압밀계수와 압밀속도

윤 찬 영
강릉원주대학교 토목공학과 조교수
(yune@gwnu.ac.kr)

1. 들어가며

연약지반은 주로 점성토로 이루어져있고, 이러한 연약지반 개량 설계에서 가장 중요한 것은 압밀침하량과 압밀속도이다. 본 강의노트에서는 압밀속도와 압밀계수의 관계에 대해서 생각해보고자 한다. 점성토의 압밀속도를 나타내는 물성치는 압밀계수로서, 압밀계수가 크면 압밀속도가 빠르고, 압밀계수가 작으면 압밀속도는 느린 특성을 보인다. 압밀계수가 지수(index)가 아니고 계수(coefficient)로 정의되는 것은 흙의 고유한 특성이 아니고, 동일한 흙에 대해서도 응력이력, 교란, 현재 응력 등 여러 가지 인자에 의하여 변화하기 때문이다. 압밀계수는 또한 다음식과 같이 투수계수와 체적압축계수의 함수이다.

$$c_v = \frac{k_v}{\gamma_w m_v} \quad (1)$$

사실 압밀계수는 그 자체로서 어떤 물리적 의미를 갖는 계수가 아니고 압밀이론을 풀어내기 위하여 미소한 변형하에서 변화하지 않는 상수로 가정한 것이다. 식(1)에서 만약 지반내 응력이 증가한다면 간극비가 감소하면서 투수계수는 감소하고 체적압축계수도 감소하므로 압밀계수의 변화량은 실제로 매우 적거나 거의 없을 것이다. 그렇다면 동일한 압밀계수를 갖는 지반은 동일한 압밀속도를 가지는가? 이에 대하여 간단한 예를 들어 압밀계수와 압밀속도에 대해서 생각해보도록 하겠다.

2. 동일한 압밀계수를 갖는 지반에 대한 간단한 예

동일한 압밀계수를 갖는 4가지 경우의 지반조건을 다음과 같이 간단히 가정해보았다. 가정된 조건은 실

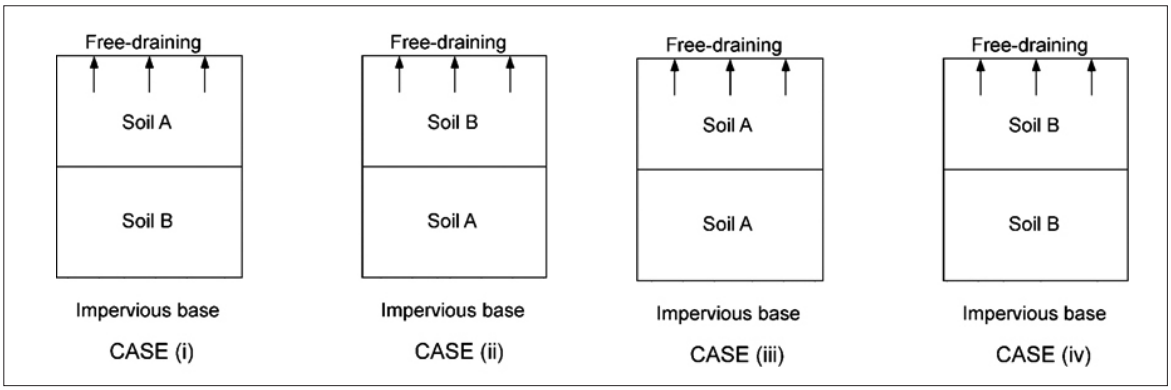

그림 1. 동일한 압밀계수를 갖도록 단순화한 4가지 지반조건

제 지반조건이 아니고 해석상의 편의를 위하여 매우 간단히 가정된 경우임을 미리 밝혀둔다.

먼저 식 (1)과 같은 압밀계수에 대하여 물의 단위중량이 1이므로 'Soil A'는 투수계수와 체적압축계수를 모두 1로 가정하면 1이라는 압밀계수를 갖는다. 마찬가지로 10의 투수계수와 10의 체적압축계수를 갖는 Soil B를 가정하면 역시 압밀계수는 1로 동일하다. 이러한 Soil A와 Soil B를 배치하는 순서에 따라서 다음 그림 1과 같이 동일한 압밀계수를 갖는 4가지 경우를 가정할 수 있다. 그림 1에서 Case (i)은 투수계수가 작은 Soil A가 배수면쪽에 위치한 경우이고, Case (ii)는 투수계수가 큰 Soil B가 배수면쪽에 위치한 경우이며, Case (iii)과 (iv)는 각각 Soil A와 Soil B로만 이루어진 균질한 지반이다. 4가지 경우 모두 압밀계수는 1로 동일하다.

이 지반조건에 대하여 여러 가지 측면에서 분석이 가능하지만 압밀속도에 대한 것만 살펴보도록 하겠다.

1)압밀이론을 이용한 분석

1차원 압밀이론에 따르면 동일한 압밀계수를 가지고 있으므로 4가지 경우 모두 동일한 압밀속도를 가진다. 따라서 동일한 시간에 지반 내 간극수압 분포 및 압밀도는 동일하다. 단, 침하량은 Soil B의 압축성이 Soil A의 10배이므로 Case (iv)가 Case (iii)의 10배 이고, Case (i)과 (ii)는 Case (iii)의 5.5배가 될 것이다.

2) 투수계수와 체적압축계수를 개별적으로 고려한 해석

하지만 이 4가지 경우에 대하여 투수계수와 체적압축계수를 개별적으로 고려하여 해석을 실시하면 이론해와는 다른 결과를 얻게 된다. 해석결과를 시간계수에 따라 지반내 간극수압분포로 도시하면 그림 2와 같다. 균질한 지반으로 이루어진 Case (iii)과 (iv)는 전형적인 1차원 압밀에서의 간극수압 분포를 보이고, 압밀속도 역시 이론해와 동일하다(그림 2 (b)). 투수계수가 큰 Soil B가 배수면쪽에 위치한 Case (ii)는 배수면 쪽에서 간극수압이 빠르게 소산되면서 전체 지반의 압밀속도를 촉진시키는 역할을 하고 있다(그림 2 (a)). 반면에 투수계수가 작은 Soil A가 배수면쪽에 위치한 Case (i)은 배수면 쪽에서 간극수압이 느리게 소산되면서 전체 지반의 압밀속도를 지연시키는 역할을 하고 있다. 이러한 결과는 최종침하량으로 정규화된 침하량(그림 3)과 비배수면에서의 간극수압 소산(그림 4)에서도 마찬가지로 나타난다. 결과적으로 모두 동일한 압밀계수를 가지고 있음에도 불구하고, 실제 압밀속도는 배수면 근처 지반의 투수계수에 지배적 영향을 받는다.

3. 결론

많은 연구자 혹은 실무자 들이 압밀계수를 압밀속도

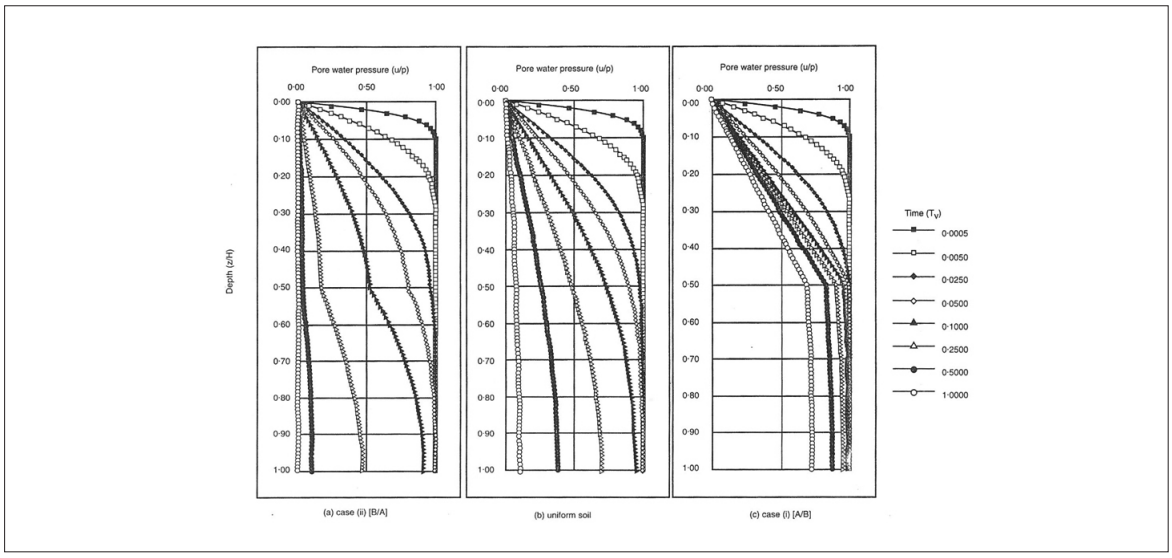

그림 2. 시간계수에 따른 지반내 간극수압 분포

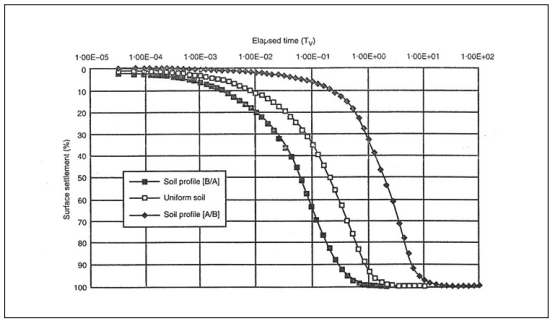

그림 3. 최종침하량으로 정규화된 침하량

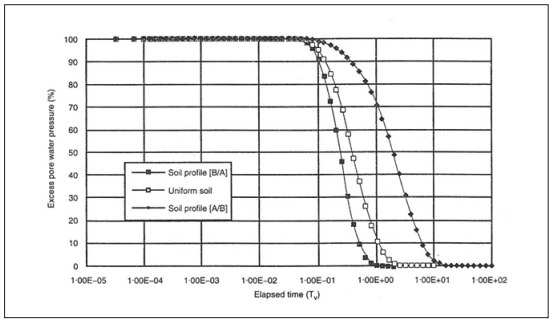

그림 4. 비배수면에서의 간극수압 변화

를 나타내는 척도로 생각하고 있다. 하지만 앞서 살펴본 예와 같이 동일한 압밀계수를 갖더라도 압밀속도는 달라질 수 있다. 매우 균질하고 이상적인 경우에 한하여 동일한 압밀계수를 가지면 압밀속도도 같다고 이야기할 수 있겠지만, 실제 현장에서 접하게 되는 불균질한 지반에서는 압밀계수를 압밀속도로 간주해서는 안 될 것이다. 특히 균질한 지반이라도 압밀이 진행됨에 따라 위치별 압밀속도의 차이에 따라 압밀속도가 빠른 배수면 근처의 지반에서는 투수계수와 체적압축계수의 감소율이 크고, 배수면에서 멀리 떨어질수록 투수계수와 체적압축계수의 감소율이 작아지므로 배수면 근처에서의 작은 투수계수가 압밀과정에서 압밀속도에 영향을 줄 수 있다. 따라서, 단순히 압밀계수에 근거하여 이론적 계산으로 산정한 압밀속도 혹은 압밀시간은 큰 오차가 발생할 수 있음을 염두해 두어야 할 것이다.

이상의 지반공학 노트는 Pyrah(1996)의 논문을 참고하여 정리한 것임을 밝히며, 더욱 자세한 내용을 확인하고 싶은 분은 원문을 참고하시길 바란다.

참 고 문 헌

1. Pyrah, I. C. (1996), One-dimensional consolidation of layered soils, Geotechnique, Vol. 46, No. 3, pp. 555-560.