

堆砂と降雨の関係についての考察

宮崎洋三¹・大西外明²

¹正会員 (株)アイ・エヌ・エー 顧問 (〒112 東京都文京区関口1-44-10)

²正会員 工博 東京理科大学教授 理工学部 土木工学科

貯水池の堆砂量を支配する要因は数多くあるが、本研究はその中の降雨に焦点を絞って検討を行なったものである。堆砂量予測の精度を高めるためには、堆砂量と相関の高い雨量を選び出す必要がある。そこで、まず年間堆砂量と種々の対象時間内雨量との関連性を調べ、さらに、降雨から堆砂への影響の遅滞年数・使用する雨量データの観測位置等についても検討を加えた。以上により、各貯水池ごとに選ばれた雨量を用いて、堆砂量予測の予備検討を行なった結果、著者らがこれまで行なってきた予測に比べて、より精度の高い結果が得られた。

Key Words : reservoir sedimentation, duration of rainfall, retardation of sedimentation

1. まえがき

一般に、山地の侵食・崩壊には、降雨の総量よりも集中的な雨量の方が影響が強いと判断される。このため、著者らが行なった研究¹⁾においても、年堆砂量との関係を調べるために選定した雨量は年最大日雨量である。しかし、これは十分データの検討を行なった上で選んだわけではなく、多分に経験上の判断に基づくものであった。

また、各地の貯水池における比堆砂量予測に用いた雨量は、国内の全域にわたって与えられている年最大日雨量確率値の等高線を用いて求めたものである。

本論文では、貯水池流域内または流域外でもごく近傍の、公表されている雨量データ²⁾をもとに、堆砂量との関連性を調べる。すなわち、対象時間内雨量の年最大値と年堆砂量との相関を調べることにより、どの雨量を用いるのが適切か、あるいはまた、貯水池およびその流域に対して、どのような位置・条件にある観測所の雨量データを使用するのが妥当かについて検討する。

さらに、降雨から堆砂への影響の遅れ方や、堆砂・降雨・崩壊地の相互関係を明らかにすることにより、堆砂量の予測に役立てようとするものである。

なお、使用した堆砂量データは電力用貯水池の実績³⁾である。

2. 年堆砂量と年最大日雨量の相関性

年堆砂量と年最大日雨量の関係において比較的高い相関の見られる例を図-1に示す。堆砂量経年変化のタイプ¹⁾

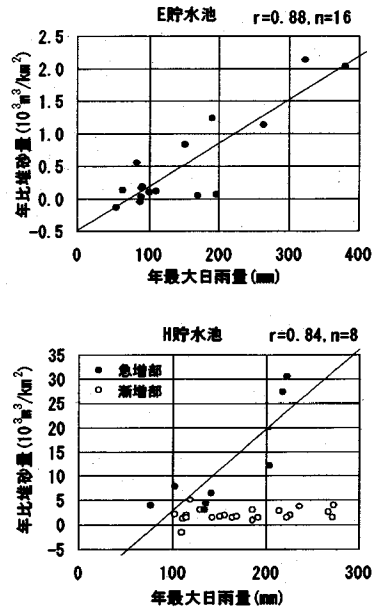


図-1 年堆砂量と年最大日雨量の間に相関の見られる例

は、E貯水池が一樣に増加するタイプ(タイプA)、H貯水池が途中から増加の遅くなるタイプ(タイプB)である。図中には、年堆砂量と年最大日雨量の相関と回帰を求めた結果を記入した。タイプBの場合には、当初の堆砂量増加の速い部分と増加の遅くなった部分を区別し、相関と回帰は前者の部分について求めたものを示した¹⁾。

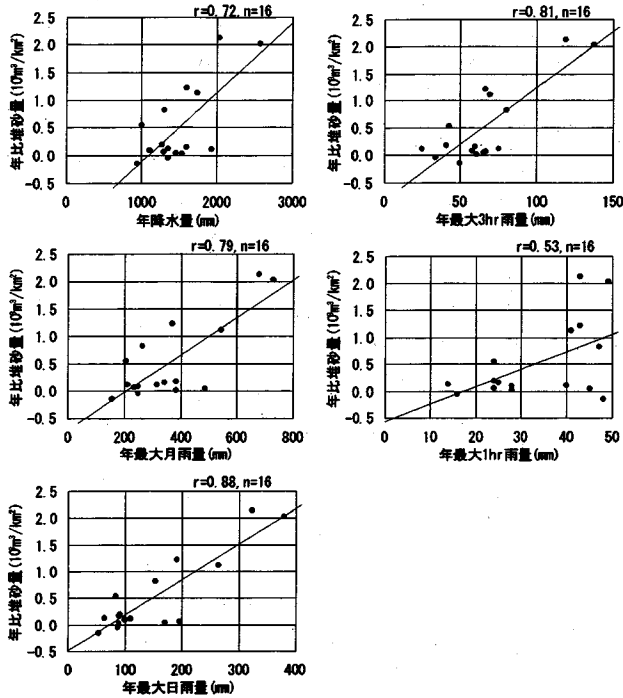


図-2 年堆砂量と種々の対象時間内雨量との相関(E貯水池)

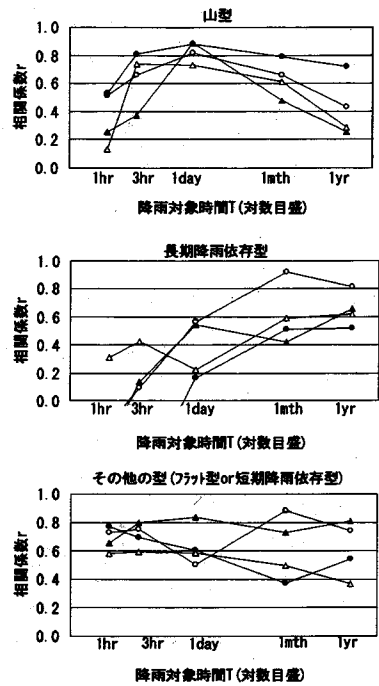


図-3 降雨対象時間と相関係数のパターン

3. 降雨対象時間が堆砂量と雨量の相関におよぼす影響

前節では、雨量として年最大「日」雨量を用いた。本節では、「日」以外の期間に対する雨量を用い、「日」の場合と比較する。すなわち、年最大日雨量を含めたつぎの5つの期間雨量を対象として考察する。

- 年降水量 R ,
- 年最大月雨量 R_m
- 年最大日雨量 R_d
- 年最大3時間雨量 R_{3h}
- 年最大1時間雨量 R_{1h}

上記5つの雨量のうち、年降水量以外は、積雪期のデータを除いて使用した。積雪期の降水はその大半が降雪であり、たとえ降雨であってもそれが地表を侵食する力が積雪で弱められると考えるからである。

年堆砂量と上記5つの雨量の相関性を求めた1例が図-2である。雨量と堆砂の相関は年最大日雨量において最大で、降雨対象期間が長期あるいは短期になるに従い、相関係数が小さくなる傾向を示す。しかしこの傾向は貯水池によって異なる。同様の検討を多くの貯水池について行った上で、図-2のE貯水池を含む比較的相関の高い12貯水池を選び、パターン分類を行なったのが図-3で

ある。すなわち、

1) 山型のパターン

年最大日雨量との相関をピークとし、降雨対象時間が長期あるいは短期になるに従い相関係数が減少するパターン

2) 長期降雨依存型のパターン

長期降雨と相関が高いパターン

ただし本文では、「長期降雨」は降雨対象期間が「日」よりも長い、「月」、「年」の側に対する降雨のことをいい、その反対を「短期降雨」というものとする。

3) その他のパターン(フラット型ほか)

どの降雨対象時間に対しても相関係数がほぼ一定のパターン、または短期側に相関係数が少し増加するパターン

に分けられる。

以上の検討結果を総合的に見ると、年最大日雨量 R_d が年堆砂量と高い相関を示していることから、堆砂と降雨の関係を求めるに際しては、 R_d を用いるのが妥当であると判断される。

4. 降雨から堆砂への影響の遅れ

激しい降雨により流域内の表土が侵食されても、それ

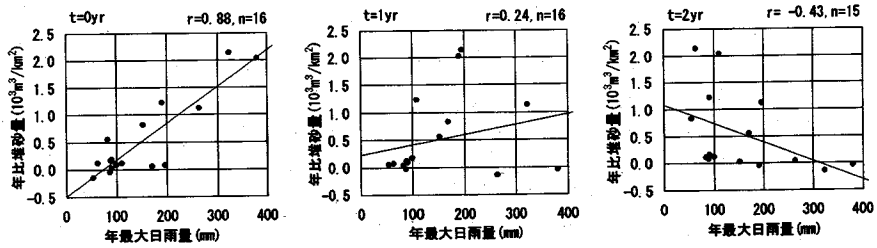


図-4 遅滞年数による相関の変化状況(E貯水池)

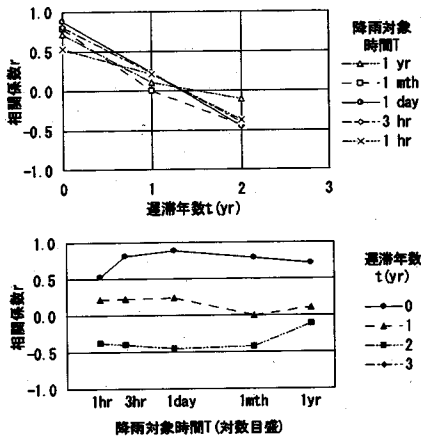


図-5 降雨対象時間と遅滞年数による相関の変化-1(E貯水池)

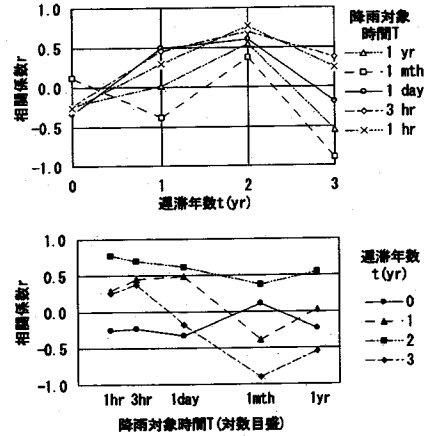


図-6 同左-2(F貯水池)

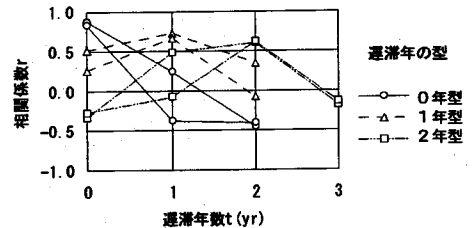


図-7 遅滞年数による相関の変化

が直接、貯水池の堆砂に結びつくとは限らない。山腹や渓谷・河道などに堆積し、流下しないかまたは遅れる場合があるからである。とくに、流域が広い場合・流路が長い場合・流域の傾斜が緩い場合等に遅れが生じやすいと考えられる。そこで、降雨の影響がすぐその年の堆砂量に現れるか、それとも1年あるいはそれ以上遅れて現れるかを調べるため、E貯水池を例にとって遅滞年数tによる年堆砂量と年最大日雨量の相関の変化を調べたのが図-4である。E貯水池では明らかに、その年のうちに降雨の影響が堆砂に現れている。すなわち、1年遅れて現れると仮定した場合の相関係数は0.24、2年遅れでは負の相関となり、その年のうちに現れるとした場合の0.88に比べて格段に低くなる。

同様の比較を、前記5つの降雨対象時間に拡張して解析を行なった。その結果を図-5に示す。E貯水池では、すべての降雨対象時間に対して、その年のうちに影響が現れるとした場合の相関が最も高い。図-3に示したように、E貯水池の降雨対象時間依存性は「山型」であるから、「その年の年最大日雨量」を堆砂に関する代表雨量と考えてよいことになる(ただし、日雨量がよいのか、2日雨量がよいのかと言った点については、さらに詳しい検討が必要である)。

しかし多くの貯水池について同様のことを調べて見ると、E貯水池のように単純な例ばかりではない。たとえば、F貯水池は流域内に雨量観測所が2ヶ所あり、そのいずれのデータを用いても降雨の影響が2年後に堆砂に現れる結果となる(図-6)。すなわち、その年の堆砂量と2年前の降雨量の相関が、その年および1年前の降雨量との相関よりも高い。

また、E・F両貯水池を含め、遅滞年数tが0年、1年、2年の例をそれぞれ2個づつ選んで示したのが図-7である。ここでは各々2例を示したが、全体的に見ればその年に影響の現れる(t=0yr)例が多い。

予測を行なう際には、遅滞年数は降雨対象時間のように直接役立つわけではない。しかし、予測方法を検討する際には、影響の遅れを考えないとすれば、実際に遅れ

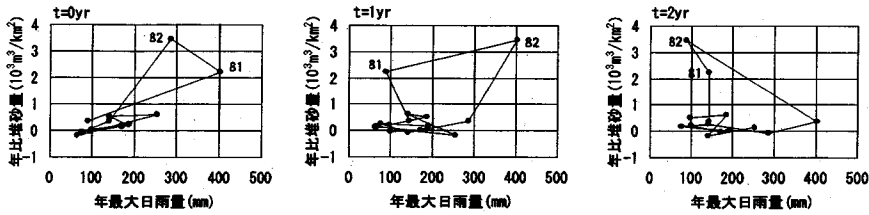


図-8 年堆砂量と雨量の関係の追跡-1 (C貯水池)

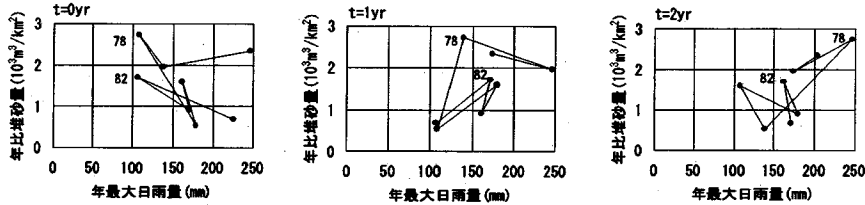


図-9 年堆砂量と雨量の関係の追跡-2 (F貯水池)

のある貯水池では雨量と堆砂の相関が低くなるため、その貯水池のデータは棄却してしまうことになる。しかし、影響の遅れを調べておけば、このデータは棄てないで済み、検討に役立たせることができる。

「降雨から堆砂への影響の遅れ」についての実際面での応用としては、例えばある貯水池で「遅れ」のある傾向がわかっているれば、豪雨とそれに伴う崩壊のあった後、その流域には土砂流出防止の対策がたてやすくなることがあげられる。

5. 年堆砂量と雨量の関係の追跡

前節までは、年堆砂量と各種雨量の関係を相関性の観点から考察してきた。本節では両者の関係を経年的に追跡することによって、堆砂と降雨の関係を明らかにすることを試みる。

図-8はC貯水池の遅滞年数 $t=0, 1, 2$ yr(年最大日雨量 R_d についてのみ)の3つのグラフを併記し、年堆砂量の突出した年(81年, 82年)の前後を経年的に折線で結んだものである。 $t=0$ yrの折線ループはグラフ上で反時計方向にまわっている。すなわち降雨 R_d の増大に追従して年堆砂量が増大している。しかし、 $t=1$ yrのループは逆転して時計まわりとなる。このように、堆砂の増加が降雨の増加に先行することは、他の原因でもない限り考えにくい。 $t=0$ yrと $t=1$ yrとした時の相関はほぼ等しい($r=0.71, 0.69$)が、ループが逆転していることから考えれば、堆砂量はその年の降雨から、より大きな影響を受けていると判断される($t=0$ yr)。

図-9はF貯水池についての結果である。前述のように、F貯水池については降雨の影響が2年後に堆砂に現れる。しかしループの回転方向にはそれが明確に現れているわ

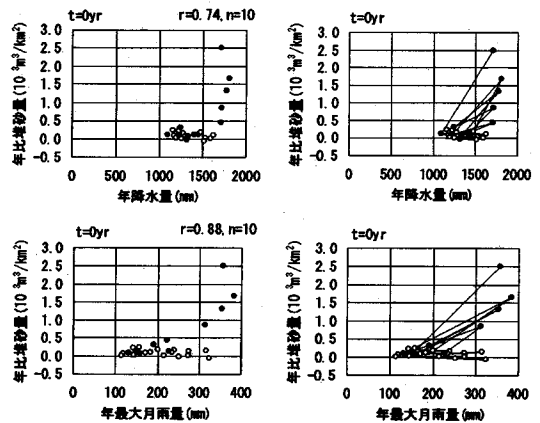


図-10 年堆砂量と雨量の関係の追跡-3 (A貯水池)

けではない。影響が2年も遅れるということは、その間にさまざまな他の要因が重なって、土砂流出の因果関係を複雑にしているものと推定される。

図-10はA貯水池についてのグラフである。この図は影響の遅れを見たものではなく、折線を施さないものと施したものを比較したものである。前者ではさほど相関が大きくないように見えても、後者では雨量の大きい年には年堆砂量も大きくなっていることが顕著に読み取れる。ただ年堆砂量と雨量の比がその出水年によって異なるため、全体としての相関が小さくなるのである。

以上3つの例でわかるように、年堆砂量と各種雨量の関係は、相関だけでなく経年的な性質にも着目し多角的に調べて行くと様々な知見が得られる。このほかにも以下のような例があげられる。

- 1) 竣工当初は1~2年遅れ($t=1\sim 2$ yr)の傾向を示していた流域において、大きな出水・堆砂のあった後は、堆砂量増加の傾向に変化が生じ、その年

遅れない($t=0\text{yr}$)パターン

パターン0(A, E, H, J, O貯水池)

| 降雨対象時間T | 遅滞年数t(yr) | | | |
|---------|-----------|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 |
| 1 yr | ■ | | | |
| 1 mth | ■ | | | |
| 1 day | ■ | | | |
| 3 hr | ■ | | | |
| 1 hr | ■ | | | |

0-1年遅れ($t=0\sim 1\text{yr}$)のパターン

パターン0-1(K貯水池)

| 降雨対象時間T | 遅滞年数t(yr) | | | |
|---------|-----------|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 |
| 1 yr | ■ | ■ | | |
| 1 mth | ■ | ■ | | |
| 1 day | ■ | ■ | | |
| 3 hr | ■ | ■ | | |
| 1 hr | ■ | ■ | | |

2年遅れ($t=2\text{yr}$)のパターン

パターン2(F貯水池)

| 降雨対象時間T | 遅滞年数t(yr) | | | |
|---------|-----------|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 |
| 1 yr | | | ■ | |
| 1 mth | | | ■ | |
| 1 day | | | ■ | |
| 3 hr | | | ■ | |
| 1 hr | | | ■ | |

パターン0a(O貯水池)

| 降雨対象時間T | 遅滞年数t(yr) | | | |
|---------|-----------|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 |
| 1 yr | ■ | | | |
| 1 mth | ■ | | | |
| 1 day | ■ | | | |
| 3 hr | ■ | | | |
| 1 hr | ■ | | | |

パターン0-1a(B貯水池)

| 降雨対象時間T | 遅滞年数t(yr) | | | |
|---------|-----------|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 |
| 1 yr | ■ | ■ | | |
| 1 mth | ■ | ■ | | |
| 1 day | ■ | ■ | | |
| 3 hr | ■ | ■ | | |
| 1 hr | ■ | ■ | | |

凡例: ■ 相関の高いT-t ($r>0.5$ を目安とする)

図-11 降雨対象時間と遅滞年数によるパターン

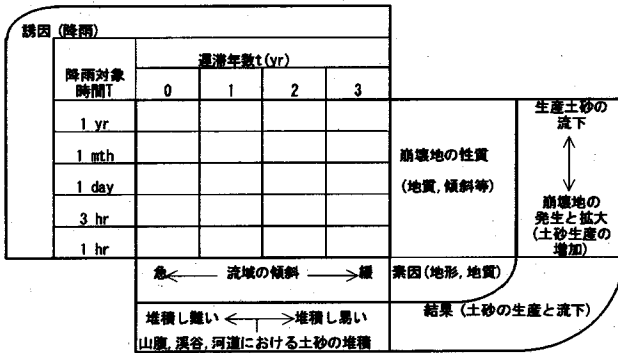


図-12 降雨対象時間と遅滞年数による考察

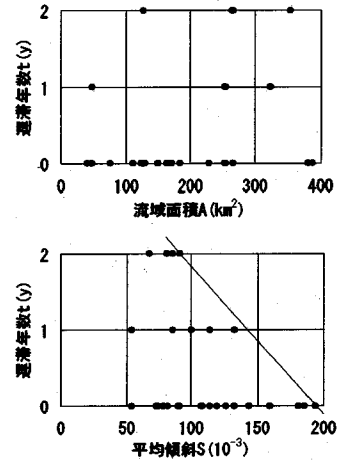


図-13 遅滞年数と流域面積および平均傾斜

のうちに影響が表われる($t=0\text{yr}$)ようになった例
——大出水が山腹や河道の堆積土砂を流下させたか——

- 2) 大出水に対しては $t=0\text{yr}$ を示すが, 小出水に対しては $t=1\text{yr}$ を示す例——流下能力の差か——
- 3) 大出水の翌年は, 累加堆積量が減少する(年堆積量がマイナスとなる)例——濁水が排出されたためか——

6. 降雨対象時間と影響の遅れに関する考察

前出の図-5, 図-6は, 「降雨対象時間T」と「降雨から堆砂への影響の遅滞年数t」の各組合せに対する相関を求めた例である。本節では, 各貯水池流域の土砂流出に関する特性を把握するために, 数多くの貯水池についてこの検討を行ない, さらに前節で述べた追跡ループによる考察結果およびデータ年数の多寡を加味して, 相関の高いTとtとの組合せについてのパターン化を試みる。

図-11にその結果を示す。この図から, 検討対象とした各貯水池流域はつぎの3つに大別されることがわかる。

- 遅れない($t=0\text{yr}$)パターン: t0
- 0~1年遅れ($t=0\sim 1\text{yr}$)のパターン: t0-1

2年遅れ($t=2\text{yr}$)のパターン: t2
前二者のパターンはそれぞれさらに
降雨対象時間Tのすべてに相関の高いパターン
長期降雨においてのみ相関の高いパターン(添字aをつけたもの)

の2種に分類され, 短期降雨のみに依存傾向をもつパターンは, 今回扱った貯水池に関する限り見られない。

山地の侵食や崩壊に対しては, 継続型の降雨よりも集中型の降雨の方が支配的であると考えられるが, このよう長期降雨依存のパターンのみが見られるのは, 流出土砂の流下は継続型の降雨によるところが大きいからであるとする。

図-12は, 相関の高いTとtの組合せについて, 素因(地形・地質), 誘因(降雨)と結果(土砂の生産と流下)を区別しつつ, 流域の諸性質との関連を模式的に示したものである。たとえば, 流域が広く勾配が緩いほど, 降雨から堆砂への影響の遅れが現れやすいことを表している。図-13には, 流域面積Aと流域の平均傾斜S(前報告¹⁾)で用いた, 流域内の最高標高と最低標高の差を流域面積の平方根で割って無次元化した値)がそれぞれ遅滞年数tにおよぼす影響を示した。Aとtの関係は明確ではないが, Sとtの間には, 流域の傾斜が急になれば遅れが現れ難くなる

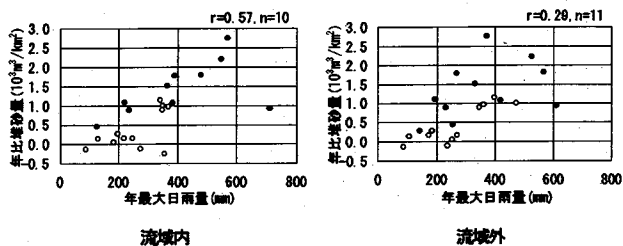


図-14 流域内外の雨量による相関の比較(M貯水池)

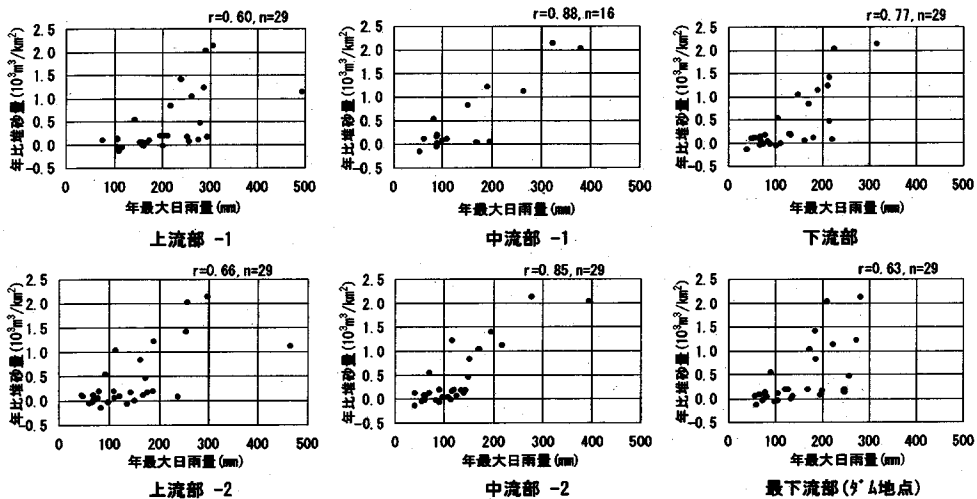


図-15 流域内の複数の雨量による相関の比較-1a (E貯水池)

(図中の直線の右上に位置する貯水池はなくなる) という傾向が認められる。

7. 雨量観測所位置の比較

本節では、堆砂と降雨の関係を論ずる場合、貯水池および流域に対してどのような位置にある観測所の雨量記録がデータとして適切であるかについて検討する。このため、流域内または近傍(流域外)に複数の雨量データが存在する貯水池について、年堆砂量と雨量の相関を比較する。

なお、比較は、原則として期間を一致させて行なった。

(1) 流域内と流域外に雨量データが存在する貯水池

流域内および流域外の雨量データと年堆砂量の相関を求めた結果を図-14に示す。この貯水池の場合、流域内の観測所の雨量の方が、流域外(近傍)のそれより年堆砂量との相関が高い結果となっている。これは当然のことと考えられるが、同時に降雨と堆砂の間の強い因果関係を表わす証拠であるとも言える。

今回、雨量観測所位置の比較の対象とした17貯水池のうち、流域内と流域外(近傍)に雨量データが存在する

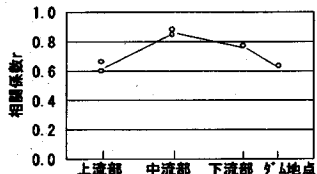


図-16 流域内の複数の雨量による相関の比較-1b (E貯水池)

貯水池は10個である。このうち、図-14の例のように流域内の雨量の方が、流域外のそれより相関が高い貯水池は6個と過半数を占める。

(2) 流域内に複数の雨量データが存在する貯水池

つぎに、流域内における複数の雨量データを用いる場合の比較を行なう。

a) E貯水池の例

この流域は上下流方向に長く伸び、その面積は1,129km²である。上流部に2箇所、中流部には同じ町内に所管の異なる2観測所、下流部・最下流部(ダム地点)に各1箇所の計6観測所があり、そこで得られたデータを用いて比較検討を行なった。図-15に相関図、図-16に上流から順に相関係数をプロットしたものを示す。こ

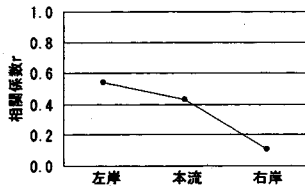


図-17 流域内の複数の雨量による
相関の比較-2(I貯水池)

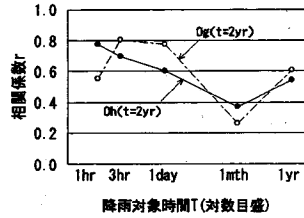


図-18 同左-3(F貯水池)

の結果、中流部の雨量(年最大日雨量)が堆砂量と最もよい相関を示している。この原因としては以下のことが考えられる。

- 1) 上流部は火山地域で雨量も多く土砂生産が最も激しいが、湖沼が多く流出土砂が堆積しやすいため、貯水池の堆砂には結びつきにくい地域であること
- 2) 中流部の左岸側山地は、標高2000m前後の分水嶺からの斜面であり、流域内では標高が高く、崩壊地の多い地帯であること
- 3) 下流部および最下流部(ダム地点)は、標高が低く、崩壊地も中流部に比べれば少ないこと

すなわち中流部の降雨が、土砂の生産・運搬の両面から貯水池の堆砂に結びつきやすいことを示している。

b) I貯水池の例

流域面積は396km²で、下流側が左右岸方向に広がった三角形の流域である。本流の中流部と最下流部(ダム地点)に各1箇所、左岸側に1箇所、右岸側に2箇所の計5観測所のデータを用いて検討する。

図-17に左岸・本流・右岸の、雨量と年堆砂量間の相関係数を示す。左岸の雨量データが、堆砂量との相関において最も高い値を示しており、ついで本流、右岸の順となっている。この原因として考えられるのは、

- 1) 左岸側山地は最高標高2400mの分水嶺で、標高が高く、崩壊地分布率も大きい。また、雨量自体も左岸に比べて多い。
- 2) 右岸は標高1500m前後の山稜を主体とする尾根からの斜面からなり、左岸に比べると標高・崩壊地分布率ともに低い。

E貯水池同様、土砂の生産・運搬ポテンシャルの高い左岸側の雨量が、貯水池の堆砂に、より大きい影響を与えていると考える。

c) F貯水池の例

当貯水池の流域面積は265km²であり、a)で記したE貯水池の流域と同様に、上下流方向に長い形状をなしている。流域上流部と中流部に観測所があるが、図-18に示すように堆砂量との関連において有意な差は認められない。

この流域は、遅滞年数2年を示すことから示される

ように、全体的に緩傾斜で、両観測所支配域の標高や崩壊の程度および雨量に大差がないことがその原因と考えられる。

以上3例のほかにも同様の検討を行なった結果、つぎのことが言える。すなわち、雨量と堆砂の相関性は、その観測所の位置そのものより、その支配流域における土砂の生産・流下能力の程度に依存する。

8. 堆砂・降雨・崩壊地の相互関係

本論文では、既設貯水池の堆砂量実績と降雨量実績を使用している。したがって、確率現象として「豪雨→崩壊地増加→堆砂量増加」というサイクルがデータの中におこまれていると考えている。一方、崩壊地データは、一律に最新の地形図を使用して求めたものである。したがって、データを求めた時点が上記サイクルのどの部分にあたるかによって、取り扱いが異なるはずであるが、現時点ではこの配慮は行っていない。この点を解決する糸口として本節の検討を行なう。

H貯水池流域においては詳細な崩壊地調査が行われている⁴⁾。とくに1963年から1984年の間には、航空写真により6回の崩壊地面積率が求められている。図-19は、年堆砂量(図の(b))・年最大日雨量(同(c))に、この崩壊地面積率の経年変化(同(a)) (前記文献⁴⁾のデータを著者らが図化したもの)を書き加え対比させたものである。図によれば、崩壊地面積率は1969年に急増したが、それ以後1984年までは減少を続けている。図-19にはさらに、山地表面の侵食の経年変化を模式的に表わした図(d)¹⁾も書き加え、堆砂量(b)や崩壊地面積(a)の経年変化と対比させてある。これらの図によると、(a)の崩壊地面積率・(b)の年堆砂量・(d)の侵食速度の各曲線は類似の形状を持つことがわかる。

図-19(e)によれば、1964・1969の両年は年最大日雨量の増加に伴って年堆砂量が増加している。しかし1970年以降は、上記の両年を上回る年最大日雨量の年があるにもかかわらず、年堆砂量は少ない。このことから、前報告¹⁾では、堆砂量経年変化のタイプは途中から増加の遅くなるタイプBであり、その主原因が背砂にあるので

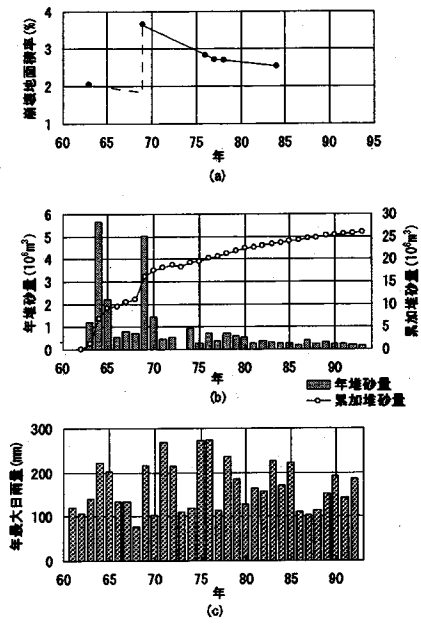
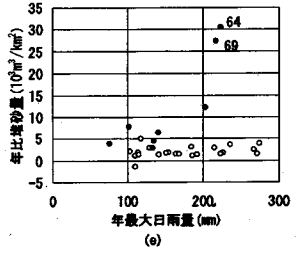
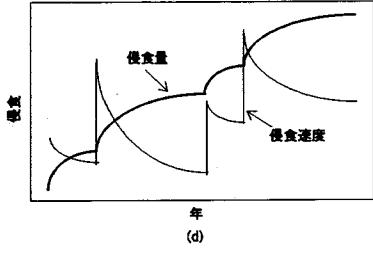


図-19 堆砂・降雨・崩壊地の相互関係 (H貯水池)



はないかと推定した¹⁾。しかし同時に、初期の堆砂速度が現時点まで続いたとした場合の堆砂量と現実の堆砂量との差(前報告¹⁾のVsb)が、H貯水池(同No. 49貯水池)の場合には、とうてい背砂だけでは量的に説明できないという疑問点も指摘した。

図-20は、3. で述べた5種の対象時間内雨量を、崩壊地調査年について比較したものである(1964年は崩壊地調査年ではないが併記した)。図の縦軸は最近3年間の降雨データにより標準化した降雨量比(平均=0, 分散=1)である。崩壊地調査が行われた67年を比較すると、1969年に短期降雨(1hr, 3hr)の突出しているのが目立っている。したがって、日雨量よりも長い期間(月, 年)の降雨の如何にかかわらず、短期降雨の多い年に崩壊地の増加が起りやすいということが第1の仮説としてあげられる。

あるいはまた、1969年の崩壊地の急激な増加によって山が安定期に入ったため、1970年以降には崩壊地が増加しなかった(いわゆる山地崩壊の免疫性⁵⁾)ということも第2の仮説として考えられる。

これら2つの仮説は、いずれもタイプBの原因(堆砂速度が途中から遅くなる原因)が背砂ではなく土砂の生産そのものにあることを示唆している。

なお、上では、崩壊地面積が1969年に急増したと述べたが、1964年にも1969年とほぼ同じ年最大日雨量で、年堆砂量が大幅に増加している。したがって1964年にも崩壊地面積が増加した可能性があるが、この年には航空写真撮影がされておらず、また崩壊地調査も行われていな

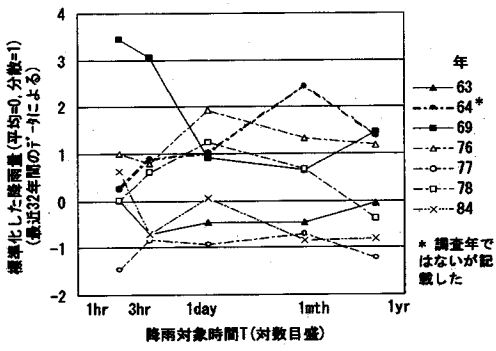


図-20 崩壊地調査年の降雨量 (H貯水池)

いので確認はできない。

以上により、H貯水池がタイプBとなる原因は、背砂にあるのか土砂生産そのものにあるのか、現時点では結論を出すことができない。今後、他の貯水池における同様な調査を重ねることにより明らかにしたい。これを明らかにすることが比堆砂量の実績値を正しく見積もることにつながるからである。

9. 堆砂量予測への予備検討

前節までは、降雨と堆砂の関係について、降雨対象時間、滞滯年数、経年変化の追跡ループ、雨量観測所位置および堆砂・降雨・崩壊地の相互関係等に焦点をあて検討した。

表-1 堆砂量予測比較表

| ケース | | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |
|-----------------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 貯水池数 | | 77 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 |
| 栗田(77A) | 平均傾斜S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 地質区分G | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 崩壊地分布Ls | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 10年確率最大日雨量Rd | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 最大日雨量Rd | | | | | | |
| 77個貯水池 | S | 0.30 | 0.48 | 0.39 | 0.32 | 0.28 | |
| | G | 0.32 | 0.35 | 0.21 | | | |
| | Ls | 1.35 | 1.90 | 1.87 | 1.64 | 1.83 | 1.75 |
| | Rd | 0.20 | 0.37 | | | | |
| | Rd | | | 0.58 | 0.65 | | 0.57 |
| log(qs1)との 偏相関係数 (qs1:比堆砂量) | S | 0.46 | 0.59 | 0.68 | 0.62 | 0.47 | |
| | G | 0.37 | 0.64 | 0.47 | | | |
| | Ls | 0.78 | 0.94 | 0.95 | 0.93 | 0.90 | 0.92 |
| | Rd | 0.29 | 0.52 | | | | |
| | Rd | | | 0.71 | 0.70 | | 0.57 |
| 重相関係数 | | 0.855 | 0.948 | 0.961 | 0.953 | 0.913 | 0.925 |

(数量化I類による)

本節では、以上の検討に基づいて選定された雨量を用い、堆砂量予測の検討を行なう。ただし、種々の課題¹⁾の一部分が改良されたに過ぎないので、この検討を「予備検討」と位置付ける。

なお、著者らの予測の対象は堆砂量経年変化と比堆砂量である。しかし、前者はまだ予測ができる段階に至っていない。一方、後者は流域の侵食速度に関連づけられる量であるから、流域因子だけで予測可能であると考えられる。したがって、この予備検討では比堆砂量の予測を試みる。

降雨対象時間、遅滞年数(追跡ループは遅滞年数を決める際に使用)と堆砂量との関係を検討の結果、前述のように、総合的に見て年最大日雨量を用いるのが妥当であると考えられることから、ここでは、適切な位置にある雨量観測所の年最大日雨量を用いる。各貯水池に与える雨量としては確率値を選ぶのが適当であり、ここでは10年確率値を使用する¹⁾。

比堆砂量 qs_1 の実績値には、経年変化のタイプに応じ、流域の侵食速度を表すのに適した期間について、平均化したものを用いている¹⁾。

前節で述べた、堆砂・降雨・崩壊地の相互関係により、比堆砂量を見直す必要のある貯水池もあると考えられるが、現時点ではそのための資料が十分でないため、機会をあらためて報告したい。

表-1は、以上の諸検討で得られた雨量とそのほかの諸要因を用いて、数量化I類により比堆砂量 qs_1 の推定値を計算し、その推定値と実績値との相関(重相関)を求めたものである。

すなわち、目的変量の比堆砂量 qs_1 は量的データであるが、要因のうち地質区分Gと崩壊地分布Lsは質的データであるため、他の要因(平均傾斜Sと10年確率最大日雨量Rd)もランク分けを行なって質的データに変換し、数量化I類を適用する。

数量化I類は、要因が質的データで与えられる場合の重回帰分析であるから、求めるものは線形重回帰式である。すなわち、数量化I類の理論にしたがい、要因を0-

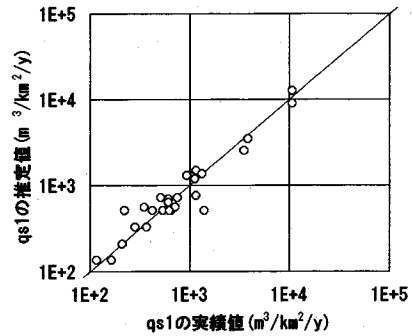


図-21 比堆砂量の実績値と推定値の比較(ケース4)

1型変量に変換し、最小2乗法により回帰式を求める。各貯水池の qs_1 の実績値と、回帰式によって求めた qs_1 の推定値との相関(重相関)を見るためプロットしたのが、図-21である。

表-1のケース(1)は、雨量データに、国内の全域にわたって求められている10年確率最大日雨量の等高線を用いたものである⁶⁾。このケースでは、比堆砂量の実績値が求められたすべての貯水池を使用しており、その数が77個である。ケース(3)以降には、本論文で得られた雨量を用いている。その中でまずケース(3)は、雨量を除く諸要因についてはケース(1)と同じである。ただ、貯水池数が28個と少ないのは、入手できた雨量データの貯水池数に依存したためである。そこでケース(1)とケース(3)を関係づけるため、前者の雨量と後者の貯水池を用いたのがケース(2)である。したがって、ケース(2)の重相関係数がケース(1)のそれより高い結果となっているのは偶然に過ぎないと考えられる。本論文で雨量を吟味した成果は、ケース(3)の重相関係数がケース(2)のそれよりどのくらい向上したかという点に現れる。

ケース(3)の重相関係数は、ケース(2)のそれと比べ、僅かながら向上している。僅かしか向上しなかったのはケース(2)の重相関係数が既に高い値であったためであると考えられる。雨量のアイテムレンジや比堆砂量との偏相関係数(いずれもその要因が、目的変量である比堆砂量に影響する程度を表す量)は大幅に向上している。とくに、偏相関係数は他の要因(この場合、傾斜・地質・崩壊地)からの影響を除去したときの比堆砂量との相関係数であるから理解しやすい。一般に、目的変量と高い偏相関係数をもつ要因は、説明変量として重回帰式に取り込むことが適切であると言われる。

ケース(3)の結果を基にして要因の選択を変えて考察する。基本的には、より少ない要因で、より高い重相関係数を得るのがよい。ケース(4)、(5)、(6)がその結果である。ケース(5)、(6)のように、要因を2個まで減らすのは少し行きすぎであろう。要因を3個(傾斜・崩壊地・

雨量)としたケース(4)が最もよいと考える。ただし、この結果は、あくまで今回のデータの範囲で言えることである。

10. 結論

本論文で得られた結論は以下の通りである。

1. 対象時間内雨量と年堆砂量との相関について
 - 1) パターンは、山型・長期降雨依存型・その他、の3種に分類される。
 - 2) 対象時間内雨量の年最大値と年堆砂量との関係を調べた結果、相関の高い雨量は総合的に見れば年最大日雨量である。
 - 3) 対象時間が短期の降雨のみに依存傾向をもつパターンは、今回扱った貯水池に関する限り見られない。
2. 降雨から堆砂への影響の遅れについて
 - 1) その年に影響の現れる貯水池が最も多い。しかし、1年および2年遅れる貯水池もある。
 - 2) 流域の平均傾斜が急になるほど、雨量から堆砂への影響の遅れは現れ難くなる傾向を示す。
3. 使用する雨量観測所の位置・条件について
雨量と堆砂の相関性は、観測所の位置そのものより、その支配流域における土砂の生産・流下能力の

程度に依存する。

4. 堆砂量予測について

本論文で得られた雨量を用いて、著者らの既往の研究結果を再検討したところ、重相関・偏相関とも向上した。また、今回用いた貯水池流域においては、要因として、傾斜・崩壊地・雨量の3因子を用いる場合、最もよい結果が得られた。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 建設省河川局編, 日本河川協会: 雨量年表, 1961-1993. 気象庁編, 日本気象協会: 地域気象観測年報, 1961-1993.
- 3) 電力土木協会: 発電用貯水池・調整池土砂堆積状況, 電力土木, 1964-1991.
- 4) 富山県自然保護協会編: 黒部川流域の自然と土砂流出 — 黒部川の濁水現象に関する報告 一, 関西電力, pp. 148-149, 1987.
- 5) 小出博: 日本の地すべり — その予知と対策 一, 東洋経済新報社, 1955.
- 6) 岩井重久, 石黒政儀: 応用水文統計学, 森北出版, pp. 241-246, 1979.

(1995.6.8 受付)

STUDY ON THE RELATION BETWEEN THE SEDIMENT AND THE RAINFALL

Yozo MIYAZAKI and Sotoaki ONISHI

Although there are many factors concerning the reservoir sedimentation, this research specifically focuses on examining the rainfall in such factors. For the more accurate sediment estimation, it is required to select the rainfall which is highly related with the sedimentation. Thus, this research analyzes the relation between the annual sediment and the precipitation of various duration. There has also been an consideration about the retardation of the sedimentation and the locations of the precipitation observatories. From these processes of selecting the rainfall, therefore, the study prepared the preliminary investigation into the sediment estimation to reach the result of more accurate estimation than the previous ones.