

5.2 総合的な洪水・水資源管理を支援する基盤システムの開発

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：水災害研究グループ

研究担当者：深見和彦，鍋坂誠志，佐山敬洋
宮本 守，杉浦 愛

【要旨】

ICHARM は、水文情報の乏しい地域においても洪水流出解析を可能とするために総合洪水解析システム（IFAS：Integrated Flood Analysis System）の開発を行ってきた。しかし、発展途上国では、洪水管理機能の強化ばかりでなく水資源管理を支援する機能の追加へのニーズも高い。このことから本研究では、総合的な洪水・水資源管理を支援する基盤システムの開発を目標とする。平成 23 年度は、IFAS へ低水時の流出解析時に必要不可欠となる土壌、地質分布に応じた、不飽和帯層、帯水層を表現するタンクの第一次近似定数設定機能の搭載、統合水資源管理を再現するモジュールの設計、大流域を対象とした流出解析及び氾濫解析を行うシステムの開発を行った。

キーワード：IFAS，統合水資源管理，流出解析，氾濫解析，パラメータ，

1. はじめに

近年、洪水ばかりでなく、干ばつ、渇水等の水資源関連の災害が世界で頻発しており、的確な水資源管理開発計画、新規利水施設の整備が必要となっている。渇水災害対策立案を図るためには、まず流域の水資源の実態を定量的に把握できるツールを開発し、要因分析から始める必要がある。土木研究所 ICHARM は、水文情報の乏しい地域においても洪水流出解析が可能となるよう、総合洪水解析システム（IFAS：Integrated Flood Analysis System）の開発を行ってきた。しかし、はん濫や潮位の影響の考慮が大陸域の低平地での洪水流出解析では必要不可欠である。また、大陸スケールの大河川における季節的洪水を解析するためには、豪雨域で発生する洪水ばかりでなく、洪水通減をもたらす無降雨時の低水流出解析も同時に行う必要がある。また、洪水管理と水資源管理は本来表裏一体であり、水資源管理支援機能の追加も IFAS に対して求められるようになってきている。

本研究は、これまで水文情報の乏しい国々で、洪水予警報を実現することを目指して開発を行ってきた IFAS に対して、低平地での流出解析や低水流出計算機能を搭載することで、より広いニーズと水文条件に対応できる総合的な洪水・水資源管理に資する基盤システムとして開発するものである。利用者の主なターゲットは、発展途上国における河川・水資源管理担当者もしくは現場の技術者である。また、IFAS は、彼らが行う洪水・水資

源管理に求められる解析や判断を支援するためのツールであり、繰り返し利用することで、流出解析を理解し、現場技術者自身の技術力を向上させることができる教育効果の高いシステムとすることが望ましい。平成 23 年度は、主に、低水流出解析のための IFAS への機能追加と自然系のみならず人工系の流域での水循環過程を再現するための一部の要素についての設計を行った。

2. IFAS における洪水解析機能の強化および低水解析・長期流出計算機能の追加検討

2.1 IFAS の不飽和帯層、帯水層タンクモデル定数の第一次近似値設定機能搭載

IFAS は、流域の表層を表現する表層タンクと地下水流動を再現する 2 段のタンクに河道タンクを組み合わせた、土研分布モデル Ver.2 と、表層、不飽和帯層、帯水層の 3 段タンクに河道タンクを追加した土研分布モデル Ver.1^{*1}の 2 つの流出解析エンジンを搭載している。前者は主に洪水流出解析用モデルであり¹、流域土壌が飽和する直前の状況以降を再現しているのに対して、後者は、不飽和帯を持ち、土中への不飽和浸透過程をより的確に再現することで長期低水流出計算も含めて評価を可能とする鉛直構造としており、平成 22 年度に Ver.1.3 として実装を行ったものである。それ以前の IFAS では、洪水

¹元来土研分布モデル Ver. 1 は複数の不飽和層を設定できるが、IFAS には不飽和層 1 段のみを追加したモデルを搭載した。

流出解析をベースとした洪水予警報の実現を主目的としていたことから、流量規模の大きい洪水ピークを再現することが目標であり、低水流出再現において重要となる土壌や地質の分布の詳細情報を、IFAS の流域格子の第一次近似パラメータに自動的に反映する機能を搭載していなかった。しかし、長期の低水流出解析を行うためには、土壌、地質を反映したモデル定数設定が重要となる。この機能を追加実装し、統合的な水資源管理に資する長期流出計算機能を有するモジュールの開発を行うことで、水文観測情報や GIS 解析能力に乏しい発展途上国の河川においても使いやすい IFAS としての特長を生かしつつ、洪水管理と本来は一体不可分である流域規模での水資源管理についても貢献し得るモデルの開発を進めることとした。

具体的には以下のとおりである。従来バージョンの IFAS (Ver. 1.3) では、低水流出解析を可能とする土研分布モデル Ver.1 を導入したものの、Parameter manager 画面において、グローバルデータセットからパラメータを自動設定できるのは、現状では土地利用もしくは土地被覆関連のデータによる表層タンクのモデル定数のみのままとなっている。すなわち、IFAS では、土壌・地質に関する情報として、CGMW (Commission for the Geological Map of the world : 世界地質図委員会) が販売している土壌図 (表-1)、UNEP (国連環境計画) / GRID (地球資源情報データベース) による土壌相区分データ (表-2) および Soil Water Holding Capacity (土壌水分保持容量)、あらびに、NASA/GES DISC (米国航空宇宙局ゴダード地球化学データ情報サービスセンター) による Soil Depth (土壌深) の4種のデータベースを入力する機能を既に備えているが、それらの情報をもとに、低水流出解析で重要な役割を果たす不飽和層および帯水層のモデル定数を自動設定する機能は備えていなかった。

そこで、CGMW もしくは UNEP/GRID による土壌分類図をユーザーが選択して入力することで、不飽和層 (土研分布モデル Ver.1 の場合のみ) および帯水層からの流出係数の第一次近似値を自動設定する機能の追加を行った。

また、NASA による土壌深もしくは UNEP/GRID による土壌水分保持容量データをユーザーが選択して入力することで、不飽和層 (土研分布モデル Ver.1 の場合のみ) および帯水層の層厚の第1次近似値を自動設定する機能を追加した。

いずれの設定についても、ボタン操作だけで自動的に、入力、分類、定数設定・変更、平面分布表示が行えるよう GUI 環境を備えた (図-1)。

表-1 CGMW による土壌分類データ

0=Water	水部
1=Acrisols	粘土質
2=Cambisols	褐色森林土
3=Chernozems	黒色草原土
4=Podzoluvisols	泥炭土
5=Rendzinas	腐植炭酸塩土
6=Ferralsols	フェラリソル
7=Gleysols	灰色森林土
8=Phaeozems	プレーリー土
9=Lithosols	固結岩屑土
10=Fluvisols	褐色低地 (沖積) 土
11=Kastenzems	淡色の mollic A 層と石灰集積層をもつ土壌
12=Luvisols	褐色レシベ土
13=Greyzems	白色珪粉的土壌
14=Nitisols	粘土質土壌
15=Histosols	泥炭土 (黒泥土)
16=Podzols	泥炭土
17=Arenosols	黒ボク土
18=Regosols	砂丘、未熟土
19=Solonetz	交換性 Na に富む土壌
20=Andosols	黒ボク土
21=Rankers	ランカー
22=Vertisols	沖積土
23=Planosols	停滞水グライ土
24=Xerosols	シーロゼム (半砂漠土)
25=Yermosols	砂漠土
26=Solonchaks	遊離の塩の集積をもつ土壌
27=Permanent Land-Ice	氷

以下、IFAS で用いる流出解析モデルの違い (土研分布モデルの Version の違い) で場合分けして、モデル定数設定過程を詳述する。

(1) 土研分布モデル Ver.2 (2 段タンク) の場合

NASA 土壌深もしくは UNEP 土壌水分保持容量データにより、帯水層 (下段タンク) における HCGD (不圧地下水流出孔高さ) の設定を行う。すなわち、流域内の入力データの範囲を参照し、最小値から最大値の間で 0.5m 刻みの3つのクラスを作成する。例えば、最小値が 2.2m、最大値が 3.4m の場合、2.5m 以下、2.5~3.0m、3.0~3.5m の3つのクラスを自動作成し、それぞれに第1次近似値としてのモデル定数値を設定できるようにした。

表-2 UNEP/GRID による土壌相区分データ

0=Water	水
1=Stony	石質
2=Lithic	結石室
3=Petric	化石質
4=Petroferric	鉄鋼石質
5=Petrocalcic	石灰石質
6=Petrogypsic	石膏室
7=Fragipan	フラギパン
8=Duripan	デュリパン
9=Saline	岩塩質
11=Phreatic	フレアティック
12=Cerrado	セラード
13=Sodic	曹達質
21=Permafrost	永久凍結層
22=Permafrost; intermittent	永久凍結層;間欠的
23=Glacier	氷河
24=Ponded	池
25=Dunes, Sands	砂丘、砂
26=Rock debris	岩屑
27=Unknown	不明

同様に UNEP/GRID による土壌深データもしくは CGMW による地質データを入力することにより、帯水層における AUD（不圧地下水流出係数）および AGD（被圧地下水流出係数）についても3つのクラスを自動作成し、それぞれ第1次近似としてのモデル定数値を設定できるようにした。

その結果、Parameter Manager により、4種類の中からユーザーが選択した2種類の入力データに応じて、帯水層の3つのモデル定数について、3クラス×4クラス=12通りの第1次近似値の組み合わせが準備されることになる。

(2) 土研分布モデル Ver. 1 (3 段タンク) の場合

NASA 土壌深もしくは UNEP 土壌水分保持容量データにより、不飽和層（中間タンク）における HMXSD（層厚）の設定を行う。このとき、2 段タンクと同様に流域内の入力データは、不飽和層と帯水層の層厚の和に相当すると考え、帯水層の HCGD（不圧地下水流出孔高さ）分としてある一定値（例えば 2.0m）を想定した上で、その値を入力値から差し引いた値が不飽和層厚相当と考える。その最小値から最大値が含まれる 0.5m 刻みのクラスを作成する。ただし、最小厚は、0.6m とし、それ以降は 1.0m、1.5m と 0.5m 刻みとする。例えば、最小値が 2.2m、最大値が 3.4m の場合、上記の例の場合、帯水層の 2.0m 分を差し引いて最小値が 0.2m、最大値が 1.4m となり、0.6m

～1.0m、1.0～1.5m、1.5m 以上の3つのクラスを自動作成する。それぞれのクラスに対し第1次近似としてのモデル定数値を設定できるようにした。

同様に、UNEP/GRID による土壌深データもしくは CGMW による地質データを入力することにより、不飽和層における???（遅い中間流出係数）についても4つのクラスを自動作成し、それぞれ第1次近似としてのモデル定数値を設定できるようにした。

一方、帯水層の HCGD（不圧地下水流出孔高さ）および AUG/AGD の2つの流出係数については、(1) で述べた土研分布モデル Ver. 2 の場合と同様に設定できるようにした。

これらにより、Parameter Manager によって、4種類の中からユーザーが選択した2種類の入力データに応じて、不飽和層および帯水層の計5つのモデル定数について、3クラス×4クラス=12通りの第1次近似値の組み合わせが準備されることになる。

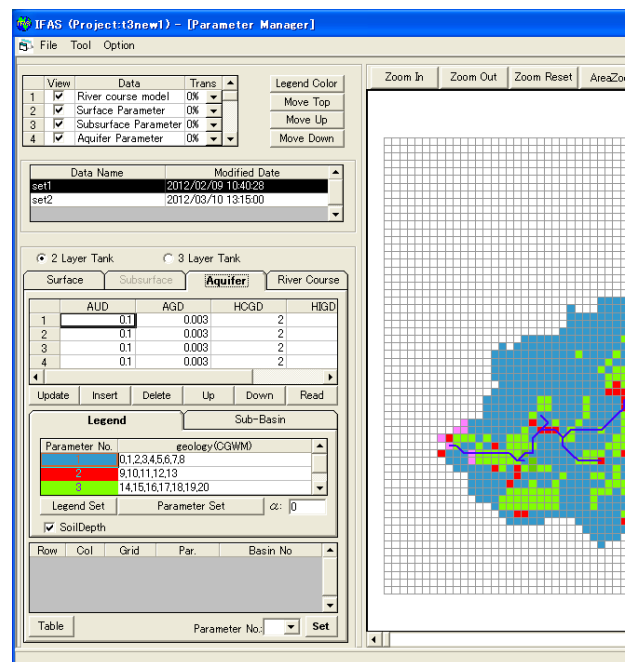


図-1 グローバルな土壌・地質区分情報によるモデル定数設定用のGUI

以上の通り、平成23年度は、グローバルな地質・土壌データセットをモデル定数設定に直接反映させるための IFAS 上のツールの開発を行った。今後、今回開発分を含む IFAS 上の GIS 解析ツールを活用して、国内外における河川への適用・検証を進め、2 年程度の期間でモデル定数設定の標準化手法を開発する計画としている。

3. 統合水資源管理に資する解析モジュール改良のた

めの概略設計

従来バージョンの IFAS は、洪水予警報システムの効率的な整備を推進するための基盤とすることを目的として、グローバルな GIS データを活用することでグローバルに適用が可能なように、汎用的ではあるが、ある程度解析対象を絞り込んで簡略化した洪水流出解析システムとして開発を行ってきた。このため、洪水の立ち上がりやピーク流量の評価以外に影響する部分、例えば、洪水の逓減部や低水流出をよりの確に再現するための自然的及び人工的な水循環プロセスの再現への考慮は、未だ十分ではない部分が残されている。このため、洪水予警報システムとしての基盤としては機能しても、統合水資源管理のための基盤としては、現時点では利用できるシステムになっていない。

このことから、以下に挙げるような、洪水・低水管理に関連する統合水資源管理に資するための最低限必要な機能を IFAS に追加するためのモジュールの改良・追加の概略設計を実施した。その成果にもとづく IFAS への新モジュールの実装については、来年度以降に利用可能な予算の範囲内で IFAS への実装を順次行っていく予定である。

3.1 ダム等による流水管理機能の追加・改造

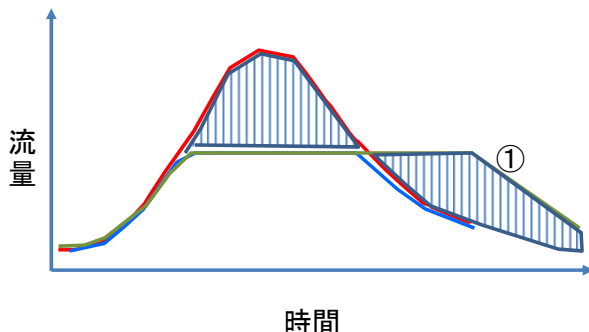


図-2 洪水調節（貯留+放流）機能概念図

従来バージョンの IFAS では、ダムによる洪水調節機能は、①定率法流、②定量放流、③定率定量放流、④貯水容量別放流量決定の 4 種類の操作を Dam Control Manager と呼ぶ解析モジュールにより考慮している。しかし、後期放流を考慮していないため、これらの操作で貯留した水は、貯水池に永遠に貯留されたままになってしまうため、ダムの直下流では、洪水の逓減部を的確に再現できないだけでなく、次の洪水時の調節も再現できない。このため、以下の内容でダムによる洪水調節機能や低水管理機能を再現するためのモジュール改造・追加の概略設計を行った。

①洪水ピークカット後の後期放流を再現する機能を追

加する（図-2）。

②ただし書き操作、事前放流、利水放流などの再現を可能にするため、時系列での放流量データの inputs を可能とする。

③堰等によるダム以外の貯水池に対しても、当該 Dam Control Manager を応用し、後述する分派河川・水路モジュールとセットで時間毎の放流量、取水量を再現できるようにするモジュールに改造する。

3.2 分派河川モジュール

従来バージョンの IFAS は、上述のダムによる流水管理機能に代表されるように、人工的な水循環プロセスへの考慮が十分でなかった。分派河川を考慮できない点もその例である。このため、統合水資源管理に資するシステムにはなっていない。

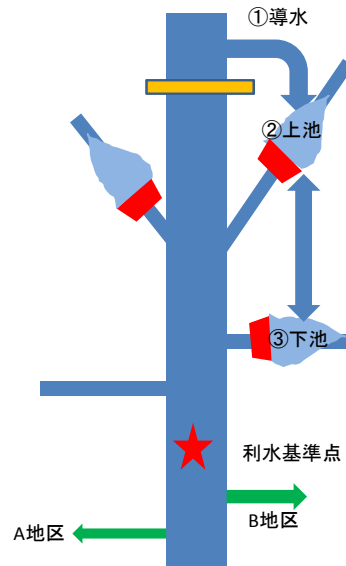


図-3 分派河川、水路モジュールの概念図

そこで、地形から決まる河道モデルから分岐する川や水路を組み込むモジュールを搭載して、分派河川や人工的な分水、導水を再現する機能を追加することとした（図-3）。すなわち、分派した川・水路にダム・堰からの放流量を入力する機能を装備する。すなわち、①川からの放流量や取水量の時系列データを入力する、②分派する地点で、流量のランク別に振り分ける割合を規定し、その規定に応じた流量分配を行う、といった機能を搭載するための追加モジュールの概略設計を行った。

3.3 統合水資源管理解析モジュール（β版）構築

従来バージョンの IFAS は、洪水流出解析を基本としていたため、低水時の流水管理に関連する利水放流等のダムの諸機能を再現するためのモジュールが装備されていないため、ダムを含む河川水系での低水流量を的確に

評価することは困難である。そこで、統合水資源管理に資する共通基盤として必要なそれらの機能の追加モジュール（β版）を構築する。すなわち、以下の機能を追加するための概略設計を行った。

- ①河道の維持流量を設定できるようにするとともに、取水量と維持流量から決まる必要水量と、現実の流況との関係で決まる補給要請量を算出し、ダムから利水放流を実施する状況を再現できるようにする。
- ②ダム管理に関連するダム貯水量データ、要請量に基づくダム放流量データ、取水データをすべて入力できるようにし、ダムの貯水量が増加・減少する状況を的確に再現できるようにする。想定される利水放流により、ダムの利水容量が底をつく時期を明確に表示できるようにする。

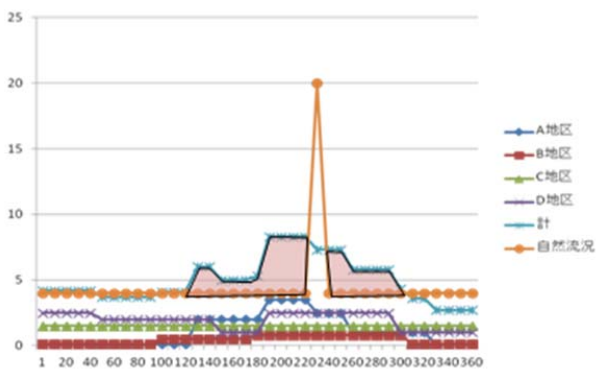


図-4 自然流況と取水量から利水基準点必要水量を算定する概念図

まず①については、都市用水や工業用水の取水量を任意地点であらかじめ時系列データとして与えることができるようにするとともに、農業用水における必要水量を自動算定する機能を備えることとする。すなわち、下流域での灌漑の対象となる農地域範囲を GIS 上で指定し、耕作する作物を選択すると年間の必要水量を時系列データとして自動算出・表示する機能を追加する。その算定量にもとづき、任意の指定地点を利水基準点として、時期別の必要水量を算出できるようにする。ここで、IFAS の従来機能により再現する自然流況のデータと組み合わせることで、ダムからの補給要請量を算出し（図-4）、そこから必要となるダムの貯水容量を計算するモジュールを構築する。

上記で与えられる下流側からの要請量データも参照しながら、②について以下の要領で再現できるようにシステムを設計した（図-5）。

- 1)堆砂容量、死水容量をあらかじめ指定した上で、配分ルールの場合分けに応じて各容量に流入水量を貯留さ

せる。

- 2)時期別の貯水容量を設定できるようにする。
- 3)利水容量、発電専用容量について、当該日の容量割合に応じた配分で流入量を分けて貯留できるようにする。
- 4)発電事業者、利水者の負担割合に応じた配分で流入量を分けて貯留できるようにする。
- 5)利水容量、発電専用容量のうち、いずれかが満水になった場合は、もう片方に貯留できるようにする。
- 6)発電のための間接流域からの導水を考慮し、発電専用容量に貯留できるようにする。

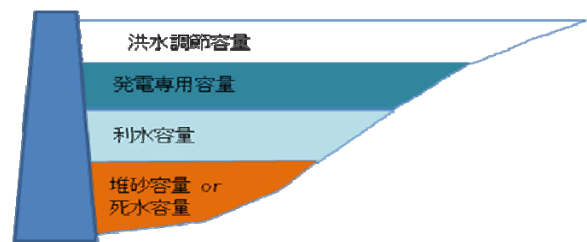


図-5 ダム貯水池容量配分図

4. IFAS と RRI モデルの連携による洪水氾濫解析機能の整備

IFAS は、流域の集水過程を表現する降雨～流出解析を基本としたシステムである。河道における洪水追跡は、Kinematic Wave 法（運動波モデル）を利用しており、山地・丘陵部での洪水解析には問題がないが、メガデルタと呼ばれる大陸河川下流域の低平地における緩流河川での洪水解析には精度に問題がある。一方 ICHARM では、別途、降雨～流出～氾濫の一連の過程を一体的に解析する降雨流出氾濫モデル（RRI モデル：Rainfall-Runoff-Inundation Model）の開発を行ってきた。RRI モデルは、IFAS と異なり、発展途上国の一般的な河川技術者が誰でも使えるようにすることを目的としたシステム設計を行っていない。このため、GUI 環境が未整備であるとともに、一般にモデル構築・検証に高度なノウハウと時間を有する点で、IFAS と大きく異なっている。しかしながら、低平地緩流河川において必須となる、拡散波モデルによる洪水追跡や河川と氾濫原を一体として扱う氾濫解析を可能にするという、IFAS には無い大きな特長を有している。そこで、IFAS と RRI モデルのそれぞれの長所を組み合わせ、上流域では IFAS、氾濫常襲地の下流域では RRI モデルを当てはめて両者を連携させることにより、流域全体での流出・氾濫解析機能を向上させることは、メガデルタを抱える大陸域の大河川において、洪水のみならず水資源の統合的な管理のための基盤システムを効率的に構成するために、

非常に有効な手段であると考えられる。

以上の考えに基づき、IFAS と RRI モデルを連携利用するために最低限必要となる追加モジュールの構築を行った(図-6)。すなわち、IFAS では従来考慮していなか

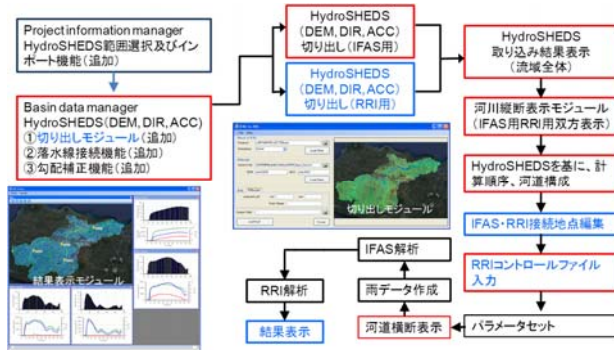


図-6 IFAS と RRI モデルの連携利用で必要となる解析
処理過程と追加モジュール群

ったが RRI モデルでは基本データとしている HydroSHEDS (スペースシャトル搭載合成開口レーダ観測に基づく DEM=STTM データを河道網作成の観点から補正した DEM データ。世界自然保護基金：WWF が USGS 等との協力の下で作成。) を IFAS においても入力・処理するためのインターフェース、RRI モデルにおいても IFAS と同様の流れで標高データ・流下方向データ・集水面積データを切り出すとともに解析結果を表示する最小限の GUI モジュール、IFAS による流出計算結果を任意の指定地点で RRI モデルに引き継ぐためのモジュール、等の追加構築を行った。

5. まとめ

プロジェクト研究初年度にあたる平成 23 年度は、現場に即した総合的な洪水・水資源管理に資する基盤システムを提案するために必要となる基本的な要素の IFAS への追加モジュールの概略設計と実装(一部)を行った。今後は、これらの成果を生かした IFAS への追加機能の実装を推進することで、統合水資源管理モデル基盤としての必要な機能を確保するとともに、それらの機能を十分に活用しながら現地河川への適用を拡大し、国内外の様々な水文・地理・地質条件にある河川流域でのモデル定数設定手法の一般化やモデル改良を図っていくこととした。

参考文献

- 1) 地下水シミュレーション, 日本地質学会 : pp.79-104, 2010
- 2) HANDBOOK of HYDROLOGY, David R. Maidment, p.5.34, 1992
- 3) 森林水文学, 塚本良則, pp.134-142, 1992
- 4) 粒状堆積物の透水性, 間隙率と地質年代の関係, 小鯛桂一, The Japanese Geotechnical Society, 1984
- 5) 岩盤透水性のグラフ表示, 小鯛桂一, 地質調査所月報, 第 35 巻第 9 号, p. 419-434, 1984
- 6) 図説日本の土壌, 山根一郎, 入沢周作, 細野衛, 松井健, 岡崎正規, 1978

DEVELOPMENT OF FUNDAMENTAL ANALYSIS SYSTEM FOR INTEGRATED FLOOD MANAGEMENT AND INTEGRATED WATER RESOURCES MANAGEMENT

Budgeted : Grants for operating expenses
General account

Research Period : FY2011-2016

Research Team : Water-related Hazard Research
Group

Author : FUKAMI Kazuhiko
NABESAKA Seishi
SATAMA Takahiro
MIYAMOTO Mamoru
SUGIURAAi
FUJIOKA Susumu

Abstract : ICHARM has developed "Integrated Flood Analysis System: IFAS" to enable to execute run off analysis even in poorly-gauged river basins. In such insufficiently-gauged relatively large-scale river basins, the system should have not only flood analysis function, but also long-term low water analysis function. The research program aims to further develop the analysis system for integrated flood and water resources management. In FY2011, ICHARM has developed setting functions of initial parameter for unsaturated tank and aquifer tank and of the combined use of runoff analysis system and inundation analysis system. In addition, a few more modules required for integrated water resources management

Key words : IFAS, integrated water resources management, runoff analysis, inundation analysis, model-parameter setting