

연약지반에 대한 현장시험 적용에 관한 연구
A STUDY ON THE APPLICATION OF FIELD TESTS TO WEAK GROUND

이승래*, Seung-Rae Lee

정한중**, Han-Joong Chung

김준석**, Joon-Seok Kim

* 한국과학기술원 토목공학과 조교수, Assistant Professor dep. of Civil Engineering, Korea Advanced Institute of Science & Technology
** (주)대우 건설기술연구소 선임연구원, Senior Research Engineer, Daewoo Institute of Construction Technology

ABSTRACT

This paper reports the application of field tests to weak ground. In this study, field and laboratory tests were performed in the west seashore of KOREA(Ildo, Sore, Kunsan, Youngam). Applied tests are standard penetration test, cone penetration test, dilatometer test, field vane test, unconsolidated undrained test, oedometer test and other fundamental material properties tests. The results of in-situ test are used to estimate soil types and undrained shear strengths of five clay local deposits. SPT results showed low reliability and FVT was also demonstrated the best field test to weak clayey deposits.

1. 서론

최근 용지의 심각한 부족으로 해안매립지, 간사지등 연약지반에 대한 이용이 증가하고 있다. 우리나라의 경우 이러한 연약지반에 대한 지반조사로서 일반적으로 표준관입시험과 실내시험을 실시하고 있으며, 제한적으로 원추관입시험을 실시하고 있다. 표준관입시험의 경우 포화점성토에서는 과잉간극수압의 발생과 전달에너지 효율의 불확실성등으로 인하여 결과에 대한 신뢰성에 문제가 있으며, 실내시험의 경우에도 연약한 점성토는 시료성형의 어려움과 시료교란 때문에 정교한 역학시험 수행이 어려운 경우가 많다.

이러한 문제를 효율적으로 극복하기 위하여 합리적인 현장 시험을 이용하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

본 연구에서는 현장 시험의 결과에 대한 타당성을 분석하기 위하여 우리나라 서해안(인천일도, 인천소래, 전복군산, 전남영암) 및 경기도 오산의 매립 및 간사지에 대하여 환산식 이중관입시험, 표준관입시험, Dilatometer 시험, 현장베인시험 및 실내시험을 실시하여 비배수 전단강도등 여러 공학적 성질을 분석하였다. 연구가 아직 진행중인 관계로 분석적인 면에서 미흡한 점이 많으나, 우리나라 서해안 지역의 지반 Data로서 참고가 되고자 하였다.

2. 시험의 종류 및 특성

본 연구에서는 각 시험위치에서 표준관입시험(Standard Penetration Test, SPT), 원추관입시험(Cone Penetration Test, CPT), 현장베인시험(Field Vane Test, FVT), Dilatometer Test(DMT)를 실시하였으며, 수압식 시료채취기를 이용하여 비교적 양호한 시료를 채취하여 실내시험을 실시하였다.

2.1 표준관입시험(SPT)

표준관입시험은 우리나라에서 가장 많이 사용하는 현장시험으로 원위치(In-Situ)에서 시추공내에 Split barrel sampler를 소형의 타격에너지(우리나라의 경우 64kg의 추를 76cm 높이에서 낙하)를 가하여 Sampler가 30cm 관입하는데 필요한 타격회수(N값)를 측정하는 시험으로서, N값으로부터 지반의 강도, 흙의 상대밀도, 내부마찰각, 변형률, 팽창의 지지력 등을 도출할 수 있으며, 동시에 교란 시료를 얻을 수 있다. 그러나, 표준관입시험은 N값에 직접 대응하는 토성이 없고, 연약한 점성토에 있어서 신뢰도의 결여, 실질적인 타격에너지의 불확실성 등의 단점이 있다. 상기 문제점 중에 타격에너지 문제는 점성토 뿐만 아니라 사질토에서도 문제가 되는 것으로, 시험규정에 정해놓은 타격에너지를 100%로 했을때, 실제로 전달되는 에너지는 시험장비에 따라 서로 달라지게 된다. 그러므로, 외국의 환산식 또는 환산표를 사용할 경우 에너지 효율에 따라 가감해 주어야 한다. 국제 토질 기초공학회(ISSMFE)에서는 에너지효율 60%를 기준으로 채택하여 N_{60} 을 규정하고 있으나, 우리나라에서는 공인된 에너지효율이 정해지지 않은 실정으로 최근 한국건설기술연구원(KICT)에서 연구제안(미국, 일본에 비하여 에너지 효율은 80~85%)한 바 있다.

본 연구에서는 우리나라에서 많이 사용하는 도넛함마식을 사용하였다.

2.2 원추관입시험(CPT)

원추관입시험은 원추모양의 콘(CONE)을 일정한 속도(2 ± 0.5 cm/sec)로 압입하면서 저항력을 측정하는 정적 시험과 타격으로 관입하는 동적 시험등 2가지로 나눌 수 있으나, 일반적으로 정적 시

험이 사용되며, 기계의 형식에 따라 기계식과 전기식이 있다.

원추관입시험의 결과로 q_c , f_s , R_r 값을 얻게된다. 각 값의 정의는 아래식과 같다.

$$q_c = \frac{\text{저항력} + \text{내관중량}}{\text{콘 단면적}} \quad [1]$$

$$f_s = \frac{\text{저항력} + \text{내관중량}}{\text{Friction Sleeve의 면적}} \quad [2]$$

$$R_r = f_s/q_c \quad [3]$$

식(1)에서 얻은 q_c , f_s 값으로부터 사질토의 경우 ϕ 값을, 점성토의 경우 비배수 전단강도(S_u) 값을 얻을 수 있다. 이외에 토질분류, 상대밀도, 탄성계수, Pile 설계, 얇은기초 설계 등에 사용할 수 있다. 일반적으로 기술자들이 표준관입시험에 익숙해 있는 관계로 q_c 값을 N값으로 바꾸어 사용하기도 하는데 좋은 방법은 아니다.

본 연구에서는 화란식 이중관입 시험기를 국내에서 제작 사용하였으며, 하중 측정장치는 Prooving Ring을 사용하였다.

2.3 현장베인시험(FVT)

스웨덴의 Olsson, Cadling, Odenstad등에 의해 개발되었으며, 언약한 점토층의 비배수 전단강도 추정에 주로 사용되고 있다. 베인시험은 시료 교란의 문제를 상당히 감소시킨 장점이 있다.

시험방법은 십자형 날개를 땅속에 수직하게 밀어넣은 후 천천히

돌리면서 저항값을 측정하여, 측정된 저항값으로부터 비배수 전단강도, 수평토압 등을 추정한다. 이때 관입후 3~5분 후에 시험을 개시하고 회전속도는 6~12°/분으로 한다.

본 연구에서는 영국의 Wychem Farance에서 제작한 표준형 베인 시험기를 사용하였다.

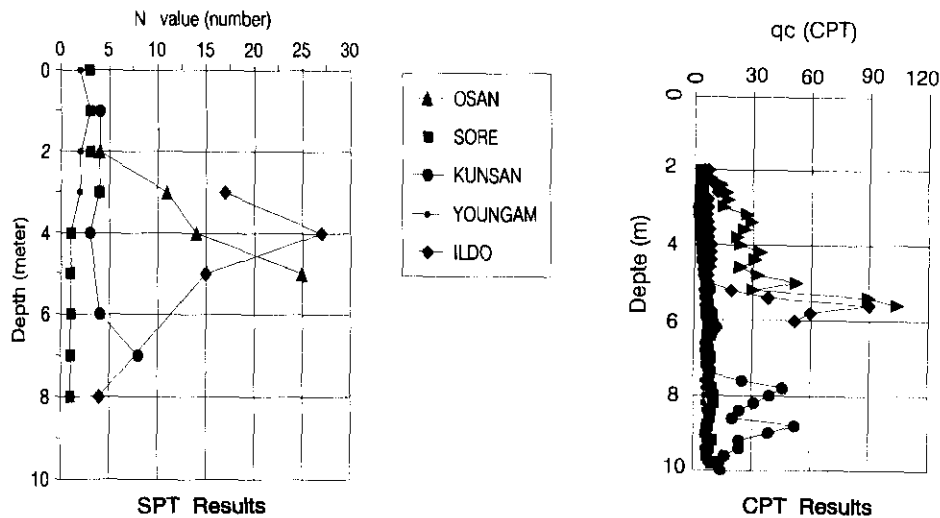
2.4 Dilatometer Test(DMT)

본 연구에서는 Italy에서 제작한 Flat Dilatometer 시험기를 사용하였다. Flat Dilatometer Test는 주로 점성토 지반에서의 흙의 종류, 비배수 전단강도, 정지토압계수, 변형계수, 선행압밀하중등 공학적 특성을 추정하도록 70년대초 Marchetti가 처음 고안한 시험 방법으로 Blade를 땅속에 관입하여 Blade에 부착되어 있는 직경 6cm의 Steel membrane에 공기압을 가하여 수평방향으로 팽창시킴으로써 공기압과 membrane 변형(즉, 지반변형) 관계를 이용하도록 고안되었다.

결과 해석은 membrane이 땅속에 관입될때 토압에 의해 수축된 상태에서 대기중의 평형 상태로 회복될때 까지의 압력을 A값, 다시 압력을 가하여 membrane의 중심부가 1.1mm 팽창했을때의 압력을 B값, membrane이 다시 원위치로 회복했을때의 압력을 C값으로 정하고, membrane의 강성을 보정하여 P_0 , P_1 , P_2 를 구하여 Material Index(Id), Horizontal Stress Index(Kd), Dilatometer Modulus(Ed), Pore Pressure Index(Ud)등의 값들을 얻는다.

앞에서 얻어진 Id, Kd, Ed, Ud 값들을 이용하여 여러 공학적 성질들을 추정한다.

본 연구시험에서는 CPT 관입장치를 이용하여 DMT Blade를 땅속에 관입하였다.



[그림 1] 시험결과

3. 실험결과 및 고찰

앞절에서 소개한 5개 Site에서의 SPT, CPT, DMT, FVT 결과와 비교하기 위하여 Thin-walled tube를 사용하여 비교적 교란되지 않은 시료를 채취한뒤 삼축압축시험(UU), 압밀시험, 단순전단시험, 아터버그시험 및 물성시험 등을 실시하였다.

3.1 흙의 종류

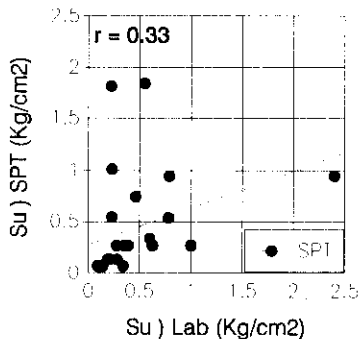
흙의 종류에 대한 추정은 CPT 및 DMT에 의하여 실시한후 실내시험 결과와 비교하였다. CPT의 경우에는 Cone 관입저항치 q_c 와 Friction Sleeve의 저항치 사이의 Friction ratio를 사용하여 Robertson과 Campanella가 제안한 상관관계도를 이용하였다. DMT의 경우에는 Marchetti와 Crapps가 제안한 Id, Ed 값을 이용하는 방법을 사용하였다. 비교결과 비교적 잘 일치하는 경향을 보이고 있다.

3.2 비배수 전단강도

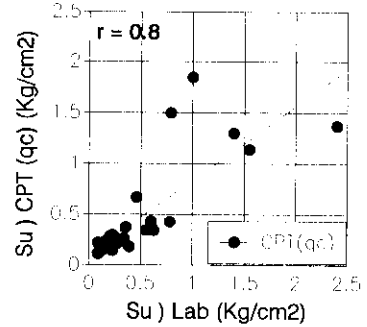
본 연구에서 실시한 현장시험 Site가 우리나라 서해안을 완전히 대표할 수는 없으나, 5개 Site의 결과에 비추어 볼때 토질 분류상 Silty Clay가 대표적인 토질로 사료된다.

본절에서는 현장시험의 결과와 실내시험의 결과를 그림 4에 비교하였다.

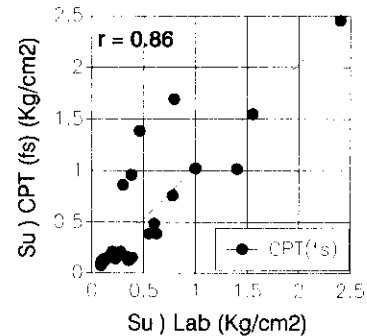
CPT에서의 비배수 전단강도 추정은 Cone 지지력(q_c)을 이용하는 방법과 Friction Sleeve를 이용하는 방법등 2가지로 실시하였으며, Cone 지지력을 이용할때 가장 중요한 요소인 N_k 값은 18을 사용하였다. 그림 4로부터 실내시험에 대한 각 현장시험의 상관관계를 얻을 수 있다. 표준관입시험(SPT)의 경우 0.33으로 상관계수가 가장 작았으며, 현장베인시험(FVT)의 경우 0.98로서 상관계수가 가장 큰 것으로 분석되었다. 원추관입시험(CPT)의 경우 f_s 값을 이용한 것이 q_c 값을 이용한 것보다 상관계수가 큰 것으로 나타났다. DMT의 경우는 비배수 전단강도를 비교적 작게 추정하는 경향이 있으며, 특히 비배수 전단강도가 1.0kg/cm^2 이상에서는 그 경향이 뚜렷함을 알 수 있다.



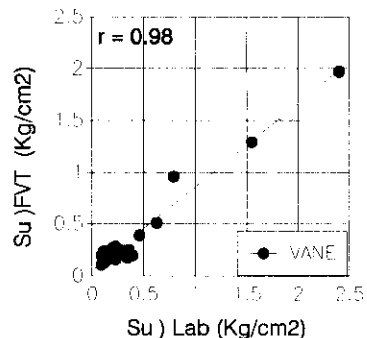
(a) SPT : Lab.Test 비교



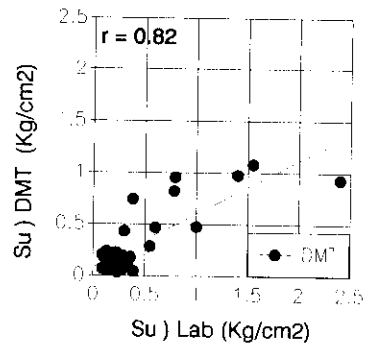
(b) CPT(q_c) : Lab.Test 비교



(c) CPT(f_s) : Lab.Test 비교



(d) FVT : Lab.Test 비교



(e) DMT : Lab.Test 비교

[그림 2] 현장시험과 실내시험의 전단강도 비교

4. 결 론

이상과 같은 현장시험 및 실내시험결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 우리나라 서해안 지역은 사질토와 점성토의 중간인 Silt Clay가 대표적 흙분류로 사료된다.
- 2) 연약한 Silt질 지반에서의 SPT를 실시할 경우 신뢰도가 매우 작으므로 다른시험(CPT, FVT, DMT)과 병행하는 것이 바람직하며, 특히 FVT를 실시하는 것이 좋은 것으로 사료된다.
- 3) CPT, DMT를 이용한 흙의 종류에 대한 추정은 비교적 잘 맞는다.
- 4) Silt지반에서 CPT에 의한 비배수 전단강도 추정은 Friction Sleeve를 이용하는 것이 좋다.
- 5) Silt 지반에서 DMT는 비배수 전단강도를 비교적 작게 추정하는 경향이 있다.
- 6) 추후로 본 연구에서 실시하지 못한 Piezo Cone 관입 시험을 실시한 계속적인 연구가 필요하다.

< 참고문헌 >

1. Chandler, R.J.(1987), "The In Situ Measurement of the Undrained Shear Strength of Clays Using the Field Vane", Proc., the ASTM International Symposium on Lab. and Field Vane Shear Strength Testing, Tampa, pp.13-44
2. G.Aas, S.Lacasse, T.Lunne, K.Hoeg(1986), "Use of In Situ Tests for Foundation Design on Clay", Proc. of Geotechnical Special Conference, ASCE, pp.1-30
3. Lacasse, S.and Lunne, T.(1988), "Calibration of Dilatometer Correlation", ISOPT-1, pp.135-155
4. Marchetti, S.(1985), "On the Field Determination of K_0 in Sand ", Submitted for Publication in Discussion Volume, Proc., XI ICSMFE, San Francisco. Vol.5, pp.2667-2673
5. Meigh(1987), A.C., Cone Penetration Testing : Methods and Interpretation, CIRIA Ground Engineering Report : In-Situ Testing
6. 이명환, 이원제등(1991), "항타 진동과 말뚝-흙의 상호작용", 한국건설기술연구원 연구보고서 pp.45-55