

蔚山 港灣 土質特性的 實驗的 研究

金 聲 得
土 木 工 學 科

〈요 약〉

蔚山 港灣 區域의 地質 構成을 조사하고 여기서 채취된 試料로써 壓密 特性 및 剪斷 強度 特性을 實驗的으로 研究하였다. 本 試料의 壓密 特性은 그 一次壓縮比가 50%정도 또는 그 이하에 불과함으로 二次的 時間效果를 考慮해야 하며 이러한 特徵들이 緩速剪斷試驗의 妥當性을 부여한다. 壓密에 따른 剪斷強度의 증가는 그 점착력의 증가에 基因함을 알 수 있었다.

An Experimental Study on the Engineering Characteristics of Soil in Ulsan Harbour Site

Kim, Seoung-Deuk
Dept. of Civil Eng.

〈Abstract〉

After examining the results of geological surveys for Ulsan harbour Construction site, an experimental study was made on the characteristics of consolidation and shear strength of the samples taken from the site.

Since the primary consolidation ratio was found not more than 50% and thus the secondary time effect looked rather important, it seemed sensible to do the slow test for this kind of soil. It was also found that the increases of cohesion gave rise to the increases of shear strength while the samples were consolidated.

I. 서 론

울산 항만 구역(그림 1)에 대한 제반 토질조사 및 시험은 1964년 이후 울산 공업단지 조성을 위한 부두 축조 등의 목적으로 건설부 등에서 여러 기관에 의뢰하여 실시되어 왔다(참고문헌 (1)~(11)). 그 결과에 의하면 울산만 내의 지질구조는 그 압반층이 -(30~40)m로부터 -(2~3)m까지 그 기복이 심할 뿐 아니라 그 경사도가 매우 큰 관계로 인하여 항만 구조물 축조에 매우 큰 어려움을 주어 왔다. 그

한 예로써 장생포 축조에서 영남화력을 연결하는 직선 위에 나타나는 지층모양을 나타내 보면 그림 2)와 같다(참고문헌(10)).

地表面로부터 岩盤까지의 土層의 종류는 대개가 사질이토(sandy silt), 점질이토 (clayey silt) 혹은 silty loam 등으로 標準貫入試驗 결과로 주어지는 N 値는 2~6정도 밖에 되지 않고 본 연구의 시료로 주어진 울산 공업항 2, 3부두 연결 잔교 부분의 시료에 대한 N 치도 겨우 2~4정도에 불과하였다.

종래에는 이러한 조건의 토질들, 특히 본 연구의 시료에 해당하는 토질(표 1참조)들에 대한 흙의 공

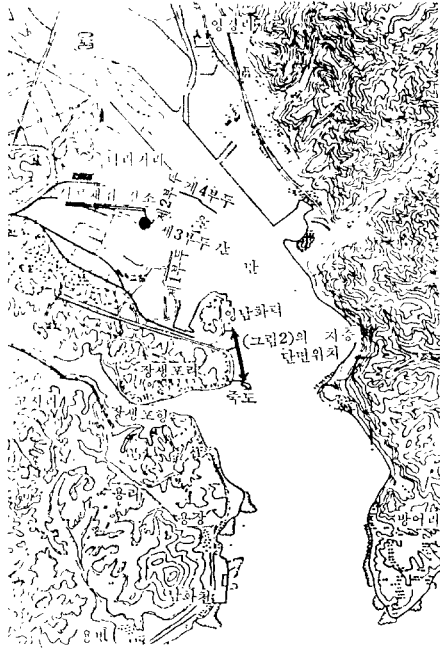


그림 1. 울산항만구역 평면도

학적 성질에 대한 관측은 대개 인축압축시험(unconfined compression test)이나 삼축압축시험(三軸壓縮試驗(triaxial quick test) 등에 의해 실시되는데 이에 의한 흙의 팽창각 성질은 그 흙의 대략 일관 저항각이 $\phi=0$ 이고 그 점착강도가 대개 $(0.05 \sim 0.10) \text{ kg/cm}^2$ 정도 인 것으로 판정되었다(참고문헌 11). 고로 이러한 흙에 대한 기초공법은 대부분 지와 내지는 암반까지 도달하는 지지말뚝 등벽에 의존하지 않을수 없었다. 본 연구에서는 이러한 토질 특성을 가진 시료에 대해서 압밀시험을 행하였고 압밀 점전단 시험을 행한 결과, 어떠한 압밀의 조건이 주어질 수 있는 여건의하의 구조물 공사라면 이러한 압밀의 영향이 얼마만큼이나 그 흙의 전단 저항을 크게 하여 줄 것인가를 검토하였다.

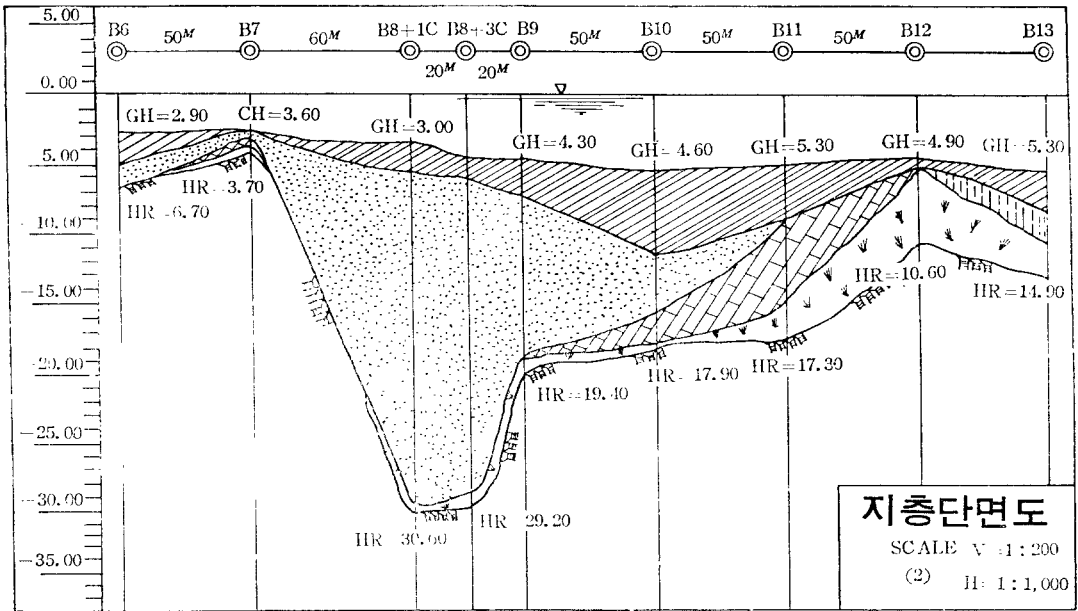


그림 2. 지 층 단 면 도

표 1. 토질 시험결과와 총괄표

증별 순위	시 험 종 류	시료번호 깊이	No. 1		No. 4		No. 6		No. 10	
			M	M	M	M	M	M	M	M
			4.0~4.7	3.5~4.0	6.5~7.5	3.5~4.0	5.6~7.5	3.0~4.0	7.0~8.0	11.0~12.0
1	함수비	(%)	61.73	59.83	35.19	49.73	55.77	69.00	63.91	53.21
2	비중			2.48	2.46	2.62	2.43	2.60	2.45	2.51
3	연경도 (%)	액상한계		25.65	32.30	성형한계	44.45	성형한계	26.80	35.55
		소성한계		22.20	14.66	N.P	17.45	N.P	19.67	22.05
		소성지수		2.45	17.64		27.00		17.13	13.55
4	일축압축강도	(kg/cm ²)			0.039	0.092			0.032	0.105
5	#200 통과율	(%)		51.45	69.93	44.22	80.07	40.30	70.84	89.10
6	채분석 (%)	점토 함유율		27.50	28.00	16.00	40.00	11.00	28.00	33.00
		실트 "		24.00	42.00	27.00	40.00	29.00	42.00	55.00
		모래 "		48.50	30.00	57.00	20.00	60.00	30.00	12.00
	흙분류	(삼각좌표)		점토 loam	점토 loam	사질 점토 loam	점토 loam	사질 점토 loam	점토 loam	
7	직접전단시험	선형 하중		0.36	0.39	0.85	1.25	0.32	0.45	0.69
		(kg/cm ²)P ₀								
		점착력		0.26	0.22	0.50	0.43	0.19	0.25	0.25
		(kg/cm ²)C								
	φ _c °		9	18	16	12	11	8	16	
	φ°		15	9	16	14	12	13	7	
8	압밀시험	압밀계수		4.2×10 ⁻⁴	4.3×10 ⁻⁴	7.8×10 ⁻³	2.0×10 ⁻³	3.5×10 ⁻²	3.5×10 ⁻⁴	1.6×10 ⁻⁴
		(cm ² /sec)								
9	표준관입시험	압축지수		0.45	0.56	0.29	0.60	0.15	0.44	0.48
		N 치		3~7	3	4	2	3	3	5

II. 압밀 및 전단에 관한 기본적인 이론

1. 압 밀

압밀이란 그空隙이 물로 포화된 흙위에 荷重이 주어질때 이 하중으로 인하여 시간이 흐름에 따라 다져지는 상태를 말하는 것으로 그 다져진 상태를 흙 속의 間隙水壓의 감소 정도로서 표시하고 있다. 이에 관한 기본적은 Terzaghi에 의해서 (1)과 같이 주어지

$$du = -\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} dz dt \dots \dots \dots (1)$$

있고 (1)식의 解는 (2)식과 같다.

$$u = (p_2 - p_1) \sum_{N=0}^{\infty} \left\{ \frac{4}{(2N+1)\pi} \sin \left[\frac{(2N+1)\pi}{2} \cdot \frac{z}{H} \right] \right\} e^{-\left[\frac{(2N+1)^2 \pi^2}{4} c_v \frac{t}{H^2} \right]} \dots \dots \dots (2)$$

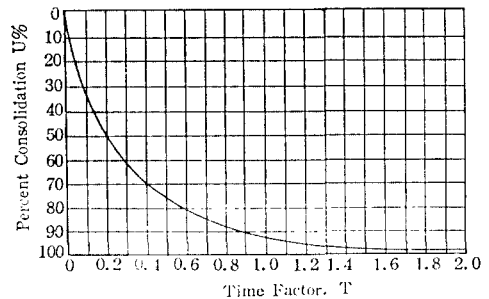


그림 3 Relationship Between Per Cent Consolidation and Time Factor Arithmetic Scale

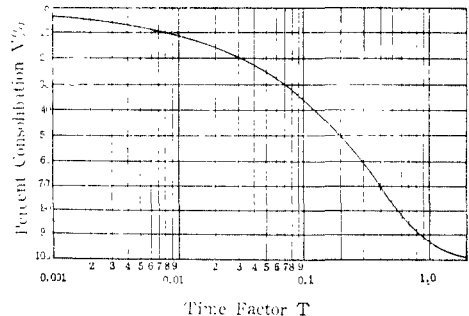


그림 4 Relationship Between Per Cent Consolidation and Time Factor Semilogarithmic Scales

압밀의 상태는 上記式 (2)의 간극수압 u 의 감소로써, 나타나는데 이론적으로 압밀이 100% 일어났다는 의미는 흙 속의 간극수압 u 가 0으로 되었다는 것이다. 이러한 이론적 관계를 그림으로 그려보면 (그림 3), (그림 4)와 같이 주어지는데 압밀계수 C_v 의 결정은 이러한 이론적 배경에 맞게 시험치로부터 결정하게 된다. 그러나 실제로 일어나는 압밀은 본 시료와 같은 경우, 주어진 하중 P 를 間隙水壓 壓出된 만큼 이론에 따라 土粒子가 부담해 주는지도의 분이며 또 間隙水壓이 0이 되었다고 하더라도 그 粒子들의 배열이 재정비됨으로 인한 2차적 압밀효과가 나타나게 되는데 아직은 이에 관한 정확한 이론은 없다.

2. 점성토의 전단 강도

일반적으로 점토의 전단 특성은 그 점토가 얼마만한 先行荷重을 받았느냐에 따라 다르며 또 非排水試驗(undrained test, Q-test), 壓密非排水試驗(consolidated undrained test, R-test) 및 排水試驗(draind test, S-test)등의 방법에 따라 흙 속의 間隙水壓의 차이에 의해서 그 有効應力(effective pressure or intergranular pressure)이 달라지므로

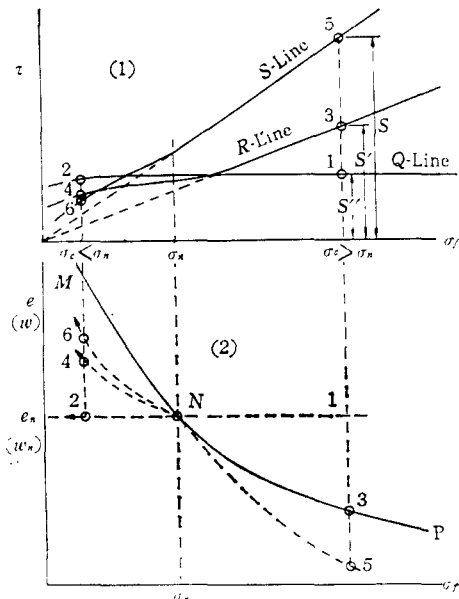


그림 5 Behavior of Saturated Clay During Q, R and S Tests

로 각각 다른 결과를 가져오게 된다. 이들 각각의 시험 방법에 따른 차이를 그 구속압력(confining

pressure)이 先行荷重보다 작을 때와 클때에 따라 그림으로 보이던 다음과 같다. (그림 5)

그림 5에서 undrained test의 결과는 그림 5-(1)에서는 Q-line, 그림 5-(2)에서는 N-1 line에 해당된다. consolidated undrained test의 결과는 R-line과 N-3 line, drained test의 경우는 그 압밀이나 전단현상이 아주 서서히 일어나기 때문에 그림 5-(1)에서 S-line, 그림 5-(2)에서 N-5 curve를 이룬다. M-N-P 곡선은 또 normal consolidation 일때의 곡선과 일치한다.

일반적으로 시험실에서 행하는 직접 전단 시험에서는 Q-test나 R-test는 행할 수가 없고 충분한 압밀 상태 하에서 실험을 한다고 볼수는 없지마는 대체로 S-test에 해당된다고 보여진다. 그러나 실제에 일어나는 현상은 이러한 微細粒子의 흙들이 하중이 가해지는 동안에 排水가 충분히 되어질 만큼 透水係數가 크지 않기 때문에 非排水壓密剪斷試驗(consolidated undrained test)의 결과가 적합한 것으로 알려지며 S-test로부터 R-test의 결과를 구하기 위해서 다음과 같은 방법이 권장된다.

그림 6에서와 같이 $\phi_a = \frac{\phi}{2}$ 를 취하여 $\tau = C_a + \sigma \tan \phi_a$ 인 식을 사용한다.

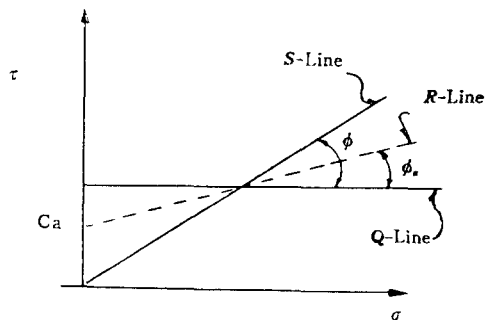


그림 6 시험방법에 따른 σ-τ와의 관계

III. 압밀 시험 및 분석

시료는 울산 향만 2, 3부두 연결 부분에 boring에 의해 채취된 자연 상태의 흙트러 지지 않은 시료로써 그 시료의 일반적인 土性은 표 1에 나타내었다. 본 시험에 사용한 압밀 기구는 본 대학 토질 실험실의 Fixed Ring Type 5대를 사용하였고 시험 방법은 한국 공업규격 토질시험방법(KS F 2316)에 의하였다.

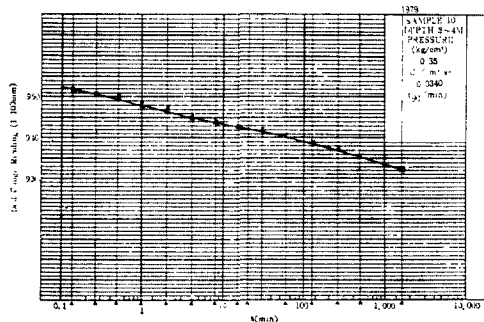


그림 7. 침하량곡선의 실제예

압밀 시험 결과의 정리는 \sqrt{t} 법과 $\log t$ 법 두가지를 모두 사용하여 각 하중에 대한 압밀계수를 비교하려고 시도하였으나 $\log t$ 법에 의한 방법은 일부 시료(例: #10 hole의 深度 3.0~4.0m)들의 일차 압밀비가 0.1~0.4 정도에 불과하여 대부분 2차 압밀을 보이는 직선으로 주어지기 때문에 이론 곡선과 대응시킬 수가 없었다. (이론곡선—그림 4, 실제 곡선의 例—그림 7). 고로 표 2에 정리된 압밀계수의 값들은 \sqrt{t} 법에 의하여 구하였다.

일차 압밀비가 이렇듯 아주 작은 값으로 주어진다 하는 것은, 즉 2차 압밀 효과가 크게 나타난다는 것은 본 시료의 압밀은 흙 개개의 입자가 그 배열 형태를 달리함으로써 발생한다고 볼 수 있다. 즉 이

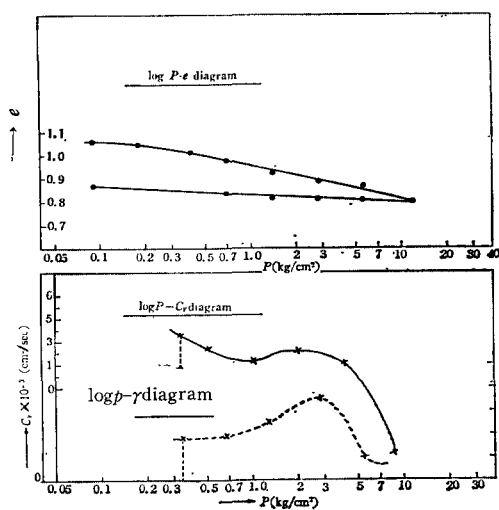


그림 8. #10, 심도 3-4m 시료의 압밀특성

는 그 粒子 構造가 아주 느슨한 조직을 하고 있는 것을 가리키고 있으므로 이의 전단 저항 시험은 排水剪斷試驗(draind test, S-test)이라도 현상의 결과에 크게 어긋나지 않을 것이다.

본 시험 결과로부터 일차 압축비가 가장 작은 시료 (#10 hole, 深度 3-4m)의 압밀계수 C_v 와 일차 압밀비 γ , $e-\log P$ 곡선등을 그려보면 그림 8.과 같다.

Ⅳ. 직접 전단 시험 및 분석

직접 전단 시험은 본 대학 토질 실험실의 변형 제어식(controlled strain type)직접전단 시험기에 의하여 양면배수 압밀 전단 시험을 행하였다. 변형 제어 속도를 느리게 하여 일정한 시간 간격마다 수직 변위와 Proving Ring Gauge의 눈금을 읽어 기록하였다. 이론적으로 말하면 파괴시에는 변형이 계속적으로 가해 지더라도 stress gauge의 눈금은 떨어져야만 하나 본 시료에 대한 경우에는 그 stress gauge의 눈금이 거의 일정하거나 아주 느린 속도로 증가하는 현상을 보여 주었다(그림 9 참조)이는 수직하중으로 인한 압밀 현상 때문에 그 증가 된 점착력이 파괴 강도를 증가 시킨다고 생각된다.

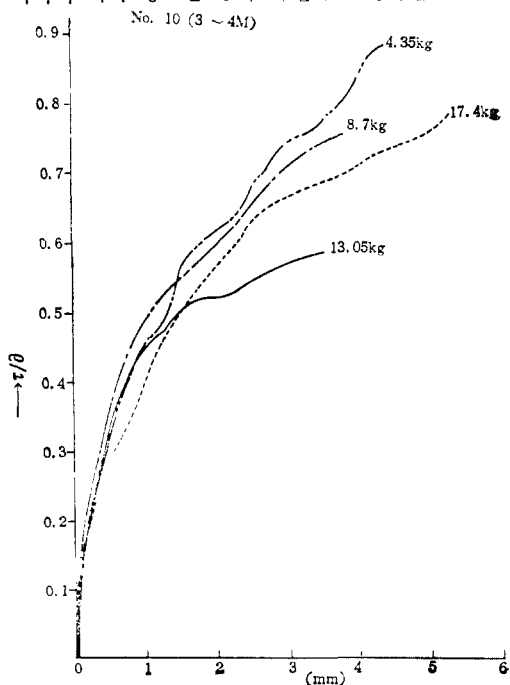


그림 9. $\frac{\tau}{\sigma}$ -displacement 관계도

V. 결 론

이상의 실험 및 조사 성과를 분석한 결과를 요약하고 그 의미를 考察해 보면 다음과 같다.

① 울산 광범 지역의 대개적인 토질 구성은 분시료에 부합한다.

② 압밀에서 인차 압밀비가 50%정도에 불과하거나 그 이하로 주어지는 시료들에 대해서는 2차적 시간효과(secondary time effect)에 주의해야만 되겠다.

③ 이와 유사한 시료에 대한 전단 강도 특성을 주기 위해 적용되었던 종래의 값들은($\phi=0$, $c=0.1\sim 0.05 \text{ kg/cm}^2$) 본 시험의 결과 (표1)에 따라 수정되어야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. 울산특별 건설국; 울산항 육항기본계획조사보고서, 한국건설기술단, 1964.
2. 건설부; 울산항 제2차 확장 및 실시 설계블 위한 지진조사 보고서, 영릉공부소, 1966.4, 1966.7.
3. 건설부; 울산항 기본계획 자토서, 1966.
4. 울산특별건설국; 1967년도 울산항 조사 및 실시 설계 종합보고서, 1967. 12
5. 울산특별건설국; 울산항 준설계획을 위한 지질 조사보고서, 탑동지질, 1968, 11.
6. 울산특별건설국; 비포함 기본계획 조사보고서, 1972, 8.
7. 건설부; 태화강 하구언 건설 타당성 조사 보고서, 1972, 9.
8. 건설부; 울산 어업전진기지항 건설계획 보고서, 1972,
9. 건설부; 태화강 하류부 종합개발공사 실시설계 보고서, 1971, 9.
10. 건설부; 태화강 하류부 종합개발(항단)기본조사 지진조사보고서, 1973, 12.
11. 朴琿澤, 裒鍾淳; silt질 점토의 함수비 변화에 따른 전단 강도 계수 변화에 대한 고찰, 釜山大學 校 生技研 第18號, 1978, 12.
12. 朴性毅; silt질 점토의 압밀에 의한 전단 강도의 증가, 土木學會 學術發表會, 1978.
13. 黃性一; 점토의 압밀특성, UIT Report, 제6권 1호, 1975.
14. 鄭寅駿, 金翹圭; 土質力學, 東明社, 1977.
15. Means R.E., Parcher, J.V.; Physical Properties of Soils, Constable and Company Ltd., 1964.
16. Taylor, D.W.; Soil Mechanics, John Wiley & Sons, Inc. 1948.
17. Winterkorn, H.F., Fang, H.Y; Foundation Engineering Handbook, Van Nostrand Reinhold Company, 1975.