

浮遊流砂의 鉛直濃度分布에 관한 研究

A Study on the Vertical Distributions of the Concentration in Suspended Sedimentations

柳 時 昶* · 金 熙 鍾**
Shi Chang Yoo, Hi Chong Kim

Summary

To predict the suspended sediments which are 80% of total sediments in a flood discharge, an equation representing vertical distribution of sediment concentration was derived based upon the diffusion theory and the logarithmic velocity distribution function in the turbulent flow mechanism.

The hypothesis that the uniform mass transfer is occurred at upper part along the center line of water depth, was established as a precondition to solve the problem.

The theoretical and the observed values were compared. And the theoretical equation was modified to be fit the theoretical values the observed values.

Observed results are as follow;

- 1) Equation 12) is the theoretical equation representing the vertical concentration distribution of suspended sediments.
- 2) Rouse'exponential type vertical concentration distribution equation shows signification errors near the water surface. But the equation 12) shows substation coccentration values near the water surface.
- 3) Equation 15) is the modified theoretical equation which is possible to predict the vertical concentration distribution of suspended sediments.

I. 序 論

地殼을 構成하는 岩石은 오랜 歲月 氣候와 植生 作用을 받아서 生成된 土壤은 人類의 生存과 生産 活動을 통하여 自然狀態의 植生과 被覆狀態로 부터 保護받다가 大氣中에 露出 되므로서 바람과 물의 作

用에 의하여 低地帶로 移動되므로 人類의 生存과 生産 活動의 터전인 土壤을 바다속으로 넣어 버리는 結果를 繼續하고 있다.

특히 被覆 되어진 土壤이 露出되기 始作하면서 부터 降雨의 落下에 의해 强打 당하고 또 降雨의 程度에 따라 流下하여 土粒子는 流水와 함께 下流인 河川이나 河口를 통하여 移動되며 流水의 速度가 漸

*慶尙大學校 農科大學

**東亞大學校 工科大學

進의으로 減小에 따라 土粒子는 서서히 沈澱이 되므로 河床을 上昇시키고 河幅을 狹小하게 만들어 洪水때에 急激히 增加된 流水를 通水시킬 能力을 減小시키므로서 人命과 財産上의 至大한 被害를 가져오게 된다.

이와같이 土粒子의 移動 즉 流砂現象은 水文·水理學의 條件에 따라 堆積과 洗掘作用이 反覆되면서 오랜 歲月이 흐르면서 河道는 平衡狀態를 이루게 된다.

한편 平衡狀態의 河道를 人類의 福祉向上을 위하여 各種 建設事業을 하므로 自然河川의 有機的 支配條件을 人爲의으로 變化를 주므로서 建設된 水理構造物의 上流와 下流에 漸進的인 隆起와 洗掘現象을 일으키게 되는 惡循環의 連續이 일어난다.

따라서 地表水를 取扱하는 各種 建設事業의 計劃이나 設計 및 施工에 있어서 自然河川의 有機的 支配條件을 破壞하지 않는 範疇에서 土粒子의 洗掘이나 流送 및 堆積現象을 究明하여 自然現象에 符合되도록 하지 않으면 안된다.

이와같이 土粒子의 移動現象을 學術的으로 究明하고자 1879年 Du-Boy이는 河川에 供給되는 流砂의 類型을 掃流砂와 浮遊流砂로 分離하여 究明함이 바람직하다고 하였다^{1), 2), 3)}

그후 1925年 이후에 Meyer, Peter(1934), Scholitsch (1935), Shields (1936), Meyer-Muller (1948), Einstein-Brown (1950), Lauser (1958)^{2), 4)}, Bagnold.R.A. (1960)⁵⁾ Blench (1964), Colby (1964)^{2), 4)}, Egiazoroff (1965)⁶⁾, Engelund (1967) Toffaleti (1969)^{2), 4)}, Ikeda (1971)⁷⁾, Garge (1971)⁸⁾, Yang (1971), Willis (1972)⁹⁾ Acaroglu (1972)¹⁰⁾, Ashida (1972)¹¹⁾, Nakagawa (1975)¹²⁾, Danold A. Drew (1979)¹³⁾ Yalin-Karaham (1979)¹⁴⁾, Wang (1981) 등은 掃流砂에 관한 어느 程度의 理論的으로 確立 段階에 있다고 보여진다.

그러나 全流砂量의 80%以上을 占有하는 浮遊流砂量을 究明하는에는 流水特性和 土粒子의 物理的 性質 및 形狀과 河床의 連續的 變化에 따라 諸因子間의 關係 究明이 늦어 그 發展이 늦어지는 實情으로 1938年에 Krumbein과 pettijohn이 土粒子의 粒徑을 工學的, 地質學的으로 有效하게 測定하는 方法으로서 分析 方案을 提示하였다^{1), 13), 19)}

1947年의 Lane의 河川에서의 堆積現象이 分析과 有似性에 대한 發表^{19), 20)}와 Stocks의 層流흐름에서의 流水中の 沈降速度의 研究^{1), 21)} 및 Rouse의 層

流狀態의 範圍擴大와 Rubey의 試驗으로 부터의 落下速度의 推定式의 提案이 있었다^{1), 2), 6), 16), 17)}

1925年 Schmidt는 Fick의 擴散理論을 大氣中 먼지의 鉛直分布의 研究가 있은후 Makkaveev(1931) 流水中の 土粒子의 分布에 試圖하여 鉛直分布를 求했다.^{1), 2)}

Rouse (1938) 鉛直分布가 指數的 變化를 하고 있음을 證明^{19), 17), 22), 23)}했다.

1944年 Dobbins는 pick-up率로 부터 1946年은 河床界面에서의 亂流의 영향^{1), 24), 25)}을 연구하였으며 1952年에는 Prandtl의 亂流中の 分子間的 混合距離 理論에 따른 物質輸送係數에 대한 研究 이후 Daily (1966)와 Halem은 物質輸送係數를 擴散係數로 補正 實用化를 究明했다.^{16), 17)}

그후 Einstein과 Chein (1952),^{1), 2), 27)} Bagnold—와 Ingis-Lacey (1966)^{4), 28)}, Sheild^{4), 29)} Hunt (1969)²⁰⁾, Coleman과 Toffaleti (1969)²⁹⁾ Mikiohino (1963)^{24), 25)}, Kikawa (1972), Momi와 Yaglon,^{28), 29)} Yalin^{27), 28)} Itakura-Kishi (1976)^{27), 34)} 등이 多各의인 方面에서 浮遊砂의 移動을 究明하여 왔다.

이들의 研究方向을 보면 擴散理論에 의한 方向, 亂流運動力學 方向, 理論的 근거에 의한 實驗的 方向, 確率統計的 特性을 應用하는 方向 및 經驗的 實測에 의한 方向으로 分離된다.

本 研究는 擴散理論과 亂流의 運動에 따른 速度分布에 의한 鉛直 浮遊流砂의 濃度分布式을 誘導하고 試驗을 통하여 濃度分布式을 提案하므로서 各種 水利 構造物內의 堆積量을 推定할 수 있게 하여 維持管理는 물론 設計에 基準를 設定하는데 도움을 주고자 하였다.

II. 基本理論

1. 亂流의 擴散係數와 物質交換係數

亂流中の 浮遊流砂의 平均濃度 C를 求하는 擴散方程式은 (1)式과 같다.

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial u \cdot c}{\partial x} + \frac{\partial v \cdot c}{\partial y} - \frac{\partial w \cdot c}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} (\epsilon_x \frac{\partial c}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\epsilon_y \frac{\partial c}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (\epsilon_z \frac{\partial c}{\partial z}) \dots\dots\dots(1)$$

그리고 流體가 흐름에 따라 河床에서 任意 距離의 剪斷應力은 直線的 變化를 하며 (2)式과 같다.

$$\tau = \tau_0 \left(1 - \frac{z}{H} \right) \dots\dots\dots(2)$$

亂流 흐름에서 prandtl의 混合距離 理論으로 부터 擴散係數는 剪斷應力에 比例하고 水深變化에 따른 流速變化率($\frac{du}{dy}$)에 反比例하므로 擴散係數는 式(3)과 같다.

$$\tau = \rho \varepsilon \frac{dz}{du}$$

$$\varepsilon = \frac{\tau_0}{\rho} (1 - \frac{z}{H}) / \frac{du}{dy} = \frac{u_*^2 (1 - \frac{z}{H})}{du/dz} \dots\dots(3)$$

(3)式的 流速變化率을 Nikitin의 實用化한 對數型 流速分布式^{23),28)}인 式(4)으로 부터 求하여 式(3)에 代入하므로서 擴散係數(ε)의 값을 (5)式과 같이 주어 지게 된다.

$$\frac{u}{u_*} = 3.55 + 2.8 \ln \frac{u_* z}{\nu} - \frac{15.7\nu}{\nu u_* z} \dots\dots(4)$$

$$\therefore \varepsilon = \frac{u_*^2 z^2}{2.8 u_* z + 15.7 \nu} (1 - \frac{z}{H}) \dots\dots(5)$$

Rouse는 物質交換係數 ε_m 와 擴散係數 ε 는 거의 一致한다고 하였다.^{1),16),28)}

따라서 (5)式은 (6)式과 같이 使用이 가능하다.

$$\varepsilon_m = \frac{u_*^2 z^2}{2.8 u_* z + 15.7 \nu} (1 - \frac{z}{H}) \dots\dots(6)$$

(6)式은 Rouse의 分布式과 同一한 方法에서 본 物質交換係數이며 이는 水面에서는 物質交換이 이루어지지 않으므로 實際에 있어서는 物質交換이 일어나기 때문에 Coleman은 (7)과 같이 表示 했으며 Fig. 1과 같이 物質交換이 이루어진다고 하였다.

$$\left. \begin{aligned} z \leq 0.5H, \varepsilon_m &= 4 \left(\frac{z}{H} \right) \left(1 - \frac{z}{H} \right) \varepsilon_{mmax} \\ z > 0.5H, \varepsilon_m &= \varepsilon_{max} \\ &= 0.13 + 0.2H u_*^{2.12} \cdot [u_* H] \end{aligned} \right\} \dots\dots(7)$$

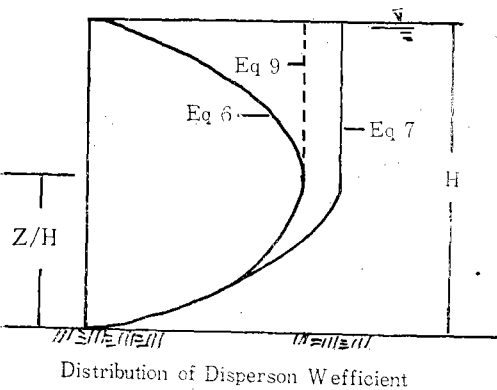


Fig. 1. Schematic Diagram of Distribution of Dispersion Coefficient

物質交換係數의 最大值를 (6)式으로 부터 求하면 (8)式과 같이된다.

$$\varepsilon_{mmax} = \frac{0.25 u_*^2 H^2}{28 u_* H + 31.4 \nu} \dots\dots(8)$$

따라서 本 研究에서는 coleman의 提案을 고려하여 物質交換係數로서 (9)式을 使用하였다.

$$\left. \begin{aligned} z \leq 0.5H, \varepsilon_m &= 4 \left(\frac{z}{H} \right) \left(1 - \frac{z}{H} \right) \varepsilon_{mmax} \\ z > 0.5H, \varepsilon_m &= \varepsilon_{mmax} = \frac{0.25 u_*^2 H^2}{28 u_* H + 31.4 \nu} \end{aligned} \right\} \dots\dots(9)$$

2. 鉛直 浮遊流砂의 濃度分布式의 誘導

(1)式을 等流狀態의 경우 鉛直方向의 浮遊流砂의 濃度分布式으로 變形하기 위하여 鉛直方向의 擴散係數 ε_s 를 交換係數 ε_m 으로 置換하여 表記하면 (10)式으로 表記된다.

$$\varepsilon_m \frac{\partial c}{\partial z} + wc = 0 \dots\dots(10)$$

$$\therefore \frac{dc}{c} = - \frac{w}{\varepsilon_m} dz \dots\dots(10)$$

(10)式을 境界條件을 充足시키도록 積分하여 一般形 浮遊流砂의 鉛直分布式 (11)式을 얻을 수 있었다.

$$\left. \begin{aligned} z \leq 0.5H, \frac{c_z}{c_a} &= \left[\frac{H-z}{z}, \frac{a}{H-a} \right] \\ &\quad \frac{w}{u_*} (2.8 + \frac{31.4\nu}{u_* H}) \\ z > 0.5H, \frac{c_z}{c_a} &= \exp \left[4 \frac{w}{u_*} (2.8 + \frac{31.4\nu}{u_* H}) \left(\frac{a-z}{H} \right) \right] \end{aligned} \right\} \dots\dots(11)$$

物質交換은 鉛直方向으로 連續的으로 變化 되므로 (11)式的 $z=0.5H$ 인때 2個의 式은 同一值를 가져야 한다. 즉 (11)式을 補正되야 하며 補正된 式은 (12)式과 같이 되며 (12)式이 바람직한 浮遊流砂의 鉛直 濃度分布式을 얻었다.

$$\left. \begin{aligned} z \leq 0.5H \frac{c_z}{c_a} &= \left[\frac{H-z}{z} \cdot \frac{a}{H-a} \right]^{\alpha\phi} \\ z > 0.5H \frac{c_z}{c_a} &= \exp \left[4\phi \left(\frac{a-z}{H} \right) \right] \end{aligned} \right\} \dots\dots(12)$$

여기에서

$$\alpha = (0.611 + 61.63 \frac{\nu}{u_* H})$$

$$\phi = \frac{w}{u_*} (2.8 + \frac{31.4\nu}{u_* H})$$

III. 試驗 및 試驗方法

1. 試驗의 概要

가. 開水路

Fig. 2와 같이 試驗施設은 上流에 水槽가 있고 다음으로 60° 三角 weir가 부착된 中間水槽를 지나 開水路에 通하도록 되어있다.

이때 水路 바닥에 10cm 두께의 試驗用 모래를 깔았으며 weir의 水頭를 測定하여 流量을 算定하였다 이때 通水深을 11cm, 12cm, 및 13cm로 區分通水 되도록 上流 水槽에 調節用 辨을 設置하였다.

나. 浮遊流砂의 採取

Fig. 3과 같이 piston을 약 700mm/300~360sec의 속도로 당겨서 流水의 흐름을 變化시키지 않도록 하여 L型 採取器의 先端으로 부터 流入된 浮遊物을 採取瓶에 採集 되도록 製作 하였다.

이때 採取 地點은 下部의 L型 採取部가 河床에서 1cm 떨어진 點을 始點으로 1cm씩 上昇시켜 採取하였다.

다. 河床材

晋州地域에서 骨材用으로 使用하는 모래와 南江에서 採取한 모래 등을 使用하였으며 粒度分析 結果는 Fig. 4와 같다.

다. 水深 및 水面傾斜

Fig. 2의 採取地點으로부터 上流側 및 下流側 2個

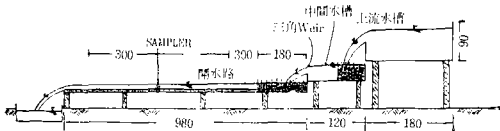


Fig. 2. Schematic Diagram of open channel used for Experiment

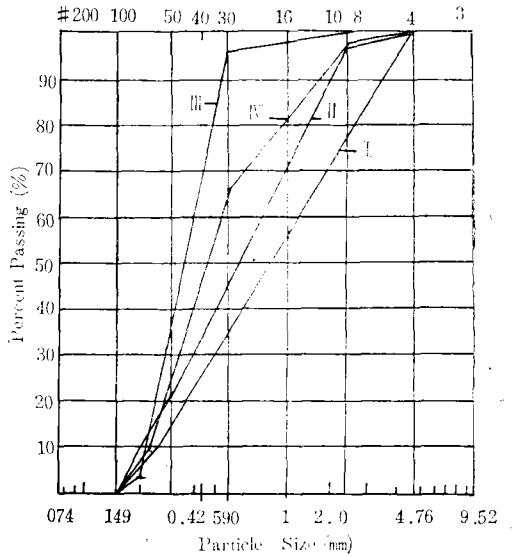


Fig. 4. Grain size distribution curves for Bed material

所에 u字型 水位計를 設置하여 水深을 測定하고 水位差로부터 水面傾斜를 算出하였다.

마. 濃度 測定

各 水深別로 試料를 採取하여 濃度를 整理한 바 Table 1과 같다.

바. 粒子의 落下速度 및 摩擦速度

浮遊流砂의 鉛直 濃度分布을 (12)式으로 算定하기에 앞서 落下速度和 摩擦速度를 求하였다.

摩擦速度는 $u_* = \sqrt{gRI} \approx \sqrt{ghI}$ 이므로 水深의 變化別로 算出하였고 粒子의 落下速度는 Rubey의 提案式인 (13)式을 使用하여 河床材料別로 Table-2와 같이 整理하였다.

$$w = \left[\sqrt{\frac{2}{3} - \frac{36\nu^2}{gdm^3S}} - \sqrt{\frac{36\nu^2}{gdm^3S}} \right] \quad [\sqrt{gdmS}] \dots\dots\dots(13)$$

IV. 結果分析 및 考察

I. 理論式에 의한 推定値와 實測値 比較

가. 基準濃度(Ca)의 假定

理論式 (12)式에 粒子의 落下速度(w)와 摩擦速度(u_*) 및 諸 因子로부터 基準濃度 (Ca)에 대한 比率을 算定 하였다.

河床附近의 實測濃度와 基準濃度에 대한 比率로부터 基準點(a)의 濃度(Ca)를 求하여 이 濃度를 基

Fig. 3. Schematic Diagram of Suspended Sediment Concentration Sampler

Table-1. Results to carry out Experiment on the vertical concentrations in suspended sedimentation

No.	Depth (cm)	Sampler Depth	Water Sampling quantity	dry weight of suspended	concentration (ppm)	Remark	No	Depth (cm)	Sampler Depth	Water Sampling of quantity	dry weight of Suspended	concentration (ppm)	ReMa-rk
I	11	0	cc				II	11	0				
		1	980	49	50.0	1			970	47.0	48.5		
		2	1,110	100.2	90.2	2			1,115	101.5	91.0		
		3	1,110	105.2	94.7	3			1,115	79.2	71.0		
		4	1,110	112.7	101.5	4			1,115	70.0	63.5		
		5	1,065	127.1	119.3	5			1,040	108.7	104.5		
		6	1,065	1,443	132.7	6			1,070	136.5	127.5		
		7	1,065	168.9	158.6	7			1,070	136.5	127.5		
		8	1,087	241.3	222.0	8			1,010	190.5	188.6		
		9	1,087	239.7	220.5	9			1,030	194.0	188.6		
		10	1,087	284.4	261.6			10	1,030	277.1	269.0		
I	12	0					II	12	0				
		1	990	61.6	62.5	1			1,070	58.9	55.0		
		2	990	70.0	70.4	2			1,100	76.5	69.5		
		3	1,115	123.0	110.2	3			1,090	142.8	130.5		
		4	1,115	109.6	98.2	4			1,090	99.2	91.0		
		5	1,115	80.0	71.5	5			1,090	121.5	111.5		
		6	1,040	139.8	134.4	6			1,050	137.1	130.5		
		7	1,040	155.0	149.0	7			1,080	120.5	111.5		
		8	1,040	174.1	167.4	8			1,080	196.6	182.0		
		9	1,085	150.0	138.4	9			1,110	204.0	185.5		
		10	1,085	234.0	215.6	10			1,120	276.3	246.7		
		11	1,085	296.8	273.4			11	1,120	324.3	289.5		
I	13	0					II	13	0				
		1	1,055	77.0	73.0	1			1,040	84.0	80.5		
		2	1,055	87.1	82.5	2			970	77.6	80.0		
		3	1,055	102.3	97.0	3			970	63.5	65.5		
		4	1,075	119.1	110.8	4			970	104.6	107.8		
		5	1,075	132.8	123.5	5			1,030	125.1	121.5		
		6	1,075	151.9	141.3	6			1,030	115.1	112.0		
		7	1,110	178.8	161.1	7			1,030	155.0	150.5		
		8	1,110	193.7	174.5	8			1,120	190.4	170.0		
		9	1,110	227.0	204.5	9			1,120	204.4	182.5		
		10	1,097	254.0	231.5	10			1,120	212.0	189.0		
		11	1,097	291.1	265.4	11			1,070	260.9	243.8		
		12	1,097	331.4	302.1			12	1,070	320	299.0		

浮遊流砂의 鉛直濃度分布에 관한 研究

No	Depth (cm)	sampler Depth	water sampling quantity	dry weight of suspended	concentration (ppm)	Remark	No	Depth (cm)	sampler Depth	water sampling of quantity	dry weight of Suspend-ed	concentration (ppm)	Remark
III	11		cc				IV	11	0				
		1	1,100	65	59.0	1			1,110	84.4	76.0		
		2	1,050	77.2	73.5	2			1,030	80.8	78.4		
		3	1,050	91.0	86.7	3			1,030	105.6	102.0		
		4	1,050	97.5	92.9	4			1,030	127.8	124.0		
		5	1,140	135.7	119.0	5			1,080	135.5	125.5		
		6	1,140	156.8	137.5	6			1,080	181.0	167.5		
		7	1,140	183.0	160.5	7			1,080	200.8	186.0		
		8	1,080	188.5	174.5	8			1,120	213.4	190.5		
		9	1,080	219.5	203.0	9			1,122	317.5	238.5		
		10	1,080	277.6	257.0			10	1,120	332.6	297.0		
III	12	0					IV	12	0				
		1	1,120	83.4	74.5	1			1,130	99.5	88.0		
		2	1,120	100.8	90.0	2			1,130	110.8	98.0		
		3	1,070	108.6	101.5	3			1,050	106.1	101.2		
		4	1,070	156.8	146.5	4			1,050	141.8	135.0		
		5	1,070	151.4	141.5	5			1,050	160.0	152.0		
		6	1,010	159.6	158.0	6			1,020	160.6	157.5		
		7	1,010	163.7	162.1	7			1,020	200.4	196.5		
		8	1,010	198.5	196.5	8			1,020	221.8	217.5		
		9	980	197.5	201.5	9			1,080	227.4	210.6		
		10	980	247.5	252.5	10			1,080	297.5	275.5		
11	980	312.1	318.5	11	1,080	365.0	338.0						
III	13	0					IV	13	0				
		1	970	100.0	103.0	1			1,070	114.5	107.0		
		2	970	117.9	121.5	2			1,070	128.4	120.0		
		3	970	132.4	136.5	3			1,070	144.5	135.0		
		4	1,070	125.8	117.5	4			1,030	129.2	125.4		
		5	1,070	189.4	177.0	5			1,030	179.2	170.0		
		6	1,070	217.8	203.5	6			1,030	186.6	181.2		
		7	1,110	199.4	179.6	7			1,070	236.5	221.0		
		8	1,110	269.8	243.5	8			1,070	212.5	198.6		
		9	1,110	296.8	267.3	9			1,070	276.6	258.5		
		10	1,020	286.4	280.5	10			1,120	318.4	284.5		
		11	1,020	353.6	346.7	11			1,120	358.4	320.0		
12	1,020	438.6	430.0	12	1,120	440.2	393.0						

Table-2. Calculation for specific gravity, fall and shear velocity to the bed materials

Sample No	specific gravity	dm (mm)	fall velocity cm/sec	shear velocit. (cm/s)			Remark
				H=11cm	H=12cm	H=13cm	
I	2,675	1.30	0.758	3,283	3,429	3,569	
II	2,680	0.75	0.756	3,334	3,482	3,624	
III	2,670	0.46	0.769	3,566	3,720	3,871	
IV	2,670	0.48	0.763	3,626	3,621	3,942	

準濃도로 假定 하였다.

그리고 이 基準濃도를 根幹 으로부터 (12)式으로 算定한 推定値를 比較 檢討하였다.

나. 推定値와 實測値의 比較

實測値에 대한 推定値의 變化를 보이자 材料別 水位別로 鉛直 浮遊流砂의 濃度分布曲線을 作成한 것이 Fig. 5이다.

Fig. 5에서 나타난 바와같이 推定値와 實測値間에는 相關性은 있으나 偏差를 보이고 있었다.

따라서 理論式을 修正하여 實測値에 適合 되도록 補正 하므로써 實用化가 可能하였다.

다. 理論式의 修正

理論式을 修正을 위하여 12)式의 指數에 補正係數 β를 곱하여 實測値와 比較하면서 β值를 求하였다.

β=0.8에서 推定値는 實測値에 接近하였으나 實測値보다 작은 값의 濃도를 주었으며, β=0.7인 때는 推定値는 過大한 濃도로 Table-3을 利用하면 알 수 있다.

즉 β의 값은 0.7~0.8의 범위에 있으며 鉛直濃度 分布式이 $\frac{w}{u_*}$ 에 의하여 變化 하므로 β와 $\frac{w}{u_*}$ 의 關係가 있을 것으로 보아 β를 求하고자 하였으나 β의 값이 (14)式에 近似性을 보였기에 이를 β值로 하여 推定하였다.

$$\beta = (1 - \frac{w}{u_*}) \dots\dots\dots(14)$$

그러므로 理論式을 修正한 浮遊流砂의 鉛直濃度 分布式은 15)式으로 나타낼 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} z \leq 0.5H, \quad \frac{c_z}{c_a} &= \left[\frac{H-z}{z} \cdot \frac{a}{H-a} \right]^{\alpha \cdot \beta \phi} \\ z < 0.5H, \quad \frac{c_z}{c_a} &= \exp[4\beta\nu\Phi\left(-\frac{a-z}{H}\right)] \end{aligned} \right\} (15)$$

$$\phi = \frac{w}{u_*} \left(2.8 + \frac{31.4\nu}{u_*H} \right)$$

$$\alpha = (0.611 + 61.63 \frac{\nu}{u_*H})$$

$$\beta = (1 - \frac{w}{u_*}) \quad \text{但} \quad \frac{w}{u_*} < 0.5$$

(15)式에 의한 推定値와 實測値를 χ^2 檢定을 하여 매우 높은 一致性을 나타냈다.

그리고 본 研究의 開水路內 에서의 實測資料가 $\frac{w}{u_*}$ 의 값이 0.5 이하이므로 β의 適用範圍를 $\frac{w}{u_*}$ 0.5 이하로 限定하였다.

그 理由로서는 實測資料가 不充分하여 $\frac{w}{u_*} > 0.5$ 의 경우에 대하여는 確認할 수 없었기 때문이다.

V. 結 論

洪水時 流水와 함께 流去하는 流砂量의 約 80%를 占有하는 浮遊流砂의 量을 推定하기 위하여 浮遊流砂의 鉛直濃度分布를 擴散理論과 亂流의 運動에 따른 對數型 流速分布를 使用하여 濃度分布式을 誘導하였다.

이때 物質交換係數의 變化를 水深의 中心部 上部에서는 均一하게 物質交換이 이루어진다는 假定을 前提로 하였다.

그리고 理論式으로 推定値와 實測値를 比較하였고 理論式을 修正하여 實測値에 適合하도록 補完하여 推定이 可能하도록 하였다.

이상의 研究를 通하여 다음과 같은 結論을 얻을 수 있었다.

1. 理論적으로 얻은 浮遊流砂의 鉛直濃度分布式은 (12)式과 같다.
2. Rouse의 指數型 鉛直濃度分布式은 水面附近에서 誤差를 갖고 있으나 본 理論式은 水面에서도 濃度値를 얻을 수 있다.
3. 理論式을 修正하므로써 實測値에 近接한 推定이 可能하였고 이때 修正된 推定式은 式(15)와 같다.

浮遊流砂의鉛直濃度分布에 관한 研究

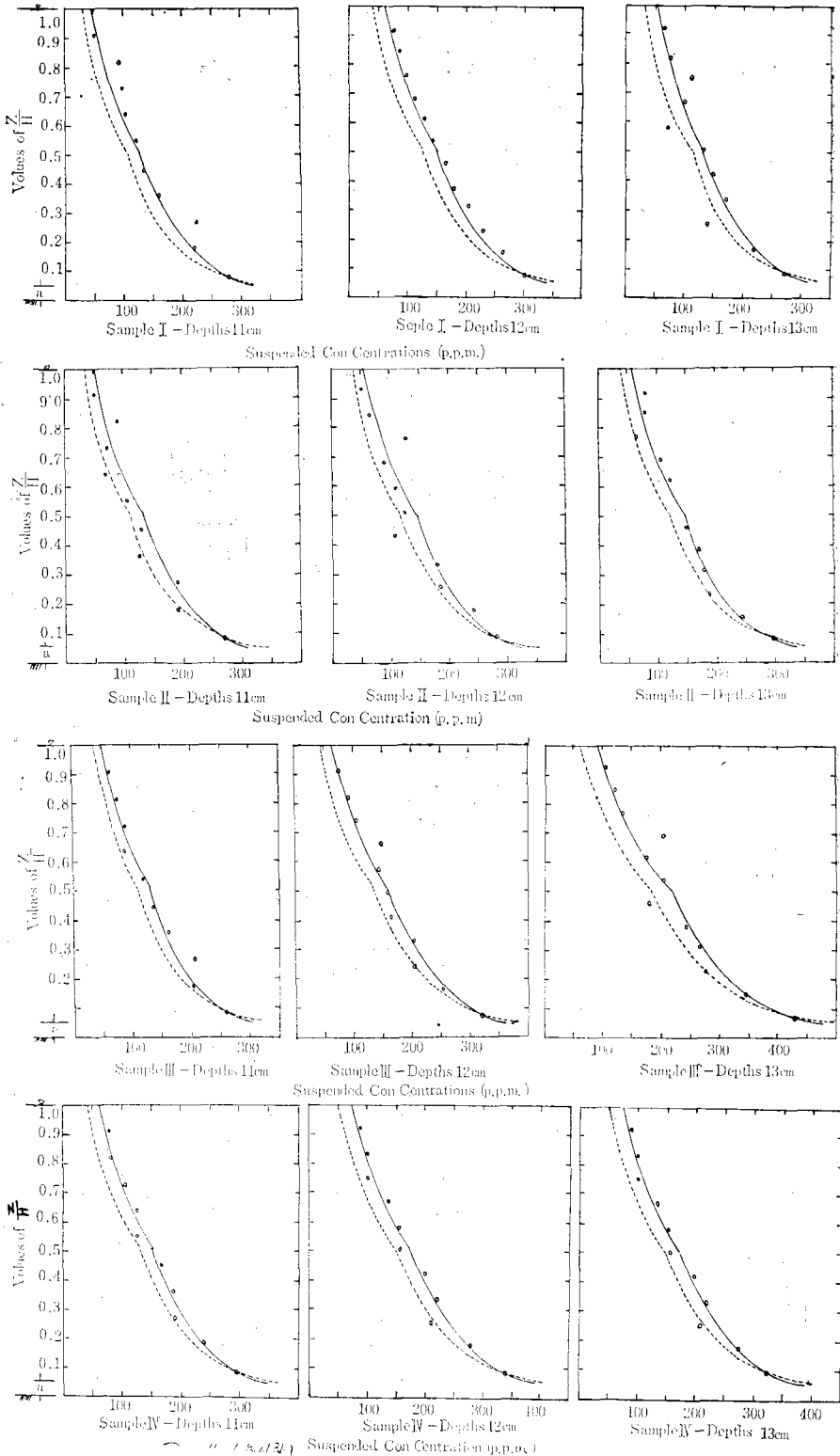


Fig. 5. Comparison of Eq12, Eq15, and Laboratory Experimentation Data (figurer is as table 3)

Table-3. Result of Calculation to β values of Equation (19)

No	Depth	Samp ler Depth	concent- ration	$E\phi 19.$ $\beta=1$	$E\phi 19.$ $\beta=0.9$	$E\phi 19.$ $\beta=0.8$	$E\phi 19.$ $\beta=0.7$	$E\phi 19.$ $\beta=1 - \frac{w}{u*}$	No	Depth	Sapler Depth	Concent- ration ppm	$E\phi 19.$ $\beta=1.0$	0.9	0.8	0.7	$\beta=1$ $(1 - \frac{w}{u*})$
I	11	0		28.8	36.0	44.7	55.8	47.9	II	11	0		30.8	38.2	47.5	61.7	49.6
		1	50.0	44.2	54.1	65.8	57.4	68.9			48.5	47.0	57.0	69.4	59.4		
		2	90.2	54.8	65.3	77.7	68.9	82.6			91.0	58.1	68.9	78.4	71.2		
		3	94.7	68.0	78.8	91.5	82.6	98.9			63.5	71.3	82.8	95.8	85.2		
		4	101.5	83.8	94.3	108.1	98.9	118.7			73.0	87.9	99.6	112.8	101.9		
		5	119.3	103.6	115.2	127.5	118.7	135.9			104.5	108.5	120.0	132.7	118.8		
		6	132.7	121.4	132.3	143.8	135.9	152.5			127.5	126.4	137.5	147.8	140.4		
		7	158.6	139.2	149.3	160.1	152.5	173.9			159.4	148.0	155.0	166.2	157.2		
		8	222.0	153.9	171.2	180.1	173.9	204.2			188.6	196.2	209.0	215.7	210.3		
		9	189.8	196.0	202.4	209.0	204.2	261.6			188.6	269.0	269.0	269.0	269.0		
		10	220.5	261.6	261.6	261.6	261.6	(313.3)			269.0	(321.8)	(321.8)	(321.8)	(321.8)		
		(ca)		(338.9)	(329.9)	(313.3)	(319.0)	(319.0)			(ca)	(346.6)	(337.9)	(341.4)	(326.5)		
I	12	0		32.1	39.6	49.2	60.8	51.2	II	12	0		35.3	43.3	53.6	66.3	55.5
		1	62.5	47.5	56.6	70.3	60.0	70.8			55.0	49.9	63.2	76.3	65.0		
		2	70.4	57.5	68.3	81.1	70.8	83.1			69.5	62.4	74.1	85.0	76.2		
		3	110.2	69.0	80.6	93.8	83.1	97.9			130.5	64.8	75.0	87.1	101.4	89.5	
		4	98.2	83.2	95.1	108.7	97.9	111.5			91.0	90.3	102.8	116.8	104.5		
		5	71.5	89.8	100.4	112.3	125.5	11.50			111.5	108.1	120.9	134.9	122.8		
		6	134.4	108.7	119.2	143.5	133.3	147.5			130.5	117.2	128.4	140.3	165.7	142.5	
		7	149.0	123.9	133.7	145.0	156.8	147.5			111.5	132.8	143.7	155.3	168.0	157.2	
		8	167.4	142.1	151.6	161.8	172.7	163.9			182.0	152.1	162.2	172.7	184.4	174.9	
		9	138.4	166.1	174.3	188.5	192.6	183.2			185.5	177.3	186.3	195.3	205.5	197.0	
		10	215.6	201.8	208.8	214.5	221.1	215.7			246.7	215.7	221.5	228.1	235.3	208.9	
11	273.4	273.4	273.4	273.4	278.4	278.4	289.5	289.5	289.5	289.5	289.5	289.5	289.5				
		(ca)		(337.5)	(330.2)	(316.8)	(322.0)	(322.0)			(ca)	(356.1)	(348.8)	(341.4)	(334.7)	(340.2)	
I	13	0		37.2	46.1	56.7	69.7	58.0	II	13	0		38.2	46.6	57.4	70.6	58.4
		1	73.0	44.7	65.7	79.6	67.0	79.6			80.5	54.9	66.3	80.0	67.6		
		2	82.5	53.7	64.1	76.1	90.2	77.7			80.0	45.6	64.7	76.5	90.7	77.8	
		3	97.0	64.8	75.3	87.9	102.7	89.8			65.5	65.4	76.1	88.5	103.2	89.8	
		4	110.8	77.7	89.1	101.7	116.7	103.6			107.8	78.5	89.7	102.2	116.9	103.8	
		5	123.5	93.1	104.9	118.0	132.7	119.5			121.5	93.7	105.8	118.2	132.7	119.5	
		6	141.3	112.0	123.6	136.7	150.7	138.1			112.0	112.4	123.8	136.7	150.5	137.6	
		7	161.1	127.8	139.4	151.9	165.3	153.3			150.5	127.9	139.4	151.7	165.0	152.9	
		8	174.5	143.5	154.9	166.8	179.6	168.2			170.0	143.8	154.7	166.4	179.1	167.6	
		9	204.5	162.8	173.2	184.4	196.0	185.8			182.5	162.6	172.8	183.8	195.2	184.6	
		10	231.5	188.3	197.5	206.9	217.0	208.2			189.0	187.7	196.8	206.0	215.7	206.8	
		11	265.4	226.6	233.4	240.1	247.0	240.7			243.8	225.1	238.2	244.9	238.9	238.9	
12	302.1	302.1	302.1	302.1	302.1	302.1	299.0	299.0	299.0	299.0	299.0	299.0					
		(ca)		(352.1)	(346.0)	(340.2)	(345.3)	(345.3)			(ca)	(353.4)	(347.7)	(341.7)	(336.0)	(341.3)	

浮遊流砂の鉛直濃度分布の 研究

No	Depth	Sampler Depth	Concentration	Eq. 19 $\beta=1$	Eq. 19 $\beta=0.9$	Eq. 19 $\beta=0.8$	Eq. 19 $\beta=0.7$	Eq. 19 $\beta=1$	No	Depth	Sampler Depth	Concentration ppm	Eq. 19 $\beta=1.0$	0.9	0.8	0.7	$\beta = (1 - \frac{w}{u_*})$
III	11	0	—	39.7	40.2	49.3	60.5	50.9	IV	11	0	—	39.8	48.8	59.8	72.8	60.8
		1	59.0	48.9	58.9	70.9	58.7	70.9			49.6	59.4	70.9	84.7	84.7	72.2	
		2	73.5	50.7	70.2	82.4	72.0	84.2			84.6	61.6	71.9	84.2	98.3	85.4	85.4
		3	86.7	63.4	83.9	96.4	85.7	96.4			102.0	76.2	83.7	100.0	114.4	101.1	101.1
		4	92.9	78.8	100.1	112.5	101.8	112.5			124.0	94.3	105.5	118.6	132.9	119.7	119.7
		5	119.0	98.4	119.1	131.1	121.1	131.1			140.8	125.5	128.0	140.8	154.3	140.9	140.9
		6	137.5	115.8	136.0	146.9	137.5	146.9			167.5	136.7	147.8	159.8	172.5	160.8	160.8
		7	174.5	142.4	152.2	162.4	153.6	162.4			186.0	167.5	173.8	178.4	191.7	179.4	179.4
		8	174.5	164.1	172.8	181.2	173.8	181.2			196.1	173.8	181.2	196.1	202.6	202.6	202.6
		9	203.0	196.1	202.1	209.2	203.0	209.2			238.5	203.0	228.5	242.1	242.1	235.9	235.9
10	257.0	257.0	257.0	257.0	257.0	257.0	297.0	297.0	297.0	297.0	297.0	297.0	297.0	297.0	297.0	297.0	
			(ca)	(327.0)	(319.7)	(311.9)	(304.1)	(310.4)				(ca)	(375.5)	(366.7)	(358.3)	(349.8)	(357.4)
III	12	0	—	42.7	52.1	63.8	77.9	63.3	IV	12	0	—	48.1	58.4	71.1	86.4	71.1
		1	745	52.0	74.6	89.2	74.1	89.2			88.0	58.3	70.5	82.5	98.5	82.9	
		2	90.0	62.8	73.3	86.9	86.4	98.8			98.0	70.2	82.2	96.0	112.4	96.4	
		3	101.5	76.4	101.5	117.0	100.9	117.0			101.2	84.6	97.1	111.8	128.3	111.8	
		4	146.5	92.7	118.6	131.7	118.1	131.7			135.0	102.3	115.2	129.9	146.5	129.9	
		5	141.5	112.5	138.4	153.6	137.8	153.6			152.0	123.2	136.6	150.9	167.1	150.9	
		6	158.0	133.8	159.6	174.1	160.5	174.1			157.5	143.7	156.7	170.6	185.7	170.6	
		7	162.1	151.7	163.1	189.4	176.9	189.4			196.5	161.8	174.5	187.6	201.9	188.0	
		8	196.5	172.2	183.2	207.4	195.9	207.4			217.5	184.0	195.4	207.7	223.3	207.7	
		9	201.5	194.4	209.1	229.7	219.8	229.7			210.6	212.7	222.8	233.4	244.6	233.4	
		10	252.5	239.7	254.0	261.1	254.4	261.1			275.5	255.0	262.3	269.7	277.9	270.9	
11	318.5	318.5	318.5	318.5	318.5	318.5	338.0	338.0	338.0	338.0	338.0	338.0	338.0	338.0	338.0	338.0	
			(ca)	(387.9)	(380.1)	(373.0)	(365.7)	(372.5)				(ca)	(410.7)	(402.9)	(394.9)	(387.6)	(394.9)
III	13	0	—	60.5	73.4	89.4	109.1	89.4	IV	13	0	—	58.7	70.9	85.8	103.7	84.6
		1	103.0	71.6	102.6	122.5	102.6	122.5			107.0	69.2	82.2	97.8	116.4	96.6	
		2	121.5	85.2	117.8	138.4	117.8	138.4			120.0	81.6	95.8	112.0	130.8	110.8	
		3	136.5	101.3	135.3	156.1	134.9	156.1			135.0	96.8	111.1	128.0	147.0	126.4	
		4	177.5	120.0	154.9	175.8	154.9	175.8			125.4	114.2	129.2	146.3	165.4	144.7	
		5	177.5	136.4	154.9	175.8	154.9	175.8			170.0	134.8	150.0	166.7	185.5	165.6	
		6	203.5	142.7	177.9	198.4	177.9	198.4			181.2	159.1	174.4	190.7	208.7	189.6	
		7	179.6	192.1	207.8	244.0	225.2	244.0			199.9	199.9	213.7	229.0	244.6	227.9	
		8	243.5	214.2	229.2	263.7	245.8	263.7			258.5	224.3	237.1	250.8	265.2	249.7	
		9	267.3	241.0	254.9	270.7	270.7	270.7			284.5	255.4	267.0	278.8	290.6	277.7	
		10	280.5	275.7	288.2	301.5	301.5	301.5			320.0	302.7	310.8	318.8	326.9	318.2	
		11	346.7	328.2	337.3	346.4	346.4	346.4			393.0	393.0	393.0	393.0	393.0	393.0	
12	430.0	430.0	430.0	430.0	430.0	430.0	430.0	430.0	430.0	430.0	430.0	430.0	430.0	430.0	430.0	430.0	430.0
			(ca)	(504.1)	(496.0)	(488.6)	(480.4)	(488.6)				(ca)	(458.6)	(451.7)	(444.6)	(437.6)	(445.1)

Nomenclature

a : 基準點의 位置 $a=0.65H$

c, c_a, c_z : 浮遊流砂의 濃度 (a, z : 는 位置)

d_m : $\left[\sum_{50}^{100} d \cdot \Delta p + \sum_0^{50} d \cdot p \right] / 100$ 으로 표시되는 係數

d : 任意 土粒子徑

H : 水深

g : 重力加速度

u : 主流方向의 流速

v : 主流方向에 橫의 流速

u_* : 摩擦速度 = $\sqrt{\tau_0 / \rho}$

w : 土粒子의 落下速度

z : 河床으로부터의 距離

ϵ : 擴散係數

ϵ_m : 物質交換係數

τ : z 點의 剪斷應力

τ_0 : 河床의 剪斷應力

s : $\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1$

γ : 比重 (S, w 는 土粒子 및 물)

Φ : $\frac{w}{u_*} \left(2.8 + \frac{31.4\nu}{u_* \cdot H} \right)$

ν : 動粘性係數

參考文獻

1. A.J. Raudkivi, "Loose Boundary Hydraulics", Pergamon Press, Oxford, 1976, p 137-234.
2. Vito A. Vanoni, "Sedimentation Engineering" Headquarters of the Society, New York 1975
3. Mehmet Selim Yalin and Emin Karahan., "Steepness of sedimentay Dunes" Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 105, No HY4, proc paper 14502, April 1979, p381-392.
4. The Task Committee for Preparation of Sediment Manual, "Sediment Transportation Mechanics; H. Sediment Discharge Formulas" Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 97, No. HY4, proc paper 8076., April, 1971. p 523-567.
5. Chih Ted Yang "Unit Stream Power and Sediment Transport" Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 98, No. HY10, proc paper 9295., October 1972, p 1805-1826.
6. Nick Tywoniuk, "Sediment Discharge Computation Procedures" Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 98, No. HY3, proc paper 8753, March 1972. p 522-540.
7. Syunsuke Ikeda, "Some Studies on the Mechanics of Bed Load Transport", proc. of JSCE, No. 185, Jan. 1971, p 61-69.
8. Satya P. Garg, A.K. Agrawal, and Prem Raj Singh, "Bed Load Transportation in Alluvial Channels" Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 97, No. HY5, proc paper 8091, May 1971, p 653-664.
9. Joe C. Willis, Neil L. Coleman, and Wilbert H. Ellis, "Laboratory Study of Transport of Fine Sand", Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 98, No. HY3. proc paper 8765, March 1972, p 489-501.
10. Ertan R. Acaroglu, "Friction Factors in Solid Material Laden Systems" Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 98, No. HY4, proc paper 8854, April 1972, p 681-697.
11. 芦田和男, 道上正規, "移動床れの抵抗と掃流砂に關する 基礎的 研究", 土木學會論文報告集第 208號 1972. 10, p 59-69
12. 中川博次, 辻本哲郎, "水流による 砂れきの 移動機構に關する 基礎的 研究", 土木學會論文報告集, 第244號, 1975. 12, p 71-80.
13. Donald A. Drew, "Dynamic Model for Channel Bed Erosion." Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 105, No. HY6. proc. paper 14534, June 1979, p 721-736.
14. M. Selim Yalin and Emin Karahan, "Inception of Sediment Transport" Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 105, No. HY11, proc. paper 14975, November 1979, p 1433-1443.
15. Shang-Yi Wang, "Variation of Karman Constant in Sediment-Laden Flow" Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 107, No. HY4, proc. paper 16184, April 1981, p 407-

- 417.
16. 合田健, “浮游物の輸送機構に關する 一研究” 土木學會誌 39-1, 1964.
 17. — “開水路における 浮遊流砂の 分布について — 35-10, 1950.
 18. Donald W. Taylor, “Fundamental of Soil Mechanics.” New York 1968, p 23-72.
 19. P. Jansen, L Van Beudegom, J Van den Berg, M de Vriers, A Zaneu, “Principles of River Engineering” Ditman Press. London, 1979, p 37-150, p. 219-248.
 20. 福岡捷三, 石田貴, 辻目英正, “自由表面ねきつ層流せん断流中 球に働く 抗力と揚力” 土木學會論文報告集, 第271號1978. 3, p55-66
 21. 栗谷陽一, 藤崎一裕, “開水路 流れにわたる 沈降性 粒子の 平均移動速度と縦分散係數” 土木學會論文報告集 第311號, 1981.7, p 71-79
 22. Task Committee on Preparation of Sediment Manual Committee on Sedimentation, “Sediment Transportation Mechanics; Suspension of Sediment.” Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 89, No. HY5, proc. paper 3636, September 1963, p 45-76.
 23. Sergei M. Antsyferov and Ruben D. Kos'yan, “Sediments Suspended in Stream Flow” Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 105, No. HY2, proc. paper 15216, February 1980, p 313-330.
 24. 福岡捷三, 佐藤郁太郎, 堀康次郎, “層流中を運動する 球に働く揚力と抗力に關する 實驗的研究” 土木學會論文報告集. 第295號, 1980. 3, p 31-39
 25. Albert R. LeFeuvre, Hilmi D. Altinbilek, Marion R. Carstens, “Sediment-pick up Function” Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 96, No. HY10, proc paper 7636, October 1970, p 2052-2063.
 26. 樺東一郎, “浮遊砂ガ流れに及ぼす影について土木學會誌 40-9 1955. 9 p 449-454
 27. Tadaoki Itakura, Tsutomu Kishi, “Open Channel Flow with Suspended Sediments” Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol.106, No. HY8, proc paper 15650, August-1980, p 1325-1343.
 28. 板倉忠與, “流砂に關する 研究の最近の進歩”第17回 水工学に關する 夏期研修會集 1981.7.
 29. The Task Committee on Preparation of Sedimentation Manual, “Sediment Transportation Mechanics; Fundamentals of Sediment Transportation” Journal of the Hydraulics Division. ASCE, Vol.97, No. HY12, proc paper 8591, December 1971, p 1979-2022.
 30. 吉川秀夫, 石川忠晴, “流砂運動のモデル化とそれに基づく流砂量の 算定法について 土木學會論文報告集, 第269號, 1978.1 p 53-64.
 31. —, — “浮遊砂濃度分布の テクテンジェ的取扱いにたいして, 様亂流の場所 工学碩士學位論文 1976. 東京工業大學
 32. Che S. Hung, and Hsish W. Shen, “Stochastic Models of Sediment Motion of Flat Bed” Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 102, No. HY12, proc paper 12639, December 1976, p 1745-1757.
 33. M.S. Yalin and B. M. Krishnappan, “A Probabilistic Method for Determining the Distribution of Suspended Solids in Open Channels” International Association Hydraulic Research International Symposium on River Mechanics. 9-12 January 1973, Bangkok, Thailand. p 603-614.
 34. Richard H. French, “Transfer Coefficients in Stratified Channel Flow” Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 105, No. HY9, proc paper 14808, September 1979, p 1037-1101.