

粗粒材가 흙의 力學的 性質에 미치는 影響

Effect of Coarse material on the mechanical properties of soil

尹 忠 燮* · 金 浩 一**
Yoon, Choong Sup · Kim, Ho Il

Summary

The study was carried out for the strength parameter of coarse grained soil and slope stability analysis of earth dam. The test samples were taken fifteen kinds of soil from cohesive soil to coarse gravel.

The degree of compaction of test samples for shear test and permeability test was chosen 95 percentage of maximum dry density.

The results of this study are as follows ;

1. The maximum dry density(γ_d) of coarse grained soil increase in proportion to coarse particles(P) with the relation of $\gamma_d = 1.609 + 0.0043P$.

2. The coefficients of permeability(k) decrease by the increase of fine particles(n) with the relation of $k = 0.0426e^{-0.185n}$.

3. The cohesions of soil decrease by the increase of coarse particles, but internal friction angles are more increased in same condition.

4. The internal friction angles(ϕ) decrease in inverse proportion to void ratio(e) with the relation of $\phi = 73.068 - 69.268e$.

5. The strength parameters(C_t, ϕ_t) by triaxial compression test are clearly smaller than that (C_d, ϕ_d) by direct shear test in fine grained soil, but the differences between both parameters are a little in coarse grained soil.

The relations of both parameters are as follows ;

$$C_t = 0.544C_d + 0.044$$

$$\phi_t = 1.282\phi_d - 23.06$$

6. In cohesive soil, the strength parameters(C_ℓ, ϕ_ℓ) by large size shear test apparatus are similar to the strength parameters(C_s, ϕ_s) by small size shear test apparatus, but C_s and ϕ_s values are larger than C_ℓ and ϕ_ℓ values from 10 percentage to 20 percentage in coarse grained soil.

7. The fine grained soil is inappropriate to high dam more than 20 meters and it must be taken coarse grained soil with high internal friction angle for high dam.

* 慶尚大學校 農科大學

** 農業振興公社 農業土木試驗研究所

I. 緒 論

貯水池, 防潮堤, 河川堤防 등과 같은 構造物은 大部分 土工構造物로서 이들 構造物을 設計할 때에는 力學的으로 安定性이 크고 經濟的인 構造物이 되도록 技術的으로 檢討하지 않으면 안된다.

흙댐과 같은 構造物의 安定性檢討는 基礎地盤과 댐體를 一體로 하여 檢討해야 하지만 대부분의 댐은 良好한 地盤(岩盤)위에 築造되므로 댐體의 安定度가 제일 重要하며 댐體의 크기와 形態는 흙의 種類와 다짐의 狀態에 따라서 定해야 한다.

흙댐 築造時 止水를 目的으로 하는 코어部位에는 細粒의 粘質土가 有利하나 코어 兩側의 一般盛土(抱土)部位에는 모래와 자갈이 많이 섞인 粗粒土가 安定性으로나 經濟的으로나 有利하다. 그러므로 現在 施工되고 있는 大部分의 흙댐의 一般盛土材料는 粗粒土를 擇하고 있으며 河川堤防도 大部分 河川의 粗粒土로 築造되고 있다.

土工構造物의 斷面은 主로 構造物의 높이와 흙의 強度定數에 의하여 決定되며 특히 흙의 粘着力과 内部摩擦角과 같은 強度定數는 흙의 粒度和 다짐의 狀態에 따라서 달라진다.

흙댐의 다짐의 程度(다짐率)는 細粒土의 경우 댐높이가 15m 以上에서는 98% 以上, 그리고 15m 以下에서는 95% 以上 다지도록 規定하고 있으며 粗粒土의 다짐率은 자갈의 含有量에 따라서 細粒土보다 다소 작게 取하고 있다.^{25), 27)}

댐斷面에 대한 安定度檢討는 대단히 복잡하며 1948년에 Taylor가 圓弧法으로 分析한 以後 Janbu, Spencer, Carter 등의 方法이 提案되었고, 1969년에 Prakash와 Whitman 이 컴퓨터를 利用한 뒤로 그 分析方法이 많이 간편해졌다.^{3), 27)}

1978년에 長谷⁵⁾은 有限要素法으로 安定度를 檢討하였으며 Hunt⁶⁾는 地震係數까지 포함시켜 여러가지 安定度分析方法의 適用性을 比較檢討하여 正確한 安定度分析을 하고져 努力

하였다.

이와같이 컴퓨터의 發達로 복잡한 安定度分析問題가 쉽게 解結될수 있으나 安定度分析에서 가장 重要한 것은 正確한 土質定數를 入力시키는 것이며 이를 위해서는 土質條件에 맞는 試驗을 實施하여 正確한 強度定數를 求하지 않으면 안된다.

흙의 強度定數는 댐 築造用 盛土를 規定된 다짐율로 다진다음 三軸壓縮試驗이나 直接剪斷試驗으로 求하며 試料의 種類에 따라서 試驗方法이 다소 달라지기도 한다. 一般的으로 細粒土에는 三軸壓縮試驗을, 그리고 粗粒土에는 直接剪斷試驗을 많이 하고 있으나, 三軸壓縮試驗으로 強度定數를 求하는 것이 바람직하다.

그러나 三軸壓縮試驗機가 高價이고 試驗이 어렵기 때문에 試驗이 間便한 直接剪斷試驗方法이 많이 採擇된다.

一般的으로 直接剪斷試驗結果가 三軸壓縮試驗結果보다 커서 直接剪斷試驗值의 65~80%를 設計值로 적용하는 경우가 있으나, 剪斷試驗結果 細粒土에서는 直接剪斷試驗值가 三軸壓縮試驗值보다 훨씬 크고 粗粒土에서는 試驗值의 差가 크지 않으므로^{21), 27)} 直接剪斷試驗值의 어느 程度를 採擇할 것인가는 흙의 種類에 따라서 規定해야 할 것이다.

그리고 자갈이 많이 섞인 粗粒土는 大形剪斷試驗機를 使用하여 強度定數를 求하는 것이 더욱 合理的이나 이를 위해서는 高價의 大形試驗裝備가 있어야 하고 多量의 試料가 必要하며 많은 時間과 努力이 所要된다.

그러므로 本 研究에서는 여러가지 種類의 粗粒土에 대하여 諸般 土質試驗을 實施해서 直接剪斷試驗과 三軸壓縮試驗結果의 關係, 大形剪斷試驗과 小形剪斷試驗結果의 關係 그리고 各種土質定數間의 相關性을 究明함으로서 試驗의 便宜를 圖謀하고 安定性이 크고 經濟的인 土工構造物을 設計하는데 必要한 資料를 求하고자 하였다.

II. 材料 및 方法

1. 實驗材料

本 實驗에 使用한 흙 材料로 흙댐이나 堤防 築造에 많이 使用되는 無機質 盛土材의 粘質土 (CL; 1번시료), 실트질土(ML; 2번시료), 그리고 砂質土(SM; 3번시료)를 선택한 다음 各 材料에 자갈(4.76mm~50.0mm)을 0%, 20%, 40%, 60%, 80% 씩 混合하여 總 15種類의 試料를

만들었다.

다짐試驗은 K. S. F 2312의 規定에 의하여 자갈이 없는 試料는 A-1 方法으로, 그리고 자갈이 있는 대부분의 시료는 C-1方法으로 하였으며, 19mm 以上の 粗粒材는 19mm체를 통과하고 4.76mm체에 殘有한 材料로 置換하여 다짐 시험을 하였다.

各 試料의 物理的試驗結果와 다짐試驗結果는 Table-1과 같으며 代表的인 粒度曲線은 Fig. 1과 같다.

Table-1. Physical properties of soil.

Soil	Gradation (%)						Consistency(%)			Gs	U.S.C	Compaction		
	C	M	S	G	C+M	S+G	LL	PL	PI			γ_d , g./cm ³	ω %	γ_t , g./cm ³
1-a	32.0	47.2	20.8	0	79.2	20.8	40.2	20.9	19.3	2.667	CL	1.693	19.2	2.018
1-b	25.6	37.8	16.6	20.0	63.4	36.6	-	-	-	2.650	CL	1.790	15.8	2.037
1-c	19.2	28.3	12.5	40.0	47.5	52.5	-	-	-	2.632	GC	1.855	14.2	2.118
1-d	12.8	18.9	8.3	60.0	31.7	68.3	-	-	-	2.615	GC	1.925	12.5	2.166
1-e	6.4	9.5	4.1	80.0	15.9	84.1	-	-	-	2.597	GC	1.992	10.7	2.205
2-a	24.0	30.7	45.3	0	54.7	45.3	35.3	24.8	10.5	2.655	ML	1.781	16.1	2.068
2-b	19.2	24.5	36.3	20.0	43.7	56.3	-	-	-	2.640	SM	1.830	15.0	2.104
2-c	14.4	18.4	27.2	40.0	32.8	67.2	-	-	-	2.625	GM	1.874	13.4	2.125
2-d	9.6	12.3	18.1	60.0	21.9	78.1	-	-	-	2.610	GM	1.926	12.1	2.159
2-e	4.8	6.1	9.1	80.0	10.9	89.1	-	-	-	2.595	GP-GM	1.980	11.2	2.202
3-a	6.0	8.7	85.3	0	14.7	85.3		NP		2.648	SM	1.960	11.5	2.185
3-b	4.8	6.9	68.3	20.0	11.7	88.3	-	-	-	2.634	SW-SM	1.985	10.9	2.201
3-c	8.8	5.2	51.2	40.0	8.8	91.2	-	-	-	2.621	SP-SM	2.011	10.3	2.218
3-d	2.4	3.5	34.1	60.0	5.9	94.1	-	-	-	2.607	GP-GM	2.020	9.7	2.216
3-e	1.2	1.7	17.5	80.0	2.9	97.1	-	-	-	2.594	GP	2.040	9.3	2.230

2. 試驗密度

盛土材料의 力學試驗을 위한 供試體의 密度는 規定된 다짐密度와 같게 해야 하며 굵은 粒子가 많은 경우에는 細粒土의 다짐密度를 求한 다음 粗粒子의 量에 따라서 式(1)과 같이 調整하여야 한다.

$$r_{dt} = \frac{1}{\frac{P_f}{r_{fmax}} + \frac{P_c}{G_b}} \dots\dots\dots(1)$$

- 여기서 r_{dt} : 總試料의 乾燥密度(gf/cm³)
- r_{fmax} : 細粒土의 最大乾燥密度(gf/cm³)
- P_f : 細粒材의 含有率(%)
- P_c : 粗粒材의 含有率(%)
- G_b : 粗粒材의 比重

또는 어느 規格以上の 굵은 材料는 그 量만큼 多少細粒의 材料로 置換한 混合土로 다짐 試驗을 해서 最大乾燥密度를 求하고 이에 대한 規定된 다짐率로 試驗密度를 決定한다.

흙댐을 築造할 時에는 一般盛土部位의 最小

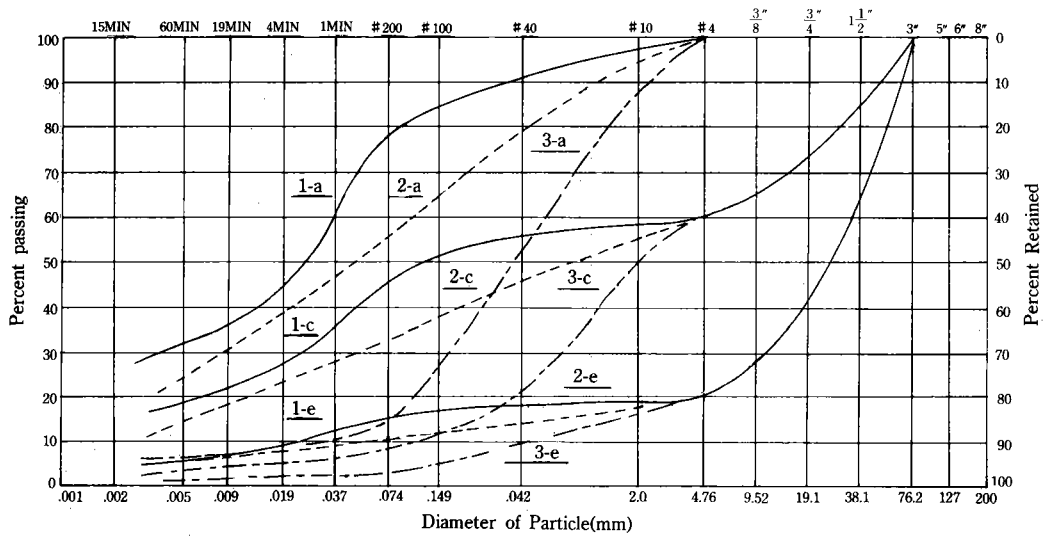


Fig. 1. Gradation Curve.

의 다짐율을 95%로 하는 경우가 大部分임으로
本 研究에서는 剪斷試驗이나 透水試驗用 盛土
의 密度는 95%의 다짐률로 定하였다.

力學試驗用試料는 다짐曲線에서 다짐率 95
%때 濕潤側의 含水比로 다짐함수비를 調節한

다음 다짐率 95%의 密度로 다져서 試驗用 供
試體를 만들었다.

이때(D=95%) 各 試料의 乾燥密度, 다짐含
水比, 濕潤密度, 空隙比는 Table-2와 같다.

Table-2. Mechanical properties of soil.

Soil	Test Condition (D=95%)				Direct Shear				Triax. Comp.				Permeability k (cm/sec)
	γ_d g./cm ³	ω %	γ_t g./cm ³	e	S. Type		L. Type		S. Type		L. Type		
					C_{ds} kg./cm ²	ϕ_{ds} °	C_{dl} kg./cm ²	ϕ_{dl} °	C_{ts} kg./cm ²	ϕ_{ts} °	C_{tl} kg./cm ²	ϕ_{tl} °	
1-a	1.608	23.2	1.981	0.659	0.39	28	0.40	29	0.28	13	0.24	12	3.63×10^{-7}
1-b	1.700	20.0	2.040	0.559	0.38	36	0.39	38	0.27	25	0.23	23	8.98×10^{-7}
1-c	1.762	17.6	2.072	0.494	0.36	42	0.35	40	0.25	31	0.22	29	4.88×10^{-6}
1-d	1.829	15.4	2.111	0.430	0.28	45	0.26	48	0.23	33	0.21	35	3.96×10^{-4}
1-e	1.892	14.4	2.164	0.373	0.19	50	0.23	51	0.21	36	0.20	38	1.90×10^{-3}
2-a	1.692	19.2	2.017	0.569	0.26	33	0.22	26	0.18	17	0.15	15	1.20×10^{-6}
2-b	1.739	17.9	2.050	0.518	0.24	39	0.20	32	0.16	23	0.14	20	6.67×10^{-6}
2-c	1.780	16.9	2.081	0.475	0.20	43	0.16	39	0.15	32	0.13	29	3.36×10^{-5}
2-d	1.830	14.8	2.101	0.426	0.18	46	0.15	45	0.14	40	0.12	38	1.78×10^{-3}
2-e	1.881	14.2	2.148	0.380	0.16	51	0.15	50	0.13	49	0.11	48	7.70×10^{-3}
3-a	1.862	12.9	2.102	0.422	0.21	37	0.14	36	-	-	-	-	7.53×10^{-4}
3-b	1.886	12.6	2.124	0.397	0.14	42	0.08	41	-	-	-	-	3.59×10^{-3}
3-c	1.910	12.3	2.145	0.372	0.09	46	0.06	43	-	-	-	-	7.69×10^{-3}
3-d	1.919	11.7	2.144	0.359	0.07	49	0.05	48	-	-	-	-	2.55×10^{-2}
3-e	1.938	11.3	2.157	0.338	0.06	50	0.04	51	-	-	-	-	3.71×10^{-2}

3. 透水試驗

透水試驗은 變水位方法으로 하였으며 透水試驗 容器는 지름 10cm, 높이 15cm의 大型 mold를 使用하였다.

試料中 19.1mm以上の 굵은 돌은 그 量만큼 19.1mm체를 통과하고 4.76mm체에 남는 자갈로 置換하여 全體試料와 混合한後 使用하였으며, 透水試驗結果는 Table-2와 같다.

4. 剪斷試驗

剪斷試驗은 直接剪斷試驗과 三軸壓縮試驗을 하고 이들 剪斷試驗은 大形과 小形の 두 種類로 하였으며, 이들 4種類의 試驗結果는 Table-2와 같다.

가. 大形直接剪斷試驗

剪斷箱子는 30×30×14cm의 正四角形의 것을 使用하였다.

試料의 最大粒徑은 50mm로 하고 粗度分布를 고르게 하기 위하여 4.76, 9.52, 19.1, 38.1mm체의 殘有量을 各各 計量하여 混合한後 供試體를 만들었다.

試驗을 할 때 垂直應力은 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 kg/cm²로 하고 剪斷變形과 剪斷應力을 測定하였다.

나. 小形直接剪斷試驗

剪斷箱子는 지름 6cm, 높이 2cm인 標準形을 使用하였다.

자갈의 含有量은 4번체(4.76m)를 통과하고 10번체(2.0mm)의 殘有量으로 置換하여 小形剪斷試驗을 하고 이를 자갈쉬인 盛土에 대한 大形剪斷試驗結果와 比較코져 하였다.

小形試驗의 垂直應力은 大形剪斷試驗과 同一하게 取하였다.

다. 三軸壓縮試驗

三軸壓縮試驗은 지름이 5cm이고 높이가 12.5cm인 大形供試體와 지름이 3.5cm이고 높이가 7.0cm인 小形供試體를 使用하였다.

자갈의 含有量은 9.52mm체를 통과하고 4번체에 남는 粗粒材로 置換하여 使用하였으며, 拘束壓力(σ₃)은 直接剪斷試驗과 同一하게 0.5,

1.0, 2.0, 3.0 kg/cm²으로 하여 變形率을 測定하면서 軸荷重을 測定하였다.

5. 흙댐의 斜面安定度分析

댐 斜面의 安定度分析은 試料 CL(1-a), ML(2-a), SM(2-b), SP-SM(3-c), GC(1-c), GM(2-d) GP(3-e)의 7種類를 擇하여 實施하였다.

댐 높이가 20m와 30m일때 필터가 있는 코어型과 均一型댐의 內堤側 斜面傾斜는 1:2.0, 1:2.5, 1:3.0으로 하고 外堤의 傾斜는 1:1.5, 1:2.0, 1:2.5로 變化시키면서 滿水時와 水位急降下時에 댐의 最少 安全率을 求하였다. 이때 檢討된 斷面數는 168個(7種×2높이×2形×3傾斜×2內外)나 되었다.

斜面의 安定度分析은 圓弧滑動面으로 假定한 Carter式을 適用하여 컴퓨터로 計算하였다. 이 方法은 計算時間이 짧으면서도 正確하고 복잡한 方法으로 求한 安全率과 거의 一致되므로 컴퓨터 方法으로는 效率的이고 신뢰성이 높다.

$$\sum_{i=1}^n \frac{\Delta Ca' / \cos \alpha + W (\tan \phi'_a - F \tan \alpha)}{F + \tan \alpha \tan \phi'_a} = 0 \dots \dots \dots (2)$$

여기서

ΔCa' ; 有効應力에 대한 土片의 粘着力(t f/m)

W ; 微小土片의 重量(t f/m)

φ'_a ; 有効應力에 대한 內部摩擦角(도)

α ; 滑動面이 水平線과 이루는 角(도)

F ; 安全率(F=1.2 採擇)

Ⅲ. 結果 및 考察

1. 物理的 特性

가. 最適含水比와 乾燥密度

흙의 乾燥密度(γ_d)는 比重(G_s), 含水比(ω) 및 餘和度(S)와 γ_d = $\frac{\gamma_w}{G_s + \omega S}$ 의 關係를 가지

고 있어 比重과 餘和度가 클수록, 그리고 다짐 含水比가 작을수록 약간의 曲線形으로 減少된다. 그러나 다짐試驗에서 比重과 餘和度の 變化는 극히 작으므로 密度는 主로 含水比의 多少에 따라 變化되며 最適含水比의 變化가 적은 경우에는, 乾燥密度는 最適含水比(ω_0)에 反比例해서 $\gamma_d = a - b\omega_0$ 의 關係로 直線的으로 減少된다고 發表한 報告도 있다.^{8), 26)}

本 研究試驗에서 15個 試料에 대한 다짐試驗結果 最適含水比(ω_0)가 많을수록 乾燥密度는 Fig. 2와 같이 曲線形으로 減少됨을 알 수 있으며, 그 關係式은 다음과 같다.

$$\gamma_d = \frac{1}{0.375 + 0.0118\omega_0} \dots\dots\dots (3)$$

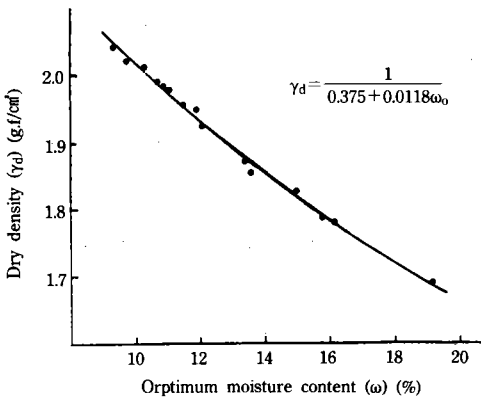


Fig. 2. Relationship between moisture content and dry density.

나. 粗粒材의 含有量과 乾燥密度

흙의 다짐試驗은 主로 4번체 통과시료를 가지고 하는 경우가 많으며 이때에는 흙의 다짐 密度는 細粒材의 含有量(n: 200번체 통과량)이 많을수록 $\gamma_d = a - bn$ 의 關係로 減少된다는 報告가 많다.^{4), 8), 26), 27)}

이러한 現象은 粗粒土의 경우도 비슷하여 粗粒材(P: 200번체 잔유량)가 많을수록 乾燥 密度는 Fig. 3과 같이 直線的으로 增加되었으며 그 關係는 式(4)와 같다.

$$\gamma_d = 1.609 + 0.0043P \dots\dots\dots (4)$$

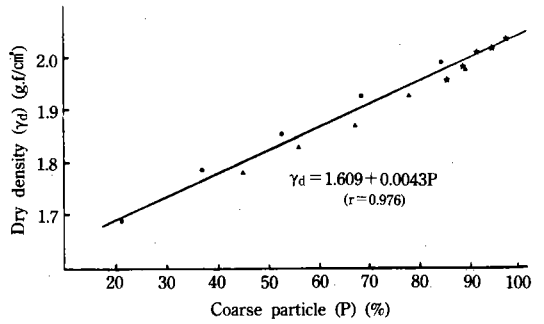


Fig. 3. Relationship between coarse particle and dry density.

여기서 γ_d ; 흙의 最大乾燥密度(g.f/cm³)

P; 粗粒材의 混入量(%)

다. 細粒材의 含有量과 透水係數

흙의 透水係數는 물의 溫度, 土粒子의 形狀과도 관계가 있으나 主로 有效徑과 空隙比의 크기에 차승에 比例하여 增加되므로 細粒材의 含有量과 다짐의 程度(다짐율)가 重要하다^{12), 13)} 그러나 다짐율이 一定한 盛土에서는 粒度 狀態가 가장 重要한 要素가 된다.^{8), 19), 26)}

一般的으로 透水係數(k)는 $\log k = a - bn$ 의 關係로 細粒材(n)가 많을수록 $k = ae^{-bn}$ 의 式으로 表示할수 있다²⁷⁾

이러한 現象은 本 研究試驗에서도 같은 結果로서 (5)式과 같이 細粒材의 量이 적을수록 透水係數는 크게 增加됨을 알 수 있다.

$$k = 0.0426e^{-0.185n} \dots\dots\dots (5)$$

여기서 k; 透水係數 (cm/sec)

n; 200번체 통과량 (%)

2. 剪斷特性

가. 粗粒材의 含有量과 强度定數

直接剪斷試驗과 三軸壓縮試驗으로부터 求한 粘着力(小形과 大形試驗結果의 平均值)과 粗粒材의 含有量과의 關係를 나타내면 Fig. 5와 같다.

Fig. 5에서 보면 粗粒材가 많을수록 粘着力은 조금씩 작아지며 粗粒土가 90%以上에서는 大端히 작다. 試驗結果에서 細粒材가 극히 적

은 粗粒土(特히 3번시료)도 粘着力이 있는 것은 含水比가 많은 (95%의 濕潤側) 試料을 95%의 다짐으로 다졌기 때문에 겉보기 粘着力이 나타난 것으로 생각된다.

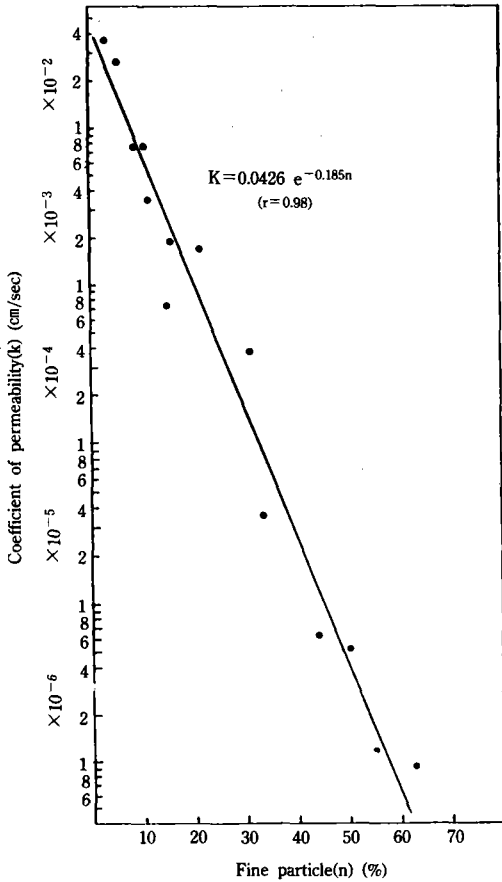


Fig. 4. Relationship between fine particle and permeability.

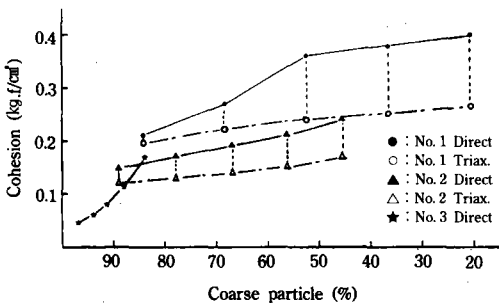


Fig. 5. Coarse prarticle content and cohesion.

따라서 試料가 乾燥時에는 粘着力은 더욱 작아질것임으로 댐 設計時에는 粗粒土의 작은 粘着力은 無視하는 것이 安全上 有利하다.

그리고 直接剪斷試驗으로 求한 粘着力이 三軸壓縮試驗結果보다 크며 그 差는 粗粒材가 적을수록 뚜렷하다. 이러한 現象은 島山²³⁾과 尹²⁷⁾의 研究結果와 同一한 現象으로서 粗粒材가 적은 細粒土는 三軸壓縮試驗으로 粘着力을 구하는 것이 安全上 有利함을 의미한다.

Fig. 6은 粗粒材 含有量과 内部摩擦角의 關係를 나타낸 것으로 조립체가 적을수록 내부 마찰각도 현저하게 작아짐을 알 수 있다.^{2), 7), 14), 15)}

그리고 直接剪斷試驗으로 求한 内部摩擦角이 三軸試驗結果보다 크나 실트질의 흙(2번시료)은 조립체가 많으면 두 값의 차이가 거의 없고 粘質土(1번시료)는 粗粒材(200번체 잔량)가 많아도 두 값의 차이가 비슷하다.

또 粗粒材가 80%以上에서는 内部摩擦角은 40~50°의 範圍로서 Koerner와 林의 試驗結果와 거의 同一하다.^{1), 9), 14)}

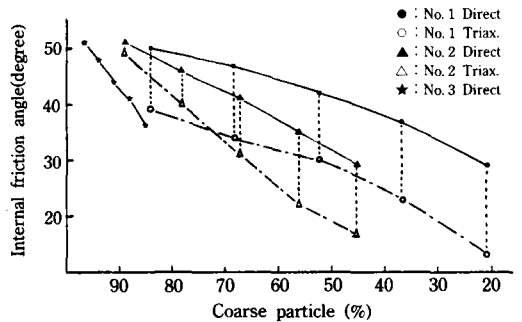


Fig. 6. Coarse prarticle content and internal friction angle.

나. 空隙比와 内部摩擦角

粗粒土의 強度는 粘着力보다 主로 内部摩擦力에 의해서 나타나므로 内部摩擦角이 重要하며 이값은 다짐의 程度와 관계되는 空隙比와 깊은 關係가 있어 空隙比가 커질수록 内部摩擦角은 반대로 작아진다.^{2), 14), 20)}

Fig. 7은 空隙比와 内部摩擦角과의 關係를 나타낸 것이며 (6)式을 利用하여 다져진 粗粒

土의 空隙比를 알면 内部摩擦角을 推定할 수 있다.

$$\phi = 73.066 - 69.268e \dots \dots \dots (6)$$

이러한 관계식은 Okochi 등²⁶⁾이 求한 식 $\phi = 72.85 - 43.5e$ 와 유사함을 알 수 있으며 Okochi는 순수한 모래에 대하여 시험한 것임으로 (6)식과는 다소의 차이가 있다고 생각된다.

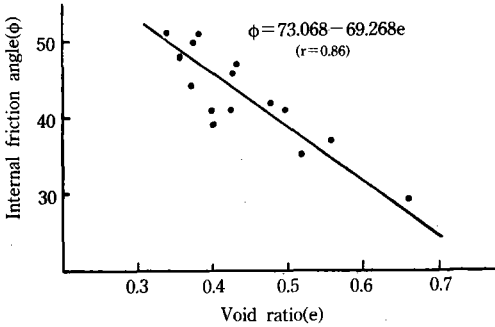


Fig. 7. Relationship between void ratio and internal friction angle.

다. 直接剪斷試驗과 三軸壓縮試驗

Bishop의 研究에서 密度가 큰 粗密한 모래에서는 直接剪斷試驗으로 구한 内部摩擦角이 三軸壓縮試驗結果보다 4°가 컸으며 느슨한 모래에서는 약간 크게 나타났다.²⁾ 그리고 Rowe²¹⁾는 포화된 모래의 내부마찰각은 두 종류의 시험결과가 비슷하다고 하여 밀도가 작은 조립토에서는 두가지 시험에 의한 내부마찰각에 큰 차이가 없다고 하였다.

그리고尹²⁷⁾의 實驗에서는 三軸壓縮試驗의 内部摩擦角이 直接剪斷試驗值의 80~90%로서 Bishop의 결과와 비슷하였다.

Table-3은 直接剪斷試驗과 三軸壓縮試驗으로 求한 强度定數(大, 小 試驗結果의 平均値)를 比較한 것이다.

Table-3에서 보면 三軸壓縮試驗에 의한 粘着力이 直接剪斷試驗에 의한 粘着力의 전체 평균으로 약 75%정도이고 内部摩擦角은 약 70% 정도이다.

그리고 자갈이 많이 섞인 시료(c, d, e)의 평

Table-3. Comparison of direct shear test and triaxial comp. test.

Soil	Gravel %	Direct Shear(a)		Triax. Comp.(b)		(b)/(a)	
		C kg.f/cm ²	φ °	C kg.f/cm ²	φ °	C kg.f/cm ²	φ %
1-a	0	0.40	29	0.26	13	65	45
1-b	20	0.38	37	0.25	23	66	62
1-c	40	0.36	41	0.24	30	68	71
1-d	60	0.27	47	0.22	34	74	72
1-e	80	0.21	50	0.20	37	95	74
mean						75 (79)	65 (72)
2-a	0	0.24	29	0.17	17	70	59
2-b	20	0.21	35	0.15	22	71	63
2-c	40	0.19	42	0.14	31	74	74
2-d	60	0.17	46	0.13	40	76	87
2-e	80	0.15	51	0.12	49	80	96
mean						74 (77)	76 (86)

균 비율은 점착력은 약 78%, 내부 마찰각은 약 80가 됨을 알 수 있다.

그러나 이러한 두 試驗方法에 의한 强度定數의 比率는 Table-3에서와 같이 細粒材가 많을수록 차이가 많으므로 입도상태에 따라서 두 시험의 강도정수를 調整하는 것이 바람직하다.

Fig. 8은 직접전단시험에 의한 强度定數(C_d, φ_d)와 三軸壓縮試驗에 의한 强度定數(C_t, φ_t)를 나타낸 것이며, 이들의 관계식은 다음과 같다.

$$C_t = 0.544C_d + 0.044 \dots \dots \dots (7)$$

$$\phi_t = 1.282\phi_d - 23.06 \dots \dots \dots (8)$$

여기서 C_t; 三軸壓縮試驗의 粘着力(kgf/cm²)

C_d; 直接剪斷試驗의 粘着力(kgf/cm²)

φ_t; 三軸壓縮試驗의 内部摩擦角(°)

φ_d; 直接剪斷試驗의 内部摩擦角(°)

라. 大形剪斷試驗과 小形剪斷試驗

Table-4는 大形剪斷試驗으로 求한 强度定數

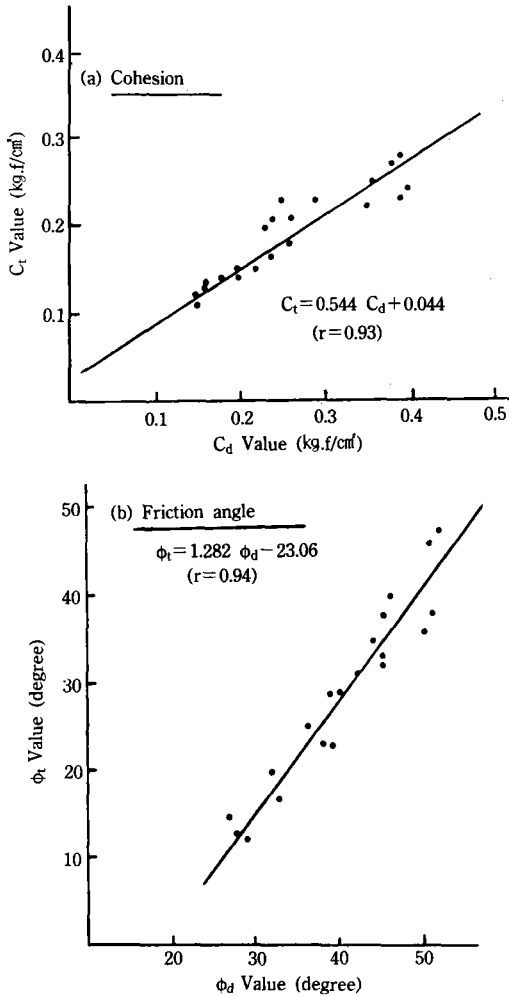


Fig. 8. Relationship between direct shear test and triaxial test.

에 대하여 小形剪斷試驗으로 구한 強度定數의 比率을 나타낸 것이다.

Table-4에서 보면 粘質細粒材가 많은 1번 시료는 大形剪斷試驗과 小形剪斷試驗結果가 거의 비슷하나(三軸壓縮試驗의 粘着力 除外) 非粘性土인 2번과 3번(Table-2 참조) 시료에서는 小形剪斷試驗의 強度定數가 大形剪斷試驗值보다 平均 10~20% 정도 크다.

이러한 結果는 Lafleur¹⁰⁾의 結果와도 같은 現象으로 이는 供試體內的 空隙比에 關係가 큰 것으로 생각된다. 즉 大形전단시험기를 사용할 때는 供試體 全體의 粒度와 密度가 均一한

Table-4. Ratio of small type test and large type test.

Soil	Direct	Shear	Triax.	Comp
	C	φ	C	φ
1-a	0.98	0.97	1.17	1.08
1-b	0.97	1.05	1.17	1.09
1-c	1.02	1.05	1.14	1.07
1-d	1.07	0.94	1.10	0.94
1-e	0.88	0.98	1.05	0.95
mean	(0.98)	(1.00)	(1.13)	(1.03)
2-a	1.18	1.27	1.20	1.13
2-b	1.20	1.22	1.14	1.15
2-c	1.25	1.15	1.15	1.10
2-d	1.20	1.02	1.17	1.05
2-e	1.07	1.02	1.18	0.98
mean	(1.18)	(1.14)	(1.17)	(1.08)

狀態가 되기 어려우며 따라서 公극도 一定하지가 않아 強度定數가 다소 작게되는 것으로 생각된다. 따라서 댐 設計에서는 大形의 試驗值를 使用하는 것이 施工條件에도 가깝고 또 安定上으로도 有利하다. 그러므로 試驗에 편리한 小形剪斷試驗을 해서 이로부터 大形剪斷試驗의 強度定數를 求하는 것도 必要하다.

Fig. 9와 10은 小形剪斷試驗結果와 大形剪斷試驗結果의 關係를 나타낸 것이며 式(9)~(12)를 利用하여 小形剪斷試驗值로부터 大形剪斷試驗值를 推定할 수도 있으며, 이에 대한 많은 研究가 더욱 必要하다.

$$C_{dl} = 1.121 C_{ds} - 0.043 \dots \dots \dots (9)$$

$$C_{tl} = 0.88 C_{ts} - 0.003 \dots \dots \dots (10)$$

$$\phi_{dl} = 1.134 \phi_{ds} - 7.39 \dots \dots \dots (11)$$

$$\phi_{tl} = 1.108 \phi_{ts} - 3.97 \dots \dots \dots (12)$$

여기서 dl; 大形直接剪斷試驗
 ds; 小形直接剪斷試驗
 tl; 大形三軸壓縮試驗
 ts; 小形三軸壓縮試驗

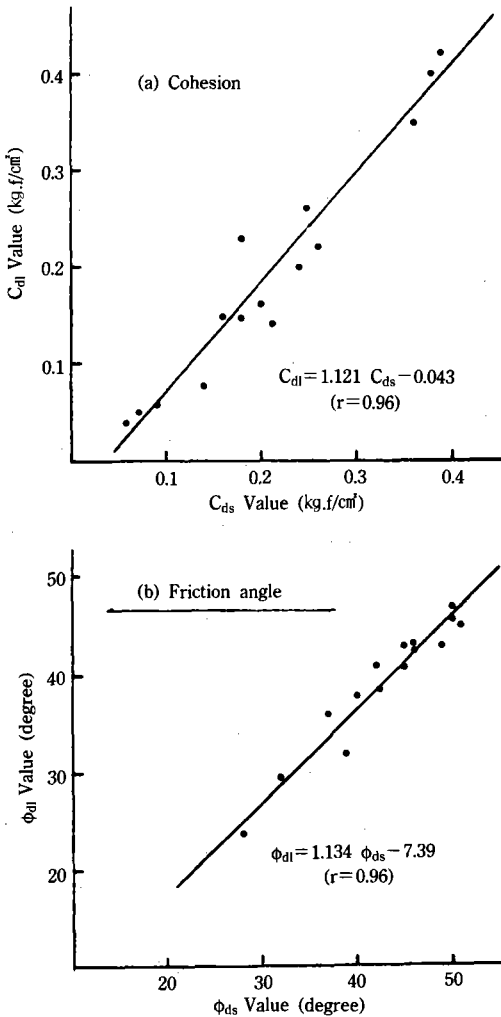


Fig. 9. Comparison of direct shear test results.

3. 댐의 安定度

가. 댐의 斜面傾斜와 安全率

15個 種類의 試料中 7種類의 代表的인 試料에 대하여 댐 높이 20m와 30m때 内外堤 斜面에 대한 安定率을 Carter式으로 求하였다. 内堤側은 水位急降下時에 대하여, 그리고 外堤側은 滿水時에 대하여 安全率을 表示하면 Fig. 11과 같다.

Fig. 11에서 보면 粗粒材인 SP-SM, GM, GC, GP가 細粒材가 많은 CL, ML, SM 재료보다 有利하며 이러한 현상은 필터가 있는 코어形

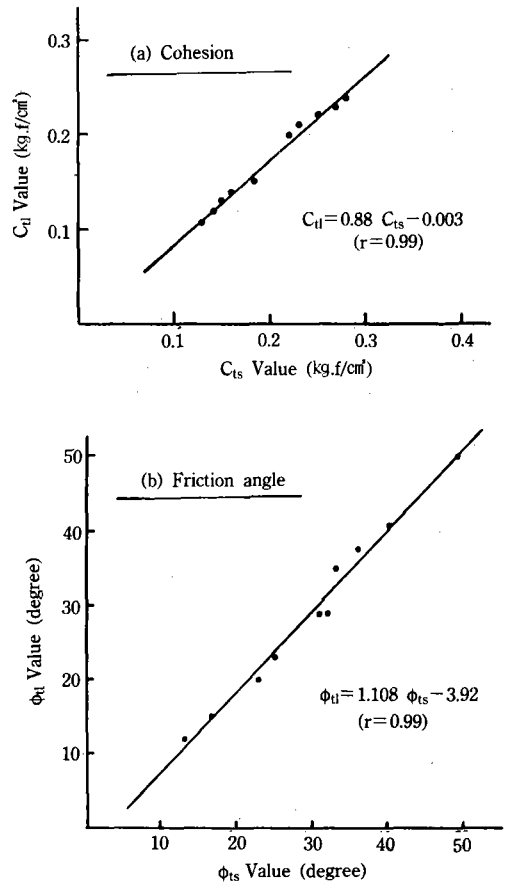


Fig. 10. Comparison of triaxial compression test results.

(b, e)이 均一物(c, f)보다 뚜렷하게 나타났다.

그리고 細粒土인 경우에는 粘質土(CL)가 실트질土(ML)보다 有利하며 砂質土는 SM시료보다 SP-SM시료가, 그리고 礫質土는 GM재료보다 GC, GP재료가 有利하여, 細粒材가 적을수록 그리고 실트質土보다 粘質土가 盛土材料로 더 有利함을 알 수 있다.

나. 댐 높이와 適正斜面傾斜

댐을 設計할 때에는 安定性이 있고 經濟的인 댐 築造를 위하여 許容安定度 範圍內에서 最少의 安全率을 擇한다. 그러므로 最少의 安全率 SF=1.2를 取하여 Fig. 11로부터 댐의 最少의 斜面傾斜를 求하면 Table-5와 같다.

댐의 斜面傾斜가 許容安全率을 갖는다 해도

댐 높이가 높은 경우에 斜面傾斜를 1:1.5보다 더 急하게 할수는 없으며 반대로 許容安全率을 갖도록 하기 위해서 外堤側은 1:30 以上, 内堤側은 1:3.5 以上の 完만한 경사로 댐을

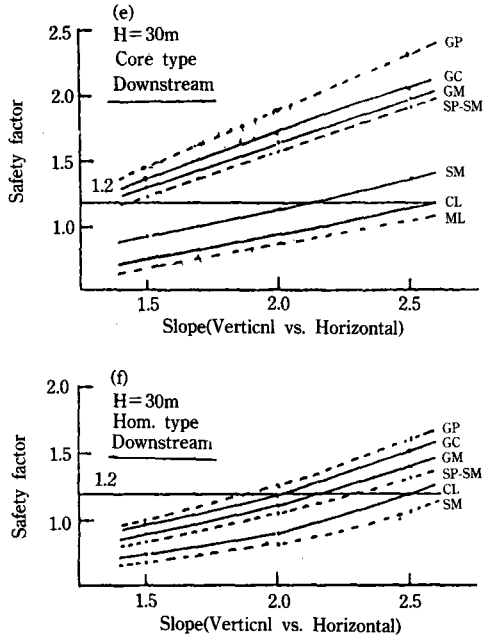
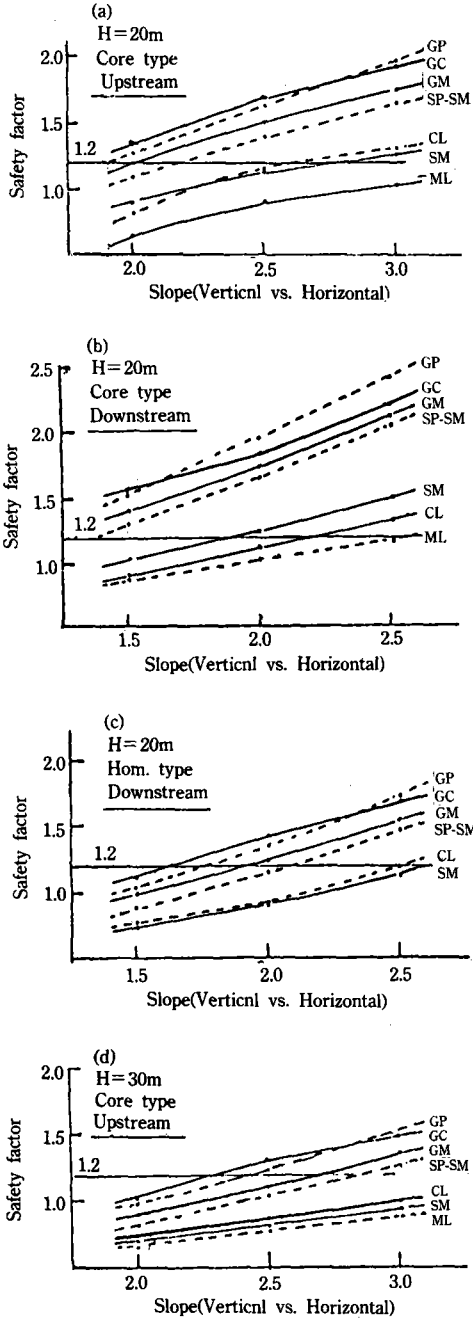


Fig. 11. Relationship between slope and safety factor.

설계하는 것은 特別한 경우를 除外하고는 非經濟的이므로 이러한 範圍內에서 斜面傾斜를 定하는 것이 바람직 하다.

Table-5에서 보면 댐 높이가 30m인 경우에는 CL, ML, SM 재료가 盛土材料로는 斷面이 너무 커서 非經濟的이며 ML材料는 댐 높이가 20m인 경우에도 不適合하다고 생각된다.

그러나 GC, GM, GP와 같은 礫質材料는 1:2.0 以內로 斜面傾斜를 急하게 할 수 있어 良質의 盛土材料로 利用될 수 있다.

따라서 흙댐을 築造時에는 실트質土보다 粘質土를, 그리고 細粒土보다 粗粒土를 選定하여 盛土材料로 使用하고 특히 20^m 以上の 높은 댐의 一般盛土材料로는 200번째 통과량이 50% 以上되는 細粒土는 不適當하며 높은 댐일 수록 粒子가 굵은 良粒度의 材料를 使用해야 한다.

Table-5. Minimum slope (Ver. Vs. Hor.).

Soil	H Type	20m			30m		
		Upstream (drop down)	Down Stream		Up stream (drop down)	Down Strem	
			Cor. type	Hom. type		Cor. type	Hom. type
CL		2.6	2.3	2.5	>3.5	2.5	2.6
ML		3.4	2.6	3.0	>3.5	2.8	>3.0
SM		2.8	1.9	2.6	>3.5	2.1	2.7
SP-SM		2.2	1.5	2.1	2.9	1.7	2.3
GC		1.9	<1.5	1.7	2.4	<1.5	2.0
GM		2.0	<1.5	1.9	2.7	<1.5	2.1
GP		1.9	<1.5	1.8	2.5	<1.5	1.9

IV. 結 論

자갈이 섞여있지 않은 粘質土(CL), 실트質土(ML) 및 砂質土(SM)에 자갈을 0%, 20%, 40%, 60%, 80% 씩 혼합한 15個의 盛土材料를 95%의 다짐률로 다진 供試體로 各種剪斷試驗을 實施, 強度定數를 구하여 흙댐 斜面에 대한 安定度를 檢討하였으며 主要結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 粗粒土의 最大乾燥密度(γ_d)는 粗粒材含有量(P) 增加에 比例하여 $\gamma_d = 1.609 + 0.0043P$ 의 關係로 直線的으로 增加하였다.

2. 透水係數(k)는 細粒材量(n)이 많을 수록 $k = 0.0426e^{-0.185n}$ 의 關係로 작아진다.

3. 粗粒材量이 增加할수록 粘着力은 작아지고 内部摩擦角은 현저하게 增加한다.

4. 内部摩擦角(ϕ)은 空隙比(e) 增加에 反比例하여 $\phi = 73.066 - 69.268e$ 의 관계로 減少된다.

5. 細粒土에서는 三軸壓縮試驗의 強度定數(C_v, ϕ_t)가 直接剪斷試驗의 強度定數(C_d, ϕ_d)보다 현저하게 작으나 粗粒土에서는 그 差가 크지 않으며 그 關係式은 다음과 같다.

$$C_t = 0.544 C_d + 0.044$$

$$\phi_t = 1.282 \phi_d - 23.06$$

6. 粘質土에서는 大形剪斷試驗結果와 小形剪斷試驗結果가 비슷하나 실트질 및 砂質 粗粒土에서는 小形剪斷試驗結果가 약 10~20% 더 크다.

7. 20m 以上の 높은 댐에서는 細粒土는 盛土材料로 不利하며 높은 댐에서는 内部摩擦角이 큰 粗粒土가 有利하다.

本 研究는 1988年度 文敎部 學術研究助成費에 依하여 遂行된 것임.

參 考 文 獻

1. Barton, N. and B. Kjaernsli, 1981, Shear Strength of Rockfill, Journal of A. S. C. E., GT. 7 : 838~889.
2. Bishop, A. W, 1966, The strength of soils as Engineering Materials, Journal of Geotechnique, Vol. XVI, Number 2 : 91~128.
3. Duncan, J. M. and S. G. Wright, 1980, The Accuracy of Equilibrium Methods of Slope Stability Analysis, Journal of Engineering Geology(Netherlands), Vol. 16 : 5~17.
4. Garga, V. K. and C. J. Madureira, 1985, Compaction Characteristics of River Terrace Gravel, Journal of A. S. C. E., GT. 8 : 987~1006.
5. 長谷川高工, 1978, F. E. M. による 斜面安定解析の一手法, 農業土木學會論文集(日本) 第75號 : 76~80.
6. Hunt, R. E., 1986, Geotechnical Engineering Techniques and Practices, McGraw-

- Hill Book Company : 475~508.
7. Onitsuka, K., S. Yoshitake. and M. Nanri, 1985, Mechanical Properties and Strength Anisotropy of Decomposed Granite Soil, J. Soil and Foundations(Japan), Vol. 25, No. 2 : 14~30.
 8. 金周範, 尹忠燮, 1975, 흙의 工學的 性質에 관한 研究, 韓國農工學會誌, 第17卷, 3號 : 21~38.
 9. Koerner, R. M, 1970, Effect of Particle Characteristics on Soil Strength, Journal of A. S. C. E., SM. 4 : 1221~1232.
 10. Lafleur, J., G. Lefebvre and M. Marcotte, 1982, Shear Strength of the Weathered Champlain Clay Measured in a Large Diameter Triaxial Test, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 19-4 : 413~420.
 11. 李原熙, 金始源, 1981, Earth Dam의 비탈면 기울기 決定에 관한 研究, 韓國農工學會誌, 第23卷, 1號 : 86~102.
 12. 李滢洙, 1983, 花崗風化土의 破碎 및 다짐 Energy가 透水性에 미치는 影響, 大韓土木學會論文集, 第3卷, 3號 : 107~116.
 13. Leps, T. M., 1970, Review of Shearing Strength of Rockfill, Journal of A. S. C. E., SM. 4 : 1159~1170.
 14. 林鍾聲, 1986, 자갈 混合土의 工學的 特性에 관한 實驗的 研究, 漢陽大學校 大學院 碩士論文.
 15. Lumb, Peter, 1983, Engineering Properties of Fresh and Decomposed Igneous Rocks from Hong Kong, Journal of Engineering Geology(Netherlands), Vol. 19 : 81~94.
 16. Oda, M. and J. Konishi, 1974, Rotation of Principal Stresses in Granula Material During Simple Shear, Journal of Soils and Foundations(Japan), Vol. 14, No. 4 : 39~50.
 17. Matsuo, M. and K. Kuroda, 1974, Probabilistic Approach to Design of Embankments, Journal of soils and Foundations(Japan), Vol. 14, No. 2 : 1~17.
 18. Matsuo, S., K. Nishida and S. Sasaki, 1979, Physical properties of Weathered Granite soil Praticles and Their Effect on Permeability, Journal of Soils and Foundations(Japan), Vol. 19, No. 1 : 13~21.
 19. Mittal, H. K. and N. R. Morgenstern, 1975, Parameter for the Design of Tailings Dam, Conadian Geotechnical Journal. Vol. 12-2 : 235~260.
 20. Okochi, Y. and F. Tatsuoka, 1984, Some Factors Affecting Ko-Values of Sand Measured in Triaxial Cell, Journal of Soils and Foundations(Japan), Vol. 24, No. 3 : 52~67.
 21. Rowe, P. W., 1969, The Relation between the Sear Strength of Sand in Triaxial Compression, Plane Strain and Direct Shear, J. Geotechnique, The Institution of Civil Engineers(London), Vol. 19, No. 1.
 22. Rouse, W. C., 1975, Engineering Properties and Slope form in Granular, Journal of Engineering Gology(Netherland), Vol. 9 : 221~235.
 23. 鳥山班司, 1978, 締固め粘性土のセン斷特性の水浸による變化, 農業土木學會論文集 第77號 : 39~46.
 24. Thurairajah, A. and B. Lelievre, 1971, Undrained Shear Strength Characteristics of Sand, Journal of Geotechnical Engineering, S. E. A. S. S. E., Vol. 2-2 : 101~117.
 25. U. S. Department of Interior Bureau of Reclamation, 1974, Earth Manual(2nd), A Water Resources Technical Publication : 43~63, 234~243, 253~260.
 26. 尹忠燮, 1981, 透水性盛土材料의 機械 多짐에 관한 研究, 韓國農工學會誌 第23卷, 3號 : 65~77.
 27. 尹忠燮, 金始源, 1989, 흙댐의 다짐密度가 安定度에 미치는 影響에 관한 研究, 韓國農工學會誌, 第31卷, 1號, 82~95.