韓國河川의 流砂量算定에 관한 研究(Ⅱ)

——洛東江을 中心으로——

A Study on Sediment Load in River

金 熙 鍾*
Hi-Chong Kim
姜 周 復**
Ju-Bok Kang
申 東 守***
Dong Soo Shin

1. 緖 論

1-1 序 言

韓國河川의 流砂量算定에 관한 研究[1]에서 河川의 綜合計劃은 물론 改修計劃에 있어서 正確한 流砂量算定이란 매우 重要하나 이를 위해서는 長期的의 觀測이 必要하며 觀測時마다 測定誤差를 줄이기 위하여 同一觀測에서 數回觀測하여 平均값을 使用하여야 하는 時間的 어려움이 있다. 특히 流量이 尖頭流量을 中心으로 한 高水時의 流砂量觀測은 年間流砂量推定을 위하여 [illegible] 必要할 것이다. 그 理由로 생각되는 것은 低水時는 掃流力이 [illegible] 高水時는 浮遊砂分布도 물론이거니와 掃流砂量을 左右한다고 생각되는 掃流力도 많은 變化를 가져올 것이 예상되는 點이다.

1-2 研究範圍 및 目的

本研究는 洛東江 下流 津洞地點, 中流 玄風地點, 上流의 [illegible]地點을 택하여 水理諸量, 浮遊砂量 및 掃流砂量을 各各 [illegible] 80~81)年度에 관측된 자료와 합하여 綜合分析하[illegible] 年度의 研究報告와 比較檢討하고 보다 改善된 推定値를 구할 수 있는 經驗式을 구함을 目的으로 한다.

2. 浮遊流砂量

2-1. 浮遊流砂量推定理論式의 誘導

浮遊流砂量의 一般式 $q_s=\int_a^H c\cdot v\,dy$ 에 Bazin 의 流速分布式

$$V=V_m+\left[8-24\left(\frac{H-z}{H}\right)^2\right]\sqrt{HI} \quad \cdots\cdots (1)$$

여기서 V : 水低에서 z 에 있는 點의 流速(m/sec)

V_m : 鉛直線上의 平均流速(m/sec)

H : 水深(m)

z : 水路바닥에서 任意의 높이(m)

I : 水面傾斜

Rouse 의 浮遊砂 濃度分布式

$$c/c_a=\left[\frac{(H-z)a}{(H-a)z}\right]^{\frac{w}{\kappa\sqrt{gHI}}} \quad \cdots\cdots (2)$$

을 代入하면 다음式과 같다.

$$q_s=\int_a^H c_a\left(\frac{H}{H}\cdots\right)^{[illegible]}\cdot\left\{V_m+\left[8-24\left(\frac{H-z}{H}\right)^2\right]\sqrt{HI}\right\}[illegible] \quad \cdots\cdots (3)$$

(3)式에 [illegible] $=y$, $a/H=\varepsilon$이라고 [illegible] 整理하면 式(4)와 같다.

$$q_s=\alpha c_a H [illegible] (V_m [illegible] \sqrt{HI}\, I_1 - 24\sqrt{HI}\, I_2) \quad \cdots\cdots (4)$$

$I_1=\int [illegible]$, $I_2=\int [illegible] (1-y)^2 dy$

여기서, [illegible]

a 는 河床으로부터의 높이(浮遊限界點)

α 는 浮遊限界濃度에 대한 補正値이다.

2-2 基準點濃度(c_a)

玄風地點의 基準點濃度는 實測流砂量으로부터 平均粒徑 d_{50}에 대한 c_a의 값을 逆算하면 表-1과 같다. 表-1을 兩對數에 플롯트하면 거의 直線이 된다. 따라서 c_a와 d_{50}의 相關式을 구하면 式(5)과 같다.

$$C_a=52.942\,d_{50}^{[illegible]} \quad \cdots\cdots (5),\ r=0.7$$

上記式을 t-分布에 의하여 檢定하면 0.05에 대하여 有意性이 있다. 이것을 플롯트한 것은 그림 1과 같다.

* 東亞大 敎授(工博)
** 釜山大 敎授
*** 東亞大 助敎

表 1 d_{50}과 C_a

지 점	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_{50} mm	0.275	0.275	0.230	0.510	0.340	0.431	0.420	0.420	0.295	0.240
C_a (mg/cc)	1.80	[illegible]	4.34	2.36	23.86	5.82	6.78	1.13	4.46	1.22

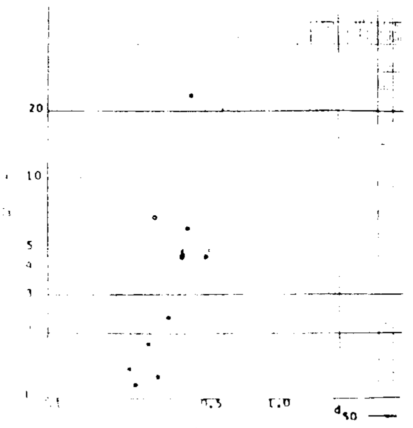


그림 1 d_{50}과 C_a

3. 實測資料

3.1. 水理量

各 測定地點에서의 實測結果는 表 2과 같다.

3.2 浮遊流砂量

浮遊流砂는 採取瓶으로 2點法에 의하여 測定하여 일직단면 평균부유농도를 구하고 다시 全浮遊砂量의 測定은 算術平均法이나 流量加重法에 의해 구한 結果를 表 3, 에 表示하였다.

4-4. 掃流砂量

各 地點의 實測結果에 의한 單位幅當掃流砂量은 表4와 같다.

表 2. 水理量

No	地點	測定日	(m) 水位	(m) B	(m²) A	(m³/sec) Q	(m) S	(m) R	(m/sec) V_m	I	T°C
1	津 洞 1	[illegible]	1.28	136	1588.7	1243.0	242	6.67	0.783	1/5000	22
2	津 洞 2	1980. 9. 27	2.26	127	460.08	92.44	202.7	2.27	0.091	1/5319	20
3	玄 風 1	1980. 9. 28	1.30	190	425.75	151.75	208.5	2.01	0.356	1/4734	19.8
4	玄 風 2	1980. 10. 11	1.65	205	423.25	203.00	230.0	1084	0.480	1/5230	18
5	玄 風 3	1981. [illegible]. 11	1.69	155	147.85	72.87	155.6	0.88	0.193	1/5025	3
6	新 上 1	1980. 12. 28	-0.16	95	90.5	29.54	98	0.92	0.326	1/5465	5
7	玄 風 4	1981. 3. 22	1.52	155	105.45	50.44	166.1	0.65	0.465	4484	13.5
8	〃 5	5. 3	1.42	168	171.95	68.61	288.1	0.75	0.400	2817	22
9	〃 6	6. 14	1.98	190	194.56	106.54	1910	1.02	0.547	4505	24.5
10	〃 7	7. 29	2.35	200	242.38	96.64	200.7	1.21	0.400	4367	30.5
11	津 洞 3	7. 29	2.37	218	799.76	133.08	218.6	363	0.170	9222	31
12	龜 尾	10. 3	1.22	280	546.13	99.17	278.6	1.96	0.182	4830	18
13	玄 風 8	10. 4	2.25	200	347.50	140.72	196.1	1.77	0.405	4386	19
14	津 洞 4	10. 4	2.77	140	2380.25	64.27	194.5	12.12	0.027	8000	20.5
15	〃 5	1982. 3. 7	1.84	140	152.50	86.27	139.9	1.09	0.566	4274	8
16	新 上 2	4. 11	—	130	55.95	21.05	125.3	0.45	0.376	2040	10
17	玄 風	4. 12	1.01	105	88.55	35.23	105.2	0.84	0.398	5263	16
18	津 洞 6	4. 12	1.80	126	1931.00	96.55	145.2	13.30	0.050	723	18
19	新 上 3	4. 18	—	124	28.72	12.15	120.0	0.24	0.423	2062	12
20	玄 風 10	4. 18	0.87	118	68.00	20.01	90.2	0.75	0.294	5236	20
21	津 洞 7	4. 19	1.36	124	106.45	37.78	120.1	6.89	0.355	7246	20.5

表 3. 各地點의 浮遊砂量 kg sec

No.	地點	流量 m³/sec	全體平均濃度	浮遊砂量	비고
1	津洞 1	1243.9	0.260	323.41	
2	2	92.4	0.053	4.90	
3	玄風 1	151.5	0.046	6.97	
4	2	203.0	0.036	7.31	
5	3	72.8	0.059	4.30	
6	新上 1	29.5	0.039	1.15	
7	玄風 4	50.4	0.044	2.22	
8	5	68.6	0.260	17.84	
9	6	106.5	0.088	9.37	
10	7	96.9	0.135	13.08	
11	津洞 3	133.1	0.055	7.32	
12	龜尾	99.2	0.027	268	
13	玄風 8	140.7	0.046	6.47	
14	津洞 4	64.3	0.023	1.48	
15	5	86.3	0.022	1.90	
16	新上 2	21.1	0.085	1.79	
17	玄風 9	35.2	0.050	1.76	
18	津洞 6	[illegible]	0.012	1.16	
19	新上 3	12.2	0.122	1.49	
20	玄風10	20.2	0.017	0.34	
21	津洞 7	37.8	0.028	1.06	

表-5 ωHI와 浮遊砂量

No.	地點	實測浮遊砂量 kg/sec/m	ω kg/m³	H (m)	I	ωHI
1	津洞 1	2.40	998	11.34	2.0×10^{-4}	2.26
2	〃 2	0.039	998	11.49	1.88×10^{-4}	2.16
3	玄風 1	0.037	999	2.24	2.11×10^{-4}	0.47
4	〃 2	0.036	999	2.06	1.91×10^{-4}	0.39
5	〃 3	0.028	1000	0.954	1.99×10^{-4}	0.19
6	新 上	0.012	1000	0.95	1.78×10^{-4}	0.17
7	玄風 4	0.014	999	0.70	2.23×10^{-4}	0.16
8	〃 5	0.106	998	1.02	3.55×10^{-4}	0.36
9	〃 6	0.049	997	1.02	2.22×10^{-4}	0.23
10	〃 7	0.065	996	1.21	2.29×10^{-4}	0.28
11	津洞 3	0.034	996	3.64	1.08×10^{-4}	0.39
12	龜 尾	0.010	998	1.95	2.07×10^{-4}	0.40
13	玄風 8	0.032	998	1.74	2.29×10^{-4}	0.40
14	津洞 4	0.011	998	17.0	1.25×10^{-4}	2.12
15	津洞 5	0.013	1000	1.09	2.34×10^{-4}	0.26
16	新上 2	0.014	1000	0.43	4.90×10^{-4}	0.21
17	玄風 9	0.017	999	0.84	1.90×10^{-4}	0.16
18	津洞 6	0.009	998	15.33	1.38×10^{-4}	2.11
19	新上 3	0.012	1000	0.23	4.85×10^{-4}	0.11
20	玄風10	0.003	998	0.58	1.91×10^{-4}	0.11
21	津洞	0.009	998	0.86	1.38×10^{-4}	0.12

表 4. 各 地點의 總掃流砂量

No	地點	M 河幅	單位幅當平均掃流砂 kg sec/m			掃流砂 kg/sec			비고
			算術平均	流量加重	水深加重	算術平均	流量加重	水深加重	
1	津洞 1	140	[illegible] $\times10^{-3}$	8.77 $\times10^{-4}$	6.38×10^{-4}	0.2688	0.1228	0.0893	
2	〃 2	127	[illegible] $\times10^{-4}$	[illegible]	0.0306	0.0017	0.0070	0.0070	
3	玄風 1	190	[illegible] $\times10^{-4}$	[illegible]	3.03×10^{-4}	[illegible]	0.1497	0.0576	
4	〃 2	205	[illegible] $\times10^{-2}$	1.31 [illegible]	7.32×10^{-3}	2.[illegible]165	2.6855	1.5006	
5	〃 3	155	[illegible] $\times10^{-3}$	8.49 $\times10^{-3}$	4.57×10^{-3}	[illegible]1796	1.3150	0.7084	
6	新上 1	95	[illegible] $\times10^{-3}$	6.36 $\times10^{-4}$	1.21×10^{-3}	0.1482	0.0604	0.1150	
7	玄風 4	155	[illegible] $\times10^{-3}$	5.29 $\times10^{-3}$	1.95×10^{-3}	[illegible]3160	0.8200	0.3023	
8	〃 5	168	[illegible] $\times10^{-3}$	3.40 $\times10^{-3}$	1.15×10^{-2}	[illegible]0517	0.5712	1.9320	
9	〃 6	190	[illegible] $\times10^{-3}$	4.47 $\times10^{-3}$	3.43×10^{-3}	[illegible]0758	0.8493	0.6517	
10	〃 7	200	5.55×10^{-3}	2.26×10^{-3}	6.40×10^{-3}	1.1100	0.4520	102800	
11	津洞 3	218	.596 $\times10^{-3}$	1.38×10^{-3}	3.81×10^{-3}	[illegible]2093	0.3008	0.8306	
12	龜尾	280							
13	玄風 8	200	2.89×10^{-4}	1.23×10^{-4}	429×10^{-3}	[illegible]	0.0246	0.858	
14	津洞 4	140							
15	津洞 5	140	3.40×10^{-4}	2.70×10^{-4}	2.56×10^{-3}	0.0476	0.0378	0.3584	
16	新上 2	130	3.75×10^{-4}	2.93×10^{-4}	6.56×10^{-3}	0.0488	0.0381	0.8528	
17	玄風 9	105	4.99×10^{-4}	3.91×10^{-4}	2.30×10^{-3}	0.0524	0.0411	0.2415	
18	津洞 6	126	6.57×10^{-4}	4.82×10^{-4}	7.91×10^{-3}	0.0828	0.0607	0.9967	
19	新上 3	124	4.18×10^{-4}	3.73×10^{-4}	5.25×10^{-3}	0.0518	0.0463	0.6510	
20	玄風10	118	5.64×10^{-4}	5.55×10^{-4}	9.54×10^{-4}	0.0666	0.0655	0.1126	
21	津洞	124	1.53×10^{-4}	1.42×10^{-4}	8.09×10^{-4}	0.0190	0.0176	0.1003	

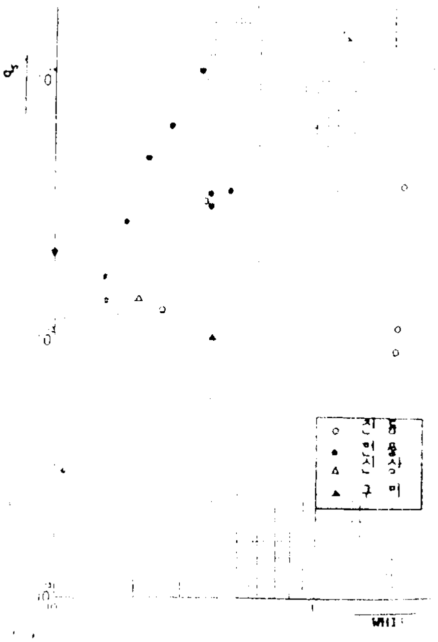


그림 2. $\omega HI \sim q_s$

4. 考 察

4.1 浮遊砂에 대한 考察

4. ωHI와 浮遊砂量

各 測定地點의 參考文獻[6] 및 (81~82)年資料에 의하여 整理하면 表 5와 같다.

表 5에서 ω : 물의 單位體積當平均(kg/m³)

H : 平均水深(m)

I : 水面傾斜이다.

表-5의 값을 兩對數用紙에 플롯하면 그림 2과 같다. 津洞地點과 新上地點은 相關回歸直線의 傾斜가 同一하며 玄風地點은 前記地點과는 다르게 急한 傾斜로 나타내고 있으므로 地點마다 $\omega HI - q_s$의 相關式을 구해야 한다. 津洞[4], 津洞[6]의 觀測値와 玄風, 玄風[2], 玄風[8]의 觀測値를 각각검정처리하여 최소자승법으로 해석하여 各地點의 $\omega HI - q_s$의 상관식을 구한 결과는 다음과 같다. 그러나 新上, 津洞地點은 實測値가 산만하며 그 數도 적어 以上의 決定이 약간 무리할 것도 같으니 앞으로 더욱 많은 實測을 행하여 이들 補正코자 한다. 따라서 어느정도 그 相關性이 認定되는 地點은 相關係數 $r = 0.9$인 玄風地點이다.

津洞地點, $q_s = 0.108(\omega HI)^{1.294}$, $r \fallingdotseq 0.8$

玄風地點, $q_s = 3.049(\omega HI)^{2.994}$, $r \fallingdotseq 0.9$

新上地點, $q_s = 0.018(\omega HI)^{0.203}$, $r \fallingdotseq 0.8$

4.2 流量과 浮遊砂量의 相關

表 3를 이용하면 流量과 浮遊砂量의 相關圖는 그림 3과 같다. 그림 3를 최소자승법으로 해석하면 아래와 같은 相關式을 얻을 수 있다.

$Q_s = 0.022Q^{1.769}$

Q : 流量(m³/sec)

Q_s : 浮遊砂量(kg/sec)

$r \fallingdotseq 0.8$

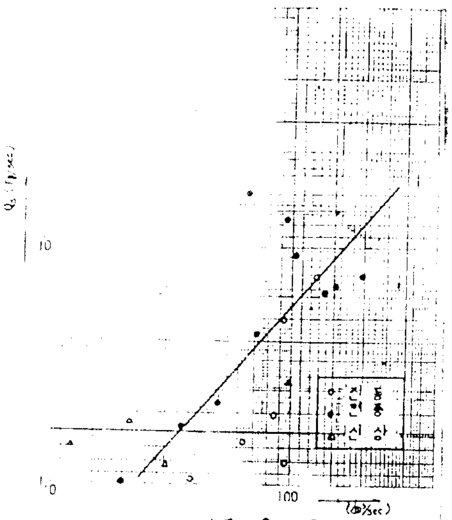


그림 3. $Q \sim Q_s$

$Q_s = 0.002Q^{1.726}$의 相關式 ... 範圍內에서는 ... 의 式을 再確認할 수 있다.

4.2 掃流砂에 대한 考察

4.2.1 q_{B*}와 τ_*의 相關

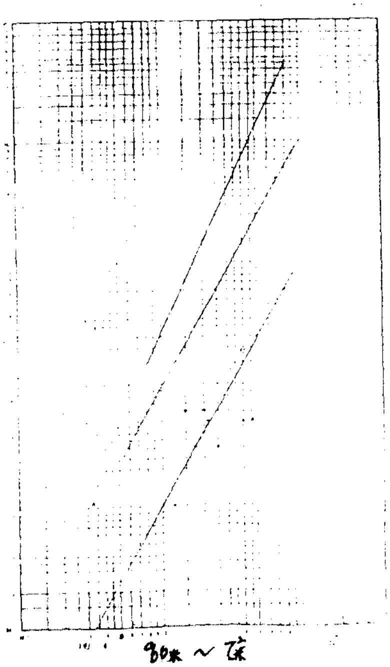
掃流砂量을 ... 表 ... 이라 하면 q_{B*} ... 表-6과 같다. 이를 ... 그림 ... 과 같다. 이로부터

$q_{B*} = 0.83\tau_*^2$

4-3 총유사량에 대한 고찰

4.3.1 總流砂量과 浮遊砂量의 對比

實測한 浮遊砂量과 掃流砂量을 합한 總流砂量 중에 浮遊砂量의 百分率은 表 7과 같다. 이는 T.E.Steven[7]의 研究에 의한 研究結果와 거의 一致함을 나타내고 있다.



$q_{b*} \sim \tau_*$

表-6 $\tau_*^2 \sim q_{b*}$

No	τ_*^2	q_* 10^{-4}	비고
1	15.3	46.27	
2	14.3	4.14	
3	0.83	47.96	
4	0.76	1636.04	
5	0.04	698.62	
6	0.02	140.01	
7	0.058	458.85	
8	0.194	1461.28	
9	0.078	543.16	
10	0.17	1438.76	
11	0.26	506.51	
12	—	—	
13	0.86	991.43	
14	—	—	
15	0.18	503.39	
16	0.02	590.48	
17	0.049	498.28	
18	16.48	657.84	
19	0.006	711.[illegible]	
20	0.036	[illegible]	
21	0.068	[illegible]	

表 7 總流砂量과 浮遊砂量

No	地點	浮遊流砂量 (kg/sec)	總流砂量 (kg/sec)	總流砂量에 대한 浮遊砂量의 比	비고
1	津洞 1	323.41	323.50	99.9	
2	〃 2	4.91	4.92	99.8	
3	玄風 3	6.97	7.03	99.1	
4	〃 4	7.31	8.81	83.0	
5	〃 5	4.30	5.01	85.8	
6	新上 6	1.15	1.21	90.6	
7	玄風 7	2.22	2.52	88.1	
9	〃 8	17.84	19.77	90.2	
10	〃 6	9.37	10.02	93.5	
11	〃 6	13.08	14.36	91.1	
12	津洞 1	7.32	8.15	89.8	
10	龜尾	2.68	—	—	
13	玄風 8	6.17	[illegible]	8.33	
14	津洞 4	1.18	—	—	
15	〃 5	1.90	2.26	84.1	
16	新上 2	1.79	[illegible].64	67.8	
17	玄風 9	1.76	2.00	88.0	
18	津洞 6	1.16	2.26	51.3	
19	新上 3	1.49	[illegible].11	69.6	
20	玄風10	0.34	0.45	75.6	
21	津洞 7	1.06	[illegible].16	91.4	
平均				85.6	

4.3.2. 各地點의 總流砂量의 實測値와 計算値의比較

各測定地點의 總流砂量의 實測値와 EINSTEIN, LANE-KAUNSKE의 計算値는 아래 表 8과 같다.

表 10을 利用하여 플롯트하여 보면 그림5와 같다.

그림 5에서 實測資料의 分布形態를 최소자승법으로 해석하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$Q_T = 1.336 \cdot 10^{-5} Q^{1.141}, \ \gamma \fallingdotseq 0.84$$

그림 5에서 實測値의 分布는 L-Kalinske, Einstein 公式에 의한 各分布의 中央에 비교적 位置하고 있으며 L-Kalinske分布는 81年度 研究結果[6] 보다 大部分 큰 값들을 주고 있다 따라서 公式에 의하여 推定할 때에는 兩公式에서 各各을 구하고 이의 平均값을 택하는 것이 實測値에 近似한 값을 얻을 수 있는 것으로 사료된다.

表 8 各測定地點의 總流砂量 [illegible]

No.	地	點	No.	$Q(m^3/sec)$	Q_T 實測流砂量	Q_T 公式의 計算値 Einstein	L-kalinske	비 고
[illegible]	著	[illegible]	1	1243.0	1.22×10[illegible]	6.67×10⁻²	1.15 [illegible]	
[illegible]	〃		[illegible]	92.44	1.85×10[illegible]		[illegible]	
[illegible]	津	洞	[illegible]	151.75	2.65×10⁻³	2.24×10⁻⁴	[illegible]	
[illegible]	〃		[illegible]	208.00	3.32×10[illegible]	1.31×10⁻³	[illegible]	
[illegible]	〃		[illegible]	72.87	1.89×10⁻³	3.16×10⁻⁴	[illegible]	
[illegible]	〃		[illegible]	29.54	4.77×10⁻⁴	9.70×10⁻⁵	[illegible]	
[illegible]	玄	風	[illegible]	50.44	9.51×10⁻⁴	2.83×10⁻⁴	[illegible]	
[illegible]	〃		[illegible]	68.61	7.46×10[illegible]	2.99×10⁻⁴	5.76×10[illegible]	
[illegible]	〃		[illegible]	106.51	2.78×19⁻³	1.78×10⁻³	[illegible]	
10	〃		[illegible]	[illegible]	5.42×10⁻³	5.23×10⁻⁴	[illegible]	
11	津	[illegible]		[illegible]	3.03×10[illegible]		[illegible]	
12	龍	[illegible]		[illegible]				
13	玄	風	[illegible]	140.7[illegible]	2.77×10⁻³	1.18×10[illegible]	[illegible]	
14	津	洞	4	64.27				
15	〃		5	86.27	6.53×10⁻⁴	1.32×10⁻³	3.99×10[illegible]	
16	新	上	2	21.05	9.97×10⁻⁴	1.46×10⁻⁴	1.46×10[illegible]	
17	玄	風	9	35.23	7.55×10⁻⁴	1.48×10⁻⁴	1.32×10⁻³	
18	津	[illegible]	6	96.55	8.14×10⁻⁴		3.56×10[illegible]	
19	新	上	3	12.15	8.08×10⁻⁴	5.60×10⁻⁴	1.71×10⁻⁴	
20	玄	風	10	20.01	1.71×10⁻⁴	2.12×10⁻⁴	7.67×10[illegible]	
21	津	洞	7	37.78	4.38×10⁻⁴	2.39×10⁻⁵	1.09×10[illegible]	

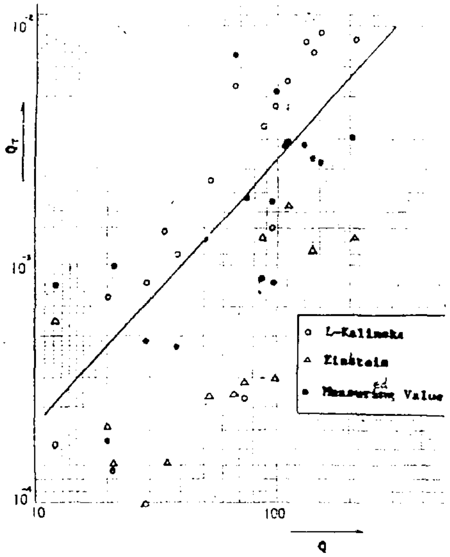


그림 5 $Q \sim Q_T$

5. 結 論

本 研究는 高水 [illegible] 不可能하여 低水流量時 [illegible] 實[illegible] 생각한다. 이 [illegible] 結果[illegible] 같다.

1) 이 [illegible] 代表하는 ωHI [illegible] 浮遊砂量과의 相關關係 [illegible] 結果 津洞, 玄風 [illegible] 地點은 ωHI [illegible] 相關性 [illegible] 風地[illegible] 그 相關性 [illegible].

2) 流量과 浮遊砂量의 相關式은 [illegible] $Q_s = 0.02 \cdot Q^{1.726}$이 成立됨이 再確認되었다.

3) 浮遊砂量의 半理論公式은 浮遊限界點의 濃度(c_a)의 값의 推定法이 問題點이나 여기서는 代表粒徑(d_{50})에 의하여 구하였으며 a의 값은 0.05H로 하는 것이 타당할 것으로 생각한다.

4) 著者가 提案하는 浮遊砂의 算定半理論式, $\omega HI \sim q_s$, $Q \sim Q_s$와 우리나라 河川에서 比較的 잘 맞는 것으로 알려진 Lane Kalinske公式, Einstein公式 등에 [illegible] 浮遊砂量 推定[illegible] 經驗式($\omega HI \sim P_s$)은 半理[illegible]式[illegible] 보여 주었다.

5) [illegible] 低水流量에서 Brown, Einstein [illegible] Kalinske [illegible] Brown 公式[illegible] 浮遊砂量이 包含[illegible].

6) [illegible] 浮遊砂量은 [illegible] 등等이 開定될 수 있다면 觀測이 간단한 浮遊砂量의 測定으로서 總流砂量을 推定할 수 있을 것이다.