

단양지역 붕적토 붕괴사면의 안정평가

배우석[†] · 이봉직^{*} · 장광택

청주대학교 이공대학 토목환경공학과 · ^{*}충주대학교 토목공학부
(2007. 4. 16. 접수 / 2007. 6. 14. 채택)

Slope Stability Assessment for Colluvial Soil Slumps of the Danyang Region

Woo-Seok Bae[†] · Bong-Jik Lee^{*} · Kwang-Tak Jang

Department of Civil and Environmental Engineering, Chongju University

^{*}Division of Civil Engineering, Chungju National University

(Received April 16, 2007 / Accepted June 14, 2007)

Abstract : In this study, a documentary survey, face mapping, and stability analysis were performed on the collapsed colluvial soil slope. The purpose of this paper is to identify the cause of slope failure and determine slope stability for similar areas. Boring samples were extracted from the slump and laboratory tests were performed to find out the cause of slope failure. In addition, the limit equilibrium method was used in order to determine the stability of the slope. As a result of this investigation and the analysis of data, the type of collapse and cause of slope failure have been shown to have a strong correlation with the natural geographical and geological features which make up the collapse profile of the study area. These results will help to develop guidelines for formulating countermeasure methods.

Key Words : colluvial soil, face mapping, collapse profile, countermeasure methods

1. 서 론

국내의 비탈면 붕괴는 대부분 해빙기나 우기에 발생되고 있으며 다양한 방재대책에도 불구하고 많은 대규모 붕괴가 보고되고 있다. 그러나 이러한 비탈면 붕괴 문제는 주로 파괴가 발생된 후 추가적인 붕괴를 막거나 붕괴된 비탈면의 안정화를 위한 공법을 결정하는 사후처리에 집중되고 있으며, 가장 근원적인 붕괴의 원인을 규명하거나 기록하는 문제에 있어서는 상대적으로 소홀히 진행되고 있다.

일반적으로 비탈면의 붕괴는 붕괴구간의 전단강도 감소는 물론이고 주변지반에 영향을 미치게 되며 이로 인하여 이미 붕락이 발생한 구간의 주변에서 다른 구간에 비해 추가적인 붕괴가 쉽게 발생하고 있다. 또한 이러한 붕괴는 기존의 붕락지역에 다시 영향을 주게 되어 동일 장소에서 다회의 추가적인 붕괴가 발생하게 되며(구호분, 2000), 붕적토인 경우

더욱 심화되는 경향을 나타내고 있다. 또한 점토성분이 많이 함유된 붕적토 지반의 경우, 투수성이 작기 때문에 해빙으로 인해 간극이 포화되면서 자연 함수비가 액성한계 수준까지 증가되며 지반의 전단강도가 급격히 저하되어 사면의 활동 가능성을 증대시키는 경향을 보여주고 있음을 다양한 사례를 통하여 밝히고 있다(강인규, 2005).

따라서 기 붕락이 발생된 구간 중 인접부의 지형적, 지질학적 상태에 따라 추가적인 비탈면 붕괴에 대처하거나 기 파괴가 발생된 비탈면의 보강구간의 결정 시 이러한 영향을 충분히 고려할 필요가 있다.

이와 같이 붕적토 사면이 파괴를 발생시키는 원인을 파악하고 유사사면에 대한 사면안정대책안의 방향을 제시하기 위하여 충청북도 단양군에 위치한 두 지역의 유사한 붕적토 붕괴사면을 선정하였다. 선정된 대상사면은 지형 및 지질학적 특성을 파악하고 과거와 현재의 붕괴가 가지는 상관성을 비교·평가하였으며 이를 위하여 현장에서 지반조사를 실시하고 지표지질조사와 안정해석을 수행하였다.

[†] To whom correspondence should be addressed.
wsbae@cju.ac.kr

2. 비탈면 현황조사

본 연구는 충청북도 단양군 일대의 파괴지역 중 두 구간을 대상구간으로 하였으며 사면하부가 남한강에 접하고 있는 무한사면의 기슭에 위치하고 있다는 공통점을 가지고 있다.

2.1. 지형 및 지질

A현장은 홍점동의 세일과 사암, 석회암층과 단층이 발생된 사동동이 사암과 세일로 구성된 고방산통으로 이루어져 있으며 남한강 주변은 신기하성층으로 모래와 자갈, 점토와 니트로 구성되어 있다. B현장은 Shale과 사암으로 이루어진 고방산통을 중심으로 막골석회암과 Shale, 석회암층의 홍점통으로 구성되며 남한강 주변은 모래와 자갈의 충적층이 부정합으로 덮고 있는 상황이다.

두 현장의 활동파괴지점은 모두 홍점통이나 고방산통의 Shale, 사암, 석회암 등 퇴적암류를 모암으로 형성되어 있으며 단층 등의 지각작용으로 열화가 심하며 풍화·퇴적의 반복으로 인하여 구조적으로 불안정하고 파쇄가 매우 심한 구간에 위치하고 있는 것으로 나타났다. 또한 지형학적으로 붕괴발생지역이 남한강의 만곡부에 위치하여 사면하부가 홍수위시에 포락·침식의 영향을 크게 받은 흔적이 발견되었으며, 매우 느슨한 충적층으로 수분에 의한 팽창이 심한 지층인 것으로 조사되었다(한국지반공학회, 1995).

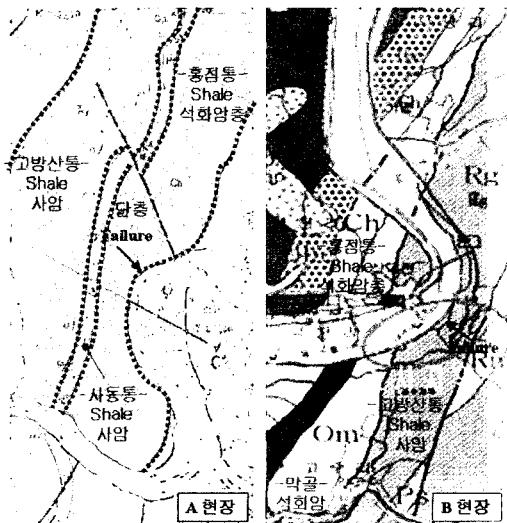


Fig. 1. Geological map.

2.2. 기상

대상비탈면의 붕괴에 미치는 강우의 영향을 분석하기 위해 강우기록(www.wamis.go.kr)을 분석하였다. 최대월별강우량을 평가해본 결과 A현장은 1976년 420mm를 기록한 이후 1988년 849mm, 1995년 610mm, 2002년 566mm 등을 기록하였다. 1회의 연속강우에 대한 누가강우량의 최대치는 1988년 7월에 7일간 발생한 435mm로 나타났으며, 1995년은 8월에 발생한 집중호우와 태풍 ‘제니스’로 남한강의 수위 상승이 발생되고 이로 인해 벼랑부의 포락침식이 의심되었다. B현장도 1983년 강우로 인한 1차 붕괴 이후 1995년 제니스의 영향으로 8월간 537mm의 강우가 기록되었으며, 2002년 8월간 단양읍과 가곡면에서 각각 총 641, 433mm의 강우량을 보여 태풍기간동안 69, 95%의 강우가 집중되었던 것으로 조사되었다(한국 수자원학회, 2002년 홍수피해 종합 조사보고서). 이상과 같은 지속적인 강우로 인한 침투압의 상승이 불안정한 지층의 전단응력의 증가를 유발하였으며 표층부를 중심으로 봉적층의 장기저동에 영향을 미치고 남한강의 급작스러운 수위 상승으로 인한 침식이 사면 하부의 응력해방을 유발하여 대규모 붕락을 발생시키는 한 가지 원인이 된 것으로 판단된다.

2.3. 지표지질조사

A현장은 단양군 영춘면 휴석동 일대로 1972년 8월에 단양지역 누적강우량 456mm의 집중강우로 국부적인 지반활동 발생한 후 1990년 9월 지반침하와 융기현상이 심화되고 1995년과 2006년에 지속적인 유동이 발생되어 1997년, 2006년에 추가적인 보강 대책안이 제시되는 등 30여 년 동안 논란의 대상이 되어 왔던 지역이다.

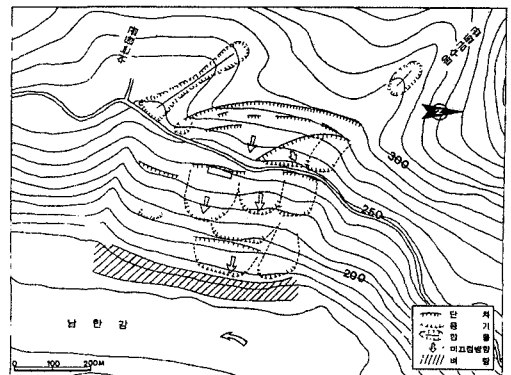


Fig. 2. Face mapping of the A area(1995년).

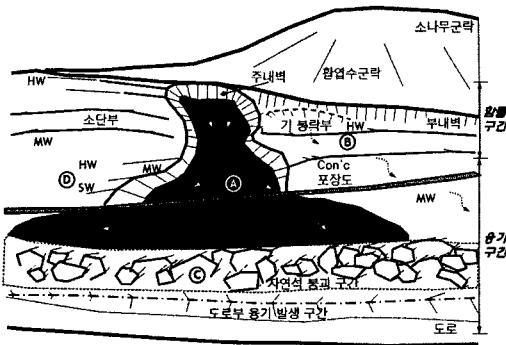


Fig. 3. Face mapping of the A area(2006년).

1990년 이후 지속적인 변위발생 후에 1995년에는 높이 75m인 약 180m의 구간에서 붕괴가 발생되어 현재에 이르렀으며 2006년은 대책안이 시공된 기봉락부와의 경계면에서 약 60m에 이르는 추가적인 붕괴가 발생되어 도로의 50% 이상이 용기로 인한 피해를 받고 있는 상황이다. 붕괴된 비탈면은 지표 대부분을 모래, 자갈 및 전석의 혼재가 매우 심한 붕적토층이 피복하고 있고 퇴적암류인 기반암이 구조적으로 불안정한 상태이다.

B현장은 단양군 가곡면 사평리 일대로 1983년 부분적인 붕괴를 시작으로 1987년 2차 보수가 시행되고 1995년 대규모 붕괴가 발생되어 보강이 실시된 후 지속적인 변형을 보였으며 2002년 태풍 루사로 인한 피해로 추가적인 안정검토와 안정대책이 강구된 바 있으며 2006년 또다시 추가적인 변형이 발생된 것으로 조사되었다.

B현장은 약 700m 구간에서 상부사면의 붕괴와 하부도로부의 용기 및 이동이 발생되어 있으며 이로 인한 주변구조물의 파괴가 관찰되고 심한 파쇄와 단층점토의 존재를 확인하였다. 대상현장은 1972년 집중호우에 의한 변형이 관측된 이후로 수회의 응급복구와 회전활동, 지반 변형, 위험지 복구 등이 반복되고 있는 기 보강구간과의 경계부를 형성하고 있는 구간으로 하부사면이 남한강과 맞닿아 있으며 하천이 사해하도를 형성하고 있어 하도침식의 가능성을 보이는 지형을 나타내고 있다. 또한 붕락비탈면의 상부에는 붕적토층으로 낙엽과 관목이 붕괴된 토사와 암편, 호박돌과 함께 표층부를 피복하고 있는 것으로 조사되었다.

Fig. 5는 A현장과 B현장에서 각각 1995년과 2002년에 발생된 대규모 붕적토 붕괴부의 인접구간에서 발생된 활동으로 A현장의 경우 최대 5m 지점까지 최대 80cm 높이로 용기가 발생되어 있으며, B현장

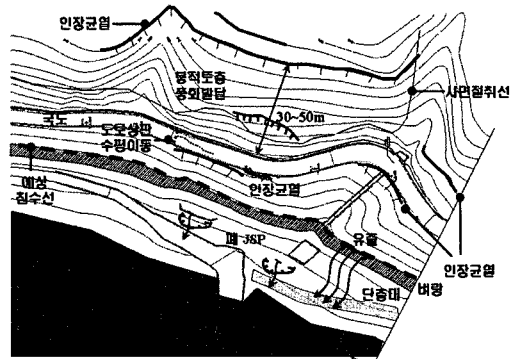


Fig. 4. Face mapping of the B area(2002년).

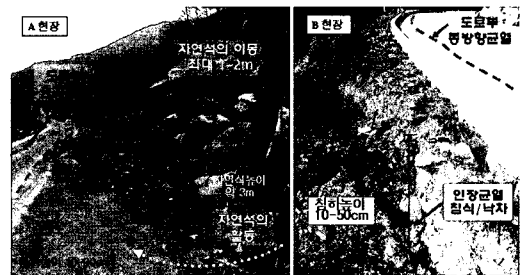


Fig. 5. Detail of the failure in study area.

의 경우에도 하부사면의 활동으로 인해 상부에 이동과 균열이 발생하는 등 기존 대규모 붕괴와 유사한 징후를 보이고 있어 추가적인 붕괴의 가능성을 예상할 수 있다.

두 현장에서는 모두 남한강과 접한 하부사면에서 침식과 포락에 의한 벼랑이 발견되어 상부사면의 응력해방을 예상할 수 있으며 하부지반의 변화가 오랜 기간 동안 상부사면의 포행을 유발하였음을 예상할 수 있다. 또한 느슨한 붕적토층의 인장균열이 여러 장소에서 발견되었으며 사면하부에서 유출수가 관찰되어 기반암부의 단층, 파쇄와 풍화로 인한 유로의 형성 등 지표수의 유입이 용이한 지층구조를 가지고 있는 것으로 조사되었다. 또한 붕적토층의 장기간의 포행은 지층의 구조적인 불안정성을 확대시키고 있음을 추가적인 붕괴를 통하여 확인하였다. 이를 통하여 사면의 붕괴는 다양한 원인이 복합적으로 작용하여 발생되며 주변지역의 붕괴이력이 현사면의 안정성에 많은 영향을 미칠 수 있음을 문헌조사와 현장조사를 통하여 확인할 수 있었다.

3. 현장조사 및 실내시험 결과

3.1. 시추조사결과

Table 1. Results of boring test(A area, 1995)

BH	혼전 석층	풍화 토층	연암 층	계 (m)	BH	혼전 석층	풍화 토층	연암 층	계 (m)
1	7.5	2.5	2.0	12.0	5	6.5	3.0	2.5	12.0
2	10.0	-	2.0	12.0	6	5.5	2.5	2.0	10.0
3	6.0	2.5	1.5	10.0	7	4.0	3.0	3.0	10.0
4	7.3	2.2	2.5	12.0	8	3.5	4.5	2.0	10.0

본 연구대상구간에서 실시한 시추조사결과, A현장의 경우 매립층과 봉적토층이 실트질 점토나 모래가 섞인 전석 또는 자갈로 구성되어 있으며, 모암을 이루는 연암층은 절리와 층리가 발달한 세일과 석회암류로 이루어진 것으로 조사되었다. 또한 시추시 암반층 내에서는 누수율이 90~100%로 대부분의 순환수가 지층의 절리나 파쇄층 사이로 소실되는 것으로 나타났으며, 채취 시료에 대한 T.C.R은 78~90%로 평가되었고 R.Q.D는 0~13%로 매우 불량한 암질을 보이는 것으로 나타났다.

B현장의 경우 매립층은 실트질의 모래섞인 전석으로 구성되어 있으며 봉적토층 또한 실트질의 점토 섞인 전석이나 자갈질로 매우 느슨하며 시추시 누수율이 100%로 모암으로부터 파쇄되거나 풍화로 인해 분리된 암석층이 테일러스의 형태로 적재되어 있음을 예상할 수 있다. 또한 기반암층도 단층파쇄대 구간이 비교적 깊어 불안정한 구조를 지니고 있음을 확인하였으며 T.C.R은 14~100%로 평가되었고 R.Q.D는 0~55%로 매우 불량한 암질을 보이는 것으로 나타났다.

따라서 모암층은 파쇄나 절리로 인한 불안정층으로 지표수나 지하수의 유입이 용이하여 지층 팽창의 원인이 되고 있음을 확인하였다.

Table 2. Results of boring test(B area, 2002)

공번 BH	매립 토층	봉적 토층	기반암			계
			풍화토 풍화암	단 층 파쇄대	연암	
1	4.0	6.3	-	-	11.2	21.5
2	1.6	-	-	-	9.4	11.0
3	6.4	-	11.6	9.0	17.8	44.8
4	4.3	3.8	-	7.1	26.6	41.8
5	12.8	0.9	-	1.1	18.2	33.0
6	5.3	-	-	-	12.7	18.0
7	6.3	2.7	-	10.0	20.0	39.0
8	2.5	-	2.5	3.5	23.5	32.0
9	9.0	-	2.0	3.0	24.0	38.0
10	7.7	-	4.1	1.7	25.5	39.0
11	4.2	-	5.9	6.6	27.9	34.6

이상의 조사 결과로부터 두 지역 모두 단층등의 지질학적 원인에 의한 불안정을 확인하였고 10m 내외의 봉적토층으로 피복되어 있으며 봉적층을 구성하는 전석과 자갈로 인한 하중증가가 표면부의 활동을 유발하고 있음을 알 수 있다. 또한 기반암층은 누수율이 크고 암질이 불량할 정도로 파쇄되어 지표수 유입이 용이하며 이로 인한 간극수압의 증가를 예측할 수 있다.

3.2. 실내시험결과

A현장의 경우 1995년 대규모 붕괴 시 시행된 토질시험에 의하면 봉적층과 기반암 사이에 풍화토층이 존재하며 이러한 풍화토는 실트질 모래로 분류되었고 봉적층은 주로 입도분포가 좋지 않은 자갈(GP) 및 모래(SP)인 것으로 나타났으며 붕괴가 발생된 내벽(Scarp) 주변에서는 세립분이 함유되어 있는 사질층(SM)이 혼재되어 있는 것으로 분석되었다. B현장의 봉적토층은 모래(SW, SP)질과 세립분이 함유된 실트질모래(SW-SM)인 것으로 조사되었다. 단층대에 발견된 단층점토의 경우는 점토질모래(SC, SM)인 것으로 분석되었다. 압축강도시험결과 A현장에서 135~1796kg/cm²의 범위를 나타내고 있으며, B현장에서는 285.9~2682.6 kg/cm²를 보이고 있다. 압축강도시험은 NX 시추결과 두 현장 모두 파쇄가 심하여 점하중시험과 병행되었으며 실험결과가 풍화암~극경암까지 광범위한 것은 시편의 지구물리학적 파쇄와 빠른 풍화에 기인하는 것으로 판단된다.

A현장의 붕괴는 내벽과 기반암층의 경계부에 존재하는 세립질 모래로 구성된 풍화토층을 기저로 활동이 발생된 것으로 평가되었으며 B현장의 경우에도 봉적토층의 세립분이 붕괴면의 활동에 영향을 미치고 있으며 사면하부의 단층점토층도 지하수·표면수의 유입에 의한 흡수와 팽창으로 대규모 활동의 원인이 되었을 가능성이 매우 큰 것으로 조사되었다.

4. 봉적사면의 안정성 평가

본 연구에서는 지표지질조사 결과 표층부가 매우 느슨하며 팽창성이 큰 세립분이 포함되어 있으며 지표수나 지하수의 유입이 용이한 구조를 보이고 있어 강우로 인한 수위의 상승이 미치는 영향이 중요하게 작용할 것으로 판단되어 대상구간의 대표단면에 대해 한계평형해석을 수행하였다. 해석은 STABL5M, TARLEN과 같은 범용한계평형해석 프로그램을 이용하여다.

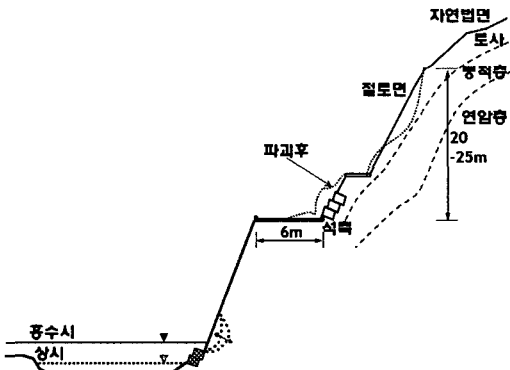
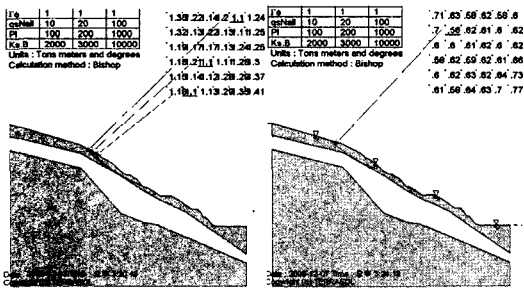


Fig. 6. Geological cross section of the A area.

A현장에 대한 안정성 검토결과 1995년 전체사면에 대해 건기시 1.226, 우기시 0.997로 수위의 영향을 크게 받고 있음이 확인되었으며(한국지반공학회, 1995), 2006년 붕괴에 대한 해석결과로는 건기 시 비탈면 전체에 대해 1.21, 상부 비탈면은 1.1로 나타났으며, 우기 시 사면 상부와 하부에서 각각 안전율이 0.56과 0.52로 사면 전체에서 우기시와 건기시에 모두 허용안전율을 만족하지 못하는 것으로 나타났다.



(a) dry condition (b) wet condition

Fig. 7. Results of LEM analysis(A area).

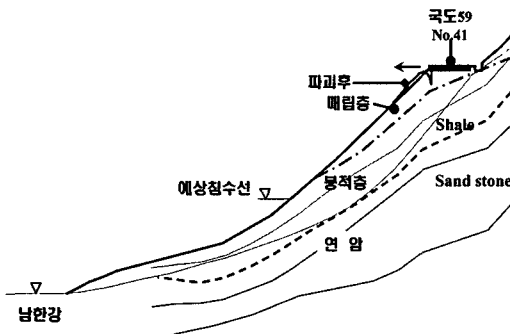


Fig. 8. Geological cross section of the B area.

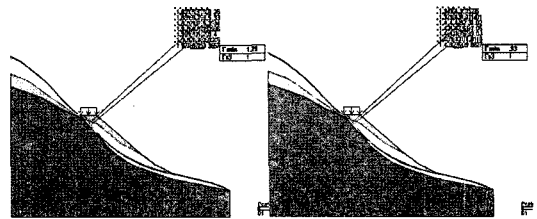


Fig. 9. Results of LEM analysis(B area).

따라서 본 현장은 지형적으로 우수가 계곡부로 유출되지 못하고 많은 양이 지하수로 유입되어 근원적으로 불안정한 지질구조를 가진 하부지층의 불안정성을 가중시키고 있으며, 우수의 침투로 인한 지하수위 상승과 상부토층의 자중증가, 붕괴층의 팽창에 의한 점착력 감소가 파괴의 주된 원인으로 판단된다.

B현장의 경우에는 인장균열이 발견되고 있는 하부사면에서 건기시 1.25, 우기시 0.93으로 기준안전율을 만족시키지 못하는 것으로 분석되었다. 대상사면의 경우에도 하부의 세일층이 우수의 침투가 용이한 들너덜(talus) 구조를 가지고 있으며, 풍화암층의 연화가 매우 빠르고 풍화가 깊어 유입된 우수와 함께 포행성 활동의 원인을 제공하고 있는 것으로 판단된다.

5. 붕괴토 사면의 붕괴원인

5.1. 지질 및 지형

단양지역에 위치한 두 현장은 표층이 공통적으로 실트질 토사가 섞인 모래 및 사력층으로 구성되어 있으며 이들은 지질구조가 불규칙적인 하부의 기반암을 부정합으로 피복하고 있다. 또한 단층의 발달로 세일과 석회암으로 구성된 기반암의 절리와 파쇄가 발달하여 누수율이 크고 암질이 매우 불량한 공동점을 보이고 있다. 이러한 지층은 우수와 지하수의 유입이 용이하여 유로를 형성하며 활동면으로 작용하였으며 상부의 붕괴층은 점질이 다수 포함되어 흡수로 인한 중량의 증가로 추가적인 전단강도의 감소효과를 나타내었다.

또한 지형적으로 붕괴가 발생된 두 지역이 모두 지표수의 유입이 용이하지 않아 지중 침투가 쉬운 구조이며, 하부사면이 모두 만곡부에 위치하고 있어 남한강의 수위상승에 의한 포락침식작용으로 벼랑부를 형성하여 응력해방에 의한 상부사면의 붕괴를 촉진시키고 있다.

5.2. 강우 및 침식

대상현장에서는 이상기후로 인해 강우강도가 산사태 경보를 초과한 경우에 사면의 포행이 심화되고 있는 것으로 관측된 바 있다. 이러한 현상은 5~10m에 이르는 심도까지 붕적층이 발달하여 혼재되어 있는 전석과 자갈층이 지하로의 침투를 유발하여 빠른 풍화작용을 일으키며, 두 지역이 모두 지표수의 배제가 원활히 이루어지지 않아 불안정한 지질구조와 함께 지반층의 침식을 가속화시키고 있다.

강우강도의 증가는 상부 붕적토층의 침식을 가속시키며 침식된 세립토사가 돌너덜의 형태로 구성된 하부암반층으로 유입되어 간극수압의 증가와 더불어 형성된 유로를 통하여 활동면의 전단응력을 증가시키고 있는 것으로 판단된다.

6. 붕괴사면에 대한 대책공법

붕괴가 발생된 두 현장은 붕적토의 포행이 상당히 진행되어 있으며 발달된 인장균열과 풍화, 지속적으로 증가하는 강우강도로 인하여 추가적인 활동을 예방하고 안정화를 도모하기 위하여 사면하부의 베틀부와 활동이 발생된 상부사면에 사면안정대책공을 적용하였다.

A현장은 지표수의 유입으로 인한 유로의 형성과 자중의 증가를 방지하기 위하여 항구적인 대책으로 사면의 상부에 수평배수공과 집수정을 설치하였다. 또한 붕적토지반의 추가적인 포행을 방지하기 위하여 2단의 앵커와 앵커판을 시공하여 하중을 분산하였다. 사면의 하부에는 보강토옹벽을 시공하여 만곡부에서의 침식을 방지하고 붕괴토층의 활동에 대한 저항력을 증진하였다.

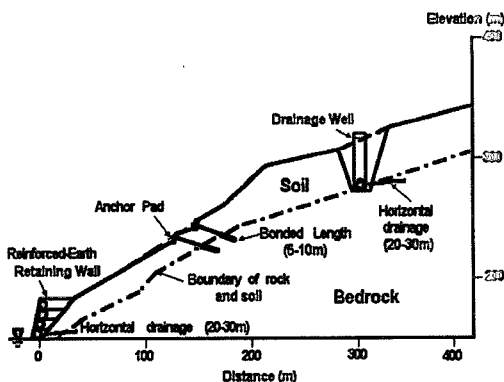


Fig. 10. Cross section after reinforcement, A area(구, 2000).

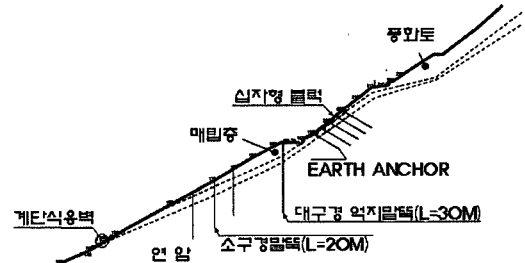


Fig. 11. Cross section after reinforcement, B area.

B현장의 경우에도 포행하는 붕적토의 추가적인 이동을 방지하기 위하여 인장균열의 발생부에 대구경 역지말뚝을 설치하였으며 하부사면은 소구경말뚝을 시공하였다. 남한강하부에는 계단식 옹벽을 시공하여 세굴을 방지하였으며 상부사면에는 앵커를 이용하여 붕적토지반을 보강하였다.

A현장의 경우 보강공법을 적용한 비탈면의 안정 해석 결과 기준안전율을 만족하는 것으로 평가되었으며 B현장의 경우도 충분히 안정성을 확보하고 있는 것으로 해석되었다. 따라서 지층의 불확실성을 해소하고 지속적으로 지반에 압력이 작용하므로 연쇄적인 붕괴를 막을 수 있는 앵커공법이 효과적일 수 있는 것으로 판단된다.

따라서 붕괴대상 비탈면에 대한 안정대책을 선정함에 있어 대규모 붕적토 붕괴지반에 대한 두 현장의 보강대책안은 유사한 지층구조를 보이는 구간에서 발생할 수 있는 파괴에 대한 대책방안을 제시할 수 있을 것이다.

7. 결론

1) 연구대상구간은 모두 Shale, 사암, 석회암 등의 퇴적암류를 모암으로 형성되어 있으며 단층 등의 영향으로 파쇄가 매우 심한 것으로 나타났다. 또한 붕적층은 세립분이 함유된 모래, 자갈층으로 구성되어 흡수로 의한 팽창 등 전단강도 감소요인에 노출되어 있는 것으로 조사되었다.

2) 붕괴구간에서는 모두 남한강과 접한 만곡부 사면에서 침식과 포락에 의한 베틀이 형성되었으며 응력해방에 의한 하부지반의 변화가 오랜 기간동안 상부사면의 포행을 유발하여 slump형의 붕괴유형을 보이고 있다.

3) 대상구간의 지층은 단층과 돌너덜로 누수율이 100%에 이르며 파쇄발달로 RQD가 불량하고 붕적토층은 발달된 인장균열로 상부의 지표수가 대부

분 사면하부로 유입되어 저부에 유로를 형성하기 용이한 지층구조를 가지고 있는 것으로 조사되었다.

4) 붕괴구간은 가중된 자중을 인한 추가적인 포행을 방지하기 위해 앵커공법을 적용하였으며 남한강 만곡부에는 옹벽공을 통하여 침식을 방지하여 추가적인 활동에 대한 저항력을 증대하였다.

이상에서와 같이 단양지역은 Shale, 사암, 석회암 등 퇴적암류가 지각작용으로 열화와 파쇄가 심하며, 이들 지층의 상부는 매우 느슨한 충적층과 오랜기간의 침식과 풍화, 퇴적에 의한 붕적토가 피복되어 팽창성이 큰 것으로 조사되었다. 이러한 불안정지층은 지반내부의 적층구조와 절리로 지표수의 유입이 용이하며, 이로인한 자중증가와 점착력감소로 포행과 장기적 활동이 유발되고 있다. 이러한 지층에 대한 안정해석결과 사면 하부에 옹벽공을 이용하여 침식을 억제하고 활동부는 앵커 등을 이용하여 억지함으로써 추가적인 포행을 방지하고 안정성을 확보되고 있음을 확인하였다.

이러한 사례 연구를 통하여 붕적토층으로 피복된 퇴적암층의 경우 장기간 동안 발생하는 포행과 활동을 방지하기 위하여 지표수의 유입을 최대한 방지하고 적극적인 전단강도 증진공법과 하부사면의 침식방지가 요구됨을 알 수 있었다.

따라서 본 연구에서는 이러한 사례연구를 통하여 대규모 사면 파괴로 인적·경제적 피해의 유발이 예상되는 유사한 지층구조를 가진 붕적토 사면의 조사 및 보강설계에 유용하게 적용할 수 있는 기초자료를 제공할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 1) 구호본, 이종현, 백영식, “붕적토 사면의 안정성 해석과 보강대책에 관한 연구”, 한국지반공학회 논문집, 제16권, 제6호, pp. 43~50, 2000.
- 2) 강인규, 류정수, “해빙기 붕적토 지반의 사면안정성 검토 사례”, 지반환경, 제6권, 제1호, pp. 22~26, 2005.
- 3) 한국지반공학회, “휴석동 산사태조사 원인규명 및 대책공법 연구 보고서, 1995.
- 4) 한국 수자원학회, “2002년 홍수피해 종합 조사보고서”, 2002.
- 5) 백승철, “안동 흑운모화강암 지역의 진행성 파괴 사면안정성 평가”, 산업안전학회지, 제15권, 제2호, pp. 103~110, 2000.
- 6) 국립방재연구소, “사면붕괴 유형별 원인과 저감대책 연구”, 국립방재연구소, 2002.
- 7) Turner, A. K. and Robert, L. S., “Landslides investigation and mitigation special report 247, Transportation research board national research council, pp. 36~369, 1996.