

흙의 工學的 性質에 關한 研究

Study on Engineering Properties of Earth Materials

金 周 範* · 尹 忠 燮**
Joo Bam Kim · Choon Sup Yoon

Summary

This study was made to investigate various engineering properties of earth materials resulting from their changes in density and moisture content.

The results obtained in this study are summarized as follows:

1. The finer the grain size is, the bigger the Optimum Moisture Content(OMC) is, showing a linear relationship between percent passing of NO. 200 Sieve (n) and OMC(W_o) which can be represented by the equation

$$W_o = 0.186n + 8.3$$

2. There is a linear relationship of inverse proportion between OMC and Maximum Dry Density (MDD) which can be represented by the equation

$$\gamma_d = 2.167 - 0.026W_o$$

3. There is an exponential curve relationship between void ratio (e_s) and MDD whose equation can be expressed

$$\gamma_d = 2.67e^{-0.455e_s} \quad (0.4 < e_s < 0.9),$$

indicating that as MDD increases, void ratio decreases.

4. The coefficient of permeability increases in proportion to decrease of the MDD and this increase trend is more obvious in coarse material than in fine material, and more obvious in cohesionless soil than in cohesive soil.
5. Even in the same density, the coefficient of permeability is smaller in wet than in dry from the Optimum Moisture Content.
6. Showing that unconfined compressive strength increases in proportion to dry density increase, in unsaturated state the compacted in dry has bigger strength value than the compacted in wet. On the other hand, in saturated state, the compacted in dry has a trend to be smaller than the compacted in wet.
7. Even in the same density, unconfined compressive strength increases in proportion to cohesion, however, when in small density and in saturated state, this relationship are rejected.
8. In unsaturated state, cohesion force is bigger in dry than in wet from OMC. In saturated state, on the other hand, it is directly proportional to density.
9. Cohesion force decreases in proportion to compaction rate decrease. And this

* 農業振興公社農工試驗所

** " 榮山江事務所

trend is more evident in coarse material than in fine material.

10. Internal friction angle of soil is not influenced evidently on the changes of moisture content and compaction rate in unsaturated state, On the other hand in saturated state it is influenced density.
11. Cohesion force is directly proportional to unconfined compressive strength (q_u), indicating that it has approximately 35 percent of q_u in unsaturated state and approximately 70 percent of q_u in saturated state.

I. 序 論

人口增加와 國民所得增大에 따라 國家에서 實施하는 建設事業이 漸次增加되어가고 그 規模도 大型化되어 감에따라 이들 事業에 쓰이는 材料인 흙, 骨材, 鋼材 및 木材等도 莫大한量이 所要되고 있는 實情이다.

農業土木構造物에서 콘크리트對 흙의 使用比率을 大略 算出해 보면 約 25%對 75% 程度로 흙이 工事用材料로 利用되는 比重이 相當히 큰것을 알수 있다. 이같은 工事의 代表的인 例로는 土壤堤, 防潮堤 道路等이 있으며 이들 大規模의 工事에 있어서는 흙의 性質이나 現場條件等에 依하여 工事費및 工程等이 크게 影響을 받게 되는것이다. 흙은 地質學的인 分布狀態, 堆積過程等에 依하여 物理的性質이 多樣하며 또 物理的性質이 同一하다 하더라도 間隙比, 含水比및 密度等 組織狀態에 依하여 力學的인 性質도 多樣하게 變化한다.

그러므로 構造上으로 安全하고 經濟的인 것을 만들기 爲하여서는 土工材料인 흙을 잘 選擇하고 이의 自然的인 性質을 잘 利用함과 아울러 그의 力學的인 性質을 人爲的으로 改良하여 良質의 工事用材料로서 使用해야한다. 이를 爲하여서는 흙의 諸般性質을 充分히 究明하여야하며 特히 力學的인 性質의 變化狀態에 對하여서는 보다 많은 認識이 必要하다.

一般土工에서 發生하는 大部分의 事故는 上記와 같이 多様な 흙의 性質을 完全히 把握치 못하고 處

理하는데 起因하는 것이라 볼수있다. 이와같은 力學的인 性質에 變化가 많은 흙은 前記한바 構造物의 利用目的에 맞도록 選定하여야함은 勿論이거니와 그의 力學的인 性質도 利用目的에 맞도록 變化 시켜야한다. 卽 貯水池堤塘과같이 貯水를 目的으로하는 構造物에서 遮水用코아에 쓰이는 흙 材料로서는 細粒의 粘質含量이 많아 透水性이 낮은 흙을 使用하여야 하는 反面 上下流側 盛土部位에는 外方에 對한 剪斷強度가 크고 壓縮性이 적으며 透水性이 높은 粗粒材料를 選擇하여 施工하는것이 有利하며 이와같은 흙의 種類의 選擇利用은 其他 各種 土工의 境遇도 같다.

흙의 透水性, 剪斷強度 및 壓縮性은 흙의 密度와 含水比에 따라 變化하며 같은 흙이라도 密度가 클수록 諸般性質이 向上되며, 力學的인 安定度가 높아진다고 하겠다. 다시말하여 흙의 力學的인 性質을 向上시키기 爲해서는 흙의 密度를 높여야하며 이를 爲하여 흙에 外力을 加하여 다져야한다.

이 다짐은 흙의 含水狀態와 絕對的인 相關關係가 있음으로 設計 및 施工方法의 決定에는 現場自然含水狀態가 考慮되어야 하겠다.

흙을 가장 큰 密度로 다지기 爲하여서는 含水比가 適切하여야 하는데 含水比-密度關係는 프록타의 標準다짐試驗 提案以後 여러나라에서 이와 關聯된 많은 研究가 이루어 지고있다. 다예는 美國 內務省 開拓局에서 發表한 흙의 透水性및 剪斷強度의 試驗結果인 흙의 工學的인 性質表이다.

표-1.

흙의 工學的인 性質表

(U.S.B.R)

분 류	투수계수 cm/sec	진 단 강 도			비 고
		Co	Csat	tanφ	
	$K \times 10^{-7}$	kg/cm^2	kg/cm^2		
CL	0.78 ± 0.29	0.88 ± 0.11	0.13 ± 0.02	0.54 ± 0.04	1,500개
ML	5.78 ± 2.25	0.681 ± 0.105	0.091 ±	0.62 ± 0.04	
CH	0.489 ± 0.489	1.045 ± 0.34	0.112 ± 0.06	0.35 ± 0.09	
MH	1.56 ± 0.98	0.737 ± 0.301	0.224 ± 0.091	0.47 ± 0.05	
SC	2.94 ± 1.96	0.765 ± 0.154	0.112 ± 0.06	0.60 ± 0.07	
SM	73.49 ± 47.03	0.519 ± 0.063	0.203 ± 0.0702	0.67 ± 0.02	

久野(1962)는 透水係數와 最適含水比와의 關係는 $k=ae^{b/w}$ 라고 發表하였고 Matyas(1967)는 軋壓土에서 透水係數에 對한 研究를 하여 같은 含水比와 密度의 흙이라도 飽和度에 따라 透水係數는 달라진다고 하였다.

大體로 最適含水比를 基準으로 乾燥時보다 濕潤時의 透水係數가 낮다는 것은 Taylor, 久野, 尹等의 研究結果에서 볼수 있다.

(3) 一軸壓縮強度, 粘着力 및 内部摩擦角 등은 다짐率 變化(最適含水比때)에 對하여는 많은 試驗例가 있으나 含水比를 變化 시키면서 試驗한 例는 드물다. Taylor, Lambe, Terzaghi 등은 間隙比가 적으면 흙의 内部摩擦角은 커진다고 하였고 内部摩擦角이 큰 흙에서는 一般적으로 粘着力이 적어지며 同時에 一軸壓縮強度도 적게 나타난다고 하였다.

日本 高瀬덤과 七倉덤에 使用된 材料의 試驗에서

는 内部摩擦角 ϕ 가 最適含水比에서 가장 크고 粘着力은 乾燥側에서 커지는 傾向이 있다고 하였다.

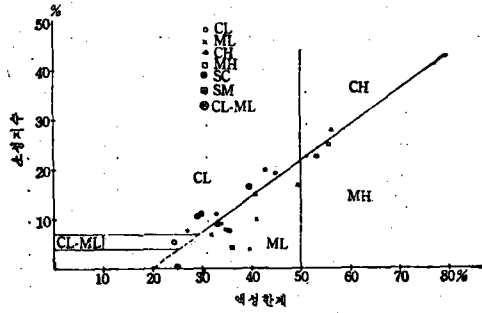


그림 1.

試驗에는 No 4 체(4.76mm)를 通過한 試料를 使用하였으며 이들 25個 試料에 對한 흙의 物理的 性質은 表-2 및 그림 2와 같다.

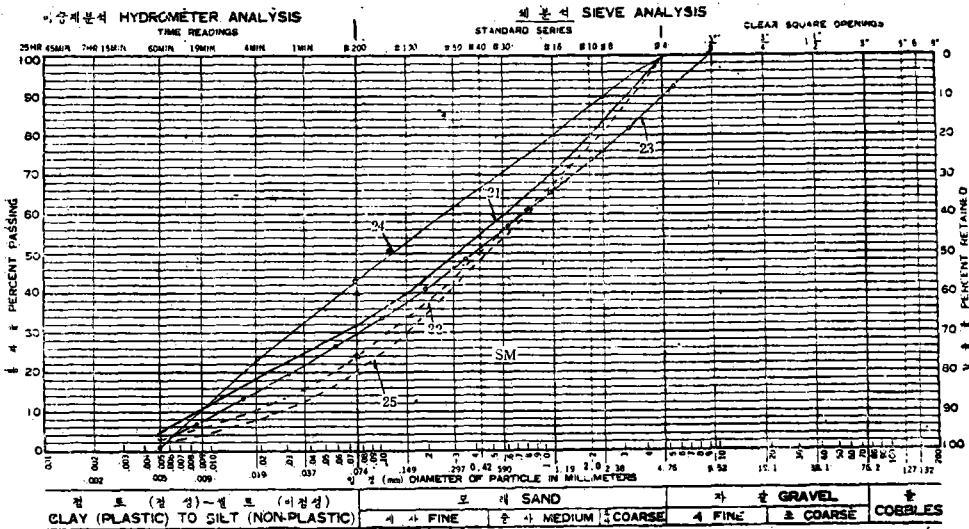


그림 2-5.

III. 試驗方法과 結果

가. 分類試驗

모든 試料는 比重試驗, 粒度分析, 液性限界 및 塑性限界 試驗을 KS 規定에 依해 施行하고 그 結果를 基礎로 하여 統一 흙 分類方法에 依하여 分類하였으며 그 結果는 表 2와 같다.

여기서 25個 試料의 比重은 大略 2.63~2.73의 發

표이고 液性限界는 30~45% 사이가 大部分으로서 그림 1의 塑性圖에서와 같이 試料의 大部分이 "A線" 附近에 接해 있어 分類는 비록 다르나 試驗結果에 큰 變化가 없는 것을 볼 수 있다.

나. 다짐試驗

다짐試驗方法은 KSF. 2312의 A-1 方法으로 무류타 標準다짐試驗方法과 같으며 물드의 內容積은 944

표-2.

물리적 성질표

시료명	시험구분	비 중	입 도 분 석 (%)				조 도 시험 (%)				분 류
			0.005 mm 이하	0.005 ~0.074	0.074 ~No. 4	No. 4 이상	액성한계	소성한계	소성지수	수축한계	
No. 1		2.650	35.00	52.00	13.00		33.00	21.74	11.26	20.09	CL
2		2.650	27.00	43.00	30.00		43.00	22.86	20.44	21.30	CL
3		2.660	29.50	49.50	21.00		45.20	25.70	19.50	—	CL
4		2.633	26.00	24.50	49.50		27.20	19.50	7.70	—	CL
5		2.657	8.00	48.16	39.96	3.88	24.23	18.53	5.70	—	CL—ML
6		2.720	21.00	42.00	37.00		33.10	26.03	7.07	24.87	ML
7		2.670	18.00	44.00	38.00		41.00	30.98	10.02	26.98	"
8		2.680	10.00	51.50	39.50		34.80	26.90	7.90		"
9		2.646	28.00	46.50	25.50		40.90	25.30	15.60		"
10		2.652	22.00	29.50	48.50		34.00	24.67	9.33		"
11		2.664	10.00	42.00	48.00		39.90	35.72	4.18		"
12		2.680	6.50	43.74	49.76		33.50	23.55	9.95		"
13		2.660	16.00	41.20	42.80		49.90	32.90	17.00		"
14		2.720	25.00	62.00	13.00		56.50	28.25	28.25	23.40	CH
15		2.705	20.00	57.00	23.00		51.80	25.70	26.10		"
16		2.680	31.00	39.00	30.00		53.80	31.10	22.70	22.40	MH
17		2.680	22.00	50.10	27.90		55.80	30.30	25.50		"
18		2.653	15.60	29.40	55.00		29.90	19.00	10.90	18.10	SC
19		2.669	11.50	31.30	57.20		29.40	18.70	10.70		"
20		2.690	9.00	39.70	51.30		39.80	23.30	16.50		"
21		2.680	5.00	27.00	68.00		33.20	23.94	9.26	23.07	SM
22		2.727	3.00	21.00	76.00		36.10	31.75	4.35		"
23		2.654	2.00	28.02	59.94	10.04		N.P			"
24		2.692	1.00	42.26	56.74		35.50	27.82	7.68		"
25		2.680	3.00	17.60	79.40			N.P			"

cm³, 람마의 重量 2.5kg, 落下高 30cm이며 每層 25 회씩 3層으로 다짐으로서 다짐 에너지는 5.96cm—kg/cm³이다. 그리고 다짐率의 變化는 標準다짐試驗의 乾燥密度를 100%로하여 97%, 94%, 및 91%의 乾燥密度를 各各 計算하여 이 密度에 맞추어 供試體를 製作하였다.

上記 標準다짐 試驗結果 最大乾燥密度는 1.56~1.94g/cm³ 그리고 最適含水比는 12~24%로 細粒흙 일수록 乾燥密度는 작고 最適含水比는 크다.

25個 試料에 對한 標準다짐 試驗結果는 表 3 및 그림 3과 같다.

다. 透水試驗

透水試驗은 KSF 23 22에 의거 定水位 또는 變水位 透水試驗을 하였으며 試料가 細粒인 境遇에는 主로 變水位透水 試驗을 하였다.

定水位 透水試驗器具에는 標準다짐試驗 (直徑 10 cm, 높이 8~10cm)를 使用하였고 變水位 透水試驗

器具는 直徑 5cm, 試料높이 8cm 內外로 하여 施行하였다.

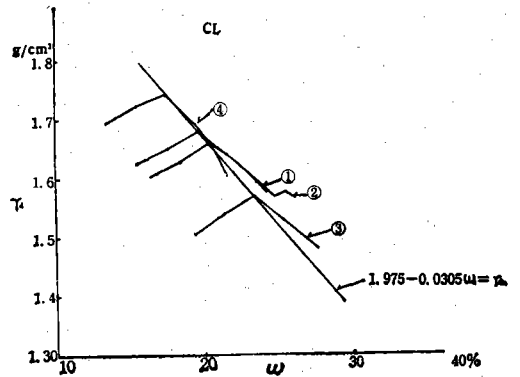


그림 3-1.

표-3. 표준 다짐 시험 결과표

시험구분 시료명	분 류	최대 건 밀도 g/cm ³	최 적 함 수 %	최대 건밀도의 시 습 밀도	
				공극률 (%)	습 밀도 g/cm ³
No. 1	CL	1.681	19.60	36.50	2.010
2	"	1.665	20.40	31.15	2.005
3	"	1.575	23.30	40.80	1.942
4	"	1.755	17.40	33.90	2.060
5	CL-ML	1.800	15.00	32.00	2.070
6	ML	1.670	20.80	38.70	2.017
7	"	1.610	22.40	39.75	1.971
8	"	1.712	18.80	36.25	2.034
9	"	1.600	21.00	39.40	1.942
10	"	1.720	16.20	35.48	1.995
11	"	1.575	18.49	40.86	1.867
12	"	1.784	12.75	33.42	2.012
13	"	1.557	22.60	41.60	1.910
14	CH	1.595	24.00	41.30	1.978
15	CH	1.640	22.00	39.50	2.000
16	MH	1.561	23.85	41.80	1.935
17	"	1.475	27.00	45.00	1.875
18	SC	1.858	13.00	30.00	2.100
19	"	1.636	20.70	38.90	1.970
20	"	1.780	16.00	33.90	2.062
21	SM	1.824	15.11	31.90	2.100
22	"	1.789	16.45	34.38	2.085
23	"	1.825	13.60	31.10	2.073
24	"	1.666	16.00	38.30	1.932
25	"	1.935	11.90	27.95	2.162

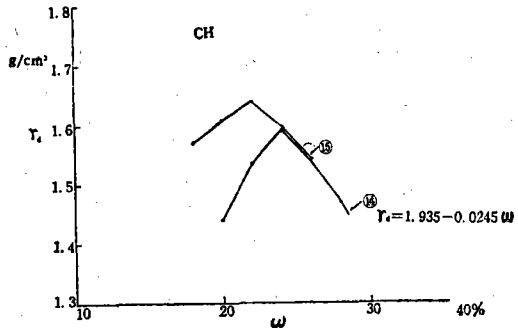


그림 3-3.

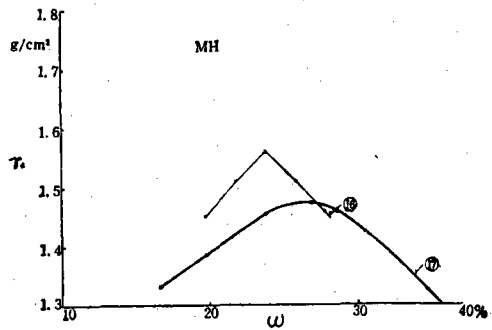


그림 3-4.

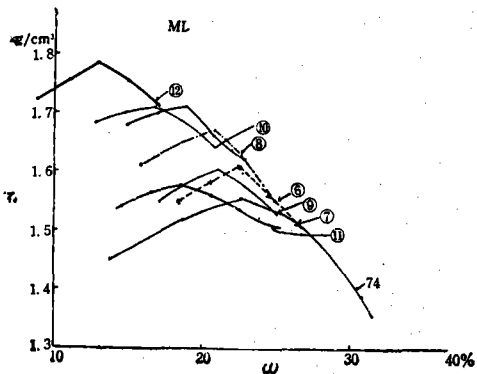


그림 3-2.

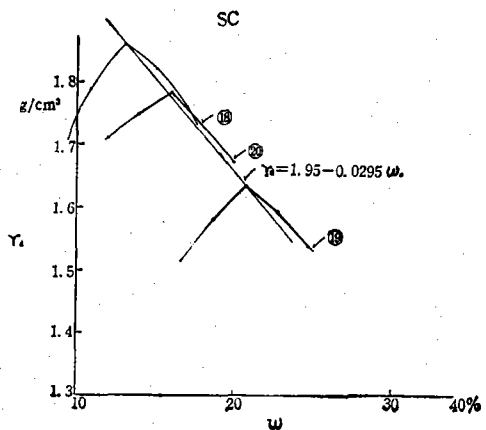


그림 3-5.

透水試驗條件은 앞에서 記述한 바와 같은 含水比 및 다짐率의 變化 卽 8個 條件으로 하였으며 各試

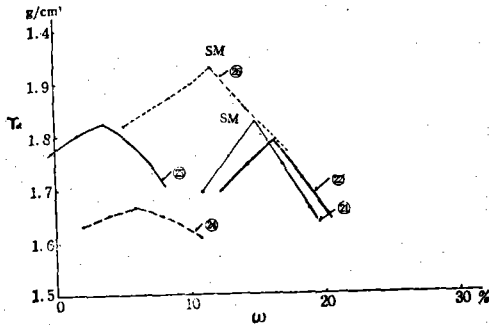


그림 3-6.

料에 對한 透水試驗結果는 表-4와 같다.

表에서 大部分의 試驗(SM除外)은 最適含水比의 100% 다짐에서 透水係數가 1.0×10^{-6} cm/sec 以下の 값으로 堤塘 遮水用코아에 要求되는 水密性이 되나 含水比 및 다짐率의 變化로 因해 密度가 減少될때는 透水係數가 加하며(粗粒의 排粘性土일수록 增加함) 乾燥狀態가 濕潤狀態때보다 透水關係가 더 크게 增加한다.

라. 一軸壓縮 試驗

一軸壓縮 試驗은 直徑 3.5mm, 길이 70mm의 供試體를 8個條件으로 製作하여 非飽和 및 飽和狀態로 區分하여 試驗하였으며 그 結果는 表-5 와 같다.

表-5 에서 最適含水比의 100%로 다질때 非飽和 狀態에서 一軸壓縮強度(q_u)는 大體로 $0.7 \sim 3.0$ kg/

표-4.

투수 시험(K) 결과표

단위 : (cm/sec)

시료명	조건 분류	Wo-4	Wo-2	Wo(100)	Wo+2	Wo+4	97	94	91
		No. 1	CL	4.7×10^{-7}	2.5×10^{-7}	1.7×10^{-7}	3×10^{-7}	5×10^{-7}	1.8×10^{-7}
2	"	8.7×10^{-7}	1.7×10^{-7}	8.0×10^{-8}	1.6×10^{-7}	3.6×10^{-7}	2.7×10^{-7}	8.3×10^{-7}	1.7×10^{-6}
3	"	4.21×10^{-7}	1.94×10^{-7}	1.10×10^{-7}	1.50×10^{-7}	2.73×10^{-7}	1.53×10^{-7}	2.45×10^{-7}	4.16×10^{-7}
4	"	1.22×10^{-6}	4.07×10^{-7}	2.46×10^{-8}	1.0×10^{-7}	4.05×10^{-7}	6.72×10^{-7}	1.44×10^{-6}	2.23×10^{-6}
5	"	1.87×10^{-6}	1.57×10^{-6}	1.78×10^{-7}	6.80×10^{-7}	2.16×10^{-7}	8.30×10^{-7}	6.54×10^{-6}	1.03×10^{-5}
6	ML	2.3×10^{-6}	5.8×10^{-7}	4.7×10^{-7}	5.3×10^{-7}	8.3×10^{-7}	8.8×10^{-7}	3.2×10^{-6}	7.5×10^{-6}
7	"	2.3×10^{-6}	5.8×10^{-7}	1.4×10^{-7}	2.9×10^{-7}	5.8×10^{-7}	8.0×10^{-7}	4.8×10^{-6}	3.4×10^{-6}
8	"	1.25×10^{-6}	6.20×10^{-6}	1.08×10^{-6}	3.55×10^{-6}	5.20×10^{-6}	4.48×10^{-6}	1.09×10^{-6}	2.51×10^{-6}
9	"	3.62×10^{-6}	1.43×10^{-6}	2.82×10^{-7}	4.06×10^{-7}	6.92×10^{-7}	7.00×10^{-7}	1.57×10^{-6}	4.66×10^{-6}
10	"	—	—	—	—	—	—	—	—
11	"	1.57×10^{-6}	6.08×10^{-7}	1.30×10^{-7}	2.50×10^{-7}	5.64×10^{-7}	7.57×10^{-7}	3.04×10^{-6}	7.49×10^{-6}
12	"	5.56×10^{-6}	1.10×10^{-6}	3.40×10^{-7}	1.25×10^{-6}	1.78×10^{-6}	1.21×10^{-6}	2.77×10^{-6}	3.90×10^{-6}
13	"	7.43×10^{-6}	2.02×10^{-6}	5.32×10^{-7}	1.98×10^{-6}	4.50×10^{-6}	1.80×10^{-6}	6.35×10^{-6}	2.64×10^{-5}
14	CH	1.0×10^{-6}	3.3×10^{-7}	6.3×10^{-8}	1.2×10^{-7}	3.0×10^{-7}	2.3×10^{-7}	2.0×10^{-6}	4.4×10^{-6}
15	"	2.76×10^{-6}	1.10×10^{-7}	1.93×10^{-8}	1.14×10^{-7}	1.40×10^{-6}	8.7×10^{-8}	1.74×10^{-7}	3.80×10^{-7}
16	MH	6.5×10^{-6}	1.2×10^{-6}	2.8×10^{-7}	5.2×10^{-7}	2.2×10^{-6}	1.4×10^{-6}	2.7×10^{-6}	7.5×10^{-6}
17	"	4.62×10^{-6}	8.10×10^{-7}	2.72×10^{-7}	4.20×10^{-7}	7.37×10^{-7}	6.6×10^{-7}	2.17×10^{-6}	8.36×10^{-6}
18	SC	1.9×10^{-5}	2.3×10^{-6}	2.2×10^{-7}	4.3×10^{-7}	4.0×10^{-6}	1.7×10^{-6}	8.0×10^{-6}	6.0×10^{-6}
19	"	5.33×10^{-6}	1.02×10^{-6}	1.06×10^{-7}	3.60×10^{-7}	1.57×10^{-6}	3.31×10^{-7}	7.34×10^{-7}	1.31×10^{-6}
20	"	1.65×10^{-6}	2.55×10^{-7}	6.56×10^{-8}	2.45×10^{-7}	7.7×10^{-7}	2.8×10^{-7}	5.35×10^{-7}	7.05×10^{-7}
21	SM	4.3×10^{-5}	3.8×10^{-6}	3.8×10^{-7}	1.4×10^{-6}	7.5×10^{-6}	2.5×10^{-6}	2.2×10^{-6}	1.7×10^{-4}
22	"	6.86×10^{-6}	1.30×10^{-6}	1.17×10^{-7}	2.17×10^{-7}	2.70×10^{-7}	3.50×10^{-7}	9.38×10^{-7}	1.48×10^{-6}
23	"	4.75×10^{-6}	2.13×10^{-6}	5.16×10^{-6}	4.92×10^{-6}	6.05×10^{-6}	1.40×10^{-6}	3.18×10^{-6}	6.93×10^{-6}
24	"	7.46×10^{-6}	4.73×10^{-6}	4.37×10^{-6}	3.68×10^{-6}	7.05×10^{-6}	8.84×10^{-6}	1.90×10^{-6}	3.67×10^{-6}
25	"	4.28×10^{-6}	2.32×10^{-6}	1.26×10^{-6}	1.68×10^{-6}	2.05×10^{-6}	1.20×10^{-6}	6.82×10^{-6}	3.04×10^{-4}

cm² 範圍이고 飽和狀態에서 $0.20 \sim 1.0$ kg/cm² 範圍로 減少될을 보여준다.

卽 試料가 完全飽和 됨으로서 一軸壓縮 強度는 大略 1/3로 減少되는 것을 알수 있었다.

마. 三軸壓縮 試驗

三軸壓縮 試驗用 供試體크고 및 製作條件은 一軸壓縮試驗때와 같다.

三軸試驗은 非壁密 非壓水試驗(U-U Test)을 適用

표-5.

일축 압축(Q_u) 시험결과표

단위 : (kg/cm^2)

시료명	조건 분류	비 포 화 상 태									포 화 상 태						
		ω_0-4	ω_0-2	ω_0 (100)	ω_0+2	ω_0+4	97	94	91	ω_0-4	ω_0-2	ω_0 (100)	ω_0+2	ω_0+4	97	94	91
No. 1	CL	2.3	2.3	2.2	1.4	0.87	1.7	1.4	1.2	0.15	0.21	0.33	0.25	0.19	0.26	0.18	0.12
2	"	2.9	2.5	1.9	1.2	0.43	1.5	1.3	1.2	0.26	0.34	0.4	0.37	0.30	0.27	0.18	0.12
3	"	4.26	4.39	2.64	1.58	1.25	1.83	1.62	1.80	0.16	0.25	0.30	0.21	0.15	0.26	0.14	0.18
4	"	1.91	2.50	2.95	1.82	0.34	1.91	1.75	1.68	0.30	0.65	0.85	0.50	0.40	0.16	0.037	0.03
5	"	5.28	4.64	2.80	2.03	0.90	2.90	2.92	1.96	0.48	0.59	1.50	0.47	0.36	0.35	0.36	0.12
6	ML	1.70	2.3	2.6	1.7	0.6	1.4	1.1	0.66	0.17	0.19	0.24	0.20	0.17	0.18	0.13	0.083
7	"	2.3	2.3	1.7	1.3	0.7	1.5	1.3	0.80	0.17	0.24	0.33	0.18	0.12	0.19	0.12	0.067
8	"	1.70	1.93	2.04	0.99	0.78	0.71	0.39	0.38	0.75	1.50	2.07	1.38	0.80	0.88	0.69	0.50
9	"	2.63	2.92	2.54	1.94	1.18	1.66	1.20	1.07	0.10	0.17	0.20	0.12	0.15	0.05	0.05	0.05
10	"	1.51	1.42	0.82	—	0.93	0.99	0.62	0.39	—	—	0.12	—	0.19	0.09	0.07	0.05
11	"	1.34	2.13	1.85	2.42	1.89	1.41	1.39	0.99	0.28	0.32	0.36	0.30	0.26	0.16	—	—
12	"	5.0	2.92	2.92	2.36	1.01	1.45	1.44	1.18	0.07	0.09	0.13	0.12	0.10	0.11	0.07	0.06
13	"	0.61	1.27	1.67	1.25	1.02	1.64	1.10	1.01	0.24	0.33	0.32	0.24	0.21	0.20	0.12	0.08
14	CH	2.30	2.80	3.20	2.30	1.40	2.6	0.9	1.2	0.0	1.40	0.78	0.60	0.32	0.40	0.26	0.16
15	"	2.05	2.25	2.36	1.89	1.75	1.4	0.91	1.81	0.10	2.50	1.00	0.43	0.32	0.36	0.28	0.18
16	MH	2.50	3.00	2.80	1.60	1.10	2.40	1.90	1.40	0.08	3.13	0.22	0.15	0.11	0.14	0.11	0.07
17	"	2.91	2.00	1.63	1.27	0.7	61.4	31.2	71.2	10.5	50.4	0.47	0.46	0.46	0.47	0.34	0.20
18	SC	2.2	2.0	1.7	0.76	0.42	1.30	0.95	0.70	0.095	0.20	0.37	0.28	0.24	0.22	0.17	0.097
19	"	1.54	2.42	2.89	0.72	0.5	22.8	82.5	91.2	0.0	4.50	0.46	0.68	0.34	0.23	0.29	0.11
20	"	2.25	2.80	3.20	2.02	0.61	3.0	2.2	1.50	0.22	0.50	0.92	0.76	0.26	0.89	0.69	0.19
21	SM	1.3	1.5	1.4	0.7	0.4	1.20	0.87	0.52	0.07	0.15	0.34	0.25	0.15	0.24	0.16	0.07
22	"	1.59	1.46	0.93	0.86	0.79	1.07	1.08	0.86	0.08	0.20	0.26	0.21	0.14	0.22	0.21	0.19
23	"	2.10	1.39	1.20	0.73	0.49	1.03	0.89	0.4	0.3	0.4	0.56	0.49	0.24	0.30	0.18	0.18
24	"	1.58	1.58	0.69	0.84	0.91	0.96	0.96	0.36	0.48	0.59	0.60	0.50	0.36	0.48	0.12	0.24
25	"	1.23	1.26	0.83	0.54	0.41	0.45	0.24	0.16	0.24	0.31	0.43	0.35	0.24	0.30	0.15	0.14

하였으며 橫壁은 0.5, 1.0, 1.5 kg/cm^2 의 範圍로 하였다. 最大密度의 非飽和狀態에서는 粘着力(C)은 0.4 ~ 1.2 kg/cm^2 範圍이고 飽和狀態에서는 0.2 ~ 0.6 kg/cm^2 範圍로 大略 1/2로 減少되었다.

內部摩擦係數($\tan\phi$)는 非飽和狀態에서 0.3 ~ 0.75 範圍인것이 飽和狀態에서 0.15 ~ 0.6 範圍로 減少되었다.

各試料의 三軸壓縮 試驗 結果는 表-6, 表-7과 같다.

IV. 試驗結果 및 考察

1. 粘土粒子(0.005mm)의 含有量 및 200번체(0.074mm) 通過量과 最適含水比와 의 關係

흙의 다짐에 影響을 미치는 要素中 가장 重要한 것은 含水比이며 이는 흙의 粒度에 따라서 變化한다. 本 試驗에서 粒度分析結果에서 求한 粘土粒子 含

有量과 最適含水比와의 關係는 그림 4 와 같다.

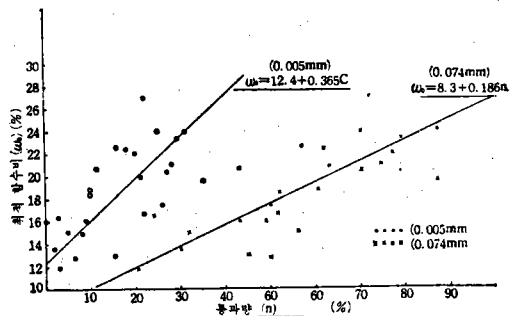


그림 4. 점토(0.005mm) 및 200번체(0.074mm) 통과량과 최적함수비

이 그림 4 에서 0.005mm 含有量 및 0.074mm 通過量이 클때 即 細粒子의 含有量이 많을때는 最適含水比가 커지며 그 關係는 다음과 같은 直線關係가 成立됨을 알수 있다.

표-6.

삼축 압축 시험(점착력-C) 결과표

단위 : (kg/m²)

시료명	조건 분류	비 포 화									포 화								
		ω_0-4	ω_0-2	ω_0 (100)	ω_0+2	ω_0+4	97	94	91	ω_0-4	ω_0-2	ω_0 (100)	ω_0+2	ω_0+4	97	94	91		
No. 1	CL	1.20	1.25	1.10	0.9	0.73	0.90	0.77	0.58	0.13	0.20	0.28	0.25	0.18	0.23	0.16	0.14		
2	"	0.67	0.82	0.97	0.70	0.50	0.86	0.77	0.69	0.23	0.35	0.40	0.30	0.20	0.33	0.26	0.20		
3	"	0.40	0.90	1.30	0.80	0.40	1.16	1.00	0.60	0.50	0.35	—	0.21	0.20	—	—	—		
4	"	1.10	0.94	0.70	0.50	0.26	0.90	0.76	0.55	—	0.30	0.30	0.22	0.11	0.25	0.03	0.025		
5	"	1.50	1.90	1.28	0.62	0.55	1.08	0.90	0.90	0.20	0.25	0.30	0.16	0.12	0.1	40	10	0.09	
6	ML	0.25	0.45	0.62	0.56	0.43	0.53	0.47	0.36	0.13	0.17	0.23	0.17	0.09	0.17	0.08	0.06		
7	"	0.55	0.66	0.77	0.58	0.34	0.62	0.54	0.51	0.22	0.27	0.32	0.18	0.14	0.17	0.12	0.04		
8	"	0.40	0.70	0.95	0.75	0.64	0.60	0.50	0.45	0.10	0.15	0.50	0.30	0.25	0.40	0.30	0.20		
9	"	0.50	0.90	0.80	0.62	0.40	0.80	0.80	1.00	0.25	0.20	0.15	0.15	0.15	0.17	0.12	0.10		
10	"	0.42	0.25	0.15	—	—	0.15	0.14	0.10	—	—	0.10	—	—	0.03	0.02	—		
11	"	0.34	0.46	0.40	0.36	0.27	0.06	0.60	0.67	0.05	0.07	0.08	0.07	0.09	0.06	0.05	0.05		
12	"	0.45	0.60	0.55	0.40	0.17	0.60	0.25	0.15	0.05	0.06	0.20	0.05	0.02	0.12	0.10	0.06		
13	"	1.10	0.95	0.85	0.67	0.55	0.63	0.47	0.40	0.20	0.26	0.35	0.27	0.20	0.36	0.37	0.40		
14	CH	0.76	1.60	1.80	1.20	1.0	1.20	0.30	0.05	0.28	0.36	0.56	0.52	0.40	0.48	0.34	0.26		
15	"	1.0	0.81	0.64	0.58	0.43	0.85	0.68	0.48	0.10	0.10	0.24	0.18	0.14	0.14	0.16	0.12		
16	MH	0.88	1.00	1.20	0.70	0.60	1.00	0.86	0.63	0.10	0.16	0.25	0.16	0.12	0.16	0.13	0.09		
17	"	1.42	1.40	0.80	0.95	0.74	0.70	0.65	0.60	0.28	0.45	0.57	0.35	0.28	0.25	0.20	0.18		
18	SC	0.46	0.54	0.60	0.47	0.33	0.54	0.46	0.67	0.21	0.26	0.32	0.27	0.18	0.23	0.22	0.18		
19	"	1.40	1.23	0.85	0.28	0.10	0.70	0.40	0.10	0.20	0.26	0.30	0.25	0.16	0.24	0.13	0.10		
20	"	0.8	1.20	1.00	0.55	0.17	0.87	0.60	0.35	0.12	0.12	0.52	0.46	0.16	0.45	0.22	—		
21	SM	0.55	0.70	0.77	0.34	0.15	0.48	0.35	0.10	0.12	0.20	0.25	0.15	0.07	0.14	0.09	0.04		
22	"	0.4	0.90	0.45	0.35	0.30	0.40	0.30	0.30	0.04	0.07	0.13	0.10	0.05	0.10	0.07	0.05		
23	"	0.88	0.34	0.52	0.14	0.12	0.48	0.42	0.36	0.10	0.12	0.30	0.16	0.08	0.08	0.10	0.04		
24	"	0.37	0.52	—	0.90	0.28	0.32	0.20	0.14	0.10	0.28	—	0.10	0.12	—	0.10	0.21		
25	"	0.40	0.40	0.55	0.31	0.25	0.45	0.30	0.25	0.20	0.20	0.35	0.15	0.12	0.20	0.15	0.10		

표-7.

삼축 압축 시험(내부마찰력-tanφ) 결과표

시료명	조건 분류	비 포 화 상 태									포 화 상 태								
		ω_0-4	ω_0-2	ω_0 (100)	ω_0+2	ω_0+4	97	94	91	ω_0-4	ω_0-2	ω_0 (100)	ω_0+2	ω_0+4	97	94	91		
No. 1	CL	0.47	0.37	0.32	0.18	0.08	0.33	0.30	0.34	0.092	0.13	0.18	0.13	0.18	0.17	0.16	0.07		
2	"	0.56	0.43	0.22	0.17	0.10	0.23	0.24	0.27	0.070	0.11	0.15	0.097	0.07	0.14	0.13	0.12		
3	"	0.75	0.67	0.42	0.48	0.28	0.44	0.47	0.42	0.190	0.44	0.47	0.32	0.21	0.19	0.12	0.04		
4	"	0.49	0.63	0.78	0.53	0.27	0.58	0.40	0.33	0.340	0.58	0.33	0.190	0.14	0.09	0.07	0.07		
5	"	0.80	0.67	0.60	0.65	0.51	0.66	0.63	0.60	0.430	0.44	0.41	0.520	0.55	0.49	0.39	0.27		
6	ML	0.69	0.66	0.58	0.33	0.29	0.54	0.50	0.48	0.120	0.12	0.14	0.120	0.12	0.14	0.12	0.12		
7	"	0.52	0.39	0.27	0.25	0.20	0.32	0.33	0.34	0.097	0.12	0.16	0.120	0.07	0.12	0.087	0.079		
8	"	0.55	0.42	0.40	0.36	0.18	0.30	0.28	0.25	0.150	0.19	0.12	0.090	0.16	0.15	0.07	0.08		
9	"	0.55	0.46	0.49	0.27	0.23	0.36	0.40	0.27	0.020	0.03	0.09	0.050	0.05	0.05	0.04	0.018		
10	"	—	—	0.28	0.23	0.27	0.23	—	—	—	—	0.09	0.120	0.07	—	—	—		
11	"	0.34	0.40	0.42	0.32	0.21	0.29	0.23	0.17	0.120	0.16	0.20	0.120	0.09	0.07	0.07	0.07		
12	"	0.40	0.42	0.47	0.42	0.32	0.51	0.48	0.36	0.070	0.12	0.16	0.210	0.23	0.12	0.10	0.07		
13	"	0.40	0.51	0.42	0.32	0.28	0.44	0.43	0.46	0.150	0.19	0.23	0.270	0.19	0.27	0.21	0.09		
14	CH	0.60	0.42	0.43	0.28	0.23	0.44	0.46	0.45	0.073	0.12	0.23	0.170	0.13	0.13	0.09	0.095		
15	"	0.16	0.25	0.36	0.23	0.14	0.25	0.23	0.20	0.087	0.16	0.23	0.170	0.10	0.29	0.29	0.10		
16	MH	0.52	0.41	0.42	0.35	0.27	0.37	0.40	0.35	0.089	0.090	0.08	0.080	0.06	0.08	0.06	0.06		
17	"	0.34	0.38	0.36	0.28	0.16	0.36	0.36	0.36	0.340	0.36	0.36	0.250	0.20	0.32	0.27	0.17		
18	SC	0.47	0.42	0.33	0.23	0.14	0.37	0.40	0.45	0.150	0.18	0.25	0.160	0.11	0.21	0.17	0.14		
19	"	0.53	0.45	0.42	0.12	0.05	0.42	0.43	0.49	0.250	0.36	0.35	0.140	0.07	0.36	0.35	0.33		
20	"	0.70	0.51	0.51	0.51	0.21	0.51	0.51	0.49	0.050	0.11	0.29	0.420	0.25	0.30	0.27	0.18		
21	SM	0.39	0.33	0.28	0.19	0.13	0.42	0.47	0.56	0.080	0.15	0.22	0.140	0.10	0.19	0.15	0.12		
22	"	0.32	0.36	0.38	0.36	0.21	0.42	0.34	0.30	0.160	0.21	0.23	0.200	0.14	0.16	0.10	0.02		
23	"	0.67	0.78	0.75	0.78	0.70	0.66	0.64	0.61	0.640	0.67	0.78	0.650	0.62	0.70	0.58	0.47		
24	"	0.78	0.75	0.75	0.63	0.52	0.65	0.67	0.62	0.660	0.51	0.73	0.650	0.55	0.65	0.58	0.55		
25	"	0.75	0.75	0.62	0.55	0.49	0.51	0.58	0.51	0.510	0.58	0.55	0.490	0.46	0.44	0.53	0.49		

가. 粘土의 含量(C)과 最適含水比(Wo)의 關係

$$W_o = 0.365C + 12.5$$

나. 200번체 通過量(n)과 最適含水比의 關係

$$W_o = 0.186n + 8.3$$

2. 200番체 通過量과 最大乾燥密度와의 關係

最大乾燥密度는 最適含水比 때와는 달리 200番체 通過量이 클수록 적어지는것을 볼 수 있으며 이는 그림 5와 같다.

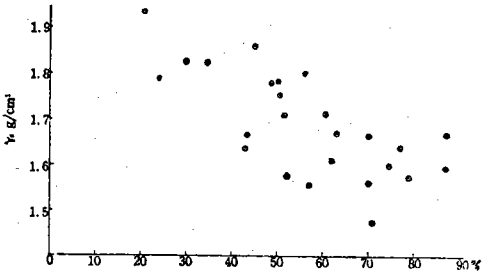


그림 5. 200번체 통과량과 최대건조밀도

3. 最大乾燥密度와 最適含水比의 關係

25個 試料에 對한 最大乾燥密度와 最適含水比와의 關係는 그림 6 과 같으며 이들 關係는 最適含水比가 增加하던 最大乾燥密度는 減少한다. 即 最大乾燥密度는 最適含水比에 反比例하며

$$\gamma_d = 2.167 - 0.026\omega_o$$

의 關係式이 成立된다.

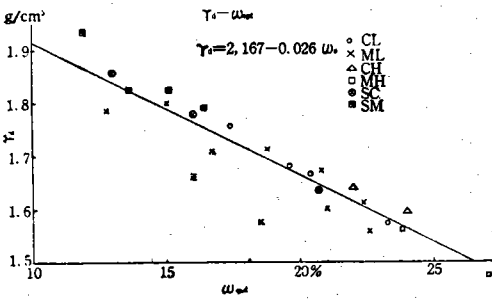


그림 6.

4. 乾燥密度와 間隙比와의 關係

흙의 間隙比는 最適含水比가 增加함에 따라서 比例의므로 增加하고 乾燥密度와는 反比例로 密度가 클때는 間隙比는 減少된다. 이 關係는 그림 7 과 같다.

$$\gamma_d = 2.167e^{-0.455e_s} \quad (0.4 < e_s < 0.9)$$

여기서 e_s ; 間隙比

e ; 2.718.....

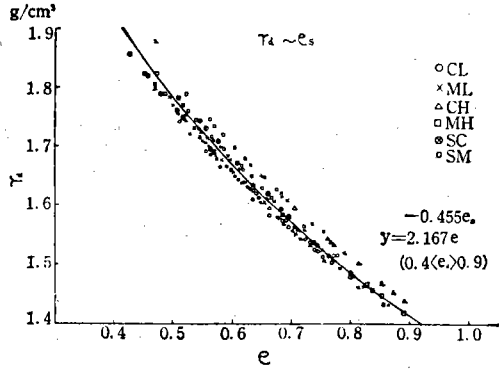


그림 7.

5. 密度와 透水係數와의 關係

含水比 變化에 따른 다짐率 變化와 最適含水比狀態에서 다짐率의 變化와 關聯하여 各 分類別 흙의 透水係數의 變化는 表-8 및 그림 8 과 같다.

이 그림 8 에서 다음과 같은 것을 알수 있다.

㉔ 透水係數는 排粘土가 粘性土보다 크고 粗粒 흙이 細粒흙보다 크다.

㉕ 最適含水比와 最大乾燥密度일때는 SM의 흙을

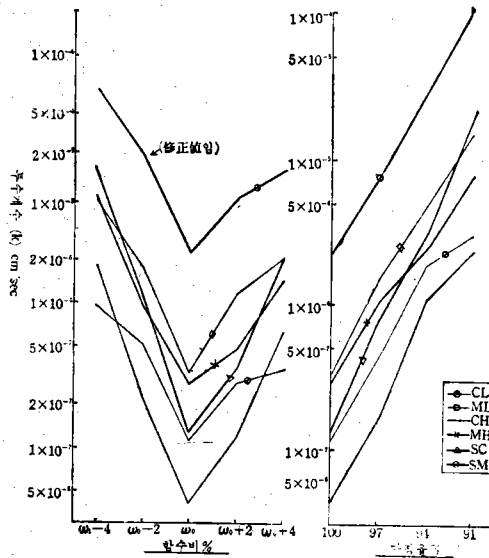


그림 8. 밀도변화와 투수계수(K)

除外하고는 不透水性에 屬하는 透水係數를 보인다.

㉖ 最適含水比를 基準으로 乾燥側의 透水係數는 濕潤側보다 크다.

表-8.

투수계수(K) 종합표

단위 : (cm/sec)

분류	조건	ω_0-4	ω_0-2	$\omega_0(100)$	ω_0+2	ω_0+4	97	94	91
C L	평균	9.6×10^{-7}	5.2×10^{-7}	1.13×10^{-7}	2.80×10^{-7}	3.50×10^{-7}	4.20×10^{-7}	1.87×10^{-6}	3.04×10^{-6}
	최대	1.81×10^{-6}	1.57×10^{-6}	1.78×10^{-7}	6.80×10^{-7}	5.0×10^{-7}	8.3×10^{-7}	6.54×10^{-6}	1.03×10^{-5}
	최소	4.21×10^{-7}	1.70×10^{-7}	2.46×10^{-8}	1.00×10^{-7}	2.16×10^{-7}	1.53×10^{-7}	2.45×10^{-7}	4.16×10^{-7}
M L	평균	5.05×10^{-6}	1.79×10^{-6}	4.25×10^{-7}	1.18×10^{-6}	2.02×10^{-6}	1.52×10^{-6}	4.66×10^{-6}	1.56×10^{-5}
	최대	1.25×10^{-5}	6.20×10^{-6}	1.08×10^{-6}	3.55×10^{-6}	5.20×10^{-6}	4.48×10^{-6}	1.09×10^{-5}	3.40×10^{-5}
	최소	1.57×10^{-6}	5.80×10^{-7}	1.30×10^{-7}	2.50×10^{-7}	5.64×10^{-7}	7.00×10^{-7}	1.57×10^{-6}	3.90×10^{-6}
C H	평균	1.88×10^{-6}	2.2×10^{-7}	4.11×10^{-6}	1.17×10^{-7}	6.7×10^{-7}	1.58×10^{-7}	1.08×10^{-6}	2.39×10^{-6}
	최대	2.76×10^{-6}	3.30×10^{-7}	6.30×10^{-6}	1.20×10^{-7}	1.0×10^{-6}	2.30×10^{-7}	2.00×10^{-6}	4.40×10^{-6}
	최소	1.00×10^{-6}	1.10×10^{-7}	1.93×10^{-6}	1.14×10^{-7}	3.4×10^{-7}	8.70×10^{-8}	1.74×10^{-7}	3.80×10^{-7}
M H	평균	5.56×10^{-6}	1.00×10^{-6}	2.75×10^{-7}	4.7×10^{-7}	1.47×10^{-6}	1.03×10^{-6}	2.43×10^{-6}	7.93×10^{-6}
	최대	6.50×10^{-6}	1.20×10^{-6}	2.80×10^{-7}	5.2×10^{-7}	2.20×10^{-6}	1.40×10^{-6}	2.70×10^{-6}	8.36×10^{-6}
	최소	4.62×10^{-6}	8.10×10^{-7}	2.72×10^{-7}	4.2×10^{-7}	7.37×10^{-7}	6.60×10^{-7}	2.17×10^{-6}	7.50×10^{-6}
S C	평균	8.66×10^{-6}	1.16×10^{-6}	1.30×10^{-7}	3.45×10^{-7}	2.11×10^{-6}	7.70×10^{-7}	3.09×10^{-6}	2.09×10^{-5}
	최대	1.90×10^{-5}	2.30×10^{-6}	2.20×10^{-7}	4.30×10^{-7}	4.0×10^{-6}	1.70×10^{-6}	8.00×10^{-6}	6.00×10^{-5}
	최소	1.65×10^{-6}	2.55×10^{-7}	6.56×10^{-8}	2.45×10^{-7}	7.70×10^{-7}	2.80×10^{-7}	5.35×10^{-7}	7.05×10^{-7}
S M	평균	2.96×10^{-6}	1.09×10^{-6}	2.26×10^{-6}	5.40×10^{-6}	8.26×10^{-6}	7.50×10^{-6}	2.84×10^{-6}	1.20×10^{-4}
	최대	4.28×10^{-5}	2.13×10^{-5}	5.16×10^{-6}	1.68×10^{-5}	2.05×10^{-5}	1.40×10^{-6}	6.82×10^{-6}	3.04×10^{-4}
	최소	6.86×10^{-6}	1.30×10^{-6}	1.17×10^{-7}	2.17×10^{-7}	2.70×10^{-7}	3.50×10^{-7}	9.38×10^{-7}	1.48×10^{-6}

이러한 現象은 細粒층보다 粗粒층에서 粘性층에서 보다 非粘性층에서 그 影響이 顯著하다.

⊕ 粘性층은 $W0 \pm 2\%$ 範圍內에서 그리고 다짐率로는 97% 以上에서 透水係수가 적어 (1.0×10^{-6} cm/sec 未滿) 透水性층으로 使用할수 있으나 非粘性층에서는 含水比 變化 및 다짐率 低下로 透水係수가 커져서 下透水性 材料(遮水壁)로 使用하고자 할때는 特別한 注意를 要한다.

6. 密度와 一軸壓縮 強度와의 關係

最適含水比를 基準으로하여 含水比가 變化하면 剪斷強度가 低下한다. 또한 含水比는 變化시키지 않고 다짐率을 달리하면 剪斷強度 試驗值가 달리하는데 이는 表-9 및 그림 9와 같다.

⊕ 非飽和狀態에서는 含水比가 클수록 一軸壓縮強度는 적어지며 다짐率이 적을수록 이에 比例하여 그 값은 적어진다. 그러나 最適含水比를 基準으로 하여 飽和되었을때 乾燥側 또는 過濕側의 一軸壓縮強度는 적어지고 다짐率이 나저 길수록 非飽和狀態 때와 같이 그 값이 적어진다.

⊕ 最適含水比 보다 乾燥側의 試料가 非飽和狀態일때는 큰 값을 나타내나 이것이 그대로 飽和될 境遇에서는 濕潤狀態에서 다졌을때보다 더 작은 값을

나타낸다.

⊕ 一軸壓縮 強度는 密度가 클때는 大體로 粘性층일수록 그 값이 크나 含水比 變化가 크거나 또는 다짐率이 낮은때의 試料가 飽和되었을때는 이러한 關係가 成立되지 않는다. 그 原因은 間隙率이 커져 試料가 飽和되었을때 飽和수로 因해 층의 粘性이 弱

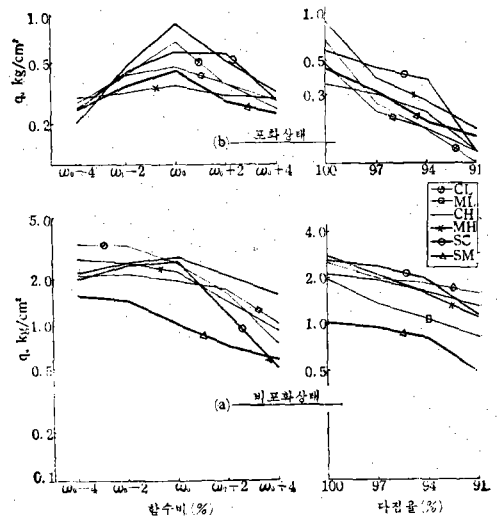


그림 9. 밀도변화와 일축압축(q_u)치

表-9. 일축 압축 전단력(qu) 종합표 單位 : (kg/cm²)

분 류	조 건	ω_0-4	ω_0-2	$\omega_0(100)$	ω_0+2	ω_0+4	97	94	91
C L	비포화	3.33+1.95 -1.42	3.27+1.37 -0.97	2.50+0.45 -0.60	1.61+0.42 -0.42	0.76+0.49 -0.42	1.97+0.93 -0.47	1.80+1.12 -0.50	1.57±0.38
	포 화	0.27+0.21 -0.12	0.41+0.24 -0.20	0.67+0.37 -0.37	0.36+0.15 -0.15	0.28±0.12	0.26±0.10	0.18+0.18 -0.14	0.11±0.08
M L	비포화	2.10+0.29 -0.15	2.15+0.77 -0.88	1.94+0.66 -0.12	1.70+0.72 -0.12	1.01+0.88 -0.41	1.34+0.32 -0.63	1.07+0.37 -0.67	0.81+0.37 -0.43
	포 화	0.25+0.50 -0.1E	0.41+1.10 -0.32	0.47+1.60 -0.35	0.36+1.02 -0.24	0.25+0.55 -0.15	0.23+0.65 -0.18	0.18+0.51 -0.13	0.13+0.37 -0.43
C H	드러화	2.17±0.13	2.52±0.28	2.78±0.42	2.10±0.20	1.57±0.17	2.05±0.55	1.54±0.36	1.10±0.10
	포 화	0.20±0.05	0.47±0.12	0.89±0.11	0.51±0.08	0.32±0	0.38±0.02	0.27±0	0.17±0
M H	비포화	2.70±0.20	2.50±0.50	2.21±0.60	1.43±0.17	0.93±0.07	1.91±0.50	1.60±0.30	1.30±0.10
	포 화	0.29±0.23	0.31±0.18	0.35±0.12	0.30±0.15	0.28±0.17	0.30±0.17	0.23±0.11	0.13±0.07
S C	비포화	2.00+0.25 -0.46	2.41±0.40	2.60+0.60 -0.90	1.17+0.85 -0.45	0.52±0.10	2.39+0.61 -1.10	1.91+0.68 -0.96	1.13+0.37 -0.43
	포 화	0.25+0.20 -0.15	0.43+0.16 -0.23	0.58+0.34 -0.21	0.57+0.19 -0.29	0.28±0.05	0.45+0.44 -0.23	0.38+0.31 -0.21	0.13+0.06 -0.03
S M	비포화	1.56+0.54 -0.33	1.44+0.14 -0.18	1.01+0.40 -0.33	0.73+0.13 -0.19	0.60+0.31 -0.20	0.94+0.26 -0.40	0.80+0.28 -0.56	0.48+0.38 -0.32
	포 화	0.25+0.23 -0.18	0.35+0.24 -0.20	0.44±0.18	0.36±0.14	0.23+0.13 -0.10	0.31+0.17 -0.10	0.20+0.10 -0.05	0.16±0.08

化되기 때문이라 생각된다.

7. 密度와 粘着力과의 關係

흙의 分類別 含水比 및 다짐率變化에 對한 粘着力의 값은 表-10 및 그림 10과 같다.

㉔ 非飽和狀態에서는 最適含水比 및 이보다 多少 乾燥한 狀態에서 粘着力은 크고 含水比가 많아지면 粘着力은 漸次 적어진다.

㉕ 最適含水比를 基準으로 乾燥狀態나 濕潤狀態나 다같이 그 값은 적어진다.

㉖ 다짐率이 低下될때는 이에 比例하여 粘着力이 적어지며 試料가 飽和될 境遇는 그 減少率이 더 크며 이와같은 現象은 細粒흙에서보다 粗粒흙에서 더 뚜렷하게 나타났다.

8. 密度와 内部摩擦係數와의 關係

흙의 含水比 및 다짐率變化에 따른 非飽和 및 飽和狀態의 흙의 内部摩擦係數變化는 表-11 및 그림 11과 같다.

㉗ 非飽和狀態에서는 濕潤때 多少 内部摩擦係數가 적어지기는하나 含水比變化나 다짐率 低下로 인한 큰變化는 없다.

㉘ 飽和狀態에서는 含水比나 다짐率變化에 依한 흙의 内部摩擦係數의 減少現象은 뚜렷하다.

9. 粘着力과 一軸壓縮 強度와의 關係

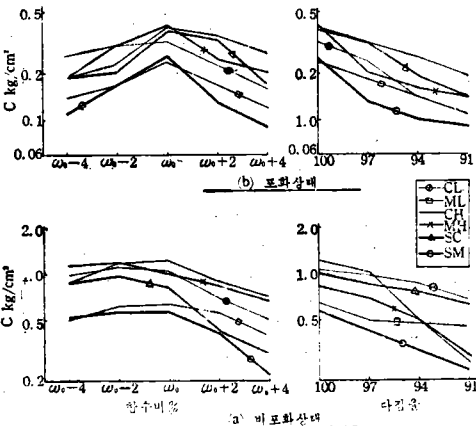


그림 10. 밀도변화와 점착력(C)

表-10.

접착력 (C) 종합표

(kg/cm²)

분 류	조 건	ω_0-4	ω_0-2	$\omega_0(100)$	ω_0+2	ω_0+4	97	94	91
C L	비포화	0.98+0.52 -0.58	1.12+0.58 -0.30	1.07+0.29 -0.43	0.70±0.20	0.5+0.22 -0.25	0.98+0.18 -0.12	0.85+0.15 -0.10	0.66+0.24 -0.11
	포 화	0.26+0.24 -0.13	0.30+0.05 -0.10	0.32+0.10 -0.08	0.23±0.09	0.16±0.05	0.24+0.08 -0.11	0.14+0.29 -0.18	0.11+0.51 -0.21
M L	비포화	0.50+0.60 -0.25	0.62+0.33 -0.37	0.64+0.31 -0.50	0.56±0.20	0.40±0.24	0.50+0.30 -0.44	0.47±0.33	0.45+0.55 -0.35
	포 화	0.14±0.10	0.17±0.10	0.24+0.26 -0.16	0.17±0.13	0.12+0.48 -0.10	0.18+0.22 -0.15	0.14+0.23 -0.12	0.11+0.29 -0.09
C H	비포화	0.88±0.12	1.20±0.40	1.22±0.58	0.89±0.31	0.71±0.28	1.02±0.18	0.49±0.19	0.26±0.22
	포 화	0.19±0.10	0.23±0.13	0.40±0.16	0.35±0.17	0.27±0.13	0.31±0.17	0.25±0.10	0.19±0.07
M H	비포화	1.15±0.27	1.20±0.20	1.00±0.20	0.82±0.03	0.67±0.07	0.85±0.15	0.75±0.10	0.62±0.02
	포 화	0.19±0.09	0.30±0.15	0.41±0.16	0.25±0.05	0.20±0.08	0.20±0.05	0.16±0.04	0.14±0.04
S C	비포화	0.89+0.51 -0.43	0.99+0.24 -0.45	0.82+0.18 -0.22	0.43+0.12 -0.15	0.30+0.03 -0.20	0.70+0.17 -0.90	0.50±0.10	0.29+0.12 -0.19
	포 화	0.18+0.02 -0.06	0.21+0.05 -0.09	0.38+0.14 -0.08	0.33+0.20 -0.11	0.17±0.01	0.32+0.13 -0.08	0.19+0.03 -0.09	0.14±0.14
S M	비포화	0.52±0.08	0.57±0.10	0.57+0.09 -0.13	0.41±0.03	0.22±0.04	0.43+0.05 -0.11	0.31±0.04	0.23+0.12 -0.05
	포 화	0.11±0.08	0.17±0.10	0.26+0.09 -0.13	0.13±0.03	0.09±0.04	0.13±0.06	0.10±0.04	0.09+0.12 -0.05

表-11.

내부 마찰력 (antφ) 종합표

분 류	조 건	ω_0-4	ω_0-2	$\omega_0(100)$	ω_0+2	ω_0+4	97	94	91
C L	비포화	0.61+0.19 -0.14	0.55+0.12 -0.18	0.47+0.31 -0.25	0.40±0.24	0.25+0.26 -0.17	0.45±0.22	0.41+0.22 -0.17	0.39+0.21 -0.12
	포 화	0.22+0.21 -0.15	0.34+0.14 -0.23	0.31±0.16	0.25+0.27 -0.15	0.21+0.34 -0.14	0.22+0.27 -0.13	0.17+0.22 -0.10	0.11+0.16 -0.07
M L	비포화	0.49+0.20 -0.15	0.46+0.20 -0.07	0.42±0.15	0.31+0.11 -0.08	0.25±0.07	0.37+0.17 -0.14	0.38+0.12 -0.15	0.33±0.15
	포 화	0.10+0.05 -0.13	0.13+0.06 -0.10	0.15+0.08 -0.06	0.14+0.13 -0.10	0.12+0.11 -0.08	0.13+0.14 -0.08	0.10±0.11 -0.06	0.08+0.04 -0.06
C H	비포화	0.38±0.22	0.33±0.08	0.40±0.04	0.25±0.03	0.18±0.05	0.35±0.10	0.35±0.11	0.33±0.12
	포 화	0.08±0	0.14±0.02	0.23±0	0.17±0	0.11±0.02	0.21±0.08	0.19±0.10	0.10±0
M H	비포화	0.48±0.04	0.40±0.02	0.39±0.03	0.31±0.04	0.21±0.05	0.36±0	0.38±0.02	0.33±0
	포 화	0.21±0.13	0.22±0.14	0.22±0.14	0.16±0.08	0.11±0.07	0.20±0.12	0.16±0.10	0.12±0.05
S C	비포화	0.57+0.13 -0.10	0.46±0.04	0.42+0.09 -0.09	0.29+0.22 -0.17	0.18±0.08	0.43±0.07	0.45+0.06 -0.05	0.48+0.01 -0.08
	포 화	0.15±0.10	0.22+0.14 -0.11	0.30+0.05 -0.05	0.24+0.18 -0.10	0.14+0.11 -0.07	0.29±0.07	0.28+0.07 -0.11	0.22+0.11 -0.08
S M	비포화	0.58+0.20 -0.26	0.59+0.19 -0.26	0.55+0.20 -0.27	0.50+0.28 -0.31	0.41+0.11 -0.18	0.53+0.13 -0.11	0.54+0.04 -0.20	0.52+0.10 -0.22
	포 화	0.41+0.25 -0.33	0.42±0.26	0.50±0.27	0.43+0.22 -0.29	0.37+0.25 -0.27	0.43+0.27	0.39+0.19 -0.29	0.33+0.22 -0.31

흙의 工學的 性質綜合表

분 류	C kg/cm ²							
	ω_0+4	W_0+2	ω_0-2	ω_0-4	100%	97%	94%	91%
C L	0.5+0.22 -0.25	0.70±0.20	1.12+0.58 -0.30	0.98+0.52 -0.58	1.07+0.29 -0.43	0.98+0.18 -0.12	0.85+0.15 -0.10	0.66+0.22 -0.13
	0.16±0.05	0.23+0.09 -0.15	0.30+0.05 -0.10	0.26+0.24 -0.13	0.30+0.10 -0.08	0.25+0.08 -0.11	0.14+0.19 -0.12	0.11+0.19 -0.57
M L	0.40±0.24	0.56±0.20	0.62+0.33 -0.37	0.50+0.60 -0.25	0.64+0.31 -0.50	0.50+0.30 -0.44	0.47±0.33	0.45±0.49 -0.52
	0.12±0.09	0.17±0.13	0.17±0.10	0.14±0.10	0.24+0.26 -0.16	0.18+0.22 -0.15	0.14+0.23 -0.12	0.11+0.29 -0.04
C H	0.71±0.28	0.89±0.31	1.20±0.40	0.88±0.12	1.22±0.58	1.02±0.18	0.49±0.19	0.26±0.22
	0.27±0.13	0.35±0.17	0.23±0.13	0.19±0.10	0.40±0.16	0.31±0.17	0.25±0.10	0.19±0.09
M H	0.67±0.07	0.82±0.03	1.20±0.20	1.15±0.27	1.00±0.20	0.85±0.15	0.75±0.10	0.62±0.05
	0.20±0.08	0.25±0.05	0.30±0.15	0.19±0.09	0.41±0.16	0.20±0.05	0.16±0.04	0.14±0.05
S C	0.30+0.03 -0.20	0.43+0.12 -0.15	0.99+0.24 -0.45	0.89+0.51 -0.43	0.82+0.18 -0.22	0.70±0.16	0.50±0.10	0.29+0.12 -0.15
	0.17±0.01	0.33+0.23 -0.10	0.21+0.05 -0.09	0.18+0.02 -0.06	0.38+0.14 -0.08	0.32+0.13 -0.08	0.19+0.03 -0.09	0.14±0.00
S M	0.22±0.04	0.41±0.03	0.57±0.10	0.52±0.08	0.57+0.09 -0.13	0.43±0.06	0.31±0.04	0.23+0.10 -0.00
	0.09±0.04	0.13±0.03	0.17±0.10	0.11±0.08	0.26+0.09 -0.13	0.13±0.06	0.10±0.04	0.09±0.12 -0.12

분 류	tan ϕ							
	ω_0+4	ω_0+2	ω_0-2	ω_0-4	100%	97%	94%	91%
C L	0.25+0.26 -0.17	0.40±0.24	0.55+0.12 -0.18	0.61±0.19 -0.14	0.47+0.31 -0.25	0.45±0.22	0.41+0.22 -0.17	0.39+0.21 -0.12
	0.21+0.34 -0.14	0.25+0.27 -0.15	0.34+0.14 -0.23	0.22+0.21 -0.15	0.31±0.16	0.22+0.27 -0.13	0.17+0.22 -0.10	0.11+0.16 -0.07
M L	0.25±0.07	0.31+0.11 -0.08	0.46+0.20 -0.07	0.49+0.20 -0.15	0.42±0.15	0.37+0.17 -0.14	0.38+0.12 -0.15	0.33±0.15
	0.12+0.11 -0.08	0.14+0.13 -0.10	0.13+0.06 -0.10	0.10+0.05 -0.13	0.15+0.08 -0.06	0.13+0.14 -0.08	0.10+0.11 -0.06	0.08+0.04 -0.06
C H	0.18±0.05	0.25±0.03	0.33±0.08	0.38±0.22	0.40±0.04	0.35±0.10	0.35±0.11	0.33±0.12
	0.11±0.02	0.17±0	0.14±0.02	0.08±0	0.23±0	0.21±0.08	0.19±0.10	0.10±0
M H	0.21±0.05	0.31±0.04	0.40±0.02	0.48±0.04	0.39±0.03	0.36±0	0.38±0.02	0.35±0
	0.16±0.10	0.16±0.08	0.22±0.14	0.21±0.13	0.22±0.14	0.20±0.12	0.16±0.10	0.12±0.05
S C	0.18±0.08	0.29+0.22 -0.17	0.46±0.04	0.57+0.13 -0.10	0.42±0.09	0.43±0.07	0.45±0.05	0.45±0.05
	0.48+0.01 -0.03	0.14+0.11 -0.07	0.24+0.18 -0.10	0.22+0.14 -0.11	0.15±0.10	0.30±0.05	0.29±0.07	0.28+0.07 -0.11
S M	0.22+0.11 -0.08	0.41+0.11 -0.18	0.50±0.30	0.59+0.19 -0.26	0.58+0.20 -0.26	0.55+0.20 -0.27	0.53+0.13 -0.11	0.54+0.00 -0.22
	0.52+0.10 -0.22	0.37+0.25 -0.27	0.43+0.22 -0.29	0.42±0.26	0.4+0.25 -0.33	0.50±0.27	0.39+0.19 -0.29	0.33+0.24 -0.31

분류	qu kg/cm ²							
	ω_0+4	ω_0+2	ω_0-2	ω_0-4	100%	97%	94%	91%
CL	0.76+0.49 -0.42	1.61±0.42	3.27+1.37 -0.97	3.33+1.95 -1.42	2.50+0.45 -0.60	1.97+0.93 -0.47	1.80+1.12 -0.50	1.57±0.38
	0.28±0.12	0.36±0.15	0.41+0.24 -0.20	0.27+0.21 -0.12	0.67+0.37 -0.37	0.26±0.10	0.18+0.18 -0.14	0.11±0.08
ML	1.01+0.88 -0.41	1.70±0.72	2.15+0.77 -0.88	2.10+0.29 -0.15	1.94+0.66 -0.12	1.34+0.32 -0.63	1.07+0.37 -0.67	0.81+0.37 -0.43
	0.25+0.55 -0.15	0.36+1.02 -0.24	0.41+1.10 -0.32	0.25+0.50 -0.18	0.47+1.60 -0.35	0.23+0.65 -0.18	0.18+0.51 -0.13	0.13+0.37 -0.08
CH	1.57±0.17	2.10±0.20	2.52±0.28	2.17±0.13	2.78±0.42	2.05±0.55	1.54±0.36	1.10±0.10
	0.32±0	0.51±0.08	0.47±0.12	0.20±0.05	0.89±0.11	0.38±0.02	0.27±0	0.17±0
MH	0.93±0.07	1.43±0.17	2.50±0.50	2.70±0.20	2.21±0.60	1.91±0.50	1.60±0.30	1.30±0.10
	0.28±0.17	0.30±0.15	0.31±0.18	0.29±0.23	0.35±0.12	0.30±0.17	0.23±0.11	0.13±0.07
SC	0.52±0.10	1.17+0.85 -0.45	2.41±0.40	2.00+0.25 -0.46	2.60+0.60 -0.90	2.39+0.61 -1.10	1.91+0.68 -0.96	1.13+0.37 -0.43
	0.28±0.05	0.57+0.19 -0.29	0.43+0.16 -0.23	0.25+0.20 -0.15	0.58+0.34 -0.21	0.45+0.44 -0.23	0.38+0.31 -0.21	0.13+0.08 -0.06
SM	0.60+0.31 -0.20	0.73+0.13 -0.19	1.44+0.14 -0.18	1.56+0.54 -0.33	1.01+0.40 -0.33	0.94+0.26 -0.49	0.80+0.28 -0.56	0.48+0.32 -0.33
	0.23+0.13 -0.10	0.36±0.14	0.35+0.24 -0.20	0.25+0.23 -0.18	0.44±0.18	0.31+0.17 -0.10	0.20+0.10 -0.05	0.16±0.08
분류	k cm/sec							
	ω_0+4	ω_0+2	ω_0-2	ω_0-4	100%	97%	94%	91%
CL	3.50×10^{-7}	2.80×10^{-7}	5.20×10^{-7}	9.60×10^{-7}	1.13×10^{-7}	4.20×10^{-7}	1.87×10^{-6}	3.04×10^{-6}
	최대 5.0×10^{-7}	6.80×10^{-7}	1.57×10^{-6}	1.81×10^{-6}	1.78×10^{-7}	8.30×10^{-7}	6.54×10^{-6}	1.03×10^{-5}
	최소 2.16×10^{-7}	1.00×10^{-7}	1.70×10^{-7}	4.21×10^{-7}	2.46×10^{-5}	1.53×10^{-7}	2.45×10^{-7}	4.16×10^{-5}
ML	2.02×10^{-6}	1.18×10^{-6}	1.79×10^{-6}	5.05×10^{-6}	4.25×10^{-7}	1.52×10^{-6}	4.66×10^{-6}	1.56×10^{-5}
	최대 5.20×10^{-6}	3.55×10^{-6}	6.20×10^{-6}	1.25×10^{-5}	1.08×10^{-6}	4.48×10^{-6}	1.09×10^{-5}	3.40×10^{-7}
	최소 5.64×10^{-7}	2.50×10^{-7}	5.80×10^{-7}	1.57×10^{-6}	1.30×10^{-7}	7.00×10^{-7}	1.57×10^{-6}	3.90×10^{-7}
CH	6.7×10^{-7}	1.17×10^{-7}	2.2×10^{-7}	1.88×10^{-6}	4.11×10^{-5}	1.58×10^{-7}	1.08×10^{-6}	2.39×10^{-5}
	최대 1.0×10^{-6}	1.20×10^{-7}	3.30×10^{-7}	2.76×10^{-6}	6.30×10^{-6}	2.30×10^{-7}	2.00×10^{-6}	4.40×10^{-6}
	최소 3.4×10^{-7}	1.14×10^{-7}	1.10×10^{-7}	1.00×10^{-6}	1.93×10^{-6}	8.70×10^{-6}	1.74×10^{-7}	3.80×10^{-7}
MH	1.47×10^{-6}	4.7×10^{-7}	1.00×10^{-5}	5.56×10^{-6}	2.75×10^{-7}	1.03×10^{-6}	2.43×10^{-6}	7.93×10^{-6}
	최대 2.20×10^{-6}	5.20×10^{-7}	1.20×10^{-6}	6.50×10^{-6}	2.80×10^{-7}	1.40×10^{-6}	2.70×10^{-6}	8.36×10^{-6}
	최소 7.37×10^{-7}	4.20×10^{-7}	8.10×10^{-7}	4.62×10^{-6}	2.72×10^{-7}	6.60×10^{-7}	2.17×10^{-6}	7.50×10^{-6}
SC	2.11×10^{-6}	3.45×10^{-7}	1.16×10^{-6}	8.66×10^{-6}	1.30×10^{-7}	7.70×10^{-7}	3.09×10^{-6}	2.09×10^{-5}
	최대 4.0×10^{-6}	4.30×10^{-7}	2.30×10^{-6}	1.90×10^{-5}	2.20×10^{-7}	1.70×10^{-6}	8.00×10^{-6}	6.00×10^{-6}
	최소 8.70×10^{-7}	2.45×10^{-7}	2.55×10^{-7}	1.65×10^{-6}	6.56×10^{-6}	2.80×10^{-7}	5.35×10^{-7}	7.05×10^{-6}
SM	8.26×10^{-6}	5.40×10^{-6} (R)	1.09×10^{-5}	2.96×10^{-5}	2.26×10^{-6}	7.50×10^{-6}	2.84×10^{-5}	1.20×10^{-4}
	최대 2.05×10^{-5}	1.68×10^{-5}	2.13×10^{-5}	4.28×10^{-5}	5.16×10^{-6}	1.40×10^{-5}	6.82×10^{-5}	3.04×10^{-5}
	최소 2.70×10^{-7}	2.17×10^{-7}	1.30×10^{-6}	6.86×10^{-6}	1.17×10^{-7}	3.50×10^{-7}	9.38×10^{-7}	1.48×10^{-5}

- ※ 1) C, ϕ , qu에서 상단은 비포화시의 값이고 하단(적자)은 포화시의 값임.
 2) ω_0 는 최적 함수비이고 +는 과습, -는 건조임.
 3) 시험에 사용된 시료는 CL 5개, ML 8개, CH 2개, MH 2개, SC 3개, SM 5개임.
 4) %로 표시된 것은 다짐율을 나타낸 것임.
 5) ±는 앞에 수치에서 가감하여 사용할 수치를 표시함.
 가감 기준은 점토분 함량에 의할것.
 6) k 값은 상단이 평균치이고 하단에 최대치와 최소치를 나타내었음.
 최대, 최소치 사용은 점토분 함량 및 액성한계를 고려하여 사용할것.
 (R) 도면에서보정

흙의 一軸壓縮 強度는 흙의 粘着力에 依하여 變化한다고 보겠다.

이들 關係는 그림 12 및 그림 13과 같다.

粘着力은 一軸壓縮 強度에 比例하며 非飽和時에는

$$C=0.1+0.35qu$$

飽和時에는

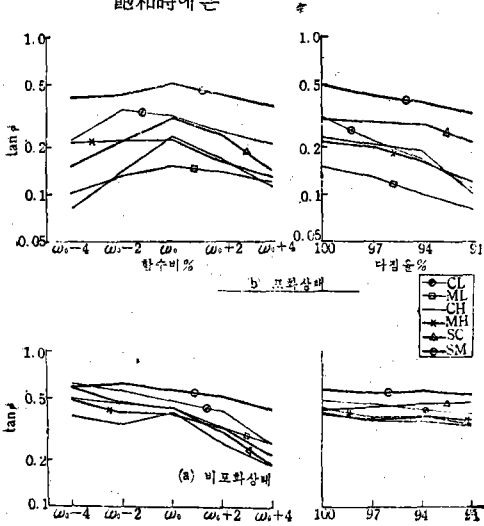


그림 11. 밀도변화와 내부마찰력 (tanφ)

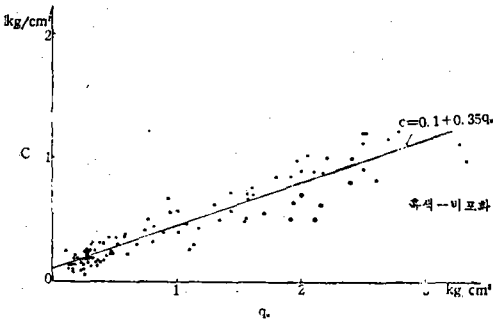


그림 12. 점착력과 일축압축 전단력과의 관계 (비포화)

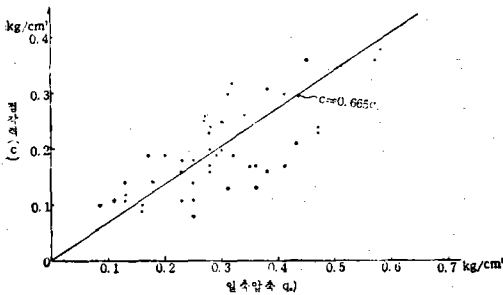


그림 13. 점착력과 일축압축 전단력과의 관계 (포화상태)

$$C=0.665qu$$

로 나타낼수 있다.

V. 結 言

흙재료의 密度 및 含水比 變化에 依한 工學的 諸性質의 本研究試驗에서 얻은 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 흙의 粒子가 細粒일수록 最適含水比는 크며 200 番체 通過量 (n)와 最適含水比(W₀) 사이에서는

$$W_0=0.186n+8.3$$

의 直線關係가 成立된다.

2. 最適含水比가 增加하면 最大乾燥密度는 減少하며 이들사이에는

$$\gamma_d=2,167-0.026\omega_0$$

의 直線 關係가 成立된다.

3. 흙의 間隙比 (e_s)는 乾燥密度가 클수록 적어지며 이들 사이에는

$$\gamma_d=2,167e^{-0.488e_s} \quad (0.4 < e_s < 0.9)$$

의 關係가 成立된다.

4. 乾燥密度가 적을수록 透水係數는 增加하며 이 增加現象은 細粒흙보다 粗粒흙에서 粘性흙보다 非粘性흙에서 影響이 더 크게 나타난다.

5. 같은 密度일지라도 濕潤側이 乾燥側에 比하여 透水係數가 낮다.

6. 乾燥密度가 적어지면 一軸壓縮強度도 적어지나 乾燥狀態에서 다진것이 非飽和時에는 多少 커진다. 그러나 이것이 飽和된 境遇는 濕潤狀態에서 다스것보다 더 적어지는 傾向이 있다.

7. 一軸壓縮 強度는 같은 密度에서 粘性이 많을수록 커진다.

단 密度가 적고 飽和되었을 때는 이 關係는 成立되지 않는다.

8. 最適含水比보다 多少 乾燥된 狀態로 다졌을 境遇 非飽和狀態에서 흙의 粘着力은 濕潤때 값보다 크나 飽和된 境遇는 密度가 적어짐에 따라 그 값도 적어진다.

9. 다짐率이 減少됨에 따라 粘着力이 減少되는데 이는 細粒흙보다 粗粒흙에서 影響이 크다.

10. 흙의 内部摩擦角은 非飽和時에는 含水比나 다짐率 變化에 따라 큰 變動이 없으나 飽和時에는 密度에 影響을 받는다.

11. 흙의 粘着力은 一軸壓縮 強度에 比例한다.

이 試驗을 遂行함에 있어 농공시험소 土質保職員 들의 努苦가 많았음을 附言한다.

參 考 文 獻

- 1) 강예목, 1969, 흙 다짐에 關한 研究 1. 농공학 회지 Vol. 11, No. 4
- 2) " , 1970, " 2. " Vol. 12, No. 3
- 3) 高瀬ダムと七倉ダムの粘土材料, 發電水力 No. 129, 1974. 3
- 4) 久野悟郎. 1962, 土の締固め. 技報堂 57
- 5) 김주범 1974, 河成堆積層地盤調査結果. 농공학 회지 Vol. 16, No. 4.
- 6) Matyas, E.L., 1967, "Air and water permeability of Compacted Sails" A.S.T.M. Spec. Pub, No. 417.
- 7) Mitchell. J.K, and D.R. Hooper 1965, "Permeability of compacted clay" Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division A.S.C. E. Vol. 91, No. SM4
- 8) 윤충섭 1971, 築堤用흙의 含水比變化에 依한 다짐率 및 透水係數變化에 關한 研究 농공 학회지 Vol. 13, No. 4
- 9) 윤충섭 1973, 築堤用흙의 密度變化에 依한 透水係數에 關한 研究 농공학회지 Vol. 15, No.1
- 10) 李正典 1974, 흙의 最大乾燥密度 및 最適 含水比와 自然含水比의 相關性에 對하여 농공학회지 Vol. 16, No. 3
- 11) Terzaghi. K. and R.B. Peck 1968, "Soil Mechanics in Engineering Practice" John Wiley and Sons, Inc.
- 12) T. WILLIAM LAMBE & ROBERT V. WHITMAN, 1968, Soil Mechanics, Wiley International Edition.
- 13) 土質試驗法. 1975, 土質工學會.
- 14) 黒川ダム 1975, 盛立材料の品質管理について發電水力 No. 135
- 15) 渡邊邦男 1975, 設計施工上要求されるフィルダム盛立材料の性質, 土と基礎 No. 207
- 16) Taylor 1973, Foudamentals of Soil Mechanics John Wiley & Sons, Inc.