

## 3차원 사면안정해석을 이용한 활동지괴 가장자리부의 전단저항에 관한 연구

서용석<sup>\*1)</sup> · 太田英將<sup>2)</sup> · 채병곤<sup>3)</sup> · 윤운상<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>충북대학교 지구환경과학과기초과학연구소

<sup>2)</sup>Ohta Geo-Research Co., Ltd., Japan

<sup>3)</sup>한국지질자원연구원 지질환경재해연구부

<sup>4)</sup>(주)넥스지오

## A Study on Shear Resistance Effect along Marginal Region of Sliding Mass using 3D Slope Stability Analysis

Yong-Seok Seo<sup>\*1)</sup> · Hidemasa Ohta<sup>2)</sup> · Byung-Gon Chae<sup>3)</sup> · Woon-Sang Yoon<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>Dept. of Earth & Environmental Sci.

& Institute for Basic Science Research, Chungbuk National University

<sup>2)</sup>Ohta Geo-Research Co., Ltd., Japan

<sup>3)</sup>Geological & Environ. Hazards Div., Korea Inst. Geoscience and Mineral Res.

<sup>4)</sup>NEXGEO Inc.

사면안정해석에 일반적으로 이용되는 2차원 한계평형해석에서는 활동면의 강도를 활동면 전체에 동일하게 설정한다. 그러나 사면의 활동면에서 저면부와 가장자리부의 강도는 다른 경우가 대부분이다. 4가지 절취모델을 이용한 3차원 사면안정해석의 결과에 따르면 활동면내에서 가장자리부의 저항력이 사면의 안정성에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 3차원 사면안정해석에서 활동면 강도를 저면부와 가장자리부로 구분하여 설정함으로써 지금까지 고려하지 못했던 사면 가장자리부의 전단강도가 사면안정에 미치는 영향을 정량적으로 파악할 수 있었다. 활동 저면부의 저항력이 낮은 경우에는 사면의 측부 절토에 의하여 안전율이 크게 저하되며, 저항력이 높은 경우에는 말단부 절토에 의하여 안전율이 저하되고 두부 절토에 의하여 안전율이 향상된다.

**주요어:** 3차원 사면해석, 가장자리부 강도, 안전율, 사면절토

The strength of sliding plane is usually assigned on the whole sliding plane with same value in 2D limit equilibrium slope stability method. However, the potential sliding plane is divided into two or three parts which have different sliding resistances. According to the calculation results of 3D slope stability analyses using 4 types of slope cutting models, marginal sliding resistance could affect the safety of slope significantly. In this calculation two kinds of the sliding plane strengths were applied differently to the parts of bottom and margin of the model slope. The effect of marginal resistance was calculated quantitatively. In case of lower sliding resistance of the bottom, the safety factor becomes low in a margin cutting model. However, in case of higher sliding resistance of the bottom, the safety factor decreased slightly in a lower part cutting model and increased in a upper margin cutting model.

\* Corresponding author : ysseo@cbu.ac.kr

**Key words** : 3D slope analysis, Marginal sliding plane strength, Safety factor, Slope cutting

## 서 론

일반적으로 활동하는 사면은 복잡한 지질구조를 가지며 3차원적인 운동을 보인다. 이러한 활동지괴의 안전성을 평가하고 대책공을 설계하기 위하여 수행되는 안정해석은 시간적·공간적 제약에 의하여 단순화된 모델로 수행되는 것이 일반적이다. 구체적으로는 2차원 단면도상에서 활동면 형상을 결정한 후, 그 활동면 강도를 활동면 전체에서 동일한 것으로 가정하고 한계 평형이론을 적용하여 계산을 수행한다. 그리고 「전단저항력과 전단활동력의 비」로서 안전율을 정의하고 안정도를 평가한다. 한계평형법에는 분할된 절편간에 작용하는 절편력의 취급방법에 따라 여러 가지가 있다. 가장 단순화된 방법으로는 절편간에 작용하는 힘을 평형상태로 가정하는 간편법(스웨덴법 혹은 Fellenius법)이 있는데, 일본에서는 계산이 간편하고 계산결과에 큰 차이가 없기 때문에 사면활동 안정계산에 간편법을 널리 사용하고 있다.

일본에서는 지질적 특성상 운동속도가 완만한 재활동형 사면붕괴가 많이 발생한다. 따라서 대책공 설계시 활동 시점의 안정도(현황 안전율)를 가정하여 활동면의 강도를 역해석함으로써 원하는 안전율(계획안전율)까지 향상시키는 기법이 주류를 이루고 있다. 이 과정에서 역해석 기법을 이용하여 안전율을 재산정하는 등의 과정을 거치게 되며 안정해석기법의 차이는 대책공의 규모에 크게 영향을 미치지 않기 때문에 가장 계산이 간단한 간편법이 많이 사용되고 있다. 이러한 기법의 공통점은 해석이 2차원 단면에서 이루어지고, 활동면의 강도는 일정하게 취급되며, 활동면의 위치와 형상이 미리 알려져 있다는 것이다.

지금까지 이러한 2차원 단면을 사용하는 간편법과 계획안전율의 조합에 의하여 수많은 대책사면이 설계되어 왔다. 그러나 전술한 방법은 자연사면의 활동 등과 같은 큰 외력변화를 수반하지 않는 경우에는 유의한 결과를 보였지만, 도로건설에 수반되는 절토공의 영향평가 등에서 가끔 활동재발 등과 같은 예상외의 결과를 초래하기도 한다. 즉, 활동사면의 측부를 절토한 경우에 예상보다 크게 활동지괴의 안정도가 저하하여 활동을 일으키는 경우가 그것이다(日本建設省土木研究所, 1986). 또한 활동면에 존재하는 점토의 역학

시험치(링전단시험에 의한 잔류전단강도치)를 적용하여 안정해석을 수행하면 활동이 중지된 지괴의 경우에도 안전율이 1.0에 크게 못 미치는 결과를 보이는 등 해석결과가 현실적이지 못한 경우가 많다.

따라서 본 연구에서는 이러한 모순된 해석결과가 해석시 활동사면 가장자리부의 전단저항을 고려하지 않기 때문이라고 판단하고, 가장자리부 저항력이 해석시 미치는 영향을 정량적으로 밝히기 위하여 3차원 사면안정해석기법(Ohta et al., 1998, 2000; 서용석 등, 2004)을 이용하여 모델해석을 수행하였다.

## 활동사면 가장자리부의 저항력

활동사면의 안정도를 정확하게 평가하기 위해서는 활동면의 대부분을 차지하는 활동저면뿐만 아니라 활동지괴의 가장자리에서 발생하는 저항력을 고려할 필요가 있음이 밝혀지고 있다. 6,000명이 넘는 사망자가 발생한 1995년 1월의 일본 효고현 남부지진(고베지진)시에 매립성토사면의 피해가 현저하게 발생하였다. 釜井 등(2000)은 六甲山 산록부의 매립성토사면의 피해를 조사하여 변동원인을 밝힌바 있다. 이 연구에 따르면 사면변동에 있어서 지반강도 및 활동면 경사 등이 주요 원인일 것으로 예상되었지만 조사의 결과는 예상을 뒤집는 것으로 나타났다. 지진시 활동한 매립성토사면에 있어서 사면활동을 지배하는 가장 큰 요인은 사면의 횡단형상(폭/깊이의 비)이었다. 즉 깊이가 얇고 폭이 넓을수록(횡단 형상값이 클수록) 성토사면이 붕괴되기 쉬운 것으로 밝혀졌다. 이러한 현상은 활동사면의 저면부와 가장자리부의 강도가 서로 다르면서 가장자리부의 강도가 상대적으로 강할 때 설명이 가능하게 된다. 매립성토사면의 경우 성토사면 저면부를 통하여 지하수가 흐르기 때문에 시공후 시간이 경과함에 따라 급격하게 강도저하가 발생한다. 이러한 결과는 사운드 시험 등을 통해서 확인가능하다. 한편, 가장자리부는 지하수가 항상 존재하는 것은 아니기 때문에 강도저하의 정도가 비교적 약하다.

자연사면의 사면활동에서도 이와 비슷한 현상이 나타난다. 활동면은 지층면과 일치하거나 혹은 풍화부/신선암부의 경계를 이루는 강도 불연속면을 따라서 형성된다. 전자의 경우 가장자리부의 지질은 활동면

과 다르기 때문에 상대적으로 강도가 강하다(Stark et al., 1998). 이러한 예는 퇴적암이 분포하는 사면에서 점토성분(특히 일라이트)이 많이 포함된 얽층 혹은 탄층이 활동면을 형성하는 경우에 많이 발견된다. 후자의 경우에도 저면부에는 지하수가 존재함으로써 강도 저하가 일어난다. 따라서 사면안정 해석시에 사면 가장자리부의 강도를 평가할 수 있는 기법이 필요하다.

### 3차원 사면안정해석

앞에서 기술한 사면안정 해석시에 발생하는 모순들을 극복하기 위하여 太田 등(2001)은 활동성이 높은 저면부와 상대적으로 강도가 강한 가장자리부의 강도정수를 별도로 고려함으로써 활동지괴내의 힘의 분포를 정확하게 표현하기 위하여 가장자리부 마찰효과를 고려한 활동사면의 3차원 안정해석기법을 발표하였다. 이 기법은 2차원 단면법에서 무시되어온 지표면, 활동

면, 지하수면의 3차원 형상을 고려하고 있으며, 평균적 강도로 취급되어온 활동면 강도를 가장자리강도와 링 전단시험 등에 의하여 얻어진 활동면 점토의 강도로 분리하여 해석에 이용하였다. 본 연구에서는 太田 등(2001)이 제안한 기법을 적용하여 모델해석을 수행하였다.

### 해석 모델

본 연구에서는 가장자리부 강도가 활동지반의 안정성에 미치는 영향을 정량적으로 분석하는 것을 목적으로 모델해석을 수행하였다. 모델해석시 사용한 모델은 도로건설시 절토에 의하여 발생할 수 있는 가장빈도가 높은 사면형상을 사용하였으며, 日本建設省土木研究所(1986)의 통계자료를 분석하여 결정하였다. 해석에 사용된 선별 모델사면의 형상 및 역학적 정보는 Table 1과 같다.

**Table 1.** Statistical and analytical model for the 3D slope stability analysis

(a) The model landform of the analyzed slope

Slope shape	Mode of statistical data	The selected value
Width	(50~100m)	100m
Length	(50~100m)	100m
Depth	(10~15m : average13.7m)	13.7m
Planar shape	horseshoe	horseshoe
Area	average 0.84 ha	0.84 ha
Shape of cross section	chair type	chair type
Position of toe of sliding surface	slope lower end	slope lower end
Surface geometry	convex landform	convex landform
Geological structure	dip slope	dip slope
Rock classification	weathered rock landslide	weathered rock landslide

(b) Dimensions of the calculated slope model

Dimensions	Unit	Value	Ratio (%)	
			Bottom	Margin
Dip of sliding plane	degree	-	22.3	70
Volume of sliding mass	m <sup>3</sup>	84,291	78%	12%
Area of sliding surface	m <sup>2</sup>	10,179	67%	33%
Sliding force	kN	719,664	66%	34%
Resisting force	kN	719,664	safety factor Fs=1.000	

해석에 사용된 모델의 평면형상과 종단형상을 Fig. 1에 나타내었다. 해석대상 모델은 면적 약 0.8ha, 활동지피량 약 84,000m<sup>3</sup>, 총활동력 720,000kN의 의자형 풍화암 활동 형상을 보인다.

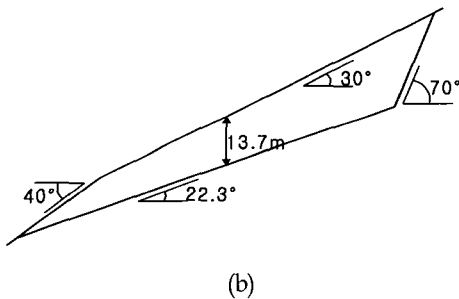
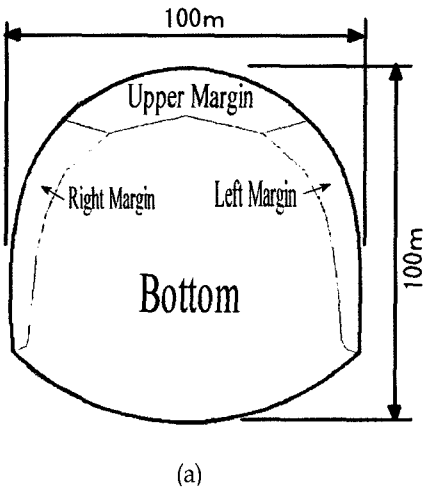


Fig. 1. Planar and cross-sectional shape and intensity distribution of the analyzed model

**단일 활동면강도를 이용한 3차원 사면안정해석**

3차원 안정해석시 안전율에 영향을 미치는 요소로는 사면의 기하학적 형상, 구성물질 및 활동면의 역학적 성질, 해석기법의 제한성 등이 있다. 본 장에서는 가장자리부 저항력이 가지는 중요성을 알아보기 위하여 Fig. 1에서 나타낸 가장자리부와 저면부의 저항력을 동일하게 설정하고 먼저 해석을 수행하였다. 상대적으로 약한 강도를 가지는 저면부와 상대적으로 강한 강도를 가지는 가장자리부의 평균 활동면강도로서

역해석을 실시하여 결과를 얻었다. 즉, 활동사면의 현 황안전율을 1.00으로 가정하고, 활동면의 점착력  $c$  (kN)를 활동지피의 층후  $H$ (m)와 동일하게 설정하며, 내부마찰각  $\phi$ 를 역산하는 기법을 적용하였다. 이렇게 얻어진 각 요소 주의 “활동력-저항력”의 분포 예를 Fig. 2에 나타낸다. Figure 2에서 원의 크기는 활동력에서 저항력을 뺀 값을 나타내고 있다. Figure 2에서 보는 바와 같이 원들은 사면의 가장자리부분(좌우측부와 두부)에 집중되어 있으며, 저면부에서는 요소 주의 저항력이 활동력보다 더 높게 계산되어 활동을 일으키지 않는 것(원이 존재하지 않는 것은 저항력이 더 크다는 의미임)으로 나타난다. 그러나 대상 사면은 저면 활동면이 옹회암으로 구성되어 있어 전단강도가 낮고 활동에 취약한 지층으로서 저면활동에 의하여 사면붕괴가 발생했기 때문에 저면부에 “활동력-저항력”이 양의 값을 가지는 요소가 많이 분포하여야 한다. 이러한 결과는 단일 활동면 강도를 사용한 3차원 안정 해석으로는 활동사면에서 활동력과 저항력의 분포를 정확하게 표현하지 못함을 잘 보여주고 있다.

**가장자리부 저항효과를 고려한 3차원 사면안정 해석**

**절취 해석모델**

본 장에서는 3.2장에서 실시한 해석을 바탕으로 가장자리부의 저항효과를 파악하기 위하여 두부와 좌우측부를 가장자리부로 동일하게 취급하고 저부와 저항력을 다르게 주고 해석을 실시하였다. 해석에서는 가장자리부 및 저부의 부분적인 저항력의 차이를 고려하여 해석을 실시할 수 있으나 해석모델이 복잡해지고 본 해석의 목적상 필요치 않으므로 생략하였다.

모델해석에 사용된 절토형상은 (1)말단부 절토, (2) 좌측부 하부 절토, (3)좌측부 전체 절토 및 (4)두부 절토로 구분하였으며 이들은 Fig. 3에 모델의 활동면 형상 및 원지형과 더불어 3차원적으로 나타내었다.

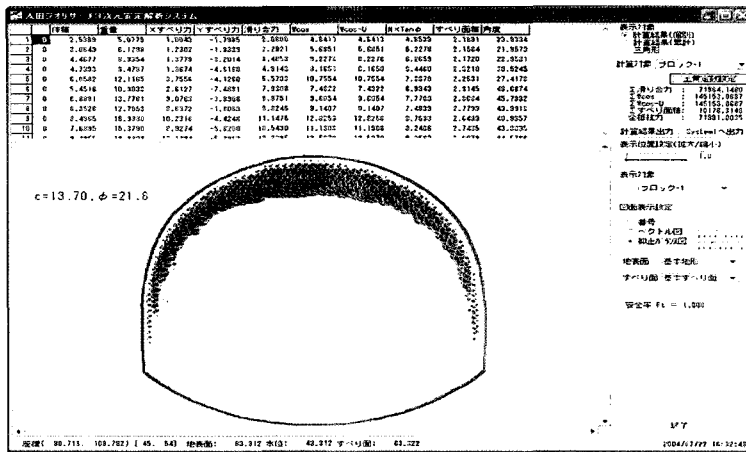


Fig. 2. Distribution of the ratio of sliding force to resisting force using the single surface intensity method of the 3D slope analysis

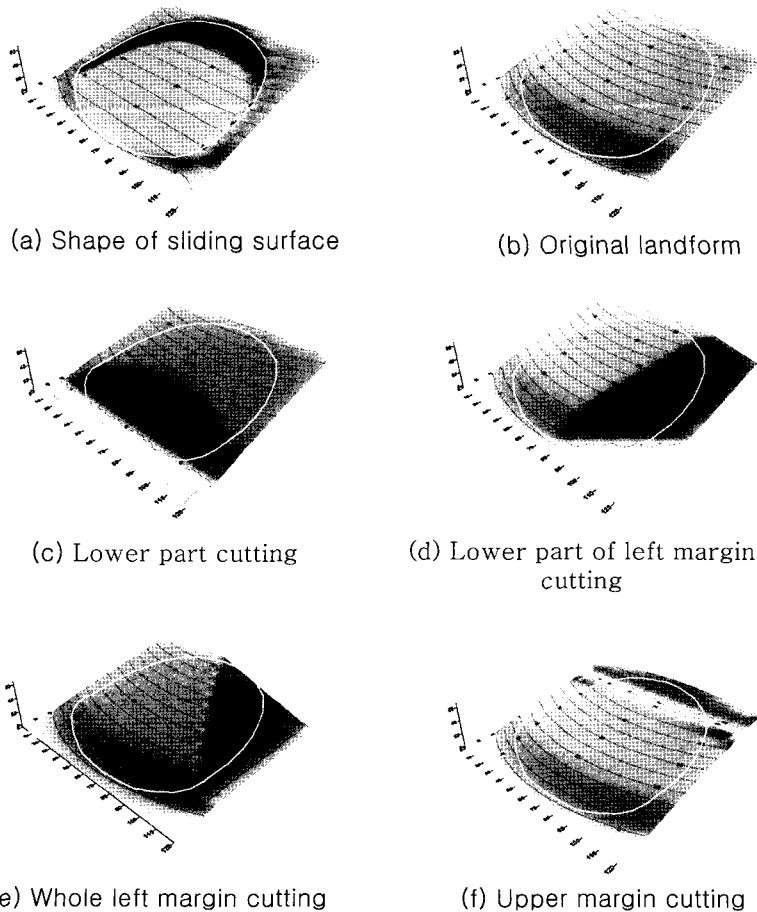


Fig. 3. Shapes of sliding plane and cutting patterns for model analysis

저부와 주변부의 활동력 · 저항력 분석

본 연구에서 사면절취 부분에 따라 설정된 모델별 안전율은 상대적 변화를 파악하는 것이 목적이므로 현황안전율이 1.0이 되도록 역해석을 실시한 후, 토질 정수 변화에 따른 사면형상별 작용력 변화를 비교하였다. 해석시 간극수압을 고려하면 고려해야 하는 모델의 수가 증가하므로 본 연구에서는 무시하였다.

저면부의 활동강도는 활동면을 형성하고 있는 점토 광물의 종류에 의하여 달라지는 것으로 알려져 있다. 山崎 등(2000)은 고순도 점토광물을 이용하여 링 전단 시험을 실시하여 완전 연화강도 및 잔류강도의 마찰 각을 Table 2와 같이 보고하였다. 일반적으로 활동하지 않는 활동면 점토의 강도는 완전연화강도, 활동 중

의 강도는 잔류강도로 취급한다.

본 연구의 모델계산에서는 저면부 활동면 강도가 잔류강도에 가까운 것으로 설정하고, 점착력  $c(\text{bottom}) = 0\text{kN/m}^2$ 으로 가정하였다. 또한 내부마찰각  $\phi(\text{bottom})$ 을  $5^\circ - 30^\circ$ 까지  $5^\circ$ 씩 변화시키면서 총 7개의 모델을 계산하였다. 이때 case-5는 활동면 경사각과 동일한 경우를 모델화 한 것이다. 7개의 저면부 모델에서 가장자리부 강도인  $c(\text{rim})$ ,  $\phi(\text{rim})$ 를 변화시키면서 절토에 의한 사면 안정성의 변화를 살펴보았다.

Figure 4는 원지형(현황지형)을 모델로 저면부와 가장자리부에서 발생한 저항력과 활동력의 비율을 나타낸 것이다. 활동력은 66%가 저면부의 평면활동부에서 발생하였으며 34%가 가장자리부에서 발생하였다. 활동력은 중량과 활동면의 각도에 의하여 결정되므로

Table 2. Results of ring shear tests of high pure clay minerals

Clay Mineral	Fully softened strength	Residual strength
Illite	26.0°	14.5°
Chlorite	30.8°	11.0°
Sericite	23.4°	9.7°
Montmorillonite	5.6°	3.8°

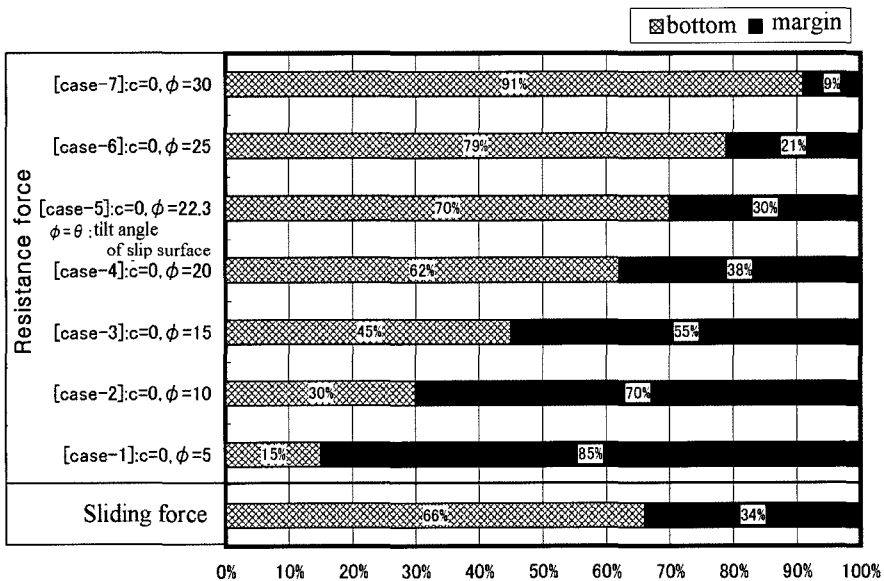


Fig. 4. Ratio of the sliding force to the resistance force in the parts of margin and bottom.  $c$  and  $\phi$  mean strengths of the bottom sliding plane.

모든 모델에서 일정하다. 저항력은 저면부와 가장자리부의 강도조합에 따라서 크게 달라진다. 저면부의 강도가 낮은 경우에는 저항력의 많은 부분을 가장자리부에 의존하게 되고, 저면부강도가 큰 경우에는 가장자리부의 저항력이 상대적으로 낮게 된다. 저면부 강도가  $\phi=10^\circ$ 인 경우 (case-2)를 보면 저항력의 70%가 가장자리부에서 발생하고 있으며, case-7과 같이 저면부의 강도가 높은 경우에는 저항력의 91%가 저면부에 의존하고 있는 것을 알 수 있다. 대규모 사면파괴

는 저면부의 강도가 극히 낮은 경우에 주로 일어난다 (권오일 등, 2000; 최정찬 등, 2002). 이러한 경우 가장자리부를 절토할 때 사면의 안전율이 크게 저하되는 것을 알 수 있다.

Table 3는 각 case에서 가장자리부 활동면 강도요소를 변화시키면서 계산한 결과를 나타낸 것이다. 동일한 저면부 강도값 하에서 가장자리부 강도값을 변화시키는 경우 동일한 절취모델에서 값의 차이는 크게 나타나지 않았다.

Table 3. Safety factors in each calculation case

Calculation case	Strength of marginal sliding plane		Cutting pattern				
	c(margin) (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (margin) (°)	Original landform	Lower part cutting	Lower part of left margin cutting	Whole left margin cutting	Upper margin cutting
Case-1 c(bottom)=0 $\phi$ (bottom)=5	0.0	69.33	1.000	1.118	0.947	0.807	0.952
	140.8	30.00	1.000	1.123	0.962	0.818	1.006
	155.3	20.00	1.000	1.124	0.964	0.820	1.011
	180.0	0.00	1.000	1.124	0.967	0.822	1.020
Case-2 c(bottom)=0 $\phi$ (bottom)=10	0.0	65.36	1.000	1.084	0.955	0.859	0.975
	109.0	30.00	1.000	1.089	0.968	0.869	1.018
	123.5	20.00	1.000	1.090	0.970	0.870	1.023
	148.2	0.00	1.000	1.090	0.972	0.872	1.033
Case-3 c(bottom)=0 $\phi$ (bottom)=15	0.0	59.49	1.000	1.050	0.965	0.913	1.000
	76.2	30.00	1.000	1.054	0.974	0.920	1.030
	90.7	20.00	1.000	1.054	0.976	0.922	1.036
	115.5	0.00	1.000	1.056	0.979	0.924	1.045
Case-4 c(bottom)=0 $\phi$ (bottom)=20	0.0	49.96	1.000	1.014	0.975	0.971	1.026
	41.8	30.00	1.000	1.017	0.980	0.975	1.043
	56.1	20.00	1.000	1.016	0.981	0.975	1.048
	81.0	0.00	1.000	1.018	0.984	0.978	1.058
Case-5 c(bottom)=0 $\phi$ (bottom)=22.3	0.0	43.47	1.000	0.998	0.980	0.998	1.039
	25.2	30.00	1.000	0.999	0.983	1.000	1.049
	39.6	20.00	1.000	0.999	0.984	1.001	1.054
	64.5	0.00	1.000	1.001	0.987	1.004	1.064
Case-6 c(bottom)=0 $\phi$ (bottom)=25	0.0	33.02	1.000	0.976	0.985	1.031	1.054
	5.1	30.00	1.000	0.977	0.987	1.032	1.057
	19.5	20.00	1.000	0.977	0.988	1.033	1.062
	44.3	0.00	1.000	0.974	0.991	1.036	1.072
Case-7 c(bottom)=0 $\phi$ (bottom)=30	0.0	3.72	1.000	0.935	0.997	1.098	1.085
	4.5	0.00	1.000	0.936	0.998	1.098	1.087

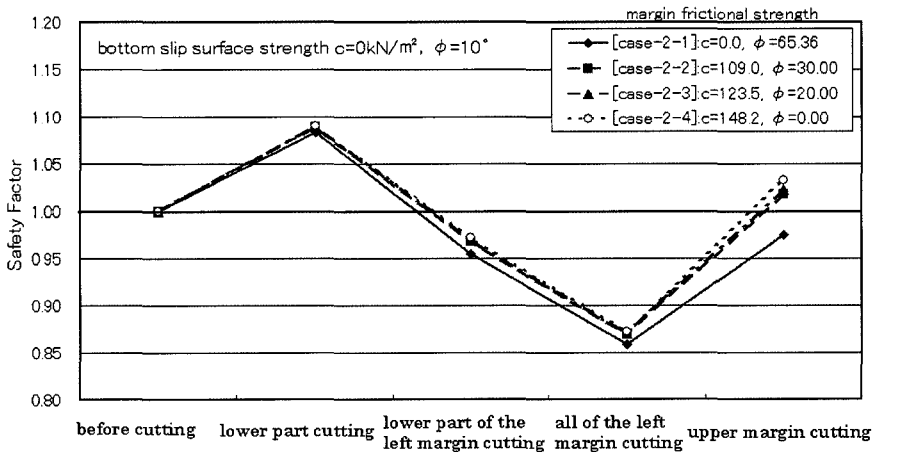
\* Specific gravity is 20kN/m<sup>3</sup>

모델해석에 의한 3차원 안정해석 결과 중 저면부 활동면 강도가  $\phi=10^\circ$ (case-2)와  $25^\circ$ (case-6)인 모델의 결과를 그래프화하여 나타내면 Fig. 5와 같다. 저면부 활동면 강도가 작은 경우(case-2)에는 말단부 절토에서 안전율이 향상되고 측부절토에서 안전율이 크게 감소함을 알 수 있다. 그리고 저부 활동면강도가 큰 경우(case-6)에는 말단부 절토에 의한 안전율이 저하하며, 두부절토에서는 안전율이 상승하는 것을 알 수 있다.

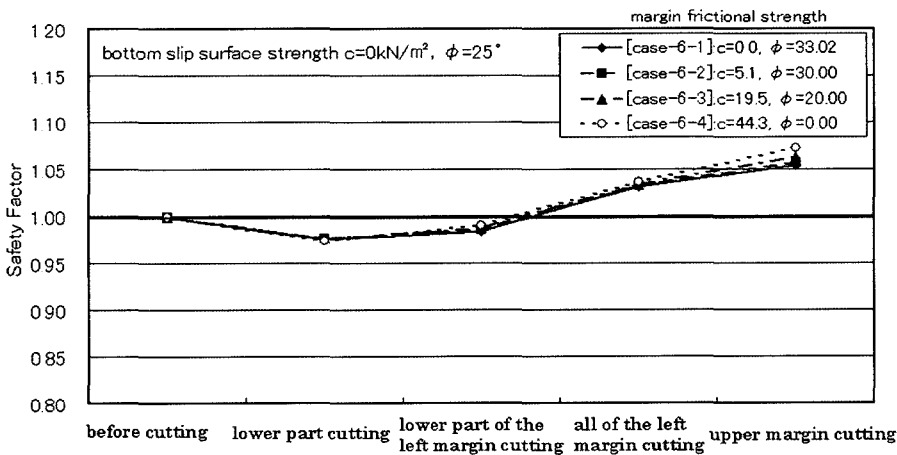
일반적으로 사면활동에 있어서 말단부를 절토하면

안정성이 저하되고, 두부 절토를 실시하면 안정도가 향상되는 것으로 알려져 있다. 측부에 관해서는 경험적으로 안정성이 낮아지는 것으로 알려져 있으나, 지금까지 많이 사용되어온 2차원해석에서는 측부 절토의 효과를 평가할 수 없기 때문에 정성적인 평가에 머물러 있다.

본 연구에서 수행된 모델계산에서는 위에서 기술한 바와 같이 일반적인 해석과 다른 결과를 얻을 수 있었다. 특히 저부 활동면 강도가 작은 경우 (상대적으로



(a) Case 2



(b) Case 6

Fig. 5. Changes of the safety factors in each cutting pattern.



가장자리부의 마찰강도가 큰 경우) 말단부 절토에 의하여 안전율이 상승하고, 두부절토에서도 안전율이 약간 저하하는 경우가 있으나 거의 동일함을 알 수 있다. 또한 측부전체를 절토하는 경우의 안전율은 크게 저하한다.

말단부 절토에 의한 안전율 향상은 측부는 절토되지 않고 활동면 상부하중을 감소시켜 총활동력은 감소하면서 총 측부 마찰력은 유지되기 때문이다. 또한 두부절토에서 안전율이 저하되는 것은 상대적으로 강도가 큰 두부 마찰력이 절토에 의하여 상실되었기 때문으로 판단된다. 이와 같은 결과를 파악할 수 있었던 것은 가장자리부와 저면부의 강도를 분리하여 해석시 고려했기 때문에 가능한 것이다.

## 결 론

사면활동의 구조와 운동형태는 대단히 복잡한 것으로서 간단히 수치적으로 해석 가능한 것은 아니지만, 지금까지 사면의 모델화를 통하여 힘의 평형상태를 구하고 계산결과를 대책공 설계에 반영하려는 노력을 기울여 왔다. 그 결과 관계평형법에 의한 안정해석이 대책공 설계에 매우 유효하다고 알려졌고, 주로 활동면 강도를 단일하게 취급하는 2차원 안정해석이 이용되어왔다.

최근 컴퓨터 기술의 발달에 힘입어 3차원 안정해석이 비교적 쉽게 수행될 수 있게 되었으며, 활동면 강도의 연구가 진행됨에 따라 더욱 정확한 활동 지괴의 힘의 균형을 고려할 수 있는 해석기법이 개발되었다. 본 연구에서 수행한 3차원 사면안정해석에서는 활동면 강도를 복수로 설정함으로써 지금까지 고려하지 못했던 사면 가장자리부의 강도가 사면안정에 미치는 영향을 정량적으로 파악할 수 있었다.

저면부의 저항력이 낮은 경우 측부 절토에 의하여 안전율이 크게 저하되는 것을 확인하였으며, 저면부의 저항력이 높은 경우에는 말단부 절토에 의하여 안전율이 저하되고 두부 절토에 의하여 안전율이 향상됨을 알 수 있었다.

3차원 사면안정해석은 복잡한 지형, 전단강도 및 간극수압 조건을 가지는 사면의 안정해석에 큰 장점을 가지고 있으며, 도로선형 설계시 다양한 절취형태에 대한 안정성 해석에도 크게 활용될 것으로 기대된다. 또한 국부적 응력 분포상태를 정확히 파악할 수 있으므로 경제적이고 합리적인 대책공 설계에도 기여할

것으로 판단된다.

## 참고문헌

- 권오일, 김교원, 박덕근, 2000, 퇴적암 지역의 자연사면 안정성, 지질공학, 10, 3, 205-216
- 서용석, 윤운상, 2004, 3차원 사면안정해석에 관한 소고, 지질공학, 14, 2, 235-241
- 최정찬, 백인성, 2002, 황령산 산사태 원인 분석에 대한 연구, 지질공학, 12, 2, 137-150
- 釜井俊孝, 守隨治雄, 太田英将, 原口強, 2000, 都市域における地震時斜面災害のハザードマップ-宅地盛土斜面の変動予測-, 日本応用地質学会, シンポジウム論文集, 25-37
- 日本建設省土木研究所 砂防部地すべり研究室, 1986, 道路建設に伴う切土工による地すべりの実態, 土木研究所資料 第2288号
- 太田英将, 林義隆, 2001, 周縁部摩擦効果を考慮した地すべりの3次元安定解析, 地すべり, 38, 3, 95-100
- 山崎孝成, 眞弓孝之, 由田恵美, 高純度粘土鉱物のリングせん断特性-すべり面粘土との対比-, 2000, 地すべり, 37, 2, 30-39
- Ohta, H., Hayashi, Y., Kokugan, S., 2000, A study of three-dimensional analysis of slope stability(part 2), 日本地すべり学会研究発表会, 59-60.
- Ohta, H. and Hayashi, Y., 1998, A study of three-dimensional analysis of slope stability (part 1), 日本地すべり学会研究発表会, 441-444.
- Stark, T., Eid, H., 1998, Performance of three-dimensional slope stability methods in practice, J. of Geotech. and Geoenviron. Engng, 124, 11, 1049-1060.

투 고 일 2004년 10월 29일  
 심 사 일 2004년 11월 15일  
 심사완료일 2004년 12월 2일

서용석  
 충북대학교 지구환경과학과  
 361-763 충북 청주시 흥덕구 개신동 산48  
 Tel: 043-261-2765  
 Fax: 043-276-9645  
 E-mail: ysseo@cbu.ac.kr

Hidemasa Ohta  
 Ohta Geo-Research Co., Ltd., Japan  
 Tel: +81-78-907-3120  
 Fax: +78-907-3123  
 E-mail: ohta@ohta-geo.co.jp

채병곤  
 한국지질자원연구원 지질환경재해연구부  
 305-350 대전시 유성구 가정동 30  
 Tel: 042-868-3052  
 Fax: 042-861-9723  
 E-mail: bgchae@kigam.re.kr

윤운상  
 (주)넥스지오  
 137-060 서울시 서초구 방배동 938-7  
 유니온빌딩 8층  
 Tel: 02-522-6116  
 Fax: 02-584-6117  
 E-mail: gaia@nexgeo.com