

水理模型 實驗에 의한 蛇行河道의 捨石 크기에 관한 研究

A Study on Riprap Size in Meandering Channels by Hydraulic Model Test

문 수 남*
Moon, Soo Nam

Abstract

Flow in meandering channel is a great concern to civil engineers and may further be characterized as one of the key problems in river morphology. It is difficult to state generalized criteria for channel improvement applicable to any particular river. But it is important to provide some principles and guidelines for the design engineer. The objective of this experimental study is to suggest riprap size, principles and guidelines for the design engineer by the hydraulic model test. For the sake of effective uses for the bank stabilization, hydraulic model tests about riprap weight and size are performed and examined thoroughly. Riprap weight for the upstream of the curvature apex can be computed by U.S.B.R. and Brahms' equation, and the size by Mavis and Laushey's equation. Those for the downstream can be computed using Brahms' and Steinberg's equations, respectively.

요 지

하천 지형학의 중요한 요인이 되는 사행하천의 흐름은 토목기술자와 상당한 관련이 있다. 특정한 하천에 대해 하도개량을 적용시키기 위한 일반적인 기준을 서술하기는 곤란하나 토목 설계자에게 어떤 원칙과 기준을 제공하는 것은 중요하다. 본 實驗 研究의 목적은 토목 설계자를 위해 수리모형실험에 의한 捨石에 대한 기준을 제시하는 것으로, 제방 안전에 효과적으로 사용하기 위한 사석무게 및 크기에 대해 수리모형실험에서 구한 사석을 배치하여 만곡호안을 보호할 수 있도록 하였다. 谷頂 上流에 배치되는 사석의 무게는 U.S.B.R.과 Brahms 식으로 구한 결과값을, 크기는 Mavis와 Laushey의 식으로 구한 결과값을 사용할 수 있고, 谷頂 下流에 배치되는 사석의 무게는 Brahms 식으로 구한 결과값을, 크기는 Steinberg 식으로 구한 결과값을 사용할 수 있다.

* 서일 전문대학 강사

1. 序 論

하도와 流水는 相互作用으로 흐르면서 水流가 激突하고 反射하는 過程의 反復으로 蛇行을 이루어 가면서 흐르고 있다. 이와 같이 蛇行河道에서의 水激 位置는 彎曲部에서 이루어지고 이곳에서의 洗掘이 크게 일어나고 있어 堤防 崩壞 防止와 護岸工의 보호를 위한 根固工 시설이 필요하게 된다. 특히 하천의 彎曲部에는 흐름의 遠心力과 副次流가 생겨 堤外 비탈끝에서 洗掘이 시작되어 堤防 비탈면에 洗掘 및 崩壞現狀이 일어난다. 이와같은 堤防의 洗掘 및 崩壞現狀을 방지하기 위하여 護岸工法과 水制工法이 있는데, 주로 護岸工法이 많이 사용되고 있어 좋은 효과를 보고 있으나 개선해야 할 점은 아직 많으며, 護岸工法에는 側覆工, 根固工, 根止工, 床固 등이 있다(千田稔, 1971). 본 실험의 목적은 개수로인 하도내에 홍수와 소용으로 제방 범면과 河床에 掃流力이 발생하여 세굴과 붕괴가 일어나 이를 방지하기 위한 안전한 시설물의 규모를 하도의 洪水波 疏通 水理模型 實驗으로 유도하려는 것이다. 따라서 하천 改修를 필요로 하는 곳은 유

속과 掃流力이 크고 洗掘과 堆積이 크게 일어나는 중·상류 하도로 하도경사가 비교적 급한 蛇行河道를 택하여 水理模型實驗을 하였다. 이 堤防 護岸과 河床 根固工에 안전하게 流水가 소용된다면, 이 構造物은 다른 하도에서도 안전한 구조물이 될 것이다. 본 水理模型實驗은 固定床實驗을 실시하여 掃流力에 이동하지 않는 捨石의 크기를 검토하여 彎曲部 護岸 根固工에 타당한 計算式을 만들어 중 소하천의 改修에 이용할 수 있도록 실험을 통해 연구를 실시하게 되었다.

2. 掃流力에 의한 捨石 크기

2.1 掃流力

그림 1에서 河床에 작용하는 流水에 의한 剪斷力이 河床物質에 의한 抵抗力보다 크게 되면 河床 모래는 움직이기 시작한다.

이 순간에서의 剪斷力을 限界掃流力이라 하며 等流인 하천흐름에서 河床에 작용하는 평균적인 剪斷力의 크기를 τ_0 로 나타내며 다음식으로 계산된다 (Chow, 1958).



그림 1. 流水의 掃流力



(a) 增水期 河床

(b) 減水期 河床

그림 2. 增水時 減水時 螺旋流와 河床

$$\tau_0 = \gamma U^2 = \gamma R I_f \quad (1)$$

여기서 γ 는 물의 단위중량, R는 徑深, I_f 는 에너지 경사이며, U는 다음식으로 정의되는 마찰속도이다.

$$U = \sqrt{\tau_0 / \rho_w} \quad (2)$$

여기서 ρ_w 는 물의 밀도를 나타내며 掃流力 $\gamma R I_f$ 를 限界掃流力이라 하고 副次流(secondary flow)를 포함한 掃流에 있어서 上流에서 흐르는 토사의 양과 下流에 유하하는 토사의 양이 균일하면 掃流力도 균일하게 된다. 따라서 掃流力 $\tau_0 = \gamma R I_f \propto u^2 / 2g$ 로 되기 때문에 이 경우 流速水頭는 일정하다. 즉 流速이 일정하면 河水의 水流는 등류로 된다. 水流가 유하함에 따라 유속을 증대하는 경우는 掃流力도 증가하기 때문에 掃流土砂도 차차 증가하게 된다. 이런 경우의 河床은 그림 2처럼 洗掘을 하게 된다.

그림 2에서 $d_w/d_s > 0$ 일 때는 세굴, $d_w/d_s < 0$ 일 때는 침전을 나타내며 沈澱과 洗掘이 極大로 되는地點은 d_w/d_s 가 極大인 수위곡선의 變曲線地點이 된다. 이條件은 螺旋流가 極大로 되는條件과 일치하는 것으로 이條件은 결국 河床을 결정하는 요인이 된다. 또한 $\partial^2 h / \partial x^2 = 0, \partial^2 h / \partial t^2 = 0$ 에 있어서의 유량 또는 수위가 河床을 결정하는 요소로 되기 때문에 이 때를 支配流量과 支配水深으로 생각한다. 여기서 u는 흐름방향의 유속, x는 거리, h는수심, t는 시간을 의미한다.

2.2 堤防 捨石 理論

非粘着性 河床物質의 始動에 관한 첫 研究는 Brahms(1753)에 의해 알려져 있으며 始動條件에서의 粒子의 무게는 流速의 6乘에 비례하는 것으로 생각하여 다음과 같이 나타내었다.

$$(U_b)_{cr} = kW^1 \quad (3)$$

여기서 $(U_b)_{cr}$ 은 河床面에서의 限界流速, k는 常

數이며, W는 粒子의 수중무게이다. 堤防의 捨石 理論에 대하여 Lane(1957)이 제시한 식은 다음과 같다(Vanoni, 1975).

$$\tau_0 < 700 d_m \quad (4a)$$

$$\frac{R I_f}{\Delta d_m} < 0.043 \quad (4b)$$

여기서 τ_0 는 限界 掃流力(N/m^2), d_m 은 捨石의 平均直徑(m)이며, Δ 는 水中比重(1.65)이다. 또한 河床面의 限界유속에 의한 理論으로 Steinberg(1960)의 식과 Mavis와 Laushey(1948)의 식이 있고 이를 소개하면 다음과 같다. Steinberg 식은

$$(U_b)_{cr} = \zeta \sqrt{d} \quad (5)$$

로서 여기서 d는 粒徑(m)이며, ζ 는 係數로 보통 4이다. Mavis와 Laushey의 식은

$$(U_b)_{cr} = 0.5d^{4/9} \sqrt{(\rho_s / \rho_w)} - (fps-mm) \quad (6)$$

로서 m/s-m로 단위를 통일하면

$$(U_b)_{cr} = 4.3 \sqrt{d} \quad (7)$$

로 된다. 여기서 ρ_s 는 粒子의 密度이다.

Shields와 Chezy의 流速公式를 이용하고 이 식을 전개하였고(Vanoni, 1975), 美 開拓局(U.S. Bureau of Reclamation)에서는 이 식을 조정하여 심한 亂流에 사용하였으며 다음식으로 정리하였다(Zanen, 1976).

$$d_m \geq \frac{1.4}{\Delta} \frac{U_m^2}{2g} \quad (8)$$

여기서 d_m 은 平均粒徑(m), U_m 은 平均流速(m/sec)이다.

斜面에서는 윗식에 1/k 乘을 하고 있으며 餘裕를 勘案한 係數 k는 0.43이고, 이 係數는 불확실하여 단지 安全率로 보아도 좋을 것으로 생각된다. 한편 California Division Of Highway에서는 限

界掃流 解析上에 Brahms가 유도한 流速 6乘 法則을 이용하고 있으며 식 (9)와 같다. 堤防 構造物에서 돌의 무게 $W(kg)$ 는

$$W = \frac{0.0115U^6 S_{gr} \cos^3(\theta - A)}{(S_{gr} - 1)^3} \quad (9)$$

여기서 U 는 유속(m/s), S_{gr} 은 돌의 比重(2.65), θ 는 사석쌓기 각도이며, 는 斜面傾斜이다. 대체적으로 하천의 제방 사면을 1:1.5로 하면 $A=33^\circ 25'$ 이고 사석 쌓기 각도 θ 를 70° 로 하고 정리하면 식 (10)과 같으며 사석무게 계산에 적용된다.

$$W = 0.032U^6 \quad (10)$$

3. 水理模型理論과 제작 및 장치

3.1 水理實驗用 對象河川 規模

河幅은 對象이 中·上流 地方하천이라는 점과 屋內 實驗場의 넓이를 감안하여 原形 150m로 결정하였으며 50年 確率頻度降雨量으로 $1900m^3/sec$ 의 洪水量을, 100年 確率頻度降雨量으로 $2200m^3/sec$ 의 洪水量을 적용시켰다(改訂 建設省河川 砂防 技術基準, 1977).

중소하천의 規模는 40~450m이고 그 洪水量이 $300\sim 5000m^3/sec$ 로서 우리나라 建設部의 河川施設基準(河川편)과 日本 建設省의 河川砂防 技術基準에서 동일한 數値를 나타내고 있어 150m 하폭에서의 유량은 $1900\sim 2400m^3/sec$ (하폭 100m의 경우 $1200\sim 1500m^3/sec$)를 유하시켰고, b 는 河幅, 는 曲率半徑일때, 하도의 曲率半徑比/ b 는 원활한 유수소통을 위하여 $\rho/b > 10$ 으로 하고 있으며 地形, 地質上 그리고 기타 모든 要件을 감안하여 最少限으로 $\rho/b > 5$ 로 하고 있다. 따라서 本實驗에서는 河幅 100~150m에서 $\rho/b \approx 4\sim 6$ 으로 하여 模型을 제작하였다(平均 $\rho/b \approx 5$ 로 함).

하천의 粗度係數 $n=0.032$ 로 하여 水理模型 實驗規模를 결정하였으며, 하도는 流速과 수심변화가 많은 蛇行河道로 하였고 중소하천 中에서 流速과 河床傾斜가 큰 곳으로 하였으며, 이 하도내에서의

安定 構造物은 他 중소하도에서 그 構造物을 시설 하여도 안정된 構造物이 될 것으로 생각하여 比較的 蛇行이 급한 하도를 對象으로 하였다.

3.2 模型實驗用 洪水波 模型

洪水波의 식은 河川流域 形狀에 따라 다양하며 增水期와 減水期의 時間別 洪水量은 曲線模型式으로 표시되나 模型實驗에서는 洪水量과 시간의 변화를 조정하기 쉬운 類似模型의 直線모형식으로 한다. 이러한 점에서 이탈리아 小流域의 河川 實驗에 의해 산출된 Possenti의 식을 사용 하였으며 그 내용은 다음과 같다(江守 一郎, 1985).

$$Q_p = \frac{CR_{24}}{L} (A_m + \frac{A_p}{3}) \quad (11)$$

여기서 계수

$$C = \frac{\sqrt{L}}{10} (1.2 + \frac{A}{50L}) \approx 0.60 \sim 1 \quad (12)$$

$$A = A_m + A_p \quad (13)$$

로 나타내며 Q_p 는 尖頭 洪水量, R_{24} 는 日雨量(mm), A_m 은 山地面積(km^2)이며 A_p 는 平地面積(km^2), L 은 水原地에서 懸案 地點까지의 流路延長(km)이다.

이같은 洪水波形은 그림 3과 같은 삼각형 波形에 근사한 것으로서 增水期間 T , 減水期間에는 $\lambda \cdot T$ 로 하고 λ 는 표 1과 같이 주어졌다.

따라서 增·減水期 시간 T 와 尖頭 洪水量 Q_p 로 時間別 洪水量이 선형적으로 변화하도록 하였으며 水理模型實驗에서는 洪水波와 같이 時間別 流出量에 맞춰 유출시켜야 한다.

실제는 洪水波의 增水期에는 水面傾斜 i 가 相當이 급하여 掃流力은 커지며 이때 河床 施設物 崩壞를 더욱 야기시킬 것이다. 또한 河床의 砂礫도 洗掘과 堆積은 增水期와 減水期에 반복될 것이다. 따라서 洪水波의 形狀은 표 1에서 $\lambda=4$ 로 가정하고 50(100)年 確率 降雨量을 $300mm/day$ ($350mm/day$), 流出率 80%로 추정하여 洪水波를 가정하였다(神田徹과 藤田睦博, 1983). 따라서 150m의 尖

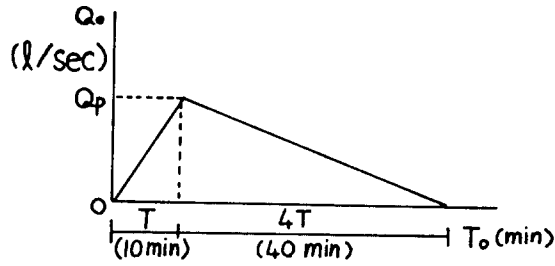


그림 3. Possenti의 模型

표 1. Possenti의 λ값

유역면적 km ²	500이하	500~1000	1000~8000	8000~20000	20000~70000
λ	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0

頭 洪水 上昇時間을 3hr로 하며 減水期의 시간은 4배인 12hr로 가정하였다.

3.3 相似性 및 模型水路의 諸元

3.3.1 相似性

본 模型은 수심에 비해 河幅이 넓은 歪曲模型 (distorted model)이므로 徑心 $R \approx y$ 로 나타낼 수 있으므로 連續方程式으로부터 斷面積의 縮尺比(A_r)와 유량의 縮尺比(Q_r)를 구할 수 있고 각 數理量의 縮尺比는 L_r 및 y_r 로 나타내면 다음식과 같다.

$$\text{粒子 Reynolds 數 } Re_r = y_r^2 L_r^{-1} \nu_r^{-1} \quad (14a)$$

$$\text{無次元 掃流力 } \tau_r = L_r y_r^{-1} \quad (14b)$$

$$\text{水深 粒徑比 } y_r/d_r = y_r d_r^{-1} \quad (14c)$$

$$\text{河床材料 粒徑 } d_r = y_r \quad (14d)$$

3.3.2 模型 縮尺比 및 諸元

本 實驗에서는 上記 制約條件을 감안하여 유량검정은 4角 웨어 流量公式를 사용하여 流量係數 0.66으로 직접 유량을 검정할 수 있는 수위-유량곡선(그림 4)을 활용하였고, 流速計의 검정은 $V = an + b$ 식에서 $a = 0.251$, $b = 3.0$ 의 값을 갖는 電計式 프로펠라 流速計를 사용하였으며 2點法을 택하였다. 粗度에 대한 검정은 일정유량을 흘린 후 水理量을 측정하고 그 測定值를 Manning 公式에 대입하여 粗度係數 n 를 산출하여 수위를 일치시켜 粗

度를 조절하였으며, 수위 측정은 1/10mm까지의 精度를 갖는 point gauge를 사용하였다.

水路의 主要諸元을 模型 諸元으로 환산하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{斷面積比 } A_r &= L_r y_r = 1/100 \times 1/30 \\ &= 1/3000 \end{aligned} \quad (15a)$$

$$\begin{aligned} \text{流量比 } Q_r &= L_r y_r^{3/2} = 1/100 \times (1/30)^{3/2} \\ &= 1/16432 \end{aligned} \quad (15b)$$

$$\begin{aligned} \text{流速比 } V_r &= y_r^{1/2} = (1/30)^{1/2} \\ &= 1/5.48 \end{aligned} \quad (15c)$$

$$\begin{aligned} \text{時間比 } T_r &= L_r y_r^{-1/2} = 1/100 \times (1/30)^{-1/2} \\ &= 1/18.26 \end{aligned} \quad (15d)$$

$$\begin{aligned} \text{傾斜比 } I_r &= L_r^{-1/2} y_r = (1/100)^{-1/2} \times 1/30 \\ &= 1/3 \end{aligned} \quad (15e)$$

$$\begin{aligned} \text{粗度係數比 } N_r &= L_r^{-1/2} / y_r^{2/3} \\ &= (1/100)^{-1/2} \times (1/30)^{2/3} = 1.036 \end{aligned} \quad (15f)$$

3.4 模型의 제작 및 설치

模型水路는 建設試驗所內 屋內 實驗室에 콘크리트 모르타르로 제작되었으며 그 平面圖와 斷面圖는 그림 5와 같다. 그러므로 一般 하천을 直線形 水路와 彎曲形 水路로 구분하여 水平縮尺은 1/100, 垂直縮尺은 1/30로 模型化하였으며, 콘크리트 블록을 사용하여 제작하고 河床面은 모래를 깔고 그위

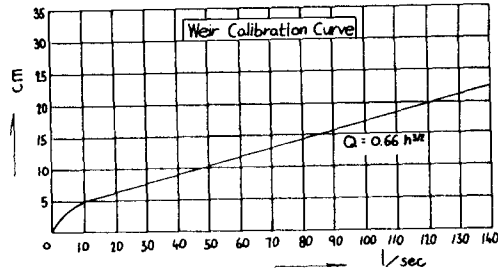


그림 4. 수위-유량 관계곡선

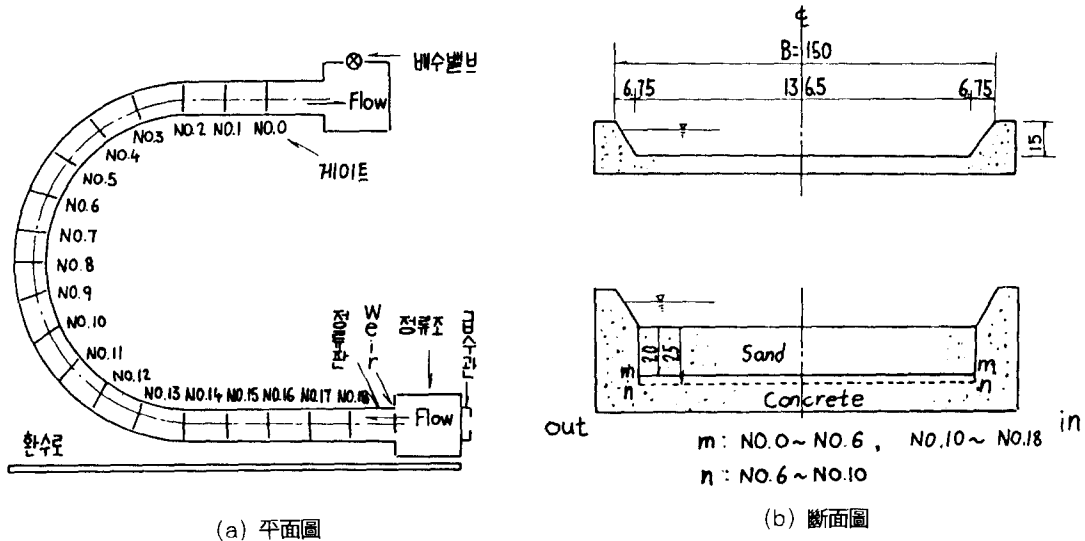


그림 5. 模型 平面圖와 斷面圖

표 2. 諸元

구 분	河幅(m)	河 床	50年確率頻度 降雨量의 洪水量	100年確率頻度 降雨量의 洪水量	曲率半徑 (m)	蛇行長(m)
실제하천	150	原河床	1900 C.M.S	2200 C.M.S	665	2089
모형	1.5	固定床	115.6 1/s	133.9 1/s	6.65	20.89

에 모르타르를 발랐다.

粗度係數는 大概의 平均値인 $n=0.032$ 로 취하였고 粗度를 맞추기 위해 자갈, 돌기물을 바닥에 부착하였으며 平均流速은 3.5m/sec 程度로 하였다.

以上의 내용은 다음과 같으며 표 2와 같은 諸元으로 實驗을 실시하였다.

水路의 原形 幅 b 는 고정상으로 150m, 彎曲水

路는 中心角이 180° 이다. 模型水路의 曲率半徑 ρ 는 6.65m, 總延長은 32.89m 이고 上流 直線部는 8m, 下流 直線部는 4m이다. 堤防高 h 는 15cm로 堤防 護岸傾斜는 1:1.5인 사다리꼴 斷面으로 模型을 제작, 설치하였다.

實驗 流量 給水는 大形 高架水槽로부터 整流板을 통해 整流水路를 거쳐 水路로 공급하였고 수위調節

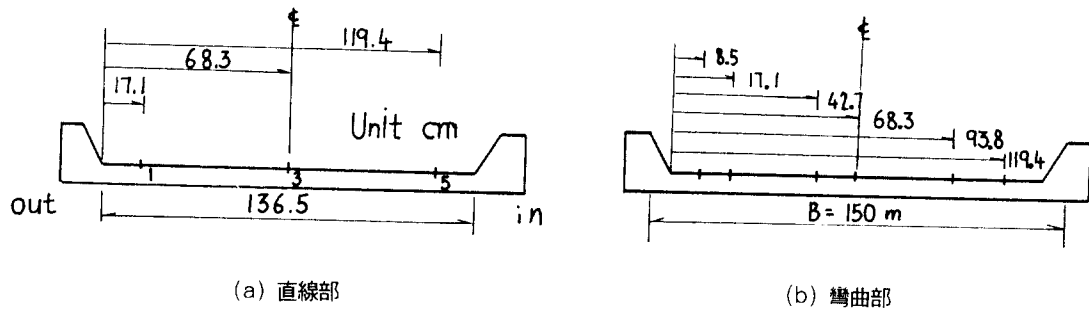


그림 6. 測點의 位置

을 위해水路下流末端部に tail gate를 설치하였다. 實驗實施中 수심, 流速, 河床變動 등을 측정하기 위한 測點은 그림 6과 같이 설치하였으며 彎曲部 始點 上流의 直線部(NO. 14-18)와 彎曲部 終點 下流의 直線部 (NO. 0-2)와 彎曲部, 始點 및 終點 부근의 세 測點(NO. 12-14, NO. 2-5)는 2m 간격으로 설치하였다.

測點 5번부터 測點 11번까지는 曲率 中心으로부터 中心角 $\theta=10^\circ$ 간격으로 설정하여 간격이 1m 가 되도록 설치하였다. 수위 測定點은 直線部는 河幅 1/2地點과 内外岸 1/8 地點에 3점을 설치하였다. 만곡부는 중심지점을 기준으로 내안은 반하폭의 1/4 지점과 반하폭의 3/4을 취해 추가 설치하여 총 6점의 측정점을 설치하였다. 원형 하폭 150m의 경우 모형에서는 다음과 같다.

직선부 좌안에서 17.1cm, 68.3cm, 119.4cm

만곡부 좌안에서 8.5cm, 17.1cm, 42.7cm, 68.3cm, 93.8cm, 119.4cm

4. 捨石크기 算定 검토

浸蝕水路의 洗掘은 주로 流速과 限界 掃流力 및 河床材料의 粒徑 등을 변수로 하여 이들의 力學的 關係를 理論적으로 고찰하여 動的 거동을 규명하여 제시하도록 本 實驗을 시도하였으나, 各 理論들을 實際 흐름에 적용하여 精度 높은 흐름을 해석하기에는 어려운 점이 많았다. 前記 掃流力에 의한 捨石크기 식에서

① d_m 은 Shields의 理論式, W 는 Brahms의 理

論式

② d 는 Steinberg 식, W 는 California Division Of Highway 식

③ d 는 Mavis와 Laushey의 식, W 는 California Division Of Highway 식

으로 捨石이 流水에 이동하지 않고 저항하는 算出式들과 本 模型에서 捨石이 流水에 이동하지 않고 저항하는 지름 d 및 무게 W 를 實驗 측정하여 비교, 분석, 검토한다.

浸蝕性水路의 洗掘은 河床 및 堤防斜면에 대한 掃流力, 渦流, 伏流水에 의한 浸透壓, 彎曲部에서의 遠心力 등에 의해 발생되지만 急流部에서의 洗掘은 掃流力이 원인이 되어 발생하는 것으로 本 實驗에서는 유속이 빠른 彎曲部 頂點 NO. 8 點을 택하여 動的 舉動을 조사하였다.

1200, 1500, 1900, 2200m³/sec의 유량을 河幅 150m 彎曲部の 左岸側의 流速이 가장 빠른 頂點 NO.8 測點에 實際의 模型捨石을 집계등으로 놓고 實驗을 실시하였다. 捨石의 動的 거동을 시작하려는 試料의 크기를 同 地點에서 3個의 測定値와 平均値를 작성하였으며 捨石 舉動 試驗에 이용된 試料의 크기는 표 3과 같다.

原形 捨石 무게 W (kg)와 이를 球로 환산한 直徑 d (cm)는 各 유량에 대한 흐름에 의한 掃流力으로 거동하려는 捨石 試料의 크기이며 무게 W (kg)는 수중무게이다.

Brahms의 流速 6乘式으로 河床에서 $W=0.073u^6$ 이나 이 식으로 계산한 무게는 위의 표 3의 捨石 무게보다 10% 程度 가벼운 數值로서 $W=0.080u^6$ 식이

표 3. NO.8 測点 左岸 流量別 거동된 捨石 試料의 크기

流量 (m ³ /sec)	流速 (m/s)	方向	測定 回数別 길이(cm)			平均 길이(cm)	原形 길이(cm)	原形 길이	
			1회	2회	3회			W(kg)	d(cm)
1200	3.36	L	2.27	2.12	2.01	2.13	64	114.6	53
		B	1.35	1.10	1.05	1.17	35		
		H	1.03	1.05	0.99	1.02	31		
1500	3.79	L	2.50	2.14	2.38	2.50	75	247.5	68
		B	2.08	1.17	1.78	1.67	50		
		H	1.48	1.27	1.29	1.34	40		
1900	4.29	L	2.90	2.95	2.92	2.92	88	512.3	84
		B	2.03	2.02	2.26	2.50	63		
		H	1.98	1.89	1.75	1.87	56		
2200	4.54	L	3.02	3.17	3.09	3.09	93	675.5	92
		B	2.36	2.52	2.20	2.36	71		
		H	2.08	2.02	2.09	2.06	62		

측정기구: 버어니어 캘리퍼스 L: 장방향 B: 단방향 H: 높이

가장 近似値를 가지며 또한 Shields 理論式에서 亂流에서의 平均直徑 d_m 은

$$d_m \geq \frac{1.4}{A} \frac{u^2}{2g} = \frac{1.4 \times u^2}{1.65 \times 19.6} = 0.0433u^2 \quad (16)$$

이나 5% 程度가 적은 直徑 수치가 계산되어 역시 $d_m = 0.047u^2$ 이 되고 있으며 표 4와 같이 비교된다.

模型河床에서는 掃流力에 의하여 다소 이동될 것으로 보이며, 따라서 Brahms 식, $W = 0.073 u^6$ 와 Shields 식, $d = 0.0433u^2$ 이 설계에 그대로 이용되어도 무방한 것으로 보인다. 斜面的 捨石 무게는 掃流力の 75%로서 上記 돌무게의 비(0.032/0.073)는 44%로서 半 以下로 되므로 既 $W = 0.032u^6$ 식을 이용하는 것이 타당한 것으로 보인다.

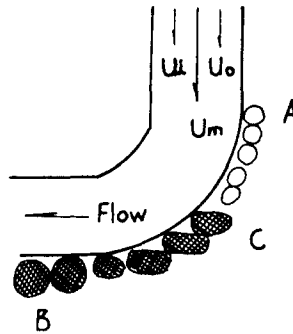
한편 Callifornia Division Of Highway 방법으로 구한 무게 W와 Mavis와 Laushey의 식으로 구한 입경 d의 돌을 그림 7과 같이 谷頂上部的 上流에 배치하고 Callifornia Division Of Highway 방법으로 구한 무게 W와 Steinberg 식으로 구한 입경 d의 돌을 谷頂上部的 下流에 적절히 배치함으로써 掃流力에 대항하는 捨石으로 捨石 거동되려는 試料 크기와 計算値의 비교를 표 4와 같이 나타내었고, 이 方法 또한 설계에 적용되어도 충분할 것

으로 생각된다.

5. 結 論

1) 限界掃流 解析上: Brahms가 유도한 流速 6 乘法則이 非粘着性 河床物質의 始動에 관해 잘 적용되며 堤防 構造物의 河床에서의 水中捨石 무게 $W(m\text{-kg})$ 는 본 실험의 결과치 분석에서 $W = 0.073 \sim 0.080u^6$ 이고 堤防斜面上에서 同捨石 무게는 $W = 0.032u^6$ 가 되고, 美 開拓局에서 조정해 사용하고 있는 Shields의 甚한 亂流式은 本 實驗 結果値와 가까운 값이 됨을 알 수 있으며 그의 捨石 直徑 $d = 0.043 \sim 0.047u^2$ 으로서 설계에 직접 이용할 수 있을 것이다.

2) Callifornia Division of Highway 방법의 堤防 構造物에서 돌의 무게 W는 M.K.S.단위로 변환하면 결국 Brahms의 식과 같게 되어 Mavis와 Laushey의 돌의 粒徑式을 환산, 정리하면 $d = 0.054u^2(m/sec\text{-m})$ 이고 이 크기의 돌을 谷頂 上流에 배치하고 Stenberg 식 $d = 0.0625u^2(m/sec\text{-m})$ 의 식으로 구한 돌을 谷頂 下流에 적절히 배치함으로써 掃流力에 대항할 수 있었음을 본 실험상의 표 4를 근거로 하여 확인되었으며 설계에 직접 이용할 수 있을 것이다.



A: 上流 C: 谷頂 B: 下流 U_i : 內岸流速 U_m : 平均流速 U_o : 外岸流速

그림 7. 谷頂의 捨石 配置

표 4. 捨石 거동되려는 試料크기와 計算值 비교

流量	流速		原形捨石		計算捨石(1)				計算捨石(2)			
					Brahms		Shield		Cal. Div.	Mavis	Cal. Div.	Stein berg
	m ³ /sec	m/sec	ft/sec	W kg	d cm	W	kg	d	cm	W kg	d cm	W kg
1200	3.36	11.02	114.6	53	105	115.1	49	53	28	49.7	63	78.3
1500	3.79	12.43	247.5	68	216.4	237.2	62	68	48	60.8	232	105.1
1900	4.29	14.08	512.3	84	455.1	498.7	80	86	77	72.7	427	148.2
2200	4.54	14.89	675.5	92	639.2	700.5	89	97	113	83.9	583	164.5

참 고 문 헌

- 改訂 建設省河川 砂防 技術基準(案)-計劃篇(1977). 建設省 河川局, 山海堂.
- 江守一郎 (1985). 模型實驗의 理論と應用. 技報堂 出版 株式會社, 東京.
- 神田徹, 藤田睦博 (1983). 確率論的 手法とその應用. 新體系 土木工學 26篇 水文學, 日本土木學會.
- 千田稔 (1971). "實用河川計劃: 中小 河川 改修 計劃의 理論と實際." 理工圖書 株式會社, 東京.
- Bank and shore protection in division of Highways California Highway Practice* (1972). Department of Public Work, State of California.
- Chow, V.T. (1858). *Open channel hydraulics*. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Lane, E.W. (1957) "A study of the shape of channels formed by natural streams flowing in erodible material." *MRD Sediment Series Report No. 9*.
- Mavis, F.T., and Laushey, L.M. (1948). "Formular for velocity at beginning of bed load movement is reappraised." *Civil Engineering*, ASCE, Vol. 9, No. 1, pp. 38-39 and p.72.
- Mavis, F.T., and Laushey, L.M. (1966). Discussion of "Sediment transportation mechanics: Initiation of motion." by the Task Committee for Preparation of Sedimentation Manual, *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE, Vol. 92, No. HY5, pp. 288-291.
- Steinberg, I.H. (1960). "Russian river channel works." *Journal of the Waterways, Harbors and Costal Engineering Division*, ASEC, Vol. 86, No. 4, pp. 17-32.
- Vanoni, V.A. (Editor) (1975). *Sedimentation engineering*. ASCE.
- Zanen, A. (1976). *International courses in hydraulic and sanitary engineering revetments*.
(접수: 1995년 4월 25일)