

〈論 文〉

壓力 變化를 考慮한 橋脚 周圍에서의 洗掘現象 研究
(Pier Scour Prediction in Pressure Flow)

安 相 鎭* 崔 桂 濤** 金 宗 燮*** 安 昌 鎭****
AHN Sang Jin, KIM Jong Sub, CHOI Gye Woon and AHN Chang Jin

Abstract□ In this experimental research, the maximum scour depth at pier was studied. The model of the pier of San Gye bridge in the Bocheong stream was set for experimental pier scour studies.

Several model verification processes were conducted through the roughness comparisons between model and prototype, pursuing scour depth variations with time depending upon channel bed variation, the comparison of the ratio between falling velocities and shear velocities in the model and prototype, and the comparison of pier scour between experimental data and field measuring data. The experiments were conducted in the free flow conditions and pressure flow conditions. The maximum scour depth at piers in the pressure flow conditions is twice as much as compared to the free flow conditions. Also, the maximum scour depth variations are indicated in the figures based on the Froude numbers, opening ratios, water depths and approaching angles in the free surface flow conditions.

요 지 : 본 연구는 교각 주위에서의 최대세굴심도에 관한 실험논문으로써 실험에 사용된 교각 모형은 금강 지류인 보청천내 산계교에 설치된 교각을 1/40으로 축소하여 사용하였다. 실험수로에서 사용된 하상재료는 보청천 교각 설치지점의 하상재료중 #4번체를 통과한 모래를 그대로 사용하였으며 이때의 평균입경은 0.8 mm 이었다. 모형수로는 원형하천과 모형수로에서의 조도계수 실측, 모형수로 경사변화에 따른 최대세굴심도의 변화, 원형과 모형내 하상재료의 침강속도와 마찰속도의 비를 검토하여 하상경사를 결정하고 원형하천에서의 세굴심도를 직접 측정하여 모형수로 실험결과와 비교함으로써 모형수로를 검증하였다. 자유수면하에서 수심, Froude 수, 개도비, 접근각 변화에 따른 최대세굴심도를 그림으로 나타내어 손쉽게 최대세굴심도를 구할 수 있도록 하였으며, 자유수면하 및 압력흐름하에서 실험을 실시한 결과 압력흐름하에서의 최대세굴심도는 자유수면하에서보다 2배 정도 크게 나타났다.

1. 序 論

橋脚 周圍에서의 局部洗掘은 구조물 설치에 따른 흐름의 간섭 때문에 일어난다. 다시 말하면 설치된 구조물들이 흐름을 加速化시키고 이 加速化된 흐름은 渦流(vortex)를 發生시키며 이 渦流에 의하여 河床의 局部的인 變化가 일어난다. 이와 같은 局部

的인 변화는 흐름의 특성이나 河床材料들에 의한 상호작용으로 일어나며 서로 상당히 복잡하게 연결되어 있어 몇몇 因子에 의한 영향만을 고려하여 洗掘深度를 파악하는 것은 매우 어렵다. 따라서, 河川內 特定 橋脚 周圍에서의 洗掘深度 算定을 위해서는 주로 模型을 설치하여 實驗을 실시하고 그 結果를 이용하여 公식을 導出하여 사용하거나 직접 흐름 특성에 따른 洗掘深度를 決定하게 된다. 지금

* 忠北大學校 工科大學 土木工學科 教授
** 韓國水資源公社 水資源研究所 責任研究員
*** 大田產業大學校 都市工學科 專任講師
**** 韓國水資源公社 水資源研究所 課長, 忠北大 大學院 碩士過程

까지의 局部洗掘深度에 관한 연구를 살펴보면 橋脚 周圍에서의 洗掘에 대한 흐름의 형태와 전단력을 현장에서 측정하는 것은 매우 어려우므로 대부분 모형실험에 의하여 洗掘深度를 測定하여 왔다. 最初의 實驗은 1873년 Durand-Claye에 의해 行해졌다. 그는 사각형, 원형, 삼각형의 세가지 형태의 橋脚形狀을 이용하여 실험을 실시하여 最大洗掘深度를 比較한 結果, 사각형 橋脚에서 最大洗掘深度가 발생하고, 삼각형 橋脚에서 최소세굴심도가 발생한다고 보고한 바 있다.⁹⁾ 그후 Ishihara¹¹⁾, Laursen & Toch¹⁵⁾, Tanaka & Yano²²⁾에 이어 Shen et. al.²¹⁾은 지금까지의 洗掘理論을 要約, 定理하는 한편, 洗掘에 影響을 미치는 馬蹄型 渦流系를 理論적으로 究明하였고, 또한 局部洗掘의 특성에 대하여 연구하였으며, 橋脚 레이놀즈數로 洗掘深度를 나타내는 實驗式을 제안하였다.

Laursen¹⁶⁾은 限界掃流力과 底面掃流力이 같게 되는 상태를 이론적으로 고찰하였으며, 斷面縮小에 의한 洗掘에 대해 研究하였다. Jain과 Fisher¹²⁾는 流速에 따른 Froude數와 洗掘 깊이와의 관계를 研究하였으며, Hughes¹⁰⁾는 洗掘速度를 여러가지 河床材料를 이용하여 實驗을 行하였고, Attinbale⁸⁾는 垂直 jet流에 의한 河床洗掘에 대하여 고찰하였다.

이후 많은 학자들에 의해 洗掘에 관한 實驗이 行하여졌으며 最近에 이르러서는 Jain⁴⁾, 鈴木幸一¹¹⁾, 高橋 晃¹¹⁾, Raudkivi and Ettma¹⁸⁾, Rajaratnam Newachukwu¹⁹⁾, Melville¹⁷⁾ 등의 研究가 있다. 한편, 우리나라의 洗掘에 대한 연구는 아주 미진한 상태이다. 그동안의 세굴에 대한 연구를 살펴보면, 李洪萊⁶⁾는 橋梁橋脚周圍의 局部洗掘에 관한 實驗的 研究에서 橋脚 Reynolds數와 亂流強度와 平均流速의 比가 橋脚의 洗掘深度와 洗掘幅의 豫測에 지배적인 因子임을 밝혔으며, 金鎮洪²⁾은 圓形 橋脚周圍에서의 最大洗掘深度에 관한 實驗的 研究에서 洗掘深에 影響을 미치는 Vortex mechanism의 特性 및 運動方向에 대하여 究明하였고, 金孝燮³⁾은 橋脚周圍에서의 洗掘現象에 관한 研究를 통하여 既存 洗掘公式를 基準으로 구조도와 모래를 河床材料로 하여 實驗結果를 發表하였다. 또한 李正圭⁵⁾는 河川橋脚의 洗掘防止 對策에 대한 實驗的 研究

를 한 바 있다.

이와 같은 연구들은 주로 實驗室內 自由水面을 가진 흐름하에서 실시 되었으나 最近에 미국내에서의 교량과피에 대한 調查 結果, 자유수면을 가진 흐름보다는 壓力흐름일 경우에 교각내 세굴에 의한 위험성이 더욱 크다는 것을 밝혀졌다. 壓力흐름은 水路內에 橋梁과 같은 수리구조물, 또는 터널, 암거등을 통과할때 自由水面이 없이 흐르는 경우에 발생하며, 이때에는 흐름내 난류현상이 심하고 流速의 增加 및 渦流現象의 增加를 가져오게 된다. 이와 같이 開水路를 흐르는 물이 壓力흐름으로 변할때에 대한 연구는 상당히 드문 편이어서 Wang²³⁾, Wiggert²⁴⁾ 등에 지나지 않는다. Wang²³⁾은 橋脚 상판이 물에 잠겼을때 상판 밑면에서 발생하는 誘導壓力에 대하여 연구하였는바, 상판 밑면에서 정수압의 2배 크기의 荷重이 상판에 작용하는 것과 동일한 압력이 작용하는 것을 발견하였다. 또한, Wiggert²⁴⁾는 컴퓨터 해석을 이용하여 자유수면을 가진 흐름과 壓力흐름 상호간의 천이 현상을 해석하였다. 壓力흐름하의 洗掘現象에 대한 연구는 最近에 시작되어 1991年 Abed⁷⁾가 壓力흐름下에서 橋脚周圍內 局部洗掘에 관한 研究를 시초로 Richardson²⁰⁾, Jones¹⁴⁾ 등에 의하여 연구가 수행되었다. Abed⁷⁾는 매우 제한적인 모델 실험을 통하여 Fr數가 0.5以上일때는 壓力흐름에서는 自由水面을 가진 흐름에 비하여 洗掘深度가 2~3배, $0.35 < Fr < 0.5$ 일 경우에는 2~4배, Fr數가 0.35以下일때는 10배까지 이르는 것을 발견하였으며 동일한 流速과 水深을 가진 경우에는 開度比가 減少함에 따라 세굴 깊이가 增加한다고 결론지었다. Richardson²⁰⁾ 등은 自由水面을 가진 흐름과 壓力흐름에 있어서의 橋脚 洗掘幅의 크기에 대하여 實驗하였으며, Jones¹⁴⁾ 등은 壓力흐름을 가진 橋脚 周圍에서의 洗掘深度는 橋脚周圍內 局部洗掘과 收縮洗掘과의 合計로 나타내질 수 있다고 하였다. 이와 같은 研究 結果들은 아직도 定형화 되었다기 보다는 아직 제한적인 상태에서의 연구에 지나지 않고 광범위한 適用까지는 더 많은 研究가 필요할 실정이다. 本 研究에서는 實際 河川인 錦江水系內 報靑川 山桂地點의 橋梁을 모델로 한 模型實驗을 실시하여 洗掘 特性에 대한 分析과 自由水面을 가진 흐름과 壓力

흐름下에서의 洗掘深度에 관하여 研究하였다.

2. 實驗水路의 設置 및 檢證

2.1 相似 法則의 適用

流體에 作用하는 主要 外部的 힘은 重力, 粘性力, 壓力, 表面張力 및 彈性力인데, 이들 각각의 힘 성분 크기의 比가 原形과 模型에서 전부 동일하여야만 완전한 動力學的 相似가 성립된다. 이 외부적 힘들과 慣性力(Inertia Force)과의 비를 각각 無次元量으로 式 (1)과 같이 表示할 수 있다.

$$f\left\{\frac{V}{\sqrt{gL}}, \frac{\rho VL}{\mu}, \frac{V}{\sqrt{\Delta p/\rho}}, \frac{\rho V^2 L}{\sigma}, \frac{\rho V^2}{E}\right\}=0 \quad (1)$$

式 (1)에서 5개의 무차원량은 Froude 數(Fr), Reynolds 數(Rr), Euler 數(Er), Weber 數(Wr) 및 Cauchy 數(Cr)로 불리우며, 이 5개의 무차원량의 比가 동일할 때 완전한 流體에 대한 動力學的 相似가 이루어진다. 여기에서 Froude 數는 重力에 의한 影響, Reynolds 數는 粘性力에 의한 影響, Euler 數는 壓力에 의한 影響, Weber 數는 表面張力에 의한 影響, Cauchy 數는 彈性力에 의한 影響을 나타낸다. 또한 각각의 무차원량에 따르는 相似法則을 그 이름에 따라 Froude, Reynolds, Euler, Weber 및 Cauchy의 相似法則으로 불리운다. 實際적으로 5개의 無次元量의 比를 일정하게 하는 것은 불가능하므로 實驗 목적에 따라서 流體의 흐름을 지배하는 주요한 힘의 요소, 또는 요소들만을 주로 고려하여 축척을 決定하는 것이 보통이다.

開水路에서의 흐름은 주로 重力에 의한 影響이 다른 힘에 비하여 크므로 本 研究에서는 Froude 相似法則을 實驗水路 設置를 위한 基本 相似法則으로 채택하였다.

2.2 適用 河川에서의 粗度係數 決定

橋脚周圍에서의 洗掘現象에 대한 模型實驗을 실

시하기 위해서는 適用河川의 特性을 파악하는 것이 必要하며, 이중에서 특히 河川내 흐름을 좌우하는 河床의 粗度係數(n)를 파악하여야 한다. 따라서 本 研究에서는 適用河川인 錦江 支流의 報靑川內 산계교가 위치한 河床에서의 粗度係數를 그 동안 IHP 調查를 통하여 觀測되어온 水位 및 流量資料를 이용하여 算定하였다. 粗度係數의 算定 結果는 Fig. 1과 같으며, 그림에 나타난 바와 같이 粗度係數는 水位에 따라 조금씩 상이하나 전반적으로 0.027-0.048의 범위에 있다.

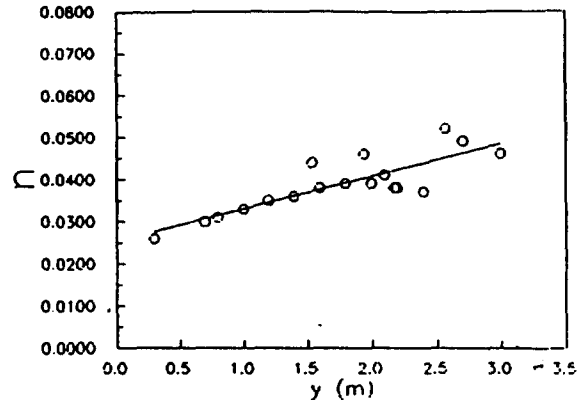


Fig. 1 Manning's roughness coefficient variation by observed data

2.3 模型水路의 設置 및 粗度係數 決定

橋脚周圍에서의 局部洗掘深度 실험을 위한 실험 장치는 水路 길이 12m, 水路幅 40cm, 水路높이 40cm의 開水路 裝置를 이용하였다. 설치된 실험수로는 양측벽면이 유리로 되어 있어 흐름을 관찰할 수 있고, 자체 양수펌프기능을 갖추고 있어 지하수 조로부터 물을 공급하고 재순환시킬 수 있으며, 또한 河道傾斜를 0.0~4.0%범위까지 변화시킬 수 있다. 流量은 밸브에 의해서 조절이 가능하고, 상류부 수조에 삼각위어가 설치되어 있어 유량을 측정할 수 있으며, 수로하류단에는 垂直 gate가 설치

되어 있어 흐름상태를 조절할 수 있다. 또한 상류부 수조와 수로 사이에 screen이 설치되어 있어水流를 整流시켜 흐르도록 하였으며, 流速測定은 소형 Magnetic 유속계를 이용하였다. 洗掘現象을 파악하기 위한 河床材料는 水路의 中央으로부터 수로 바닥에 깊이 10cm, 길이 6.0m로 포설하고 水路의 중앙에 모형교각을 설치하였다. 설치된 실험장치의 概略圖는 Fig. 2와 같으며, 교각의 模型은 실험대상하천인 報靑川 山桂橋 橋脚의 形狀과 동일하게 시멘트 모르타르를 사용하여 축척 1/40으로 제작하였다. 이때 설치된 模型橋脚의 幅 2.5cm와 수로의 폭 40cm에 의하여 형성된 개도비는 실제의 교량 1개지간의 개도비와 동일하다. 또한 교량에 의한 압력 흐름을 유도하기 위하여 교각 상단에 길이 40cm의 판을 설치하였다.

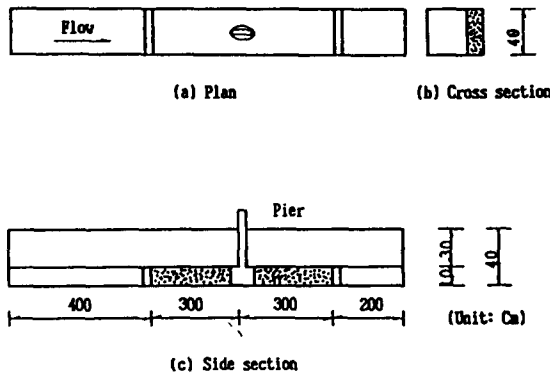


Fig. 2 Open channel apparatus for the scour experiment

그동안 發表된 土砂의 洗掘, 流送등에 관한 實驗結果를 살펴보면 流砂移動의 實驗을 위한 移動土模型水路(movable-bed model)는 精確한 定量的인 相似性을 유지하는 것이 어려우므로 여러 형태의 현장 실측 결과와 모형실험결과를 비교, 분석하여 실험목적에 적합하게 실험장치를 설치하고 이를 검증한 후 실험을 실시하게 된다. 특히, 이동상 수

로 실험에서는 河床材料를 相似법칙에 의거하여 축소하여 사용하거나 河床材料를 그대로 사용하고 다른 河川특성을 변화시키는 방법을 이용하게 된다. 相似법칙에 의거하여 河床材料의 크기를 縮小할때 특히 주의할 부분은 평균입경(d_{50})이 0.8 mm이하인 경우에는 原形과 유사한 이동 특성을 갖지 못한다는 점이다. 본 연구 대상지점인 보청천 산계지점의 하상은 자갈과 모래가 혼합되어 있으며 체가름 분석을 실시한 결과 하상평균입경은 50 mm이나, 실제하천에서의 세굴현상 관측결과 세굴의 대부분은 모래(모래만의 평균입경은 0.8 mm)의 이동에 의하여 일어나고 있었으며 이들의 1/40 축척인 하상재료는 원형과 유사한 이동특성을 갖지 못하게 되므로 本 研究에서는 평균입경이 0.8mm인 현장의 모래를 그대로 사용하고 河川特性을 변화시키는 방법으로 模型水路의 傾斜를 변화시키는 방법을 택하였다. 모형수로 하상경사 결정을 위하여 각각의 傾斜에서 水位변화에 따른 粗度係數를 算定하였으며, 그 結果는 Fig. 3과 같다.

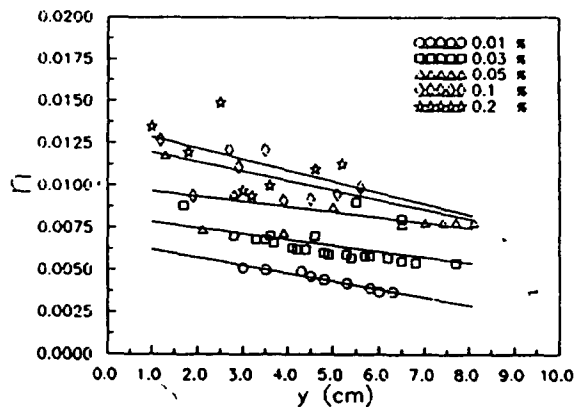


Fig. 3 Manning's roughness coefficient variation with depth in the model

2.4 模型水路內 河床傾斜 範圍 決定

自然河川에서의 흐름은 一般의으로 亂流狀態이

며 흐름에 따른 抵抗力은 摩擦力보다도 渦流抗力(form drag)으로 인한 것이므로 Manning公式과 같은 經驗公式이 적용될 수 있으며, 相似法則에 따라 쓰면

$$V_r = \frac{1}{n_r} R_r^{2/3} S_r^{1/2} \quad (2)$$

開水路에 있어서 유속비 V_r 과 시간비 T_r 은 Froude모형법칙의 물리량비에 따라 각각 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$V_r = L_r^{1/2} \quad (3)$$

$$T_r = \frac{L_r}{V_r^{1/2}} \quad (4)$$

式 (2)에 式 (3)을 代入하고 定理하면

$$L_r^{1/2} = \frac{1}{n_r} = L_r^{2/3} S_r^{1/2} \quad (5)$$

本 研究에서는 앞절에서 決定된 適用河川의 粗度係數 및 實驗水路에서의 粗度係數를 이용하여 模型에서의 水路傾斜를 선정하였다. 즉 原形과 模型의 粗度係數비(n_r)가 算定되었을때 傾斜比는 式 (2)로부터 다음의 式(6)과 같이 정리할 수 있다.

$$S_r = \frac{n_r^2 L_r}{L_r^{4/3}} = \frac{n_r^2}{L_r^{1/3}} \quad (6)$$

이때 適用河川에서의 河床傾斜는 현장실측을 통하여 0.25 %로 決定되었으며, 2.3절에서 決定된 粗度係數中 洪水發生頻도가 높은 水深 2 m의 粗度係數인 0.04를 사용하고 앞에서 決定된 模型水路의 粗度係數의 범위를 적용한 結果 模型에서의 河床傾斜는 0.013% - 0.065%의 범위를 나타냈다.

2.5 模型水路의 검증

2.5.1 浮流砂 移動 및 沈降性 檢討

橋脚 周圍에서의 局部洗掘은 橋脚 周圍에 있는 모래가 浮流砂 또는 掃流砂의 형태로 移動하는 것

인데, 흐름의 主要 特性인 流速에 따라 浮流砂 또는 掃流砂가 된다. 本 實驗에서는 浮流砂를 감안한 實驗을 수행하도록 計劃하였다. 그동안 실시된 浮流砂 移動에 관한 많은 實驗에서 流砂의 沈降速度(Fall velocity, w)와 摩擦速度(Friction velocity, u_*)와의 비가 原形과 模型에서 동일하도록하여 移動의 相似性을 유지하였는바, 本 研究에서도 浮流砂 移動의 相似性을 유지하고자 하였다.

河床傾斜 인 河川에 물이 等流狀態로 흐를 때, 斷面積을 A , 區間을 L , 윤변을 P 라면, 潤邊에 작용하는 마찰력과 물무게 W 의 흐름방향의 성분에 대한 힘의 平衡關係式은 다음과 같다.

$$\tau_o LP = W \sin\theta = \rho g L \sin\theta = w L A \sin\theta \quad (7)$$

여기서 $\sin\theta = i$, $A/P = R$ 로 놓으면

$$\tau_o = w R i = w h i \quad (8)$$

여기서 τ_o 는 流水가 水路의 윤변에 작용하는 單位面積當의 마찰력이며, 이것을 掃流力이라 한다. 이 식에 마찰속도로 정의되는 式 $u_* = \sqrt{\tau_o / \rho}$ 을 고려하면 다음의 관계가 성립된다.

$$u_* = \sqrt{g R i} \quad (9)$$

沈降速度는 無限大의 정지 유체에 土砂粒子를 降下시킬때 갖게 되는 終末沈澱速度(terminal velocity)를 말하며 土砂의 流送 및 沈澱解析에 있어서 土砂粒子의 중요한 성질중의 하나로 사용된다. 土砂粒子가 淨水중으로 降下하여 沈降할 경우 沈降速度(w)는 水中에서의 粒子무게(W_s)와 粒子의 下降에 抵抗하는 抗力(F_D)이 平衡을 이룰 때, 즉 $W_s = F_D$ 때 얻어진다.

$$W_s = \frac{1}{6} \pi d_s^3 (r_s - r) \quad (10)$$

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D W^2 \frac{\pi d_s^2}{4} \quad (11)$$

$$W^2 = \frac{4}{3} \frac{g d_s}{C_D} \frac{r_s - r}{r} \quad (12)$$

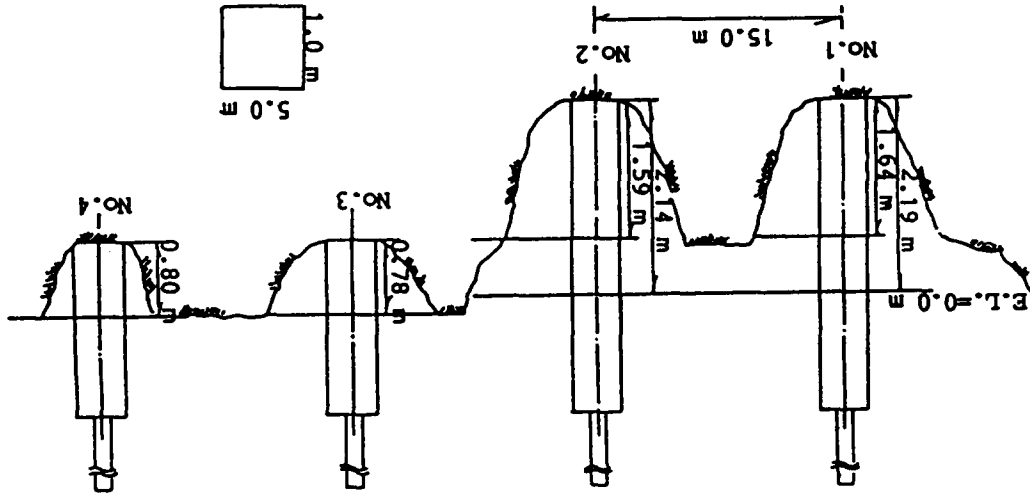


Fig. 4 The cross section of maximum scour depth at measured piers

Table 1 The measured maximum scour depth for each bridge pier

(unit : m)

| No. of Pier | 1 st | | 2 nd | | 3 rd | | 4 th | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | water depth | scour depth | water depth | scour depth | water depth | scour depth | water depth | scour depth |
| No. 2 | 3.55 | 1.64 | — | — | — | — | — | — |
| No. 3 | 3.40 | 1.59 | — | — | — | — | — | — |
| No. 4 | 1.96 | 0.76 | 0.48 | 0.17 | 1.88 | 0.75 | 1.83 | 0.70 |
| No. 5 | 1.96 | 0.80 | — | — | 1.88 | 0.75 | — | — |

여기서 d_s 는 沈澱直徑이며, r_s, r 는 各各 土砂 粒子 및 물의 單位重量이고, ρ 는 물의 密度, C_D 는 抗力係數(drag coefficient)이다.

위의 式을 이용할때 0.8 mm의 平均입경을 가진 모형수로에서 실제 하천에서의 w/u^* 와 동일한 값을 갖기 위하여는 0.03%의 하상경사를 유지해야 하는 것으로 나타났다.

2.5.2 適用 河川에서의 洗掘深度 測定

模型水路와 適用河川과의 檢證을 위하여 1993년 여름 홍수기를 통하여 實際河川에서의 洗掘深度를 측정하였다. Fig. 4는 測定橋脚에 대한 最大洗掘深度의 斷面을 나타낸 것으로 교각중 No.4 및 No.5의 교각은 과거에 세굴된 부분을 되메우기한 후 이 기간 동안에 있었던 洪水에 의한 최대세굴심도를

측정하였고, No.2 및 No.3 교각에 대하여는 既往 最大洪水에 의해 현재까지 형성된 최대세굴심도를 각각 측정하였다. 측정결과는 Table 1과 같다.

2.5.3 模型水路에서의 最大洗掘深度와 比較

앞의 장에서 측정된 適用河川의 洗掘深度와 模型水路에서의 洗掘深度를 比較하기 위하여 模型水路에서의 각각의 경사에 따른 水位와 洗掘深度에 대한 實驗을 실시하였다. 그 結果를 Fig. 5에 나타내었으며, Table 2에 그 結果를 정리하였다. Table 2에서 보는 바와 같이 實際河川(原型)에서의 最大洗掘深度(d_s/b)는 模型水路의 傾斜가 0.03 %일때의 模型水路에서의 最大洗掘深度(d_s/b)와 거의 같음을 알 수 있다.

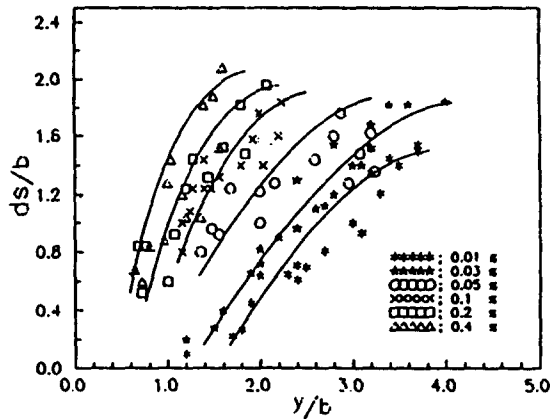


Fig. 5 The maximum scour depth in model channel

2.5.4 모형수로 검증

실제 하천내 교각에 자유흐름 및 압력흐름에 의한 최대세굴심도 산정을 위한 실험수로 선정은 첫째로, 기본상사법칙으로 Froude 법칙을 채택하였고, 둘째로 하천 및 모형수로에서의 조도계수를 실측하여 적용가능한 하상경사의 범위를 결정하였으며, 셋째로 원형과 모형에서의 하상재료에 대한 침강속도와 마찰속도의 비(w/u_{*})를 검토하여 모형수로의 하상경사를 결정하였으며, 마지막으로 원형하천에서의 세굴심도를 직접 측정하여 모형수로 실험결과와 비교하므로써 세번째 결정된 하상경사가 적정하게 선정되었음을 확인하였으며 이를 통하여 모형수로를 검증하였다.

3. 自由水面 흐름下에서의 最大洗掘深度 變化

교각주위내 洗掘深度에 영향을 주는 敏感한 因子로 그동안의 문헌 연구 및 간단한 적용성 실험을 통하여 水深, Froude 數, 開度, 接近角을 택하여 자유수면 흐름하에서의 최대세굴심도변화에 대한 실험을 실시하였다.

3.1 水深에 의한 洗掘深度 變化

水深에 의한 세굴심도 변화를 파악하기 위하여 각각의 開度별로 수로경사를 변화시켜 실험을 실시하였으며, 실험 결과는 水深(y)과 最大洗掘深(d_s)과의 관계를 橋脚의 幅(b)에 의하여 無次元化시켜 比較, 分析하였다. Fig. 6은 그 결과를 比較하여 나타낸 것으로 공통적인 경향은 河床傾斜가 급해질

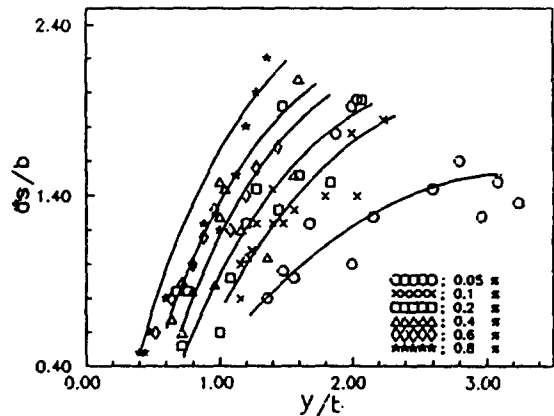


Fig. 6 Maximum scour depth variation with water depth increment

Table 2 The comparison of maximum scour depths between model and prototype

| depth (prototype) | | Maximum scour depth(proto.) | | Maximum scour depth of each bed slope for model channel, (d _s /b) | | | | | |
|-------------------|------|-----------------------------|-------------------|--|-------|-------|------|------|------|
| y(m) | y/b | d _s (m) | d _s /b | 0.01% | 0.03% | 0.05% | 0.1% | 0.2% | 0.4% |
| 0.48 | 0.48 | 0.17 | 0.17 | — | — | — | — | — | — |
| 1.88 | 1.88 | 0.75 | 0.75 | 0.30 | 0.70 | 1.20 | 1.45 | 1.80 | 2.10 |
| 1.96 | 1.96 | 0.78 | 0.78 | 0.39 | 0.80 | 1.25 | 1.60 | 1.90 | 2.15 |
| 1.96 | 1.96 | 0.80 | 0.80 | 0.39 | 0.80 | 1.25 | 1.60 | 1.90 | 2.15 |
| 3.40 | 3.40 | 1.59 | 1.59 | 1.40 | 1.60 | 1.80 | 1.90 | — | — |
| 3.55 | 3.55 | 1.64 | 1.64 | 1.50 | 1.70 | 1.80 | — | — | — |

주: 1. 實際河川의 水深(y)과 最大洗掘深度(d_s)는 무차원화 하기위하여 교각폭(b=1m)으로 나눈 수치임.

2. 實驗水路는 축척 1/40임으로 b=2.5 cm로 나누어 무차원화 함.

수록 같은 水深에서 洗掘深은 커지며, 또한 水深이 增加될수록 洗掘深도 增加된다. 각각의 경사별로는 水深이 增加할수록 洗掘深의 增加率은 둔화되는 경향을 보이고 있다.

3.2 Froude 數에 의한 洗掘深度 變化

Froude(=Fr) 數는 無次元數로써 水深과 流速에 대한 영향력을 나타내고 있다. 따라서 Fr 數에 따른 最大洗掘深의 變化를 傾斜別로 실험을 실시하여 比較하였으며, 그 결과는 Fig. 7과 같다. 그림에서 알 수 있듯이 하상경사가 급해질수록 Fr 수 는 增加하는 반면 세굴심도 增加率은 둔화되는 樣相을 나타내고 있으며, 각각의 하상경사별로는 Fr 數가 增加할수록 세굴심은 점점 커진다.

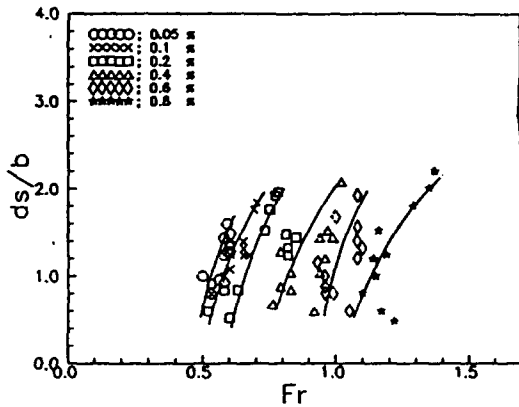


Fig. 7 Maximum scour depth variation with Froude number increment

3.3 開度에 의한 洗掘深度 變化

開度에 의한 洗掘深度 變化는 Fr 數와 最大洗掘深과의 關係를 開度別로 比較하여 Fig. 8에 나타내었다. 그 결과 각각의 開도에 있어서 Fr 數가 增加할수록 세굴심도 增加하는 경향이며, Fr 數의 증가에 비하여 세굴심도 증가는 둔화되는 樣相을 나타내고 있다. 또한 같은 Fr 數에 있어서 開도가 增加할수록 洗掘深도 역시 增加함을 알 수 있다.

3.4 接近角에 의한 洗掘深度 變化

接近角에 의한 洗掘深度 變化를 분석하기 위하여 河床傾斜 0.03 %, 0.1 %, 0.2 %의 경우에 있어서 각각의 接近角과 最大洗掘深을 水深別로 측정하여 Fig. 9에 나타내었다. 그 결과 接近각의 增加에 따라 세굴심도 增加함을 알 수 있으며, 接近각 60度 以上에서는 평형을 이루는 것으로 나타나고 있다. 또한 水深이 클수록 세굴심도 깊어짐을 알 수 있다.

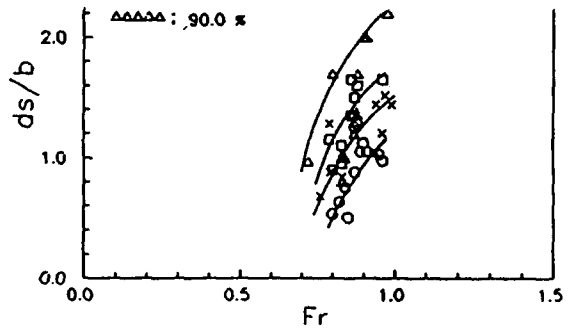


Fig. 8 Maximum scour depth variation by opening ratio increment

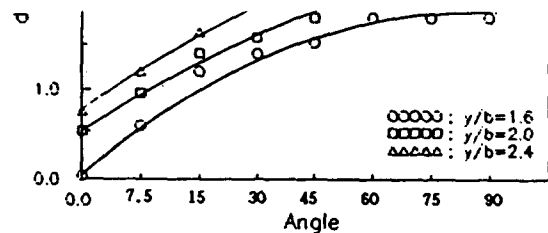


Fig. 9 The relationship of maximum scour depth for angle of attack

4. 壓力變化 前後의 洗掘深度 比較

앞에서 言及된 各 傾斜別 최대세굴심도 변화 實驗은 自由수면하에서 실시된 결과이다. 이와는 달리, 壓力이 고려된 흐름이라는 것은 橋梁의 상판 위까지 河川水位가 이르렀을 때를 말하는 것으로서 自由水面的 흐름과 구분할 수 있다. 本 研究에서는 橋梁이 완전히 물에 잠겼을때의 흐름인 壓力이 고려된 흐름과 自由수면흐름하에서의 最大洗掘深度의 크기를 實驗의 結果로 比較, 分析하였다. Fig. 10은 自由수면흐름과 壓力을 고려한 흐름에 대한 最大세굴심도를 比較한 것으로서 그림에서 보는 바와 같이 壓力을 고려한 흐름의 경우의 最大세굴심도는 自由수면흐름의 경우보다 약 2배가량 크게 나타남을 알 수 있다. 따라서 橋梁이 洪水期에 있어서 완전히 침수된 경험을 가진 경우라면 이는 반드시 安全診斷을 통하여 破壞의 위험성 여부를 檢討를 해야 할 것이라고 생각된다.

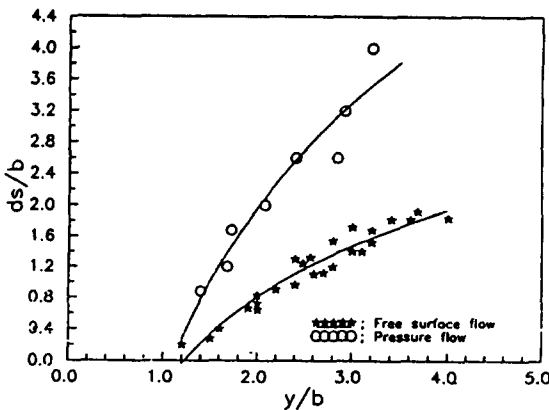


Fig. 10 The comparison of pier scour depth between free surface flow and pressure flow

5. 決 論

錦江水系 報青川에 설치되어 있는 山桂橋 橋脚周圍에서의 自由수면하 및 壓力흐름하에서의 洗掘深度를 算定하기 위하여 模型水路를 설치하여 實驗을 실시하였다. 이때 모형수로는 상사법칙으로 Froude 상사법칙을 채택하였으며, 하천 및 모형수로에서의 조도계수의 실측과 원형과 모형에서의 하상재료에 대한 침강속도와 마찰속도의 비를 검토하여 하상경사를 결정하였으며 원형하천에서의 세굴심도를 직접 측정하여 모형수로 實驗결과와 비교하여 모형수로를 검증하였다. 이와 같은 實驗을 통하여 도출된 實驗결과는 다음과 같다.

1. 금강수계인 보청천내 自由수면흐름과 壓力을 고려한 흐름에 있어서 교각주위에서의 最大洗掘深度를 比較한 結果, 壓力을 고려한 흐름의 경우가 2배정도가 되는 것으로 나타났으며 橋梁이 완전히 물에 잠겼을때 洗掘現象에 의한 교각의 破壞 위험성은 급격히 增加할 것으로 판단된다.
2. 自由수면흐름하에서 보청천내 산계교의 교각 주위에서의 수심변화, Froude 수 변화, 개도비 변화 및 접근각 변화에 따른 最大세굴심도의 變化를 그림으로 나타내어 손쉽게 最大세굴심도를 산정하도록 하였으며 하상경사 변화에 따른 세굴깊이의 變化를 나타내어 설계등에 참고하도록 하였다.
3. 동일한 수심에서는 하상경사가 커질수록 세굴심은 커지지만 동일한 하상경사에서는 수심이 증가할수록 세굴심의 증가율은 둔화되는 경향을 보인다.
4. 교각 주위에서의 最大세굴심도는 Fr 수 및 개도비가 증가할수록 증가한다.
5. 교각 주위에서의 最大세굴심도는 접근각이 증가할수록 커지지만 접근각이 60도 이상에서는 그 증가폭은 적다.

감사의 글

이 연구는 1992년도 한국과학재단 연구비 지원

에 의한 결과이며 연구비를 지원하여 준 재단에 감사사를 드립니다. (과제번호 : 921-1300-001-2)

參 考 文 獻

1. 高橋 晃, 橋脚의 局所洗掘에 關する 實驗的 考察, 水理講演會 論文集, 1982.
2. 金鎮洪, 圓形橋脚 周圍에서의 最大洗掘深度에 關한 實驗的 研究, 서울대 碩士學位論文, 1985.
3. 金孝燮, 橋脚周圍에서의 洗掘現象에 關한 研究, 서울대 碩士學位論文, 1985.
4. 鈴木辛一, 圓柱橋脚周圍의 靜的洗掘에 關する 研究, 土木學會 論文報告集, 313 號, 1981.
5. 李正主, 河川橋脚의 洗掘防止 對策에 對한 實驗的 研究, 漢陽大學校, 1992.
6. 李洪萊, 橋梁橋脚周圍의 局部洗掘에 關한 實驗的 研究, 연세대 碩士學位論文, 1984.
7. Abed L. M., Local Scour around Bridge Piers in Pressure Flow, Ph. D. Dissertation, Colorado State Univ., Fort Collins, Co., 1991.
8. Altinblek, H. D., Localized Scour in a Horizontal Sand Bed Under Vertical Jet, I.H.A.R., Vol. 1, 1973, pp.99-106.
9. Cornelism, A. Von der Guten, Discussion of Scour around Bridge Piers at High Flow Velocities, Proc. of ASCE, HY2, 1982.
10. Hughes, W.C., Scour Velocities in Ephemeral Channels, Jour. of the Hydraulics Division, ASCE, No. HY9, Sept., 1980, pp.1435-1441.
11. Ishihara, T., Experinental Study of Scour at Bridge Piers, Trans. Jap. Soc. of Civ. Eng., 28(11), 1945.
12. Jain, S. C., E.F. Fisher, Scour around Bridge Piers at High Flow Velocities, Jour. of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 104, 1980, pp. 1827-1842.
13. Jain, S. C., Maximum Clear-Water Scour around Circular Piers, Jour. of the Hydraulics division, ASCE, Vol. 107, 1981, pp.611-626.
14. Jones, J. S., Bertoldi, D. A., Umbrell, E. R., Preliminary Studies of Pressure Flow Scour, Hydraulic Eng. '93, Vol.1, Proceedings of the 1993 Conference, ASCE, pp.916 - 921, 1993.
15. Laursen, E. M. and A. Toch A., A Generalized Model Study of Scour around Bridge Piers and Abutments, Proc. IAHR, 1953.
16. Laursen, E.M., Scour at Bridge Crossings, Transaction, ASCE, Vol. 127, 1962, pp.166-209.
17. Melville, B. W., Live Bed Scour at Bridge Piers, Jour. of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 110, 1984, pp.1234-1247.
18. Raudkivi, A. J. and R. Ettema, Effect of Sediment Gradation on Clear-Water Scour, J. of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 103, 1977.
19. Raiaratnam, N. and B. A. Nwachuwu, B. A., Erosion Near Groynelike Structures, Proc. IAHR No. 4, 1983.
20. Richardson, E.V., Abed, L., Top Width of Pier Scour Holes in Free and Pressure Flow, Hydraulic Eng. '93, Vol.1, Proceedings of the 1993Conference, ASCE, pp.916-921, 1993.
21. Shen, H.W., V.R. Schneider, S. Karaki, Local Scour around Bridge Piers, Jour. of the Hydraulics Division, ASCE, 1969, pp. 1919-1940.
22. Tanaka shigeru and Yano Motoaki, Local Scour around Circular Cylinders, Proc. IAHR, 1967.
23. Wang, H., Water Wave Pressure on Horizontal Plate, Vol.96, HY10, ASCE, pp.1997-2017, 1970.
24. Wiggert, D. C., Transient Flow in Free-Surface, Pressurized Systems, Vol.98, HY1, ASCE, pp.11-27, 1972.

(접수 : 1월 17일)