

지반공학적 설계변수의 결정에 있어 위치적 이질성의 중요성 **Importance of Spatial Variability in Determination of Geotechnical Engineering Design Properties**

김현기¹⁾, Hyun-Ki Kim

¹⁾ 국민대학교 공과대학 건설시스템공학부 전임강사, Full-time lecturer, School of Civil and Environmental Engineering, Kookmin Univ.

1. 서론

지반구조물의 설계변수를 결정함에 있어 불확실성을 주는 주된 원인은 다음 세가지 - 본질적인 흙의 위치적 이질성, 계측시 오류, 그리고 측정치 환산시의 불확실성으로 분류한다. 흙의 본질적인 위치적 이질성은 지반의 형성과정에서 자연스럽게 형성된 지반내부의 역학적 특성이 비균질적으로 분포하는 성질을 의미한다. 계측시 오류는 시험과정에 발생할 수 있는 계측장비나 시험원에 따른 오차를 의미하고, 측정치 환산시의 불확실성은 우리가 실내/실외 시험을 통해 얻는 지반 정수가 설계시 사용하는 전단강도나 변형계수 등을 바로 측정하는 것이 아니라 SPT시험의 N값이나 CPT의 선단지지력과 같이 다른 형태로 발현된 특성값을 이용하여 이론적 혹은 경험적인 관계식에 의해 유추하여 얻게 되는데 연유하는 불확실성을 의미한다. 계측시 오류나 환산시의 불확실성은 실제로 지반에 존재하는 불확실성이 아니기 때문에 측정기술의 발전이나 해석방법의 오류수정을 통해 줄여줄 수 있는 부분이지만, 그와 달리 본질적인 흙의 위치적 이질성은 실제로 지반에 존재하는 불확실성으로서 지반구조물의 설계변수를 결정과정에 있어 가장 중요하게 고려되어 하는 불확실성이라고 할 수 있다.

이러한 지반정수의 위치적 이질성은 지구 통계학적인 기법을 이용하여 모델링을 하는 것이 가장 효율적인 방법으로 알려져 있으며, 본 논문에서는 이렇게 모델링을 된 지반에 대해 여러 지반공학적 문제를 적용해 본 예를 소개하고자 한다.

2. 실내 이축압축시험: 변형을 집중에 의한 전단파괴

다음 그림은 비균질한 토체가 비배수상태에서 전단응력을 받을 때 내부적으로 전단변형율의 분포가 어떻게 되는지를 토체 전체의 응력-변형율 곡선에 따라 표시한 그림이다. 토체의 비균질성은 초기 간극비에 따른 비배수전단강도의 불확실성으로 표현하였다. 그림에서 보이다시피, 초기 간극비가 큰 부분 즉 전단강도가 약한 부분들의 연속적인 결합에 의해 전단면이 형성되고 이로 인해 전체 구조의 전단파괴로 발전되는 것을 관찰할 수 있다.

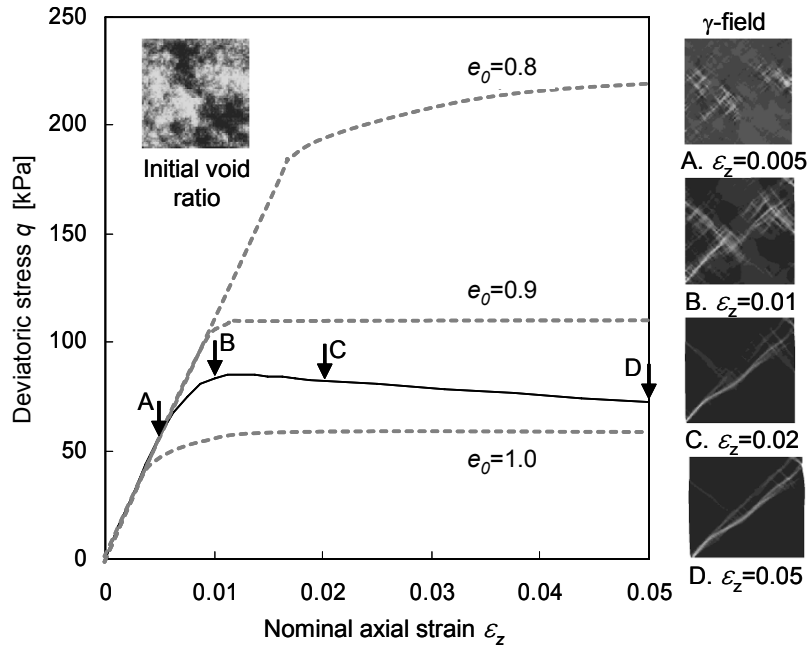


그림 1. 불균질한 토체의 비배수 전단거동 (Kim 과 Santamarina, 2008)

3. 지반구조물 설계: 얇은 기초의 침하

다음 그림은 지반을 이질적인 등방탄성체로 가정했을 때, 얇은 기초가 설치될 때와 같은 등분포 하중이 지표에 전달되는 경우에 발생하는 침하의 양상을 보여주는 것으로 부분적으로 작은 변형계수를 갖는 지반의 침하가 상대적으로 크게 나타나는 것을 볼 수 있으며, 기존의 연구에 따르면 이질적인 지반의 침하가 평균값을 갖는 균등지반의 침하보다 크게 나타나는 것으로 알려져 있다.

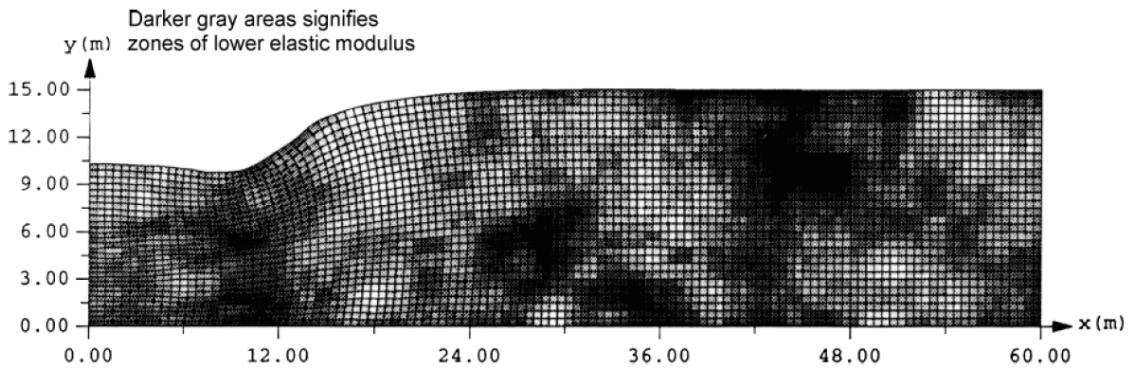


그림 2. 비균질한 지반에 형성된 얇은 기초의 침하 (Paice 외 2인 1994)

4. 지반구조물 설계: 옹벽구조물 뒷채움 흙의 주동파괴 현상

다음 그림은 위치적 이질성을 갖는 지반이 옹벽구조물의 뒷채움 흙으로 적용된 경우를 해석해 본 것으로 주동파괴시의 파괴면이 상대적으로 전단저항력이 작은 부분에 의해 형성되는 전단변형률의 집중현상을 관찰할 수 있다.

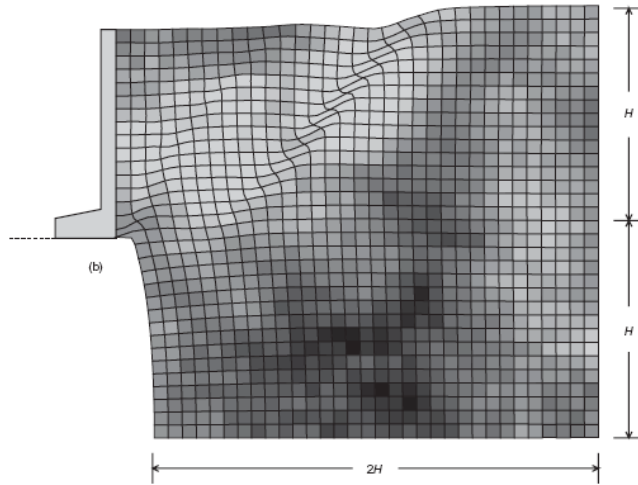


그림 3. 옹벽구조물의 뒷채움 흙이 이질적인 경우의 주동파괴 현상 (Fenton 외 2인, 2005)

5. 지반구조물 설계: 액상화에 의한 지반의 침하 및 파괴

다음 그림은 (d)에서 보이는 것과 같은 CPT 선단지지력 측정에 대해 전단강도의 위치적 이질성을 재구성한 지반에 대해 진동하중을 가했을 때 발생하는 지반내 과잉간극수압의 분포를 (a) 3D 해석 (토체 중앙부), (b) 2D 평면변형률 해석, (c) 균질한 가정으로 해석한 결과에 대해 각각 보여주고 있는데, 이질적인 지반에서 평균값으로 표현된 균질지반에 비해 상대적으로 더 큰 과잉간극수압이 부분적으로 발생할 수 있는 것을 알 수 있다.

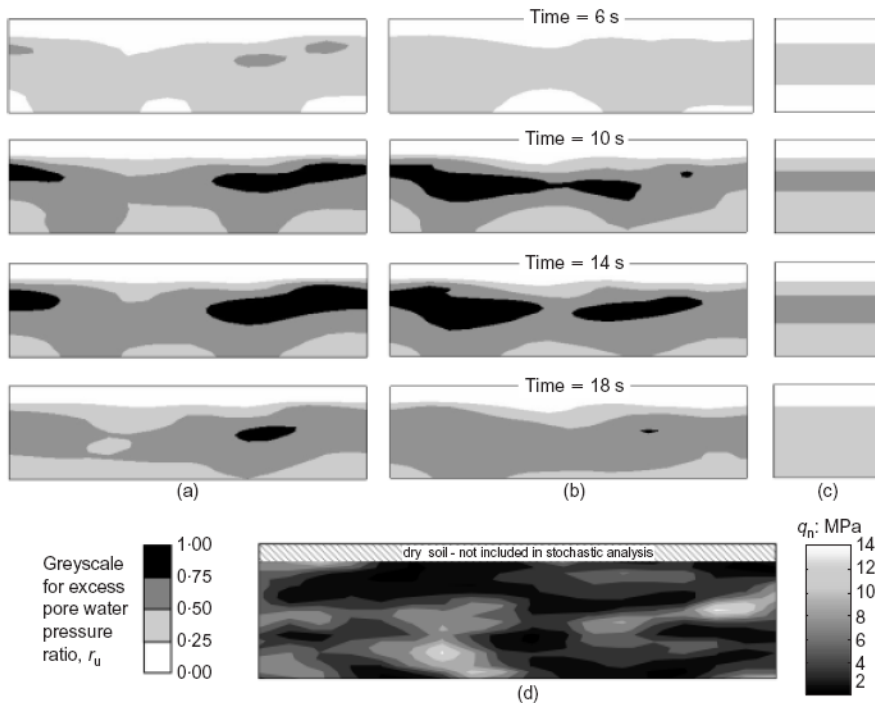


그림 4. 불균질한 지반의 진동하중 거동 (Popescu 외 2인 2005)

5. 결론

이외에도 얇은 기초의 침하량 산정(Wu 와 Kraft 1967; Resendiz 와 Herrera 1969; Baecher와 Ingra 1981; Zeitoun과 Baker 1992; Paice와 2인 1994), 액상화 파괴 가능성 예측 (Yegian과 Whitman 1978; Fenton과 Vanmarcke 1991; Popescu 외 2인 1996; Popescu 외 2인 1998), 유효 투수능 분석 (Griffiths 와 Fenton 1993), 사면파괴 안전율 산정 (Tobutt과 Richards 1979) 등 여러 지반공학 설계 분야에 있어 이러한 위치적 이질성의 영향 및 고려방법에 대한 연구가 진행되었으며 현재도 진행 중에 있다. 이런 흐름의 연구가 현재 지반공학설계 전 분야에 걸쳐 진행되고 있는 상황은 아니지만, 지반정수의 확률적 분포와 불확실성에 따른 신뢰성 해석에 근거하여 지반구조물 설계에 필요한 설계변수를 결정하려는 연구가 최근 들어 국내외에서 활발하게 이루어지고 있고, 특히 Load and Resistance Factor Design(LRFD) 개념을 도입하여 지반구조물의 설계변수를 결정하기 위한 연구가 우리나라에서도 우리의 실정에 맞춰 진행된 많은 사례가 발표되고 있고 있는 만큼, 우리 지반 공학자들의 설계가 좀 더 정량적이고 객관적인 의사결정과정을 거치기 위해선 이와 관련된 문제에 대해 좀 더 관심을 가지고 연구를 해야 할 시점이 아닌가 생각한다.

참고문헌

1. Baecher, G.B., and Ingra, T.S. (1981). Stochastic FEM in settlement predictions. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 107(GT4): 449-463.
2. Fenton, G. A., Griffiths, D. V. and Williams, M. B. (2005). Reliability of traditional retaining wall design. *Geotechnique*, 55(1), pp. 55-62
3. Fenton, G.A., and Vanmarcke, E.H. (1991). Spatial variation in liquefaction risk assessment. In *Proceedings of the Geotechnical Engineering Congress, Boulder, Colo. Geotechnical Special Publications, No. 27, Vol. 1*, pp. 594-607.
4. Griffiths, D.V., and Fenton, A. (1993). Seepage beneath water retaining structures founded on spatially random soil. *Geotechnique*, 43(4): 577-587.
5. Kim, H.-K. and Santamarina, J.C. (2008). Spatial variability: Drained and undrained deviatoric load response. *Geotechnique (In-Press)*
6. Paice, G.M., Griffiths, D.V., and Fenton, G.A. (1994). Influence of spatially random soil stiffness on foundation settlement. In *Proceedings of the Conference on Vertical and Horizontal Deformation of Foundations and Embankments, Part 1 (of 2), College Station, Tex.* pp. 628-639.
7. Popescu, R., Prevost, J.H. and Deodatis, G. (2005). 3D effects in seismic liquefaction of stochastically variable soil deposits, *Geotechnique*, 55(1), pp. 21-31
8. Popescu, R., Prevost, J.H., and Deodatis, G. (1996). Influence of spatial variability of soil properties on seismically induced liquefaction. In *Proceeding of the 1996 Conference on Uncertainty in the Geologic Environment, Uncertainty 96, Part 2 (of 2), Madison, Wis.* pp. 1098-1112.
9. Popescu, R., Prevost, J.H., and Deodatis, G. (1998). Characteristic percentile of soil strength for dynamic analysis. In *Proceeding of the 1998 Conference on Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics III, Part 2 (of 2), Seattle, Wash.* pp. 1461-1471.
10. Resendiz, D., and Herrera, I. (1969). A probabilistic formulation of settlement control design. In *Proceedings of the 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico City, Mexico, Sociedad Mexicana de Mecanica de Suelos, August.* pp. 217-225.
11. Tobutt, D.C., and Richards, E. (1979). The reliability of earth slopes. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 3, pp. 323-354.
12. Wu, T.H., and Kraft, L.M. (1967). The probability of foundation safety. *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE*, 93(SM5), pp. 213-231.
13. Yegian, M.K., and Whitman, R.V. (1978). Risk analysis for ground failure by liquefaction. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 104(GT7): Zeitoun, D.G., and Baker, R. (1992). A stochastic approach for settlement predictions of shallow foundations. *Geotechnique*, 42(4), pp. 617-629.