

論文

河川의 流砂量과 河床變動에 關한 研究

A STUDY ON THE SEDIMENT AND THE RIVER BED VARIATION

南 宣 祐*
Nahm Sun Woo

ABSTRACT

This Study is concerned with the analysis of the formulas which give both the quantity of the total, suspended and bed loads as functions of stream and sediment characteristics.

The numerical analysis of sediment discharge formulas is described and the computer program for the following 4 formulas are developed;

- (1) Einstein's Formula
- (2) Toffaleti's Formula
- (3) Brown's Formula
- (4) Kikkawa's Formula

In the analysis of these formulas, the hydraulic data of the river in the downstream of the Han River are used, and these formulas have been tested by application and comparison with observed data and the results computed by the computer.

In these methods and procedures, the most satisfactory and convenient formula is selected.

The design and planning of the river channel regulation works are determined by computing the river bed variation by using the sediment discharge computed from the selected formula.

1. 序 論

土木技術者는 地表水를 取扱하는 工事計劃이나 設計에서 水路, 貯水池 또는 河口 등에서 일어나는 土砂의 洗掘, 流送 및 堆積等を 考慮해야 한다. 流砂問題는 灌溉排水路의 設計, 舟運이나 洪水管理를 위한 河川의 改修, 貯水池設計, 港灣의 維持管理, 上水道用水의 淨水, 土壤侵蝕防止 등과 密接한 關係를 갖는 重要な 것이다.

流砂에 있어서 基本的인 問題는 어떤 河川에서 주어진 流量에 對하여 얼마만한 量의 河床砂가 流送되는가이다. 이 課題를 풀기 위하여는 많은 複雜한 現象 즉, 河床의 砂粒에 어떠한 流體力이 作用하고 砂粒은 어떤

運動을 하는가를 調査한 後에 그들의 結果로 流砂量이 어떤 條件에 의하여 즉, 흐름의 水理條件과 河床의 性質에 의하여 規定되는가를 究明하는 것이다.

流砂量은 엄밀히 따지면 數式으로 表示하기는 困難하고 그림으로 나타내야 되나 流砂量을 求해서 알고자 하는 技術者들에게 便利하게 하기 위하여 數式으로 나타내고 있다. 그러나 微細砂粒의 運動構造는 물과 砂面과의 境界에서 複雜한 現象을 나타내므로 實驗의으로도 定量的인 把握은 困難하다. 그러므로 運動構造를 概念的으로 Model化하여 取扱하므로써 數式中的 常數와 係數 등을 實驗結果에 맞도록 定하고 있으며 Model과 理論이 어느 정도 妥當한가를 把握하기란 어렵다.

1879년 Du Boys¹⁾의 式을 비롯해서 數많은 學者들의

* 本學會 代議員 東國大學校工科大学 土木工學科 副教授

數式에發表되었다. 그 많은 數式中 技術者들은 몇 개를 適當하다고 보는 式을 選擇해서 使用해 왔다. 技術者가 式을 選擇하기 위해서는 各式에 使用가능한 資料(Data)의 量과 質의 程度가 怎樣이어야 하고 또 河川의 實測流量과 各式에 의해 計算된 流量量을 比較하여 數式의 妥當性을 檢討해야 한다. 그 중 몇 개의 式을 過去에 豫先의 檢査와 實際의 現象에 對하여 一般적으로 技術者들이 選擇하여 자주 使用해 오고 있다.

다음에 專門的인 學者가 必要한 檢査를 어떤 方法으로 하는 技術者들이 不知하고 使用을 繼續해 오고 있다. 이 公式들이 其 必要한 檢査 可用的인 浮流速度와 河川流量 測定 方法 檢査를 利用하여 流量量을 測定하는 方法과 類似한 것이다.

本研究는 流量量算定을 위한 各種公式들을 檢査分析하여 適用가능성을 開發하고 漢江下流部 改修計劃斷面에 對한 水理資料를 利用하여 流量量을 計算하고 그 結果值들과 實測值들 比較하여 比較 妥當한 方法을 檢査하고 이의 結果를 檢査하여 河床變動計算을 爲하려고 河床의 測定에 對하여 改修斷面을 測定하는 方法을 提議하였다.

2. 流砂理論

2-1. 掃流砂量

흐름이 限界掃流力²⁾을 넘으면 유속 增進은 河床을 轉動, 掃動해서 移動한다. 掃流力의 增加와 더불어 移動形式의 移動이 일어나고 砂粒은 揚壓力에 의하여 河床으로부터 數倍程度 떠오르므로 抛物線運動을 한다. 이와같은 形式으로 河床의 近傍을 流送하는 모래를 掃流砂라 한다. 더욱이 掃流力이 增加하면 掃流層內 或은 河床의 모래알이 攪亂되어 그 擴散作用에 의하여 浮流砂形式으로 流送된다. 이와같이 두개의 運動形式은 相異한 力學的 構造에 따라서 서로 다른 取扱이 必要하다.

掃流砂에 對해서는 그 現狀의 河床과 물과의 境界面에서 나타나므로 實際河床에 있어서는 그 現狀이 매우 複雜하다. 따라서 掃流砂의 運動構造를 把握하기 위하여 어느程度 簡略化된 Model을 제시 그 構造를 追求할 必要가 있다.

1) Einstein의 公式

Einstein³⁾은 河床에 作用하는 순간적인 揚力이 L 砂粒의 무게 W를 넘을 때에는 砂粒은 運動을 始作하고 움직이기 시작한 모래는 일률적으로 一定距離를 移動한 뒤에 河床에 沈着한다는 생각에서 次解算의 力平衡 原理에서 L이 W를 넘는 때의 P를 구한 것이다. 一般 粒徑의 測定에 對하여 다음 式이 適用한다.

$$P(q) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{4.5 \cdot b \cdot d}{43.8 \cdot U_*^2}}^{\frac{10.116 \cdot Z \cdot d}{43.8 \cdot U_*^2}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (1)$$

式(1)에서 $\frac{1}{\sqrt{2\pi}}$ 의 關係를 誤差函數로 表示하는 것이 不便하므로 q 는 單位掃, 單位時間當의 掃流砂量의 容積, d 를 粒徑이라 할 때 Einstein은

$$\frac{C_s}{C_s \cdot \rho - 1} \frac{d}{U_*^2} = \frac{1}{43.8} \frac{P(C_s)}{1 - P(q)} \quad (2)$$

로 表示한다. 여기서

$$q = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{10.116 \cdot Z \cdot d}{43.8 \cdot U_*^2}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

이며 R_s 를 河床部에 對한 概算의 掃深이라 하고 L 를 砂粒의 長度 또는 摩擦圓錐의 高에 L^* 는 有效掃流力에 對한 摩擦圓錐고 다음 式으로 求한다.

$$L^* = \sqrt{g R_s \frac{d}{U_*^2}} \quad (3)$$

$$\frac{V}{\sqrt{g R_s \frac{d}{U_*^2}}} = 5.75 \log_{10} (12.27 R_s / Z \cdot d) \quad (4)$$

式(3) 및 (4)에서 V 는 平均流速, Z 는 $dU_*^2 / 11.6^2 > 10$ 에 대하여 $Z=1$ 이다. 參考로 混合粒徑에 對한 公式는 다음과 같다. (2) 式의 q 에 q_0, q_1 대신에

$$q_0^* = q_0 d_0 / d, \quad q_1^* = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{10.116 \cdot Z \cdot d}{43.8 \cdot U_*^2}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (5)$$

를 使用하여 式(2)를 利用할 수 있다. 式(5)에서 d_0 는 주어진 粒徑 범위의 모래가 河床砂 및 掃流砂에서 各各 占有하는 比率이고 q_0 는 砂粒이 掃流層에서 떠든가 細砂가 같은 모래에 沈着하기 위한 修正係數로서 d/d_0 의 函數로 表示된다. 여기서 X 는 다음과 같다.

$$d_{05} U_*^* / (11.6 \cdot Z) > 1.80 \quad X = 0.77 d_{05} / Z \quad (6)$$

$$d_{05} U_*^* / (11.6 \cdot Z) < 1.80 \quad X = 1.39 (11.6 \cdot U_*^*) \quad (7)$$

한편 揚壓力의 修正係數는 $d_{05} U_*^* / (11.6 \cdot Z)$ 의 函數로 $B^2 / B_*^2 = (\log_{10} 10.6 / \log_{10} 10.6 (X \cdot Z \cdot d_{05}))^2$ (8)와 같이 된다.

以上の 公式으로 混合粒徑의 砂粒에 對해서 掃流層로 掃流砂量을 算定할 수 있다. 그러나 從來河川에서의 實測值나 實驗結果로 부터의 影響이 最大로 나타난다고 指摘되고 있다. 廣範圍한 程度分布를 갖는 砂粒에도 充分히 適用할 수 있는 流量量式은 今後의 研究에 期待해야 할 것이다.

2) Toffaletti의 公式

Toffaletti⁴⁾는 Einstein 또는 Einstein and Chien⁵⁾의 提議한 理論으로 부터 다음 3項을,

- (1) 垂直方向의 速度分布
- (2) 數個의 相關關係의 組合의 單一化
- (3) 掃流砂의 2개의 相異한 河床部를 各各 流下量과 掃流力의 概算範圍에서 가장 基本이 되는 ϕ 또는 ϕ_0 에 對하여 檢査한 것을 檢定화 하였다. 即

垂直速度分布에서 B^2/B_s^2 를 消去하고 ξ 를 Hiding係數, θ 를 補正係數라 할 때 ξ/θ 와 Y 의 項을 單調롭게 하였다. 後者의 各要素를 直接河床剪斷速度와 動粘性係數의 函數인 δ' 로 表示했는데 이 河床剪斷速度 U_*' 와 動粘性係數 ν 도 함께 묶어서 A 라는 記號로 하였다. 그리고 掃流砂의 垂直分布의 범위는 粒徑을 D , 經深을 R 이라 할 때 $y=2D$ 와 $y=R/11.24$ 로 한다. 또한 Toffaleti는 流砂計算을 電子計算機로서 處理할 目的으로 符號의 表示를 처음부터 달리한 것과 水溫과 聯關시켰다는 것이 特記할 點이라 하겠다. 計算過程에 대하여 說明하면 流速 U , 經深 R , 水溫($^{\circ}F$) TDF , 河幅 W , 粒徑 D_{65} , 水面傾斜, S 그리고 河床資料가 주어질 때 다음과 같다.

第1段階는

$$\begin{aligned} Y_A &= R/11.24 \\ Y_B &= R/2.5 \\ (SI) &= S \cdot R \cdot C_z \quad (C_z \text{ : 그림에서 구함}^7) \\ U_2 &= \frac{U}{\sqrt{g D_{65} S}} \quad (U \text{는 平均流速}) \\ U_3 &= \frac{U^3}{g \nu S} \\ U_*' &= \frac{U}{U_1} \quad (U_1 \text{은 그림에서 구함}^7) \\ \frac{PAM}{AM} &= \frac{P^3}{AM} \\ P &= 10^{2\nu} \\ \frac{P}{AM} &= 10 U_*' \end{aligned}$$

第2段階

$$\begin{aligned} ZOM &= \frac{H \cdot U}{(SI)} \quad (H \text{는 그림에서 구함}^7) \\ ZOM &< 1.5 \text{일 때 } ZOM = 1.5 Z_0 \\ Z_0 &= 0.1198 + 0.00048 TDF \\ ZOL &= 0.756 ZOM \\ ZOU &= 1.5 ZOM \\ ZOL - Z_0 &= F1 \\ ZOM - Z_0 &= F2 \\ ZOU - Z_0 &= F3 \\ 1 - F1 &= F4 \\ 1 - F2 &= F5 \\ 1 - F3 &= F6 \end{aligned}$$

第3段階

$$\begin{aligned} GF(1) &= \frac{1.905}{\left(\frac{T \cdot A}{U^2}\right)^{5/3}} \\ T &= 1.10 T' \\ T' &= g(0.00158 + 0.0000028 TDF) \end{aligned}$$

第4段階

$$X = \frac{F4 \cdot GF(1)}{Y A^{F4} - \overline{DD}^{F4}}$$

$$\overline{DD} = 2D$$

第5段階

$$C = Zi \cdot W \cdot X \quad (Zi : \text{주어진 粒經砂가 試料中에 포 함된 比率})$$

第6段階

$$\text{Bed Load} = C \overline{DD}^{F4}$$

#/ft³ 單位로 表示되는 Bed Load의 移動砂量은 다음과 같이 計算된다.

(1) $y = \overline{DD}$ 일 때 速度 UD 는

$$\begin{aligned} UD &= C_0 U (\overline{DD}/R)^{2\nu} \\ Z_0 &= 0.1198 + 0.00048 TDF \\ C_0 &= 1 + Z_0 \end{aligned}$$

와 같이 求하고

(2) Bed Load로서의 移動砂量 UBL 은

$$UBL = \frac{X}{43.2 U \overline{DD}^{F4}} \quad (\#/ft^3)$$

로 求한다. 만약 UBL 이 100pcf보다 크다면 Bed Load는 $100/UBL$ 또는 $\text{Bed Load} = 100/UBL \cdot \text{Bed Load}$

第7段階

$$y \text{의 } GA : GA = \frac{C}{F4} (Y A^{F4} - \overline{DD}^{F4}) + \text{Bed Load} \quad (\text{t/day})$$

또는

$$GA = [GF(1) Zi \cdot W] + \text{Bed Load} \quad (\text{t/day})$$

第8段階

$$y \text{의 } GB : GB = \frac{C}{F5} Y A^{F2-F1} (Y B^{F5} - Y A^{F5}) \quad (\text{t/day})$$

第9段階

$$y \text{의 } GC : GC = \frac{C}{F6} Y B^{F2-F1} Y B^{F3-F2} (R^{F6} - Y B^{F6}) \quad (\text{t/day})$$

第10段階

$$y \text{의 } GT : GT = GA + GB + GC \quad (\text{t/day})$$

와 같은 順序로 計算한다.

以上과 같이 計算을 하는 때에는 Einstein의 掃流函數의인 思考方式을 그대로 받아들여 多分히 經驗的인 流速分布, 濃度分布式과 掃流函數의 補正 등을 實行해야 한다.

3) Brown 公式

Brown¹²⁾公式은 다른 公式과 달리 여러가지 實驗에서 얻어진 公式이다. 따라서 이 公式의 形態는 매우 간단하다. 이 式은 流路床面附近에 있어서 砂礫의 移動速度를 簡單히 求하여 掃流函數와 關聯시켜

$$q_B/U_* d = f\{U_*^2/(\sigma/\rho-1)gd\} \quad (13)$$

으로 表示되며 이 式은

$$q_B/U_* d = 10\{U_*^2/(\sigma/\rho-1)gd\}^2 \quad (14)$$

로 쓸 수 있다. $U_*^2/(\sigma/\rho-1)gd$ 의 값이 커지면 式(13)은 式(14)와 같이 表示되고 이 附近에서는 浮流

(9)

(10)

(11)

(12)

砂까지 포함하고 있다고 한다.

4) 日本의 土木研究所(佐藤, 吉川, 芳田)公式
土研公式^{12), 13)}과 Brown公式은 同型의 實驗公式으로
서 그 一般形은

$$q_s / U_* d = a_s \left[\frac{U_*^2}{(\sigma/\rho - 1)gd} \right]^P \quad (15)$$

와 같다. Brown公式에서는 $a_s = 10$, $P = 2$ 로 되어 있다
土研公式에서는 $U_* \gg U_{*c}$ 인 경우에 Manning의 粗度
係數가 0.025보다 적을 때에는

$$a_s = 0.423(40n)^{-3.5} \quad (16)$$

이고 Manning의 粗度係數가 0.025보다 클때나 또는
같은 때에는

$$a_s = 0.623 \quad (17)$$

이다. 이것을 다른 方式으로 表示하면 γ 를 河床單位面
積中 揚壓力이 效果의으로 作用하는 面積, S 를 砂(모
래)의 水中比重, C_L 를 揚壓係數라 할 때

$$\begin{aligned} \frac{Sgq_b}{U_*^2 f(\tau_c/\tau_o)} &= \frac{\gamma(C_L a^2)}{2\sqrt{2\pi}} F(0) \\ &= 0.623(40n)^{-3.5} : (n < 0.025) \\ &= 0.623 : (n \geq 0.025) \end{aligned} \quad (18)$$

이다. 여기서 $C_L a^2$ 은 粗度係數 n 의 函數로서 $\gamma = 0.21$
이며 $C_L a^2 = 2.185$ 로 취할 수 있으며 이 式을 q_b 에 관
하여 整理하고 變形하면

$$q_b = \frac{U_*^3}{\left(\frac{\sigma}{\rho} - 1\right)g} \phi F(\tau_o/\tau_c) \quad (19)$$

와 같이 쓸 수가 있다. 여기서 ϕ 는 τ_o/τ_c 에 關係되는
函數이다.

日本의 土研公式 (19)은 粒徑이 1.38~4.58mm의 範
圍에서 거의 同一粒徑 5種類의 砂礫을 써서 全長 114
m, 水路幅 80cm의 큰 實驗水路에서 實驗河川에 가가
운 환경에서 實驗한 結果이다.

2-2. 浮流砂量

1) Lane-Kalinske^{16), 17)}公式

河床을 構成하는 砂礫의 特性에 關係되는 浮流砂量
을 求하는 公式은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} q_s &= qC_o P \exp\left(\frac{15\alpha W_o}{hU_*}\right) = qC_o P \\ C_o &= 5.55 \Delta F(W_o) \left\{ \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{U_*}{W_o}\right) \text{EXP} \right. \\ &\quad \left. \left[-\left(\frac{W_o}{U_*}\right)^{2.1, 61} \right] \right\} 10^{-6} \end{aligned} \quad (20)$$

式 (20)에서 q_s 는 單位幅, 單位時間間 浮流砂量, q 는
單位幅當 流量, P 는 W_o/U_* 와 n/h^3 의 函數로서 圖表
로 求하며, n 는 Manning의 粗度係數 $\Delta F(W_o)$ 는 沈降
速度로 W_o 인 砂粒이 河床砂礫中에 포함된 比率(ϕ)이다.

2) Einstein公式

Einstein¹⁵⁾은 다음과 같은 式을 提案했다.

$$i_s q_s = i_b q_b (P_1 J_1 - I_2)$$

여기서

$$P_1 = 2.365 \log_{10} \left(\frac{30.3Z}{f_{os} h} \right)$$

$$J_1 = 0.216 \frac{(a/h)^{2-1}}{[1 - (a/h)]^{1/2}} \int_{a/h}^1 \left[\frac{1 - (z/h)}{z/h} \right]^{1/2} d\left(\frac{z}{h}\right)$$

$$I_2 = 0.216 \frac{(a/h)^{2-1}}{[1 - (a/h)]^{1/2}} \int_{a/h}^1 \left[\frac{1 - (z/h)}{z/h} \right]^{1/2} d\left(\frac{z}{h}\right)$$

$$\log_{10} \left(\frac{z}{h} \right) d\left(\frac{z}{h}\right)$$

$$Z = W_o / 0.4 \sqrt{gK'L}$$

에 의하여 計算된다.

2-3. 全流砂量¹⁸⁾

全流砂量과 浮流砂量이 求해지면 다음 式에 의하여
全流砂量을 求할 수 있다.

$$q_T = q_s + q_b$$

여기서 q_T , q_s , 및 q_b 는 各各 全流砂量, 浮流砂量 및
掃流砂量이다.

3. 河床變動의 計算

自然河川에서는 一般으로 물과 함께 土砂가 輸送되
어 上流山地部에서는 河床이 侵蝕되고 下流部에는 이
들이 堆積되어 沖積地로 形成된다. 이와같은 河川은
自身이 運搬해 온 土砂에 의하여 그 河道가 構成, 土
砂輸送의 特性, 地形, 地質의 影響, 降水의 地域分布
또는 時間的인 變動 등 여러가지 條件이 複雜하게 영
향을 끼쳐 河道는 恒常 變動해 나가는 性質을 갖고 있
다.

河床變動을 取扱하는 경우 가장 重要한 事項은 流送
土砂의 問題이다. 河床變動의 計算은 所謂 安定河道計
算方法에 의하는 것인데 理論的으로 大別하여 靜的 平
衡理論과 動的平衡理論으로 分類된다.

靜的平衡理論이라 함은 上流로 부터 下流로 向하여
一般的으로 河床砂礫의 粒徑이 차차로 적어지는데 着
眼하여 砂礫의 限界掃流力이 그 地點에서의 掃流力보
다. 커지는 경우에는 더 이상 砂礫은 움직이지 않고
堆積되므로 어떤 流量에 對하여는 河床勾配에 따라 縱
斷的으로 粒度가 變化되는 것이다. 이것을 체가를 作
用이라 하는데 逆으로 粒度分布를 부여하면 이것이 對
應한 河床縱斷形을 求할 수 있다. 이와같이 各地點에
서 限界掃流力에 맞서는 土砂가 堆積되어 平衡河道가
構成된다는 것이 그 理論의 基本이 된다.

이에 對應하여 動的平衡論은 어떤 河道區間을 選라
서 생각하여 單位時間에 上流斷面으로부터 流入해온
流砂量이 下流斷面을 道過하여 이 區間으로부터 나가
는 流砂量과 같고 이 區間에서 堆積洗掘이 全然 일어
나지 않는 狀態로 생각하여 河道의 어느 區間에서도
이러한 狀態가 된 河道를 動的平衡狀態의 河道라 한다.

여기서 문제되는 것은 河道의 構成材料가 均一粒徑 또는 이것에 가까운 粒度分布인 경우 河道는 各各의 流量에 따라서 平衡狀態에 가깝게 變動하여 最終의 平衡狀態가 되기 때문에 이것에 到達하는데 要하는 時間이 매우 重要的 要素가 되는 것이다. 따라서 一般的으로 平衡計算에 있어서 그 目的이 河幅의 變化, 流況, 流入砂量의 變化等에 따라 將來의 河床變動을 豫測하고 平衡河道를 求하는 것이므로 當然히 河床形으로 變化하는데 대하여 河床砂礫의 粒度分布로 變化하기 때문에 河床의 粒度分布가 없으면 計算할 수 없는 靜的平衡理論 보다는 動的平衡理論이 有利하다 그것보다는 供給流砂量만 알 수 있으면 求할 수 있는 河床變動計算이 自然히 脚光을 받는다. 動的平衡理論에서는 支配流量과 上流端부터의 供給流砂量의 正確한 推定이 必要하다. 計劃河道의 安定度를 檢討하고 治水 및 利水機能의 維持與否를 把握하기 위하여는 流砂量과 河床變動量의 推定이 必要한다. 河床變動計算에 있어서 가장 問題가 되는 것은 適用公式의 信賴度나 流砂量公式에 대하여 現地河川에서의 成立與否를 檢證하는 것이 實際로 極히 어려운 일이다.

河床變動量은

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{B(1-\lambda)} \cdot \frac{\partial(q_T \cdot B)}{\partial x} = 0 \quad (21)$$

로 表示된다. 여기서 λ 는 空隙率(≈ 0.4) q_T 는 單位幅當의 流砂量, B 는 河幅, x 는 縱斷方向距離이다. 위式은 다시

$$\Delta Z = \frac{Q_B' - Q_B}{B \cdot \Delta x (1-\lambda)} \Delta t \quad (22)$$

$$Z_{t+1} = Z_t + \Delta Z$$

이며 여기서 Q_B' 는 上流端流入砂量, Q_B 는 下流端流出砂量, B 는 河床變動을 일으키는 河幅, Z 는 河床高, ΔX 는 區間距離이다.

이 式을 電子計算機에 의해 計算하기 위하여

$$\Delta Z = \frac{(Q_2 - Q_1)AT}{\frac{B_2 + B_1}{2} \cdot XL_2 \cdot 0.6} + \frac{(Q_3 - Q_2)AT}{\frac{B_3 + B_2}{2} \cdot XL_3 \cdot 0.6}$$

$$= \left\{ \frac{Q_2 - Q_1}{(B_2 + B_1)XL_2} + \frac{Q_3 - Q_2}{(B_3 + B_2)XL_3} \right\} \frac{2.0 \cdot AT}{0.6} \quad (23)$$

로 하여 使用하였다. 河床變動 計算에는 實測值에 가까운 Brown公式를 使用하였으며 참고로 Einstein公式에서도 河床變動計算 프로그램을 作成했다.

4. 河道條件 및 入力資料

河道條件으로는 漢江下流의 現狀河道와 計劃河道(表-1)를 擇하였으며 年間과 1972年 8월 19日 洪水 Hydrograph에 의한 變動事項을 推定하였다. 年間 變動量 計算은 人道橋地點의 1955~1969년까지의 水位頻度關

表-1 河川斷面

斷面番號	全河幅	低水路幅			備考
		第一案	第二案	第三案	
杏州	1,346	800	800	800	
IP 1	1,391	784	784	784	
IP 2	1,653	800	800	800	
NO. 22	1,358	798	798	798	
IP 3	1,242	800	800	800	
NO. 30	1,344	800	800	800	
NO. 36	1,300	840	840	840	
NO. 40	1,248	900	900	900	
NO. 46	1,145	935	935	935	第二漢江橋
IP 7	1,206	800	740	740	
NO. 56	1,370	700	700	700	
NO. 60	1,464	715	715	715	서울大橋
NO. 67	1,341	999	999	999	
NO. 73	950	855	855	855	人道橋
NO. 78	1,235	816	816	816	
IP 12	1,395	700	730	730	
NO. 89	1,319	705	715	715	
NO. 96	933	700	700	700	
NO. 101	1,013	710	710	710	
IP 14	900	660	660	660	第三漢江橋
NO. 109	982	748	780	780	
IP 15	1,030	900	970	970	
NO. 111	1,130	760	770	770	
IP 16	1,050	760	760	760	
NO. 115	1,038	745	745	745	
NO. 119	782	750	750	750	
NO. 125	947	780	780	780	永東橋
NO. 129	1,162	870	870	870	
NO. 131	1,234	739	739	739	
NO. 135	1,169	793	793	793	
NO. 143	1,187	703	703	703	藏室大橋
NO. 149	1,308	703	695	695	
NO. 167	955	744	715	715	廣壯橋
NO. 171	1,027	739	759	759	
NO. 175	1,160	702	800	800	
NO. 180	1,225	779	810	810	
NO. 185	1,130	693	730	730	
NO. 192	1,704	723	723	723	
NO. 197	973	711	711	711	
NO. 202	1,170	656	656	690	
IP 33	853	659	659	659	
NO. 211	1,444	700	600	1,113	
IP 34	1,298	620	620	783	
IP 35	1,307	657	657	786	

N.O. 223	833	606	606	606
N.O. 229	1,110	956	956	956
N.O. 232	1,073	917	917	917
N.O. 235	1,016	875	875	875
N.O. 239	1,124	961	961	961
N.O. 245	820	798	798	798
N.O. 249	570	537	537	537

係에서 다음 (表-2)와 같이 代表流量에 대한 持續日數를 求하여 算出하였다.

表-2

代表流量	持續日數
1,000 m ³ /s	46
5,000 "	11
10,000 "	4

또 1972年 8月 19日 12시부터 8월 22일 16시까지의 洪水 Hydrograph의 持續時間은 다음 (表-3)과 같다

表-3

代表流量	持續時間
1,000 m ³ /s	29시간
5,000 "	17 "
10,000 "	30 "
25,000 "	14 "
28,500 "	11 "

또 粒經은 粒度累加曲線에서 65%에 해당되는 粒經 D₆₅를 使用하였으며 Toffaleti 方法에서 水溫은 68°F를 使用하였다. 以上の 條件을 使用하여 IBM 1130에 의해 위 에서 설명한 4가지 方法으로 各流量別, 各斷面別, 秒當 및 單位幅當 流砂量과 總流砂量을 求하고 河床變動을 解析하였다.

5. 檢 討

漢江 下流部(항주地點부터 팔당댐地點까지)의 河川資料에 대하여 위 4가지 公式들에 의한 컴퓨터로 計算한 流砂量 중 實測值資料가 있는 漢江人道橋와 廣壯橋地點에서 Q-QT相關을 分析해 본 결과 그림 5 및 6과 같다. 實測值는 1964~1972년까지의 人道橋 및 廣壯橋 水位標地點에서 浮流砂量을 實測한 結果를 利用하였다.

그림 5 및 6에서 보는 바와 같이 土研公式은 浮流砂가 包含되어 있지 않아 全流砂量公式으로 適用하는데 있어서 信빙성이 의심된다. Toffaleti²²⁾公式의 結果는 600個 河川資料에 대하여 實測值와 잘 맞고 또 TCPSM²²⁾의 報告서에서도 Toffaleti의 結果가 實測值

와 잘 맞는다고 報告되고 있으나 본 研究結果로는 實測值보다 큰 값을 나타낸다. 또 Brown公式에 의한 結果를 보면 低流量의 경우는 實測值보다 적으나 高流量에 대해서는 實測值와 一致함을 볼 수 있다. Einstein公式의 結果는 實測值보다 훨씬 적은 값을 나타내고 있다.

以上の 結果로 보면 漢江下流部의 경우 實測值가 과연 절대로 確實하고 正確한 값이나도 問題가 되고 計算結果值들도 千態萬狀의 自然河川에 對해서 適用이 正當하며 또 使用한 資料나 係數 등이 最適한 것이나도 問題가 될 것이다. 流砂現象이 河床과 물의 境界에 있어서 極히 複雜한 樣相을 나타내고 있고 砂漣 堆砂 등의 發生이 非正常的으로 일어나므로 正確한 流送構造를 把握하는 것은 相當히 어려운 일이다. 또한 使用한 4개의 公式들은 모두 嚴密한 流砂力學에 基礎를 둔 것이 아니고 運動構造의 Model化 내지 次元解析의 方法과 實測值에 그 基盤을 두었으므로 流砂量式 相互間에 큰 差異가 있는 것은 當然하다고 보겠다.

以上에서 밝힌 바와 같이 實測地點에서 高流量時 어느 程度 實測值와 一致하는 Brown公式을 使用하여 現狀 및 計劃河道에 대한 流砂量의 縱斷分布를 表示하면 그림 7과 같다.

Q=10,000CMS일 때는 現狀 및 計劃河道에 대해서 모두 고른 分布를 보이고 있으나 Q=37,000CMS일 때는 모두 散亂度가 심하고 表 1의 河川斷面 NO.197을 境界로 하여 그 上流는 變動幅이 넓다. 또 그림에서 Q=37,000CMS일 때의 掃流力을 速度單位로 表示한 U* (摩察速度)의 分布에서 보는 바와 같이 計劃案이 現狀에 비해 U*가 거의 一定함을 나타내고 있다. 따라서 計劃案이 縱的으로 安定된 現狀을 이루고 있는 것으로 判斷된다.

컴퓨터에 의한 河床變動計算結果는 그림 8 및 9와 같다. 이 그림에서 基準河床高로서 現狀河道일 때는 平均河床高를 또 計劃河道일 때는 計劃河道高를 取하였고 點線으로 이어진 析曲點은 河道의 流砂現狀으로 因하여 어느기간(년간 또는 洪水期間) 經過後에 變動된 河床高를 나타낸 것이다. 이 結果를 보면 年間과 7.2.8.19 洪水期間의 河床變動量은 서로 비슷한 것으로 나타났으나 流砂量計算結果에서와 같이 計劃案이 現狀보다 安定된 結果를 나타냄을 發見할 수 있다.

6. 結 論

以上에서 論한 바와 같이 各種公式이 갖는 結論과 實測資料의 不充分, 不正確 計算過程 및 各種條件의 不適合 등으로 信賴度를 正確히 把握하기란 어렵지만

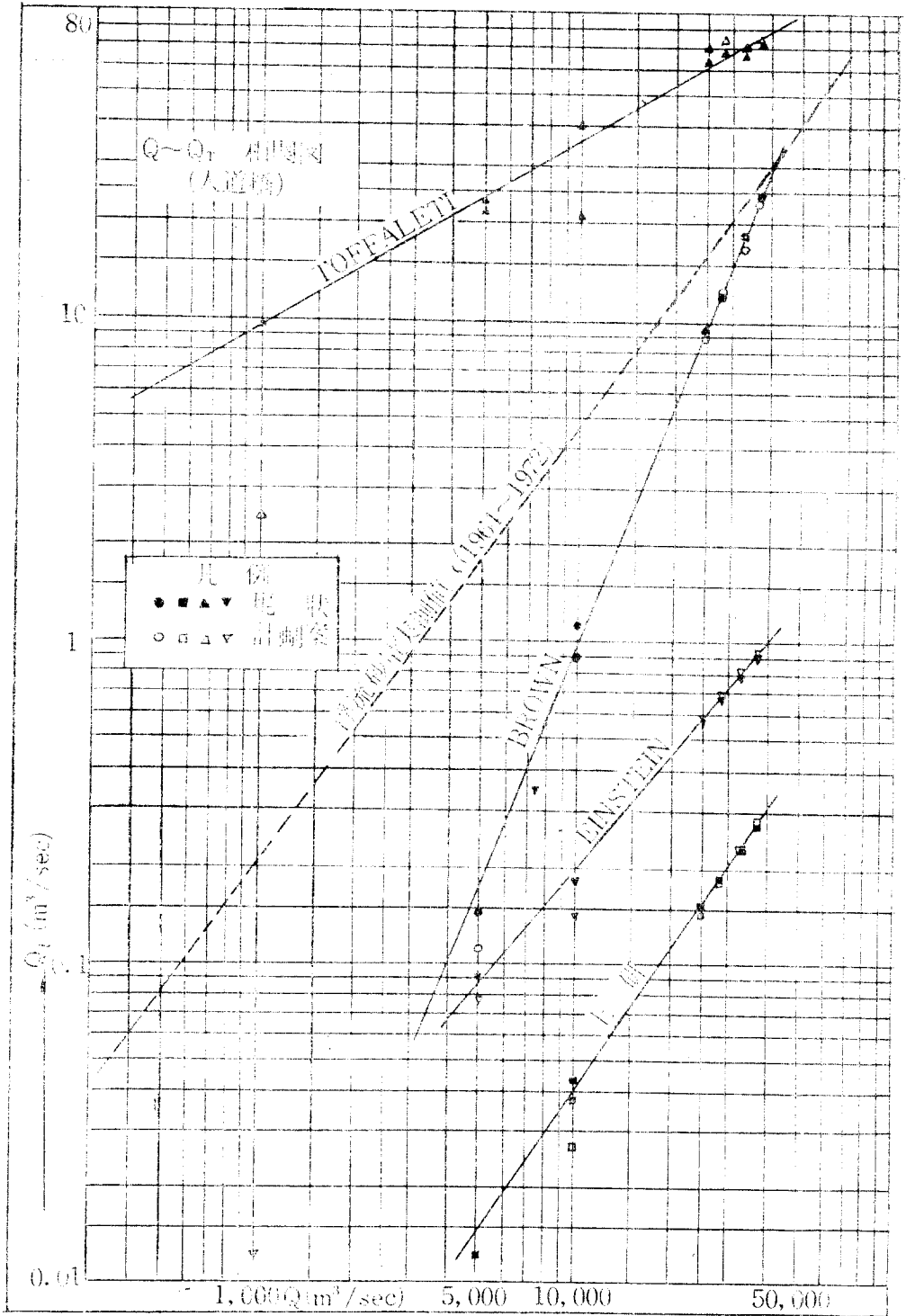


그림 1

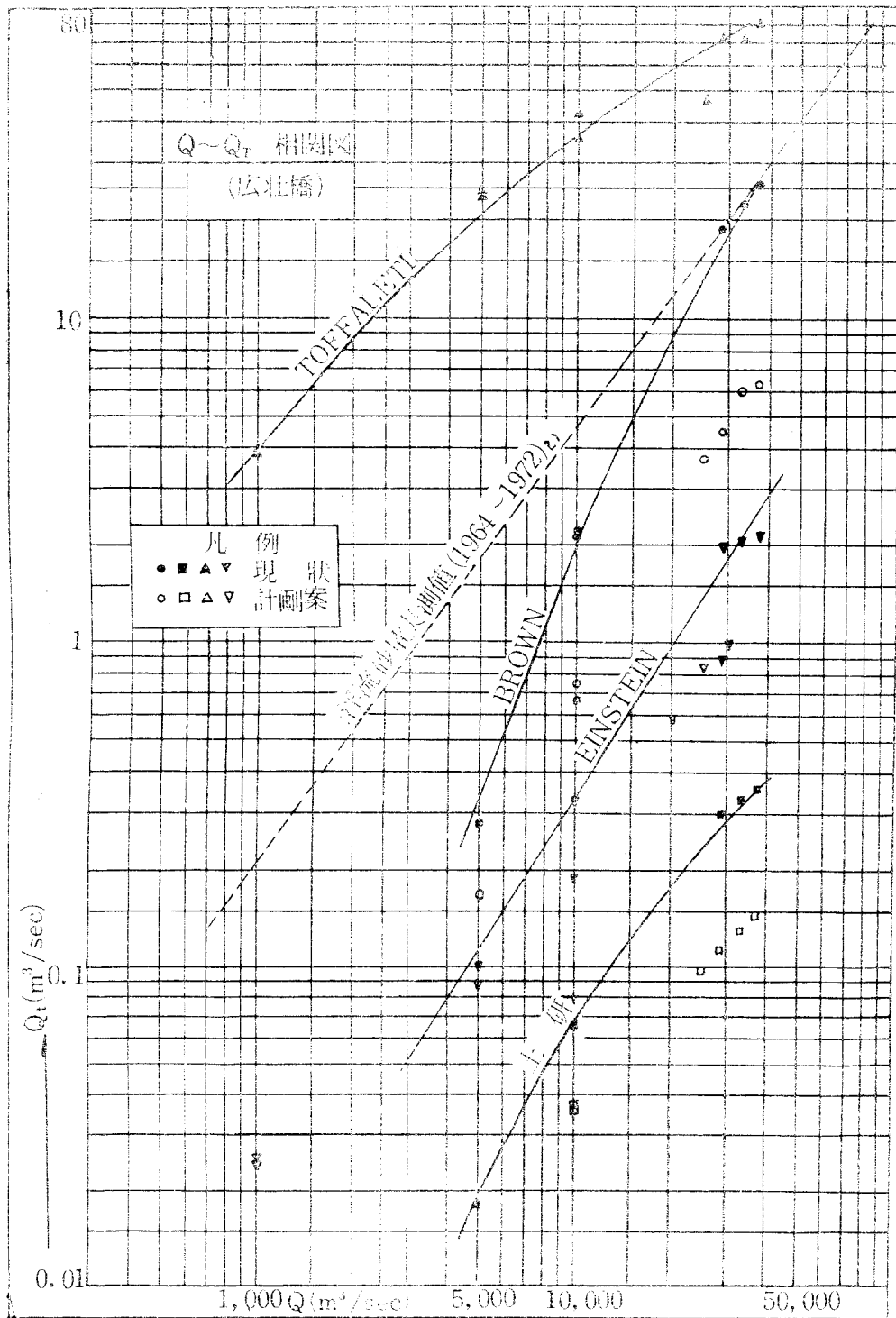
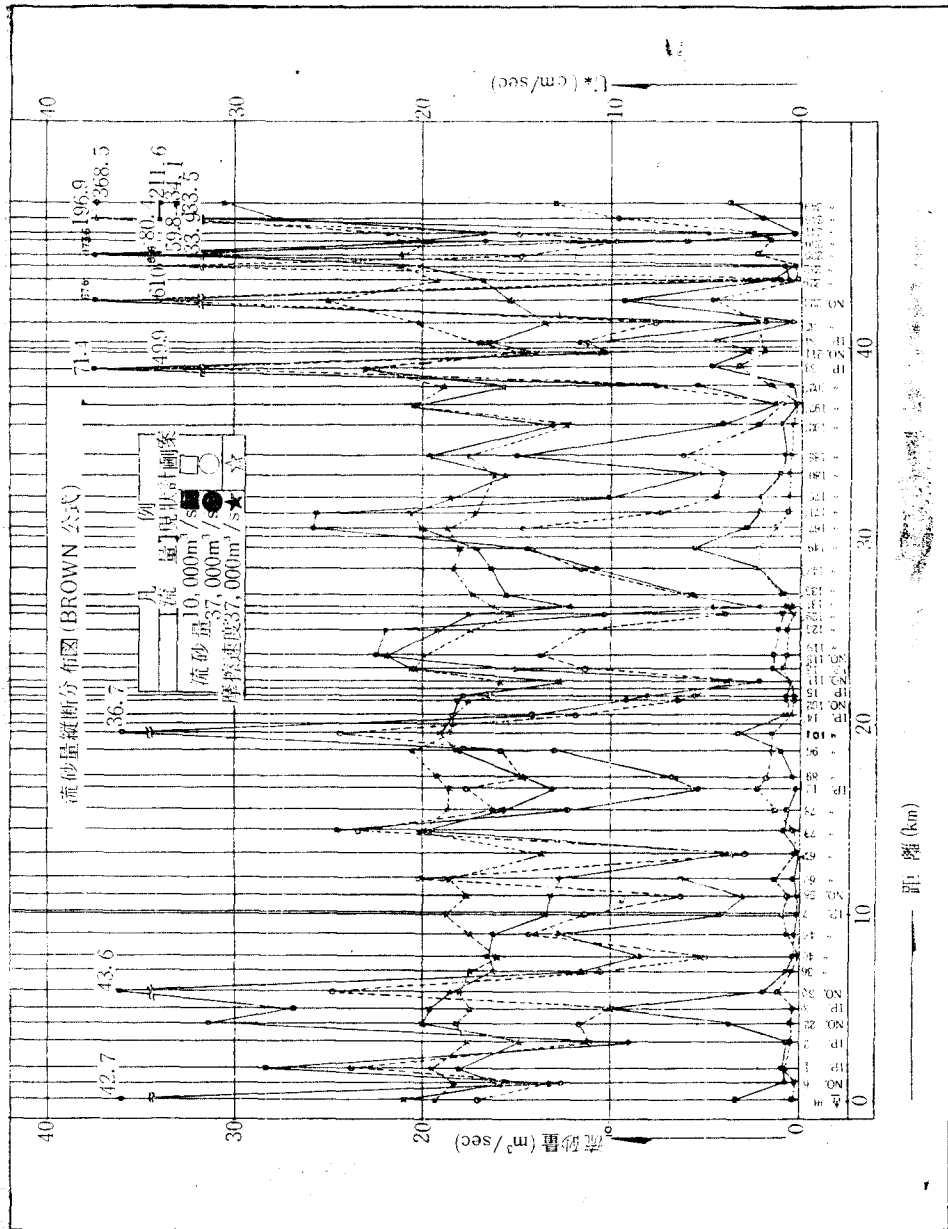


그림 2



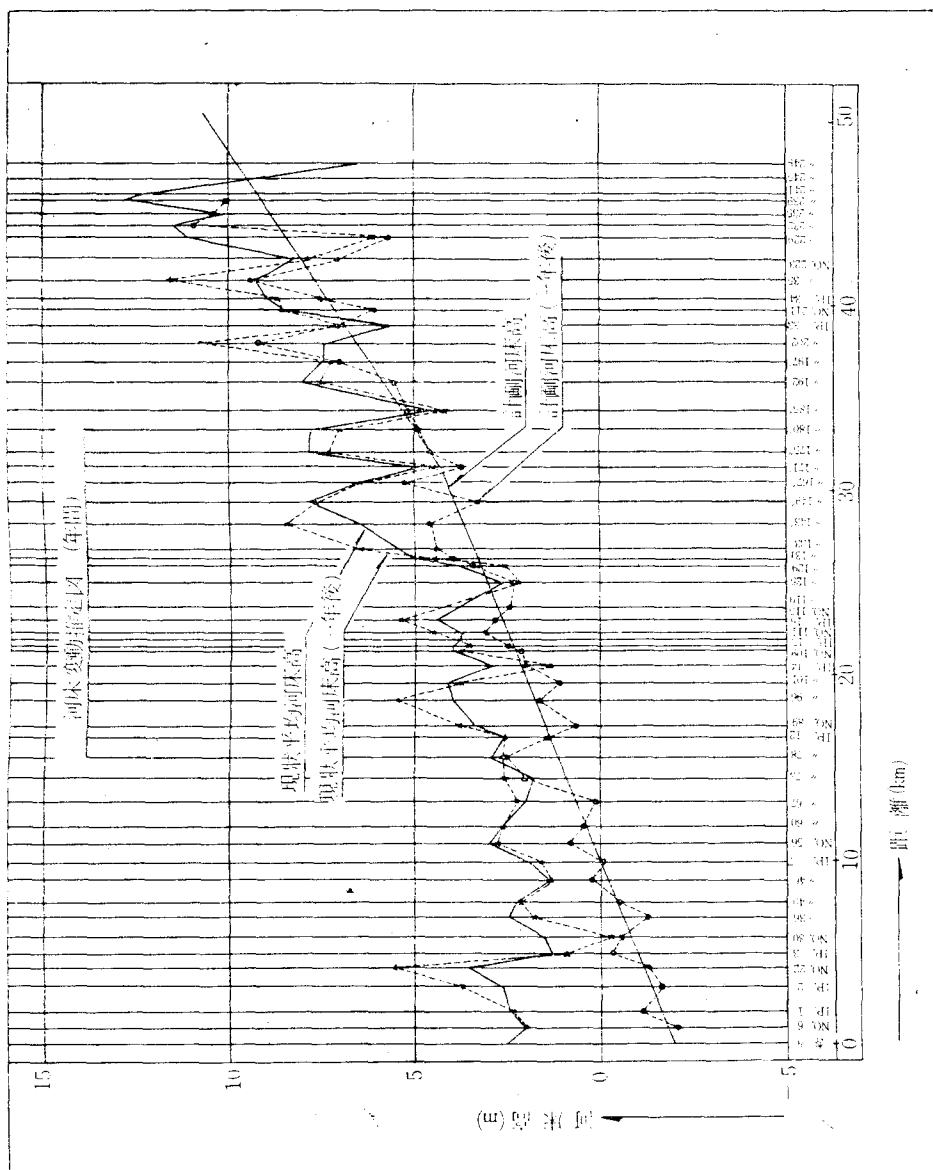


圖 4

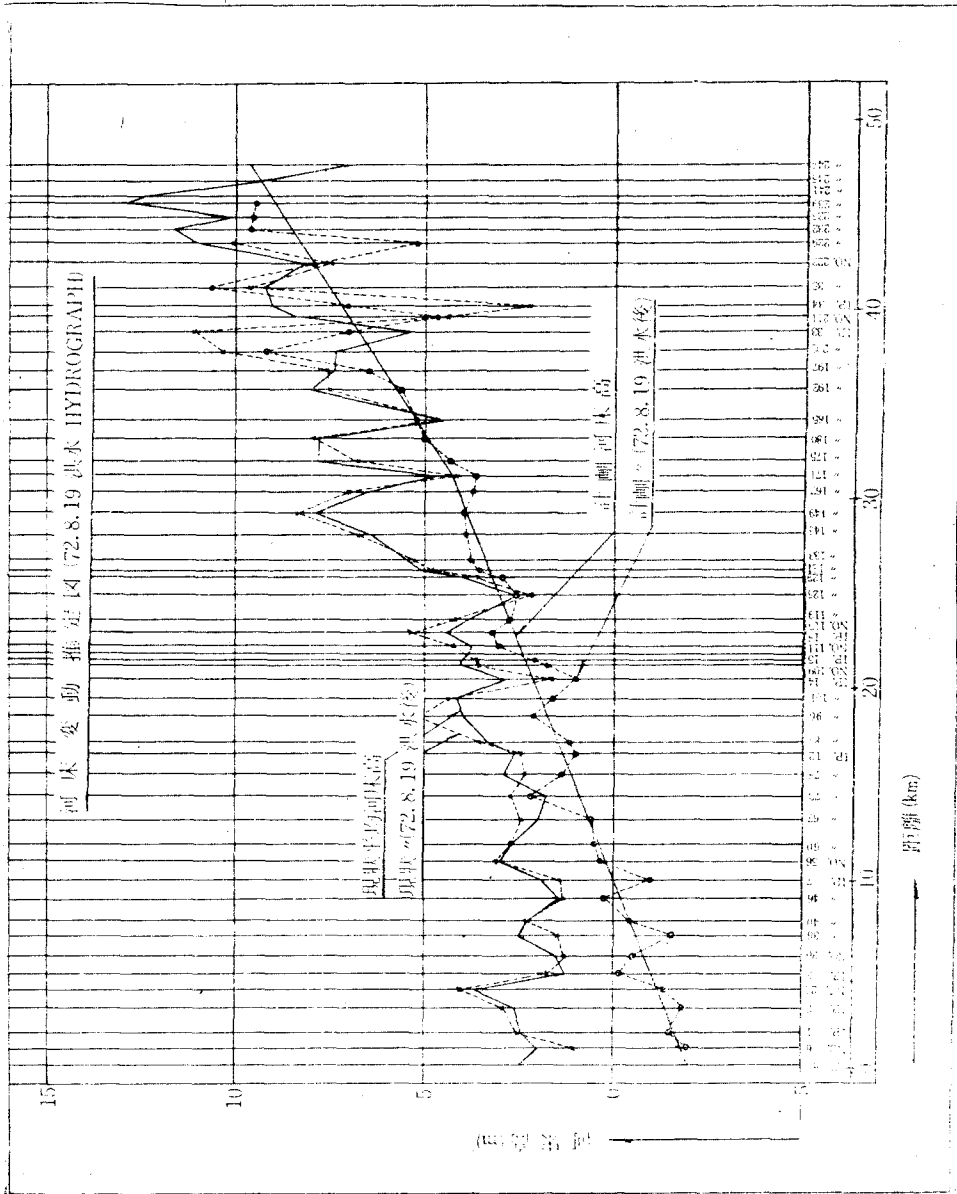


그림 5

Brown公式에 의한 流砂量計算結果를 使用하여 漢江下流部의 改修計劃案에 對한 河床變動을 解明한 結果 그림에서 보는 바와 같이 堆積 및 洗掘이 過大한 處가 없는 것으로 보아 安定河床計劃을 위한 改定안法과 Program은 流砂量 및 河床變動解析에 適用할 수 있을을 發見할 수 있다.

河川의 形態와 河川流域의 特性에 絶對的인 影響을 받는 流砂量 및 河床變動이므로 漢江의 特性과 다른 外國河川들을 대상으로 만들어진 수학적 모델을 使用했으므로 뜻하는 正確한 結果를 얻을 수 없었다고 보며 우리나라 各 河川特性에 맞는 流砂量 算定方法의 계속적인 研究가 要望된다고 본다.

本 研究를 指導해 주신 高在維 教授님과 資料를 提供해 주신 金治弘 教授님께 심심한 감사를 드리며 研究를 협조해 주신 여러분께도 감사드린다.

REFERENCES

1. Rouse, H.; Engineering hydraulics, John Wiley & Sons, CHAP. XII, 1950.
2. Einstein, H.A. and Banks, R.B.: Fluid resistance of composite roughness, Trans. AGU., Vol. 31, No. 4, 1950.
3. Einstein, H.A. and Barbarossa, N.L., River Channel Roughness, Trans. ASCE, Vol. 117, 1952, pp.1121-1146.
4. Einstein, H.A.: Formulas for the transportation of bed load, Trans. ASCE, Vol. 107, 1942.
5. Einstein, H.A.: The Bed Load Function for Sediment Transportation in Open Channel Flows, U.S. Dept. Agr. Bull. 1026. 1950.
6. Meyer-Peter, E. and R. Muller: Formulas for bed-load transport, Proc. of the 2nd Congress of the International Association for Hydraulic Research, Stockholm, Sweden. 1948.
7. Toffaleti, Fred B., "Definitive Computations of Sand Discharge in Rivers," Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 95, No. HY1, Proc. Paper 6357, Jan. 1969. pp.225-248.
8. Toffaleti, F.B., "A Procedure for Computation of the Total River Sand Discharge and Detailed Distribution, Bed to Surface," Committee on Channel Stabilization, Corps of Engineers, U.S. Army, Technical Report No.5 Vicksburg, Miss., Nov. 1968.
9. Einstein, H.A., and Chien, Ning, "Transport of Sediment Mixtures with Large Ranges of Grain Size," Missouri River Division Sediment Series No. 2, University of California Institute of Engineering Research, United States Army Engineering Division Missouri River; June, 1953.
10. Einstein, H.A. and N. Chien: Can the rate of wash load be predicted from the bedload functions? Trans. AGU. Vol. 34, No. 6, 1953.
11. Einstein, H.A. and N. Chien: Second Approximation of the Suspended Load Theory, Missouri River Division, U.S. Corps of Engineers, pp.1-42, 1954.
12. Rouse, H.: Engineering hydraulics, John Wiley & Sons, 1949, p.794.
13. 佐藤清一, 吉川秀夫, 芦田和男: 河川の土砂流送に關する研究, 建設省土木研究所報告, 第101號, 1958
14. 佐藤清一, 吉川秀夫, 芦田和男: 河床砂礫の掃流運搬に關する研究, 建設省土木研究所報告, 第98號, 1958.
15. Chepil, W.S.: The Use of Evenly Spaced Hemisphere to Evaluate Aerodynamic Forces on Soil Surface, Trans. AGU, Vol. 39, No. 3.
16. Lane, E.W. and A.A. Kalinske: The Relation of suspended to bed material in rivers, Trans. AGU, 1939.
17. Lane, E.W. and Kalinske, A.A.: Engineering Calculation of Suspended Sediment, Trans. AGU. (1941) & The Relation of Suspended to Bed Material in Rivers, Trans., AGU. (1939)
18. Laursen, Emmett, "The Total Sediment Load of Streams," Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 54, No. Hy1, Proc. Paper 1530, Feb., 1958, pp.1-36.
19. 岩垣雄一: On the river bed variation and its stability, Proc. 6th Nat. Cong. for Appl. Mech., 1956.
20. Lane, E.W.: Design of stable channels, Trans, ASCE, Vol. 120, 1955.
21. 日本土木學會, 水理公式集, 土木學會, p.221, 1971
22. The Task Committee for Preparation of Sediment Manual, Committee on Sedimentation of the Hydraulics Division, Sediment Transportation Mechanics: H. Sediment Discharge Formulas, Journal of the Hy. Div. Proc. ASCE, Hy4, 1971