

貯水池上流域における濁水発生要因の GIS による評価

郭めい・三谷泰浩・池見洋明・石丸真也・檀博

GIS-based evaluation of turbid-water occurrence factors in upper river basin of reservoir

Mei KAKU, Yasuhiro MITANI, Hiro IKEMI, Shinya ISHIMARU

and Hiroshi DAN

Abstract: Turbid-water retention and its impacts on environment of downstream regions by discharge of the turbid water have been a serious problem. In this research, some factors which are possible to cause turbid water are extracted, and those factors have been analyzed quantitatively by GIS. Based on observation data in the fields, the model which evaluates the amount of suspended solids flow out is developed by modifying tank model. As a result, landslide area, chaotic beds area and Hyuga layer area are turned out to have impact on flow out of suspended solids after the analysis of correlation between efflux characteristics calculated by developed model and each mechanical factor.

Keywords: 濁水長期化問題(Turbid-water retention), タンクモデル(Tank model), ハザードマップ
(Hazard map)

1. はじめに

近年,各地のダム貯水池では台風などの大規模な出水時に大量の懸濁物質が上流域から貯水池内へ流入し,貯水池内で長期間滞留するため,放流によって下流域で長期間にわたり濁水が発生し,環境への影響が問題となっている。特に,宮崎県中部に位置する一つ瀬ダムとその下流域では,ダム建設直後から降雨による出水で懸濁物質が流入し,濁水が長期間滞留する濁水の長期化が問題となっている。この問題に対し,濁水長期化のメカニズムを解明するため,これまで様々な取り組みがなされてきた¹⁾。しかし,懸濁物質の発生源,すなわち貯水池上流域の地形,土地被覆,地質等の条件と懸濁物質との関

連性に着目した検討は行われておらず,懸濁物質の発生源に対する根治的な対策は施されていない。

そこで,本研究では,懸濁物質の発生源である貯水池上流域に着目し,懸濁物質の発生に関与すると考えられる素因を,GISを用いて可能な限り抽出し,定量的に分析する。一方で,一次河川流域単位で流量及び濁度の計測を行い,得られた流量及び濁度データを基に懸濁物質の流出状況を予測する懸濁物質流出予測モデルを開発し,降雨条件が異なる流域間の懸濁物質流出特性を定量的に把握する。そして,流域ごとに把握した懸濁物質の流出特性と各種素因との相関分析により,懸濁物質の発生に影響を与える素因を特定し,それら影響素因と懸濁物質の流出特性との関連性と影響素因の空間分布特性から,貯水池上流域における潜在的な濁水流出口ハザードマップを作成し,懸濁物質の発生源を評価する。

郭めい 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地

九州大学大学院 工学院 地図環境工学研究室

Phone: 092-802-3369

E-mail: mei_kaku@doc.kyushu-u.ac.jp

2. 対象地域

本研究において対象とする領域は、一ツ瀬ダム上流域である。一ツ瀬ダムは宮崎県中央部に位置しており、一ツ瀬川、小川川、銀鏡川の3つの河川が流入し、堤高130m、総貯水容量2億6千万m³、最大使用水量137m³、流域面積415km²の九州最大のコンクリート式アーチダムである。ダムの流域は標高1000mを越える山々に囲まれる急峻な山地からなり、上流部及び中流部山地は河谷によって深く侵食され、谷壁は急峻な地形を呈しているが、山頂には平坦面が見られる。

3. GISによる素因の抽出及び定量化

3.1 分析単位

素因の分析単位は、各因子を総合的に評価する上で非常に重要であり、それぞれの因子の特性を適切に表現できるものである必要がある。そこで、境界が水域界となり隣接するものが互いに影響を及ぼさないこと、境界が頻繁に変更されないこと、地形量の特徴を評価するにはできるだけ面積の小さな単位が良いことなどの理由により、河川分岐点に対する河川流域を分析単位として使用する。

3.2 素因の抽出及び定量化

濁水の発生原因は基本的に自然の営力による浸食作用であり、浸食機構は様々な要因の作用及びそれらの相互作用に支配される。濁水発生に関連すると考えられる素因を、河川に関する水文的要因を表わすもの、山地や斜面などの地形的要因を現すもの、土壤や岩石などの地質的要因を表すもの、植生や土地被覆、崩壊地などの土地利用的要因を表すものに分類する。さらに、地形の急激な侵食として崩壊地、さらには、各種素因同士を組み合わせた素因、例えば特定の地質における崩壊面積といった複合的な素因も抽出し、表-1に示す23項目の素因を、GISを用いて定量化しその空間分布を把握した。

表-1 定量化した素因の分類

| Type | Mechanical factor |
|---------------------|---|
| Hydrological factor | Density of river, Curvature of river, Stream gradient |
| | Drainage area |
| Geographical factor | Angle of slope, Density of slope, Undulation of terrain |
| | Direction of slope, Number of slopes |
| Geological factor | Geological condition, Soil type |
| Land use factor | Density of road, Artificial forest area |
| | Land slide area, Non-vegetation area |
| Combined factor | Landslide area on chaotic beds |
| | Landslide area on Hyuga layer |
| | Landslide area on Moroduka layer |
| | Landslide area on Granite |
| | Chaotic beds area in drainage |
| | Hyuga layare area in drainage |
| | Moroduka layer area in drainage |
| | Granite area in drainage |

4. 懸濁物質量流出予測モデルの開発

懸濁物質の流出課程を把握するためには、現地にて実際の懸濁物質の流出状況を計測する必要がある。ここでは、現地調査に基づき、測定機器の配置及びデータ回収の可否を検討した上で、図-1に示す観測流域において、濁度と流量の常時観測を行う。しかし観測流域ごとに降雨が異なるため、単純に懸濁物質流出量の比較を行うだけでは、懸濁物質の流出特性を把握することができない。同一降雨状況下における懸濁物質流出特性を把握するためには、降雨に対する懸濁物質流出予測モデルを構築することが必要となる。そこで、タンクモデル¹⁾を使用して、図-2に示すように、流量予測モデルと濁度予測モデルを構築し、算出した予測流量と予測濁度を掛け合わせることによって、予測懸濁物質流出量を算出する。それぞれの観測流域における各予測モデルのパラメータは、実測値と予測値の標準偏差及び誤差平均が最も小さくなる値を設定する。このようにして開発したモデルに、出水時の状況に比較的近いと考えられる、降雨開始から雨量が漸増し、12時間後にピークが20mm/hとなるような典型的な山

形の降雨を24時間与え、48時間の総懸濁物質流出量を積分して算出することで、同一降雨状況下での各観測流域における懸濁物質の流出特性について比較検討を行う。その結果、図-3示すように、各流域において懸濁物質の流出挙動が異なっており、観測流域のH36やH28は降雨のピークと同じ時間に懸濁物質の流出がピークを示すのに対し、H24やH20などは懸濁物質流出のピークが降雨より2時間の遅れを生じるなど、それぞれの流域における懸濁物質の流出特性が把握できる。

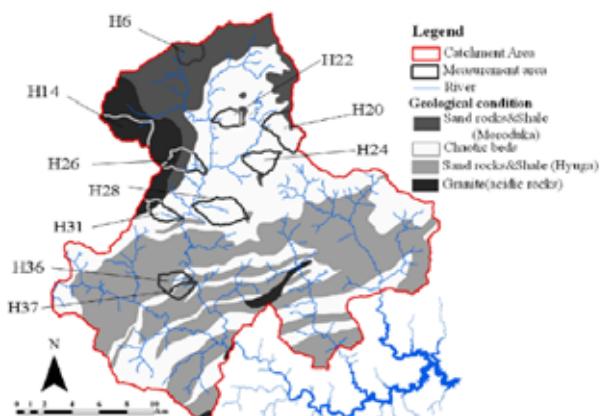


図-1 観測流域

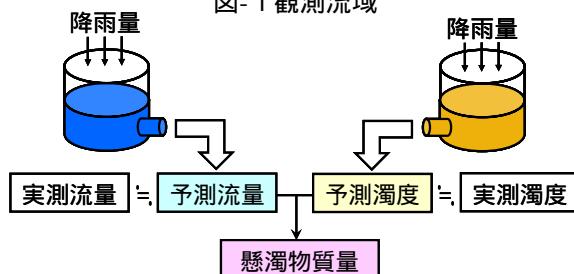


図-2 懸濁物質流出予測モデルの概念図

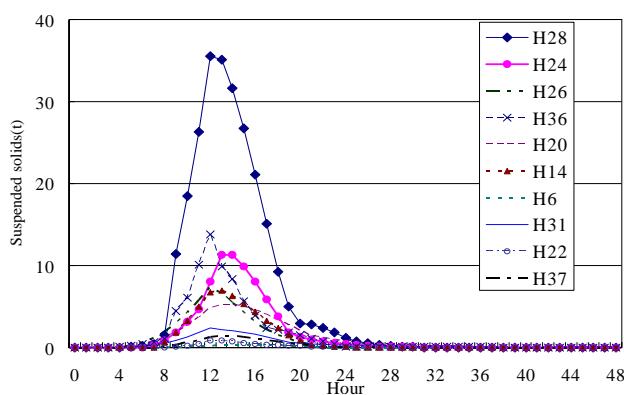


図-3 各流域における予測懸濁物質総流出量

5. 貯水池上流域全域における懸濁物質質量流出予測

5.1 多変量解析による素因の評価

濁水発生に影響を及ぼす素因を明らかにするため、前述した懸濁物質流出予測モデルにより算出した、48時間の総懸濁物質流出量を目的変数とした多変量解析を行う。まず、説明変数として重回帰分析に用いる量的素因、すなわち懸濁物質の流出に最も大きな影響を及ぼす素因を選出するため、表-1に示された23項目の素因とモデルより算出した48時間の予測懸濁物質総流出量との単相関分析を行う。その結果、表-2に示すように、20mm/hをピークとする山形降雨を与えた場合、流域内における日向層群面積が0.80と強い正の相関を示し、次いで斜面数、乱雑層における崩壊面積が、それぞれ0.69、0.65と比較的大きな正の相関を示した。単相関分析は、懸濁物質の総流出量との1対1の関係を表す指標であるため、濁水発生に対する影響の度合いを評価することはできない。そこで、これら量的素因と高い相関を有する素因を説明変数とした重回帰分析を行う。懸濁物質の総流出量との相関が高く、相互に独立な素因を選定して重回帰分析を行い、懸濁物質の総流出量と影響素因の関連性を表現できる1次線形式を求める。その結果、算出した懸濁物質の総流出量を目的変数とする次の重回帰式が得られた。

<20mm/h-山形降雨>

$$[\text{懸濁物質の総流出量 (t)}] = 0.096[\text{斜面数 (個)}] + 11.848[\text{流域内乱雑層崩壊面積}(\text{km}^2)] + 28.716[\text{流域内の日向層群面積}(\text{km}^2)] - 14.771 \quad (R^2 = 0.870)$$

この回帰式における決定係数 R^2 は 0.870 と高く、懸濁物質の総流出量を精度よく再現できているといえる。

表-2 単相関分析の結果

| mechanical factors | Hyuga layare area in drainage | Number of slopes | Landslide area on chaotic beds |
|-------------------------|-------------------------------|------------------|--------------------------------|
| correlation coefficient | 0.80 | 0.69 | 0.65 |

5.2 貯水地上流域全域への展開

得られた重回帰式を、貯水地上流域全域に適用することにより、懸濁物質の発生源となり得る箇所を特定すると共に、その箇所における懸濁物質の発生予測量を定量的に把握する。対象区域にピーク雨量 20 mm/h の山形降雨が 24 時間降った場合を仮定し、その時の懸濁物質の流出分布を予測する。その際、図-4 に示す素因を説明変数として適用する。

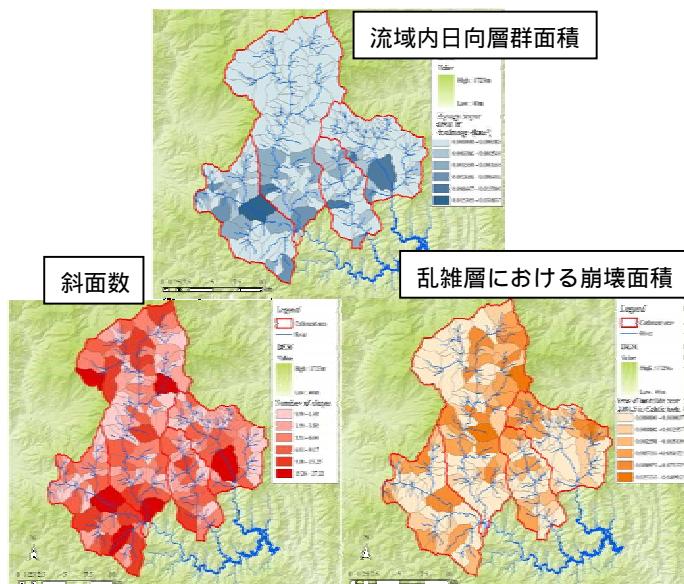


図-4 各素因の空間分布

また、各河川分岐点に対する河川流域からの予測懸濁物質流出量を算出した後、懸濁物質の発生予測量を河川に沿って、上流から下流に向けて累積した結果を図-5 に示す。貯水池に流入する 3 つの河川のうち、中央の一つ瀬川流域の本流に沿って極めて多くの懸濁物質が集約しており 24 時間の一雨で、6258t にも及ぶ懸濁物質が対象区域全域の流末から貯水池へ流入することが分かった。このように、影響素因と懸濁物質の流出量との関係を空間的に捉えることで、懸濁物質の発生源となり得る箇所を特定すると共に、その箇所における懸濁物質の発生予測量を定量的に把握することが可能となった。

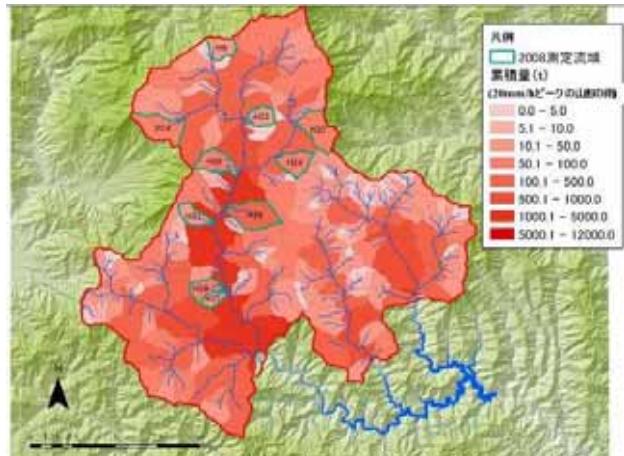


図-5 懸濁物質流出累積量

6.まとめ

本研究では、濁水の発生に影響を及ぼすと考えられる素因を抽出し、予測モデルより算出した懸濁物質総流出量と定量化した素因の関連性について定量的に分析した。その結果、日向層群面積及び乱雑層における崩壊面積、斜面数が懸濁物質の流出特性を決定付けていることが明らかとなった。次に、これらの影響素因と懸濁物質の流出量との線形性と影響素因の分布特性を空間的に捉えることで、懸濁物質の発生源となり得る箇所を特定し、各流域における懸濁物質の発生予測量および各河川に流入する累計量を定量的に把握し、濁水発生要因を評価することができた。

また、本研究では、典型的な 24 時間の山形降雨を与えて重回帰式を構築し、懸濁物質流出量を算出したが、今後は、降雨状況の違いが懸濁物質の流出挙動に与える影響についても検討し、より汎用的なモデルの構築を進めていく必要があると考える。

参考文献

- 1) 一ツ瀬川濁水長期化対策技術委員会 (2007): 一ツ瀬川濁水長期化対策技術検討報告書
- 2) 菅原正己 (1976): 流出解析法 共立出版