

流出土砂量の要因と予測に関する研究

竹村公太郎¹・鈴木徳行²

¹正会員工修 建設省近畿地方建設局長 (〒540-0008 大阪市中央区大手前 1-5-44)

²フェロー工博 名城大学理工学部教授 (〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501)

本研究は、流出土砂量に影響を与えていると考えられる要因の中から地形的因子として流域面積・起伏量・崩壊地面積に着目し、水文・気象的な因子として年最大流入量・年最大2日雨量に着目して、各々の要因と実績比堆砂量との関係について検討した。また、堆砂特性を把握するために累加堆砂量と経過年数についても検討を行った。これらの結果から将来の流出土砂量(堆砂量)を予測し得る堆砂推定式を求めた。

Key Words: reservoir sedimentation, types of sedimentation changes, duration of rainfall

1. はじめに

近年、経済社会の高度な発展と人口、産業の都市への集中に伴って水の需要が著しく増加してきており、これに伴って水資源の有限性、人類の生活・経済に不可欠である水の重要性、または水資源開発の重要性が再認識された。このためダム建設技術が進歩発展し、水資源の確保、クリーンエネルギーの開発、洪水調節など、治水・利水両面から、人類の生活・生産の場で多大な貢献をしてきた¹⁾。しかしその反面、ダムの建設に伴って、自然の水環境、特に河川環境を人為的に改変することによって、新たに多様な反応を示し、種々の問題が生じてきた。ダム建設によって停滞水域としての貯水池が造成されると、下流河川の流れは量的変化を受け、流送土砂の遮断、堆砂と相まって河床形態にも影響し、従前の自然河川とは異なった水域環境が形成されることである²⁾。中でも重要なことは本研究の対象とした堆砂問題である。ダムの堆砂現象は貯水用量を減少させ、農業用水をはじめ水力発電、都市用水、洪水調整等、本来の治水・利水目的である貯水機能を低下させたり、また、その堆砂進行に伴ってダム付属構造物の機能障害を誘起している^{3),4),5)}。そのため、ダムの堆砂の元となる流出土砂を防ぐために植林を行ったり、砂防ダムを建設しているが、より効果的に、より計画的に堆砂の防除を行うためには、流出土砂量の要因をあきらかにし、将来の流出土砂量の予測を

行うことが必要になってくる。そこで、本研究では流出土砂量の要因について解析して、マクロ的な堆砂式を提案することを目的として行った。

2. ダムの堆砂支配因子の選定

本研究を行うにあたり、重要なことはダムの堆砂に影響を及ぼす因子としてなにを選定するかである。ダムの堆砂はその供給源である流域面から見ると、流域の規模、地形・地質、地被条件、水文・気象条件、河道の水文学的特性、または人為的作用に支配される。すなわち、流出土砂を支配する情報因子はきわめて多く、しかも各因子は重相関的な影響を及ぼす^{6),7)}。このようなことから一般に流出土砂と各因子との関係についての適正な把握は困難とされているが、本研究では土砂を生産する因子として、地形的因子の流域面積・起伏量・崩壊率に着目し、土砂の生産を促す因子として年最大流入量・年最大2日雨量に着目することにした。

3. 解析方法

全国各地から収集した782のダムデータより、設定した条件をクリアしたダムの実績比堆砂量と流域面積・起伏量・崩壊地・年最大流入量・年最大2日雨量などの要因との関係について、また、ダムの累加堆砂量と経過年

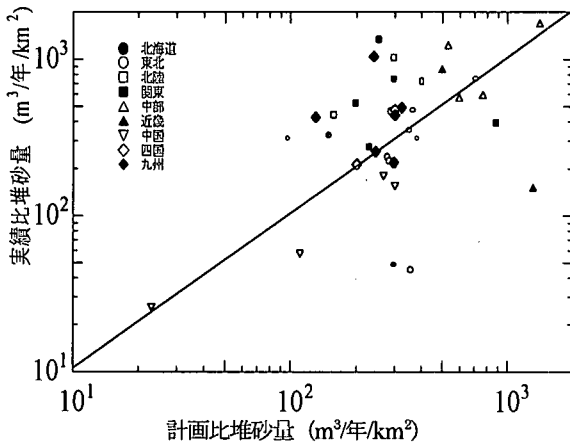


図-1 実績比堆砂量と計画比堆砂量の関係

数の関係によりタイプ別に分けダム堆砂の特性について調べた。そして、重回帰分析を行い適当と思われる堆砂推定式を求めた。

(1) 解析対象ダム

- ・各河川の最上流に位置し、間接流域を含まない
 - ・流域面積が 50km²以上であること
 - ・計画堆砂量が 0 m³でないこと
 - ・経過年数が 10 年以上であること
 - ・総貯水用量が 1000×10³m³以上であること
- 以上の条件をクリアしたダムを用いた。

4. 実績比堆砂量について

(1) 実績比堆砂量と計画比堆砂量

ダムの堆砂速度は流域における土砂の生産・流出条件、貯水池の規模、形態、立地条件、貯水池の操作・管理条件など極めて多くの因子に支配される^{8),9)}。そこで、全国的な立場から堆砂速度の比較を行うために、堆砂量 (m³) を経過年数 (年)・流域面積 (km²) で割った値がよく用いられる。これが実績比堆砂量 (m³/年/km²) である。既往堆砂実績から、地域別に堆砂量を求めておけば堆砂量を予測する上で便利である。この場合、流入土砂のほとんどが堆積すると考えられる規模の大きい貯水池の堆砂資料のみを用いると、流域の特性のみが現れることになり好都合である。また、貯水池の年間の堆砂量は洪水の頻度により年によりかなりの相違があり、竣工後数年は、建設中の工事の影響等が残っており、堆砂量が一般に多いことである。また、実績比堆砂量に対して、ダムの堆砂量を計画するとき用いられるものが計画比堆砂量である。計画比堆砂量を設定するとき、過去におけるダム堆砂実績より求められた公式を用いる方法、近傍のダム堆砂実績や計画値を参考として決定する

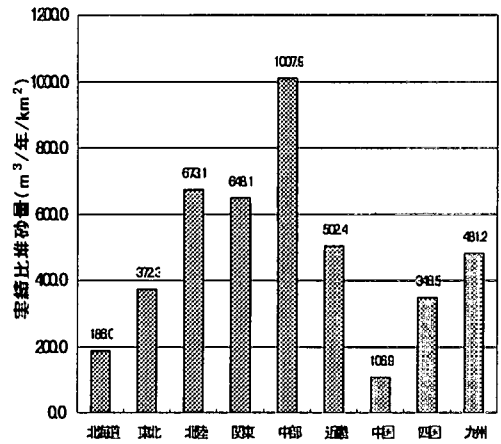


図-2 実績比堆砂量の地方別平均値

方法等がある。そして、この計画比堆砂量と実績比堆砂量を比較することにより、堆砂が計画通りに進行しているか否かの判断材料となる。図-1は、実績比堆砂量と計画比堆砂量の関係を示したが、図中のラインよりはるか上にあるダムは計画している堆砂量をかなり上回っており、ラインに近いダムは堆砂が計画通りであることがわかる。地方で見ると多少ばらついてはいるが中部・中国地方は比較的に計画通りに堆砂している。

(2) 実績比堆砂量の地方別平均値

図-2に示した実績比堆砂量の地方別平均値から中部地方が 1007.9 (m³/年/km²) と最も多く、中国地方が 106.9 (m³/年/km²) と最も少ない。流出土砂 (ダムの堆砂) は様々な因子が複雑に絡み合っていることに起因し、流出土砂量 (ダムの堆砂量) の大小もそれぞれの因子から受ける影響の大小に関係していると考えられる。

5. ダムの堆砂要因について

(1) 実績比堆砂量と流域面積の関係

各ダムの実績比堆砂量と流域面積のデータを両対数表にプロットし上限の線と下限の線を設定し、図-3に示したが、中部地方が上限の線、中国地方が下限の線付近にあり、東北地方や九州地方などではバラツキがあった。流域面積の大きさからある程度の傾向はできているが分散が大きく一つの直線的には表れなかった。実績比堆砂量と流域面積の傾向をより詳しく調べる為には地方別に多くのダムについて解析する必要がある。

(2) 起伏量と実績比堆砂量及び崩壊地について

a) 地方別各ダムの起伏分布

資料としたダム流域内の起伏についてより詳しく知るために、起伏量を求めるときに基本となる 1 メッシュの高度差を 1 ダム流域内でまとめて、起伏の分布個

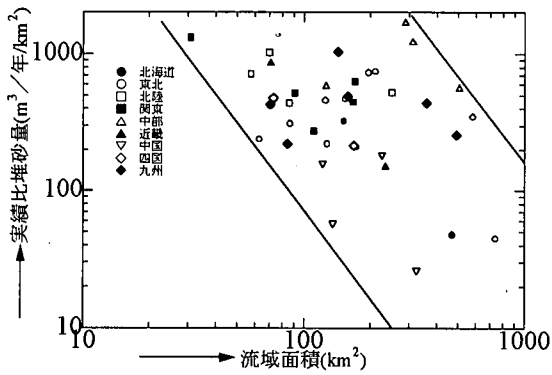


図-3 実績比堆砂量と流域面積との関係

数として示した。なお、起伏量は次のようにして求めた。山地の地形を規定する条件として、起伏量の持つ意義は大きく、また事実、日本の山地形の研究においても、起伏量に関するものは多い。

起伏量によって山地形を知る場合に、第一に問題になるのが起伏量の定義である。

起伏量の定義として

- (i) およそ 4km^2 から 16km^2 内の最高点と最低点の高度差
- (ii) 相隣る二つの地形要素間の高度差
- (iii) 切峰面と切谷面の高度差

以上、三つの方法が挙げられている。

このうち (iii) は、それぞれ仮定の地形面を復元して求められるものであるから、手間もかかるので、一般にはあまり使われていない。(ii) は段丘地形の研究でしばしば採用されているが、山地形の研究では、あまり採用されていない。そこで山地形の研究で最も広く利用され、また、本研究において、起伏量を求めるのに最適であると判断して (i) を用いることにした。その方法は、図-4 に示したが、一边を 2km から 4km の方眼に区切るとされていたので、一边を 2km で 4km^2 メッシュに切ったものと、一边を 4km で 16km^2 メッシュのものの2種類について定義の通り、最高点と最低点の高度差をとり、 2km 、 4km のそれぞれで、流域内の平均の起伏量を出した。具体的には、1メッシュあたりの高度差 $= X_1 - X_2$ 、1ダム流域内の起伏量 $=$ 各メッシュの高度差の合計 / メッシュ数とした。

まず、 $2\text{km} \times 2\text{km}$ における起伏の分布個数について、建設省の管轄区域割りによる地方別に比較してみると、北海道、東北、中国、四国地方では、1メッシュの高度差で 500m 以下の個数が多くみられた。特に中国地方の厚東川ダム、菅沢ダム、小瀬川ダム、河本ダムは、起伏の分布個数のほとんどが 500m 以下であった。このことから中国地方全体が比較的緩やかな地形であることが明らかである。逆に1メッシュの高度差で 501m 以

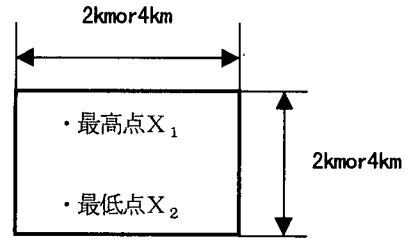


図-4

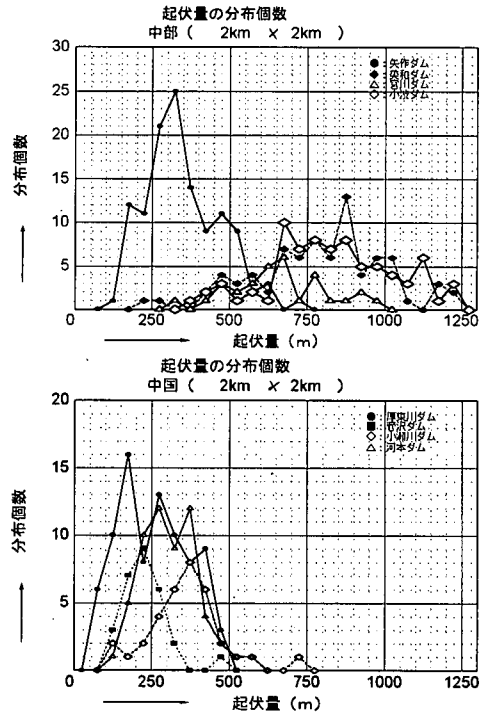


図-5 $2\text{km} \times 2\text{km}$ の起伏分布

上が多くみられた地方は、北陸、関東、中部地方であった。中でも中部地方の小渋ダム、美和ダムは全国的にも起伏の大きいダム流域であり、1メッシュあたり 1000m を越える高度差も多くみられたことから、流域内は急峻な地形が広がっていることがわかる。図-5より起伏の大きい中部地方と起伏の小さい中国地方を比べると差は歴然としており、これが流出土砂量の大小にも少なからず影響していると考えられる。

次に $4\text{km} \times 4\text{km}$ における起伏の分布個数についてみると、 $2\text{km} \times 2\text{km}$ と比べて1メッシュあたりの面積が広がっただけ、起伏の高度差も全体的に大きくなっている。地方別にみても、 $2\text{km} \times 2\text{km}$ で起伏の高度差が小さい中国地方の起伏の分布は $200\text{m} \sim 400\text{m}$ の間に集中していたのに対して $4\text{km} \times 4\text{km}$ では分布が $250\text{m} \sim 500\text{m}$ 前後に集中しており、高度差は多少大き

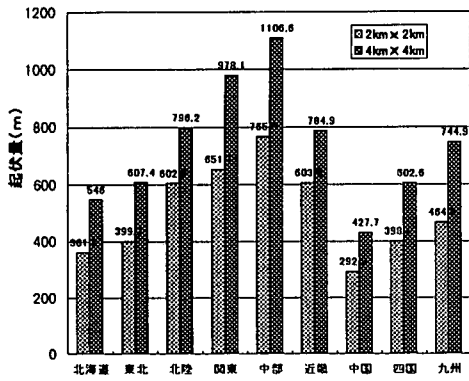


図-6 起伏量の地方別平均値

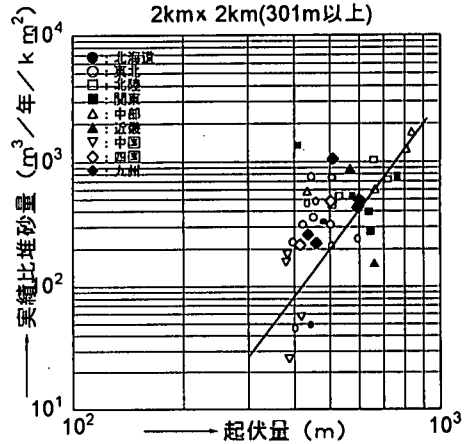


図-7 実績比堆砂量と起伏量の関係

い方に移動したものの1メッシュの高度差が1000m以上に達するのは1つもなく、低起伏の地形を裏付ける結果となった。逆に、1メッシュあたりの高度差1000m以上が増えた地方は中部、九州、関東であった。

2km x 2km と 4km x 4km の起伏分布を同じ地方で比べてみることに、中部地方のダム流域のように面積が広がると起伏の分布も大きくなる所があれば、中国地方のダム流域のように面積が広がっても起伏の分布が多少大きくなるのみの所もあることが明らかとなった。

b) 起伏量の地方別平均値

各ダムの起伏量 (2km x 2km, 4km x 4km とともに0m以上) を用いて、地方別平均を示した図-6をみると、急峻な高山地帯をもつ中部、関東、北陸地方は起伏量が大きく、逆に緩やかな隆起準平原が広く発達している中国地方は全国的に起伏量が小さい結果となった。また、2km x 2km に比べて4km x 4km の方が全体的に3割から5割程度起伏量が大きくなっている。

起伏量を求めるためのメッシュの大きさは、2km と 4km とで、傾向的に大差がなく、4km メッシュでも起伏量について、十分に比較ができ、また、起伏量を求めるための必要時間及び労力を考慮すると、4km メッシュで十分に比較が可能であると考えられる。

c) 実績比堆砂量と起伏量について

一般に、起伏量の小さい場所は、流出土砂量も小さいと考え、ダムの上流域の起伏量について、0m以上すべての平均値、301m以上の平均値、501m以上の平均値を2km x 2km, 4km x 4km について求めた。

この値と実績比堆砂量の関係を求めたが、図-7 に示した 2km x 2km メッシュで起伏量 301m以上の予測値を用いた場合が実績比堆砂量と最も良い相関関係であった。この関係を示すと $Y=1.7X-417.6$ となり、ここに Y: 実績比堆砂量, X: 起伏量で、相関係数は 0.7 であった。また、地方別に見ると、起伏量の大きい中部地方

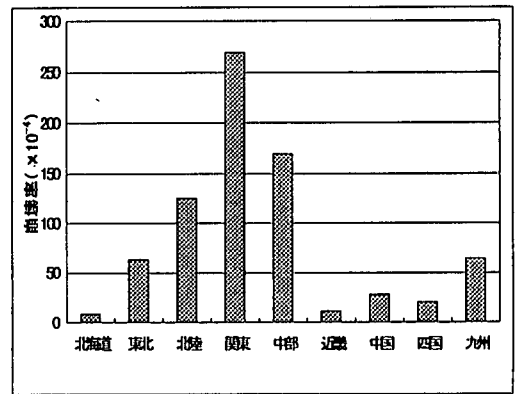


図-8 崩壊率の地方別平均値

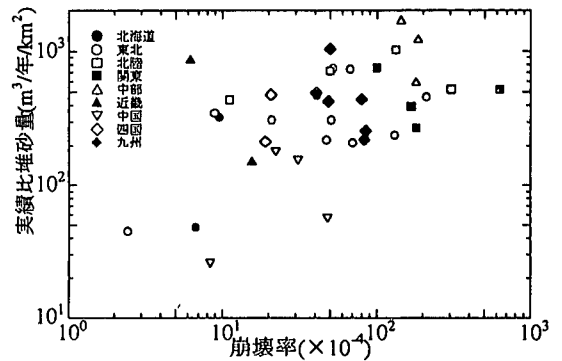


図-9 実績比堆砂量と崩壊率の関係

は、実績比堆砂量も大きく、起伏量の小さい中国地方は、実績比堆砂量も小さくなっている。

以上のように、実績比堆砂量と起伏量は比較的に関係があり、地方別に見ると、より相関関係が良く、マ

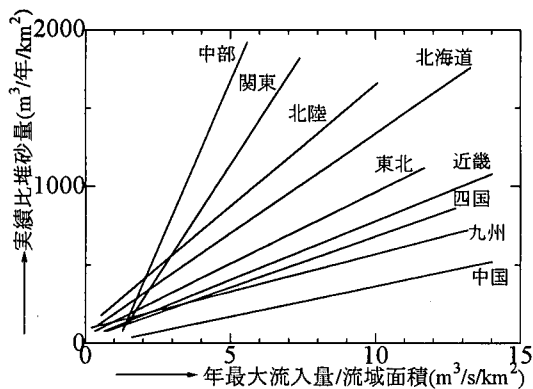


図-10 実績比堆砂量と年最大流入量

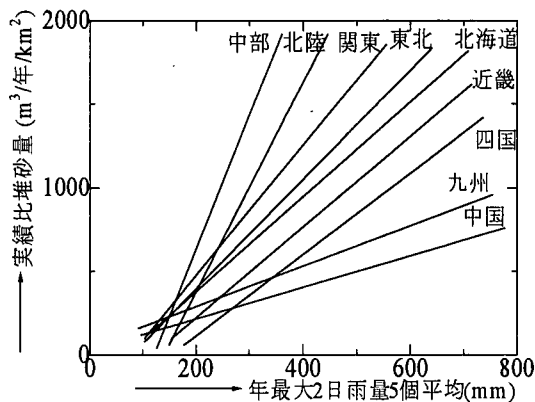


図-11 実績比堆砂量と年最大2日雨量の関係

クロ的な流出土砂量推算に利用できると思われる。

d) 崩壊率の地方別平均値

各ダム上流の崩壊地面積は1/5万の平面図から求め、実績比堆砂量と比較するため、崩壊地面積を流域面積で割った値を崩壊率として用いることにした。図-8に地方別平均値を示したが、崩壊率の一番大きい地方が関東地方であり、次に中部地方、北陸地方の順となっている。逆に崩壊率が一番小さい地方は北海道地方で、近畿、四国、中国地方も小さい値を示している。崩壊率の大きい関東、中部、北陸地方は実績比堆砂量も大きいことから、ある程度の相関関係があると考えられる。

e) 実績比堆砂量と崩壊率の関係について

地方別に実績比堆砂量と崩壊率の関係を図-9に示したが、比較的崩壊率の大きい関東地方、中部地方は実績比堆砂量も大きく、また、崩壊率の小さい中国、北海道地方は実績比堆砂量も小さい傾向が見られるが、東北地方、近畿地方はバラツキが大きい。このように、実績比堆砂量と崩壊率はある程度の相関関係があるが、変動幅が大きい。この原因は、1/5万の平面図に崩壊地と図示されていてもダム建設前に崩壊土砂が流出してしまい、崩壊地があっても土砂の流出しない場所もあるためと考えられる。

(3) 実績比堆砂量と年最大流入量の関係について

年最大流入量は、実績比堆砂量に最も関係が大きいと考えられるので、この2つの関係について検討した¹⁰⁾。

実績比堆砂量は単位面積当たりの値であるので、年最大流入量 (m^3/s) を用いる場合は流域面積 (km^2) で割った値 ($m^3/s/km^2$) を用いた。また、この値は、年最大流入量を総平均した値、上位3個を平均した値、上位5個を平均した値と実績比堆砂量との関係を、各ダムごとにプロットした。その結果いずれも同程度の相関関係であった。図-10は実績比堆砂量と年最大流入量上位5個平均/流域面積の図に地域別の近似線で示

したが、この図から、同程度の年最大流入量でも中部・関東地方は実績比堆砂量が多く、逆に中国地方が少ないことが明らかである。

(4) 実績比堆砂量と年最大2日雨量について

降雨量と実績比堆砂量の関係について数時間雨量、総雨量等が関係するものと考えられる。しかし、一般に長期間の時間雨量が少ないので、ここでは2日雨量と実績比堆砂量について検討した。実績比堆砂量と年最大2日雨量を総平均した値、または上位3個を平均した値、上位5個を平均した値をとり、実績比堆砂量との関係について、各ダムごとにプロットして、北海道から九州地方まで地方別に分け近似線を引いた。

この結果から、年最大流入量と同様に多少のバラツキが生じたが、実績比堆砂量と年最大2日雨量の全体平均、上位3個平均、上位5個平均との関係ではいずれも同程度の相関関係であることが明らかとなった。図-11は実績比堆砂量と年最大2日雨量上位5個平均した値の関係について、北海道から九州地方まで地域別の近似線を引いたものだが、この図から同程度の年最大2日雨量でも、中部・北陸地方は実績比堆砂量が多く、逆に、中国・九州地方は少ない結果となった。

6. 累加堆砂量と経過年数によるタイプ分けについて

流入土砂量の多少により、累加堆砂量が経年変化によって如何に変化するか調べた。その方法は、全国各地の貯水池における堆砂量の経年変化を整理し、堆砂の進行などの変化状況を調べて、各ダムの累加堆砂量と経年変化の関係を図に表してみると、図-12のようにA, B, C, C', D, E, Fの7つのタイプに分けることができた¹¹⁾。A, B, C, C', D, E, Fの各タイプのダムを地方別にまとめたのが表-1である。この内、CタイプとC'タイプ、Eタイ

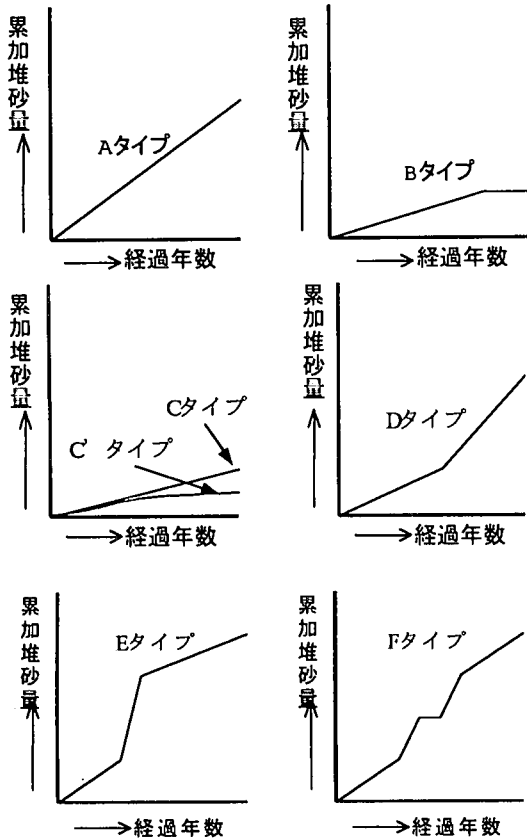


図-12 累加堆砂量と経過年数のタイプ分け

ブとFタイプは、形状が似通っていることから表-2のように C+C', E+Fとした。

各タイプが生ずる原因について

A: ダムの上流域で流出土砂が多く、建設時から現在まで同様の流出土砂となっている。

B: 最近になって流出土砂が減少している。この原因は、砂防工事、山腹の自然復旧、少降雨、貯水池からの排砂などによるものと考えられる。

C: ダムの上流域で流出土砂が少なく、建設時から現在まで同程度の流出土砂となっている。

C': ダムの上流域で流出土砂量が極めて少ない。

D: ダム建設後、中期から流出土砂が増加している。この原因は豪雨により崩壊が増加し、流出土砂が増加したものと考えられる。

E・F: ダム建設後、大規模な集中豪雨により山腹の崩壊が起こり流出土砂が増加し、その後、集中豪雨が発生せず少降雨期になったものと考えられる。E・F両タイプが19ダムと比較的に多くなっている。

以上のように、流出土砂が非常に少ないC・C'タイプが113ダムと最も多く、次いで、最近流出土砂が減少しているB・E・Fタイプが30ダムと多い。これは最近、

表-1 地方別のタイプ分け

タイプ 地方	A	B	C	C'	D	E	F	合計
北海道	2	2	6	4	0	1	1	16
東北	9	5	6	5	0	0	1	26
関東	4	1	2	10	0	6	2	25
北陸	2	2	10	11	0	0	0	25
中部	1	0	2	0	0	3	0	6
近畿	1	1	1	11	0	1	0	14
中国	1	0	4	14	0	0	0	19
四国	3	0	3	6	0	2	0	14
九州	1	0	4	14	1	2	0	23
合計	24	11	38	75	1	15	4	168

表-2 地方別のタイプ分け

タイプ 地方	A	B	C+C'	D	E+F	合計
北海道	2	2	10	0	2	16
東北	9	5	11	0	1	26
関東	4	1	12	0	8	25
北陸	2	2	21	0	0	25
中部	1	0	2	0	3	6
近畿	1	1	12	0	1	15
中国	1	0	18	0	0	19
四国	3	0	9	0	2	14
九州	1	0	18	1	2	22
合計	24	11	113	1	19	168

少降雨期といわれ豪雨が少ないこと、砂防工事森林伐採が少ないことなどのためと思われる。

7. ダム堆砂量の予測

(1) 予測方法

ダム堆砂量の予測式は、多く発表されている。物理モデルに基づく江崎の式¹⁰⁾は、流入量、貯水池末端付近の河床勾配および崩壊地面積の3つの因子により堆砂量を推定するものであるが、より多くの因子を含めることが考えられる。そこで、本研究では次のように行った。

予測方法はダム堆砂(流出土砂量)に影響を与えるとされる流域面積、起伏量、崩壊率、年最大流入量、年最大2日雨量を説明変数とし、実績比堆砂量を目的変数としたモデルから重回帰分析を行い、マクロ的な堆砂推定式を求めた。まずモデル式を考えると、

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5 \quad (1)$$

y: 実績比堆砂量 β_0 : 定数項 $\beta_1 x_1$: 流域面積 $\beta_2 x_2$: 崩壊率 $\beta_3 x_3$: 起伏量 $\beta_4 x_4$: 年最大流入量 $\beta_5 x_5$: 年最大2日雨量

となる^{12),13),14),15)}。式(1)の起伏量は2km(0m以上, 301m以上, 501m以上)と4km(0m以上, 301m以上, 501m以上)があり、年最大流入量及び年最大2日雨量は総平均・上位3個平均・上位5個平均があることから54通りの式が考えられた。その中で最も適している式を堆砂推定式とした。

(2) 予測結果

54通りの重回帰分析を行った結果、重相関係数は全体

表-3 理論値と実測値

グラフ作成データ		グラフ作成データ	
理論値	実測値	理論値	実測値
134.40	184.00	371.86	734.80
138.55	221.10	432.04	478.20
146.02	214.80	494.44	522.50
186.72	26.40	532.42	389.60
206.99	45.00	579.54	518.00
215.08	311.00	591.80	1020.80
221.05	159.00	602.40	442.00
228.15	311.00	622.39	270.80
243.71	349.30	626.55	855.00
244.99	58.00	630.67	238.10
257.47	469.50	635.24	427.00
257.96	459.00	647.20	149.80
271.29	746.30	677.14	494.00
275.49	48.00	682.19	712.00
301.84	258.00	693.23	584.00
305.51	437.00	943.35	749.20
321.47	221.00	955.09	1045.00
328.82	324.00	1082.58	1214.00
350.69	210.00	1132.86	1672.00

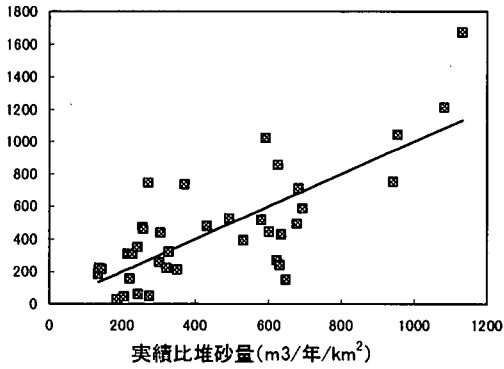


図-13 実測値と予測値

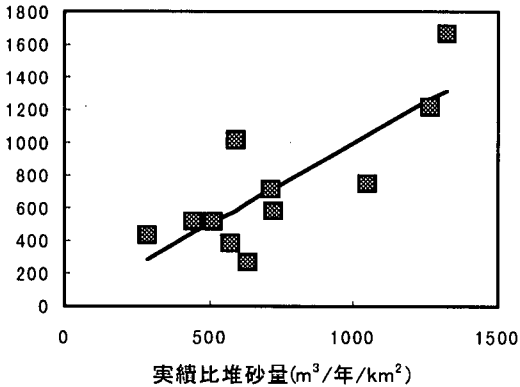


図-14 実測値と予測値

的にほぼ0.7~0.8を示し、中でも起伏量2km(301m以上)、平均年最大流入量、年最大2日雨量上位3個を用いて求めた重相関係数0.76のもの式(2)と、起伏量2km(501m以上)、平均年最大流入量、年最大2日雨量上位3個を用いて求めた重相関係数0.78のもの式(3)が良い結果を示した。

$$y = -677.65 + 0.02x_1 + 0.57x_2 + 1.74x_3 - 83.24x_4 + 1.11x_5 \quad (2)$$

$$y = -1613.61 - 0.13x_1 + 0.38x_2 + 2.98x_3 - 56.41x_4 + 0.94x_5 \quad (3)$$

x_1 : 流域面積 x_2 : 崩壊率 x_3 : 起伏量

x_4 : 平均最大流入量/流域面積 x_5 : 最大2日雨量3個

この2つの式からどちらの式を堆砂推定式とするか検討したが、両式とも重相関係数に大差がなく、式(3)は2kmメッシュで起伏量を求め、起伏量の500m以下は含まれないため、データ数が少なくなる点を考慮し式(2)を堆砂量推定式とした。ここで、式(2)を用いて求めた理論値と実測値についての検討を行い、その結果を表-3と図-13に示した。

しかし、これは全ダムの解析結果であるので、実績比堆砂量が400m³/year/km²以下では、実測値は予測値に近づいているがバラツキがある。そこで、各堆砂支配因子から受ける影響、または累加堆砂量と経過年数の特性は地方により違うことから実績比堆砂量の多い地方のダムと実績比堆砂量の少ない地方のダムについて別の推定式を考えることとした。実績比堆砂量の多い中部・関東・北陸地方について重回帰分析を行った結果、全体での結果より重相関係数が0.81と良くなっており、重回帰式としての信頼度も向上している。この実績比堆砂量の多い地方での堆砂推定式は

$$y = -937.83 + 0.63x_1 + 0.34x_2 + 2.1x_3 - 83.13x_4 + 1.11x_5 \quad (4)$$

となり、また、実績比堆砂量の少ない中国・北海道・四国地方においても同様に全体の結果よりも良くなっており、重相関係数は0.95を示し、堆砂推定式は

$$y = 128.66 - 1.11x_1 - 4.81x_2 + 1.26x_3 - 16.07x_4 - 0.54x_5 \quad (5)$$

となった。

東北、近畿、九州について同様に推算した結果、重相関係数は0.71となり、推算式は

$$y = 865.73 - 0.27x_1 - 0.65x_2 - 0.87x_3 - 143.72x_4 + 1.33x_5 \quad (6)$$

となった。そして、式(4)と式(5)、式(6)より求めた実測値の関係は図-14と図-15、図-16に示した。

なお、関連すると考えられる因子を削除した場合には、次のようになった。年最大流入量または年最大2日雨量の一方を除いた場合の重相関係数は、0.32~0.95で、これら崩壊率を除いた場合の重相関係数は、0.20~0.91と低い値を示している。この結果から、すべての因子を

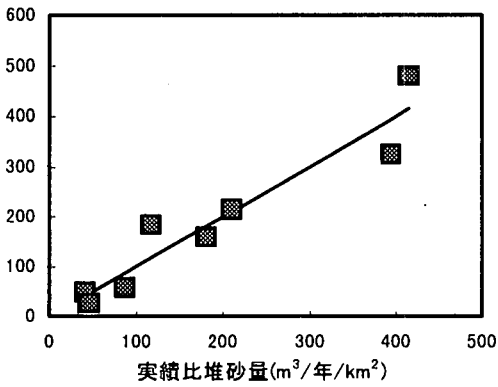


図-15 実測値と予測値

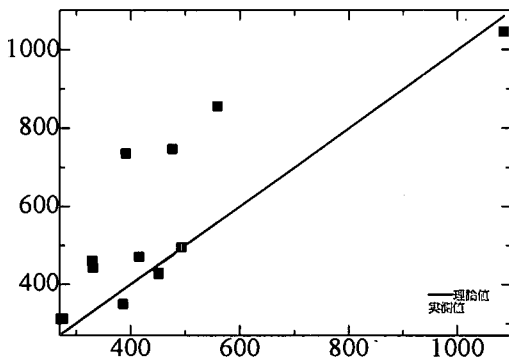


図-16 実測値と予測値

基に推算することが良いと考えられる。

8. 結論

流出土砂量の要因と流出土砂量の予測について検討し、次のような結論が得られた。

(1) 実績比堆砂量は、地方により異なり中部・関東・北陸地方が多く、中国・四国・北海道地方が少なくなっている。

(2) 実績比堆砂量と流域面積の関係では、流域面積が大きいほど実績比堆砂量が小さくなる傾向がある。しかし、バラツキが大きくなっている。

(3) 実績比堆砂量と起伏量の関係では、2km×2kmメッシュで、起伏量が301m以上、501m以上が良い相関関係を示している。

(4) 実績比堆砂量と崩壊率の関係では、中部・関東・中国地方がある程度の相関関係を示したが、その他の地方ではバラツキが大きくなっている。

(5) 実績比堆砂量と年最大流入量の関係では、地方別に異なり、同程度の年最大流量であれば、中部・関東地方の実績比堆砂量が多く、中国・九州地方は小さな値と

なっている。

(6) 実績比堆砂量と年最大2日雨量の関係でも、地方別に異なり、同程度の年最大2日雨量であれば、中部・北陸地方の実績比堆砂量が多く、中国・九州地方は小さな値となっている。

(7) 累加堆砂量と経過年数の関係から堆砂の進行状況をタイプ分けするとA～Fの6タイプに分けられる。

(8) 流出土砂量の推算は、流域面積、崩壊率、起伏量、年最大流入量、年最大2日雨量などから次式により推算できる。なお、定数は地方別により変化している。

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5$$

参考文献

- 1) 吉良八郎：ダムの堆砂とその防除，森北出版，pp.11, 17-281, 1982.
- 2) 多目的ダムの建設：財団法人ダム技術センター，財団法人全国建設研修センター，pp.312, 1987.
- 3) 中村靖治：ダムのできるまでⅠ，山海堂，pp.44-46, 1988.
- 4) 芦田和男，高橋保，道上正道：河川の土砂災害とその防除，森北出版，pp.191-196, 1983
- 5) 吉川秀夫：流砂の水理学，丸善株式会社，1985.
- 6) ダム環境問題調査分科会：ダム環境問題の現状と展望，大ダム，1980.
- 7) 宮崎洋三，大西外明：堆砂と降雨の関係についての考察，土木学会論文集，No.533/Ⅱ-34, pp.31-40, 1996.
- 8) 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，ダム工学論文 No.8, 1992.
- 9) 中村二郎：砂防・地滑り防止、急傾斜地崩壊防止施工法，山海堂，pp.203, 1978.
- 10) 宮崎洋三，大西外明：貯水池の堆砂実績から見た流域の土砂流出についての研究，水文・水資源学会誌，pp.22-30, 1998.
- 11) 宮崎洋三，大西外明：貯水池堆砂量の経年変化と比堆砂量に関する考察，土木学会論文集，No.497/Ⅱ-28, pp.81-90, 1994.
- 12) 奥野忠一：続多変量解析法，日科技連出版社，pp.17-27, 239-247, 1976.
- 13) 吉岡茂，千葉芳男，杉山高一：応用多変量解析，サンヨー，pp.18-25, 1986.
- 14) 竹内哲，柳井晴夫：多変量解析の基礎，東洋経済新報社，pp.31-35, 66-81, 1972.
- 15) 吉澤正，芳賀敏郎：多変量解析事例集，日科技連出版社，pp.1-17, 1992.
- 16) 本島浩孝，鈴木徳行，白村 暁：近年のダムの堆砂に関する研究，土木学会第 51 回年次学術講演会講演概要集，pp.586-587, 1996.
- 17) 本島浩孝，鈴木徳行，白村 暁：起伏量・崩壊地・地質と流出土砂量に関する研究，土木学会第 52 回年次学術講

会講演概要集, pp.452-453, 1997.

- 18) 江崎一博：貯水池の堆砂量の予測に関する研究, 土木学会論文報告集第 262 号, 1977 年 6 月.

(1998. 5. 11 受付)

STUDY ON PREDICTION AND FACTORS OF RUN OFF SEDIMENT YIELD

Koutarou TAKEMURA and Noriyuki SUZUKI

In this study, we investigated the relationship between the geographical and hydrologic factors and amount of deposit sand in many dams. The geographical factors include drainage area, value of undulation and are a of landslides which influence the amount of flow-out sand. The hydrologic factors include an annual maximum amount of in-flow and tow day rain fall of maximum year. We also investigated the total amount of deposit sand and lapsing years to obtain the characteristic of depositing sand. From these results. We obtained the equation estimating the amount of deposit sand.