

# 傾斜心壁에 關한 實驗的 研究

## An Experimental Study on the Seepage Action of the Inclined Core Wall

申 芳 雄\*  
Bang Woong Shin

### Summary

This thesis a result of theoretical and experimental studies on the shape of seepage line and seepage quantities in various inclined core walls.

The value of this determination was examined and compared with the values of calculation acquired to be based on Fukutas, Jin's and author's approximate equation of the theory.

Thus the writer of this paper confirms that the seepage quantity can be decreased by changing the types of the inclined core wall and it's change of the slope.

### I. 序 論

1969~1971年間 국제대담회의 참가국에 의하면 완공된 총담수 1,043개 가운데서 콘크리트 담(Concrete Dam)은 191개, 칠담(Fill Dam)수는 852개에 달한다.<sup>20)</sup> 이렇게 칠담이 많이 築造되는 이유는 地形, 地質, 材料등의 條件에 그다지 拘束을 받지 않은 利點이 있는데다가 담 工學, 土質工學의 발달은 물론 담 建設機械의 대형화와 施工技術의 진보에 있다.

이러한 추세에 비추어 칠담이 많이 築造되고 있는 것이 사실인데, 從前에 利用해 왔던 中央心壁을 最近土質工學의 發展에 따라 施工 및 其他 便宜上 傾斜心壁을 取하는 境遇가 있다. 그러나 아직 이分野에 對한 研究資料(福田, 秦柄益)가 中央心壁(R. Dachler, L.Casagrande, Pavlousky, A. Casagrande, Schoklitsch)의 그것에 比하여 적을 뿐만아니라 中央心壁의 浸透流量의 算出式이 傾斜心壁에 적용되지 않은 난점이 있다.

本論文은 1969년부터 지금까지 筆者가 계속한 實驗을 통하여 分析整理한 浸透流量式을 利用 이미 發表되어있는 理論式과 比較를 하는데 力點을 두었다.

\* 忠北大學

다시 말하면 칠담 傾斜心壁에 對하여 浸透流量에 對하여 이미 發表된 理論式(福田, 秦柄益 및 筆者가 算出한 式)과 實驗值와의 比較檢討, 實驗한 模型의 水位와 浸透流量과의 關係를 究明하고, 또 浸透流量과 上流面傾斜角變化에 의한 關係를 分析研究코저 하는바이다.

### II. 實驗裝置 및 方法

#### 1. 實驗裝置

##### (1) 水槽

水槽는 本 實驗에 主裝置가 되며, 實驗模型을 設置할 수 있도록 되어있고, 諸元은 길이 180cm, 높이 60cm, 폭 30cm 銅鐵板과 前面은 두께 5mm의 板유리로 製作하여 접촉부에 물이 나오지 아니하도록 하였다. (사진-1 참조)

또 水槽의 背面鐵板에는 piezometer 55個를 設置하고 7mm 徑 투명 비닐管을 부착시켜 勢能시알을 測定할 수 있도록 하였으며, 水槽測面에는 높이 5cm 마다 1cm의 水位調節用 排水孔을 달았으며 面에는 3개의 排水孔을 달아 浸透流量을 測定하게 되어

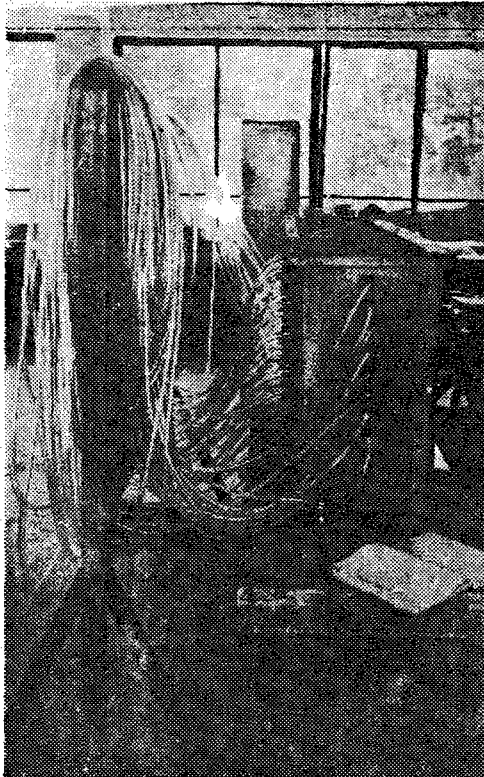


Photo 1. Front View of water tank

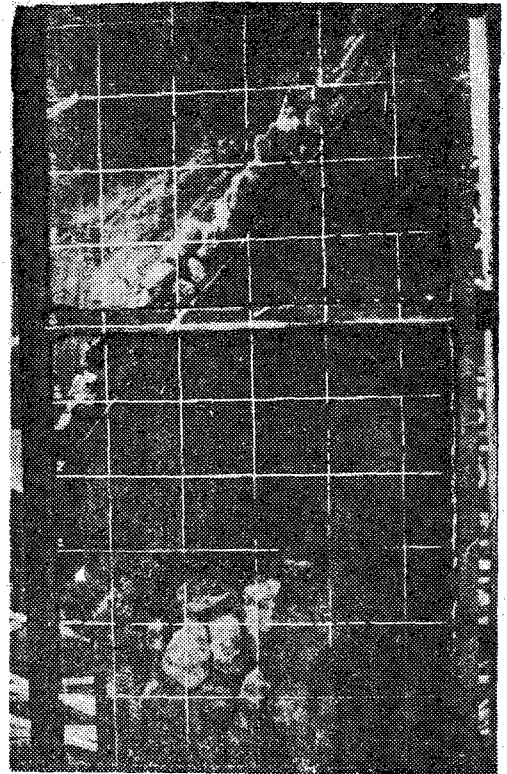


Photo 2. Side view of water tank

있다. (사진 2 참조)

(2) 實驗用 使用材料

模型 實驗用試料의 粒度分布는 표 1과 같으며 Fig 1은 이를 粒徑加積曲線에 나타낸 것이다.

Table 1. Result of sieve analysis of soil.

Sieve No	Retained (%)	Passing (%)
# 10	0.0	100.0
# 20	38.5	61.5
# 40	40.6	20.9
# 60	13.1	7.8
# 140	6.2	1.6
# 200	1.6	0.0

透水係數는 定水位透水試驗에 의하여 求하였다.

$$k = 2.20 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$$

2. 實驗 方法

實驗의 對象으로한 埴의 各傾斜心壁模型에 대하여 上流側으로 부터 물을 供給하면서, 上流側의 水位를 20cm, 25cm, 30cm, 35cm, 40cm로 變경시켜

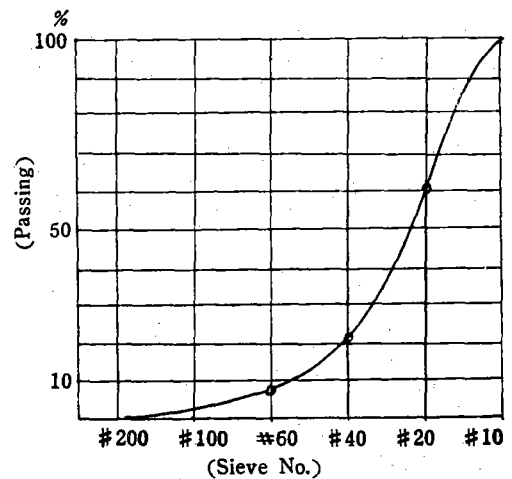


Fig 1. Grading curve for soil used in model test.

浸透流量, 浸潤線, 浸潤速度등을 測定하였다.

浸透流量은 模型心壁內의 水位와 透水量이 安定되었다고 推定된 후 水位를 一定하게 하여 약 30分後에 1分間의 全浸透水量을 여러번 測定하여 單位

時間, 단위폭에 對한 平均浸透流量을 求하였다. 浸潤線 上流側의 各水位의 前面 유리板에 接하는 한點으로부터 색소를 스텐드에 의하여 注入하여 測定하였다. 이때 색소의 比重은 實驗에 使用한 물의 比重과 同一하게 하였다.

Ⅲ. 實驗結果 및 考察

1. 實驗值와 理論과의 比較

(1) 上下流面이 平行한 경우

(가) 福田式

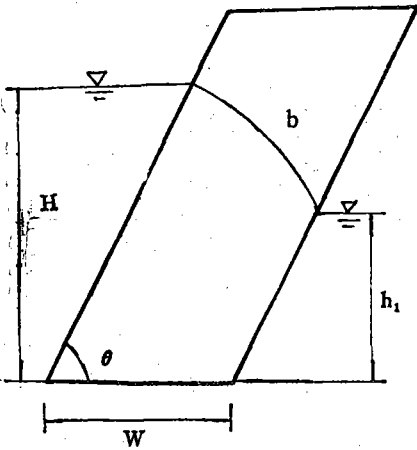


Fig 2.

$$q_F = k \frac{(2H-h_1)(H+h_1)}{2\sin\theta(b+w\sin\theta)}$$

(나) 秦柄盆式

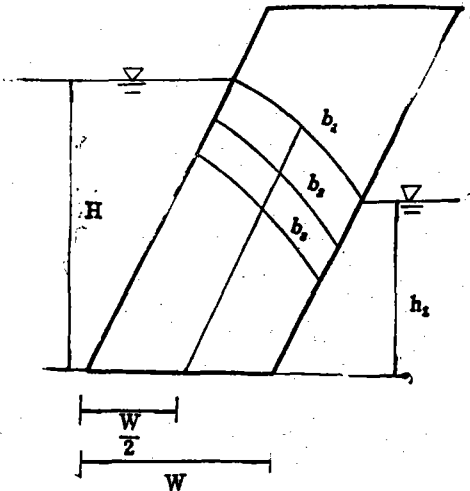


Fig 3.

$$q_J = \frac{knL(2H-h_1)}{2(b_1+b_2+\dots+bn)}$$

(다) 筆者가 算出한 式

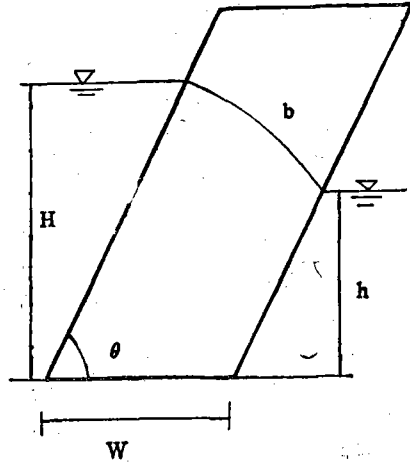


Fig 4.

$$dy = H - \frac{h}{2}, ds = \frac{1}{2}(b + w\sin\theta)$$

$$A = \frac{(h+2H)}{3} \text{ cosec}\theta$$

$$q = k \frac{dy}{ds} A \text{ 에 代入하면}$$

$$q_S = k \frac{(2H-h)}{(b+w\sin\theta)} \frac{(h+2H)}{3} \text{ cosec}\theta$$

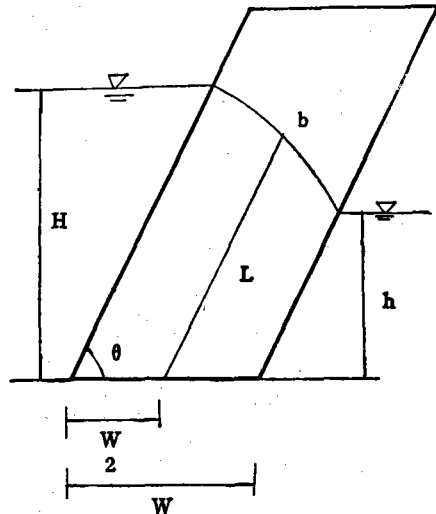
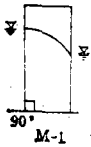
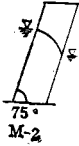






Fig 5. Symbol used in model test.

- qE : 實驗值
- qF : 福田式을 使用하여 求한 浸透流量
- qJ : 秦柄盆式을 使用하여 求한 浸透流量
- qS : 筆者가 算出한 式을 使用하여 求한 浸透流量

(라) 實驗値와 理論値의 比較

Table 2. Teting results-Calculated Values.

Model	W	H	h	b	L	q <sub>E</sub>	q <sub>F</sub>	q <sub>J</sub>	q <sub>S</sub>
 M-1	25	20	4.6	29.6	13.2	0.339	0.175	0.174	0.212
		25	7.1	29.9	17.0	0.504	0.276	0.299	0.327
		30	9.4	30.4	21.5	0.653	0.396	0.394	0.465
		35	13.7	33.1	27.0	0.774	0.519	0.505	0.595
		40	17.9	33.5	33.2	1.158	0.676	0.677	0.724
 M-2	25	20	4.7	22.1	15.5	0.407	0.215	0.272	0.259
		25	7.9	23.4	20.0	0.622	0.332	0.396	0.389
		30	10.1	24.1	23.5	0.897	0.473	0.535	0.550
		35	14.9	24.6	30.0	1.154	0.642	0.739	0.728
		40	19.1	25.6	35.0	1.428	0.834	0.916	0.921
 M-3	25	20	5.1	19.1	17.5	0.554	0.273	0.351	0.327
		25	8.4	20.0	22.5	0.815	0.424	0.515	0.494
		30	11.9	21.9	28.0	1.008	0.587	0.676	0.672
		35	16.4	22.4	33.5	1.409	0.794	0.882	0.891
		40	20.9	23.1	40.0	1.748	1.022	0.128	1.128
 M-4	25	20	5.5	18.0	19.5	0.756	0.375	0.401	0.458
		25	9.0	18.5	25.8	1.133	0.586	0.623	0.696
		30	13.0	18.0	32.0	1.617	0.842	0.878	0.981
		35	17.5	19.0	37.5	2.178	1.142	1.139	1.304
		40	22.0	19.7	44.2	2.800	1.465	1.465	1.469
 M-5	25	20	6.2	14.0	25.0	0.778	0.622	0.643	0.762
		25	10.0	14.8	32.5	1.306	0.955	0.972	1.141
		30	14.5	15.0	41.5	2.000	1.369	1.392	1.702
		35	20.0	15.0	51.2	2.733	1.860	1.871	2.125
		40	25.0	15.0	60.0	3.344	2.421	2.405	2.726
 M-6	25	20	9.0	11.8	33.0	1.433	0.942	0.939	1.123
		25	13.5	11.8	44.0	1.889	1.493	1.482	1.676
		30	18.0	11.9	53.3	2.694	2.114	2.137	2.359
		35	23.5	12.0	66.0	3.556	2.821	2.801	3.117
		40	28.5	12.0	77.0	4.200	3.656	3.598	4.007

(나) 秦柄盆

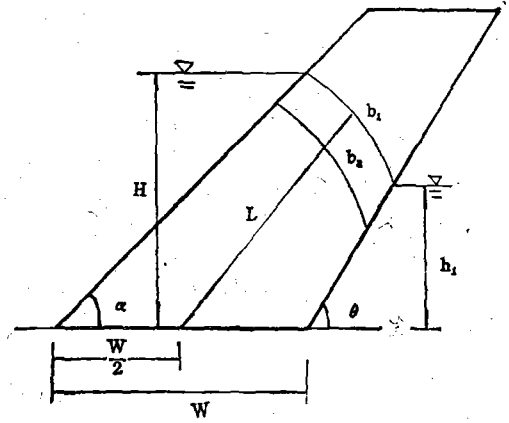
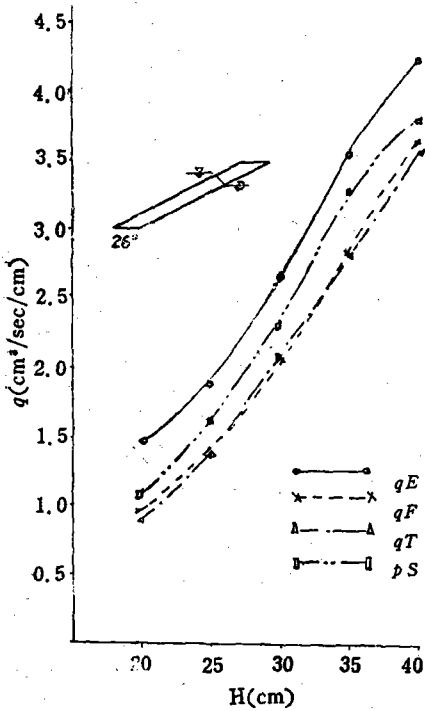


Fig 8. Symbol used in model Test

$$gJ = k \frac{nL(2H-h_1)}{2(b_1+b_2+\dots+b_n)}$$

(다) 筆者가 算出한 式

Fig 6. Seepage quantity by testing and calculated values.

全實驗模型에 對하여 全部 그리지 못하고 그 중에서 하나(M-6)만 그렸다.

(2) 上·下流面이 平行하지 않은 경우

(가) 福田式

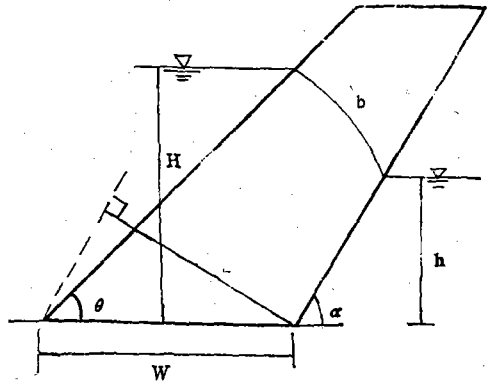


Fig 9. Seepage quantity and Testing calculated So lines

Fig 9에서  
darcy式  $q = kiA$ 에서

$$i = \frac{dy}{ds}$$

$$dy = H - \frac{h}{2}, \quad ds = \frac{1}{2}(b+a)$$

여기서

a는 sin法則에서

$$\frac{a}{\sin\theta} = \frac{w}{\sin(\frac{\pi}{2} + \alpha - \theta)}$$

$$a = w \frac{\theta}{\sin(\frac{\pi}{2} - \alpha)}$$

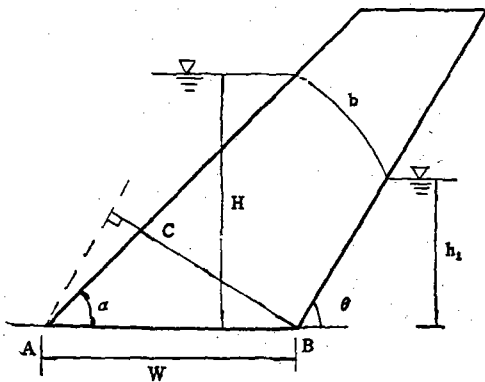
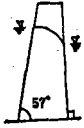
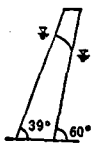



Fig 7. Groding carue for soil used in model Test

$$q_F = k \frac{H - \frac{h_1}{2}}{b + \frac{BC}{2}} \cdot \frac{1}{2} \left( \frac{H}{\sin\alpha} + \frac{h_1}{\sin\theta} \right)$$

(라) 實驗値와 理論値의 比較

Table 3. Testing result-calculated values.

Model	w	c	H	h	b	a	$q_E$	$q_F$	$q_J$	$q_S$
 M-1	40	10	20	5.6	32.0	40.0	0.301	0.155	0.221	0.209
			25	10.7	28.2		0.407	0.234	0.274	0.341
			30	14.4	25.9		0.789	0.384	0.410	0.522
			35	18.7	24.0		1.152	0.532	0.568	0.727
			40	24.4	21.0		1.600	0.772	0.780	0.899
 M-2			20	5.8	23.1	26.5	0.470	0.291	0.288	0.404
			25	9.3	21.6		0.713	0.378	0.467	0.654
			30	14.0	19.3		1.155	0.712	0.700	0.951
			35	18.6	18.4		1.619	0.971	0.960	1.372
			40	25.0	15.8		2.046	1.361	1.311	1.876
 M-3			20	4.1	18.5	21.0	0.646	0.457	0.459	0.627
			25	9.5	16.8		1.200	0.758	0.748	1.015
			30	15.5	15.3		1.824	1.157	1.111	1.564
			35	21.6	14.0		2.369	1.533	1.356	2.101
			40	29.7	10.8		3.033	2.144	2.159	2.930

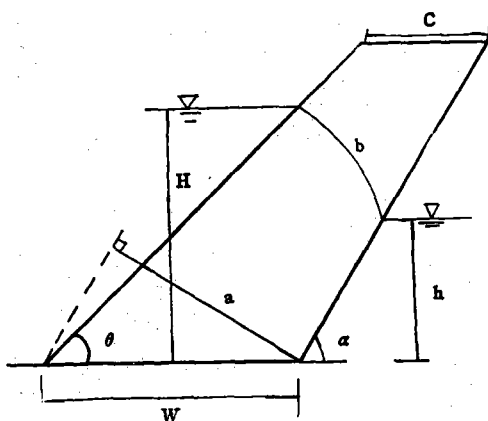


Fig 10. Symbol used in model test by nonparallel section.

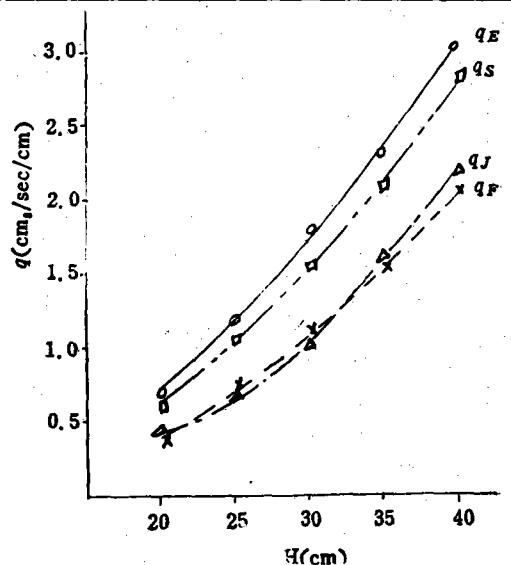


Fig 11. Seepage quantity by testing and calculated values.

2. 水位와 浸透流量과의 關係

水位變化에 따른 浸透流量의 關係를 各實驗模型別로 調査한바 Table 4.5와 같고 이 關係를 圖示하면

Table 4. Measurement of water level seepage quantity of water

Model	H	q <sub>E</sub>	H	q <sub>E</sub>	H	q <sub>E</sub>	H	q <sub>E</sub>	H	q <sub>E</sub>
M-1	40	1.158	35	0.774	30	0.653	25	0.504	20	0.339
M-2	40	1.428	35	1.154	30	0.897	25	0.622	20	0.407
M-3	40	1.748	35	1.409	30	1.008	25	0.815	20	0.554
M-4	40	2.800	35	2.178	30	1.617	25	1.133	20	0.756
M-5	40	3.344	35	2.733	30	2.000	25	1.306	20	0.778
M-6	40	4.200	35	3.556	30	2.694	25	1.889	20	1.433

Table 5. Measurement of water level seepage quantity of water.

Model	H	q <sub>E</sub>	H	q <sub>E</sub>	H	q <sub>E</sub>	H	q <sub>E</sub>	H	q <sub>E</sub>
M-1	40	1,600	35	1.152	30	0.789	25	0.407	20	0.301
M-2	40	2.046	35	1.619	30	1.155	25	0.713	20	0.470
M-3	40	3.033	35	2.369	30	1.824	25	1.200	20	0.646

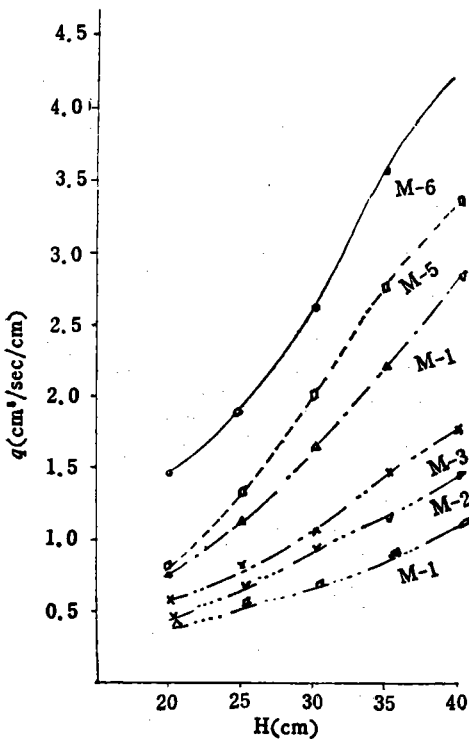


Fig 12. Relationship between water level and seepage quantity.

Fig 12, 13과 같다. 또 水位別 浸透流量算出은 試 소자승법에 의하여 求할 수 있다.<sup>18)</sup>

(1) 上下流面이 平行한 경우

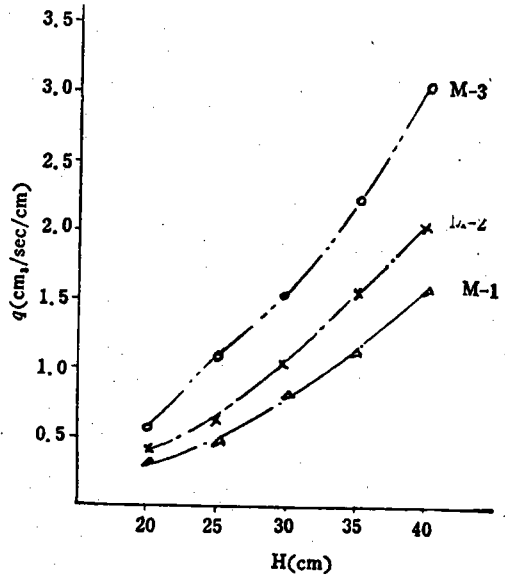


Fig 13. Relationship between water level seepage quantity.

(2) 上·下流面이 平行하지 않은 경우

3. 上流面傾斜와 浸透流量과의 關係

前述한바와 같이 上·下流面이 平行한 경우에 對 하여 水位別로 上流面傾斜에 따른 浸透流量을 最

小自乘法를 適用하여 求해 본 결과 다음과 같으며 이 結果에서 보면 同一한 水位에서 볼때 上流面傾斜角( $\theta$ )이 작을수록 浸透流量이 增加된다는 事實을 알 수 있다.

(1) 上·下流面이 平行한 경우

(가) 水位가 20cm일때

$\theta$	q	$\theta q$	$\theta^2$
90	0.339	30.51	8.100
75	0.407	30.53	5.625
60	0.554	33.24	3.600
45	0.756	34.02	2.025
33	0.778	25.67	1.089
26	1.433	37.26	676
329	4.267	191.23	21.115

$q = a + b$ 에서

$q = -0.019\theta + 1.47$

$$a = \frac{\begin{vmatrix} 6 & 4.267 \\ 329 & 191.23 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 6 & 329 \\ 329 & 21.115 \end{vmatrix}} = -0.019$$

$$b = \frac{\begin{vmatrix} 4.267 & 329 \\ 191.23 & 21.115 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 6 & 329 \\ 329 & 21.115 \end{vmatrix}} = 1.47$$

여기서

$\theta$ : 上流面傾斜角

q: 浸透流量

但, 上流面傾斜角이 90°에서 적어지는 경우에 限함\*

(나) 水位가 25cm일때

(가)와 같은 方法으로 하여

$q = -0.0194\theta + 6.67$

(다) 水位가 30cm일때

$q = -0.0296\theta + 3.1$

(라) 水位가 35cm일때

$q = -0.041\theta + 4.21$

(마) 水位가 40cm일때

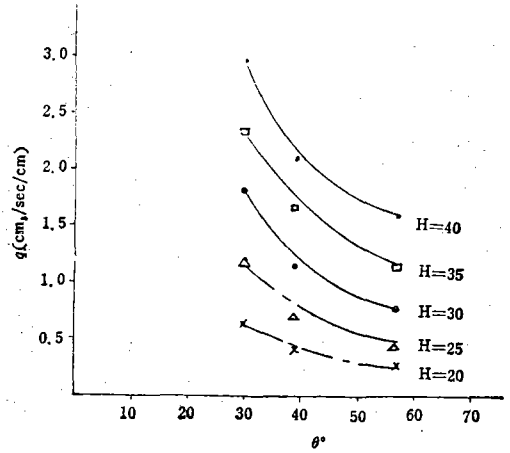


Fig 14. Relationship between Slope and seepage quantity.

$q = 0.046 + 4.99$

$q = -0.046\theta + 4.99$

(2) 上·下流面이 平行하지 않은 경우

上·下流面이 平行하지 않은 경우에는 上流面角과 下流面角이 心壁模型에 따라 傾斜角( $\theta$ )이 달라지므로 上流面傾斜와 浸透流量算出式이 같은 模型이 아닌 以上 맞지 아니하므로 求하지 아니하였음.

IV. 結 論

- (1) 同一水位에 있어서 心壁容積이 같을경우 浸透流量은 心壁傾斜角( $\theta$ )과 反比例의 關係를 갖어  $\theta$ 가 작을수록 침투 流量은 增大된다.
- (2) 筆者가 誘導한 浸透流量式의 利用은 實驗結果值와 比較할 때 他公式에 比하여 가장 接近되는 값을 얻을 수 있었다.
- (3) 上·下流面이 平行한 傾斜心壁보다도, 上·下流面이 平行치 않은 心壁이 安定性이 크며 浸透流量에도 有利하다.



參 考 文 獻

1. W.C. Sherman, "Embankment pore ssures D uring construction" Journal of the Soilmeha-n ics and Foundations Division, i pp. 527-550, 1968. 3.
2. Tien H. Wu, Shyam K. Vyas, Nien-yin Chang, "probabistic Analysis of seepage" Journal of the soil mechnics and Foundations Division, pp. 323 -339, 1973. 4.
3. Arthur penman and Andrew charles "Constru- ctional deformations in Rockfill Dam" Journal of the soil mechanics and Foundations Division, pp. 139-162, 1973. 2.
4. J.L. Sherard "Earth and Earth-Rock Dams" John wiley. and Sons Inc, p. 271, 1967. 4.
5. Guy Lefebvre, James M. Duncan, and Edward L. Wilson "Three-Dimensional Finite Element Analyses of Dams" Journal of the Soil mecha- nics and Foundations Division, pp. 495~507, 1963. 7.
6. D.W. Taylor "Fundamental of Soil Mechanics" John Wiley and Sons. Inc, pp. 179-184, 1955.
7. K. Terzaghi "Theoretical Soil Mechanics" cha- prman and Hall Ltd. London, 1950.
8. W.D. Greaser "Engineering for Dams" p. 323, 1944.
9. M.G. Spangler "Soil Engineering" International test book co, pp. 144-158,
10. Raven "Mathematics of Engineering Systems" International Student Edition, pp. 1-53, 1966.
11. Hunter Rouse Elementary maechnics of fluids John wiley sons Inc. 1946.
12. 福田秀夫 "Rock Fill Damの 傾斜心壁 の 浸潤 線と透水量 について 大ダム No. 8, p. 43, 1958. 12.
13. 久保田敏一 "浸透水と土の 安定" 山海堂發行 pp. 56-69, 1966.
14. 福田季夫 "傾斜心壁フィルタイでダムの浸潤線 透水量に關する 研究" 島技研發行 pp. 32-36, 1956.
15. 秦柄益 "Fill Dam의 浸透에 관한 實驗的 研究 大韓土木學 會創, 20立周 年記念論文集 pp. 19- 43, 1972. 11.
16. 申芳雄 "Fill Dam의 傾斜型心壁에 관한 實驗的 研究" 忠北大學 論文集 第 7輯 pp. 103-112, 1973. 12.
17. 秦柄益 "Fill Dam의 傾斜心壁의 浸潤線과 浸透 流에 관한 研究" 大韓土木學會誌, 第18卷 2號 pp. 2-10, 1970. 3.
18. 申芳雄 "Fill Dam의 心壁에 관한 研究" 大韓土 木學會誌, 第20卷 4號 pp. 26-31, 1972. 12.
19. 申芳雄 "Fill Dam 心壁의 浸透流量에 관한 實 驗的 研究" 大韓土木學會誌 第16卷 4 pp. 51-60, 1969. 3.
20. 농림부 "유펜편" 토지개발사업계획설계기준 pp. 8-9, 1968. 8.
21. 劉漢烈, 秦柄益, 吳武求, 申芳雄 "댐 工學" 螢 雪出版社發行, pp. 77-148, 1973. 3.
22. 秦柄益, 申芳雄 "土質工學" 建設研究社發行 pp. 40-72, 1974. 2.
23. \_\_\_\_\_ "世界大댐目錄" 韓國水文學會誌 第7卷 1號 pp. 49-52, 1974. 6.
24. 河野伊一郎 "有限要素法にする堤體 浸透問題の 解析" 土質工學會誌 Vol 21 No 8, pp. 13-20, 1973. 8.