

고속도로 절토사면의 설계와 시공관리

경상현*, 고경환**, 김지성**

1. 서언

1968년 경인고속도로가 개통된 이래 우리나라의 고속도로는 국가의 대동맥으로서 눈부신 경제성장과 균형있는 국토발전에 중추적인 역할을 다하였을 뿐만 아니라 우리나라 건설 기술발전에 크게 이바지하였으며 현재 21개 노선에 1,996.3km의 고속도로가 개설되어 있다. 이와같은 고도의 경제성장과 생활수준의 향상은 수송수요의 폭발적인 증대를 가져왔고 차량의 고속화, 대형화, 중량화 추세는 보다 좋은 도로의 건설과 안전하고 쾌적한 도로시설의 확충을 요구하고 있다.

그러나 급속한 경제성장으로 인한 차량의 급격한 증가로 인해 고속도로는 과포화상태에 있는 실정으로 2004년도까지 교통난해소 및 국토의 격자식 도로망 확충사업의 일환으로 신설 및 기존 고속도로의 확장사업이 계속적으로 추진되고 있다. 그리고 향후 2020년까지 국토의 7×9이라는 도로의 격자망 형성 계획 하에 고속도로 총연장 6,160km의 고속도로시대를 열 계획으로 추진 중에 있다.

우리나라는 국토의 약 70%가 산악으로 이루어진 지형적인 특성으로 도로사면이 많이 분포하는데다, 연평균 강우량의 2/3 정도가 하절기에 집중되는 기후특성 때문에 사면붕괴가 자주 발생하여 해마다 인명 및 재산의 손실 뿐 아니라 사회 및 경제적으로도 커다란 피해를 입고 있는데 이는 인구증가 및 산업 발달로 인해 국토의 효율적인 개발이 요구되면서 산지를 절취하여 도로개설 및 주택단지의 개발로 대규

모의 절토사면이 형성되기 때문이며 이러한 현상은 점차 확대될 전망이다.

이 글에서는 그동안 고속도로를 건설하면서 빈번하게 접하게 되는 절토사면에 대하여 설계, 시공 및 유지관리상의 문제점들을 파악하고 그 개선사항들에 대하여 집중적으로 분석하여 향후 여기에 종사하는 기술자들에게 조금이나마 도움이 되었으면 한다.

2. 고속도로의 절토사면

2.1 고속도로 주변의 암종분포

고속도로 노선상의 암종분포는 1 : 50,000 지형도 및 지질도를 참조하여 각 고속도로 노선에 분포하는 암종 총연장 1,937.7km(중앙고속도로는 전구간을 계산)에 대해 암종을 구분한 결과, 다음 도표와 같이 화성암이 43.7%, 변성암 31.7%, 퇴적암 24.6%의 순으로 분포하는 것으로 나타났다. 이들은 비교적 다양한 암종을 보이거나 변성암, 화성암, 퇴적암중 주로 많이 분포하는 암종으로 변성암은 편마암, 편암, 화성암은 화강암, 퇴적암은 셰일, 사암이 우세하게 나타난다. 특히, 사암, 셰일은 대부분 호층의 상태로 혼합되어 나타나며 일부 구간에서 역암을 혼합하여 나타나기도 한다.

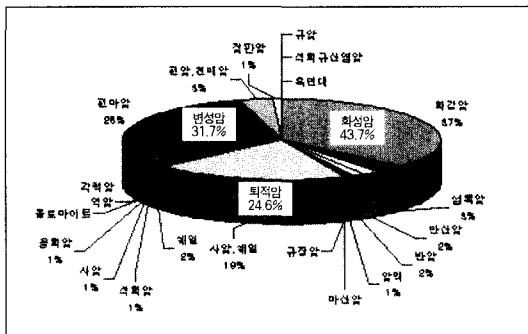
변성암은 비교적 한반도 전역에 골고루 분포하는데 특히, 중부지역에 넓게 분포하는 암종으로 약 6억 5천만년 전에 형성된 것이다. (Na.K.C. & Lee,D.J., 1973)

화성암은 2억년 전과 1억년 전에 심성암 또는 분

* 정희원, 삼성중공업 건설부문 토목사업본부 본부장
 ** 정희원, 삼성중공업 건설부문 토목사업본부 기술팀장
 ** 정희원, 삼성중공업 건설부문 토목사업본부 담당과장

출암의 형태로 중부지역에서 남서~북동방향으로 형성되어 있으며 경상분지 내에 일부 지역과 제주도에서 분출암의 형태로 나타난다. 이는 주로 서울, 부산, 대구 등의 대도시 지역과 높은 산악지를 이룬다.

퇴적암은 주로 경상분지를 이루는 한반도의 남동측에 위치하나 일부 옥천지향사대를 형성하는 충청도, 강원도 일부지역의 북동~남서 방향에서 고생대의 퇴적암이 나타나는데 분포암종은 사암, 셰일, 역암, 석회암, 무연탄 등으로 비교적 다양하며 지각운동의 영향을 받아 층리경사가 급한 것들이 많다.



국내 고속도로 주변의 암종분포

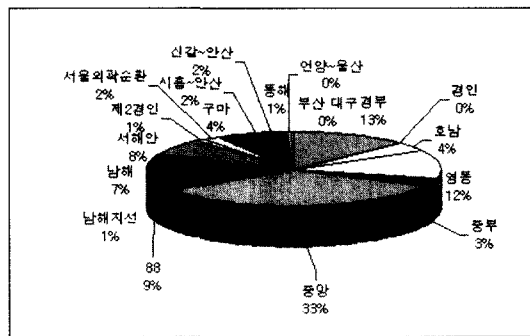
2.2 고속도로 절토사면의 분포

현재 완공되어 있는 고속도로 주변에 분포하는 절토사면은 총 3,000여개로 계속적으로 고속도로의 신설로 인해 절토사면이 증가하고 있다. 절토사면이 100개 이상 분포하는 노선으로는 경부, 호남, 남해, 88, 영동, 서해안(인천~안중), 중앙고속도로이다. 각 노선별 사면분포현황은 중앙고속도로가 33.2%로 가장 높은 분포를 보이고 경부고속도로가 12.9%, 영동고속도로가 11.9%의 순으로 나타나고 있다.

절토사면이 고속도로상에서 분포하는 연장을 살펴 보면, 중앙고속도로가 88km로 가장 길고, 경부고속도로 68km, 영동고속도로 49.5km, 남해고속도로 38.2km의 순으로 나타났는데 이를 고속도로 연장과 비교하여 보면 중앙고속도로가 33.1%로 가장 높은 비율을 보이며, 신갈~안산간 고속도로 24.6%, 서해안(인

천~안중) 21.9%, 서울외곽순환고속도로(평촌~퇴계원) 13.9%로 나타났다.

각 노선별 절토사면의 분포현황은 다음 도표와 같이 위험사면에 대한 한국도로공사 자료에 의하면, 기존 고속도로 구간에 이들 2,700여개의 사면 중 비교적 위험도가 큰 사면은 30개소에 이르며 위험도가 높은 사면은 신설구간에서 240여개소, 확장구간에서 70개소가 분포한다. 그러나 이들 사면중 공사중 또는 개통 후에 사면붕괴가 발생되었거나 붕괴위험이 있어 지난 수년동안 현장조사를 실시한 사면은 220여개소에 이른다. (한국도로공사, 1994, 1995, 1996)

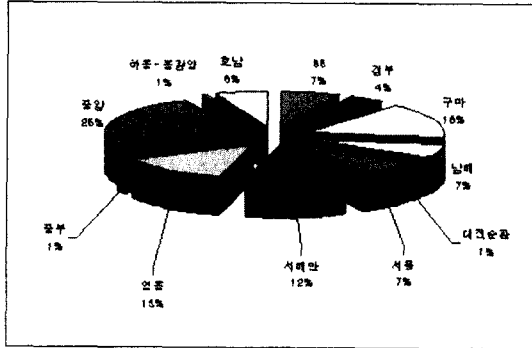


고속도로별 절토사면 분포

2.3 고속도로별 사면붕괴 현황

고속도로의 절토사면은 도로건설에 의해 인공적으로 형성된 것으로 절토사면의 안정성은 환경적인 조건과 지질적인 요인에 의해 좌우된다. 지질적인 특성은 붕괴발생에 큰 영향을 줄것으로 사료되며, 특히 암석종류에 따라 지질적인 특성이 달라지므로 암석종류는 붕괴를 일으키는 가장 중요한 요인이 될 수 있다. 전국에 분포하는 고속도로 사면중 붕괴발생율을 추정하여 보면, 아래 도표와 같이 경기도 및 강원도 일대의 중부지방에서 가장 높고, 경상남북도 일대의 남부지방에서 다음으로 높은 붕괴빈도를 보인다. 이것을 한국지체구조도(김옥준, 1987)와 비교하여 보면 전체 붕괴빈도 중 경기육괴의 편마암지대에

서 46.7%를 차지하는 붕괴비율을 나타내고 경상분지를 이루는 퇴적암지대에서는 34.7%, 옥천고지향사대의 퇴적변성암에서는 0.6%, 영남육괴 암층에서는 8%의 붕괴비율을 나타내고 있다.



고속도로 사면붕괴현황

3. 절토사면의 안정해석

3.1 절토사면 관련 국내·외 설계기준

3.1.1 절토사면 경사

고속도로 절토사면의 다수는 시료채취를 포함한 충분한 현장조사 및 시험실에서의 시험이 없이 설계되므로 상세한 수치적인 분석이 제대로 이루어지지 않고 있는 실정이다. 그러므로 고속도로에서 절토공사가 엔지니어의 경험에 의해 크게 의존하거나 인근 지역의 유사한 절토사면 및 주변의 자연사면 상황, 고속도로의 기본설계를 위한 지반조사 내에서 수행된 몇가지 현장조사 자료에 의존하여 설계되어야만 하는 것을 의미한다. 절토사면의 경사결정은 규칙이 명확하지 않아 여기서 언급하기가 어려우며 개개의 경우가 다르고 개별적으로 취급되어야 한다. 그러나 이전의 경험은 사면경사를 결정하는데 가치있는 도움을 줄 수 있으나 맹목적으로 이러한 정보를 사용하는 경우 실패할 수 있는 경우가 많다.

1) 국내의 절토사면 경사

표 1. 국내 여러기관의 절토사면 표준경사

토질조건	비탈면높이	경사기준				
		건설교통부	한국도로공사	토지개발공사	한국주택공사	
토사 (사질토, 점성토)	5m 이상	1:1.5	1:1.5	1:1.5	1:1.5	
	0 ~ 5m	1:1.2	1:1.2	1:1.2	1:1.2	
리핑암(풍화암)	5m 이상				1:1.2	
	0 ~ 5m	1:0.7	1:1.0	1:1.0	1:1.0	
발파암	연암	1:0.5	1:0.5	1:0.5	5m 이상	1:1.0
					0 ~ 5m	1:0.8
	경암	1:0.5	1:0.5	1:0.5	5m 이상	1:0.8
					0 ~ 5m	1:0.5

표 2. 국내 고속도로 사면경사 적용사례

토질	높이	고속도로별 적용경사				소 단
		중부·남해	반포·구리	대구·춘천	대강·진주	
토사	0~5m	1:1.2	1:1.2	1:1.2	1:1.2	5m마다 소단
	5m 이상	1:1.5	1:1.5	1:1.5	1:1.5	1m 설치
리핑암	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	20m마다 소단
발파암	1:0.5~1:1	1:0.5	1:0.5	1:0.5	1:0.5	3m 설치

표 3. 암반의 특성에 따른 표준 사면경사

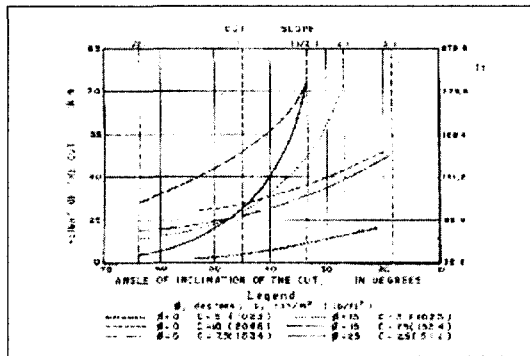
암반구분 (굴착 난이도)	일반파쇄상태		굴착 난이도	경사	소단 설치	암반의 강도정수		
	NX시추시 (BX시추시)	TCR				ROD	내부 마찰각	점착력
강한 풍화암으로서 파쇄가 거의 없는 경우와 대부분의 연경암	10~20%	5%이하	발파 암반 (연암반)	1:0.8	H= 10m마다 소단 1-2m	33°	130KPa	
	30%이상	10~20%	발파 암반 (보통암반)	1:0.7	H= 10m마다 소단 1-2m	35°	150KPa	
			발파 암반 (경암반)	1:0.5	H= 20m마다 소단 3m	40°	200KPa	

2) 일본의 절토사면 경사(일본 고속도로공단)

Bedrock soil		Cut Height	Gradient
Hard rock	-	-	1:0.3~1:0.8
Soft rock	-	-	1:0.5~1:1.2
Sand	Those not dense, not solid and of bad grade distribution	-	1:1.5
Sandy soil	Those that are dense and solid	less than 5m	1:0.8~1:1.0
		5~10m	1:1.0~1:1.2
	Those not dense, not solid	less than 5m	1:1.0~1:1.2
		5~10m	1:1.2~1:1.5
Sandy soil mixed with gravel or rock mass	Those that are dense and solid or of good grade distribution	less than 10m	1:0.8~1:1.0
		10~15m	1:1.0~1:1.2
	Those not dense, not solid or of bad grade distribution	less than 10m	1:1.0~1:1.2
		10~15m	1:1.2~1:1.5

3) 미국의 절토사면 경사

미국 캘리포니아 고속도로에서 적용된 사례를 살펴보면, 절토사면의 설계경사는 C와 φ의 범위와 사면높이의 관계로 주어졌다. 이들 변수는 일반적인 지반물질에 대한 일반적인 지식에 근거하여 엔지니어들에 의해 수립되었으며, 이 그래프는 보다 합리적인 안전율의 개념을 포함하고 있다. 이 그래프는 다른 값을 사용하는 경우에 일반적인 안정성을 확보하기 위한 강도정수의 영향에 대한 신속한 시각화를 위해 유용하다.



4) 현행 사면경사 결정시 문제점 및 개선방안

현행 적용되는 사면경사는 설계범위 중 가장 급한 경사를 적용하고 있으므로 현장답사 및 지반조사 결과를 종합적으로 분석하여 설계경사 범위중 안전측으로 적용하는 것이 필요하고 사면경사의 설계기준

은 토질조건, 토질특성 및 지하수위 등을 고려하지 않고 있으며 굴착의 난이도에 따라 발파암, 리핑암, 토층의 세가지로 구분하여 일률적으로 사면경사를 설정하는데 이를 세분화시킬 필요가 있을 것으로 판단된다. 또한 암반사면은 단층, 절리, 층리면 등과 같은 불연속면에 의해 불연속체적으로 거동하며 암반사면의 안정성은 불연속면의 공학적인 특성에 좌우되므로 시공중 불연속면 상태에 대한 정밀지질조사를 수행하여서 지질구조가 미치는 사면안정성 영향을 재검토하여 불안하다고 판단되면 시공중에 설계변경이나 보강공사를 수행하는 것이 바람직하다. 그리고 절토고 및 규모, 붕괴시의 위험도, 경사도에 따른 위압감 등을 고려하지 않고 있으나 이를 고려하여 안정감을 높이고 경관을 좋게하여야 한다.

3.1.2 최소안전율

사면의 안정성은 이른바 안전율(Factor of Safety)을 근거로 하여 판단하고 있으며 안전율은 주어진 활동면에 대하여 흙의 전단강도(S)를 현재의 전단응력(τ)으로 나눈 값이다. 즉 안전율(Fs)=S/τ로 정의될 수 있다. 따라서 이론상 안전율이 1.0이상이면 안전하다고 판단할 수 있으나 사면의 실제거동에 대한 파악이 어려운 여건을 감안하여 허용안전율의 개념을 도입, 설계에 적용하고 있으며 절토사면의 최소안전율에 대한 국내·외의 적용기준을 보면 다음과 같다.

구분		최소안전율(Minimum Safety Factor)	
건설부		구조물 기초설계 기준	$F_s \geq 1.3$
한국 도로 공사	도로설계요령 (1976)	원위치 시험에 의한 전단강도	$F_s \geq 1.7$
		일축 및 삼축압축 시험에 의한 전단강도	$F_s \geq 1.5$
	도로설계요령 (1992년)	절토사면의 시공 후 기간의 경과와 함께 불안정하게 되므로 최소안전율 삭제	-
미국 Federal Requirer, 1997		시공직후	$F_s \geq 1.3$
		침윤을 고려할때	$F_s \geq 1.5$
		지진을 고려할때	$F_s \geq 1.0$
영국 National Coal Board, 1970		1) Peak Shear Stress(UU Test)	$1.5 > F_s \geq 1.2$
		2) Residual Shear Stress(CU Test)	$1.5 > F_s \geq 1.25$
		3) 포화된 사질토의 경우($c=0$)	$1.35 > F_s \geq 1.15$
		4) 2), 3)항이 공히 적용되는 경우	$1.2 > F_s \geq 1.1$
NAVFAC-DM 7.1~329		하중이 지속적으로 작용할 경우	$F_s \geq 1.5$
		구조물 기초의 경우	$F_s \geq 2.0$
		일반적인 하중작용 및 시공시	$F_s \geq 1.25 \sim 1.3$
일본 건설성		표준적인 계획 안전율	$F_s \geq 1.1 \sim 1.3$
일본 도로공단		도로설계 요령	$F_s \geq 1.5$
캐나다 Mines Branch 1972		극한강도로 설계한 경우	$F_s \geq 1.0 \sim 1.3$
		잔류강도로 설계한 경우	$F_s \geq 1.5$
		100년 주기의 지진가속도를 포함한 경우	$F_s \geq 1.5$
		지진이 있는 지역의 제방 하부에서 수평활동이 일어날 경우 (제방내에 갇혀 있는 세립 폐사 (fine refuse)의 강도를 무시함)	$F_s \geq 1.5$

3.2 지반조사

3.2.1 지반조사 일반사항

국내 지반조사기술은 그 방법과 내용에 있어서 각 연구소와 학교, 정부투자기관과 민간연구기관에서 실험장비와 신기술을 도입하여 가능한 한 현위치 지반정수를 얻기위해 수많은 노력을 해왔으나 아직까지도 이러한 새로운 기법이 설계시에 적용되는 경우는 많지 않은 실정이다. 현재 한국도로공사에서 일반 발주한 공사에서 실시되고 있는 절토부에 대한 지반조사 방법 및 내용은 대체적으로 시추조사와 표준관입시험 위주로 조사되고 있으며 충분치 못한 조사수량 및 조사규격이 BX size일 경우 암반의 Core 채취 곤란 등으로 절토사면 설계시 지반물성치를 산정하는데 많은 어려움을 겪고 있다. 최근에 T/K 및 대안공사의 경우에는 시추조사와 표준관입시험 외에 공내 재하시험, 시추공전단시험 등과 각종 물리탐사(탄성

파탐사, 전기비저항탐사, BIPS 등)들을 실시하고 있으며 조사수량도 일반발주에 비하여 많아 졌으나 이를 설계에 적절히 활용하지 못하는 경우가 많다.

3.2.2 지반조사 빈도 및 문제점

고속도로건설에서 절토사면 높이가 20m이상 경우에 대절토로 규정하고 있으며 그 외에 구성지반이 붕괴토 또는 퇴적층인 경우, 현재까지 붕괴이력이 있고 불안정한 상태에 있는 지반의 경우, 지하수위가 높고 용수가 많은 곳, 주변의 기존구조물(철탑 등)에 나쁜 영향을 미칠 것으로 예상되는 경우는 그 이하의 절토 높이에서도 현장조건에 따라 대절토부 설계에 해당하는 조사를 실시하도록 되어있으며 이와 같은 절토사면을 설계하기 위하여 필요한 조사항목 및 최소조사 빈도는 다음과 같이 규정하고 있다.

현재 국내에서 조사되고 있는 조사내용상의 품질은 조사기술 보다는 지반조사를 수행하는 방법이나 제도상의 문제점이 더 많이 지배하고 있으며 이를 발주처와 설계사를 중심으로 살펴보면 조사수량 부족 및 누락, 조사 후 정산, 토기보상 및 산림훼손, 지반설계 검토비 누락, 풍화대 지반의 시료채취 문제, 지반분류 구분 미비 등을 들 수 있다.

조사항목	최소조사빈도	심도	비고
시험굴	250m	1~2m	
시추조사	절토부 개소당 1개소이상	계획고하 1m	절토고 연장에 따라 조정
탄성파 탐사	대절토 구간 (지표면 탐사)	-	
지표지질조사	매 노두마다 수행	-	필요한 노출면적

3.3 절토사면 안정해석 기법

3.3.1 절토사면의 불안정 요인 및 붕괴유형

사면의 불안정 요인은 크게 외적인 요인과 내적인 요인으로 구분되며 Terzaghi 등은 그 원인을 외적인 요인과 내적인 요인으로 분류하여 제시하였는데 외적인 요인으로는 지형의 기하학적인 변화(인위적인 깎기, 유수에 의한 침식 등), 토피하중의 제거(침식, 인위적인 깎기), 하중의 증가(하중의 추가, 비탈높이의 증가, 수위상승에 의한 흙무게의 증가), 충격과 진동, 인접한 호수 또는 저수지의 수위강하, 강우 등이며 내적인 요인으로는 진행성 파괴, 풍화작용(동결융해, 건조수축 등), 물의 침투로 융해(융해에 의한 침식, 파이핑 현상 등) 등이다.

절토사면의 붕괴유형은 얇은 표층붕괴, 깊은 붕괴 및 깊고 광범위하게 미치는 붕괴로 구분할 수 있는데 얇은 표층붕괴는 절토사면에 침식되기 쉬운 흙, 점착력이 부족한 모래, 화산재 등이 있는 경우 지표수 및 침투수로 인하여 부분적으로 붕괴가 발생되며 화강암, 풍화토 등에서 일어나기 쉽다. 또한 파쇄가 진행되는 암, 균열이 심한암, 풍화되기 쉬운암 등은 절토작업시 진동, 풍화 등으로 부분적 탈락이 생긴다. 깊은 붕괴는 절리방향이 사면방향과 같거나 파

쇄대에 동반한 단층, 큰 균열, Seam이 절토사면의 중간에 있고 사면방향으로 경사져 있는 경우 심층부 붕괴가 발생하며 붕괴는 예측할 수 없고 순간적으로 발생하여 대형사고가 일어날 소지가 크다. 깊고 광범위하게 미치는 붕괴규모가 큰 암이나 반고결의 Silt 암, 니암의 사면인 경우 넓고 대규모로 붕괴가 발생되며 붕괴속도는 느리고 사면상 균열에 의해 사전에 측이 가능하다.

3.3.2 절토사면 안정해석 방법 및 문제점

절토사면의 안정해석 방법은 사면의 파괴양상에 따라 달라질 수 있으며, 일반적으로 토사 및 풍화암에 대한 연속체 해석 개념과 암반층에 대한 불연속체 해석 개념으로 대별할 수 있다. 고속도로 건설시에 절토사면과 성토사면이 존재하며, 절토사면은 토사(풍화암)사면과 암반사면으로 대별할 수 있다. 이중 성토사면과 절토사면의 토사(풍화암)사면에 대해서는 한계평형해석과 수치해석(FDM)을 실시하며, 암반사면은 평사투영법, SMR, 한계평형해석 및 수치해석(UDEC)을 실시한다. 토사사면의 안정해석시 일반적으로 한계평형해석이론이 이용되고 있으나 이 방법은 사면안정 해석시 얻어지는 임계활동면이 실제 사면에서의 활동면과 정확히 일치된다고 볼 수 없으며, 파괴시 힘의 평형만 고려할 수 있고 파괴에 이를 때까지의 변형해석은 불가능하다. 따라서 이러한 해석상의 오류를 방지하고 보다 정확한 사면안정해석을 실시하기 위하여 주요 해석단면에 대해 수치해석 기법중 유한차분법(Finite Difference Method)을 이용하여 해석을 실시한다.

유한차분법에 의한 사면안정해석은 한계평형이론과 달리 사면을 포함한 실제 지반을 비교적 정확히 모델링할 수 있으며 활동면에 대한 해석뿐 아니라 전 영역에 걸친 해석이 가능하다. 또한 사면에서의 전단파괴 영역 및 소성범위를 확인할 수 있으며 사면의 거동에 따른 변위 및 전단강도 감소기법을 이용하여 안전율을 확인할 수 있는 장점들이 있기 때문에 최근에 많이 사용되고 있다.

암반사면의 안정해석은 평사투영법을 이용하여 암반사면에서의 개략적인 안정성을 파악한 후 잠재적인 파괴 가능성이 있는 사면에 대해 한계평형법을 이용하여 안전율을 계산하는 정량적인 평가 방법이다. SMR(Slope Mass Rating)에 의한 암반사면의 분류법은 암반사면을 1차적으로 평가하는 방법으로 일반암반의 평가법인 Bieniawski(1973, 1976 & 1989)의 RMR(Rock Mass Rating)을 근거로 하여 사면에 대한 요소들을 보정하는 방법으로 Romana(1985, 1988 & 1993)에 의해 제시되었다. 또한 수치해석인 UDEC(Universal Distinct Element Code)은 불연속 암반에 존재하는 절리에 의해 분리된 개개의 블록들의 모서리 사이의 접촉상태에서의 거동을 해석하여 응력과 변형을 계산하는 불연속 모델의 해석 프로그램이다.

그러나 설계단계에서 암반사면의 안정성 검토는 어느정도 한계가 있어 여러 가지 보강방법이 수립되어야 한다. 설계단계에서 수행되는 사면안정성 검토는 지표지질조사를 토대로 하여 전체적인 암반에 대한 개략적인 검토이므로 시공단계에서 굴착시공을 하면서 위험하다고 판단되는 위험암괴에 대해서는 한계평형법(Limit Equilibrium Method)으로 안전율을 계산한 후 불안정하다고 판단되는 암반에 대해서는 암반 특수성을 고려하여 적절한 보강대책을 세워야 한다. 또한 평사투영법 및 한계평형해석의 중요 요소인 절리면의 주향, 경사, 강도특성 등의 파악이 중요하듯 설계단계에서 지표지질조사 및 시추조사로는 파악의 한계가 있으므로 시공시 굴착면에 대한 Geological Mapping을 수행하여 정밀한 안정검토를 시행하고 안정검토 결과에 따라 사면의 경사변경 및 보강방법 등이 강구되어야 한다.

3.3.3 사면안정 해석시 유의사항

1) 강도정수 산정

사면파괴는 최대응력(최대강도)이 작용하는 시점과 잔류응력(잔류강도)이 작용하는 시점 사이에 발생하므로 파괴면에는 최대강도가 작용하지 않는다. 따

라서 사면파괴가 일어났거나 사면파괴가 진행중인 경우에는 파괴면에 잔류강도가 작용하므로 사면안정 해석시 강도정수 ϕ 값은 잔류마찰각 (ϕ_r)을 사용하는 것이 바람직하다.

암반의 사면안정 해석시 불연속면에서의 점착력은 불연속면이 계속되지 않는다. 즉, 일부분이 붙어 있다고 가정하는 경우에만 그 존재가 인정되며 점착력을 고려하면 고려하지 않을때 보다 안전율이 100% 이상 증가 할 수도 있으므로 신중하게 판단하여야 하며 활동면에서의 점착력 $C=0$ 으로 하여 설계하여야 한다. 따라서 사면안정 해석시 사용되는 암석의 강도정수는 사면을 굴착할 때의 돌발사태 가능성을 줄이기 위하여 가능한 한 안전측에 가깝게 작은 값의 점착력과 마찰각을 사용하여야 하고 사면에서의 지하수상태를 알 수 없는 경우에는 예상되는 가장 높은 지하수 수준을 계산에 이용해야 한다.

2) 지하수위 적용

지하수위는 해마다 변동하며 그에 따라 평형에 필요한 전단응력도 변하게 된다. 또한 가장 악조건은 비가 심하게 내리는 경우로 대부분의 파괴는 이 기간에 발생한다. 따라서 무한사면 안정해석시에는 일반적으로 가장 악조건 즉, 지하수위가 사면의 표면에 있는 경우를 가정하여 해석한다. 절토사면(토층, 리핑암 및 RQD-0%에 가까운 파쇄암)에 대한 사면안정검토시 지하수위는 지표면에 위치한다는 가정하에 실시하여야 하며 검토결과 안전율이 1.3이하인 경우에는 지하수위를 낮추어서 안전율을 재검토하여야 한다. 지하수위를 낮출 경우에도 안전율이 1.3 이상이 되는 경우에는 산마루측구 등의 배수시설을 완벽히 갖추어 강우시 침투가 발생하지 않도록 조치하면 사면구배를 변경시키지 않아도 사면보강대책으로 적용 가능하다.

3) 해석방법 선정

사면의 활동을 해석하는 방법은 유한요소법과 같은 수치해석을 이용하는 탄성 또는 탄소성 해석과 파괴가 발생되는 경계면에서의 역학적인 평형관계만을 해석하는 한계평형해석방법으로 대별된다. 그러나 유

한요소법과 같은 수치해석은 실제로 사용하기에 많은 어려움이 있고 해석시간이 많이 소요되므로 현장에서는 적용 데이터가 일반적이고 해석이 용이한 한계평형 해석 방법이 주로 사용된다. 왜냐하면 STABL해석이나 FEM해석에서는 원칙적으로 지반을 연속체로 가정하여 지층별 강도정수가 균질한 지반상태로 보고 해석을 하게 되므로 불연속면을 포함하는 이방성을 띠는 암반에서의 (특히 절리면의 상태에 따른 암반파괴가 지배적인 암반사면) 안정해석에서는 근본적인 한계가 따른다. 토사층과 리핑암(풍화암) 및 RQD가 0에 가까운 파쇄암에 대해서는 사면파괴가 단일불연속면에 의해 결정되지만 원호파괴의 경로를 따르게 되므로 토사층으로 간주하여 STABLE 등의 Program 을 사용하여 사면안정해석을 수행하고 연암이상의 암반에 대해서는 대표적인 불연속면의 공학적인 특성을 고려하여 평사투영법을 이용하여 사면안정해석을 수행한다.

단층이나 맥암의 존재 등 불연속면이 비교적 크고 연속될 때에는 이면에 따른 안정성을 한계평형해석으로 평가할 수 있다. 또한 활동파괴가 원호인 경우(균질한 토사나 파쇄가 심하게 발생한 암반의 경우)에는 Bishop의 간편법을 이용하고, 비원호 사면파괴의 안정해석시에는 Janbu의 절편법 또는 Spencer법을 적용하고 암반활동의 경우에는 수정 Janbu법을 적용하는 것이 합리적이다.

4) 사면 안정해석

일시적인 사면안정이 필요한 사면절취 현장에서는 $F_s=1.3$ 을 최소 허용치로 간주하고 공사용 도로를 포함하고 있는 사면과 같이 상당히 긴 시간동안 사면을 유지해야 하는 사면의 안전율은 $F_s > 1.5$ 가 적당하다.

무한사면 해석을 적용할 수 있는 사면은 사면 높이가 활동면 깊이의 대략 10배 이상이 되어야하며 무한사면의 파괴는 이질적인 토층의 경계면을 따라서 발생하는 것이 보통이므로 붕적토층과 풍화토층 및 풍화암층과 연암층의 경계면을 파괴면으로 보고 이들 두개의 파괴면에 대하여 안전율을 구해야 한다.

5) 보고서 작성

시추조사 자료가 없거나 암반이 노출되지 않은 지역에 대한 사면 안정해석시에는 인근 시추조사 자료에 근거하여 설계를 하므로 예비설계의 범주를 벗어나지 못하므로 차후 절취하면서 사면에 나타나는 암반상태를 재확인하여 기존 암 상태와 현저히 차이가 있을시에는 설계변경을 할 수도 있는 구간임을 보고서에 부가하여 언급하여야 한다. 또한 한정된 갯수의 시추조사와 주변에서의 제한된 노동에서의 지표 지질조사로서 사면안정해석을 완벽하게 수행하는 것은 무리가 있으며 또한 일반적으로 사면전체에 걸쳐서 균질한 지질이 아니고 부분적으로 단층이나 붕괴요인을 수반하는 경우가 많으므로 차후 시공시 굴착면에 대한 현장 Mapping을 실시하여 원래 지표지질조사와 오차로 인한 위험요소가 있을 경우에는 감리자나 감독관의 승인을 득한 후 절취경사를 변경하거나 Rock Bolt 등의 보강대책을 수립하도록 보고서에 명시한다.

4. 사면안정 대책공법

4.1 개요

현장조사나 사면안정해석 등에 의해 불안정함이 판명되면 사면에 대한 안전율을 증가시킬 수 있는 대책이 마련되어야 하며 이러한 대책공법으로는 크게 사면보강공법과 사면보호공법으로 나눌 수 있는데, 전자는 사면파괴의 잠재적 요인을 개선시키는 적극적인 대책공법 이라 할 수 있으며 후자는 사면파괴를 발생시키는 직접적 유인으로부터 사면을 보호하는 대책공법이라 할 수 있다.

4.2 고속도로 절토사면에 적용되는 대책공법의 특징

4.2.1 사면보강 공법

공법종류	공법개요	적용성	
지 항 력 증 가	앵커 공법	• 고강도 강재를 앵커재로 하여 보링공내 삽입하여 그라우트 주입을 실시함으로써 앵커재를 지반에 정착시켜 두부에 작용한 하중을 정착지반에 전달하여 안정화시키는 방법	• 적용효과가 좋고 시공실적도 우수하여 적용성이 높음
	Soil Nailing	• 네일을 프리스트레싱 없이 촘촘한 간격으로 원지반에 삽입하여, 원지반 자체의 전체적인 전단강도를 증대시키고 또한 공사도중 및 완료 후에 예상되는 지반변위를 가능한 억제하는 공법	• 공사비가 다소 고가이나 적용성이 높은 공법으로 시공성도 양호함
	Rock Bolt	• Rock Bolt는 암반과 보호공과의 일체화 또는 불연속체를 경계로 하여 암반이 일체화 되도록 보강하는 공법	• 암반사면에서 적용효과가 좋고 시공실적도 많음
옹벽공	• 사면경사 선단부에 도로를 건설할 경우 사용되며, 옹벽만으로 자연사면의 안정을 기대할 수 없는 경우 앵커공이나 말뚝공 등을 병행하여 시공함	• 공사비가 고가이고 시공성이 나빠므로 사면파괴가 발생된 곳에 보강공법으로 적용되고 있음	
활 면 안 정 화	• 비탈면의 경사를 완만하게 조정함으로써 토괴의 활동력을 감소시키는 공법이다. 안정도도, 시거확보 등의 장점이 있으나, 깎기량의 과다, 자연환경의 훼손, 무한사면 발생의 단점이 있음	• 안정성 및 유지관리 측면에서 가장 확실한 공법으로서 고속도로 절토사면에서의 적용성이 매우 높음	

4.2.2 사면보호 공법

절토사면의 노출에 의한 침식, 풍화, 세굴로부터 장기적인 안정성 확보와 미관제고 및 유지관리를 위해

여러가지 방법으로 피복시켜줄 필요가 있으며 사면 보호공은 크게 다음의 3가지 분류한다.

1) 피복공

공종	개요	특징
씨앗뿌어 붙이기공	• 씨앗, 비료, 흙 등의 뿌어붙일 재료에 물을 가한 흙탕물 모양의 혼합물을 분사기(Gun)에 의해 뿌어붙이는 공법	• 흙깎기 비탈면에 적당 • 발아상을 두껍게 뿌어 붙일수가 있다 • 높은 곳(약 12m), 급구배의 시공이 가능 • 이층 뿌어붙이기에 적합
식생 매트공	• 씨앗, 비료 등을 장착한 매트류로 비탈면을 전면적으로 피복하는 방법	• 식생이 왕성할 때까지 매트에 의한 직접 피복효과가 있어 동계나 하계의 시공이 가능
씨앗부착 거적덮기	• 깎기 · 쌓기 법면을 잘 정리한 후 식생용지에 종자와 비료를 접착시킨 후 벗집을 입힌 기성제품으로 법면을 덮고 철사핀으로 고정하는 방법	• 강한 흡습, 보습력으로 씨앗 발아에 유리함 • 공사비 저렴, 장비 불필요 시공용이 • 기성제품으로 품질의 균일성 유지
COIR NET공	• 법면에 seed spray를 시행한 후 아자열매에서 추출한 100% 섬유질로 짠 net를 녹화기간 전면으로 일체가 되도록 덮고 지지용 양카핀으로 고정하는 방법	• 법면의 세굴방지 및 암불력 등의 이탈 방지에 유효함
녹생도공	• 식생이 불가능한 암반 비탈면에 부착망을 양카핀과 착지판으로 고정후 토양개량과 양잔디 씨앗을 혼합, 취부하여 녹화하는 방법	• 암반 절개면 녹화가능 • 낙석방지 효과 • 주요 경관지역 조기녹화

2) 배수공

공종	개요	특징
소단 배수공	• 절토면에 형성된 소단의 상부에 콘크리트면을 설치하며 배수로 쪽으로 약 5%~10% 정도의 역 경사를 줌	• 대절토 사면에 적당 • 우수 및 풍화작용으로 인한 소단의 유실방지 • 배수로 역할로 법면의 세굴방지
지하배수구 및 경사면 망태공	• 지표면에 가까운 침투수를 모아 배수 · 용수가 많은 사면에서는 비탈면 망태공과 겸용함	• 용수상황에 따라 화살형이나 W형으로 배치하고 사면파괴 방지를 위해 필터매트와 비탈격자공 등을 겸용

3) 구조물공

공종	개요	특징
현장타설 콘크리트 격자공	<ul style="list-style-type: none"> 격자는 철근 콘크리트의 현장 타설로써 용수 처리를 충분히 하고 상황에 따라 불력갈기, 돌붙임, 식생 등으로 보호 압반 중 균열이 많고 물이 침투해서 풍화를 촉진시키거나 붕락을 일으킬 염려가 있는 경우에는 숏크리트 살포 또는 시멘트 밀크를 주입 	<ul style="list-style-type: none"> 용수가 있는 풍화함, 장대비탈면 등에서 비탈면의 장기적 안정이 염려되는 곳 콘크리트 불력 격자공으로는 붕낙의 염려가 있는 곳에 사용
숏크리트공	<ul style="list-style-type: none"> 절토사면을 정리한 후 Wire mesh(φ4×100×100)를 정해진 위치에 Anchor Pin으로 고정시킨후 Cement mortar를 Compressor로 뿌림으로써 표면을 보호하는 공법 	<ul style="list-style-type: none"> 비탈면에 용수가 없고 당장 붕낙의 위험은 없으나 풍화되기 쉬운 암석, 암석이나 호박돌 섞인 토사등으로 식생이 부적합한 곳에 사용 넓은 면적에 효과가 좋으며 구배가 심한 곳, 바위가 돌출한 비탈면에서 시공이 가능 지반은 연암이상으로 경사면 자체가 안정되어 있는곳에 사용

4.2.3 사면안정 대책공법 선정방법 및 선정시 유의사항

1) 사면안정 대책공법 선정방법

국내 고속도로 주변의 절토사면에 적용된 대책공법을 살펴보면, 사면경사완화공법 및 이와 관련된 공법(사면경사완화공법+식생 또는 녹생토)이 가장 많이 적용되었으며 그 외로는 Rock bolt관련공법과 낙석방지망 또는 낙석방지책과 관련된 공법들이 주로 사용되었다.

사면경사완화공법의 경우에는 사면의 붕괴를 일으킬 수 있는 불안정요인을 제거하여 주는 확실한 공법으로 고속도로 주변의 용지보상비가 저렴하여 비교적 경제적인 공법이기 때문이다. 따라서 대책공법 선정시 활동력을 감소시키는 사면경사완화공법을 먼저 검토하고 이것이 불가능할 경우에는 저항력을 증대시키는 억지공이나 지하수 배제공을 검토하는 것이 바람직하다. 왜냐하면 지하수 배제를 위한 시설물은 파괴될 위험도 그만큼 작고 Strainer 구멍이 막혀 배수기능이 저하되어도 억지공에 의한 최소의 안전율이 확보되기 때문이다. 배수공에 의한 효과는 일반적으로 안전율을 5%정도 상승시켜주는 것으로 알려져 있다.

2) 사면안정 대책공법 선정시 유의사항

활동토괴의 두께가 5~10m인 비교적 얇은 경우에는 강수량과 운동이 밀도와 관련되기 때문에 지표수 배제공과 지하수 배제공을 병용하여 적용하는 것이

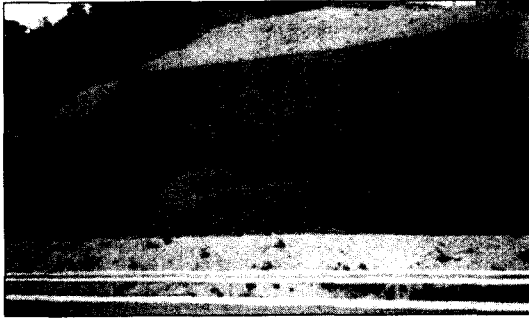
효과적이며 장기간의 강우와 용설이 사면활동에 관련되는 경우에는 심층 지하수 배제공이 효과적이다. 토사층이나 절리가 심한 풍화암층에서 사면파괴가 예상될 경우에는 사면정상부에 배수구를 설치하고 기울기를 완만하게 한 후 식생을 하며 암반사면에서 지지 가능한 신선한 암반층이 없고 절리방향이 불규칙하고 파쇄가 심한 경우에는 Rock Bolt 또는 Rock Anchor는 적용하기가 곤란하다.

또한 뚜렷한 위험절리가 발달한 경우에는 우세한 절리의 경사로 구배를 낮추는 것이 효과적이며 암반 사면의 표면에서 부석이 이탈되는 경우에는 낙석 방지망을 설치하여 방지한다.

암괴가 굴러 내리거나 미끄러져 내릴 우려가 있는 경우에는 사면선단부에 콘크리트옹벽을 설치한 후 낙석방지책을 설치하거나 또는 위험암괴에 대해서는 철망을 씌우거나 Rock Bolt를 설치하며 사면전체를 Shotcrete로 처리하여 과도한 수압에 의한 붕괴를 초래한 경우에는 Rock Bolt를 설치하거나 사면구배를 완화시켜야 한다.

4.2.4 사면안정 대책공법 적용사례

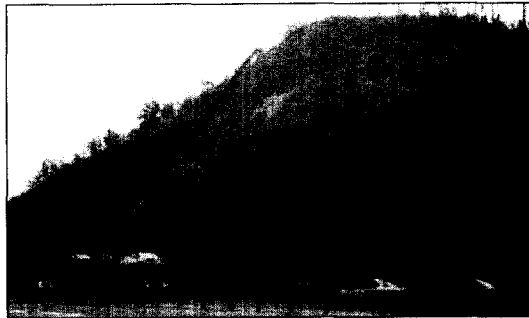
최근에 고속도로 절토사면에서 주로 적용되는 사면안정 대책공법들은 다음과 같다.



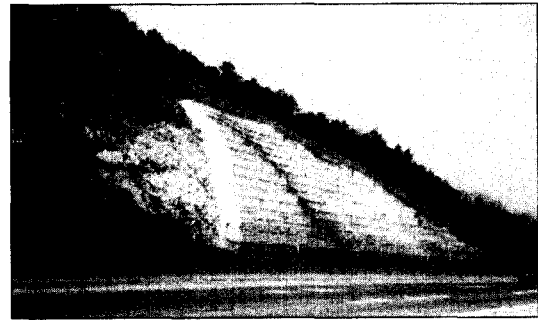
식생공



식생공 + 낙석방지책



낙석방지망 + ROCK BOLT



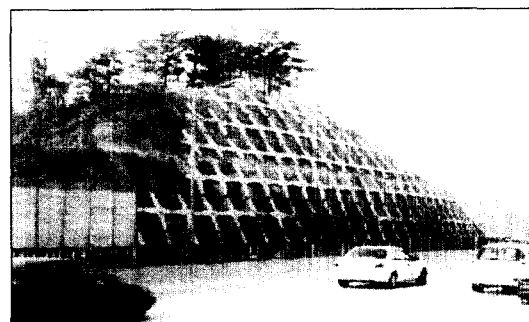
계단식 옹벽



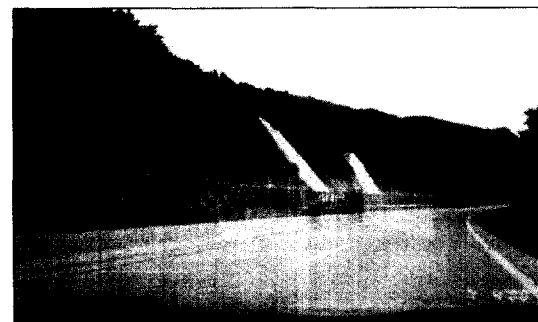
슛크리트 + 식생



돌붙임공



슛크리트 + EARTH ANCHOR + 현장타설 콘크리트 블럭



부축식 옹벽 + 식생공

5. 시공 및 유지관리

5.1 시공현장에서의 사면처리 현황

우리나라에서 토층사면은 그 동안의 많은 경험으로 인하여 대체로 합리적인 방법으로 처리되는 경향이 있는데 비하여, 암반사면에 대한 처리대책은 거의 미미한 실정인데 그 예를 들어보면 다음과 같다.

간혹 슛크리트(Shotcrete)로 벌어진 불연속면의 틈새를 매우거나, 절개면 전체를 덮어 씌우는 시공을 한다. 암반내의 지하수는 불연속면을 따라서 흐르므로, 암반사면 표면에 시멘트를 사용할 때는 지하수의 유로가 되는 불연속면에 접하여 배수관을 설치하여야 한다. 그러나 우리나라에서 간혹 배수관을 설치하는 경우에도 격자식을 시공하므로 배수의 효과가 적고, 거의 대부분의 경우에는 배수관을 설치하지 않아서 과도한 수압에 의해서 오히려 큰 붕괴를 자초한다. (예 : 경부 및 영동고속도로 주변) 또한 터널입구 암반사면에 슛크리트를 적용한 경우가 많이 발견되는데 최근에 터널시공에서 많이 사용되는 NATM공법에서 슛크리트를 터널내부에 사용하는 주요한 목적 중에 하나는 지하수의 유입을 방지하는 것인데 비하여, 대기중에 노출된 암반사면에서의 슛크리트 사용목적은 풍화가 심하게 된 토층이나 암석이 쉽게 더 풍화되어 붕괴되는 것을 미연에 방지하려는 의도이므로 암반사면에서의 무분별한 슛크리트 사용에 주의하여야 한다. 또한 기존 토층에서 산사태를 방지 하기 위한 목적으로 우리나라에서 빈번히 식생하는 아카시아 같은 나무의 뿌리가 암석의 수직 불연속면을 따라 침투하여(20M하부깊이의 암반까지도), 불연속면 틈새에서 췌기 역할을 하여 인장력(Tensile force)이 발생할 뿐만 아니라 나무의 자중에 의하여 오히려 절개면 가장자리에 있는 암괴의 전도파괴(Toppling failure)를 야기시키는 경우가 여러 지역에서 조사 관찰된다. 그러므로 이런 지역에서는 아카시아 나무를 미리 제거시켜야 한다.

암반사면에서 위험한 암괴를 사면에 그대로 붙여

두기 위해서는 록볼트(Rock bolt)를 보편적으로 많이 사용하는데, 이 경우에 정밀한 지질공학적 조사를 한 후에 위험한 암괴만 보강하여야 하는데도 불구하고, 우리나라의 많은 암반사면에서 일률적으로 무분별하게 격자식으로 록볼트를 설계, 시공하고 있는 경우가 많다. 이는 공사비의 낭비를 초래할 뿐만 아니라, 더욱 많은 보강이 필요한 위험한 암괴들을 충분하게 처리하지 못하게 한다. 또한 암반사면의 절개후 암괴가 떨어지거나 인장균열이 생기는 불안한 징후가 있으면, 토층사면에서와 같이 손쉽게 우선 사면 절취각도를 완화하는데, 이는 불연속면에 의한 불안요인을 고려하여 완전히 원인을 제거한 것이 아니므로 차후에 또다시 불안하여져서 3차로 보강공사를 하여야 할 필요가 생기므로 공사비의 과도한 낭비가 초래된다.

5.2 시공시 유의사항

5.2.1 암반의 시공

암반은 최종 경사면 형성시, 암반을 느슨하게 하지 않기 위하여 절취면에 연한 부분은 폭파력을 약하게 하는 소발파를 하든지 아니면 기계시공인 브레이크를 사용하는 방법을 택한다. 또한 경사면 시공중 장래 낙석의 위험이 있는 부석이 있으면 되도록 제거하는 방향으로 대처하며 부석이 큰 경우에는 운반할 수 있을 정도로 작게 자르지만, 견고한 것은 보통의 기계로는 상당히 비능률적인 경우가 있다. 근처에 민가가 있을 경우에는 발파를 실시하기 힘들기 때문에 암석을 천공기로 구멍을 내고 거기에 시멘트계 팽창기를 주입하여 그 팽창력(3000kgf/cm² 이상에 달함)으로 파쇄하는 공법을 적용하여야한다. 억지공법인 앵커에 의한 처리는 계속적으로 유지관리를 필요로 하므로, 가능한 피하는 것이 좋다. 또한 낙석의 크기도 크고, 그 수도 많은 경우에는 낙석대책이 필요하다.

5.2.2 시공중 절토사면의 보호

지반은 절취시에는 강도가 높아도 진흙질인 연암과 같이 강도저하가 빠른 것이 있는데 그것은 땅속에 있던 것이 표면에 노출되어 응력이 해방됨과 동시에 건습의 반복 등 직접적으로 기상의 영향을 받기 때문이다. 이 때문에 경사면 표층부가 팽윤화하고 강우에 의한 세굴 등으로 낙석이 생기므로 토사나 연암부에서의 사면보호공법을 조속히 실시하여야 하며, 소단이 많은 대절토 사면에서는 절취공사가 모두 끝나고 나서 보호공법을 실시하는 것이 아니라 되도록 1단마다 시공하는 편이 좋다. 또한 소단의 배수시설도 동시에 시공되어야 하며 배수구는 흙마대 등을 병용하여 절토사면 밖으로 물을 빼주고, 가능한 시공부로 물이 침투하지 않도록 해야 한다. 암석 등에서 사면절취 후 바로 강도저하가 발생되고, 설계도서에 표기된 설계 사면경사로는 안정을 유지할 수 없다고 판단될 경우에는 빨리 콘크리트나 모르타르 뿔어붙이기 등의 사면보강공법을 사용하여 보호하는 것이 좋다.

5.2.3 변형의 발생

자연지형을 대상으로 한 절토사면 시공은 뜻밖의 장소에서 변형이 발생하는 경우가 있는데 변형이 작으면 신경쓰지 않고 절토를 계속하는 경우가 많지만, 그것이 큰 사태로 진전되는 경우가 간혹 있다. 토피의 이동에 의한 균열은 식목이 없는 벌거숭이 지형에서는 별로 눈에 띄지 않지만, 소단에 있는 콘크리트판이나 배수구에 나타난 것은 비교적 쉽게 발견할 수 있는 경우가 많다. 원래 불안이 예상된 절토사면에 대해서는 처음부터 시추조사 구멍을 이용한 지중경사계나 파이프변형계를 설치하여 동태를 관측하면 좋는데, 일반적으로 행해지지 않고 있다. 따라서 절취사면이 움직이고 있다고 판단되면 이동 토피에 물이 침투되지 않도록 시트로 덮거나 주위에 도랑을 파는 등의 조치를 해 주어야 한다. 이동 토피가 큰 경우는 인장부를 중심으로 치치한 후 곧 토피의 이동을 막아야 한다. 즉, 시공에 많은 어려움을 겪더라도 움직임이 커지면 대책비가 막대해진다는 것을 생각

하면 어쩔 수 없는 것이다.

5.2.4 급속한 굴착

지하수위가 높은 지반에서 급속하게 절토를 하다 보면 붕괴를 초래할 위험이 있는데 일반적으로 절토 전에 높았던 수위가 절토 후에는 저하된다. 그러나 수위가 저하되어 정상상태로 되기까지는 시간이 걸린다. 따라서, 급속히 절토하면 일시적으로 심층부에 수압을 그대로 남긴 채 전면의 토압, 수압을 제거하기 때문에 균형이 무너져 불안정한 상태로 된다. 이것은 댐에서 수몰 경사면이 급격한 수위저하로 붕괴하는 것과 유사하다. 특히 슬라이스컷(협준한 경사면을 깎듯이 절토한)을 하는 경우, 대절토부에 비해 굴착속 토량이 적기 때문에 현재의 기계굴착의 경우 급속하게 파내려 가기 쉽다. 되도록이면 다른 곳과의 균형을 유지하는 시공을 실시하여 서서히 잘라가는 공정이 바람직하다. 공정상 어쩔 수 없이 하게 되는 이러한 절토는 시추조사구멍을 이용한 수위관측, 용수상황을 관측하고 또는 인가 등의 근처에서 하게 되는 공사의 경우는 계기 등에 의해 변위를 측정하면서 절토하는 것이 좋다.

5.2.5 응력 해방에 의한 균열

대절토사면은 보통의 사면에 비해 지형의 절취에 의해 생기는 응력해방이 크다. 예를들면, 20m 이상 파내려 갈 경우는 1㎡당 40tf 정도의 하중을 제거하는 것이 된다. 이 때문에 절토하면 지반내에 잠재적으로 있었던 잔류응력분 즉, 지각변동 등 과거에 받은 응력의 잔류분이 해방되는 경우가 있다. 이 경우에 약선을 따라 직선으로 균열이 발생하는 경우가 있는데, 이것은 일반적으로 단기간에 개구(開口) 속도를 수축(收束)한다. 이러한 변형은 당면한 땅사태나 경사면의 붕괴로 이어지는 것은 아니지만, 빗물이 유입하면 불안정화하게 될 수도 있으므로 균열을 방치하지 않는 편이 좋다. 이러한 원인으로 발생했다고 보여지는 개구균열은 쇄석, 모래, 모르타르 순서로 메꾸고, 만약을 위해 철근을 삽입하여 치치하여야 한다.

5.2.6 응벽 시공전의 가설 절토

응벽이 계획되어 있는 경사면에서는 일반적으로 절취면의 굴착이 표준값보다도 급경사로 되는 경우가 많기 때문에, 굴착중 혹은 굴착 종료후에 붕괴를 일으킬 위험성이 높다. 그 때문에 일상적인 점검, 혹은 계기류에 의한 관측을 하는 시공이 된다. 작업 중에 떨어지는 돌이나 토사로부터 작업인부들의 안전을 확보하기 위해서 낙석이나 표층붕괴에 대해서는 실트, 모르타르(혹은 콘크리트)의 임시 뿔어붙이기 등으로 대응하는 것이 일반적이다. 또한, 유동성이 있는 암반이거나 붕괴성 지질인 경우에는 절취해 내려갈 때마다 철근을 삽입하고, 임시 뿔어붙이기 모르타르를 시공하여 대응하는 공법도 채용되고 있다. 굴착면에서 용수가 현저하게 목격될 경우는 대붕괴로 이어지는 경우가 있으므로, 굴착의 진행에 맞추어 배수공법을 할 필요가 있다.

5.2.7 기타

이상에서와 같이, 시공 중에 생기는 붕괴는 많긴 적긴 간에 물이 관계하며 그 대책으로서 물을 빼거나 물이 들어가지 않도록 밖으로 유도하는 공법이 택해지지만, 반대로 굴착하는 것으로 수맥을 진단하는 경우가 자주 있다. 특히 선상지를 횡단하는 오픈 컷의 경우에 그러한 경향이 있다. 이와 같은 곳에서는 공사를 하고 있는 아래지역에 미치는 영향이 크기 때문에 시공에 들어가기 전에는 수문조사, 우물의 위치, 수위, 수질, 혹은 주위의 토지이용 상황에 대해 알아두어야 한다.

5.3 특별히 주의해야 할 절토부

1) 풍화토 및 풍화사면 절토

풍화토 및 풍화사면 등에서는 자연사면(절취전 산의 사면)보다 더 급한 경사로 절취하면 암반층을 따라 붕괴될 우려가 있으며 이에 대한 대책으로는 기초암반 근처에 압성토를 두어서 붕괴토를 받도록 하든지 Soil Nailing 또는 Earth Anchor와 같은 사면

보강공법으로 대처한다.

2) 사질토 등 침식에 약한지반 절토

마사토 및 산사와 같이 주로 사질토 지반은 표면수로 인한 침식에 약하며 낙석, 작은 붕락, 토사유실 등이 흔히 일어난다. 이에 대한 대책은 사면보호공 및 배수공법으로 대처한다.

3) 균열이 많은 암의 절토

균열이 많은 암은 암반의 지각운동으로 주상, 판상절리 등 약한 선이 많이 발달되어 있으며 이에 대한 대책은 암의 균열발달정도, 파쇄정도 등과 인근 지역의 기존사면 처리공법 등을 종합적으로 판단하여 처리하여야 한다.

4) 지하수가 많은 경우 절토

용수가 많거나 지하수위가 높은 지점의 절토인 경우 불안정한 요소를 항상 가지고 있으며 이에 대한 대책으로는 사면의 경사를 느슨하게 하고 배수공법을 검토한다.

5) 적설, 한랭지에서의 절토

눈사태가 발생하기 쉬운 구배는 1:1 정도이며 사면경사를 낮추기 보다는 눈사태방책 등을 설치한다. 융설시의 유량도 호우시와 같이 취급하며 경사를 완만하게 하고 표면 및 지하배수처리 한다. 또한 동결 융해에 의한 바리, 낙석은 사면보호공 처리한다.

6) 장대사면의 경우

장대사면 붕괴시 큰 재해가 순간적으로 발생하며 표준사면구배 적용은 높이 15m까지이고, 그 이상시 각 조건에 맞는 구배를 적용하여야 한다. 팽창암석, 단층파쇄대, 급경사 절토인 경우, 역지공법을 적용하며 점검보수용 소단을 통사의 소단에 3m 폭으로 20~30m 높이의 간격으로 설치한다.

5.4 유지관리

절토사면은 사면경사 및 사면보호 방법 등에 의해서 사면이 안정되는 기간이 달라지며, 안정된 사면도 식생의 성장, 침투, 강우, 풍화 등에 의하여 그 안정이 흐트러져서 결국 붕괴한다. 그러나 사면을 붕

괴시키는 가장 큰 요인은 물의 작용이며 특히, 배수 처리에 세심한 주의를 해서 영구적인 구조로 하지 않으면 안된다. 절토사면의 유지관리는 점검, 보수유지 및 대책 순으로 이루어지며 우선 점검은 절토사면의 변상을 조기에 발견함이 목적이며, 필요에 따라 변상의 측정이나 그 변위를 감시한다. 다음에 보수유지는 절토사면의 기능을 유지하기 위하여 배수구의 청소나 낙석방지막 안쪽의 퇴적토사의 제거를 하는 일이다. 더구나 대책공법에서는 붕괴의 우려가 있는 절토사면의 안전성을 확보하기 위하여 시행하는 보조구조물의 구축, 절토사면의 재시공 외에 붕괴한 경우에는 배토 등의 복구공사도 포함시켜야 한다.

5.4.1 절토사면의 점검

점검은 사면의 균열, 함몰, 팽창, 사면보호공이나 구조물의 변위, 사면배수구의 배수상황 등에 대해서 실시하는데, 이에 는 정기점검과 태풍, 호우, 지진이 지난 후에 실시하는 특별점검으로 나뉘어지며 점검의 빈도는 지형, 지질, 기상, 각종 사면안정 대책공법 등을 고려해서 결정한다.

점검은 통상 순회나 답사로 하는데 그러기 위하여 경사가 급한 사면이나 장대사면에는 사전에 점검용 사다리를 설치해두는 것이 바람직하다. 또한 근자에 토지개발의 진전, 토지이용의 다양화에 따른 수로연도의 상황의 변화가 두드러지고 있는데, 이것들이 사면의 안정에 커다란 영향을 미치는 경우도 있으므로, 유지관리상 유의하여야 한다. 점검에서 유의할 기본 사항은 우선, 물에 대한 점검이다. 사면의 표면을 다량의 물이 집중적으로 흐름에 따라 사면의 세굴과 붕괴, 원 지반이나 성토 안에 침투한 물이 침출하는 경우의 붕괴는 널리 알려져 있다. 그 때문에 사면 어깨 부분의 집수상황이나 배수구의 폐쇄상태, 용수의 위치나 양과 그 변동 등 물에 관한 점검을 철저히 하여야 한다.

다음에 사면본체 및 사면보호공의 점검으로서 주위의 사면 식생상황, 전석, 부석의 유무, 균열이나 팽창 등 변위의 유무와 그 변동에 유의하여야 한다. 특

히, 팽창이나 균열 등 사면의 대규모 붕괴의 조짐으로 보이는 현상이 확인되었을 때에는 변위계나 신축계를 설치하여 변상을 관측하거나 Boring조사 등을 통하여 붕괴규모를 검토하는 등 신중한 판단을 하여야 한다.

점검으로 발견된 불량개소에 대해서는 그 정도에 따라 통상의 보수유지 작업으로 족하는 경우와 위와 같이 변위의 관측과 지질조사를 통하여 붕괴방지를 위한 근본대책을 취하지 않으면 안되는 경우가 있다.

5.4.2 공용개시후의 변위에 대한 대책

위에서 설명한 사면의 점검이나 유지에 전력을 기울여도, 이상 기상시에는 붕괴가 일어나 응급대책이 필요할 경우가 발생하며 일반적인 대책공법으로는 유입수나 용수 등 물에 대한 대책, 얇은 표층붕괴 대책 으로서는 보조 보호공의 설치, 깊은 절토 붕괴 대책 으로서 비탈면상부의 굴착제거나 사면끝단의 보강, 유입수나 용수로 인한 동공현상 대책으로서 그라우팅 실시 등이 있다.

5.4.3 유입수에 대한 대책

절취한 사면의 꼭대기 및 소단부에 우수로 인한 유입수를 처리하기 위하여 배수처리 시설을 설치하여 유입수가 사면에 침입하는 것을 막아야 한다. 또한 인근 주위지역의 배수시설을 점검하여 주위의 물이 사면내 침입을 막아야 한다.

5.4.4 용수에 대한 대책

형배수관을 설치한 사면에서는 배수공이 정연하게 되어 있어 별도의 대책은 없겠으나, 배수공의 막힘 현상을 관찰할 필요가 있을 것이다.

6. 결 언

근래에 와서 고속도로 공사가 급증하면서 주민들의 민원해결 및 용지확보가 어려워짐에 따라 도로가

산악지형을 횡단하여 지나가는 경우가 빈번히 발생하고 있으며 이에 따라 대절토 사면의 형성이 점차 많아짐에 따라 효율적인 설계 및 시공을 위하여 신뢰성 있는 지반조사방법의 도입이 필요하게 되어 T/K 및 대안설계시 탄성과 탐사 뿐만 아니라 BIPS, 전기비저항 탐사, 시추공 전단시험 등 정밀도가 높은 지반조사방법들이 적용되고 있다. 또한 시공중·후 절토사면의 유지관리를 위하여 지표신축계, 지중경사계, 지하수위계 등의 자동화 계측시스템과 온라인(on line) 계측시스템을 구축하므로써 많은 양의

데이터를 확보할 수 있게 되어 시공 및 유지관리 기술을 향상 시키는 계기가 될 것이다.

향후에는 지역 및 지질별 사면붕괴의 분포특성들을 데이터베이스화하여 고속도로 주변의 사면에 대한 위험도 평가를 실시하여야 하며 이들의 특성을 고려하여 설계시에 사면경사각을 결정할 수 있는 설계 기준들이 제시되어야 할 것으로 판단된다.

상업 광고

**「지반공학에 있어서의 수치 해석의 최신경향 및 적용시의 유의점」에
관련한 특별 강연회 개최 안내**

연 엔지니어링에서는 작년도 회사 영업 이익의 일부를 사회에 환원하고자 국내외 전문가를 초청하여 다음과 같이 특별 강연회를 갖고자 하오니 관심있는 분들의 많은 참여를 바랍니다.

- 주 제 : 지반공학에 있어서의 수치 해석의 최신경향 및 적용시의 유의점
 - 일 시 : 2001년 3월 30일 (금) 13:00 - 17:00
 - 장 소 : 연엔지니어링 홈 페이지 참조(<http://www.yeons.co.kr>)
 - 강연 내용
 - Session 1. 액상화 및 내진해석의 최신 동향 및 해석 기법 소개- Yoshida NOZOMU (일본 사토공업 중앙 연구소 소장)
 - Session 2. 3차원 탄소성 FEM해석 기법의 최신 동향- Keizo UGAI(일본 군마 대학 교수)
 - Session 3. 수치해석과 지하수문제 - 이인모(고려대학교 토목환경공학과 교수)
 - Session 4. 실무에 있어서 수치해석의 적용 한계에 관하여- 김승렬(에스코 컨설턴트 대표이사)
 - Session 5. 일본에 있어서의 수치해석의 최신 경향- Fujiwara TSUGUNORI(일본 후지쯔 에프아이피 개발부장)
 - Session 6. 흙과 구조물의 상호작용 해석 기법 소개- 황성춘(경주대학교 전임강사)
 - 참가비 : 무료
 - 등록처 : 연엔지니어링 송영석 과장
전 화 : 02-402-8412, 054-775-1652, 팩 스 : 054-775-1654
e-mail : geodeveloper@netsgo.com
- ※ 초청 연사의 제목은 아직 결정되지 않은 상태(가제; 연사의 허락을 득하지 않은)입니다. 추후, 결정되는대로 당 회사 홈페이지(<http://www.yeons.co.kr>)를 통해 다시 연락 드리겠습니다.
- 후 원 : 한국후지쯔 주식회사