

港灣粘土의 壓密沈下量 預測을 爲한 土質分析

權 武 男 · *孫 光 植 · 李 相 昊

慶北大學校 農科大學 農工學科

* (株) 唯一綜合技術團

Soil Analysis on Prediction of Consolidation Settlement in Marine Clays

Kwon, Moo Nam · * Son, Kwang Sik · Lee, Sang Ho

Dep't of Agric. Engineering, Coll. of Agric., Kyungpook Natl. Univ.

* Yooil Engineering Consultants Co. L'td.

Summary

This study was performed in order to contemplate their correlations between physical and mechanical properties of the marine clays which were collected from main harbors in Korea.

The results obtained are as follows:

1. Most of the soils in experimental districts consist of CH, CL, and ML, and they are considered to be still proceeding.
2. The equations of the relationship between compression index and liquid limit are as follows:

$$CH : C_c = 0.0137 (LL - 22.60)$$

$$CL : C_c = 0.0123 (LL - 14.64)$$

3. The relationship between compression index and initial void ratio appears that the higher the plasticity, the easier the slope of the regression line. The equations are as follows:

$$CH : C_c = 0.431 (e_o - 0.504)$$

$$CH : C_c = 0.471 (e_o - 0.235)$$

$$ML : C_c = 0.641 (e_o - 0.393)$$

4. The equations of the relationship between compression index and natural water content are as follows:

$$CH : C_c = 0.0133 (W_n - 28.27)$$

$$CL : C_c = 0.0225 (W_n - 23.56)$$

$$ML : C_c = 0.0106 (W_n - 16.42)$$

5. The relationship between initial void ratio and natural water content, and compression index is highly positive correlation and the equations are as follows:

$$CH : C_c = 0.301 (e_o + 0.017 W_n - 1.05)$$

$$CL : C_c = 0.141 (e_0 + 0.0567 W_n - 1.054)$$

$$ML : C_c = 0.421 (e_0 + 0.0214 W_n - 1.121)$$

6. The equations of the relationship between initial void ratio and liquid limit, and compression index are as follows :

$$CH : C_c = 0.36 (e_0 + 0.08 LL - 0.819)$$

$$CL : C_c = 0.269 (e_0 + 0.026 LL - 0.929)$$

7. The cohesion of marine clays is no concerned with the increment of depth. The equations of relationship between cohesion and unconfined compression strength are as follows.

$$CH : q_u = 1.896 C + 0.0107$$

$$CL : q_u = 1.849 C + 0.04$$

緒 論

粘土質 軟弱地盤의 壓密沈下는 土木構造物이 築造되는 基礎地盤의 安全에 重大한 影響을 끼치므로 이들 地盤上의 構造物 設計 및 施工에 必須的으로 考慮되어야 할 것이다.

壓密에 關한 研究는 1923年 Terzaghi¹⁾의 壓密理論이 母體가 되어 Skempton²⁾의 壓密係數에 關한 經驗式을 비롯하여 都³⁾, 柳⁴⁾, Nishida⁵⁾, Moran⁶⁾, Peck and Reed⁷⁾, Terzaghi and Peck⁸⁾ 등에 依하여 港灣과 內陸地方의 沖積粘土에 對한 指數의 性質 및 相關關係 등에 關한 研究가 繼續되어 왔다. 그러나 壓密試驗에 依한 諸係數 算出은 相當한 期間이 要求되므로 壓密沈下에 對한 概略의 設計의 境遇 難點이 많은 것으로 나타나고 있다.

이에 本 研究에서는 우리 나라 主要港灣의 海性粘土의 一般의 性質을 考察하고 A.Casagrande의 統一分類法으로 흙을 分類하여 그 特性과 相關性을 糾明하고 이 結果를 類似한 土質에 適用하여 壓縮指數를 間接的으로 推定하여 壓密沈下量을 豫測하므로써 向後 港灣構造物 設計 및 施工을 爲한 基礎資料를 提示하고자 한다.

材料 및 方法

1. 使用材料

本 研究에 使用된 試料는 釜山, 仁川, 三日, 群山, 馬山, 忠武, 麗水, 新西, 8個港에서 採取한 港灣粘土로서 廻轉水洗式 YT-150型 Boring 器를 使用하여 土層 變化點 및 2.0 m마다 標準貫入試驗을 實

施하여 各 土層의 相對密度를 測定하고 室內試驗을 爲하여 Spilt Barrel Sampler와 Station Piston Sampler를 使用하여 採取하였다.

2. 試驗 및 分析方法

1) 試驗方法

가. 物理的 性質에 關한 試驗

KSF 2302 粒度分析 試驗

KSF 2303 液性限界 試驗

KSF 2304 塑性限界 試驗

KSF 2306 含水比 試驗

KSF 2308 比重試驗

나. 力學的 性質에 關한 試驗

KSF 2314 一軸壓縮試驗

KSF 2316 壓密試驗

KSF 2343 剪斷試驗

2) 分析方法

分析方法은 試驗室에서 測定된 軟弱地盤土의 物理的 性質을 利用하여 各 地區別로 海性粘土의 一般의 性質을 考察하고 이 흙을 統一分類法으로 分類하여 이들의 相互關係를 統一的으로 分析하여 相關性을 糾明하고 다른 研究結果와 比較檢討 하였다.

結果 및 考察

1. 試驗結果

本 研究分析에 利用한 海性粘土는 매우 軟弱하고 地城에 따라서는 조개껍질 등이 섞인 均一한 Silt 質 粘土로서 各 地區에서 採取한 흙의 物理的 力學的 性質은 Table 1 과 같으며 그 結果를 要約하면

다음과 같다.

CH, CL, ML에 속하였다.

1) 統一分類法에 의한 本地區의 흙은 大部分

Table 1. General properties of marine clays.

Site	W _n (%)	LL(%)	PI(%)	e ₀	rt(t/m ²)	C _c	c(kg/cm ²)	q _u (kg/cm ²)	Classification Unified	Remark
INCHEON	35.61	36.0	9.54	1.05	1.87	0.24	0.068	0.322	CH, CL	average range
	24.1-45.3	25.9-28.8	21-28.8	0.6-1.4	1.7-2.0	0.09-0.47	0.02-0.12	0.05-0.51	ML	
KUNSAN	44.1	41.07	11.9	1.15	1.77	0.33	0.13	0.09	CL	"
	35.7-54.6	33.2-54.3	11.0-12.7	1.0-1.4	1.7-1.8	0.26-0.44	0.06-0.27	0.06-0.12		
SAMIL	87.48	81.23	47.54	2.29	1.50	0.77	-	-	CH, ML	"
	28.1-119.0	33.7-100.6	9.5-62.8	0.8-3.1	1.3-2.0	0.14-1.14				
SINSU	84.5	68.11	42.35	2.09	1.53	0.63	0.068	0.14	CH	"
	70.1-98.7	54.2-77.9	31.6-50.4	1.6-2.3	1.4-1.7	0.50-0.72	0.04-0.31	0.10-0.25		
BUSAN	58.4	59.76	32.15	1.84	1.63	0.59	0.063	0.101	CH, CL	"
	23.9-90.3	34.1-89.5	6.1-57.3	1.3-2.2	1.5-1.8	0.37-0.95	0.03-0.10	0.06-0.18	ML	
RYESU	81.03	81.7	52.33	2.21	1.42	0.92	0.034	0.031	CH	"
	78.6-84.0	77-89.3	44.2-64.3	2.1-2.4	1.3-1.5	0.77-1.06	0.03-0.04	0.03-0.04		
MASAN	87.0	84.03	52.43	2.24	1.40	0.74	0.12	0.074	CH	"
	52.8-121.2	54-129.4	27.4-102.4	1.1-3.3	1.3-1.5	0.34-0.80	0.03-0.30	0.04-0.12		
CHUNG MU	87.83	97.0	64.2	2.60	1.51	1.02	0.055	0.11	CH	"
	67.3-98.5	80.0-111.0	49.4-77.6	2.2-2.8	1.3-1.7	0.77-1.20	0.05-0.06	0.03-0.15		

2) 自然含水比는 24.1 ~ 121.2%의 範圍로 平均 66.35%였으며 CH 흙에서 가장 높았다.

3) 單位重量은 1.3 ~ 2.0 t/m³였다.

4) 液性限界는 自然含水比 보다 낮았으며 그 範圍는 25.9 ~ 129.4%, 塑性指數는 2.1 ~ 102.4%였다.

5) 壓密試驗에서 初期間隙比는 0.4 ~ 3.3, 壓縮指數는 0.4 ~ 3.3, 先行壓密荷重은 0.08 ~ 1.48 kg/cm²의 範圍였다.

6) 剪斷試驗 結果 粘着力은 0.02 ~ 0.31 kg/cm²였으며 一軸壓縮強度는 0.03 ~ 0.51 kg/cm²였다.

2. 土質調査 및 試錐結果

Fig. 1.은 本 試驗地區의 海底土層에 對한 土質柱狀圖로서 海底堆積土層, 風化帶, 基盤岩層으로 構成되어 있다.

海底堆積土層은 조개껍질을 含有하는 0.2 ~ 6.0 m 두께의 Silt 質 粘土로 되어있고 이 土層內에는 他 地域에서 移動堆積된 것으로 思料되는 자갈과 모래의 混合物이 發見되고 있다.

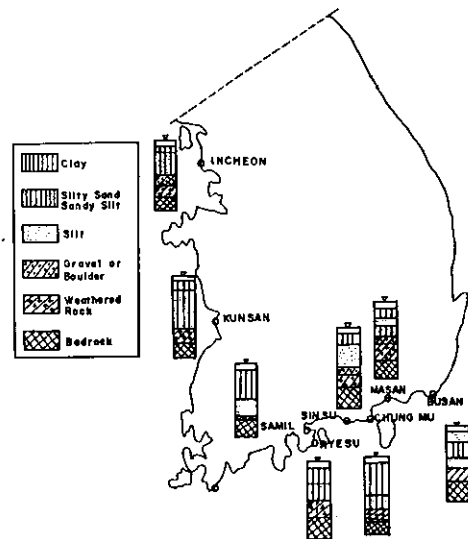


Fig. 1. Location map of experimental districts and typical soil profiles.

3. 考 察

1) 活性度

一般的으로 粘土는 Kaolinite, Montmorillonite, Illite 等の 粘土礦物로 構成되어 있으며 그 表面은 負電荷를 가지고 있다. 흙이 吸水할 수 있는 水分量은 粘土量과 粘土礦物의 種類에 依하여 影響을 받고 있다.

Fig. 2는 4地區의 2 μ 以上の 粘土含有率과 塑性指數와의 關係를 나타낸 活性度로서 ML 흙이 支配的인 仁川을 除外한 他 地區는 活性도가 0.5 ~ 7.0의 範圍였으며 우리나라 海性粘土의 粘土礦物은 Illite, Montmorillonite에 가까운 것으로 推定된다.

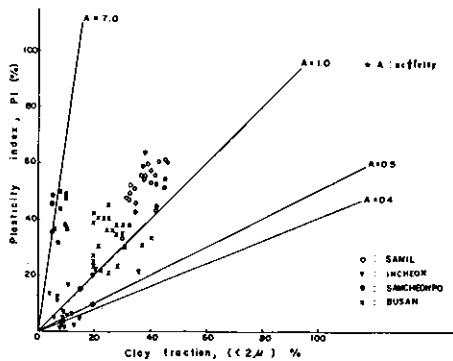


Fig. 2. Activities of marine clays.

2) 變化率과 壓密壓力과의 關係

Fig. 3은 壓密壓力과 變化率의 關係를 圖示한 것으로서 銳敏도가 4 以上인 敏感한 不攪亂 粘土의 典型的인 曲線의 形態를 보여주고 있으며 各 地區의 壓密壓力에 對한 變化率은 多少 差異가 있으나 金⁹⁾

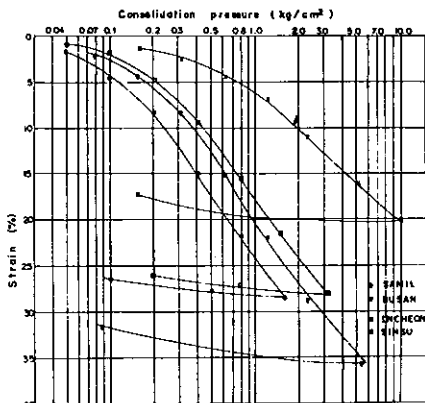


Fig. 3. Relationship between strain and consolidation pressure.

과 類似한 傾向을 보이고 있으며 이들 各 地區의 흙은 正常的으로 壓密된 것으로 思料된다.

3) 深度에 對한 過壓密比의 變化

Fig. 4는 흙의 深度에 따른 過壓密比의 變化를 나타낸 것으로서 土層의 깊이가 깊을수록 過壓密比는 漸進的으로 減少하는 傾向을 보이고 있는데 이는 試料가 過去에 받은 先行荷重 보다 現在의 上載荷重이 큰 데 起因하며 各 地區의 過壓密比는 大部分 1 以下이므로 이들 地區의 海性粘土는 壓密이 進行中인 것으로 判斷된다.

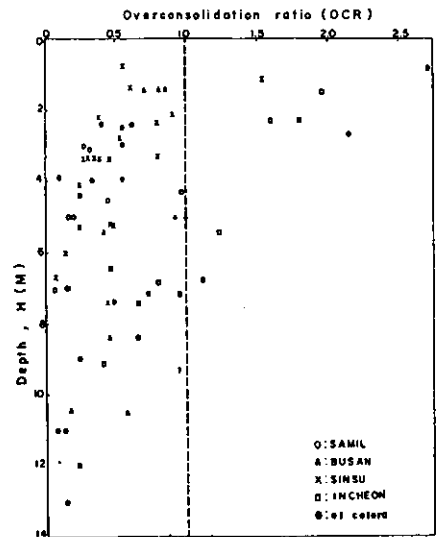


Fig. 4. Variations of overconsolidation ratio according to soil layer depth.

4) 흙의 壓縮性

壓密試驗의 e-log p 曲線으로부터 求한 壓縮指數와 液性限界, 含水比, 間隙比 等の 指數의 性質에 關한 考察은 國內外 學者들에 依하여 많이 報告되고 있다.

흙의 壓縮性을 A. Casagrande의 統一分類法에 依據, CH, CL, ML로 分類한 試料의 物理的 性質은 Table 2와 같다.

(1) 液性限界와 壓縮指數의 關係

Fig. 5는 壓縮指數와 液性限界와의 關係를 나타낸 것으로 거의 直線的 關係를 보이고 있으며 다음 式으로 表示할 수 있다.

$$CH : C_c = 0.013 (LL - 22.6)$$

$$CL : C_c = 0.0123 (LL - 14.64)$$

Table 2. General properties of marine clays according to unified soil classification.

Classification Unified	Wn (%)	LL (%)	PI (%)	eo	rt(t/m ²)	Cc	c(kg/cm ²)	qu(kg/cm ²)	Remark
CH	82.3	76.2	47.8	2.14	1.53	0.74	0.063	0.12	average range
	52.8-121.2	54.0-129.4	27.4-102.4	1.41-3.06	1.34-1.81	0.34-1.14	0.03-0.10	0.06-0.25	
CL	42.4	36.89	16.04	1.08	1.79	0.28	0.113	0.277	"
	25.4-62.0	25.9-54.3	7.5-27.5	0.71-1.58	1.51-1.88	0.12-0.52	0.03-0.27	0.06-0.51	
ML	32.1	31.25	6.72	0.89	1.89	0.19	0.059	0.351	"
	24.14-4.37	26.7-47.3	2.1-16.1	0.64-1.41	1.77-1.95	0.09-0.36	0.02-0.11	0.20-0.51	

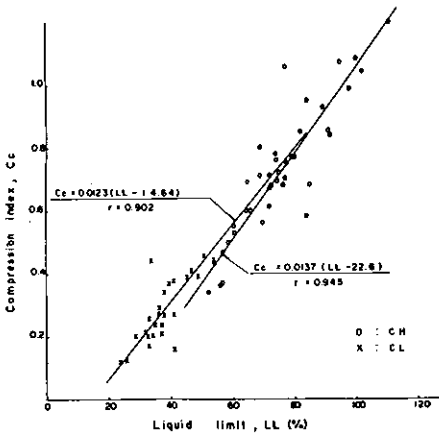


Fig. 5. Relationship between compression index and liquid limit.

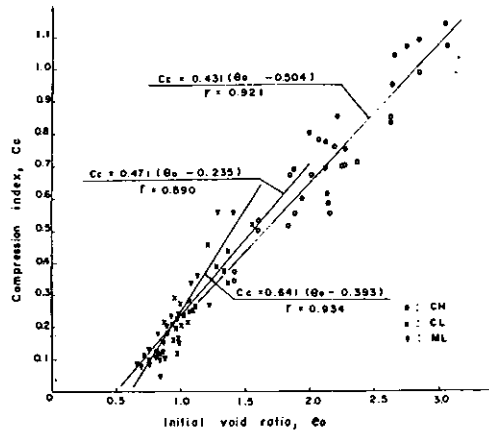


Fig. 6. Relationship between compression index and void ratio.

(3) 自然含水比와 壓縮指數의 關係

Fig. 7은 自然含水比와 壓縮指數와의 關係를 圖示한 것으로 그 關係式은 다음과 같다.

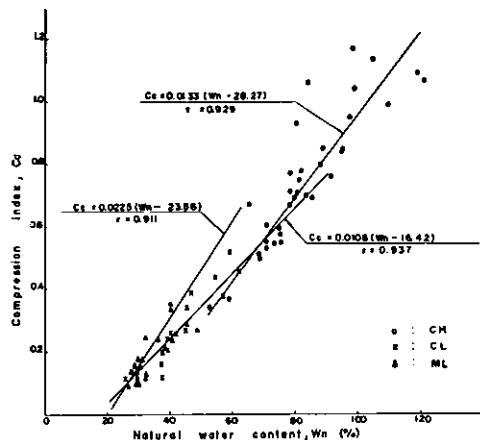


Fig. 7. Relationship between compression index and natural water content.

이는 Skempton²⁾, 山口¹⁰⁾, 植下^{5),11)}, Cozzolino¹²⁾, 柳³⁾, 都⁴⁾의 研究結果와 類似한 傾向을 보이고 있으며 흙의 物理的 性質과 粘土 및 有機物의 含量에 따라 回歸常數와 기울기에 多少 差異가 있으며 壓縮性도 달라지는 것으로 思料된다.

(2) 初期間隙比와 壓縮指數와의 關係

Fig. 6은 初期間隙比와 壓縮指數와의 關係를 나타낸 것으로서 각 흙에 對한 關係式은 다음과 같다.

CH : $C_c = 0.431 (e_o - 0.504)$

CL : $C_c = 0.471 (e_o - 0.235)$

ML : $C_c = 0.641 (e_o - 0.393)$

이 式을 都³⁾의 $C_c = 0.40 (e_o - 0.475)$, 柳⁴⁾의 $C_c = 0.46 (e_o - 0.58)$, 塑性이 낮은 흙에 對해서 實驗한 Sowers¹³⁾의 $C_c = 0.75 (e_o - 0.50)$, Brazil 粘土를 對象으로 研究한 Cozzolino¹²⁾의 $C_c = 0.256 + 0.43 (e_o - 0.84)$ 와 比較해 볼 때 塑性이 높은 흙 일수록 기울기가 완만함을 알 수 있다.

$$CH : C_c = 0.0133 (W_n - 28.27)$$

$$CL : C_c = 0.0106 (W_n - 16.42)$$

$$ML : C_c = 0.0225 (W_n - 23.56)$$

이는 鈴木¹⁴⁾의 $C_c = 0.014 (W_n - 33)$, 柳⁴⁾의 $C_c = 0.013 (W_n - 23.2)$, Azzouz¹⁵⁾의 $C_c = 0.01 (W_n - 5)$, Moran⁶⁾의 $C_c = 1.15 \times 10^{-2} W_n$ 과類似的한 直線關係를 나타내며 自然含水比가 增加함에 따라 壓縮指數도 增加하는 것으로 나타났다.

(4) 初期間隙比 및 自然含水比와 壓縮指數의 關係

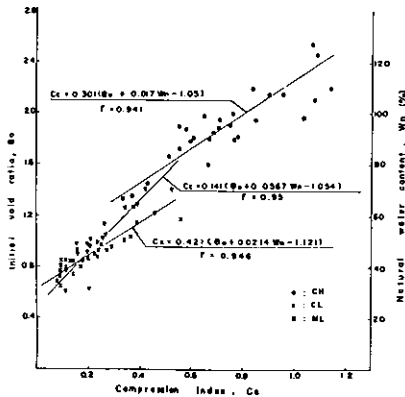


Fig. 8. Relationships of compression index VS. initial void ratio and compression index vs. natural water content.

흙의 間隙比, 含水比는 서로 密接한 關係가 있으므로 이들 要素들을 複合的으로 利用하는 것이 信賴性이 높은 것으로 思料되어 初期間隙比 및 自然含水比와 壓縮指數의 關係를 重相關으로 推定한 것이 Fig. 8이며 그 關係式은 다음과 같다.

$$CH : C_c = 0.301 (e_o + 0.017 W_n - 1.05)$$

$$CL : C_c = 0.141 (e_o + 0.0567 W_n - 1.054)$$

$$ML : C_c = 0.421 (e_o + 0.021 W_n - 1.121)$$

이는 Azzouz¹⁵⁾의 $C_c = 0.40 (e_o + 0.001 W_n - 0.25)$ 와 類似的한 直線關係를 나타내고 있다.

(5) 初期間隙比 및 液性限界와 壓縮指數의 關係

Fig. 9는 初期間隙比 및 液性限界와 壓縮指數의 關係를 나타낸 것으로 그 關係式은 다음과 같다.

$$CH : C_c = 0.36 (e_o + 0.008 LL - 0.819)$$

$$CL : C_c = 0.269 (e_o + 0.026 LL - 0.929)$$

이는 Azzouz¹⁵⁾의 $C_c = 0.37 (e_o + 0.03 LL -$

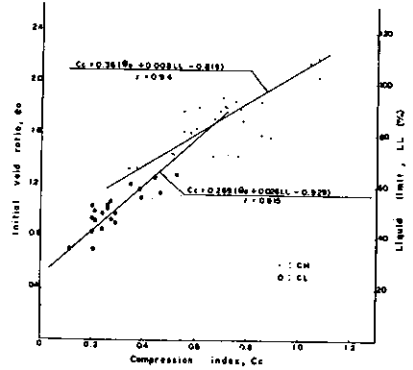


Fig. 9. Relationships of compression index vs. initial void ratio and compression index vs. liquid limit.

0.34)와 類似的한 關係를 나타내고 있으며 液性限界와 間隙比가 增加함에 따라 壓縮指數도 增加하는 것으로 나타났다.

5) 흙의 剪斷強度 特性

흙의 剪斷強度에 對해서는 1733年 Coulomb 이 흙의 剪斷強度 公式를 發表한 以來 Terzaghi, Bishop, Casagrande, 内田 等の 學者들에 依하여 研究되어 왔다.

(1) 深度에 對한 粘着力의 變化

Fig. 10은 釜山, 仁川 等の 粘土層의 深度에 對한 粘着力의 變化를 나타낸 것이다.

山口¹⁰⁾의 研究結果에 依하면 $C = 0.01H + 0.03$, $C = 0.017H + 0.02$, $C = 0.009H + 1.06$ 과 같이 粘着力은 深度에 따라 增加하고 있으나 本 研究에서는

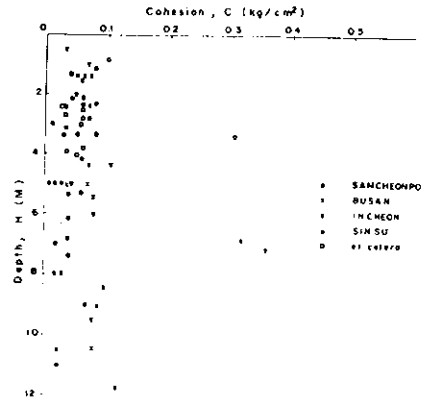


Fig. 10. Variations of cohesion according to depth.

粘着力과 深度는 試驗地區 全般에 걸쳐 共히 相關性이 없는 것으로 나타났다.

이는 Fig. 4의 深度와 過壓密比와의 關係에서 나타난 바와 같이 本 試驗地區의 粘土는 初期壓密이 進行되고 있는데 起因하는 것으로 思料된다.

(2) 粘着力과 一軸壓縮強度의 關係

Fig. 11은 粘着力과 一軸壓縮強度의 關係를 圖示한 것으로 그 關係式은 다음과 같다.

$$CH : q_u = 1.896C + 0.017$$

$$CL : q_u = 1.849C + 0.04$$

이는 柳⁴⁾의 $C = 0.021 + q_u/2.08$, 山口¹⁰⁾의 C

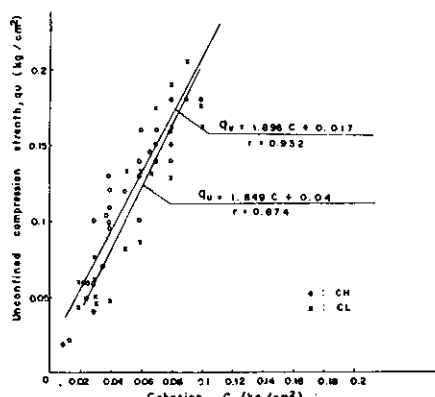


Fig. 11. Relationship between cohesion and unconfined compression strength for marine clay.

$= q_u/2$ 와 類似하였으나 金の $C = q_u/3$ 과는 多少 差異가 있는 것은 本 試驗地區가 水中이며 多量의 Silt質 흙과 조개껍질 등의 堆積物을 含有하고 있어 一軸壓縮強度에 比하여 比較的 粘着力이 적은데 起因하는 것으로 判斷된다.

摘 要

本 研究에서는 主要 港灣에서 採取한 海性粘土에

對하여 各種 工學力 性質들을 測定하여 이들의 相互 關係를 分析 考察하였는데 그 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 本 試驗地區의 흙은 大部分이 CH, CL, ML로 構成되어 있으며 初期壓密이 進行中인 것으로 思料된다.

2. 壓縮指數와 液性限界의 關係式은 다음과 같다.

$$CH : C_c = 0.0137(LL - 22.6)$$

$$CL : C_c = 0.0123(LL - 14.64)$$

3. 壓縮指數와 初期間隙比의 關係는 塑性이 높은 흙 일수록 기울기가 완만하였으며 그 關係式은 다음과 같다.

$$CH : C_c = 0.431(e_o - 0.504)$$

$$CL : C_c = 0.471(e_o - 0.235)$$

$$ML : C_c = 0.641(e_o - 0.393)$$

4. 壓縮指數와 自然含水比의 關係式은 다음과 같다.

$$CH : C_c = 0.0133(W_n - 28.27)$$

$$CL : C_c = 0.0225(W_n - 23.56)$$

$$ML : C_c = 0.0106(W_n - 16.42)$$

5. 初期間隙比 및 自然含水比와 壓縮指數의 關係는 높은 正의 相關으로 그 關係式은 다음과 같다.

$$CH : C_c = 0.301(e_o + 0.017W_n - 1.05)$$

$$CL : C_c = 0.141(e_o + 0.056W_n - 1.054)$$

$$ML : C_c = 0.421(e_o + 0.0214W_n - 1.121)$$

6. 初期間隙比 및 液性限界와 壓縮指數의 關係式은 다음과 같다.

$$CH : C_c = 0.36(e_o + 0.08LL - 0.819)$$

$$CL : C_c = 0.269(e_o + 0.026LL - 0.929)$$

7. 海性粘土의 粘着力은 深度와 相關性이 없으며 一軸壓縮強度와의 關係式은 다음과 같다.

$$CH : q_u = 1.896C + 0.0107$$

$$CL : q_u = 1.849C + 0.04$$

引 用 文 獻

1. 姜又默 : 土質力學, 螢雪出版社, (1982) pp.136-149.
2. 土質試驗法, 日本土質工學會, (1974) p.88, 102, 624.
3. 都德鎰, 李成泰, 姜父默 : 陸上 및 港灣地域土의 壓密特性值의 相關性, 韓國農工學會誌, 25(4) : 50-60, 1983.

4. 柳基松, 金始源: 冲積粘土の土質工學的諸性狀に關し 研究, 韓國農工學會誌, 20 (4): 37-43, 1978.
5. Nishida, Y.: A brief note on compression index of soil, Journal of the soil Mechanics and Foundation Division, American Society of Civil Engineers, 82 (SM3) 1027-1-1027-14, 1956.
6. Moran, Proctor, Muser and Rutledge: Study of deep soil stabilization by vertical sand drains, Bureau of Yard and Docks, Department of the Navy, Contract, NOY-88812, 1958.
7. Terzaghi, K. and Peck, R. B.: Soil mechanics in engineering Practice, 2nd, John Willey and Sons, Inc., New York, 1967.
8. Peak, R. B. and Reed, W. C.: Engineering Properties of chicao subsoils, Engineering Experiment Station, University of Illinois, Bulletin, (1953) p. 423.
9. 金相圭: Engineering characterics of marine clays in Korea. Korean Inspects 2-2-1-2-2-30, 1974.
10. 山口英太郎, 難波直彦, 關晃, 永石義隆, 朴關嘉邦, 不知海 冲積粘土の土質について, 九州農業土木試験場報告 書 5 (4): 349-358, 1959.
11. 植下協, 冲積層粘土の壓縮指數と液性限界すおこ, 第19回土木學會講演概要 4:41-44, 1964.
12. Cozzolino, V. M.: Statistical forecasting of compression index, proceedings of the Fifth International Conference on soil Mechanics and Foundation Engineering, Paris, 1:51-53, 1961.
13. Sowers, G. B.: Introductory soil mechanics and foundations, 3rd, The Macmillan Company Colliar-Macmillan Limited, London, (1970) p.102.
14. 鈴木好一, 大崎順彦, 荒木春視: 粘性土にけする土質常數値の相關性, 日本土質工學會 第10回 ツソ木ゾウム: (1965) pp.141-146.
15. Amr. S. Azzouz, R. ymond J. Krizek and Ross B. Corotis: Regression analysis of soil compressibility. Soils and Foundations, 16(2):19-29, 1976.
16. 金周範: 河性堆積層地盤調査結果, 韓國農工學會誌, 16 (4): 67-72, 1974.