

捨石堤를 透過하는 흐름

Flow Through Rubble Mound Dike

金 采 洙* · 南 宣 祐**
Kim, Chae Soo · Nahm, Sun Woo

Summary

This study was aimed at determining a regime of flow through rubble mound dike consisted of all sized quarrystones, and deriving a relationship between hydraulic gradient (I) and mean flow velocity (V) through the dike.

The analysis was carried out with the data observed after final gap closing of the Haenam Sea dike from May, 6 to May, 14, 1987.

The results are summarized as follows:

1. The regime of flow would be defined as the turbulent flow.
2. As to the relationships, two kinds of formula that are exponential and binomial were obtained.
Exponential formula: $I=2.099V^{1.2688}$
Binomial formula: $I=0.6113V+5.5235V^2$
3. Correlation coefficient of the former was 0.824 and that of the latter was 0.821, and the deviations between observed data and estimated were 0.0070 and 0.0064 respectively.
4. Comparing the correlation coefficient, both the equations have the same correlation coefficients, but in case of the deviation the binomial equation was better than the exponential equation. Therefore, the binomial equation is proposed for analyzing the flow through rubble mound dike.

I. 序 論

國土擴張事業の一環으로 施行되고 있는 防潮堤의 경우 前面 捨石堤, 裏面 盛土堤를 많이 採擇하고 있다. 이 때 施工上 捨石堤 部分이 盛土堤 部分보다 先行되어 施工되고 있으며 特히 捨石堤에 의한 最終물막이 期間 및 그 完了後 盛土堤 工事期間中에 捨石堤空隙을 통한 透過흐름이 일어나고 있다.

그러나 大部分의 透過흐름에 對한 經驗式들이 모래, 자갈 等 微細粒子的 材料를 利用한 실내 模型實驗에 依한 結果들이다.^{1), 2), 10), 13), 14)} 더우기 採石場에서 發破된 全石(all sized)을 築堤材料로 利用하는 捨石堤에 이를 直接 利用하는 것은 合理的이 아니므로 捨石堤를 透過한 흐름을 해석키 위해 1987. 5. 6日 最終물막이를 施行한 전남 海남군에 위치한 海남방조제에서 측정한 자료를 이용하여 捨石堤의 투과흐름을 分析코자 한다.

*東國大學校 大學院(農業振興公社)

**東國大學校 工科大學

II. 理論的 考察

透水層内の 흐름에 대해서 Wright¹⁵⁾는 層流, 定流, 亂流로의 遷移域, 亂流로 區分하였으며 이를 透水層의 Reynolds number (Rep)로 구분하면 다음과 같다.^{7),8)}

- 層流 (Laminar (Darcy) Zone) $Re_p < 10$
- 定流 (First transition (Lindquist)) Zone $10 < Re_p < 100$
- 遷移流 (Second Transition Zone) $100 < Re_p < 1000$
- 亂流域 (Turbulent (Froude) Zone) $1000 < Re_p$

투수층내의 흐름상태별 고찰할 때 투수층이 細粒이고 層流인 경우 動水傾斜(I)와 透水速度(V)와는 式(1)과 같은 관계가 있음을 Darcy가 제안하였다.

$$V = KI \dots \dots \dots (1)$$

透水層의 空隙을 통한 흐름을 細長의 관을 통한 흐름으로 간주하여 Darcy's Law를 적용하면¹³⁾ 관내의 動水傾斜(I)는

$$I = \frac{\lambda V^2}{2 Dg} \dots \dots \dots (2)$$

$$\lambda = \frac{64}{R} = \frac{64\nu}{VD} \dots \dots \dots (3)$$

式(2)와 같으며 이는 層流일 때의 조건이며 式(3)을 (2)에 代入하면 式(4)와 같다.

$$I = \frac{32\nu V}{gD^2} \dots \dots \dots (4)$$

- 여기서,
- D : 管路의 內徑 (m)
- V : 平均流速 (m/sec)
- g : 重力 加速度 (m/sec²)
- R : 管路의 Reynolds number
- ν : 動粘性係數

또한 투수성 재료를 통한 흐름에 대해서 空隙의 潤邊이 粒徑(d)의 函數일 때 式(4)는 式(5)와 같이 된다.

$$I = \frac{C_D \cdot \nu \cdot V}{gd^2 n} \dots \dots \dots (5)$$

여기서 C_D 는 無次元常數이다. 式(5)를 V에 對해 變形시키면 式(1)과 같은

$V = KI$ 로 된다. 실제 공극내의 流速(V_v)은 $V_v = V/n$ 이며 여기서 n은 空隙率이다.

투수층이 조립상이며 그 흐름상태가 난류 또는 遷移流인 때 그 흐름은 管路内の 흐름과 類似하며 動水傾斜(I)는 V^x 에 比例하게 되어 Darcy의 式을 적용할 수 없게 된다.^{5),11)}

Forchheimer는 이러한 흐름에 對해서 式(6)과 같은 2項分布形의 非線形方程式을 提案하였다.

$$I = aV + bV^2 \dots \dots \dots (6)$$

여기서 a 및 b는 엄밀히는 Reynolds number의 영향을 받지만 一定한 범위의 Reynolds number의 값에 對해서는 常數다.¹⁴⁾

a와 b에 對한 값을 실내시험에 의해 透水層 材料의 특성으로 나타낸 결과는 Table-1과 같다.

Table-1. Parameters of binomial formulae.

Author	a	b	Remarks
Ward ^{8),15)}	$\frac{\nu}{g} \cdot \frac{1}{K}$	$\frac{c}{g} \cdot \frac{1}{K}$	$c=0.55$
Ahmed and Sunada ¹⁾	$\frac{1}{g} \cdot \frac{1}{K}$	$\frac{1}{g} \cdot \frac{1}{\sqrt{c \cdot K}}$	
Sunada ⁷⁾	$\frac{\nu}{g} \cdot \frac{1}{K}$	$\frac{c}{g} \cdot \frac{r}{K}$	

- 여기서
- r : 空隙의 動水半徑 (m)
- K : 透水係數 (m/sec)
- c : 常數
- g : 重力 加速度 (m/sec²)
- ν : 動粘性係數 (m²/sec)
- 以外에도 Irmay, Scheidegger, Enqlund 等の 값이 있다.^{7),8)}

그러나 空隙의 動수반경을 직접적으로 측정할 수 없으므로 a, b 값은 재료별로 시험에 의해 경험적으로 求한다.^{1),2),7),8),14)}

Missbach는 透水層内の 흐름을 式(7)과 같은 指數的으로 提案하였다.

$$I = C \cdot V^M \dots \dots \dots (7)$$

- 여기서
- C : 투수층내 構成 材料에 따라서 결정되는 상 수.

M: 亂流인 경우 1 과 2 사이의 값을 갖는 指數
C 값에 對해서 透水層을 構成하는 材料의 特性
으로 나타낸 결과는 Table- 2 와 같다.

Table - 2. Parameters of exponential formulae.⁸⁾

Author	C factor	Remarks
Hatch	$\phi \frac{\nu^{(2-m)}}{g} S_0^y$	$y=3-m \frac{(1-n)}{n^3}^{(3-m)}$
Slepicka	$\frac{1}{K} \left(\frac{\sigma}{\nu} \right)^{(-\frac{1}{m})}$	

여기서 S_0 = 粒子의 比表面積

- ϕ : 材料에 따른 상수
- σ : 표면장력
- ν : 동점성 계수
- n : 공극율
- g : 중력가속도
- K : 투수계수

m 의 값에 對해서 一定한 값을 정할수 없으며
各 흐름域에 대해서 區分하여 적용하도록 한다.

Walkins, Parkin¹⁰⁾ 은 各各 공극내의 平均流速
(V_v : Void velocity) 과, 동수경사 (I) 와의 關係
를 破碎石에 대해 시험한 경험값을 發表하였다.

Wilkins 가 제안한 기본식은 (8) 과 같다

$$V_v = \alpha \cdot \nu^e \cdot r^f \cdot I^j \dots\dots\dots (8)$$

여기서

- α = 形狀係數
- ν = 물의 동점성계수
- I = 동수경사
- e, f, j : 材料에 따른 상수
- r = 공극의 平均동수반경 (ft)

破碎石에 對해 시험한 결과는 式(9) 와 같다.

$$V_v = 32.9 r^{0.5} I^{0.54} \dots\dots\dots (9)$$

Parkin 이 1.9cm 크기의 粉碎石에 대해서 시험
한 경험식은 式(10) 과 같으며

$$I = 1.86 V_v^{1.86} \dots\dots\dots (V_v : ft/sec) \dots\dots (10)$$

石材의 크기가 0.30~3.0 크기의 경우 式(10) 의
상수값을 조정한다고 하였다.

III. 分材資料

1. 水 位

水位資料는 全南 海南郡 黃山面 閑子里 庫千
岩과 花山面 栗洞里 間的 海南灣 入口에 干拓事
業의 一環으로 建設한 海南地區 防潮堤 工事의
最終물막이後(물막이 完了 : 1987. 5. 6, 07 : 00) 同
年 5月6日~5月14日中 捨石堤 外側의 外潮位
와 湖內 內水位를 同時에 10~30分 間隔으로 1
cm 單位까지 海南事業所에서 潮位標尺 및 內水位
標尺에서 觀測한 것이다.

2. 通水斷面

防潮堤 總延長은 1,874m이며, 一般물막이區間
은 1,300m (測點 0~測點 26) 인데 이 部分은 前
面 捨石堤 裏面 盛土堤가 施工되었다. 捨石堤를
通하여 흐르는 區間은 最終물막이 區間 450m (測
點26~測點35) 로서 이 部分은 1987. 5. 1부터
同 6日 사이에 採石場에서 發破하여 生産된 全
石(平均直徑 1.0m) 을 兩岸에서 漸縮工法에 依
해 流水中에 덤프트럭으로 直接 投下하여 形成된
斷面으로서 橫斷面圖는 Fig. 1 과 같다.

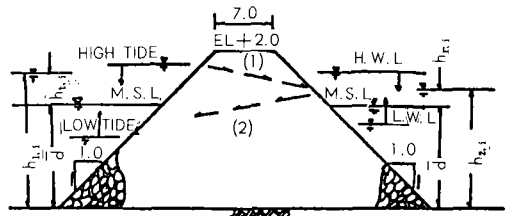


Fig. 1. Cross section of rubble mound dike.

3. 內容積

湖內의 內容積은 實施 設計當時 施行된 水深
測量 結果를 利用하였다.

4. 地區內 流出量의 湖內 流入

觀測期間中 降雨는 5月10日 19.3mm, 11日 18.2
mm, 13日 7.9mm가 있었으며 이 降雨로 인해 發生
한 地區內 流出量이 淡水湖로 流入되어 水位上
昇이 發生한 경우는 分析해서 제외하였다. 한편
계산단위시간(10~30分) 동안 地區內 基底流出에
의한 湖內流入量으로 인한 水位上昇量은 그 량이
捨石堤 透過量에 비해 무시할 정도로 적어 무시

하였다.

IV. 分析 및 考察

捨石堤를 透過하는 흐름의 形態는 Fig. 1과 같다. 그림에서 堤外側은 1日 2回潮인 潮位 堤內側은 地區內 流出水와 堤外로부터의 침투수의 영향을 받으므로 堤外側 및 堤內의 水深(d)는 平均海面으로부터의 깊이이며 式(11)과 같이 加重平均으로 求하였다.

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=0}^n L_i \times d_i}{\sum_{i=0}^n L_i} = 9.0(m) \dots \dots \dots (11)$$

여기서

L_i = 測點間의 距離

$d_i = L_i$ 區間의 平均海面下 水深 任意時間의 平均水位는 式(12)와 같다.

$$\left. \begin{aligned} h_{1,i} &= \bar{d} + h_{t,i} = 9 + h_{t,i} \\ h_{2,i} &= \bar{d} + h_{r,i} = 9 + h_{r,i} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (12)$$

여기서

$h_{1,i}$ = 任意時刻의 堤外側 平均水深 (m)

$h_{2,i}$ = 任意時刻의 堤內側 平均水深 (m)

$h_{t,i}$ = 任意時刻의 外潮位 (m)

$h_{r,i}$ = 任意時刻의 湖內水位 (m)

Fig. 1에서 任意時間의 흐름形態는 다음과 같은 두가지 境遇로 된다.

- (1) $h_{1,i} > h_{2,i}$ 堤外側에서 堤內側으로 浸透한다.
- (2) $h_{1,i} < h_{2,i}$ 堤內側에서 堤外側으로 排水된다.

(1)의 흐름에서 $h_{t,i}$ 의 昇降은 $h_{r,i}$ 의 昇降에 比較하여 그 速度가 크므로 $h_{t,i}$ 가 高潮位에 到達하는 時間과 湖內 最高水位에 到達하는 時間은 一致하지 않으며 또한 (2)의 흐름의 경우 低潮位에 到達하는 時間과 湖內 最低水位(L. W. L)에 到達하는 時間이 一致하지 않았다.

이는 潮汐流入量(tidal prism)이 捨石堤를 통한 湖內 浸透量 및 堤外로의 排出量보다 크기 때문에 일어나며 이 原因은 捨石으로 因한 透水速度에 依한 것으로 생각할 수 있다.

分析을 위한 필요 항목은 平均透水流速(V), 平均 動水傾斜(I), 平均透水流量(q)이며 다음과 같은 절차로 分析하였다.

捨石堤 斷面을 透過하는 透水流量은 水位一

內容積曲線을 가지고 補間法을 利用하여 어느 時間 동안 流入 및 流出되는 總量을 求한다.

$$Q_t = Rh_1 - Rh_2 \dots \dots \dots (13)$$

여기서 Q_t = t 시간 동안의 流入量

Rh_1 = 內水位 h_1 인 때의 內容積

Rh_2 = 內水位 h_2 일 때의 內容積

單位·時間當 單位幅當 透水量은 式(14)와 같이 구한다.

$$q_t = \frac{Q_t}{t \times 60} \times \frac{1}{L} \dots \dots \dots (14)$$

여기서

q_t = 單位時間當 單位幅當 流量 ($m^3/sec/m$)

t = 透水時間 (min)

L = 捨石堤의 延長 (m)

延長 L區間에 對해서 始終點 附近의 平均地盤 高가 낮고(始點 -0.30m, 終點 -2.50m) 傾斜가 急하므로 (1 : 1)이 部分이 通水斷面에 미치는 影響은 아주 적으므로 始終點間의 距離를 通水斷面의 延長으로 하였다.

任意時間 동안 捨石堤 斷面을 透過하는 平均透水流速은 式(15)와 같다.

$$V = \frac{4 q_t}{h_{1,i-1} + h_{1,i} + h_{2,i-1} + h_{2,i}} \dots \dots \dots (15)$$

여기서 $h_{1,i}, h_{2,i}$ 는 計算 時刻의 水深이고 $h_{1,i-1}, h_{2,i-1}$ 는 前段階의 水深이며 式(12)로 求한다.

이 때 堤內外側間의 水頭差(Δh)는 式(16)과 같으며 堤內外側 斜面과 潮位 및

$$\Delta h = | h_{1,i} - h_{2,i} | \dots \dots \dots (16)$$

內水位가 交叉하는 地點의 水平距離(ℓ)은 式(17)과 같이 구한다.

$$\ell = b + z(2 \cdot h + h_{t,i} + h_{r,i}) = 11 + h_{t,i} + h_{r,i} \dots (17)$$

여기서 b는 頂幅(7.0m)이고 z는 內外側 斜面傾斜(1 : 1)이며 h는 平均海面으로부터 捨石堤 頂까지의 높이이다($h=2.0m$).

任意時間의 動水傾斜(I_i)는 式(18)과 같으며

$$I_i = \frac{\Delta h}{\ell} = \frac{| h_{1,i} - h_{2,i} |}{11 + h_{t,i} + h_{r,i}} \dots \dots \dots (18)$$

平均動水傾斜(I)는 式(19)와 같이 求한다.

$$I = \frac{1}{2} (I_{i-1} + I_i) \dots \dots \dots (19)$$

여기서 $I_{1,i}$ 은 前段階의 動水傾斜이고 I_i 는 計算時刻의 動水傾斜이다.

1. 定流狀態의 分析

捨石堤內의 透水 흐름을 定流로 假定하고 Dupit-Forchheimer 公式에 依해서 해석하면 다음과 같다³⁾

$$q_t = \frac{K}{2\ell} |h_{1,i}^2 - h_{2,i}^2| \dots\dots\dots (20)$$

여기서

K : 透水係數 (m/sec)

ℓ = 水平距離 (式 (17) 에 의해 求함)

q_t = 單位幅當 透過流量 ($m^3/sec/m$)

式 (20) 을 다시 定理하면

$$q_t = K \cdot \frac{(h_{1,i} + h_{2,i})}{2} \cdot \frac{(h_{1,i} - h_{2,i})}{\ell}$$

$$= K \frac{(h_{1,i} + h_{2,i})}{2} \cdot I \dots\dots\dots (21)$$

式 (21) 을 Darcy 의 式 形態로 變換시키면 式 (22) 와 같다.

$$2 q_t / (h_{1,i} + h_{2,i}) = V = KI \dots\dots\dots (22)$$

式 (22) 에서 q_t , $h_{1,i}$, $h_{2,i}$ 는 各 觀測值를 利用하였고 時間 間隔은 30分 單位를 標準으로 하였으며 計算된 V 와 I 와의 關係를 圖示하면 Fig. 2 와 같다.

各 時間單位의 透水流速을 動水傾斜로 나누어 算術平均한 透水係數는 Table 3 과 같다.

Table - 3. Permeability predicted by Dupit-Forchheimer equation.

Number of data	Mean permeability coeff. (m/sec)	standard deviation (S_{n-1})
113	1.072	0.402

2. 亂流域 및 遷移域의 分析

가. 指數形에 依한 分析

Missbach가 透水性 흐름에 對해서 提案한 形態는 式 (7) 과 같으며 式 (7) 의 양변에 對數를 취하면 式 (23) 과 같이 된다.

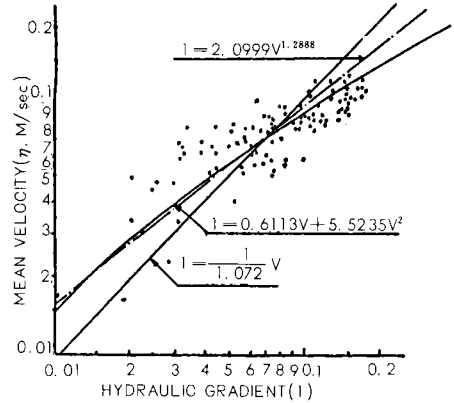


Fig. 2. Mean velocity versus hydraulic gradient.

$$\log I = \log C + M \log V \dots\dots\dots (23)$$

式 (23) 은 $Y=a+bx$ 形態의 2元一次方程式의 형태다. 여기서 I 는 式 (19) 에 의해 求한 값이고 V 는 式 (15) 에 의해 求한 값이다.

式 (23) 을 利用하여 各各의 時間에 對한 方程式을 세우고 회귀분석하여 捨石堤의 C , M , 값을 求하여 Table-4 의 上端에 나타냈다.

나. 2項分布形에 依한 分析

Forcheinier가 提案한 아래 2項分布의 係數 a , b 의 값을 媒質의 物理的因子로서 求하려는 노력이 계속되고 있다. 그러나 다음과 같은 두가지 要因에 依해서 一般的으로 使用할 수 있는 透水法則을 求하기 어렵다.^{6), 8)}

(1) 媒質內의 空隙에 依해 形成된 流路는 媒質의 特性에 따라 다르다.

(2) a 와 b 의 값 그 自體 및 그들 사이의 比가 흐름 特性에 영향을 받으므로 어느 媒質에 對해 一定한 값을 갖지 못한다. 따라서 Table-1 에 a, b 의 값을 나타냈지만 捨石堤의 경우 材料가 均一하지 않으며 또한 發破石을 選別하지 않고 全量投入하므로 粒度分布를 實驗的으로 求하기 어렵다.

表에 나타난 式中에는 實驗的으로 直接 求할 수 없는 因子도 포함되어 있으므로 間接的으로 a, b 의 값을 회귀분석에 依해서 求하고 있다.^{1), 2), 8), 13), 14)}

式 (6) 에서 a, b 의 값은 任意時間의 I 와 V 의 값을 각각 式 (19) 와 式 (15) 에 依해서 求한 후 式 (6) 에 對入하고 이를 회귀분석으로 각각 a, b 의

값을 求하였으며 Table- 4 의 下端에 나타냈다.

Table - 4. The relationship between hydraulic gradient and through velocity.

Type	equations	Corelation coefficient	deviation
exponential type	$I=2.0999V^{1.2888}$	0.824	0.00704
binomial type	$I=0.6113V + 5.5235V^2$	0.821	0.0064

$$\text{deviation} = \frac{1}{N} \sum \frac{(P(I) - O(I))^2}{P(I)}$$

여기서

P(I) = 회귀식에 의한 I의 推定值

O(I) = I의 實測值

3. 考 察

分析 結果를 다음과 같은 方向으로 考察하였다.

- 透水흐름 狀態
- 他 研究 結果와 比較

가. 透水흐름 狀態

Fig. 2 에 나타낸 바와 같이 動水傾斜에 따라서 流速도 變化하고 있다.

本 分析에서 나타난 流速分布에 對해서 Reynolds number 를 計算하면 다음과 같다.⁸⁾

$$Rep = \frac{4}{1-n} \cdot \frac{D_n}{\alpha} \cdot \frac{V}{\nu} \dots \dots \dots (24)$$

空隙率(n)은 捨石堤의 경우 0.27~0.40⁴⁾ 이며, 海水의 境遇 動粘性係數($V=9.29 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{sec}$) 形狀係數(α)는 $\alpha = Dg \cdot Fg / Vg = 6$ ($Dg=1.0\text{m}$ $D_n=0.05\text{m}$ 假定) 일 때 分析에서 나타난 最小 流速 $V=0.0162\text{m}/\text{sec}$ 인 경우 $Rep=796\sim 986$ 이다.

最大 流速인 경우 $Rep=6045\sim 7355$ 이다.

이러한 分布의 Reynolds number 의 경우 層流로 解析하는 것은 適切하지 못한 것으로 思料된다.

나. 他 研究結果와의 比較

指數形에 對한 關係는 Table- 5 와 같다.

動水傾斜와 透水流速과의 關係를 材料別로 실험한 경험식의 상수를 분석한 結果는 Table-6 과 같다.

透水흐름 狀態別로 區分할 때 動水傾斜와 流

Table - 5. Comparison of exponential equations for the material.

Author	material	dia - meter	I = CV ^M		Velocity
			C	M	
Wilkins	Crushed rock	1.9cm	1.82	1.86	Vv=Void Velocity (ft / sec)
	"	5cm	0.27	1.86	
	"	15cm	0.27	1.86	
	"	20cm	0.21	1.86	
	"	60cm	0.07	1.86	
Volker writer	Crushed aggregate quarry stone rubble mound	1.9cm	8.893	1.745	mean V (ft/sec)
		1.0m	2.0999	1.2888	mean V (m/sec)

Table - 6. Coefficients of hydraulic gradient-velocity equations for the material.

Author	material	dia - meter	I = av + bv ²		remarks
			a	b	
Ahmed ²⁾	Sand	0.258cm	0.694	0.165	mean velocity (cm/sec)
Subba	Sand	0.404cm	0.105	0.078	"
Subba	Gravel	0.550cm	0.105	0.078	"
Sunada	glass sphere	0.300cm	0.145	0.0648	"
Volker ¹⁴⁾ writer	Crushed rock quarry stone rubble mound	1.9cm	0.319	11.821	mean velocity (ft/sec)
		1.0m	0.6113	5.5235	mean velocity (m/sec)

Table-7. Comparison of formulae for the characterization of Turbulent and transition zone.

Author	Validity		I=av+bv ²		
	original form	Reynolds number	a	b	
Forchheimer ⁷⁾	0.12 < V (cm/s) < 1.2	4.5 < Rep < 45	0.033	0.079	V (cm/s)
Zamarin ⁷⁾	0.1 < D (cm) < 0.3	50 < Rep < 1.000	0.09	0.072	V (cm/s)
writer	$\bar{d} = 1.0m$	796 < Rep	0.6113	5.5235	V (m/sec)

速과의 關係는 Table-7 과 같다.

捨石堤의 透水흐름을 亂流로 假定하고 이를 開水路흐름과 比較할 때 流速과 動水傾斜와의 關係式은 Manning 公式으로부터 다음과 같이 구할 수 있다. 즉, $V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \propto I^{1/2}$ 또는 $I \propto V^2$

이다. 그러므로 指數式의 指數는 2 보다 적다.

또한 Darcy 法則으로 檢討할 때 $V = K \cdot I$ 이므로 指數는 1 보다 커야한다는 條件을 만족한다.^{10), 12), 13)} 한편 回歸分析에 依한 相關係數도 r=0.824로서 比較의 높은 相關性을 가지므로 捨石堤의 透過흐름을 잘 나타낸다고 思料된다.

2項分布形에 있어서는 亂流 및 亂流로의 遷移流에 대한 경험식중 類似한 材料에 관한 式이 없어 直接比較할 수는 없지만 회귀분석을 실시한 결과 相關係數가 0.821로서 높은 相關性이 있는 것으로 나타났고 觀測值와 推定值의 偏差가 指數形(0.0074)보다 2項分布形(0.0064)이 더 적게 나타났다.

상관계수에 의한 비교의 경우 指數形이 더 높은 相關性을 나타내며 偏差를 비교할 때는 2項分布形이 더 적은 偏差를 나타내므로 指數形 및 2項分布形 모두 捨石堤의 透過흐름을 解析할 수 있는 것으로 생각된다.

V. 結 論

1. 流水中에 水中投下된 狀態로 築造된 捨石堤를 透過하는 흐름에 對해서 Reynolds number 에 따라 흐름 領域을 區分하여 透水 解析을 하며

2. 捨石堤를 透過하는 흐름이 遷移域 또는 亂流域인 경우 ($\bar{d} = 1.0m$, $n = 0.27 \sim 0.40$) 平均透水 流速(V ; m/sec)과 動水傾斜(I)는 다음과 같은 關係가 있다.

指數式 $I = 2.0999V^{1.2888}$

2項分布式 $I = 0.6113V + 5.5235V^2$

3. 相關關係로 볼 때 指數式($r=0.824$)과 2項分布式($r=0.821$)이 거의 같은 程度의 相關性을 나타내지만 觀측치와 추정치와의 偏差를 比較할 때 2項分布形(편차 0.0064)이 指數式(0.0070)보다 적으므로 2항분포식을 利用하는 것이 좋은 것으로 思料된다.

參 考 文 獻

1. Ahmed, N. and Sunada, D.K., "Nonlinear flow in porous media" proceeding of American society of civil Engineers (A.S.C.E), Journal of Hydranlic Division Vol 95, No Hy6. pp 18 47~1857, 1969.
2. Arbbhbirama, A. and Dinoy, A.A., "Friction factor and Reynolds number in porous media flow", Proc. of ASCE Journal of the Hydraulic Division Vol 99 No Hy6. pp 901-911, 1973.
3. Bear, J., "Dynamics of fluids in porous media" Elsevier, pp 361-439, 1975.
4. Coastal Engineering Research Center, "Shore protection Manual", Vol 2. pp 7-202~252, 1984.
5. Curtis, R.P., and Lawson, J.D., "Flow over and through Rockfill Banks" Proc. of ASCE, Journal of the Hydraulic Division Vol 93. No Hy5. pp 1-21, 1967.
6. Hannoura, A.A., and Mccorquodale, J.A., "Robble mounds: Hydraulic conductivity" proc. of ASCE, Journal of waterway, port, coastal and Ocean Engineering Vol 111 No 5. pp 783-799, 1985.
7. Kovacs, G., "Relationship between velocity of seepage and hydraulic gradient in the Zone of high velocity", proc of 13th congress of the International Association for Hydraulic Research (IAHR) Vol, 4, pp 25-38, 1969.

8. Kovacs, G "Seepage Hydraulics" Elsevier, pp 239-281, 1981
9. Larsen, I, O'Neill, I.C, Parkin, A · K, and Franzini, J.B. discussions of "Turbulent flow in porous media "by J.C. Ward, proc. of ASCE, Journal of the Hydraulics Division, Vol 91. No Hy2, pp 386-392 , 1965
10. Leps, T · M, "Flow through rockfill" in Hirschfeld, R.C & Poulos, S.J (Editors) Embankment Dam Engineering , J viley & sons, pp 87-105, 1973.
11. Parkin, A.K, Trollope, D.H, and Lawon, J.R, "Rockfill structures subjected to water flow", proc. of ASCE, Journal of soil mechanic and Foundation Engineering Division, Vol 92 No SM6. pp 135-151, 1966.
12. Spaargaren, F and Vinje, T.J, "Some aspects of flow through and under hydraulic structures used for closing of Estuarine" Proc. of IAHR. Vol 4. 1969.
13. Stephenson, D "Rockfill in hydraulic Engineering" Elsevier, pp 19-36, 1979.
14. Volker, R.E, "Nonlinear flow in porous Media by finite elements", proc of ASCE, Journal of the Hydraulic Division Vol 95 No Hy6. pp 2093-2114, 1969.
15. Wright, D.E, "Nonlinear flow through Granular Media" proc. of ASCE, Journal of the Hydraulic Division Vol 94 No Hy4, pp 851-872, 1968.
16. Ward, J.C, "Turbulent flow in porous Media", proc. of ASCE, Journal of the Hydraulic Division. Vol 90 No Hy5 pp 1-11, 1964.