KSJ Spring Conference 2006 / March 24~25, 2006 / Seoul / Korea

현장조건을 고려한 PVDs의 압밀도 산정에 관한 연구
A Study on the PVDs Consolidation Degree Considering In-Situ Conditions

신은철[1], Eun-Chul Shin, 박정준[2], Jeong-Jun Park, 권형택[3], Hyeung-Taek Kwon

[1] 인천대학교 토목환경시스템공학과 교수, Professor, Dept. of Civil & Environmental System Engineering, University of Incheon.
[2] 인천대학교 토목환경시스템공학과 박사과정수료, Graduate Student, Dept. of Civil & Environmental System Engineering, University of Incheon.
[3] 인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil & Environmental System Engineering, University of Incheon.

SYNOPSIS : The Prefabricated Vertical Drains (PVDs) method is one of the most widely used techniques to accelerate the consolidation process in-situ and hence increase its bearing capacity. In this paper, the degree of consolidation incorporated with PVDs was evaluated in ○○ construction work site which composed with dredged soil. Program PVD(Version 2.3) which developed by Asian Institute of Technology was used. The purpose of this analysis is efficiently to estimate the degree of consolidation by analyzing the surface settlement with time, and drainage at initial stage and final stage by using design-parameter which based on the in-situ tests and laboratory tests. This result can be compared with analysis of the degree of consolidation using Program PVD(Version 2.3) and the field observed data in the future studies.

Key words : PVDs, Degree of consolidation, Undrained shear strength of clay

1. 서 론

연약지반은 공학적 성질이 복잡한 특성을 가지고 있으며, 지반의 강도가 작고, 압축성이 커서 성토 및 구조물을 축조하는 경우에 지반의 지지력 부족으로 인한 활동파괴와 과다한 침하가 발생하는 문제가 많이 나타난다. 따라서 안정적이고 경제적인 설계 및 관리를 위하여 해당되는 연약지반의 공학적 성질을 정확히 분석하고 지반개량 시 필요한 대책들을 강구하여야 한다. 이러한 연약지반처리공법 중의 하나인 연직배수공법은 연약지반의 압밀을 촉진시키고 강도를 증진시키는 효율적인 공법이다.

본 연구에서는 준설 매립으로 인한 연약지반인 ○○ 신도시 건설공사 지역에 대해 Asian Institute of Technology에서 개발된 Program PVD(Version 2.3)를 이용하여 PVDs의 압밀도 산정을 평가하였다.

프로그램 해석은 현장조사 및 실내시험을 통한 설계 정수를 이용하여 시간에 따른 지표 침하량 변화, 배수 초기 시와 종료 시의 비배수 전단강도 등을 비교·분석함으로서 효율적으로 PVDs의 압밀도를 산정하는데 목적이 있다.

2. 이론적 배경

연직배수재와 관련된 기본적인 이론은 Terzaghi(1925)의 1차원 압밀 이론이 제시된 후 방사형의 배수재 설치와 관련된 이론은 Barron(1948)에 의해 처음으로 제안됐다. 그 이후로 Yoshikuni and Nakanod(1974), Hansbo(1981)에 의해 배수재 적용에 관한 연구가 활발이 이루어졌고, 이중 Hansbo(1981)의 방사형 압밀이론이 상대적으로 간편하기 때문에 가장 널리 사용된다. Terzaghi의 1차원 압밀 이론과 Hansbo의 이론은 다음과 같다.

$$\overline{U_v} = 1 - \sum_{k=0}^{\infty} \frac{2}{M^2} \exp\left(-M^2 T_v\right) \qquad (1)$$

여기서, M은 $\pi(2m+1)/2$이고, T_v는 수직방향 압밀의 시간계수이다.

$$\overline{U_h} = 1 - \exp\left(\frac{-8T_h}{\mu}\right) \qquad (2)$$

$$T_h = \frac{C_h t}{D^2} \qquad (3a)$$

$$\mu = \ln\frac{n}{s} + \frac{k_h}{k_s}\ln s - \frac{3}{4} + \pi\frac{2l^2 k_h}{3q_w} \qquad (3b)$$

여기서, C_h는 수평방향 압밀계수, t는 하중 작용 후의 시간, k_h는 원지반의 수평방향 수리전도도, k_s는 교란된 지반의 수리전도도, l는 배수재 길이, q_w는 배수재의 통수능력, s는 d_s/d_w(d_w는 배수재의 환산단면의 직경, d_s는 교란된 지역의 직경)이다.

모든 압밀과정은 수평과 수직 요소들로 구성된다. PVDs로 인한 수평방향의 압밀과 원지반의 수리전도도로 인한 수직방향의 압밀은 Carrillo(1942)가 제안한 평균압밀도 방정식에서 얻을 수 있다.

$$\overline{U_{vh}} = 1 - (1 - \overline{U_v})(1 - \overline{U_h}) \qquad (4)$$

3. 현장개요

A 지구는 1997년까지 준설토를 매립하여 현재 원지반 상부에 기존 준설매립층이 형성되어 있으며, 표준관입시험 시 롯드자중에 의해 관입되는 매우 연약한 상태이다. 따라서, 지반의 물리적 특성 및 역학적 특성의 심도에 따른 분석에서도 기존 준설매립층과 원지반층은 전반적으로 상이한 특성을 나타내므로, 연약지반 분석에서도 기존 준설매립층과 원지반층을 구분하여 검토하고, 설계정수 산정에서도 이를 반영하였다. B 지구는 중앙부에서 법선방향 구간으로 5m심도 이내의 상부층과 5m 심도 이상 하부층에서 물리적 특성 및 압밀특성이 구분되는 범위를 보이므로 5m 심도를 기준으로 설계영역을 구분하였다. 위와 같이 구분한 설계영역을 기준으로 각각의 지반특성에 따른 설계정수 입력값은 지반조사 보고서와 각종 제안식을 종합적으로 분석하여 구역별로 대표할 수 있는 값을 선정하였다. 해석에 사용된 토질정수는 다음 표 1과 같고, 배수재 특성 및 배수조건은 표 2, 표 3과 같다.

표 1. 해석에 사용된 토질정수

구 분	설계영역	수평압밀계수 C_h (m^2/day)	수직압밀계수 C_v (m^2/day)	단위중량 r_t (kN/m^3)	압축지수 C_c	초기 간극비 e_0	M	OCR
A	기존 준설층	17.28×10^{-3}	8.64×10^{-3}	14.014	1.22	3.29	1.15	0.79
지구	원지반층	10.7×10^{-3}	5.36×10^{-3}	14.798	1.13	2.50	1.15	0.81
B	심도 5m 이상	13.8×10^{-3}	6.9×10^{-3}	14.112	1.45	3.27	1.15	1.3
지구	심도 5m 이하	14.3×10^{-3}	7.15×10^{-3}	14.7	1.25	2.69	1.15	1.3

표 2. 연직 배수재 특성

등가환산직경 (m)	스미어존 (m)	통수능력 (m^3/day)	투수계수 감소비 (k_h/k_s)	패 턴
0.05	0.24	0.1728	2	square

표 3. 배수조건

배수기간 (day)	배수재 타입간격 (m)	성토하중 (kPa)
210	1.2	19.6

4. PVD 프로그램에 의한 해석결과

표 4와 같이 지표 침하량은 A지구가 93.5cm, B지구가 22.8cm로 나타났고, 평균 압밀도는 A지구가 93.04%, B지구가 93.642%로 나타났다. 비배수 전단강도는 A 지구가 배수 초기 시 상부층 12.079kPa, 하부층 59.292kPa 배수 종료 시 상부층 15.309kPa, 하부층 64.042kPa로 나타났고, B 지구가 배수 초기 시 상부층 6.222kPa, 하부층 40.774kPa, 배수 종료 시 상부층 9.344kPa, 하부층 40.774kPa로 나타났다. 그림 1 ~ 그림 6에서 볼 수 있듯이 지표 침하량은 A지구가 크게 나왔고, 평균 압밀도는 90% 이상 나타났으며, 비배수 전단강도는 B지구에서 하부층의 비배수 전단강도가 동일하게 나타난 것을 알 수 있다.

표 4. 해석결과

구분	지표 침하량 (cm)	평균 압밀도 (%)	비배수 전단강도(kPa)	
			배수 초기 시	배수 종료 시
A 지구	93.5	93.04	12.079(상부층)	15.309(상부층)
			59.292(하부층)	64.042(하부층)
B 지구	22.8	93.642	6.222(상부층)	9.344(상부층)
			40.774(하부층)	40.774(하부층)

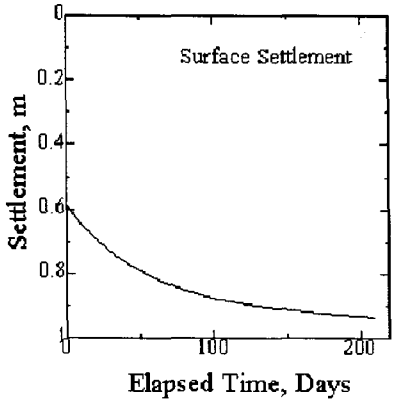

그림 1. A지구 지표 침하량

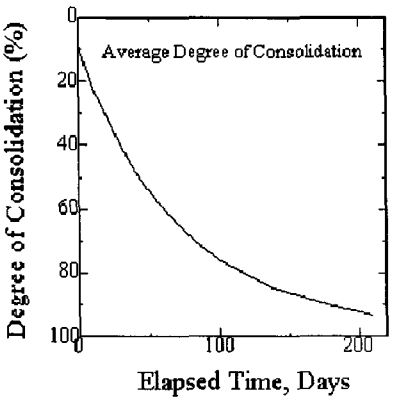

그림 2. A지구 평균압밀도

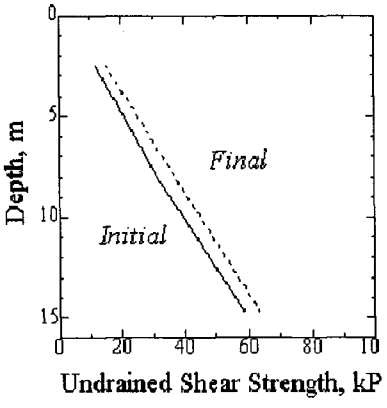

그림 3. A지구 비배수 전단강도

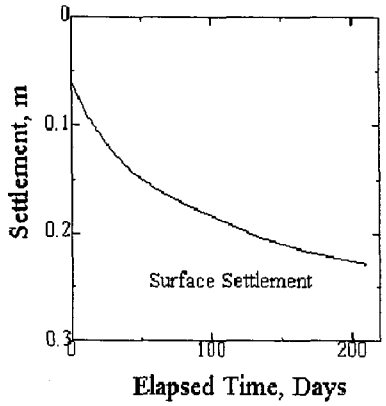

그림 4. B지구 지표 침하량

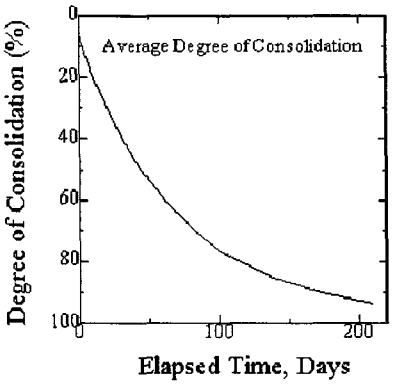

그림 5. B지구 평균 압밀도

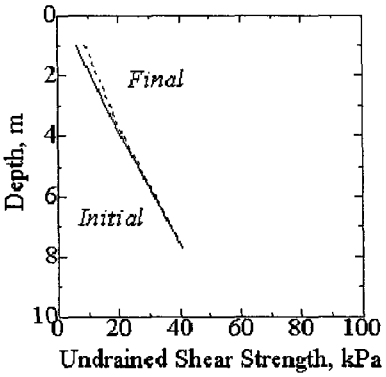

그림 6. B지구 비배수 전단강도

5. 결 론

본 연구에서는 ○○ 신도시 건설공사 지역을 대상으로 지반 깊이에 따른 강도특성의 변화, 표면 지반의 침하량, 평균 압밀도 등을 Program PVD(Version 2.3)를 이용하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 평균 압밀도는 A지구가 93.04%, B지구가 93.642%로 나타났다. 따라서, 연직 배수재 타입간격을 1.2m일 때 했을 때 평균 압밀도가 모두 90% 이상을 만족한다.

2. 지표 침하량은 A지구가 93.5cm, B지구가 22.8cm로 나타났고, 비배수 전단강도는 A 지구가 배수 초기 시에 상부층 12.079kPa, 하부층 59.292kPa 배수 종료 시에 상부층 15.309kPa, 하부층 64.042kPa로 나타났고, B 지구가 배수 초기 시에 상부층 6.222kPa, 하부층 40.774kPa, 배수 종료 시에 상부층 9.344kPa, 하부층 40.774kPa로 나타났다. B 지구인 경우 지표 침하량이 적고, 비배수 전단강도는 하부층에서 증가하지 않았는데 그 이유는 과압밀 점토로 인한 영향으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 신은철, 박정준, 김종인(2005), "영향인자를 고려한 연지개수재의 통수능 평가", 한국지반공학회 논문집, 제 21권, 제 9호, pp. 13~23.
2. Dennes T. Bergado, A.S. Balasubramaniam, R. Jonathan Fannin, Robert D. Holtz(2002), "Prefabricated vertical drains (PVDs) in soft Bangkok clay : a case study of the new Bangkok International Airport project", Canadian Geotechnical Journal, 39(2), pp. 304~315.
3. Program PVD(Version 2.3), Asian Institute of Technology.