

암반사면의 복합 파괴 해석을 위한 안정성 해석기법의 적용

박혁진¹⁾, Hyuck-Jin Park

¹⁾ 세종대학교 지구정보공학과, Dept. of Geoinformation Engineering, Sejong University

1. 서 론

최근 다양한 해석기법이 제안되면서 그동안 좀처럼 시도되지 않았던 암반사면의 복잡한 변형 및 파괴에 대한 안정성 해석을 수행하기 위한 다양한 시도들이 제안되고 있다. 특히 암반사면은 해석과정의 특성상 우선적으로 어떤 형태의 파괴가 발생할 것인가 하는 것을 결정한 후 파괴에 대한 안정성을 검토하므로 가장 먼저 어떤 파괴 형태가 발생하는가 하는 것을 결정하는 것이 매우 중요하다. 따라서 복합파괴에서도 어떤 종류의 파괴가 복합적으로 발생하였는가를 결정하는 과정이 필수적이며 매우 중요하다. 암반사면의 해석에서 폭 넓게 활용되고 있는 한계평형해석기법(limit equilibrium method)은 파괴형태가 결정된 암반사면에 대한 안정성 해석을 효과적으로 수행 할 수 있어 가장 보편적으로 사용되고 있다. 그러나 두 개 이상의 파괴 메커니즘이 작용하거나 파괴진행과정 중에 두 개 이상의 파괴 형태가 중첩되어 발생하는 경우 파괴형태는 복잡한 형태를 가지게 되어 쉽게 예측하기 어려운 상태가 되며(윤운상 외, 2006) 한계평형해석으로 그 안정성을 파악하는 것은 매우 어렵게 된다. 따라서 한계평형해석의 경우 초기 메커니즘이 활동(sliding)에 의해 발생하는 이상적인 복합파괴의 경우에 한하여 초기 안정성을 해석하기 위해 제한적으로 사용될 수 있다.

최근들어 수치해석기법이 빠른 속도로 발전하면서 불연속면에 의해 영향을 받는 복합파괴에 대하여 discontinuum model에 바탕을 둔 수치해석기법이 안정성 해석에 활용되고 있다. 그러나 이러한 discontinuum model은 해석기법상의 한계를 가지고 있는 데 그것은 복합파괴 중 흔히 다른 파괴형태와 함께 발생하는 creep이나 progressive deformation에 의한 파괴가 복합적으로 발생하는 경우 파괴의 발생과정이 복잡하여 해석이 쉽지 않다는 점이다. 따라서 다양한 파괴형태가 복잡한 과정을 통해 함께 발생하는 복합파괴의 경우에는 새로운 해석기법이 요구된다.

2. 해석기법의 종류

1990년대 이후 복합파괴의 파괴 메커니즘과 그 과정을 이해하고 파괴 가능성을 분석하기 위하여 많은 해석기법들이 제안되고 있으며 Stead et al.(2006)은 이러한 해석기법을 3단계로 구분하였다. Level I 해석법은 kinematic analysis와 한계평형해석 등을 포함한 전통적인 해석기법을 의미한다. 이 기법은 단순한 translational failure에 의한 파괴의 해석에 적합한 것으로 미끄러운 바닥에서 발생하는 전단파괴 및 측면 및 후면에서 발생하는 이완에 의한 파괴를 해석하는 경우에 사용된다. 이 해석법은 파괴면을 따라 충분히 연장성이 긴 불연속면이 존재함을 가정하고 파괴면에서의 전단강도와 전단응력을 비교하여 안정성을 해석한다.

Level II 해석법은 continuum numerical model과 discontinuum numerical model을 활용하여 단순한 translation과 함께 좀 더 더 복잡한 암반의 변형을 포함하는 파괴형태의 해석에 적용된다. 특히 암반사면에서 흔히 암반의 이완과 함께 암반강도의 약화나 intact rock bridge의 파괴를 포함하는 step path 형태의 파괴가 발생하는 데 이러한 경우 Level II의 해석법은 이완면에서의 강도 감소뿐만 아니라 취성의 rock bridge 파괴 과정도 효과적으로 해석할 수 있다. Level II 해석기법은 기하학적 특성, 사면물질의 이방성, 비선형 거동, 초기지중응력 및 공극압이나 지진 등에 의해 발생하는 복합적인 파괴에 대하여서 효과적으로 다룰 수 있는 것으로 알려지고 있다. Level II 해석법은 크게 두 가지로 구분할 수 있는데 finite element method 나 finite difference approach 등과 같은 continuum modelling과 distinct element method 나 DDA(discontinuous deformation analysis) 등과 같은 discontinuum modelling으로 나눌 수 있다. 그러나 이 기법은 암반사면에서 발생하는 progressive failure를 모사하는 데 한계를 가지고 있다(Stead et al., 2004).

Level III의 해석기법은 hybrid continuum-discontinuum 기법을 활용하여 암석의 거동, 불연속면의 상호작용 그리고 새로운 절리의 생성과 발달에 이르는 모든 model을 결합가능하다. 이 기법은 암반사면에서 발생하는 다양한 종류의 파괴에 적용가능하며 특히 translation과 rotation이 동시에 발생하는 파괴에 활용된다. 이 기법은 continuum model과 discontinuum model의 장점을 결합할 수 있으며 finite/discrete element model의 경우 intact fracture propagation과 절리가 발달한 암석의 fragmentation을 모사할 수 있다(Rockfield, 2004).

3. 해석기법별 입력자료 특성

복합파괴를 해석하기 위한 해석기법이 점차 복잡해지면서 이러한 해석을 수행하기 위한 입력자료 및 그 획득과정이 좀 더 정밀해지고 다양해질 필요성이 증가한다. 특히 해석기법이 복잡해짐에 따라 정밀한 지질공학적 조사와 매핑을 위한 더 많은 노력이 요구된다.

kinematic analysis와 한계평형해석을 위하여서는 기초적인 조사수준의 자료가 요구된다. 대개 기초적인 조사단계에서는 불연속면에 대한 scanline이나 window mapping 기법을 통해 불연속면 자료를 획득하며 불연속면의 사면 내 분포 현황을 파악할 수 있는 face mapping이 함께 수행되어야 한다. 불연속면의 특성 조사의 경우 대개 불연속면의 연속성이나 간격 등과 같은 기하학적 특성이 주로 획득되었으나 정확한 해석을 위하여서는 거칠기, 충전물질의 특성, 지하수를 포함하는 강도 특성도 함께 획득되어야 한다.

Level II 해석을 위해서는 수치해석에 필요한 충분한 자료의 획득이 필수적이다. continuum model의 해석을 위해서는 현장조사 자료뿐만 아니라 암반의 특성을 획득할 수 있는 GSI(geological strength index) 등과 같은 자료가 요구된다. 또한 암반의 특성을 획득하기 위해서는 현장자료와 실내에서 획득한 실험 자료가 결합되어 입력자료로 활용된다(Stead et al., 2006). Discontinuum model의 해석에는 좀 더 다양한 자료가 획득되어야 하는데 특히 불연속면의 특성과 관련있는 여러 현장자료(암반블록의 크기 변화, 불연속면의 연속성 및 간격 등)가 획득되어야 한다.

Level III의 해석을 위해서는 불연속면의 rock bridge에서 발생하는 fracture의 규모 및 확률 산정을 위한 입력값이 요구된다. 또한 붕괴가 시작되는 지점과 이동한 경로 그리고 붕괴물질이 쌓인 지점에 대한 자세한 조사가 요구되며 붕괴물질에 대한 공학적인 특성에 대한 조사도 필수적으로 수행되어야 한다. 특히 최근의 해석기법에서 요구하는 자료를 획득하기 위해서는 암반의 공간적인 특성에 대한 자료의 수집이 요구된다. 이를 위해 지구통계학적 기법이나 지구물리학적 기법의 활용도 검토될 수 있다. 최근 들어 LiDar나 InSAR에 의한 공간정보도 활용되고 있는 실정이다.

4. 결 론

최근들어 다양한 해석기법이 제안되면서 복합파괴의 메커니즘을 규명하고 안정성 해석을 수행하려는 노력들이 시도되고 있다. 이러한 노력들은 단순한 연구 차원에서뿐만 아니라 실제 현장에서 발생하는 복합파괴에 대하여 부분적으로 성공적인 결과를 도출하고 있다. 그러나 해석기법의 발전과 더불어 복합파괴에 대한 이해를 더 높이기 위해서는 좀 더 정밀하고 충분한 지질공학적 조사가 필수적으로 수반되어야 한다. 경우에 따라서는 제한적인 자료를 활용하여 파괴메커니즘에 대한 부분적인 해석이 가능할 수 있으나 정확한 원인규명과 이에 따르는 효과적인 대책공법의 적용을 위해서는 충분하고 정확한 지질 및 지반공학적 조사가 필수적이다. 결국 복합파괴에 대한 메커니즘의 규명에 있어 중요한 것은 좀 더 발전된 해석기법의 개발의 기법과 더불어 정밀한 현장조사자료를 충분히 획득하는 것이라 할 수 있다.

5. 참고문헌

1. 윤운상, 정의진, 박성욱, 최재원, 2006, 암반사면의 복합파괴 메커니즘 규명. 한국지반공학회 가을학술 발표회.
2. Rockfield, 2004, ELFEN 2D/3D Numerical Modelling Package. Rockfield Software.
3. Stead, D., Coggan, J.S. and Eberhardt, E., 2004. Realistic simulation of rock slope failure mechanisms: the need to incorporate principles of fracture mechanics. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 41, CDROM.
4. Stead, D., Eberhardt, E. and Coggan, J.S., 2006. Development in the characterization of complex rock slope deformation and failure using numerical modelling techniques. Engineering Geology, 83, 217-235.