

河川流砂量算定についての一提案

三 輪 潔*

1. 緒 言

流水の掃流力により、河床上を転流している一個の礫を取り出して、その掃流現象を考察するとき、Du. Boysをはじめとして、多くの学者によって発表されている限界掃流力に関する諸理論が成立する。

だが、これらの理論についても、対象とする砂礫が掃流現象をおこす以前に、どのような河床構成の中にあっただのか、また、なぜ同一、またはそれ以下の粒径の砂礫の中で、特定の砂礫のみが掃流しはじめたかなど、いくつかの疑問を残している。したがって、今日では、これらの疑問点解決のために混合砂礫の特性をあらゆる均等係数、あるいは、露出砂礫の分布状態などが論議されている。そこで、実河川の河床構成について観察するとき、その複雑さを知ることができると同時に、限界掃流力の決定がいかにむずかしい問題であるかわかる。それは、H.A. Einstein の「限界掃流力の決定不可能」という発表によっても明らかである。そこで、個々の砂礫の限界掃流力理論を離れて、実河川の横断測量による河床変化量と、これに対応する河川流量との関係をもとに、河床変動が河床付近の流速に比例することに立脚して、以下に述べる流砂量算定方法を提案する。

2. 河床変動と流砂量との関係

河床変動は、流出土砂と流水の輸送力とのアンバランスにもとづいて生ずるものであり、一般に河床変動は縦断方向への変動と、横断方向への変動とに分けられる。

今、貯水池内の堆砂量測定の結果を図上にプロットするとき、前回とは大きく異なった形状を示すが、堆砂量がわずかである場合が多くある。これは池底の凹凸、その他によって生ずる、渦流や横流の掃流力によって、池底の泥、微砂が流動するために生ずるものであり、同様の現象が河道内においても起こるものと考えられ、これが横断方向への変動として現われる。したがって、下流への流砂量には直接関係がない。

そこで、流砂量を河床変動から求めるためには、縦断

方向への変動を測定しなければならないが、河道全体にわたる河床変動を実測で求めることは不可能なため、河川のある点において、定期的に横断測量を行ない、同時に河川流量を測定し、これらの測定資料から、河床変動と流砂量との関係を求めることとした。

3. 平均河床変化高と河床変動係数

下流への流砂は、河川主流の掃流力によって生ずるものであり、河床変化が、洗掘(-)、堆積(+)いずれの形で現われようとも、真の河床変動量は両者の総和によって示される。

河川の一定点で、長期にわたり河床変動の現われるごとに横断測量を行ない、同時に河川流量を測定する。その結果を解析し、各測量時点間の河床変化高を求める。つぎに、日々の最大流量 (m^3/sec) に対応する平均流速を求め、河床変化高を平均流速に比例配分し、これを日々の最大流量に対応した平均河床変化高とする。この場合、河床変化の認められる流量 (限界流量) 以上の日々の最大流量について、河床変化高を比例配分する。また、日々の最大流量は、ハイドログラフの代表値としての意義をもつ。したがって、平均河床変化高は、一出水期間中の全流砂量算定の際、使用される。

つぎに、一出水期間中の単位河川幅当りの河床変動量を、ハイドログラフを n 等分したときの各ブロックの平均流速に比例配分することによって、河床変動係数が得られる。したがって、河床変動係数は単位時間 (sec) 当りの流砂量算定の際、使用される。

4. 流砂量算定式

F.M. Exner は、「河床高の変動割合は、河床付近の流水の流れ方向の速度の変動割合に比例する」と発表している。これを一般式で示すとつぎのごとくなる。

$$g = \psi \cdot f(v_b) \dots\dots\dots (1)$$

実河川で河床付近の流速を正確に実測することは困難であるから、式 (1) の v_b を河川流量の平均流速におきかえ、先に述べた平均河床変化高、および河床変動係数を用いると、つぎのごとき流砂量算定式を得る。

* 正会員 北陸電力KK土木部土木課

① 一出水期間中の全流砂量

$$G = 3600 \Delta h B \sum_{i=1}^n T_i v_{mi} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、

G : 一出水期間中の全流砂量 (m³)

Δh : 平均河床変化高 (m)

B : 平均河床幅 (m)

v_{mi} : ハイドログラフを単位時間によって n 等分したときの、 i 番目のブロックの平均流速 (m/sec)

T_i : 上記単位時間 (hr)

② 単位時間 (sec) 当りの流砂量

$$q = \delta B v_m \dots \dots \dots (3)$$

ここに、

q : 単位時間当りの流砂量 (m³/sec)

δ : 河床変動係数 (m)

B : 流砂量算定点での河床幅 (m)

v_m : 平均流速 (m/sec)

式 (2), (3) での Δh , δ は、北陸電力KK保有の北陸地方の主要 8 河川における延べ 50 数年間にわたって行なわれた 100 余回の測定結果から得た横断測量図、水位流量表、日高水表などの資料をもとに求めたものである。その結果は、比流量 q と Δh , あるいは δ との関係としてグラフにした。なお、限界流量を比流量で示した場合、0.23~0.28 にあったので、一般に $0.2 < q_c < 0.3$ で示されるものとする。

5. 計算例

石川県手取川に設けられている A 砂防ダムでの堆砂実績と、流砂量算定式による計算結果との比較を行なう。

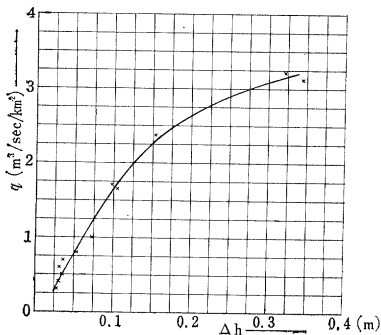
① 実績

堆砂期間；開始昭和 29 年 4 月，終了 昭和 35 年 10 月，堆砂量 2.3×10^6 m³。

② 流砂量の算定

上記期間中での日最大流量を調査した結果は、表-4

図-1 $q-\Delta h$ グラフ



のとおりである。ただし、限界比流量 $q_c = 0.25$ とした。つぎに、日最大流量をつぎの 6 段階に大別し、各値に相当する流速を求め、

さらに表-3 の標準ハイドログラフより出水所要時間を求める。

そこで、当砂防ダムより上流区域の実測河川幅を用いて、式 (2) より流砂量を求めればつぎのとおりである。

$q = 0.50$ のとき、

$$G = 3600 \Delta h B \sum T_i v_{mi}$$

$$= 3600 \times 0.03 \times 21.3 \times 6.91 \div 18000 \text{ (m}^3\text{)}$$

図-2 $q-\delta$ グラフ

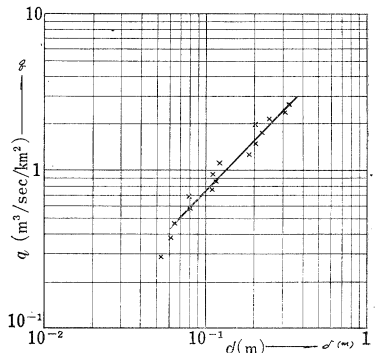


表-1

q	Δh (m)	回数	q	Δh (m)	回数
牛首川			2.86	0.3530	1
0.30以下	0.0169	16	3.20	0.3220	1
0.35	0.0160	3	13.90	0.5560	1
0.40	0.0168	1	大聖寺川		
0.50			0.50以下	0.0053	2
0.60			0.60	0.0172	17
0.70			0.70	0.0118	10
0.80			0.80	0.0308	5
0.90	0.0232	1	0.90	0.0228	6
神通川			1.00		
0.30以下	0.0287	19	1.10	0.0088	4
0.35	0.0354	1	1.70	0.0673	3
0.40	0.0410	2	1.90	0.1550	1
0.50	0.0471	2	3.00	0.1099	11
0.60	0.0508	4	4.00	0.3600	1
0.70	0.0552	1	片貝川		
0.80	0.0626	4	0.30以下	0.0208	16
1.65	0.1055	1	0.40	0.0377	8
1.95	0.1160	1	0.50	0.0182	1
手取川			0.60	0.0472	3
0.30以下	0.0668	26	0.708	0.1125	1
0.35	0.0423	42	1.09	0.1320	1
0.40	0.0348	23	早月川		
0.50	0.0438	32	0.30以下	0.0101	45
0.60	0.0414	15	0.40	0.0105	23
0.70	0.0675	9	0.50	0.0103	4
0.80	0.0614	11	境川		
0.90	0.1450	5	0.30以下		
1.00	0.0152	1	0.40	0.0201	35
1.10	0.1013	1	0.50	0.0175	12
1.20	0.0817	3	0.60	0.0200	4
1.30	0.0383	1	0.70	0.0245	5
1.50	0.0419	2	0.80	0.0235	2
1.60	0.2620	1	1.23	0.0990	1
1.70	0.0503	2	1.45	0.0380	1
2.01	0.2480	1	1.56	0.0390	1
2.17	0.2160	1			
2.27	0.2790	1			

注：北陸電力KK保有の測水記録をもとに解析したもの。

表-2

q	dh (m)	回数
0.30	0.0274	122
0.40	0.0291	138
0.50	0.0336	53
0.60	0.0313	43
0.70	0.0362	25
0.80	0.0540	23
1.00	0.0737	14
1.50	0.0514	18
1.716	0.0980	10
2.370	0.1540	15
3.220	0.3220	1
3.120	0.3460	1
13.90	0.5560	1

注：表-1 を取りまとめたもの。

表-3

q	δ (m)
0.283	0.0535
0.375	0.0605
0.464	0.0641
0.562	0.0805
0.679	0.0791
0.760	0.1116
0.845	0.1158
0.949	0.1106
1.116	0.1223
1.249	0.1859
1.478	0.2042
1.728	0.2221
1.940	0.2025
2.121	0.2470
2.345	0.3115
2.640	0.3317

注：表-1 をもとに算出したもの。

以下同様にして、

$q=0.75$ のとき、 $25\,800\text{ m}^3$ 、 $q=1.00$ で $35\,600$ 、 $q=1.25$ で $42\,400$ のとき、 $q=1.50$ で $52\,500$ 、 $q=13.90$ で $346\,000$ を得る。したがって、全流砂量 ΣG は、 $2.1 \times 10^6\text{ m}^3$ となる。この値は実績 $2.3 \times 10^6\text{ m}^3$ より 20 万 m^3 少ないが、これは、浮遊流砂による流下量にあたるものと考えらる。

6. 結 語

河床構成機構とは無関係に、実河川での諸測定結果をもとに河川流砂量の算定方法を考察してみた。実用面を考慮した場合、河川流砂量はその概数値を知ることがすべてといっても過言ではない。また、流砂量が自然河川を対象としているため、本質的に不明解な点を含んでおり、したがって、純理論的解析のみでは解明されにくい点も多く、河川流砂量としては、いつも有効数字 2~3 桁程度をもって表わされるのが適当である。

表-4

年	q	年	q	年	q	年	q	年	q
29	0.845	0.540	0.390	0.315	0.278				
	0.226	0.343	0.338	0.345	0.885				
	0.477	0.346	0.338	0.296	0.755				
	0.442	0.296	0.293	1.480	0.309				
	0.497	0.761	0.318	0.370	0.333		34		
	0.284	0.568	0.314	13.900	0.349				
	0.340	0.360	0.306	0.920	0.349		33		
	0.572	0.351	0.487	0.699	0.309				
	0.307	0.493	0.324	1.470	0.432				
	0.638	0.347	0.705	1.130	0.686				
	0.787	0.294	0.369	0.447	0.430				
	0.298	0.327	0.515	0.504	0.329				
30	0.425	0.338	0.482	0.294	0.452				
	0.284	1.125	0.325	0.392	0.478		35		
	0.274	0.404	0.462	0.450	0.697				
	0.755	0.458	0.290	0.450	0.389				
	0.338	0.309	0.269	0.518	0.288				

注：A砂防ダム付近の測水記録より抜粋したもの（北陸電力KK保有）。

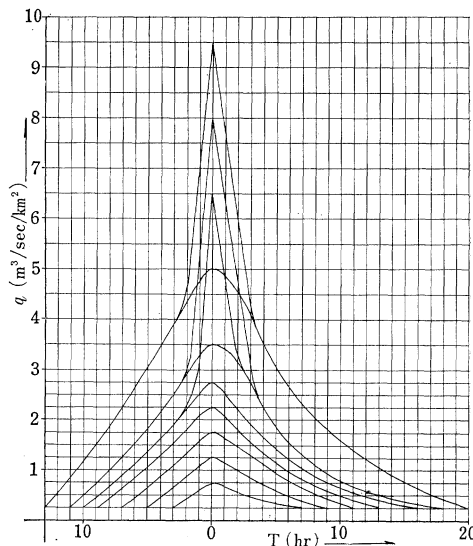
表-5

q	v_m (m/sec)	Ti (hr)	B(m)	出水回数
0.50	1.38	5.9	21.30	68
0.75	1.72	12.0	8.43	9
1.00	1.95	18.0	4.95	5
1.25	2.22	24.1	3.23	0
1.50	2.48	29.8	2.34	2
13.90	5.05	33.0	1.14	1

注：Bは出水所要時間 (Ti) と平均流速 (v_m) との積で表わされる河川長内での平均河床幅を示す。

図-3 標準ハイドロ グラフ

北陸地方主要河川でのハイドロ グラフをもとにして作成したもの。



このような意味からも、ここに提案する算定式は一応その目的を達することができると思われる。

参 考 文 献

- 1) 永井莊七郎：流砂に関する研究，土木学会誌 第29巻第9号，pp. 647~667
- 2) 松梨順三郎：限界掃流力付近の流砂に関する研究，土木学会論文集 第51号，pp. 16~24
- 3) 土屋義人：混合砂礫の限界掃流力について，土木学会論文集 第96号，pp. 1~9
- 4) 石原・本間編：応用水理学 中I，pp. 1~124
- 5) 本間・安芸編：物部水理学
- 6) 安芸皎一：河相論
- 7) H.A. Einstein: The Bed-Load Function for Sediment Transportation, Technical Bulletin. No. 1026. U.S. Dept. of Agriculture. 1950.
- 8) F.M. Exner: Uber die Wechselwirkung Zwischen Wasser und Geschiebe in Flissen. Sitzberichte der Academie der Wissenschaften, Wein, Heft 3-4, 1925.
- 9) M. Selim Yalin: An expression for bed-load transportation, Journal of the Hydraulics Division. Vol 89, No. HY 3, May 1963, Part 1, pp. 221~250.