

# 沖積粘土의 土質工學의 諸性狀에 關한 研究

## A Study on the Engineering Properties of Alluvial Clays

柳 基 松\* · 金 始 源\*\*  
Ki Song Ryu , Shi Won Kim

### Summary

This paper deals with the correlations between the results of the physical property tests and the mechanical property tests for estimating the mechanical indexes by the physical property test results. The soil samples were taken at changweon area, Gyeongsangnam-do, where the structures would be placed on the alluvial clay foundation.

The outcomes of the study are as follows:

1. Judging from casagrande's plasticity chart, it is considered that the almost all soil samples belong to inorganic silty clay with medium plasticity (clay 14~62%, silt 36~73%, sand 1~29%).

The specific gravities are between 2.61 and 2.72, the wet unit weights 1.53g/cm<sup>3</sup> and 1.93g/cm<sup>3</sup>, the liquid limits 28% and 51%, the plastic limits 15% and 31%, the plastic indexes 7% and 27%, the natural moisture contents 33% and 64%.

2. The unconfined compression strengths are between 0.07kg/cm<sup>2</sup> and 0.77kg/cm<sup>2</sup>, the cohesions 0.04kg/cm<sup>2</sup> and 0.37kg/cm<sup>2</sup>, the internal friction angles 0° and 9°.
3. The consolidation tests show that the initial void ratios are between 0.68 and 1.68, the precompression loads 0.27kg/cm<sup>2</sup> and 1.15kg/cm<sup>2</sup>, the compression indexes 0.12 and 0.59.

4. The correlations between the results of the physical property tests and the mechanical property tests for the soil samples are presented as follows:

$$r_i = 0.011 (203 - w_n), C_c = 0.025 (LL - 27.2),$$

$$C_c = 0.46 (e_0 - 0.58), C_c = 0.013 (w_n - 23.2),$$

$$C = 0.021 + q_u / 2.08, q_u = 2.268 r_i - 3.635$$

### I. 序 論

一般적으로 흙의 種類를 規定하려면 흙의 性質이 多様하기 때문에 여러면에서 흙을 分類해야 하므로

많은 試驗資料가 必要하다. 이 흙의 性質을 規定하는 試驗에는 여러가지 方法이 있으며 이를 一括한 分類試驗結果로 부터 흙의 性質을 알 수 있음은 물론 間接적으로는 力學的指數에 對한 補助指數로도 利用된다. 그 代表的인 例로서 흙의 壓密性에 對한

\* 農業振興公社 海外部  
韓國大學校 農科大學

空隙比의 影響을 들 수 있다. 即 흙의 種類가 어느 地域에 대하여 同一系統의 흙이던 分類特性에 따라 흙을 詳細히 分類할 수 있으며, 이를 力學的性質試驗結果와 關聯시켜 分析하면 分類試驗結果만으로도 力學的性質試驗을 하지않고 그의 指數를 推定할 수 있게된다. 따라서 著者は 沖積粘土地盤上에 構造物을 築造하기 위하여 慶南昌原郡東面 地方에서 土質 調査時에 採取한 試料의 室內試驗結果를 가지고 그의 相關性을 究明하여 簡單한 方法으로 쉽게 구할 수 있는 攪亂試料의 分類試驗만으로도 力學的指數를 推定할 수 있도록 物理的, 力學的諸指數間의 相關關係를 調査研究한 것이다.

## II. 研究史

本研究와 關聯된 文獻을 調査한바 Atterberg 限界試驗은 1911年 Sweden의 Atterberg<sup>12)</sup>가 이들의 限界를 구하는 簡單한 試驗方法을 提案한 이래 現在에도 이에 準하여 試驗이 行하여지고 있으며, A. Casagrande<sup>13)</sup> (1932)가 Atterberg方法을 基礎로 하여 試驗法을 어느程度 機械化하고 이어서 1947年에는 흙의 分類에 使用하는 塑性圖를 作成, 報告하였다. 이 塑性圖에 의한 分類는 當初 AC法이라 불리어 졌으며, 二후 美國開拓局과 陸軍工兵隊에서 統一된 形을 採用하므로써 統一土質分類法<sup>14)</sup>(Unified Soil Classification System)으로 紹介되어 美國뿐만 아니라 Europe 諸國에서도 널리 使用되고 있다.

또한 Skempton<sup>15)</sup>(1944)은 壓縮指數와 液性限界의 關係에서  $C_c$ 는 0.009(LL-10), Osaki<sup>16)</sup>(1957)는 0.011(LL-10), 村山<sup>17)</sup>(1958)등은 0.01 (LL-12), 山口<sup>18)</sup>(1959, 1964)등은 0.013(LL-13.5), 0.012(LL-4), 植下<sup>19)</sup>(1964)는 0.017(LL-20)의 相關關係가 있다고 發表하였으며, 桑原<sup>20)</sup>(1966)등도 名古屋南部의 軟弱粘性土의 性質에 對한 研究에서 兩者의 關係가 넓은 分布이나 大體적으로 直線關係를 갖는다고 發表하였다. 山口<sup>18)</sup>(1959)등은 不知火海 沖積粘土의 土質에 關한 研究에서 粘土含有量과 液性限界의 關係는 大體로 直線關係를 나타낸다고 하였으며, 邊<sup>6)</sup>(1972)과 秦<sup>11)</sup>(1977)등도 이 關係의 下限線이 LL는 0.8CL이라고 發表하였다.

한편 山口<sup>18)</sup>(1964)등은 壓縮指數와 初期空隙比의 關係에서  $C_c$ 는 0.36( $e_0-0.14$ ), 植下<sup>19)</sup>(1964)는 0.6( $e_0-0.5$ ), 桑原<sup>20)</sup>(1966)등은 0.5( $e_0-0.5$ )의 關係式이 成立한다고 發表하였다. 一軸壓縮強度와 粘着力의 關係에서 山口<sup>18)</sup>(1964)등은 兩者가 좋은 相關

性을 가지며, 強度가 적은 範圍에서는  $C_c$ 는  $\frac{q_w}{2}$ 가 된다고 하였고 金<sup>21)</sup>(1974)도 河性堆積層地盤調查結果의 研究에서  $C_c$ 는  $\frac{q_w}{3}$ 의 關係가 成立한다고 發表하였다.

鈴木<sup>5)</sup>(1965)등은 粘性土에 있어서 土質常數值의 相關性에 關한 研究에서 壓縮指數와 自然含水比의 關係를  $C_c$ 는 高島, 東三河地區에서 0.014( $w_n-33$ ), 東豫, 德島地區에서 0.014( $w_n-18$ ), 林<sup>10)</sup>(1968)은 우리나라 粘土의 壓密性과 透水性에 對한 推定法의 研究에서  $C_c$ 는 0.00687( $w_n+7$ )의 直線의 關係가 있다고 發表하였으며, 아울러 林<sup>10)</sup>(1968)은 濕潤單位重量과 自然含水比의 關係를  $\gamma_r$ 는 0.0054( $374-w_n$ )의 直線關係式이 成立한다고 發表하였다.

## III. 試料 및 試驗方法

### 1. 試料

試料는 慶南昌原郡 東面 地方에서 더치콘(Dutch Cone)을 利用하여 深度 20cm 마다 圓錐貫入抵抗을 測定하고 深度 1.0~12.4m에서 自由피스톤式샘플러( $\phi 7\text{cm} \times 40\text{cm}$ )로 採取하였으며, 二代表的인 土質柱狀圖는 Fig. 1. 과 같다.

### 2. 試驗方法

#### 가. 物理的性質試驗

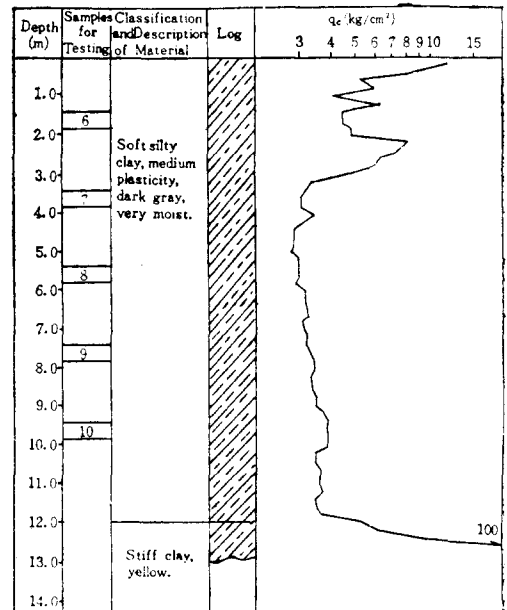


Fig. 1. Typical Cone Penetration Resistance and Log

KS F 2301에 의하여 調劑한 試料로 KS F 2302에 따라 粒度分析을 하였으며, 液性限界試驗은 KS F 2303, 塑性限界試驗은 KS F 2304, 含水比測定은 KS F 2306, 比重試驗은 KS F 2308에 의하여 實施하였다.

나. 力學的性質試驗

一軸壓縮試驗은 KS F 2314, 三軸壓縮試驗은 KS F 2346에 의하여 試驗하였다. 一軸 및 三軸壓縮試驗에 使用한 供試體치수는  $\phi 3.5\text{cm} \times 7\text{cm}$ 로서 變歪制御型 三軸壓縮試驗機를 利用하여 長軸方向으로 每分 1%의 壓縮變歪가 생기도록 供試體에 軸壓을 加하였으며, 破壞點이 나타나지 않을때는 15%의 壓縮變歪時의 強度를 一軸壓縮強度 및 破壞主應力差로 하였다. 壓密試驗은 KS F 2316에 의하여 實施하였

으며 試驗에 使用한 供試體치수는  $\phi 6\text{cm} \times 2\text{cm}$ 로서 試驗機는 固定型 壓密試驗機를 使用하였다.

IV. 結果 및 考察

1. 試驗結果

室內試驗에 있어서 흙의 物理的性質試驗 및 力學的性質試驗結果는 Table-1. 및 Table-2.와 같다.

가. 粒度는 Table-1.과 Fig. 2.에서 보는 바와같이 粘土含有量은 14~62%, 실트는 36~73%, 모래는 1~29%의 範圍에 있다.

나. 比重은 2.61~2.72의 範圍로서 大部分 一般 粘土의 比重值를 나타내고 있다.

Table-1. List of Physical Property Test Results

Sample No.	Depth(m)	Mechanical Analysis			Consistency			Unified Soil Classification	Specific Gravity Gs	Natural Moisture Content $w_n$ , %	Wet Unit Weight $\gamma_w$ , g/cm <sup>3</sup>
		Clay <5 $\mu$ , %	Silt 5~74 $\mu$ , %	Sand 74~4760 $\mu$ , %	Liquid Limit LL, %	Plastic Limit PL, %	Plasticity Index PI, %				
1	1.0-1.4	20.0	64.1	15.9	30.3	21.3	9.0	CL	2.669	33.4	1.864
2	3.6-4.0	36.0	54.7	9.3	43.5	23.9	18.6	CL	2.617	48.4	1.704
3	5.6-6.0	32.0	49.6	18.4	41.7	19.1	22.6	CL	2.652	45.2	1.762
4	7.6-8.0	30.0	50.6	19.4	44.3	22.9	21.4	CL	2.664	45.4	1.769
5	9.6-10.0	30.0	44.1	25.9	41.9	15.1	26.8	CL	2.669	51.4	1.713
6	1.4-1.8	14.0	66.2	19.8	32.3	23.7	8.6	ML	2.645	36.4	1.927
7	3.4-3.8	30.0	60.2	9.8	37.8	22.5	15.3	CL	2.673	45.5	1.757
8	5.4-5.8	32.0	49.7	18.3	44.9	23.7	21.2	CL	2.636	52.5	1.686
9	7.4-7.8	42.0	49.7	8.3	46.2	22.4	22.8	CL	2.636	49.3	1.712
10	9.4-9.8	42.0	49.7	8.3	44.7	23.2	21.5	CL	2.654	48.6	1.724
11	1.0-1.4	26.0	67.2	6.8	32.9	21.6	11.3	CL	2.636	41.7	1.771
12	2.4-2.8	62.0	36.3	1.7	42.2	24.3	17.9	CL	2.652	37.1	1.831
13	3.4-3.8	32.0	54.4	13.6	38.2	21.8	16.5	CL	2.613	48.8	1.709
14	5.4-5.8	28.0	51.2	20.8	43.7	22.8	20.9	CL	2.638	57.8	1.630
15	8.2-8.6	32.0	62.2	5.8	36.6	21.6	15.0	CL	2.678	54.8	1.681
16	9.4-9.8	46.0	47.0	7.0	42.2	24.7	17.5	CL	2.653	49.5	1.657
17	9.6-1.0	18.0	68.7	13.3	30.3	23.0	7.3	ML	2.650	35.7	1.772
18	4.0-4.4	27.0	69.6	3.4	50.4	30.3	20.1	MH	2.629	59.8	1.622
19	8.0-8.4	23.0	72.6	4.4	50.1	28.5	21.6	MH	2.666	53.1	1.627
20	12.0-12.4	22.0	62.3	15.7	42.2	24.5	17.7	CL	2.645	41.9	1.692
21	2.603.0	31.0	54.4	15.6	48.3	22.0	21.8	CL	2.654	55.7	1.700
22	4.4-4.8	34.0	56.3	9.7	39.0	20.5	18.5	CL	2.666	46.5	1.728
23	8.0-8.4	24.0	65.4	10.6	42.6	20.4	22.2	CL	2.683	44.8	1.760
24	2.4-2.8	20.0	70.0	10.0	28.8	17.6	11.2	CL	2.678	34.3	1.862
25	6.0-6.4	32.0	47.7	20.3	46.0	21.9	24.1	CL	2.688	38.7	1.841
26	8.4-8.8	20.0	51.6	28.4	37.2	18.4	18.8	CL	2.643	42.4	1.778
27	10.4-10.8	40.0	55.4	4.6	41.8	21.9	19.9	CL	2.676	45.8	1.761
28	2.0-2.4	45.2	51.6	3.2	45.3	23.4	21.9	CL	2.695	57.1	1.634

29	2.6-3.0	41.2	57.8	1.0	35.6	24.2	11.4	CL	2.716	51.8	1.581
30	3.4-3.8	47.2	50.5	2.3	44.8	22.8	22.0	CL	2.699	59.7	1.582
31	3.4-3.8	49.2	49.5	1.3	46.0	22.4	23.6	CL	2.685	63.6	1.534
32	1.6-2.0	38.0	53.5	6.5	37.1	23.4	13.7	CL	2.650	36.1	1.896
33	4.6-5.0	26.0	71.2	2.8	36.6	22.4	13.2	CL	2.669	34.4	1.786
34	6.6-7.0	42.0	51.2	6.8	43.1	16.3	26.8	CL	2.690	52.7	1.762

Sample No.	Unconfined Comp. Strength $q_u$ , kg/cm <sup>2</sup>	Triaxial Comp. Test		Consolidation Test			No.	Liquidity Index	e	p <sub>o</sub> , kg/cm <sup>2</sup>	C <sub>c</sub>		
		Cohe-sion C, kg/cm <sup>2</sup>	Angle of Internal Friction $\phi$ , cdegree	Initial Void Ratio $e_0$	Preconsolidation Pressur	Comp-ression Index							
1	0.671	0.28	8	0.945	0.80	0.158	14	0.161	0.10	1	1.640	0.50	0.485
2	0.342	0.17	2	1.346	0.78	0.380	15	0.379	0.20	1	1.604	0.34	0.590
3	0.441	0.22	2	1.342	0.36	0.350	16	0.198	0.16	0	1.518	0.54	0.455
4	0.348	0.16	2	1.392	0.54	0.371	17	0.361	0.18	3	1.041	0.65	0.215
5	0.273	0.15	2	1.406	0.52	0.375	18	0.116	0.09	4	1.660	0.96	0.515
6	0.558	0.36	2	0.688	0.72	0.122	19	0.077	0.04	1	1.436	0.36	0.325
7	0.286	0.17	1	1.272	0.68	0.307	20	0.129	0.08	2	1.350	0.58	0.305
8	0.155	0.10	2	1.500	0.40	0.345	21	0.379	0.18	3	1.310	0.34	0.230
9	0.137	0.09	1	1.523	0.27	0.397	22	0.176	0.10	3	1.245	0.80	0.325
10	0.124	0.12	1	1.445	0.50	0.400	23	0.314	0.26	1	1.189	0.73	0.285
11	0.335	0.22	3	1.216	0.46	0.235	24	0.468	0.30	3	0.919	0.72	0.160
12	0.708	0.37	2	1.030	0.78	0.186	25	0.488	0.30	8	1.031	0.84	0.206
13	0.344	0.15	2	1.288	1.00	0.388	26	0.334	0.13	6	1.016	0.52	0.256
							27	0.273	0.14	4	1.143	0.82	0.321
							28	—	0.08	1	1.336	0.55	0.353
							29	—	0.07	2	1.412	0.35	0.325
							30	—	0.12	2	1.600	0.35	0.435
							31	—	0.06	2	1.680	0.39	0.520
							32	0.770	0.30	9	0.862	1.15	0.163
							33	0.323	0.16	4	1.189	0.72	0.290
							34	0.297	0.14	3	1.140	0.70	0.334

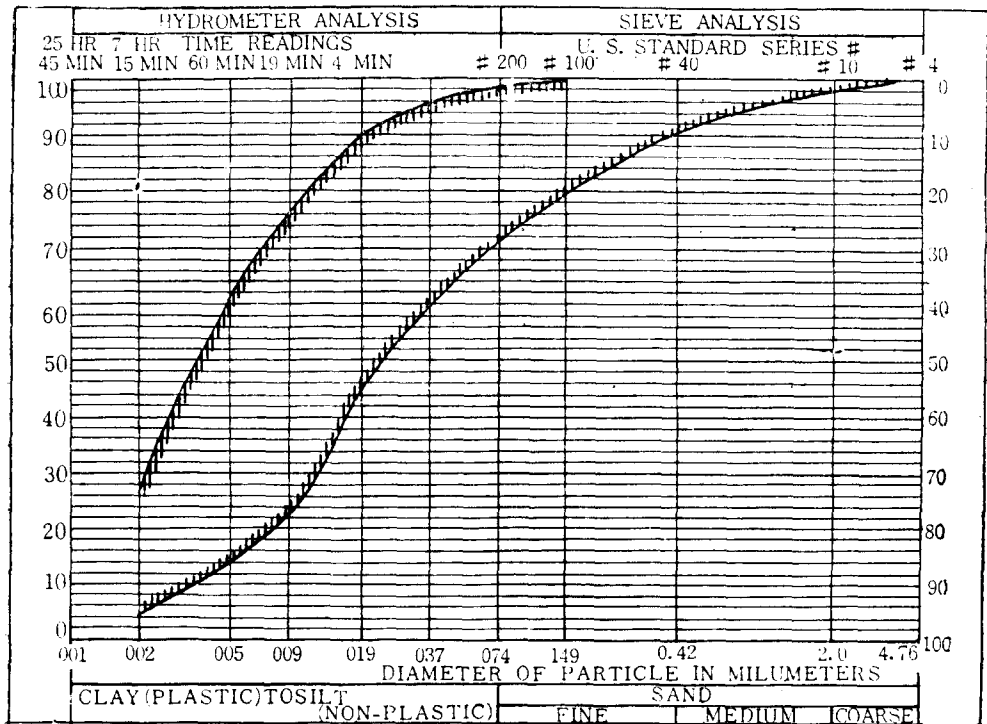


Fig. 2. Range of Gradation Curve

다. 濕潤單位重量은 1.53~1.93g/cm<sup>3</sup>의 範圍를 나타내고 있다.

라. Atterberg 限界에서 液性 限界는 28~51%, 塑性限界는 15~31%의 範圍이다. 따라서 塑性指數는 7~27% 範圍이며, Fig.3.에서 보는 바와같이 大部分의 試料는 中塑性無機質 粘土임을 알수 있었다.

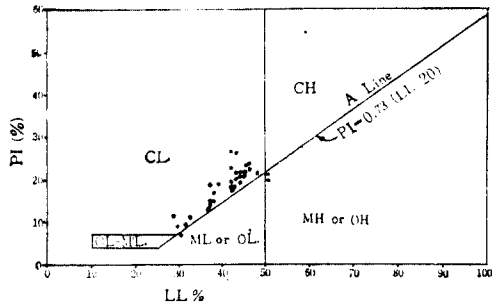


Fig. 3. Plasticity Chart

마. 自然含水比는 33~64%의 範圍를 나타내고 있다.

바. 剪斷試驗에 있어서 一軸壓縮強度는 0.07~0.77kg/cm<sup>2</sup>, 粘着力은 0.06~0.37kg/cm<sup>2</sup>, 内部摩擦角은 0°~9°의 範圍를 나타내고 있다.

사. 壓密試驗에 있어서 初期空隙比는 0.68~1.68,

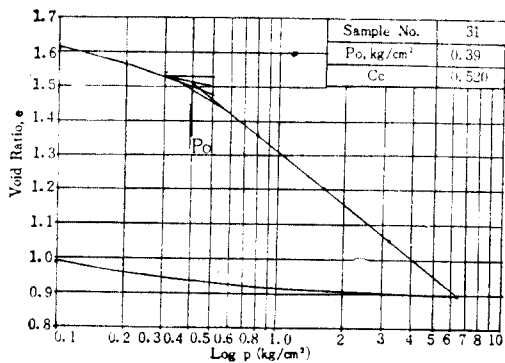


Fig. 4. Typical Void Ratio-Log. Pressure Curve

先行荷重은 0.27~1.15kg/cm<sup>2</sup>, 壓縮指數는 0.12~0.59의 範圍를 나타내고 있으며, 代表的인 e-log p 曲線은 Fig.4.와 같다.

## 2. 考 察

室內試驗에서 구한 試料의 物理 및 力學의 諸指數間의 相關關係를 考察하면 다음과 같다.

가. 濕潤單位重量과 自然含水比의 關係

濕潤單位重量과 自然含水比의 關係를 나타낸 것이 Fig.5.로서 自然含水比가 增加할 수록 濕潤單位重量

이 減少하는 直線關係가 있었으며,  $r_i$ 는  $0.011(203 - w_n)$ 로서 이는 林<sup>10)</sup>(1968)의  $r_i = 0.0054(374 - w_n)$ 와 大體의 類似하였다.

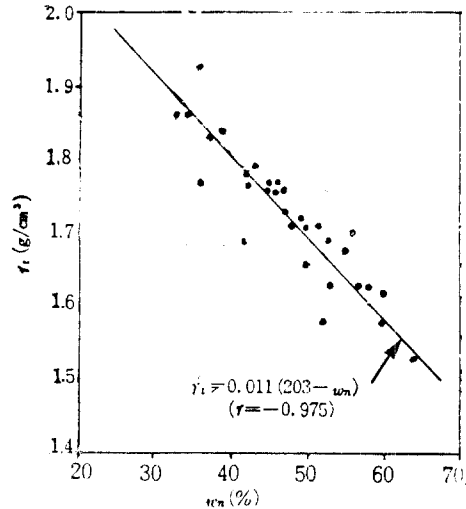


Fig. 5. Relationship between Wet Unit Weight and Natural Moisture Content

나. 壓縮指數와 液性限界의 關係

壓縮指數와 液性限界의 關係를 나타낸 것이 Fig.6.이며, 大體로 直線關係인데  $C_c$ 는  $0.025(LL - 27.2)$ 로서 Skempton<sup>13)</sup>(1944) 및 Osaki<sup>9)</sup>(1957), 村山<sup>8)</sup>(1958), 山口<sup>3)</sup>(1959), 植下<sup>2)</sup>(1964)의 研究報告와 比較한바 本 研究에서도 비록 回歸常數는 相異하나 같은 直線關係를 나타내었다.

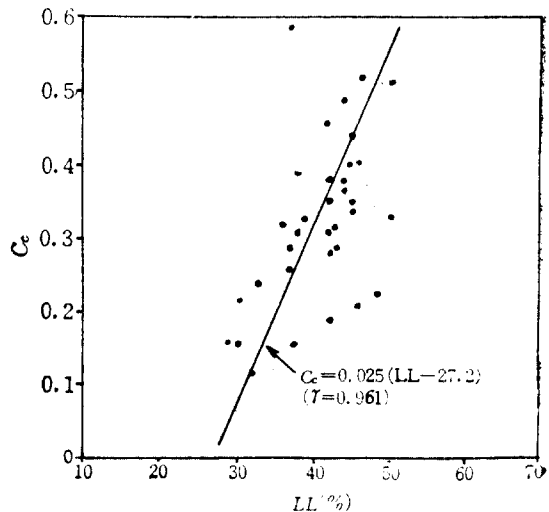


Fig. 6. Relationship between Compression Index and Liquid Limit

다. 壓縮指數와 初期 空隙比의 關係

壓縮指數와 初期空隙比의 關係를 나타낸 것이 Fig. 7.로서 거의 直線的인 關係를 이루며  $C_c$ 는  $0.46(e_0 - 0.58)$ 로서 山口<sup>7)</sup>(1964), 植下<sup>8)</sup>(1964), 桑原<sup>9)</sup>(1966)의 研究結果와 類似的인 直線關係式임을 알수 있다.

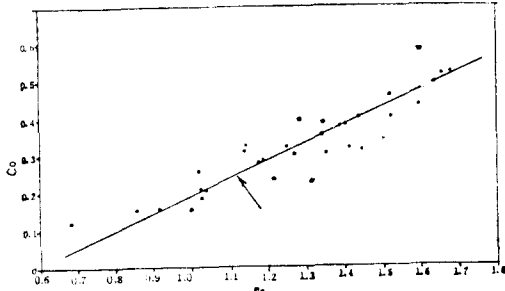


Fig. 7. Relationship between Compression Index and Initial Void Ratio

라. 壓縮指數와 自然含水比의 關係

Fig. 8.은 壓縮指數와 自然含水比의 關係를 나타낸 것으로 直線的인 相關性이 있으며,  $C_c$ 는  $0.013(w_n - 23.2)$ 로서 鈴木<sup>9)</sup>(1965)의 研究結果와 類似的인 直線關係式을 나타내었다.

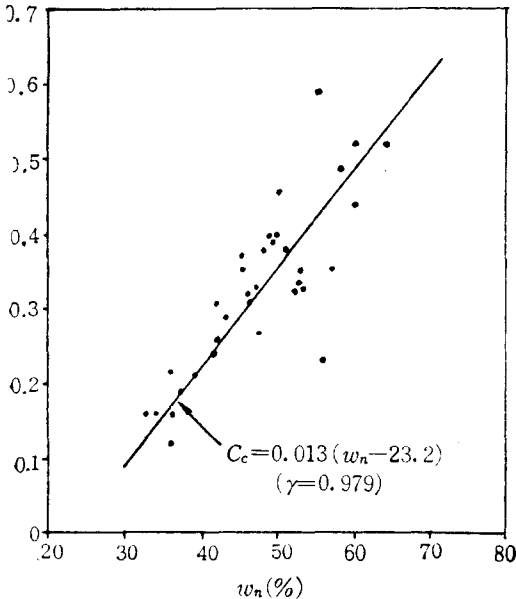


Fig. 8. Relationship between Compression Index and Natural Water Content

마. 粘着力과 一軸壓縮強度의 關係

三軸壓縮試驗으로 구한 粘着力과 一軸壓縮強度의 關係를 나타낸 것이 Fig. 9.이며, 거의 直線關係인  $C$ 는  $0.021 + \frac{q_u}{2.08}$ 로서 이는 山口<sup>7)</sup>(1964)의  $C = \frac{q_u}{2}$ 와

類似함을 알수 있었으며, 金<sup>3)</sup>(1974)의  $\frac{q_u}{3}$ 와 다소 차이가 있는 것은 이 結果值가 粘性土와 砂質土에 對한 것이기 때문인 것으로 생각된다.

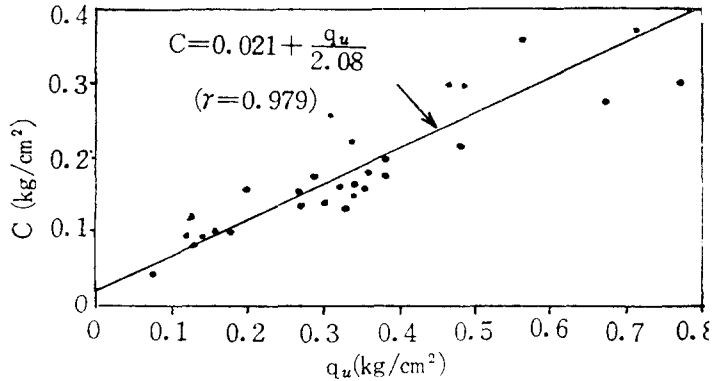


Fig. 9. Relationship between Cohesion and Unconfined Compression Strength

바. 一軸壓縮強度와 濕潤單位重量의 關係

Fig. 10은 一軸壓縮強度와 濕潤單位重量의 關係를 나타낸 것으로  $q_u$ 는  $2,268\gamma_t - 3,635$ 로서 文獻을 調査한바에 의하면 이에 關해서 아직 研究結果가 없어 確證할 수 없으나 좋은 相關性이 있음을 알수 있었다.

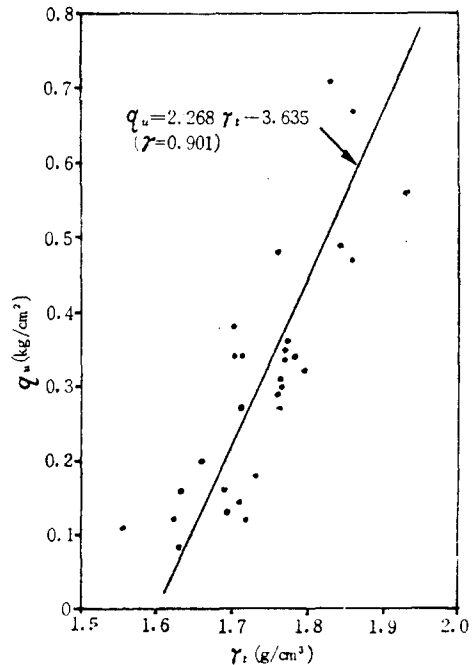


Fig. 10. Relationship between Unconfined Compression Strength and Wet Unit Weight

## V. 摘 要

本 研究는 沖積粘土地盤에 構造物을 築造하기 위 하여 慶南昌原郡東面 地方에서 土質調査時에 採取한 試料의 室內試驗結果를 分析하여 簡單한 物理的 性質試驗만으로도 力學的指數를 推定할 수 있도록 그 相關關係를 究明한것으로서 그 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 物理的性質試驗結果, 大部分의 試料는 中塑性 無機質粘土로서 粘土含有量은 14~62%, 실트는 36~73%, 모래는 1~29% 이었으며, 比重은 2.61~2.72, 濕潤單位重量은 1.53~1.93g/cm<sup>3</sup>, 液性限界는 28~51%, 塑性限界는 15~31%, 塑性指數는 7~27%, 自然含水比는 33~64%이었다.

2. 剪斷試驗結果, 一軸壓縮強度는 0.07~0.77kg/cm<sup>2</sup>, 粘着力은 0.06~0.37kg/cm<sup>2</sup>, 內部摩擦角은 0~9°이었다.

3. 壓密試驗結果, 初期空隙比는 0.68~1.68, 先行壓密荷重은 0.27~1.15kg/cm<sup>2</sup>, 壓縮指數는 0.12~0.59이었다.

4. 濕潤單位重量과 自然含水比의 關係는  $\gamma_s = 0.011(203 - w_n)$ 이었다.

5. 壓縮指數와 液性限界 및 初期空隙比, 自然含水比의 關係는 各各  $C_c = 0.025(LL - 27.2)$ ,  $C_c = 0.46(e_0 - 0.58)$ ,  $C_c = 0.013(w_n - 23.2)$ 이었다.

6. 粘着力과 一軸壓縮強度의 關係는  $C = 0.021 + \frac{q_w}{2.08}$  이었으며, 一軸壓縮強度와 濕潤單位重量의 關係는  $q_w = 2.268\gamma_s - 3.635$  이었다.

## 引 用 文 獻

1. 桑原 徹, 堀内孝英(1966): 名古屋市南部의 軟弱 粘性土의 性質について, 名城大學理工學部 研究報告, 7, pp. 34~59

2. 金周範(1974): 河成堆積層地盤調査結果, 韓國工農學會誌, 16(4), pp. 67~72

3. 村山朔郎, 赤井浩一, 植下 協(1958): 大阪洪積層粘土의 工學的特性, 土と基礎, 28, pp. 39~47

4. 邊普燁(1972): 韓國主要港灣의 沖積土의 指數的 性質에 關한研究, 大韓土木學會創立二十周年紀念 論文集, pp. 1~18

5. 鈴木好一, 大崎順彦, 荒木春視(1965): 粘性土に おはる土質常數値의 相關性, 日本土質工學會第10回シンポジウム, pp. 141~146

6. 山口英太郎, 難波直彦, 岡 晃, 永石義隆, 村岡嘉邦(1959): 不知火海沖積粘土의 土質について, 日本九州農業試驗場彙報, 5(4), pp. 349~358

7. \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ (1964): 石明海干拓地基礎地盤의 土質에 關する 調査研究, 日本農業土木試驗場報告, 2, pp. 509~566

8. OHSAKI, Yorihiro(1957): Geotechnical Properties of Kanto-Loam & Its Anisotropy, Report of the Building Research Institute, 21, pp. 1~14

9. 植下 協(1964): 沖積層粘土의 壓縮指數と液性限界おさび間げき比との關係について, 第19回土木學會講演概要, 4, pp. 40.1~40.2

10. 林炳祚(1968): 우리나라粘土의 壓密性과 透水性에 對한 推定法, 大韓土木學會誌, 15(4), pp. 27~35

11. 秦柄益, 千柄植(1977): A. Casagrande의 塑性圖에 關한 實驗的研究, 大韓土木學會誌, 25(2), pp. 85~94

12. 秦柄益(1975): 土質力學, 서울, 治庭文化社, pp. 16~19

13. 日本土質工學會(1974): 土質試驗法, 東京, pp. 88, 102, 624