

지표면 경사변화를 이용한 비탈면 붕괴 활동면 추정 방법

**A Method to Estimate a Failure Surface of
a Slope using Variation of Ground Inclination**

김현기*†, 최찬용*, 엄기영*, 이진욱*

Hyun Ki Kim *†, Chan Yong Choi*, Ki Young Eum*, Jin Wook Lee*

Abstract Typhoon and heavy rainfall are intend to attack frequently to Korea due to global warming. As disasters of slopes occur simultaneously, it is important to estimate the scale of collapsed mass of slopes to prioritize repair works. Collapsed mass of slopes are evaluated by estimation of a failure surface using sensor data installed in bore holes and 3D survey data. An algorithm to estimate a failure surface in real time is developed using data of location and inclination from sensors installed in ground surface such as gyro sensors and clinometers in this study.

Keywords : Collapse, Failure, Sensor, Slip surface, Slope

초 록 이상기후 영향으로 우리나라에서도 태풍, 국지성 호우 등이 자주 발생하며, 철도 및 도로에 인접한 비탈면의 안정성을 위협하게 된다. 한편, 비탈면 재해는 동시 다발성의 특징을 가지기 때문에 제한된 장비, 인력 및 예산으로 효과적인 재해대응을 위해서는 붕괴 규모의 추정을 통한 우선순위 평가가 필요하다. 붕괴규모 판정을 활동면 추정을 통하여 진행되며, 시추공에 설치된 센서 정보 또는 3차원 측량 정보 등을 이용하여 진행된다. 이 방법들은 작업인력의 안전확보가 어렵다는 점과 시간이 많이 소요된다는 문제점을 가지고 있다. 본 연구에서는 비탈면에 설치된 자이로센서(경사계)를 이용하여 센서가 설치된 지표면의 위치와 경사 등의 정보를 이용하여 활동면을 실시간으로 추정하는 알고리즘을 개발하였다. 이 알고리즘을 통하여 지표면 경사정보를 이용한 붕괴활동면 추정이 가능하며, 붕괴 규모 추정까지 이어져 신속한 복구를 위한 장비 및 인력 배치 등이 가능할 것으로 판단된다.

주요어 : 붕괴, 파괴, 센서, 활동면, 비탈면

1. 서 론

철도 및 도로 비탈면의 변형을 감시하기 위해서는 지표면 변형(변위 및 경사 등)과 지중 변형(경사, 간극수압, 체적함수비 등)을 측정하여, 여기서 얻어진 센서 정보를 이용하여 비탈면의 붕괴위험도를 판단하고 있다. 비탈면 붕괴여부 판단은 지반내 프로파일 변형을 평가하

† 교신저자: 한국철도기술연구원 고속철도연구본부 첨단인프라연구팀(hkkim@krri.re.kr)

* 한국철도기술연구원 고속철도연구본부 첨단인프라연구팀

거나 지중 및 지표 변형을 평가하여 진행하게 된다. 지중 변형정보를 이용한 활동면 추정방법(붕괴규모 판단)은 지중경사계의 변곡점을 이용하여 예측하게 되며, 지표면 정보에 기반한 붕괴규모 판단에는 3차원 측량에 의하여 사전에 설정된 좌표의 벡터 변화를 이용하여 진행된다. 하지만, 지중 정보를 이용할 경우, 비탈면에 다수의 시추공을 시공하여 센서를 매설하여야 하며, 비용 감소를 위해 주요 단면을 위주로 측정되기 때문에 전반적인 활동면 예측이 어렵다는 문제가 있고 3차원 측량의 경우, 후처리 시간이 많이 소요되며 강우 등 자연 조건 변화에 따른 사면불안정을 즉시 파악할 수 없다는 단점이 있다. 또한, 기존의 비탈면 지중에 설치되는 센서 시스템은 활동면 위치에 따라서 붕괴 검지가 안되거나 신속하게 검지하지 못한다는 문제가 있으며, 센서가 설치된 제한된 영역의 지반상태만 감지하기 때문에 거시적인 붕괴규모 및 진행방향에 대한 추정이 어렵다는 문제가 있다. 그리고 현지조사와 시추조사 등에 의한 활동면과 규모 추정방법은 붕괴 이후에 수행되므로 현장 안전성 확보가 어렵고 시간이 많이 소요된다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여, 비탈면 지표면에 설치된 복수개의 센서로부터 측정된 지표면의 위치, 방향 및 경사 등의 정보를 이용하여 비탈면 붕괴 발생여부, 붕괴형태 및 붕괴방향 판별과 활동면 추정이 가능한 알고리즘을 개발하였다.

2. 비탈면 변형정보를 이용한 붕괴평가 알고리즘 개발

비탈면 붕괴 및 활동면 추정방법은 비탈면에 설치된 복수의 센서에서 얻어진 변형정보를 이용하여 (1) 비탈면의 붕괴여부 판단, (2) 비탈면 붕괴형태 평가, (3) 활동면 추정의 3가지 단계를 거쳐서 진행한다.

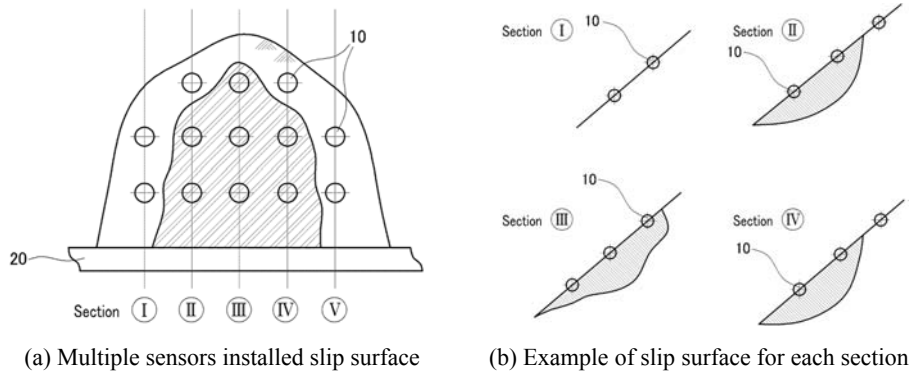


Fig. 1 Multiple sensors installed slip surface

2.1 비탈면 붕괴여부 판단

붕괴여부 판단은 비탈면에 위치한 복수의 센서(가속도계, 경사계, 자이로 센서 등)로부터 변형감지정보(센서 감지 정보 또는 센서 이동 정보)를 수신할 경우, 비탈면의 붕괴 발생을 예측할 수 있다. 여기서 센서는 Fig. 1의 (a)에 보인 바와 같이 비탈면 지표면에 격자형태로 복수로 배치되기 때에 시추공을 시공하여 센서를 매설할 필요가 없고 지중정보를 이용하여

제한된 영역의 지반정보로만 사면붕괴를 예측하는 기본 방법의 제한을 극복할 수 있다.

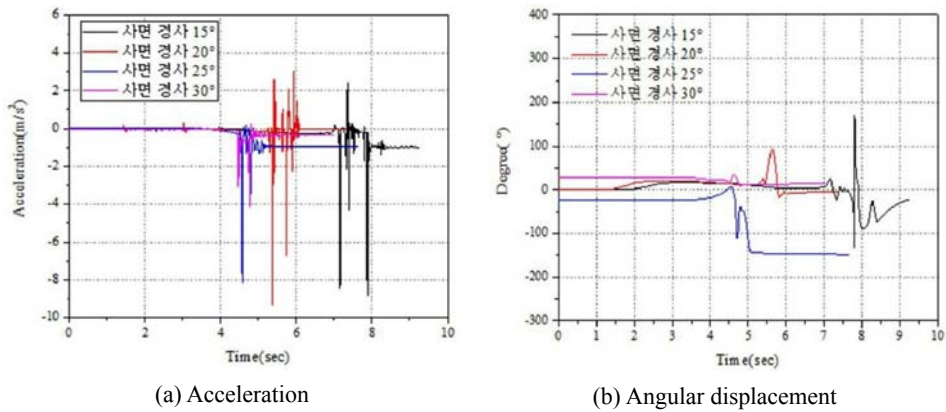


Fig. 2 Sensor data characteristics with a slope failure (Sliding)

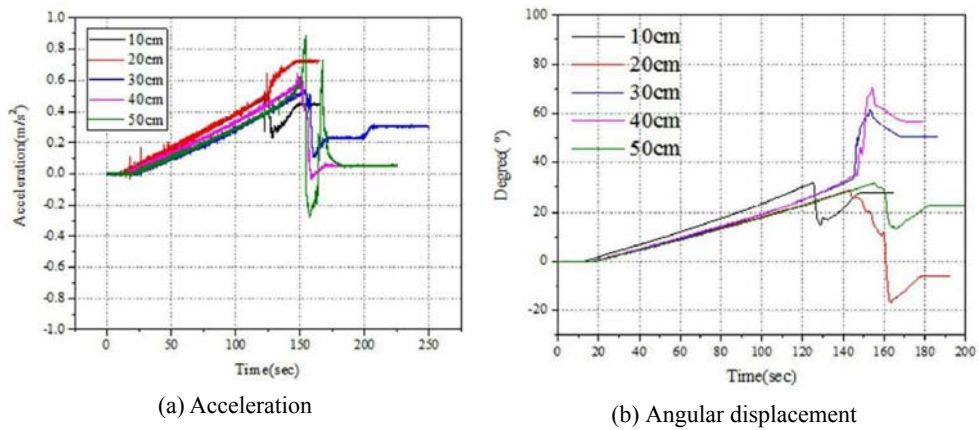


Fig. 3 Sensor data characteristics with a slope failure (Rotational)

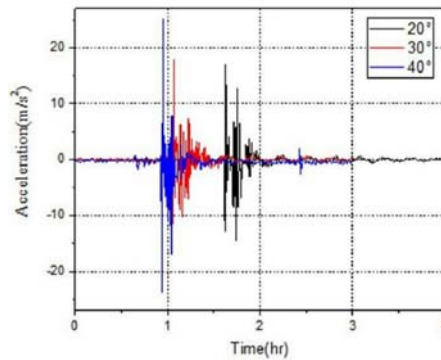


Fig. 4 Sensor data characteristics with a slope failure (Collapse)

2.2 붕괴형태 평가

붕괴형태 평가는 센서에서 측정되는 가속도 및 회전각의 변위에 따라 비탈면의 미끄러짐 (Sliding), 회전(Rotation) 및 파괴시 거동(Failure)이 구분된다는 것에 착안하여 진행하도록 결정하였다. Fig. 2는 비탈면 경사변화(15~30°)에 따라 비탈면에 설치된 센서위치(10~50cm)에서

측정된 센서의 가속도 및 회전각 변위를 나타낸 것이다. 가속도(m/s^2) 및 회전각($^\circ$)이 일정 시간동안 변화가 없다가 데이터를 발산한 경우 미끄러짐(파괴)으로 구분될 수 있다. Fig. 3에 보인 바와 같이 가속도 및 회전이 일정 시간 동안 비례하여 증가하다가 데이터를 발산한 경우, 회전변형(파괴)으로 구분될 수 있다. Fig. 4에 보인 것처럼 갑작스러운 가속도가 증폭되어 데이터가 발산하면 파괴(낙석 등)가 진행된 상태로 평가할 수 있다.

2.3 활동면 추정

활동면 추정을 위하여 추정하고자 하는 활동면의 선단 위치 및 기지점을 지정한 뒤, 활동면 형태를 결정지어 줄 수 있도록 임의의 다차방정식 혹은 이차곡선 $f(z_i)$ 을 정의한다. 여기서 일차, 이차, 삼차방정식, 원, 타원, 포물선 및 쌍곡선 순서대로 $f(z_i)$ 을 정의할 수 있다. 그 뒤 복수의 센서로부터 측정된 변형감지정보를 이용하여 특정 x_i 좌표에서의 접선의 기울기 ($\tan_i(\theta_i)$)를 계산한다. 여기서, 식 $f(z_i) = \tan_i(\theta_i)$ 에 대한 각 x_i 에서의 접선의 기울기를 산정하여 다차방정식 또는 이차곡선의 계수(a_i, b_i, c_i 등)에 대하여 정해 또는 최적해를 산정할 수 있다.

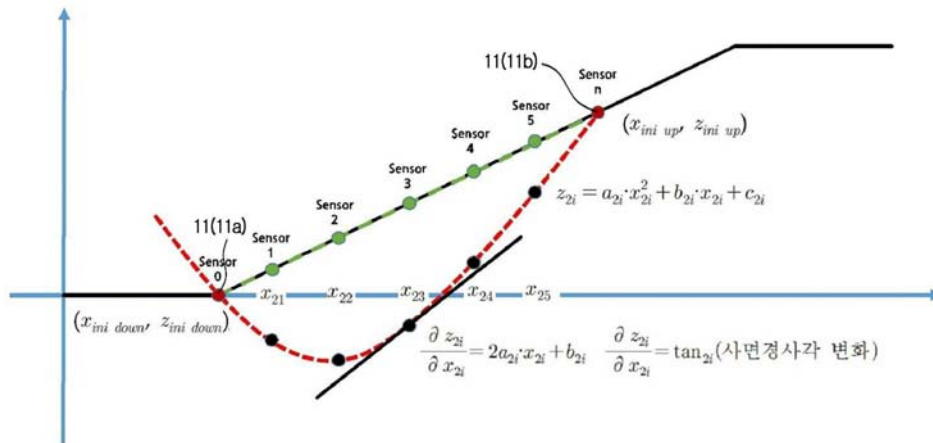


Fig. 5 Calculation of tangent slope of each sensor

상기 방법을 토대로 산출된 활동면을 근거로, 복수의 활동면의 면적을 계산하여 비탈면 붕괴 규모 산출이 가능하다. 또한 각각의 활동면의 면적에 기초하여 비탈면 면적당 붕괴량을 산출할 수 있으며, 복수의 활동면의 면적에 기초하여 활동면의 체적 및 체적의 무게중심을 산출할 수 있다. 산출된 무게중심에 기초하여 비탈면 붕괴 방향 및 경로를 추정 가능하다.

3. 결론

비탈면 붕괴여부, 붕괴형태, 활동면 추정의 방법은 비탈면 재해로부터 피해를 최소화하기 위하여 매우 필요한 방법이며, 본 연구에서는 이를 위한 알고리즘을 개발하여 지표면 센서정보를 이용하여 재난대응 최적화를 도모하고자 하였다. 이 알고리즘을 통하여 지표면 경사정보를 이용한 붕괴활동면 추정이 가능하며, 붕괴 규모 추정까지 이어져 신속한 복구를 위한 장비 및 인력 배치 등이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Ajo et. Al.(2008), “A Study on Slope Surface Estimation Method Based on Three Dimensional Displacement Measurement Results” , Japanese Society of Civil Engineer 63th Annual conference(in Japanese)
2. Skurai et. Al.(2001), “Slope stability evaluation using measurement results” , Soil and Foundation, pp.10-12(in Japanese)