

# 矩形水路에서鉛直堤防 및橋臺附近的河床洗掘

## Scour Erosion Around Vertical Embankments and Abutments in a Rectangular Channel

朴 承 禹\*  
Park, Seung Woo

### Summary

This paper attempts to qualitatively characterize scour erosion processes near USGS constriction type-I structures with vertical embankments and abutments. The scour dimensions and rates of sand beds around the structure models were measured in a rectangular flume. The test results showed that scour took place at a rapid rate at initial stages, which were followed by a stage of slow and general scour with greater extends. The maximum scour depth was observed near upstream corner of embankments. Empirical relationships for scour dimensions were derived, that were based on the results from a dimensional analysis of scour processes.

### I. 緒 論

흐름의 方向에 어떤 急激한 變化가 있는 경우 그 부근의 河床에 局部的인 浸蝕 現象인 洗掘(scour erosion)이 發生된다. 그 例는 橋脚의 上下流나 水制工 부근의 河床에서 觀察할 수 있는 自然 狀態의 웅덩이이다. 이와 같은 水工構造物 주위의 河床 浸蝕은 그 발생 범위가 局部的인 特徵이 있다. 따라서 이를 局部的 洗掘(local scour)이라고 하여 河床降下(channel degradation)를 의미하는 一般的 洗掘(general scour)과 區分하기도 한다<sup>1)</sup>.

水工構造物 주위의 局部的 洗掘은 그 規模에 따라서는 構造物의 安全에 위협이 된다. 橋脚이나 堤防의 崩괴와 유실 등은 洗掘과 밀접한 關係를 갖는 것이 보통이다. 따라서, 水工構造物의 安全과 經濟性을 위하여는 豫想 最大 洗掘 規模의 정확한 豫測이 매우 重要하다<sup>2)</sup>.

局部的 洗掘은 흐름에 의한 浸蝕力(erosive forces)이 그 지점의 浸蝕 低抗力(erosion-resistance forces)보다 큰 경우에 發生된다<sup>3)</sup>. 浸蝕力은 河床에 垂直 方向으로 작용하는 흐름이나 2차 흐름(secondary currents)에 의한 揚力, 剪斷力과 그의 變化로부터 起因한다. 한편, 浸蝕 低抗力은 河床 物質에 따라 左右되며, 粘着性이나 armouring 效果 등은 低抗力의 증가에 매우 重要하다. 그러나, 浸蝕力과 低抗力의 相互 作用의 定量的 解析은 매우 어려우며, 따라서 洗掘 規模의 推定에는 物理的 模型 등이 活用되고 있다<sup>4)12)</sup>.

本 論文은 USGS(U.S. Geological Survey)의 突然縮小 斷面 第1型(Constriction Type I)<sup>9)</sup>의 일종인 鉛直 堤防 및 橋臺 構造物의 주위에서의 洗掘 過程을 次元 解析과 水理模型 實驗을 利用하여 分析하는 데 그 目的이 있다. USGS 第1型은 突然縮小 斷面에서의 水位-流量 關係로부터 첨두 유출량의 推定을 試圖할 目的으로 그 水理的 特性이 究

\*서울대학교 農科大學

明된 構造物이다<sup>8)</sup>. 본 構造物은 특히 現在 建設중 인 錦江 河口 특의 假縮切 工事에서 檢討된 바 있는 形態로서, 이에 관한 洗掘 規模 등의 定性的 評價에 도움이 될 수 있을 것이다.

## II. 洗掘過程의 解析

### 가. 洗掘方程式

Laursen(1952)은 洗掘의 時間的 變化率은 流失이 發生되는 곳으로 부터 流砂의 運送力과 그 地點에서의 流砂 供給率의 差異와 같다고 하였다<sup>1)</sup>. 즉 입의의 斷面에 流入되는 流砂量 보다 그 斷面으로 부터 運送되는 量이 많은 경우에 流失이 發生되는 것이다. 따라서, 洗掘 規模를 連續方程式을 이용하여 表示하면 다음과 같다.

$$\frac{dS_0}{dt} = g(O) - g(I) \dots\dots\dots(1)$$

여기서  $S_0$ 는, 斷面 形態를 表示하는 關係式,  $g(O)$ 는 斷面으로 부터 運送되는 流砂量,  $g(I)$ 는 流入 流砂量, 그리고  $t$ 는 時間을 表示한다.

式(1)을 時間에 對하여 積分하여 整理하면 다음과 같다(ASCE, 1975)<sup>1)</sup>.

$$S_c = f[S_*, g(I), g(O), t] \dots\dots\dots(2)$$

여기서,  $S_c$ 는 斷面の 洗掘深,  $S_*$ 는 初期의 地盤 特徵을 表示하는 變數이다. 式(2)에서는 洗掘 規模는 流砂 運送量, 供給量, 그리고 時間의 函數로서 나타낼 수 있음을 보여준다. 여기서, 式(2)의 誘導에서 흐름의 狀態나 其他 어떤 假定도 포함하지 않았으며, 결과 적으로 그 解는 任意 斷面에서의 洗掘 規模를 推定하는 데 活用할 수 있다.

式(2)의 流砂量은 흐름의 特性과 流砂의 性質에 依하여 支配된다. 흐름의 特性은 또한 境界 幾何的 條件, 流速, 그리고 流體의 性質 등에 의하여 決定된다. 따라서, 式(2)의 右側頂에 影響을 주는 因子들을 整理하면 다음과 같다<sup>1)</sup>.

$$S_c = \phi[V, d, \nu, \rho, a, g, S_h, \tau_c, \sigma, t] \dots\dots\dots(3)$$

여기서,  $V$ 는 流速,  $d$ 는 水深,  $\nu$ 는 動粘性係數,  $\rho$ 는 密度,  $a$ 는 堤防 또는 교각의 幅,  $g$ 는 重力加速度,  $S_h$ 는 斷面の 形狀因子,  $\tau_c$ 는 河床 粒子的 限界 掃流力,  $\sigma$ 는 流砂 粒徑 分布의 偏差 등이다.

式(3)의 次元 解析의 結果는 다음과 같이 整理할 수 있다.

$$\phi_1[S_c/d, a/d, V/\sqrt{gd}, \nu/u_*, Vd/\nu, Vt/S_c, \sigma, S_h] = 0 \dots\dots\dots(4)$$

여기서  $u_*$ 는  $\sqrt{\tau_c/\rho}$ 로서 粒子的 的 尺 速度이다.

Laursen(1962)<sup>9)</sup>은 斷面の 突然 縮小(channel contraction)의 경우 最終 河床 洗掘은

$$S_c/d = \phi_2(b_1/b) \dots\dots\dots(5)$$

로서 表示할 수 있다고 하였다. 여기서,  $b$ 는 斷面의 幅을 代表하는 幾何因子로,  $b_1$ 은 突出部와 河床 사이의 幅,  $b$ 는 河川幅이다. 한편, Blench(1962)는 橋脚 주위의 洗掘 깊이  $S_c$ 는<sup>9)</sup>

$$S_c/d = \phi_3(a/d) \dots\dots\dots(6)$$

의 關係式으로 表示할 수 있다고 하였다. 河川에 橫斷으로 設置한 堤防에 따른 洗掘 깊이의 實驗式으로 Liu等(1961)은<sup>12)</sup>

$$S_c/d = \phi_4(a/d, F_r) \dots\dots\dots(7)$$

를 提案하였으며, 여기서  $F_r = v/\sqrt{gd}$  즉 Froude 數이다. 미시시퍼 江에서의 橫斷 方向의 石築에 의한 洗掘 깊이는<sup>12)</sup>

$$S_c/d = \phi_5(F_r) \dots\dots\dots(8)$$

의 式으로 表示한 바 있다. 그밖에도 Rajaratnam과 Beltaos(1977)<sup>9)</sup>은 垂直 젓트 流(vertical jet)에 의한 洗掘 諸元을 式(4)의 簡易形으로 表示한 바 있고 Shen 等(1969)<sup>11)</sup>은 橋脚 주위의 洗掘 깊이  $S_c$ 는 Reynolds 數의 函數로 定義할 수 있다고 하였다.

한편, 洗掘 速度와 관련한 實驗 結果로서 Laursen(1952)은<sup>1)</sup>

$$S_c/d = \phi_6[\nu/u_*, vt/a] \dots\dots\dots(9)$$

의 關係式을 定義한 바 있으며  $S_c/d$ 는  $vt/a$ 의 대수 함수 關係를 만족한 다고 하였다. Ahmad(1953)은 時間의 경과에 따른 洗掘의 變化는 초기에는 급상승을 보이거나 차차 減少된다고 하였다<sup>1)</sup>.

以上の 結果로 부터 式(4)는 洗掘 過程을 說明하는 一般式으로 假定하는 데 큰 無理가 없을 것으로 思料되었다.

### 나. 突然縮小 第 I 型의 洗掘

Fig. 1은 USGS 突然縮小 斷面の 第 I 型의 일종인 비대칭형의 例를 보여 준다. 第 I 型은 특히 堤防 및 橋臺가 鉛直의 경우로서 콘크리트 옹벽이나 sheet pile 등에 의한 構造物의 경우에 該當된다. 여기서 非對稱型은 堤防이 河川의 한 邊에서 建設되는 경우를 意味한다.

第 I 型의 堤防 주위의 洗掘 規模의 關係式은 式

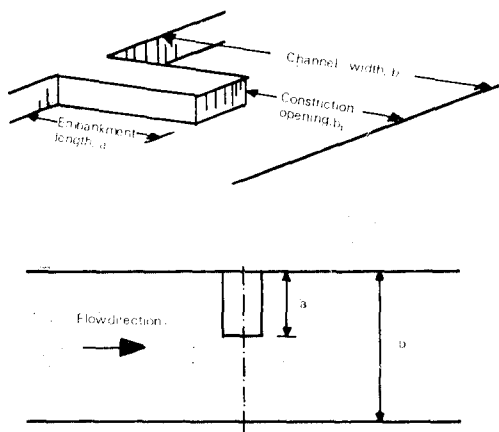


Fig. 1. Definition sketch of a USGS constriction type I structure

(4)를 간략히 하여

$$S_c/d = f_1(a/d, F_r, S_b) \cdot f_2(vt/S_c) \cdot f_3(v/u_*, \sigma) \quad (10)$$

로서 表示할 수 있다. 여기서  $f_2$ 와  $f_3$ 는 각각 經過時間과 流砂의 特性에 따른 洗掘의 影響을 나타내 준다. 式(10)으로부터 同一한 流砂에 대한 洗掘規模는 時間의 影響을 일정하다고 假定할 때 다음과 같이 表示할 수 있다. 즉,

$$S_c/d = f_1(a/d, F_r, S_b) \quad (11)$$

이다. 따라서, 다음에서는 式(11)의 關係式을 中心으로 第I型 주위의 洗掘에 관한 實驗式을 試圖하도록 하였다.

### Ⅲ. 材料 및 方法

#### 가. 實驗 裝置

非對稱 USGS 突然 縮小 斷面 第I型的 鉛直 堤防과 橋臺(Fig. 1 參照) 부근의 河床 洗掘의 實驗은 서울大學校 農工學科 水理 實驗室의 可動傾斜水路 裝置를 이용하여 실시하였다. Fig. 2는 水路 裝置의 概略圖를 보여 준다. 水路는 幅 0.4m, 높이 0.6m의 短形 斷面으로 兩側面은 유리 板이며, 바닥은 鋼板으로 매끄럽게 處理되어 있다. 水路의 全長은 7.2m로서 로울러를 이용 지지되어 傾斜의 調整이 可能토록 裝置되어 있다<sup>18)</sup>.

Fig. 2에서와 같이 水路 裝置는 水槽와 連結되어 있

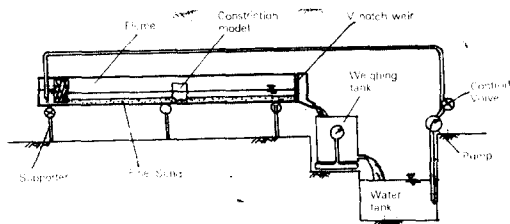


Fig. 2. Schema of the experimental flume

으며 揚水機를 利用하여 水路의 流入部로 送水되던 교란 管쇄를 目的으로 設置한 스크린을 通過하여 水路를 거쳐 重量 測定用水槽에 集水되어 水槽로 모이게 되어 순환되도록 되어 있다. 이때 送水量은 揚水機의 밸브를 利用하여 調整하였으며, 이때의 流量은 水路의 下端에 設置한 V-notch weir의 水位-流量 關係로부터 定義하였다<sup>18)</sup>

USGS 第I型的의 模型은 透明 아크릴로 製作하였으며 模型의 그 規格은 堤防의 길이, 橋臺의 길이, 그리고 堤防과 橋臺의 接觸角 등의 形狀 因子의 組合으로 構成하였다. 堤防의 길이는 100, 200, 250 mm의 3 處理, 橋臺의 길이는 100, 200, 400mm의 3 處理, 그리고 接觸角은 半徑 16.7, 25, 50mm의 3 處理로서 總 27個의 橫型을 製作하였다. 그러나, 豫備 實驗의 결과 半徑의 影響이 微微한 關係로 25 mm와 50mm의 2個로 줄였으며 그 影響의 分析도 省略하였다<sup>18)</sup>.

#### 나. 河床 材料

洗掘 實驗을 위한 河床 物質은 錦江 河口 附近의 砂洲로 부터 채취한 모래를 使用하였다. 모래의  $D_{50}$ 는 0.39mm이며 體 分析 結果는 Fig. 3과 같았다. Fig. 3에서와 같이 모래의 粒徑은 0.15~0.60 mm의 범위로서 비교적 均質한 分布를 보였다<sup>18)</sup>.

#### 다. profile meter

河床 洗掘 또는 堆積 등에 따른 河床 變化를 보다 正確히 測定할 目的으로 pin型 profile meter를 製作, 利用하였다 profile meter의 概略圖는 Fig. 4와 같다.

Fig. 4에서와 같이 25個의 일정한 크기의 pin을 垂直으로 움직일 수 있도록 하여 測定하고자 하는 斷面 위에 올려 놓으면 그 斷面의 相對的 標高가 pin의 머리의 配列로서 表示되도록 構成되었다.

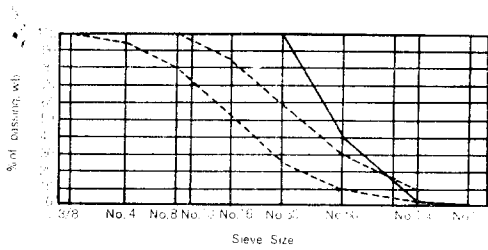


Fig. 3. Gradation curve for tested sand

pin의 後面에는 尺을 부착하여 測點別 pin의 높이를 測定하도록 하였다. 따라서 任意 斷面의 形狀은 profile meter를 위치시킨 다음 pin 머리를 촬영하고, 그 資料를 判讀하여 그 結果로부터 地盤高의 變化등을 測定하는 것이다. Park 等(1983)은 이와 類似한 profile meter를 土壤面의 表面 凹凸의 測定에 使用한 바 있으며<sup>8)</sup> 본 profile meter는 그와 類似한 種類이다.

라. 實驗 方法

本 實驗에서는 흐름의 狀態와 持續 時間에 따라 3가지의 處理를 試圖하였다. 總 40회의 實驗 중 1~30회까지는 定常狀態의 흐름에 대한 實驗이었으며, 31~40회는 非正常 狀態의 흐름에 대한 實驗을 각각 실시하였다. 한편, 持續時間別로는 1~19회까지는 30分 内外 동안, 20~30회는 10分 内外, 그리고 非正常狀態는 비교적 짧은 時間동안에 걸쳐 實施하였다(Table-1 參照).

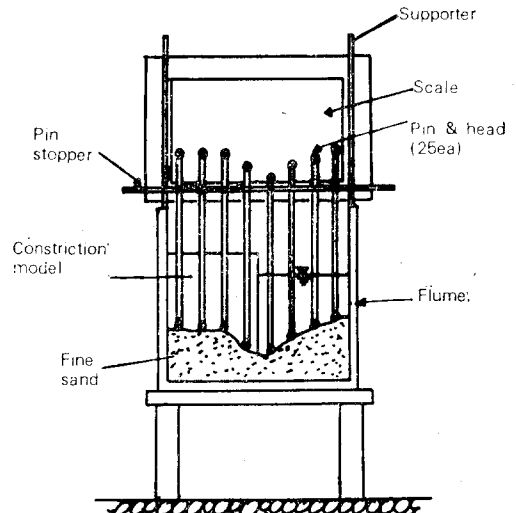


Fig. 4. Schema of a pin-type profile meter used in the study

定常 狀態의 흐름에 대한 實驗은 다음과 같은 順序로 實施하였다.

- ① 河床 材料를 水路의 바닥에 10cm 程度의 두께로 흙손을 利用하여 均一하게 한다.
- ② 揚水機를 가동시키고 벨브를 열어 水位를 正常狀態에 이르도록 한다.
- ③ 水位가 正常狀態에 이룬 후 河床이 安定된 다음, profile meter를 利用 주요 단면의 原地盤 狀態를 촬영, 기록하여 둔다(Fig. 5 參照).

Table-1. Experimental conditions and measuring items

Run No.	Constriction model dimension	Flume slope	Water depth, cm	Dis-charge, l/s	Dura-tion, min	Measuring items			Remarks
						Scour-ing rates	Scour-ing dimension	Angle of repose	
1	100-50R-20	1/500	20.65	4.6881	30'	○			
2	100-50R-20	.	.	.	.				
3	100-50R-20	1/500	22.15	6.3206	30'	○	○		
4	"	1/100	22.35	.	.				
5	"	"	22.3	7.8172	.				
6	"	"	24.4	10.8763	30'	○	○	○	
7	"	1/200	23.2	8.4481	30'	○	○	○	
8	100-25R-20	1/238	20.3	4.4704	30'	○	○	○	
9	"	"	23.8	9.1918	30'	○	○	○	
10	100-25R-10	1/200	23.6	9.2060	30'	○	○	○	
11	"	"	24.0	9.8404	30'	○	○	○	

矩形水路에서 鉛直 堤防 및 橋臺 附近의 河床 洗掘

12	400-25R-20	"	20.2	7.3508	30'	○	○	○	
13	"	"	23.4	9.8255	30'	○	○	○	
14	200-25R-20	"	22.0	6.5252	30'	○	○	○	
15	"	"	23.7	9.2055	30'	○	○	○	
16	100-25R-10	1/100	21.0	5.8857	30'	○	○	○	
17	100-25R-20	"	22.2	7.5398	30'	○	○	○	
18	100-25R-5	"	23.0	8.9386	30'	○	○	○	
19	200-25R-10	"	21.6	6.6891	30'	○	○	○	
20	100-25R-20	"	10.8	14.4508	11.6'	○	○	○	
21	"	"	11.0	4.2168	10.6'	○	○	○	
22	100-25R-20	1/100	11.2	2.4030	11.7'	○	○	○	
23	"	"	"	9.8347	13.5'	○	○	○	
24	"	"	"	12.666	11.3'	○	○	○	
25	"	"	"	8.4936	.	○	○	○	
26	"	"	"	13.2640	10.01'	○	○	○	
27	"	"	"	11.7299	8.5'	○	○	○	
28	"	"	11.0	4.6895	8.5'	○	○	○	
29	"	"	10.6	3.4875	8.8'	○	○	○	
30	"	"	10.8	10.4024	8.5'	○	○	○	
31	"	"	.	.	.	○	○	○	0.50m/sec
32	"	"	.	.	.	○	○	○	0.44
33	"	"	.	.	.	○	○	○	0.48
34	"	"	.	.	.	○	○	○	0.44
35	"	"	.	.	.	○	○	○	0.59
36	"	"	.	.	.	○	○	○	0.29
37	"	"	.	.	.	○	○	○	0.36
38	"	"	.	.	.	○	○	○	0.36
39	"	"	.	.	.	○	○	○	0.50
40	"	"	.	.	.	○	○	○	0.50

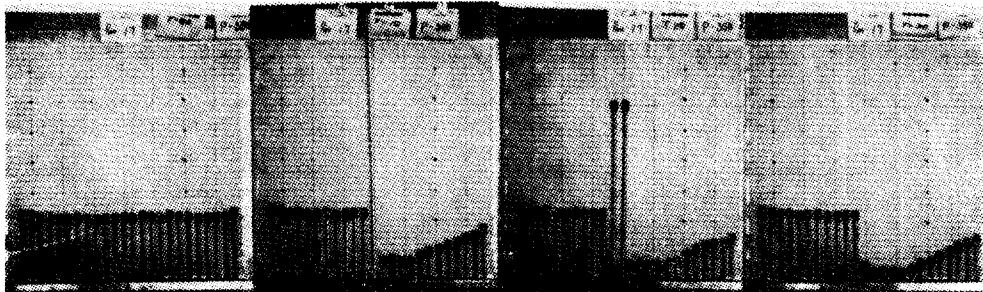


Fig. 5. Profile-meter pictures showing channel bottom profiles at an initial condition and at 10, 20, and 30 minutes after channel constriction (Run 17)

④ 縮小 斷面 模型을 河床에 挿入하여 設置하고 時間을 測定해 둔다.

⑤ 每 10分마다 profile meter를 利用 앞서 測定한 斷面의 河床 狀態를 촬영, 기록한다(Fig. 5 參照).

⑥ V-notch weir의 水位를 測定하여 流量을 求하고 主要 斷面에서의 水位와 河床高를 標尺을 이

용하여 記錄한다.

⑦ 實驗 持續 時間이 經過한 後 揚水機의 가동을 中止시키고 Fig. 6에서와 같은 河床 洗掘 形態 등의 幾何的 諸元을 測定한다.

한편, 非正常 狀態이 흐름에서의 洗掘 實驗은 河床을 고른 후, 縮小斷面模型을 設置한 後, 揚水機를 가동하므로써 흐름 狀態를 模擬發生시켰다. 이

때, 水深이 비교적 얇고 流速이 相對的으로 빠른 狀態가 再現되어 河床 洗掘에 미치는 영향을 觀察할 수 있도록 하였다.

Table-1은 實驗回數別 斷面 模型의 諸元과 水理的 條件, 그리고 測定 內容등을 整理하고 있다. Table-1에서와 같이 正常狀態의 實驗에서의 水位는 10~24cm, 流量은 10.8~14.4 l/s의 범위였다. 非 定常流 狀態의 實驗의 流速은 0.3~0.5 m/s였다.

#### IV. 結果 및 考察

##### 가. 洗掘 形態

本 實驗의 回數別 水理的 條件과 Fig. 6의 洗掘 形態의 諸元 등은 Table-2와 같았다. Table-2에서와 같이 最大 洗掘深 ( $S_2$ )은 10.9cm이고 이때의 Froude數는 0.18 이었다. 이 때의 堤防 直下端의 洗掘深 ( $S_2$ )은 그 最大值가 11.2로서 洗掘의 進行에 따라 縮小 模型의 支持에 相當한 外力이 必要하였다.

上流側 堤防 前面에 發生하는 洗掘의 범위  $B_1$ (Fig. 6 參照)는 5~20cm의 범위로서 堤防의 길이  $a$ 와의 比, 즉  $B_1/a$ 의 값은 平均 0.76이었다. 또한, 橋臺로 부터 對岸 方向의 洗掘의 범위  $B_2$ 는 堤防의 길이와의 比  $B_2/a$ 가 0.4~1.2 程度의 값을 보였다.

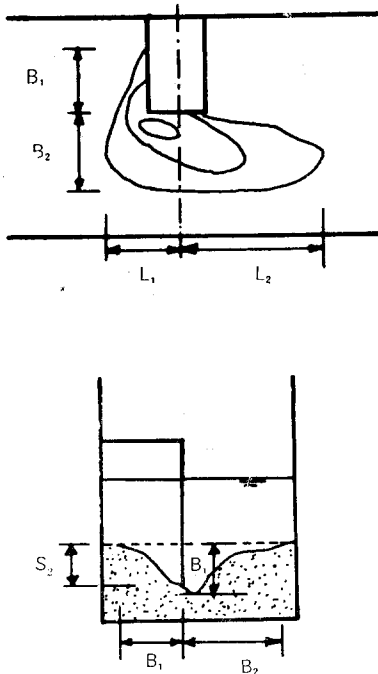


Fig. 6. Definition sketch of scour dimensions

Table- 2. Hydraulic conditions and scour dimensions

Run No.	$F_r$ No.	$a/d$	Scour dimensions (cm) <sup>1)</sup>						angle of repose ( $\phi$ )
			$B_1$	$B_2$	$L_1$	$L_2$	$S_2$	$S_1$	
1									
2									
3									
4									
5									
6	0.1825	1.5385	20.0	20.6	22.5	40.1	9.8	10.9	27.9
7	0.1468	1.5748	16.5	19.0	19.0	26.5	7.7	8.9	25.1
8	0.1240	2.1505	9.6	9.0	12.8	9.0	4.0	3.8	22.9
9	0.1676	1.6260	17.5	20.0	19.8	23.0	8.5	9.5	25.4
10	0.1658	0.8065	8.5	9.0	10.6	9.2	3.8	3.9	23.4
11	0.1730	0.7937	8.0	10.2	8.9	10.0	5.1	3.9	20.9
12	0.1267	2.2222	8.0	12.0	8.0	15.0	3.8	4.6	20.9
13	0.1552	1.5873	12.0	20.0	20.0	11.0	6.9	9.5	25.4
14	0.1316	1.7391	9.0	17.0	16.0	10.0	5.4	5.5	17.9
15	0.1476	1.4925	13.0	20.0	20.2	22.0	6.4	7.5	20.6
16	0.2793	1.5385	10.0	9.0	12.5	7.0	4.8	4.2	25.0

矩形水路에서 鉛直 堤防 및 橋臺 附近의 河床 洗掘

17	0.2435	2.3810	18.0	19.0	21.0	23.2	9.5	9.7	27.1
18	0.2439	0.5319	5.0	7.0	11.0	5.0	3.6	3.5	26.6
19	0.2200	1.2048	10.0	9.0	13.5	10.0	2.4	4.0	24.0
20	0.1488	1.1111	20.0	20.6	21.5	30.4	11.2	10.0	25.9
21	0.3153	4.1667	10.1	16.5	15.0	20.15	5.6	8.2	39.1
22	0.4507	7.6923	7.0	12.5	10.0	8.0	2.8	4.0	29.7
23	0.1884	1.6807	20.0	20.6	20.0	18.5	6.8	10.0	26.6
24	0.1586	1.2658	18.0	20.0	21.0	22.5	9.8	9.9	28.8
25	0.2050	1.9608	10.2	15.5	19.0	12.5	6.4	7.4	36.0
26	0.1556	1.2121	20.0	18.0	21.0	18.5	8.9	9.4	25.2
27	0.1671	1.3793	17.0	10.4	19.5	19.0	6.2	8.0	25.2
28	0.3022	3.7736	8.5	14.5	15.5	14.5	5.6	7.8	42.5
29	0.3561	5.1282	9.5	10.5	13.5	8.5	4.0	6.5	34.4
30	0.1851	1.6000	15.5	20.0	18.5	19.0	7.5	8.1	27.6
31	0.50							9.0	—
32	0.44							9.5	—
33	0.48							7.7	—
34	0.44							7.2	—
35	0.59							8.6	—
36	0.29							7.0	20.8
37	0.36							8.5	30.5
38	0.36							7.0	23.3
39	0.50							9.5	43.2
40	0.50							8.0	23.7

1) Scour dimensions are defined as in Fig.6.

한편, 突然 縮少에 따른 流心方向의 洗掘은 橋臺의 中心을 基準하여 그 上流側의 長이를  $L_1$ , 下流側을  $L_2$ 로 定義하였다(Fig. 6 參照).  $L_1$ 과  $L_2$ 의 값 등은 Table-2에서와 같았다. 上流側의 洗掘 범위  $L_1$ 은 堤防의 長이  $a$ 와의 比, 즉  $L_1/a$ 이 0.6~1.1이며, 下流側의  $L_2/a$ 의 값은 0.7~2.0으로 下流方向의 洗掘의 범위가 더 큰 값이었다. 또한 流心方向의 洗掘의 범위는 模型 堤防의 長이의 2倍 以上의 값을 보여 주었다.

Fig. 7은 橋臺 및 堤防의 上下流에서의 橫斷面의 變化를 보여준다. 橋臺의 中心線( $P=3.50m$ )과 그 上流 10cm地點( $P=3.40m$ ), 그리고 中心線의 下流 15( $P=3.65m$ ) 및 30cm 地點( $P=3.80m$ )에서의 原地盤과 10分後의 河床高의 差異를 보여 준다. Fig. 7에서와 같이 最大 洗掘深은 堤防과 橋臺와 接하는 부분에서 나타나며 堤防 前面의 洗掘이 流心方向의 그것보다 더 急한 傾斜를 보여 주었다. 그리고 堤防의 下流에서는 堆積이 觀察되었으며, 縮少 斷面의 下流에서는 全般的인 堆積이 發生하였다. Fig. 7의 河床 變化는 實驗 掘數別로 그 規模는 다르나 形態는 거의 類似한 것으로 鉛直 堤防과 橋臺

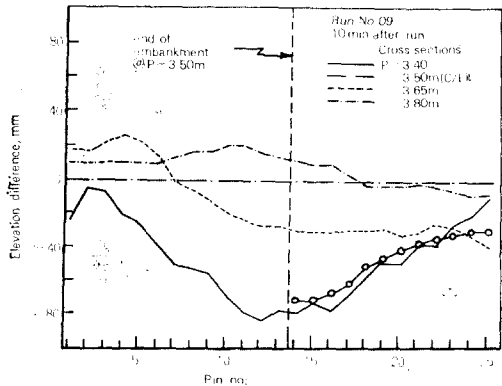


Fig. 7. Channel profiles at different cross sections at 10 minutes after a run (Run No.09)

로 인한 典型的인 洗掘의 形態로 思料되었다.

洗掘로 인한 河床 材料의 水中 安息角은 Table 2에서와 같이  $27^\circ$  内外 였다. 그러나, 安息角은 實驗의 持續時間에 따라 變化하는 傾向을 보였다. 즉 持續時間이 10分 内外의 實驗 結果는 安息角이  $25^\circ \sim 43^\circ$ 의 범위로서 平均  $31^\circ$ 인 反面, 30分 以後에서

는 18~27°의 범위로서 平均 24°이었다. 이와같은安息角의變化는洗掘形態가時間的으로一定하지않음을意味하며洗掘速度가最終洗掘規模에영향을미칠수있는것으로思料되었다.

나. 洗掘速度

Fig. 8은 profile meter의資料로부터各測點別時間別斷面平均河床高의變化를보여준다.洗掘은時間의경과에따라점차그規模가增加되는것을보여준다.즉最初10分經過後의縮少斷面의中心線附近에서平均1.5cm程度의洗掘을보였으며,20分後에는2.0cm,30分後에는2.1cm로서그規模가增加됨을알수있었다.한편,縮少模型의下流區間에서는全般的인堆積을나타내주었다.

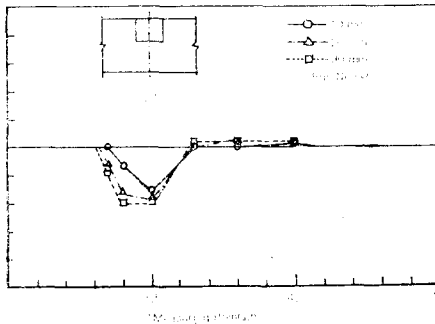


Fig. 8. Average channel elevations at different cross sections at 10, 20, and 30 minutes after a run (Run No.08)

Fig. 9는 測點位置別時間別斷面의實際地盤高의變化를보여준다.各測點別地盤高의變化는時間別位置別로相異한것을나타내준다.最初10分後의地盤高는縮少斷面의中心線에서 최대의세굴을보였으며,그下流區間에는堆積을보였다.그러나,20分後에는位置에따른河床洗掘高의變化가거의없는均一한값을보여주며,이와같은均一한洗掘의경향은30分後에도역시觀察되었다.따라서突然縮少에依한河床洗掘의發展은대략2段階로區分하여,초기에는局部的洗掘段階로構造物주위의하상이急激히流失되며,以後에는洗掘의規模가擴大發展되는일반적洗掘의형태를가는것으로思料되었다.

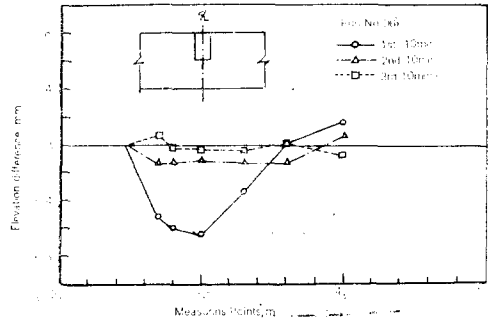


Fig. 9. Net elevation changes at different cross sections during 10 minutes with time (Run No.06)

다. 洗掘形態實驗式

洗掘過程에關한次元解析의結果로부터式(11)을誘導하였다.式(11)로부터 일정時間의經過후의洗掘規模를나타내주는幾何的諸元에關한實驗式의一般型으로다음과같은關係式을假定하였다.

$$S_c/d = c_1 \left(\frac{a}{d}\right) e_1 \cdot Fr^{0.33} \dots\dots\dots(12)$$

여기서,  $c_1$ 과  $e_1$ 은係수가指數이다.

式(12)의 Froude數의指數를 0.33으로定한것은 Liu等(1962)의堤防주위의河床洗掘의實驗式<sup>12)</sup>의값을근거로한것이다.洗掘實驗式 등의 Froude數의指數로는 Shen等(1969)<sup>13)</sup>은교각주위의세굴식에서 0.67을그리고 Jain(1981)<sup>14)</sup>은 0.25의값을使用하였다.그밖에도高次多項式을利用하거나,變數로서定義한경우도있었다.이와같은指數의範圍를고려할때 0.33의값은絕對的인값으로볼수는없겠으나,式(12)의관계식을圖式化한結果,洗掘諸元의關係가相互類似한傾向을보여주었기에그값을擇하도록하였다.(Fig. 10參照).

Fig. 10은最大洗掘深과洗掘範圍등과 Froude數, 河川縮少幅 및水深 등의相互關係를보여준다.이들의關係는實驗의範圍以內에서는그傾斜가거의一致하는類似한傾向을나타내주고있다.따라서,式(12)의關係式을利用洗掘諸元을表示할때指數  $e_1$ 의값은거의 일정할것으로思料되었다.



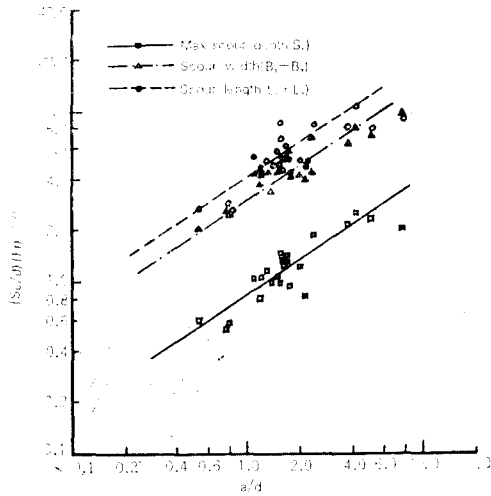


Fig. 10. Relation of  $(S_c/d)F_r^{-0.88}$  and  $a/d$

Table- 3. Relationships for scour dimensions around vertical embankments and abutments

Scour dimensions	No. of data	Scour equations	Regression Coefficient	Remarks
Maximum scour depth ( $S_1$ )	14	$S_1/d = 0.79(a/d)^{0.66}F_r^{0.88}$	0.75**	
Scour depth at embankments ( $S_2$ )	14	$S_2/d = 0.73(a/d)^{0.61}F_r^{0.88}$	0.69**	
Scour width ( $B_1$ )	14	$B_1/d = 1.47(a/d)^{0.71}F_r^{0.88}$	0.81**	
Scour width ( $B_2$ )	14	$B_2/d = 1.79(a/d)^{0.69}F_r^{0.88}$	0.85**	
Scour length ( $L_1 + L_2$ )	14	$(L_1 + L_2)/d = 3.98(a/d)^{0.66}F_r^{0.88}$	0.75**	

V. 要約 및 結論

非對稱 USGS Constriction Type I의 鉛直 堤防과 橋臺 構造物 附近的 河床 洗掘 過程을 分析 目的으로 水理 實驗을 通하여 洗掘의 規模, 形態, 그리고 速度 등을 測定하였다. 水理實驗은 洗掘 過程의 次元解析의 結果로부터 Froude 數, 堤防 길이와 水深의 比, 그리고 模型의 形狀 因子 등을 變數로 假定하여 短形 水路에서 均一한 粒徑의 모래 ( $D_{60} = 0.39mm$ )를 이용하여 實施하였다.

最大 洗掘深은 堤防과 橋臺의 모서리 가까이에서 發生되었고 洗掘 形態는 幅보다 長이가 長였다. 洗掘은 初期에는 急激한 局部的 變化를 보였으나, 時間의 經過에 따라 一般의 洗掘의 특징을 나타냈다. 持續時間 30分 後의 洗掘 形態의 幾何的 諸元에 관한 實驗式은 次元 解析의 結果의 主要 因子의 函數 로서 表示하였으며, 이들 關係는 相似性을 나타내 주었다.

Table-3은 式(12)의 關係式을 利用 洗掘 形態를 나타내는 幾何的 諸元을 Froude 數와 河川縮少幅과 水深의 比로서 表示한 것이다. 式(12)의 常數와 指數는 最少 自乘法을 利用하여 決定하였다. Table 3에서와 같이 最大 洗掘深  $S_1$ , 堤防 直下 洗掘深  $S_2$ , 洗掘幅 變數  $B_1$  및  $B_2$ , 그리고 洗掘 近長  $L_1 + L_2$  등의 因子의 關係式의 指數  $e_1$ 의 값은 0.61~0.71의 範圍로서 平均 0.66이 었다. 따라서 本 實驗 結果로부터 鉛直 堤防과 橋臺 附近的 河床 洗掘의 幾何的 諸元의 一般式은 다음과 같이 表示할 수 있었다. 즉

$$S_c/d = c_1(a/d)^{0.66}F_r^{0.88} \dots\dots\dots(13)$$

한편, Table 3-은 洗掘諸元의 實驗式의 회귀 계수의 값이 0.69~0.85의 範圍로서 各各 高度의 有意性이 있음을 보여 준다.

參 考 文 獻

1. ASCE. 1975. Sedimentation engineering. ASCE Manual No.54. 745p.
2. Blaisdell, F.W., C.L. Anderson, & G.G. Hebaus, 1981. Ultimate dimensions of local scour. J. Hyd. Div. Proc. ASCE. 107(HY3) : 327-337.
3. Chow, V.T., 1959. Open-channel hydraulics. McGraw-Hill Book Co., N.Y. 680p.
4. Gill, M.K., 1972. Erosion of sand beds around spur dikes. J. Hyd. Div., Proc. ASCE 98(HY9) : 1587-1602.
5. Jain, S.C., 1981. Maximum clear-water scour around circular piers. J. Hyd. Div. Proc. ASCE 107 (HY5) : 611-626.
6. Laursen, E.M., 1962. Scour at bridge crossings. Trans. ASCE 127 (Part I) : 166-209.
7. Neil, C.R., 1970. Local scour around bridge

- piers, discussion. J. Hyd. Div. Proc. ASCE 96 (HY5) : 1224-1228.
8. Park, S.W., S. Mostaghimi, J.K. Mitchell, & L.K. Ewing, 1983. Quasi-two dimensional overland flow simulation using geometric element relationships. 1983 Int. Symp. on Urban Hydrology, Hydraulics and Sediment Control. Univ. of Kentucky, 269-278.
  9. Rajaratnam, N. & S. Beltaos, 1977. Erosion by impinging circular jets. J. Hyd. Div. Proc. ASCE. 103 (HY 10) : 1191-1205.
  10. Ramu, K.L.V., 1973. Erosion of sand beds around spur dikes, discussion. J. Hyd. Div. Proc. ASCE 99 (HY 8) : 1270-1274.
  11. Shen, H.W., V.R. Schneider, & S. Karaki, 1969. Local Scour around bridge piers. J. Hyd. Div. Proc. ASCE 95 (HY6) : 1919-1940.
  12. Simons, D.B. & F. Senturk, 1977. Sedimentation technology. Wat. Res. Pub., Fort Collins, 807p.
  13. 農業振興公社, 1983. 錦江 河口岬 設置로 인한 河川形態變化研究(I). 서울大 農大 附屬 農業開發研究所. 305p.