

강우 시 사면 붕괴 위험도 평가에 관한 제안

A Proposal for Risk Evaluation Method of Slope Failure due to Rainfalls

채종길¹⁾, Jong-Gil Chae, 정민수²⁾, Min-Su Jung, 鳥居宣之³⁾, Nobuyaki Tori, 沖村孝⁴⁾, Takashi Okimura

¹⁾ 고베대학교 도시안전연구센터 연구원, Research associate, Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University

²⁾ 고베대학교 시민공학과 연구원, Research associate, Dept. of Civil Engineering, Kobe University

³⁾ 고베대학교 시민공학과 조교, Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, Kobe University

⁴⁾ 재단법인 건설공학연구소 상무이사, Managing Director, Construction Engineering Research Institute Foundation

SYNOPSIS : A method for predicting surface failures which occur during heavy rainfall on mountain slopes is proposed by using the digital land form model that is obtained by reading altitude on a topographical map at 10m grid point space. A depth of a potential failure layer is assumed at each grid point. In the layer, an infiltrated water movement from cell to cell is modeled in the study (cell is a square of the grid). Infiltrated ground water levels which show the three dimensional effects of a topographical factor in an area can be hourly calculated at every cell by the model. The safety factor of every cell is also calculated every hour by the infinite slope stability analysis method with the obtained infiltrated ground water level. Failure potential delineation is defined here as the time when the safety factor becomes less than unity under the assumptions that effective rainfall is 20mm/h and continues 20 hours.

Key words : slope failure, rainfall, safety factor, hazard map, risk evaluation

1. 서 론

우리나라는 산지와 구릉지가 국토 면적의 약 70%를 차지하고 있고, 여름철 장마나 태풍 시 집중강우로 인한 다수의 사면 붕괴가 발생하여, 이로 인해 많은 인명 및 재산 피해가 발생하고 있다. 또한, 지질학적으로 기반암은 주로 화강암으로서 전국에 걸쳐 폭넓게 발달해 있다. 화강암지역에서 호우 중에 발생하는 붕괴는 붕괴 깊이가 2m 이하의 비교적 얇은 이른바, 표층 붕괴의 형상이 많이 나타난다. 이는 화강암의 풍화생성물인 마사토가 기반암을 얇게 덮고 있기 때문으로 사료된다. 한편, 우리 나라의 지형과 비교적 유사한 일본의 경우, 토사 재해를 토석류와 산사태 및 사면 붕괴의 3가지로 나누어 발생 건수를 집계하고 있는데, 그림 1에 나타내는 바와 같이 토사 재해 중 사면 붕괴가 차지하는 비율이 압도적으로 많다고 할 수 있다. 그러나, 그림 2에 나타내는 사면 붕괴 위험지역 수와 정비완료 개소의 비에서 유추할 수 있는 바와 같이 단기간에 위험지역을 모두 정비하는 것은 현실상 불가능에 가깝다. 이는 앞으로의 방재활동은 정비사업을 통해 재해를 사전차단하는 접근 방식보다는 재해는 완전히 차단할 수는 없으므로, 재해 발생 시 그 피해를 최소화하는 감재의 관점으로 대응해 나갈 필요성이 있다고 사료된다.

또한, 사면 붕괴에 따른 피해를 경감시키기 위해서는 광범위한 지역에 분포되어 있는 사면을 대상으로 붕괴가 예상되는 위험한 사면부를 추출하여 방재 대책을 강구할 필요가 있고, 이를 위해서는 사면의 안정성 또는 위험도의 정량적 평가가 선행되어야 한다. 다시 말해 효율적인 감재활동은 (1)재해 발생 장소

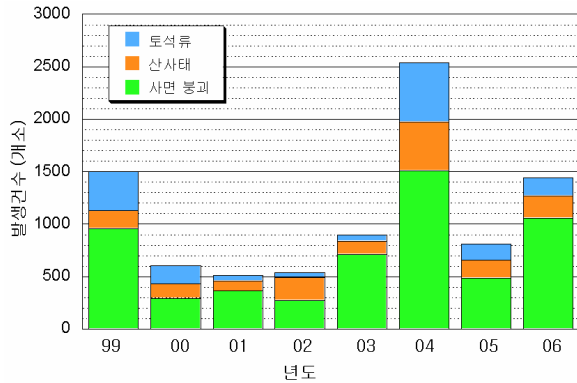


그림 1. 토사 재해 발생 건수 (일본 국토교통성 홈페이지)

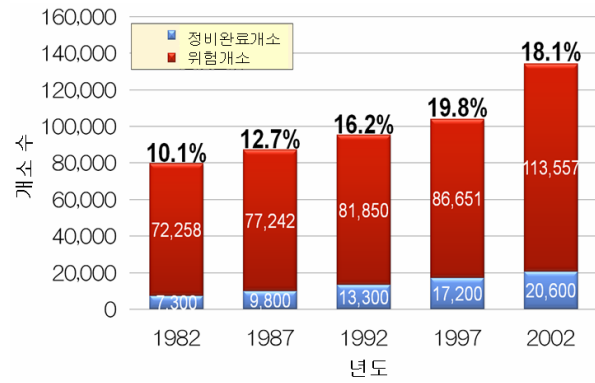


그림 2. 사면 붕괴 위험지역 수와 정비완료 개소의 추이 (일본 국토교통성 홈페이지)

의 예측과 (2)재해 발생 시간의 예측 정도와 밀접한 관련이 있다. (1)에 관련한 기존 연구로서는 다수의 붕괴/미붕괴 사면의 각종 데이터를 토대로 하는 점수법(스코어법)과 통계적 해석방법이 대표적이고, (2)와 관련해서는 강우 관련 데이터와 붕괴사면과의 관계를 적절히 조합한 연구 보고가 많다. 그러나, (1)의 방법은 평가항목, 가중치 등에 따라 위험도 판정이 달라질 수 있는 매우 경험적인 방법으로서, 사면 붕괴의 원인 규명에 있어서 지반공학적 근거는 매우 빈약하다고 할 수 있다. 또한, (2)의 방법도 지형 및 토질의 투수성을 직접적으로 고려하기 보다는 과거의 강우자료에 바탕하고 있기 때문에, 온난화 등에 따른 최근의 급변하는 기상상황에 대응할 수 없다는 단점이 있다. 이상의 문제점들을 해결하고, 나아가 계산시간의 신속화, 계산결과 of 정확성을 위해서는 토질 특성을 적절히 반영한 물리모델의 도입이 필요함과 동시에, 이를 이용한 해저드맵(방재공간)의 작성이 시급하다 할 수 있다. 물리모델은 수치표고 모델을 이용하여 집수모델과 사면안정해석법을 적절히 조합한 형태가 대표적이거나, 우리나라는 상술한 물리모델과 관련한 연구가 그다지 보고되어 있지 않은 실정이다. 이에, 본 연구에서는 수치 표고 모델 (DEM) 을 이용하여 유역 내 지하수위의 시간 변화를 구하는 집수모델과 무한사면의 안정해석을 조합한 광역을 대상으로 표층붕괴의 발생 위치를 예측할 수 있는 수법을 제안한다. 이 예측수법은 조사지역내에 전체 사면을 대상으로 하고, 우수의 침투에 의한 기반면으로부터 형성되는 지하수위뿐만아니라 이들이 표토층내를 흐르는 과정을 나타내는 모델을 작성함으로써 집수성을 새롭게 평가하고, 이 지하수위 및 그 외의 지형요인, 토질요인을 이용한 각 단위경사(10m격자로 둘러싸인 부분, 이후 이것을 '셀'로 칭한다)에서 유효응력법에 의한 무한장사면안정해석을 수행하여, 전체 셀을 대상으로 그 위험도를 평가하는 수법이다. 또한, 간단한 해석예를 들어 전술한 기존의 예측수법과의 비교·분석을 통해 제안된 물리모델의 장·단점에 대해 검토한다.

2. 집수모델의 작성

사면 안정성 평가에 있어 집수면적이라는 요인은 집수의 양적 크기를 나타내고 있으나, 집수면적의 형상 및 사면의 국소경사 조건에 의해 어떠한 유량 변화를 겪는가가 불명확하다. 또한, 강우가 집수되기 쉬운 계곡부의 사면만을 그 대상으로 하고 있다. 그러나 1967년 로꼬산(일본 관서지방)에서 발생한 붕괴 중 약 26%가 계곡형 이외의 사면이었다는 점을 고려한다면, 사면 안정성 평가의 신뢰성을 높이기 위해서는 단순히 집수면적으로만 평가하기 보다는 집수 특성을 지형특성으로부터 평가할 필요가 있다.

본 보고서에서 제안하는 집수모델은 川谷(1981)가 제안한 산지사면의 지표류의 유출해석모델의 개념을 지하수 흐름에 응용한 수법이다. 이 모델은 연속방정식(1)과 다쉬식 (2), (3)으로부터 구성된다.

$$\lambda \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = r \quad (1)$$

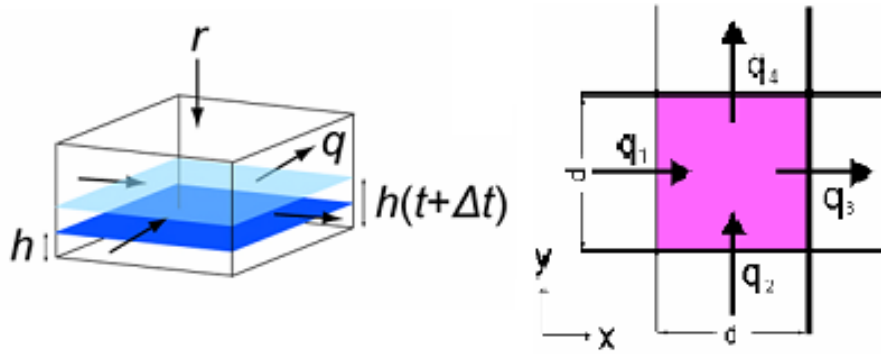


그림 3. 집수모델 개념도

$$q_x = h \cdot k \cdot I_x \quad (2)$$

$$q_y = h \cdot k \cdot I_y \quad (3)$$

여기서, h : 겉보기 지하수위(m),
 q : 단위시간당 단위폭 유량 (m^2/h),
 I : 동수경사,
 r : 유효강우(지하수위 상승에 직접 기여하는 강우) 강도(m/h),
 k : 투수계수(m^2/h),
 λ : 유효간극률이고, 첨자 x, y 는 각각의 방향 성분

그림 3에 나타내는 바와 같이, 한 변이 10m의 정방형으로 분할된 격자망에 있어서 h 를 구하기 위해 식 (1), (2), (3)을 이용하는 경우, 시각 t 에 있어서 셀 중심의 지하수위를 $h(0)$, 시각 $t + \Delta t$ 에 있어서 지하수위를 $h(1)$ 으로 나타내면 식(1)의 편미분 방정식으로부터 식(4)를 얻을 수 있다. 이 때, Δt 를 단위시간 ($\Delta t=1$)으로 두면 식(4)는 식(5)로 나타낼 수 있다.

$$h^{(1)} = h^{(0)} + \frac{(q_1 + q_2 - q_3 - q_4)\Delta t}{d \cdot \lambda} + \frac{r \cdot \Delta t}{\lambda} \quad (4)$$

$$h^{(1)} = h^{(0)} + \frac{(q_1 + q_2 - q_3 - q_4)}{d \cdot \lambda} + \frac{r}{\lambda} \quad (5)$$

$$q_i = h^{(0)} k I_i \quad (6)$$

여기서, q_i : 각단면의 단위시간당 단위폭유량($i=1\sim 4$)
 I_i : 각방향의 동수경사($i=1\sim 4$)
 d : 메쉬간격

따라서, 식(5), (6)을 이용하면 시간당 지하수위를 계산할 수 있다. 한편, 이 모델을 이용하여 지하수위를 구하는 것에 있어서 설정한 가정은 다음과 같다.

- 1) 유효강우는 모두 순간적으로 기반암면에 도달하고 지하수면을 형성한다.
- 2) 식(6)의 지하수위 $h^{(0)}$ 는 시각 t 에서의 셀중심에 있어서 수위라고 한다.

- 3) 본 보고에서 대상으로 하는 표층붕괴는 붕괴심도가 2m이하이고, 격자망의 한 변의 길이(10m로 설정)에 비해서 그 값이 작기 때문에 동수경사 I_0 는 인접하는 각 셀의 중심에 있어서 기반암의 경사로 한다.
- 4) 투수계수 k , 유효간극률 λ , 유효강우 r 은 셀 내에서 같다.
- 5) 한 방향 이상의 유출을 생각하고 있기 때문에, 투수계수의 크기로부터 단위시간에 셀로 유입되는 유량이 시각 t 에 셀 내부에 저류 가능 양을 넘는 경우, 각 방향 유출량의 비례배분으로 유출시킨다.

한편, 沖村(1985)는 상술한 모델에 의한 이론치는 근사치와 거의 같은 값을 나타내었음을 확인하여 모델 적용의 타당성이 충분히 확보되어 있음을 확인한 바 있다.

3. 사면 안정해석 모델

3.1 무한장 사면 안정해석 모델의 적용

광역을 격자망으로 나눈 후 개개의 셀에 대한 안전율을 계산하는 경우, 단일 격자망(셀)의 변의 길이 설정은 해석결과에 중요한 영향을 미친다. 이 모델의 적용에 있어서, 변의 길이가 작을수록 반드시 해석정도가 증가한다고 볼 수 없으며, 이런 경우 장시간의 해석시간 및 대용량의 컴퓨터 메모리의 확보 등이 요구된다는 제약도 있다. 한편, 적절한 메쉬 간격의 설정을 위해 과거 붕괴사례와 비교해 보는 것이 하나의 좋은 방법이 될 수 있다. 1967년 일본 관서지방의 로꼬산 일대에서 발생한 다수의 표층 붕괴 사례에서 그 평균 규모는 길이 14m, 폭 9m, 깊이 1m정도였던 점을 감안하면(Okimura, 1983), 셀 간격은 10m 정도가 적절한 것으로 사료된다. 또한, 붕괴 깊이와 길이 비가 1/10 이하인 길이에 비해 깊이가 매우 얇고, 활동면도 직선적이었던 것으로 보아 무한장사면 안정해석모델의 적용성이 높다고 사료된다. 이러한 이유로 화강암지역의 표층붕괴 안정해석에는 여러 차례 무한장 사면의 안정해석이 자주 이용되어 오고 있다(渡, 1970).

한편, 자연사면은 결코 무한장이 아니고, 표토층의 두께도 같지않기 때문에 붕괴발생위치 및 그 규모(길이)를 예측하는 경우에 있어서 이 수법은 부적당하여 이것을 보완하기 위해 오키무라는 다평면안정해석법을 제안한 바 있다(沖村, 1983). 그러나, 위 모델의 적용을 위해서는 대략 2m간격의 표층과 기반암 좌표가 필요하고, 결정적으로 2차원적 해석법이므로 광역의 수많은 사면에 대해 적용하는 것은 수학적으로 매우 어렵다. 따라서 본 보고에서는 10m×10m의 셀을 대상으로서 한정된 공간 내에서 셀의 안정 및 셀 간의 안정도를 비교하는 경우에는 셀 내의 표토층 두께와 경사를 같다고 가정하여 각 셀에 무한장사면 안정해석모델을 적용한다. 이 해석으로부터 얻어진 결과의 정도는 반드시 양호하다고는 할 수

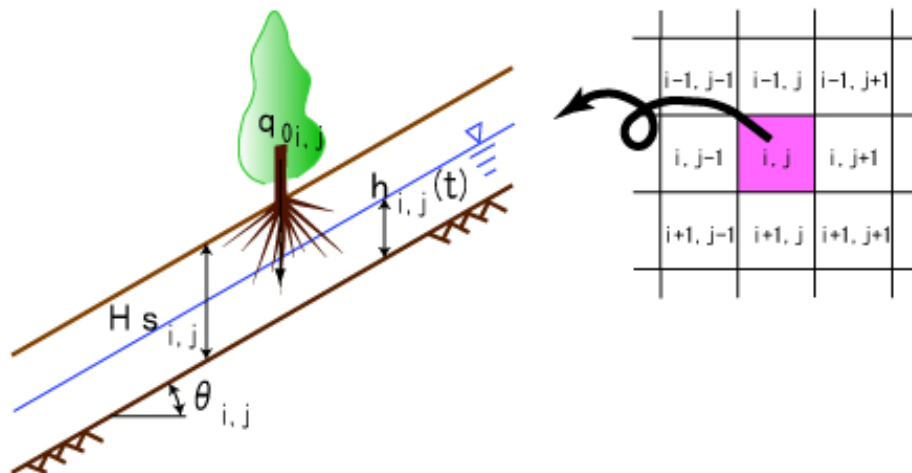


그림 4. 무한장사면 모델(Simons, 1978)

없지만, 위험도를 셀간에서 상대적으로 평가하기에는 충분한 수법이라고 생각한다.

Simons(1978) 등은 자연사면에 있어서 붕괴(landslide)의 위험도를 평가하는 무한장 사면 안정 해석모델로서 다음 식을 제안하고 있다(그림 4 참조).

$$F = \frac{c + c_r + A \cdot \cos^2 \theta \cdot \tan \phi}{B \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta} \quad (15)$$

$$A = q_0 + (\gamma_{sat} - \gamma_w)h + \gamma_t(H_s - h) \quad (16)$$

$$B = q_0 + \gamma_{sat}h + \gamma_t(H_s - h) \quad (17)$$

여기서, F : 안전율

c_s : 흙의 점착력(tf/m²)

c_r : 뿌리에 의한 점착력(tf/m²)

ϕ : 흙의 내부마찰각

r_{sat} : 흙의 포화단위체적중량(tf/m³)

r_t : 흙의 습윤단위체적중량(tf/m³)

r_w : 물의 단위체적중량(tf/m³)

H_s : 기반면에서부터의 표토층 두께(m)

h : 기반암면에서부터 지하수위(m)

θ : 사면(기반암) 경사

q_0 : 식생에 의한 상재하중(tf/m³)

상기의 식 (15)~(17)은 2차원적 단면에 있어서 임의의 수위가 주어진 경우의 안전율 계산식이다. 광역을 대상으로 집수모델과의 접목을 위해서는 그림 4에 나타난 바와 같이 각 셀에 있어서 집수모델로부터 구한 지하수위 조건하에서 안전율을 구할 필요가 있다. 즉, 각 셀에 있어서 지하수위의 시간변동을 고려한다면, 안전율 F는 식 (18)~(19)과 같이 시간의 함수로서 나타낼 수 있다.

$$F_{i,j}(t) = \frac{c'_{i,j} + c_{ri,j} + A_{i,j} \cos^2 \theta_{i,j} \tan \phi'_{i,j}}{B_{i,j} \sin \theta_{i,j} \cos \theta_{i,j}} \quad (18)$$

$$A_{i,j} = q_{0i,j} + (\gamma_{sati,j} - \gamma_w)h_{i,j}(t) + \gamma_{ti,j}(H_{si,j} - h_{i,j}(t)) \quad (19)$$

$$B_{i,j} = q_{0i,j} + \gamma_{sati,j}h_{i,j}(t) + \gamma_{ti,j}(H_{si,j} - h_{i,j}(t)) \quad (20)$$

본 논문에 있어서 활동면은 기반암을 따르는 면 즉, 기반암과 표토층의 경계면에서 발생한다고 가정하고 있기 때문에 평상시 수위는 기반암면에 있다고 가정한다($h_{i,j}(0)=0$). 식생에 의한 상재하중 q_0 는 현 단계에서 불명확하기 때문에 이 값도 0으로 가정한다.

3.2 해석 인자 결정

3.2.1 각 셀에 있어서 표토층 두께 (H_s)

표토층 두께는 10m간격으로 설정한 격자점의 표토층 두께(H_s)로서 입력한다. 각 셀의 표토층 두께(H_s)

는 각각의 셀을 구성하는 4점의 H_s 의 평균치로 한다. 한편, 각 H_s 는 상세한 현지조사를 통해 모든 격자점에 있어서 보링조사 등을 통해 표토층 두께를 확인하는 것은 사실상 불가능하다. 따라서, 간편하고 신속하게 표토층의 두께를 조사할 수 있는 방법이 요구된다. 이에 본 논문에서는 소형의 표준 관입 시험과 유사한 형태의 간이 관입 시험기를 이용하여 표토층 두께를 조사하였다. 이 시험으로 표층과 기반암의 경계 설정을 위해 임의의 지점에 대해 간이 관입 시험(Potable Penetration Test; PPT)을 실시한 결과와 그 지점에서의 시험시주 자료를 비교하여 경계 타격회수를 구하여 기반고를 설정한다. 그림 6은 PPT의 대표적인 결과를 나타내고 있다. 그림 중의 N_c 는 로드 끝의 콘 부가 10cm 관입 시의 타격회수를 의미한다. 위와 같은 방법으로 본 대상지역 기반암 부근에서의 경계 타격회수에 대해 조사한 결과 12회로 나타났고, 이 값을 기초로 H_s 를 산정하였다.

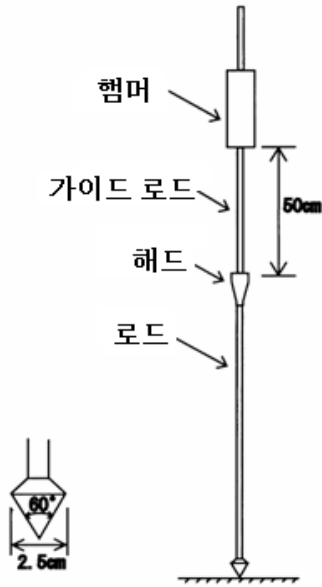


그림 5. 간이 관입 시험기

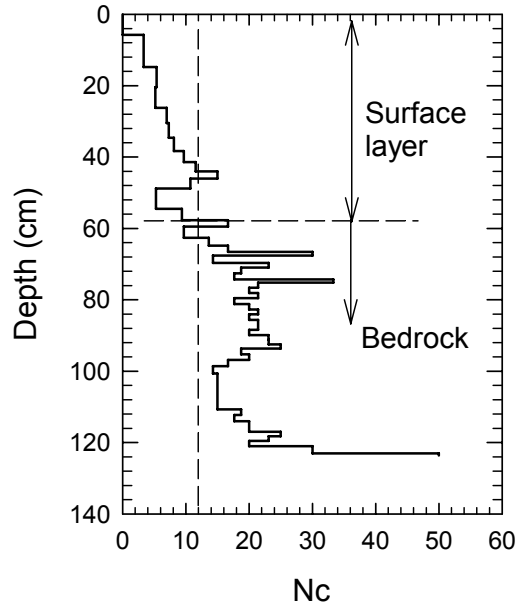


그림 6. 간이관입시험 결과 예



그림 7. 간이 관입 시험 전경

3.2.2 각 셀에 있어서 경사 (θ)

각 셀의 경사 (θ)는 각 셀을 구성하는 4격자점의 사면표고로부터 격자점의 표토층 두께(H_s)를 뺀 격자점의 기반암표고 $z_i(i=1\sim 4)$ 를 이용해서, 일차회귀식에 의해 평면근사를 수행하여, 그 최대방향의 경사를 사용한다. 식 (21)은 평면방정식으로 z 는 각 셀의 z , y 점에 있어서 기반암표고이고, b_1 , b_2 , b_3 는 계수이다.

$$z = b_1 + b_2x + b_3y^2 \quad (21)$$

여기서,

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} n & \Sigma x & \Sigma y \\ \Sigma x & \Sigma x^2 & \Sigma xy \\ \Sigma y & \Sigma xy & \Sigma y^2 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \Sigma z \\ \Sigma xz \\ \Sigma yz \end{pmatrix} \quad (22)$$

식 (22)의 n 은 데이터 수로 본 보고의 경우는 $n=4$ 이다. 그림 7은 이 방법에 의해 얻은 NW시험지의 경사분포도를 나타낸다. 이것들은 각 셀에 있어서 평면 단위법선벡터의 x - y 평면(수평면)으로의 투영장 및 그 방향을 나타내고 있다. 이것은 본 시험지구의 수계분포를 잘 나타내고 있고, 이 방법에서 셀의 경사를 표시할 수 있다.

3.2.3 토질공학적 변수(c , ϕ , r_{sat} , r_t , r_w , k , λ)

이들의 값은 기본적인 토질시험으로부터 얻어지는 값이다. 토질의 강도정도는 직접전단시험을 통해 구하였고, 투수계수는 정수위투수시험으로 구하였다. 상세한 값에 대해서는 이후, 4장에서 자세히 설명한다.

3.2.4 나무 뿌리에 의한 점착력(c_r)

나무 뿌리에 의한 점착력은 토피 결속에 의한 전단저항력 증가라는 사면안정화에 있어서 플러스의 효과를 준다고 생각된다(秋谷, 1978). 그러나, 이 값을 구하는 수법은 아직 개발되어 있지 않고, 이 값을 구하는 것은 현재는 불가능하다. 한편, 이론적으로 강우가 없는 초기상태에서 각 셀에 대해 무한장 사면안정 해석을 수행하면 붕괴가 발생하지 않음에도 불구하고 안전률이 1.0이하인 셀이 나타나는 경우가 있다. 이것은 현실과는 일치하지 않는다. 이렇게 결과가 나타난 이유 중의 하나는 c_r 값이 반영되지 않았기 때문으로 추찰된다. 沖村(1985)는 현 단계에 있어 c_r 값의 고려는 나무 뿌리에 의한 점착력을 평가한 다기보다 오히려 가정에 기인하는 해석의 모순점을 보정하기 위한 양으로 볼 수 있다고 했다. 이 값에 대한 고려는 각 격자점의 H_s 가 모두 계측된 후에 새롭게 의논할 필요가 있을 것이다.

3.2.5 표토층 내의 지하수위($h(t)$)

표토층내의 지하수위($h(t)$)는 전절에서 설명한 집수모델로 구하는 값을 이용한다. 단, 이 집수모델에서 얻은 지하수위가 표토층 두께를 넘은 경우는 그 수위는 순간적으로 지표류로서 흐르게 되고, 지표수심은 나타나지 않는 것으로 가정하였다. 이상 설명한 각 수치를 이용하여, 해석대상지역에 유효강우를 주고 시간마다의 안전률을 계산한다.

4. 붕괴 위험 예측도의 작성

4.1 해석 대상 지역

해석대상지역은 컴퓨터의 메모리 및 해석시간을 고려하여 최대 2km×2km(가로×세로) 크기의 영역을 그 대상으로 하였다. 해석대상지역을 선정된 후, 그 지역의 등고선도 또는 수치지도로부터 블록 다이어그램을 작성한다(그림 8, 9 참조). 표토층 두께 조사는 총 격자점의 약 20%에 대해 간이 관입시험을 실시하여 나머지 격자점들에 대해서는 보간법을 실시하여 추정하였다.

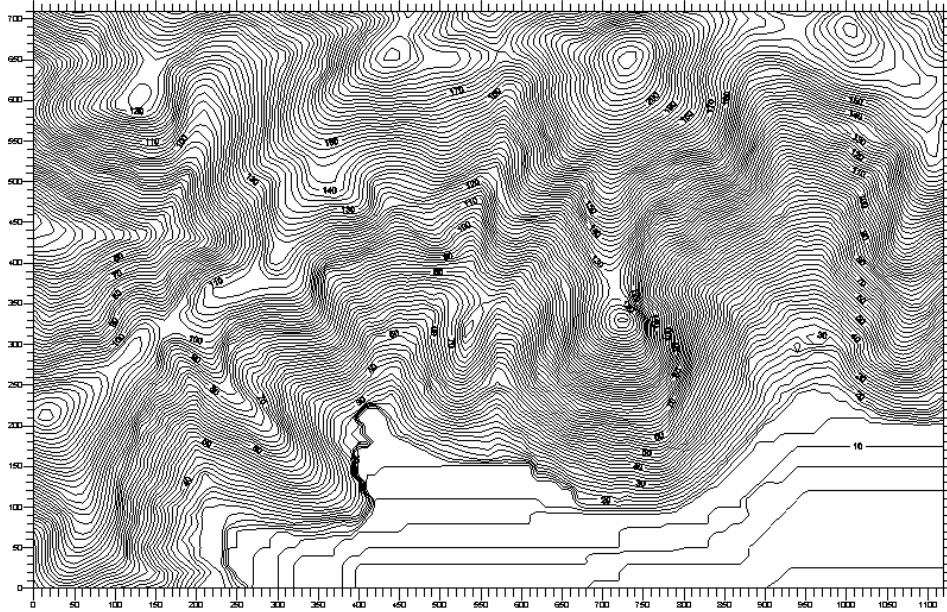


그림 8. 해석 대상지역의 등고선도

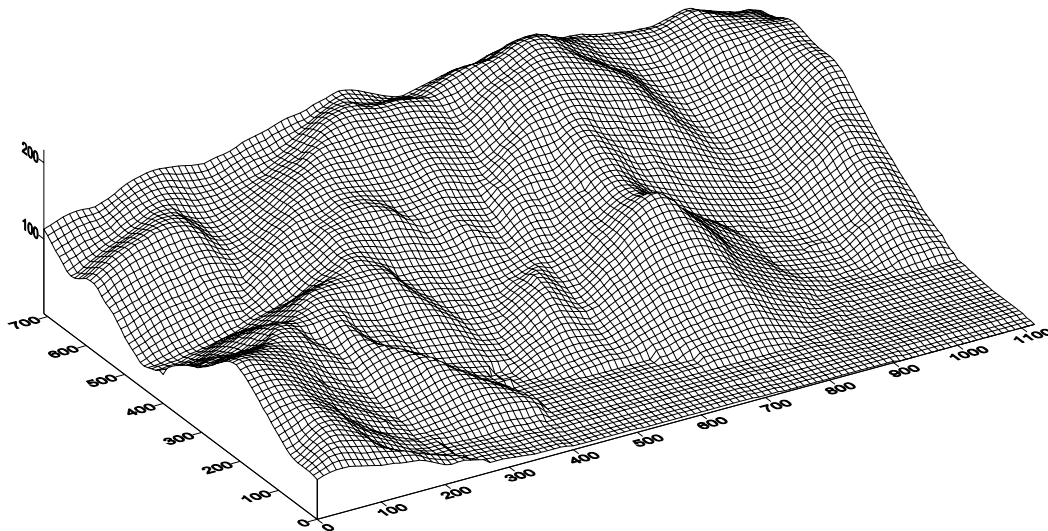


그림 9. 해석 대상지역의 블록 다이어그램

4.2 입력 물성치

해석 대상 지역의 토질 특성은 크게 잔적토와 계곡부(애추)로 나누어졌다. 각각의 토질 특성은 표 1에

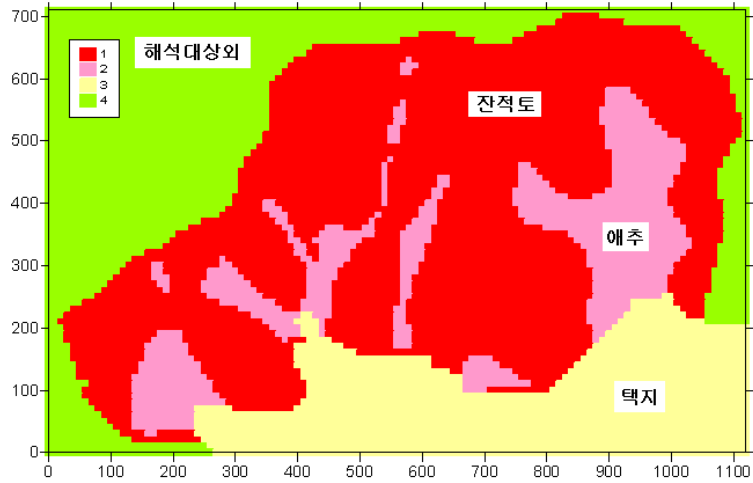


그림 10. 해석 대상지역의 토질 분포

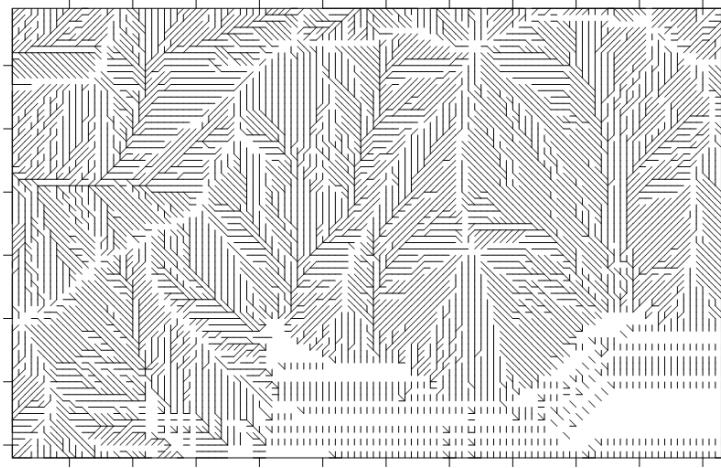


그림 11. 지형에 의한 지하수위 흐름도

표 1. 해석 대상 지반의 토질 특성

| 물성치 토질구분 | 유효점착력 c' (kN/m ²) | 유효내부 마찰각 ϕ' (°) | 습윤단위중량 γ_t (kN/m ³) | 포화단위중량 γ_{sat} (kN/m ³) | 투수계수 k (cm/s) | 유효간극률 λ |
|-------------|------------------------------------|----------------------------|---|---|--------------------|--------------------|
| 1:잔적토 | 6.867 | 30 | 16.677 | 18.639 | 10^{-3} | 0.35 |
| 2:계곡부(애추) | 4.905 | 30 | 16.677 | 18.639 | 10^{-3} | 0.35 |
| 3:택지 | - | - | - | - | | |
| 4:해석대상외 | - | - | - | - | | |

나타낸 바와 같다. 토질의 전단특성은 교란시료를 이용하여 현장의 평균적인 밀도로 제작한 시료에 대해 직접전단시험을 실시하여 구하였다. 그림 10에 해석 대상 지역의 토질 분포를 나타내었다. 전반적으로 산지에는 잔적토가 퇴적되어 있었고, 애추형의 계곡부에는 잔적토의 풍화물이 퇴적되어 있었다. 또한, 정수위 투수시험 결과, 투수계수는 10^{-3} cm/s로 나타나 대상 지역 토질의 투수성은 상당히 양호한 것을 알 수 있었다. 한편, 해석에 이용한 강우조건은 유효강우 $r=20$ mm/h를 20시간 동일하게 주는 경우를 가정하였다. 이렇게 동일한 강우를 주는 이유는 (1) 장래의 강우 패턴을 예측할 수 없고, (2) 본 논문에서는 우수의 연직침투과정을 고려하지 않으므로, 가령 과거의 강우를 입력했다 하더라도 결과(특히

붕괴발생시각)의 신뢰성은 불충분하고, (3) 과거의 강우 중 어느 정도가 유효강우로 작용하였는지가 현재에는 불명확하기 때문이다. 또한, (4) 과거의 강우는 그 때에 발생한 붕괴의 이유를 설명할 수 있으나, 장래의 예지에는 도움이 되지 못한다는 등의 이유를 들 수 있다.

4.3 해석 결과

서론부에도 지적한 바 있듯이 넓은 지역에 무수히 많은 사면에 대해 안정성 또는 위험도를 평가하는 방법은 주로 사면의 외형적 요인과 집수면적 등을 이용해 주로 정성적으로 평가하였으나, 본 장에서는 이들 요인과 역학모델에 의한 해석 결과인 안전율의 관계과의 비교·검토를 통하여, 기존 평가 방법의 문제점을 명확히 함으로서 본 해석 모델의 유용성에 대해 논한다.

그림 12는 각 요인과 안전율의 관계를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 주로 계곡부와 애추부에 표토층이 1.0m~2.5m로 비교적 두껍게 퇴적되어 있고, 산 중턱에서 정상부는 50cm이하로 나타났다. 기반암의 경사는 대체로 우수의 집중되는 계곡부가 20°~30°로 작고, 고도가 높을수록 30°~40°로 높게 나타났다. 이들 요인과 안전율은 일반적으로 기반암의 경사가 급할수록, 지하수위가 높을수록, 표토층 두께가 두꺼울수록 전단응력 감소로 인한 붕괴 발생이 예상된다. 그러나 그림 12에서 알 수 있는 바와 같이 각 요인과 안전율의 관계는 항상 일정한 패턴으로 대응하지 않음을 알 수 있다. 예를 들어, 강우로 인해 지하수위가 표토층 상부 가까이 상승하여도 기반암의 경사가 낮은 곳은 안전율의 감소가 미미함을 알 수 있다. 이는 각각의 요인은 안전율에 중요한 영향을 미치는 변수임에는 틀림없으나, 상황에 따라 안전율에 미치는 영향의 정도가 다르다는 것을 의미하며, 기존의 점수법 및 통계적 평가법 등에서 평가 항목에 일률적으로 가중치를 적용하는 것은 바람직하지 않음을 시사한다.

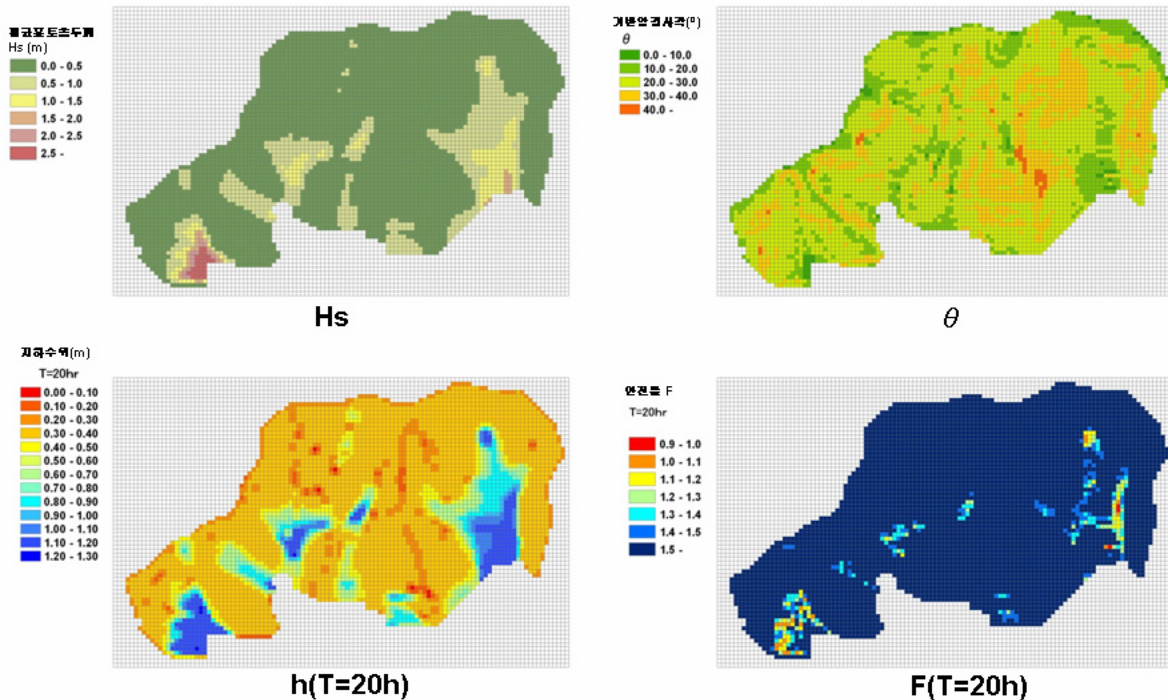


그림 12. 안전율과 각 요인과의 관계

5. 결론

본 보고에서는 표층붕괴의 발생에 영향을 미친다고 생각되는 요인 중, 집수면적을 대신하여 사면의 삼

차원적인 입지조건을 평가한 집수모델을 도입하는 것으로부터 세 가지 요소(표토층 두께, 기반암 경사, 강우)를 동시에 평가한 붕괴위험도를 예측법을 제안하였다.

본 수법이 가지는 특징은 이하와 같다.

- (1) 조사지역내 전체 사면을 대상으로서 그 위험도가 통계적 또는 경험적인 결과가 아닌 역학적으로 평가할 수 있다.
- (2) 공간에 분포하는 지형특성을 삼차원적으로 평가한다.
- (3) 컴퓨터를 이용한 수치해석으로 위험도를 평가하고 있기 때문에, 해석은 신속하고 정확하다.
- (4) 입력정보는 셀마다 입력할 수 있기 때문에, 장래, 상세한 조사에 의해 새로운 정보가 얻어진다면 이 값을 쉽게 고려할 수 있고, 예측 정도를 향상시킬 수 있다.
- (5) 다양한 형태의 강우조건을 고려할 수 있다.

한편, 이 수법의 문제점으로는 다음을 생각할 수 있다.

- (1) 각 셀에서의 위험도는 평가할 수 있지만, 결과로서 발생하는 붕괴의 규모를 구할 수가 없다.
- (2) 위험도를 설정할 때 가정한 유효강우강도 r 과 위험도판별을 위한 강우계속시간은 이후 다시 재검토할 필요가 있다.
- (3) 강우로부터 침투를 거쳐 지하수면의 형성에 달하는 과정을 이후 평가할 필요가 있다.

참고문헌

1. 일본 국토 교통성 홈페이지(<http://www.mlit.go.jp/river/sabo/index.html>)
2. 沖村 孝, 市川龍平(1985), “数值地形モデルを用いた表層崩壊危険度の予測法”, 土木学会論文集, 358号, pp.69-75.
3. 川谷 健(1981), “地形変化と降雨流出”, 地形, 2-1, pp.67-72.
4. 예를 들면, 渡 正亮, 中村浩之(1970), “花崗岩風化地帯におけるがけくずれについて”, 防災科学技術総合研究報告, 24, pp.127-139.
5. 沖村 孝(1983), "山腹表層崩壊発生位置の予知に関する一研究", 土木学会論文報告集, 331, pp.113-120.
6. 秋谷孝一(1978), "豪雨時における自然斜面の安定[崩壊の素因として(植生特に森林)], 豪雨時における自然斜面の安定に関するシンポジウム, pp.33-38.
7. Okimura, T. (1983) Rapid Mass Movement and Groundwater Level Movement, Zeischrift fur Geomorphologie, Suppl. Bd. 46, pp.35-54.
8. Simons, D. B. et al. (1978) Mapping of Potential Landslide Areas in terms of Slope Stability, USDA Forest Service Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, 75p.