

KGS Spring '95 National Conference
25, March, 1995/Seoul/Korea

仁川海岸地域에 分布하는 海性粘土의 土質特性

GEOTECHNICAL INVESTIGATIONS OF SOFT MARINE CLAY IN INCHON

신은철, Eun Chul Shin; 김기한, Gi Han Kim

시립 인천대학교 공과대학 토목공학과 전임강사, 석사과정, Professor and student, Dept. of Civil Engineering University of Incheon.

이규진, Kyu-Jin Lee

수도권 신공항 건설공단 토목부, Dept. of Civil Engineering, Metropolitan New Airport Construction Authority, Seoul, Korea.

신방웅, Bang-Woong Shin

충북대학교 공과대학 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Chungbuk National University, Cheong-Ju, Korea.

개요(SYNOPSIS) : 인천해안지역을 대상으로 현장토질시험 및 실내토질시험을 통해 구한 각종 토질정수로 부터 토질계수간의 경험방정식을 도출하였다. 총시추공은 바다에서 실시한 것이 102개소이고 육지에서 실시한 시추공이 34개소이었다. 이들 시추공들의 시추지역은 주로 영유도와 영정도 사이에 매립공사가 한창진행중인 영정도 국제 신 공항 현장이다. 평균 연약해성 점토의 두께는 5m이었다. 본 논문은 심도에 따른 토질정수, 건조밀도와 자연함수비 및 간극비와의 관계도를 제시하였으며 소성지수와 액성한계 및 초기 간극비의 경험방정식을 도출하였다. 흙의 점착력과 일축압축시험에 대한 결과도 비교 평가되었다. 지반심도에 따른 여러 가지 토질정수들을 비교적 자세히 기술하였다. 마지막으로 압밀시험 결과들을 세계도처에 여러 점토들과 비교해 보았다.

Several empirical equations for soft marine clay in Incheon have been proposed through the analysis of field and laboratory tests. The number of soil exploration was 102 boring logs on sea and 34 boring logs on land. Most of these boring logs were performed for New Seoul Metropolitan Airport site which is located between Yongjong Island and Yongyu Island. The average thickness of soft marine clayey soil is about 5 m. The paper presents the soil indices with soil profiles, relationships between dry densities and natural water contents, and also with initial void ratios. The relationships between plasticity index and liquid limit & initial void ratios are presented. The relationships between cohesion and unconfined compression strength has been evaluated. Various geotechnical properties with respect to soil depth are described in detail. Finally, some of consolidation test results are compared with other clays of the world.

1. 서론

수도권 지역의 인구증가에 따른 택지조성, 기간산업시설 및 신 공항 건설 등을 위한 매립공사가 대규모적으로 인천 해안지역에 현재 실시되고 있다. 이에 부응하여 본 논문은 인천해안지역, 특히 신공항공단지역을 대상으로 현장토질시험 및 실내 토질시험을 통하여 구한 각종 토질정수를 분석하여 상호간의 연계성을 도출하여 2000년대를 향한 인천지역 해안 개발시험 및 향후사업계획에 기반거동에 대한 기초 자료를 제공하는데 있다. 우리 나라 해안에 분포하는 해성점토에 대한 공학적 특성은 김사한(1987)에 의해서 연구된바 있으며, 서남해안에 분포하는 층적점토의 토질특성에 관한 연구는 유연택(1988), 포항층적토의 물리적 성질에 대한 연구는 김주식과 유기승(1974), 해성점토의 Creep특성 및 효과는 안상로(1991)에 의해서 연구되었으며, 그 외 많은 연구자들 및 연구기관에서 연구되었다. 경기만 일대의 해성점토의 토질특성은 주로 연약지방에 국한되어져 있다. 본 논문에서 다루어진 해성점토 특성은 그림1에 나타난 영종도 신 국제공항 부지지역에 관한 것으로서 점토의 지수들, 간극비, 자연함수비, 건조밀도, 전단강도시험, 그리고 압밀시험결과등을 연구하였다. 실험결과에 의한 토질역학적 정수들을 비교분석하여, 여러경험방정식들을 제시하였으며 기존에 있는 결과들과 비교 고찰하였다.

2. 지반의 지질학적 배경

현장의 대부분의 선 캄브리아기에 형성된 변성퇴적암으로 이루어져 있으며 퇴적암사이에는 쥘라식 주기에 형성된 대보화강암이 곳곳에 형성되어 있다. 바다지역은 제4층적기에 형성된 것으로서 주로 점토, 실트, 모래로 구성되어 있다. 지반하부에 위치한 암반의 물리적 성

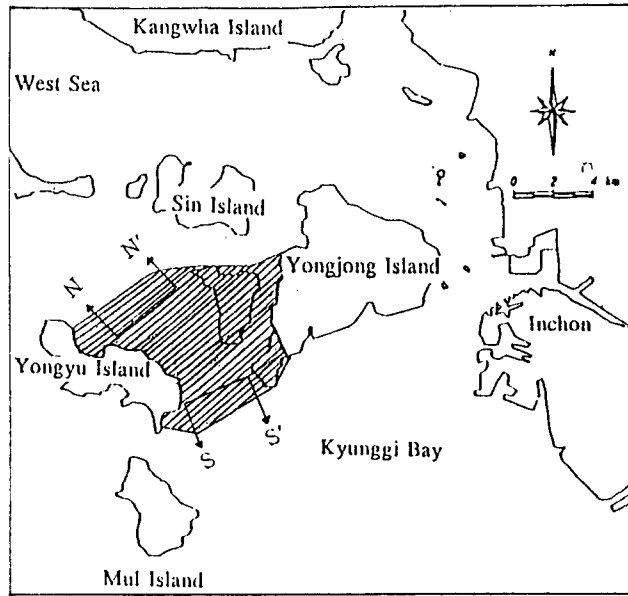
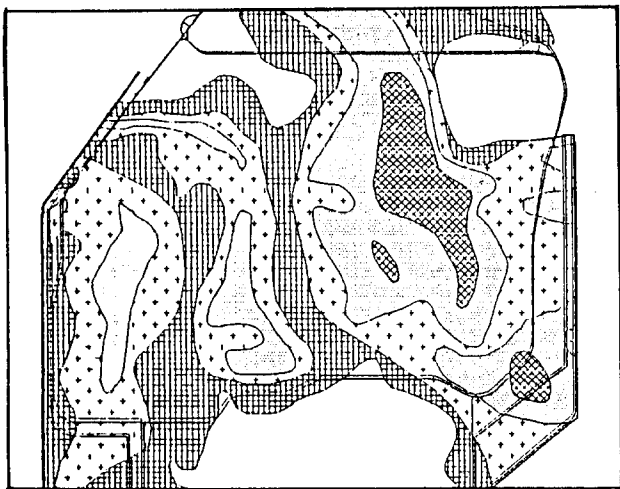


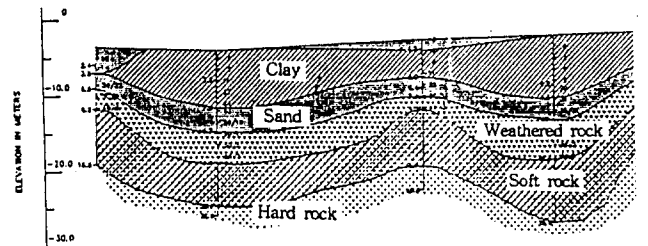
Fig. 1 Location of the New Seoul Metropolitan Airport site

질은 풍화암과 연암이 토층 밑에 존재하며, 이연암 하부에는 단단한 화강암으로 구성되어 있다. 지반상부층에는 점토성실트와 실트점토로 이루어져 있고 하부층에는 모래층과 점토모래층, 풍화암 연암순서로 이루어져 있다. 주어진 현장의 해상 연약지반의 심도는 그림2에 표시되어 있다. 연약해성점토의 두께는 3~11.5m이며 평균 두께는 약 5m이다. 북부 및 남부호안제방주변에 심도별토층구성도는 그림 3에 자세히 나타나있다.

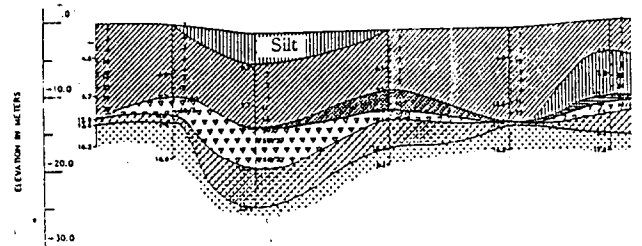


$T < 3m$ $3 < T \leq 5m$ $5 < T \leq 7m$
 $T > 7m$ (T : Thickness Soft Soil)

Fig. 2 Contour of soft soil thickness



(a) Section N - N'



(b) Section S - S'

Fig. 3 Soil profiles of (a) north area and (b) south area

3. 연약해성점토의 토질특성

시추공은 바다지역에서 102공, 육지지역에서는 34공으로 총136공을 시추하였다. 토질심도에 따른 전반적인 토질지수와 자연함수비가 표1에 나타나 있다. 초기간극비(e_0)의 범위는 0.7~1.3로 구성되어있다. 상부층적층으로 구성된 점토(AC1)의 평균초기 간극비는 0.9이고 그하부층의 점토(DC2)의 초기간극비는 0.8이었다. 일축압축강도 시험 및 비압밀비배수(UU-Test)에 의하면 비배수전단강도는 지반의 심도

(z)에 따라 증가하는 데 다음과 같은 방정식으로 표시할 수 있다.

$$c_u \text{ (KN/m}^2\text{)} = 7.25 + 1.96 z \quad (1)$$

상부 층적층을 구성하고있는 점토의 평균 비배수 전단강도는 약13.73KN/m² 이었다.

Table 1. Soil indices of marine clay with respect to depth

	AC1	DC1	AC2	DC2
LL(%)	25-40	25-45	26-58	30-45
PL(%)	15-30	15-30	17-26	18.4-22.3
LI	0.5-5	0.1-1.8	-1.0-2.0	-0.2-0.9
PI	3.0-20	3.0-27	3.8-37	7.7-26.5
W _n	25-30	<30	20-40	15-30

참조: LL = 액성한계, PL = 소성한계, LI = 액성지수, PI = 소성지수, w_n = 자연함수비

액성한계와 소성한계시험은 ASTM D-423과 D-424의 방법에 따라 실시하였다. 소성지수는 액성한계에서 소성한계값의 차로써 구하여진다. 이 결과들은 그림4에 표시되어 있으며 소성지수와 액성한계와의 관계식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$PI = 0.97 (LL - 21.11) \quad (2)$$

대부분의 결과가 Casagrande(1948)가 제시한 A-line주위에 분포되어있다. 초기간극비의 범위는 0.7~1.3이고 이에 대응하는 자연함수비는 21.5~50.5%이다. 이들 결과들은 그림5에 나타나 있는 것과 같이 자연함수비가 증가함에 따라 선형적으로 초기간극비가 증가하였다.

$$e_o = 0.0241 w_n + 0.144 \quad (3)$$

보통국내 해성점토($e_o \cdot w_n$)의 구배가 0.02~0.03이나 본지역해성토의 ($e_o \cdot w_n$)은 0.0241로서 국내해성점토의 평균값에 해당된다.

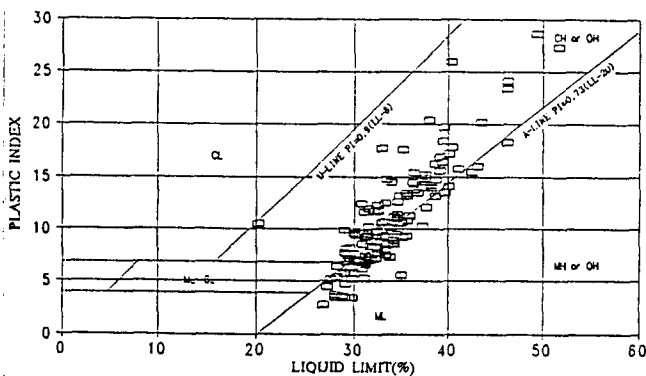


Fig. 4 Soil indices on Casagrande's plasticity chart

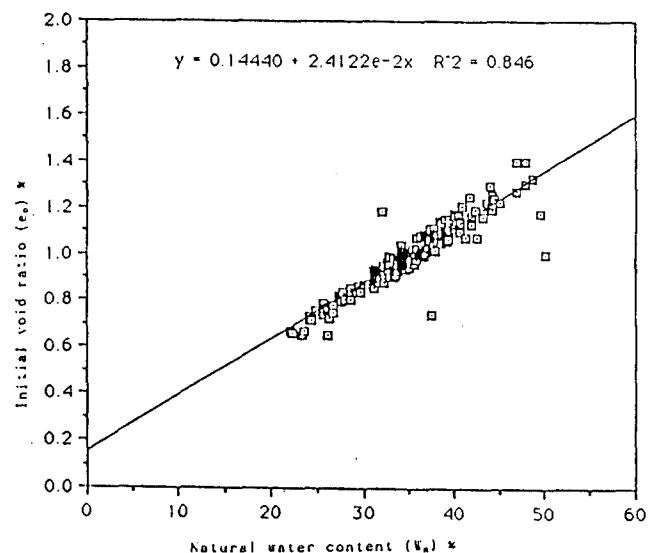


Fig. 5 Variation of initial void ratio with natural water content

그림 6에는 자연함수비의 변화에 따른 흙의 건조밀도와의 관계를 나타냈다. 자연함수비가 증가함에 따라 건조밀도가 선형적으로 감소하는 결과를 보여주었으며, 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\gamma_d = 1.9923 - 0.018 w_n \quad (4)$$

초기간극비에 대한 건조밀도의 변화를 고찰해 보았다. 그림7에 나타난 것과 같이 약간의 산만한 데이터는 있지만 건조밀도는 초기간극비가 감소함에 따라 선형적으로 증가하였으며 다음과 같은 식으로 이들 결과를 표시할 수 있다.

$$e_o = 2.7872 - 1.3210 \gamma_d \quad (5)$$

직접전단시험과 일축압축강도시험을 ASTM D-3080-72와 D2166-66시험방법에 의거하여 실시하였으며 점성(c) 과 일축압축강도(q_u)와의 관계로는 그림8에 나타나 있으며 경험방정식은

$$c = 0.4036 q_u + 0.02344 \quad (6)$$

압축지수(C_c)는 실험실 압밀곡선 e vs. $\log \sigma'$ 에서 처녀 압축곡선의 구배로부터 구할 수 있다. 압축지수에 대한 경험방정식은 많은 학자들에 의해서 이미 연구가 되었으며(Skempton, 1944; Terzaghi 와 Peck, 1967; Azzouz et al., 1976; Rendon-Herrero, 1983; Nagaraj 와 Murty, 1985), Bowles(1984)와 이규진(1994)에 의해서 요약되었다. 불교란 시료에 대한 토질조사에 의하면 압축지수는 그림9에 나타난 것과 같이 액성한계와 다음과 같은 연관성을 갖고 있다.

$$C_c = 0.015 (LL - 17) \quad (7)$$

압축지수와 소성지수및 초기 간극비와의 관계들은 그림10과 그림11에 각각 나타나 있으며, 그 결과는 다소 산만함을 보이지만 다음과 같은 방정식으로 표시할 수 있다.

$$C_c = 0.0178 PI + 0.055 \quad (8)$$

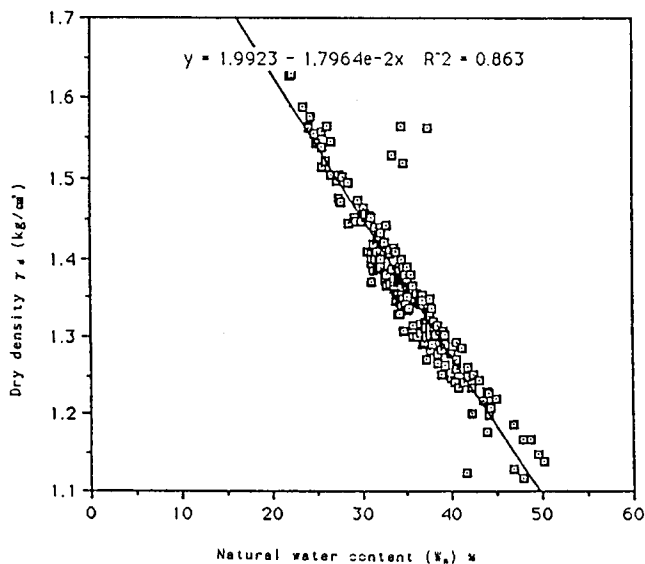


Fig. 6 Variation of dry density of soil with natural water content

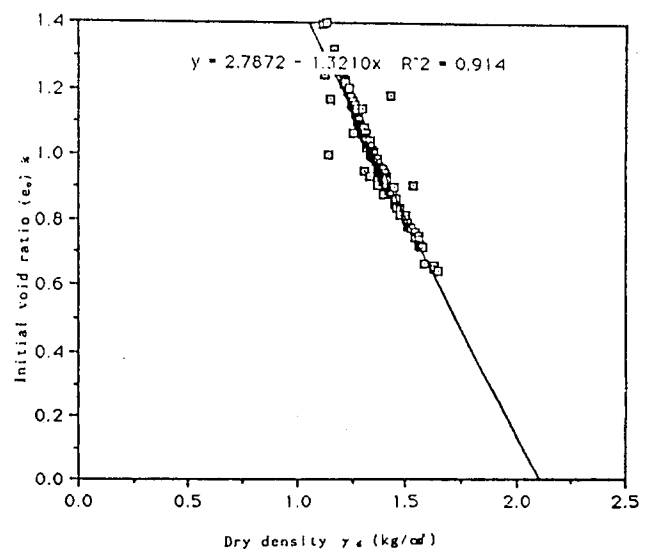


Fig. 7 Plot of dry density of soil versus initial void ratio

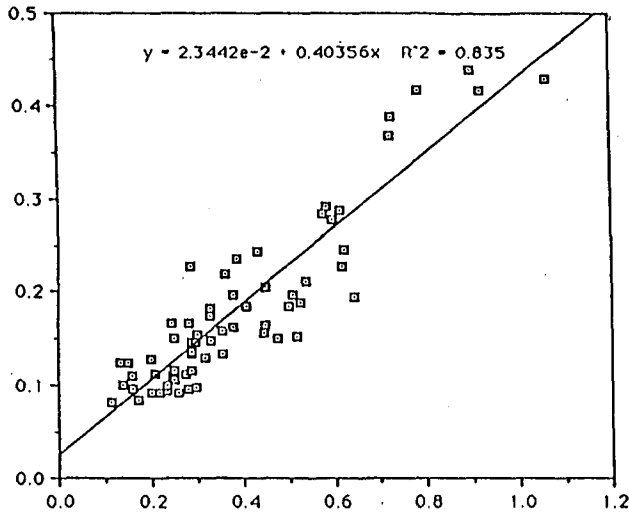


Fig. 8 Comparison of shear strengths determined by direct shear test and unconfined compression test

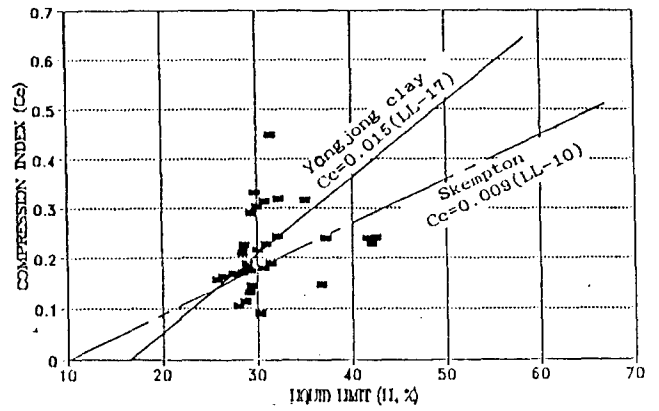


Fig. 9 Influence of liquid limit on the compression index

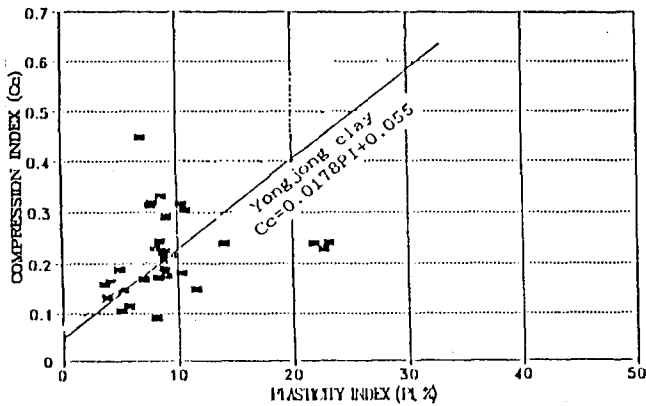


Fig. 10 Influence of plasticity index on the compression index

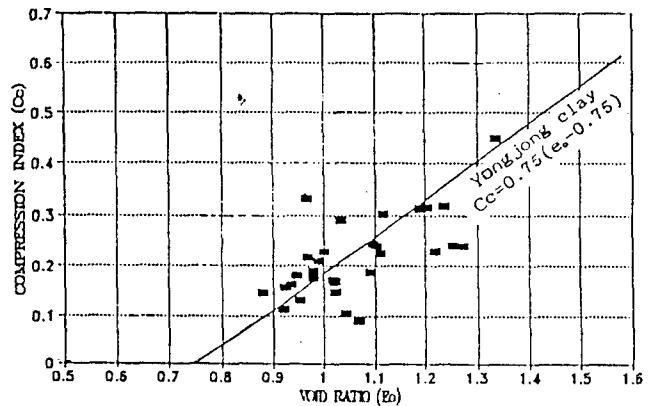


Fig. 11 Influence of initial void ratio on the compression index

그리고

$$C_c = 0.75 (e_o - 0.75) \tag{9}$$

이차 압축지수(C_c)는 유기질 흙에서는 총침하량에 상당히 큰 부분을 차지한다. 이차압축침하는 주어진 유효응력하에서 점토입자들의 재배열, 크리프와 다른 효과들 때문에 발생된다. Mesri 와 Godlewski (1977), Mesri, Lo, 와 Feng (1994) 세계도처의 여러 점토들의 데이터를 요약하였다. 본 현장점토의 이차 압축지수의 범위는 0.0045~0.009이며 이에 상응하는 자연함수비는 30~50%였다. C_c/C_c 의 평균값은 0.036으로써 싱가포르의 창이 국제 공항현장의 값과 비슷하다.

4. 결론

인천해안지역에 분포한 해성점토의 토질특성에 관하여 연구하였다. 이들 결과를 바탕으로 초기 간극비와 자연함수비, 건조밀도와의 경험방정식을 제시하였다. 또한 자연함수비와 점토의 건조밀도와의 경험방정식도 도출하였다. 직접전단시험에 의한 점착력은 일축압축강도의 1/2보다 적은 값을 보여주었다. 소성지수는 액성한계가 증가함에 따라 선형적으로 A-line와 함께 증가하였다. 압밀시험결과를 바탕으로 압축지수, 액성한계, 소성지수, 간극비등과의 경험 방정식을 제시하였다. 압축지수들의 결과들을 세계 여러나라 점토들과 비교하였다.

5. 참고문헌

- 김사한(1987). "한국해성점토의 분포 및 공학적 특성에 관한 연구", 동국대학교 대학원 공학 석사 논문.
- 김주범, 유기송(1974). "포항층적토의 물리적 성질", 한국농공학회지 16-4.
- 유연택(1988). "우리나라 서남해안에 분포하는 층적점토의 토질특성에 관한 연구", 강원대학교, 박사학위논문.
- 안상로(1991). "해성점토의 Creep특성 및 효과에 관한 연구". 한양대학교, 박사학위논문.
- Azzouz, AS, Krizek, RJ and Corotis, RB (1976). "Regression Analysis of Soil Compressibility," *Soils and Foundations*, Vol.16, No.2, pp. 19-29.
- Bowles, J (1984). *Physical and Geotechnical Properties of Soils*, Second Ed., McGraw-Hill, NY.
- Casagrande, A (1948). "Classification and Identification of Soils," *Transactions*, ASCE, Vol.113, pp. 901-930.
- Lee, KY (1994). "A Study on the Soil Properties of Marine Soil in INCHEON Bay," *MS Thesis*, Chungbuk National University, Korea.
- Lehoueil, S (1988). Tenth Canadian Geotechnical Colloquium: Recent developments in consolidation of natural clays. *Canadian Geotechnical J.* Vol.25 (1), pp. 85-107.
- Mesri, G and Godlewski, PM (1977). "Time- and Stress-Compressibility Interrelationship," *J of Geotech. Engrg.*, ASCE, Vol.103, No. GT5, pp. 417-430.
- Mesri, G, Lo, DK, and Feng, T.W (1994). "Settlement of Embankments on Soft Clays," *Vertical and Horizontal Deformations of Foundations and Embankments*, ASCE, GSP No.40, Vol.1, pp. 8-56.
- Nagaraj, T and Murty, BRS (1985). "Prediction of the preconsolidation Pressure and Recompression Index of Soils," *Geotech Testing J.* Vol.8, No.4, pp. 199-202.
- Rendon-Herrero, O (1983). "Universal Compression Index Equation," *Discussion, J of Geotech. Engrg.* ASCE, Vol.109, No.10, pp. 1349.
- Skempton, AW (1944). "Notes on the Compressibility of Clays," *Quarterly J Geology Society*, Vol.100, pp. 119-135.
- Terzaghi, K and Peck, RB (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice*, John Wiley & Sons, NY.