

(財)砂防・地すべり技術センター 梶木敏仁  
 応用地質(株) 山田祐司  
 (株)パスコ コンサルタント事業部 ○池田暁彦, 本田 健

## 1. はじめに

流域源頭部から河口部までの土砂移動現象（土砂移動の連続性）を捉えた場合、土砂が移動する場全体（流砂系）での土砂災害の発生防止を図るためには、砂防—ダム—河川—海岸の各領域での個別の事業を実施するのではなく、流砂系を対象とした土砂災害対策、すなわち流域土砂管理計画が必要となる。

本報告は、ある流砂系での流域土砂管理計画の中で、砂防事業の領域における計画を策定するために必要となる計画規模と計画期間の考え方について考察したものである。従来の砂防計画では計画規模を年超過確率規模の降雨で評価していたが、ダム貯水池が位置する場合には、ダム貯水池の洪水調節容量を阻害する土砂の移動を支配する全流量を考慮する必要がある。さらに、計画規模の降雨によって生産・流出した土砂は一気に下流へ流下せずに河道内に一旦堆積し、その後の中小出水や平常時の流水によって下流に流送されることが考えられるので、計画規模の降雨とともにその後の出水規模や下流へ流送されるまでの影響期間を考慮する必要がある。本報告では、このように同一流域内に輻輳する土砂移動現象の支配要因（降雨・流量）を対象とした計画とするために、それぞれに対応した計画規模と時系列的な計画期間の考え方について考察した。

## 2. モデル流域の設定

モデル流域は、多目的ダムが流域の下流端に位置し、流域内では河道沿いに人家・道路等の保全対象、河道には橋梁等が位置することを想定した（図-1）。

## 3. 計画対象現象の想定

モデル流域の流域特性を踏まえると、大規模降雨やその後の出水に起因してモデル流域内で想定される土砂移動現象とその土砂災害の形態は次のように考えられる。

- ①土石流による直接的な災害（土石流危険渓流）
- ②土砂流出に伴う河床上昇・低下による災害
- ③ダム貯水池が有する洪水調節機能の阻害

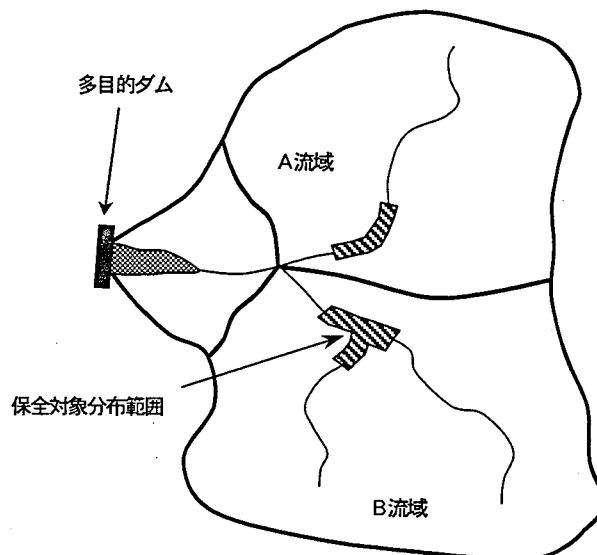


図-1 モデル流域の概念図

## 4. 計画規模と計画期間の考え方

### (1) 土石流対策の計画規模

土石流には崩壊に起因するものと溪床に堆積した土砂の二次移動に起因するものに大きく分類される。いずれの場合でも大規模降雨時において降雨強度が最大値を示した時に土石流が発生するケースが多い。一方、「土石流対策技術指針（案）」では土石流対策計画の計画規模を降雨量の年超過確率の日雨量で評価するものとし、原則として100年超過確率規模としている。したがって、土石流対策の計画規模は100年超過確率の降雨で評価した（100年超過確率日雨量）。

### (2) 河床上昇・低下に伴う土砂災害対策（地域溪流対策）の計画規模と計画期間

河床上昇・低下に伴う土砂災害は、大規模降雨で生産・流出した土砂が一旦河道内に堆積し、その後の中小出水や平常時の流水によって下流に流送されることに伴って生じる。そのため、計画規模の考え方としては、土砂生産を支配する降雨規模と、その後の出水による土砂移動を支配する降雨（流量）の時系列を組み合わせることが必要となる。

土砂生産を支配する降雨規模については、土石流と同様に100年超過確率規模の降雨量で評価した。ただし、ここでは土石流といった特定の土砂移動現象に限定するわけではなく、豪雨期間に生産される全ての土砂を対象とする必要があるため、対象となる流域の過去の豪雨時の降雨継続期間、雨域の移動状況等の降雨特性を把握することが重要である。

一方、こうした豪雨後の出水については、豪雨によって生産された土砂が一旦河道内に堆積し、徐々に下流河道に流送される現象を引き起こす降雨（流量）規模時系列を想定する必要がある。この時系列においては、豪雨時の新規崩壊や土石流の発生を想定すると、土砂災害が豪雨によって生産・流出した土砂の影響によるものなのか、豪雨後の出水によるものなのか判断できなくなる。したがって、豪雨後の降雨（流量）時系列では新たな土砂生産は発生しない降雨規模を設定し、計画期間は出水直後の河床が出水前の状態に戻るまでの期間、すなわち生産・流出した土砂が下流へ流

送されるまでの期間を考えた。

降雨（流量）時系列の設定に際しては、既往の降雨（流量）時系列を参考（反復発生させるなど）に設定する方法がある。しかし、過去の降雨（流量）時系列が、河床変動に対してどのような影響を及ぼし、またそれがどの程度の確率規模、発生頻度であり、出現のタイミングがどうなるのか について把握する必要がある。これは将来発生しうる降雨（流量）時系列の想定に際してどの程度の規模が、どのくらいの確率で、いつ発生するのかを設定するためにも必要である。そこで、本報告では過去の実績に基づいた今後の降雨（流量）時系列を設定は、豪雨後に発生する降雨規模が不確定な現象であるものとして確率的評価を行った。評価は、年ごとの最大日雨量が独立で、年最大日雨量がある定められた値を超える確率がどの年についても等しければ、連続する何年間における最大日雨量はベルヌーイ試行列に帰着することを用いて行った。このベルヌーイ試行列によって、過去に発生した規模ごとの発生確率を評価して降雨（流量）時系列を設定した。ベルヌーイ試行列は下記のような仮定に基づくモデルである。

①1回の試行で可能な結果は2種類である。すなわち、ある事象が発生するかしないかである。

②対象とする事象が発生する確率は各試行を通じて一定である。

③各試行は確率統計的に独立である。

1回の試行においてある事象が発生する確率を  $p$  とすると（発生しない確率は  $1-p$ ）、 $n$ 回のベルヌーイ試行列においてちょうど  $x$ 回この事象が発生する確率は次のような二項分布の確率関数として与えられる。

$$P(X = x) = \frac{n!}{n! / [x!(n-x)!]} p^x (1-p)^{n-x} \quad x=0,1,2,\dots, n \quad ; n \text{ と } p \text{ はパラメータ}$$

### (3) ダム貯水池洪水調節機能の阻害対策（ダム貯水池上流対策）の計画規模と計画期間

ダム貯水池では、その上流で生産された土砂の内、WL（ウォッシュロード）を除く土砂は全てダム貯水池内に堆積するため、ダム貯水池上流対策では、計画期間内における土砂移動を支配する全降雨（流量）を考慮する必要がある。また、ダムには計画堆砂期間が設定され、ダム上流域の土砂生産・流出特性に応じて50年、100年等に設定されている。

そこで、ダム貯水池上流対策の計画期間は、基本的にはダムの計画堆砂期間と同じ期間として考えた。ただし、ダムの竣工と同時に計画を策定することは現段階では考えにくいので、ここでは計画策定時点における竣工後の経過年を計画堆砂期間から差し引いた期間を計画期間として考えた。

この計画期間内に発生する土砂移動を支配する降雨（流量）時系列は、地域溪流対策と同様に確率的評価を行い、ベルヌーイ試行列によって検討した。一方、ダム貯水池上流対策では豪雨など土砂生産に関与する事象の他に計画期間内に発生する全降雨（流量）を対象とする必要がある。すなわち、50年、100年超過確率規模などの大規模降雨（流量）の他に2年、5年超過確率規模の降雨（流量）も想定する必要がある。これらの規模はある期間で2回以上発生しうる事象である。そこで、ダム貯水池上流対策における計画期間内に、ある事象が2回以上発生する場合の確率を評価するためにポアソン過程を用いて検証した。このポアソン過程によって、過去に発生した規模ごとの発生確率を評価して降雨（流量）時系列を設定した。ポアソン過程は下記のような仮定に基づくモデルである。

①事象はいかなる時刻でもランダムに発生しうる。

②与えられた時間での事象の発生は、それと重複しない他の任意の時間に対して独立である。

③微小時間  $\Delta t$  における事象発生の確率は  $\Delta t$  に比例し、 $\nu \Delta t$  と表せる。ただし、 $\nu$ （定数と仮定）は単位時間当たりの平均発生回数である。

以上の仮定に事象に基づくとすれば、時間  $t$  間に事象が発生する回数はポアソン分布に従う。すなわち、時間  $t$  における事象の発生回数を  $Xt$  とするとその確率は次式によって表される。

$$P(Xt = x) = \frac{(\nu t)^x}{x!} e^{-\nu t} \quad x=0,1,2,\dots$$

ただし、 $\nu$  は平均発生率である。すなわち、単位時間当たりの事象の平均発生回数である。

## 5. おわりに

本報告では、流域土砂管理計画において対象とする現象を想定し、計画規模と計画期間の考え方について考察した。その結果、土石流対策は100年超過確率規模日雨量、地域溪流対策・ダム貯水池上流対策は過去に発生した現象の確率評価を行い、今後想定される確率規模、発生確率を検証して過去に実績と併せながら時系列的に設定することを考えた。

今後は実際に計画規模・計画期間を設定し、それを計画に適用しながらこの考え方の妥当性、改良点について考察する必要がある。