

교란효과와 배수저항을 고려한 연직 배수재 설계

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

이 달 원* · 김 태 우*
Lee, Dal Won · Kim, Tae Woo

Abstract

This study compared the degree of consolidation by Hyperbolic, Curve fitting, Asaoka's, and Monden's methods using values measured with a theoretical curve in consideration of smear effect and well resistance.

The degree of consolidation by the Hyperbolic method was underestimated than the degree of consolidation by Curve fitting, Asaoka's, and Monden's methods. The typical range of the coefficient of horizontal consolidation was $C_h=(2\sim3)C_v$ in the case considering smear effect and well resistance, and $C_h=(0.5\sim2.1)C_v$ in the case disregarding smear effect and well resistance. The degree of consolidation obtained by ground settlement monitoring was nearly the same value when the coefficient of smear zone permeability by back analysis was shown to be half that of in-situ and the diameter of the smear zone was shown to be double that of mandrel. By increasing the diameter reduction ratio of the drain, the time of consolidation was delayed. The effect of well resistance showed that the case of a small coefficient of permeability was much more than in the case of a large coefficient of permeability. It was recommended that when designing diameter reduction of a drain, well resistance should be considered.

I. 서 론

인구의 증가와 경제성장에 따른 토지수요가 증가하고 있으나, 가용부지의 감소, 용지보상, 환경문제 등으로 개발사업이 어려운 실정이며, 이러한 내륙지의 개발한계에 따른 국토자원개발의 효율성 제고를 위하여 열악한 지반조건을 가진 해안매립 사업의 필요성이 강하게 대두되고 있다.⁴⁾ 실제로

국내에서도 연약한 해안 점토지반 및 매립으로 조성된 연약지반위에 다양한 구조물을 건설하는 사례가 증가하고 추세이다.⁴⁾

이와 같은 해안 점토지반 및 매립으로 조성된 연약지반을 대상으로 공사를 시행할 때는 구조물에 생기는 부등침하, 기초지반의 지지력 부족으로 인한 성토의 파괴, 성토 또는 구조물의 하중에 의한 측방지반의 융기, 지진에 의한 기초지반의 액

*충남대학교 농과대학

키워드 : 연약지반, 최종침하량, 압밀도, 압밀계수, 교란효과, 배수저항, 교란영역비, 투수계수감소비

상화 및 지지력의 감소 등과 같은 문제점에 대한 충분한 검토가 있어야 한다. 이런 문제점을 해결하기 위한 대책은 지반의 침하를 촉진시켜 지반의 전체침하량과 잔류침하량을 감소시키는 침하대책과 지반의 강도를 증대시킴에 따라 안정을 도모하는 안정대책으로 나눌 수 있다. 연약지반 개량공법중에서 시공 기간 단축을 위해 선행하중공법과 병행하여 지반에 연직 배수재를 삽입하여 지반의 압밀을 촉진시키고 강도를 증대시키는 연직 배수공법이 많이 사용되고 있다.

그 동안 연약지반의 압밀특성에 대한 이론 및 실험적인 연구가 진행되어 왔지만, 연약지반 설계시 정확한 해석방법의 적용이 어렵고, 계산과정의 복잡성, 시험방법의 어려움 등의 여러 가지 원인으로 인하여 교란효과와 배수저항을 과소 또는 과대평가하는 경우가 많다. 따라서 연직 배수재가 설치된 지반의 압밀 해석에서는 배수재의 지름(d_w), 설치 간격, 배치 형태 그리고 지반의 수평 압밀계수(C_h) 및 교란에 의한 투수계수 감소비, 교란영역비, 배수저항계수 등이 중요한 요소가 되며³⁾, 적용되는 변수들에 따라서 압밀도의 차이를 나타내고 있다. 설계시 현장에서 발생하는 교란효과와 배수저항의 정확한 영향범위를 고려하지 못하고 있어 실제 현장에서 연약지반처리시 공사기간과 공사비에 많은 영향을 미치고 있다.

따라서 본 연구에서는 연약지반의 심도가 깊으면서 압밀침하량이 큰 지반에서 현장계측 자료와 실내시험으로부터 구한 압밀계수를 비교하여 현장 압밀계수의 범위를 산정하였다. 또, 교란효과와 배수저항에 관련된 변수들을 변화시킨 압밀도곡선과 현장계측치로부터 쌍곡선, Curve fitting, Asaoka, Monden 등의 방법으로 추정된 압밀도곡선을 비교·분석하여 교란효과와 배수저항의 영향범위를 고려한 합리적인 연직 배수재의 설계자료를 제공하고자 한다.

II. 분석 및 시험방법

1. 분석방법

연직 배수재의 설계시 압밀도 분석은 주변 점토 지반의 교란영향과 지반 속의 간극수가 배출되는 데 받는 배수저항을 고려한 경우와 무시한 경우로 구분하여 Barron, Hansbo, Onoue, Yoshikuni 등의 이론식을 적용하였다. 그리고 현장계측치로부터 얻어진 시간-침하량곡선에 의한 최종침하량의 추정방법은 각각의 방법마다 가정조건들이 다르기 때문에 신뢰성 평가에 어려움이 있지만 그 중에서 쌍곡선, Asaoka, Curve fitting, Monden 방법 등을 이용하여 압밀도를 비교 분석하였다.

2. 현장 및 실내시험

본 연구대상지반은 현장 토질조사결과 N치 2~4의 대단히 연약한 점토층이 20~30m 두께로 균일하게 분포하고, 30m 이하에서는 N치가 11~13 정도의 모래질 실트층이나 모래층으로 분포되었다.⁴⁾ 대상 지반의 물리적, 역학적 특성을 파악하고, 지반의 전단강도 및 압밀특성을 파악하기 위하여 불교란 시료를 채취하여 실내시험을 실시한

Table 1. Geotechnical properties of soil sample

Method	Depth (m)	W_n (%)	e_0	C_c	OCR	C_v (cm ² /s)	K_v (cm/s)
A: Menard drain	1.5	45	1.137	0.42	3.00	1.50×10^{-3}	9.595×10^{-8}
	7.0	70	1.796	0.80	0.49	3.47×10^{-4}	3.46×10^{-8}
	15.5	55	1.520	0.62	1.05	3.41×10^{-4}	2.583×10^{-8}
	25.0	45	1.265	0.46	1.70	1.43×10^{-3}	8.70×10^{-8}
B: Pack drain	1.5	45	1.137	0.42	3.07	2.17×10^{-3}	9.595×10^{-8}
	5.5	66	1.739	0.53	0.37	3.53×10^{-4}	3.287×10^{-8}
	14.0	70	1.893	0.79	0.89	2.22×10^{-4}	2.025×10^{-8}
	25.7	40	1.430	0.32	1.47	1.19×10^{-3}	4.01×10^{-8}
C: Plastic board drain	1.5	45	1.196	0.43	1.67	1.05×10^{-3}	9.235×10^{-8}
	8.0	70	1.892	0.83	0.55	3.12×10^{-4}	3.11×10^{-8}
	17.0	60	1.549	0.63	1.15	3.43×10^{-4}	1.891×10^{-8}
	25.7	38	1.353	0.46	1.72	1.58×10^{-3}	9.556×10^{-8}

결과는 Table 1과 같다.

자연함수비와 액성한계의 범위는 각각 38~70%와 30~55%의 범위로 분포되어 있으며, 그 값은 지표면에서는 낮고 심도가 깊어지면서 증가하여 10.0m 부분에서 최대치를 나타내고 그 후는 심도가 깊어짐에 따라 점차로 감소하는 경향을 보여주고 있다.²⁾

삼축압축시험으로부터 구한 비배수 전단강도는 0.1~0.3kgf/cm²의 범위이고, 일축압축강도는 0.1~0.6kgf/cm²의 범위로 나타났다.²⁾

압밀시험에 의한 압밀계수와 투수계수는 $2.22 \times 10^{-4} \sim 2.17 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{s}$, $1.89 \times 10^{-8} \sim 9.60 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$ 의 범위로 분포되어 있으며, 지표면에서는 크게 나타나고 점차적으로 일정한 값을 나타내다가 20.0m부터 증가하고 있다.²⁾

III. 결과 및 고찰

대상 지반의 타입심도는 현장시험 결과를 기초로 25.5m로 시공하였고, 30cm/day의 시공속도로 안정관리분석과 병행하여 실시하였으며, 불안정하다고 판단되었을 경우는 방치기간을 두어 성토속도와 성토고를 조절하면서 5.0m까지 성토하였다.

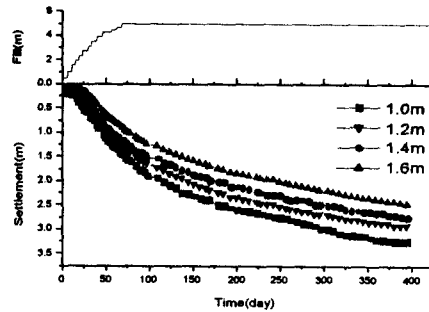
침하량을 측정하기 위하여 층별침하계의 계측자료를 사용하였고, 약 70일 동안 단계성토에 따른 성토하중 증가와 330일의 방치기간 동안에 드레인공법별, 타입간격별의 설계압밀도와 최종침하량 추정방법에 의하여 구한 압밀도를 비교 분석하였다.

1. 최종침하량의 추정과 비교

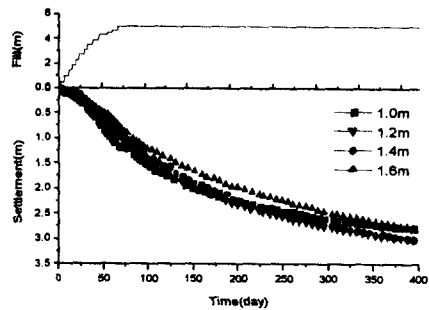
현장에서 계측된 시간-침하량곡선은 Fig. 1과 같다.

A공법의 경우 계측침하량은 각 타입간격별로 247~325cm, B공법은 278~302cm, C공법은 264~283cm로 성토가 진행됨에 따라 급격한 침하형태를 나타냈고, 성토완료후에도 침하가 계속해서 진행되고 있어 최종침하량에 도달되기까지는 상당한

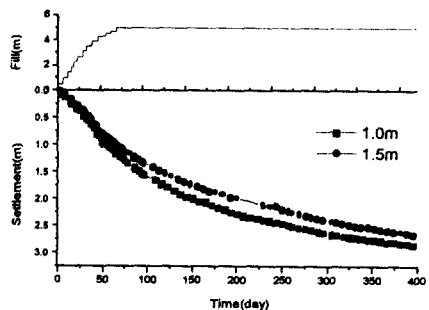
시간이 소요될 것으로 판단된다.



(a) A method



(b) B method



(c) C method

Fig. 1. Distribution of time-settlement

현장계측치로부터 쌍곡선, Curve fitting, Asaoka, Monden 등의 방법으로 추정된 최종침하량은 Fig. 2와 같다.

각 분석방법에 따른 최종침하량을 비교하면 쌍곡선 > Monden > Asaoka > Curve fitting 방법순으

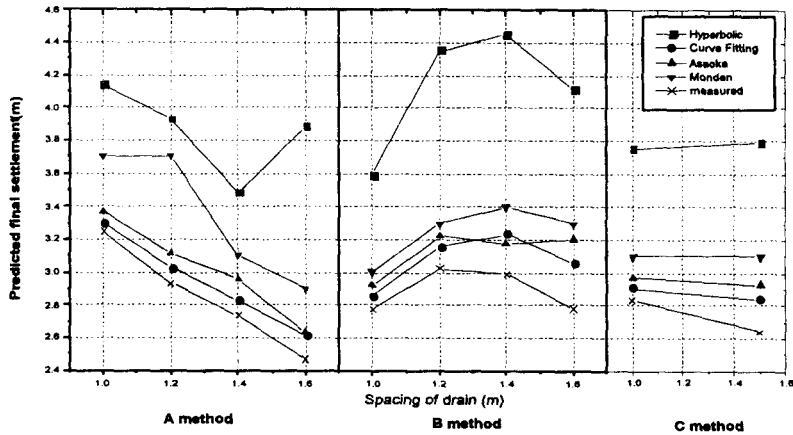


Fig. 2. Predicted final settlement

로 최종침하량이 추정되었다. 쌍곡선 방법은 다른 방법들로 구한 최종침하량보다 23~128cm 정도가 더 크게 되는 것으로 추정되었으며, 그 결과 현재까지의 침하량(약 400일)을 기준으로 압밀도는 약 5~31% 정도 작게 나타났다. 이는 쌍곡선 방법이 다른 방법들과는 달리 2차 압축을 고려할 수 있으므로 약간 큰 값을 나타낸 것으로 판단된다.

Monden 방법은 Asaoka, Curve fitting 방법에 비교하여 최종침하량이 약간 크게 추정되었다. 이는 침하자료의 회귀분석 결과에 따라서 약간의 차이가 있는데 전체 침하자료를 사용한 결과에 따른 것이다. 또, Asaoka, Curve fitting 방법은 거의 유사한 결과를 나타냈다.

분석방법에 따라서 최종침하량의 분포범위의 편차가 너무 커서 분석시 판단기준을 정하는데 어려움이 있으나, 각 방법간의 편차율을 비교하여 보면 쌍곡선법이 Monden 방법보다 5~22%정도 크고, Monden 방법과 Asaoka 방법은 2~14%정도의 차이를 나타냈다. 또한 Asaoka 방법과 Curve fitting 방법은 ±2~4%정도의 차이를 나타냈다.

이와 같은 원인은 각 방법마다 가정된 조건들이 다르고 초기부분의 계측자료의 변화량이 크기 때문에 회귀분석시 차이가 나타난 것으로 판단된다.

따라서 본 연구 대상 지역에서 이와 같은 편차율을 기초로 판단하여 보면 Asaoka 방법과 Curve

fitting 방법은 거의 편차가 없는 것으로 나타나서 이 두 방법에 의하여 분석기준을 선정하였다.

2. 교란효과를 고려한 압밀계수의 산정

수평압밀계수(C_h)는 연직 배수재 설계에 있어서 매우 중요한 변수인데, 일반적으로 설계시에는 표준압밀시험으로 구한 연직압밀계수(C_v)와 같은 값을 사용하고 있으나, 실내시험 결과로 예측한 압밀속도와 현장에서의 실제 압밀속도는 많은 차이를 나타내고 있다. 수평압밀계수(C_h)를 산정하기 위한 방법은 최근에 적용성이 증가하고 있는 Rowe cell 압밀시험기, 현장용의 Piezocone 시험기, 침하계측 및 간극수압자료분석에 의한 방법 등으로 구분할 수 있으나, 본 연구에서는 침하계측 자료를 이용하여 압밀계수를 산정하였다. Hansbo⁵⁾와 Onoue^{12,13)} 등은 수평압밀계수의 범위를 연직압밀계수에 대해서 각각 2~5와 2.7~6.3배의 범위에 있다고 하였으며, 피에조콘 관입시험에 의한 간극수압 소산시험을 수행한 결과로부터 Lavadox¹⁰⁾는 9~18배, Housby⁷⁾는 5~13배의 범위에 있다고 보고하였다. 따라서 현장 침하량을 바탕으로 신뢰성 있는 압밀계수를 추정하는 역해석의 과정이 필수적이다.

현장계측치를 이용하여 Curve fitting, Asaoka,

Monden 방법 등으로 압밀도를 추정하고, Barron과 Hansbo의 이론식으로 압밀계수를 구하였다. 또한, 연직 배수제 타입시 발생하는 교란효과를 투수계수 감소비(η)와 교란영역비(S)를 변화시켜 압밀계수를 구하였다.

Fig. 3은 실내시험에서 구한 연직압밀계수(C_v)는 현장계측치로부터 구한 수평압밀계수(C_h)와 어떠한 관계에 있는가를 알아보기 위하여 각 타입간격별로 Barron의 이론식을 사용했을 경우 현장계측치로부터 구한 압밀계수를 나타낸 것이다.

A, B공법에서 타입간격이 1.0m, 1.2m, 1.4m, 1.6m일 경우 최종침하량이 다르기 때문에 각각 다른 압밀도에서 수평 압밀계수를 산정한 결과, 타입간격이 넓을수록 압밀계수는 크게 나타났고, 실내시험으로 구한 연직압밀계수($3.81 \times 10^{-4} \sim 4.55 \times 10^{-4} \text{cm}^2/\text{s}$)와 비교할 때 타입간격 1.0m에서는 0.5~0.9배의 범위로, 1.2m에서는 0.6~1.3배,

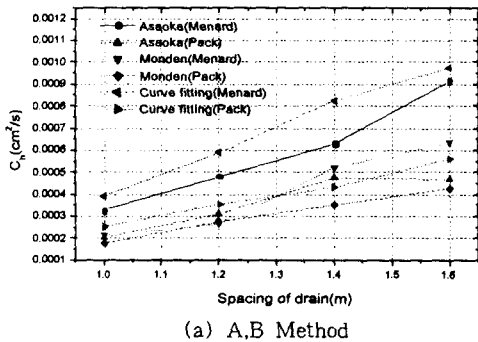
1.4m에서는 0.9~1.8배, 1.6m에서는 1.1~2.1배의 범위로 나타났다.

C공법에서는 타입간격이 1.0m, 1.5m일 경우 수평 압밀계수를 산정한 결과 타입간격이 넓을수록 압밀계수는 크게 나타났다. 실내시험으로 구한 연직압밀계수($4.11 \times 10^{-4} \text{cm}^2/\text{s}$)와 비교할 때 타입간격 1.0m에서는 0.7배의 범위로, 1.5m에서는 1.4~1.6배의 범위로 나타났다.

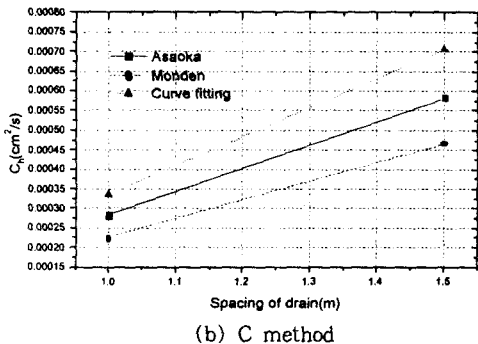
교란효과와 배수저항을 무시한 이상적인 경우의 Barron의 이론식을 사용해서 역계산한 결과, 타입간격이 넓을수록 수평압밀계수(C_h)는 크게 나타났지만 Barron의 이론식을 사용하여 $C_h = C_v$ 로 설계할 경우는 이미 교란효과와 배수저항이 수평압밀계수(C_h)에 포함되어 있다는 것을 의미한다

Fig. 4는 교란효과를 고려한 Hansbo의 이론식을 이용하여 가장 근접한 연직압밀계수(C_v)와 수평압밀계수(C_h)와의 비(C_h/C_v)의 범위를 알아보기 위하여 교란영역의 투수계수(k_s)와 직경(d_s)의 범위가 $k_s = 1/2k_v$, $d_s = 2d_m$ 일 경우(A method: 1.0m) 실내 시험으로부터 구한 연직압밀계수(C_v)를 변화시켜 현장계측치로부터 쌍곡선, Curve fitting, Asaoka, Monden 등의 방법으로 추정한 압밀도곡선과 비교한 것이다.

연직 드레인을 설치하였을 경우 압밀속도를 결정하는 대표적인 변수인 수평압밀계수(C_h)는 결정하기 어렵고, 드레인의 교란영향 때문에 신뢰성에 의문점이 있으나, 압밀도의 크기를 산정한 결과,



(a) A,B Method



(b) C method

Fig. 3. Comparison of coefficient of consolidation with variation of spacing of drain

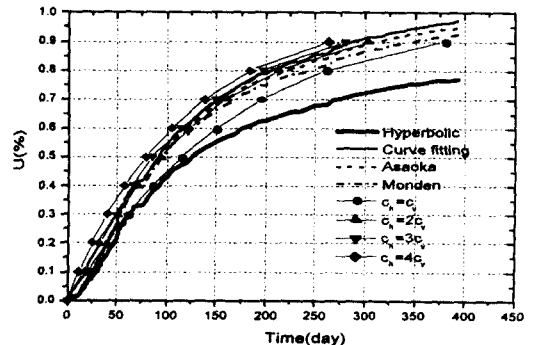


Fig. 4. Comparison of degree of consolidation with variation of C_h (spacing of drain : 1.0m)

Curve fitting, Asaoka, Monden, 쌍곡선 방법순으로 Curve fitting 방법이 가장 크고, 쌍곡선 방법이 가장 작게 나타났다.

압밀도곡선은 최종침하량의 추정방법에 따라 차이가 나타나지만, 본 연구에서는 편차율이 작은 Asaoka 방법과 Curve fitting 방법을 기준으로 가장 적합한 압밀계수비의 범위를 산정하였다.

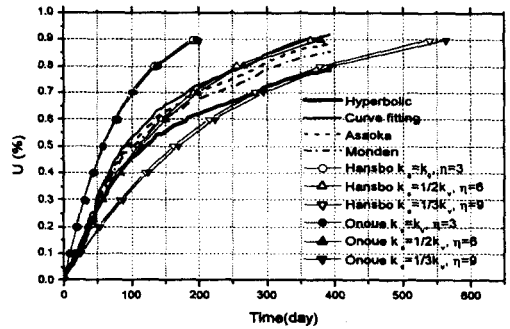
수평 압밀계수가 실내시험으로 구한 연직압밀계수와 같을 경우, 즉 $C_h=C_v$ 를 적용한 경우는 각 방법에 의한 압밀도 곡선과 비교하면 압밀도 90%에 도달하는 시간이 약 25~100일 정도 크게 나타났다. 또, $C_h=2C_v$ 와 $C_h=3C_v$ 를 적용한 경우는 각각 Asaoka와 Curve fitting 방법에 의한 압밀도 곡선과 일치하는 경향을 나타냈다. $C_h=4C_v$ 를 적용한 경우는 각 방법들에 의한 압밀도 곡선과 비교하여 압밀도 90%에 도달하는 시간이 매우 빠르게 추정되었다.

3. 교란영역의 투수계수(k_s)와 직경(d_s) 변화에 의한 압밀도 분석

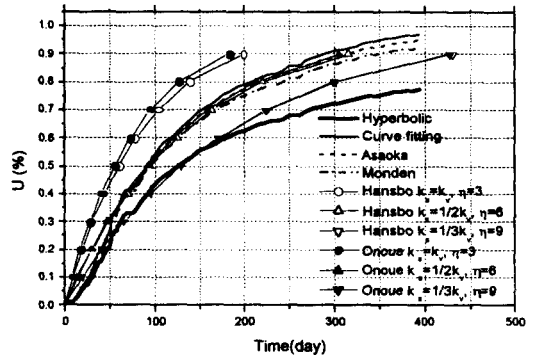
교란영향을 고려하여 설계할 경우 교란영역의 투수계수(k_s)와 직경(d_s)의 범위를 결정하여야 하는데 시험방법의 어려움 때문에 주로 경험식 등에 의존하고 있어 현장계측치와 일치하지 않는 경우가 많다. 따라서 현장계측치를 이용하여 적합한 영향범위를 구할 수 있다면 합리적인 설계자료를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 5는 A, B, C 공법을 타입간격 1.0m로 설치한 지반에서 Hansbo와 Onoue의 이론식을 이용하여 교란영역의 투수계수(k_s)를 변화시키면서 압밀도 90%에 도달되는 시간과, 현장계측치(400일)로부터 쌍곡선, Curve fitting, Asaoka, Monden 등의 방법으로 추정한 압밀도곡선과 비교 분석한 것이다.

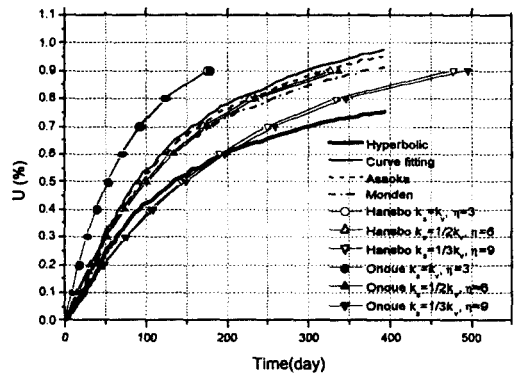
이론식들을 비교하여 보면 교란영역의 투수계수가 작아질수록 Hansbo, Onoue의 이론식 모두에서 압밀시간이 지연되었으며 압밀도의 변화폭이 상당히 크게 나타났다. 또, Hansbo, Onoue의 이론식은 거의 같은 곡선 형태를 나타내고 압밀도 90%에



(a) A method



(b) B method



(c) C method

Fig. 5. Results of degree of consolidation with variation of k_s

도달하는 시간도 거의 유사하게 나타났다.

각 이론식들을 교란영역의 투수계수의 범위를 변화시켜 해석한 결과, 교란영역의 투수계수(k_s)와

연직투수계수(k_v)가 같을 경우, 즉 $k_s=k_v$ 에서는 압밀도가 17~33% 정도 크게 나타났고, 교란영역의 투수계수(k_s)를 비교교란영역의 연직투수계수(k_v)의 1/2로 해석한 결과에서 Curve fitting, Asaoka 방법에 의한 압밀도곡선과 비교적 잘 일치하는 경향을 나타냈으며, $k_s=1/3k_v$ 일 때는 압밀도 60~80% 범위 내에서 쌍곡선 방법과 일치하는 경향을 나타냈다.

Fig. 6은 A 공법을 타입간격 1.0m로 설치한 지반에서 시간에 따른 압밀도의 변화를 $k_s=1/2k_v$ 일 때 교란영역의 직경(d_s)을 변화시키면서 현장 계측치로부터 쌍곡선, Curve fitting, Asaoka, Monden 등의 방법으로 추정한 압밀도곡선과 비교·분석한 것이다.

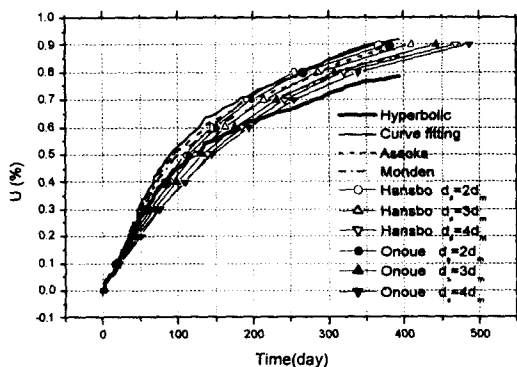


Fig. 6. Results of degree of consolidation with variation of d_s .

교란영역의 직경이 증가할수록 Hansbo, Onoue의 이론식 모두에서 압밀시간이 지연되고, 압밀도의 변화폭은 교란영역의 투수계수의 변화에 비해서는 작으며 변화율은 두 이론식이 거의 비슷한 경향을 나타내고 있다.

쌍곡선방법에 의한 압밀도곡선은 다른 이론식들과 비교하여 상당한 차이가 있고, 최종침하량이 크게 추정됨을 알 수 있다.

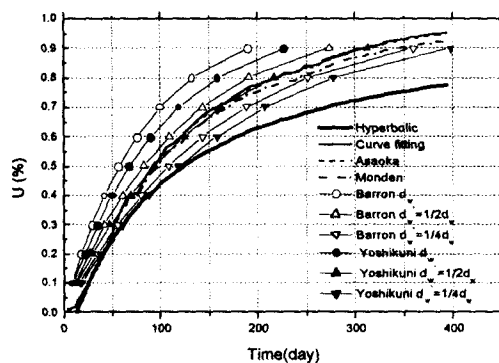
각 이론식들을 교란영역의 직경의 범위를 변화시켜 해석한 결과, 교란영역의 직경(d_s)을 mandrel 직경(d_m)의 2~3배로 해석한 결과에서 Curve

fitting, Asaoka 방법에 의한 압밀도곡선과 비교적 잘 일치하는 경향을 나타냈다. 교란영역의 직경을 mandrel 직경의 4배로 해석한 결과는 압밀시간이 상당히 지연되는 것으로 나타났다.

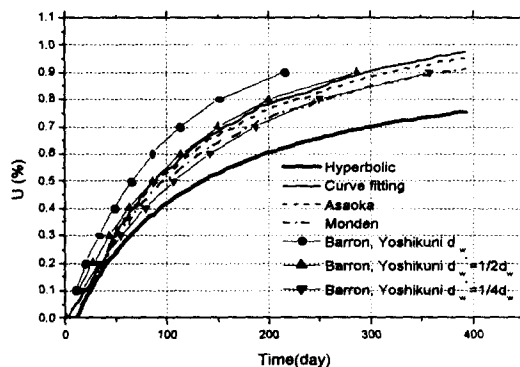
Jamiolkowski⁸⁾, Hansbo^{5,6)}, Madhav¹¹⁾ 등도 교란영역의 직경에 대하여 이론적 연구와 실험적 방법으로 추정된 결과 $d_s=2\sim 3d_m$ 로 분포한다고 하였다.

4. 배수저항을 고려한 압밀도 분석

Fig. 7은 연직배수재의 설계시 배수저항의 영향을 고찰하기 위하여 배수저항에 관련된 드레인의 투수계수(k_w)가 비교적 작은 경우(B 공법)와 큰 경우(C 공법)로 구분하고 감소직경을 사용하여 압밀도곡선과 비교한 것이다.



(a) $k_w=0.02\text{cm/s}$ (B method)



(b) $k_w=0.9\text{cm/s}$ (C method)

Fig. 7. Results of degree of consolidation with variation of k_w

Fig. 7(a)는 드레인의 투수계수가 작은 경우에서의 시간에 따른 압밀도의 변화를 나타낸 것이다. 먼저, Leonard⁹⁾가 제안한 1/2 감소 직경을 사용해서 해석한 결과를 보면 Barron의 이론식인 경우는 Curve fitting, Asaoka 방법에 의한 압밀도곡선과 비교할 때 압밀도 90%에 도달하는 시간을 약 25일 정도, Monden 방법에 의한 압밀도곡선과는 약 76일 정도 지연되는 것으로 나타났다. 이는 유¹⁾가 1/2 감소 직경을 사용할 경우 압밀소요시간을 과소하게 평가한다는 연구결과와 유사하게 나타났다. Yoshikuni 이론식을 사용한 경우에는 Curve fitting, Asaoka 방법에 의한 압밀도곡선과 일치하는 경향을 나타냈고, Monden 방법에 의한 압밀도곡선과는 약 45일 정도 지연되는 것으로 나타났다. 또, 1/4 감소 직경을 사용해서 해석한 결과에서는 Barron 이론식의 경우 Curve fitting, Asaoka 방법에 의한 압밀도곡선과 비교할 때 압밀도 90%에 도달하는 시간을 약 45일 정도 크게 평가하는 것으로 나타났고, Monden 방법에 의한 압밀도곡선과는 일치하는 경향을 나타냈다. Yoshikuni 이론식의 경우에는 Curve fitting, Asaoka 방법에 의한 압밀도곡선과 비교할 때 압밀도 90%에 도달하는 시간을 약 90일 정도, Monden 방법에 의한 압밀도곡선과는 약 40일 정도 크게 평가하는 것으로 나타났다.

Fig. 7(b)는 드레인의 투수계수가 큰 경우에서의 시간에 따른 압밀도의 변화를 나타낸 것으로 드레인의 투수계수가 크기 때문에 Barron과 Yoshikuni의 이론식이 거의 유사하게 나타났다.

1/2 감소 직경을 사용한 경우에는 Curve fitting 방법에 의한 압밀도곡선과 거의 일치하는 경향을 나타냈다. Asaoka 방법에 의한 압밀도곡선과 비교할 때 압밀도 90%에 도달하는 시간을 약 28일 정도, Monden 방법에 의한 압밀도곡선과는 약 72일 정도 지연되는 것으로 나타났다. 또, 1/4 감소 직경을 사용한 경우에는 Curve fitting, Asaoka 방법에 의한 압밀도곡선과 비교할 때 압밀도 90%에 도달하는 시간을 약 40~68일 정도 크게 평가하는 것으로 나타났고, Monden 방법에 의한 압밀도곡

선과는 거의 일치하는 경향을 나타냈다.

이상과 같은 결과로부터 배수저항의 영향은 드레인의 직경이 작아질수록 압밀이 지연되는 경향을 보였고, 드레인의 투수계수에 따라서는 작은 경우에 28~68일 정도, 큰 경우에는 25~45일 정도로 드레인의 투수계수가 작은 경우에 약 3~23일 정도 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 연직 배수재를 설계할 경우, 드레인의 투수계수가 작은 경우에는 그 영향을 고려해서 감소 직경을 사용하는 것이 비교적 합리적인 결과를 제공한다

IV. 결 론

본 연구는 연직지반의 심도가 깊으면서 압밀침하량이 큰 지역에서 Hansbo, Barron, Onoue, Yoshikuni 등의 이론식을 이용하여 교란효과와 배수저항에 관련된 변수들을 변화시켜 압밀도를 구하고, 현장계측치로부터 쌍곡선, Curve fitting, Asaoka, Monden 등의 방법으로 추정한 압밀도곡선을 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 쌍곡선방법에 의한 압밀도곡선은 Curve fitting, Asaoka, Monden 방법에 의한 압밀도곡선과 비교할 때 압밀도가 작게 나타났다.
2. 현장계측치로부터 역산한 수평압밀계수(C_h)와 실내 시험에서 구한 연직압밀계수(C_v)의 전체적인 범위는 교란효과와 배수저항을 무시하는 이상적인 경우에는 $C_h = (0.5 \sim 2.1)C_v$, 교란효과와 배수저항을 고려한 경우에는 $C_h = (2 \sim 3)C_v$ 의 범위로 나타났다.
3. 역해석에 의한 교란된 영역의 투수계수(k_s)는 비교란영역의 연직투수계수(k_v)의 1/2로, 교란영역의 직경(d_s)은 mandrel 직경(d_m)의 2배일 때 현장계측치로부터 추정된 압밀도 곡선과 유사하게 나타났다.
4. 연직배수재 설계에 따른 배수저항의 영향은 드레인의 직경이 작아질수록 압밀이 지연되는 경향을 보였고, 드레인의 투수계수가 작은 경우가

큰 경우보다 영향이 더 큰 것으로 나타났다. 따라서 감소 직경을 사용하는 설계법은 배수저항의 영향을 고려하는 것이 비교적 합리적인 결과를 제공한다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. 유영삼, 김병일, 정충기, 김병모, 1994, 교란효과를 고려한 샌드드레인의 약식설계, 한국지반공학회지, 10(3), pp33~40.
2. 이달원, 강예묵, 1998, 연직드레인 공법에 의한 연약지반의 압밀거동, 한국농공학회 학술발표회 발표논문집, pp. 376~381.
3. 조성민, 1998, 국내 연약 점성토 지반의 성토재하시 변형 특성 분석, 서울대학교 토목공학과 박사학위논문, pp. 21.
4. 한국토지공사, 1997, 연약지반의 처리공법과 침하계측에 관한 연구, 한국토지공사 토지연구원, pp. 19~79.
5. Hansbo, S., 1979, Consolidation of Clay by Band-shaped Prefabricated Drains, GEOTECH 92, pp. 59~66.
6. 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.
7. Houlsby, G. T. and C. I. Teh, 1991, An Analytical Study of the Cone Penetration Test in Clay, Geotechnique, 41(1), pp. 17~34.
8. Jamiolkowski, M. and R. Lancellotta, 1981, Consolidation by Vertical Drain Uncertainties involved in Prediction of Settlement Rates, Panel Discussion, Proceedings of the 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stockholm, Vol 4, pp. 593~595.
9. Leonard, G. A., 1962, Foundation Engineering, McGraw-hill, New York, pp. 171~176.
10. Levadox, J.M. and M.M. Baligh, 1986, Pore Pressure Dissipation after Cone Penetration I: Prediction, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 112(7), pp. 707~726.
11. Madhav, M.R., Y.M. Rark & N. Miura, 1993, Modelling and Study of Smear zones around Band Drains, Soils and Foundations, JSSMFE, 33(4), pp. 135~147.
12. Onoue, A., 1988, Consolidation of multilayered anisotropic soils by vertical drains with well Resistance, Soils and Foundation, JSSMFE, 28(3), pp. 75~90.
13. Onoue, A., 1988, Consolidation by Vertical Drains taking well Resistance and Smear into Consolidation, Soils and Foundation, JSSMFE, 28(4), pp. 165~174.