

貯水池堆砂と降雨特性

Sedimentation in Reservoirs and Characteristic of Rainfall

竹林征三*、廣瀬昌由**

By Seizo TAKEBAYASHI and Masayoshi HIROSE

Estimation of reservoir sedimentation is one of the most important subject for damplanning and management. Former researchers have already proposed a few decades of formulas in order to calculate the sedimentation. However, there is no formula considering on the annual change of rain fall. The authors formulated that the rainfall has the greatest influence on the sedimentation. They have also been developing a new formula including the annual change of the rainfall.

In this paper, the authors introduce the new formula and show the result of estimaing the sedimentation.

Keyword,dam reservoir sedimentation, rainfall

1. はじめに

貯水池計画管理において計画堆砂量をどのように評価するかは重要な課題である。これまで、多くの先人達により、数10の計画堆砂量推定公式が提案されてきている。それらの内容についてのレビューは文献^{1) 2) 3)}にまとめている。それらは年平均堆砂量実績の平均値を堆砂の要因となる各種の因子との分析により評価しようとするものがほとんどである。したがって堆砂現象の最大の誘因である降雨特性の変動にまで着目している論文はほとんどない。筆者らは前期降雨を考慮した雨量特性として実効降雨により堆砂の経年変動を評価推定しようとする降雨特性の変動に着目したフレームを構築し、研究を実施している。本報告は報告^{1) 2) 3) 4) 5)}を発展させ概括するものである。

2. 年堆砂量の経年変化と確率表現

図 1に代表的なダム、堆砂量の経年変化を示す。玉川ダムでは、1976年、笹生川ダムでは、1965年の堆砂量がそれぞれ他の年の平均の約30倍、約20倍を観測している。また浜田ダムでは、後半の10年間平均の年堆砂量が前半の年平均堆砂量の約2倍になっている。新しく計画されるダムで計画堆砂量の算出するには、近傍の既往のダムの堆砂実績を参考に行っている場合が多い。そこで、図-1に示すように特に変動の大きい既存ダムの

* フェロー会員 建設省土木研究所 環境部長
(〒305、茨城県つくば市旭一番地)

** 正会員 建設省河川局河川環境課 河川環境対策係長
(〒100、東京都千代田区霞ヶ関2-1-3)

実績堆砂量を適切に評価する事が必要になる。このような変動を適切に評価する手段として、年変動を確率的に処理する方法を試みてきており^{1) 2) 3)}、年堆砂量は、対数正規分布と比較的整合性が良いことを確認している。図-2に、図-1に示すダム年の年堆砂量を対数正規確率分布紙にプロットした結果を示すが、玉川ダムの1976年の堆砂量は100年第1位を上回る確率に相当し、笹生川ダムの1965年は1,000年第1位以上の規模になる。

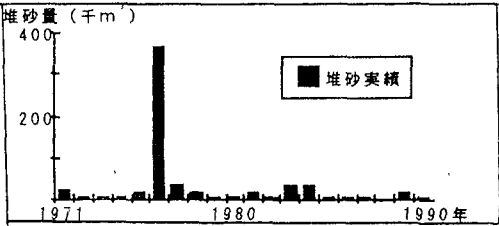


図-1の a. 堆砂量の経年変化事例(玉川ダム)

貯水池堆砂量を規定する要因を、端野等⁴⁾は、地形・地質、標高等のもとと流域が保持している要因である素因と、堆砂現象を引き起こす水象気象特性等の誘因に分けている。これらに洪水吐の位置や貯水池運用方法等も含めて表-1に改めて整理して示す。

玉川ダムや笹生川ダムでは、ダム地点の連続日雨量(日雨量が連続して1mm以上であった日の合計雨量)を分析すると、異常堆砂があった年に、既往最大値を記録している。そこで、本報では年変動を説明する因子として、誘因の内でも降雨を中心に考える。ただし、大規模な土砂生産をもたらすと思われる地震による地滑りや宅地の造成等大規模な人為改変の流域での有無については確認している。

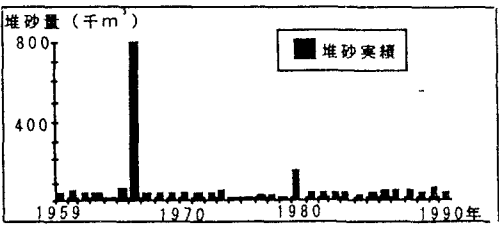


図-1の b. 堆砂量の経年変化事例(笹生川ダム)

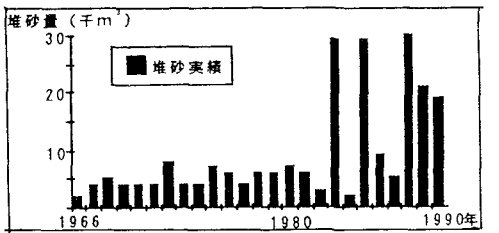


図-1の c. 堆砂量野経年変化事例(浜田ダム)

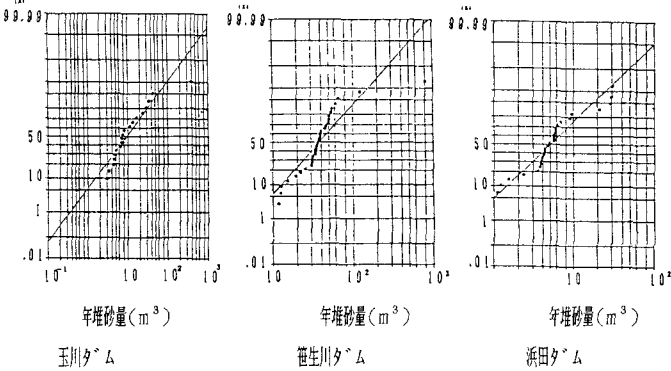


図-2 年堆砂量の経年変化対数正規確率表示

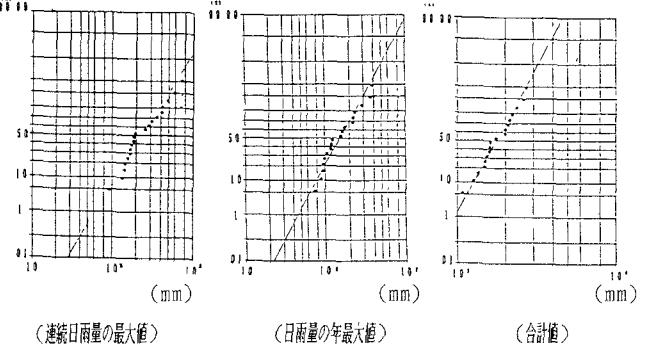


図-3 玉川ダム降雨特性確率表示

玉川ダムと笹生川ダムの雨のデータを更に詳しく分析すると、例えば玉川ダムの1976年や、笹生川ダムの1965年の値は、それぞれ連続日雨量では現在までの観測史上最大値を観測しておりさらに、笹生川ダムでは、日雨量、1時間雨量さらに3時間雨量で評価しても過去最大である。この豪雨により流域で大規模な崩壊や土砂

表-1 貯水池の堆砂の原因	
A 素因と数として考えられるもの	地形特性
	流域特性
	流域傾斜
	流域形状
B 誘因と数として考えられるもの	水象・気象特性
	降雨特性
	降雪特性
	地震等大規模な地質・地質特性

崩れが起こった事が報告されている。そこで、このような豪雨の生起確率を評価した。図-3に、玉川ダムを対象に連続日雨量の年最大値、日雨量の年最大値と年合計値を対数正規確率紙にプロットしたものを示す。図-2の玉川ダム等では、年堆砂量で評価するとそれぞれ最大値を記録した年の、対数正規分布への整合性は良くなかったか、3つの降雨特性は、対数正規分布に比較的よく一致している。これは、それぞれ年堆砂量の既往最大値の堆砂を引き起こしたと思われる雨は、年堆砂量を確率評価した場合よりもその生起確率が大きく評価される事を意味している。ただし、笹生川ダムについては、降雨で評価しても1965年の異常性は高い。これらを客観的に評価するため、表-2には、角屋の異常値の算出法を用いた場合、危険率5%に対する棄却限界と異常率を示す。玉川ダムでは、年堆砂量は異常値と判断されるが、それを引き起こした誘因としての雨は、異常値と判断されない。また、この表により笹生川ダムの1965年の異常性が良くわかる。

表 2 異常値の算出

	玉川ダム	笹生川ダム
堆 砂 量	0.03 %	< 0.01 %
連続日雨量	2.0 %	< 0.1 %
棄却限界 (5%)	0.25 %	0.16 %

表-3 年堆砂量と降雨特性による分類

パターンの分類	ダム数
①堆砂量も降雨量も異常。	1
②堆砂量が異常で降雨量が異常でない。	6
③堆砂量が異常でなくて、降雨量が異常	0
④堆砂量も降雨量も異常でない。	61

堆砂量を確率的に捉える事の必要性は、室田等⁶⁾により指摘されてきているが、ここまでの検討より、年堆砂量をそのまま整合性のよい確率分布により想定評価するよりも、主な誘因と考えられる降雨特性を用いた方がより妥当性が高いと思われる。そこで、この観点から、堆砂データを見ると、表-3のような分類が可能である。ここで、異常とは最大値が対数正規分布で危険率5%で棄却されるものとしている。降雨量の異常の判定は、連続日雨量年最大値、日雨量年最大値と年降雨量のいずれかが異常であった場合を定義して

この観点から、全国の68ダムを評価するとその数の内訳は表-3に示すようになる。ここで対象としたダムは、原則としてその上流域に堤高15m以上のダムが存在しないダムである。

その結果圧倒的に④と判断されるものが多いが、年堆砂量の対数正規分布への整合性は必ずしも良くない。これは、堆砂現象は非常に複雑な要因が重なり合って起こった現象であるためである事もあるが、堆砂量の測量精度の問題もある（（竹林21））。

3. 貯水池堆砂と関係の深い降雨特性

3.1 降雨の代表性

土石流や地滑り等の土砂生産を降雨特性を関連づけて分析する場合、降雨の代表性が問題になる。特に大規模な崩壊や土石流を起こす雨は、短い時間スケールのいわゆる局地的な豪雨である場合が多い。土木研究所砂防部^{8) 9)}の解析によると、土石流の誘因となる降雨特性を分析するには、概ね5km以内の降雨観測所を利用するべきであると提案している。表-4に時間単位で発生時刻が判明している地すべりについて、時間最大雨量、日最大雨量、連続雨量と地すべり地点と雨量観測所の距離を併せて示す。土石流が発生する目安の閾値としては、時間雨量50mm、日雨量190mm、連続雨量200mmとし、土石流を評価可能な雨量観測所との距離は、10km以内が目安とされる。現在アメダスがおおよそ17km間隔で整備されているので、10km以内であれば用いる事ができる観測地点が存在する事になり、またダムの管理においては、概ね50km²に一つ雨量観測所を設けられているので、土石流や崩壊をある

表-4 雨量観測所と地すべり所との距離

崩壊地 番号	時間最大 (mm)	日 最 大 (mm)	連続雨量 (mm)	距 離 (km)
1	44	296	307	5
2	36	121	168	1.6
3	10	52	52	12
4	37	168	265	8.8
5	24.5	180.5	248.5	8
6	57	178.0	324	2
7	35	88.0	235	7
8	19	50.0	76.5	20
9	72	330	522	6
10	33	80.5	214.5	4.5
11	18	219.0	601	65
12	29	129	382	2.4
13	45	259	349	0.8
14	69	308	495	6.5
15	27.5	80	87.5	35
16	11	53	67	6
17	60	283.5	556	4
18	35.8	82.7	82.7	27
19	50.5	217.5	217.5	4
20	3	12.5	12.5	20
21	22.5	78	298	8
22	45.2	102.8	559.6	10

程度分析する事は可能であると思われる。

しかし、さらに流域の大きなダムでは一地点の降雨量で分析することは現実的でないが、これ以降の解析では新しい計画堆砂量算出手法の枠組み提案する事を念頭においているので、原則としてダム地点の雨量を用いている。

3.2 土石流、地滑りと降雨特性

土石流や地滑りの発生に対する降雨特性の分析において、実効降雨や貯留関数やタンクモデルによる貯留高が比較的現象を良く表現している。例えば、矢野¹⁰⁾が提案している実効降雨と大滝の方法¹¹⁾による貯留高をいくつかの地滑り発生時刻と比較すると図-4のようになる。ここでは、地滑りの発生時刻が、降雨量のピークよりも遅れて、実効降雨のピークや貯留高のピークと整合していることは、このような考え方の妥当性を示すものといえる。また、真名川ダムの原石山崩壊における竹林¹²⁾の分析によると伸縮計によって測定した歪量と、やはり大滝の式で算出した貯留量を図-5に示すが、両者の関係には強い相関が見られる。さらに、図-6には、平成5年の台風13号による大分県竹田市の山腹崩壊の発生ヶ所累計値と、時間雨量、大滝の式による貯留高を示す。崩壊は比較的狭い範囲で起こっているのので、一つの雨量観測所で代表させた。この図を見ると、貯留高がピークのところで崩壊増加が終わっており、ある範囲で見てもこの考え方の妥当性を示しているといえる。

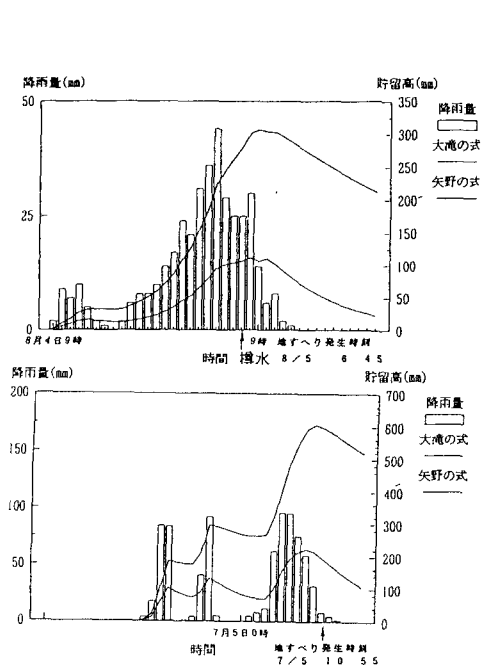


図-4 地すべり発生時期と貯留高

3.3 堆砂実効降雨の提案

貯水池の堆砂を考慮する場合にも、もちろん時間単位データを分析の方が望ましいと考えられるが、堆砂現象は土石流や地すべりに代表される生産土砂が流送され、堆積する過程であり、より複雑なプロセスを経た現象であるとともに、堆砂量の観測データが原則年間の合計値であるために、必要以上に時間間隔の短い解析を行う事は現在のところ意義は少ないと考える。また、降雨量のデータも現在のところ時間単位データまで十分整理できていない。また、土砂の生産は必ずしも崩壊だけに起因するものではなく、裸地からの表面侵食によ

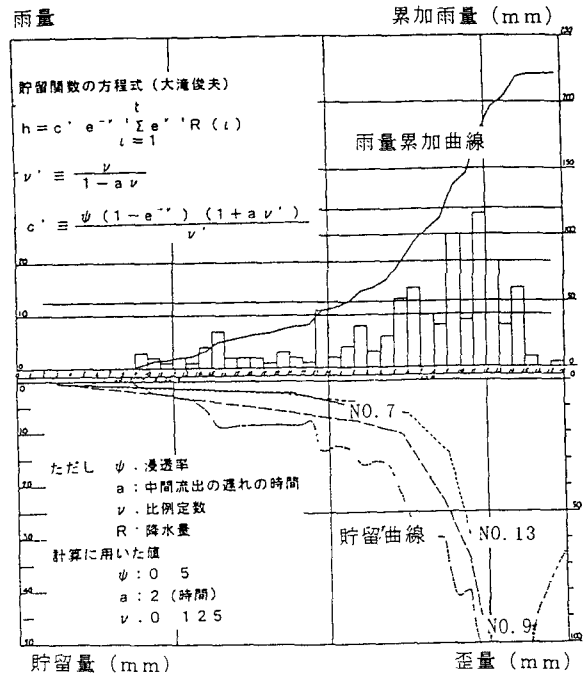


図-5 降雨強度及び貯留曲線と歪景の関係図

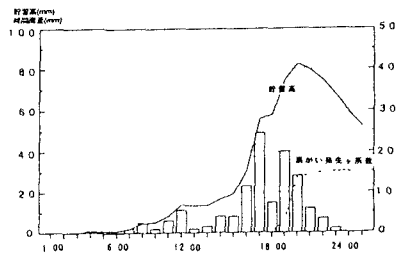


図-6 山腹崩壊の発生ヶ所数と時間雨量及び貯留高

る生産等もあり、日暮等^{13) 14)}のようにこれら様々な生産域から生産土砂量を把握し、河道の流送能力、貯水池の堆積メカニズムを全てシミュレーションする事も現在行われつつあるか、ここでは堆砂量の年変動を、誘因としての降雨特性から分析することを念頭においているので、貯水池堆砂量と日単位の雨の関係を分析するものとする。図-7には、五十嵐川ダム建設に伴う原石山地すべり移動量と日単位のデータから算出した実効降雨と関係を図に示すが(竹林等²⁾)、両者の関係は良好である。この場合の実効降雨Rは以下のように定義する。

$$R = \sum_{s=j}^{k-1} \alpha^{s-j} r_m \dots \dots (1) \quad (\text{ここに } \alpha \text{ は低減係数、} r \text{ は日雨量})$$

このように日単位であってもその前期降雨を考慮することの妥当性は明らかである。なお、この実効降雨と地すべり移動量については他のダム原石山でも検討している(竹林^{12) 13)})。

さて、打碇¹⁵⁾は、崩壊を起こす限界雨量を分析しており、また土石流や地すべりの危険基準を考慮しても、それらの現象が発生する限界雨量を定義する事は十分妥当であると思われる。ここでは、同様に貯水池の堆砂量を考える場合にも、その堆砂の発生する閾値を設けることとし、その設定手法について検討する。貯水池に流入してくる土砂は、必ずしも崩壊性のものだけでなく、侵食の結果てくる生産もあり、閾値として用いる場合は、崩壊の際に用いられている値より小さい事が予想される。現実には貯水池の堆砂量は、必ずしも崩壊が発生するような大きな雨がなかった年にも進行している。沢田等¹⁶⁾は、裸地からの土砂の生産は、(時間雨量-8)mmと相関が良いことを示している。もちろん流域全てが裸地ではないので、流域からの土砂の表面侵食あるいは土砂の移動は、表面流出が起こった時点が始まると考えるのが妥当であると思われる。そこで、タンクモデルを用いて表面流出が発生する流量について検討を行った。タンクモデルは、物理モデルではないので、そのパラメータの設定や初期条件の設定には明確な根拠は見いだせないが、実績流量と一致するように初期貯留高を含めてパラメータを設定し、表面流の発生までの降雨について簡単な検討を行った。用いたデータは、浜田ダムの1982年7月山陰豪雨の時のものであり、浜田ダムでは図-8に示す流量と雨量を観測されている。図-8に分析結果を示すが雨量が数10mm程度になって表面流出が始まる結果となっている。被覆条件や土壌は流域によって異なるので流域全体でこの閾値を越えた時に土砂の移動が始まるとはいえないが、一つの目安になる数字である。このようにある閾値を越えて初めて土砂の生産が起こることは、ダムへの流入土砂量の観測からいわれており、例えば横山ダムでは観測より、ダム地点流量100m³/Sになれば、流砂が顕著になる事がわかっており、このような閾値を設ける事の妥当性を示しているといえる。

さて、堆砂現象を説明する堆砂実効降雨を、今までの議論を参考にして、既に提案していたものを改良して、以下のように改めて定義する。

堆砂実効降雨 R_i と年堆砂実効降雨 R_{se}

$$R_i = \max \sum_{j=1}^{k-1} \alpha^{j-1} r_{m-i} - 50, (0 \leq j \leq k-1) \dots (2)$$

$$R_{se} = \sum R_i \dots \dots \dots (3)$$

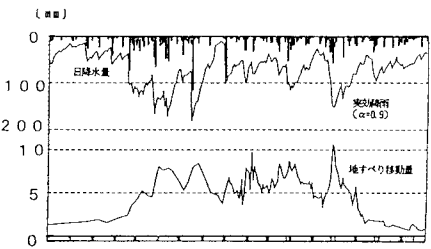


図-7 地すべり移動量と実効降雨

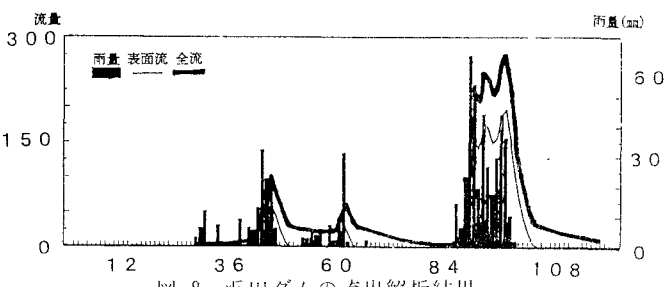


図-8 浜田ダムの流出解析結果

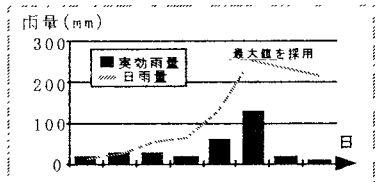


図-9 実効降雨と概念図

年堆砂量 S と年堆砂実効降雨 R_{se} の関係

$$S = a R_{se}^b \quad (4)$$

堆砂実効降雨の概念を模式化したのが図-9である。ここでは堆砂実効降雨としては、降雨特性としては日雨量を採用しているが、集中度（波形）を総合的に表すものとして一連の連続降雨期間における最大値を採用することとした。図-10に地すべり移動量を対象にした場合の、 α と相関係数の関係の一例を示すがほとんどの事例において $\alpha = 0.8 \sim 0.9$ 付近で相関が高いので、以降の検討は、 α の値は 0.8 で評価する。この堆砂実効降雨は、連続降雨量毎に算出し、その年合計値を算出して年堆砂実効降雨と呼び、これと年堆砂量データを分析する。既に式 $R_{se} = \sum R_i^n$ で表示しているように、実効降雨には指数 n が含まれている。これは、崩壊地に対して打萩¹⁵⁾の検討の式や既存の分析を参考にしているか、その値の選定については、 n を既存の研究を参考に变化させて相関分析により評価した。図-11に代表的なダムの場合を示す。この図に示すように n の値は殆どのダムで $1 \sim 3$ 程度で最大になっている事がわかる。なお、ここで閾値 β は土砂移動が始まる降雨と考えるのが妥当であるが、タンクモデルの計算結果を考慮して以下の検討では 50mm として取り扱う。

ここで、図-2と3の年堆砂量と降雨特性の確率紙へのプロットを再度検討する。異常堆砂は当該年の豪雨の影響が大きいと思われる。仮に、各年の連続日雨量の最大値が支配的であり年堆砂量と式④のような関係があり、連続日雨量が対数正規分布に従うのであれば、堆砂量も対数正規分布に従うことになる。しかし、図-2と3を比較し、先の分類で2に含まれるものがあったことからわかるように、連続日雨量は対数正規分布に従うのに、年堆砂量は異常値を記録している。このことは、高秀¹⁷⁾が提案しているように、一連の降雨と生産土砂（ここでは貯水池堆砂量）との関係を模式的に、図12のように考える事できることを暗示している。そこで、大規模崩壊によると思われる大きな堆砂量を観測しているダムについて、以下のようにして、図12の β_2 の値を設定する。

- ①異常堆砂を観測している年を除いて、年堆砂量と年実効降雨を分析し回帰式を作成する。
- ②異常堆砂を観測している年については、災害記録などから判断し、大規模な土砂崩壊を起こした一連の豪雨を除いて、①で用いた回帰式を用いて堆砂量を算出する。
- ③異常堆砂年の堆砂量から②で算出した堆砂量を除いたのが、豪雨による堆砂量であるとする（これを異常堆砂量とする）。
- ④小規模な降雨による経年的な堆砂は、①で作成した回帰式より案分して、各一連降雨の堆砂量を算出し、それらをプロットすれば、各雨毎に生産土砂量を想定できる図-12が完成する。

以上の手段で、浜田ダム、松川ダム、魚梁瀬ダムについて作成したものを、図13に示す。しかし、大規模な崩壊が一つの流域で何度も観測されているケースはまれであるため、一雨一雨の実効降雨と堆砂量（生産土砂量）の関係、とくに異常堆砂の部分については、あくまで試算である。しかし、砂防史のデータによって実効降雨と生産土砂量の関係を整理すると、実効降雨が β_2 の値を越すと生産土砂量は急激に増加するのでここで

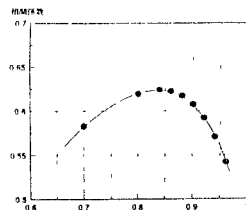


図-10 α の値と相関係数（日平均移動量と実効降雨）

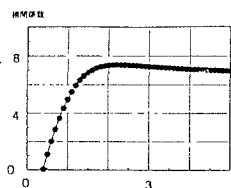


図-11 n の値と相関係数（年堆砂実効降雨と年堆砂量）

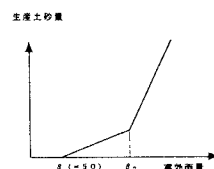


図12 β の概念図

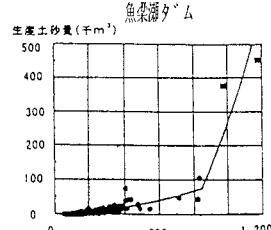
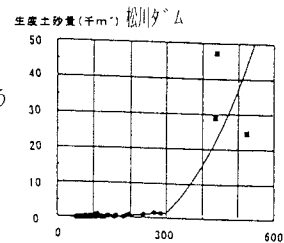
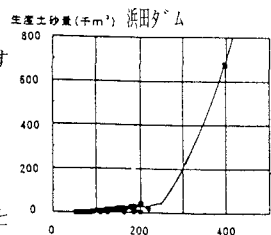


図13 実効降雨と生産土砂量

は、この部分は実効降雨の指数の値は2.5にして示している。

さて、このような大規模な崩壊等による土砂生産を考える上で問題になるのは、図-12での β_2 つまり、それを越えると大規模な土砂生産を起こすと思われる雨の値である。これは、まさしく土石流や地すべり崩壊の危険雨量と考える事ができる。さて、高秀¹⁷⁾は、崩壊発生時の土砂生産と雨量の関係を複数の流域で整理し、この下限値の値が流域毎に異なる事を示している。また、吉松¹⁸⁾も同様な検討を行っている。重要なのは、この下限値を推定する事であるが、室田等⁶⁾は大規模な土砂生産を誘発する雨は、1/30確率程度の雨であろうと予測している。また、瀬尾等²⁰⁾はこの値を年降雨量との関係で示している。そこで、ここではこの3つのダムを総合的に評価すると、年降雨量の20%程度を一連の雨の実効降雨を上回った場合に、崩壊が起きている。また、確率値による評価は3ダムで非常にはらっているが、これは実効降雨の確率分布への整合性の問題もある。

3.4 年堆砂堆砂量の内訳

3.3で大規模な土砂生産を分析したが、それを用いて年堆砂量の内訳を推定する事ができる。ここでは、以下の3成分に分割する。①経常堆砂分、②大崩壊流出堆砂分及び③崩壊残留流出堆砂分である。ここで、経常年堆砂分とは毎年経年的に起こる堆砂である。②及び③は大規模な土砂生産に伴うものであり、②が大規模な土砂生産があった年に貯水池に流入し堆積したもの、③が流域に残留していたものがその後の年に流出して堆砂したものである。図-14に松川ダムの堆砂量実績を示すが、1983年にあった豪雨で、大規模な土砂の生産があった事が推測され、当該年に貯水池への多くの土砂の流入が認められ、これを大規模崩壊流出堆積分と評価できる。その翌年から2年間にわたって、比較的大きな土砂の堆積が認められており、後期残留流出分と考えられる。以上を式で表現すると以下のようである。

大規模土砂生産 i 年後の残留分堆砂量 (S_{ri}) を想定した。

$$S_{ri} = \frac{\exp(-\lambda i) \cdot Rse_i}{\sum_{k=1}^{\infty} \exp(-\lambda k) \cdot Rse_k} \cdot (1-\alpha) S_y \quad \dots\dots (5)$$

S_y : 豪雨に伴う生産土砂量
 m : 残流堆砂継続年
 α : 当該年流出率
 k : 低減率

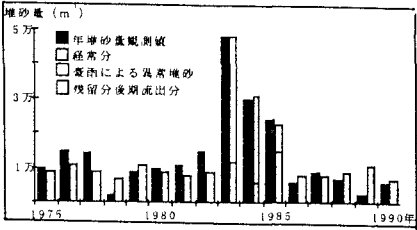


図 14 残留流出分の評価

4. 計画堆砂量の推定

現在堆砂容量は100年分を確保する事を原則にしている。既に2で述べたように堆砂には、様々な要因が複雑に絡み合っているおり、新たに建設するダムの今後の計画堆砂量を予測するためには、これらの要因が今後100年間でどのように変動するかを予測することが必要になる。現実的には今後100年間での降雨特性の変化や、誘因としての雨の変化を予想できないので、現在までの堆砂量の推定には、多くのダムの実績堆砂量と素因との関係の解析から提案されている様々な推定式や、近傍ダムの実績堆砂量が用いられてきた。ここでは、それらを踏まえて、以下の点について整理する。新しいダムの計画堆砂量を算出するには、基本的には近傍ダムの堆砂量を用いる。そこで、以下の2点について分析を行うことが必要である。

①近傍ダムの100年堆砂量の推定

近傍ダムでも、実績堆砂量はせいぜい30年程度である。これにより、100年の堆砂量を推定する必要がある。

②近傍ダムから計画ダムへの補正

計画ダムの距離的に近くにダムが位置する場合現実的には少なく、地形・地質が異なる場合がほとんどである。①で算出した実績近傍ダムの100年堆砂量を補正する必要がある。②については、既に報告(広瀬等⁴⁾)しているので、①について詳述する。

3で提案した実効降雨を用いて、100年堆砂量を算出するが、堆砂量と同様にダム近傍では、降雨量の観測期間も100年ない場合がほとんどである。しかし、全国に150箇所程度ある気象官署には、概ね100年間程度の降

雨量のデータがある。そこで、ここでは、今村・中村等²¹⁾の方法を用いて気象官署の長期間のデータを有効に用いつつ、ダム地点の100年間の疑似降雨を発生させる。この方法の特徴は、①その相関を考慮しつつ2地点の降雨量を疑似発生させる、②季節区分を行い、それごとに降雨特性を分析する点等にある。具体的には、100年間近くある気象官署降雨データを気温等も参考に、春、梅雨、夏、秋霖、秋、冬の季節に分け、その移行日、それぞれの季節での2地点間の降雨特性を分析し、それらをもとに季節境界日や各季節の初日の降雨状況、2地点の降雨パターンの推移等を乱数発生させ、気象官署、ダム地点での100年間分の疑似降雨を発生させる。浜田ダムを対象に、浜田気象官署のデータを用いて、この手法により算出した、100年間分の浜田ダム地点での疑似降雨を図-15に示す。

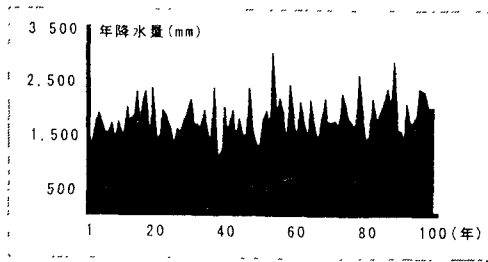


図-15 浜田ダム100年間の疑似降雨

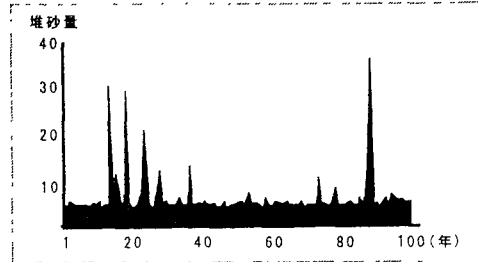


図-16 浜田ダム100年間の堆砂予測

この疑似降雨から実効降雨を算出し、図-12の関係を算出した100年間の堆砂量を図-16に示す。この結果100年間の平均年堆砂量は、約6200m³となる。浜田ダムの1966～1990までの実績の年平均堆砂量は、約8600m³である。これは、近年雨が非常に多かったことによる。

これをもって妥当性を論じることはできないが、計画堆砂量を算出するに有効な手段であると思われる。

5. おわりに

堆砂量と降雨量の分析し、堆砂と関係の深い降雨特性、堆砂実効降雨を定義し、これを用いて計画堆砂量を算出するフレーム、それを用いて、計画堆砂量を推定するフレームを提案した。堆砂実績はせいぜい30年であるので、その検証することは十分でないが、より精度の高い計画堆砂量の堆定堆砂の管理に有効な手段であると思われる。今後は、貯水池堆砂の進行に伴う捕捉率の減少等を分析する必要がある。

参考文献)

- 1) 竹林征二、廣瀬昌由、尾作悦男 タ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 タム工學、No. 8, pp. 6-20, 1992. 12
- 2) 竹林征二、廣瀬昌由 確率過程を考慮したダム貯水池計画堆砂量推定法、第37回水工学論文集、pp. 675-680, 1993
- 3) 竹林征二、廣瀬昌由 新しい貯水池計画堆砂量推定法についての提案、水利科学、第37巻1号、No. 210, pp. 1~24, 1993. 3
- 4) 廣瀬昌由、竹林征二 タム貯水池計画堆砂容量推定法 - 近傍補正を中心として - 土木学会第48回年次学術講演会講演概要集第2部、pp. 558-559, 1993. 9
- 5) 廣瀬昌由、竹林征二 タム貯水池堆砂量経年変化と降雨特性に関する研究、土木学会第49回年次学術講演会概要集 pp. 578~579, 1994. 9
- 6) 端野道夫・室田明 豪雨による山腹崩壊土砂生産に関する推計学的研究、「土木学会論文報告集」、第188号、pp. 112-152, 1971. 4
- 7) 室田明 貯水池堆砂量の推定について、水理学、水文学における最近の進歩、土木学会関西支部、1967
- 8) 建設省土木研究所砂防部砂防研究室 七石流の警戒・避難基準雨量の設定に関する研究、「土木研究所資料」第2215号、1985. 3
- 9) 建設省土木研究所砂防部砂防研究室 土石流の警戒避難基準雨量の設定に関する研究(II)、「土木研究所資料」第2361号 1986. 3
- 10) 久野勝太郎 前期降雨の改良による七石流の警戒・避難基準雨量設定手法の研究、「新砂防」Vol. 43 No. 1 pp. 3-13 1990. 11
- 11) 大流俊夫 「降雨による崩壊の水文的研究」研究時報、第17巻第6号、p1~p45, 1985
- 12) 建設省近畿地方建設局真名川ダム工事事務所 「真名川ダムの原石山切取法面崩壊について」、1976. 11
- 13) 渡辺亮、竹林征二、松田六男 「真名川ダムの原石山切取法面崩壊の特性」地すべりVol. 13, No. 4 通巻第 48号、pp. 1~10, 1977
- 14) 日谷雅博・富永健・吉川太・副田悦生 タム堆砂予測に関する研究、「昭和63年度砂防学会研究発表概要集」、pp. 121-121, 1988
- 15) 打森俊男 ひと雨による山腹崩壊土量の実用計算法試案、「新砂防」69, pp. 30-35 1968. 7
- 16) 沢田豊明・坪田和男 山地流域における土砂生産、「第30回水理講演会論文集」 pp. 205-210 1986. 2
- 17) 建設省中部地方建設局河川計画課 水系における土砂動態と流出土砂の管理に関する検討(改訂版)、1983. 11
- 18) 吉松弘行 山腹崩壊の予測式について、「新砂防」102, pp. 1-9 1977. 2
- 19) 建設省河川局砂防部砂防課・建設省土木研究所 流域の危険度判定に関する研究 - 土石流危険区域に関する研究 - 「第32回建設省技術研究会報告」、pp. 525-547 1978
- 20) 顔尼克克・船崎昌雄 土砂害(主に土石流的災害)の降雨量について、「新砂防」88, pp. 22-28 1974. 11
- 21) 今村瑞穂、中村昭、小林隆幸、「水資源管理計画への日降水量シュミレーション法の適用」土木研究所資料第1564号、1980年3月
- 22) 竹林征二、今村瑞穂 「貯水池における計画」土木施工2.5巻第6号、pp. 470~480, 1984. 3 臨