



토사비탈면 설계시 강우침투를 고려하는 해석방법에 대하여 알려주십시오.



황영철
상지대학교
건설시스템공학과 부교수
ychwang@sangji.ac.kr

1. 개요

비탈면의 안정해석방법은 한계평형해석법(LEM, Limit Equilibrium Analysis Method), 유한요소해석법(FEM, Finite Element Analysis Method), 유한차분해석(FDM, Finite Difference Analysis Method) 등을 이용할 수 있으며, 이외에도 여러 다양한 방법으로의 접근이 가능하다. 특히 강우를 고려한 우기시 안정해석조건은 지하수위를 고려하여 유효응력해석 또는 전응력해석을 실시하거나, 지반조건에 따라 강우를 고려한 침투해석을 실시한 후 이로부터 구한 간극수압분포를 이용하여 해석하도록 하고 있다(국토해양부, 2006).

그러나, 최근 강우침투를 고려한 접근방법 및 불포화토의 거동과 관련된 많은 연구가 진행되어, 보다 현실적인 접근방법이 가능함에도 해석의 편의성으로 인하여 국내

에서는 대부분 지하수위조건을 고려한 한계평형해석을 실시하고 있는 실정이다.

2. 국내 설계기준 및 현황

건설공사 비탈면 설계기준(국토해양부, 2006)에 의하면 쌓기 비탈면의 경우 별도의 지하수위 조건을 두고 있지 않으며, 한쪽쌓기 한쪽짜기 비탈면에서는 측정된 지하수위 또는 침투해석을 통한 지하수위를 이용하여 해석하도록 하고 쌓기 표면에 강우침투가 발생하는 경우에는 강우침투를 고려한 해석을 실시하도록 되어 있다.

각기 비탈면의 경우 안정해석시 고려사항으로는 비탈면 내의 지하수위 및 시공속도에 따른 장단기적인 배수조건을 고려하여 유효응력해석 또는 전응력 해석을 하도록 하고 있으며, 실트 및 모래질로 구성된 깎기 비탈면은 강우

를 고려한 침투해석을 실시하고 이로부터 구한 간극수압분포를 이용하여 안정해석을 수행하는 것으로 되어있다.

사면안정성 분석을 위한 국내 대부분의 설계는 해석의 편의성으로 인해 지하수위 조건을 고려한 한계평형해석을 실시하고 있으며, 강우에 의한 침투해석과 응력해석을 실시하기 보다는 대부분 지하수위조건을 기준으로 설계하고 있다. 그림 1과 같이 생성되는 비탈면 중 대절토비탈면이거나 주변 구조물에 영향을 끼치는 비탈면 등 중요 비탈면에 대해서는 안정해석을 실시하고, 이를 제외한 비탈면에 대해서는 설계기준에 의한 표준경사를 적용하여 설계하고 있다. 또한, 안정해석을 실시하는 비탈면의 경우도 강우시 조건은 대부분 지하수위조건을 고려하여 해석하고 있다.

표준경사가 적용된 비탈면은 별도의 안정해석을 실시하지 않더라도, 비탈면의 안정성이 확보되는 상태를 말한다. 그림 2는 표준경사를 적용한 높이 10m 토사비탈면의 경우, 지반조건을 여러 가지로 적용하여 건기시 및 우기시(지표면 포화조건) Bishop 방법에 의한 안정성을 검토한 결과이다(2007, 황영철). 그림에서와 같이, 많은 경우 기준안전율 조건을 만족하지 못하는 경우가 발생하였다. 특히 지하수 위치를 지표면까지로 하고 해석한 우기시 조건에서 기준안전율과 많은 차이를 나타내었다. 이는 현행

설계기준대로의 안정해석상 문제점을 나타내고 있다.

이러한 문제는 강우시 안정해석을 위한 접근방법의 개선을 시사하고 있으며, 이를 위하여 국내외에서 많은 연구가 진행되고 있다.

3. 최근의 연구동향

불포화지반에 침투가 발생할 경우 지반의 거동은 우수 침투에 따라 간극수압의 변화와 지반의 응력-변형을 거동이 동시에 발생하게 된다. 따라서, 이를 고려한 해석이 수행되어야 지반의 거동을 현실적으로 해석하고 예측할 수 있게 된다. 비탈면 안정해석시 지하수위를 고려하여 하는 해석은 매우 초보적 단계의 해석이고 해석의 편리함 때문에 현재 국내에서 가장 많이 이용되고 있는 실정이다. 또한 강우를 고려한 침투해석 후 간극수압분포를 이용하여 안정해석을 하는 경우는 단계적해석(staggered analysis) 방법의 하나로 비교적 발전된 해석방법이다.

그러나, 단계적해석을 수행함에 있어서도 불포화토의 공학적 특성을 고려하느냐, 아니면 단순히 강우침투해석에 의한 간극수압분포만을 이용하는 것이냐에 따라서도 대상구조물의 안정성은 달라지게 된다. 따라서 실질적인 안정성해석을 위해서는 최근 문제시 되고 있고 또 국내외

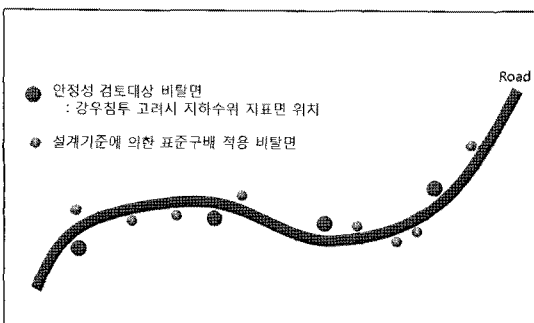


그림 1. 도로설계시 생성되는 비탈면 및 안정해석 수행 비탈면 예

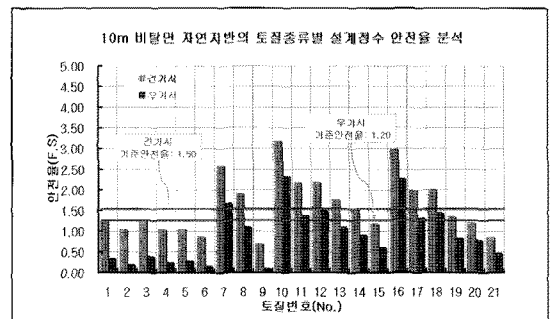


그림 2. 표준경사가 적용된 높이 10m 토사비탈면의 안정성 검토결과



에서 활발하게 연구되고 있는 불포화토에 대한 공학적 특성의 고려가 필요한 것이다.

불포화토의 유한요소해석에 대한 현재의 연구 및 기술 수준은 단계적인 해석(staggered analysis)방법으로 실제 거동을 모사하고 있는 수준이다. 지반의 불포화 침투흐름을 계산하고, 각각의 절점들의 간극수압의 결과를 가지고 흙의 거동을 파악하기 위해 유효응력을 계산하여 응력-변형률 결과를 얻는 방법이다(Abaqus, Geo-slope, Plaxis). 그러나, 불포화토 침투는 간극 사이를 흐르면서 흙 입자의 변형을 일으키고, 체적변형에 의해 간극률을 역시 시간에 따른 변수로써 작용하게 되므로 실제적으로는 이러한 현상들이 동시에 발생하게 되며, 이러한 현상들을 동시에 해석하고자 하는 시도가 진행되고 있다(2010, 김재홍). 동시해석(monolithic analysis or coupled analysis)에 대한 수학적 이론해는 발표되어 있으나, 이를 현실에 적용하여 다양하고 복잡한 문제를 해결하기 위한 일반화된 방법에 대한 연구는 아직까지 매우 미흡한 실정이다.

그림 3은 강우를 고려한 비탈면 안정해석에 대한 발전

방향을 나타낸 것이다. 좌측면으로 갈수록 해석편의성은 떨어지나 현실부합성은 높아지게 되며, 이러한 해석방법으로의 발전이 현 기술수준에서의 추구하는 해석목표라고 할 수 있다.

지반공학적 입장에서 불포화토의 공기압 (pore air pressure)는 일반적으로 대기압 상태로 간주하여 0으로 가정하고 문제에 접근한다. 그러나 불포화 흐름에서는 간극 속의 공기가 간극내로 흐르는 물의 흐름에 영향을 끼치는 것으로 나타났다(2003, L. Laloui).

따라서, 단계해석의 경우도 국내 기준에서 제안하고 있는 침투해석에 의한 간극수압분포를 이용하여 안정해석을 실시하는 방법과, 상기한 불포화토의 공학적 특성을 고려하여 침투해석을 실시하는 경우의 결과가 달라질 수 있으며, 지반의 거동특성이 비선형적이고 소성적특성을 가지고 있으므로 단계해석시 침투에 의한 지반의 변형 해석 단계를 세분화 하는 정도에 따라서도 그 결과값이 달라질 수 있다. 그러나 이에 대한 연구는 아직까지 수행되지 않은 상태이다.

그러므로 이러한 영향들을 모두 고려하면서 기존의 모

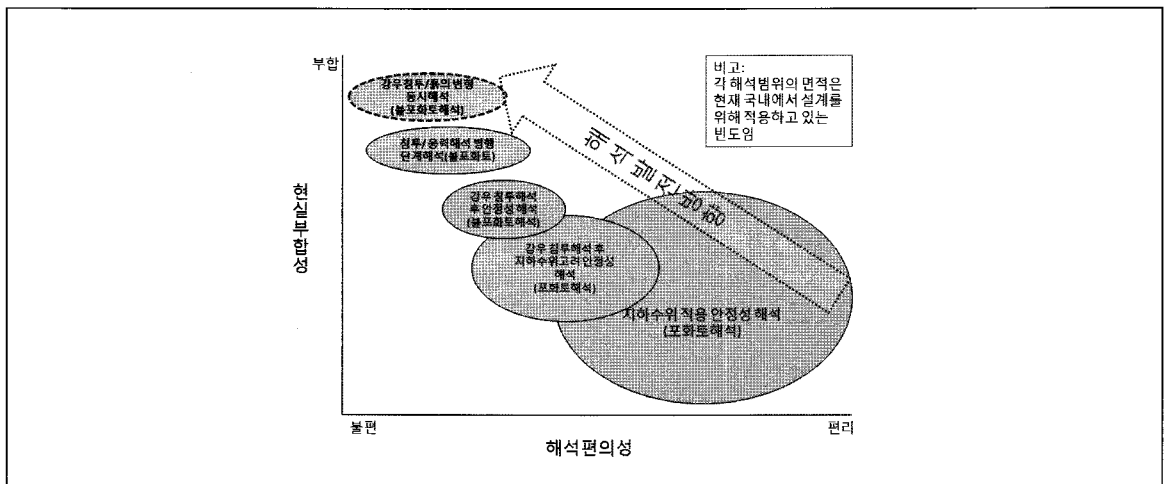


그림 3. 비탈면 안정해석 방법의 적용현황 및 연구개발방향

델들과 새롭게 개발될 모델, 그리고 현장 자료를 통해 상호간에 어떠한 차이를 보이고 있는지 실제적인 비교 검증을 수행하고 검증결과를 토대로 불포화도의 정해를 위한 해석 알고리즘의 개발이 필요하다 하겠다. 이러한 해석적

접근의 개발은 불포화도와 관련된 지반공학적 문제를 보다 현실에 가깝게 해결하게 할 것이며, 이로부터 설계기술의 발달과 설계기준의 현실화를 추구하여 지반구조물의 안정성 확보에 큰 도움을 줄 수 있다.

[참고문헌]

1. 국토해양부, (2006), "건설공사 비탈면 설계기준"
2. 김재홍, 황영철, (2010), "불포화 지반에 물의 침투와 흙의 변형이 사면의 안정성에 미치는 영향", 한국지반환경공학회 제 11권 제5호, pp.35-43
3. 황영철, 이홍성, (2007), "국내 비탈면 설계기준의 해석적 평가", 한국지반환경공학회, 제8권 3호, pp.51-57
4. Geo-Slope. <http://www.geo-slope.com/>
5. Abaqus. <http://www.abaqus.com>.
6. Plaxis. <http://www.plaxis.nl>.
7. L. Laloui, G. Klubertanz and L. Vulliet, Solid-liquid-air coupling in multiphase porous media, International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics 27(3), 183-206, 2003.