

붕적토 사면의 안정성 해석과 보강 대책에 관한 연구 -단양군 휴석동 붕괴사면을 중심으로-

A Study of Slope Stability Analysis and Reinforcement on Colluvial Soil Slope in Hyusok, Danyang

구 호 본 ^{*1}	Koo, Ho-Bon
이 중 현 ^{*2}	Rhee, Jong-Hyun
백 영 식 ^{*3}	Paik, Young-Shik

Abstract

In 1972, after the intensive rainfall of 456mm, the slope located in Hyusok, Danyang-Gun, failed and it caused the damage of two houses. In addition, the ground subsidence has been progressing till now. It is still anticipated that the future failure of the slope will block the flow of the Namhan River and cause disastrous results.

The purpose of this research is to choose appropriate stabilization methods based on the geotechnical investigation of the sites, and groundwater conditions, and slope stability analysis on colluvial soil slope on the basis of field measurements. The suggested stabilization methods are the installation of groundwater collecting system, horizontal drainage system, earth anchor and reinforced-earth retaining wall based on the consideration of movement characteristics of colluvial soil slope and geomorphic character of unstable slope.

요 지

충북 단양군 영춘면 휴석동 지역에 위치한 위험사면은 1972년 456mm의 집중강우에 의해 사면붕괴가 발생하여 가옥 2채 붕괴 등의 피해를 유발시켰으며, 지속적인 지반침하가 진행되고 있다. 남한강 하류에 접하고 있는 상기의 위험사면은 산사태에 의한 토사의 이동시 남한강을 덮치게 되어 그 유로의 변화를 일으켜 영춘면 지역의 침수 피해 등 대규모 재해를 일으킬 수 있는 위험성이 내재되어 있다.

본 연구는 상기 위험사면에 대한 지반조사, 지하수 특성 조사 등을 통해 붕적토 사면의 안정성 해석을 수행하여 최적의 보강 대책안을 제시하고 이에 따른 재해 예방을 도모하고자 한다. 보강대책은 붕적토 사면의 거동특성과 위험사면의 지형적 특성 등을 고려하여 집수정, 수평배수공, 앵커공 및 보강토 옹벽의 복합공법에 의해 위험사면의 안정성을 확보하는 방안을 제안하였다.

Keywords : Colluvial soil slope, Slope stability analysis, Reinforcements, Anchor, Horizontal drainage, Reinforced-Earth retaining wall

*1 정희원, 한국건설기술연구원 선임연구원
*2 정희원, 한국건설기술연구원 연구원
*3 정희원, 경희대학교 토목공학과 교수

1. 서론

충청북도 단양군 영춘면 휴석동 산30-1~산48번지 일대의 위험사면은 1972년부터 사면내 지반침하 및 사면붕괴가 발생하였고, 지속적인 지반침하가 진행되고 있다. 위험사면의 규모는 폭 약 180m, 높이 약 75m로 약 13,000㎡ 내외의 면적을 나타내고 있다.

본 연구는 단양군 휴석동 위험사면에 대한 현장조사와 지반 시추조사를 통해 붕괴토층 및 암반의 특성과 지하수 흐름특성 평가를 실시하고, 이를 근거로 사면안정해석을 실시하여 적절한 대책공법(안)을 제시함으로써 유사 붕괴 토사면의 안정성 확보를 위한 하나의 방안을 제시하고자 한다.

2. 사면조사

2.1 지형 및 지표·지질조사

2.1.1 지형

조사지역은 태백산맥의 서남부에서 분기하여 남서 방향으로 발달하는 소백산맥의 서편에 위치하며, 주요 능선은 대체적으로 북북동-남남서 방향으로 발달되고 있다. 조사지역의 산계는 북쪽으로 높이 솟아있는 세이봉(898.8m)의 능선이 북쪽에서 남쪽으로 가면서 비교적 완만한 경사를 보이는 곳에 해당되며, 조사지역에서 고지대

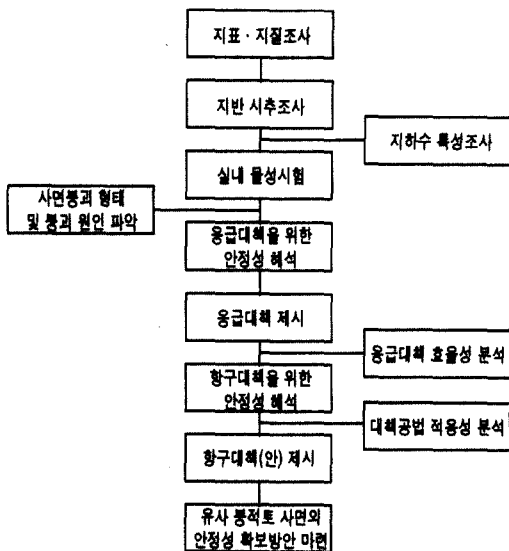


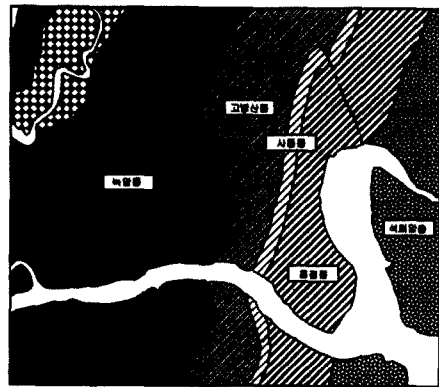
그림 1. 연구 수행 흐름도

의 지역은 풍화 및 침식에 강한 평안누층군 고방산통의 조립사암으로 구성되어 있으며, 하부의 완경사 지역은 세일층과 석탄층으로 구성되어 있어 비교적 풍화가 진전된 양상을 보이고 있다. 또한 조사대상 위험사면은 주변의 산지들로 둘러싸인 지형 특성에 의해 강우시 지표수와 지하수가 집중되는 특성을 보인다.

주요 하천은 조사지역과 인접하여 남한강이 사행하고 있으며, 특히 조사대상 사면은 남한강의 흐름으로 인하여 사면 저부가 침식작용을 받기 용이한 곳에 위치하고 있다.

2.1.2 광역지질

조사지역을 포함하는 영춘면일대는 한반도의 중요한 변성/변형대로 알려진 옥천변성대의 가장 북동쪽에 해당 하는 지역이다. 이 지역의 암상 분포는 캄브로-오르도비스기의 조선누층군 중 대석회암통에 대비되는 석회암과 이를 부정합으로 피복하고 있는 평안누층군의 홍점통, 사동통, 고방산통, 녹암통 및 대동누층군의 반송층을 포함하여, 시대 미상의 영흥층 및 고성석회암층 등으로 구성되어 있으며, 곳곳에 소규모의 백악기 화강암류가 관입하고 있다.



백악기	----- [석영반암]	
	----- 관입 -----	
쥬라기	----- [반송층]	대동계
	~~ 부정합 ~~	
삼척기	----- [석탄기 : 녹암통, 고방산통, 사동통, 홍점통]	평안계
	관개미상	
시대미상	-----	삼태산층, 갑산층
	~~ 부정합 ~~	
시대미상	----- [영흥층, 고성석회암층]	
	~~ 부정합 ~~	
오르도비스기	----- [대석회암통]	조선계

그림 2. 조사지역의 지질계통도(----- 조사지역의 기반암)

2.1.3 지질 구조

조사대상 위험사면을 구성하고 있는 평안누층군에서 나타나는 엽리 또는 층리의 주향과 경사는 각각 N10°~20°E와 20°~30°NW이며, 주변의 절개면에서는 노두 규모의 습곡구조가 수 개소 관찰된다. 조사지역에서 나타나는 중요한 지질구조로는 조사지역의 서쪽에서 북북동-남남서 방향으로 발달하고 있는 드러스트가 나타나며, 이러한 드러스트에 의해 조사지역의 서쪽에서 함탄층을 포함하는 사동통이 반복하여 나타난다. 드러스트는 후기에 발달한 북서서-남동동 방향의 주향이동단층에 의해 잘려져 있으며, 조사대상 지역의 동쪽으로는 추정 단층선이 지나간다.

2.2 지반 시추조사

15개 시추공에 대하여 NX코아링을 실시하여 조사대상 위험사면의 지반구성을 붕적토층, 잔류토층, 풍화암층, 연암층으로 나누었으며, 붕적토층의 분포는 지표하 5.7~

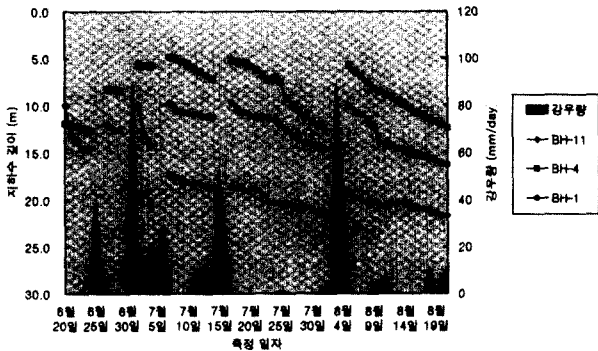


그림 3. 강우량과 지하수위 변동의 관계

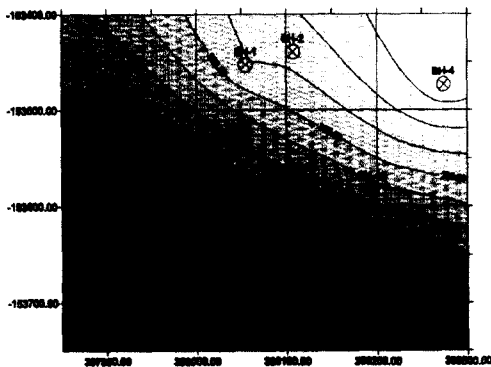


그림 4. 강우전(1997/8/1) 지하수위 등고선도

30.0m, 잔류토층은 15.8~17.5m, 풍화암층은 14.5~25.0m, 기반암은 5.7~30.0m로 확인되었다.

시추 굴진과 병행하여 표준관입시험을 실시하였으며, 이때 N값은 5~50이상으로 다양하게 나타남을 확인할 수 있었다.

2.3 지하수 특성조사

강우에 따른 지하수위의 변동을 파악하기 위하여 조사 기간 동안 지하수위 측정자료와 일일단위로 측정된 강우량 자료를 비교하였다. 이 결과, 조사대상 위험사면을 구성하는 붕적토층은 강우시 지표로 흘러내리는 수량이 많지 않고 대부분이 지하로 침투한다는 것을 고려할 때 현장 투수계수가 비교적 높을 것으로 추정할 수 있으며, 강우에 의한 지하수의 변동에 있어서도 강우 후 즉시 지하수위가 상승하는 것을 볼 수 있다(그림 3). 따라서, 조사대상 위험사면과 같은 붕적토 사면에 강우가 집중되면, 투수계수가 큰 붕적층을 거의 수직으로 투과한 지하수는 비교적 투수계수가 작은 기반암 상부를 따라 흘러 지반내 큰 수압이 발생될 수 있을 것으로 판단된다.

15개의 시추공으로부터 얻어진 지하수위 자료와 사면 저부의 지하수 누수지점 6개소를 사용하여 강우전(8월 1일)과 강우후(8월 5일)의 지하수위 등고선도를 작성하였다(그림 4, 그림 5). 이 때, 8월 1일과 5일 사이의 누적 강우량은 140mm였다.

조사지역의 지하수 흐름특성은 사면의 경사방향과 거의 일치하는 방향으로 이동한다. 즉, 조사지역의 지하수 흐름은 지형경사에 많은 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

2.4 강도정수 도출

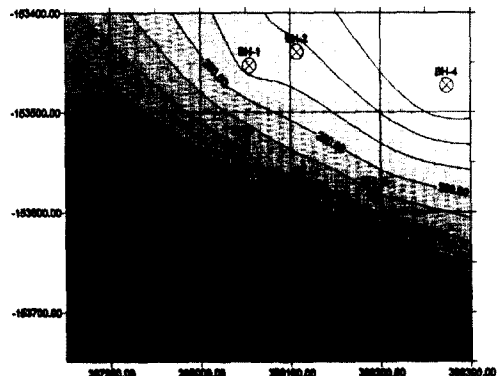


그림 5. 강우후(1997/8/5) 지하수위 등고선도

원지반 상태의 붕괴토 사면 구성재료에 대한 강도정수를 얻기 위해 블록 샘플(block samples)을 채취하여 체분석 시험, 입도분석시험, 함수비시험, 비중시험, 액·소성시험, 수축한계시험, 삼축압축시험 등을 실시하여 붕괴토층의 물성치를 도출하였으며, 그 대표값은 표 1과 같다.

표 1. 측정된 붕괴토층의 강도정수

	측정된 값	안정해석에 이용된 값	비고
c (t/m^2)	1.0~2.5	1.0	항구대책차원에서 최소값 채택
ϕ ($^\circ$)	23~28	23	

3. 붕괴원인 분석

3.1 지질학적 원인

조사대상 지역의 지질은 변성퇴적암, 화색사암, 편암 등으로 구성된 홍점토층으로 지질구조가 불규칙하고, 기반암 및 암반이 오랜 세월동안의 풍화·퇴적작용에 의해 견고한 지질구조를 갖지 못하고 있다. 특히 조사대상 사면의 토양은 자갈 및 돌이 많이 섞인 점성질 토사로 물의 유입시 수축·팽창이 용이하고 이로 인해 토사의 응집력이 감소하기 때문에, 강우시 산사태가 발생하는 주요한 원인이 되고 있다.

3.2 지형적인 원인

조사대상 위험사면의 경사가 평균 30° 내외임을 고려할 때, 지형상 사면 자체는 안정성을 이루고 있다고 볼 수 있다. 그러나 조사대상 사면에서는 직경이 1m 이상이 되는 호박돌, 자갈 및 흙 등이 전석층을 이루고 있기 때문에, 이에 의한 토층내 유효응력 증가와 토층의 하중 증가에 의해 사면 붕괴가 야기될 가능성이 있다.

3.3 남한강 홍수시의 포락침식

조사대상 사면의 최하단부는 홍수시 남한강 유수의 흐름으로 인하여 침식작용을 받아 토사가 유실된 상태로 상부사면을 지지할 수 있는 지지대를 상실한 상태이다. 특히 조사대상 사면은 남한강 하안의 곡선부에 위치하여 홍수시 유수에 의한 충격으로 사면 하단부의 침식이 지속적으로 진행된다고 할 수 있다.

3.4 강우에 의한 원인

조사대상 사면의 현장조사결과, 붕괴는 주로 장마철 집중 강우에 의한 우수의 침투로 사면내 지하수위 상승에 의해 발생한 것으로 판단하였다. 조사대상 사면 직상부는 지형 특성상 침수지형을 이루고 있고 특히 사면 구성 재료 특성상 강우시 지표수로 흐르지 않고 대부분 지하로 침투되는 특성을 나타낸다. 지하수위의 상승은 활동면이 위치하는 지반의 전단강도를 저하시키며, 우수의 침투와 더불어 상부 토괴의 함수비 증가로 인한 토괴 중량의 증가를 유발하여 토괴가 저항하려는 힘보다 활동하려는 힘을 크게 하여 지반활동이 시작되는 것으로 해석하였다.

전술한 바와 같이 조사대상 지역의 사면 붕괴는 여러 가지 원인이 복합적으로 작용하여 발생하였으며, 가장 큰 원인은 강우시 빗물이 투수성이 큰 붕괴층 지반으로 쉽게 침투하여 기반암에 도달하는데 비해 기반암은 거의 불투수층이므로 대수층이 되지 못한다는 것이다. 따라서 강우가 계속되면 침투수가 축적되어 지하수위를 상승시키고 이것이 지반활동을 일으키는 활동력으로 작용한다.

4. 응급대책방안

위험사면 조사시점이 5월인 관계로 도래하게 될 장마철에 대비한 사면의 안정성을 확보하기 위해 기존에 시공 중이던 시설물들을 가급적 유지하면서 효율성을 극대화하기 위한 응급대책이 제안되었다. 응급대책에는 주로 위험사면의 지하수위를 낮추기 위한 방안이 채택되었다.

4.1 응급대책을 위한 사면안정해석

조사대상 위험사면이 자연사면인 점을 감안하여 안정 해석에는 힘과 모멘트의 평형을 고려하여 원호 및 비원호 활동 해석에 용이한 Janbu의 간편법을 이용한 해석을 수행하였으며, 사용된 사면안정 해석 프로그램은 PCSTABL5M을 이용하였다. 사면안정해석에는 건조시와 포화시를 고려하여 지하수가 사면안정에 얼마만큼의 영향을 미치는가를 파악하였다. 이 때 포화시의 사면안정해석은 현장에서의 간극수압 계측이 실시되지 못한 관계로 예상 지하수위가 지표면에 존재하여 대상사면이 완전히 포화된 상태를 모델링하여 수행하였다.

대상 사면을 3개의 단면으로 나누어 안정해석을 실시한 결과 표 2와 같은 최소 안전율을 산정하였으며, 지하수

관련 건조기와 우기와의 안전율이 거의 1.7배 정도의 변화를 보이고 있는 것으로 나타났다. 즉, 조사대상 위험사면의 안전성 해석에 있어서 지하수위의 영향은 절대적인 것으로 추정된다.

4.2 응급 대책안 제시

응급 대책안은 크게 네가지 부분으로 나눌 수 있다. 첫째는 집수정 설치, 둘째는 집수정 연결 유공관 설치, 셋째는 수평 배수관 설치, 마지막은 사면의 되메움에 관한 시공이다(표 3 참조). 이들 전체 공법에 대한 도식은 그림 6과 같다.

4.3 응급대책의 효율성 분석

터파기 사면에 삽입된 수평 배수시설에 의한 경우 후지하수 배출량은 약 700~1,000m³/day에 달하였으며, 수위가 안정된 후에도 약 100m³/day의 지하수가 배수되고 있다. 안정 상태에서의 이러한 집수량은 일일함양량의 약 70%에 해당되는 것이다.

응급 대책후 측정된 평균 지하수위 심도와 사면안정의 한계상태인 안전율 1일 때의 지하수위를 비교하면, 실측된 평균 지하수위가 역해석에 의해 구해진 안전율 1일 때의 지하수위보다 낮게 분포하고 있어 수평배수관 설치에

의한 지하수위 저하로 사면안정에 큰 효과가 예상된다(표 4, 표 5).

또한 응급대책 이후의 실측 지하수위를 이용하여 사면안정해석을 수행한 결과, 각 단면의 최소 안전율이 안정측으로 확인되어 응급대책에 의한 지하수위 저하로 사면안정에 큰 효과가 있음이 확인되었다(표 6).

5. 항구대책방안

조사대상 위험사면의 항구적인 안정성을 확보하기 위하여 크게 두 가지의 사면안정대책방안을 제시하고자 한다.

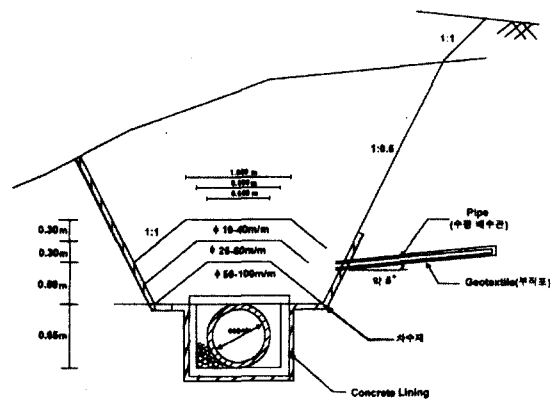


그림 6. 사면 안정성 확보를 위한 응급대책안 모식도

표 2. 최소 안전율 비교

	A-A' 단면	B-B' 단면	C-C' 단면
사면 건조시	1.475	1.388	1.430
사면 포화시	0.843	0.817	0.811

표 4. 안전율 1일 때의 지하수위 심도

	지하수위 심도(m)
A-A' 단면	2.94
B-B' 단면	2.68
C-C' 단면	3.82

표 3. 응급대책 시공 공정

시공 순서	설계 및 시공
① 집수정 설치	집수정의 설계 및 시공은 탑다운(top-down)공법을 채택하여 주변사면을 훼손하지 않는 범위에서 기반암까지 굴착하며, 지하수의 원활한 유입을 위하여 집수정 하단부에 직경 10cm 정도의 스트레너(strainer)를 10개 이상 설치하는 것이 바람직하다(그림 7).
② 집수정 연결 유공관 설치	유공관에 과도한 토압이 직접 가해지지 않도록 유공관 설치지점에 U자 형태의 기성 콘크리트 흡관(두께 5cm)을 설치하며, 상부에는 상부토압을 지지하기 위해 뚜껑을 설치한다.
③ 수평배수관 설치	햄마 타격식으로 심도 20~30m를 천공한 후 철제 스트레너를 설치함으로써 총적층 지하수를 배출시킨다. 이때 천공과 함께 보링공 유지를 위하여 케이싱을 설치하면서 굴진한다. 수평 천공이 끝나면 삽입용 철제 스트레너를 설치하는데 항구적 사용을 위하여 부식방지용 코팅을 한다. 또한 지하수 이동과 함께 세립물질에 의한 스트레너 막힘을 방지하기 위해 부직포를 이용하여 필터층을 만든다(그림 8).
④ 터파기 되메움	사면의 되메움부에는 50mm~100mm의 입자크기를 가지는 골재로 되메움을 실시하며, 상부로 갈수록 입자의 크기를 점점 세립화하는 약 1m 두께의 투수성이 양호한 배수층을 만든후 되메우기를 시공한다(그림 6).

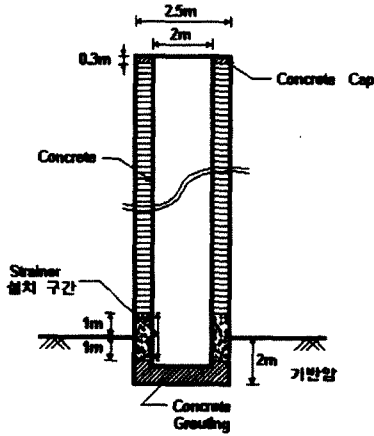


그림 7. 피압 집수정의 설계 예

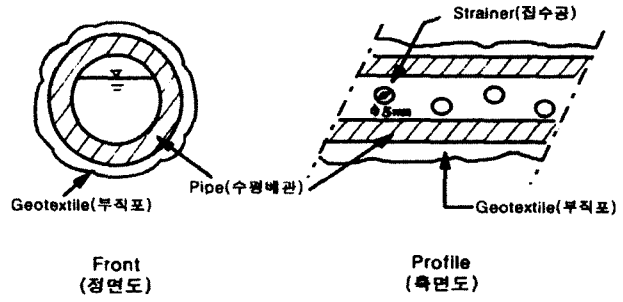


그림 8. 수평배수관의 단면도

표 5. 평균 지하수위 심도

공 번	평균 지하수위 심도(m)	공 번	평균 지하수위 심도(m)
BH-1	13.2	BH-9	13.0
BH-2	5.6	BH-10	-
BH-3	15.8	BH-11	19.8
BH-4	8.7	BH-12	18.4
BH-5	20.8	BH-13	18.0
BH-6	17.1	BH-14	12.9
BH-7	7.3	BH-15	6.2
BH-8	19.7		

표 6. 수평 배수공 설치 후 실측 지하수위를 적용한 안정해석

	최소 안전율
A-A' 단면	1.389
B-B' 단면	1.308
C-C' 단면	1.344

표 7. 앵커 설치에 의한 해석

	상단 앵커의 위치(m)		하단 앵커의 위치(m)		인장력 (ton)	타설각 (°)	앵커 길이 (m)	안전율
	X	Y	X	Y				
B-B' 단면	118.6	217.0	111.6	215.0	50	20° 하향	25	1.463
C-C' 단면	111.1	217.0	106.5	215.0	50	20° 하향	30	1.474

먼저 위험사면 중심부를 따라 2단의 앵커를 설치하는 방안이 고려되었는데, 이는 위험사면 상부에 도로건설 성토 작업에 따라 발생하는 토하중 증가 및 국부적 사면붕괴촉진에 대한 방지대책이다. 또 다른 대책은 사면의 미끄러짐에 대한 사면저부에서의 지지력 증가와 남한강 흐름에 의한 사면저부의 세굴방지를 위하여 보강토옹벽(reinforced-earth retaining wall)을 설치하는 것이다.

표 8. 콘크리트 옹벽과 보강토 옹벽의 비교

콘크리트 옹벽	보강토 옹벽
<ul style="list-style-type: none"> - 타공법에 비하여 시공실적이 많음. - 보강토 옹벽에 비해 상당히 큰 지반지지력을 필요로 함. - 현장타설에 의해 시공되므로 공기가 많이 소요됨. - 강성구조로 부등침하에 취약함. 	<ul style="list-style-type: none"> - 연성구조로 어느정도의 부등침하에 대해서도 안정함. - 공장제품을 사용하여 시공하므로 공사기간이 짧음. - 다짐층이 얇기 때문에 고품질의 성토시공이 가능함. - 중력식 옹벽에 비해 공사비가 25~30% 저렴함. - 구조물의 성능이 성토재와 보강재의 마찰특성에 큰 영향을 받으므로 양질의 성토재 요구. - 성토 다짐시 변형이 유발될 수 있으므로 정밀시공이 요구됨.

5.1 앵커 설치

붕괴토층의 심도가 깊고 규모가 큰 관계로 앵커가 저항해야 할 하중도 매우 크게 나타난다. 이러한 하중을 지탱하기 위해 2단의 앵커를 설치하고, 앵커판을 설치함으로써 불안정사면 전체에 걸쳐 하중분포를 고르게 분포시킬 수 있다(표 7).

정착길이는 B-B' 단면과 C-C' 단면이 5~10m로 계산된

다. 따라서 조사대상 위험사면의 앵커 정착지점은 기반암이며, 정착길이는 10m내외로 설치함으로써 각각의 해당 단면에서 앵커에 작용하는 인장응력을 충분히 발휘할 수 있도록 한다. 앵커의 정착부는 시멘트 그라우팅을 실시하여 암반에 대한 밀착도를 높이며 장기적으로는 앵커의 부식을 방지한다. 이때 그라우팅 시공에 정밀을 기함으로서 시간에 따른 인장응력의 저하를 방지할 수 있다.

5.2 보강토 옹벽의 설치

위험사면의 안정성 확보를 위한 또 하나의 항구대책은 사면 하단부에 보강토 옹벽을 시공하는 것이다. T형 콘크리트 옹벽과 보강토 옹벽의 경제성 및 시공성을 비교 검토한 결과, 하안 침식 방지와 상부 이동사면의 사면 저부 지지력 향상을 위하여 보강토 옹벽 시공이 더욱 경제적이고 조사대상 위험사면에 적절한 것으로 판단된다(표 8). 특히 강물의 월류에 의한 옹벽의 토사 유출을 방지하기 위하여 부직포를 이용한 보강재를 사용하여 지지력의 향상과 함께 보강토 옹벽의 전면에는 자연석을 설치하여 강에 의한 사면하부 세굴 방지와 자연친화적 시공법을 채택한다.

보강토 옹벽의 전면부는 인근 하천에서 쉽게 구할 수 있는 자연석으로 시공하며, 뒷부분은 부직포 보강토층을 설치한다. 이때 자연석층과 보강토층과의 일치성을 유지하기 위하여 자연석과 보강토층을 연결하는 보강재를 추가로 일렬로 설치한다. 조사대상 위험사면의 경우는 남한강변에 위치하고 있으므로 집중강우에 의한 하천수의 월류로 인하여 사면보강 구조물이 손상을 입을 우려가 있으므로 강물의 침식에 최대한 지지할 수 있는 방안의 수립이 매우 중요하다.

이상과 같이 붕적토층으로 구성된 위험사면에 대한 응급대책과 항구대책을 마련함으로써, 유사한 지반구조를 가지는 위험사면에 대한 대책방안의 한 예를 마련하였다.

6. 결론

- (1) 단양군 휴석동 위험사면은 1972년 붕괴된 이래 지속적으로 붕괴가 진행되고 있으며 붕괴심도는 지표하 약 8~10m이다. 사면붕괴의 형태는 슬럼프 형태를 보이고 있다.
- (2) 단양군 휴석동 위험사면의 붕괴원인은 첫째로 붕괴사면 상부에 발달된 강우 함양지역, 둘째로 대부분의 강우가 지표밑으로 침투하는 토층의 투수 특성, 그리고

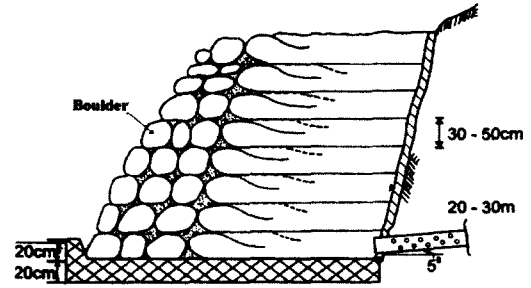


그림 9. 보강토 옹벽의 표준 단면도

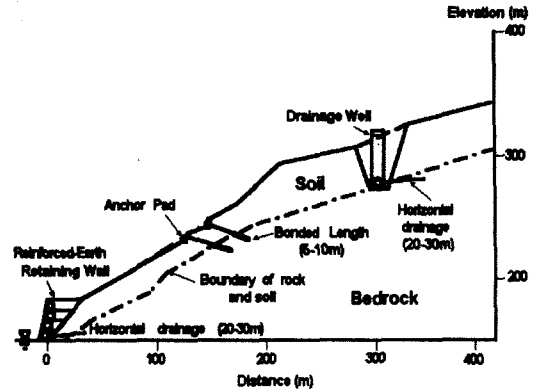


그림 10. 붕적토층으로 구성된 단양군 휴석동 위험사면에 대한 보강대책(안)

세번재로 지질학적으로 홍점통과 사동통에 해당하는 불안정한 지질조건 등을 들 수 있다.

- (3) 사면안정해석 결과 사면불안정의 주된 요소는 지하수위의 상승으로 분석되었다. 따라서 불안정 사면에 대한 응급조치로서 사면상부 수평배수공 설치에 의한 지하수위 저하를 시도하였다. 수평배수공에 의한 지하수 배출량은 강우시 약 700~1000m³/day에 달하며 사면붕괴 위험성을 감소시키는데 기여하였다.
- (4) 사면의 중심부에 2단의 앵커공법을 제안하였으며, 안정해석 결과 사면의 안전율을 1.5이상으로 향상시킬 수 있었다.
- (5) 사면의 지지력과 하천에 의한 침식 방지를 위한 사면 저부 대책공법은 사면 자체가 이동 중에 있으므로 강성의 콘크리트 옹벽 등의 구조물보다 연성의 구조물인 토목 섬유를 이용한 보강토 옹벽을 제안하였다.

참 고 문 헌

1. 건설부(1988), 방재종합대책 중장기 계획조사 보고서(3권), 건설부
2. 도화지질(주)(1997), 휴석동 산사태 방지공사 지반조사보고서, 도화

- 지질(주), pp.1~120
3. 박승태역(1994), 최신의 사면안정공법, 기술경영사
 4. 안종욱(1992), 최신토목지질학, pp.1~35
 5. 태백산지구지하자원조사단(1962), "태백산지구 정밀지질조사도-영춘도폭", 대한지질학회, pp.1~15
 6. 한국건설기술연구원(1989), 사면의 안전진단 및 보호공법, 한국건설기술연구원, pp.40~60
 7. 한국건설기술연구원(1997), 단양군 휴석동 불안정 사면 안정성 해석과 보강 대책안 제시 연구, 한국건설기술연구원
 8. 한국지반공학회(1995), 휴석동 산사태조사 원인규명 및 대책공법 연구 보고서, 한국지반공학회
 9. A. Keith Turner et al.(1996), Landslides investigation and mitigation, Transportation Research Board, pp.53~57
 10. Bieniawski, Z. T.(1989), Engineering Rock Mass Classifications, John Wiley & Sons, pp.186~191
 11. Koo, H. B., Hong, S. W., Rhee, J. H., Bae, H. C.(1998), "Slope Stability Analysis and Reinforcement on Unstable Slope in Hyusok, Danyang", 51st Canadian Geotechnical Conference, pp.65~72
 12. Lee, W Abramson, (1996), Slope Stability and Stabilization methods, John Wiley & sons
 13. Roy E., Hunt(1984), Geotechnical engineering investigation manual, Mc Graw-Hill book company

(접수일자 2000. 6. 1)