

29 洪水時の土砂流送と河道の土砂輸送能

鳥取大学 奥村武信

1 はじめに

流域での土砂流送過程の的確な把握は、水系砂防計画のうえで大きな課題である。山腹等での生産土砂量から流域下流端での流出土砂量への変換は、河道への土砂供給量、河道での存在量、河道の土砂輸送能力、輸送阻害要因に支配されている。懸案地点への流下土砂量の推算に際しては、土砂流送過程に関わるこれら要因が同程度の詳しさを評価される必要がある。このうち、河道の土砂輸送能力について、筆者はかつて河道区間末端における集水面積 A_d と河道勾配 S という獲得し易い地形量の積「ストリーム・パワー」で表現できることを提案し¹⁾、1953年南山城水害における和東川流域の資料等を解析し、流下土砂量 V_s は $A_d S$ と 2 乗の関係が成り立つことを述べた²⁻⁴⁾。しかし、理論的には $V_s \propto A_d S$ でなければならず、 $V_s \propto (A_d S)^2$ の関係を十分説明しきれない不満足を残した。同じ和東川の資料等を更に詳しく検討した結果、河道の土砂輸送能力の指標としてはやはり $A_d S$ の 1 乗でよいことがわかった。⁵⁾ なおここでは、2つの地形量の積 $A_d S$ を「土砂輸送能」と呼ぶ。

2 使用したデータとその性格

ここでは、主に和東川流域 75.5Km^2 での土砂移動に関する調査(a)²⁾の数値を使い、吉野川早明浦ダム流域 417Km^2 について1975、1976年の台風後に土砂移動実態を解析した調査報告の諸量(b)⁶⁻⁷⁾、ならびに1982、1983年の数回の豪雨による天竜川上流水系での土砂動態を解析した報告のうち小渋川流域 295Km^2 で検討された諸量(c)⁸⁻¹⁰⁾にも触れる。

a には、5,528箇所土砂生産点と併せて939箇所に分けた土砂堆積点について位置と量が報告されている。1/2.5万地形図から読み取った谷線に始まる流路に沿って、堆積点通過によって負となる流送土砂量を修正する再計算を行った。ここでは、地山量の流送土砂量への「ほぐれ率」は考えない。

b、c の場合、縮尺1/2.5万地形図から読み取った2次流域及び3次以上の流域を2次水流合流点で分割した小流域を計算単位とし、崩壊地における諸量及び各次数河道の溪・河床の変化は、空中写真判読とサンプル崩壊地・河道での現地調査に基づく規準量を設定した計算が進められている。

3 土砂流送量と「土砂輸送能」

和東川流域の土砂流出のあった河道区間の、河道次数ごとの流送土砂量 V_s と $A_d S$ の散布図(図-1')を見ると、一見では $V_s \propto (A_d S)^2$ の関係がある。しかし、これは全河道がその能力に対応した土砂量を斜面あるいは上流河道から供給されないからであると解釈する。

和東川流域1~3次河道での土砂輸送能階級毎に V_s の分布を調べると、各階級で V_s は対数正規型の分布を示し、2倍に過ぎない $A_d S$ 値の幅の内に流送土砂量は1,000倍の幅をもち、土砂を流送しない河道も多く、その河道数割合は $A_d S$ が小さいと顕著に増加している。(図-2)

土砂輸送能力が有効に働くか否かは、ひとつには山腹斜面から土砂の供給があるか否かにかかって

いる。和東川流域でそれを調べると、半数以上で斜面からの土砂供給がなかった。供給のある斜面でも、その強度（供給量／流域面積）は対数正規型の分布を示した。この分布型は早明浦ダム、小渋川流域でも認められたが、計算単位面積が広だけ低い供給度となった。（図-3）

これらの点は、流域内での土砂流送過程を検討するうえで看過できない重要なことである。

4 $V_s \propto AdS$ か $V_s \propto (AdS)^2$ か

筆者はかつて $V_s \propto (AdS)^2$ の関係が成り立つことを述べた。しかし、土砂供給が十分でないため能力を満足させた土砂量を流送しない河道が多く存在することを考えれば、河道の土砂輸送能力の指標としての AdS の適用性を議論する場合、図-2の分布曲線のピークを結ぶ関係よりも、図-1の散布図に描いた飽和曲線とでも呼ぶべき $V_s \propto AdS$ の関係を採用するべきであろう。

和東川及び小渋川流域の散布図（図-4）には $V_s(m^3) = AdS(Kn^2) \times 10^2$ の関係を、早明浦ダム流域（図-5）では $V_s = AdS \times 10^2$ の関係を描いた。図-1で $V_s = (AdS)^2 \times 10^2$ の関係を、また図-4、5で $V_s = (AdS)^2 \times 10^2$ の関係を想定しても、各図に示した $V_s \propto AdS$ の関係との優劣はつけ難い。 $V_s \propto AdS$ を想定するよりも $V_s \propto (AdS)^2$ を想定した方が輸送能力を満足させている AdS の小さい河道が多くなる。しかし他方、 AdS の高い河道ほど能力を満足させる河道は少なくなる。これは、前述の土砂を流送しない河道が AdS の小さいほど顕著に増加した傾向に反する。

和東川流域における、ある次数の河道群間での土砂収支と河道群の AdS の累加値との関係を図-6に示す。プロットに付された2桁の数字の1桁目が土砂を流送した河道の次数を、2桁目が土砂供給を受けた河道の次数を示し、1桁の数字は流域最下流端での関係であることを示す。斜線は $V_s = AdS \times 10^2$ を示す。供給側の河道次数が低い時この関係から1オーダーも流送土砂量でしかないが、供給河道の次数が上がるとこの関係に近づく。低次河道では輸送能力に対応した量を流送しないものが多いけれども、河道次数が上がる程河道群として輸送能力に対応した量を輸送することを示す。いくつかの流路沿いに流送土砂量と AdS の関係の変動を検討すると、大勢として下流ほど上の関係を満たす方向に推移した。

図-7は、図-6と同様に河道群間の土砂収支を $\Sigma(AdS)^2$ との関係で示したものである。点は図-6に比較すると1乗の狭い範囲に集まるが、前述の「高次河道程この線に近づく」傾向はない。筆者は、「高次河道程この線に近づく」傾向が河道の土砂輸送能力を表す指標としての AdS の適合性を議論する上で重要であると考えた。

5 結びにかえて

図-8には、文献11で描かれた $V_s \propto (AdSRd)^2$ を示す破線と、 $V_s \propto AdSRd$ を示す実線を描いた。ここでは、筆者らが文献3で多くの土砂流出に関するデータを検討した時に使ったように、河道勾配 S として落差200mでの値 I_{200} がとられ、降雨量の偏差を勘案するために計算点から上流の平均雨量 Rd を乗じた値を輸送能力を表す指標としている。図を見ると、 $V_s \propto (AdSRd)^2$ よりも $V_s \propto AdSRd$ の方が、両年の降雨の差を含めて河道の土砂輸送能力を旨く表せることがわかる。

過去の多くの資料を解析した文献3において、筆者らは図-9の3本の $V_s \propto (AdSRd)^2$ を示す

線の間には多くのデータがプロットされることを示した。図-9には新しく、 $V_s = AdSRd \times 10^4$ の線を描き込んだ。右上方でこの線より上に位置するプロットは1961年小渋川流域のデータであるが、文献11によるとこの土砂量は過大評価されているということである。これらを除外すると、全てのプロットは新しく描き込んだ $V_s = AdSRd \times 10^4$ の線で包絡される。

最後になりましたが、資料提供を頂いた各事務所に対して深甚の謝意を表します。

文 献

- 1) 奥村武信：山地流域における土砂流送過程について、新砂防No 94 (1974)
- 2) 〃〃〃：豪雨時の土砂流出過程について、昭和50年度砂防学会研究発表会要旨 (1975)
- 3) 芦田和男、〃〃〃：豪雨時の流出土砂量に関する資料の解析研究、自然災害資料解析4 (1977)
- 4) 〃〃〃：砂防計画における流出土砂量、新砂防No 107 (1978)
- 5) 〃〃〃：洪水時の土砂流送と河道の土砂輸送能、鳥大農研報43 (投稿中)
- 6) 京都府土木部砂防課：昭和31年度砂防調査報告書 (1957)
- 7) 吉野川砂防工事事務所、国際航業：昭和52年度吉野川上流域崩壊地調査報告書 (1978)
- 8) 〃〃〃、日本工営：昭和52年度早明浦ダム上流砂防基本計画検討業務委託報告書 (1978)
- 9) 〃〃〃、アジア航測：昭和52年度吉野川上流域崩壊地調査(その2)報告書 (1978)
- 10) 天竜川上流工事事務所、国際航業：昭和60年度小渋川・太田切川土砂動態調査報告書 (1986)
- 11) 〃〃〃、砂防地すべり技術センター：昭和60年度天竜川上流砂防基本計画検討業務報告書 (1985)

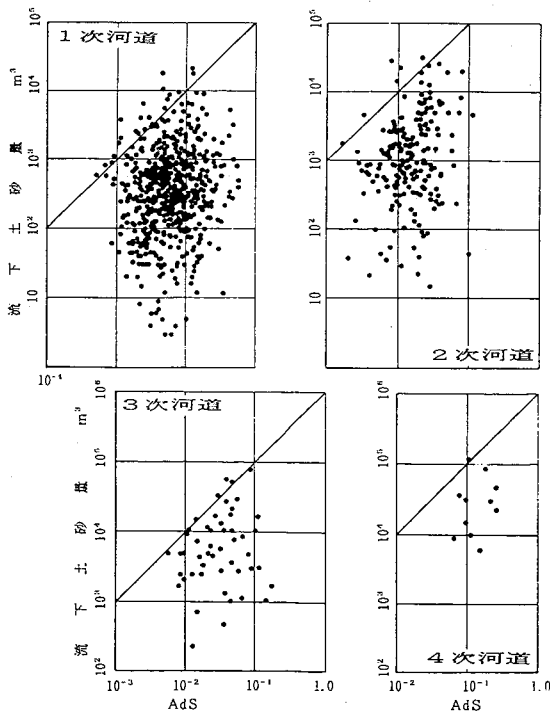


図-1 和東川流域1~4次河道のAdSと流下土砂量の関係

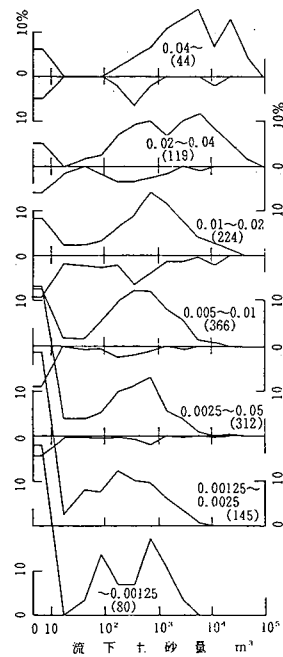


図-2 和東川流域でのAdS階ごと、流下土砂量の頻度分布

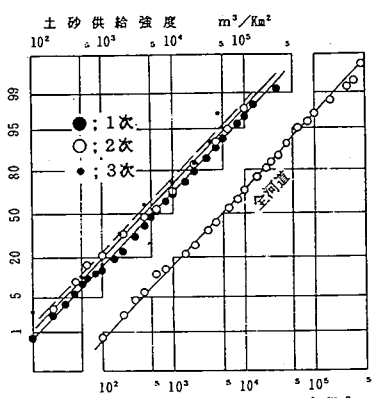


図-3 和東川流域河道群への斜面からの土砂供給強度の分布特性

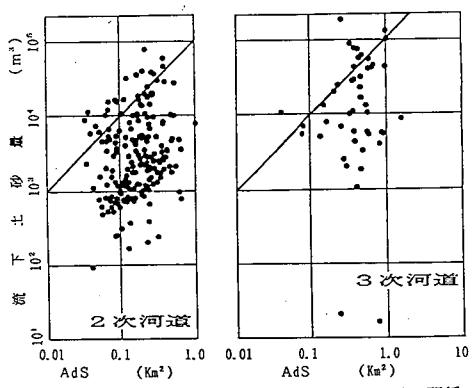


図-5 早明浦ダム流域でのAdSと流下土砂量の関係

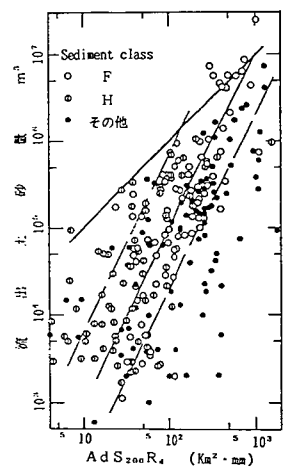


図-9 豪雨時の流出土砂量と土砂輸送能との関係

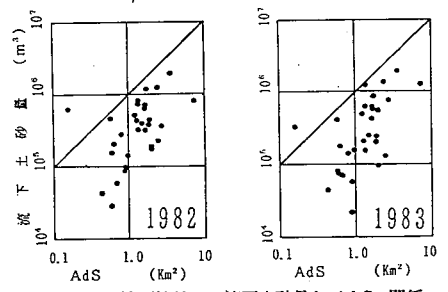


図-4 小波川流域での流下土砂量とAdSの関係

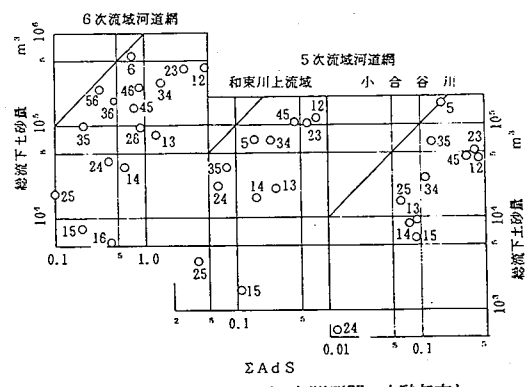


図-6 和東川流域における河道群間の土砂収支とΣAdSの関係

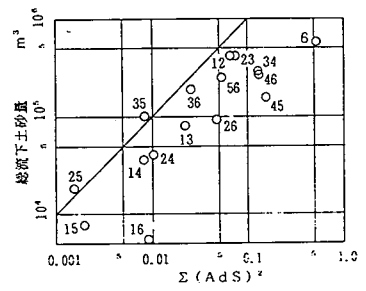


図-7 和東川流域における河道群間の土砂収支とΣ(AdS)²の関係

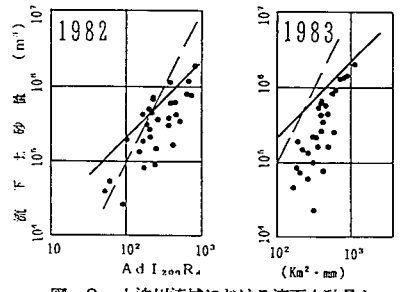


図-8 小波川流域における流下土砂量と土砂輸送能の関係