

〈論 文〉

段落部에서의 흐름 特性 및 逆流에 의한 落下離領域에서의 浮流砂 流動에 관한 研究

Experimental study of flow characteristics and sediment behaviors at the step down

朴 埈 鎬*

Abstract □ Reduced trend of surface velocity, length of the separated drop area and width of potential core have been verified through experimental study of flow characteristics at the step down. To investigate sediment behaviors, experimental study which involved accumulated sediment transport reducing water velocity in the separated drop area was performed. From the experimental results, surface velocity, length of the separated drop area and width of potential core were formulated, and calculated output was corroborated by experimental outcome. Furthermore an examination of the parameter which is defined by q_{st}/q_{so} was performed by detecting sediment in the separated drop area. Therefore these experiments can express the phenomena of flow characteristics and sediment behaviors at the step down.

요 지 : 段落部에서의 모형실험을 통하여 表面 流速의 減少傾向, 落下離領域의 길이, 潛在核(potential core)의 길이 등을 고찰하여 段丘 前面에 대한 흐름을 규명하였다. 흐름속에 浮流砂가 混在 되어 있는 경우, 부유사가 落下離領域 중에 堆積하게 되어 段丘의 진행 速度에 영향을 주게 되므로 이를 규명하기 위하여 段落部에 있어서 浮流砂의 流入에 대한 실험을 실시하고, 이에 대한 식을 유도하여 실험 결과로부터 이들 식의 유효성을 증명하였다. 또한 段落部の 落下離領域에서 사이폰에 의하여 採取되는 浮流砂量에 대한 실험 결과, q_{st}/q_{so} 를 규정하는 파라메타에 관한 검토를 실시하여 浮流砂의 堆積 特性을 설명하였다.

1. 서 론

浮流砂의 流入에 의한 貯水池의 堆砂 과정에 관해서 연구가 진행되어 왔으나, 貯水池內에 형성된 段丘의 前面으로 흐름이 생길 때 浮流砂 流動 特性을 규명하기 위하여 그 부분에서의 흐름을 상세히 연구할 필요가 있다. 段丘 前面에서의 흐름은 段落에 의한 斷面 急擴部の 수리 현상으로 취급 할 수 있다. 開水路 急擴部에 대한 연구로는 이시하라의 연구⁽¹⁾, 段落部の 流入을 대상으로 한 아지다의 연구⁽²⁾ 등이 있다. 전자는 水路 擴幅部에 噴流 理論의 적용을 목적으로 하여 결과를 얻었으나 모델의 적용상 약간의 문제가 있었다. 즉, 水路가 急擴하

는 경우 흐름이 灣曲 하게 되어 소위 coanda가 흘러 들어오게 되는데, 이때 段落部에 흘러 들어오는 양상에 대한 해석이 미흡 하였다. 후자의 경우 段落에 대한 損失 水頭나 段落 근처의 흐름의 양상에 대하여 상세한 연구가 이루어 지지 못하였다.

본 연구에서는 段落部에서의 모형 실험을 통하여 表面 流速의 減少傾向, 落下離領域의 길이, 潛在核의 길이 등을 고찰하여 段丘 前面에 대한 흐름을 규명하였다. 또한 흐름속에 浮流砂가 混在 되어 있는 경우, 浮流砂의 일부가 落下離領域에 堆積하게 될 때 段丘의 진행 速度에 영향을 주게 되므로 이를 규명하기 위하여 段落部에 있어서 浮流砂의 流入量에 대한 실험을 실시하고 이에 대한 식을 유도하여 실험 결과로부터 이들 식에 대한 유효성의

* 日本 九州大學 工學部 建設都市工學科(水工) 訪問研究員

증명을 목적으로 한다.

2. 실험 장치 및 방법

실험에 사용되는水路는 폭이 60cm인水路로서, 그림(1)에 표시된 바와 같이 下流端에 재키가 설치되어 있어서 수위를 조절하는 곳에서 부터 段上의水深 $h+0$ 를 자유로이 조절할 수 있다.流速은 레이저流速計에 의하여 측정하였고 段上의摩擦速度는 段上의水面勾配가 작아서 측정이 곤란한 때를 위하여 프레스톤 관(Preston tube)에 의하여 측정하였다.落下領域의 길이 l 는水路床에 붙여진系(軟針)에 색소를 주입하여 再附着點(reattachment point)를 측정하였다. 또한 上流段에 설치된 모래공급기(sand feeder)에 석탄분(비중 1.38, 입경 $d_{50} = 0.6\text{mm}$)를 공급하여 落下離領域의 가운데 침하되는 석탄분을 사이폰으로採取하여 段落部에서堆積되는浮流砂量을 측정하였다.

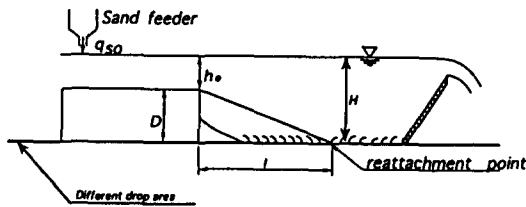


Fig 1. Installation of Experimental Equipment

3. 落下領域의 상태

3.1 흐름모델

段落部에 있어서의 흐름은 자유제트류(free jet)에 의해 噴流에 연속하여 兩端의 구속이 없이 흐르므로 2차원 噴流과 유사한 현상으로 생각되기 쉬우나, 본 연구에서 고려되는 段落部에서의 흐름은 下流側水路床에서 흐름이 구속되어 진행되므로 噴流과水路床間에 逆流領域이 형성된다. 그래서 潛在核의領域에는 제트領域(jet boundary)와 같은 모양의 중심이 段落의 어깨선에 위치하고 있으며, 潛在領域의 끝부분에서

再附着點까지는 자유제트와 같은 모양의 중심을 水表面에 두는 그림(2)와 같은 모델을 사용하여 落下離領域의 형태를 고려하였다. 이때 그림(2)에서는 落下領域의 길이 l 가 潛在領域의 길이 l_0 보다 긴 ($l > l_0$)의 경우와 반대인 ($l < l_0$)의 경우의 본질적인 차이는 없으나 본 연구에서는 ($l \geq l_0$)인 경우만을 다루었다.

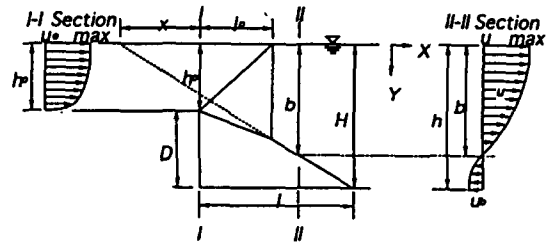


Fig 2. Flow Model at the Step down

3.2 流速分布

噴流領域에 있어서流速의 측정치는 그림(3)에서와 같이 나타낼 수 있다. 이와 같은 측정치는 자유제트에 대한 Tollmien(3)의 식과 Schuliching(4)의 식 사이에 존재하므로 噴流領域에 있어서流速分布의 상이함을 가정하여流速分布를 아래의 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{噴流領域}(0 \leq y \leq b) \frac{u}{u_{max}} &= f_1(\eta), \quad \eta = 1 - \frac{vy}{b} \\ \text{逆流領域}(b \leq y \leq h) \frac{u}{u_b} &= f_2(\eta, \zeta), \quad \eta = \frac{y-b}{h-b}, \\ \zeta &= \frac{x}{h_0} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 u_{max} = 表面流速, u_b = 底面流速, u = 流速, b = 噴流領域의 폭, h = 水深, h_0 = 段丘어깨선의水深, x = 流下方向의 水平距離, y = 水面에서의鉛直距離이다.

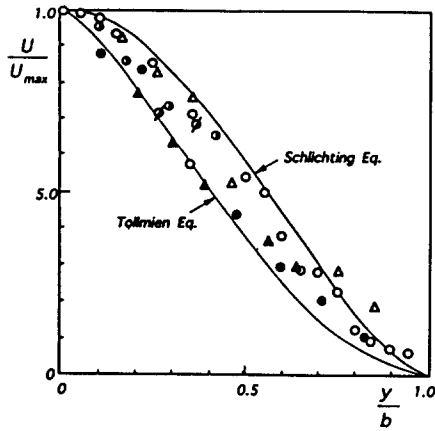


Fig 3. Velocity Distribution in Jet flow Regime

3.3 기초식

그림(2)의 斷面 I, II에 있어서 連續方程式은 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$u_0 h_0 \int_0^b u dy - \int_b^h u dy \quad (2)$$

이때 u_0 는 斷面 I에서의 平均流速이며 식(1)에 대입하여 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{u_{max} b C_1}{u_0 h_0} - \frac{u_b (h-b) D_1}{U_0 h_0 D_1} = 1 \quad (3)$$

여기서 $C_1 = \int_0^1 f_1(\eta) d\eta$, $D_1 = \int_0^1 f(\eta) d\eta$ 이고 運動量方程式은 斷面 I, II의 運動量 $\rho \beta_0 u_0^2 h_0 - \rho \int_b^h u^2 dy$ 에서 $\rho \int_b^h u^2 dy$ 를 뺀 형태로 나타낼 수 있으며 식(4)과 같다.

$$\rho \beta_0 u_0^2 h_0 - \rho \int_b^h u^2 dy - \rho \int_0^b u^2 dy = \frac{\rho g}{2} \{h_2 - (h_0 + D)^2\} \quad (4)$$

이때 β_0 는 斷面 I에 있어서의 運動量 補正係數, ρ 는 물의 密度, D 는 落下高이며, 이를 식(1)에 대입하여 식(5)를 구할 수 있다.

$$\left(\frac{u_{max}}{u_0}\right)^2 \frac{b C_2}{h_0} + \left(\frac{u_b}{u_0}\right) \frac{(h-b) D_2}{h_0} = \beta_0 + \frac{\left\{ \left(1 + \frac{D}{h_0}\right)^2 - \left(\frac{h}{h_0}\right)^2 \right\}}{2 F_0^2} \quad (5)$$

여기서 $C_2 = \int_0^1 f_1^2(\eta) d\eta$, $D_2 = \int_0^1 f_2^2(\eta) d\eta$,

$F_0^2 = u_0^2 = \frac{u_0^2}{gh_0}$ 이다.

3.4 落下離領域의 길이 l과 噴流領域의 폭 b

再附着點($x=1$)일때 $a=h=H$ 가 성립되므로 식(3)과 식(5)로부터 u_{max}/u_0 를 소거하여 아래의 식을 구할 수 있다.

$$\frac{H}{d_0} = \sqrt{d^2 + 2 F_0^2 \left(\beta_0 - \beta_1 / \frac{H}{h_0} \right)} \quad (6)$$

이때 $d_0 = 1 + D/h_0$, H =再附着地點의 水深, β_1 =噴流領域에 있어서의 運動量의 補正係數로서 $\beta_1 = C_2/C_1^2$ 이다. 한편 자유제트에 의한 噴流폭 b 는 距離 x 에 비례하여 增加하며 段落部에 있어서의 실험 결과는 噴流領域과 逆噴流領域의 境界 직선과 거의 일치하므로 l 과 H 사이에 직선關係가 예상 된다. 따라서 l/h_0 의 실험치와 식(6)에 의하여 구한 H/h_0 를 그려보면 그림(4)와 같이

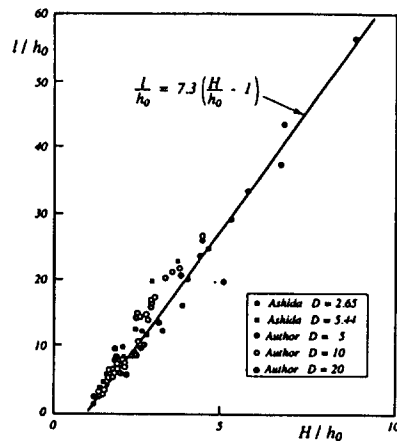


Fig 4. Relation between l and H

거의 일직선상에 있음을 알 수 있다. 도면상에 아시타의 자료와 본 연구의 실험 결과가 비슷한 傾向을 나타낸다.

그림(4)에 의하여 l 를 H 에 대한 1차식으로서 식(7)의 係數 및 x_0/h_0 를 구하면 $\sigma=7.3$, $x_0/h_0=1$ 이 되고 아래 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{l}{h_0} = \sigma \left(\frac{H}{h_0} - \frac{\sigma H_0}{x_0} \right), \sigma = 7.3, \frac{x_0}{\sigma h_0} = 1 \quad (7)$$

$F_0 \rightarrow 0$ 일 때 식(6)에 의해 $H/h_0 \rightarrow d$ 인 경우를 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{l}{h_0} = \sigma \left(d - \frac{x_0}{\sigma h_0} \right) \quad (8)$$

여기서 $x_0/h_0=1$ 을 아래의 식으로 표시할 수 있으며 이때 落下離領域의 길이는 落下高의 7~8배 정도가 됨을 알 수 있다.

$$\frac{l}{h_0} = \sigma \frac{D}{h_0} \quad (9)$$

식(7)의 $l=x$, $H=b$ 로 바꾸면 噴流 b 에 관한 식(10)의 형태로 나타낼 수 있다. 이때 x 는 段落部에서 하류방향으로 距離 이다.

$$\frac{b}{h_0} = \frac{x}{\sigma h_0} + \frac{x_0}{\sigma h_0} \quad (10)$$

3.5 表面 流速의 減少

表面 流速의 측정결과는 그림(5)에 의해 나타난 바와 같으며 $D/h_0=1$ 의 경우 이시하라의 開水路의 急擴部の 실험 결과와 일치하나, 再附着後 落下離領域의 減少 特性은 이시하라의 실험 결과를 따르지 않았다. 즉 減少 開始點도 일정치 않으며 D/h_0 의 減少도 일찍 시작되는 傾向을 나타내고 있다. 따라서 전형적인 2차원 자유제트와도 좀 다른 傾向을 나타내고 있다.

다음으로 식(2)와 식(5)에 의해 u_b 를 소거하여 식(11)를 나타내었다.

$$\frac{u_{\max}}{u_{0\max}} = \frac{\left\{ \frac{\beta_2}{C_1 \beta_1} + \sqrt{\beta_0'(h_0 - \zeta_b)(x - \beta_2/\beta_1)/\zeta_b C_2} \right\}}{r_0 x} \quad (11)$$

$$x = h_0 \zeta_b + \beta_2/\beta_1 \cdot \zeta_b, \beta_0' = \beta_0 - \frac{(h^2 \cdot h^2)}{2F_0^2}$$

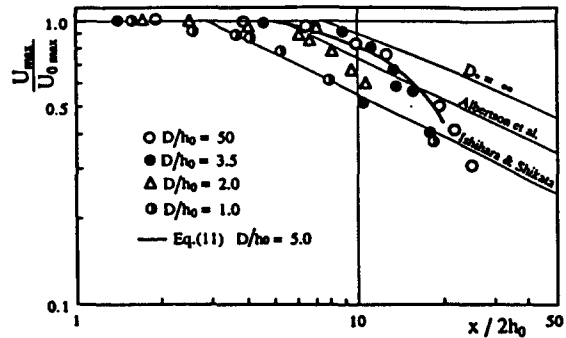


Fig 5. Reduced Trend of Surface Velocity

여기서 $u_{0\max}$ 는 斷面 I에서의 表面 流速이며 이때 $r_0 = u_{0\max}/u_0$, $h_0 = h/h_0$, $\zeta_b = b/h_0$ 가 된다. 斷面 I의 流速分佈를 對數分佈式에 적용하기 위하여 $r_1 = 1 + 2.5/\phi$, $\beta_0 = 1 + 11.25/\phi^2$ (이때 ϕ 는 平均流速과 摩擦速度를 비)의 값을 사용하였다. 본 실험의 범위는 $r_0 = 1.12 \sim 1.14$, $\beta_0 = 1.02 \sim 1.03$ 정도가 된다. 여기서 $r_0 = 1.13$, $\beta_0 = 1.03$, $\sigma = 7.3$, $x_0/\sigma h_0 = 1$ 및 Tollmien의 자유제트 값 $C_1 = 0.416$, $C_2 = 0.286$, $\beta_1 = 1.65$ 를 식(10), (11)에 대입하여 $u_{\max}/u_{0\max}$ 를 계산하여 그림(5)에 표시한 결과, 계산치와 실측치의 傾向이 비슷함을 알 수 있다. 즉 逆噴流領域의 流速分佈는 $\beta_1/\beta_2 = 1.3$, $D/h_0 = 5.0$ 의 값을 사용하여, 앞에서 유도된 식에 β_2 의 여러 가지 값을 대입하여 계산해본 결과 그림(6)과 그림(7)에서 상세히 나타낸 바와 같이 실험 결과에 가까운 계산 값을 얻었으므로 이들 식의 유효성을 입증할 수 있다.

한편 식(11)에 $h_0 \rightarrow \infty$ 를 대입하여 보면 자유제트인 식(12)가 됨을 알 수 있다.

$$\frac{u_{\max}}{u_{0\max}} = \frac{\sqrt{\frac{\beta_0}{C_2 \zeta_b}}}{r_0} = K_0 \sqrt{\frac{2h_0}{x + x_0}}, K_0 = \frac{\sqrt{\beta_0 \sigma}}{r_0} \quad (12)$$

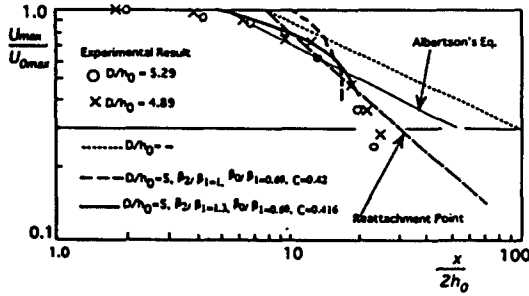


Fig 6. Comparison of Theoretical Line and Experimental Result(a)

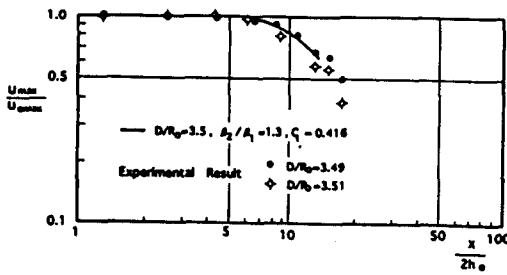


Fig 7. Comparison of Theoretical Line and Experimental Result(b)

이때 σ , β_0 , r_0 의 값은 앞에서 설명한 값을 사용하였고 C_2 는 Tollmien의 값 $C_2=0.286$ 을 사용하는 경우 $K_0=3.21$ 이 되고, Schlichting의 값 $C_2=0.416$ 을 사용하는 경우 $K_0=2.61$ 이 되어 Albertson의 실험치 $K_0=2.28$ 보다 조금 큰 값이 계산 되었다. $b \rightarrow h_0$ 가 되는 경우 아래 식 (13)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{u_{max}}{u_{0max}} = \frac{1}{r_0 C_1 \xi_b} = \frac{\sigma}{r_0 C_1} \cdot \frac{h_0}{x + x_0} \quad (13)$$

이때 再附着點 근처에는 表面流速이 段落部에서의 距離에 반비례하는 경우가 발생한다.

3.6 潛在核의 길이 l_p

潛在核의 침두는 $u_{max} = u_{0max} = r_0 u_0$ 인 경우 이므로 식(3)과 (5)로부터 u_b 를 소거하여 식(14)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \xi_{bl} &= \sqrt{E} - r_0^2 C_1 \\ (\beta_1 \neq \beta_2), \xi_{bl} &= \frac{\beta_0 h_0 - \beta_2}{2E}, (\beta_1 = \beta_2) \\ E &= \frac{(r_0^2 C_2 h_0 + \beta_0)}{2} - r_0 C_1 \beta_2 \end{aligned} \quad (14)$$

이때 ξ_{bl} 는 $x=l_p$ 일 때의 ξ_{bl} 를 표시하였다. 식(1)에 $x=l_p$ 를 대입하여 l_p 에 관하여 전개하면 식(15)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{l_p}{h_0} = \sigma \left(\xi_{bl} - \frac{x_0}{\sigma h_0} \right) \quad (15)$$

한편 식(15)에 식(14)를 대입하여 l_p/h_0 를 구할 수 있다. 이때 r_0 , β_0 , β_1 , 는 앞의 값을 사용하였고, C_1 , C_2 는 Tollmien에 의한 수치를 사용하여 식(14),(15)에 의해 $l_p/2h_0$ 를 계산하여 그림(8)과 같이 나타내었다. 이때 D/h_0 가 減少하면 $l_p/2h_0$ 도 減少하는 傾向을 나타내며 D/h_0 가 增加하는 경우 $l_p/2h_0$ 도 增加하므로 그림(5),(6),(7)에서와 같이 表面流速 減少開始位置의 傾向을 잘 나타내고 있다.

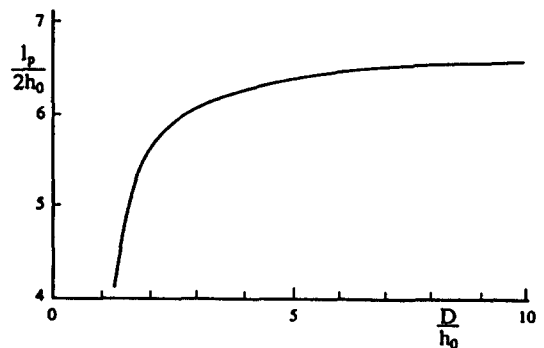


Fig 8. Length of Potential Core

이때 식(14)에 $h_0 \rightarrow \infty$ (자유제트)를 대입하면 $bl = 1/\gamma_0 2C_2$ 가 되고, $bl \rightarrow h_0$ ($l \rightarrow l_0$)를 대입하면 ξ_0

$i = 1/\gamma_0 C_1$ 가 된다. $\gamma_0 = 1.13$, $\sigma = 7.3$, $x_0/\sigma h_0 = 1$ 의 값을 사용하여 $l_p/2h_0$ 를 구하였다. 즉 $h_0 \rightarrow \infty$ 의 경우 $l_p/2h_0 = 6.6$ (Tollmien $C_2 = 0.286$)를 사용, 하고 $l_p/2h_0 = 3.4$ (Schlichting $C_2 = 0.416$)을 사용하였으며 b/h_0 의 경우 $l_p/2h_0 = 4.1$ (Tollmien $C_1 = 0.416$)를 사용하고 $l_p/2h_0 = 2.2$ (Schlichting $C_1 = 0.550$)을 사용하였다.

4. 落下部に 있어서 浮流砂의 流動 特性

4.1 濃度分布

상류의 모래공급기로 부터 석탄분을 일정량 공급하여 段落部에서 상류측으로 0cm, 50cm, 100cm, 150cm의 4개소에서 사이폰에 의하여 浮流砂를 採取하여 濃度分布를 측정된 결과 그림 (9)과 같이 나타낼 수 있다. 그림에서 나타낸 것과 같이 水面 근처에서 $x=0$ 지점의 濃度보다 $x=50, 100, 150$ 지점의 濃度가 크며, 段上의 정상류에 대한 擴散 보다 하류의 噴流領域에서의 擴散이 큰 것을 알 수 있다. 즉 하류로 갈수록 濃度가 減少하며 같은 지점에서는 水面부근을 제외하고는 濃度分布가 비슷한 양상을 나타내며 浮流砂의 沈降이 進行되는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상은 貯水池의 段丘部에서 측정된 결과와 비슷한 현상을 나타낸다.

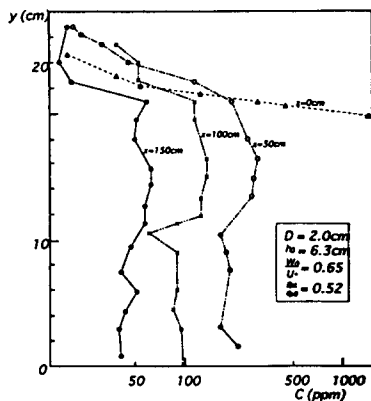


Fig 9. Distribution of Sediment Concentration

4.2 浮流砂의 流入特性

落下離領域에 沈降하는 석탄분은 逆流에 의하여 上流側 段丘의 前面에 堆積을 발생시킨다. 같은 水理條件의 경우 공급 석탄량 q_{s0} 를 10배 정도 변화시켜서 落下離領域에 보충된 석탄량 q_{st} 를 측정하는 실험에 의하면 q_{st}/q_{s0} 는 거의 변화가 없었다. 즉 落下離領域에 沈降되는 浮流砂量 q_{st} 는 $y=b$ 에 의한 浮流砂量의 濃度 C_0 , 상방향의 流速成分을 v 로 할 때 아래의 식이 성립된다.

$$q_{st} = \int_0^1 \left\{ (w_0 - v) C_0 - \varepsilon_s \left(\frac{\partial C}{\partial y} \right)_{y=b} \right\} dx \quad (16)$$

이때 ε 은 모래의 擴散 係數, C 는 浮流砂의 濃度이다. 같은 水理 條件일 경우 q_{st}/q_{s0} 가 일정하므로 C_0 와 q_{s0} 의 비를 고려 해보면 C_0 는 항상 아래의 關係를 가진다.

$$C_0 = C_{0f_1}(x/h_0) \quad (17)$$

$$\text{같은 형태로서 } \left(\frac{\partial C}{\partial y} \right)_{y=b} = \frac{C_{0f_2}(x/h_0)}{b} = \frac{C_{0f_3}(x/h_0)}{b}$$

를 생각할 수 있으며 이때 C_{0f_1} 는 段落部 上部에 있어서 浮流砂의 底面 濃度이며 濃度 分布式으로 Lane-Kalinske의 식(18)을 사용하였다.

$$C_{0f} = \frac{q_{s0}}{P \cdot q}, P = \left\{ 1 + \frac{2.5(1 + \log \eta)}{\phi} \right\} \exp\left(\frac{-15w_0 \eta}{u_*} \right) d\eta \quad (18)$$

이때 u_* 는 段落部 上部의 摩擦速度이며 $v \propto u_{\max} \propto bu_0$, $s \propto bu_{\max} \propto bu_0$, $bu_0 \propto u$. 로서 이들의 關係를 식(16)에 대입하여 식(19)로 나타낼 수 있다.

$$\frac{q_{st}}{q_{s0}} = \frac{w_0 d}{p \phi u_* h_0} \left[\left(1 + \frac{u}{w_0} \right) \int_0^1 f_1 \left(\frac{l \zeta}{h_0} \right) d\zeta - K \int_0^1 f_3 \left(\frac{l \zeta}{h_0} \right) d\zeta \right] \quad (19)$$

여기서 K가 정수이므로 q_{st}/q_{so} 는 w_0/u , ϕ , v/w_0 및 l/h_0 의 函數關係에 있음을 알 수 있다. 식(19)의 우변[]중에 제2항은 落下離領域에서 噴流領域으로 流入되어 段落部の 상부 측에 堆積되는 浮流砂量을 표시하였으나, 전술에 의한 바와 같이 濃度 分布가 일정하고 浮流砂量이 적은 것을 고려하여 식 (20)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{q_{st}}{q_{so}} = \frac{w_0 l}{\rho \phi u \cdot h_0} \left(1 - \frac{u}{w_0}\right) f_5\left(\frac{l}{h_0}\right) \quad (20)$$

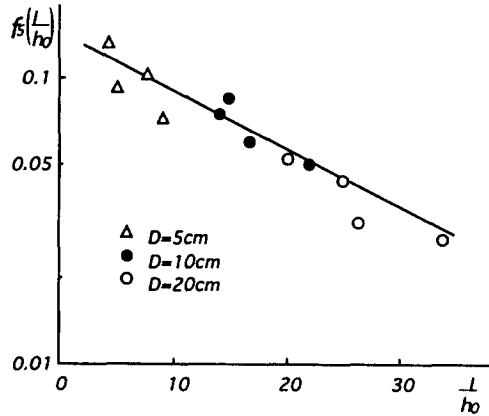


Fig 10. Relation between $f_5(l/h_0)$ and l/h_0

한편 v 를 구하기 위하여 $v/u_0=0.04$ 를 이용하고 실험치로부터 $f_5(l/h_0)$ 의 값을 식(20)을 이용하여 나타내 보면 그림(10)과 같이 나타낼 수 있다.

5. 결 론

이상과 같이 段落部에서의 흐름과 浮流砂의 流動 特性을 규명하기 위하여 실험을 수행한 결과는 다음과 같다.

(1) 段落部에서의 흐름을 噴流와 상이한 현상으로 고려하여 落下離領域의 길이 l , 表面 流

速의 減少值 및 潛在核을 구하기 위하여 이들에 대한 식들을 유도하였고, 그 유효성을 증명하기 위하여 식에 의한 계산값과 실험값을 비교해 본 결과 이들이 일치하므로 식이 유효함을 알 수 있다. 특히 逆噴流領域의 流速分布의 경우, $\beta_2/\beta_1=1.3$, $D/h_0=5.0$ 의 값을 사용하여, 유도된 식에 β_2 의 여러가지 값을 대입하여 계산한 결과와 실험 결과가 비슷한 경향을 나타내었다. 이를 더 자세히 규명하기 위하여 $D/h_0=5.29$, $D/h_0=4.89$ 인 경우의 실험치와 $D/h_0=5$, $\beta_2/\beta_1=1$, $\beta_0/\beta_1=0.69$, $C=0.42$ 인 경우 유도된 식에 의한 理論 曲線과 $D/h_0=5$, $\beta_2/\beta_1=1.3$, $\beta_0/\beta_1=0.69$, $C=0.416$ 인 경우 유도된 식에 의한 理論 曲線을 비교하여 실험 결과에 근접한 값을 얻었으므로 유도된 식이 유효함을 알 수 있다. 또한 $D/h_0=3.49$, $D/h_0=3.51$ 인 경우의 실험치와 $D/h_0=3.5$, $\beta_2/\beta_1=1.3$, $\beta_0/\beta_1=0.69$, $C=0.416$ 인 경우 유도된 식에 의한 理論 曲線을 비교해 보면 역시 실험 결과에 근접한 값을 얻었으므로 유도된 식이 유효함을 알 수 있다.

(2) 段落部の 落下離領域에서 사이폰에 의하여 採取되는 浮流砂量에 대한 실험 결과, q_{st}/q_{so} 를 규정하는 파라메타에 관한 검토를 실시한 결과 浮流砂의 濃度 分포는 水面 근처인 $x=0$ 지점의 濃度보다 $x=50, 100, 150$ 지점으로 갈수록 濃度가 크며 段上의 정상류에 대한 擴散보다 하류의 噴流領域에서의 擴散이 큰 것을 알 수 있었다. 즉 하류로 갈수록 濃度가 減少하고 같은 지점에서는 水面부근을 제외하고는 濃度分布가 비슷한 양상을 나타내며 浮流砂의 沈降이 진행됨을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. 石原(1966) 開水路斷面急擴部の水理學的狀況に關する研究 日本土木學會論文集 第128號
2. 田(1960) 開水路斷面急擴部の水理に關する研究

, 日本土木研究報告書 第105號の6

3. 野村安正 (1985) 噴流(Turbulent Jets) 森北出版株式會社, pp.66~116.
4. Hermann Schlichting(1979) Boundary-Layer Theory McGraw-Hill Co, pp.727~755.
5. 平野宗夫(1970) 段落部におけ流れの特性と浮流砂のこまき みついで九州大學工學集報 pp.288~293.
6. Richard H. French(1986) Open-Channel Hydraulics McGraw-Hill Co. pp.509~547.
7. 日野幹雄(1987) 流體力學, 朝倉書店, pp.229~235.
8. M. Lesieur(1987) "Turbulence in Fluids", Martinus Nijhoff Publisher, pp.242~258.
9. Bradshaw, Cebeci & Whitelaw(1981) "Engineering Calculation Methods for Turbulent Flow", Academic Press, pp.209~218.
10. Hinze(1987) "Turbulence", McGraw-Hill Co., pp.483~585.

(접수 : 1월 27일)