの活用とデータ処理

吉迫ら(2005)は, 国土地理院等より公開された空間データを用いて, ため池群を含む流域の流域情報GISデータベースの作成方法を提案している。1/25,000地形図レベルの精度であれば, 河道の断面構造や粗度係数など現地測量・調査を要するデータもあるものの, 国土地理院等において全国的に整備かつ公開された空間データやため池台帳データを基に, シミュレータ作成に必要なGISデータを流域情報GISデータベースとして構築することが出来る。

小山ら(2006)は, ため池群を含む流域を対象に作成した流域情報GISデータベースのGISデータを水理解析に向けてオブジェクト構造化し, さらにオブジェクト構造化したGISデータから水理解析用データを作成する方法を体系化した。GISデータをオブジェクト指向GISの考え方の下にデータ相互間で関連付けること, 具体的には河道相互間や河道とため池の接続関係, 各流出域と河道への流出地点の関係をオブジェクト構造に基づいたGISデータとすることにより, シミュレーションに必要な水理解析用データを自動生成することが可能となる。ハイドロシステム(2006)は, これに従ってGISデータ間の連携処理と水理解析用データの生成, 不定流解析法や貯留関数法に基づく水理計算を実行する一連のプログラム群を開発した。

桐ら(2000)は, GISとシミュレーションモデルを組み合わせ, 広域排水解析における入力データの作成から出力結果の可視化までを行う一連のシステムを開発した。GISと前述のプログラム群を活用することにより, 従来よりも大幅に省力化してシミュレーションを実行することが可能となる。シミュレータでも, 流域情報GISデータベースと前述のハイドロシステムの開発したプログラム群を組み合わせ, シミュレーションを実行するものとした。

4. シミュレータの構成

シミュレータの基盤となるソフトウェア群をFig.1に, シミュレーションの流れをFig.2に示す。GISソフトには

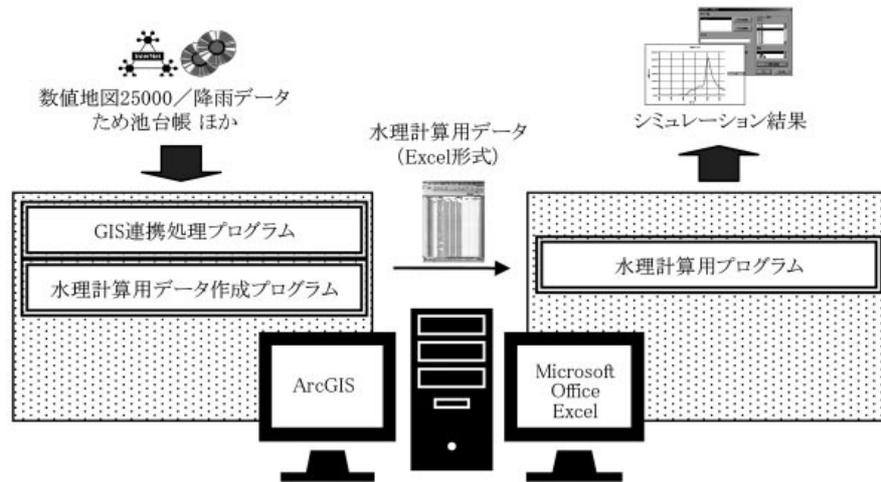


Fig.1 シミュレータの基盤となるソフトウェア群
Software group of a base of a simulator

米国ESRI社製のArcGISを、表計算ソフトには米国Microsoft社製のMicrosoft Office Excelを用いた。これは、これら製品が国内外で広く普及し、対応するデータ形式がGISデータや表計算データの事実上の標準形式の一つとなっていることによる。流域情報GISデータベースの構築とGISデータの処理は前者の上で、水理計算用データの入出力とシミュレーションの実行は後者の上で行った。

棕梨川流域におけるシミュレータの作成

1. 対象流域の概況

シミュレータの作成は、三原・東広島市内に位置する棕梨川・棕梨ダム上流域を対象に行った。棕梨川は広島県東部を流れる二級河川である沼田川最大の支流であり、棕梨ダムは沼田川との合流点から上流側5.1km地点にある。対象流域の概要をFig.3に示す。

対象流域内には、1/25,000地形図に記載されているもので191個のため池（調整池を含む）がある。これらは自流域を持つ谷池とその子池である。対象流域は106.0km²で全域が中山間地域であり、同図上での土地利用は林地が流域面積の80.6%を占め、主として河川沿いに存在する水田は17.1%である。対象流域内には都市的な地域は無いものの、旧豊栄町・旧大和町の中心地一帯などには、河川沿いに公共施設や商業施設、住宅が立地する地区がある。

広島県（2003）が策定した二級河川沼田川水系河川整備計画では、広島県知事管理区間においては既往最大規模となった1999年6月29日洪水相当の流量（和木地点における広島県棕梨ダム管理事務所による観測値で233.5m³/s）に対し、河川からの越水による家屋浸水被害が生じないよう河川改修を行うこととしている。同降雨における越水発生の上流地点である乃美地区（乃美合流点等のある地区）におけるピーク雨量は、越水発生と

最も関係したと考えられる2時間連続降雨において18年確率降雨に相当する。従って対象流域内では、より強い50～100年確率降雨に備えて河川整備が行われる流域などと比して、ため池群は越水による被害の抑止に対し、より寄与しうると考えられる。

2. シミュレータの構築

a. 流域情報GISデータベースの作成

数値地図25000（地図画像）や数値地図25000（空間データ基盤）、数値地図50mメッシュ（標高）、ため池台帳を基に、シミュレータ作成に必要なGISデータを作成した。河道の断面構造と粗度係数は、河川については現地測量・調査に基づき作成し、水路については実際には小規模な用排兼用水路や沢などが複数存在していると考えられるので、この地区の小規模な土水路として標準的な巾2.0m、高さ1.5mの長方形断面水路を仮定した。流出域は各ため池の集水域とこれを除外した河道1,000m毎の集水域とした。

作成したGISデータは、流域情報GISデータベースとして、Fig.4に示すレイヤ構造でArcGIS上に構築した。

b. GISデータ間の連携処理

流域情報GISデータベースとして構築したGISデータ間の連携処理を行い、水理計算用データの生成に必要なGISデータ相互間の関連付けを行った。連携処理は、河道相互間の接続関係付け、ため池や流出域からの流出に対する河道上の流出点の設定、及び親子ため池とその流出域の上下流の関係付けについて行い、処理結果はそれぞれレイヤに格納した。

c. 水理計算用データの作成

連携処理した流域情報GISデータベースのデータを用い、水理計算用データを作成した。河道に関するデータからは、河道長200m単位で不定流メッシュを生成した。ため池もメッシュの一つとし、ため池からの流出は全て洪水吐を経るものとした。洪水吐は完全越流の台形堰と

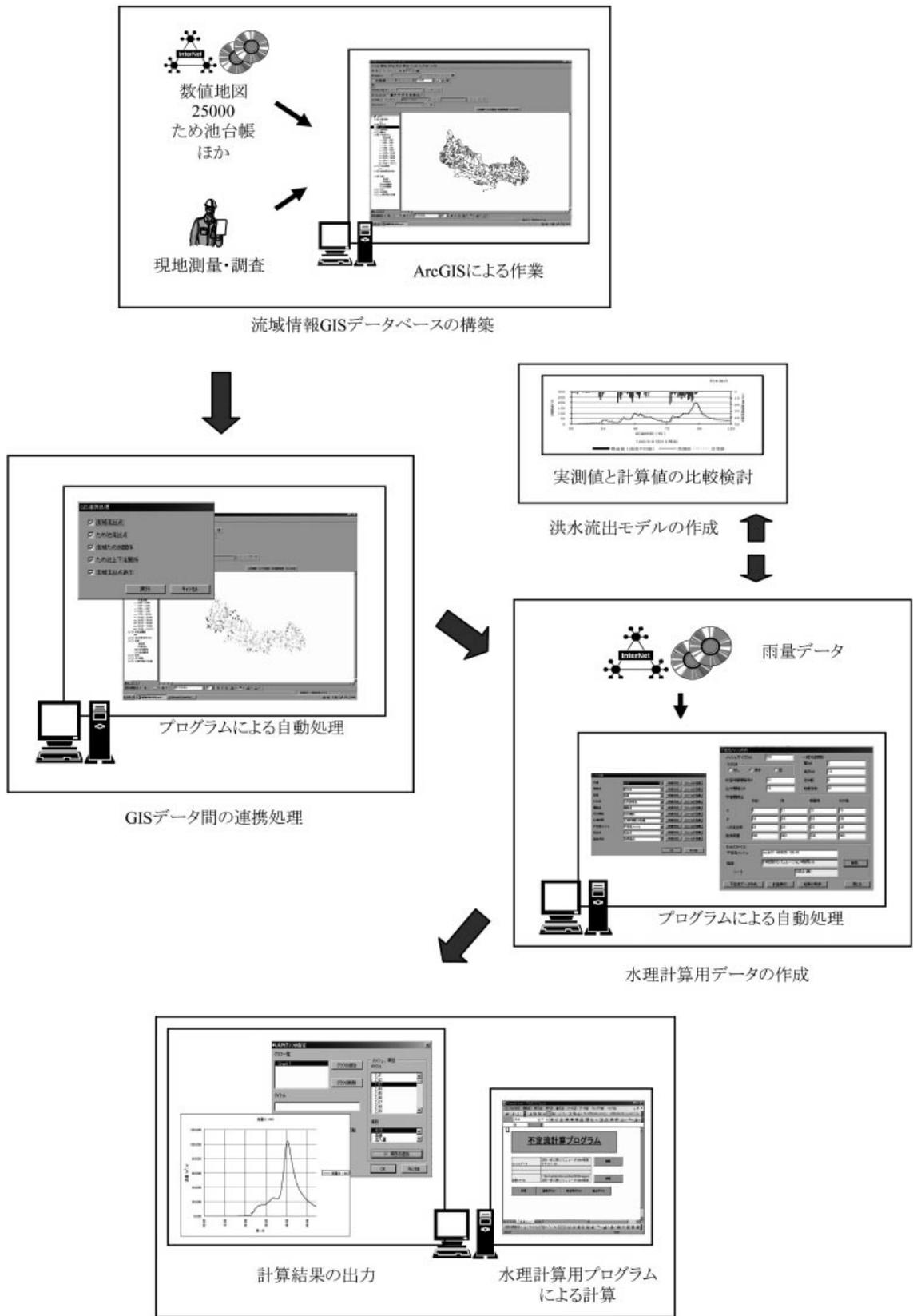


Fig.2 シミュレーションの流れ
The flow of a simulation

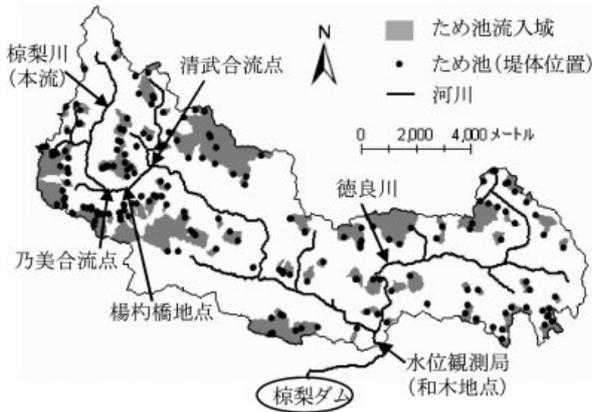


Fig.3 対象流域の概要
Summary of object basin

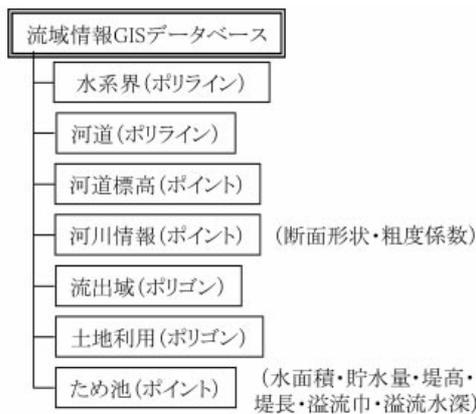


Fig.4 流域情報GISデータベース
The Valley Information GIS Database

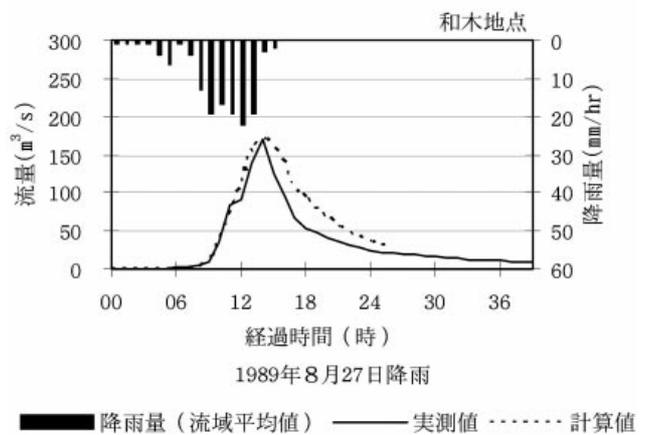
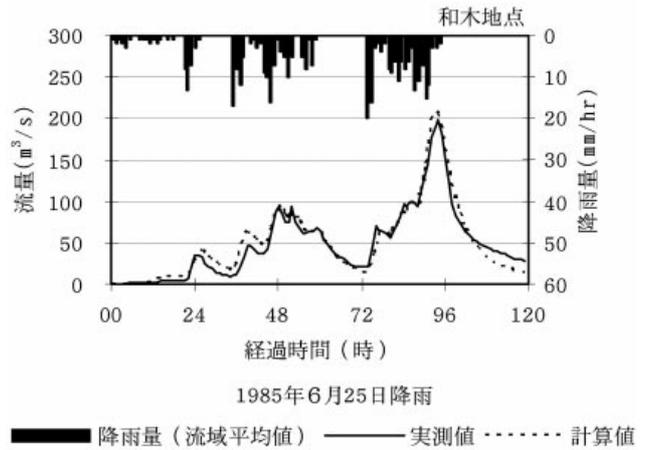
し、洪水時の越流流量の計算は農林水産省（2006a）の土地改良事業設計指針「ため池整備」に基づいた。また、流出域毎に土地利用区分毎の面積を求めた。

これらのデータから、水理計算用プログラムの入力データをExcelファイルで生成した。

d. 洪水流出モデルの作成

洪水流出モデルは、計算で求めた流量と実測流量が整合するよう試行錯誤で貯留関数の係数を決定することで作成した。係数の決定には、1985年～2004年の20年間に観測された和木地点の流量データのうち、流域内に氾濫の無い降雨で最大の流量が観測された1985年6月25日降雨、第二位の1985年6月28日降雨、及び同値で第三位の1989年8月27日降雨と1993年7月28日降雨（いずれも年月日は時間降雨のピーク日。以下同じ）を用いた。流量データは広島県棕梨ダム管理事務所が作成した値を、降雨データも同事務所が作成した流域平均値を用いた。また、水理計算においては、河道の急傾斜区間で不定流計算が発散しないよう、計算の時間刻みは0.1秒とした。

1985年6月25日降雨（総降雨量362mm、総降雨時間64時間）と1989年8月27日降雨（総降雨量133mm、総降雨時間16時間）の降雨量（流域平均）と和木地点の実測に基づく流量、及び作成した洪水流出モデルによる流



*ため池群の初期水位はいずれも満水位の70%
Fig.5 作成した洪水流出モデルによる再現結果
Making of the flood outflow model

量の計算値をFig.5に示す。なお、当該年のため池群の水位に関する観測記録は存在しないことから、著者が2004年以降に実施した水位観測の結果や水稻作付面積の変化、降雨記録等から総合的に勘案し、ため池群の初期水位は両降雨共に満水位比で70%とした。ピーク流量を中心に、両者はほぼ整合することが判る。

洪水流出モデルの検証

1. 洪水流出モデルの選択

河道流れに適用した不定流解析法は、下流側の水位条件を踏まえて水理計算を行うことから、主として低平地における流れに適用される洪水流出モデルである。中山間地域などの山地流出に対しては下流側の水位条件を考慮しないで計算を行うキネマティックウェーブモデルを用いる場合が多いものの、低平地と同様に下流側の水位条件を踏まえて水理計算を行う必要があるれば、不定流解析法などの下流側の水位条件を考慮する洪水流出モデルを用いることが適当である。

棕梨川本流の河床縦断勾配をFig.6に示す。棕梨ダム

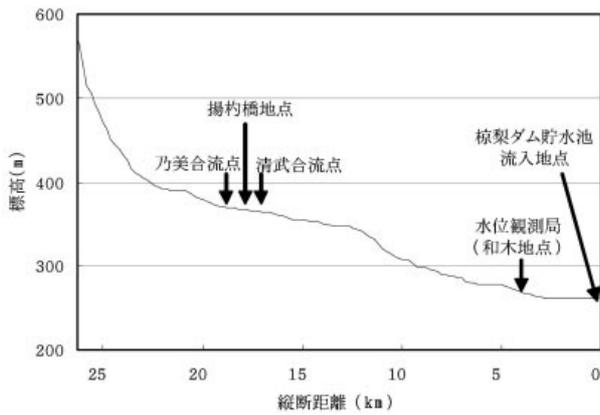


Fig.6 河床縦断勾配 (棕梨川)
The longitudinal slope (Mukurasi River)

貯水池の流入地点とその付近以外にも、比較的傾斜の緩い区間も存在することが判る。例えば乃美合流点～清武合流点区間であれば、河川改修が実施されていることもあり、一様な勾配（約1/360）かつ一様断面の区間が約1.8kmに渡って連続している。

水深 h_0 、流速 v_0 の一様断面かつ等流状態の開水路において、水深に比べて小さい変位 h による水位変化に伴う波の伝搬速度 c は式 (1) で表される。

$$c = v_0 \pm \sqrt{gh_0} \quad (1)$$

c : 水位変化に伴う波の伝搬速度

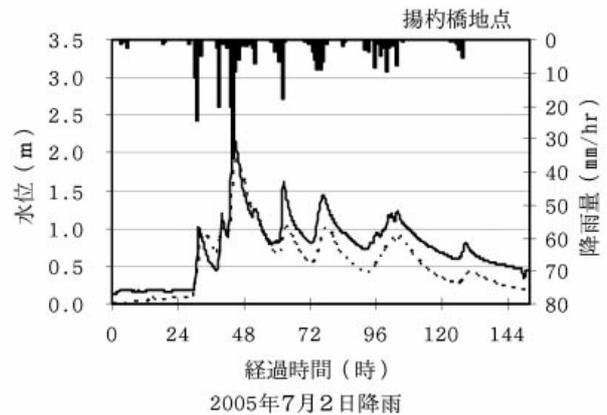
v_0 : 等流状態の流速

g : 重力加速度 h_0 : 等流状態の水位

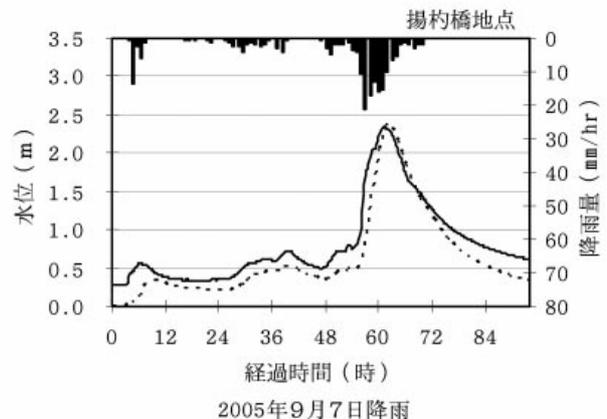
従って、 $v_0 < \sqrt{gh_0}$ であれば水位変化は上流側にも遡り、 $v_0 > \sqrt{gh_0}$ であれば遡らないことが判る。モデル作成に用いた1985年6月25日降雨では、乃美合流点～清武合流点区間の中程にある揚杓橋地点においてシミュレーションにより求めた最大水位は $h = 2.16\text{m}$ となり、平均流速 $v = 1.37\text{m/s}$ 、 $\sqrt{gh_0} = 4.60\text{m/s}$ となる。従って、乃美合流点や清武合流点における河川に合流に伴う水位変化は上流側に遡ると考えられることから、河道流れに対する洪水流出モデルとして不定流解析法を選択したことは適当であると判断出来る。

2. シミュレーション結果の検証

シミュレーション結果を検証するために、洪水流出モデル作成に用いた時期以外の降雨データを用いてシミュレーションにより和木地点以外の河道水位を求め、実測水位との比較を行った。シミュレーションは2005年7月2日降雨（総降雨量289mm、総降雨時間64時間）と2005年9月7日降雨（総降雨量203mm、総降雨時間64時間）について行い、農村工学研究所により水位の連続観測を行っている棕梨川・揚杓橋地点で水位を求めた。同地点は前述の棕梨川・乃美合流点～清武合流点区間の中間に位置し、河道流れは安定していると考えられる。降雨データは揚杓橋地点付近の観測点における広島県棕梨ダム



■ 降雨量 (乃美地区) — 実測値 計算値



■ 降雨量 (乃美地区) — 実測値 計算値

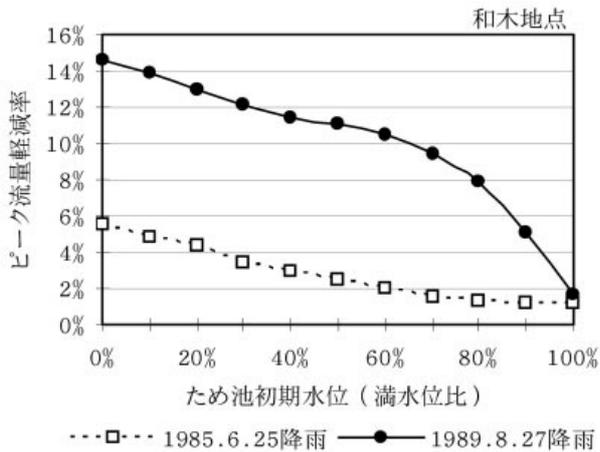
Fig.7 シミュレーション結果の検証
Verification of a simulation result

管理事務所（2005年7月2日降雨）、及び農村工学研究所（2005年9月7日降雨）による観測値を用いた。ため池の初期水位は、揚杓橋地点の上流に位置するため池群における水位の観測結果を参考に、2005年7月2日降雨については満水位比80%、2005年9月7日降雨については同100%とした。降雨量と水位（実測値及び計算値）をFig.7に示す。

Fig.7から、2005年9月7日降雨と2005年7月2日降雨は共にピーク水位を中心に、概ね整合していることが判る。なお、検討を行った時期においては、揚杓橋前後区間の棕梨川には水生・陸生の草類が全面に繁茂していたことに加え、緩流部側に土砂の堆積も見られた。特に水位が低い段階では、水位はこれらの影響を受けて、同一流量に対して高めに観測されていると考えられる。

棕梨川流域のため池群が持つ洪水軽減効果

シミュレータでは、現況のため池や河道、土地利用等に対応した水力計算用データと共に、決定した貯留関数の係数を用いてため池の潰廃や改修、河川改修等に対応した水力計算用データの作成が可能であり、任意の降雨やため池初期水位に対応した河道流量・水位やため池貯



*ピーク流量軽減率=(ため池が無い場合のピーク流量-各空き容量に対応したピーク流量)/ため池が無い場合のピーク流量

Fig.8 ため池群による河川流量の軽減効果

The mitigation effect of the river flow by irrigation ponds group

水位の計算が出来る。

棕梨川流域のため池群が持つ洪水軽減効果の評価を行った事例として、ため池群が存在しない場合を含めたシミュレーションによる1985年6月25日降雨と1989年8月27日降雨における和木地点の洪水ピーク流量軽減率をFig.8に示す。

ため池群はため池の空き容量が大きいほど、また後方集中型に近い1985年6月25日降雨よりも中央集中型に近い1989年8月27日降雨において、より顕著に洪水ピーク軽減の効果を発揮することが判る。これに対し、ため池の満水時に洪水吐の越流水深によって形成される洪水ピーク軽減の効果は小さい。従って、対象流域のため池群では洪水ピーク軽減効果は空き容量によって生じる要素が大きいことから、ため池群に洪水ピーク軽減効果を発揮させるためには降雨ピーク前にため池水位を低下させる管理が必要であると判断することが出来る。

結 言

地理情報システム (GIS) と洪水流出モデルを連携させたため池群が果たす洪水軽減効果シミュレータについて基本的な仕様や構成をとりまとめ、広島県棕梨川において実際に構築作業と検証を行った。

洪水軽減効果は洪水時の河道流量・水位を指標とし、その低下度合をもって評価するものとした。シミュレータにおいては、ため池を始めとした流域内の諸条件に基づく洪水流出モデルを国土地理院等から公開されている空間データを用いてGIS上で生成し、任意に与えた降雨条件やため池初期水位等の初期条件に対応したシミュレーションが出来るものとした。検証の結果、シミュレーション結果等は妥当なものとして判断出来た。

本シミュレータを活用することにより、洪水流出に対するため池群が果たす軽減効果を明らかにし、またため

池群による洪水軽減効果をより効果的に発現する方策を検討することが可能となる。

参考文献

- 1) 愛知県河川整備計画流域委員会 (参照2006.12.26): 境川・猿渡川流域委員会資料 - 1, (オンライン), 入手先 <<http://www.aichi-river.jp/acrobat/12sakai.pdf>>
- 2) 広島県 (2003): 二級河川沼田川水系河川整備計画, 広島県, P.11
- 3) ハイドロシステム株式会社 (参照2006.12.26): 水理解析とGISの連係, (オンライン), 入手先 <<http://www.hydro-sys.co.jp/gis1/gis1.html>>
- 4) 加藤 敬・佐藤政良 (2002): 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, 農業土木学会論文集, 222, P.9-16
- 5) 加藤 敬・佐藤政良・太田高志 (2002): 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, 農業土木学会論文集, 222, P.17-23
- 6) 木村俊晃 (1975): 貯留関数法, 河鍋書店, P.10-35
- 7) 桐博英・藤井秀人・中矢哲郎 (2000): 排水解析結果可視化システムの構築, 平成12年度農業土木学会応用水理研究部会講演集, P.73-78
- 8) 小山潤・小川茂男・吉迫 宏・島 武男 (2006): 水理解析を目的とした流域GISデータのオブジェクト構造化と応用, GIS - 理論と応用, (投稿中)
- 9) 増本隆夫・吉田武郎・久保田富次郎・成田哲・辻本久美子 (2006), ため池群の持つ洪水危険度の指標化の試み, 平成18年度農業土木学会大会講演会講演要旨集, P.696-697
- 10) 中村 充・白石英彦 (1971): 数理モデルによる非定常現象の解析 - 湾, 河川, 湖におけるシミュレーション -, 農業土木試験場報告, 9, P.137-158
- 11) 浪平 篤・小林宏康・高木強治・後藤真宏 (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, 農業土木学会論文集, 236, P.115-122
- 12) 農林水産省農村振興局整備部設計課 (監修) (2006a): 土地改良事業設計指針「ため池整備」, 社団法人農業土木学会, P.61-68
- 13) 農林水産省農村振興局整備部設計課 (監修) (2006b): 土地改良事業設計指針「ため池整備」, 社団法人農業土木学会, P.133-143
- 14) 大八木豊・島谷幸宏・杉本知佳子・加藤憲介・朴崎瑛 (2005): 御笠川流域におけるため池の治水効果, 河川技術論文集, 11, P.261-266
- 15) 白石英彦 (1971): 不定流計算における初期条件及び境界条件 (農業水利を中心として), 数値解析の応用と基礎 (水理学を中心として) 第9章 (伊藤剛編著), アテネ出版, P.177-196

- 16) 渡辺義明 (参照2006.12.26): 大和川流域総合治水対策の今後の展開について, (オンライン), 入手先
<<http://www.kkr.mlit.go.jp/kingi/database/kamai/h15/02/210-yamatogawaryu.pdf>>
- 17) 吉迫 宏・小川茂男・島 武男・大西亮一

(2005): 広島県沼田川流域における流域情報GISデータベースの作成 - 数値地図を用いたGISデータベースの作成 - , 農業工学研究所技報, 203, P.147-154

Development of the Flood Reduction Effect Simulator of Irrigation Ponds

- Application to Mukunashi River in Hiroshima -

YOSHISAKO Hiroshi, KOYA M A Jun, OGAW A Shigeo, SHIMA Takeo, NAKANISHI Norio
and OHNISHI Ryouichi

Summary

About the flood reduction effect simulator of irrigation ponds, it was gathered basic specifications and constitution cooperated with geographical information system (GIS) and the flood outflow model. In addition, construction work and a calculation result of a simulator was inspected.

It was assured that a flood reduction effect measured river channel flow quantity / water level at the time of a flood for an index. It was based in many conditions in basins such as irrigation ponds, and a model was made using a digital map offered by Geographical Survey Institute and others in the simulator. And flow quantity / water level of the river channel were calculated corresponding to the rain and water level of irrigation ponds.

As a result of inspection, it was judged that choice of the flood outflow model and a simulation result were proper.

Keywords : irrigation pond, flood reduction effect, simulator, flood outflow model, GIS