

## 절토사면 유지관리 매뉴얼 작성을 위한 현장조사에 관한 연구

### A Study on Site investigation for Cut Slope Management Manual preparation

지영환<sup>1)</sup>, Young-Hwan Ji, 장범수<sup>2)</sup>, Buhm-Soo Chang, 김용수<sup>3)</sup>, Yong-Soo Kim, 이종영<sup>4)</sup>, Jong-young Lee

<sup>1)</sup> 한국시설안전기술공단 기술개발실 연구원, Researcher, Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation

<sup>2)</sup> 한국시설안전기술공단 기술개발실 부장, Director, Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation

<sup>3)</sup> 한국시설안전기술공단 기술개발실 과장, Chief of department, Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation

<sup>4)</sup> 한국시설안전기술공단 기술개발실 연구원, Researcher, Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation

**개요(SYNOPSIS) :** Cut slope and facility of management investigation is the protection of humans and properties. it is very important the prevention of disaster facility and the damage of the slope protection facility. It is very difficult to forecast slope stability, disaster possibility and collapse. It will be able to minimize the damage which it prepare against slope facility and cut slope of deformable investigation and collapse and the disaster. therefore those deformable investigation is important.

Investigations execute upheaval, crack, sliding for slope and cut slope reinforcement. Investigation executes forecast in place where the construction problem, the effect which the damage in road traffic or the contiguity facility.

**주요어(Key words) :** investigation, cut slope, collapse, disaster, crack, upheaval, stability

## 1. 서 론

국내 절토사면은 국토이용의 극대화에 따른 도로선형의 직선화 및 대규모 택지/단지 조성에 따라 발생하는 절개면의 규모가 장대화 되는 추세이며, 장마철 및 태풍으로 인해 절토사면의 붕괴로 많은 인명 및 재산피해가 발생하고 있는 실정이다. 따라서 절토사면 붕괴시 사면하부의 시설물에 미치는 영향이 매우 클 뿐만 아니라 이를 보완하기 위한 시간 및 비용도 많이 소요되고 있다. 그러므로 절토사면이 항상 최상의 상태로 보전하여 제 기능을 발휘할 수 있도록 주기적인 점검과 유지 보수를 하고, 관련 기록을 유지 및 보관하며, 점검 결과에 따라 보수나 대책이 필요한 경우 신속히 처리해야 한다.

따라서 절토사면 현장조사시 설계의 초기 단계인 예비조사 및 상세조사를 실시하더라도 시공중에 붕괴가 발생하고 있으므로 시공단계에서도 설계자료의 적합성 및 사면의 안정성 여부를 판단하기 위한 조사가 필요하며, 시공완료 후 유지관리단계에서는 사면의 상태가 변화하거나 또는 재해로 인한 파괴, 붕괴 발생에 대한 검토를 위한 조사가 필요하다.

한편, 최근의 방재에 대한 높아지는 의식을 배경으로 하여, 사면의 유지관리 중요성은 증대일로에 있고, 유지관리 기술의 고도화·종합화가 강하게 요구된다.

## 2. 절토사면 조사 목적 및 종류

절토사면 조사는 계획단계의 기본조사(예비조사)와 실시설계를 위한 상세조사 (본조사), 시공중의 조사나 시공 후 유지관리 단계에서 절토사면의 변동 상황에 따른 조사로 크게 구별할 수 있다. 계획단계에서는

붕괴위험 장소와 슬라이딩이 예상되는 지역을 파악하는 것이 주목적이며 시공에 장애가 되지 않도록 대책공법의 적용성을 충분히 검토하여야 한다. 반면, 시공중과 완성후의 사면 유지관리 단계에서도 위험여부의 판단과 보수보강을 위한 조사 또는 재해로 인한 파괴, 붕괴 발생에 대한 검토를 위한 조사가 필요하다.

## 2.1 예비조사

예비조사의 목적은 사면의 붕괴나 산사태 등을 발생시킬 우려가 있는 지역 분포를 기존자료를 통해 조사하고 현지답사를 실시하여 확인한 후 대략적인 안정도를 판정하는 것이다. 그 결과, 붕괴 다발지역, 토석류 다발지역, 이미 변상(變狀) 발생되었거나 산사태가 새롭게 발생할 가능성이 큰 지역으로 판정 될 경우에는 이러한 위험지역을 피하여 노선 또는 택지개발 지역을 변경할 수 있도록 계획을 세우거나 이에 대한 대책공법을 선정한다.

## 2.2 본 조사

본 조사의 목적은 선정된 노선 및 개발 예정지역을 비롯하여 그 주변에 분포하는 사면에 대해 현지답사, 보링, 탄성과 탐사방법 등으로 지질·토질 검사 실시하거나 변형계, 경사계 등의 계측기에 의한 계측조사를 실시하여 붕괴위험성의 추정과 안정도를 검토하고, 동시에 조사 결과에 근거한 적절한 대책공 설계를 한다.

## 2.3 시공 중 조사

시공에 있어 조사는 사면이 계획하였던 설계조건과 다르게 붕괴가 발생할 것 같은 경우나 혹은 그곳에 이상한 점을 발견한 경우에 설계·시공법을 변경하는 등 임기응변에 대응하고, 재해를 미연에 방지하기 위하여 실시한다.

## 2.4 유지관리 조사

유지관리 조사는 사면내의 파괴구간 또는 불안정 요인을 조기에 발견하기 위해 실시하며, 일반적으로 육안관찰을 통해 사면의 변상(變狀)을 조기에 발견하여 즉시 현지답사를 실시하고 보다 상세한 점검이나 통행규제와 같은 긴급수단을 강구한다.

## 2.5 재해시 조사

시공 중 또는 공용(供用) 중에 재해가 발생했을 경우에 실시하는 조사로, 조기에 현지답사, 보링 등의 지질·토질 조사 및 계측조사를 실시하여 붕괴기구를 검토하여 응급대책을 포함한 재해복구공사 설계에 필요한 기초자료를 구하기 위해 실시한다.

## 2.6 환경·경관 조사

환경·경관 대책으로는 환경영향평가 등의 결과를 근거로 기술적인 대응을 필요로 할 경우에는 조기에 환경·경관 조사를 행하여 대책에 반영시킨다. 조사결과에 입각하여 설계에 앞서 도로사업 전체에 걸친 환경·경관정비의 기본방침을 검토한다.

### 3. 절토사면 유지관리 조사

#### 3.1 사면변화 조사

사면 및 사면부대시설물의 유지보수와 인명보호를 위해서는 사면, 방재시설, 보호시설물의 변상을 점검하는 것이 매우 중요하다. 사면의 안정, 재해발생 가능성 및 붕괴형태를 정확히 예측하는 것은 매우 어렵지만, 사면부대시설물이나 사면의 변상조사를 통해 갑작스러운 붕괴나 재해에 대해 사전에 대처함으로써 그 피해를 최소화 할 수 있다. 따라서 사면 및 사면부대시설물의 변상 조사는 매우 중요하다.

조사시에는 사면과 사면 보호공의 융기나 균열, 낙석보호공의 파손, 사면 파손에 의한 사면부대시설물의 균열, 사면부대시설물과의 간격 등에 대해 실시하며 조사 지점은 사면 시공시 문제가 되었던 장소나 사면 파손이 도로교통이나 인접 시설물에 큰 영향을 줄 것이라고 예상되는 장소를 대상으로 실시한다. 특히 세심한 조사가 필요한 장소는 기존에 사면붕괴가 발생했던 지대, 연약지반, 용수가 발생하는 지점, 동결 융해가 일어나기 쉬운 사면, 낙석·토석류의 발생이 빈번한 지역이며, 이 지역에 대한 조사시에는 사면의 변상과 사면 보호시설물의 변상(배수 시설의 막힘, 낙석보호공의 파손, 식생의 생육 정도, 부석·전석의 위치 변동, 지표수와 지하수의 유출, 사면의 균열 등)대해서 동시에 조사한다.

#### 3.2 사면 붕괴 조사

##### 3.2.1 조사 착안점

사면 붕괴의 조사는 붕괴 가능성에 대한 대책계획을 합리적으로 결정할 수 있는 지점(표층의 균열 및 단차, 뚜렷한 완화 지역, 표층 크리프(creep)에 의해 처진 형태의 지형 등)의 명확한 변상(變狀)을 보여 붕괴위험을 조금이나마 예측할 수 있는 지점에 실시한다.

##### 3.2.2 조사 결과 활용

조사 결과는 기록카드나 평면도상에 기재·정리하여 붕괴가 발생하기 쉬운 사면으로 좁혀 나가며 변상(變狀)이나 표층상태로부터 붕괴 범위를 대략적으로 추정한다. 특히, 위험성이 높으며 대책공법을 필요로 하는 지점에서는 지질단면도를 작성하여 붕괴심도나 붕괴규모를 추정하여 대책공법 설계를 위한 기초자료를 얻는 것이 좋다. 또한 일반적인 사면에서 이러한 것들을 일상조사로는 파악하기 힘들다. 따라서 대책 검토는 붕괴위험성이 뚜렷한 변상(變狀)이 발생한 사면에 대해 대책계획수립을 위한 정밀 조사가 필요하다.

#### 3.3 배수시설 조사

##### 3.3.1 조사 착안점

배수시설의 조사는 기상, 지형 및 지표면의 피복 상황, 토질·지질 구조와 지하수, 배수시설의 단면과 상황을 고려하여, 조사항목을 설정한다. 실제 조사에서는 다음 사항을 주의해야 한다.

- ① 배후지가 집수지형인 곳
- ② 지반으로부터 용수나 침투수가 많은 지점
- ③ 지하수위 변동이 심한 지점
- ④ 표면수가 국부적으로 집중되어 흐르는 지점

<표 1>에 나타난 바와 같은 조사항목을 설정하여 실시한다.

표 1. 배수시설을 위한 조사

	조사 항목	조사 목적
1	기상	유출량 결정, 시공시의 배수 계획
2	지형 및 지표면의 피복 상황	유출량 결정, 지하 침투류의 예측
3	토질·지질 구조와 지하수 등	시공시의 배수 계획, 지하 배수공의 결정, 사면 배수공의 결정
4	기설 배수시설의 단면과 상황	유출량 결정, 신설 배수 계통 계획

### 3.3.2 지표수를 이용한 조사

사면 배수시설의 경우 사면을 따라 흘러내리는 표면수에 의한 사면 침식을 방지하기 위한 목적으로 자연사면과 절토사면의 경계지점에 설치된 산마루측구, 사면어깨에서 사면을 따라 사면끝으로 설치되는 도수로, 사면 소단에 설치되는 소단 배수시설에 대해 중점적으로 실시한다. 특히 사면어깨에 설치된 배수시설은 유지관리하기 어려운 장소에 위치하고 있는 경우가 많아 유지관리에 소홀 할 수 있으므로 각별한 주의해야 한다. 그리고 절토사면 소단의 배수구는 침하로 이탈되는 경우 특히 표면수가 모이기 쉬운 지점에 대해서는 유념해야 한다.

### 3.3.3 침투수를 대상으로 한 조사

침투수를 대상으로 한 지하배수시설은 지반내의 지하수위를 저하시켜 절토사면에 안전성을 확보한다. 또한 지하배수공은 절토사면뿐만 아니라 옹벽과 같은 사면부대시설물의 파괴 방지나 사면 붕괴방지 대책으로도 효과적이거나, 지반 혹은 사면부대시설물 내에 설치되어 있어 육안으로 상태를 파악하기는 힘들다. 따라서, 이러한 지중에 설치된 배수시설의 조사는 통수여부가 가장 중요한 항목이며, 또한, 배수구의 균열로 인해 지반으로 침투가 발생하는지 여부도 확인한다.

## 3.4 낙석 조사

### 3.4.1 조사 착안점

예비조사를 통해 대책을 검토할 필요가 있다고 판단된 사면에 대해서는 대책 공법의 선정과 설계·시공을 위한 본 조사를 실시한다. 본 조사에서는 낙석의 형태·규모·경로, 낙석의 발생기구, 대책공의 기초지반 강도 등 설계에 직접 관련되는 항목을 파악하는 것이 주된 목적이 된다. 본 조사는 <표 2>에 나타난 바와 같이 제1차 본 조사와 제2차 본 조사로 나누어 조사한다.

표 2. 낙석 대책공법의 조사 목적과 방법

대 구분	조사 항목	세 목
제1차 본 조사 (대책 공법의 선정과 설계)	기존자료의 수집	낙석 이력 등
	측량	1/1,000~1/100 정도의 지형도·단면도 작성
	대축척공 중 사진판독	경사 사진이나 대축척 수직 사진 판독
	상세지표답사	부식·전석의 위치·규모·불안정도, 암반 균열 분포
제2차 본 조사 (대책 공법의 설계·시공)	물리탐사	탄성과 탐사전기 탐사전기와 탐사 등
	보링·사운드링	보링·사운드링·공내측정 등
	암석시험·토질시험	강도 시험, 변형 시험, 밀도 시험 등

### 3.4.2 조사 결과의 활용

조사결과는 낙석의 발생원인에 대한 원인분석 이외에 대책공법의 선정이나 설계조건 기초자료로서 활용된다. 낙하 경로를 산정할 경우 낙석이 사면을 낙하할 때 그 평면 궤적은 등고선과 직각 방향으로 낙하한다. 따라서 능선형 사면일수록 낙석은 여러 방향으로 분산하여 낙하하고, 계곡형 사면일수록 골짜기 방면에 집중한다. 또한, 사면의 경사가 급하고 사면 길이도 긴 경우에는 낙석의 발생확률도 높으며 낙석이 발생하는 경우 큰 에너지로 도로 시설 및 택지 등의 시설물을 직격(直擊)할 가능성이 높다. 따라서 낙석의 발생원인 분석과 경로 선정은 신중히 결정해야 한다.

낙석 대책 계획시 가장 중요한 사항은 낙석의 발생형태(암질·위치·규모·낙하 경로)와 운동형태 (활동·구르기·도약) 및 정지상태를 정확하게 파악하는 것이다. 이를 위해서는 현지를 직접 관찰한 조사자가 본 조사결과에 입각하여 대책에 수립한다.

## 3.5 토석류 조사

### 3.5.1 조사 착안점

토석류는 물을 다량으로 함유하여 유동화된 토사가 흘러내리는 현상을 보면 첫째 다량의 물을 포함하는 산사태의 토사가 산허리 사면을 따라 하강하여 토석류가 되는 경우, 둘째 급격한 출수 (용수 또는 유수)에 의해 계곡의 퇴적토사가 침식되고, 유수와 함께 다량의 토사가 흘러내리는 경우로 분류할 수 있다. 일반적으로 후자의 경우에 토석류가 많이 발생한다. 더욱이 최근에는 삼림의 벌목과 대규모의 산불로 인한 산지의 황폐화로 토석류 발생 위험성이 매우 높아 이미 기시공된 사면의 유지관리 조사뿐만 아니라 인접한 자연사면에 대해서도 조사해야 한다.

다음 <표 3>은 조사의 실시단계를 간략히 요약한 내용이다.

표 3. 토석류 발생가능성에 대한 조사와 실시 단계

조 사	계획 단계	설계 단계	관리 단계
1) 토석류 발생에 관한 조사			
(a) 노선을 따라 토석류 발생 예측 지점 조사	○		
(b) 토석류 발생의 빈도 조사	○	○	○
(c) 토석류를 발생시키는 강우 조건 추정을 위한 조사 (토석류 한계선의 작성)			○
2) 토석류의 규모, 성질을 추정하기 위한 조사			
(a) 유출 토사량 조사	○	○	
(b) 토석류의 최대 입경 조사		○	
3) 토석류 범람구역 추정에 관한 조사	○		○
4) 기시공된 사면시설의 유무, 제원에 관한 조사 등 (토석류 발생 예상 지점 점검도의 작성)	○	○	○

### 3.5.2 토석류 발생가능성에 대한 조사

토석류의 발생은 일반적으로 계곡경사 15. 이상, 상류의 집수면적이 5ha 이상으로 토석이 퇴적된 계곡에 많으며, 과거에 토석류를 일으킨 일이 있는 계곡에서 많이 발생하는 특성이 있다. 그리고 10. 이하 3. 이상의 지형에서 정지한다. 따라서 사면 토석류에 대한 조사는 계곡 출입구의 답사를 통해 토석류 발생빈도, 규모, 토사의 성상, 유출범위 등을 예측하여 조사시 계곡의 출구 부근의 조사가 매우 중요하다. 따라서 조사시 토석류 발생가능 지역에 대해서는 토석류 유하지역 및 범람지역을 추정하여 차후 토석류가 발생 가능한 토석류 발생 한계강우량에 도달하는 경우 이 지역에 대한 대피 및 대책을 신속히 조치하여 피해를 최소화해야 한다.

### 3.6 재해시 조사

재해시 조사는 이미 재해가 발생한 경우와 변동 상황이 진행경우로 나눌 수 있다. 그리고 재해에 대한 대책을 수립하기 위한 검토 자료의 수집 목적으로 실시한다. 그러나, 재해의 규모에 따라 조사 내용도 달라 확실적인 조사 계획을 수립하는 것이 매우 어려워 담당기술자에 따라 조사 방법도 각각 다르다. 따라서, 다음 사항은 유의해야 한다.

- 폭풍우, 호우, 지진 등이 발생한 후에는 사면, 방재시설이 변상을 일으킬 위험이 크다. 따라서 이러한 경우에는 임시점검을 실시하며 필요에 따라 적절한 대책을 실시해야 한다.
- 사면의 변동 징후가 나타날 때는 토괴의 이동과 균열 등, 즉 지형의 변동상황, 시설물의 변형, 이동, 침하 등이 국부적으로 발생하였는지 전체적인 대규모로 발생하였는지를 알 수 있도록 상세한 조사기록이 필요하다. 신축계, 지반경사계 와같은 계측기계를 설치하여 지반의 이동과 균열의 진행상황을 조사하는 방법이 있다.
- 기존의 설치된 사면부대시설물과 다른 형태의 사면부대시설물을 대책공법으로 시공할 경우에는 현장 여건에 부합되는 조사계획을 세우는 것이 중요하다. 대책공법의 검토에 있어서는 설계시의 조사만으로는 부족한 점이 많다. 따라서 조사지점을 확대하여 정확한 지반 상황을 파악할 필요가 있다.

점검 결과, 이상 징후나 변형 등의 징후가 발견되었을 때에는 상황에 따라서 적절한 대응을 해야 한다. 일반적으로 경미한 변형에 대해서는 유지보수를, 그 외의 변형에 대해서는 정밀조사를 시행한 후 위험도가 매우 높은 절토면에 대해서는 적절한 대책공법을 강구하고, 그 외의 경우에는 감시나 계측 등의 실시한다.

### 4. 결론

본 연구에서는 절토사면과 관련 사면부대시설을 안전하고 효과적으로 유지관리하기 위해 체계적인 현장조사가 필요하다고 판단하여 연구를 실시하게 되었다. 본 연구 내용을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 일반적으로 조사는 절토사면공사에 대한 사면의 안정성 및 시공성에 관해서 정확한 예측을 하기 위해 실시되는 것과 공용중인 사면의 붕괴나 산사태에 의한 재해를 미연에 방지하거나 발생된 재해를 복구하고자 하는 목적으로 실시한다.
- 2) 절토사면 및 사면부대시설물이 장기간에 걸쳐서 제 기능을 발휘할 수 있도록 하기 위해서는 사면 계획·설계시 사면 붕괴나 산사태 등의 재해가 발생할 우려가 있는 위험한 지역은 피하고, 유지관리 하기 위해 현장조사가 필요하다.
- 3) 유지관리 현장조사는 사면붕괴가 발생했던 지대, 연약지반, 용수가 발생하는 지점, 동결 융해가 일어나기 쉬운 사면, 낙석·토석류의 발생이 빈번한 지역에 대한 조사가 필요하며, 사면의 변상과 사면 보호시설물의 변상(배수 시설의 막힘, 낙석보호공의 파손, 식생의 생육 정도, 부석·전석의 위치 변동, 지표수와 지하수의 유출, 사면의 균열 등)에 대해서 조사해야 한다.

#### <참고문헌>

1. 한국시설안전기술공단 (2003)절토사면 점검·진단 및 유지관리 기법 개발(I)
2. 건설교통부, 한국시설안전기술공단 (2003)도로절토사면 유지관리 지침
3. 이기복(1998), 지반조사법, 과학기술, pp 5~90
4. FHWA (1988) Highway Slope Maintenance and Slide Restoration Workshop. pp 35~45