

貯水池堆砂量の一算法

名譽員 工学博士 鶴 見 一 之*

A METHOD OF ESTIMATING THE QUANTITY OF SEDIMENT
IN RESERVOIRS.

(JSCE March 1954)

Dr. Eng., Kazuyuki Tsurumi, C.E. Honorary Member

Synopsis From the observed data of reservoir sediment in our country, the author proposes a method of estimating quantity of reservoir sediment. He compares his formula with those formulas published in U.S.A. Also he estimates the life of a reservoir and deals with some silting problems in this paper.

要旨 我国における貯水池について観測された堆砂量資料を基として、堆砂量を算出する一方法を提案し、著者の式と同形の米国において発表された式とを比較し、進んで貯水池の寿命を予想する種々の問題を取扱つてゐる。

1. 総論

河川内の浮游土砂と河底を運動する砂礫とが、河川内の沈澱物全量であるが、貯水池の堆砂となるのは河底で動く砂礫が主たる因子である。この河底砂礫量がどんな値であるかは未だ明瞭ではないが、土木学会誌 Vol. 15 No. 12 に著者は次式を出しておいた。

$$G = C(Q - Q_0)^n \dots\dots\dots (A)$$

式中 G は流砂量 (m^3)、 Q は流水量 (m^3)、 Q_0 は河床を構成する土砂が動き出すときの流水量 (m^3) すなわち限界流水量、 C は河況により変る常数。

A. Schoklitsch 教授に従えば

$$g = 19.05 I(Q - 0.5 B)m^3 / \text{河巾 } 1m / \text{sec} \dots\dots (B)$$

河底は 1~2 mm の土砂よりなり、 B は河巾 (m)、 I は河底勾配。

(A) 式の指数 n は 1.24~0.81 平均 1.0 とされる。

運ばれた土砂が貯水池に達して、どんな状態で堆砂となるかについては、次の三段階にわけて考えるのが便利である。第一段階では河川と池との界の所で一番沈澱しやすい粗粒がたまる。ここの堆積物を front set bed 及び top set bed という。第二段には池底に沿うて波形の表面をもつて砂がたまる。ここの堆積物を bottom set bed という。第三には細かい土粒が dam に接近した部分にたまる、これを density current bed という。以上 3 種の土砂が総括されて貯水池堆砂とよばれる。その全量は種々の原因で時々刻々変化するから、どこでも一樣にこれを律するわけにはゆかないが、比較に使用するため、いま m^3/year の

単位で各所の堆砂量を測ることとする。

2. 計算式及び Witzig 式との比較

堆砂量は諸種の原因に左右されるから、その各の原因がどのように堆砂量にきいてくるかをいちいち調査するのが学問的には正しいゆき方であるが、それにはひとつひとつの data を得るに容易でなく、調査に非常な手数も金も年数もかかる仕事で、堆砂問題の解を得ることは容易ならぬ困難のことと思う。しかし、堆砂量と地形、地質の関係については土木学会誌 Vol. 36 No. 4 に田中治雄氏が発表された有益な論文がある。さらにこの種の研究が同氏によつて進められつつあることを知り、一層の御研究を期待している。私は同氏と同じ資料に基づききわめて大観的に図-1 から簡単な式を作つてみた。次式がそれである。

$$q_s = 0.1(C/F)^{0.8} \dots\dots\dots (1)$$

式中 q_s : 堆砂量 (m^3/km^2 of drainage area/year)
 C : 貯水量 (m^3) F : 池の集水面積 (km^2)

本式をつくつた資料は建設省利水課で昭和25年5月に印刷された、全国各地の貯水池に関するものである。

その貯水池数は 116 に及び、流域は 7~8 000 km^2 貯水容量は 3 000~57 $\times 10^6 m^3$ に及び、北は北海道から南は鹿児島県に至る各地の貯水池を含んでいる。

(1) 式で計算した q_s は実測と比較すると、これより大なる値と小なる値とは、同数であるごとき値を与える。また q_s の最大値は次式から求められる。

$$q_{s, \max} = 0.8(C/F)^{0.8} \dots\dots\dots (2)$$

反対に最小値は

$$q_{s, \min} = 0.0006(C/F)^{0.8} \dots\dots\dots (3)$$

しかし $q_{s, \min}$ は $q_{s, \max}$ ほど重要味はないと思う。

私はこれ等の式がどれくらい信頼度をもつかと、発表をせずにはいたが、たまたま Proc. A.S.C.E. June 1943 を見る機会を得、同誌に B.J. Witzig が Sedimentation in Reservoirs なる題下に私と同様の形の式を出していたので本誌に上式を発表することにした。

* 復興建設技術協会、東北支部長

Witzig は次式を発表している。

$$4S_R = I \cdot S_R^2 \dots\dots\dots (4)$$

(4) 式は私の用いた記号になおすと、

$$q_{s, \min} \text{ or } q_{s, \max} = K(C/F)^{0.83} \dots\dots\dots (5)$$

で K を Regional Index と名づけ、米国の各地方で変化する常数として表示している。(5) 式の K は最大と最小を与えるのみで (1) 式のごとき意味の q_s を与える式は出していない。そして K の値は次のとお

りである。

地 方	上限値	下限値
○南太平洋岸 California 州	III 3.75	VI 0.167
○南東地方 Alabama, Georgia, Maryland, N & S. Calorina, Virginia	III 3.75	V 0.307
○南部中央地方 Arkansas, Missouri, Oklahoma, Texas.	II 6.24	VI 0.167
○北部中央地方, 北部平原地方 Kansas, Montana, Neblaska, N. Dakota)	I 7.56	IV 1.01

図-1

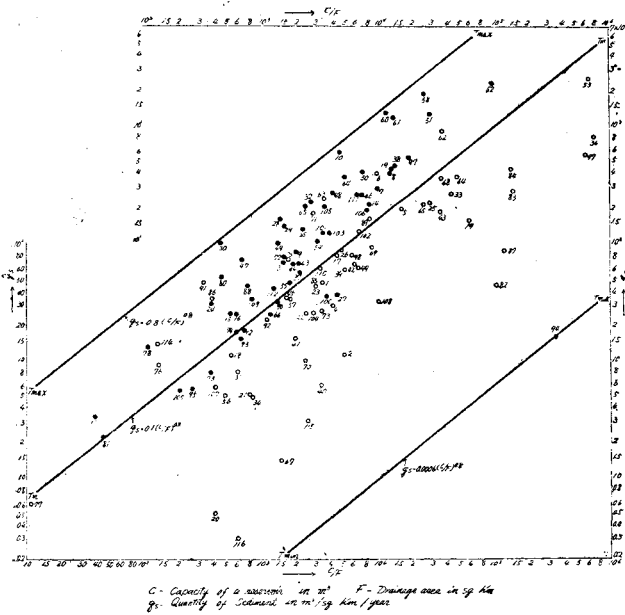
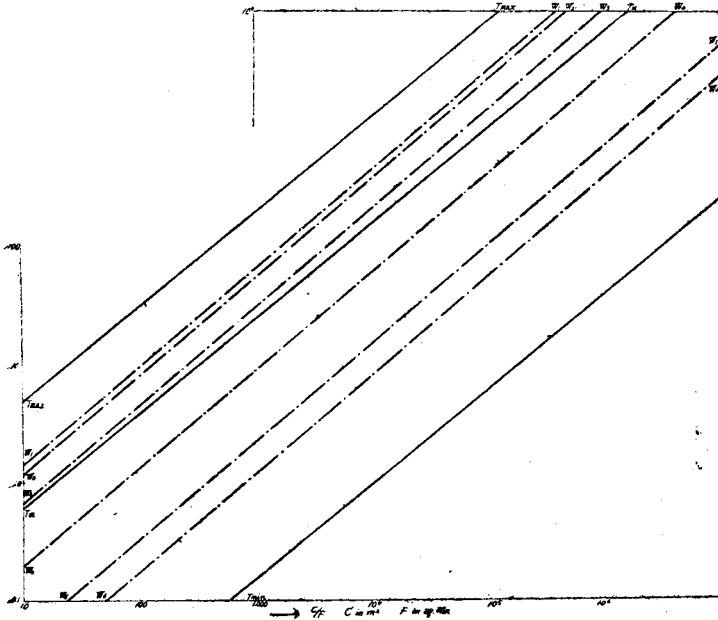


図-2



I, II……V, VI は図表にしたときにいちいちその表わす地方と上限か下限かをことわる煩をさけるために用いた番号である。また、(5) 式の記号の単位は次のとおりである。 q_s は Acre feet/100 sq. miles/year. C は Acre feet, F は sq. miles
そこで、これを、われわれの用いる単位に換算して比較の便するため図表にかいたのが図-2 である。これを見ると明らかなように、Witzig の上限値は (2) 式の示す値よりも、すべて小なる値を与えるが、(1) 式の示す値よりもすべて大きい値を与える。また下限値は (3) 式の値よりも、すべて大きい。それ故我国の河川の例では両極端の変化が烈しいことを示しており、米国の河川の方が我国のそれよりも土砂流出量の変化が少ないのであろうことがわかる。ここに一つことわつておきたいことは

Hunter Ronse 著 Engineering Hydraulics に載せてある C/F に対する堆砂量はこれを Witzig の式と比較するとすべて両極限とも変動の範囲が小さいから、Witzig のと私の式を比較すれば充分である。

3. 応用例及びその他雑件

われわれが前述の q_s を知らんとする主要の目的のひとつは、貯水池が堆砂で埋没して用をなさぬに至るのは何年後であろうかを予想したいからである。およそ貯水池に達する土砂量が、池内に全量沈殿して堆砂となることは、ほとんどなく、その一部分は池から脱出する。 q_s' なる土砂量が到達し、 q_s が堆砂量であるとすれば q_s/q_s'

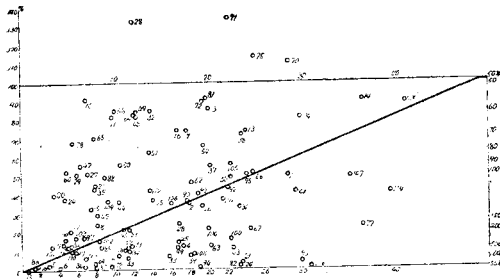
を百分率であらわした数を捕捉係数(Trap efficiency)と名づけ、これを E であらわすものとする。C.B. Brown は Proc. A.S.C.E., Nov. 1943 に、捕捉係数の実測値を示し、平均値を求める式として次式を提出した。

$$E = 100 \left(1 - \frac{1}{1 + KC/F} \right) \dots\dots\dots (6)$$

式中 C/F は前出のとおりで、 K は常数を示し、米国単位で K の最大値は 1.0、最小は 0.046、平均として 0.1 としている。これ等を「メートル」式のわれわれの単位にすると、最大の K は 0.0021 最小は 0.0001、平均は 0.00021 である。これ等の値を用いるとしても概数が得られるに過ぎぬ。

以上述べてきた堆砂量計算の主要なる因子たる C/F の C の値は堆砂が積れば年々減少するから、捕捉率もまた年々減少する。その減率は年はよつても一様でないので、最も危険の場合を想定して E が 100% であるとし、貯水池が堆砂で埋まつてしまう年数を計算してみよう。これを図表にしたのが図-3 である。図から見られるごとく貯水池の命数は非常に短いも

図-3



のから、はなはだしく永いものまで、実にその変化がはげしい。

そこで、さきに示した(1)式の値が、貯水池の寿命とどんな関係にあるかを調べてみよう。いま図-3の上に命数 50 年の直線を描き、50 年以上のものとして 50 年以下のものとしてをわけて●と○と区別すると、●点はほとんど全部(1)式の線、すなわち 50 年直線の上にあり、その下側にくるものもあるが、その代りに○点の少数は T_m 線の上側にある。さきに 50 年という数を仮定して、いま述べたような分布状態ができたのであるが、この年数をかえれば、その分布割合がわかることは明らかである。それ故貯水池としては、どれ

ほど堆砂が溜つたら所期の役目をはたし得ぬかを、あらかじめ定める要が生じてくるわけである。例えば Mead 湖のごときは建設当時は 50 年経過したらばその容量は 1/10 くらい減ずるであろうと予想されていたが、1935 年から貯水して 12 年間に約 1/3 容積が減じたい。当初の予定では堆砂量は $0.72 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{year}$ であろうと思われたが実測では $(1.1 \sim 1.3) \times 10^8 \text{ m}^3/\text{year}$ である。そこで試みに(1)式で計算すると $3.8 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{year}$ と出るが* U.S.A. の河川と我国のそれとの差異から、これくらいの差が生ずるのではないかと思われる。例えば図-2の $q_{s \max}$ を比較するに同じ C/F に対し、我国の河川の値は U.S.A. のその 3~4 倍となるから、3.8 の 1/3 とすると 1.3、1/4 とすると 0.95 となるから、実測の $(1.1 \sim 1.3) \times 10^8 \text{ m}^3$ に近い値が得られる。さらに他の側から計算してみよう。本論の初めに掲げた(A)式では G なる土砂量は $(Q - Q_0)$ に比例するが、 Q に比し Q_0 は小さいから、 G が Q に正比例すると考えるも大差がない。 Q は 1 年間の全流量であるから、1 年間の降水量を R とするとこれに比例するとみられる。それで Colorado 流域の年雨量と我国のそれを比較すると、前者は R が 400 mm 程度であるのに我国では 1600 mm くらいだから、堆砂量もほぼ 1/4 となるであろうことがわかる。また、Hoover Dam 工事中から dam site を 1 年にどれくらい土砂が通過するかを論議された。それを見ると $(2 \sim 3) \times 10^8 \text{ m}^3$ とされたものが多い。これに捕捉率をかけると、堆砂量が求められるが、前掲式を用いると 90~95% くらいが溜るであろうと推察される。かく考えると、最小でも $(1.8 \times 10^8) \text{ m}^3/\text{year}$ たまることとなるが、この流域は砂漠地方で濁つた水が流れることで有名な Colorado 河のことであるから、捕捉率がさほど大でないものと思われる。

年雨量や年流水量等は年によつてかわるから、近似値を得られる程度でも、満足するほかなかろうと思う。

終りに附記せねばならぬことは本文に用いた貯水池の番号は、既記印刷物に載っている所を順番につけたに過ぎず、北海道、東北、関東等西南地方に及び、鹿児島県に至るほど番号の数が増しているがいちいち所在地を記す煩をさけた。(昭.28.8.14)

* Mead 湖では、 $C = 36 \times 10^8 \text{ m}^3$, $F = 43 \times 10^4 \text{ km}^3$
 $C/F = 84000$

第 39 卷第 1 号所載“外国雑誌一覧表について”正誤表

P.	番 号	雑 誌 名	加 入
61	48	Proceedings I. C. E.	学会(1952~)