

단양군 사지원 지구 외 2개소 절토사면 안정성 해석 및 대책안 제시

이정엽^{1)*} · 구호본²⁾ · 김승현³⁾ · 이종현⁴⁾

1. 서 론

절토사면의 붕괴는 절취라는 인위적인 요인과 풍화현상이라는 자연적인 요인의 조화에 의해 발생하는 것으로 붕괴가 발생한 사면에 대해서 붕괴의 원인을 정확하게 파악하고 이에 대한 대책을 강구함으로써 항구적으로 안정성이 확보된 절토사면 유지관리를 도모할 수 있다.

충청북도 단양군 영춘면 사지원리 지구, 충청북도 단양군 어상천면 임현리 농우재 지구는 국도 59호선 상에서 분기되는 지방도 522호선 상에 위치하며, 충청북도 제천시 덕산면 선고리 지구는 국도 36호선 상에서 분기되는 지방도 534 호선 상에 위치한다.

본 연구는 지방도 상에 위치한 도로절토사면 중 위험성이 내재된 열악한 지반조건의 사면을 대상으로 상세현장조사를 실시하고, 안정해석을 수행함으로써 현장특성과 시공성, 경제성과 친환경성 등 기타 제반 사항을 모두 고려한 적절한 보강대책(안)을 제시하여 절토사면 영구 구조물의 축조에 기여하는데 목적이 있다.

2. 지형 및 지질

사지원 지구의 전방에는 폭 30 m 이상의 남한강이 유하하고 있으며, 도로부에는 연속적으로 높이 20~40 m의 절토사면 및 자연사면이 유사한 패턴으로 존재한다. 농우재 지구는 별방리에서 임현리로 향하는 산악지 도로로 비교적 도로폭이 협소하고, 도로의 선형이 가파르게 변화하는 도로상에 위치하며, 오르막차로 절토사면에 해당된다. 농우재 지구 주변으로는 특별한 수계발달은 두드러지지 않지만, 농우재 지구 전방으로 N20°W 방향의 매우 연장성이 우수하고 깊은 계곡이 발달한다. 선고리 지구는 충주와 단양을 잇는 국도 36호선에서 남쪽으로 분기되는 지방도 534호선에 위치한 절토사면이며, 월악산국립공원의 주요 봉우리인 하설산(▲ 1,027 m), 문수봉(▲ 1161 m), 용두산(▲ 994 m)으로 둘러싸인 소규모 분지 지형에 해당된다.

사지원 지구는 좌측하향사교절리의 형태로 사면 전반에 걸쳐 층리가 발달하고 있으며, 층리의 거칠기가 매끄러움에 해당되고 쉽게 슬라이딩이 발생할 수 있는 상황이다. 또한 부분적으로 탄질세일을 협재하고 있어 이 부분을 중심으로 대형 붕괴가 발생할 가능성도 내포되어 있다. 농우재 지구는 전단대와 수반된 파쇄대들이 사면을 통과하고 있으며, 파쇄대가 발달되는 부분은 상대적으로 유입된 유수의 이동통로로 이용되어 빠른 풍화의 진행 결과, 다수의 점토질 토사가 충전되어 있는 경우가 많아 사면안정성 측면에서 위험성이 크다고 할 수 있다. 선고리 지구는 습곡 구조의 발달로 인하여 습곡의 배사축 부분을 중심으로 많은 균열(crack)이 발생되었으며, 이로 인한 상

주요어 : 절토사면, 안정성 해석

- 1) 한국건설기술연구원 국토지반연구부 (yeupi@kict.re.kr)
- 2) 한국건설기술연구원 국토지반연구부 (hbkoo@kict.re.kr)
- 3) 한국건설기술연구원 국토지반연구부 (sshkim@kict.re.kr)
- 4) 한국건설기술연구원 국토지반연구부 (jhrhee@kict.re.kr)

대적인 풍화 진행에 의해 배사를 중심으로 과거 대규모 붕괴 및 지반 이동의 이력이 관찰된다.

3. 절토사면 현황

사지원 지구는 최대높이 40 m, 1:0.1 구배의 급경사 암반사면으로 시점부 계곡부에는 넓은 테일러스 지형이 형성되어 있으며, 하부에서 누수 및 함몰이 발생되어 지지력이 상실되어 있다. 사면 전반에 걸쳐 층리의 발달이 뚜렷하며, 층리면을 따라 하부 압괴가 이탈되었거나, 슬라이딩이 발생 중에 있으며, 탄질세일이 협재된 부분을 중심으로 대규모 슬라이딩의 가능성이 잠재되어 있다. 농우재 지구는 최대높이 28 m의 혼합사면으로 중·상부에서 풍화와 수리에 의한 붕괴가 발생하였으며, 추가 위험 요소가 관찰되고 있다. 또한, 계곡부 부근에 비교적 견고한 석회암층과 석회암의 층리와 동일방향의 파쇄대가 교호하여 나타나는 구간에 파쇄대 발달 부분을 중심으로 붕괴가 발생되어 지지력이 상실되었으며, 파쇄대 내 점토질 토사가 다수 발견되어 추가적인 보강이 요구되는 상황이었다.

선고리 지구는 최대높이 29 m의 혼합사면으로 시점부 상부자연사면 지형이 넓은 U자형 골짜기를 형성하고 있으며, 이로 인해 측면사면 및 시점부 절토부에 붕괴가 발생한 상태이다. 습곡의 배사축이 존재하는 중간부 이후 구간에 대규모 붕괴가 발생된 흔적이 관찰되고 층리면의 이완이 심하고 부분적으로 잔존된 압괴의 지반 지지상태가 불량하여 추가 이탈이 우려된다.

4. 절토사면 안정성 해석

사지원 지구의 RMR 값은 49점으로 III등급(보통), SMR 값은 40 점으로 IV등급(불량)에 해당되었으며, 농우재 지구의 RMR 값은 28점으로 IV등급(불량), SMR 값은 27 점으로 IV등급(불량)에 해당되었고, 선고리 지구의 RMR 값은 43점으로 III등급(보통), SMR 값은 19 점으로 V등급(매우 불량)에 해당되어 추가적인 보강 또는 절취가 요구되는 상황으로 확인되었다.

조사대상 절토사면에 이용된 지반강도정수는 RMR 분류를 이용한 경험식, 기존문헌, 실내시험 등을 참조하여 산출하였으며, 사지원 지구의 암반은 $c=20.0$ (t/m^2), $\phi=29^\circ$ 이며, 농우재 지구의 암반은 $c=14.3$ (t/m^2), $\phi=18^\circ$ 이고, 선고리 지구의 암반은 $c=13.0$ (t/m^2), $\phi=26^\circ$ 에 해당된다.

평사투영 해석결과, 사지원 지구에서는 썩기파괴, 전도파괴 발생가능성이 인지되었고, 농우재 지구 및 선고리 지구에서는 썩기파괴 및 평면파괴의 가능성이 인지되었다. 한계평형법을 이용한 건기시 안전율 산출결과, 사지원 지구의 썩기파괴 안전율은 1.17, 농우재 지구의 썩기파괴 안전율은 0.83, 평면파괴 안전율은 0.72, 선고리 지구의 썩기파괴 안전율은 1.16, 평면파괴 안전율은 0.95로 건기시 허용안전율($F_s = 1.5$)에 미달하는 결과가 산출되어 안전율을 확보하기 위한 추가적인 조치가 요구되는 것으로 확인되었다.

대책공법(안)을 적용하였을 때 우기시 안전율을 산출하였다. 사지원 지구에 대해 계단식화단옹벽과 앵커의 시공 후 안전율은 1.36으로 허용안전율($F_s = 1.2$)을 상회하는 결과가 산출되었다. 농우재 지구에 대해 소일네일링 시공 전·후의 안전율 산출 결과 시공 전에는 0.56, 시공 후에는 1.64로 산출되었다. 선고리 지구에 대해 절취 전 안전율은 0.81, 절취 후에는 1.7로 허용안전율을 상회하는 결과가 산출되었다. 특히, 선고리 지구는 절취 후에도 평사투영 해석결과 썩기파괴 및 평면파괴 발생가능성이 인지되어 절취 후 현장여건에 따라 추가적인 공법의 적용이 선택될 수 있으며, 모든 불연속면의 방향성에 의한 안정성을 확보하기 위한 절취 구배는 1:1.7(31°)의 저각으로서, 이를 적용할 경우 막대한 공사비의 증대 등이 우려가 되므로 효율적인 대책공법(안)이 될

수 없을 것으로 판단된다.

5. 대책공법

사지원 지구는 테일러스가 발달하고 누수와 함몰이 발생한 시점부 계곡부 및 하부암괴 이탈로 인해 추가적인 붕괴 위험성이 높은 구간을 중심으로 계단식화단옹벽(다이크, 배수관 포함) 시공 및 테일러스 구간 계단식화단옹벽 상단은 시멘트 고결을 통해 추가적인 안정성을 확보해야 한다. 이 때, 하부암괴가 이탈로 인해 지지력 확보가 시급한 구간 시공되는 계단식화단옹벽은 일정한 간격으로 앵커를 타설하여 진도 방지를 도모해야 한다. 하부에는 낙석방지옹벽과 낙석방지울타리 시공으로 낙석의 도로유입을 사전에 차단해야 할 것이다. 이 때, 기존의 낙석방지망은 제거하지 말아야 할 것이다.

농우재 지구 중·상부에 풍화와 수리의 영향으로 인한 붕괴 발생부는 소일네일링(격자블록 포함) 시공과 상부 누수 지점에 수평배수공을 집중 타설하여 지반강도 확보 및 원활한 배수를 도모해야 할 것이다. 또한, 연약한 파쇄대와 양호한 기반암이 교호로 발달하고 있는 붕괴구간에는 계단식화단옹벽(다이크, 배수관 포함) 시공으로 추가적인 파쇄대의 유실 방지 및 지지력을 확보해야 할 것이다. 계단식화단옹벽 상부와 산마루측구 배면 지반은 시멘트 모르타르를 통해 수리의 침투 및 풍화침식을 방지해야 할 것이다. 붕괴구간 하부는 기존 L형측구에 높이 1 m의 덧대기 옹벽을 시공하여 낙석포획공간을 확보해야 한다.

선고리 지구의 대책공법(안)은 크게 응급조치, 절토부, 상부자연사면에 대해 각각 제시된다. 먼저 응급조치안으로 시점부 상단에 하부 법면 유실로 지지력이 상실된 대형암괴에 대해 시멘트 모르타르 시공으로 도로 유입을 방지해야 한다. 절토부에 대해서는 항구적인 안정성을 확보하기 위해 전구간에 2 m의 이격거리를 확보한 후 1:1.2 구배의 절취를 실시한다. 절취 후 소규모 낙석 침입을 방지하기 위하여 L형측구 및 낙석방지울타리 시공을 제안한다. 마지막으로 폭 넓은 골짜기를 형성하고 있는 시점부 상부자연사면은 계단식화단옹벽(다이크, 배수관 포함)과 격자블록(핀 포함)을 시공하여 포행에 의한 지반 침식을 방지해야 할 것이며, 측방사면과 법면으로 향하는 유로는 현장타설에 의한 배수로 시공을 제안한다.

3. 결 론

연구대상 절토사면인 “사지원 지구”, “농우재 지구”, “선고리 지구” 절토사면은 향후 위험요인이 발생하게 되면, 도로이용자의 안전성을 침해하고, 국가의 인적·물적 피해를 유발할 수 있는 국가 주요 구조물이다.

따라서, 현장조사 단계에서 나타나는 불안정 요소의 제거를 통한 항구적인 안정성 확보가 선행되어야 하며, 대상 절토사면의 경제성과 안정성을 고려한 최적의 대책공법을 선정되어야 할 것이다.