

ダム堆砂に関する研究

芦 田 和 男

STUDY ON RESERVOIR SEDIMENTATION

By *Kazuo* ASHIDA

Synopsis

Reservoir sedimentation generally takes a form of delta which is composed from four parts, namely top-set, fore-set, bottom-set and density-current bed. To estimate the form of delta deposition is very important and an analytical estimation for it has been developed only for bed load transportation which corresponds to the case without bottom-set bed. It is not clear how the existence of the bottom-set bed affects on the river-bed variation of top-set bed obtained by the above estimation. This may be a difficult poin in applying the above estimation to actual problems.

In this paper, author treated the above problem and developed an analytical method to estimate the river bed variation due to the sediment deposition in both case with and without bottom-set bed. And also, it is made clear that the bottom-set bed has little effect on the river bed variation of upstream part of top-set bed and the analysis without bottom-set bed is useful for practical problems.

1. 緒 言

ダム堆砂による障害は最近各地で種々の問題を提起しておりその重大さは広く認識され、多くの研究がなされてきた。その結果掃流砂による堆砂機構は、堆積土砂の粒度構成の予知に問題は残されているが、かなり明確にされ、河床変動の計算法も一応確立されている。実際におけるダム堆砂はいうまでもなく掃流砂および浮流砂によるものを含むが、満水位より上流の河床上昇いわゆる背砂の問題に対しては掃流によるものが支配的と考えられ、これを計算によって予知する場合には一般に上述の計算法が適用されている。しかしこれにはつぎのような問題点がある。第一は流入土砂量の適確な予知の問題であり、今一つは掃流堆砂の前面に堆積する浮流堆砂の存在を無視することによる影響である。流入土砂量を水理計算によって求める場合には普通流量時系列を設定し、これに流砂量公式から求めた流量一流砂量関係を適用するが、公式の精度、流量時系列の予測などから考えてもとより正確な予知は不可能に近い。しかしこのような計算は一応の基準を与えるものであると考えればその意義も十分に理解しうる。しかしこうした流入土砂量の予知法には今一つの根本的な問題を含んでいる。すなわち上述の計算は河道条件が変化しないという前提の上でなされているものである。しかし土砂の生産地が懸案地点に近い場合には大洪水によって河道条件が一変することもしばしば経験する所で、この面から適用上かなりの制限が含まれている。これは重要な問題であるが、その検討は別の機会にゆずることとする。

一方浮流堆砂の影響を無視することによる影響は、従来ほとんど検討されていないが、著者らがさきに行なった浮流堆砂・掃流堆砂を同時に含む場合の実験によればその特性は掃流堆砂のみの場合と非常に異なっ

ており、十分検討されなければならない問題であろう。そこで本論文においては、掃流堆砂に及ぼす浮流堆砂の影響を検討するとともに、掃流堆砂のみを対象とした従来の堆砂計算法を浮流堆砂が存在する場合へ適用する方法について考察するつもりである。

まず堆砂形状や堆積土砂の粒度分布に関する現地および実験資料を検討して堆砂の機構を考察し、浮流堆砂の影響を調べるための堆砂モデルを設定する。つぎにこのモデルに従いがい種々の浮流・掃流堆砂境界面を仮定して電子計算機を用いて堆砂形状の時間的変化を求め、これに及ぼす浮流堆砂の影響を検討する。最後に、上の計算結果および著者らがさきに行なった実験結果から Top-set bed の形状を表示する関数形を定めて解析を進め、浮流堆砂がある場合、およびない場合に対して 堆砂形状の 時間的変化を示す解析解を求め、上述の点についてさらに一般的な考察を展開する。

2. 堆砂機構に関する考察

貯水池の堆砂形状は多くの要因に支配され複雑に変化するが、典型的な形はよく知られているように Fig. 1 のとおりである。Top-set bed, Fore-set bed はいわゆるデルタと呼ばれるもので、掃流砂の堆積領域に相当し、Bottom-set bed は浮流砂の堆積領域である。

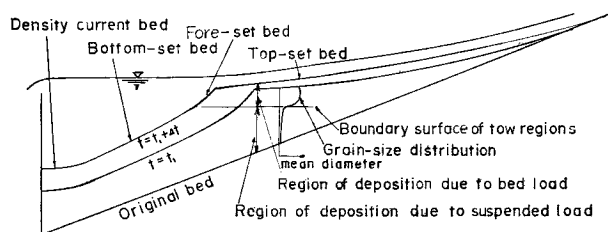


Fig. 1 Schematic representation of sedimentation process in reservoirs.

実験結果¹⁾も Fig. 1 の形状を示し、流量、流砂量および貯水池水位が変化しなければ、この形を保ちながらデルタの先端はほぼ水平に移動する。

中部電力において調査された泰阜ダムの堆砂粒度分布²⁾は、Fig. 1 に示すようにある 深さを境にして上層と下層とは粒径が急変し、それぞれ掃流砂および浮流砂の堆砂に対応していることが知られる。ただし表層 1m 程度は洪水の減衰期または平常時に堆積したと考えられる 浮流堆砂で覆われていることを附記して、表層の粒度分布のみでは十分なことが知られないことを強調しておきたい。

泰阜ダムの場合、浮流・掃流堆砂境界面は距離的に変動しているが、大局的にはほぼ水平面上を移動しているように見受けられる。これはこのダムが発電用であり、水位が大幅に変動しないことによるものであって、上述の実験結果と一致する。すなわち、貯水位が大幅に変動しないような貯水池における堆砂機構は、ほぼ水平な浮流・掃流堆砂境界面の上を掃流砂がデルタの形で埋没していくものと考えることができよう。この場合、全堆砂のうち浮流堆砂の割合が大きければ大きいだけ境界面の位置は高くなる。

従来の掃流砂のみを対象とした 堆砂計算法を実際問題に 適用するためには、 適当な 浮流・掃流堆砂境界面を仮定して、旧河床の代りに、この境界面の上を掃流砂が埋没するとし、さらにデルタ先端より下流の bottom-set bed は旧河床に平行であるし計算を進めればよいものと思われる。この場合浮流・掃流堆砂境界面をどこに設定するか実際上困難であるので、予め種々の境界面を仮定して他の条件を同一にして堆砂の計算を行ない、堆砂形状に及ぼす境界面の位置の影響、境界面がない場合の計算結果の適用性などを検討することが重要となる。以下これについて述べる。

3. 浮流堆砂が掃流堆砂形状に及ぼす影響に関する数値実験

これに関して、同一の河道、流量条件のもとで、掃流・浮流堆砂境界面の高さを 2, 3 変えて、電子計算

機による数値実験を行なった。

(1) 計算条件および計算方法

計算に用いた河道は、勾配 1/150、幅 150 m、Manning の $n=0.04$ の長方形断面水路。貯水位 60 m、流量 $2,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 、計算 model は境界面の高さによりつぎの4通りとした。

model	1	2	3	4
境界面の高さ	境界面なし	境界面なし	46.67 m 掃流限界水深の高さ	52.0 m

堆砂河床高は、 $\Delta t=3 \text{ hr}$ 、 $\Delta x=200 \text{ m}$ の mesh で不等流計算および河床変動の計算を繰返し、2,400 hr、16 km の範囲にわたって求められた。この場合デルタの先端を通過した流砂はその前面に堆積するものとした。したがって、デルタ先端の位置は必ずしも mesh の位置にこないのが、正確にこれを求めるためには、 Δx をさらに分割しなければならない。model 2~4 はこれを行っており、model 1 はこれを省略して、デルタ先端は一つ下流の mesh pt. に到達するまでは移動しないとした。

(2) 計算結果およびその考察

Fig. 2 および Fig. 3 はそれぞれ model 3, 4 の場合について 240 hr ごとの堆砂形状の計算値を示したものである。model 1, 2 の堆砂形状は示されてないが、いずれもデルタ先端の移動速度がより遅い点を除いては、その標高、堆砂形状などは model 3 と同様である。これに対して model 4 のそれはある時点までは同様であるが、それ以後ではデルタの標高は次第に低く、その前進速度は早くなり、遂に消失する。

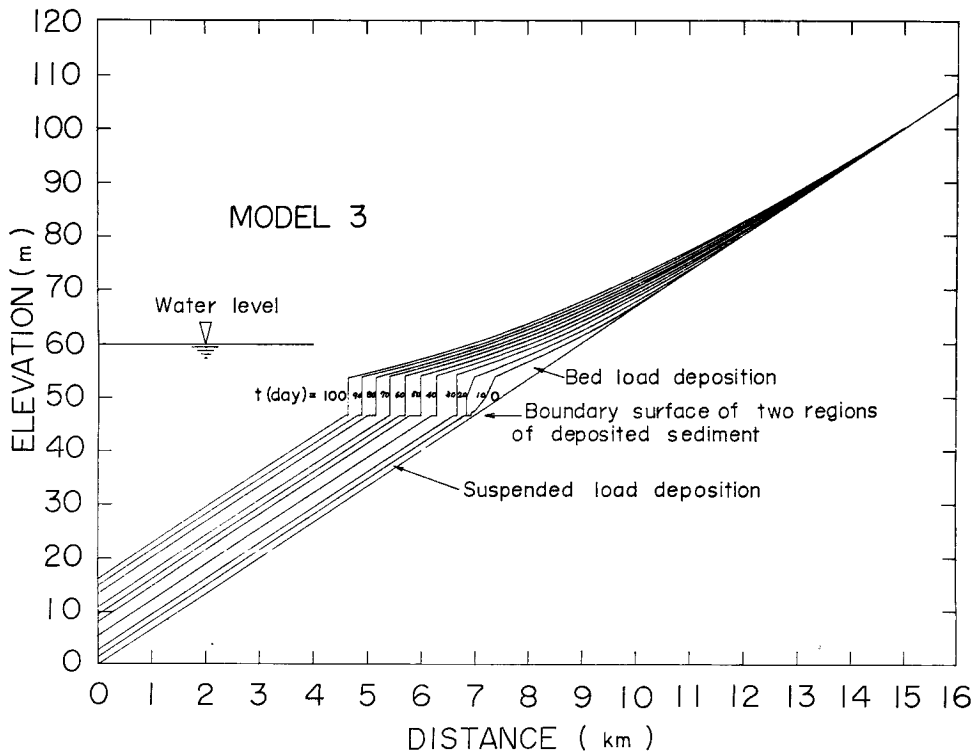


Fig. 2 Sedimentation process obtained by numerical calculation. (model 3)

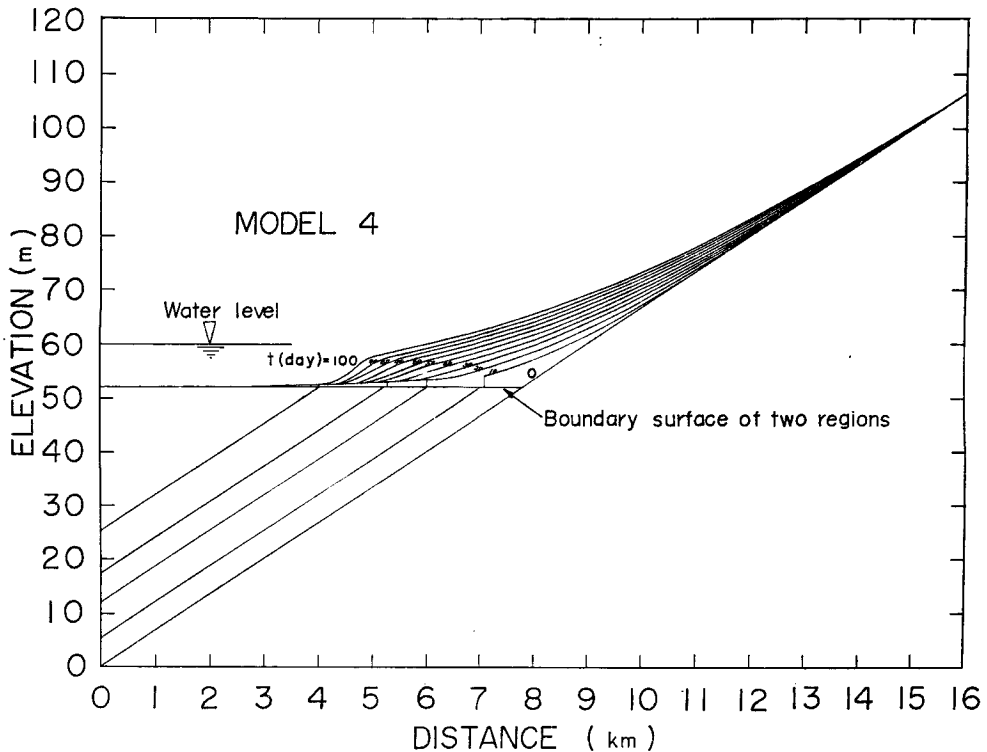


Fig. 3 Sedimentation process obtained by numerical calculation. (model 4)

同時に下流区域の河床上昇によって水位が上昇し、さらに高い位置に新たなデルタが形成される。

これらのことより、境界高が非常に高く、デルタの先端における水位が上昇するようになる場合を除いて、デルタの標高は境界高の高さに無関係にほぼ同じであると考えられる。

Fig. 4 は各 model に対するデルタ先端の位置の時間的変化を示したものであって (記号は Fig. 7)、前進速度は境界面が高いほど早いこと、model 2 では時間の経過とともに $\sqrt{t}$ に比例するようになるが、model 4 ではほぼ t に比例することなどが知られる。

Fig. 5 は河床上昇量 Δz と等流水深 h_0 との比 $\Delta z/h_0$ が 0.25, 0.1 および 0.01 の点の時間的変化を示したものである。堆砂の上流端と目される $\Delta z/h_0=0.01$ の点の時間的変化は各 model で差異がなく、かつ $\sqrt{t}$ に比例する。 $\Delta z/h_0=0.1$ に対しても model 2, 3 の差異は現れないが、model 4 がわずかに上流に及んでいる。この関係は、 $\Delta z/h_0=0.25$ に対してもほぼ同様である。

これらのことから堆砂の上流区域の河床上昇に対する浮流堆砂の影響は比較的少なく、従来の掃流砂を対象とした堆砂計算法はこの問題に関する限りかなり有効であるといえる。

堆砂形状を解析的な関係式で表示することは厳密な意味ではもとより困難であるが、堆砂が進行しつつある状態ではもっともおこりやすい形を取り、したがって近似的に一つの関数型で表示しうることが期待される。デルタの先端を基準にして示した堆砂形状は Fig. 6 に示すとおり、先端附近を除いてかなりよく、

$$z - z_f = a(x - x_f)^n \dots\dots\dots (1)$$

の関係に従う。この関係は全資料について成立することが認められたが、 n の値は若干変化する。その 1 例は Fig. 6 に示したとおりである。一方著者らがさきに行なった実験結果⁹⁾でも (1) 式の関係は認められた。この場合水理条件は $b=60$ cm, $I=1/300$ の長方形断面, $Q=15.41$ l/sec, 使用砂の河床粒径 $d_{50}=$

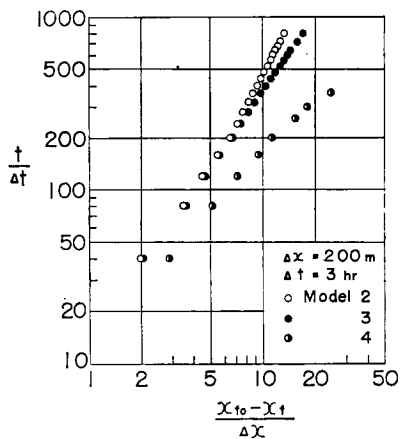


Fig. 4 Comparison of the propagation of delta front for each model obtained by numerical calculation.

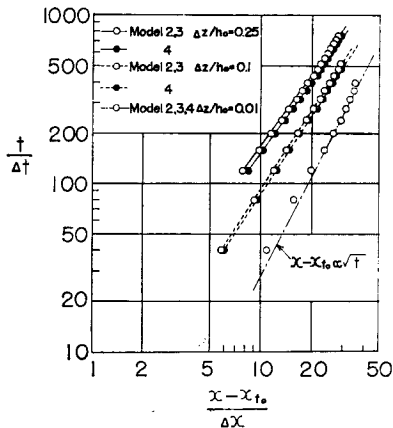


Fig. 5 Comparison of the aggregation of top-set bed for each model obtained by numerical calculation.

value of n					
model \ K	80	160	240	320	640
2	1.20	1.24	1.24	1.24	1.24
3	1.20	1.23	1.26	1.27	1.25
4	1.29	1.29	1.31	1.31	

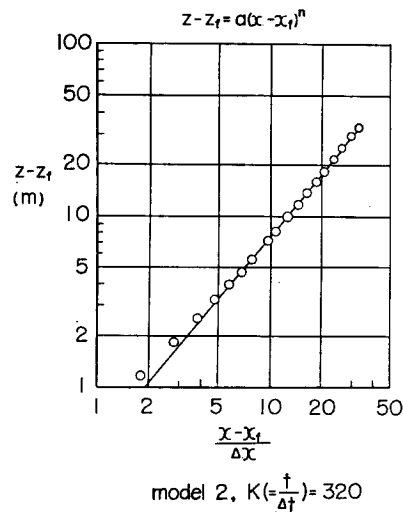


Fig. 6 Shape of the top-set bed.

0.245 mm であり、(1) 式の n の値は時間的にほとんど変化せず、 $n=1.20$ であった。

(1) 式の関係が一般的に成立するかどうか、さらに n 値が水理量によってどのように変化するかなどについてはいま所断定することはできないが、著者は堆砂がデルタの形で進行しつつある状態ではかなり一般的に成立し、かつ n 値も上のものから大幅に変化しないと考えている。

4. 堆砂形状の解析

上述の考察をさらに一般的にするために Fig. 7 に示す解析モデルによって、浮流・掃流堆砂境界面がない場合およびある場合の堆砂形状を求めよう。座標軸を Fig. 7 のように上流向きに取れば、河床変動の方程式は、

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{1}{1-\lambda} \frac{\partial q_B}{\partial x} \dots\dots\dots (2)$$

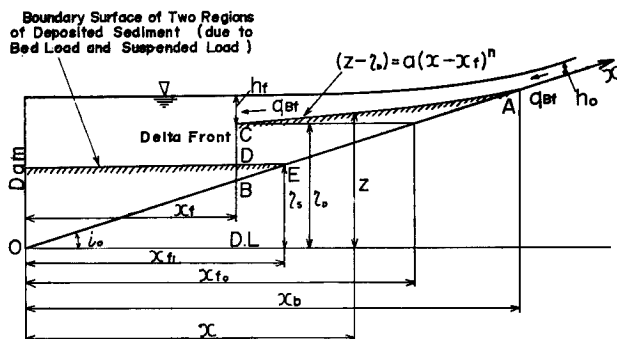


Fig. 7 Schematic representation of analytical model for sedimentation process in reservoirs.

つぎに堆砂形状に関しては前節の考察にもとづいて、

$$(z - \eta_D) = a(x - x_f)^n \quad \dots\dots\dots (2)$$

を用いる。ここに、 $x = x_b$ で $z = i_0 x_b$ であるから、

$$a = \frac{i_0 x_b - \eta_D}{(x_b - x_f)^n} \quad \dots\dots\dots (3)$$

である。

(1) 浮流・掃流堆砂境界面がない場合

デルタの先端を通過した流砂量は、その前面に堆積するものとすれば、流砂の連続式より、

$$\frac{d(\text{図形 ABC})}{dt} = \frac{1}{1-\lambda} q_{B0} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$-\frac{dx_f}{dt}(\eta_D - i_0 x_f) = \frac{1}{1-\lambda} q_{Bf} \quad \dots\dots\dots (5)$$

(1) 式および Fig. 7 を参照して、(4) および (5) 式を書きなおせば、

$$\left\{ \begin{aligned} & i_0 \frac{dx_b}{dt} \left\{ \frac{1}{n+1} (x_{f0} - x_f) - \frac{n-1}{n+1} (x_b - x_{f0}) \right\} \\ & - i_0 \frac{dx_f}{dt} \left\{ (x_{f0} - x_f) + \frac{1}{n+1} (x_b - x_{f0}) \right\} = A \end{aligned} \right. \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$-i_0 \frac{dx_f}{dt} (x_{f0} - x_f) = B \quad \dots\dots\dots (7)$$

となり、 n を parameter とする x_b および x_f に関する連立微分方程式をうる。ここに、

$$\frac{1}{1-\lambda} q_{B0} = A, \quad \frac{1}{1-\lambda} q_{Bf} = B \quad \dots\dots\dots (8)$$

いま、デルタの先端が水平線上を移動するものとし、かつ n の値が時間的に変化しないものとすれば（これらのことは実験的に確かめられている）、 $A = \text{cont}$, $B = \text{cont}$, $n = \text{cont}$ となり、上式より x_b , x_f を t の関数として求めることができる。

(7) 式を解いて $t=0$ で $x_f = x_{f0}$ の条件を用いれば、

$$\frac{1}{2} i_0 (x_{f0} - x_f)^2 = B \cdot t \quad \dots\dots\dots (9)$$

これを (6) 式に代入して整理すると x_b に関するつぎの方程式をうる。

$$\begin{aligned} & i_0 \frac{dx_b}{dt} \left\{ \frac{1}{n+1} \sqrt{\frac{2Bt}{i_0}} - \frac{n-1}{n+1} (x_b - x_{f0}) \right\} \\ & + \frac{B}{n+1} \sqrt{\frac{i_0}{2Bt}} (x_b - x_{f0}) = A - B \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (10)$$

いま便宜上、 x および t をつぎのように無次元化して解を求める。

$$\frac{x_b - x_{f0}}{x_{f0}} = X_b, \quad \frac{x_{f0} - x_f}{x_{f0}} = X_f \dots\dots\dots(11)$$

$$\frac{\sqrt{2Bt}}{\sqrt{i_0 \cdot x_{f0}}} = \tau \dots\dots\dots(12)$$

(10) 式より、

$$X_f = \tau \dots\dots\dots(13)$$

をうる。さらに (10) 式より、

$$\frac{1}{\tau} \frac{dX_b}{d\tau} \left\{ \frac{1}{n+1} \tau - \frac{n-1}{n+1} X_b \right\} + \frac{1}{n+1} \frac{1}{\tau} X_b = \frac{A}{B} - 1 \dots\dots\dots(14)$$

(14) 式は、

$$X_b/\tau = Z \dots\dots\dots(15)$$

の変数変換を行なえば、 Z に関して積分可能となり、これをもとの変数にもどせば、

$$\left(\frac{A}{B} - 1 \right) (n+1) \tau^2 - 2X_b \cdot \tau + (n-1) X_b^2 = \text{const} \dots\dots\dots(16)$$

をうる。 $\tau=0$ で $X_b=0$ なることを考慮すれば、

$$n \neq 1 \text{ に対して } X_b = \frac{1 - \sqrt{1 - (n^2 - 1)(A/B - 1)}}{n - 1} \tau \dots\dots\dots(17)$$

$$n = 1 \text{ に対して } X_b = (A/B - 1) \tau \dots\dots\dots(18)$$

となる。(18) 式の根号は正負を取るが、 $n \rightarrow 1$ に対して (18) 式に一致することから負号でなければならない。なお (17) 式の解の存在範囲は、

$$n^2/(n^2 - 1) \geq A/B \dots\dots\dots(19)$$

となり、かなり限られた n 値しか取らず、したがって大幅に n 値が変化しないであろうことを裏がきしている。 (17) 式より X_b/τ と A/B の関係を n を parameter として示すと Fig. 8 のとおりである。

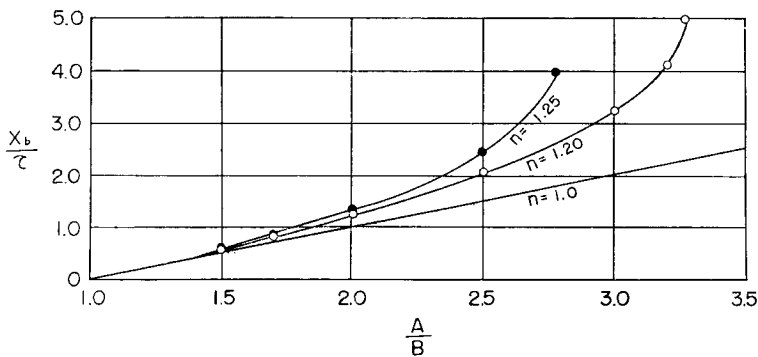


Fig. 8 Relation between X_b/τ and A/B with parameter n .

また与えられた A/B に対して X_b/τ の max は $n^2/(n^2 - 1) = A/B$ において生じ、その時の値は

$$(X_b/\tau)_{\max} = 1/(n - 1) \dots\dots\dots(20)$$

となる。この式は堆砂の上流端の上限を与えるものである。

(13) 式と (17) 式あるいは (18) 式より水量が与えられると、容易にデルタの先端および堆砂の上流端の時間的変化を求めることができる。ここで問題になるのは A/B の決定方法である。これについてはデルタ先端の移動がほぼ水平になるという事実を用いて求めることも可能であるが、後述するように堆砂上流

端の移動速度は(20)式にかなりよく従うことから parameter n の値を仮定して X_b を求めることができるので、ここでは A/B に関する詳細な論議は行なわないことにする。

(2) 浮流・掃流堆砂境界面がある場合

流砂の連続式より、

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d(\text{図形 ACDE})}{dt} &= \frac{1}{1-\lambda} q_{B0} \dots\dots\dots(21) \\ -\frac{dx_f}{dt}(\eta_D - \eta_S) &= \frac{1}{1-\lambda} q_{BF} \dots\dots\dots(22) \end{aligned} \right.$$

(1) 式および Fig. 7 を参照して (21), (22) 式を書きなおせば、

$$\left\{ \begin{aligned} i_0 \frac{dx_b}{dt} \left\{ \frac{1}{n+1}(x_{f0} - x_f) - \frac{n-1}{n+1}(x_b - x_{f0}) \right\} \\ - i_0 \frac{dx_f}{dt} \left\{ (x_{f0} - x_f) + \frac{1}{n+1}(x_b - x_{f0}) \right\} &= A \dots\dots\dots(23) \\ - i_0 \frac{dx_f}{dt} (x_{f0} - x_{f1}) &= B \dots\dots\dots(24) \end{aligned} \right.$$

$t=t_1$ において $x_f=x_{f1}$ であるとする、(24) 式より

$$(x_{f1} - x_f) = \frac{B(t-t_1)}{i_0(x_{f0} - x_{f1})} \dots\dots\dots(25)$$

となる。いま、

$$\frac{x_b - x_{f0}}{x_{f0} - x_{f1}} = |X_b|, \quad \frac{B(t-t_1)}{i_0 x_{f0}(x_{f0} - x_{f1})} = |\tau| \dots\dots\dots(26)$$

とおけば、(23), (25) 式より

$$\frac{d|X_b|}{d|\tau|} (a|X_b| + b|\tau| + c) + b|X_b| = e \dots\dots\dots(27)$$

ここに、

$$\left. \begin{aligned} a &= -\frac{n-1}{n+1} \frac{x_{f0} - x_{f1}}{x_{f0}} \\ b &= \frac{1}{n+1}, \quad c = \frac{1}{n+1} \frac{x_{f0} - x_{f1}}{x_{f0}}, \quad e = \frac{A}{B} - 1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(28)$$

となる。いま

$$\left. \begin{aligned} b|X_b| - e &= \xi \\ b|\tau| + c + \frac{ae}{b} &= \eta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(29)$$

とおき、かつ $\xi/\eta = Z$ と変数変換すると、(27) 式は Z に関して解ける。これを ξ, η の変数にもどすと、

$$a\xi^2 + 2b\eta\xi = c_1(\text{const}) \dots\dots\dots(30)$$

$t=t_1$ すなわち $\tau=0$ における $|X_b|$, ξ, η をそれぞれ $|X_{b1}|$, ξ_1, η_1 とすれば

$$c_1 = a\xi_1^2 + 2b\eta_1\xi_1 \dots\dots\dots(31)$$

$$\left. \begin{aligned} \xi_1 &= b|X_{b1}| - e \\ \eta_1 &= c + (ae/b) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(32)$$

である。これを(30)式に代入して整理すれば、

$$a(|X_b|^2 - |X_{b1}|^2) + 2c(|X_b| - |X_{b1}|) + 2b|X_b| \cdot |\tau| - 2e|\tau| = 0 \dots\dots\dots(33)$$

をうる。 $|X_b|$, $|\tau|$ を境界面のない場合に用いたと同じ無次元量 X_b, τ で書きあらわせば、(11), (12)

および(26)式より、

$$|\tau| = \frac{1}{2} \tau^2 \left(1 - \frac{t_1}{t} \right) \frac{x_{f0}}{x_{f0} - x_{f1}}, \quad |X_b| = X_b \frac{x_{f0}}{x_{f0} - x_{f1}} \dots\dots\dots(34)$$

となる。時刻 t_1 すなわち τ_1 まではデルタの先端は境界面に到達しないので、(13) および (17) 式より、

$$X_{f1} = \frac{x_{f0} - x_{r1}}{x_{f0}} = \tau_1 \dots\dots\dots (35)$$

$$X_{b1} = \frac{1 - \sqrt{1 - (n^2 - 1)(A/B - 1)}}{n - 1} \tau_1 \dots\dots\dots (36)$$

また (12) 式より、

$$t_1/t = \tau_1^2/\tau^2 \dots\dots\dots (37)$$

などの関係をうる。これらを (33) 式に代入し、かつ (28) 式の関係を用いれば、 X_b はつぎのように表わされる。

$n \neq 1$ に対して、

$$X_b = \frac{\tau_1 \left\{ 1 + \frac{\tau^2}{2\tau_1^2} \left(1 - \frac{\tau_1^2}{\tau^2} \right) \right\} - \tau_1 \sqrt{\left\{ 1 + \frac{\tau^2}{2\tau_1^2} \left(1 - \frac{\tau_1^2}{\tau^2} \right)^2 - (n^2 - 1) \left(\frac{A}{B} - 1 \right) \frac{\tau^2}{\tau_1^2} \right\}}}{n - 1} \tau \dots\dots\dots (38)$$

$n = 1$ に対して、

$$X_b = \left(\frac{A}{B} - 1 \right) \frac{\tau^2}{\tau_1} \dots\dots\dots (39)$$

(38) 式の解の存在範囲から、 n の取りうる範囲は、

$$\frac{\left\{ 1 + \frac{\tau^2}{2\tau_1^2} \left(1 - \frac{\tau_1^2}{\tau^2} \right) \right\}^2}{\left(\frac{A}{B} - 1 \right) \frac{\tau^2}{\tau_1^2}} \geq n^2 - 1 \dots\dots\dots (40)$$

(38) 式の (X_b/τ) の最大値すなわち堆砂上流端の崩上速度が最も大きくなる値は、(40) 式の等号の n の値において生じ、

$$\left(\frac{X_b}{\tau} \right)_{max} = \frac{(\tau_1/\tau + \tau/\tau_1)}{2(n-1)} \dots\dots\dots (41)$$

となる。次節で述べるように実際の堆砂は、 $(X_b/\tau)_{max}$ の近傍でおこっているので、(41) 式は重要な意味を持つてくる。 $(X_b/\tau)_{max}$ を与える n の値は (40) 式より τ/τ_1 が増加するにつれて増加するがその変化は比較的緩慢であって、 τ/τ_1 が 2 程度まではほぼ一定と考えてよい。一方 (41) 式による $(X_b/\tau)_{max}$ は、 τ/τ_1 が増加するにつれて (20) 式によるものより大となるが、 τ/τ_1 が 2 すなわち $t/t_1 = 4$ 程度までは両者の差はそれほど大きくない。すなわちこのような条件のもとでは浮流・掃流堆砂境界面は背砂の上流端にはそれほど影響を与えないといえる。

また X_f は (25) 式より、

$$X_f = (1/2) \cdot (\tau/\tau_1 + \tau_1/\tau) \cdot \tau \dots\dots\dots (41)$$

となる。 $(X_b/\tau)_{max}$ について述べたと同様、 τ/τ_1 が 2 程度までは (13) 式によるものとの差異は少ない。

5. 解析結果と数値実験結果との比較

堆砂形状の解析結果と数値実験結果とを比較検討するとともに、この解析結果を実際問題へ適用する方法について考察しよう。

model 2, 3 の場合は、デルタ先端より下流の貯水位はほぼ水平であり、したがってデルタ先端はほぼ水平線上を移動することになり、前述の解析結果の適用が可能と考えられる。model 4 の場合は、浮流・掃流堆砂境界面が高く、この影響を受けて貯水位が上昇するためデルタの先端の標高は次第に上昇し、堆砂形状の特性が model 2, 3 の場合といちじるしく異なるようになる。このような場合には前述の解析結果を適用することができない。ここでは model 2, 3 に対して解析結果と数値実験結果とを比較検討しよう。堆砂形状を算定するに必要な諸量は、 $i_0 = 1/150$, $\eta_D = 54.0$ m, $x_{f0} = 8,100$ m, $B = q_{BF}/(1 - \lambda) = 0.0029$ ($\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$), $t = K \Delta t \text{ hr}$, $\Delta t = 3 \text{ hr} = 10800 \text{ sec}$, $x_{f1} = 6,800$ m, $\tau_1 = (x_{f0} - x_{f1})/x_{f0} = 0.16$ であり、また (12)

式より,

$$\tau = \frac{\sqrt{2Bt}}{\sqrt{i_0 \cdot x_{f0}}} = 0.012\sqrt{K}$$

また最も重要な n の値は Fig. 6 に示したように, あまり変化していないので, これを一定値と考え $n = 1.25$ を用いることにする。これらの値を用い, (13) および (20) 式より求めた X_f/τ , $(X_b/\tau)_{max}$ と数値計算より求めた (X_f/τ) および (X_b/τ) とを比較したものが Fig. 9 である。 t の初期の段階を除いて両者は比較的よく一致している。これは数値計算により求めた常数を解析に用いていることからくる当然の帰結であるが, (20) 式による $(X_b/\tau)_{max}$ が実際の X_b/τ とかなりよく一致していることは注目に値すると思われる。また, $K=400$ に対して $\tau=0.24$, したがって $\tau/\tau_1=1.5$ であり, この附近では (20) および (41) 式の差異はあまり大きくなく, 浮流堆砂が掃流堆砂形状に及ぼす影響は小さい。

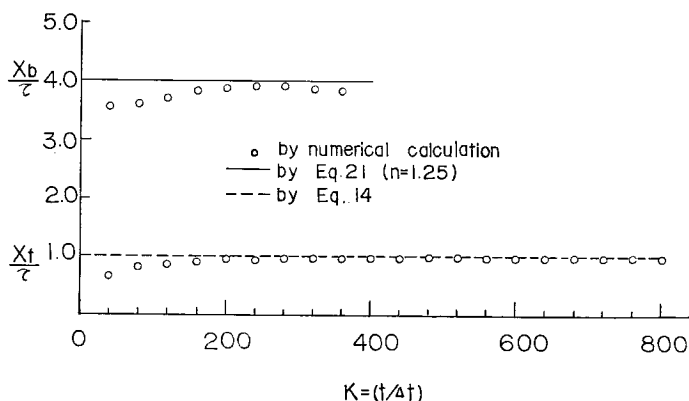


Fig. 9 Comparison of X_b/τ , X_f/τ obtained by numerical calculation and analytical results.

さて堆砂形状の解析結果を実際問題に適用する場合には一般に i_0 , A は既知, η_D , x_{f0} , B は未知である。この場合まず n の値を仮定する。 n が水理量によってどのように変化するかについては現在の所十分な知識がなく, 今後さらに検討しなければならないが, 本文に示した場合は $n=1.20 \sim 1.30$ 程度であり比較的变化は小さい。つぎに堆砂は $X_b/\tau = max$ になるように生じるものとして, その時の n と A/B の関係

$$n^2/(n^2-1) = A/B \dots \dots \dots (42)$$

を用いて B の値を求め, 流砂量式を適用してこれに対する水深したがってデルタ先端の標高が求まり η_D , x_{f0} が知られる。これによって解析に必要な諸量がすべてととのうので, (13) および (20) 式より X_f および X_b の時間的変化を求めうる。以上の解析は幅一樣な水路に限定されており, 幅の変化する所にはそのまま適用することができない。

6. 結 論

以上述べてきたことを取りまとめて結論とする。

(1) 貯水池の堆砂は, その形状や粒度分布などから考えて, 浮流・掃流堆砂境界面上を掃流砂がデルタ形式で埋没前進する機構を取ると考えられる。

(2) 一樣水路における堆砂面形はデルタ先端附近を除いて近似的に (1) 式のような指数関数で表わされる。指数 n の値は今までの検討では, $n=1.2 \sim 1.3$ 程度の値であるが, さらに広範囲な条件のもとで検討する必要がある。

(3) 堆砂面形が (1) 式の関係で表わされるものとして, 浮流・掃流境界面がある場合とない場合の両

方について堆砂面形の時間的変化を与える解析解を導いた。これから堆砂に関する諸量の影響を定量的に知ることができる。

(4) 上述の解析解のうち堆砂の遡上速度が最大に近いものが実際におこりうると考えられ、その限界を与えるときの解が重要である。

(5) 浮流・掃流堆砂境界面の存在は、デルタ先端附近の水位が変化しない限り、Top-set bed の上流区域の河床上昇に対してはあまり影響を与えない。したがってこの区域の河床変動を論議する場合には、従来行なわれているような bottom-set bed の存在を無視した掃流砂のみの堆砂計算法もかなり有効である。ただし境界面が高く、デルタ先端の水位上昇をきたすような場合には堆砂形状もかなり変化し、bottom-set bed の影響が現われてくるものと考えられる。

この研究は、著者が矢野勝正教授および田中祐一郎君らとともにここ数年来おこなってきたダム堆砂に関する研究を基礎にしておこなったものである。また電子計算機による堆砂計算は日本建設コンサルタントの川端昭至氏の労に負うところが大きい。これらの各位に対して深謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) 矢野勝正, 芦田和男, 大同淳之, 前田 武: 浮流砂による貯水池の堆砂に関する研究, 京都大学防災研究所年報第7号, 昭39.
- 2) 中部電力株式会社: 泰阜えん堤上流堆積物調査資料, 昭40. または, 芦田和男, 土屋義人: ダムにおける Sedimentation, 水工学シリーズ65-03, 土木学会水理委員会, 1965.
- 3) 矢野勝正, 芦田和男, 田中祐一郎: ダムの背砂に関する研究(Ⅲ) —背砂の遡上について—, 京都大学防災研究所年報第7号, 昭39.