

建設省土木研究所 正会員 石川 忠晴

1. はじめに

河道にダム等を建設すると、そこで土砂の流下が阻止されるので平衡関係が保たれなくなり、大規模な河床変動が生じる。すなわち、下流部では河床が低下し、在来の取水口の機能の阻害、護岸根固めの崩壊、ダム減勢工の機能低下を引き起こす。上流部においては堆積が生じ、河床の上昇に伴う洪水被害の増大、貯水容量の減少などの問題が生じる。

このような河床変動を予測するのに、従来は以下のような方法がとられてきた。まず、現河床形状について適当な流量条件のもとに不等流計算を行ない掃流力の縦断分布を求める。次に適当な流砂量式を用いて流砂量の縦断分布を計算する。最後に流砂の連続条件式から河床変動量を求める。以上のプロセスを繰り返せば、河床縦断形状の時間的変化を予測することができる。この方法は形式的には河床変動現象をそのまま追うことになるので、各方程式やパラメータ及び流量・流入土砂量等の計算諸条件が正しく与えられていれば、十分な精度の予測結果を得ることができよう。しかし実際には、種々の問題があって、必ずしも十分な結果の得られないのが現状である。

本研究では、従来とかなり異なった視点から現象をとらえ、より簡明で且つ現在の土砂水理学上の知見の精度に見合った精度を有する計算法の開発を目指した。紙面の制約から本報では基本的な考え方を述べ、計算式の詳細については別の機会に報告させていただくことにする。

2. 平衡河床縦断形

完全に安定な動的平衡河床形状というもの、おそらくあり得ない。例えば狭窄部があれば、大出水時にはその上流部でセキ上げが生じるので土砂が堆積し、小出水時に次第に浸食されてゆくであろう。この様に河川の縦断形は洪水とともに変化し、全く安定な状態は考えられない。しかし、もう少し長い時間尺度で眺めてみたらどうであろうか。例えば100年程度の期間をとる。その間何回も洪水が起きて河床は変動するであろう。だがもしその流域の降雨・流出及び土砂生産状況が確率的な意味で定常であり、その状態が何千年か続いていたとすれば、もはや一方向的なトレンドを持った変動はほとんど見られず、ある平均的な位置のまわりで変化すると考えてよいのではないか。渓流部から扇状地に到る中間の河道はこのような状態に近いものと思われる。この状態を平衡状態と呼び、平均的な形状を平衡河床縦断形と呼ぶことにする。明らかなように、平衡河床縦断形は現実の河床縦断形と必ずしも同じではない。しかし、現実の縦断形を適当に平滑化した形状に近いと考えてよからう。平衡河床縦断形は次のような性質を持っているであろう。数十年程度のオーダーで考えれば、上流断面から流入した土砂とほぼ等量の土砂を例えば10km下流の断面から流出する。このような条件が満たされなければ河床は全体に上昇するか下降するか、いずれにせよ一方向的な変動が生じるからである。したがって平衡河床縦断形は、その流域の降雨流出状況及び土砂生産状況に見合った勾配を有していると考えられる。

3. 大規模な河床変動

上記の意味で平衡状態にある河川区間にダム等の人工構造物が建設され、平衡関係が崩れたとする。すると縦断形は新たな平衡状態に向って変動するはずである。この変動は、平衡状態

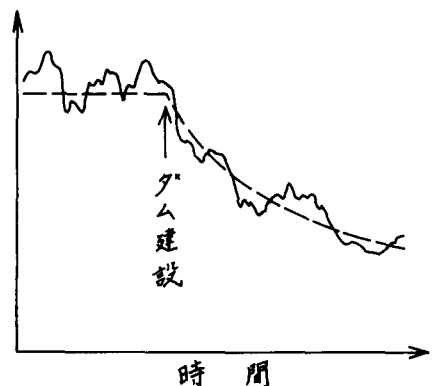


図1 大規模な河床変動

においても存在した変動とは異なり、一方向的な性質を有する変動である。これを概念的に示すと図1のごとくである。紙面が二次元的であるのでうまく表現できないが、縦軸は河川縦断形に関するパラメータとでも考えていただければ良いと思う。人工構造物が建設される以前は、平衡状態のまわりに揺いでいたのが、建設後には一方向的な変動が加わるのである。この様に明確なトレンドの見られる河床変動を、大規模な河床変動と呼ぶことにする。ダム建設に伴い上下流に発生する河床変動は、明らかに大規模な河床変動である。

4. 本研究の狙いと概要

ダム建設にあたって予測しておかねばならないのは、この大規模な変動、すなわち一方向的な変動成分である。ところで従来の計算法は、ある時点における河床形状から以後のすべての変動(図1の実線部)を逐次追ってやこうとするものである。ところが先に述べたようにいくつかの問題点がある。その中でもダム計画の際特に問題となるのは、計算の諸条件をいかに与えるかである。過去20~30年の流量記録をもとに将来100年間の流量時系列(さらに流入土砂量の時系列)を作成しなければならないことも多い。したがって、かなり無理をすることになる。現在のところ時系列値の与え方は、①過去の記録を繰り返して与えるか、②過去の記録を統計処理し適当な確率論的手法を用いて与えるか、である。しかし過去の記録は必ずしも極限的な洪水を含んでいないので、②の方がより合理的と考えられている。ところが、確率論的手法では時系列曲線がひとつには定まらない。極端な場合100年確率の洪水がひとつの月間において続けて生起することも否定できない。したがって多くの時系列曲線を作成してそれぞれ結果を出し、それらを見比べて結論を出すことにならう。しかしこの作業は言ってみれば際限がないのである。つまり、30通りでなければ満足しない人もいであろう。あるいは極端な結果に注目して危険側で線を引く人もいられるかも知れない。いずれにせよ、すべての人のコンセンサスを得る方法は思い出せないのである。なぜならば、個々の変動が極めて偶発性の強い洪水という事象によっているのであるから、これをそのまま計算する限りにおいては、将来のことを決定論的に結論づけることは不可能だからである。さりとて、確率論的結論では計画自体成り立たなくなってしまう恐れがある。

ダム建設の影響を決定論的に扱いたいという工学的立場からすれば、まず、図1の破線の部分のみを扱う方が得策である。本研究ではこの点に着目した。

ダム建設前の平衡縦断形状は、その流域の降雨流出状況、土砂生産状況を反映しているのであるから、これを解析の基に据えることによって情報の不足をかなりカバーすることができるはずである。具体的には次の様に考える。或る期間に V_0 の土砂流出があったとすると、ダム建設前の平衡勾配 I_0 のもとでは、その期間の出水によって同量の土砂が下流に運ばれていたはずである。ダム建設後に勾配が I ($I < I_0$) に変化したとすると、その区間の土砂運搬能力は当然変化(減少)する。この減少の度合いは既存の流砂量式のほとんどが α の小さい範囲を除けば $\beta \times \alpha^2$ と書かれることを利用するとほぼ推定でき、 V_0 と勾配 I 及び α を用いて表わされる。 $V_0 = f(I_0, I, \alpha)$ 。ここで重要なのは次の2点である。ひとつは移動土砂量の相対的变化のみを取り扱う点である。周知のように、現段階ではすべての河川について定量的に成り立つ流砂量式は見い出されていないからである。いまひとつは計算条件として流量、流入土砂量の時系列値を必要としない点である。当該流域におけるそれらの性質は V_0 と I_0 に集約されているとしている為である。この様にして得られる移動土砂量を流砂の連続式に代入すると、各断面の河床変動量に関する連立一次方程式が得られる。(紙面の都合からここでは省略させていただく。)この式の性質を明確にする目的で I_0 が全計算区間で一定という条件のもとで式を変形してみたところ、次式を得た。

$$\frac{dZ}{dV} = \frac{C}{I_0 B} \cdot \frac{d^2 Z}{dX^2} \quad (1)$$

参考文献 石川、土木技術資料 22-3, 1980年3月