

연직드레인 공법에 의한 연약지반의 압밀거동

Consolidation Behavior of Soft Ground by Prefabricated Vertical Drains

이달원* · 강예묵(충남대)

Lee, Dal Won* · Kang, Yea Mook

Abstract

The large scaled field test by prefabricated vertical drains was performed to evaluate the superiority of vertical discharge capacity for drain materials through compare and analyze the time-settlement behavior with drain spacing and the compression index and consolidation coefficient obtained by laboratory experiments and field monitoring system

1. The relation of measurement settlement(S_m) versus design settlement(S_t) and measurement consolidation ratio(U_m) versus design consolidation ratio(U_t) were shown $S_m=(1.0\sim 1.1)S_t$, $U_m=(1.13\sim 1.17)U_t$ at 1.0m drain spacing and $S_m=(0.7\sim 0.8)S_t$, $U_m=(0.92\sim 0.99)U_t$ at 1.5m drain spacing, respectively.
2. The relation of field compression index(C_{cfield}) and virgin compression index($V_{cclab.}$) was shown $C_{cfield}=(1.0\sim 1.2)V_{cclab.}$, But it was nearly same value when considered the error with determination method of virgin compression index and prediction method of total settlement.
3. Field consolidation coefficient was larger than laboratory consolidation coefficient, and the consolidation coefficient ratio(C_h/C_v) were $C_h=(2.4\sim 3.0)C_v$, $C_h=(3.5\sim 4.3)C_v$ at 1.0m and 1.5m drain spacing and increased with increasing of drain spacing.

I. 서론

연약지반은 성토나 구조물의 하중에 따라서 침하 및 안정성 문제가 발생하기 때문에 안전하고 경제적인 설계 및 관리를 위해서는 대상지반의 공학적 성질을 정확히 분석하여 필요한 대책을 강구하여야 한다.

그러나 배수재가 설치된 연약지반의 압밀거동을 해석하기 위하여 정교한 수치해석기법을 이용하더라도 지반의 불균일성과 이방성등으로 인한 불확실성 때문에 실제 연약지반에서 발생되고 있는 현상들은 설계치와 상당한 차이를 나타내고 있다. 따라서 적용된 연약지반 처리공법들이 충분한 압밀촉진효과를 발휘하고 있는지를 파악하는 것은 매우 중요한 문제이다.

이와같은 목적을 위하여 현장에서 정확하게 계측된 침하량이나 간극수압자료로부터 역해석 기법등을 이용하여 정확한 지반정수값을 산정하고 그 물성치를 이용하여 이론치와 실측치를 비교분석한후 장래의 침하거동을 파악하여야 한다.

1998년도 한국농공학회 학술발표회 논문집(1998년 10월 24일)

본 연구는 현재 시공중인 사업부지를 선정하여 연직드레인 공법에 의하여 처리한 지반의 침하거동을 파악하고, 실내시험과 현장계측치로부터 구한 압축지수와 압밀계수를 비교분석 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 현장시험

현장시험 및 실내시험용 시료채취 위치는 00사업지구이며, 지형은 북부와 남서쪽으로 비교적 험준한 산계가 발달되어 있고, 남부와 남동쪽으로는 낙동강 하류지역으로 삼각주의 충적평야가 발달되어 있다. 지질은 점성토와 미세한 모래가 혼재되어 있는 제4기의 충적층으로 형성되어 있다. 연약층의 역학적 특성을 파악하기 위하여 시료채취, 표준관입시험 및 Piezocone조사를 실시하였다.

2. 실내시험

대상지반의 물리적, 역학적 특성을 파악하고, 지반의 전단강도 및 압밀특성을 파악하기 위하여 불교란 시료를 채취하여 실내시험을 실시한 결과는 다음과 같다.

가. 연약지반의 물리적 특성

실내시험 결과 본 지역의 No.200체 통과량은 거의 90%이상으로 세립분의 함유량이 매우 높은 점토로 구성되어 있다.

자연함수비(W_n)와 액성한계(W_L)의 범위는 각각 40~80%, 30~55%의 범위로 분포되어 있으며, 지표면(GL-3.0m)에서는 낮고 심도가 깊어지면서 증가하여 GL-10.0m 부분에서 최대치를 나타내고 그후는 심도가 깊어짐에 따라 점차로 감소하는 경향을 보여주고 있다.

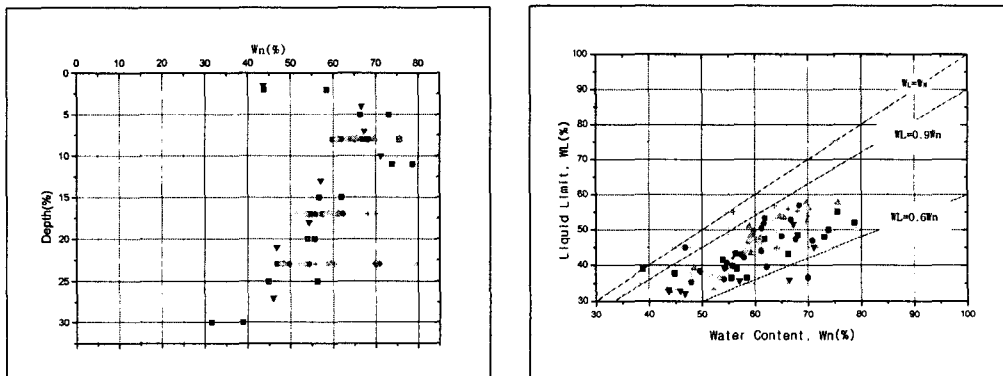


Fig.1. Variation of natural water content and liquid limit.

그리고 액성한계와 자연함수비의 관계는 $W_L = (0.6 \sim 0.9)W_n$ 의 범위로 분포되어 있다.

나. 연약지반의 강도 및 변형특성

삼축압축시험으로부터 구한 비배수 전단강도 (S_u)는 0.1~ 0.3kgf/cm²의 범위이고, 일축압축강도(q_u)는 0.1~0.6kgf/cm²의 범위로 나타났다.

그리고 압밀계수(C_v)는 $2.0 \times 10^{-4} \sim 2.0 \times 10^{-3}$ cm²/s의 범위로 분포되어 있으며 지표면에서는 크게 나타나고 점차적으로 일정한값을 나타내다가 GL-20.0m부터 증가하고 있다.

압밀침하량을 결정하는데 중요한 상수인 압축지수(C_c)와 액성한계의 관계식은 $C_c = 0.0156W_L - 0.047$ 로 나타났다.

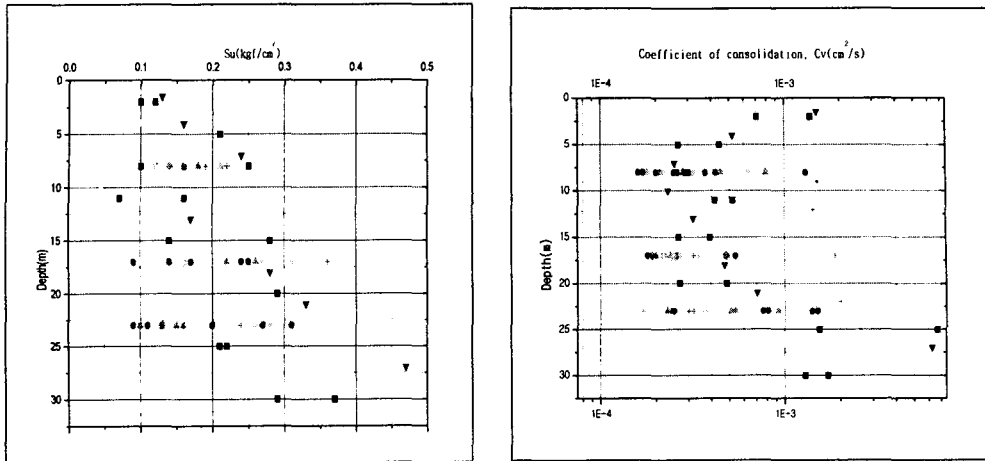


Fig.2. Variation of undrained shear strength and coefficient of consolidation with depth.

3. 드레인의 간격 및 자재선정

연직드레인 공법의 시공면적은 경제적인 측면과 소규모로 인한 계측결과의 신뢰성 여부를 감안하여 선정하였고, 타입간격은 수직, 수평 및 방사상 배수를 동시에 고려하여 주어진 기간내에 소요압밀도를 얻도록 1.0×1.0m, 1.5×1.5m의 2단계로 결정하였고, 타입심도는 현장시험결과를 기초로 25.5m로 타입하였다.

또한 수직 드레인 설계는 배수저항과 스미어 영향을 고려한 경우와 무시한 경우로 구분하고, 압밀계수를 $Ch = Cv$ 와 $Ch = 3Cv$ 로 구분하여 적용하였고, 성토고 5.0m에서 방치기간 (약 180일)을 두고 측정한 시간-침하량을 분석하였다.

연직드레인 자재는 코어형상, 필터재질, 사용빈도등의 특성을 고려하고 각자재에 대한 시험결과를 기초로 A, B, C, D형태의 4종을 선정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 드레인 간격별 침하량 분포특성

연직 드레인공법의 시공은 10cm/day를 기준으로 안정관리분석과 병행하여 실시하였고 안정관리상 불안정으로 판단되었을 경우는 방치기간을 두어 성토속도와 성토고를 조절하면서 5.0m까지 실시하였다.

약70일 동안 성토후, 180일의 방치기간을 두고 침하량을 측정하고 현장 및 실내시험결과를 기초로 타입간격별 설계침하량과 실측침하량 및 최종예상침하량을 비교분석하였다.

가. 드레인 타입간격 1.0m에서의 시간-침하량분포

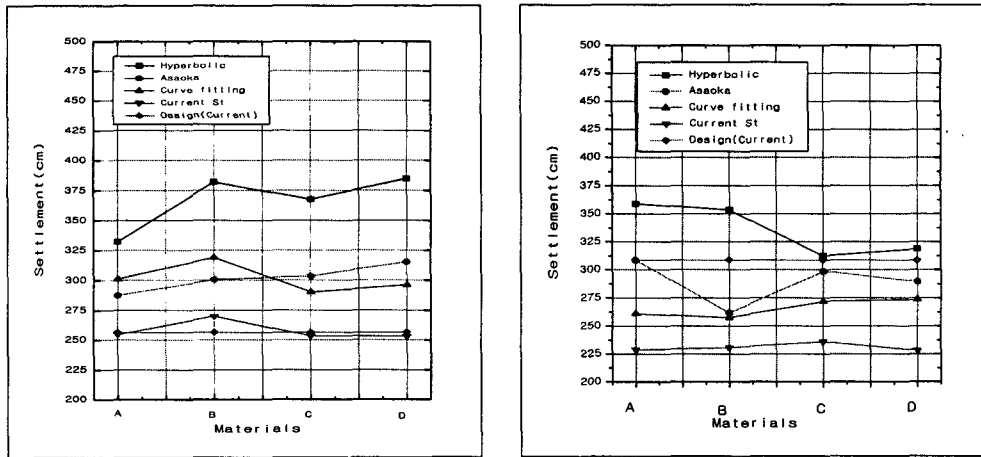
수평압밀계수(Ch)는 수직압밀계수(Cv)와 같다고 가정하고, 교란영향과 배수저항을 고려하여 드레인을 타입하였을 경우, 현재까지의 실측침하량은 A:255cm, B:270cm, C:253cm, D:253cm로 설계침하량 256cm와 비교할 때 유사하게 나타났다.

시간에 따른 침하량곡선은 성토가 진행됨에 따라 상당히 급격한 침하형태를 나타내고 있고, 성토후 초기침하는 C형태의 드레인이 약간 더 큰 침하양상을 나타냈지만, 점차로 B형태의 드레인이 더 크게 나타났다.

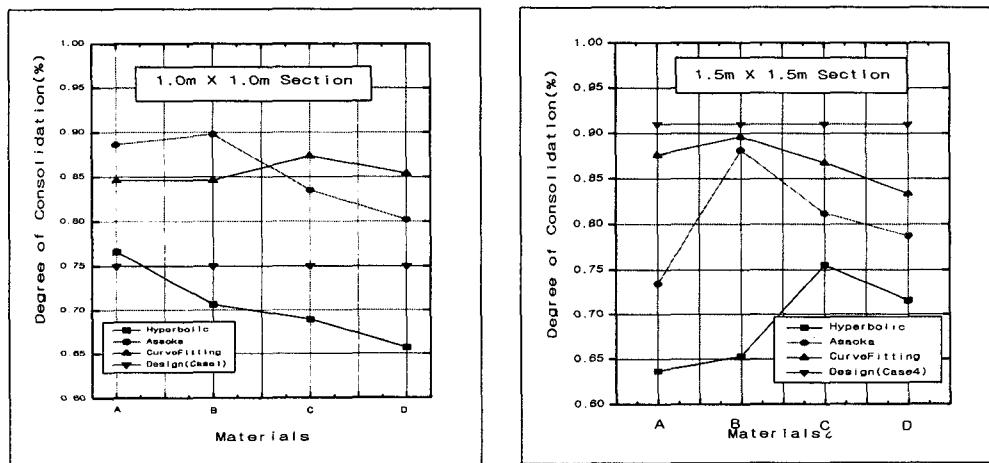
침하예측방법에 의한 최종예상침하량은 그림 3(a)와 같이 290~385cm로 나타났고, 각

분석방법에 따라서는 쌍곡선방법이 가장 크고, 아사오카방법과 Curve fitting방법은 유사하게 나타나서 분포경향으로 판단하여 보면 쌍곡선방법은 과대평가하는 것으로 나타났다. 따라서 역해석에 의한 현장압밀계수, 현장압축지수, 압밀비등의 추정은 Curve fitting방법에 의하여 평가하는 것이 합리적이라고 판단된다.

실측침하량과 설계침하량의 관계를 도시하여보면 실측침하량은 설계침하량의 1.0~1.1배의 범위로 나타났다. 그림 3(b)는 실내시험으로 구한 이론압밀도(U_t : 75%)와 Curve fitting방법으로 구한 최종예상침하량에 의한 압밀도(U_m : 85~87%)의 변화를 나타낸 것이고, 압밀비(U_m/U_t)는 1.13~1.17으로 나타났다.



(a) Settlement



(b) Degree of consolidation

Fig. 3. Comparison of settlement and degree of consolidation with various analysis method.

나. 드레인 타입간격 1.5m에서의 시간-침하량곡선
 현재까지의 실측침하량은 A:229cm, B:231cm, C:236cm, D:228cm로 설계침하량(309cm)과 비교할 때 상당히 작게 나타났다.

침하예측방법에 의한 최종예상침하량은 그림3(a)와 같이 257~359cm로 나타났고, 각 분석방법에 따라서는 쌍곡선방법, 아사오카방법, Curve fitting순으로 나타나서 현재침하량의 분포경향과 아사오카 및 Curve fitting방법의 일치정도로 판단하여 보면 타입간격 1.0m에서와 마찬가지로 쌍곡선방법은 과대평가하는 것으로 나타났다.

실측침하량은 설계침하량의 0.7~0.8배의 범위로 나타났고, 그림 3(b)는 실내시험으로 구한 이론압밀도(U_t : 91%)와 Curve fitting방법으로 구한 최종예상침하량에 의한 압밀도(U_m : 83~90%)의 변화를 나타낸 것이고, 압밀비(U_m/U_t)는 0.92~0.99로 작게 나타났다.

따라서 교란영향과 배수저항을 무시하고, 수평압밀계수를 수직압밀계수의 3배로 설계한 경우에는 과대설계가 된 것으로 판단된다.

그리고 시간에 따른 침하량곡선은 타입간격 1.0m에서와 유사한 분포경향을 나타냈다.

2. 현장압축지수의 변화

침하량은 압축지수에 따라서 다르고, 압밀기간은 압밀계수에 의하여 다르게 나타난다.

따라서 설계시 적용하였던 압축지수 및 압밀계수는 현장측정치에서 역산한 압축지수와 압밀계수와 현저한 차이를 나타내고 있다.

현장압축지수는 그림 4와(타입간격 1.0m)같이 분석방법에 따라서 분포범위가 상당히 크게 나타났지만, 편차가 작은 Curve fitting방법에 의해 구한 현장압축지수는 전체적(타입간격 1.0m, 1.5m)으로 0.71~0.88의 범위로 실내시험으로 구한 처녀압축지수와 관계는

$$C_{C_{Field}} = (1.0 \sim 1.2) V_{cc_{lab}}$$

그러나 실내시험에서 구한 처녀압축지수는 선행압밀압력에 따라 변화폭이 다르게 나타나고, 최종예상침하량에 의해 구한 현장압축지수는 예상침하량 적용방법이 각각 다르기 때문에 이들의 오차량을 감안하면 거의 동일한 것으로 판단된다.

3. 현장압밀계수의 변화

그림 4는 드레인 자재별 압밀계수비를 나타낸 것으로 타입간격 1.0m에서 실측침하량에 의하여 역산한 현장압밀계수는 $9.7 \times 10^{-4} \sim 1.2 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{s}$ 로 나타났고, 실내압밀계수와 현장압밀계수의 비 (C_h/C_v)는 $C_h = (2.4 \sim 3.0) C_v$ 로 나타났다.

그리고 드레인 타입간격 1.5m에서 역산한 현장압밀계수는 $4.2 \sim 5.1 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{s}$ 로 나타났고, 압밀계수비 (C_h/C_v)는 $C_h = (3.5 \sim 4.3) C_v$ 로 나타났다.

전체적으로 계측치로부터 역산한 현장압밀계수는 당초 설계시 사용하였던 실내시험에서 구한 압밀계수($3.97 \times 10^{-4} \text{cm}^2/\text{s}$) 보다 크게 나타났고, 전체적인 범위는 $9.7 \times 10^{-4} \sim 5.1 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{s}$ 로 실내시험치의 $Ch_{Field} = (2.5 \sim 4.3) Cv_{lab}$ 로 타입간격이 넓을수록 크게 나타났다.

지반의 침하량은 수직배수재의 직경 또는 간격보다는 연약층의 두께에 더 큰 영향을 받고 침하속도는 수직배수재의 간격 및 배수성능에 직접적으로 영향을 받게 된다.

따라서 수직배수재의 성능평가 기준을 압밀계수비의 결과를 기초로 드레인 자재별로 판단하여 보면, 드레인 타입간격 1.0m에서는 C형태 드레인이, 타입간격1.5m에서는 B형태 드레인이 약간 우수한 것으로 나타났으나, 동일한 타입간격에서는 재질간의 큰차이가 발생되지 않아 모두 동일한 성능을 갖는 것으로 판단된다.

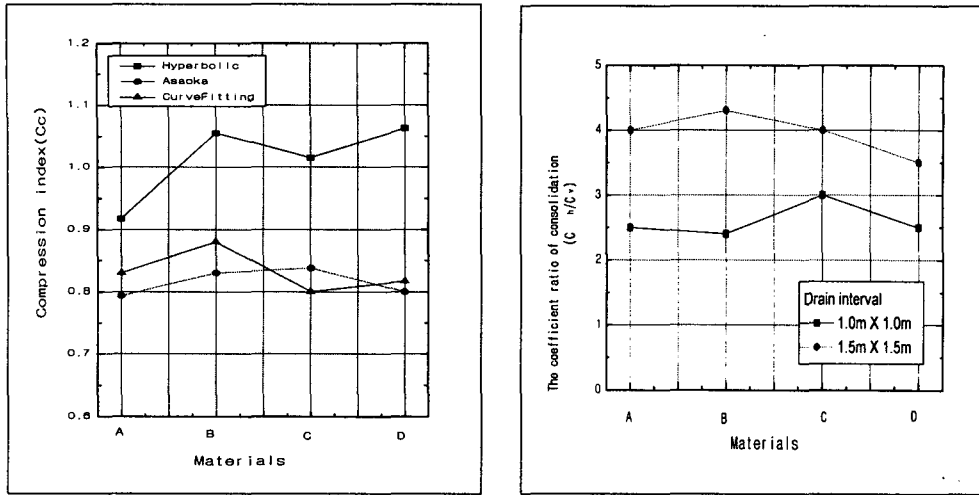


Fig. 4. Variation of compression index and the coefficient ratio of consolidation with various materials.

IV. 결론

본 연구는 현재 시공중인 사업부지를 선정하여 연직 드레인 공법에 의하여 처리한 지반에서 드레인의 침하거동을 파악하고, 실내시험과 현장계측치로부터 구한 압축지수와 압밀계수를 비교분석한 것으로 그결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 실측침하량(S_m)과 설계침하량(S_t)의 관계 및 실측압밀도(U_m)와 설계압밀도(U_t)와의 관계는 드레인 타입간격 1.0m에서는 $S_m=(1.0\sim 1.1)S_t$, $U_m=(1.13\sim 1.17)U_t$ 로 나타났고, 드레인 타입간격 1.5m에서는 $S_m=(0.7\sim 0.8)S_t$, $U_m=(0.92\sim 0.99)U_t$ 의 범위로 나타났다.
2. 현장압축지수(CC_{Field})와 처녀압축지수($V_{cc,lab}$)와의 관계는 $CC_{Field}=(1.0\sim 1.2)V_{cc,lab}$ 로 나타났으나, 처녀압축지수의 결정방법과 최종예상침하량의 적용방법에 따른 오차를 감안하면 거의 동일한 것으로 판단된다.
3. 계측치로부터 역산한 현장압밀계수는 실내시험에서 구한 압밀계수보다 크게 나타났고, 압밀계수비(C_h/C_v)는 드레인 타입간격 1.0m에서는 $C_h=(2.4\sim 3.0)C_v$, 드레인 타입간격 1.5m에서는 $C_h=(3.5\sim 4.3)C_v$ 의 범위로 타입간격이 넓을수록 크게 나타났다.

참고문헌

1. 藤田圭一, 1995. 軟弱地盤對策工法總技術, 東和技術編輯部譯.
2. Hansbo, S. 1960. Preconsolidation of soft compressible subsoil by the use of prefabricated vertical drains. GEOTECH 92. Applied Ground Improvement Techniques. 2: 1-11
3. 稻田倍徳, 1994. 軟弱地盤の土質工學. 鹿島出版社.
4. Onoue, A. 1988. Consolidation of multilayered anisotropic soils by vertical drains with well resistance. Soils and Foundations. 28(3):75-90.
5. 土質工學會編, 1992. 軟弱地盤の理論と實際, 土質基礎工學ライブラリ-37