

九州におけるダム堆砂の実態と土砂流出特性

CHARACTERISTICS OF SEDIMENT OUTFLOW FROM MOUNTAINOUS AREA IN KYUSHU

橋本 晴行¹・永野 博之²

Haruyuki HASHIMOTO, Hiroyuki NAGANO

¹九州大学大学院工学研究院 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地)

E-mail: hasimoto@civil.kyushu-u.ac.jp

²八千代エンジニアリング株式会社 名古屋支店 河川・水工部 (〒460-0003 名古屋市中区錦 3-10-33)

E-mail: hr-nagano@yachiyo-eng.co.jp

Key Words: reservoir sedimentation, sediment discharge, bedload, suspended load, wash load

1. はじめに

貯水池計画においては計画堆砂量の評価が貯水池の規模に大きな影響を及ぼすため、計画堆砂量を適切に推定することが長年の重要な課題となっている。また、近年では総合的な土砂管理の観点から、貯水池内の堆砂量の適切な管理が課題となっているため、貯水池堆砂の実態を把握し、今後の流出土砂量を適切に評価することが求められている。

貯水池の堆砂量の評価法については(1)近傍の既設ダムの比堆砂量を用いる方法と(2)水文・水理学的な方法によるものと大別される。このうち、比堆砂量を用いる方法は、堆砂状況をマクロにとらえる上で有用な方法である¹⁾²⁾。一方、水文・水理学的な方法は、土砂生産現象や流送・堆積過程を考慮し、理論的に堆砂量を推定することを目標とするものであり、従来より流送土砂の予測式や貯水池の堆砂量の予測手法が、数多く提案されている³⁾。しかしながら、貯水池への土砂流出が流域の地形、地質および水文特性や河道の水理条件に複雑に依存しているため、一般的な評価法はいまだ確立されていない。加えて、従来の予測式や評価手法の多くは、地形・地質学的もしくは、水文学的な観点から導出されており、水理学的な知見に基づくものは少ない。

著者らは、従来より九州の築20年以上のダムについて堆砂量の調査を行い、水理学的な知見による流出土

砂量の評価について検討してきた⁴⁾。本研究はその延長上にあるもので、九州以外のダム堆砂資料も考慮しながら、河川流量が既知の場合におけるダム堆砂量の評価法を確立することを目的としたものである。

2. 比堆砂量から見たダム堆砂状況

比堆砂量が安定化するためには、経過年数として少なくとも15~20年を要する。従って、既設ダムの堆砂状況の事例として、築20年以上で九州にある総貯水容量約33万m³以上のダムを選んだ。各ダム地点での流域における表層地質は、花崗岩・砂岩・安山岩・玄武岩・シラス・千枚岩・片岩・片麻岩・凝灰岩・粘板岩の10種類に大別される。

図-1は、調査を行ったダムについて、比堆砂量を円の大きさで示した図である。図-1を概観するに、比堆砂量が大きい地域は、筑紫山系、宮崎県中部および鹿児島県南東部に分布し、比堆砂量が500m³/km²/year以上で示されているダムの多くが、これらの地域に位置する。これらの地域は、表層地質が花崗岩類・砂岩・シラスで構成されている。花崗岩類は風化されやすく、砂礫状のまさ土となり土砂の供給源となるため、比堆砂量が大きくなることが推測される。砂岩もまた、風化されやすいため、土砂の供給源となることが推測される。シラスは侵食作用を受けやすいため、土砂の供給源となることが推測されるが、図中の鹿児島県南東部のダムについては、

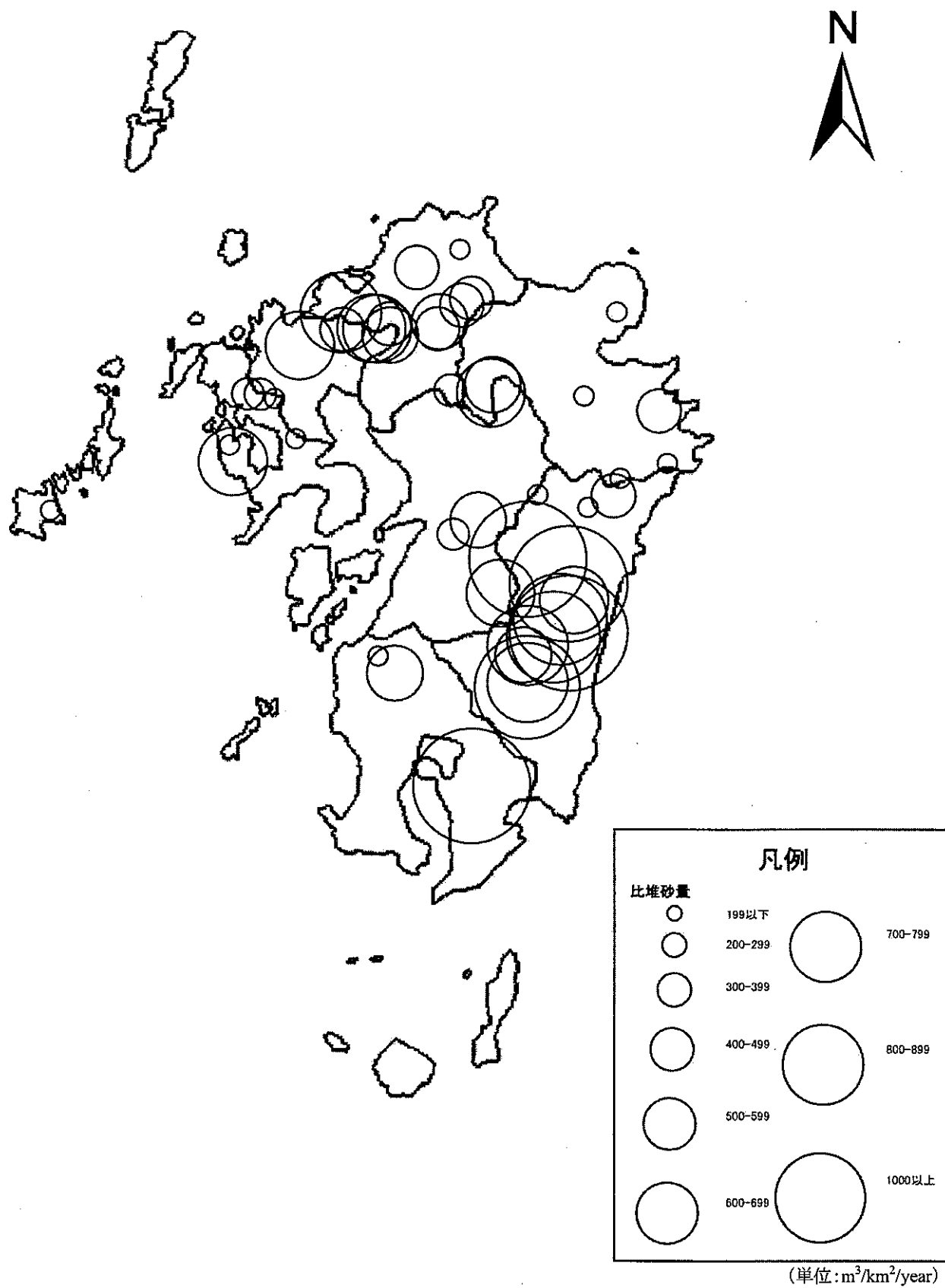


図-1. 九州全域における比堆砂量の実態

堆砂量の実測値に桜島降灰が直接貯水池に降り注いだが含まれていることが、当該ダムの堆砂量資料の中に示されているため、流砂機構外の要因が含まれていることに留意する必要がある。

また、比堆砂量の大きいダムが宮崎県中部に集中していることが分かる。この地域では、竣工直後から20年程度経過するまでの堆砂量が大きい。一般に、竣工後数年は建設時の工事の影響等により堆砂量が多くなることが言われている⁵⁾。このため、人為的な影響が含まれている可能性があるが、この地域は、他地域と比較して単位面積あたりの年総流入量が大きく、そのため多大な土砂流出となっていることも考えられる。

3. 比堆砂量による土砂流出特性の検討

比堆砂量は、貯水池内に堆砂した土砂量を流域面積と経過年数で除して求められ、湛水開始から調査時点までの堆砂状況を平均的に表したものである。従って、図-1に示したように、実績の土砂流出傾向を地域別にかつ視覚的に把握する場合に適している。一方、土砂流出現象は、様々な要素が複雑に絡み合っているため、流出特性の検討において、影響の高い要素を把握することも重要である。

芦田・奥村(1974)⁶⁾は、平均比流砂量(≒比堆砂量)と流域面積についての関係を示し、マクロ的に見れば、流域規模が大きくなるほど、平均比流砂量(≒比堆砂量)が減少することを示した。図-2、図-3は、本研究で調査したダムについて、流域面積と比堆砂量との関係を県別並びに表層地質別に示し、芦田・奥村(1974)の成果を重ねて表示したものである。

図-2、図-3において、実線(1)は日本で最も流出土砂量の多い黒部川・天竜川・大井川のデータの回帰直線であり、実線(2)～(3)は木曽川・吉野川などの構造線沿いの河川である。実線(4)～(5)は最も流出土砂量の少ない中国地方の河川のデータの回帰直線である⁶⁾。本研究での調査結果は、概ね(1)～(5)の間にプロットされ、調査結果全体で見た場合、流域規模による傾向がある程度出ていると考えられる。また、図-2から、福岡・佐賀・大分・長崎のダム堆砂状況は実線(4)～(5)の近傍にプロットされており、中国地方の堆砂状況に類似していることがわかる。一方、熊本・宮崎・鹿児島については、実線(3)～(4)の中間に位置していることがわかる。しかしながら、データのばらつきが大きく、明確な傾向は見られない。これらの結果については、竹村・鈴木(1999)⁵⁾においても同様の傾向が確認されている。

また、図-3では、表層地質と比堆砂量との間に明確な関係は見られなかった。

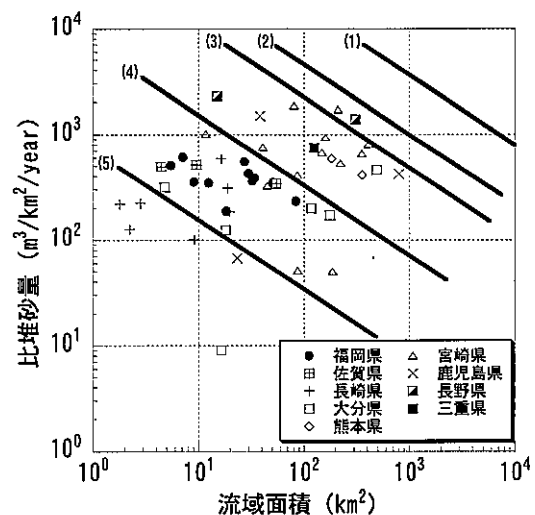


図-2. 流域面積と比堆砂量との関係(県別)
(実線は芦田・奥村(1974)による成果)

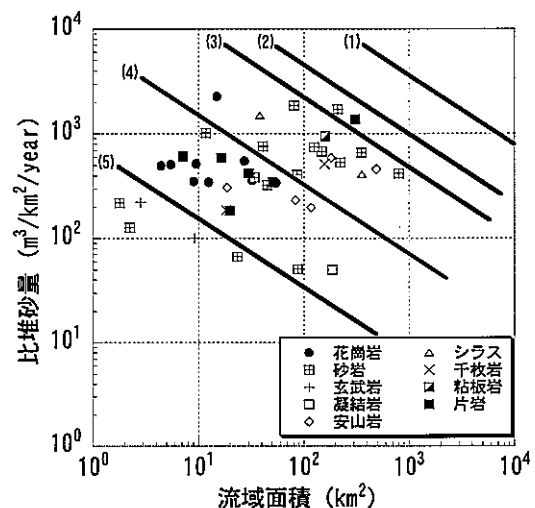


図-3. 流域面積と比堆砂量との関係(表層地質別)
(実線は芦田・奥村(1974)による成果)

これらのことから、比堆砂量による傾向の把握は、少なくとも県単位以上での広範な傾向を確認する上で有効であるが、土砂流出の要素を検討する上では、土砂流出要素を変数として考慮した手法を用いることが必要であることが示唆される。

4. 水文・水理学的評価手法の現状

貯水池内への堆砂現象は、流域内の土砂生産現象や流送・堆積過程の結果として現れるものであるため、理論的に堆砂量の評価を行う場合、水文・水理学的な観点から検討を行うことは、自然であると言える。水文・水理学的観点から検討を行う際、土砂生産から堆積までのいずれの過程に着目するかで、変数とする要素が変わる。従来の手法について大別すれば、(1)土砂生産過程に着目し、地形・地質的要素ならびに降雨特性に

よるもの⁷⁾, (2)流送・堆積過程に着目し, 流量によるものとに分類される⁸⁾. しかしながら, 従来の手法では, 地形・地質的要素および降雨特性による手法が多く, 流量と流出土砂量との関係から評価する手法の数は少ない上, 流量に着目する手法についても, 常時の流量と流出土砂量とを直接的に結びつけたものは少ない. 近年では, 計算機の発達により, 適当な流砂量式および計算モデルを用いて, 貯水池内の堆砂予測を行う研究もすすめられているが, 個別のダムへの予測が主であり, 広範な地域での堆砂実績を用いた検討は数少ない.

そこで, 次章では, 本研究で調査したダムについて, 貯水池への年総流入量と年堆砂量の実績値を用い, 水理学的知見に基づいて検討を行った.

5. 年堆砂量と年総流量との関係

掃流形式で河床砂が輸送される河川の流砂量を指数形で表すと

$$\frac{q_B}{\sqrt{sgd^3}} = K \left(\frac{u_*^2}{sgd} \right)^{1.5} \quad (1)$$

となる. ここで, 河川断面全体の流量を Q , 流砂量を Q_s とおくと, 式(1)は $Q_s = QKI_e/(s\varphi)$ と書き換えられる. ここに, φ :流速係数, K :定数, s :粒子水中比重, I_e :エネルギー勾配 $\equiv$ 河床勾配. この式を積分すると,

$$\int_0^{1\text{year}} Q_s dt = \int_0^{1\text{year}} Q \frac{K}{s\varphi} I_e dt \approx \frac{K}{s\varphi} I_e \int_0^{1\text{year}} Q dt \quad (2)$$

(単位: m^3/year)

従って, 年総流砂量($\equiv$ 年堆砂量)が年総流量($\equiv$ 年総流入量)に比例することが考えられる.

図-4 は, 調査を行ったダムにおける年堆砂量と年総流入量との関係を示したものである. ほぼ, 年堆砂量は年総流入量に関係することがわかり, 回帰直線を求めると

$$\int_0^{1\text{year}} Q_s dt = 1.02 \times 10^{-4} \left(\int_0^{1\text{year}} Q dt \right)^{1.03} \quad (3)$$

(単位: m^3/year)

を得る. データのばらつきは大きい, 年堆砂量は年総流入量にほぼ比例することがわかる.

図-4 ではデータのばらつきが大きいことから, 同程度の年総流入量であっても年堆砂量は必ずしも同じ値をとるとは限らない. これは, 式(2)の正確さとともに, 流域における降雨状況や土砂環境の相違, 年堆砂量の測定精度なども起因しているものと考えられる. したがって, データのばらつきを抑えるために, 年堆砂量と年総

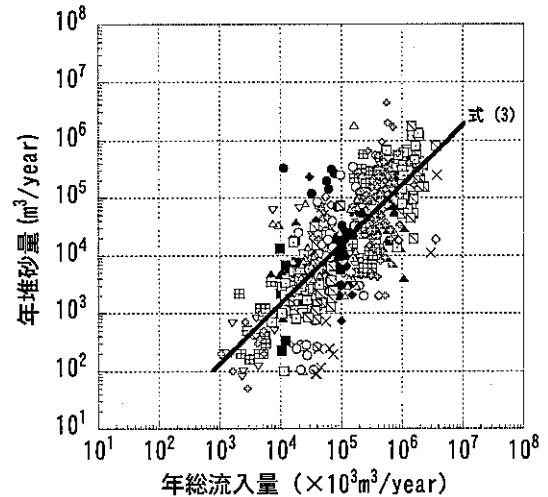


図-4. 年堆砂量と年総流入量の関係

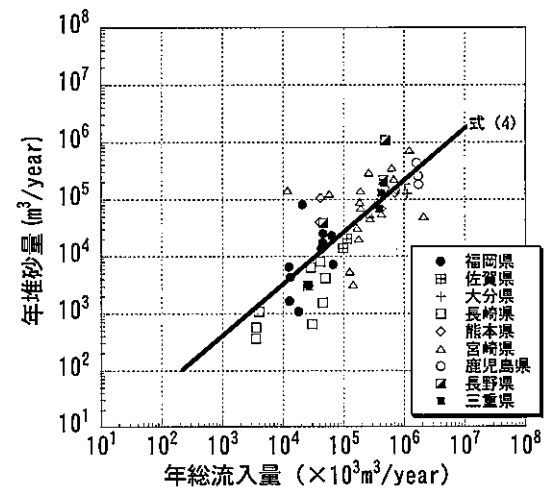


図-5. 平均化した年堆砂量と年総流入量の関係

流入量について10年ごとに平均値を求め, プロットしたものが図-5である. 図-4と同様に回帰直線を求めると

$$\int_0^{1\text{year}} Q_s dt = 6.13 \times 10^{-4} \left(\int_0^{1\text{year}} Q dt \right)^{0.92} \quad (4)$$

(単位: m^3/year)

を得る. 式(4)は式(3)とほぼ同様な式となり, 年堆砂量は年総流量に比例することが示唆される. これらはいずれも橋本ら⁹⁾が示した回帰式と同様な式となっている. 一方, 図-6は図-3の流域面積と比堆砂量の関係を10年ごとの平均値を用いて表したものである. この図から, 10年ごとの平均値を用いても比堆砂量のデータはばらつくことがわかり, 従って, 式(4)の有効性が確認される. 以上のことから, 貯水地計画の当該河川流量データが与えられれば年堆砂量が推定でき, 計画堆砂量について, 一定の評価ができるものと考えられる.

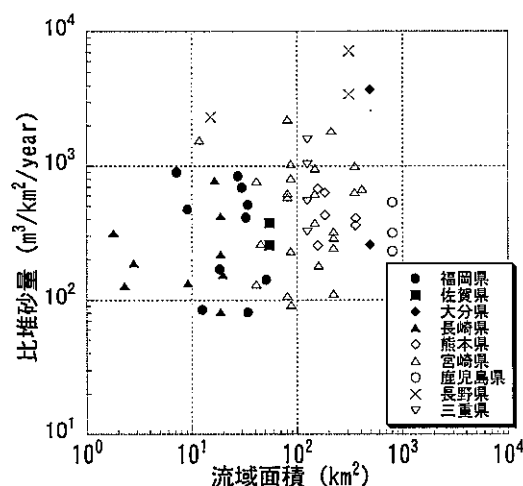


図-6. 流域面積と比堆砂量の関係
(10年ごとの平均を使用)

6. おわりに

本研究では、九州にある築20年以上のダムについて、堆砂状況の調査を行い、比堆砂量と流域の表層地質や河川流量との関係について考察を行った。その結果、調査対象ダムにおいて、鹿児島県南東部・宮崎県中部・筑紫山系のダムは比堆砂量が大きい傾向があった。比堆砂量と流域面積の関係から、福岡・佐賀・長崎・大分のダム堆砂状況は中国地方のそれに類似しており、熊本・宮崎・鹿児島のダム堆砂状況は構造線上の河川と中国地方のダム堆砂状況との中間に位置していた。また、水理学的考察から、年堆砂量は年総流入量にほぼ比例し、統一的な式で表されることがわかった。

しかしながら、流砂が生起するためには、限界掃流力以上の流量が必要であるが、上述の評価ではこの点についての考慮がなされていない。従って、限界掃流力を考慮した年堆砂量の評価を行うことが今後の課題と考えられる。

謝辞: 本研究に際しては、国土交通省九州地方整備局、水資源開発公団両筑平野用水管理所、同公団寺内ダム管理所、九州各県土木部および九州電力(株)土木部、三重県土木整備部、長野県建設部、国土交通省中部地方整備局にダム堆砂データ資料と流量データ資料を提供していただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 芦田和男・高橋保・道上正規: 河川の土砂災害と対策, 森北出版(株), 1983.

- 2) T. TAKAHASHI & H. NAKAGAWA: Sediment Yield in Japanese Reservoir Basins, Pr. of the 4th. Japan-Chinese Joint Seminar on Natural Hazard Mitigation Kyoto, Japan, 1997.
- 3) 竹林征三・廣瀬昌由・尾作悦男: ダム貯水池堆砂量の推定法についての試論—確率過程として堆砂現象をとらえる—, ダム工学, 1992. 12.
- 4) 橋本晴行・永野博之: 九州におけるダム堆砂の実態と流出土砂量の評価について, 平成14年度土砂災害に関するシンポジウム講演論文集, 2002.
- 5) 例えば, 竹村公太郎・鈴木徳行: 流出土砂量の要因と予測に関する研究, 土木学会論文集, No. 621/II-47, 1999. 5.
- 6) 芦田和男・奥村武信: ダム堆砂に関する研究, 京都大学防災研究所年報, 第17号B, 1974.
- 7) 例えば, 竹林征三・廣瀬昌由: 貯水池堆砂と降雨特性, 水工学論文集, 第40巻, 1996.
- 8) 例えば, 江崎一博: 貯水池堆砂に関する研究, 建設省土木研究所報告, 第129号, 1966.
- 9) 橋本晴行・渡辺勝利・全炳徳・上野賢仁・山中稔・笠井美青・野上昭治・緒方勤: リモートセンシングを用いた嘉瀬川ダム流域の被覆状況調査と流出土砂量の推定, 水工学論文集, 第45巻, 2001.

(2008. 5. 16 受付)