

氾濫解析を用いたため池決壊に伴う下流域の被害算定法

谷 茂*・井上敬資**

目 次

I 緒 言	137	2 ため池氾濫解析への適用上の留意点	140
II 「ため池氾濫解析システム」の概要	137	IV 農地被害及び周辺被害に対する算定評価案	140
1 「ため池氾濫解析システム」を用いた氾濫解析の手順	137	1 農地被害及び周辺被害に対する算定評価案	140
2 「ため池氾濫解析システム」の氾濫解析の手法	138	2 農地被害及び周辺被害を考慮した場合の今後の課題	143
III 経済損失の評価概要	139	V 結 言	143
1 治水経済調査マニュアル（案）（2005）について	139	参考文献	143
		Summary	144

I 緒 言

地震や豪雨によってため池のような貯水構造物が決壊し、下流域に2次災害を引き起こすことがある。人的被害は完全に防止しなければならないが、事前に氾濫域の把握および経済的被害についても評価しておくことが重要である。氾濫域の解析は文献（谷・井上，2007）に述べているように地理情報と開発した「ため池氾濫解析システム」を利用することにより、簡便な解析が可能になっている。この解析結果を利用して、ため池氾濫解析による下流域の被害想定を行うことが可能になる。

本報告は開発した「ため池氾濫解析システム」により想定される被害範囲や最大水深、最大流速等の被害状況を基本データとして、ため池決壊によって下流に発生する被害額を算定、評価するために必要となる基本的な算定項目、算定方法、評価方法を検討、整理したものである。

II 「ため池氾濫解析システム」の概要

1 「ため池氾濫解析システム」を用いた氾濫解析の手順

「ため池氾濫解析システム」を用いた氾濫解析は以下の手順で実施される。「ため池氾濫解析システム」の概要をFig.1に示す。Fig.2は氾濫解析の領域選定の画面を、Fig.3はWEB GISによる氾濫解析の概要をそれぞれ示し

たもので、この解析により下流域の湛水深、継続時間等が求まる。

- ① Fig.2に示すように氾濫解析領域をWEB GIS上で矩形の領域で選択する。
- ② ため池データベースからため池諸元、農村工学研究所に設置した空間情報を収納したサーバ（以下、データセンターと呼ぶ）から解析領域に関する画像データ、数値地図（2万5千分の1地形図）、標高データ（10m, 1mメッシュ）などが切り出され、解析に必要なデータセットが自動的に作成される。
- ③ 初期値として設定されている値（流域の粗度係数等）を使用して、浅水方程式を用いた氾濫解析が行われる。
- ④ 数値解析結果のGISデータへの変換および必要な解析結果のファイル出力がなされる。

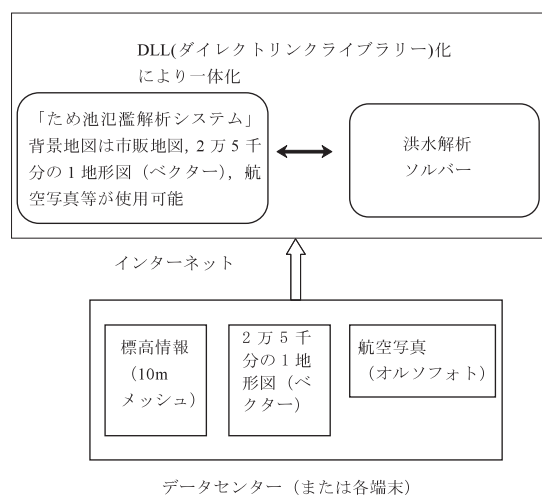


Fig.1 「ため池氾濫解析システム」の概要
General flowchart of inundation analysis system

* 施設資源部長

** 農村総合研究部広域防災研究室

平成21年12月14日受理

キーワード：ため池，フィルダム，氾濫解析，経済損失，被害

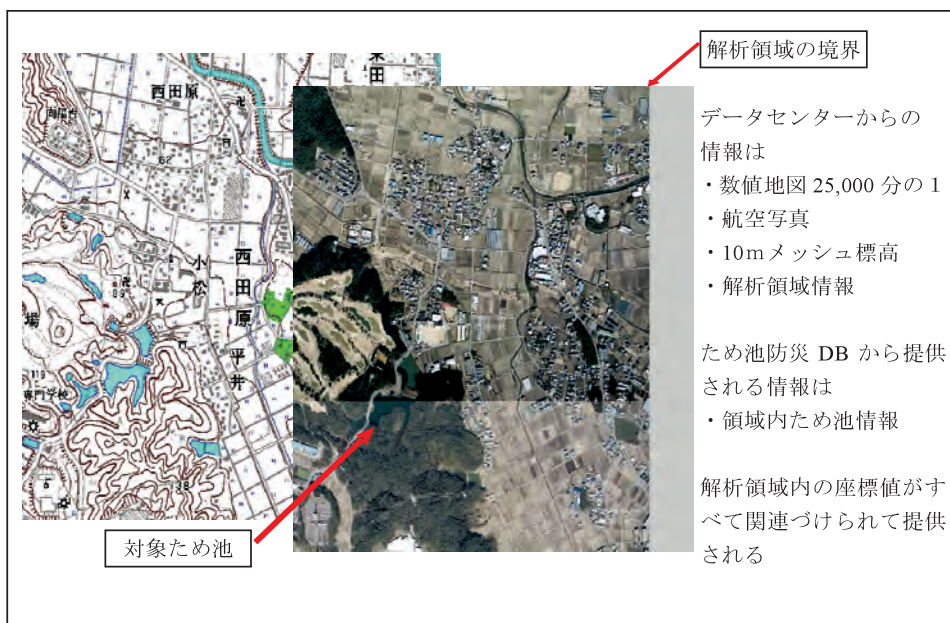


Fig.2 解析領域の設定
The way of choosing the region for inundation analysis

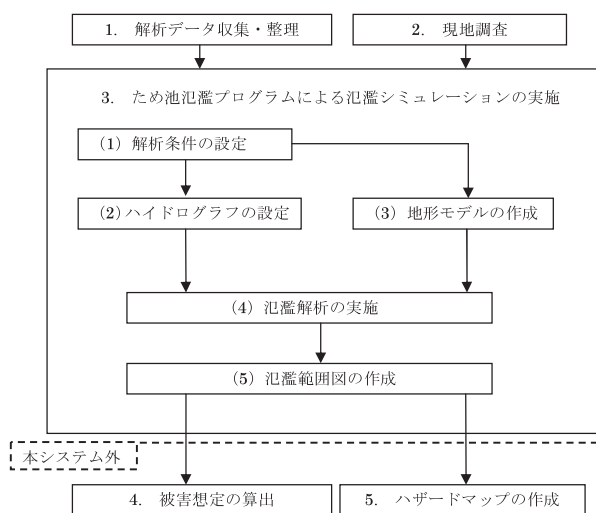


Fig.3 氾濫解析の手順の概要
(開発したシステムでは自動的にこの操作が行われる)
Flowchart of the procedure of inundation analysis
(this procedure is activated automatically in the developed system)

⑤最大水深、最大流速、歩行困難度などの時系列結果を表示及びファイル出力がなされる。これらの結果から、氾濫による被害想定域の決定を行う。

従来であれば、これらの解析に必要な標高情報、オルソフォト、地形図およびため池の諸元（堤高、貯水量）等のデータは別途に収集し、GIS上で位置合わせなどを行っていくプロセスが必要であったが、本システムでは画面上で解析領域を矩形で選択（Fig.2）することだけで、必要な標高情報、ため池の諸元、背景図等のデータは‘データセンター’から自動的に切り出してきて、解析の為のファイルが自動的に作成され、氾濫解析についても自動的に進められ、解析結果ファイルが作成される。

現時点ではため池 11 万箇所の位置、堤高、満水面積、貯水量等、氾濫解析に必要なデータはすべてデータベース化されている。標高については 10m メッシュ (1m メッシュのデータも民間企業より取得可能)、オルソフォト、2 万 5 千分の 1 地形図（ベクター、およびラスター）を収納するようになっているが、今までにモデル的にある 3 県について、上述したすべてのデータを実装し、運用上の課題を検討した。その結果、自治体等では、安全性の問題からインターネットを通じた大量のデータのやりとりが制限されていることから、WEB GIS を用いた本解析システムの運用が困難であることが判明した。このため、現時点では解析に必要なデータを、各端末で入力するシステム（スタンドアロン方式）も平行して使用できるように改良を行っている。つまり、本システムで定められたデータ様式であれば、スタンドアロン方式でも WEB GIS システムと同様に自動的にデータセットが作成され、自動解析が可能になっている。

氾濫解析はため池のように氾濫域が小さい場合、たとえば解析領域が数平方 km^2 であれば数時間以内程度の短時間で完了する。解析結果は画面上で時間毎の水深、流速、最大水深、最大流速、歩行困難度を表示できる。解析結果のシェープファイルが自動的に作成されるため、解析結果は他の GIS ソフトでも簡単に利用可能である。

なお、同時に複数のため池を氾濫解析することはこのシステムではできない。また解析メッシュの上限は 100 万メッシュである。以下に「ため池氾濫解析システム」の氾濫解析の手法について述べる。

2 「ため池氾濫解析システム」の氾濫解析の手法

ため池氾濫解析プログラムは、解析の対象とするため

池の位置、総貯水量、湛水面積を元に擬似的な貯水池を自動的に生成し、擬似貯水池の壁面の一部をダムブレイク方式で破堤・流出計算を行うことにより、破堤ハイドログラフを生成する。氾濫域での計算は浅水方程式を用いた以下の式で二次元不定流計算を行う。解析モデルは、高さ z を変数として持つ二次元の空間で定義される。解析手法の概要は、以下の通りとなる。

(1) 二次元氾濫解析モデルの初期条件

1) 初期河床位： z^{init}

(2) 二次元氾濫解析モデルの境界条件

1) 流入境界：流入点勾配： $I_m = \tan \theta_m$

流量時刻歴と方向： Q_{mx}^n, Q_{my}^n

流動深時刻歴： h_m^n

流入土砂組成： p_m^n

2) 壁境界：流れの方向の拘束： $M = 0$ or $N = 0$

3) 外周部の境界：河床変位量の拘束： $\Delta z = 0$

流量の拘束： $M = 0, N = 0$

数値計算においては、 h, z は格子点上で評価し $M, N, u, v, q_{Bx}, q_{By}$ などは、格子点と $\Delta l/2$ ずれた地点で評価される(直交スタッガードメッシュ)。Fig.4に直交スタッガードメッシュの概念図を示す。

$$\text{連続式} \quad \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = q \quad (1)$$

$$\text{運動方程式} \quad \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial (uM)}{\partial x} + \frac{\partial (vM)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - f_{sx} \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial (uN)}{\partial x} + \frac{\partial (vN)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - f_{sy} \quad (3)$$

$$\text{マンニングの式} \quad f_{sx} = \frac{gn^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}}, \quad f_{sy} = \frac{gn^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (4)$$

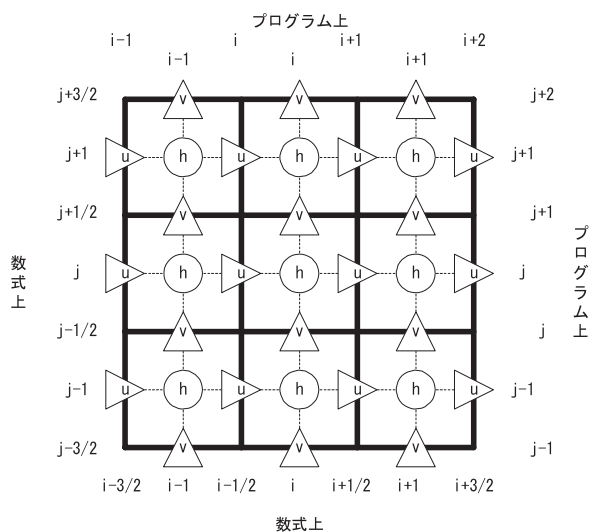


Fig.4 直交スタッガードメッシュの概念図
Conceptual diagram of quadrature staggered mesh

ここに、

h : 水深 (m)

H : 水位 (m)

x, y : xy 直交座標

t : 時刻

u : X 方向流速 [L/T], v : Y 方向流速 [L/T],

$M = hu$: X 方向流量 [L²/T], $N = hv$: Y 方向流量 [L²/T],

g : 重力加速度 [L/T²],

f_{sx} : X 方向の底面摩擦力 [L²/T²],

f_{sy} : Y 方向の底面摩擦力 [L²/T²],

n : マニング粗度の係数 [T/L^{1/3}]

q : 流体湧き出し量 (ハイドログラフに相当)

III 経済損失の評価概要

河川、土石流の氾濫による被害算定は従前から行われているが、以下にその概要について述べる。

1 治水経済調査マニュアル(案)(2005)について

現在多くの機関で実施されている費用便益分析の手順は、国土交通省河川局による治水経済調査マニュアル(案)(2005)(以下、治水経済調査マニュアル(案))をベースとして道路、地すべり、砂防、河川など、それぞれの災害に対応したマニュアルが作成され、各マニュアルに基づいて実施されている。ため池災害についても基本的には治水経済調査マニュアル(案)に準じてよいと考えられるが

①農地被害に対する算定方法や評価では、田畑の調整池的な効果や資産の季節的な変動などを考慮することが望ましい。

②ため池被害の特徴として、想定される被災範囲が中山間部の狭い地域に限定されることが多いなどの点を考慮する必要がある。

以下に治水経済調査マニュアル(案)から抜粋した手順を示す。Fig.5中に必要とするデータの名称を加筆した。Table 1には治水経済調査マニュアル(案)から抜粋した、治水経済調査要綱(建設省, 1970)からの主な変更点を示す。治水経済調査マニュアル(案)は、国土交通省のホームページ、http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/seisaku_hyouka/gaiyou/hyouka/h1704/chisui.pdfより入手可能である。

治水経済評価マニュアル(案)では

①被害を直接被害と間接被害とに分けている。

②直接被害に対する抑止効果を資産被害抑止効果と人身被害抑止効果とに分け、資産被害に対してのみ具体的なデータ入手および解析手法を提示している。

③間接被害に対しては客観的、合理性のある被害額を算定するものとし、具体的には直接被害をベースとして諸係数を掛けて営業停止損失、家庭における応急対策費用、事業所における応急対策費用の算出基準を示し

ている。

- ④人的被害その他の被害に対しては計測可能なものを評価するとしている。

したがって、被害算定の基礎となるデータは想定氾濫域の直接被害にあたる資産データである。治水経済調査マニュアル(案)では、資産データの調査方法として、「被害額の算出に必要な氾濫区域の資産および世帯数、従業員数等の数量を原則として氾濫シミュレーションの計算メッシュ単位として算定する」として、資産額の算出にデータとして地域統計メッシュ(財統計情報研究開発センター)等が提供する統計量の使用を提示している。治水経済調査マニュアル(案)が計算メッシュとして原則想定しているのは250mメッシュで、統計メッシュは一般的には1kmメッシュであることから1kmメッシュデータを250mメッシュに取り込む方法も提示している。また、(財)日本建設情報総合センターの100mメッシュの使用も提示している。

一方、ため池氾濫解析システムでの解析メッシュは、多くの場合氾濫範囲が中山間部の狭い範囲に限定されることから、最大でも10mメッシュの使用を前提としており、解析エリアは広くても $2\text{km}^2 \sim 4\text{km}^2$ を想定している。これらのことから、治水経済調査マニュアル(案)の標準的な手法である各種統計での資産評価をそのまま利用することはため池の決壊の様に小領域の被害の場合には分解能の点などで課題がある。このようなことを踏まえ、ため池氾濫解析への適用上の留意点について次に述べる。

2 ため池氾濫解析への適用上の留意点

ため池氾濫解析の経済評価システムでは、治水経済調査を行うためのデータから、被害額の算定に限定してため池の場合の被害額算定改良案を考える。被害額算定に用いる各種データを以下に示す。(Fig.5中の①～⑥に対応)

- ①財団法人 日本統計協会 (<http://www.jstat.or.jp/>) より 国勢調査メッシュ統計を入手する。
- ②国土地理院 空間データ基盤 (<http://sdf.gsi.go.jp/>) より 対象市区町村の数値地図を入手する。
- ③財団法人 日本建設情報総合センター (<http://www.jacic.or.jp/>) 建設コスト研究部より延床面積100mメッシュを購入する。
- ④財団法人 統計情報研究開発センター (<http://www.sinfonica.or.jp/>) より 地域メッシュ統計(国勢調査, 4次メッシュ約500m)を購入する。
- ⑤財団法人 統計情報研究開発センター (<http://www.sinfonica.or.jp/>) より 地域メッシュ統計(事業所・企業統計調査, 4次メッシュ約500m)を購入する。
- ⑥国土数値情報ダウンロードサービス (<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>) の土地利用メッシュの水田面積(3次メッシュ(約1km))を用いる。

ため池の規模によるが、ため池決壊による氾濫範囲の規模から、上記経済評価用のメッシュデータを参考に単純に細分化して適用すると現実的でない精度になることが考えられるため、浸水家屋数などは、住宅地や航空写真画像などからマニュアルでデータを拾うことがコスト、精度からはむしろ合理的であると思われる。以上より治水経済調査マニュアル(案)(2005)をベースとしたため池災害用経済評価フロー(案)をFig.5に示す。

IV 農地被害及び周辺被害に対する算定評価案

1 農地被害及び周辺被害に対する算定評価案

被害額算定にあたっては、メッシュ毎に、資産額に最大浸水深により決まる被害率を乗じたもので評価を行う。ため池氾濫解析システムの結果を用いて農地被害を算定評価する場合は、解析メッシュサイズ10m以下の小規模氾濫域での被害評価が前提となることから、住宅地図や航空写真などからの家屋数取得など、目視による計測などの手作業を多く残した評価の方法となる。

- 1) 被害額は以下の直接被害額を求めるものとする。
 - (1) 家屋
 - (2) 家庭用品
 - (3) 農漁家償却資産・在庫資産
 - (4) 事業所償却資産・在庫資産
 - (5) 農作物
 - (6) 公共土木施設
- 2) 家屋被害額は 床面積×単位面積当たりの評価額×水深で定まる被害率で計算するものとする。
 - (1) 床面積は以下のように算出する。
 - ①浸水家屋を住宅地図、及び航空写真から拾い出す。
 - ②浸水家屋ごとの床面積を、被害額算定者が航空写真等から推測するものとする。
 - (2) 単位面積当たりの評価額は治水経済調査マニュアル(案)に記載されている値を用いるものとする。
 - (3) 浸水深は、航空写真とシミュレーション結果を重ね合わせ、被害額算定者が目視計測するものとする。
 - (4) 被害率は治水経済調査マニュアル(案)に記載されている値を用いるものとする。
- 3) 家庭用品被害額は 世帯数×世帯当たり家庭用品評価額×水深で定まる被害率で計算するものとする。
 - (1) 世帯数は浸水家屋を住宅地図、及び航空写真から拾い出した家屋数とする。
 - (2) 世帯当たり家庭用品評価額、水深で定まる被害率は治水経済調査マニュアル(案)に記載されている値を用いるものとする。
- 4) 農漁家償却資産・在庫資産被害額は 農漁家世帯

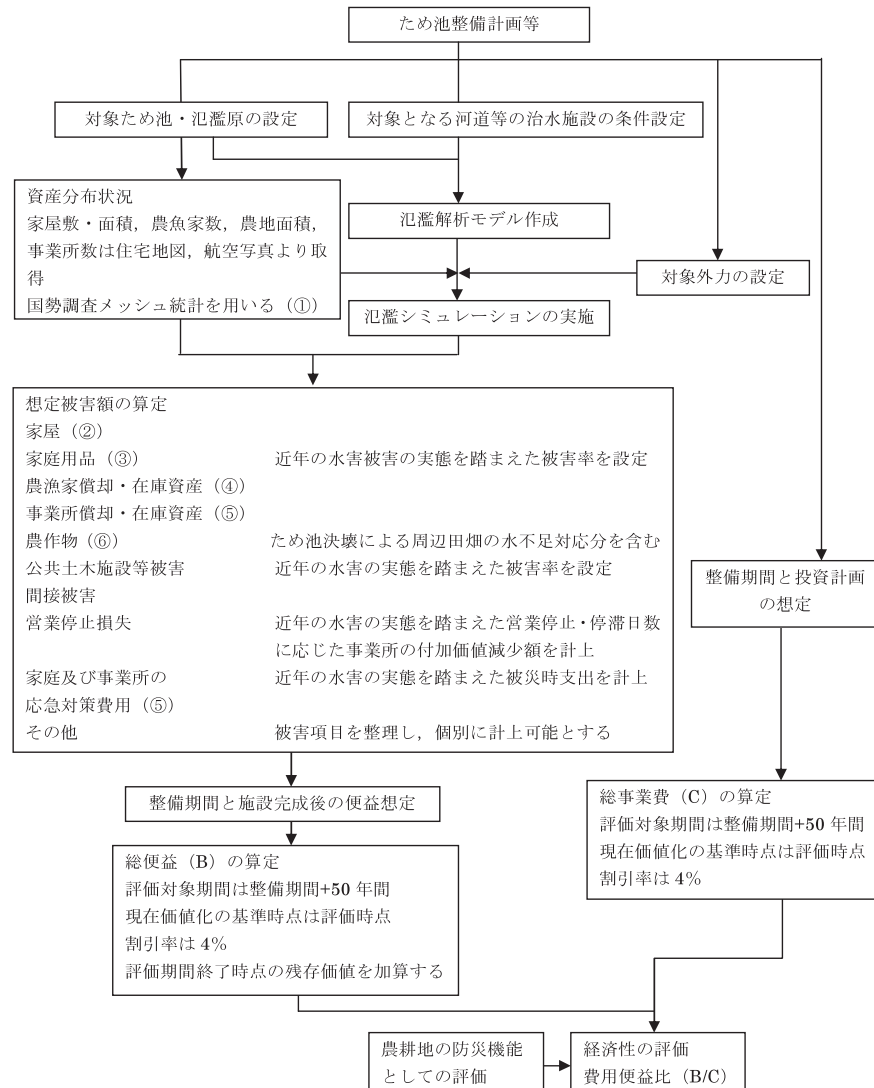


Fig.5 治水経済調査マニュアル（案）をベースとしたため池災害用経済評価フロー（案）

Flowchart of economic evaluation of disaster damage of small earth dams based on the manual of inundation economic survey

数×世帯当たり評価額×水深でさる被害率で計算するものとする。

- (1) 農漁家世帯数は被害額算定者が情報源を見つけるものとする。どのように情報源を見つけるかは一例を検討し、ため池災害用経済評価マニュアル（案）（以下マニュアル）に記述する。
- (2) 世帯当たり評価額、水深でさる被害率は治水経済調査マニュアル（案）に記載されている値を用いるものとする。
- 5) 事業所償却資産・在庫資産被害額は 産業分類ごとの従業員数×従業員一人当たりの評価額×水深でさる被害率を足し合わせて計算することとする。
 - (1) 産業分類ごとの従業員数は被害額算定者が情報源を見つけるものとする。どのようなものが情報源となるかは一例を検討し、マニュアルに記載する。
 - (2) 従業員一人当たりの評価額、水深でさる被害

率は治水経済調査マニュアル（案）に記載されている値を用いるものとする。

- 6) 農作物被害は 水田・畑面積×年収量×農作物価格×水深でさる被害率で計算するものとする。
 - (1) 水田・畑面積、年収量、農作物価格は被害額算定者が情報を収集するものとする。どのようなものが情報源となるかは一例を検討し、マニュアルに記載する。
 - (2) 水深でさる被害率は治水経済調査マニュアル（案）に記載されている値を用いるものとする。
- 7) 公共土木施設被害は 一般資産被害額×公益事業施設被害額の一般資産被害額に対する比率で計算するものとする。
 - (1) 一般資産被害額は家屋被害額、家庭用品被害額、農漁家償却資産・在庫資産被害額、事業所償却資産・在庫資産被害額の合計とする。
 - (2) 公益事業施設被害額の一般資産被害額に対する比率は治水経済調査マニュアル（案）に記載さ

Table 1 治水経済調査要綱からの主な変更点（治水経済調査マニュアル（案）（平成 17 年 4 月）より抜粋）
The main changes between the outline of inundation economic survey (Ministry of Construction, May, 1970) and
the manual of inundation economic survey (Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, April, 2005)

項 目		治水経済調査要綱	治水経済調査マニュアル（案）	摘要
資産データの調査		市町村別等で集計（集計方法はとくに明記せず）	国勢調査メッシュ統計等を用いた統一的な方法とする（家屋及び家庭用品は再調達価格で評価）	4 章
氾濫シミュレーション	破堤地点	破堤地点の選定については特に明記せず	氾濫ブロック毎に被害額が最大となる地点を破堤地点として想定	3 章
	氾濫条件	上流の越水や氾濫による流量低減等については特に明記せず	流下能力のない箇所からの越水氾濫や氾濫に伴う下流の流量低減を考慮	
	解析方法	氾濫形態に応じた手法とされているが、その詳細は明記せず	氾濫形態に応じた方法を採用することとし、河道流と氾濫流を同時追跡	
便 益 計 算	評価方式		年便益で評価	4 章
	一般資産被害（家屋、家庭用品、事業所資産等）		昭和 36～42 年の水害被害実態調査における被害率を用いる	
	公共土木施設等被害（公益事業、農地等を含む）		昭和 37～42 年の防災白書、水害統計等における被害率を用いる	
	間接被害	営業停止損失	一般資産額の 6%	
		その他	算定方法は明記せず	
	残存価値		考慮せず	
費 用 計 算	評価方式		年費用で評価	5 章
	建設費		用地費を含む必要な事業費（算定方法は、特に明記せず）	
	維持管理費		事業費の 0.5% / 年（年便益から差し引く）	

れている値を用いるものとする。

2 農地被害及び周辺被害を考慮した場合の今後の課題

農地被害算定の精度を上げるためには今後、以下のことを考慮・構築しておく必要がある。

- 1) 農作物被害の算定に季節的な変動を考慮するため、土地利用に作物種類と季節的な価値の変動を考慮しておく必要がある。
- 2) 各農作物に対して、被害が生じる冠水高と冠水時間を入力必須データとして定義する。
- 3) ため池決壊による周辺田畑水不足対応分を被害にそれぞれ含める。

V 結 言

本報告は開発した「ため池氾濫解析システム」により想定される被害範囲や最大水深、最大流速等の被害状況を基本データとして、ため池決壊によって下流に発生す

る被害額を算定、評価する方法について、その基本的な算定項目、算定方法、評価方法を検討、整理したものである。また、農地被害に対する算定評価案では、ため池決壊による被害想定範囲が、経済評価を行う各種データメッシュ範囲に対してかなり小さい範囲と思われることから、被害算定・経済評価に関する各種データの利用は、解析毎にユーザーがマニュアルで指定することが効率的であると考えられる。

参考文献

- 1) 谷 茂・井上敬資（2007）：ため池決壊による氾濫解析システムについて，平成 19 年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集
- 2) 治水経済調査マニュアル（案）（2005）：国土交通省河川局 http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/seisaku_hyouka/gaiyou/hyouka/h1704/chisui.pdf
- 3) 治水経済調査要綱（1970）：建設省

Analysis of Inundation Caused by Failure of Small Earth Dams and the Way of Evaluation of the Damage in the Downstream Sites

TANI Shigeru and INOUE Keisuke

Summary

Earthquakes and heavy rains sometimes destroy water storage facilities such as small earth dams, and cause the second disasters in the downstream sites. Human suffering must be prevented completely, and it is important, in particular, to identify flood-prone areas and evaluate economic damage in advance. A system which is easy to analyze those things in the sites was constructed with WEB GIS and geographical information. Using this inundation analysis of small earth dams, consequently, enables to assume the damage in the downstream sites easily. In this paper, in addition, the authors figure out the amount of damage caused by floods and cost-benefit performance (B/C) in the case of countermeasure works, based on both the range of affected sites supposed using “Inundation Analysis System of Small Earth Dams”, which the authors developed before, and the indexes to show the damage such as maximum water depth and maximum velocity. As to the way of evaluation, its basic calculation items, calculation methods and evaluation methods are also examined and organized here.

Keywords : small earth dam, fill dam, flood analysis, economic damage, damage