

비탈면 재해지역 긴급조사 결과 보고 - 인제, 양양지역

황영철¹⁾, Hwang, Young Cheol, 이승호²⁾, Lee, Seung Ho

¹⁾ 정회원 · 상지대학교 건설시스템공학과 교수 · 공학박사 · E-mail : ychwang@sangji.ac.kr

²⁾ 정회원 · 상지대학교 건설시스템공학과 교수 · 공학박사 · E-mail : shlee@sangji.ac.kr

1. 서 론

우리나라에서 발생하는 산사태 중 대부분은 산사면의 모암이 풍화되어 표피 토층이 흘러내리는 토석류로 소규모 산사태 발생형태를 보이며, 주로 6월에서 8월의 집중호우 기간과 해빙기 기간에 산사태가 많이 발생한다. 더욱이 최근에는 지구의 온난화 등으로 인하여 여름철에는 매년 기록적인 강우가 내리고 있다. 특히 2006년은 강원도 일부지역을 강습한 집중호우로 인하여 경사지와 관련된 붕괴가 발생하였다. 국내의 경우, 경사지 붕괴는 장마전선과 태풍이 발생하는 시기에 집중적으로 발생하게 되며 이로 인하여 발생하는 재산 및 인명피해는 적지 않다. 본 연구는 지난 2006년 7월 강원도 일부 지역에서 발생한 경사지에서 발생한 붕괴와 도로 절토사면 붕괴 현장에 대한 수해 조사를 실시한 결과이다.

2. 비탈면 피해 유형별 피해원인

2.1 낙석

낙석의 붕괴 원인은 풍화 및 동결융해 작용에 의해 절리틈새가 벌어지고 이로 인하여 식생이 이루어지고 강우시 절리틈새에 수압 등이 작용하여 표면에 붙어 있는 암괴가 붕락하는 유형이 나타난다. 붕괴 규모는 일반적으로 깊이가 표면에 붙어 있는 암괴가 떨어지는 유형으로 큰 암괴가 떨어지는 경우가 많으나 비교적 규모가 작은 암괴가 떨어지는 경우가 많다.

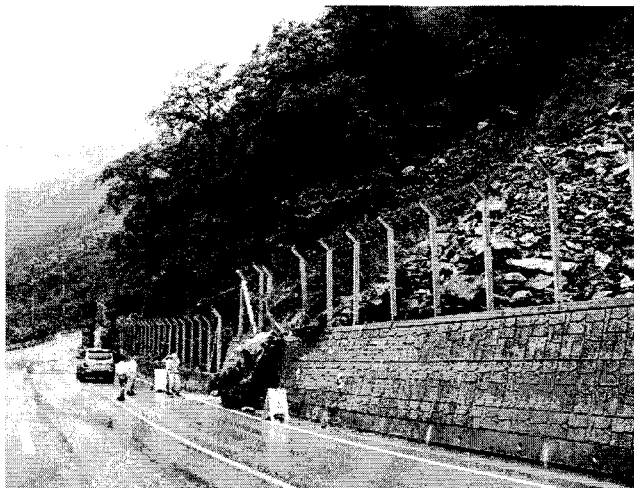


그림 1. 낙석에 의한 피해 사례

피해 지역의 낙석은 비탈면에서 발생하는 일반적인 현상으로 암석면이 풍화되거나 절리면 사이에 수분이 침투되어 암석이 부분적으로 탈락하는 현상이며 각기 비탈면상에서 낙석이 발생하였으나, 설치된 낙석방호시설에 의해 도로에 큰 피해는 발생하지 않았다.

2.2 표층 유실

표층 유실에 의한 붕괴 원인은 붕괴되기 이전에 표면부는 식생이 되어 있으나, 초기의 단단한 토층이 동결융해 작용에 의해 일정한 깊이만큼 느슨한 지반조건을 형성하게 되며 강우시 느슨한 지반과 단단한 지반의 경계면을 따라 빗물이 흐르고 이로 인한 지반의 전단강도의 상실로 인해 붕괴가 발생하는 유형이다. 붕괴규모는 일반적으로 깊이가 50cm~1m 이내의 천층 깊이에서 발생되며 피해규모가 가장 작게 나타난다.



그림 2. 표층유실의 붕괴사례

2.3 붕괴

원호파괴는 자연사면 또는 절토비탈면이 굴착조기에는 비교적 단단한 토층으로 노출되나 장기적으로 동결 융해 작용 및 풍화로 인해 풍화심도가 깊어지게 되어 초기에 안정성이 확보된 구간에서 강우로 인한 자중의 증가 및 전단강도의 상실로 인해 붕괴가 발생하는 유형이다. 붕괴규모는 일반적으로 피해 규모가 10m~15m 정도의 규모를 보이고 활동깊이는 1~4m 정도의 규모를 보이고 있다. 이번 장마철에 의한 원호파괴로 인하여 표면 토층이 유실되어 도로가 차단되는 피해가 발생하였다.



그림 3. 원호파괴 유형의 붕괴사례

3. 성토 비탈면 피해 유형별 피해원인

3.1 편절편성구간

편절편성구간은 노면수 유입으로 인한 성토비탈면 붕괴를 말하며 그 원인으로는 암반위에 성토를 실시한 편절편성구간에서 집중강우시 계곡부 및 노면수가 성토비탈면으로 유입되어 암반면 위로 지하수가 흘러 토사가 세굴 및 유실되고 상부 토층이 유실되면서 붕괴가 발생하는 유형이다. 인제 양양지역에 발생한 편절편성구간은 암반면 위에 시공된 석축이나 옹벽구조물이 토사층의 유실로 인해 붕괴가 발생한 것으로 판단된다.

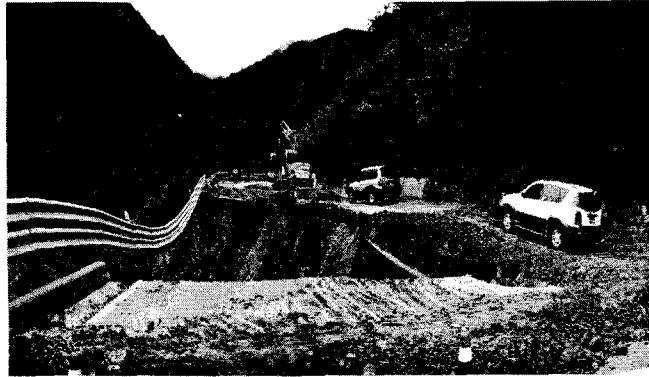


그림 4. 편절편성 구간의 성토비탈면 유실 사례

3.2 성토구간

성토구간은 성토비탈면에서의 노면수 유입으로 인한 붕괴로 도로의 기하구조상 집수가 발생하는 구간으로 인근 비탈면 유실부에서 흘러 내려온 토사가 성토비탈면 상부 도로에 집적되고 노면수가 성토비탈면쪽으로 유입되면서 성토 비탈면의 유실이 발생한다. 이번 태풍 및 장마로 인한 붕괴는 인접부의 절토비탈면의 붕괴토사가 유로를 차단 하여 도로성토부를 유실시켜 피해를 준 것으로 판단된다.

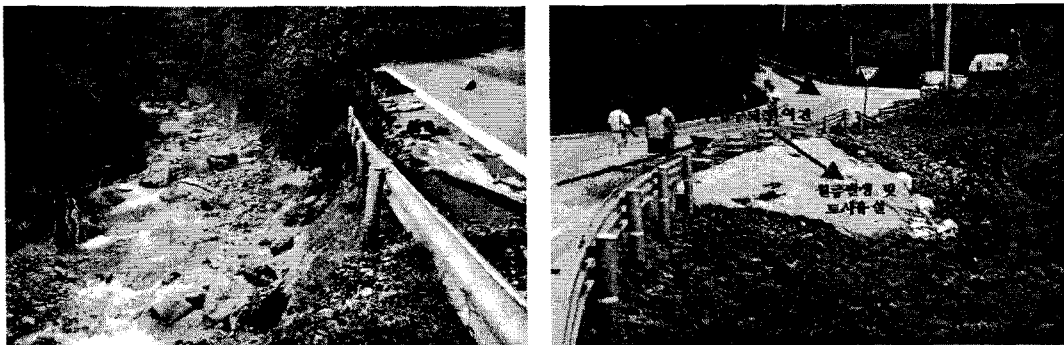


그림 5. 도로성토비탈면 유실 및 노면수의 도로유입으로 인한 피해사례

4. 하천인접구간

4.1 수충부의 유실

피해 원인은 하천 수충부에서의 도로유실로 인하여 발생하였으며, 사행 하천과 인접한 도로의 수충부에서의 침식에 의한 도로유실이 발생하였다.

피해지역은 대부분 하천의 형태, 하상의 지장물의 위치에 따른 수층부에서는 유속 및 유심이 깊어져 피해 위험 증가한 것으로 판단된다. 또한 수층부에 옹벽 등의 보호시설은 설치되어 있었으나, 집중호우로 견디지 못하고 유실되어 붕괴원인을 가중 시킨 것으로 판단된다.

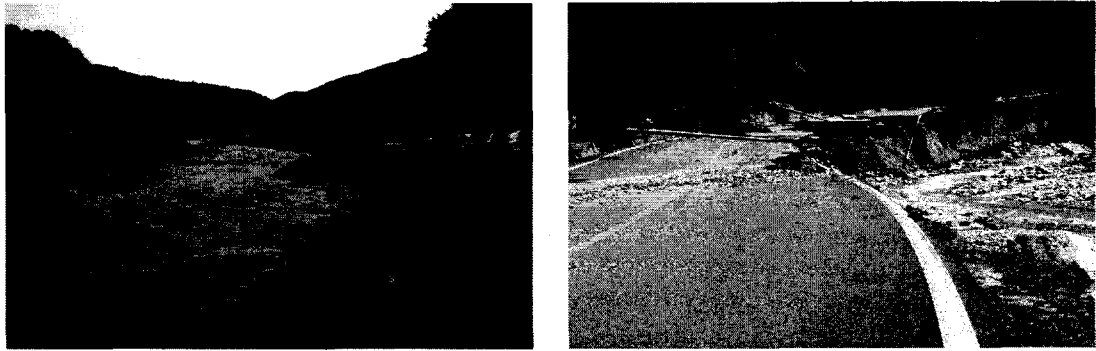


그림 6. 하천 수층부에서의 도로유실 사례

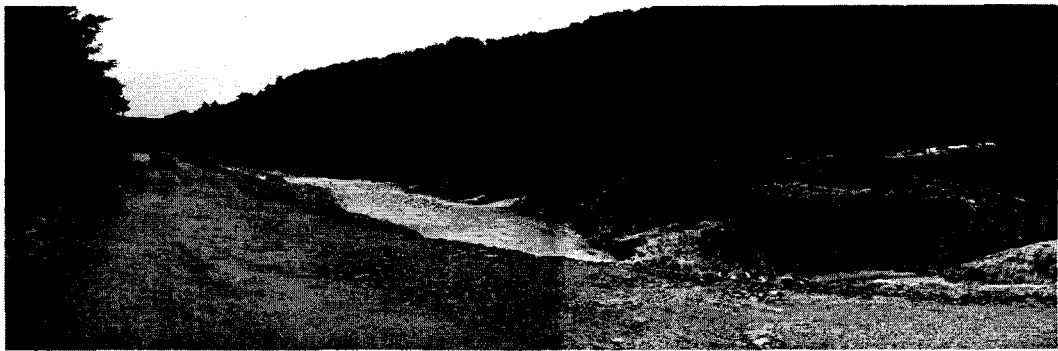


그림 7. 통수단면의 감소 및 유수흐름 저해로 인한 성토구간 피해 발생사례

4.2 형하공간 부족으로 인한 피해

피해 조사 지역은 장평 2교였으며, 이 지역은 차량의 원활한 진입을 위해 교량양측의 진입부에 하폭을 줄여 진입부를 설치하였고, 교량의 지간 역시 좁아서(12.5m), 통수단면이 축소되어 수위상승 및 유속증가를 야기한 것으로 판단된다. 또한 형하고 역시 낮은 것으로 판단되며, 수위상승으로 인해 유송잡물이 교각 및 교량난간부에 적체되어 국도상으로 월류가 발생하였고, 이로 인해 석축시공공간이 세굴되어 도로가 유실된 것으로 판단된다.



그림 8. 교량 진입부로 인해 축소된 통수단면

5. 토석류

토석류(土石流, debris flow)는 집중 호우 등에 의해 산사태가 일어나 토석이 물과 함께 하류로 세차게 밀려 떠 내려가는 현상을 말한다. 피해지역은 비교적 강한 암반면 위에 얇은 토층이 형성되어 있으며 주로 큰 암괴가 혼합된 붕적층이 주를 형성하고 있으며 암괴의 크기는 매우 다양하게 분포하고 있다. 토석류는 전면부에서 큰 규모를 예측하기가 어려운 상태이나 발생 규모에 따라 붕괴가 발생한 연장이 수십m~수Km에 이르기까지 매우 다양한 규모를 보인다. 토석류가 발생한 계곡부의 경사는 계곡부의 경사에 따라 10°~50°의 범위로 매우 다양하며 경사가 급할수록 이동암괴의 크기 및 수량에 큰 차이를 보이며 계곡부의 나무와 큰 규모의 암괴를 쓸고 내려오는 붕괴유형을 보이며 하부 지반조건은 강한 암반으로 구성되어 있다.

5.1 도로파손 및 침하

강우로 인해 상부로 부터의 유송잡물(토사, 암석, 초목류 등)에 의해 도로하부 횡 배수관 기능 마비되고 집중된 강우가 도로 상부로 월류하면서 비탈면 반대편의 도로 성토부를 침식시켜 도로 파손 및 일부 유실 초래하였다. 피해조사 지역은 계곡부를 형성하여 주고 암반면 위에 큰 암괴를 가진 붕적층이 존재하였으며 계곡부에는 수목이 밀집되어 있다. 계곡부에서 쏟아진 나무가 토석류에 의해 배수기능상실로 인하여 도로 유실이 발생한 것으로 판단된다.

- 토석류에 의한 피해유형 1 - 도로파손 및 침하
 - 1 - 상부로 부터의 유송잡물(토사, 암석, 초목류 등)에 의해 도로하부 횡 배수관 기능 마비
 - 2 - 집중된 강우가 도로 상부로 월류
 - 3 - 비탈면 반대편의 도로 성토부 침식
 - 4 - 도로 파손 및 일부 유실 초래

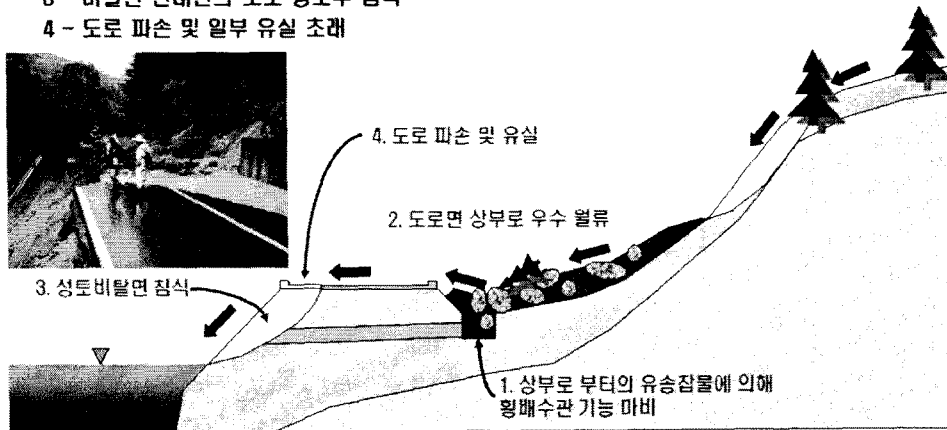


그림 9. 토사에 의한 배수구 막힘

5.2 토석류 도로유입

상부로 부터의 유송잡물(토사, 암석, 초목류 등)에 의해 도로하부 횡 배수관 기능 마비시켜 대규모 토석류에 의해 토석류의 도로유입으로 도로파손 및 도로 통행차단을 야기 시켰다. 계곡부에서 쏟아진 나무와 토석류에 의해 배수기능상실로 도로 유실이 발생한 것으로 판단된다.

토석류에 의한 피해유형 2 - 토석류의 도로유입

- 1 - 상부로 부터의 유송잡물(토사, 암석, 초목류 등)에 의해 도로하부 횡 배수관 기능 마비
- 2 - 대규모 토석류에 의해 토석류의 도로유입
- 3 - 도로파손 및 도로 통행차단

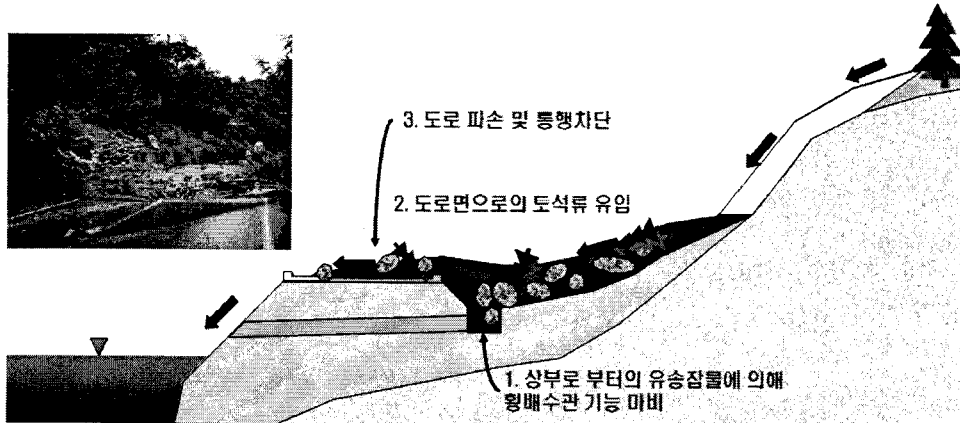


그림 10. 토석류 유입으로 인한 도로차단사례

5.3 도로유실

상부로 부터의 유송잡물(토사, 암석, 초목류 등)에 의해 도로하부 횡 배수관 기능 마비시켜 대규모 토석류에 의해 토석류의 도로유입으로 도로파손 및 도로 통행을 차단시킨 것으로 판단된다. 또한 계곡부에서 쏟아진 나무와 토석류에 의해 배수기능을 상실시키고 도로를 완전 유실시킨 것으로 판단된다.

•토석류에 의한 피해유형 3 - 토석류에 의한 도로유실

- 1 - 상부로 부터의 유송잡물(토사, 암석, 초목류 등)에 의해 도로하부 횡 배수관 기능 마비
- 2 - 대규모 토석류에 의해 도로에의 압력증가
- 3 - 도로유실

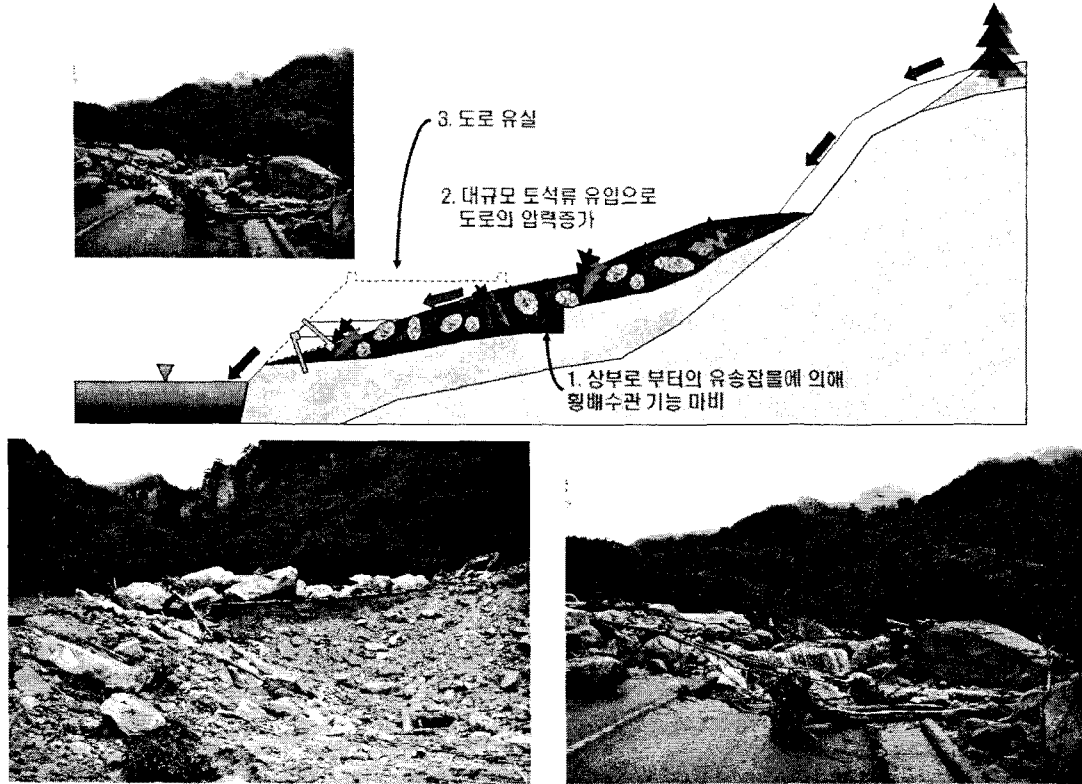


그림 11. 토석류에 의한 도로 유실의 피해사례

6. 결론

본 연구는 지난 2006년 7월 중순에 강원도 지방의 폭우로 인하여 발생한 피해지역에 대하여 현장 조사를 실시하고 그 자료를 토대로 정리 분석한 것이다. 경사지 붕괴규모 측면에서 보면 대규모의 붕괴라기 보다는 소규모의 토사 유출에 가까운 붕괴가 많은 부분을 차지하였다.

- (1) 강원지역의 도로는 지형적 특성상 주로 하천변에 설치되어 있으며, 산악지형이 많아 산사태와 같은 피해에 항상 노출되어 있다. 따라서, 산지 계곡부에서의 토석류등으로 인해 도로가 직접적인 피해를 받아 피해규모가 매우 커지게 되었다.
- (2) 수충부의 파손은 강수량증가에 의한 빠른 유속뿐만 아니라, 상부에서의 토사와 암석등이 같이 밀려내려옴으로써 밀도를 증가시키고, 수충부에 가해지는 충격이 가중됨으로써 파괴가 발생한 것으로 판단된다. 따라서, 수충부의 설계기준 강화시 주 피해 원인인 비탈면의 붕괴억지에 많은 노력을 기울여야 할 것이다.
- (3) 금번에 발생한 토석류는 주로 사방공사 등을 통하여 그 피해를 줄일 수 있을 것이다. 그러나 강원지역의 특성상 타 지역에 비하여 환경보전의 의미가 강하므로 적극적인 보강공법의 적용이 원활하지는 않다. 따라서, 피해를 감소시키기 위해서는 지역적 특성을 고려한 공법의 적용이나 기준의 제정이 필요할 것이며, 특히 시공뿐만 아니라 유지관리를 위한 강제적인 방안도 고려할 필요가 있을 것이다.

참고문헌

1. 이승호 외2명 (2000), 강원지역 도로절개사면의 파괴유형분석 및 대책에 관한 연구(1), 대한토목학회 2000년 학술 발표회, 167
2. 이승호 외1명 (2004), 집중호우시 군사시설물이 설치된 사면의 안정성평가에 관한 연구, 한국지반환경공학회 논문집 제5권 제4호, 47-56쪽
3. 백용 (2005), 집중호우시 사면 붕괴의 특성 및 토층 심도와 지하수변동에 따른 사면 안정성 해석 대한지질공학회 지질공학, 제15권 제1호 통권제43호, 57-66
4. 한국지반공학회 (1997), 사면안정, 구미서관 윤원태 (2001), 1998년 여름철 한반도 집중호우 특성 분석 한국기상학회지, 제37권 제2호, 181-194