

식생공이 시공된 붕괴절토사면의 안정성 검토기법에 관한 고찰 A Consideration about Stability Investigation method of Failure Cut-Slope Covered by Vegetation

유기정¹⁾, Ki-Jeong Yoo, 구호본²⁾, Ho-Bon Koo, 이종현¹⁾, Jong-Hyun Rhee, 김승현¹⁾, Seung-Hyun Kim

¹⁾ 한국건설기술연구원 지반연구부 연구원, Researcher, Geotechnical Engineering Research Department, Korea Institute of Construction Technology

²⁾ 한국건설기술연구원 지반연구부 수석연구원, Research Fellow, Geotechnical Engineering Research Department, Korea Institute of Construction Technology

SYNOPSIS : In case of the national roads which is opened in the past, there are carried out the expansion and improvement for enlargement of the traffic demand by industrial development and safety road operation to narrow of road width and serious change of the road alignment with effect of topography and graphical features of a mountain. A protection method using vegetation in the cut-slope has been constructed for harmony of ambient environment after cutting the slope recently. But it requires a study because the surface lose and the failure have been occurred in the large cut-slope which is covered by vegetation. In this study it was presented a countermeasure and examined a stability of contained uncertainty in the cut-slope according to the failure example of the cut-slope which is covered by vegetation. The additional research will be necessary against the development of the investigation technique which executes the stability investigation of the cut-slope which is covered by vegetation.

Key words : countermeasure, uncertainty, vegetation, traffic demand

1. 서 론

과거에 개설된 국도의 경우 지형 및 산세의 영향으로 도로폭이 좁고 선형에 변화가 심하여 산업의 발전에 따른 교통수요의 증대 및 안전한 도로운영을 위해 국도의 4차선 확장 및 선형개량 등이 이루어지고 있다. 4차선 도로의 확장 및 신설 도로의 개설로 인하여 대절토사면의 형성이 불가피하게 되었으며 최근에는 주변환경과의 조화를 위하여 절취 후 절토사면 내에 식생공을 이용한 보호공법을 시공하는 추세이다. 그러나 식생공이 시공된 절토사면에서 표층유실 또는 표층붕괴가 발생되고 있어 이에 대한 연구가 필요한 실정이다.

본 연구는 식생공이 시공된 절토사면중 표층붕괴가 발생한 3곳의 절토사면을 대상으로 현장조사 및 안정성 검토를 실시하고 대책방안을 강구한 현장의 사례를 소개하고자 한다. 연구방법으로는 붕괴절토사면의 현장 조사, 자료 수집에 의한 붕괴규모 및 붕괴형태를 파악하고 붕괴원인을 규명하였다. 또한 수집된 자료 분석을 통한 안정성 검토를 실시하고 대책공법을 제시하였다. 이를 통해 식생으로 덮힌 절토사면의 안정성 검토에 관한 조사기법에 대해 고찰하고자 한다.

2. 붕괴절토사면 현황

대상현장 I 은 충주국도 관내에 위치하는 수안보터널 갱구부사면으로 2002년 4월 30일 집중호우로 인하여 붕괴가 발생하여 대책방안이 이루어졌다. 대상현장 II는 광주국도 관내에 위치하는 풀치터널 사면으로 국도 13호선 목포에서 영암방향의 왕복 4차로 구간중 영암방향 갱구부 사면에 해당된다. 본 사면은 도로개설에 따른 절토사면 시공 중에도 붕괴가 빈번히 발생하여 대책안이 여러차례 변경된 현장이며 2002년 5월 집중호우로 인하여 붕괴가 발생하여 대책이 마련되었다. 대상현장 III은 충주국도 관내에 위치하는 느릅재 절토사면으로 2002년 8월 태풍 “루사”에 의한 집중호우로 인해 붕괴가 발생하여 대책이 마련되었으며 2004년 태풍 “디엔무”에 의해 추가붕괴가 발생되어 대책이 마련된 현장이다.

표 1. 연구대상 절토사면

	대상 절토사면	연장(m)	높이(m)	경사(°)	기반암종	풍화등급	차선	비고
I	수안보터널 갱구사면	60	31	52	천매암	심한풍화~완전풍화	4	
II	풀치터널 입구부사면	384	49	58	화강암	심한풍화~완전풍화	4	
III	느릅재 절토사면	100	22	53	흑운모화강암	약간풍화~잔류토양	4	



그림 1. 수안보터널 갱구사면 전경

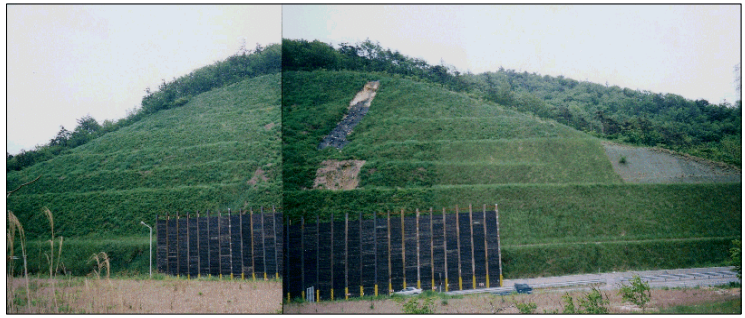


그림 2. 풀치터널 입구사면 전경



그림 3. 느릅재 절토사면 전경도 (1차붕괴 후)



그림 4. 느릅재 절토사면 전경도(2차붕괴 후)

3. 절토사면의 붕괴현황 및 안정성 검토기법

3.1 수안보터널 갱구사면

수안보터널 갱구사면의 붕괴규모는 폭 20 m, 높이 15 m, 깊이 2.0 m이다. 집중호우가 발생한 시점과 사면 조사시의 시간적인 차이가 있음에도 불구하고 사면 주변에 설치된 배수로와 지표수 용출 현상이 관찰되며 붕괴와 직·간접적으로 지하수 및 지표수의 영향이 미쳤을 것으로 사료된다(그림 5, 6). 붕괴 발생된 부분에서 기반암이 노출되어 있으며 암반의 불연속면에 대한 집중적인 조사가 수행되었다. 암반내에 발달하는 절리를 측정하여 등밀도 그래프로 나타내면 주절리 방향은 85/342(dip/dip direction, 이하 표기법 동일), 85/210, 89/342, 90/040, 80/300, 80/076, 40/036이 주를 이룬다.

3.2 풀치터널 입구부사면

수안보터널의 경우, 붕괴된 영역과 측면에 기반암을 조사할 수 있는 범면이 노출되어 현장조사시 육안 관측으로도 현장조사가 가능하였다. 반면 풀치터널 현장의 경우, 녹화 공법으로 식생공이 시공되어 있어 사면 조사를 수행할 수 없는 상황으로 물리탐사를 통하여 사면내 연약대 및 지하수 존재가 심한 부분을 추적하는 방안을 마련하였다. 본 지역에서 적용한 물리탐사 방법은 비저항 전기탐사방식인 Dipole-Dipole 방식을 채택하였으며 정밀탐사를 위하여 5 m 간격으로 송수신점(Pole)을 설치하였다. 탐사결과는 그림 7과 같다.

탐사결과를 분석해보면 붕괴 구간은 약 102~107 m 구간에 해당이 되며, 100~127 m까지 지표면이 포화되어 나타나는 것으로 나타났다. 102~107 m 구간의 심도 약 4 m 하부가 포화되어 있으며 심도 약 6 m 하부는 지하수의 유동가능성이 높은 것으로 나타났다.

3.3 느릅재 절토사면

느릅재 절토사면은 차별풍화에 의해 상단부 풍화암 및 풍화토 구간과 하단부 암반이 경계를 이루며 형성되어 있어 풍화가 심한 상단부에서 표층붕괴가 발생하였으며 붕괴폭은 10 m, 심도는 약 2 m이다. 본 사면의 경우 절토사면 전구간에 식생공이 시공되어 있어 일부구간의 붕괴에 의한 범면 노출부 이외의 현장조사에 한계성을 가지며 붕괴부 이외의 전구간에 대한 대책공법의 적용은 비효율적이다. 이에 본 절토사면의 추가적인 거동을 예측하기 위해 2003년부터 상시계측시스템을 설치·운영중에 있다.

계측기 운용중 2004년 6월 태풍 “디엔무”에 의한 집중강우에 의해 도수로부근에서 폭 5 m, 높이 10 m, 깊이 1.0 m 규모의 2차 붕괴가 발생하였다. 추가붕괴 발생 당시를 기준으로 느릅재 사면의 계측자료를 분석해보면, 12번 센서변위추적 결과 5, 6 단면부근(붕괴부 우측)에서 변위 발생 후 붕괴가 발생하였다(그림 8).

표 2. 절토사면 붕괴현황

	대상 절토사면	폭 (m)	높이(m)	깊이(m)	W/L(%)	ΔH/H (%)	비고
I	수안보터널 갱구사면	20	15	2	33.4	48.4	
II	풀치터널 입구부사면	10	20	2	2.6	40.8	
III	느릅재 절토사면	10	10	2	10.0	45.5	

W/L = 붕괴구간/사면연장, ΔH/H = 붕괴수직거리/사면높이

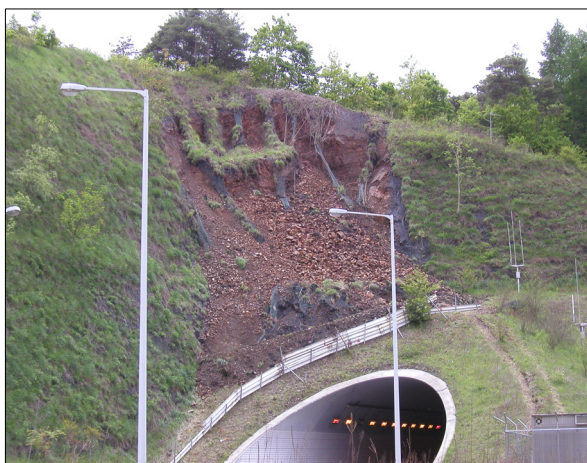


그림 5. 수안보터널 갱구사면 붕괴부 전경



그림 6. 붕괴부 세부전경(수안보)

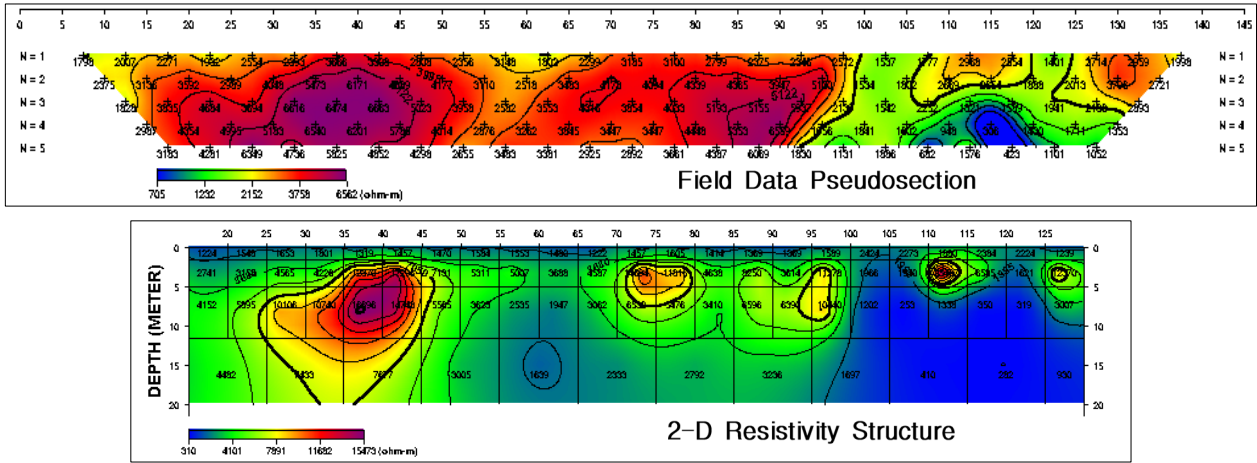


그림 7. 폴치터널 입구부사면 물리탐사 결과

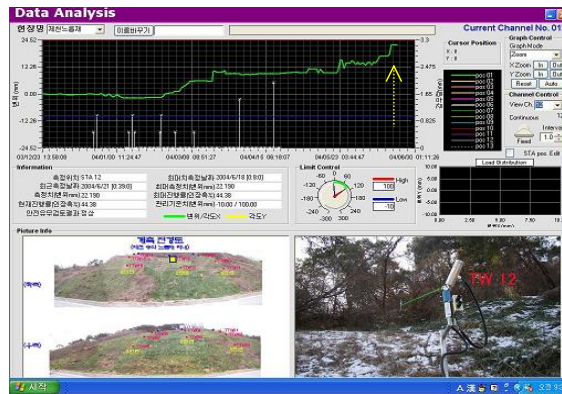


그림 8. 느릅재 절토사면 계측장

4. 붕괴절토사면의 보강대책(안)

수안보터널 갱구사면의 경우 암석의 풍화가 심하여 절리면을 따라 추가붕괴가 우려되므로 이를 예방하기 위해 1: 1.2의 구배로 절취를 실시하여 사면의 안정성을 높이는 방안이 제안되었다.

폴치터널 입구부사면의 경우 현장조사 및 탐사결과를 분석하여 붕괴부와 붕괴가능성이 높은 영역에 앵커 보강공을 시공하는 등 연약대를 집중보강하는 방안으로 공사비 절감을 기하였다.

느릅재 절토사면의 경우 1차 붕괴시 붕괴부에 심줄박기를 실시하여 자중에 의한 토압에 저항시키고 법면을 보호하여 지표수의 사면내 침투를 최소화시킬 것을 제안하였다. 또한 붕괴되어 변형된 수직도수로에 대하여는 재설치를 요구하였다. 본 사면의 경우 붕괴부 구간에 대한 대책이 이루어졌으며 추가적인 거동을 분석하기 위하여 상시계측기를 설치·운용중에 있다. 2차 붕괴후 본 절토사면의 위험요소로 작용하는 붕괴부 구간에 대해 절취에 의한 위험요소를 제거할 것을 제안하였다. 또한 기설치된 계측기와 계측기를 추가로 설치하여 지속적인 관찰을 병행할 것을 권장하였다.

5. 식생공이 시공된 절토사면 현황

전국 국도 총 연장 약 12,477 km(단, 일반 국도)에 약 12,650 개소(미조사 및 승격국도에 따라 다소 차이 발생, 2002년 12월 현황)의 절토사면이 분포하고 있는 것으로 파악되었다. 이중 4차선 국도의 경우에는 약 2,570 개소의 절토사면이 분포하고 있으며 1,720 여개소 즉, 67 % 정도의 절토사면에 식생공이 시공되어있는 상태로 파악되었다. 국도 현황조사가 이루어진 2002년 12월을 기준으로 공사가 진

행중이거나 이후 신설된(개통) 국도의 경우는 파악되어 있지 않으나 일례로, ○○ 국도유지건설사무소 관할 ○○호선의 경우, 기존의 도로 노선구간에 3 개소에 불과하던 절토사면의 수가 4차선 우회도로 신설로 인해 신설노선구간의 경우 40 여개소로 절토사면의 개수가 증가하였다. 이 절토사면중 40 개소의 절토사면 내에는 식생공이 시공되어 있는 실정이다. 이 구간의 절토사면처럼 시공당시의 절토사면의 현황도 작성등 절토사면의 특성이 기록되어 있지 않아 불연속면의 특성 등을 파악할 수 없는 한계를 가진 절토사면이 현재 다수 존재하고 있다.

그림 9는 절토사면 내에서 대규모의 붕괴는 발생되지 않았으나 식생공의 유실 또는 불량한 상태를 보여준다.



그림 10. 절토사면 내의 식생공 유실 전경

6. 결 론

최근 들어 일반국도의 고속화 정책으로 인하여 신설국도의 증가와 절토사면의 대형화 및 친환경적인 도로 건설을 목표로 절토사면 내에 식생공이 시공되고 있는 실정이다. 이에 수반하여 식생공이 시공된 절토사면 내에서 표층유실 또는 표층붕괴가 빈번히 발생하고 있는 실정이므로 식생공이 시공된 절토사면의 붕괴사례를 통하여 불확실성을 내포한 절토사면의 안정성을 검토하고 대책안을 제시하였으며 식생공이 시공된 절토사면의 안정성 검토기법에 대해 고찰하였다.

식생공이 시공된 절토사면의 경우 절토사면 내에 발달하는 불연속면의 특성을 파악할 수 없는 한계를 가진다. 따라서 현장조사시 붕괴부에 의한 범면이 노출되어 육안조사가 가능한 경우 붕괴부 주변조사를 실시하고, 노두의 관찰이 불가능한 경우 물리탐사를 이용하는 방법과 계측을 이용하여 거동의 추이를 파악하는 방법 등 여러 방법에 의한 안정성 검토가 이루어지고 있으나 이의 불확실성을 규명하기 어려운 실정이다. 또한 육안조사의 경우를 제외한 다른 방법은 경제적인 측면에서도 추가 비용이 소요되고 있는 실정이다. 이에 향후 식생공이 시공된 절토사면의 안정성 조사를 실시하는 조사기법의 개발에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

또한 식생공이 시공된 절토사면에 대한 안정성 검토기법의 연구와 더불어 향후 신설될 국도변의 절토사면의 경우 식생공의 시공이 이루어지기 전에 절토사면의 불연속면 등 특성에 대한 자료를 축적한 후 식생공을 시공하여 향후 붕괴 또는 문제발생시 경제적인 대책공법의 선정등 체계적으로 대처할 수 있어야 할 것이다. 이를 위해서는 신설 절토사면의 특성에 대한 현황도 등의 자료를 데이터베이스로 구축하여 관리하여 도로절토사면의 원활한 유지관리를 실시하여야 할것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 한국건설기술연구원(2004), “2003 도로절토사면 유지관리 시스템 개발 및 운용”, 건설교통부.
2. 건설교통부 익산지방국도관리청(1998), “성전-영암간 국도 확포장 공사 종합보고서”.

3. 한국건설기술연구원(2000), “산사태 발생 사례 및 대책방안”, **한일건설기술워크샵 논문집**, pp.42-68.
4. 백용(2002), “붕괴된 터널 갱구부 사면 안정성 해석 및 대책안 제시”, **2002년 사면안정학술발표회**, pp.187-194.
5. Evert Hoek.(1998), “Analysis of rockfall hazards”, Rock Engineering, pp.115-136.
6. Hoek, E. & Bray, J.(1981), Rock Slope Engineering, Revised Third Edition, Institute of Mining and Metallurgy, London.
7. Turner, A. K. 외 2인, “Landslides Investigation and Mitigation”, Transportation Reserch council Board,
8. Bieniawski.(1989), “Engineering rock mass classification”, John Wiley & Sons, Inc., N.Y.
9. 日本 土木研究所(2002), 光纖維センサを 活用した道路斜面 モニタリングに?する 研究, p.27.