

透水性 基礎地盤의 Piping에 關한 實驗

權 武 男 · 李 相 昊

慶北大學校 農科大學 農工學科

Experiment on Piping in Pervious Foundation

Kwon, Moo Nam · Lee, Sang Ho

Dept. of Agric. Engineering, Coll. of Agric., Kyungpook Natl. Univ.

Summary

In order to determine the critical head values of boiling and piping, several experiments were performed for 3 cases of model dykes on 7 kinds of pervious foundations. The results obtained are as follows :

1. It appears that the coarser and the denser the foundation material, the higher the critical heads of boiling and piping, and that the lower the permeability of the foundation, the higher the critical heads of boiling and piping.
2. A difference in head between the moments of boiling and piping is greater in the case 2 or case 3 than in the case 1 because of the additional hydraulic resistance. And it is found that the coarser the foundation material, the greater the head difference.
3. The critical heads of boiling and piping is directly prortional to the seepage length.
4. The piezometric heads close to the singular point are of the same magnitude, provided that the geometry of the model dyke and foundation material are the same.
5. Variations of the weight of model dyke can not affect the critical head.

According to the conclusions shown above, the critical head of piping can be more practically predicted for prototype using the results from laboratory tests on scale model.

緒 論

河川堤防, 防潮堤, 取入堰 혹은 假縮切막이나 抑流막

等은 比較的 透水性의 모래와 자갈로 構成되는 基礎地盤에 築造되는 堤堰가 많다.²²⁾ 이러한 水理構造物의 基礎地盤 內部에서 일어나는 Piping^{3,4,5,12,18,24)}은 이

들 構造物의 致命的인 破壞^{5,17,20}의 原因이 되고 있다. 1975年 USCOLD의 調查報告에 따르면 美國內에서 23年 동안의 4,914個 堤中 74個가 決潰되었는데 그中 44%가 Piping과 같은 浸透流에 의한 것으로 나타나고 있다.^{1,20}

이와같이 水理構造物의 安全에 重大한 影響을 미치는 Piping에 對한 研究은 1910年 Bligh²³와 1935年 Lane¹⁴에 의해 統計的인 方法에 根據를 둔 Piping問題에 對한 法則들이 提示되었으며, 1922年 Terzaghi^{9,21}에 의해 浸潤力의 效果에 關한 合理的인 接近方法이 展開되었고, 뒤이어 1935年 Harza⁹는 流線網을 通過 出口 傾斜를 求해서 Terzaghi가 提示한 理論的인 限界動水 傾斜와 比較하므로써 Piping에 對한 安全率을 求하는 方法을 提案하였다. 이러한 統計的이고 理論的인 方法과는 달리 1981年 Selmeizer²⁴는 未知의 許容水頭를 가지는 原型과 模型에서의 水流에 對해서 Laplace 方程式의 解를 決定한 後, 原型의 基礎地盤 材料에 對한 模型實驗을 通하여 Piping이 始作되는 點의 限界水頭를 決定하고, 原型과 模型에서의 方程式의 解를 相應시키므로써 模型實驗의 結果를 利用하여 原型에 對한 Piping의 限界水頭를 決定할 수 있다고 하였다.

이에 本 研究에서는 透水性 基礎地盤上에 策造된 模型堤防에 對하여 그 基礎地盤 材料의 粒度와 浸透路長을 變化시키면서 여러가지 條件下에서 模型實驗을 遂行하여 Piping의 限界水頭를 分析하므로써 透水性 基礎地盤上의 水理構造物에 對하여 보다 實際的인 Piping의 設計基準를 定立하기 爲한 基礎資料를 提示하고자 한다.

Piping의 理論, 使用材料 및 方法

1. Piping 理論

물이 透水性 地盤內를 通過할때 浸透水와 물의 通路인 土粒子間의 空隙壁과의 摩擦로 因해서 浸潤力²²이 形成된다.

Fig. 1은 堤防의 透水性 地盤內^{2,15}에서 微小部分의 물의 흐름을 보여주고 있다. 堤防의 上流側 先端에서 土粒子의 水中重量 W_s 는 浸透水의 初期浸潤力 F_1 과 함께 下向으로 作用하여 分成有效重量이 R_1 으로 된다.

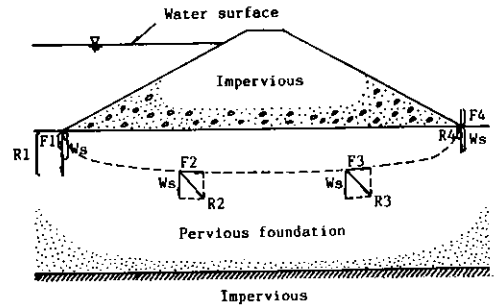


Fig. 1. Seepage force components.

浸透水는 繼續的으로 浸透路를 通過함에 따라 單位 距離當 摩擦損失에 比例해서 흐름의 方向으로 浸潤力이 增加되고, 堤防 下部와 같이 浸透가 일어나는 透水性 地盤의 斷面이 制限될때는 一定흐름에 對하여 浸潤速度도 增加된다. 이와같이 摩擦損失의 增加와 함께 速度 및 浸潤力 增加를 同伴함에 따라 Fig.1에서와 같이 F_1 은 F_4 로 增加해서 堤防 下流側 先端에서 上向으로 作用하여 土粒子를 밀어올리는 힘으로 作用하고 W_s 는 이에 抵抗하여 下向으로 作用하게 된다. 이 F_4 와 W_s 의 合力 R_4 가 下向으로 作用하면 土粒子는 安定狀態에 있게 될 것이나 上向으로 作用한다면 土粒子는 上昇하게 된다.

一旦 粒子가 上昇하게 되면 下流側 先端으로부터 上流側 方向으로 中空管狀의 浸潤洗掘이 일어나면서 浸透水量이 增加됨에 따라 洗掘斷面積은 急激히 增大되어 結局 上部 堤防의 破壞를 招來한다. 이와같은 現象을 Piping이라고하고, Piping이 일어나기 始作할 때의 上流側 水頭를 限界水頭 (Critical Head)라 하며, 그때의 出口點의 動水傾斜를 限界動水傾斜 (Critical Hydraulic Gradient)라 稱한다.^{8,12}

2. 使用材料

本 實驗에 使用된 透水性 基礎地盤 材料는 모래를 人工的으로 分析하여 7種으로 分類하였는 바, 그 物理的 性質 및 粒度分布曲線은 各各 Table 1 및 Fig. 2와 같으며, 粒度分布曲線에서 알 수 있는 바와 같이 SS-1 ~ SS-6은 均一한 粒度이고 SS-7은 SS-1 ~ SS-6을 混合한 材料이다. 模型堤防 築造用 材料의 物理的 性質 및 그 粒度分布曲線은 各各 Table 2 및

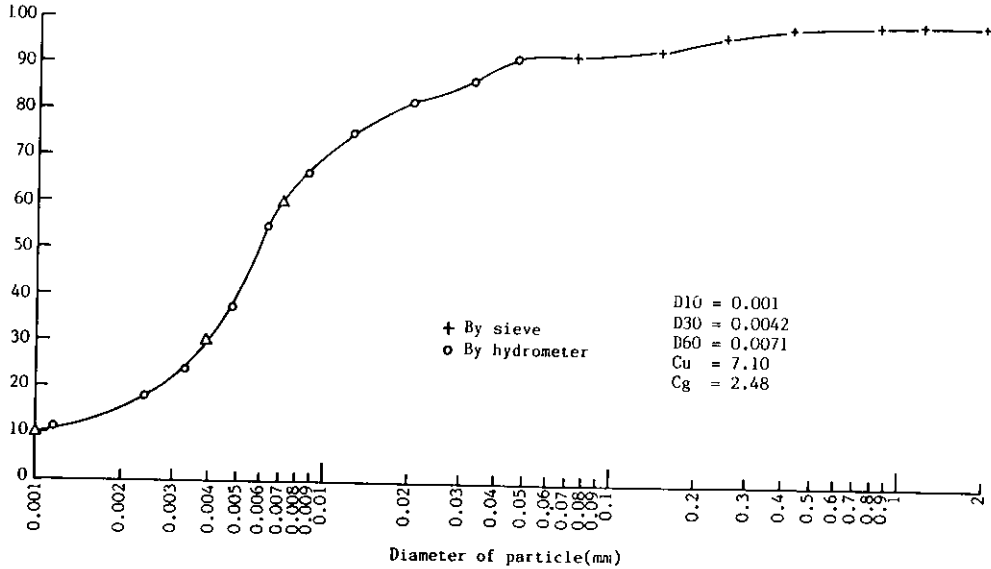


FIG. 3. Particle size distribution curve of model dyke material .

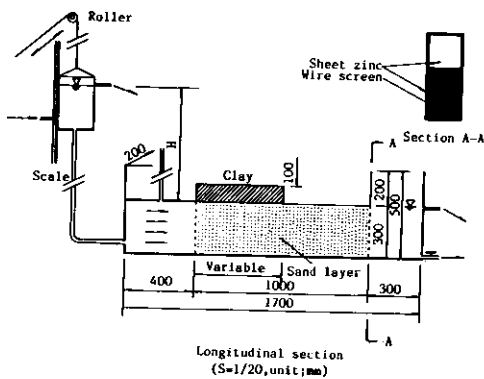


Fig. 4. Experimental set up with case 1.

시킴을 위한 공기공을 직徑 12.0 mm로 設置하였다.

水槽의 下流側 右上端에는 水位를 '0' Potential로 維持시키기 위하여 直徑 11.5 mm의 透明 Vinyl Hose를 連結해서 剩餘水를 排水시켰으며, 左下端에는 實驗이 끝난 後 水槽內 水를 效率的으로 排除할 수 있도록 直徑 14.5mm의 排水裝置를 設置하였다. 水槽의 背面에는 防潮堤 模型과 地盤의 境界面에 5cm 間隔으로 直徑 5.0 mm의 Vinyl 管을 連結해서 piezometer로 하고 境界面의 Piezometric Head를 測定할 수 있게 하였다. 透水性 地盤의 上下流側面은 합석板, 굵은鐵網, 가는鐵網을 使用한 칸막이를 設置해서 透水性 地盤材料의 形

을 維持시키고 地盤内部에 水가 水平으로 흐르게 하였다.

給水裝置는 透明 Acryl 板을 使用해서 20 cm × 10 cm × 30 cm 크기로 製作하고 上流側 水位를 上昇시킬 수 있도록 Roller 에 連結시켰으며, 그 上部에는 一定水位 以上을 越流시킬 수 있도록 直徑 10.0 mm의 Vinyl Hose를 連結하고, 그 下部에는 直徑 10.0 mm의 Vinyl Hose를 水道꼭지에 連結시켰다. 給水裝置의 右側에는 자눈금을 '0' 눈금이 堤體模型과 地盤의 境界面에서 一致하도록 水位板에 附着해서 水位를 읽을 수 있도록 하였다.

2) 實驗方法

Fig. 2와 같은 7種의 材料를 使用한 透水性基礎地盤의 各各에 對하여 堤防模型을 Fig. 5와 같이 다음 3가지 形態로 築造해서 實驗을 遂行하였다.

境遇 1 : 下流側 透水性 地盤層上에 不透水性의 上部層이 存在하지 않는 境遇. (二次元 흐름)

境遇 2 : 下流側 透水性 地盤層上에 不透水性의 上部層이 存在하되, 그 層內에 帶狀의 側溝形式으로 透水層이 露出되어 있는 境遇. (二次元 흐름)

境遇 3 : 下流側 透水性 地盤層上에 不透水性의 上部層이 存在하되, 그 層內에 둥근 구멍形式으로 透水層이

露出되어 있는 境遇. (三次元 흐름)

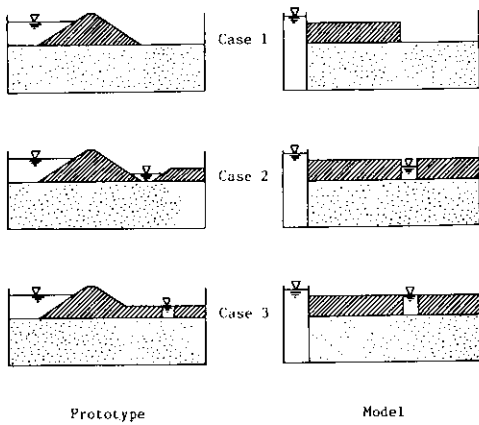


Fig. 5. Geometry of prototype and model.

實驗에 使用할 透水性 材料는 基礎地盤의 全域에 걸쳐 거의 均等한 密度를 갖도록 한 層을 10 cm 두께로 模型水槽 內에 넣고 各 層마다 6 cm×6 cm×6 cm 의 角木을 使用해서 約 20 cm 높이에서 팔에서 힘을 주지 않는 狀態로 落下시켜 다진 後, 同一한 地盤材料에 對한 各 實驗에서는 같은 條件을 維持하기 爲하여 堤體模型 築造 前에 上流側 流入口를 통해서 물을 水位 '0' 까지 注入시킨 後에 水槽 右側下端에 있는 排水裝置를 通해 水槽內의 물을 排水시킴으로써 물다짐하였고, 特別히 密度와 透水係數의 效果에 對한 實驗에서는 한 層의 두께를 달리해서 다진 後 물다짐하였다. (Photo 2 參照)

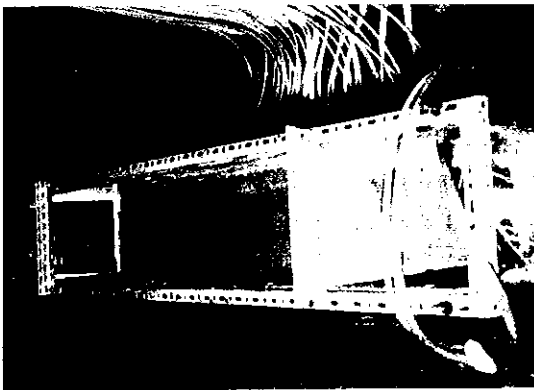


Photo 2. Foundation set in place inside the 'seepage tank'.

堤防模型 材料는 물을 섞어 大略 62.5% 程度의 液性 限界로 반죽해서 地盤과 堤體模型이 境界面에서 잘 接觸될 수 있고 물이 浸透하지 못하며 氣泡가 없도록 다 지면서 堤體模型의 幾何學的 形態를 Fig. 5와 같이 矩形으로 單純化시켜 配置했는데 堤體의 두께는 그 重量의 效果에 對한 實驗을 除外한 모든 實驗에서 10 cm로 하고 境遇 2의 溝의 幅은 5 cm, 境遇 3의 구멍의 直徑은 9 cm로 하였다. (Photo 3 參照)

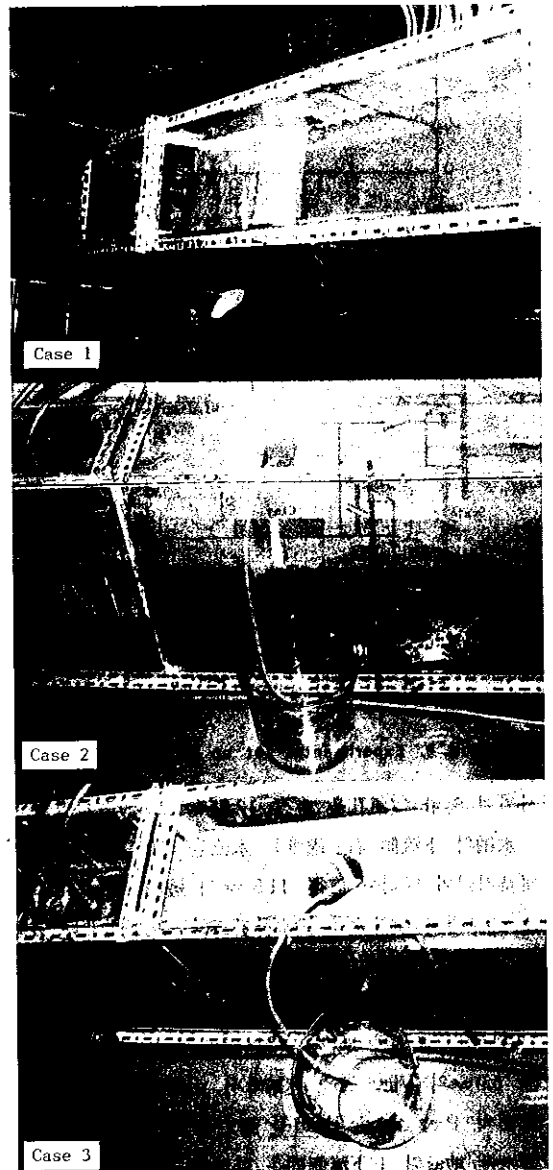


Photo 3. Model dyke constructed on pervious foundation.

實驗은 給水裝置를 利用해서 上流側 水位를 '0'으로 維持하므로써 透水性 地盤을 完全히 물로 飽和시킨 後에 遂行하였다.

限界水頭의 決定은 給水裝置를 利用해서 漸進的으로 水頭를 높이면서 Boiling과 Piping의 始點의 水位를 上流側 給水裝置에 緣하여 附着해 놓은 눈금을 읽음으로써 이루어진다.

流量은 境遇 1의 模型에서는 水槽의 下流側 末端部의 上部에 連結되어 있는 流出口를 通해서 排水되는 물을 Mass Cylinder에 담아 測定하고, 境遇 2, 3의 模型에서는 溝나 구멍속에 直徑 5mm의 Vinyl 管을 집어 넣어 그 管을 通해 流出되는 물을 Mass Cylinder에 담아 測定하였다.

限界水頭 狀態에서 地盤와 堤體 境界面의 Piezometric Head가 測定되었는데 Piping이 進行되는 始點에서의 Piezometric Head를 測定하기 爲해서 不得已 給水裝置를 Piping의 限界水頭에서 1cm 내려 測定했으며 Piezometer 內의 氣泡를 除去하기 爲해서 Piezometer Vinyl 管을 水位板에 결도록 裝置하고 눈금을 읽기 前에 Piezometer 管을 水位板에서 떼내어 下部로 기울여 물을 通過시킨 後에 水頭를 測定하였다.

結果 및 考察

1. Piping의 進行過程

基礎地盤을 물로 飽和시킨 後 上流側 水位를 漸進的으로 上昇시키면서 注目되는 現象들은 다음과 같이 分類할 수 있다.

1) 透水性 地盤이 물로 飽和되면서 下流側 地盤이 多少 부풀기 始作한다. 이 現象은 境界面에서 보다 顯著하게 나타난다.

2) 水位의 上昇에 따라 堤體 境界面의 地盤上에 不連續的으로 極히 작은 구멍이 나타난다. 이것은 매우 작은 모래粒子가 한 地點으로부터 離脫되고 있다는 것을 意味한다.

3) 堤體 境界面의 地盤上에 部分的으로 若干의 작은 모래粒子들이 浸潤力에 依해 떠올랐다가 다시 가라앉는 것을 되풀이 하면서 Boiling이 일어난다. 이 Boi-

ling 段階까지는 粒子들의 水平移動이 거의 없다. Boiling 段階의 始點에서의 水位를 一定하게 維持하면 이 現象은 數秒 後에 가라앉는다.

4) 水位를 漸進的으로 더 높이면 浸潤力이 더욱 增加해서 粒子들의 運動이 活潑하게 일어나면서 Boiling에서 Piping으로 發達한다. 粒子들의 水平移動이 顯著하면서 堤體下流側 境界面에서부터 堤體底面의 地盤을 洗掘시키고, 時間의 經過에 따라 洗掘은 漸進的으로 上流쪽으로 發達되어 많은 浸蝕土砂가 移動되면서 上下流側을 連結하는 中空管狀의 Pipe가 形成된다. (Photo 4 參照) 이 Piping 段階에서는 Boiling 段階와는 달리 始點의 水位를 그대로 維持시켜도 Piping 現象은 繼續된다. 이 限界水頭 以上으로 水位를 높이면 洗掘은 더욱 빠른 速度로 進行된다.

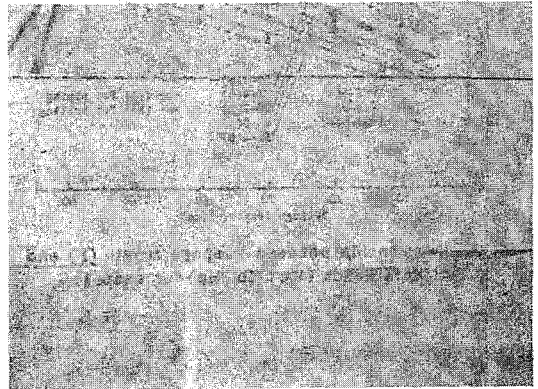


Photo 4. Piping to be in progress in the model of case 1.

2. 地盤材料의 粒度和 浸透路長에 對한 限界水頭의 變化

7種의 地盤材料 (SS-1~SS-7)에 對하여 堤體의 幅, 卽 浸透路長을 10cm에서부터 10cm 間隔으로 60cm까지 變化시켜, 境遇 1, 2, 3에 對한 實驗을 遂行하였다. Fig. 6, 7, 8은 各各 境遇 1, 2, 3에 對한 Boiling 및 Piping의 限界水頭 結果를 나타낸 것이다. 各 測定值의 標準偏差는 境遇 1, 2, 3에서 各各 $\pm 0.1 \text{ cm} \sim \pm 1.0 \text{ cm}$, $\pm 0.1 \text{ cm} \sim \pm 1.1 \text{ cm}$, $\pm 0.3 \text{ cm} \sim \pm 2.0 \text{ cm}$ 로 最確值에 비해 相當히 滿足스러운 값을 나타냈으며, 이 標準偏差는 같은 境遇의 堤防模型에 對해서 粗粒子보다 細粒子均等한 粒度보다는 多樣한 粒度의 地盤材料에서 크게 나

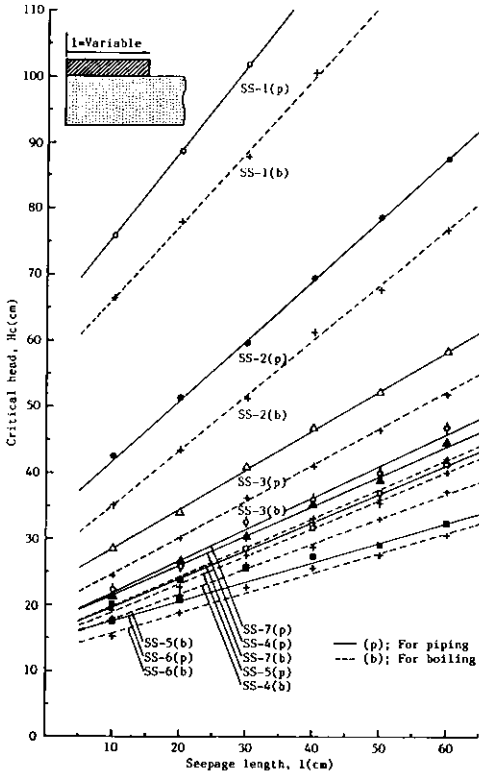


Fig. 6. Relationship between seepage length (l) and critical heads (Hc: Hb, Hp) for case 1.

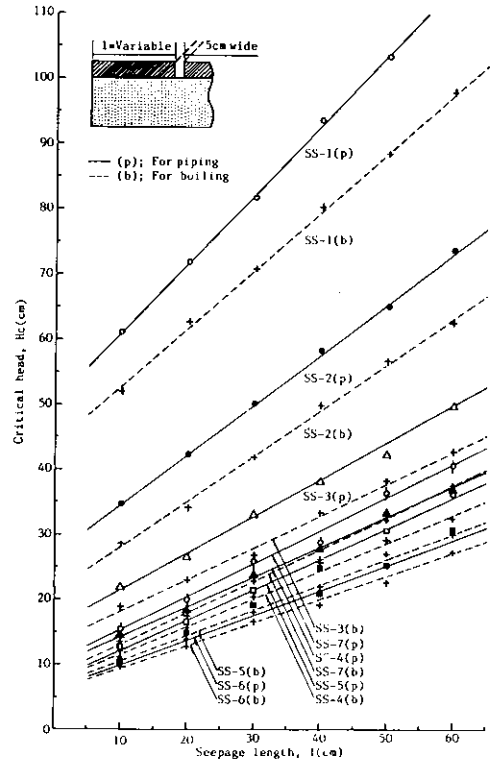


Fig. 7. Relationship between seepage length (l) and critical heads (Hc: Hb, Hp) for case 2.

타났다.

(1) 透水性 地盤의 粒徑과 限界水頭의 關係

Fig.6, 7, 8에서와 같이 同一한 浸透路長에서는 地盤材料의 粒徑이 커짐에 따라 Boiling 및 Piping의 限界水頭는 境遇 1, 2, 3 모두 一律的으로 높게 나타났으며, SS-1~SS-6을 거의 같은 比率로 混合한 SS-7에서의 限界水頭는 SS-3과 SS-4 사이에서 나타났.

結局 限界水頭는 土粒子의 水中重量과 關係되므로 粒徑이 클수록 Boiling 및 Piping의 限界水頭가 높은 것으로 나타남을 알 수 있다.

(2) 浸透路長과 限界水頭의 關係

Fig. 6, 7, 8의 浸透路長과 Boiling 및 Piping의 限界水頭와의 關係圖에서 實線은 Piping, 點線은 Piping에 對한 回歸直線을 標示한다. 그림에서와 같이 相關關係는 正의 相關을 나타냈으며 그 回歸直線의 기울기는 粒

徑이 큰 地盤일수록 크게 나타났다.

浸透路長과 限界水頭의 關係圖에 對한 直線回歸方程式과 相關係數는 Table 3과 같다. 回歸直線의 截片은 透水性 地盤에 對한 Boiling과 Piping의 最小限界水頭를 보여주고 있다.

浸透路長과 限界水頭의 相關係數는 Table 3과 같이 地盤材料의 粒徑이 작을수록, 粒徑이 多樣할수록 多少 작게 나타났으나 모든 實驗에서 거의 '1'에 가까웠으므로 水理構造물이 築造될 現場의 透水性 基礎地盤上砂에 對해 模型實驗을 遂行하므로써 實際 築造構造物 底幅에 對한 Piping의 限界水頭를 보다 實質的으로 豫見할 수 있을 것이다.

(3) 境遇 1, 2, 3의 比較

Fig. 6, 7, 8은 限界水頭의 關係를 나타낸 것이다.

同一한 地盤材料와 浸透路長에 對하여 境遇 1에서 限界水頭의 값이 가장 높았으며, 境遇 2, 境遇 3의 順位로 낮게 나타났다. 이것은 堤體下流側 地盤의 透水性 地

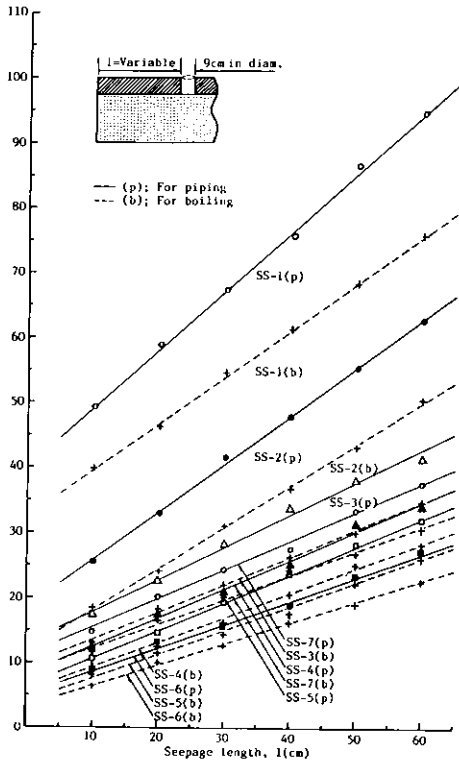


Fig. 8. Relationship between seepage length (l) and critical heads (Hc: Hb, Hp) for case 3.

Table 3. Regression equation (Hb, Hp) and correlation coefficient (r) in Fig. 6, 7, 8.

Sample no.		SS-1	SS-2	SS-3	SS-4	SS-5	SS-6	SS-7
Case 1	Hb	1.111+55.30	0.831+26.85	0.551+19.21	0.321+14.75	0.381+14.05	0.301+12.77	0.441+15.44
	r	0.999	0.999	1.000	0.998	0.998	0.995	0.994
	Hp	1.281+63.12	0.911+33.05	0.601+22.44	0.451+17.05	0.431+15.37	0.291+15.13	0.481+16.95
Case 2	Hb	0.901+43.68	0.701+21.11	0.491+13.34	0.421+7.70	0.391+6.57	0.351+5.91	0.481+8.18
	r	0.999	0.999	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997
	Hp	1.061+50.50	0.771+26.94	0.551+15.95	0.461+9.71	0.471+7.32	0.381+6.50	0.511+10.09
Case 3	Hb	0.721+32.41	0.641+11.67	0.421+9.31	0.381+5.52	0.361+4.05	0.321+3.29	0.371+8.65
	r	1.000	0.999	0.999	0.998	0.997	0.999	0.996
	Hp	0.911+39.94	0.741+18.38	0.501+12.81	0.441+8.07	0.431+6.24	0.361+5.13	0.451+10.44
	r	0.999	0.999	0.996	0.996	0.999	0.996	0.998

Hb ; Critical head when boiling

Hp ; Critical head when piping

서 各 地盤材料에 對하여 間隙比가 커짐에 따라 Piping의 限界水頭는 낮아졌으므로 地盤材料의 密度가 클수록 限界水頭는 높게 나타난다는 것을 알 수 있으며

層위에 不透水層이 存在하는 境遇에는 이 不透水層이 Boiling과 Piping의 限界水頭に 影響을 미친다는 것을 意味한다. 또한 모든 경우에 있어서 Boiling과 Piping사이의 限界水頭의 差는 透水性 地盤材料의 粒徑이 클수록 크게 나타났으며 境遇 1,2,3의 Boiling 段階과 Piping 段階의 限界水頭의 差를 比較해볼 때 그 差는 境遇 1에서보다 境遇 2,3에서 크게 나타났다. 이것은 境遇 2,3에서는 溝나 구멍에서 Boiling이 일어난 後 微細한 모래 粒子들이 Boiling 구멍을 다시 메우므로써 Boiling 및 Piping에 對한 追加의 動水抵抗이 發達하게 된다는 것을 意味한다.

3. 密度와 限界水頭의 關係

SS-3~SS-7의 基礎地盤材料에 對해 한 層의 두께를 5 cm, 10 cm, 15 cm로 달리해서 다진 後 물다짐하므로써 地盤材料의 間隙比를 3가지로 變化시켰고, 그 各各에 對해 浸透路長을 50 cm로 해서 境遇 1을 實驗하므로써 地盤의 密度와 Piping의 限界水頭의 關係를 觀察하였다. 粒徑이 작을수록 다짐程度에 對한 間隙比의 變化가 顯著하게 나타났으며 粒徑이 比較的 큰 SS-1, SS-2는 다짐程度에 對한 密度의 變化가 거의 없었다.

密度와 限界水頭의 關係圖는 Fig.9와 같다. 그림에

地盤材料의 粒徑이 작을수록 間隙比의 範圍는 보다 넓음에도 不拘하고 密度의 減少에 對한 限界水頭의 減少率은 크게 나타났으므로 限界水頭는 粒徑이 작은 地盤

材料에 대해서는 密度의 變化에 보다 크게 影響을 받는다는 것을 알 수 있다.

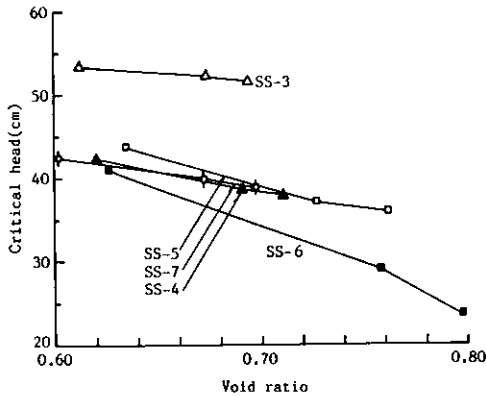


Fig. 9. Variations of critical head (H_p) with void ratio for case 1, $l = 50$ cm

4. 透水性과 限界水頭의 關係

Fig.10 은 SS - 3 ~ SS - 7 의 地盤材料에 對하여 求한 間隙比를 使用해서 各各에 對한 透水係數를 概略의 으로 求하여 關係圖를 그린 것이다.

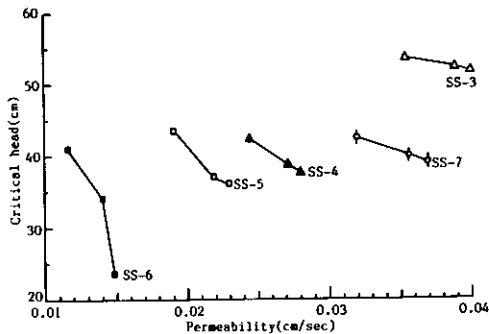


Fig. 10. Variations of critical head (H_p) with permeability (k) for case 1, $l = 50$ cm

各 地盤材料에 있어서 透水係數가 커짐에 따라 限界水頭는 낮아졌고, 이 限界水頭는 特히 粒徑이 작은 材料에 對해서는 透水係數의 變化에 크게 影響을 받는다는 것을 알 수 있다.

5. Piezometric Head

基礎地盤材料 SS - 3에 對하여 浸透路長을 6 가지로 달리한 境遇 1, 2의 實驗에서 Piping이 일어나기 直前의 堤體模型과 透水性 地盤 境界面의 Piezometric Head가 測定되었다.

Fig.11은 堤體模型의 浸透路長을 따라 Piezometric Head가 變化하는 狀態를 圖示한 것이다. 그림에서 左端의 Head 直는 上流側 水位, 卽 Piping의 限界水頭로 나타난다. 境遇 1에서는 上流側 先端에서의 Head는

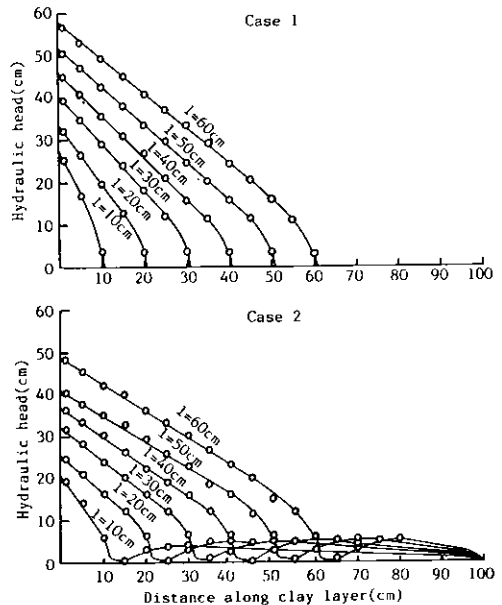


Fig. 11. Piezometric head along clay layer for SS-3.

堤體의 下流쪽으로 가면서 거의 直線的으로 減少하다가 下流側 先端 附近에서 急激히 減少해서 '0'으로 되고, 境遇 2에서 Head는 堤體部에서 거의 直線的으로 減少하고 溝에서 急傾斜로 減少했다가 下流 不透水層部에서 다시 增加해서 緩慢한 傾斜로 '0'이 된다.

境遇 1, 2에서 注目할만한 事實은 Piping이 始作되는 下流側 先端 (Singular Point) 附近의 Piezometric Head는 地盤材料과 堤體模型의 幾何學的 形態가 같다면 浸透路長에 關係없이 恒常 一定하다는 것을 보여주고 있어 훨씬 긴 浸透路長을 갖는 現場에서도 同一할 것으로 判斷된다. 이것은 縮尺模型의 實驗을 通해서 現場에 있어서의 Piping을 豫見할 수 있다는 것을 意味한다.

6. 流出量

SS - 2 - SS - 5의 4 가지 地盤材料에 對해 浸透路長을 40 cm로 해서 境遇 1, 2, 3을 實驗하는 동안 上流側 水位를 10 cm 間隔으로 높이면서 流出量이 測定되었다.

Fig.12는 水位와 流出量의 關係圖이다. 流量은 Da-

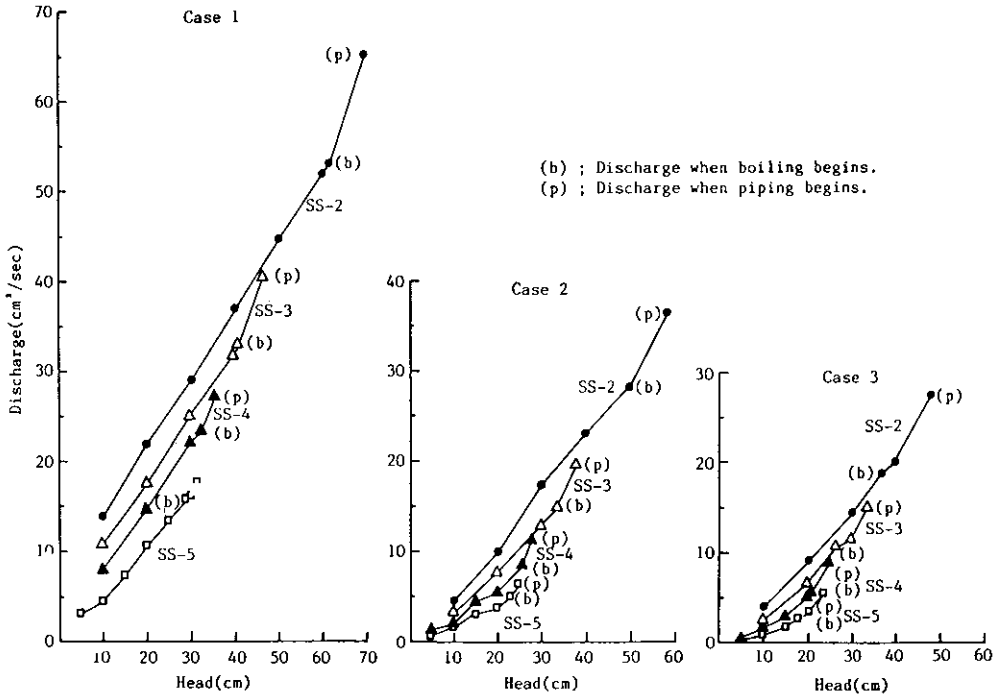


Fig. 12. Variations of discharge with head for $l = 40\text{ cm}$

rcy 式 $Q = K_1 A_v^{1.2}$ 에서 動水傾斜에 比例하므로 關係圖는 水位의 上昇에 對해 모두 直線的으로 變化할 것이다. 境遇 1을 除外한 境遇 2, 3은 流量測定이 容易하지 못한 關係로 實驗에 誤差가 많은 것으로 思料되나 境遇 1, 2, 3에서 全般적으로 Boiling 以後는 水位의 上昇에 따른 流出量의 增加率이 Boiling 以前보다 顯著하게 크게 나타난 것이 共通的인 現象이다. 이것은 Boiling 以後 透水性 地盤의 土粒子間의 間隙이 下流側 境界面에서 多少 커지므로써 有效浸透面積이 넓어진 結果로 判斷된다.

7. 堤體模型의 重量과 限界水頭의 關係

地盤材料, 浸透路長 및 堤體模型의 幾何學的 形態를 同一한 條件으로 하고 堤體模型의 두께를 10cm에서 20cm, 30cm로 늘려서 實驗한 結果 그 各各에 對한 限界水頭의 變化는 거의 없는 것으로 나타났다.

8. 時間效果

一定水位에서 實驗時間을 延長시켜본 結果 時間的인 效果는 없는 것으로 나타났으므로 透水性 地盤이 Piping에 對해 安全하게 施工된 水理構造物은 地盤內部的 地質學的 變動이 없는 限 Piping에 對해 永久的으로 安

全할 것으로 思料된다.

結 論

各其 다른 粒度分布를 가지는 7種의 基礎地盤 材料에 對하여 堤體模型의 幾何學的 形態別 浸透路長의 變化에 따른 Boiling 과 Piping의 限界水頭를 決定하기 爲한 實驗結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. Boiling 및 Piping의 限界水頭는 基礎地盤 材料의 粒徑이 클수록, 密度가 높을수록 높게 나타났으며, 透水度는 낮을수록 높게 나타났다.
2. Boiling 과 Piping의 限界水頭差는 地盤材料의 粒徑이 클수록 크게 나타났으며 境遇 2, 3은 追加의 動水抵抗으로 因하여 境遇 1보다 多少 크게 나타났다.
3. Boiling 및 Piping의 限界水頭는 浸透路長에 比例하여 直線的으로 增加하였다.
4. 堤體의 下流側 先端 附近의 Piezometric Head는 地盤材料와 堤體模型의 形態가 同一할 때 浸透路長에 關係없이 恒常 一定하였다.
5. 堤體模型의 重量의 變化는 Boiling 및 Piping의 限界水頭に 影響을 미치지 않았다.

以上の 結果, 水理構造物이 築造된 現長의 透水性 基

礎地盤土砂에 對한 模型實驗을 通하여 將來 築造될 構造物에 對한 Piping의 限界水頭를 보다 實際적으로 豫

見할 수 있을 것으로 思料된다.

引 用 文 獻

1. Baecher, G., M.E. Pate and R. Neufville: 1980, Dam Failure in Benefit /Cost Analysis, Proc. of the ASCE, 106 (5) : 101 - 105.
2. Bligh, W.G.:1910, Dams, Barrages and Weir on Porous Foundations, Engineering News, 64 (26) : 708-710.
3. Bowles, J.E.:1979, Physical and Geotechnical Properties of Soils, Int. Student Edition, McGraw - Hill, Inc., New York, pp.205-208, pp.261-263.
4. Cedergren, H.R.:1977, Seepage, Drainage, & Flow Nets, 2nd Edition, John Wiley & Sons Inc., New York, pp.178-184.
5. Domjan, J.:1969, Piping of Soils near Dams, Proc. of the 5th Int. Conf. on SM & FE, 2:581-583.
6. Goodman, R.E. and P.N. Sundaram:1980, Permeability and Piping in Fractured Rocks, Proc. of the ASCE, 106 (5) : 485-498.
7. Gunther, K.:1981, Groundwater and Seepage Problems (Some Remarks on Seepage Erosion) Proc. of the 10th Int. Conf. on SM& FE, 4: 641-643.
8. Harr, M.E.:1962, Groundwater and Seepage, McGraw-Hill, Inc., New York, p.25, pp.125-128.
9. Harr, M.E.:1977, Mechanics of Particulate Media, McGraw-Hill, Int. Book Co., New, pp.174-179.
10. Holtz, R.D. and W.D. Kovacs:1981, Introduction to Geotechnical Engineering, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, pp.246-258.
11. 鄭亨直, 申芳雄 : 1976, 콘크리트댐 底面 浸透에 關한 考察, 韓國農工學會誌, 18(1) : 61-68.
12. 姜人默, 朴春洙, 辛鍾擘, 禹文楨 : 1978, 土質力學, 螢雪 出版社, 서울, p.31, pp.90-91, pp.106-125.
13. 權武男 : 1983, 堤體의 浸透流 解析에 關한 比較研究, 韓國農工學會誌, 25(1) : 45-66.
14. Lane, E.W.:1935, Security from Under-seepage: Masonry Dams on Earth Foundation, Transactions of ASCE, 1919:1235-1351.
15. 李培浩 : 1961, 透水性 地盤內의 浸透徑路 解析, 韓國農工學會誌, 4(1) : 26-29.
16. 南宮達, 金哲基 : 1975, 모래層에서의 水流의 特性에 關한 實驗的 研究, 韓國農工學會誌, 17(3) : 39-45.
17. Seed, H.B. and J.M. Duncan:1981, The Teton Dam Failure-A Retrospective Review, Proc. of the 10th Int. Conf. on SM & FE, 4:223-224.
18. Sellmeijer, J. B.:1980, Interpretation of Laboratory Tests on Piping, LGM - Medelingen, 21(2) : 179-183.
19. Sommer, H. :1981, Groundwater and Seepage Problems (Written Discussion), Proc. of the 10th Int. Conf. on SM & FE, 4:656-658.
20. Thomas, H. H.:1976, The Engineering of Large Dams, John Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 35-54, p.440, p.628.
21. Terzaghi, K. : 1954, Theoretical Soil Mechanics, 7th Printing, John Wiley & Sons, , New York, pp. 257-262.
22. USBR:1977, Desigh of Small Dam, Revised Print 。 A Water Resources Technical Publication, pp.219-239.
23. Vanzyl, D. and M. E. Harr:1981, Seepage Erosion Analyses of Structure, Proc of 10th Int. Conf. on SM& FE, 1:503-509.
24. Wit, J. M., J. B. Sellmeijer and A. Penning:1981, Laboratory Testing on Piping, Proc. of the 10th Int. Conf. on SM & FE, 1:517-520.