

<論 文>

마사土的 遮水性에 關한 實驗的 研究
 Experimental Study on the Permeability
 of Decomposed Granite Soil

李 滢 洙
 Lee, Hyoung Soo

Abstract

On the constructions of fill type dams, usually the constructions materials is desired to be obtained in vicinity of the dam site to justify economical feasibility of the project.

In the stability analysis of the dams, core parts takes a small fraction of the slip circle and main function of core is to decrease dam permeability.

This paper shows results of various tests as physical properties, compactions (using single, double triple and four times of the standard compaction energy) and the permeability tests.

Single decomposed granite and mixed materials with clay soils were used in this test. And conclusions of these tests are as follows;

1. Criteria of weathering ratio should be calculated by density measurement.
2. Permeability coefficient mainly depends on the #200 sieve passing, and also passing soil quantities depends on the weathering condition of the soil.
3. It was established that low weathered decomposed granite can not be used for the core materials of the fill type dams. On the other hand, moderately weathered decomposed granite soil with particles could pass through #200 sieve in a quantity over 10%, could achieve permeability in a magnitude of 1×10^{-5} cm/sec.
4. With the decomposed granite soil it is possible to perform three times larger compaction energy than the standard energy without any problems.

要 旨

Fill Type Dam에 있어서 一般의 築造材料는 經濟性을 勘案하여 Dam Site 附近에서 求해야하므로 Core 用材料로서는 遮水性의 問題가 解決된다면 마사土도 使用可能한 것이다는 前提下에 本文에서는 마사土를 單獨 또는 混合材料로서 各種試驗을 實施하여 使用可能性 與否를 檢討하고 其使用範圍를 定함으로써 앞으로의 使用者들에게 便宜를 提供코자 한다.

正會員·中央大學工科大專任講師

1. 序 言

一般의 築造材料로서는 粘土 및 Silt가 適當量이 含有되어 있는 모래, 자갈 등의 混合物이 構造의 爲로 強하고 安全한 不透水層을 築造하는데 容易한 뿐더러 含水量의 調整도 容易하므로 더욱 適合한 材料가 될 수 있다. 더욱이 實際 Dam에서 보면 各 Zone에 該當하는 材料는 均質의 材料여야 하며 外國의 例에서 보더라도 其材料自體가 良好하든 不良하든간에 均質性에 對한 問題는 잘 지키고 있다. 그런

데 實際로 Dam site 附近에서 Core用 不透水層材料로서 均質의 것을 充足시킬 수 있는 곳은 거의 없으며 따라서 許容粒度範圍를 넓힐 수밖에 없거나 또는 遠距離에서 所要材料를 運搬하게 되므로 不經濟의 이 되는 경우가 많다.

그러나 마사土는 花崗岩의 風化土로서 均質의 것을 多量確保할 수 있으므로 Dam 安全度面이라는가 遮水性面에서만 所要의 結果를 얻을 수 있다면 經濟的인 Dam 을 築造할 수 있음은 두말할 나위도 없다.

이러한 意圖에서 本文에서는 여러가지 試驗을 하여 마사土의 遮水性材料로서의 使用可能範圍를 檢討코져 하는 바이다.

여기에서 잠시 마사土의 物理的, 化學的 性質에 關하여 考察하여 보면 마사土는 外氣에 接하면 溫度變化라는가 空氣中の 濕氣 및 雨水의 浸透에 依하여 土粒子 相互間의 變化를 이르게 徐徐히 風化되기 始作한다.

오랜 時日동안 徐徐히 이루어진 機械的, 化學的 變化는 母岩의 造岩鑛物의 性質이나 地質構造, 地形條件 및 地史의 變遷의 過程에 따라 다르지만 其原因이 어 塋ん間에 이렇게 風化變質된 마사土는 原地盤의 狀態에 左右된다고 生覺된다.

S.S. Goldich(1938)는 片麻岩의 風化에 關하여 化學的 및 鑛物分析을 實施하여 風化에 依한 2次生成物은 主로 長石에 變質物인 Kaolinite이며 風化에 따라 Na, Ca, Mg 등이 減少된다고 論述하였다. 또한 日人 菅野(1957) 등은 花崗岩의 風化土壤을 各種試驗하여 Kaoline 鑛物, “이사이트”, “바티큐사이트”, “기브사이트”의 生成을 明白히 하고 있다.

한편 齊藤(1956)은 花崗岩의 風化는 主로 物理的, 機械的 變化라고 論述하고 있다.

以上の 研究結果로서 風化에 依한 化學的, 鑛物學的 物理的 性質의 變化는 明瞭하나 이와같은 變化 即 鑛物의 種類에 變化가 나타나기까지는 相當한 時日이 所要될 것으로 推測된다.

그러나 土木工學的 見地에서 우리가 여기에서 生覺할려는 것은 比較的 短時間에 이러나는 變化이다. 이와같은 比較的 短時間의 現象에 對해서 D.F. Griggs(1625)는 花崗岩의 濕潤, 乾燥條件이 變化하는때의 影響을 調査하여 水分의 影響이 絶對的으로 크다는 것을 밝혔다.

그러나 土質工學的으로 본 흙의 強度 및 透水性에 關한 研究는 거의 이루어져 있지 않다.

따라서 여기에서는 比較的 短時間의 變化가 어떻게 이루어지며 이러한 變化에 따라서 이 마사土를 Fill type dam의 遮水壁材料로 使用하였을 때 가장 問題가 되는 遮水性에 關한 것을 試驗하려는 것이다.

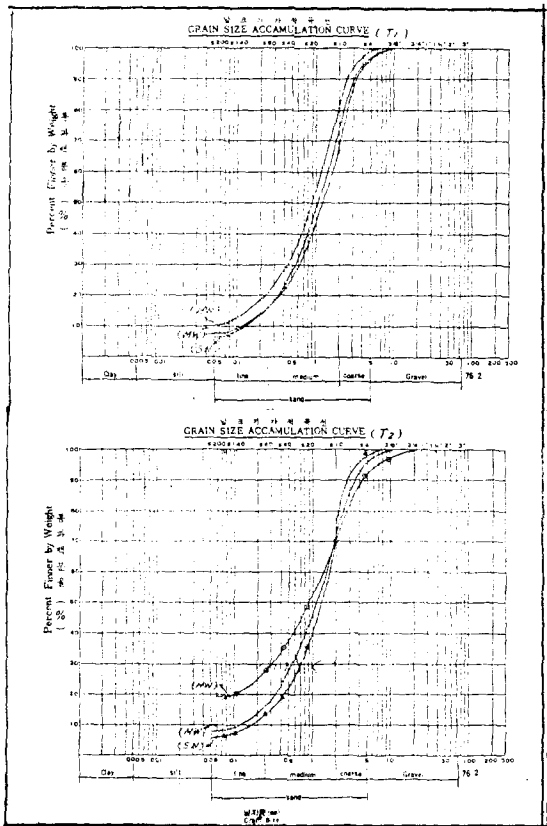
2. 實驗의 內容

#200체 通過量이 7%以下인 材料는 Core用 遮水壁材料로서 使用하였을때 透水係數 $k=1 \times 10^{-5}$ cm/sec 以下를 얻기가 困難하다는 것이 U.S.B.R(美開拓局)에서 集計한 世界 各國의 既往의 Data에서 判明되었으며 이는 또한 同局에서 制定한 不透水性材料의 許容粒度範圍에서도 알아볼 수 있다.

따라서 本試驗은 2大別하여 첫째 마사土 單獨材料로 使用하였을때의 Energy 變化에 따르는 透水係數의 變化 및 粒度의 變化를 實驗에 依하여 求하고 둘째로는 單獨材料로는 使用할 수 없는 마사土를 粘性土와 混合할때 어느程度의 混合比率에서 所要의 透水係數를 얻을 수 있을 것인가를 求하는 同時에 이때의 粒度變化도 考察하였다.

2-1 單獨 마사土의 使用與否에 關한 試驗

于先 試驗을 簡素化시키기 爲하여 試料를 2群으로 大別하여 T₁, T₂로 하였으며 이들의 粒度曲線은 圖表 1-1과 같다.



이 2群의 試料를 다시 風化度別로 區分하여 #200 ㎖ 通過量이 11% 以上되는 것은 Highly Weathered (H.W)로 하고 8%~10%를 Moderately Weathered (M.W), 7% 以下를 Slightly Weathered(S.W)로 하였다.

따라서 試驗에 使用된 試料는 모두 6種이 되며 各材料別로 다짐 및 透水試驗을 實施하되 다짐은 標準다짐, 標準다짐의 2倍, 標準다짐의 3倍, 標準다짐의 4倍의 Energy를 加하여 다지고 試料別로 다짐回數 即 Energy變化에 따르는 最適含水比(O.M.C), 最大乾燥密度 (rdmax) #200㎖ 通過量의 變化狀態 및 乾燥密度 上昇率等을 求하여 表 1에 記錄하였다.

또한 透水試驗은 이中에서 標準다짐과 標準다짐의 3倍의 Energy로 다짐狀態에서 O.M.C-2%, O.M.C. 및 O.M.C.+2%일때의 密度에 對하여 實施하고 標準다짐의 2倍 및 4倍의 Energy로 다졌을 때는 O.M.C 狀態에서만 施行하였고 이들 T₁ 및 T₂에 對한 透水係數試驗結果는 表 2 및 表 3에 記錄하였다. 그리고 粒度試驗은 다짐試驗前과 다짐後의 粒子의 破碎狀態를 確認하기 위하여 各다짐後의 粒度試驗도 아울러 施行함으로써 #200㎖ 通過量의 變化를 調査하였다.

또한 이들 試驗中 다짐에 關한 6種의 圖表는 1-2에 表示하였고 風化度 및 Energy의 變化에 따르는 透水係數의 變化狀態를 圖表 1-3 및 1-4에 表示하였다.

表 1 다짐試驗結果總括表

試料番號 (T ₁)					試料番號 (T ₂)						
風化度	다짐回數	最適含水比	最大乾燥密度	#200㎖ 通過量	乾燥密度 上昇率	風化度	다짐回數	最適含水比	最大乾燥密度	#200㎖ 通過量	乾燥密度 上昇率
H.W.	0	—	—	—	11.0	H.W.	0	—	—	18.7	—
	25	13.5	1,850	13.6	100		25	12.0	1,922	23.3	100
	50	12.5	1,910	15.2	103		50	11.5	1,956	24.8	102
	75	11.7	1,934	16.8	104		75	10.8	1,984	25.5	103
	100	11.5	1,950	16.5	105		100	10.5	2,020	23.3	105
M.W.	0	—	—	8.1	—	M.W.	0	—	—	8.3	—
	25	13.0	1,884	9.7	100		25	13.0	1,876	11.0	100
	50	11.0	1,940	12.6	103		50	12.0	1,924	11.3	102
	75	10.5	1,978	13.1	105		75	11.0	1,970	13.5	105
	100	10.0	2,010	11.3	107		100	10.5	2,000	13.2	107
S.W.	0	—	—	7.7	—	S.W.	0	—	—	6.6	—
	25	13.5	1,874	7.4	100		25	13.0	1,856	8.9	100
	50	—	—	—	—		50	12.0	1,918	9.3	103
	75	11.5	1,956	10.7	104		75	10.5	1,968	11.9	106
	100	—	—	—	—		100	10.0	2,026	13.6	109

表 2 T₁에 對한 透水係數試驗表

風化度	다짐回數	最高含水比 및 最大乾燥密度	透水試驗成果					最大 透水係數	O.M.C+ 2% 透水係數	
			1	2	3	4	5			
H.W.	25回	含水比	13.5	11.9	13.71	15.43	17.02	18.78	17.0	1.55
		乾燥密度	1,850	1,842	1,850	1,834	1,796	1,755	—	—
		透水係數	—	2.8×10 ⁻⁵	2.0×10 ⁻⁵	5.0×10 ⁻⁷	1.9×10 ⁻⁷	2.4×10 ⁻⁷	1.9×10 ⁻⁷	5.0×10 ⁻⁹
H.W.	75回	含水比	11.7	10.67	12.55	14.0	17.02	—	13.5	13.7
		乾燥密度	1,934	1,927	1,934	1,910	1,813	—	—	—
		透水係數	—	6.0×10 ⁻⁶	4.8×10 ⁻⁶	4.8×10 ⁻⁶	1.7×10 ⁻⁷	—	4.6×10 ⁻⁶	4.8×10 ⁻⁶
M.W.	25回	含水比	13.0	10.67	12.46	15.21	17.20	19.56	17.5	15.0
		乾燥密度	1,884	1,860	1,882	1,858	1,832	1,758	—	—
		透水係數	—	4.7×10 ⁻⁶	1.7×10 ⁻⁶	4.6×10 ⁻⁶	4.7×10 ⁻⁷	—	4.8×10 ⁻⁶	5.5×10 ⁻⁶
M.W.	75回	含水比	10.5	8.80	10.45	12.64	14.80	16.63	14.5	13.5
		乾燥密度	1,978	1,954	1,980	1,957	1,894	1,853	—	—
		透水係數	—	1.9×10 ⁻⁶	3.5×10 ⁻⁵	1.8×10 ⁻⁷	1.2×10 ⁻⁷	1.9×10 ⁻⁷	1.2×10 ⁻⁷	1.2×10 ⁻⁷

S.W.	25回	含水比	13.5	10.26	12.25	14.93	15.60		15.5	15.5
		乾燥密度	1,874	1,863	1,869	1,868	1,851		—	—
		透水係數		1.1×10^{-3}	6.5×10^{-4}	6.5×10^{-5}	4.5×10^{-6}		4.5×10^{-6}	4.5×10^{-6}
	75回	含水比	11.5	7.89	10.29	12.40	15.24		14.5	13.5
		乾燥密度	1,956	1,896	1,950	1,947	1,898		—	—
		透水係數		3.7×10^{-4}	3.0×10^{-4}	2.8×10^{-6}			1.6×10^{-6}	1.8×10^{-6}

表 3 T₂에 對한 透水係數試驗表

風化度	다짐回數	最適當含水比 最大乾燥密度	透水試驗成果					最少 透水係數	O.M.C+ 2% 透水係數	
			1	2	3	4	5			
H.W.	25回	含水比	12.0	10.15	13.27	15.20	16.74		16.0	14.0
		乾燥密度	1,922	1,908	1,914	1,861	1,839		—	—
		透水係數		6.1×10^{-6}	2.5×10^{-6}	4.5×10^{-6}	4.8×10^{-6}		4.1×10^{-6}	8.5×10^{-6}
	75回	含水比	10.8	7.60	10.24	13.42	14.57		13.0	12.8
		乾燥密度	1,984	1,956	1,977	1,955	1,907		—	—
		透水係數		4.9×10^{-7}	6.5×10^{-6}	1.4×10^{-6}	3.7×10^{-6}		1.4×10^{-6}	1.5×10^{-6}
M.W.	25回	含水比	13.0	11.00	12.77	16.09	16.72	18.04	16.7	15.0
		乾燥密度	1,876	1,834	1,875	1,846	1,834	1,806	—	—
		透水係數		1.0×10^{-3}	2.2×10^{-4}	2.6×10^{-7}	1.3×10^{-7}	3.6×10^{-7}	1.3×10^{-7}	2.5×10^{-6}
	75回	含水比	11.0	8.93	10.00	13.58	14.60	16.02	15.0	13.0
		乾燥密度	1,970	1,955	1,967	1,931	1,916	1,867	—	—
		透水係數		1.0×10^{-4}	5.0×10^{-5}	1.5×10^{-7}	5.6×10^{-6}	7.4×10^{-6}	5.2×10^{-6}	3.8×10^{-7}
S.W.	25回	含水比	13.0	10.86	13.43	15.62			15.70	15.0
		乾燥密度	1,856	1,837	1,851	1,831			—	—
		透水係數		3.8×10^{-4}	1.5×10^{-4}	1.8×10^{-5}			1.8×10^{-6}	1.8×10^{-5}
	75回	含水比	10.5	8.20	10.14	11.77			11.8	12.5
		乾燥密度	1,668	1,943	1,952	1,963			—	—
		透水係數		7.0×10^{-4}	2.2×10^{-4}	4.1×10^{-5}			4.0×10^{-5}	

<圖表 1-3> Result of Permeability

Sample No. T₁.

Sample No.	No. of Compact	O.M.C	moisture content at min permea	Coeff of permeability
T ₁ HW	25	13.5	17.0	1.9×10^{-7}
	75	11.7	13.5	4.6×10^{-8}
T ₁ MW	25	13.0	17.5	4.8×10^{-7}
	75	10.5	14.5	1.2×10^{-7}
T ₁ SW	25	13.5	15.5	4.5×10^{-6}
	75	11.5	14.5	1.6×10^{-6}

<圖表 1-4> Result of Permeability

Sample No T₂.

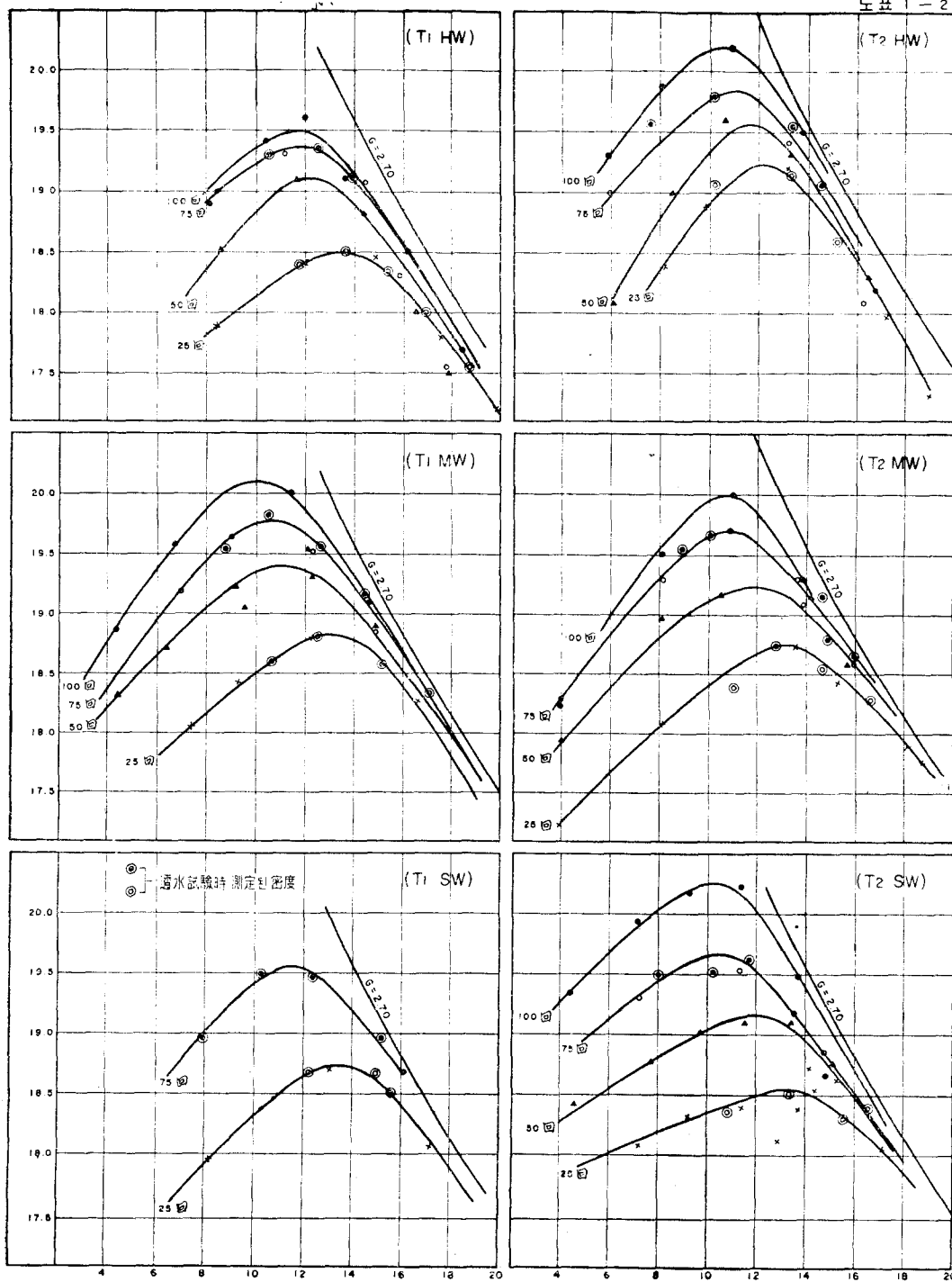
Sample No	No of Compact	O.M.C	Moisture Content at min Permea	Coeff of Permeability
T ₂ HW	25	12.0	16.0	4.1×10^{-8}
	75	10.8	13.0	1.4×10^{-8}
T ₂ MW	25	13.0	16.7	1.3×10^{-7}
	75	11.0	15.0	5.2×10^{-8}
T ₂ SW	25	13.0	15.7	1.8×10^{-5}
	75	10.5	11.8	4.0×10^{-5}

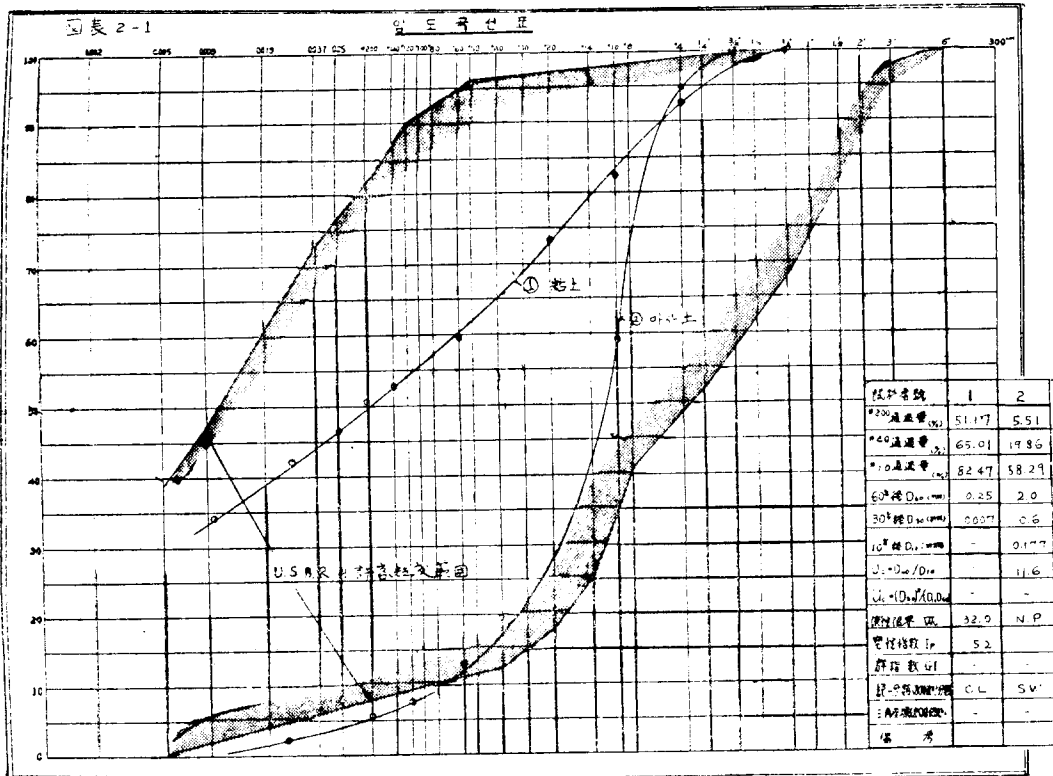
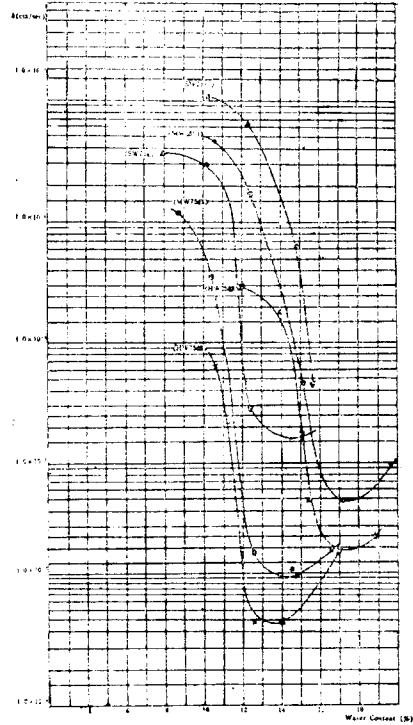
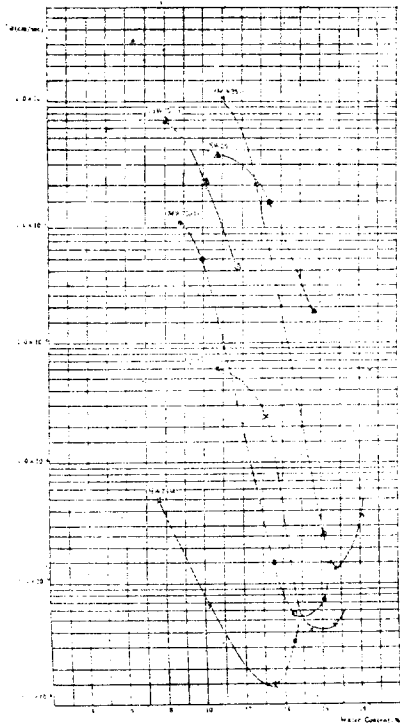
2-2 混合材料로서의 使用可能性에 關한 試驗

實驗에 使用된 材料는 圖表 2-1과 같이 다사토로單獨의으로 使用不可能한 slightly weathered(SW)한 材料로 #200체 通過量이 5.5%, #10체 通過量이 58%, 有效徑이 0.177mm., 均等係數가 11.3, 液性 및 塑性이

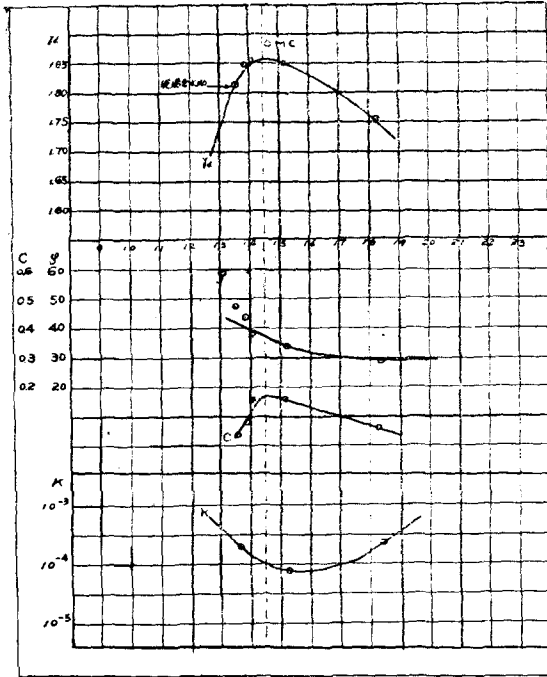
N.P인 S.W에 粘土材料로서는 #200체 通過量이 51.17%, 液性限界가 32% 인 C.L.(統一分類法에 依한 分類記號인)를 混合하여 其比率이 各各 S.W;C.L가 100:0, 70:30, 50:50, 30:70, 0:100일 때의 標準다짐試驗과

図五 1-2

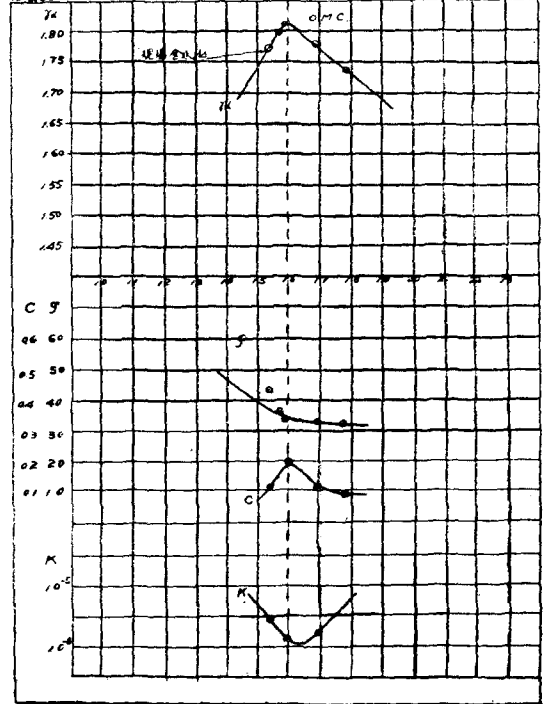




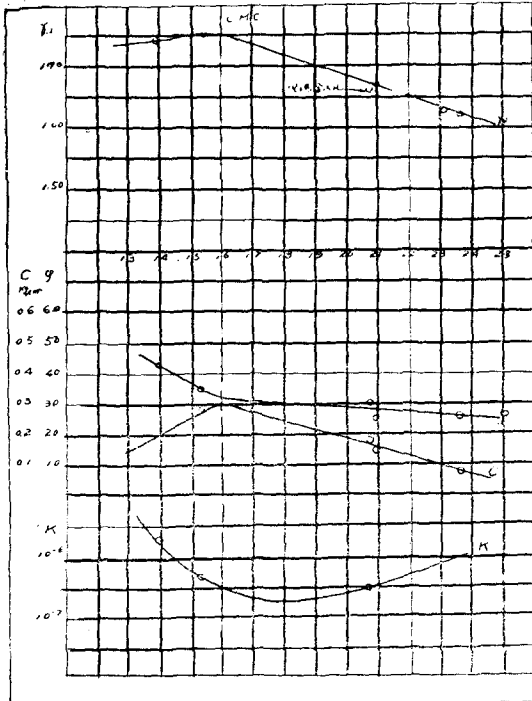
다짐 層斷 透水的 關係表 粒径 100 μ 以上 0.3



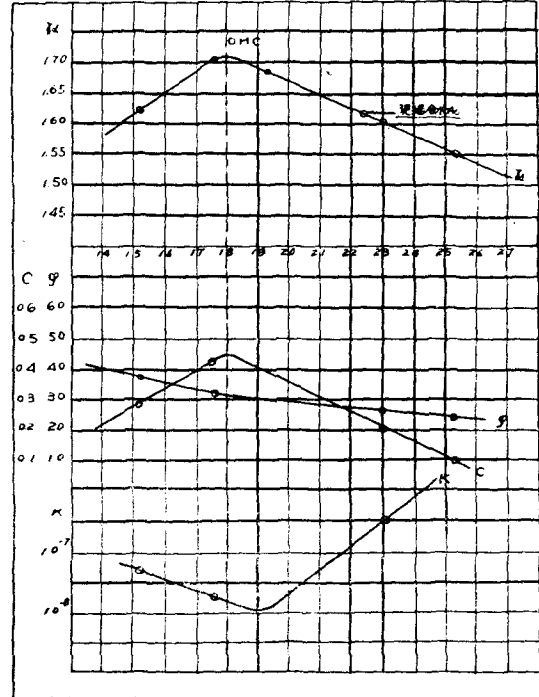
다짐 層斷 透水的 關係表 粒径 20 μ 以上 30%

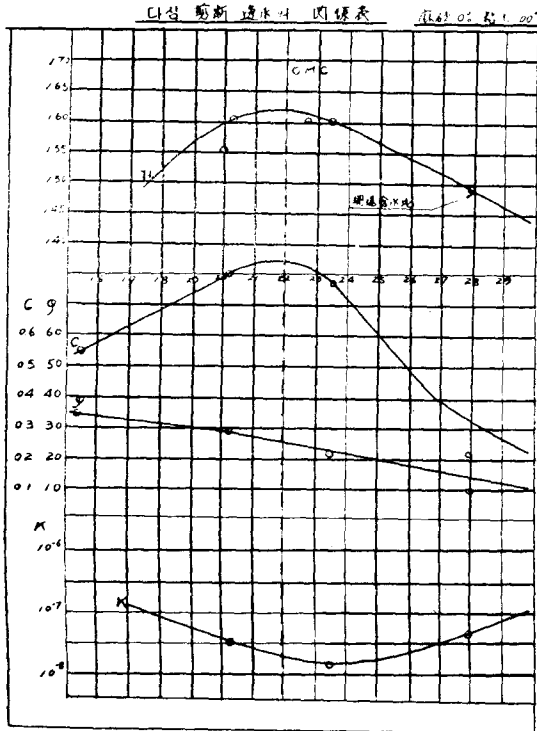


다짐 層斷 透水的 關係表 粒径 50 μ 以上 1.5%



다짐 層斷 透水的 關係表 粒径 20 μ 以上 70%





直接剪斷에 의하여 ϕ, C 를求하고 同一試料에 對하여 變水位 透水試驗을 實施하여 透水係數 k 를 測定하였다.

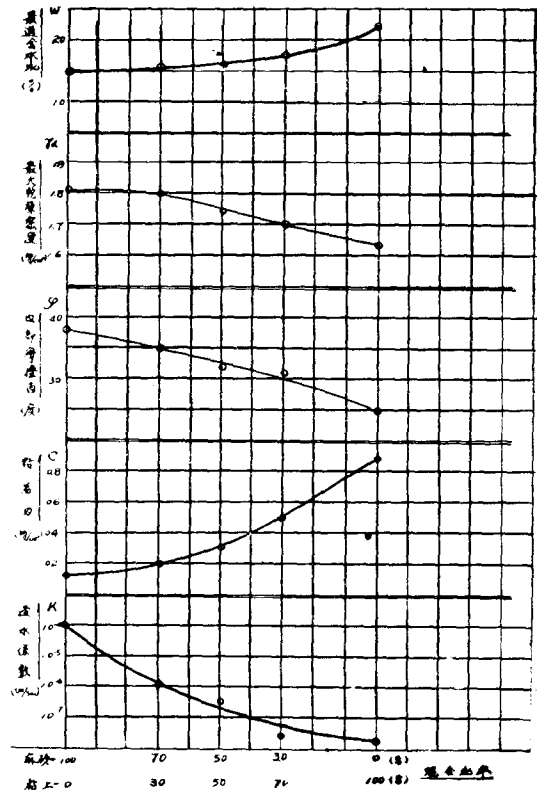
本試驗의 結果는 圖表 2-3부터 2-7까지의 間이며 이 試驗結果 混合比率別로 整理하면 圖表 2-2와 같다.

3. 考 察

다사土를 Fill type Dam의 遮水壁材料로 使用하였을 때 가장 큰 問題가 되는 것은 透水性이나 別添 圖表 1~3을 檢討하여 보면 T_1 에 있어서 H.W는 標準다짐으로 含水比가 O.M.C+2% 일때 透水性係數가 5×10^{-7} cm/sec 以下로서 適格이며 M.W는 標準다짐時는 5.5×10^{-6} cm/sec로 좀 不足한 感覺이 있으나 標準다짐보다 3倍의 Energy를 加하여 다졌을 때는 1.2×10^{-7} cm/sec가 됨으로 遮水壁材料로 使用하여도 無難한 것으로 判斷된다.

그러나 S.W는 標準다짐과 標準다짐의 3倍의 Energy를 加하였을 때의 透水性係數에 큰 差異가 없으며 共히 最少透水性係數가 $1.6 \times 10^{-6} \sim 4.5 \times 10^{-6}$ 程度로 若干의 問題點이 있음을 暗示하여 준다.

總 說 明
다짐 剪斷 透水의 關係表



이는 다사土를 實際盛土에 利用하는 경우 室內試驗時와 같은 密度와 다짐의 均質性만 充足시킬 수 있고 透水性도 室內에서 拘束된 容器內에 다진 材料에서 얻은 數值를 半無限體의 地盤에서 다진 것과 같은 結果를 期待하는 경우 어느 程度 差異가 生길 것이므로 S.W의 使用은 不適當하다고 生覺된다.

그러나 S.W도 混合材料로서 使用하였을 때에는 粘土의 混合比率이 增加됨에 따라 最適含水比 W_{opt} 및 粘着力 C 가 增加되고 最大乾燥密度 rd_{max} , 內部摩擦角 ζ , 및 透水性係數 k 는 減少되며 特別 問題가 되는 透水性係數 k 의 값이 1×10^{-6} cm/sec가 되기 위한 材料의 混合比率은 다사 70%에 粘土 30%(重量比)일때이며 이때 混合材料의 #200체 通過量은 19%程度가 된다.

만일 透水性係數의 Higher limit를 1×10^{-8} cm/sec로 定한다고 하면 다사對粘土의 混合比率은 85:15로 하면 되고 이때 #200체 通過量은 12.3%가 된다.

그러나 이 結果는 어디까지나 室內試驗을 通하여 얻은 結論이며 實際現場에서 다사土로 遮水壁體를 施工하는 경우에 어느 程度의 差異가 날 것이므로 어떤 方法으로 施工할 것이며 實際施工段階에서 다사土의 粒度變化가 今後의 問題點으로 남아 있다.

4. 結 論

가) Decomposed Granite(D.G)는 風化度에 따라 密度가 減少되고 細粒化되어 自然含水比(Wn)도 增加되나 土粒子의 比重에는 큰 變化가 없다. 따라서 風化度의 判定基準은 密度測定으로 이루어져야 한다.

나) 密度와 粒度分布, 粒度分布와 透水係數間에는 密接한 關係가 있으며 #200체 (74 μ) 通過量은 透水係數 k에 反比例한다. 即 #200체 通過量이 增加됨에 따라 透水係數 k는 적어지며 最少의 透水係數를 나타내는 含水比는 最適含水比보다 若干 높아지는 傾向이 있음을 알 수 있다.

다) 회색의 風化도가 낮은 D.G는 自然含水比가 10% 以內이고 #200체 通過量이 7% 未滿이며 Compaction Energy를 標準다짐보다 3 배로 增加시켜 精度를 變化시켜도 透水係數 $k=1 \times 10^{-5}$ cm/sec를 期待하기는 困難하다는 것이 確認되었으며 風化도가 中程度인 黃褐色 D.G는 自然含水比가 12% 以內이고 #200체 通過量이 10% 以內이며 Core材料로서 透水係數 $k=1 \times 10^{-5}$ cm/sec의 限界線에 到達될 수 있음을 알 수 있다.

또한 風化도가 큰 赤褐色 D.G는 自然含水比가 15% 以內이고 #200체 通過量이 11% 以上으로 透水係數 $k=1 \times 10^{-6}$ cm/sec를 얻기가 無難하다는 結論을 얻었다.

라) Compaction Energy와 透水係數 k의 關係는 一般粘土(#200체 通過量이 40% 程度)에서는 Over Compaction에 依하여 剪斷破壞를 이트키는 例가 많으나 D.G에서는 Standard Compaction Energy의 3 倍程度의 Energy를 加하여도 全히 剪斷破壞의 흔적을 찾

아볼 수 없었으며 滿足할만한 結果가 얻어짐을 알 수 있다.

마) 本結論은 室內試驗만에 依하여 얻어진 結果이며 實際施工時에 使用되는 Compaction Machine으로 加해지는 Energy 및 이에 따라 變化되는 粒度의 變化狀態를 充分히 檢討하여 本試驗의 結論에 補充코자 하는 바이다.

參 考 文 獻

1. 松尾新一郎, 西田一彦, 山下親平; 片上土의 工學的 特性에 關하여 흙과 基礎 Vol 15, N.;3, 1967.3.
2. 松尾新一郎, 木暮敬二; 흙의 透水性에 關한 考察 흙의 基礎 Vol 17, N.;5, 1969.5.
3. Lambe T.W.; The permeability of Compaction fine-grained soils, Special Tech. Publ. N.; 163, ASTM 1954.
4. 日本土質工學會 片上土研究委員會; 片上土의 工學的 性質과 其取扱指針 昭和 45年 1月
5. 山下親平, 西田一彦, 松本三郎; 黑色片上土의 粘土 組成과 粘着性에 關하여 日本土木學會 第22回年次學術講演會集 3部 昭和 42年 5月
6. 日本土木學會; 土木工學 Hand Book 下卷 技報堂
7. 齊藤 實; 花崗岩의 片上狀風化, 흙과 基礎, Vol 4 N.;3 (1956)
8. Goldich, S.S.; A study in Rock Weathering Jour. Geol. Vol 46 (1938)
9. Griggs D. F.; The Factor of Fatigue in Rock Exfoliation Jour. Geol. Vol 44 (1936)



新 興 建 設 產 業 株 式 會 社

代表理事 崔 賢 植

住所 서울特別市 中區 小公洞 50의11

電話 (23) 8 2 3 5~9