

흙의 三軸剪斷試驗에 대한 考察

A Study in Triaxial Shear Test of Soils

金 周 範

1. 概 要

(1950)

흙의 剪斷強度는 內部摩擦係數와 粘着力으로 表示한다. 土質試驗室에서는 剪斷強度의 이들 要素를 實測하기 爲하여 三軸剪斷試驗을 實施한다. 三軸剪斷試驗에는 供試體를 密閉 狀態 即 非排水 狀態에서 試驗하는 方法이 있다. 試驗中 間隙水壓을 測定하고 載荷應力에서 間隙水壓을 差引한 有效應力으로 整理하는 것이다.

Coulomb의 破壞法則에 依한 흙의 剪斷強度의 一般의인 表示는 다음 方程式과 같다.

$$S=C+\sigma \tan \phi$$

여기서: S=剪斷強度

C=粘着力

σ =剪斷面에 作用하는 垂直應力

$\tan \phi$ =內部摩擦角

위의 式에서 흙의 剪斷強度의 2個要素中 內部 摩擦係數는 垂直應力에 關聯하나 粘着力은 이에 關聯이 없다. 飽和된 흙 또는 部分的으로 飽和된 흙에 加하여지는 應力은 이 흙 内部의 間隙水에 應力을 發生케 하는데 이것이 所謂 間隙水壓이다. 間隙水壓은 垂直應力 또는 橫壓에 反撥하므로 正의 間隙水壓이 發生하면 剪斷抵抗은 減少된다. 그러므로 Coulomb의 方程式은 一般의으로 다음 과같이 修正될 수 있다.

$$S=C+(\sigma-u)\tan \phi$$

여기서: u=間隙水壓

흙의 眞正한 特性은 위와같은 間隙水壓의 影響이 考慮되어야 한다.

三軸剪斷試驗에서 그 複雜性에도 不拘하고 精密한 間隙水壓測定을 爲한 努力이 不斷히 傾注되어

왔다.

輻壓式土堰堤의 盛土材料 剪斷強度試驗에는 平 均標準다짐試驗의 最適合水比 및 最大乾燥密度로 흙을 調製하여 供試體를 製作하며 이것으로 三軸剪斷試驗을 實施함이 通例이다.

本稿에서는 몇가지 盛土材料에 對하여 標準다 짐試驗의 含水比—乾燥密度曲線을 基礎로하여 同曲線上의 任意含水比에 該當하는 密度로 供試體를 多數製作하여 三軸剪斷試驗 및 一軸壓縮試驗을 實施하고 이들 試驗結果值인 粘着力 內部 摩擦角 및 一軸剪斷強度를 含水比變化와 關聯하여 多角度로 考察하였다.

2. 三軸剪斷試驗器

農業土木研究所에 設置된 三軸剪斷試驗器는 複式(二連)三軸試驗器로 그 重要部分은 다음과 같다.

1. 후레임 (frame)
2. 變位 制御用 電力 軸荷重 負荷裝置 (變速 裝置兼)
3. 透視가 可能한 三軸壓力室
4. 橫壓調整裝置(壓縮空氣使用)
5. 試料飽和用 加水裝置 및 容積變化 測定裝置
6. 應力 制御用 軸荷重 負荷裝置
7. 軸荷重 測定用 Proving ring assembly
8. 試料變位 測定裝置
9. 間隙水壓 測定裝置

等으로 되어 있으며 特히 間隙水壓 測定裝置는 本 研究所에서 製作하여 使用하고 있다.

3. 試 料

三軸剪斷試驗用 試料는 東津江地區에서 防潮

堤 築堤에 使用한 盛土材料 4點을 採擇하였으며 이들 試料의 採取場所는 全北 扶安郡 下西面 衣服里 (CL), 同郡 幸安面 界下里 (SM, SC), 同郡 東津面 安城里 (CH) 等이다. 同盛土材料의 物

理 및 力學의 特性은 다음表와 같다.

흙의 (綜合)試驗表 第1表

흙의 基本性質表 第2表

흙의 (綜合)試驗表

第 1 表

시료소재	시료명	흙분류	비중	액성한계	소성한계	소성지수	공극비	공극율	최적함수비	최대전조밀도	최대습윤밀도	투수계수
				%	%	%		%	%	g/cm ³	g/cm ³	cm/sec ⁻⁸
전북부안군 동진면 안성리	안성리 1	CH	2.68	57.20	25.08	32.12	0.643	39.10	20.00	1.633	1.960	2.04×10 ⁻⁸
"	하서면 의북리	돈지 2	2.70	38.00	20.85	17.15	0.510	33.80	15.17	1.787	2.058	4.12×10 ⁻⁸
"	행안면 계하리	계하리 2	2.70	35.80	23.57	12.23	0.675	40.30	21.20	1.613	1.955	3.60×10 ⁻⁸
"	"	" 4	2.64	42.70	32.30	10.40	0.806	44.60	25.70	1.460	1.835	5.88×10 ⁻⁸

흙의 기본성질표

第 2 表

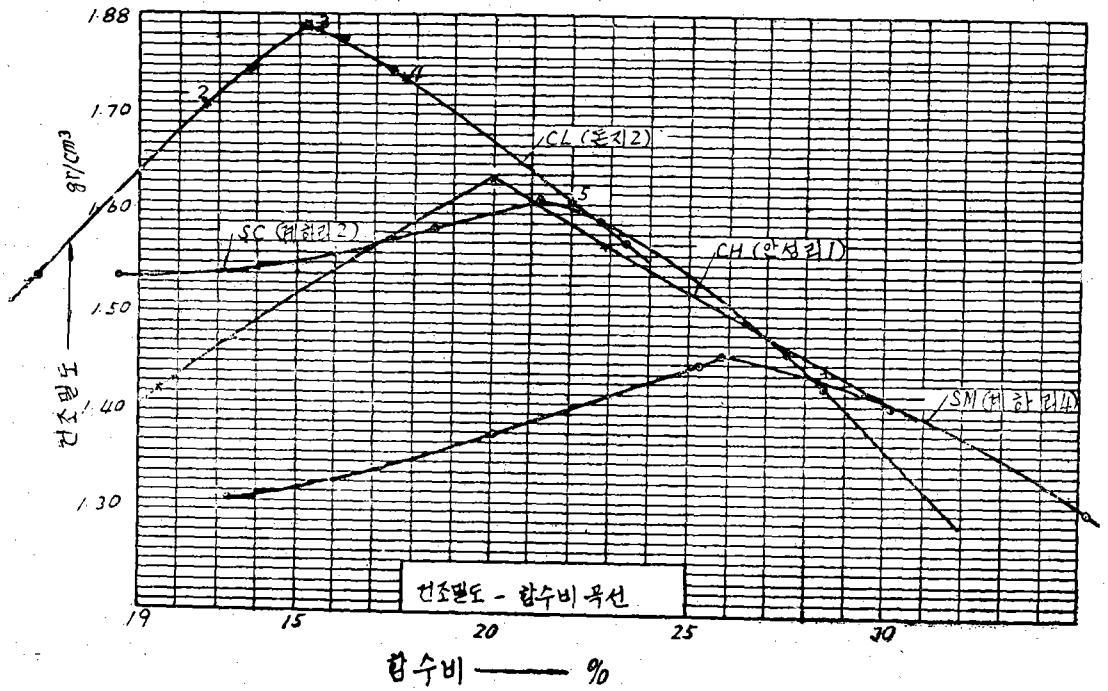
시료구분	입도 (%)						균등계수 Cu	곡률계수 Cc	부기
	mm <0.005	mm 0.005 ~0.074	mm 0.074 ~No.4	mm No. 4 ~9.52	mm 9.52 ~12.7	mm 12.7<			
안성리 1	15.00	37.64	47.36	—	—	—	38.70	0.871	
돈지 2	14.00		31.28	4.93	1.71	6.93	44.40	0.250	
계하리 2	7.00		44.17	2.31	1.48	7.87	47.90	0.352	
" 4	12.50		24.02	5.96	5.12	20.02	300.00	0.0752	

시료구분	조도 Atterberg Limits				비중	분류	부기
	액성한계 L.L.	소성한계 P.L.	소성지수 P.I.	수축한계 S.L.			
안성리 1	% 57.20	% 25.08	% 32.12	% —	2.68	CH	
돈지 2	38.00	20.85	17.15	—	2.70	CL	
계하리 2	35.80	23.57	12.23	—	2.70	SC	
계하리 4	42.70	32.30	10.40	—	2.64	SM	

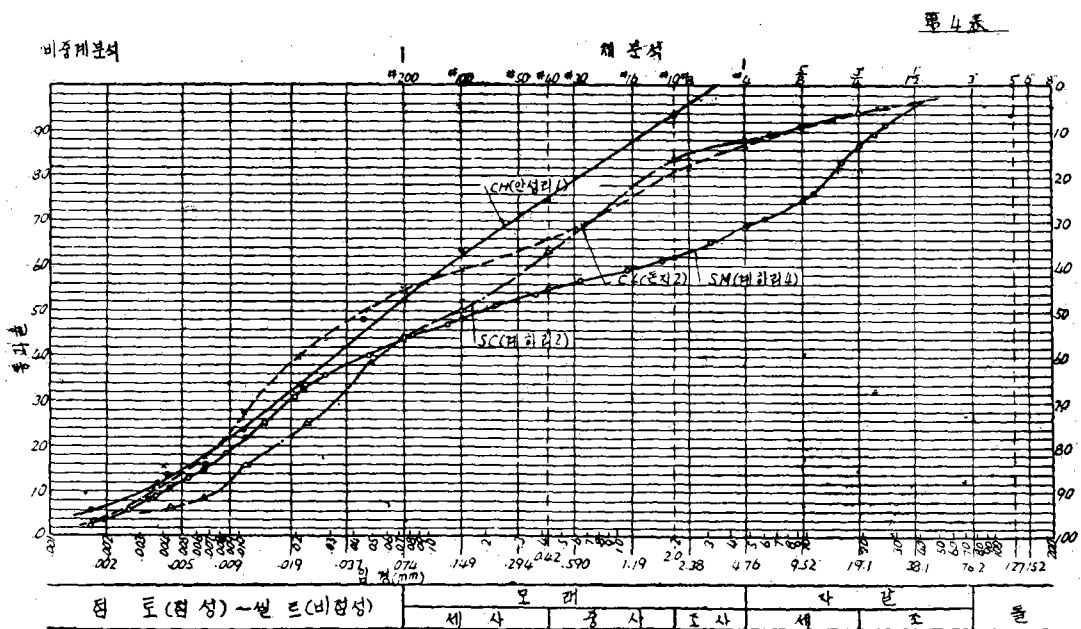
다짐시험표

第 3 表

시료구분	최대전조밀도	최적함수비	관입저항	최대전밀도시의		부기
				공극율	습밀도	
안성리 1	gr/cm ³ 1.633	% 20.00	kg/cm ² —	% 39.10	gr/cm ³ 1.960	최대전밀도시
돈지 2	1.787	15.17	—	33.80	2.058	"
계하리 2	1.613	21.20	—	40.30	1.955	"
" 4	1.460	25.70	—	44.60	1.835	"



입도 곡선



시료구분	삼 축 시 험				단위중량	포화중량	수중중량	특수계수	부 기
	ϕ	Tan ϕ	Co	Csat					
안성리 1	28°10'	0.5354	0.70	(0.28)	1.960	2.024	1.024	2.04×10 ⁻⁸	최대 전밀도 시
돈 지 2	25°30'	0.4769	0.63	(0)	2.058	2.125	1.125	4.12×10 ⁻⁸	"
계하리 2	28°30'	.543	0.28	(0.105)	1.955	2.016	1.016	3.60×10 ⁻⁸	"
" 4	26°30'	0.499	0.25	(0.12)	1.835	1.906	0.906	5.88×10 ⁻⁸	"

다짐試驗表 第3表

粒度曲線表 第4表

三軸剪斷試驗表 第5表

以上 諸表에서 보는바와 같이 使用한 試料는 大部分 5 μ 以下の 粒子가 10%以上 含有되어있으며 粒度는 比較的 良粒度이다.

푸록타 다짐試驗의 最大乾燥密度는 1.460gr/cm³에서 1.787gr/cm³ 最適含水比는 15.17%에서 25.70%로 各各 相違한 값을 보여주고 있다.

4. 三軸試驗 供試體

푸록타標準搗固試驗의 含水比—乾燥密度 曲線에 依하여 任意 含水比에 該當하는 密度로 供試體를 製作하였다. 同 供試體는 直徑 1.4inch 높이 2.8inch(1:2)로 그 體積은 70.65cm³ 이고 重量은 乾燥密度 曲線에서 任意 含水比에 對한 該當密度를 찾아 算定하였다. 製作에 있어서 該當重量의 試料를 4等分하여 몰드(供試體 製作容器)에 다져 넣었으며 다짐의 基準은 몰드 높이를 4等分하여 各層마다 所要 높이가 될때까지 다졌다. 一回 試驗에 使用된 供試體의 數는 一軸壓縮試驗用으로 1個 乃至 2個, 三軸剪斷試驗用으로 4個 乃至 5個로 都合 5個 乃至 7個를 製作하여 使用하였다.

5. 試 驗

本 試驗室三軸剪斷試驗器는 本來 供試體에 橫壓을 加하는 媒介體로 그리세린을 使用하게 되어 있으나 本試驗에서는 間隙水壓을 測定하기 爲하여 特別히 壓力傳達이 良好한 물을 使用하였다. 물은 그리세린에 比하여 粘性이 적어 軸荷重 傳

達棒(rod)에 若干의 漏水가 있었으나 이는 傳達棒에 그리스를 塗布하므로써 漏水를 防止할 수 있었다.

軸荷重負荷速度는 1分間에 試料높이의 1%를 基準하여 加하였다.

同試驗에서 橫壓의 變化를 10lbs/in², 15lbs/in², 20lbs/in², 25lbs/in² 로 擇하였으며 試驗中의 間隙水壓測定은 橫壓을 加한 後 徐徐히 增加하는 間隙水壓이 그 變化를 거이 멈출때 軸荷重을 加하였고 이 軸荷重負荷는 變位가 10%될 때까지 계속 加하였으며 10%以上 13%까지 加한例도있다. 여기서 破壞가 일어날때까지의 變位는 大體로 含水量에 比例하는것을 알수가 있었다. 그리고 粘性이 많은 흙에서는 破壞點이 確實하지 않았는데 이때의 破壞點은 變位(Atrain) 10% 附近에서 發生하는것으로 看做하여 計算하였다. 그 理由는 變位量에 對하여 흙이 받는 應力의 增加가 10%附近에서 漸次 微弱해지는것에 根據를 두었으며 이關係는 應力~變位曲線에서 判斷이 可能하다. 各試驗의 應力~變位曲線은 圖表로 表示하였다.

橫壓15#/□' 인때 含水比變化에 따른 應力—變位曲線 第7表

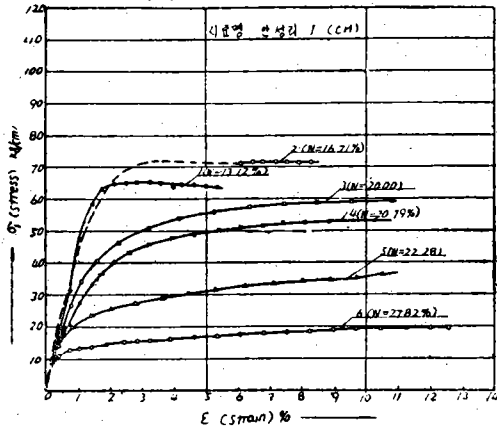
" 20 " " 第8表

含水比變化에 따른 剪斷強度值의 比較 第9表

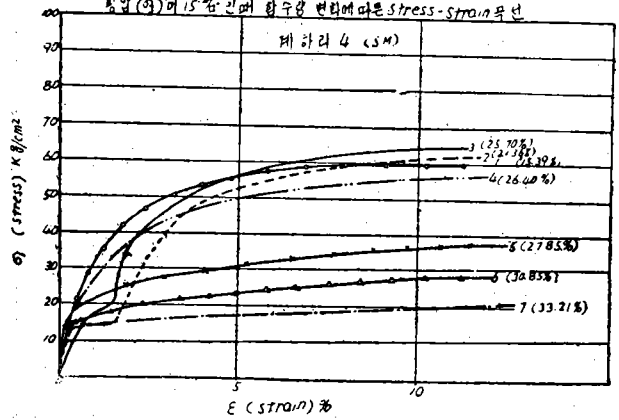
含水比變化에 따른 一軸壓縮值, 粘着力, 摩擦係數의 比較 第10表

(Cpp, ϕ_{pp} 는 間隙水壓을 除한 값)

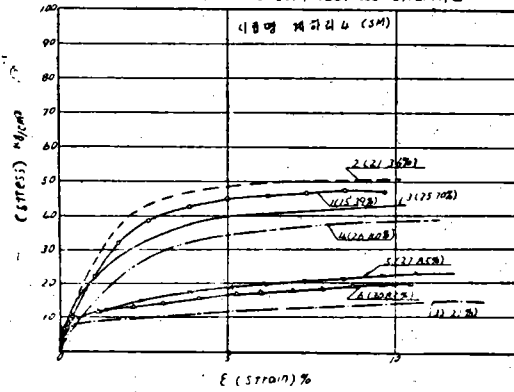
第6表
 試料(03) 10%以内の荷重増加による Stress-strain 曲線



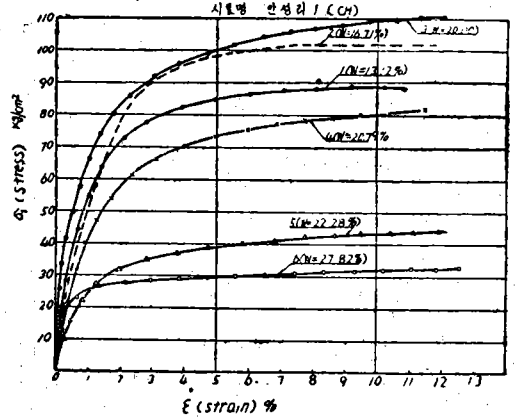
第7表
 試料(03) 15%以内の荷重増加による Stress-strain 曲線



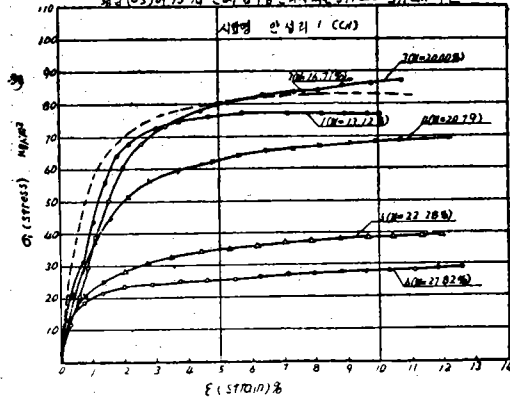
第6表
 試料(07) 10%以内の荷重増加による Stress-strain 曲線



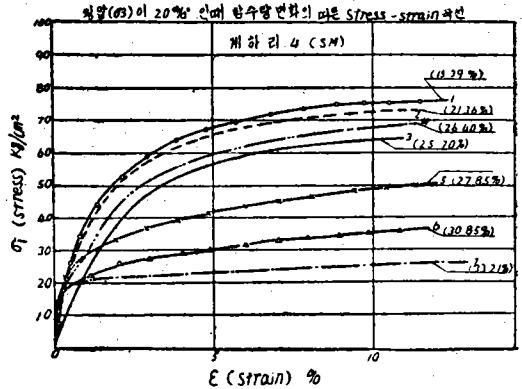
第8表
 試料(03) 20%以内の荷重増加による Stress-strain 曲線



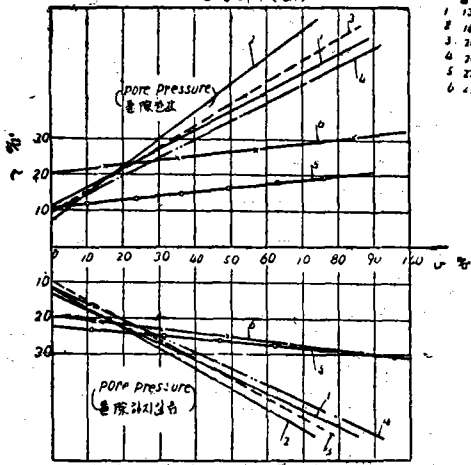
第7表
 試料(03) 15%以内の荷重増加による Stress-strain 曲線



第8表
 試料(03) 20%以内の荷重増加による Stress-strain 曲線



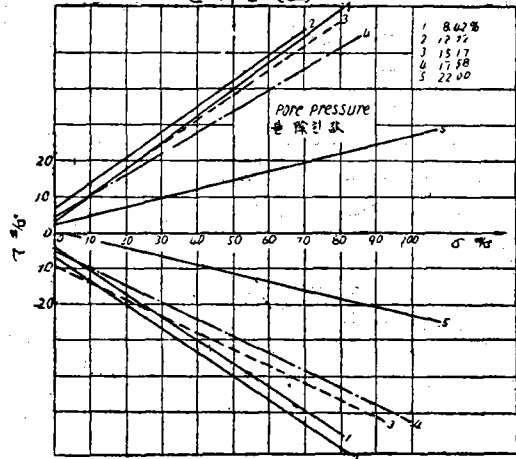
第9表
안성리 1 (CH)



含水率
1 12.12%
2 14.11
3 20.00
4 20.79
5 22.18
6 17.02

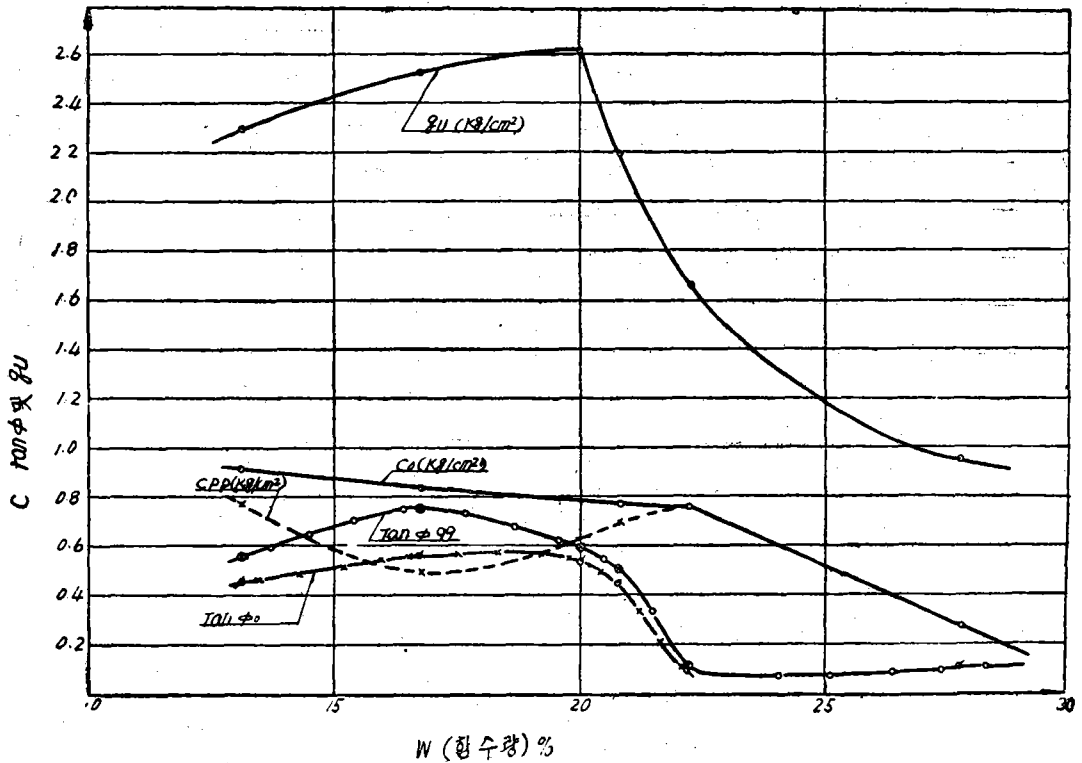
含水率 변화에 따른 선단강도 변화

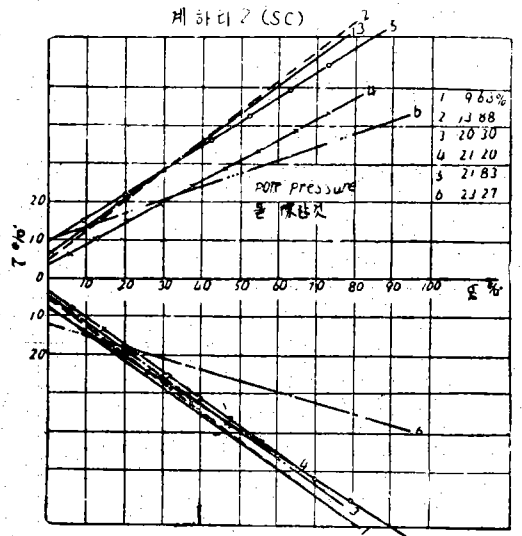
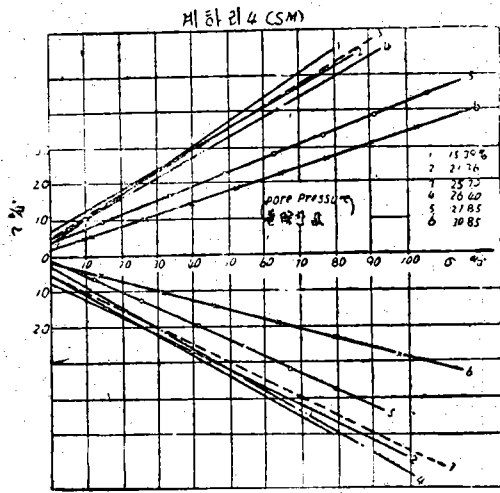
토지 2 (CL)



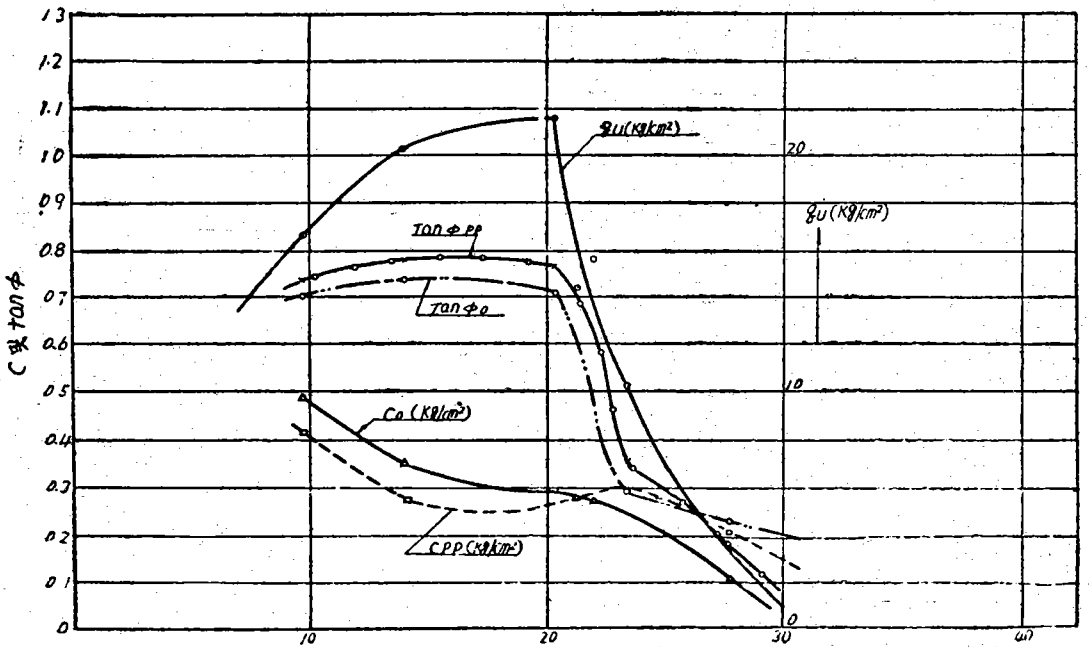
1 8.62%
2 12.77
3 15.17
4 17.58
5 22.00

第10表
안성리 1 CH

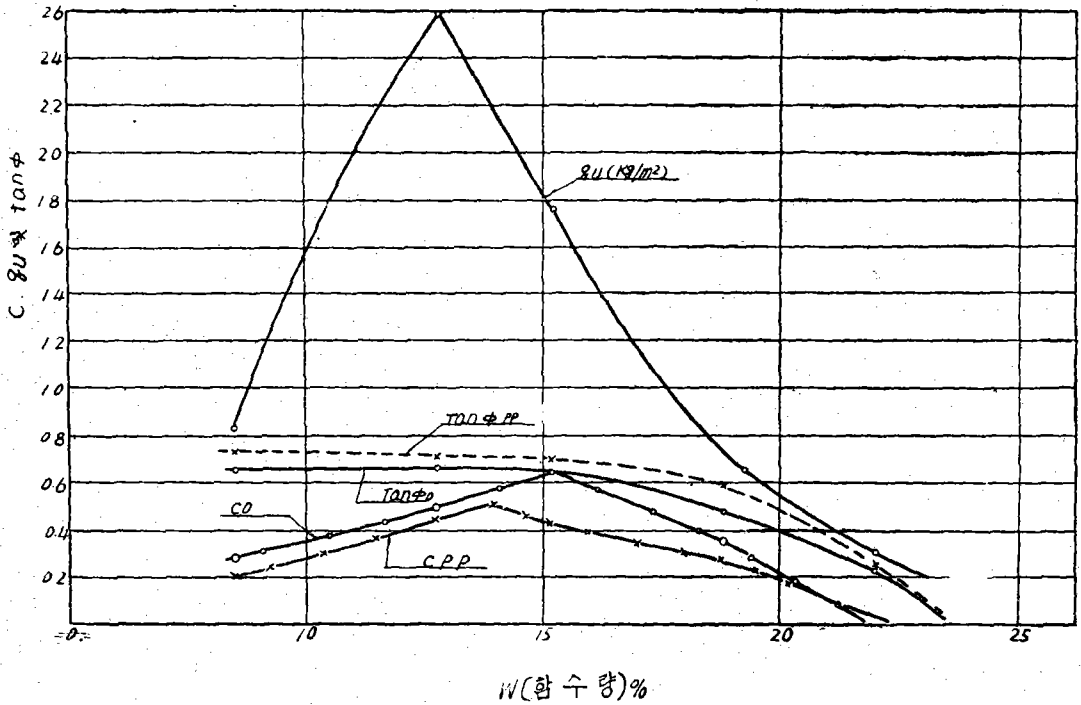




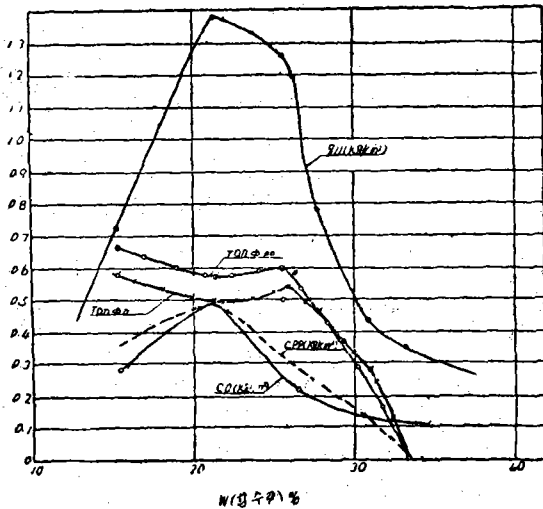
계하리 2 (SC)



토지 2 (CL)



계하리 4 (SM)



三軸試驗에 이어 一軸壓縮試驗도 겸하여 施行하였는데 이 試驗에는 三軸剪斷試驗器를 應用하여 試驗하였으며 試驗中 試料의 含水比 逸散을 막기 爲하여 고무薄膜을 싸우고 試驗하였으며 供試體 破壞後에도 減少應力을 測定하였다. 同試驗値는 第10表에 表示하였다.

6. 結 論

앞에서 보인 諸表에서 알 수 있는 바와 같이 應力~變位曲線에서 (第6, 7, 8表 參照) 어느 含水比를 사이에 두고 作用荷重에 對한 應力이 減少되어 감을 알 수 있는데 含水比의 增加에 따라 相當量의 應力減少를 볼 수 있다.

그리고 破壞點을 變位와 對照하여 볼 때 含水比가 적으면 2~4% 變位點에서 破壞되나 含水比가 많으면 거의 10% 變位(strain)를 넘어서도 繼續應力을 받는 것을 알 수 있다. 흙의 摩擦係數와 粘着力을 第9表 安城里 1(CH) 試料試驗表에서 보면 最適含水比를 基準으로 7% 乾燥에서 1% 過濕사이에서 剪斷強度의 差는 그다지 크지 않으나 含水比가 2% 以上 過濕하면 剪斷強度值의 差가 相當히 크게 나타나는 것을 알 수 있으며 이로부터 어볼 때 盛土構造物에서는 濕한 狀態일 때 보다 乾燥狀態인 때가 훨씬 強度가 크다는 것을 알 수 있다.

이들 여러 關係를 第10表에 表示하였는데 試料 安城里 1(CH)에서 一軸剪斷値는 20% 含水比를

基準으로 乾燥 7%變化에 對하여 0.4kg/cm^2 의 增減을 보이나 過濕 5%變化에 對하여서는 무려 3.5倍인 1.4kg/cm^2 의 減少를 나타내고있으며 粘着力과 摩擦係數도 過濕에 比例하여 그數値가 相當量減少되고있다. 이러한 現象은 安城里1 試料에서뿐만 아니라 他試料에서도 같은것을 알 수 있다.

一面 參考로 間隙水壓測定關係數値도 表示하였다.

第9表 剪斷強度曲線表에서도 明白히 表示된 바와같이 大部分의 剪斷強度曲線이 近接하여있

으나 過濕한 試料에 對한 曲線은 相當히 벗어나고 있음을 볼수 있다. 그리고 푸룩타 標準다짐試驗試料에서는 間隙水壓을 關係시킨 剪斷強度의 값은 關係시키지 않은값과 比較할 때 큰 數値의 差를 보이지않는 것을 알 수 있다. (自然飽和粘土試料에서는 큰 數値差를 나타낸다)

本試驗表中에서 몇개의 表는 파운드單位로 表示되었는데 이는 試驗器의 加壓裝置關係로 不得已하였으며 可能한 範圍에서 單位換算을 實施하였음.

[筆者 土聯 農業土木研究所]

알 리 는 말 씀

이번 學會에서는 今年度 事業中 農業工學技術用語集을 單行本으로 刊行하였다.

貧弱한 財政形便을 무릅쓰고 늦으나마 年內에 刊行을 이룩함은 不幸中 多幸한 일이라 하겠다. 本 用語集이 나오기까지는 많은 苦楚가 있었으며 여기에 委員여러분의 手苦가 많았음을 添言하는 바이다.

처음인 탓인지 誤植이 많았음을 謝過하며 앞으로 繼續해서 補完할 計劃이오니 會員여러분의 忌憚없는 忠言과 資料蒐集에 協力하여 주실것을 바라는 바이다.