

橋脚에 의한 河床洗掘에 관한 實驗的 研究

A Study on the River-Bed Scouring by the Pier

鄭 俊 錫*
Chong, Joon SuK

林 國 璋**
Lim, Kou Chang

Abstract

Presented is the results of a model study about scouring around a bridge pier. 24 different types of piers were investigated for the depth and width of scouring. The grain size of sand used in the experiment ranges from 0.149 to 2,380mm, The time required to reach the stable bed formation was about 30min, with the range of Froud number from 0.58 to 0.69.

It has been found that the scouring is most severe at the frontal side of the pier and decreases with decreasing a contact angle (between the center line of the pier and tangent to the frontal face). For design purposes, it is recomanded that the contact angle at the frontal face is 25 degrees for a triangular type and 40 degyres for a circular type respectively.

1. 緒 論

1-1 橋脚에 의한 河床洗掘問題의 現況

橋梁을 河川에 架設하면 河川의 狀態가 甚하게 變하게 되므로 橋梁의 架設位置 및 橋脚 橋台等の 配置와 形狀等에 關하여 慎重하게 考慮해야한다.

架設位置로는 河川의 直線部에서 河幅이 그다지 넓지 않은곳이 적당하지만 너무 狹少한 곳은 避해야 한다.⁽⁶⁾

橋脚이나 橋台는 上部構造에 應하여 理論的으로 經濟的인 設計를 할 수 있으나 한편 治水 및 利水等の 水工學的인 制限과 拘束을 받는 경우가 많으며 어느경우든지 河川의 流況을 充分히 考慮하여 스패(Span) 및 보의 下部空間等을 適當하게 定하므로써 洪水流量을 인

활히 流通시킬 수 있고 또 流木等, 河川流下物에 依한 危險이 없도록 해야한다.

河川內에 橋脚, 橋台가 築造되면 流水斷面積이 縮少되므로 流水의 流通이 妨害되며 橋脚前面의 水位가 上昇하여 上流에 堰上背水가 생긴다.⁽⁴⁾

이와같은 流水斷面積의 縮少와 水位의 變動은 流速을 增大시키며 渦流現象을 惹起 시키므로써 橋脚周邊의 河床이 洗掘되어 橋脚의 安定上 重大한 威脅을 받게된다. 橋梁의 上部構造에 關해서는 理論的 實驗的 研究가 거의 完成되어 있어서 어느程度의 確信을 갖으며 理論的인 設計를 하고있는 것으로안다. 그러나 其下部構造 즉 橋脚·橋台도 上部構造 以上으로 重要한 部分임에도 不拘하고 이것에 關한 研究가 完成되어 있지못하므로 確實한 근거에 依하여 設計하는것이 아니고 그저 老練한 技術者의 判斷에 依하고있는 實情이다.

그런데 橋脚前面의 水位上昇 또는 洪水流量의 流通等에 關해서는 相當히 많이 研究되었으나 橋脚周邊河

* 本會理事·漢陽大工大教授

** 本會正會員·漢大大學院(中國人)

床의 洗掘에 關해서는 그 機構가 너무 複雜하여서 理論의 解決이 困難함은 勿論이려니와 質地에 對한 正確한 觀測도 용이하지 않다.

이와같은 洗掘問題에 關해서는 Durand-Claye(1875)의 實驗的研究를 始初로하여 Engels, Rehbock, Schwarz, Keutner 等의 實驗的 研究가 있었으나 거의 實用性이 없었고 石原 및 Tison의 實驗研究에 依하여 어느정도 의 定性的資料를 얻을 수 있게 되었다.

1-2 本 研究의 目的

앞에서 말한바와 같이 河床의 洗掘機構는 너무 複雜하므로 數學的인 理論을 主로하는 流體力學的인 立場에서 論하기는 거의 不可能하며 設或 어떤 結論을 얻었다하더라도 그 結論은 實際와 合致되지 않을 것이니 따라서 이것을 다시 實驗하여 理論과 實驗과의 相違點을 파악하여 이것에 적절한 補正을 加하여 實用的 가치있는 것으로 만들어야 할 것이다.

그러므로 著者는 模型實驗에 依하여 橋脚周邊河床의 洗掘狀況을 研究하기로 하였다.

Laursen 氏⁽¹¹⁾에 依하던 橋脚周邊에서의 洗掘作用은 橋脚前頭部 附近에서 가장 旺盛하며 그 前頭部附近의 洗掘은 前頭部의 形狀에 支配된다고 하였다.

그래서 本 研究에서는 여러가지 形狀의 橋脚模型을 製作하여 實驗하기로 하였다.

2. 掃流力 理論

2-1 流水의 掃流作用

河床의 土砂礫은 水流의 流速이 작을 때는 움직이지 않으나 流速이 漸次로 커지면 어느한계에서는 움직이기 始作한다. 처음에는 河床面의 粒子의 形狀에 따라서 圓形인 것은 轉動하고 扁平한 것은 滑動하면서 移動한다. 土砂礫의 粒子가 極히 작으면 河床에 砂漣을 그리면서 移動하고 流速이 더욱커지면 작은粒子는 流水中에 떠서 흐르고 큰粒子는 河床을 굴러서 移動한다. ⁽⁹⁾⁽⁵⁾

이와같이 河床의 砂礫을 움직이는 流水의 힘을 掃流力이라한다. 掃流力은 水深, 傾斜의 함수이다. 流水의 掃流力이 土砂礫의 抵抗力보다 커지면 砂礫은 움직이기 始作하여 河床의 洗掘이 始作된다.

2-2 河床에서의 掃流力

一般的으로 河床에는 土砂礫의 粒子가 前後左右로 散佈하게 깔려있다. 지금 流水中에서 그림과같은 a, b, c,

d를 取하여 單位幅當의 흐름에 對해서 생각하면 이部分의 河床 b, c에 作用하는 流水의 掃流力 F는 이部分의 물의 重量을 W라 할때

$$F = W \sin \theta = W_0 \cdot h \cdot \sin \theta = W_0 \cdot h \cdot I \dots\dots\dots(1)$$

여기서 W_0 : 물의 單位重量(kg/m³)

h : 水深(m)

I : 水面傾斜

掃流力에 對한 河床의 抵抗力 R은

$$R = f(W_s - W_0)(1 - \lambda) \cdot 1 \cdot d$$

$$= f(W_s - W_0)(1 - \lambda)d \dots\dots\dots(2)$$

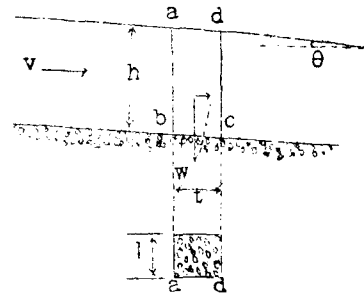


Fig. 1. Flowing condition

여기서

f : 河床의 摩擦抵抗係數

W_s : 土砂礫의 單位重量

d : 土砂礫의 粒徑

λ : 土砂礫의 間隙率

河床의 土砂礫의 粒子가 움직이지 않으려면

$$R \geq F$$

$$\therefore f(W_s - W_0)(1 - \lambda) d \geq W_0 \cdot h \cdot I$$

$$\therefore d \geq \frac{W_0 \cdot h \cdot I}{f(W_s - W_0)(1 - \lambda)} \dots\dots\dots(3)$$

式(3)에 依하여 움직이지 않을 河床의 砂礫粒子의 直徑을 求할 수 있다. ⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾ 그런데 式(3)은 河床에 있는 土砂礫粒子의 直徑이 均等하다고 假定하고 그들 粒子의 直徑을 d 로 表示한것인데, 實際의 河床土砂礫은 大小의 粒子가 混合되있으며, 또 그리고 河床의 摩擦係數 f 는 河床粒子의 配列, 形狀, 大小粒子의 混合狀態等에 따라 相異하므로 河床에서의 抵抗力 R 은 式(3)과 같이 간단히 表示할 수는 없다.

河床에 作用하는 流水의 掃流力은 물의 粘性때문에 흐름方向으로 作用하는 剪斷力이며 이 剪斷力이 河床面의 抵抗力보다 커지면 河床面의 粒子는 移動하기 始作한다. 이때의 掃流力을 限界掃流力이라 부른다.

여러學者들의 實驗結果에 依하면 水面傾斜 $I=1/400 \sim 1/3000$ 의 範圍에 있어서는 河床面을 構成하는 土砂

礫이 一定하면 거의 一定한 限界掃流力이 存在한다고 한다. (2)(15)

2-3 限界 掃流力 公式

限界掃流力에 關해서는 여러사람들에 依하여 研究되었다. 이들의 研究方法을 다음과같이 大別할 수 있다.

그중 하나는 限界掃流力을 流體力學의으로 究明하려고하는 것이고 다른하나는 水深, 傾斜, 砂礫의 性質等의 함수로써 表示하고 係數를 實驗的으로 決定하려고하는 것이다. 前者는 問題의 核心을 究明하려고하는 方法이며 正統的인 研究方法이지만 그解明이 大端히 어렵고 實用에 適合치 않은것이 많다. 後者는 實驗公式을 유도하려고하는 方法이며 實用에 便利하다.

여기서는 後者의 方法에 依하여 求한 實驗公式中 比較的 實際와 잘 一致하는 몇가지 公式에 對해서만 說明하기로한다.

1. Kramer의 實驗公式

Kramer(美 1934)는 短形實驗水路(길이 14.0m, 나비 89.7cm 길이 30cm)에 混合砂礫을 河床材料로 하여 實驗하였으며 이 實驗値와 歐美各國의 諸權威者의 實驗値의 資料로써서 다음式을 求하였다. (7)

$$F_0 = \frac{100}{c} \cdot \frac{(W_s - W_0)d_m}{M} \dots\dots\dots(4)$$

여기서 F_0 ; 限界掃流力(gr/m^2)
 d_m ; 平均粒徑 (mm) (P-11 參照)
 M ; A_A/A_S (P-11 參照)

W_0, W_s ; 물, 모래의 比重量(g/m^3)

이 實驗에서는 河床의 傾斜를 一定하게하고 定流가 되도록 하면서 漸漸 流量을 增大시키갈때 河床의 土砂礫이 局部的이 아니고 總體的인 移動을 시작하며, 若干의 砂漣이 發生했을때를 河床安定의 限界로하고, 이때의 水深 및 傾斜로부터 F_0 의 값을 求한것이다.

2. Indri의 實驗公式

Indri(伊 1936)는 各種의 모래에 關해서 상세한 實驗을 하고 또 다른 權威者들의 結果도 參照하여 式(4)를 다음과 같이 고쳐서 表示하였다. (12)

$$\left. \begin{aligned} d_m < 1mm \text{ 일때 } F_0 &= 13.3 d_m \frac{W_s - W_0}{M} + 12.16 \\ d_m > 1mm \text{ 일때 } F_0 &= 54.85 d_m \frac{W_s - W_0}{M} - 78.48 \end{aligned} \right\} (5)$$

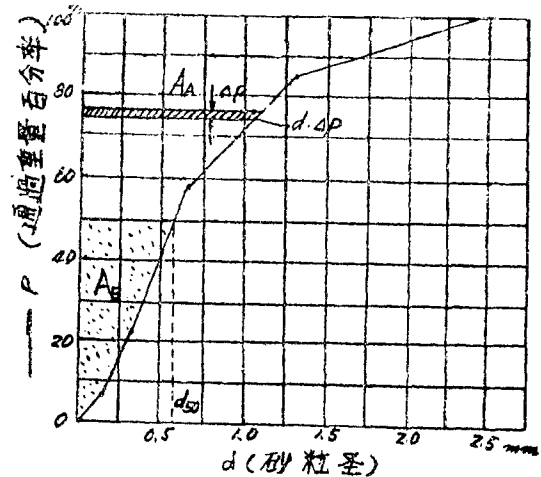
以上 說明한 두 公式은 公式中에 包含되어있는 個個의 要素를 確實하고도 容易하게 測定할 수 있으며, 公式도 簡便하므로 다른 公式에 比較하면 實用的面에서 信賴할 수 있는것이라고 생각한다.

3. Krey의 實驗公式(1935 獨)

$$d = \xi \frac{W_c}{(W - W_0)} HI, \quad \text{但 } \xi = \frac{3}{2f} \dots\dots\dots(6)$$

여기서 W ; 모래의 比重量
 W_0 ; 물의 比重量
 f ; 마찰 係數
 H ; 水深(m)
 I ; 水面傾斜

이 公式에서는 砂礫을 粒徑이 d 인 球라 假定하였다. 粒徑이 相異なる 砂礫으로된 河床에 對해서는 다음과같이 砂礫의 체가름 試驗을 하여 平均粒徑 d_m 과 $d_{50}(p=50\%$ 에 相當하는 粒徑)을 求하고 이것의 平均値를 d 로 取한다.



$$\begin{aligned} A_A &= \sum_{p=50}^{100} d \cdot \Delta p & A_B &= \sum_{p=0}^{50} d \cdot \Delta p \\ A &= A_A + A_B & p &= \sum_{p=0}^{100} \Delta p \\ d_m &= A/p & M &= \frac{A_A}{A_A} \end{aligned}$$

Fig. 2. Sieve analysis.

3. 實 驗

3-1 模 型

橋脚의 形狀으로는 實際로 흔히 使用되고 있는 橋脚前後頭部形狀(그림 3)을 擇하였으며 이 橋脚前後頭部의 模型과 中空矩形函(길이 $l=30cm$, 나비 $2d=16cm$, 높이 $H=50cm$)을 木材로 製作하였다. 즉 이 矩形函에 表-1과 같은 橋脚前後頭部 模型을 붙여서 水路에 設置하고 矩形函속에 모래를 채워서 물이 흐를때 模型의 동요를 防止 하도록 하였다. 本實驗에서 使用한 모래의 粒度分布는 表-2와 같다.

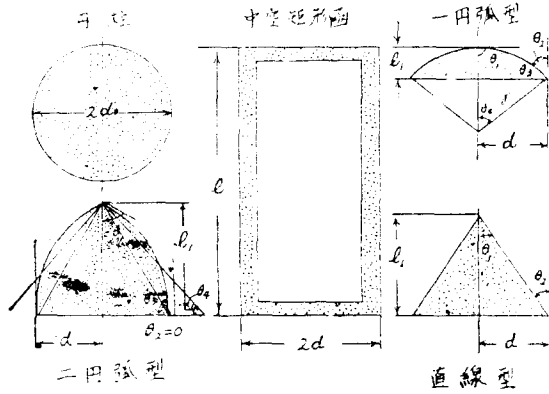


Fig. 3. Pier model.

Table 1. The view of the pier front head & dimension

模型形式	模型番號	d	l ₁	l ₁ /d	r	θ ₁	θ ₂	θ ₃	θ ₄	斷面積
直線型	1	80cm	2.0cm	0.25	//	75°-57'	75°-57'	14°-03'	//	
"	2	"	4.0	0.50	"	63-26	63-26	26-34	"	
"	3	"	6.0	0.75	"	53-07	53-07	36-53	"	
"	4	"	8.0	1.00	"	45-00	45-00	45-00	"	
"	5	"	10.0	1.25	"	38-40	38-40	51-20	"	
"	6	"	12.0	1.50	"	33-42	33-42	56-18	"	
"	7	"	14.0	1.75	"	29-42	29-43	60-17	"	
"	8	"	16.0	2.00	"	26-34	26-34	63-26	"	
"	9	"	18.0	2.25	"	23-56	23-56	66-04	"	
"	10	"	20.0	2.50	"	21-39	21-39	68-21	"	
"	11	"	22.0	2.75	"	20-00	20-00	70-00	"	
"	12	"	24.0	3.00	"	18-25	18-25	71-35	"	
一圓弧型	13	"	2.0	0.25	17.00	90-00	61-57	28-03	28-03	
"	14	"	4.0	0.50	10.00	90-00	36-03	53-07	53-07	
"	15	"	6.0	0.75	8.30	90-00	21-58	68-02	68-02	
"	16	"	8.0	1.00	8.00	90-00	00-00	90-00	90-00	
二圓弧型	17	"	10.0	1.25	10.25	77-26	00-00	90-00	77-26	
"	18	"	12.0	1.50	13.00	67-22	00-00	90-00	67-22	
"	19	"	14.0	1.75	16.25	59-32	00-00	90-00	59-32	
"	20	"	16.0	2.00	20.00	53-08	00-00	90-00	53-08	
"	21	"	18.0	2.25	24.25	48-00	00-00	90-00	48-00	
"	22	"	20.0	2.50	29.00	43-33	00-00	90-00	43-33	
"	23	"	22.0	2.75	34.25	40-00	00-00	90-00	40-00	
"	24	"	24.0	3.00	40.00	36-53	00-00	90-00	36-53	

Table 2. Analysis of sieve number

체番號	粒徑	체 통과중량 백분율
No. 8	2.38mm	100.00%
No. 16	1.19	85.30
No. 30	0.59	59.20
No. 50	0.297	23.15
No. 100	0.149	4.75

모래의比重 2.6

3-2 豫備實驗

模型水路에 모래를 大略 15 cm 두께 前後가되게 깔면

그리고 脚橋의 길이에 의한 영향을 調査하기 爲하여 中空短形函의 길이 l=10, 20, 40, 50, 60cm 인것도 製作하였으니 우리나라에서도 많이 採用되고있는 多柱式橋脚에 對한 洗掘狀態를 調査하기 爲하여 直徑 16 cm 높이 50 cm 인 圓柱橋脚模型 2 개도 製作하였다.

實際에 있어서는 橋脚의 構造學的 및 美學的인 見地에서 橋脚下部에서 上部로 向하여 橋脚의 水平斷面을 漸減시키는 方法이 많으며(10) 河床洗掘을 減少시키는 方法으로도 前頭部尖端의 線을 鉛直으로 하지 않고 1:2.5 程度로 傾斜시키는 것이 有利한것으로 알고있으나 本實驗에서는 橋脚周邊의 洗掘狀況의 比較를 容易하게 하기 爲하여 橋脚의 上下部 水平斷面을 一定하게 製作하였다.

서 水路 上流側은 두껍게 퍼고 水路 下流側은 얇게 퍼서 水路 上의 傾斜가 大略所定의 傾斜(1/700)가 되도록 한다 음 通水시켜 水路바닥을 다진 다음 水路 上의 勾配를 다시 量해서 所定 傾斜가 되도록 하여 實驗을 始作하였다.

通水後의 洗掘深을 測定할 때는 砂層의 含水率의 變化에 依한 影響을 可及的 避하기 爲하여 通水가 끝나 는 即時로 測定하였다.

本實驗에 使用한 河床材料(모래)의 限界掃流力은 Indri 公式로 計算하면 64.91g/m² 이고, Kramer 公式로 計算하면 66.10g/m² 이다.

이 掃流力을 實驗으로 確認해보기 爲하여 먼저 河床 傾斜을 1/700로 하고 橋脚을 세우지 않고 通水시키면서 水位計에 依하여 水面勾配를 읽고 이 水面傾斜가 河床 傾斜와 一致하도록 水路下流端의 水深調節水門을 調節하여 定流狀態가 되도록 하였다. 以上과 같은 要領下에서 流量을 漸增시킬때, 河床砂粒이 局部的이 아니고 總體的으로 移動하기 시작하여 砂漣이 생기기 시작할때를 河床安定의 限界로 간주하고⁽⁵⁾ 이때의 流量 및 水深 表面流速 등을 測定해 두고 또 水路下端의 水深調節水門의 開放度도 記錄해 두었다.

以上과 같은 實驗을 3回 反復한 結果는 다음과 같다
 즉 限界流況일때의 水深은 各各 4.60, 4.62, 4.64cm
 였으므로 平均水深은 4.62cm, 따라서 限界掃流力 F_0 는
 $F_0=10^6 \times 0.0462 \times 1/700=66.0 \text{ gr/m}^2$ 로 되었다.

다음에 河床傾斜을 1/500로 하고, 위에서와 같은 方法으로 實驗한 結果 水深은 各各 3.26, 3.28, 3.30 cm로 되었으므로 平均水深은 3.28 cm로 되었다. 그러므로 限界掃流力은 $F_0=10^6 \times 0.0328 \times 1/500=65.60 \text{ gr/m}^2$ 로 되었다. 위에서 얻은 2個의 값은 若干의 差異는 있으나 本實驗에 있어서는 限界流況에 이르렀을 瞬間의 判斷이 正確하지 못하였으므로 생긴 誤差라고 認定할 수 있을 것이다. 따라서 一般的으로 河床傾斜가 1/400 ~ 1/3000 이고 河床構成材料가 一定할때는 掃流力 F_0 가 一定하다는 定設을 確認한셈이다. 그리고 이 F_0 의 값은 Kramer의 實驗公式에 依하여 計算된 값과 거의 같다.

以上の 結果에 依하여 本實驗水路의 限界掃流力을 $F_0=66 \text{ gr/m}^2$ 로 取하기로 하였으며 이때의 流況은 表-3과 같다. 表-3에서 I, H, B, Q 는 實測에 依한 값이고 其他는 計算에 依한 값이다.

Table 3. Critical flow condition

種	別	(A)	(B)
限界掃流力 F_0	gr/m ²	66.00	66.00
水面傾斜=河床傾斜 I		1/500	1/700
水深	H m	0.0328	0.0462
水路幅	B m	1.50	1.50
流水斷面積 $A=BH$	m ²	0.0492	0.0693
流量	Qm ³ /sec	0.0183	0.0270
平均流速 $V=\frac{Q}{A}$	m/sec	0.391	0.390
Froud Number $F_r=\frac{V}{\sqrt{gh}}$		0.690	0.580

3-3 本 實 驗

1. 橋脚前頭部の 영향을 調査하기 爲하여 實驗 II, III(表-4 參照)을 行하였다. $l=30 \text{ cm}$ 인 短形函의 前後에 前後頭部를 붙인 橋脚模型을 水路中心에서 流心에

平行하게 設置하고 短形函에는 모래를 가득히 넣어서 물이 흐를때 模型이 동요하지 않도록 하였고 豫備實驗에서 施行한 方法으로 水路바닥이 所定의 傾斜가 되도록 만들고 橋脚의 影響이 없는 곳에서는 表-3의 流況을 維持시키기 爲하여 豫備實驗에서 30分間 通水시킨 後 河床의 高低를 水面測定器로 測定하였다.

2. 橋脚後頭部の 影響을 調査하기 爲하여 $l=30 \text{ cm}$ 인 短形函에 前後頭部模型을 붙이고 實驗하였다.(實驗-N)

3. 最近高速道路가 많이 생기고 國道 및 地方道도 그 幅이 漸漸 넓어져가고 있다. 그러므로 橋脚의 길이와 河床洗掘에 어떠한 影響을 주는가를 調査하기 爲하여 橋脚의 腹部두께($2d=16 \text{ cm}$)를 一定하게 하고, 橋脚의 長이를 $l=10, 20, 30, 40, 50, 60 \text{ cm}$ 인 6種으로 하였으며, 橋脚의 前後頭部模型으로는 模型番號 16을 붙이고 實驗하였다(實驗-V).

Table 4. Classification of experimentation

實 驗 目 的	實驗前頭部形狀番號(模型番號)	後頭部形狀(模形番號)	橋脚의 길이 (l)	限界 流況	通水 時間
掃流時間의 影響	I	16	16	30cm	A 30分
橋脚前頭部形狀의 影響	II	1~12	16	"	"
"	III	13~24	16	"	"
橋脚後頭部形狀의 影響	IV	4	2, 4, 16, 20	"	"
橋脚長의 影響	V	16	2, 4, 16, 20	"	"
			16	"	"

4. 實 驗 結 果 및 考 察

4-1 橋脚前頭部形狀의 影響(實驗-II, III)

本實驗에서는 橋脚模型을 流水方向에 平行하게 水路中心線에 設置하였으므로 河床의 洗掘 및 推積은 그림-4과 같이 左右對稱으로 되었고, 最大洗掘은 前頭部壁面에 沿해서 생겼으며 洗掘深 h_4, h_5, h_{max} 및 洗掘幅 b_1, b_2, b_3 는 表-5와 같다.

前頭部附近에서의 洗掘深과 洗掘幅은 接角值 $2\theta_1$ 에 依하여 크게 變化하는데 이 關係를 그림-5, 6에 圖示하였다.

前頭部에서 側壁部로 移行하는 點(5)에서 前頭部에 接하는 接線과 流心方向線과 이루는 角을 θ_2 라고 하고, θ_2 와 洗掘深, 洗掘幅의 關係를 그림-7, 8에 圖示하였다. 그림-7, 8로부터 前頭部에서 橋脚側壁으로 移行하는 點(5)을 圓滑하게 하면 流況을 攪亂시키지 않으므로 洗掘對策上 有利함을 알 수 있다.

前頭部の 길이 l_1 과 橋脚幅의 $\frac{1}{2}$ 인 d 와의 比, 즉

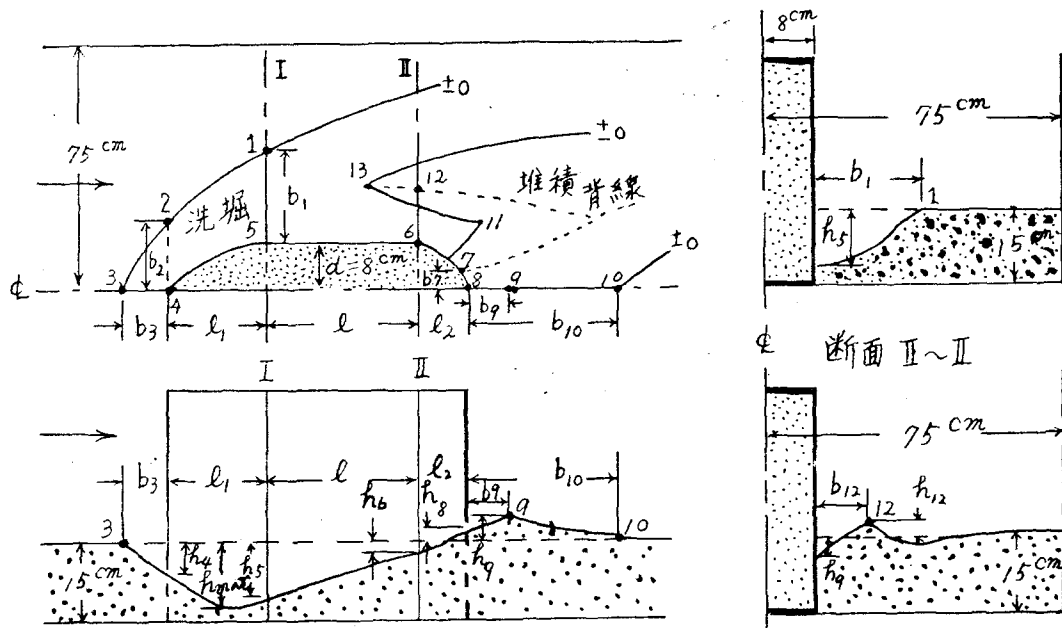


Fig. 4. A model symbol drawing.

Table 5. Experimentation on a effect of the front head types (Exp-II·III)

前頭部 模型番號	後頭部 模型番號	θ_1	θ_2	l_1/d	$b_1(\text{cm})$	$b_2(\text{cm})$	$b_3(\text{cm})$	$h_4(\text{cm})$	$h_5(\text{cm})$	$h_{\text{max}}(\text{cm})$	備 考
1	16	75°-57'	75°-51'	0.25	20.3	27.1	20.0	10.4	10.2	10.6	橋脚의 길이 $l=30\text{cm}$
2	"	63-26	63-26	0.50	19.8	26.0	18.3	10.1	9.9	10.3	
3	"	53-07	53-07	0.75	19.3	24.5	16.2	8.8	9.5	9.7	
4	"	45-00	45-00	1.00	18.5	22.3	12.6	7.8	9.0	9.2	
5	"	38-40	38-40	1.25	16.9	20.0	9.7	6.8	8.5	8.6	
6	"	33-42	33-42	1.50	15.4	17.0	6.8	4.9	7.9	8.0	
7	"	29-43	29-43	1.75	14.6	1.0	4.7	3.1	7.6	7.7	
8	"	26-84	26-34	2.00	13.6	9.6	4.0	2.8	7.3	7.5	
9	"	23-56	23-56	2.25	12.5	6.0	3.4	2.2	6.9	6.9	
10	"	21-39	21-39	2.50	11.6	4.9	3.0	1.9	6.6	6.6	
11	"	20-00	20-00	2.75	11.0	3.9	2.7	1.8	6.3	6.3	
12	"	18-25	18-25	3.00	10.8	3.2	2.6	1.6	6.2	6.2	
13	"	90-00	61-57	0.25	19.4	26.3	22.1	10.9	10.4	10.9	
14	"	90-00	36-03	0.50	19.2	25.7	21.0	10.7	10.0	10.7	
15	"	90-00	21-58	0.75	19.1	25.1	20.0	10.5	9.7	10.5	
16	"	90-00	0	1.00	18.2	24.6	17.7	10.5	8.5	10.5	
17	"	77-26	0	1.25	18.1	23.2	16.2	10.3	8.3	10.3	
18	"	67-22	0	1.50	17.7	21.1	14.9	9.8	8.2	9.8	
19	"	59-32	0	1.75	17.1	20.1	13.6	9.3	8.1	9.3	
20	"	53-08	0	2.00	16.3	19.5	12.3	8.4	7.8	9.1	
21	"	48-00	0	2.25	15.7	17.4	11.1	6.7	7.3	7.8	
22	"	43-33	0	2.50	15.0	16.4	10.2	6.0	6.6	7.1	
23	"	40-00	0	2.75	14.7	15.8	9.6	5.6	5.8	6.7	
24	"	36-53	0	3.00	14.3	14.6	8.1	5.2	5.4	6.2	

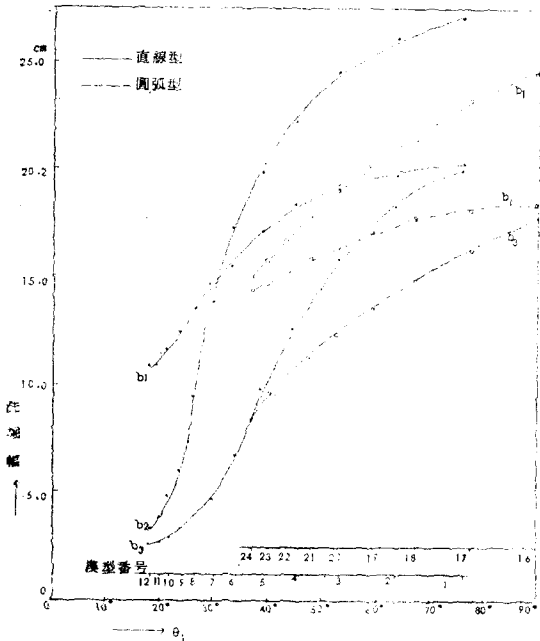


Fig. 5. The relation of a θ_1 to the scouring width.

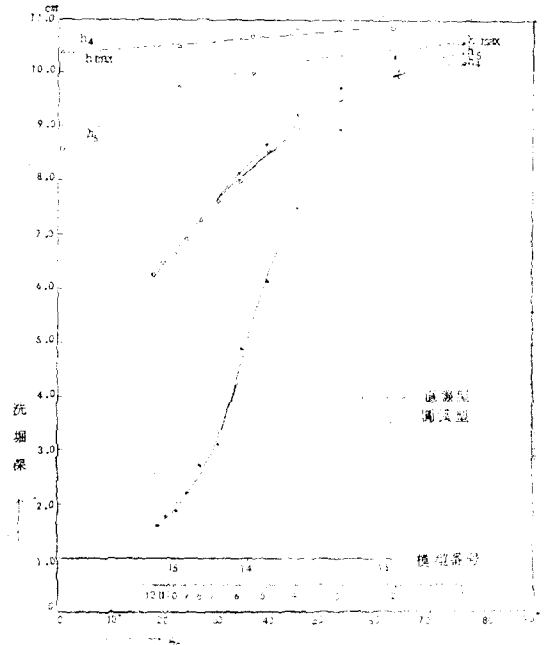


Fig. 7. The relation of a θ_2 to the scouring depth.

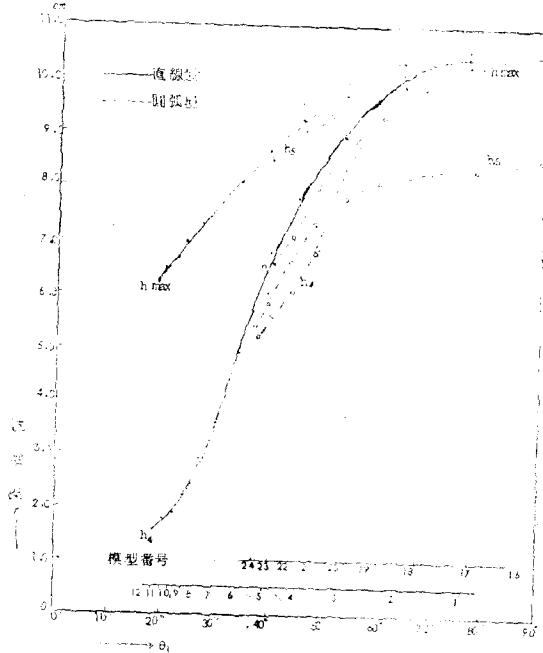


Fig. 6. The relation of a θ_1 to the scouring depth.

l_1/d 과 洗掘深 및 洗掘幅과의 關係를 그림--9, 10 에 圖示하였으며, 이 그림으로부터 l_1/d 을 크게 하면 洗掘對策上 有利하다는 것을 알 수 있으나 l_1/d 을 너무 크게 하면 構造上으로나 施工上으로 困難이 있으며 또 前頭部의 容積이 增大하여 工費가 많아지므로 無制限 크게 할 수는 없다. 그림 5-10로부터 特히 注目되는 性質을 要

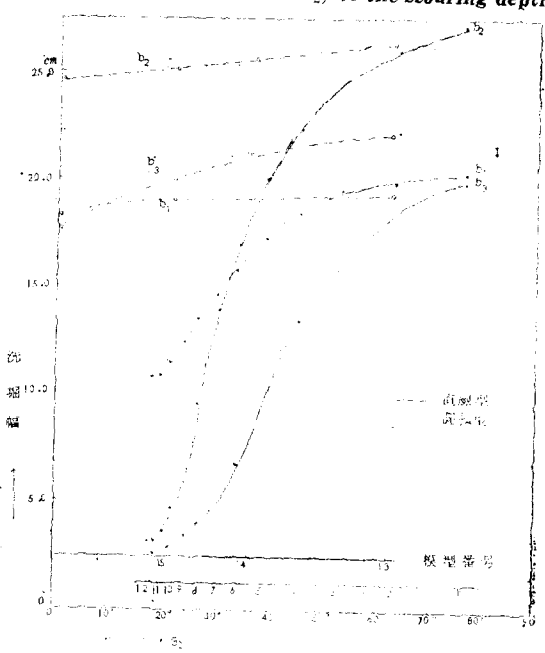


Fig. 8. The relation of a θ_2 to the scouring width.

約하면 다음과 같다.

1. 圓弧型 前頭部인 경우는 그림-6에 依하면 h_4 는 $\theta_1=60^\circ$ 以下 h_5 는 $\theta_2=50^\circ$ 以下가 되면 急激히 減少하여 $\theta_1=50^\circ$ 를 境界로 하여 θ_1 이 이것보다 커지면 $h_4 > h_5$, θ_1 이 이것보다 작아지면 $h_4 < h_5$ 의 關係가 있다.

最大洗掘深 h_{max} 는 前頭部側面에서 생기며 θ_1 이 작

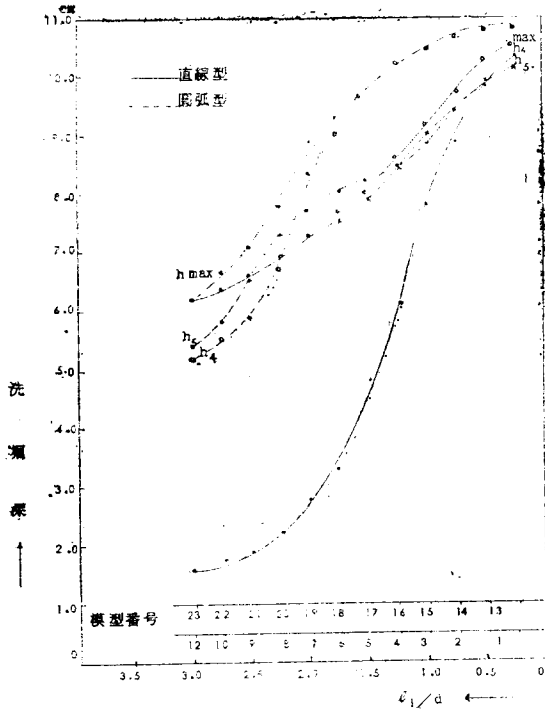


Fig. 9. The relation of L_1/d , to the scouring depth.

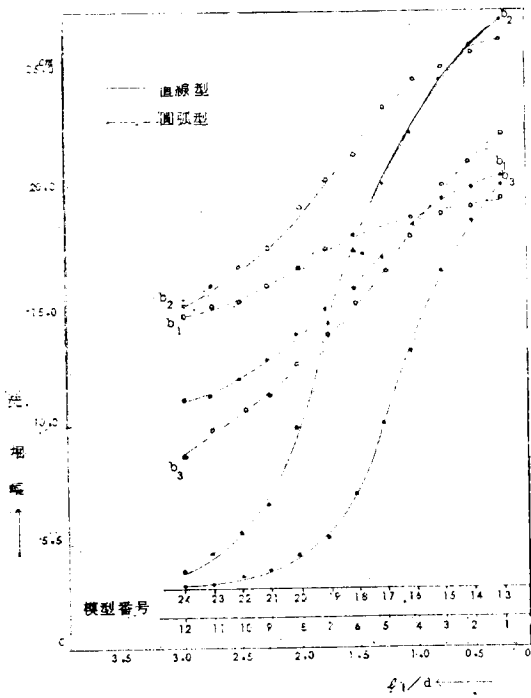


Fig. 10. The relation of L_1/d , to the scouring width.

올 때는 點(5) 가까이에서, θ_1 이 커지면 漸次로 尖端點(4)에 가까워지며 $\theta_1=60^\circ$ 일때 $h_4=h_{max}$ 로 된다. 즉 $\theta_1=60^\circ$ 以上이 되면 橋脚尖端點(4)에서 가장깊이 洗掘深을 알수있다.

直線型前頭部인 경우는 그림-6에 依하면 $\theta_1=60^\circ$ 를 境界로하여 h_4 와 h_5 의 大小關係가 逆으로 變하며 h_{max} 는 $\theta_1=30^\circ$ 까지는 거의 h_5 와 같고 그이상이되면 $h_5=h_{max}$ 이 된다.

一般的으로 θ_1 의 값이 같을때는 直線型頭部의 경우는 圓弧型頭部인 경우보다 h_4, h_5 의 값이 相當히 커지며 特히 直線型 頭部인 경우는 θ_1 을 各계해도 h_5 가 그다지 減少되지 않는것이 큰 結論이다. 그러나 그림-9에 依하면 L_1/d 의 값이 같을때는 直線型頭部와 圓弧型頭部에 있어서 h_5 의 값은 거의 같고 h_4 의 값은 直線型頭部인 경우가 작아진다.

2. 前頭部弧端(4)點에 있어서의 洗掘深 b_2, b_3 ,는 θ_1 의 影響을 많이 받으며, θ_1 이 작을수록 b_2, b_3 ,도 減少한다. 特히 直線型頭部인 경우는 $\theta_1=50^\circ$ 以下가 되면 b_2, b_3 의 減少比率이 急激해지며, $\theta_1=25^\circ$ 以下가 되면 減少比率이 緩慢해진다. 一般的으로 θ_1 의 값이 同一할때는 圓弧型인 경우가 直線型인 경우보다 b_2, b_3 의 값이 커진다. 그림-6에 依하면 b_1 의 값은 θ_1 의 影響을 그다지 받지 않으며 圓弧型인 경우는 $\theta_1=60^\circ$ 以上, 直線型일때는 $\theta_1=50^\circ$ 以上이 되면 거의 變化하지 않는다. 一般的으로 移行點(4)을 圓滑하게 만들면 b_1 의 값이 相當히 減少될것으로 想像되지만, 그림-8에 依하면 直線型에 있어서는 $\theta_2=45^\circ$ 以下인 경우에 相當히 效果가 크고 圓弧型에 있어서는 θ_2 의 값에 關係없음을 알 수 있다. 또 그림-10에 依하면 b_1 의 값은 $L_1/d=2.5$ 以上이 되면 거의 變化하지 않는다.

3. 橋脚後頭部에 생기는 推積은 橋脚中心線上的 推積高가 그左右兩側의 推積高보다 낮았고, 大略 다음과 같으며 橋脚의 案定에 對해서는 거의 影響이 없는 것으로 생각된다.

$$h_9=2.2\sim 3.8\text{cm} \quad b_{10}=82\sim 115\text{cm}$$

$$h_8=2.0\sim 3.0\text{cm} \quad b_{17}=17\sim 22\text{cm}$$

以上の 關係는 橋脚의 形狀을 選定하거나 洗掘에 對한 防護工을 施行하려 할때 그 範圍를 決定하는데 參考가 될것으로 생각한다.

4-2 橋脚後頭部 形狀의 影響(實驗-N)

實驗-N의 結果는 表-6과 같다. 이 表에서 알수 있는 바와 같이 橋脚後頭部의 形狀은 前頭部附近的 洗掘과는 아무關係도 없음을 알 수 있다. 즉 後頭部形狀은 橋脚의 案定과는 關係가 없다. 그러므로 橋脚周

Table 6. Experimentation on a influence of the rear head types (Exp-N)

前頭部 模型番 號	後頭部 模型番 號	b_1 (cm)	b_2 (cm)	b_3 (cm)	h_4 (cm)	h_5 (cm)	h_{max} (cm)	橋脚 길이 (l)
4	2	18.8	22.4	12.6	7.8	7.9	9.5	30(cm)
〃	4	18.7	22.3	12.7	7.8	7.8	9.4	〃
〃	16	18.6	22.3	12.6	7.7	7.9	9.3	〃
〃	20	18.5	22.2	12.6	7.8	7.8	9.4	〃
16	2	18.1	24.4	18.0	10.5	8.3	10.3	〃
〃	4	18.3	24.5	18.2	10.6	8.4	10.4	〃
〃	16	18.2	24.5	18.1	10.5	8.2	10.3	〃
〃	20	18.2	24.6	18.4	10.4	8.3	10.4	〃

邊의 防護工을 前後頭部に 똑같은 比重으로 施行하는 從來의 施工方法은 是正되어야 한다고 생각한다.

4-3 橋脚의 길이의 影響(實驗-V)

實驗-V의 結果는 表-7, 그림-11 과 같으며, 特히 注目되는 點들은 다음과 같다.

Table 7. Experimentation on a effect of the pier length (Exp-V)

前頭部 模型番 號	後頭部 模型番 號	橋脚 길이 (l)	b_1 (cm)	b_2 (cm)	b_3 (cm)	h_4 (cm)	h_5 (cm)	h_6 (cm)
16	16	0	17.2	24.0	18.4	11.5	9.6	9.5
〃	〃	11	16.6	23.7	18.3	11.1	9.5	6.1
〃	〃	20	17.0	23.1	18.5	11.2	9.5	4.7
〃	〃	30	17.6	24.1	18.0	11.2	9.6	2.7
〃	〃	40	17.8	23.9	18.1	11.0	9.7	0.5
〃	〃	50	18.0	23.7	17.9	11.1	9.4	-0.2
〃	〃	60	18.3	24.0	18.1	11.1	9.5	-0.4

1. 그림-11에 依하던 前頭部의 尖端(4) 및 移行點(5)에 있어서의 洗掘深 h_4, h_5 는 橋脚의 길이 l 에는

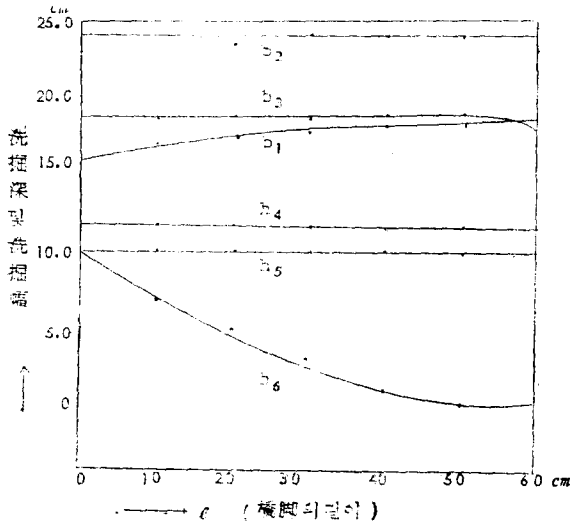


Fig. 11. Therelation of l, to the scouring

거의 關係가 없다. 그러나 이것에 反해서 橋脚側壁에서 後頭部로의 移行點(6)에 있어서의 洗掘深 h_6 은 l의 增大에 따라 急減少되며, $l/d=6$ 以上이 되던 反對로 堆積이 생기게 된다. 이것은 l/d가 작을때는 前頭部に 依한 影響을 直接받으나, l/d가 增大함에 따라 橋脚側壁에 생기는 鉛直軸渦 때문에 前頭部에서 洗掘된 土砂가 漸次로 推積되기 때문이라고 생각된다.

2. 前頭部尖端(4)點에 있어서의 洗掘幅 b_2, b_3 는 橋脚의 길이 l 에는 전혀 關係가 없다.

3. 前頭部에서 橋脚側壁으로 移行하는 點(5)에 있어서의 洗掘幅 b_1 은 l의 增大에 따라 若干增大한다.

4. 後頭部附近에서 생기는 堆積의 模樣은 l의 增大에 따라 增減되지만 橋脚의 安全에는 아무런 關係도 없다.

以上을 要約하면 橋脚의 安定을 左右하는 前頭部附近의 洗掘에 對해서는 橋脚의 길이와는 아무런 關係가 없다고 생각된다.

5. 結 論

1) 橋脚前頭部に 있어서의 洗掘이 가장 甚하며 이 洗掘量은 橋脚前頭部의 形狀에 따라 差異가 생기고 前頭部의 接角值 $2\theta_1$ 이 작을수록 洗掘量이 작아진다. 그러나 $2\theta_1$ 의 값을 너무 작게 하면 流木 其他 河川流下物의 衝突에 依하여 損傷될 念慮가 있다. 石原⁽⁶⁾氏는 直線型前頭部인 경우는 $\theta_1=30^\circ$, 二圓弧型인 경우는 $\theta_1=45^\circ$ 程度로 하는 것이 좋을 것이라고 말하고 있으나 本實驗結果에 依하여 檢討해보면 直線型前頭部인 경우는 $\theta_1=25^\circ$, 二圓弧型前頭部인 경우는 $\theta_1=40^\circ$ 程度로 하는 것이 좋을 것으로 생각한다.

特히 直線型前頭部인 경우는 橋脚前頭部에서 橋脚腹部로 移行하는 點(5)에서의 洗掘이 甚하므로 이 移行點을 圓滑하게 할 必要가 있다.

2) 橋脚後頭部의 形狀은 橋脚의 安定度를 左右하는 前頭部의 洗掘에는 影響을 주지 않으며 半圓型으로써도 좋으나 橋脚의 背水高와 橋脚에 주는 動水壓을 줄이기 爲해서는 後頭部接角值도 작게 하는 것이 좋을 것으로 생각한다.

3) 橋脚의 腹部길이 변화도 橋脚前頭部 洗掘深은 變하지 않았다.

4) 洗掘은 短時間內에 進行되며 掃流時間의 增大에 依한 洗掘量의 增加率은 比較的 작았다.

5) 河床構成材料가 一定할때는 水深과 傾斜가 變해도 ($I=1/400 \sim 1/3000$) 一定한 掃流力을 갖인다는 事實을 確認하였다.

6. 參考文獻

1. Emmet M. L., and Arthur Toch, A Generalized model study of scour around bridge piers and abutment, A.S.C.E., Feb. 1969, HY-2.
2. Tsuying Hsieh, Resistance of Cylindrical piers in open channel flow, A.S.C.E., Jan. 1964, HY-1.
3. Manon R.C., Similarity laws for localized scour, A.S.C.E., May 1966, HY-3.
4. 杉本修一, 橋脚周邊における水面變動について 日本土木學會論文集 62號 p. 38~40, 1958
5. 土屋義人, 混合砂礫の限界掃流力について 日本土木學會論文集 98號 p. 5~8, 1963
6. 石原藤次郎, 應用水理學 中-I p. 82~94, 丸善, 1963
7. 安藝皎一, 物部水理學, p. 591~608, 岩波 1966
8. 吉川秀夫, 河川工學 p. 107~130, 朝倉書店, 1971
9. 鄭俊錫 水理學 p. 348~361, 光林社, 1970
10. 鄭俊錫 河川工學, p. 203~218, 光林社, 1972
11. 水理公式集 p. 125, 日本土木學會 編纂, 1966
12. 本間仁 河川工學, p. 110~125, コロナ社, 1971
13. 李元煥, 水理學(延世大教材) p. 293, 1962
14. 橋墩沈箱設計, p. 124~126, 中華民國 東亞書局, 1972
15. 中國工程師手冊 土木類(下), p. 19-5~19-12, 中國工程師學會, 1970

會員證發給

本學會에서는 會員證을 가로 29.5cm 세로 22cm 크기의 한글 및 英文으로 高給 음쇄트로 印刷하여 많은 正會員에 이미 發給한바 있으니, 希望하는 會員은 다음 要領에 依據申請하시면 곧 郵送하겠습니다.

姓名은 한글과 英文으로 記入하고 發給手數料 500원을 振替口座 서울 554 韓國水文學會로 拂込하여 주시기 바랍니다.

會費納付

毎年 莫重한 事業을 推進하면서도 恒常 會費納付가 遲延되고 있어 學會 運營에 많은 支障을 받고 있습니다.

여러분이 納付하는 會費는 本學會 運營의 動脈이 되오니 學會財政을 十分 惠諒하시어 現在까지 未納하신 會員은 다음과 같이 早速한 時日內에 自進納付하여 주시기 바랍니다.

納付金: 年間 ₩1,000

納付處: 直接納付 또는 振替口座 서울 554番에 拂込하여 주시기 바랍니다.