

1. はじめに

土砂調節の量的概念は、定量的な砂防計画の構想とともに生まれ、砂防ダムの土砂調節と同様に河道の土砂調節も取り上げられることとなった¹⁾。しかし、河道の土砂調節は、現実の河道で起こっている土砂の移動・堆積現象に基づいて取り扱われるというより、砂防計画の整合上、便宜的に取り扱われてきたという経緯があった。砂防施設によって土砂処理を考える際には、まず、自然河道の持つ土砂の移動・堆積に果たす役割を評価する必要がある。この意味では、河道の土砂調節は第一に明らかにされなければならない要素であった。

本研究は、現実の溪流における土砂の移動・堆積現象を時系列に沿って考察することにより、自然河道、特に拡幅部における土砂の移動・堆積に果たす役割を明らかにし、これによって河道の土砂調節について検討したものである。

2. 溪流における土砂の移動・堆積の実態とその解析

2.1 東河内実験溪流観測区間

1979年から大井川上流の東河内流域に実験溪流を定め、この上部に位置する最大規模の拡幅部（区間長約1.1km、最大谷幅約130m、平均勾配約1/11）を観測区間と名付け、溪床変動が起こるたびに溪床形態の変化を詳細に測定している。

2.2 観測区間全体の溪床土砂堆積量の変化

図-1は、各洪水によって観測区間全体の溪床土砂堆積量がどのように変化していったかを示したものである。この溪床土砂堆積量は、基盤岩上の溪床土砂堆積量であり（基盤岩面は弾性波探査によって推定した）、洪水前後の溪床変動測量から求められている。

1982年8月の台風10号による豪雨（総雨量741～933mm、最大時間雨量52～70mm）によって、大規模堆積が起こり、その後観測区間は洗掘過程に入り13万 m^3 程度の一定値に収れんする傾向を見せている。

2.3 単位流量当りの溪床変動量の洪水時系列変化

観測区間全体の溪床変動量をピーク流量で除し、それを洪水の発生順に並べてみると、単位流量当りの溪床変動量が洪水発生時系列に沿って指数関数的に減少するという規則性を見ることができる（図-2、図-3）。また、図-3は、模式的には図-4のように表すことができ、堆積規模の違いによるその後の洗掘過程での堆積土砂の流出状況の違いを見ることができる。さらに、堆積規模と溪床土砂堆積量推移の関係を模式的には図-5のように表すことができる。なお、図-5では簡単のため洗掘過程での各洪水時の流量がすべて同じと仮定している。

2.4 谷幅と単位流量当りの溪床変動量の洪水時系列変化

図-6は、観測区間の比較的谷幅の狭い区間(平均谷幅 50m)とそれ以外の谷幅の広い区間(平均谷幅 72m)との単位流量当りの溪床変動量の洪水時系列変化の違いを示したものである。これは模式的には図-7のように表すことができ、谷幅の違いによる洗掘過程での堆積土砂の流出状況の違いを見ることができる。さらに、谷幅と溪床土砂堆積量の推移の関係を模式的に図-8のように表すことができる。この場合も、図-5と同じ仮定を置いている。

3. 河道の土砂調節に関する考察

3.1 河道の土砂調節のこれまでの考え方

木村(1951)¹⁾は、砂防ダムの調節機能を“洪水時に多量の土砂を留置して、その後の流水で徐々に水筋をつくりながら平均勾配になるよう土砂を流しているのを見る”ことがある。この洪水時に貯留して、中水以下で流れ出るものは、下流には害がないものであって、この量が調節量である。”と述べ、これと同じ機能が自然の河道にもあるという間接的な表現で河道の土砂調節を述べている。このように、砂防ダムによって積極的に土砂をコントロールしようという意欲のあらわれが、中水以下で流れ出るものは下流に害のないものという規定となり、調節という言葉になってあらわされたとみることができる。この場合、河道の土砂調節についても、中水以下で流れ出るものは下流に害のないものということが、暗に仮定されていることになる。

新沢(1952)²⁾も、木村とほぼ同じ考えを述べ、河道の土砂調節量を具体的に図で示した。すなわち、堆積量として図-9に示すように水面以上の部分を取り、これをPとし、砂礫州間流路の空間量をMとすればこれが近似的に調節量と考えられると述べた。さらに調節比(S)に触れ、 $S = M / P$ で表されると述べた。

現行の河川砂防技術基準(1986)³⁾では、河道の土砂調節の概念は、河道調節量として砂防計画の中に具体的に取り上げられている。そして、一洪水による生産土砂量のうち計画基準点にまで到達しなかった量という意味づけをされている。

3.2 土砂の移動・堆積実態に基づく河道の土砂調節

図-1は、実験溪流観測区間が1982年の8月豪雨によって上流から来た土砂を一気に通過させるのではなく、ある量を一時的に堆積させ、その後の洗掘過程でその土砂を小規模化させ、下流に継続的に流出させるという役割を果たしていることを示している。また、単位流量当りの溪床変動量が指数関数的に減少するという規則性のため、指数関数的に小規模化するということになる。これほど概念は明確ではなかったが、当初木村はこのような河道の役割を想定し河道調節(河道の土砂調節)と呼んだものと思われる。

ここで、従来の河道調節の不明確さを土砂の移動・堆積実態に基づいて正したうえで改めてつぎのように定義する。ある区間の河道調節は、①一時的に土砂を堆積させる作用(その量が河道調節量)と②その堆積土砂の下流に対する流出を小規模化(指数関数的に)、継続化させる作用からなっている。

3.3 考察

前述の定義は、河道調節が土砂の堆積とその後の洗掘という時系列変化の中で意味を持つものであり、①と②の作用が不可分の関係にあることを示している。また、このように定義すると図-5の D_s 、 D_b 、図-8の D_n 、 D_w がある河道区間の河道調節量ということになる。そして図-5に示されるように、堆積規模（河道調節量）が大きい（ $D_b > D_s$ ）ほど、調節土砂を小規模化し、下流への流出を継続化させる作用が大きい（ $T_b > T_s$ ）ということになる。また、図-8に示されるように、谷幅の広い区間ほど河道調節量が大きく（ $D_w > D_n$ ）、調節土砂を小規模化（指数関数的に）し、下流への流出を継続化させる作用も大きい（ $T_w > T_n$ ）ということになる。

この定義からわかるように、一旦河道に堆積し、その後下流に流下する土砂が無害であるか否かは保証の限りでない。調節土砂を指数関数的に小規模化することから考えると、堆積後の洗掘過程のはじめの洪水では、河道から下流への流出土砂はかなり大きいと考えられる。実際、観測区間は8208洪水で約15万 m^3 の土砂を堆積させたが、つぎの8209洪水では下流に対して9万 m^3 を越す土砂を生産している。また、この定義による河道調節量は、洪水前の溪床土砂堆積量あるいは洪水時の上流からの流出土砂量の違いによって調節量に差のあることを表現でき、木村、新沢の示した河道調節量より合理的なものと考えることができる。

先に述べたように、河川技術基準の河道調節量の概念は、これまでに比べ、一見明確になったように見える。しかし、生産土砂量の中に河床堆積物の二次洗掘による土砂生産量を含むと述べながら、これと河床への堆積量である河道調節量との関係については、何も触れられていない。しかも実際には、河道調節量は生産土砂量にある係数を乗じて求められており、木村の時代と基本的には変わっていない。これは、河道調節が土砂の堆積とその後の洗掘という時系列変化の中ではじめて意味を持つという視点が欠落しているためである。一つの洪水を想定し、砂防基準点という一つの場所で流出土砂量を評価するとしても、想定洪水に至るまでの河道各部の土砂移動の歴史が解明されなければ、枸杞の述べた“みじめな状況”⁴⁾はいつまでも解消されないであろう。

なお、本研究でこれまで述べてきたのは、溪床土砂堆積量がある収れん値に近づくまで洗掘過程が続く場合であるが、洗掘過程が続くか否かは洪水規模と同時に供給される土砂濃度に依っている。中小規模の洪水であっても供給される土砂濃度が高い場合は堆積に転ずるし、大規模洪水であっても低い場合は洗掘になることに注意する必要がある。

4. おわりに

河道調節（河道の土砂調節）という言葉が既に定着しているので、本研究でもこの言葉を使ってきた。しかし、調節とは人為的な効果を表す用語であり、河道調節という用法は成立しない⁵⁾という立場、また、これまで述べてきたように現実の土砂の移動・堆積現象を的確に表現して来なかったという歴史的経過から、遊砂、滞留という言葉で現象を表現しようという試みも出ている^{6, 9)}。このようにみてくると、河道調節という言葉は、今再検討の時期に来ているのではないかと思われる。

引用文献

- (1) 木村弘太郎：河川、26年5月号、10～15、1951 (2) 新沢直治：新砂防 9、5～7、1952 (3) 建設省河川局：改訂建設省河川砂防技術基準 計画編、228pp、山海堂、1986 (4) 枸杞芳彦：新砂防 83、32～37、1972 (5) 清水 宏：北大演報 40、101～195、1983 (6) 中村太士：北大演報 45、301～369、1988

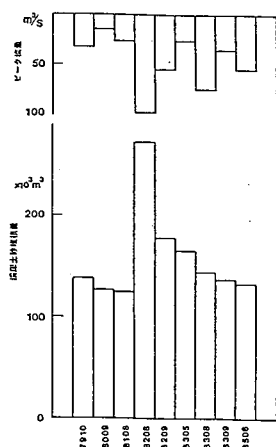


図-1 溪床土砂堆積量の時系列変化

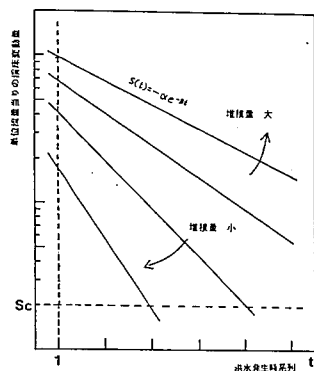


図-4 模式的な単位流量当りの床変動量変化

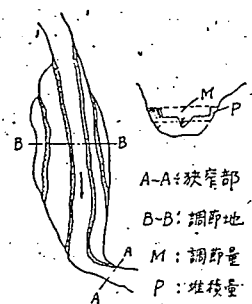


図-9 新沢の示した土砂調節量

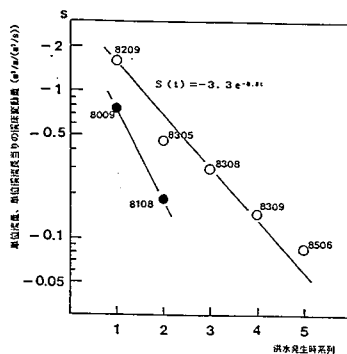


図-3 単位流量当りの床変動量変化の指数関数式

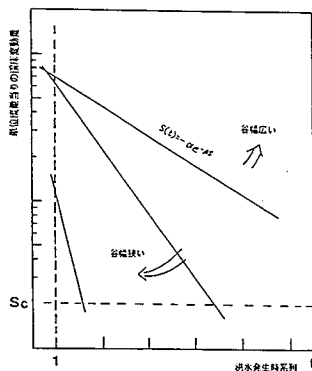


図-7 谷幅と単位流量当りの床変動量変化との模式的関係

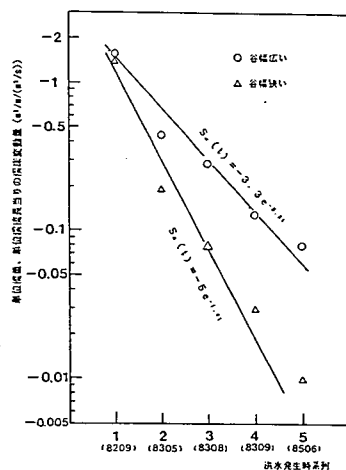


図-6 谷幅と単位流量当りの床変動量変化

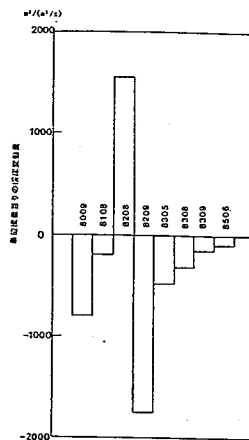


図-2 単位流量当りの床変動量の洪水時系列変化

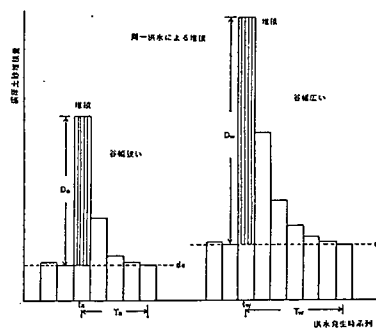


図-8 谷幅と溪床土砂堆積量の推移

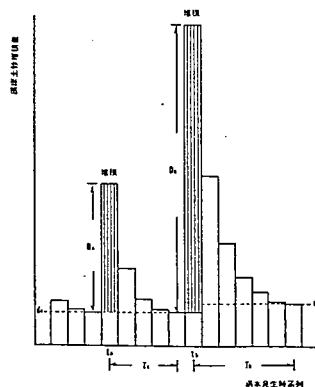


図-5 堆積規模と溪床土砂堆積量の推移