

沈砂池의 沈砂效果에 關한 研究

Studies on Settling Effect in Sedimentation Basin

金 良 培

目 次

- I. 緒 論
- II. 流送土砂의 性質
 - 2. 1 粒度分布
 - 2. 2 沈降速度
- III. 限界掃流力
 - 3. 1 一般的 考察
 - 3. 2 限界掃流力의 理論
- IV. 模型實驗과 相似律
- V. 實驗 及 考察
 - 5. 1 實驗裝置
 - 5. 2 實驗方法
 - 5. 3 實驗結果
 - 5. 3. 1 平均流速, 掃流力 及 粒徑
 - 5. 3. 2 實際로 流砂할 때의 堆砂狀態 及 粒度分布
 - 5. 3. 3 相似律에 의한 原沈砂池의 平均流速, 掃流力 及 粒徑
 - 5. 4 既存 沈砂池와의 比較
- VI. 結 論

I. 緒 論

沈砂池의 沈砂效果에 關하여는 아직 充分히 解明되지 않은 問題點이 많으나 特히 導水路에서 沈砂池에 流入하는 擴大部에서 流水方向에 壓力上昇이 있을 때는 壁面에 따라 流出하는 流體粒子는 粘性으로 말미아마 前進를 阻害當하므로 剝離現象이 생기고 流水가 차차 偏流하고 逆流하게 된다.

그러므로 流送된 土砂는 沈砂溝에 順次的으로 高르게 沈砂하지 않고 下流에 粒徑이 큰 粒子가 多量으로 沈澱하고 粒徑이 작은 粒子는 上流에 沈澱하는 傾向이 있다.

導水路로부터 沈砂池에 드러오는 擴大部에 生기는 이 剝離現象을 是正하고 流體粒子가 될수 있으면 亂流하지 않고 沈砂溝에 流入하고 流水

와 같이 流送된 土砂가 沈砂溝에 順次的으로 高르게 沈澱할 수 있도록 하기 爲하여 本人은 日本農林省農地局에서 依託實驗을 依囑받아 東京大學 農業水利實驗室에 特設한 日本 愛知縣犬山市所在 濃美用水의 模型沈砂池(縮尺 1/8)에서 다음과 같은 實驗을 하였다.

1) 速流을 精密히 測定하여 平均流速을 求하고 三角堰으로부터 流量을 求하여 여기서 求한 平均流速과 比較하고 各 平均流速으로부터 掃流力, 粒徑을 計算하여 比較檢討하였다.

2) 粒徑이 다른 여러 種類의 土砂를 實際로 流送시키고 沈砂溝에 沈澱하는 狀態를 調査하여 沈澱後의 粒度分布를 測定하여 掃流力에서 計算으로 求한 粒徑과 比較檢討하였다.

3) Froude의 相似律을 使用하여 原沈砂池의 平均流速, 掃流力, 粒徑을 求하고 또 模型沈砂池의 堆砂量으로부터 相似法則에 依하여 原沈砂池의 總堆砂量을 計算하므로써 原沈砂池의 沈砂機能을 明確히 하였다.

4) 끝으로 既存沈砂池의 沈砂狀態와 沈砂의 粒度分布를 調査하고 模型實驗結果와 比較檢討하였다.

本論文은 上揭의 實驗 及 調査에 依하여 沈砂池의 沈砂效果에 關한 考察을 한 結果에 對하여 記述한 것이다.

II. 流送土砂의 性質

2. 1 粒度分布

流送되는 土砂는 그 크기, 모양, 比重이 다른 個 粒子로 되어 있다. 그러므로 이러한 要素의 頻度分布를 明確하게 하고 土砂粒子 全體의 特生을 代表하는 값을 알 必要가 있다. 이 境遇 그

形에 對하여는 取扱이 까다로우므로 特別한 境遇를 除外하고는 考慮하지 않는 것이 普通이다.

比重에 對하여는 土砂粒子가 主로 石英으로 되어 있으므로 土砂量全體에 對한 平均値로 代表한다.

그러므로 가장 問題가 된 要素는 크기에 對한 頻度分布, 即 粒度分布이다. 流送土砂特性中에서 가장 重要한 것이 이 粒子의 크기이며, 이것에 依하여 土砂를 分類하고 있다. 이것은 土砂의 다른 特性이 粒子의 크기와 많은 關係를 가지고 있으며, 또 粒徑이 流送土砂의 크기의 dimension의 代表値로서 가장 便利하기 때문이다.

浮遊現象에서는 沈降速度가 重要하므로 크기 代身 크기, 모양, 比重의 影響이 包含된 沈降速度에 對한 頻度分布를 取扱할 때도 있다.

普通 土砂의 粒度分布結果는 다음 圖表에 表示한 바와 같이 粒度加積曲線으로 表示한다. 縱軸은 어느 粒徑(또는 篩目の 크기) 以下의 砂礫量(普通은 重量)의 sample 全量에 對한 累加百分率이다.

이 境遇 累加百分率 $p=50\%$ 에 對한 粒徑 d_{50} 을 中史粒徑(median diameter)라 하며

$$d_m = \frac{\sum_{p=0}^{p=100} d \Delta p}{\sum_{p=0}^{p=100} \Delta p} \quad (2.1.1)$$

로 定義한 粒徑을 平均粒徑(mean diameter), d_{10} 을 有效粒徑(effective size)이라고 한다.

2.2 沈降速度

個個 土砂粒子의 沈降速度는 浮遊理論과 直接 關係가 있는 重要한 要素이며 또 粒子와 流體의 相對的 運動인 掃流에 依한 輸送도 本質的으로 沈降現象과 같은 力學的 問題이다. 물과 固體의 密度를 各各 ρ 와 σ , 沈降速度를 w_1 , 粘性係數를 μ , 動粘性係數를 $\nu = \mu/\rho$, 重力加速度를 g , 時間을 t 라 하면 靜水中의 固體沈降에 關한 運動方程式은 Stokes 法則이 適用된다.

Reynolds number가 작은 範圍 $Re = w_0 d / \nu < 0.01$ 에서는 다음과 같이 된다.

$$M \frac{dw_1}{dt} = (M-m)g - \frac{1}{2} m \frac{dw_1}{dt} - 3\pi\mu dw_1 \dots (2.2.1)$$

여기서 $M = \pi(\sigma/\rho)d^3$, $m = (\pi/\sigma)d^3\rho$ 이다.

上式의 右邊 第2項은 固體가 加速度를 가질

으로서 생긴 抵抗力이다. 第3項은 粘性抵抗이다.

上式을 $t=0$ 과 $w_1=0$ 의 條件에서 積分하면 $w_1 = A(1 - e^{-Bt})$ 로 놓으면

$$\begin{aligned} \frac{dw_1}{dt} &= -AB^2 e^{-Bt} \\ \left(M + \frac{1}{2}m\right) \frac{d^2 w_1}{dt^2} + 3\pi\mu d \frac{dw_1}{dt} &= 0 \\ -\left(M + \frac{1}{2}m\right) AB^2 e^{-Bt} + 3\pi\mu d AB e^{-Bt} &= 0 \\ AB^2 e^{-Bt} \left\{ -\left(M + \frac{1}{2}m\right) B + 3\pi\mu d \right\} &= 0 \end{aligned}$$

$$\therefore B = \frac{3\pi\mu d}{M + \frac{1}{2}m}$$

$$\begin{aligned} \left(M + \frac{1}{2}m\right) AB e^{-Bt} + 3\pi\mu d \cdot A(1 - e^{-Bt}) \\ - (M-m)g = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= \frac{(M-m)g}{\left(M + \frac{1}{2}m\right) B e^{-Bt} + 3\pi\mu d(1 - e^{-Bt})} \\ &= \frac{(M-m)g}{3\pi\mu d} \end{aligned}$$

A와 B를 $w_1 = (1 - e^{-Bt})$ 에 代入하면

$$w_1 = w_0(1 - e^{-Bt}) \dots (2.2.2)$$

$$\text{여기서 } w_0 = \frac{1}{18} \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) \frac{g}{\nu} d^2 \quad (2.2.3)$$

$$\zeta = \frac{36\nu}{d^2} \dots (2.2.4)$$

가 된다.

上式에서 w_0 는 終末沈降速度이며 우리가 普通沈降速度라고 부른 것은 이 w_0 이다.

또 流體抵抗이 速度의 2乘에 比例한다고 假定할 때의 運動方程式은 抵抗係數 C_0 를 使用하여

$$\begin{aligned} M \left(\frac{dw_1}{dt} \right) &= (M-m)g - \frac{1}{2} m \frac{dw_1}{dt} \\ &\quad - \frac{1}{8} \rho \pi d^2 C_0 w_1^2 \dots (2.2.1') \end{aligned}$$

로 되며 이것을 前과같이 $t=0$, $w_1=0$ 라는 條件下에 積分하면 다음과 같이 된다.

$$\frac{w_1}{w_0} \tanh(\tau t) \dots (2.2.5)$$

$$\text{여기서 } w_0 = \left\{ \frac{4}{3} \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) \frac{g}{C_0} d \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (2.2.6)$$

$$= \frac{\left(\frac{\sigma}{\rho} - 1\right)}{\left\{\left(\frac{\sigma}{\rho} + \frac{1}{2}\right)w_0\right\}} \dots\dots\dots(2.2.7)$$

以上 (2.2.2) (2.2.5)에서 알 수 있는 바와 같이 終末沈降速度에 達하려면 理論上으로는 無限大의 時間이 걸리나 實用上으로는 w_1/w_0 値가 大體로 1에 가까운 값을 가질 時間까지를 生覺하면 된다.

이 時間은 ζ 와 τ 의 값이 작을수록 即 終末沈降速度 w_0 의 値가 클수록 크다. 그러므로 여기서 問題가 된 것은 終末沈降速度 w_0 가 어떠한 값을 取하는가 하는 것이다.

Ⅲ. 限界掃流力

3.1 一般의 考察

물이 水路를 흐를때 그 底面에는 流水로 因한 剪斷應力이 作用한다. 底面이 砂礫으로 構成되어 있을 때는 그 作用한 剪斷應力이 一定한 限界值 τ_0 以上이 되면 砂礫移動이 生진다. 底面附近의 流速은 거기에 作用하는 剪斷應力과 關係가 있음으로 그 流速이 어느 限界值 以上이 되면 移動이 始作한다는 表現을 할 수도 있다. 그러나 이 問題를 實際流水에 適用할 때 물의 密度를 ρ , 重力加速度를 g , 徑深을 R , energy 勾配를 I_e , 摩擦速度를 $U_* = \sqrt{\tau_0/\rho}$ 라 하면 底面の 剪斷應力은 2次元流일 때 簡單히

$$\tau_0 = \rho g R I_e = \rho U_*^2 \dots\dots\dots(3.1.1)$$

로 表示됨으로 剪斷應力으로 表示하는 것이 流速으로 表示하는 것보다 取扱하기가 便利하다. 이것이 Du-Boys의 掃流力公式이다.

에너지勾配 I_e 는 河床勾配 I_0 , 平均流速을 V 라 하면 矩形水路에서는

$$I_e = I_* + (I_0 - I_*) \frac{V^2}{gh} \dots\dots\dots(3.3.2)$$

로 表示한다.

이와같은 意味에서 限界剪斷應力을 限界掃流力이라고도 불으며 主로 이 表現方法이 더 使用되고 있다.

限界掃流力の 研究는 相當히 오래 前부터 매여 왔으며 主로 實驗的으로 求한 限界掃流力과 砂礫의 粒徑과의 關係를 基礎로 하여 實驗式을

提案하는 方法이 取해져 왔었다. 그러나 最近에 砂礫의 移動開始機構를 亂流理論을 使用하여 說明하려고 하는 사람들이 나타나 그 結果를 從來의 實驗公式과 比較檢討하고 新公式을 提案하게 됨으로 이 方面에 많은 進歩를 가져오게 되었다.

3.2 限界掃流力の 理論

Shields는 1936년에 河床의 固體粒의 運動은 境界層理論의 層流底層(壁의 近傍에 따라 生기는 層流)의 薄層의 두께 σ 와 固體粒徑 d , 사이의 關係에 따라 달라진다고 生覺하고 砂礫, 물의 密度, 重力加速度, 砂礫의 粒徑을 使用하여 無次元表示로한 限界掃流力 $\tau_c/(\rho-\sigma)gd$ 가 같은 無次元粒徑 d/σ 또는 이것과 比例關係에 있는 Ud/ν 의 函數가 된다는 것을 豫想하였다.

$\tau_c/(\rho-\sigma)dg$ 를 Shields function 이라고 부르고 最近의 限界掃流力の 研究에서는 이 Shields function의 特性에 關한 研究가 많다.

White는 1940年 理論的인 取扱의 基礎로서 單位面積에 作用하는 剪斷應力을 單位面積當의 突起砂粒數로 나눈 값을 砂粒 하나하나가 各各 擔當하고 平衡을 保有한다고 生覺하고 다음 公式을 誘導하였다.

$$\left. \begin{aligned} \sqrt{\frac{\tau_c}{\rho}} \cdot \frac{d}{\nu} < 3.5, \quad \frac{\tau_c}{g} (\rho - \sigma) d = 0.18 \tan \phi \\ \sqrt{\frac{\tau_c}{\rho}} \cdot \frac{d}{\nu} > 3.5, \quad = \frac{0.18 \tan \phi}{T_t} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3.2.1)$$

(3.2.1)의 上式은 $d < 3.5\sigma$ 에 該當하여 砂粒은 完全히 層流底層안에서 層流의 抵抗을 받는 境遇이며 下式은 砂粒의 實起가 層流底層外로 나와 亂流안에서 抵抗을 받는 境遇이며 T_t 라는 亂流係數(Turbulence factor)를 考慮하였다. 이 係數의 값은 水路에서의 亂流實驗에서는 4가 된다.

Kurihara (栗原)는 White의 研究를 發展시켰다. 그는 亂流理論에 依하여 이 T_t 와 Ud/ν 와의 關係를 求하고 T_t 가 $d/\sigma = 25$ 附近에서 顯著하게 極大値를 取한다는 것을 發見하고 壓力變動이 이 近方에서 極大値를 取한다는 理論的 結果가 그 支配의 原因이라는 것을 究明하였다.

그리하여 다음 式을 提案하였다.

$$\begin{aligned}
 d < 0.085\text{cm}; U^2_c &= \frac{\tau_c}{\rho} \\
 &= (-7.6 \log_{10} 1.18d - 37.2)d \\
 0.085 < d < 0.213\text{cm}; \\
 &= (16.2 \log_{10} 1.18d + 55.0)d \\
 0.213\text{cm} < d; &= (83.7 \log_{10} 1.18d + 92.3)d \\
 &\dots\dots\dots(3.2.2)
 \end{aligned}$$

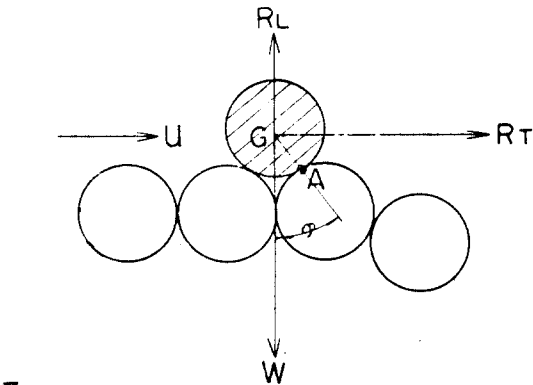
$$\begin{aligned}
 d \geq 0.303; U^2_c &= \frac{\tau_i}{\rho} = 80.9d \\
 0.118 \leq d \leq 0.303; &= 134.6d^{\frac{31}{32}} \\
 0.0565 \leq d \leq 0.118; &= 55.0d \\
 0.0065 \leq d \leq 0.0565; &= 8.41d^{\frac{11}{16}} \\
 d \leq 0.0065; &= 226d \\
 &\dots\dots\dots(3.2.3)
 \end{aligned}$$

Iwakaki(岩垣)는 Kurihara와는 別途로 下圖(a)에 表示한 바와같이 粗面上에 있는 한개의 球狀砂粒(影線)을 生覺하고 이 砂粒이 鉛直方向의 壓力勾配에 依한 揚力 R_v , 流水方向의 流體抵抗과 壓力勾配에 依한 抵抗과의 和 R_T . 砂粒에 作用하는 重力 W 의 作用으로 平衡을 保有한다고 生覺하고 二次元的 流水를 取扱하였다. 이 境遇의 힘關係는 下圖(b)와 같이 模型化되었다.

wakaki는 從來의 實驗試料를 檢討하고 混合砂礫에 對하여도 이 公式를 使用할 수 있다고 斷定하였다.

從來의 多數實驗公式中 主要한 것을 列舉하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 \text{Schoklitsch;} U^2_c &= \frac{\tau_c}{\rho} = 104.9d^{\frac{3}{2}} \\
 \text{Krey;} &= 124.4d \\
 \text{Kramer;} &= 26.95d \\
 \text{Chang;} &= 35.4d, d > 0.121\text{cm} \\
 &= 12.3d^{\frac{1}{2}}, d < 0.121\text{cm} \\
 \text{美國水路實驗所;} &= 11.57d^{\frac{1}{2}}, \\
 \text{安藝皎一;} &= 90.1d, \\
 &\dots\dots\dots(3.2.4)
 \end{aligned}$$



砂粒에 作用하는 힘

IV. 模型實驗과 相似律

水工學의 水理實驗을 할때 實際와 模型間의 相似關係는 一般의으로는 여기에 作用하는 主作用力如何에 따라 決定된다. 大體의으로 重力이 主作用力일 때는 Froude 法則, 內部摩擦이 主作用力일 때는 Reynolds 法則, 表面張力이 主作用力일 때에는 Weber 法則에 따른다.

이러한 法則은 에너지의 比較에 依하여 求하는 것이 簡單하며, 明確히 할 수 있다.

이 境遇 模型과 實際사이 에 있어서의 量의 比를 問題된 여러가지 에너지로서 表示한다.

지금 幾何學의 相似를 $l_2 = l_1 \alpha$, 힘의 相似를 $k_2 = k_1 \alpha$ 이라고 하면 Froude의 相似는 다음과 같이 求할 수 있다.

$$\alpha \alpha = \frac{\frac{1}{2} m_2 v_2^2}{\frac{1}{2} m_1 v_1^2} = \frac{m_2 g_2 l_2}{m_1 g_1 l_1}$$

에서 $\frac{v_2^2}{l_2 g} = \frac{v_1^2}{l_1 g} = F \dots\dots\dots(4.1)$

그리고 粒徑이 같은 土砂를 使用하여 精密한 測定을 하고 從來의 實驗資料中 거의 같은 粒徑의 土砂를 使用한 Schoklitsch, Krey, Gillbert 等의 結果도 參酌하여 다음 式을 求하였다.

F 를 Froude 數라고 부른다. 여기서 g 는 重力의 加速度이다.

Reynolds 法則은 다음과 같이 하여 求한다.

$$\alpha x = \frac{\frac{1}{2} m_2 v_2^2}{\frac{1}{2} m_1 v_1^2} = \eta_2 \frac{\partial v_2}{\partial n_2} \cdot \frac{f_2 l_2}{\eta_1 \frac{\partial v_1}{\partial n_1}} \cdot f_1 l_1$$

$$= \frac{\eta_2 v_2^2 l_2^2}{\eta_1 v_1^2 l_1^2}$$

여기에 f_1, f_2 는 各各 相應하는 面積이며, η_1, η_2 는 粘性을 表示한다.

只今 $l_1^3 \rho_1 = m_1, l_2^3 \rho_2 = m_2$ 이므로 上式은

$$\frac{l_2 v_2}{\eta_1} = \frac{l_1 v_1}{\eta_2} \therefore \frac{l_2 v_2}{\rho_2} = \frac{l_1 v_1}{\rho_1} = R \dots (4.2)$$

이 R 를 Reynolds 數라고 부른다.

Weber 의 法則은

$$\alpha x = \frac{\frac{1}{2} m_2 v_2^2}{\frac{1}{2} m_1 v_1^2} = \frac{s_2 l_2^2}{s_1 l_1^2}$$

그러므로 마찬가지로

$$\frac{v_2^2 l_2 \rho_2}{s_2} = \frac{v_1^2 l_1 \rho_1}{s_1} = W$$

W 를 Weber 數라고 부른다.

以上이 Frouds, Reynolds, Weber 의 法則이며 이와 같은 式에서 알 수 있는 바와 같이 F, R, W 는 無次元(dimensionless)이다.

이러한 數值가 같은 境遇에는 流水狀態는 같아야 한다. 水工學的 模型試驗을 할 때 流體의 性質 即 密度, 粘性, 表面張力, 그리고 重力의 強度는 模型과 實物에서는 變化시킬 수 없다. 그러므로 이것들이 變化하지 않는다고 하고 各各 相似律을 多少 變形하므로써 여러가지 物理量의 模型과 實物에 對한 比率를 容易하게 求할 수 있다. 이 方法으로서 求한 結果를 Weber 가 잘 整理하였으므로 다음에 記入한다.

그러나 實際 模型試驗을 할 때는 여러가지 難關에 逢着한다. 上記 3個의 模型法則사이에는 相當한 差異가 있고 例를들면 流速에 對하여 보면 Reynolds는 a^{-1} , Froude는 $a^{1/2}$, Weber는 $a^{-1/2}$ 에 比例한다고 되어 있으나 實際는 主作用力이 純粹할 수는 없다.

지금 模型試驗에 土砂와 같은 粒狀의 物質이

縮尺比率

	模型法則		
	R	F	W
體積	1 : a ³	1 : a ³	1 : a ³
面積	1 : a ²	1 : a ²	1 : a ²
時間	1 : a ²	1 : a ^{1/2}	1 : a ^{3/2}
길이	1 : a	1 : a	1 : a
일	1 : a	1 : a ⁴	1 : a ²
流量	1 : a	1 : a ^{5/2}	1 : a ^{3/2}
流速	1 : a ⁻¹	1 : a ^{1/2}	1 : a ^{-1/2}
加速度	1 : a ⁻³	1 : a ⁰	1 : a ⁻²
힘	1 : a ⁰	1 : a ³	1 : a

同時에 들어온다고 하면 이것을 幾何學的으로 縮少한다는 것은 그 本質을 消失하게 된다. 砂礫 移動을 生覺할 때 이것은 꼭 逢着할 問題이며 이 境遇砂礫을 幾何學的으로 縮少하면 이것은 粒狀이 아니고 顯微鏡的 微粒子化하여 砂礫으로서의 性質을 完全히 消失케 된다. 如何한 境遇에도 이와같이 根本的으로 相違하게 될 狀態는 避하여야 한다. 이러한 境遇에는 粒徑이 幾何學的의 相似는 버려야 할 것이다. 그러나 幾何學相似가 아닌 完全한 物理學的의 相似關係는 있을 수 없으므로 이 境遇에는 本質的으로 考慮해야 할 方法에 依하여 近似的 或은 實用的인 模型相似로 實驗을 하여야 할 것이다.

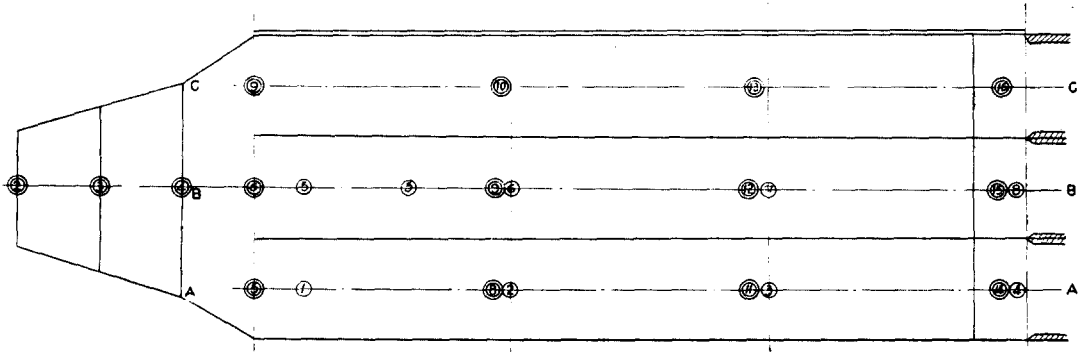
V. 實驗及考察

5.1 實驗裝置

이 實驗은 日本農林省農地局에서 計劃한 愛知縣犬山市所在 濃美用水 頭首工의 取入水路에 設置할 沈砂池의 構造及 沈砂效果에 關한 實驗과 調査를 하기 爲하여 日本農林省의 依託實驗으로서 東京大學農業水利實驗室에 特設한 模型沈砂池에서 實施하였다.

模型沈砂池는 原設計의 1/8의 縮尺으로 製作되고 水槽의 出口에 三角堰을 設置하여 流量을 調節할 수 있도록 하고 길이 4.5m의 馬蹄形水路의 下流側에 沈砂池를 設置하였다. 沈砂池는 三連의 沈砂溝로 構成되어 있으며, 그 平面圖는 다음과 같다.

○ 即ち試料採取位置
 ⊙ 横断面の位置



模型沈砂地平面圖 S=1/250

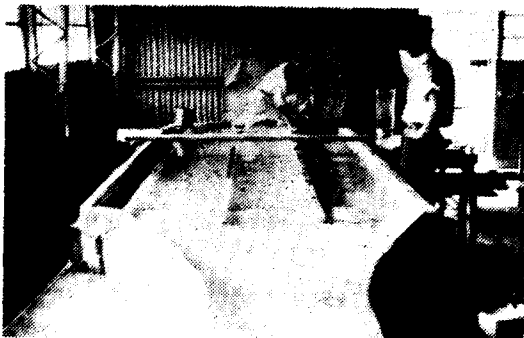
沈砂池及水路는 cement mortar lining 으로 하고 沈砂溝의 幅은 各各 47.5cm, 기리는 375cm 底面勾配는 $\frac{1}{50}$, 通水는 荏原 Inokuchi pump(揚程 3m, $2.6\text{m}^3/\text{min}$), motor(富士電氣製作所 5馬力 3相 220volt)에 依하여 循環 給水하였다.

給砂裝置는 두께 8mm의 배니아합板으로 만든 體積 150l의 四角錐를 水槽出口의 前面(三角堰의 直前)에 据置하고 비나이루製의 圓筒狀袋를 四角錐의 바닥에 取付하고 1/2馬力 motor로 回轉하는 belt上에 비나이루袋로부터 一定한 土砂가 連續的으로 落下할 수 있도록 하였다.

그리고 이 비나이루袋를 適當하게 매어 給砂量을 加減할 수 있도록 하였다.

다음은 實驗實況과 給砂裝置 및 取付水路의 寫眞이다.

이 沈砂池設計의 特徵은 水路에서 沈砂池로 들



實驗實況



給砂裝置 및 取付水路

어가는 擴大部를 逆勾配로 한 것이다. 이 擴大部를 逆勾配로 한 것은 水路에서 沈砂池에 流入하는 流水가 亂流를 이르지 않고 流入할 수 있도록 하여 流水와 같이 流送되는 土砂가 順次的으로 平均하게 흘러서 沈砂溝에 沈澱토록 하는 것이 그 目的이며 다음 實驗結果에서 評述한 바와 같이 그 目的을 充分히 達成할 수 있었다.

5.2 實驗方法

第一로 水槽出口에서 設置한 三角堰에 依하여 3.66 l/sec 의 流量을 恒常 維持할 수 있도록 하고 上記 模型平面圖에 表示한(1~16) 斷面에 對하여 current meter로 垂直接流速曲線法에 依하여 流速을 測定하였다. 그 方法은 各 斷面을 各 中心線부터 左右로 12cm 間隔으로 壁面에서 2cm 內러진 各點에서 水深方向으로는 等間隔으로(1~

7 斷面은 2cm, 8~16 斷面은 5cm) 分割하고 各測點에서 current meter 의 10回轉數의 時間을 測定, 이것을 10回 測定하여 그 平均値를 取하였다. 그리고 水深方向의 各點의 流速을 橫軸으로, 水深을 縱軸으로 取하고 이 曲線과 水面 及 河床으로 包圍된 面積을 水深으로 나눈 值를 流水方向의 各測點의 平均流速으로 하였다. 水深은 point gage 로 測定하였다.

다음에 各 平均流速을 曲線으로 表示하고 이 曲線이 包圍한 面積을 各 橫斷面의 幅으로 나누어 各 橫斷面의 平均流速을 求하였다.

第二로 粒度分布가 다른 3種類의 砂粒을 流速測定時와 같이 36.6l/sec 의 流量을 流水시키며 2mm 節目으로 친 砂粒을 給砂裝置에 依하여 70~100cm³/sec 의 砂流을 流送하여 3種類의 土砂에 對하여 그 沈砂狀態 及 粒度分布를 調査하였다. 各 實驗에 所要된 時間은 一回 30時間前後였다. 그 結果는 다음의 實驗結果에서 詳述하겠다.

5.3 實驗結果

5.3.1 平均流速, 掃流力 及 粒徑

先項 實驗方法 第一에서 詳述한 方法으로 實測한 平均流速을 使用하여 (3.1.1)과 (3.2.1)式에 依하여 掃流力을 求하고 이 掃流力을 使用하여 (3.2.3)式에 依하여 粒徑을 求하였다. 이 平均流速, 掃流力 及 粒徑의 關係의 計算結果는 下記表左와 같다.

다음에 三角堰에서 測定한 流量 36.6l/sec를 使用하여 連續式에서 平均流速을 求하고, 이 平均流速에서 前述과 같은 式으로 掃流力 及 粒徑을 求하였다. 이 平均流速, 掃流力 及 粒徑의 關係의 計算結果는 下記表 右에 表示하였다.

이 두 方法으로 求한 平均流速을 比較하면 前者는 後者보다 擴大部의 逆勾配에서는 작은 값을 表示하나 沈砂溝內에서는 거의 같은 값이 되어 있다. 그 誤差는 5~10% 程度이나 이것은 current meter 에 依한 測定誤差라고 生覺된다. 그러므로 各 斷面의 掃流力 及 粒徑의 計算結果는 後者가 더 正確하다고 認定된다.

그러나 어느 方法에 依하거나 그 結果는 沈砂溝內의 斷面(8~16)에서는 그 값이 너무 極少하

橫斷面의 位置	實測에 依한 平均流速을 基礎로 한 計算結果			流量에 依한 平均流速을 基礎로 한 計算結果		
	平均流速 V(cm/sec)	掃流力 $U_*^2 = \tau_0/\rho$	粒徑 d(cm)	平均流速 V(cm/sec)	掃流力 $U_*^2 = \tau_0/\rho$	粒徑 d(cm)
1	41.69	87.38	1.08	48.13	116.51	1.44
2	41.04	101.93	1.26	42.72	110.21	1.36
3	38.85	109.32	1.35	44.75	144.65	1.78
4	35.13	69.79	0.96	39.74	89.17	1.10
5	22.80	8.05	0.13	36.69	20.78	0.26
6	33.51	17.38	0.23	"	"	"
7	39.59	24.17	0.29	"	"	"
8	11.96	1.47	0.006	9.69	0.98	0.004
9	13.75	1.71	0.009	"	"	"
10	13.02	1.71	0.009	"	"	"
11	8.39	0.76	0.002	8.98	0.76	0.002
12	10.80	1.01	0.004	"	"	"
13	9.11	0.76	0.002	"	"	"
14	7.93	0.52	0.002	8.56	0.52	0.002
15	10.53	1.04	0.004	"	"	"
16	9.02	0.78	0.003	"	"	"

여 實際土砂를 流送한 結果와 一致하지 않는다. 그 理由에 對하여는 다음에 詳述하겠다.

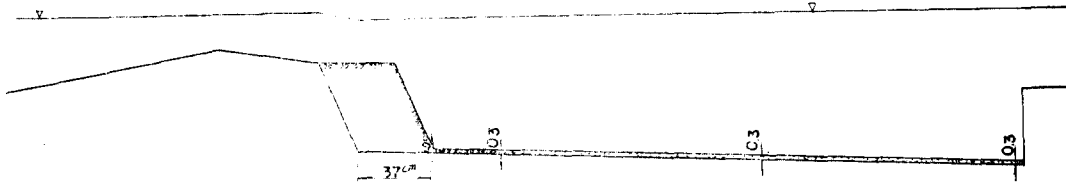
5.3.2 實際로 流砂할 때의 堆砂狀態 及 粒度分布

先項 實驗方法 第二에서 詳述한 方法으로 粒度分布가 다른 三種類의 土砂에 對하여 給砂實驗을 實施하였다.

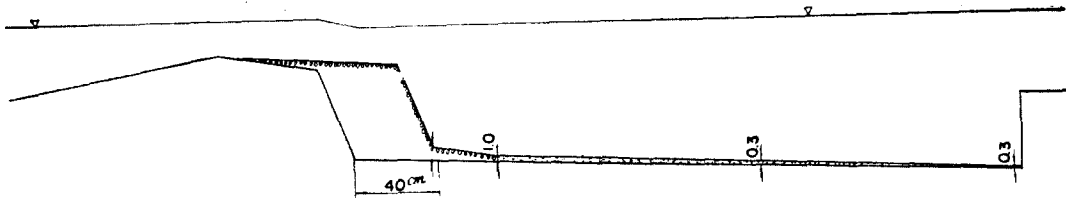
第一回實驗에 使用한 砂粒은 比較的 粒度分布가 粗한 것이며 第2回 實驗에 使用한 것은 第1回實驗時 砂粒에 圍場의 細土를 2mm 節目으로 친것을 1:3의 比率로 混合, 第3回實驗에 使用한 砂粒은 1:2의 比率로 混合하여 漸次 粒度分布가 變 土砂를 使用하였다. 第2回實驗時의 堆砂狀態 및 粒度分布는 다음과 같다.

堆砂狀態를 觀察하면 沈砂溝에 流砂된 土砂는 沈砂溝全面에 沈積하지 않고 段丘狀으로 沈砂溝入口 近方에 大部分이 堆積하고 이 段丘의 下面을 境界로 2個의 堆砂面을 形成하였다. 그리고 段丘는 時間의 經過에 따라 段丘의 두께를 두껍게 하며 前進하였다. 段丘가 形成되면 流送土砂中粒徑이 큰 것은 堆砂面上을 躍動 或은 滑動하면서 段丘의 最前端部에 到達 段丘의 下面으로 轉落하여 大體적으로 沈砂溝入口의 傾斜角(45°)에 가까운 傾斜角을 保有하면서 前進하였다. 堆

断面 B-B



断面 A-A, C-C



第2回實驗 堆砂狀態 縮尺 縱 1/100 橫 1/250

砂段丘가 形成되고 그 두께가 增大해지면 通水斷面積이 縮少되므로 流速은 增大, 微粒子는 堆砂段丘面에 停着하지 않고 流水中에 浮遊한 바 堆砂段丘의 下面을 지나면 急激히 通水斷面積이 擴大되므로 流速은 急激히 低下, 따라서 이 流速이 急變하는 地點에서 粒徑이 큰 粒子는 大部分沈積을 完了하고 여기서부터 微粒子의 沈澱堆積이 始作한다. 이와 같은 堆砂를 하는 理由에 對하여 考察하면 沈砂溝入口에서 45°의 傾斜角을 가짐으로 여기서는 境界層이 剝離하고 그 下面에서는 逆流가 생기고 渦가 생기며 流速은 大體로 零에 가까워 짐으로 段丘狀으로 堆積하는 主要因이 된다고 思料된다. 이에 關한 理論的 研究는 다음 機會로 미루겠다.

堆砂後의 粒度分布에 關하여는 各 試料採取地點에서 試料를 採取하여 이것을 日本工業規格

土粒子比重試驗方法 (A 1202)

흙의 含水量試驗方法 (A 1203)

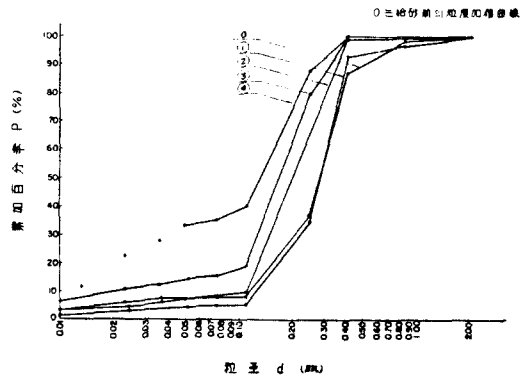
흙의 粒度試驗方法 (A 1204)

에 依하여 3回의 實驗結果에 對한 粒度分析을 하고 그 結果를 다음과 같이 表示하였다.

(第2回實驗結果만 表示)

그 分布狀態를 觀察하면 沈砂溝入口의 段丘狀

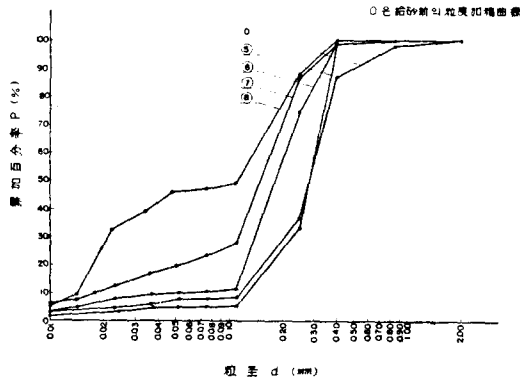
第2回實驗 断面 A-A 의 粒度加積曲線



의 部分은 粒徑이 큰 粒子가 沈積하고 段丘下面을 境界로 그 下流는 急激히 微粒子가 沈澱하였다. 全體의 傾向으로는 段丘狀에서는 給砂前의 粒度分布와 近似하고 段丘下流에 前進하면서 正確하게 漸次 粒度分布로 되어 있다.

이 試料採取點에 堆積한 土砂와 前送한 平均流速에서 求한 粒徑을 比較하여 보면 다음 表와 같이 平均流速에서 求한 粒徑은 그 값이 沈砂溝內(8~16)斷面에서는 너무 잘아 實際와 一致하지 않는다.

圖 2 圖 1 實驗 断面 B-B 的 粒徑 加積 曲線



그 理由에 對하여 考察하면 掃流力 及 粒徑을 求한 Iwakaki 의 式(3.2.3)에서는 比重으로 2.65를 使用하였으나 本實驗에 使用한 土砂는 그 比重이 2.60이며, 더구나 粒徑이 큰 壤子는 輕石이였으므로 平均比重은 더 가벼운 것이 큰 影響이 었다고 본다. 그리고 沈砂溝內의 平均流速은 下流方向에 對하여 對數曲線的으로 減少하면서 變化하였으나, 이것은 沈砂溝內의 流速으로서 平均流速을 使用할 境遇이며, 沈砂溝內의 流速은 均一하지 않고 다음 表와 같이 그 最大流速은 平均流速의 2倍가 된곳도 있고 이 不均一한 最大流速으로 큰 粒子가 下流에 流送된 것으로 思料된다. 이것은 下流의 큰 粒子量이 微量이며 全堆砂量에서 본다면 全然 問題가 되지않을 程度의 量이라는 것에서도 推測할 수 있다.

이 模型沈砂池의 沈砂機能을 더 明確히 하기 爲하여 第3回實驗의 堆砂狀態를 調査한後 같은 狀態로 給砂를 繼續하고 堆砂進行狀態를 調査한 結果 段丘의 길이 80cm 에 到達한 以後부터 下流에서 土砂가 流出함으로 이 模型沈砂池의 堆砂機能을 이 以上 더 할 수 없는 것으로 判定하였다.

이 堆砂全量을 計算한 結果는 다음과 같다. 堆砂斷面積 A~A, C~C面積의 各各은

i) $\frac{46 \times 2}{2} = 46$

ii) $20 \times 80 = 1600$

iii) $\left(\frac{3.0 + 0.7}{2}\right) \times 45 = 83.25$

iv) $0.7 \times 200 = 140$

横斷面位置	平均流速 (cm/sec)	最大流速 (cm/sec)	平均流速에 依한 粒徑 (cm)	最大流速에 依한 粒徑 (cm)	第1回實驗의 平均粒徑 (cm)	第2回實驗의 平均粒徑 (cm)	第3回實驗의 平均粒徑 (cm)
1	41.69	—	1.08	—	—	—	—
2	41.04	—	1.26	—	—	—	—
3	38.85	—	1.35	—	—	—	—
4	35.13	—	0.96	—	—	—	—
5	22.80	—	0.13	—	0.033	0.028	0.033
6	33.51	—	0.23	—	0.033	0.028	0.033
7	39.59	—	0.29	—	0.033	0.028	0.033
8	11.96	22.82	0.006	0.13	—	0.020	0.028
9	13.75	23.28	0.009	0.14	—	0.018	0.029
10	13.02	23.28	0.009	0.14	—	0.020	0.028
11	8.38	12.91	0.002	0.009	—	0.017	0.015
12	10.80	15.31	0.004	0.012	—	0.015	0.013
13	9.11	13.70	0.002	0.009	—	0.017	0.015
14	7.93	9.60	0.002	0.004	—	0.013	0.015
15	10.53	13.36	0.004	0.009	—	0.011	0.012
16	9.02	12.57	0.003	0.007	—	0.013	0.015

計 $46 + 1600 + 83.25 + 140 = 1869.25 \text{cm}^2$

堆砂斷面 B~B 의 面積은

i) $74 \times 18 = 1332$

ii) $\left(\frac{1.4 + 0.5}{2}\right) \times 50 = 47.5$

iii) $0.5 \times 200 = 100$

計 $1332 + 47.5 + 100 = 1479.5 \text{cm}^2$

이므로 總 堆砂量은

$(1869.25 + 1869.25 + 1479.5) \times 47.5 = 247,859.75 \text{cm}^3 = 0.25 \text{m}^3$

이다.

5.3.3 相似律에 依한 原沈砂池의 平均流速, 掃流力 及 粒徑

水理實驗을 할때 實際와 模型의 相似關係는 이 에 作用하는 主作用力 如何에 따라 決定되나 主作用力이 純粹할 수 없으므로 여기에 難點이 있다.

本模型試驗에서는 重力이 主作用力이라고 생각되므로 Froude 相似律에 依하여 實測한 平均流速과 流量에 依한 平均流速에서 各各의 掃流力 及 粒徑을 計算하였다. 그 結果는 다음 表와 같으며, 原沈砂池는 0.1mm 程度의 土砂까지 沈澱시키면 充分하므로 計算結果도 沈砂溝內의 粒徑이 大部分 0.1mm 程度이므로 充分히 滿足할 수 있었다.

原沈砂池의 全堆砂을 模型實驗의 堆砂結果로부터 相似法則에 依하여 計算하면 44.86m³이다.

断面 의 位置	實測의 平均流速에 依 한 計算結果			流量의 平均流速에 依 한 計算結果		
	平均流速 V(cm/ sec)	掃流力 U* ² = τ ₀ /ρ	粒徑 d(cm)	平均流速 V(cm/ sec)	掃流力 U* ² = τ ₀ /ρ	粒徑 d(cm)
1	117.92	669.06	8.64	136.13	932.08	11.52
2	116.08	815.07	10.07	120.83	881.05	10.89
3	109.88	875.05	10.81	126.57	162.56	14.37
4	99.36	557.77	6.89	112.40	669.92	8.65
5	64.64	64.43	0.79	103.77	116.15	2.05
6	94.78	139.02	1.71	"	"	"
7	111.98	193.28	2.38	"	"	"
8	33.83	11.78	0.17	27.41	5.89	0.10
9	38.89	13.75	0.19	"	"	"
10	36.83	13.75	0.19	"	"	"
11	23.70	6.10	0.11	25.40	6.10	0.11
12	30.55	8.14	0.13	"	"	"
13	25.77	6.10	0.11	"	"	"
14	22.43	4.17	0.07	24.04	4.17	0.07
15	29.78	8.34	0.13	"	"	"
16	25.51	6.25	0.11	"	"	"

5.4 既存 沈砂池와의 比較

本模型實驗의 結果와 既存沈砂池를 比較檢討하기 爲하여

- a) 神奈川縣 相模川 右岸에 設置한 沈砂池
- b) 栃木縣 渡量瀨川 右岸에 設置한 沈砂池

에 對하여 그 堆砂狀態 及 粒度分布를 調整하였다.

相模川 右岸 沈砂池는 粒徑 0.5mm 程度의 土砂까지 沈殿할 수 있도록 設計한 것이며, 그 全延長 62.95m, 全幅 15.6m, 길이 3.17m이며, 導流壁 及 隔壁에 依하여 三分되어 底勾配는 $\frac{1}{50}$ 各流路는 橫勾配 $\frac{1}{40}$ 의 三角底로 되어 있다.

그 堆砂狀態를 調整한 結果 大部分이 三角底에 堆砂되어 있고 그 粒度分布는 下流에 粒徑이 큰 土砂가 上流에는 粒徑이 작은 土砂가 堆積되어 있었다.

이것은 後述한 바와 같이 用水路에서 沈砂池에 流入하는 擴大部에서 剝離現象이 나타나 亂流가 되어 偏流하고 下流에서 逆流가 생긴 것이 그 原因이라고 思料된다.

다음에 渡良瀨川 右岸 沈砂池는 10連의 沈砂

溝를 가지고 있으며 沈砂溝의 水路幅은 4m, 길이는 70m, 底勾配는 沈砂溝入口로부터 65m까지는 $\frac{1}{65}$, 下流端 5m는 $\frac{1}{10}$ 이고, 鐵筋 concrete 構造로 되어 있다.

이 沈砂池는 用水路에서 沈砂池에 들어가는 擴大部가 逆勾配로 되어 있지 않은 點과 沈砂溝入口의 傾斜角이 90°로 되어 있는 點을 除外하고는 本模型沈砂池와 類似하며 그 堆砂狀態 及 粒度分布도 本模型實驗結果와 類似하다. 그 堆砂狀態를 觀察하면 沈砂池에 流送된 土砂는 沈砂溝全面에 均等히 沈積하지 않고 段丘狀을 形成하고 이 段丘의 下面을 境界로 二個의 沈砂溝入口의 段丘狀의 部分에서는 粒徑이 큰 粒子가 沈積하고 段丘下面을 境界로 그 下流에서는 急激히 細粒子가 堆積하였다. 그러나 堆砂狀態를 精密히 檢討한 結果 本模型實驗結果가 더 正確하게 上流부터 漸次 下流에 粒徑이 큰 것에서 작은 것으로 堆積되어 있었다.

이와같이 既存沈砂池와 比較檢討한 結果 本模型實驗의 堆砂狀態 及 堆砂能力, 그리고 粒度分布가 가장 理想에 가까운 結果를 招來하였다고 斷定할 수 있었다.

本模型實驗結果에 依한 沈砂池는 1962年에 前記 濃美用水 頭首工의 取入水路 附近에 設置完了되었다.

VI. 結 論

本模型實驗 沈砂池의 特徵은 沈砂池入口의 擴大部를 逆勾配로 하여 流體粒子가 剝離現象을 이르지 않고 沈砂溝에 流入하고 流送된 土砂가 沈砂溝에 順位の으로 均等히 堆積하도록 한 것이며 이 逆勾配에 關한 研究結果는 이 論文에서는 紙面關係上 評述하지 못하였다.

本人은 이 沈砂池의 沈砂效果에 關한 研究를 하기 爲하여 처음에 流速과 流量을 測定, 平均流速을 求하고 掃流力과 粒徑을 計算하였다.

다음에 粒徑이 다른 3種類의 土砂를 流送하여 그 堆砂狀態 及 粒徑을 分析하였다.

堆砂狀態는 沈砂溝 全面에 均等하게 沈積하지 않고 段丘狀으로 堆積하고 沈砂溝入口 近傍에서 大部分이 堆積, 이 段丘下面을 境界로 2個의

堆砂面을 形成, 段丘는 時間의 經過에 따라 그 두께를 增大하며 前進하였다. 그리고 段丘의 깊이가 約 80cm 程度에서 下流에 粒徑이 큰 粒子가 流送되었으며, 沈砂機能은 總 堆砂量이 約 $0.25m^3$ 라는 것을 알았다. Froude 相似法則에 依하여 原沈砂池의 總堆砂量을 計算한 結果는 約 $45m^3$ 였다.

다음에 粒度分布를 調查한 結果 沈砂溝入口의 段丘狀의 部分에서는 粒徑이 큰 粒子가 段丘下面을 境界로 그 下面에서는 粒徑이 작은 粒子가 堆積하고 全體 傾向으로는 段丘狀에서는 給砂前의 粒度分布에 近似하고, 段丘의 下流로 갈수록 漸次 작은 粒度分布로 되어 있다.

이것을 平均流速에서 計算으로 求한 粒徑과 比較하면 그 平均粒徑은 3倍로 되어 있으며, 그 값은 相當히 틀려 있었다.

끝으로 既存沈砂池 2個와 比較한 結果 本模型沈砂池가 既存沈砂池에 比하여 더 合理的으로 堆砂되어 있고 粒度分布도 漸次 下流로 갈수록

粒徑이 큰 것에서 작은 것으로 堆積되고 그 機能도 優秀한 것을 알게 되었다. 단지 沈砂池入口 近傍에서 流送土砂가 段丘狀으로 堆積하는 機構 及 平均流速에서 計算한 粒徑이 實際 土砂를 流送할 때 堆積한 粒子의 粒徑보다 작은 點에 關한 問題는 다음 研究에서 明確히 하려고 生覺하고 있다.

參考文獻

- | | |
|------------------------|---------------------|
| 土 質 力 學 | 最上 武雄 著 |
| 應 用 水 理 學 | 石原 藤次郎 共著
本間 仁 著 |
| 水 理 學 | 永井 莊七郎 著 |
| 新 河 川 學 | 野滿 隆治 共著
瀨野 錦藏 著 |
| 技術者のための水理學 | 本間 仁 著 |
| Engineering Hydraulics | Rous, H. 著 |
| 農業土木ハンドブック | 農業土木學會 編 |
| 河 相 論 | 安藝 俊一 著 |
| 河 川 工 學 | 安藝 俊一 著 |
- (筆者 UNKUP)

“原 稿 募 集”

本會에서는 아래와 같은 規定으로 原稿를 募集하오니 公私間 多忙하실줄 思料되오나 本會를 育成하는 뜻에서 많이 投稿하여 주시기 바랍니다.

I. 類別은 技術에 關한 論說, 研究 報告(工事施工 設計 計算) 討議 農業土木隨想, 現場閑談, 技術行政, 技術經營, 技術相談, 等 農業土木技術에 關한 全般임.

II. 原稿는 200字 原稿用紙에 써어 쓰기로 橫 書하고 枚數의 制限은 없으며,

a. 數字는 아라비아 數字를 使用할것.

b. 圖表는 トレ싱 紙一紙에 墨入하고 順序를 必記하여 編輯에 差誤없도록 할것.

c. 記事分類는 로마文字(I, II, III) 알파벳드 文字(a,b,c) 아라비아 數字(1, 2, 3)의 順序로 할것.

d. 表題는 國文과 英文을 併記하고 本文이 國文일 때는 英文의 Summary를, 英文일 때는 國文抄를 必記할것.

III. 會誌에 掲載한 原稿에 限하여 本會所定의 謝禮金을 드리며 一段 提出한 原稿는 一切 返還치 않으며 編輯上 必要에 따라 體裁와 用語의 一部訂正 或은 省略하는 境遇 이를 許容하여 주시기를 바랍니다.

IV. 原稿提出은 隨時