

교란효과와 배수저항을 고려한 연직 배수재의 설계

Design of Vertical Drain in consideration of Smear Effect and Well Resistance

김태우* · 강예목 · 이달원(충남대)

Kim, Tae Woo · Kang, Yea Mook · Lee, Dal won

Abstract

In this study, compared the degree of consolidation of vertical drain considering variation of smear effect and well resistance with that of hyperbolic and curve fitting method. It applied Barron, Yoshikuni, Hansbo, Onoue's theory for the consolidation of vertical drain, and compared differences of theoretical curve by comparing with measured value, and found out the extent of smear effect and well resistance.

I. 서론

최근 연약지반에서 대규모 단지개발과 구조물을 축조할 경우 구조물의 안정성을 확보하고 연약지반의 압밀축진에 의한 강도증진을 위해 preloading공법과 함께 샌드 드레인, 팩 드레인, 페이퍼 드레인등 다양한 연직 배수재를 병용하여 압밀을 촉진시키고 있다. 연직 배수재의 설계는 적용되는 parameter등에 따라서 압밀도의 차이를 나타내고 있으며, 설계시 현장에서 발생하는 교란효과와 배수저항의 영향범위를 고려하지 못하고 있어 많은 문제점이 발생되고 있다. 따라서 본 연구는 여러 가지 압밀이론식에서 교란효과와 배수저항에 관련된 변수들을 변화시켜 압밀도를 기초로 비교, 분석하고 현장 실측 침하량으로부터 교란효과와 배수저항의 영향범위를 구하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 대상 지반의 개요

본 연구 대상 지반은 ○○택지개발 사업지구이며, 현장 토질조사결과 환산 N치 2-4의 대단히 연약한 점토층이 원지반에서 20-30m 두께로 균일하게 분포하고, 30m이하에서는 N치 11-13 정도의 모래질 실트층이나 모래층으로 분포되었다. 연직 드레인공법으로서 A, B, C공법이 사용되었고, 드레인의 타입간격 및 심도는 각각 1.0×1.0m와 25.5m로 시공되었으며 성토고 5.0m에서의 압밀침하량을 기초자료로 사용하였다.

2. 해석 이론

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

1) Barron의 제안식

Barron¹⁾은 Terzaghi의 압밀이론을 기본으로 해서 압밀층 전층에 대한 평균압밀도를 등변위압밀조건에 가정하여 교란효과와 배수저항을 고려하지 않은 이상적인 경우에 대해 다음과 같이 제안하였다.

$$U_h = 1 - \exp \frac{-8 T_h}{F(N)} \quad F(N) = \frac{N^2}{N^2-1} \ln(N) - \frac{3N^2-1}{4N^2}$$

2) Hansbo의 제안식

Hansbo^{2,3)}는 임의의 배수재를 통하여 수평방향의 흐름만 있는 원통형지반을 대상으로 일정변형율의 가정을 기초로 교란지역과 비교란지역의 흐름속도가 같다는 조건으로부터 Barron의 제안식을 수정하여 교란효과와 배수저항을 고려한 평균압밀도를 다음과 같이 제안하였다.

$$U_h = 1 - \exp \frac{-8 T_h}{\mu_{sw}}$$

$$\mu_{sw} = \mu_s + \mu_w$$

$$\mu_s = \frac{N^2}{N^2-1} \left(\ln\left(\frac{N}{S}\right) + \eta \ln S - \frac{3}{4} \right) + \frac{S^2}{N^2-1} \left(1 - \frac{S^2}{4N^2} \right) + \eta \frac{1}{N^2-1} \left(\frac{S^2-1}{4N^2} - S^2 + 1 \right)$$

$$\mu_w = \pi z(2l-z) \frac{k_h}{a_w} \left(1 - \frac{1}{N^2} \right)$$

3) Onoue의 제안식

Onoue⁵⁾는 투수성에 관계없이 교란효과와 배수저항을 고려할 수 있는 식을 Yoshikuni⁷⁾와 Nakanodo가 제안한 배수저항계수 L을 사용하여 다음과 같이 제안하였다.

$$U_h = 1 - \exp \frac{-8 T_h}{F(N') + 0.8L}$$

$$F(N) = \frac{(n')^2}{(n')^2-1} \ln(n') - \frac{3(n')^2-1}{4(n')^2}$$

$$n' = n \cdot S^{\eta-1} \quad \eta = \frac{k_h}{k_s} \quad L = \frac{32}{\pi^2} \frac{k_h}{k_w} \left(\frac{H}{d_w} \right)^2$$

III. 결과 및 고찰

1. 교란지역의 투수계수 변화에 의한 압밀도 분석

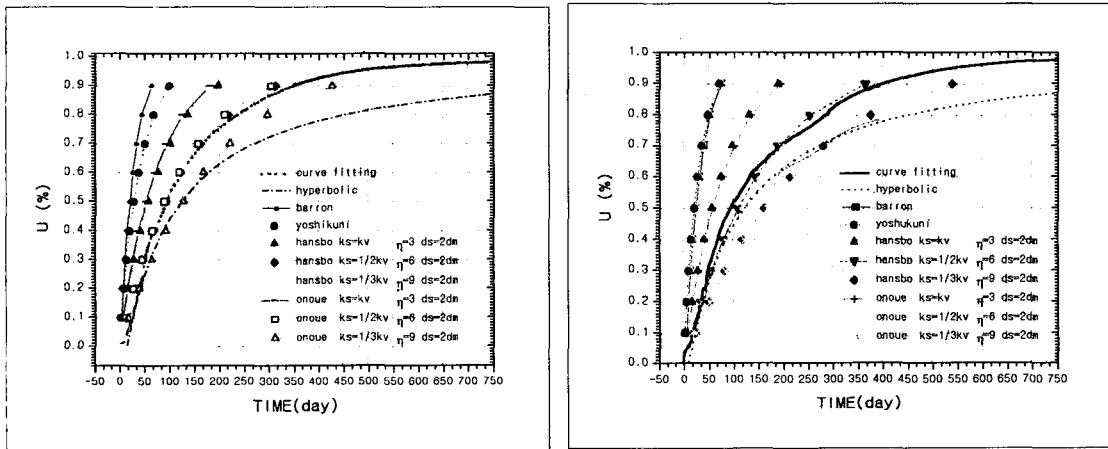
그림1은 A, B, C공법을 타입간격 1.0m로 설치한 지반에서 시간에 따른 압밀도의 변화를 교란영역의 투수계수(ks)를 변화시켜면서 실측침하량을 쌍곡선방법과 curve fitting방법으로 환산한 압밀도곡선과 비교, 분석한 것이다.

쌍곡선방법과 curve fitting방법에 의한 압밀도곡선을 비교하면 쌍곡선방법은 curve fitting방법으로 구한 최종침하량보다 약55-60cm정도가 더 발생하는 것으로 추정되었으며, 그 결과 현재까지의 침하량(약400일)을 기준으로 볼때 압밀도는 약15%정도 차이가 나타났다. 또 쌍곡선방법에 의한 압밀도곡선은 제안식들과 비교하여 볼때 곡선 형태에서 상당한 차이가 나고, 최종침하량을 과대하게 추정됨을 알 수 있으며 Tan⁶⁾의 연구결과와 동일하다.

제안식들을 비교하여 보면 Onoue, Hansbo, Yoshikuni, Barron의 제안식 순서로 압밀시간이

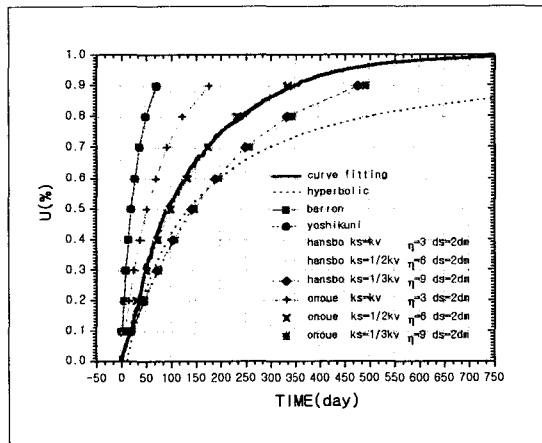
지연되는 것으로 나타났다. 즉 교란효과와 배수저항을 모두 고려한 Onoue, Hansbo의 제안식이 90%압밀에 도달하는 시간이 가장 늦고 배수저항만 고려한 Yoshikuni의 제안식이 이상적인 경우의 Barron의 제안식보다 압밀시간이 늦게 나타났다. 그러나 B,C공법의 경우는 드레인의 투수계수가 비교적 큰값을 가지고 있기 때문에 Barron의 제안식에 의한 압밀도곡선과 Yoshikuni의 제안식에 의한 압밀도곡선이 거의 일치하는 것으로 나타났으며 Hansbo와 Onoue의 제안식에 의한 압밀도곡선은 약간의 차이가 나타났다. 따라서 드레인의 투수계수가 클 경우에는 배수저항에 의한 영향은 무시하여도 큰 영향은 없을 것이라 판단된다.

또, 각 제안식들을 교란영역의 투수계수(k_s)의 범위를 변화시켜 해석한 결과 그림1.(a), (b), (c) 모두에서 교란지역의 투수계수(k_s)를 비교란지역의 수직투수계수(k_v)의 1/2로 해석한 결과에서 curve fitting방법에 의한 압밀도곡선과 비교적 잘 일치하는 경향을 나타냈으며, 쌍곡선방법에 의한 압밀도곡선과는 $k_s=1/3k_v$ 일때 압밀도 60-75% 범위 내에서 일치하는 경향을 나타냈다.



(a) A method

(b) B method



(c) C method

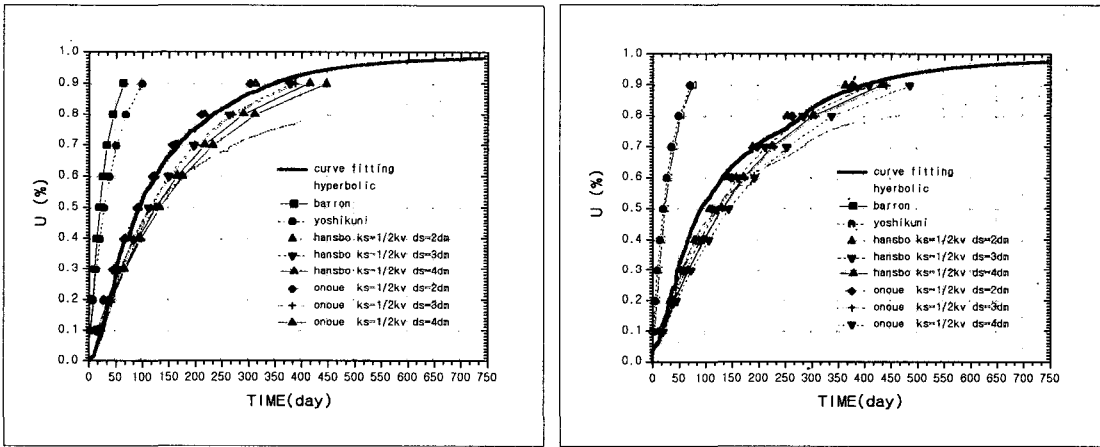
Fig1. Results of analysis of degree of consolidation with variation k_s

2. 교란지역의 직경 변화에 의한 압밀도 분석

그림2는 A, B, C공법을 타입간격 1.0m로 설치한 지반에서 시간에 따른 압밀도의 변화를 교란 지역의 직경(ds)을 변화시켜면서 실측침하량을 쌍곡선방법과 curve fitting방법에 의한 압밀도 곡선과 비교, 분석한 것이다.

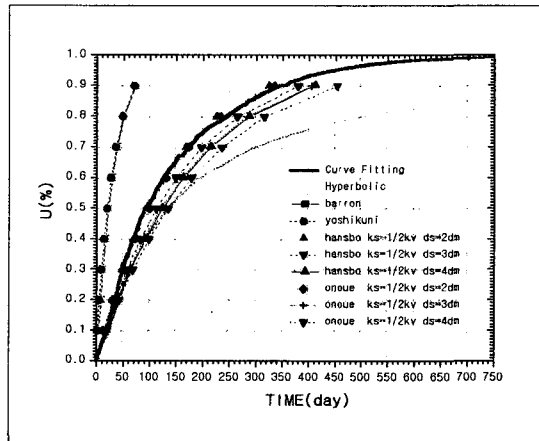
교란영역의 직경이 증가할수록 Hansbo, Onoue식 모두에서 압밀시간이 지연되고, 압밀도의 변화의 폭이 교란지역의 투수계수의 변화에 비해서는 작으며 변하는 비율은 두 제안식이 거의 비슷한 경향을 나타내고 있다.

또, 각 제안식들을 교란영역의 직경(ds)의 범위를 변화시켜 해석한 결과 그림2.(a), (b), (c) 모두에서 교란영역의 직경(ds)을 mendrel직경(dm)의 2배로 해석한 결과에서 curve fitting방법에 의한 압밀도곡선과 비교적 잘 일치하는 경향을 나타냈으며, 쌍곡선방법에 의한 압밀도곡선과는 ds=4dm일때 압밀도 60%-70%범위 내에서 일치하는 경향을 나타냈다.



(a) A method

(b) B method



(c) C method

Fig2. results of analysis of degree of consolidation with variation ds

3. 약식설계법의 비교와 분석

그림3은 실제 현장에서 약식설계법을 사용할 경우 드레인의 투수계수(kw)가 비교적 큰 경우와 작은 경우로 구분해서 비교한 것으로 Barron의 제안식을 사용하는 경우 $ch=cv$ 로 놓고 해석하는 이유는 ch는 일반적으로 cv보다 크지만 $ch=cv$ 로 간주한것은 교란효과와 배수저항을 고려해서 ch를 작은값, 즉 $ch=cv$ 로 보고 설계하는 것을 의미한다. 그러나 그림(a),(b)에서 쌍곡선방법과 curve fitting방법에 의한 압밀도곡선과는 상당한 차이가 있음을 알 수 있다. 또 Leonard⁴⁾가 제안한 드레인의 직경을 1/2로 줄여서 설계하는 방법은 (a)에서는 쌍곡선방법에 의한 압밀도곡선과는 상당한 차이가 있으며, curve fitting방법에 의한 압밀도곡선과는 약간의 차이가 있음을 알 수 있다. 그러나 (b)에서는 Yoshikuni의 제안식을 사용한 경우는 curve fitting방법에 의한 압밀도곡선과 잘 일치하는 경향을 나타냈다. 또, 드레인의 직경을 1/4로 줄여서 해석한 경우에는 (a)의 드레인의 투수계수(kw)가 큰 경우에는 쌍곡선방법에 의한 압밀도곡선과는 차이가 있지만, curve fitting방법에 의한 압밀도곡선과 비교적 잘 일치하는 경향을 나타냈다. (b)의 드레인의 투수계수(kw)가 작은 경우에는 쌍곡선방법에 의한 압밀도곡선과는 상당한 차이가 있고, curve fitting방법에 의한 압밀도곡선도 약간의 차이를 나타냈다. 따라서 드레인의 직경을 줄여서 사용하는 약식설계법은 드레인의 투수계수를 고려해서 사용하여야 할 것으로 판단된다.

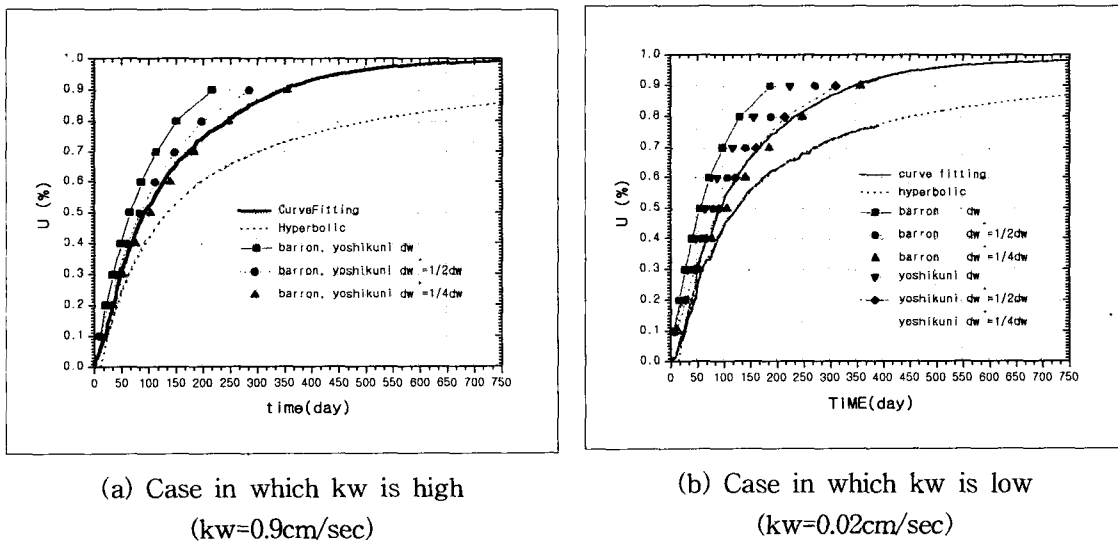


Fig3. results of analysis of degree of consolidation with variation kw

IV. 결론

연직 드레인의 이론식에서 교란효과와 배수저항에 관련된 변수들을 변화시켜 현장의 실측자료를 쌍곡선 방법과 curve fitting방법에 의한 압밀도곡선을 이용하여 연직 드레인의 압밀이론곡선과 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 쌍곡선 방법에 의한 압밀도곡선은 curve fitting방법에 의한 압밀도곡선과 비교할 때 압밀도를 과소평가 하는 것으로 나타났다.
2. 교란지역의 직경(ds)과 교란지역의 투수계수(ks)가 증가할수록 압밀시간이 지연되고, 교란지역의 직경(ds)보다는 교란지역의 투수계수(ks)가 압밀도에 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.
3. 각 드레인공법 모두에서 교란지역의 투수계수(ks)를 비교란 지역의 수직투수계수(kv)의 1/2로, 교란지역의 직경(ds)은 mendrel직경(dm)의 2배로 해석한 결과에서 curve fitting방법에 의한 압밀도곡선과 비교적 잘 일치하는 경향을 나타냈다.

참 고 문 헌

- 1.Barron, R.A. (1948). "Consolidation of fine-grained soils by drain well", Trans. ASCE, Vol. 113, Paper NO 2346.
- 2.Hansbo, S (1979), "Consolidation of clay by band-shaped Prefabricated Drains" Ground Engineering, Vol. 12, No. 5, pp.21-25.
- 3.Hansbo, S (1981), "Consolidation of Fine-Grained Soils by Prefabricated Drains" Proceedings of the 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stockholm, Sweden, Vol. 3, pp.677-682.
- 4.Lenard, G.A. (1962), "Foundation Engineering", McGraw-hill, New York, pp.171-176.
- 5.Onoue, A (1988), "Consolidation by Vertical Drains taking well Resistance and Smear into Consolidation", Soils and Foundation, JSSMFE, Vol. 28, NO. 4 pp.165-174.
- 6.Tan, S.A. and Chew, S.H. (1996), "Comparison of the hyperbolic and Asaoka observational method of monitoring consolidation with vertical drain", Soil and Foundations, Vol. 36, No. 3, sept. pp.31-42.
- 7.Yoshikuni, H, and Nakanodo, H, (1974) "A Consolidation of soils by vertical Drain wells with finite Permeability", soils and Foundations, JSSMFE, Vol. 14, NO.2, pp.35-46.