

산사태나 토석류 등 재해에 대한 예측과 대책

정 두 영*

1. 머리말

산사태나 붕괴 또는 토석류(土石流), 낙석(落石) 등과 같은 자연재해가 집중호우나 융설에 의해 빈번하게 발생하고 있어 인명피해나 자산의 손실을 초래하고 있다. 또한 인공재해(人工災害)로서는, 개발을 위한 도시근교의 무분별한 산지의 개발 또는 절취지의 계획성 없는 방치, 도시지반의 굴삭으로 붕괴나 침하 등 관리나 대책이 수립되지 않고 오히려 환경지반보호에 큰 영향을 주고 있다.

이러한 자연재해 또는 인공재해, 수해의 발생으로 우리나라에 있어서도 매년 인명피해와 수천억원의 나라 예산이 손실되고 있음은 이미 알려진 사실이다. 많은 여러 재해는 집중호우나 융설, 지진 등과 밀접한 관계가 있으며, 토사(土砂)의 재해는 자연사면의 토사가 이동(또는 운동)함으로써 발생하며, 이동의 방법도 다양하며, 그 종류도 암괴를 많이 포함한 것부터 미세한 점토질에 이르기까지 다양하다. 또한 함유수분이 많은 것과 적은 것, 그리고 이동속도가 빠른 것 또는 느린 것 등 산사태나 토석류, 낙석과 같은 재해는 토사 이동에 관한 것으로 자연사면의 운동현상이며, 구성물질의 성질, 인위적인 것들의 병합으로 발생하는 형태로 볼 수 있다. 따라서 이와 같은 재해발생이 예상되는 곳의 지형·지질의 판단과 공학적 검토, 그 지역의 토지 이용 현황의 여러 문제점을 고려하고, 재해 예측과 대책공의 수립을 계획적으로 시스템화하여 수행함으로

*정희원, 전북대학교 명예교수

서 앞에서 언급한 매년 발생하는 국가적 손실을 최소화 할 수 있고, 효율화를 기대할 수 있을 것이다.

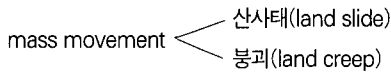
본론에서는 토사재해의 분류기준이나 발생기구, 붕괴지의 조사, 안정해석, 붕괴방지 대책 등을 개괄적으로 언급하기로 한다. 각론에서 언급된 것은 상세한 것을 생략한 것이니 자세한 것은 전문서적이나 전문가의 협조를 얻기 바란다.

2. 토사재해의 분류기준

토사재해는 토사의 이동(운동)이나 유출(流出)의 자연현상으로서 토층의 붕괴, 산사태, 급경사지의 붕괴, 토석류(土石流), 낙석(落石), 지반침하 등 모든 이동현상이 포함 될 수 있다. 이것은 mass wasting, mass movement, slope movement, 혹은 사면운동(사면이동) 등도 포함되어 중복됨으로서 이들 용어를 무시 할 수도 있다. mass wasting은 중력의 직접작용에 의해 사면을 구성하는 토괴나 암석이 변위되고, 또한 사면아래로 이동한다는 것을 총칭한 용어로 표현될 수 있으며, 다른 침식과정과는 다르다. 한편 mass movement는 지표의 토사가 일부 한 덩어리의 단위로 운동한다는 것으로, 전자나 후자는 일반적으로 동의어로 사용될 수 있다. Varnes, D. J.(1978)의 분류에서는 광의의 landslide 대신 slope movement란 용어를 이용하고 있다. 이 경우 mass wasting 또는 mass movement 중 지표면이나 지반의 침하는 거론하지 않은 것이다.

2.1 토사재해의 실질적인 분류기준

Mass movement가운데 운동영역과 불운동 영역의 한계가 명확히 구분되며 또한 운동의 속도가 시각적으로 인정할 수 있는 정도의 큰것과 단시간내에 운동을 끝내는 것을 산사태(landslide)라 하고, 급경사지 붕괴·붕괴·붕괴성 붕괴에 해당한 것은 운동이 느리고 계속성이 있고 또는 반복이 현저하며 운동영역과 불운동 영역의 한계가 명확하지 않는 것을 creep (Tezaghi, 1955)라 하며 다음과 같이 일괄하여 구분하다.



그러나 실제에 있어서는 양자의 구분이나 설명은 매우 어렵기도 한다.

2.2 산사태·붕괴의 분류

산사태·붕괴의 총칭을 mass movement 혹은 landslide(광의)라 하며 그 운동양식, 구성물질, 공간

적 구성이 중요한 요소이고 분류의 기준으로서는 다음 그림 1과 같이 나타내고 있으며 공간적 구성(붕괴구조)에 중점을 두고 있으며, 이는 Varnes, D. J.(1978)의 종합적인 예를 보완하여 소개된 것이다.

Varnes의 분류는 운동양식을 붕락(falls), 전도(topples), 회전활동(slides), 유동(flows) 및 복합(complex) 등으로 구분하고, 또한 각 운동양식을 기암에서 암설, 토사 등으로 구분하여 다음 그림 1과 같다.

2.3 토사재해의 지역성

토사재해의 발생에는 기복(起伏)과 경사(傾斜)지대와 이동하기 쉬운 물질의 생성 등 지반조건과 강우, 지진, 화산분화 등 외적 요인이 작용한 것이다.

이들 조건에 합치되는 지대는 지질적으로 알프스 조산기 이후의 변동대이다. 이들 지역성에 대한 것은 각종 문헌에서 볼 수 있을 것이다. 가령 화강암류의 지대는 집중호우에 대하여 표층붕괴나 토석류의 재해를 받기 쉬운 지대이다. 또한 염기성암, 결정 편암, 비변성 중고생층(非變成中古生層)지대에서는

운동의 형태	운동이전의 구성의 분류			
	기암	조립	점질	비교결정
I. 붕락 Falls	1) 기암붕락, 낙석	2) 암석붕락	3) 토사붕락	4) 표층붕락
II. 전방전도붕괴 Topples	5) 기암전도	6) 암석전도	7) 토사전도	8) 표층전도
III. 판중·후경회전운동 Slides	9) 기암Slump	10) 암석Slump	11) 토사Slump	12) 표층Slump
	13) 평전(並進)운동	14) 암석활동	15) 토사활동	16) 표층활동
IV 수평방향확대운동 Lateral Spreads	17) 기암확대	18) 암석확대	19) 토사확대	20) 표층확대
V. 유동 Flows	A: 기암 21) 산중기암유동	B: 흙 22) 산중기암유동	23) 토사유동	24) 표층유동
	25) 산중기암유동	26) 산중기암유동	27) 산중기암유동	28) 표층유동
VI. 복합 Complex	29) 암석류	30) 암석류	31) 암석류	32) 암석류
	33) 암석류	34) 암석류	35) 암석류	36) 암석류
	37) 암석류	38) 암석류	39) 암석류	40) 암석류
	41) 암석류	42) 암석류	43) 암석류	44) 암석류

그림 1. Varnes(1978)의 사면 운동의 분류

【 기술기사 】

토사재해가 급사면에서 발달하고 두터운 암설층으로 덮여 있는 완만한 사면에서는 이동속도가 느리다는 것이다.

백악기 지질시대의 해성 퇴적물은 호우에 의해 표층, 암설, 기암붕괴가 발생할 수 있으며 제3기층에서는 대표적인 붕괴지대를 구성하고, 점성토층의 느린 활동이 특징이고 충적저지대에서는 지진시에 사층의 액상화에 의하여 수평방향 확대운동이 생기는 경우가 있으며 충적층의 위치는 이토류(泥土流)나 토석류 등 유동화한 토사력에 의한 피해를 받기 쉬운 곳이다. 따라서 토사재해의 지역성은 지질·지형과의 연관성이 크다고 본다.

2.4 토사재해에 대한 연구와 문제

토사재해의 발생은 여러가지 원인이 있다. 지형, 지질, 지하수, 기상, 식생, 인공 등이다. 이들이 복합적으로 합쳐져 일어나는 현상으로 모든 인자를 정확히 파악하지 않으면 오판하기 쉽다. 따라서 발생전에 가능성을 예측하려는 경우, 지표면의 답사, 지형도, 항공사진, 지질도, 과거의 기록, 기상 등에서 먼저 개황을 파악하여야 한다. 또한 필요하면, 보링을 시행하여 시료를 채취하고 공내 검층을 하여 수위, 수질 등도 조사하여 토괴의 성질을 판단한다.

붕괴의 발생이 예상되는 범위가 넓은 경우에는 물리탐사에 의해 얻어지는 정보와 보링에서 얻어진 정보를 확대시키며 지표면에 이동의 징후가 나타나면 경사측정기나 신축계에 의해 이동의 유무의 실체를 조사하며 방향 및 고저측량으로 변동을 파악할 수 있다. 그러나 이동 토괴의 모형을 시행하는데 활동면이 수시로 변화함으로 모형화가 어렵고 운동기구를 단순 명쾌하게 설명하는 것도 극히 어렵다고 한다.

붕괴 발생의 가능성이 있는 사면은 대책 공사를 시행하여 일단 운동이 정지된 사면이라도 어느정도 위험성이 있는지, 안전율이 어느정도 인지는 불명함으로 토질시험에 의한 점착력(c'), 내부마찰각(ψ)을 구하여 유효응력법을 이용하여 계산하는 방법이 합리적이나 또한 전응력법을 이용하여 해석하는 것이 좋

을 경우도 있다. 잔류강도에 의한 토질정수를 결정하는 경우도 있으나 일반성을 지니기까지는 아직도 논의의 여지가 있다고 한다.

붕괴, 토석류, 산사태, 낙석에 대하여는 지질, 지형 등에 의한 분류가 필요하다. 선진국에서는 분류법의 확립은 여러기관, 연구소 등 방재에 관하여 수행되고 있으나 분류법이 정해지면 그것을 기본으로 하여 재해도(disaster map), 위험도(hazard map)를 작성하여 일반인이 이용할 수 있게 제공하여야 하며 선진국에서는 재해도나 위험도를 작성하는 예가 많으며 유효하게 이용되고 있다.

3. 산사태의 발생기구

3.1 재해예측으로 본 유인(특히 강우에 대하여)

토사재해를 일으키는 유인(誘因)에는 호우, 융설, 지진, 화산활동 등이다. 토사재해는 소위소인(素因)으로서의 조건, 즉 풍화의 정도, 표층이나 하상의 토사 퇴적의 두께, 산복의 형상, 산복의 구배 등이 토사재해를 발생시키는데 조건으로 충분하다.

또한 어느 한 개 이상의 유인(외력)이 가해지므로써 발생하기 때문에 재해 예측이라는 입장에서 보면, 강우라는 유인과 각종 소인과의 관계를 충분히 파악함으로써 예측이 가능할 것이다.

강우에 기인하는 토사재해의 예측은 토사재해 발생의 기구가 완전히 해명되지 않고 있는 현재에 있어서는 매우 어려우나 방재 대책 가운데 토목 공학적 방법에 의한 대책에는 시간적·경제적 제약이 있는 관계로 경제대책을 하기 위해서는 재해 예측의 필요성이 매우 높다.

3.2 재해 예측의 방법과 문제점

1) 시간과 강우량에 의한 예측

과거에 발생한 재해는 강우의 자료에서 재해가 발생하기까지의 선행우량, 연속우량, 일우량(日), 시간우량, 강우의 동정 등을 정리하여 금후의 재해를 예

측하려는 방법으로 초기의 단계는 일우량(日)이나 연속우량으로 정리 한 것이다. 또한 그후 강우강도(mm/hr)의 중요성에도 착안된 것이다.

Aboshi Hishao(網干, 1972, 일본)는 히로시마를 중심으로 한 화강암대 지역에서 급경사지 붕괴 등 사면파괴와 강우와의 관계를 간편하고 거시적인 예측의 방법으로 다음 그림 2의 관계를 정립하였다. 이 방법은 선행강우나 강우강도를 단순화하여 표현한 것으로 재해 방재의 예측의 면에서 강우강도를 일우량(日雨量)으로 표현한 그림과 같이 재해 발생 수시간전에 예측한다는 것은 다소 문제가 있다. 그러나 과거의 선행강우, 연속강우 등의 침투로 지표면에 인장균열이 발생하면서 진행되어 진행성 붕괴로 발전할 수 있다. 이는 화강암류암의 풍화토인 마사토 지대로 사질토이며 투수계수는 10^3cm/sec 정도이고 풍화되어 비교적 느슨한 자연토이며, 흡수하여 체적 증가를 하고 평윤성의 성질이 크다. 따라서 선행강우나 연속강우 200mm 가까운 우량에도 전혀 붕괴가 일어나지 않았으나 일우량 70mm 정도로 큰 재해가 발생하였다는 사실은 앞서 언급한 선행강우로 인한 진행성으로 판단된다. 그밖에 강우의 동정과 강우강도를 고려한 재해 예측방법이나 Hytograph(1976)는 강우현상을

중래의 강우강도 곡선에서 유출량으로 표현하여 파악하는 방법 등 여러 예측이 있다. 상세한 것은 전문서적이거나 전문가의 자문을 바란다.

3.3 산사태의 발생과 운동

산사태는 오랜 기간 이동이 없었던 사면이 강우, 융설, 지진, 인위적 행위 혹은 무엇인가 명확치않은 원인에 의해 사면이 아래쪽으로 이동하고 지표면에는 균열, 융기, 함몰 등의 변상이 생겨 활락하는 현상을 총칭하고 있다. 또한 산사태는 지질, 지형, 지하수 등의 여러 조건이 합쳐져 발생하지만 그 과정을 보면, 돌발적인 붕괴는 매우 적고, 많은 경우에 있어 장기간에 걸친 사면의 변형 후 발생한다. 다음 그림 3은 사면의 파괴기구를 나타낸다. I~IV의 과정으로 사면의 변형은 진행된다. 그림의 I 단계는 지중의 사면내에 붕괴대(creep zone)가 형성되고 국부적인 파괴가 생기고, 잔재활동면에 따라 소성부가 형성되어 지표면에는 인장균열이 생긴다. 더욱이 소성부 주변의 파괴가 점진적으로 진행됨에 따라 소성영역은 확대되고, 사면의 변형은 II~IV로 진행된다.

사면의 중간부의 체적감소를 나타내는 파괴대에서는 점진적으로 활동면을 형성한다. 사면내의 활동면

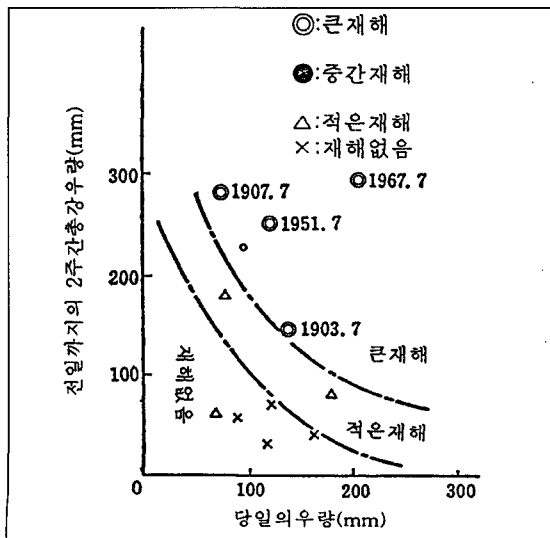


그림 2. 강우와 재해 발생의 관계(Aboshi, 1972)

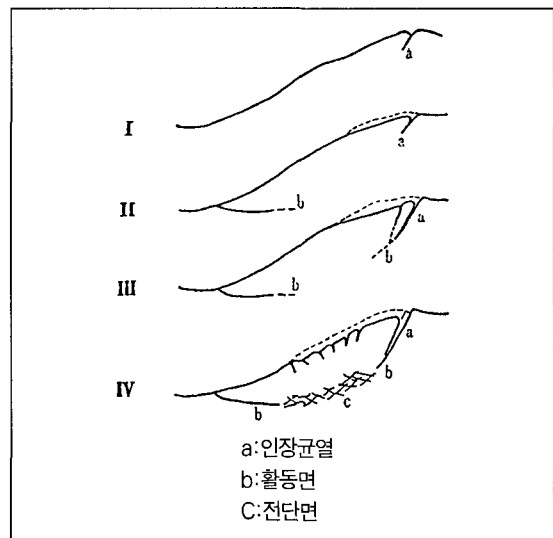


그림 3. 사면파괴 기구(Feda, 1973)

【 기술기사 】

이 되는 연약면(軟弱面) 즉 단층, 층리부, 구활동면 등이 존재할 경우에는 부차적 활동면을 지닌 파괴대(C)는 형성되지 않고 연약면을 따라 변형하는 것을 생각할 수 있다.

또한 활동면은 생선기구상 다음 그림 4와 같이 수동역(受働域), 잠재역(潛在域), 주동역(主動域)의 3영역으로 구분되고, 수동역(선단용기부), 주동(활락 또는 단차부)의 양지역으로 볼때는 어느점을 중심으로 한 원의 일부가 되지 않는 경우가 있기 때문에 조사에 의해 확인하는 것이 중요하다.

그림은 활동면의 영역을 3영역으로 구분한 것이다. 본론의 발생과 운동에 대해서는 자연 발생적 붕괴 또는 인위적 발생붕괴를 구분하여 논하는 것도 유익하다.

이상 강우에 기인한 토사 재해 예측의 연구 현상과 문제점도 많이 있으나

- 1) 어떠한 강우에 의해 토사 재해가 발생하는가에 대하여는 기왕의 토사 재해 발생시에 있어서 강우자료(토석류 등 토사 재해의 발생이 있었던 곳의 강우자료)의 정보에서 각 지구마다의 연속우량, 선행우량, 최대시간우량 등을 파악하여 대응하는 것이 좋다.
- 2) 금후의 강우를 어떻게 예측하는가에 대하여는 기상상태의 파악, 가령 비구름의 진행 방향, 강우의 주기 등을 기상정보에서 추정한다.
- 3) 어떠한 지점에서 토사재해가 발생하는가에 대하여는 각지에 가능한 한 우량계(간의 우

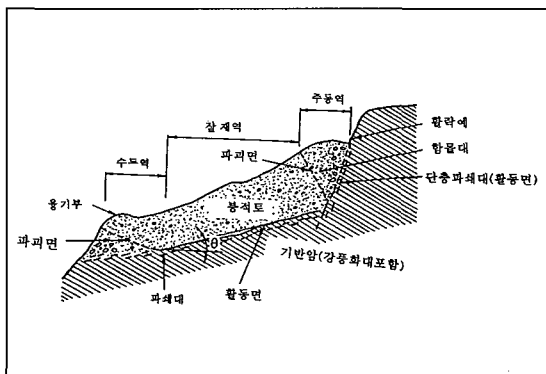


그림 4. 활동면의 3영역

량계도 좋음)를 배치함으로써 집중호우를 초래케한 기상상황을 파악하여 1)에서 파악한 위험 우량 등을 고려한 토사 재해 발생의 예측 방법이 현재의 시점에서 바람직한 예측 방법이라 할 수 있다.

3.4 붕괴 발생의 인위적 기구와 운동 특성

국토개발의 진전에 따라 산악지대에서의 도로, 터널, 댐 등의 건설이 매우 많이 이루어지고 있다. 이에 따라 토목공사의 기술의 고도화, 기계화시공 등에 의한 대규모 토공이나 급속시공이 가능하게 된 반면 지표수, 지하수의 배수, 정규토공의 준수 등을 위반하여 인위적 붕괴도 급증하고 있다.

인위적 붕괴의 발생에는 다음과 같은 토공작업에 서도 있다.

- 1) 도로 토공에 의한 붕괴
- 2) 터널굴삭에 의한 붕괴
- 3) 댐 담수에 의한 붕괴

4. 붕괴지의 조사

산사태나 붕괴 등 토사 재해가 예상되는 지역은 기존의 선행강우나 연속강우와 같은 붕괴의 유인과 지형, 지질 등의 소인(素因)에 의해 초기 붕괴나 재차 활동으로 인한 변위가 예상될 때 필요에 따라 각종조사에 의하여 재해발생 이전에 예측 또는 확인함으로써 공학적 대책을 강구할 수 있고, 재해를 최소화하는데 중요한 의미가 있다. 따라서 붕괴지의 조사에는 조사자료와 현지 토질조사 및 붕괴운동(이동)의 예측 등이 있다.

4.1 자료 및 현장조사

붕괴 예상지에 대하여 필요한 자료·현장조사·시험 등을 개략적으로 소개하고 표 1과 표 2는 각각 현장조사 및 답사와 지표면 이동의 계측을 개략적으로 소개한다.

4.2 토질시험

자연함수비, 밀도, 입도분포, 토입자의 비중, 콘시스턴스 등 흙의 물리적 성질과 역학적 성질을 측정하여 안전계산을 실시할 필요가 있다.

1) 원위치 시험

대형 일면(一面)전단시험 : 원위치의 직방체시료 (20×20×30cm)

일축압축시험 : 원주형 시료 (φ5×10cm)

배인시험 : 연약 또한 유동성 흙으로 가능

현장에서의 역학적인 시험을 정확히 할 수 없는 경우에는 다음 2)와 같이 실내시험을 한다.

2) 실내시험

흙의 전단강도는 삼축압축시험, 일면전단시험, 링전단시험 등이 있다. 링전단은 원주형의 시료에 의한 일면전단시험과 같다.

3) 슬래이킹(slaking)시험

이암(泥岩)·사문암 등이 건습을 반복하면 급속히 붕괴하고 연약한 점토가 된다. 모암의 덩어리가 풍진·침수를 반복하여 그 질량의 감소를 측정한다.

4.3 현장조사 기구

표 1. 현장 조사기구

자료	지형의 자료	지형도, 1/10,000, 1/15,000 등
	지질의 자료	지질도 (지층·암상·구조·단층)
현장조사	답사	노두관찰, 항공사진의 해석, 판독
	원격탐사	간접조사방법, 전자파의 반사·방사를 중계, 관측은 화상방식이며, 판독되는선상(線狀)의 특징으로 지질구조 해석
	탄성파탐사	탄성파에는 종파(P파), 횡파(S파)가 있으며, 굴절법과 반사법이 이용되며 지층의 전파속도의 대소(大小)를 구분하여 속도층의 지질구조를 추정한다.
	방사능탐사	단층 추정의 유익한 방법, 암석중에 함유된 방사성 동위원소가 투수성이 큰 파쇄대를 상승, 1번도체 검출기로 추구하면 단층파쇄대 대상에서는 1.3~2.0배의 γ선이 검출된다.
	보링 조사	모든 붕괴지역에서 채용되고 있다. 굴삭기 코아에 의해 지질을 판정한다. 공벽(孔壁)을 이용하여 탄성파속도나 비저항치(전기적성질-고유의 비저항치로서 지층구조를 해석하는 전기탐사)를 측정한다.(그림 5 참조)
	물리 화학적방법에 의한 조사	붕괴사면 구성토의 구성 광물 조성을 X-선회절분석에 의해 검토한다. 계면 이온교환특성으로서 염기치환용량(CEC), 강염기량 등의 측정으로 붕괴면을 예측한다.
	지하수 조사	지하수위 또는 간극수압은 기초적 정보, 지하수의 유수는 투수층의 형상·투수계수와 간극수압의 분포에 의해 지배된다. 지표수·지하수에 대해서는 수질분석을 한다.(전기전도도, pH, Cl-, Ca++, Mg++, Na+, K+, SiO2 등)

4.4 지표면 이동의 계측

붕괴현상은 지산중의 어느 연약면을 따라 일어난다. 사면의 변형·붕락의 그 운동형태를 명확히 하기 위해서는 통상 지표면 및 지중에 각종 계측기를 설치하여 장기간에 걸쳐서 관측을 계속할 필요가 있다. 그러나 현재의 지질·지형 등을 조사하고 지질구조를 확인하여 지표면 이동을 계측하는 것이 우선적이다.

표 2. 지표면 이동의 계측방법

지표면 이동의 계측	측량에 의한 방법	붕괴지외의 부동점을 기준으로 설치하고 거기에서 붕괴지 각점의 변동을 추정해가는 방법으로 많이 이용되고 있다.
	신축계(伸縮計)에 의한 방법	붕괴 예상지의 사면의 2점간의 거리 변동을 계측하여 지표면의 변위에서 붕괴의 변동상태를 파악하는 것이 신축계이다. 신축계는 지표의 변동이 나타나기 쉬운 장소에 적당한 간격으로 2개의 말뚝 또는 콘크리트항을 견고하게 타설하고 한 끝에 강선을 고정시켜 다른 끝에 활차를 통하여 걸고 강선을 긴장시킨 상태로 하여 토지에 신축이 생기면 활차가 회전하면서 드럼에 감은 기록지에 신축의 변동이 그려지는 직시형이다.
	지반경사계에 의한 방법	붕괴의 변동은 지표면의 경사변화에도 나타나는 것이다. 많이 이용되고 있는 수관식 경사계(水管式傾斜計)의 감도는 비교적 양호한 편이다. 지반은 고유의 경사 변동이 일어나면 기저변동(基底變動)이라 하여 통상 각 지점에 NS방향과 EW방향에 2대 설치하고 경사각을 인지하여 지반의 변형된 경사각과 그 방향을 산출한다.

전단변위계에 의한 방법	전단변위계는 횡단방향으로 축선을 설치하고 이것과 직각의 2방향의 전단변위, 즉 연직동(鉛直動)이나 수평동(水平動)의 축선방향의 신축을 측정함으로써 측정기 양단의 지반의 상대(相對)변동을 파악하는 것이다. 전단변위계의 구조는 콘크리트 말뚝을 5m간격으로 타설하고 한 끝에 철판이프가 상하, 수평방향으로 회전되게 하고 축선방향에 이동할 수 있는 지점(支點)을 설치하여 다른 끝에 상하, 수평방향에 회전할 수 있게 하고, 2지점간에 철판이프를 통하게 하고 양끝에 변형을 계기지를 설치하여 2지점간의 전단변위는 철판이프의 신축에 따라 변위 지시계를 읽어 기록한다.
--------------	---

【 기술기사 】

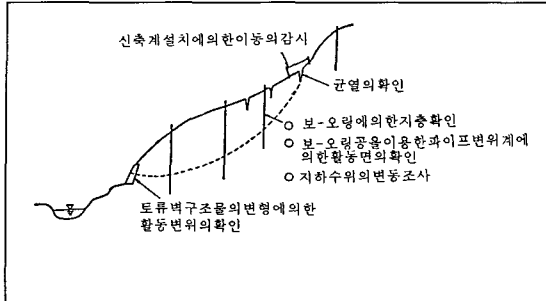


그림 5. 활동면의 조사

4.5 붕괴면에 있어서 이동의 계측

1) 파이프 변위계에 의한 방법

활동면 계측에 이용되고 있는 방법은 변형률 게이지를 일정간격으로 상대위치에 2개 또는 4개를 붙인 열화비닐 파이프를 보링공내에 삽입하여 모래 등으로 매운다. 붕괴토괴와 일체가 되어있어 파이프가 변형되게 하여 토괴의 이동에 따라 파이프의 휨에 의해 게이지의 신축을 변위지시계에 의해 측정한다.

2) 공중(孔中)경사계 및 변위계에 의한 방법

현재 붕괴조사에 있어서 파이프 변위계는 활동면의 깊이의 결정 뿐만 아니라 토괴 내부의 이동형태에 대해서도 정성적으로 확인할 수 있게 되었다. 공중경사계는 86mm의 보링공내에 설치하고 각 깊이에서 케이싱의 직각 2방향의 경사각을 측정한다. 정도

나 신뢰성도 매우 좋은 결과를 얻는다고 한다.

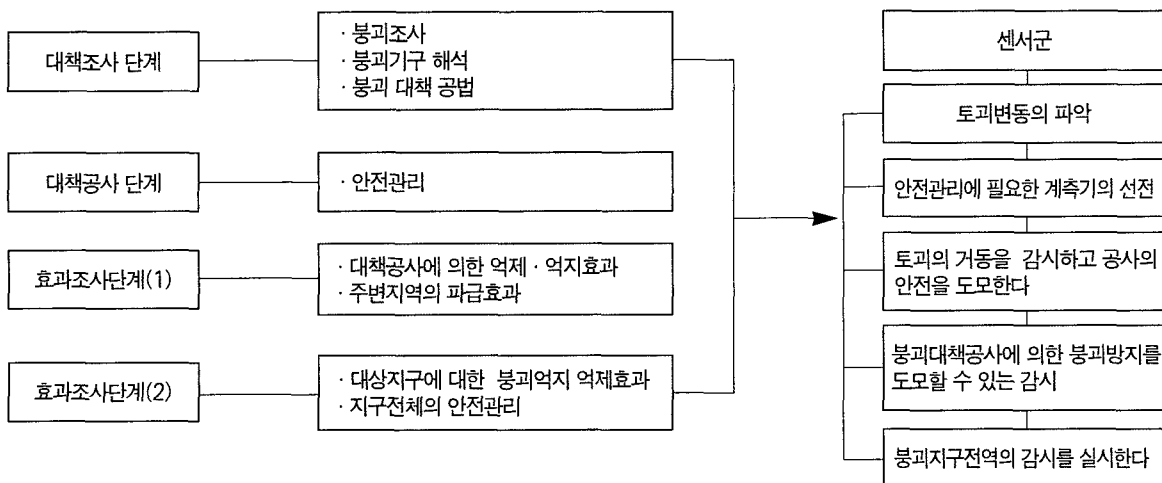
3) 신축계

보통 지표면의 변위를 측정하는 신축계이나 신축계의 강선(線)을 연직으로 보링공에 설치한 것이다. 보링공은 활동면이라 예상되는 면에서 1m 이상 깊게 굴삭하고 신축계의 선의 선단을 활동면에서 심부에 삽입하여 고정시킨다. 이선은 보링공에 설치한 열화파이프를 통하게 하고 선의 타단은 지표에 설치한 신축계의 활차에 걸쳐서 중추로 매단다. 파이프는 활동면에 의해 절단되는 경우에는 활동면의 이동량은 신축계의 신장(伸張)의 크기와 같게 나타난 것으로 보고 또한 지반의 침강(沈降)이 생겼을 때는 신축계에는 축소되어 나타나는 것을 알 수 있다.

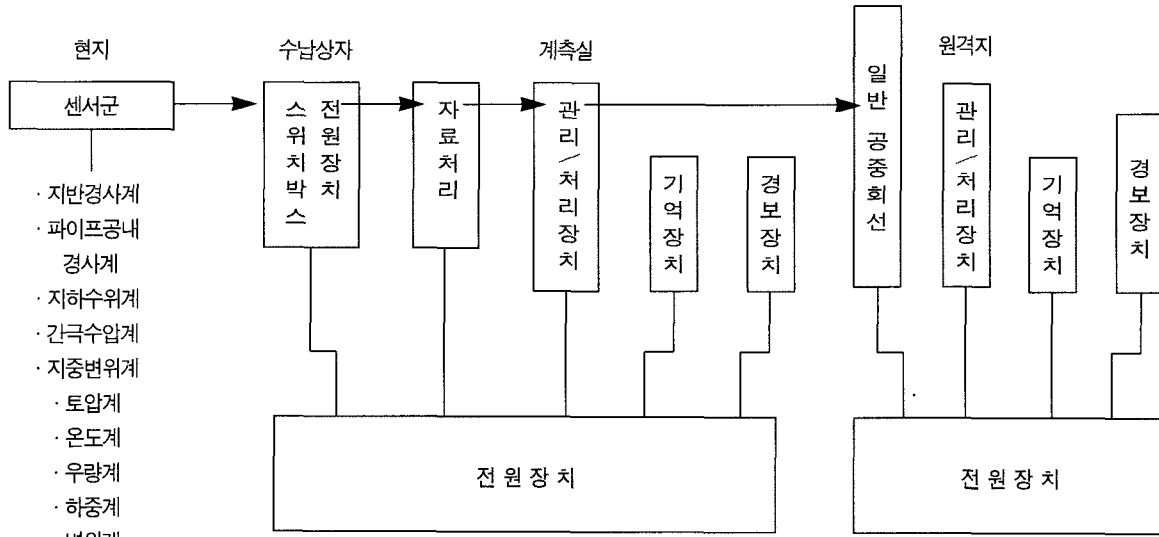
4.6 산사태 자동 관측·감시 시스템화

선진국에서는 붕괴운동을 원격감시함과 동시에 측정, 해석, 도화까지 자동적으로 처리하고 붕괴예상지 혹은 댐 주변의 활동에 대한 거동관측·감시에 널리 이용할 수 있고 붕괴의 발생을 조기에 현지 또는 보링공내에서 예측할 수 있어 재해의 경감이나 공사의 안전시공에 큰 효과를 기대할 수 있는 자동관측·감시 시스템화를 다음과 같이 응용할 수 있다.

1) 시스템의 응용



2) 붕괴지내 현장계측 시스템화



5. 붕괴의 해석법

5.1 사면 안정해석의 방법

일반적으로 잘 이용되고 있는 안정해석법은 극한 평형법과 극한해석법으로 크게 구분할 수 있다.

전자는 활동면에 있어서 전단응력과 전단강도의 극한 평형상태를 고려한 것에 대하여 후자는 응력-변위관계를 안정해석에 도입한 것으로 근래에 와서 컴퓨터의 보급과 더불어 유한요소법에 의해 해석되고 있다.

(1) Fellenius법(원호활동)

스웨덴법, 간편법이라하며 흩달개 하중 W와 활동면에 작용하는 전단저항의 원호의 중심 O주위의 모멘트의 평형조건을 고려하여 법선력 N는 $N = W \cos \alpha$ 라 계산하여 안전율(F)은

$$F = \frac{\sum [c'l + (N-ul)\tan \psi]}{\sum W \sin \alpha} \quad (1)$$

위식에서 유효응력에 의한 해석의 경우,

$$N' = W' \cos \alpha = W \cos \alpha - uh \cos \alpha = W \cos \alpha - uh \cos^2 \alpha$$

$$\text{따라서 } N' = W' \cos \alpha \left(1 - \frac{uh}{W} \right) = W' \cos \alpha (1 - ru),$$

여기서 $ru = W/rh$ (간극압비)

위식을 다시 정리하여 이용한 간편법은 다음과 같다. (수정 간편법)

$$F = \frac{\sum [c'l + (1 - ru) W \cos \alpha \cdot \tan \psi]}{\sum W \sim \sin \alpha} \quad (2)$$

(2) Bishop법(원호활동)

일반적인 절편법보다 더 엄밀하며 원호의 중심 O 주위의 모멘트의 평형조건에서 다음과 같은 간편법이다.

$$F_s = \frac{\sum (cl + W \tan \psi) \cdot \frac{1}{mo}}{\sum W \cdot \sin \alpha} \quad (3)$$

【 기술기사 】

그 밖에 Spencer법, 간의 Janbu법(일반활동면), Morgenstern과 Price법 등 안전해석은 주어진 2차원적 단면에 대한 것이 일반적이다.

5.2 안전해석에 있어서 문제점

현지 붕괴지에 있어서 토질시험에 이용할 수 있는 호트러지지 않은 시료의 채취는 기술적으로 매우 어렵다. 따라서 어느 1점에서의 시험치를 가지고 전붕괴면을 대표치로 취급할 수는 없을 것이다. 현상의 안전율(F)을 주워지고, c' , ψ' 어느 값을 추정하여 다른값을 구하기도 한다. 여기에서는 이러한 문제점을 언급하기로 한다.

- 1) 1개소의 활동면이 아닌 많은 가상의 활동면에 대하여 비교계산을 하여 거기에서 $F=F_{\min}$ 을 나타내는 단면을 찾아내는 것이 원칙의 하나이다.
- 2) 흙의 강도정수 c' , ψ' , 간극수압(u)의 분포가 결정되면 비교계산을 하고 현상의 안전율 $F=F_0$ 을 추정하는데 c' , ψ' 값이 주어지는 경우, 그 추정된 c' , ψ' 가 $F=F_{\min}$ 에 대응하는 활동면이라 할 수 있다.
- 3) $\tan \psi'$ 을 크게 전적하고 이것을 이용하여 억제공의 설계에 반영했을 때, 억제공의 효과를 과대하게 평가하게 된다.
- 4) 붕괴지에서의 조사에 의하면, 지하수의 유동이 다양하고 복잡적이면 그곳을 관통하고 있는 보링공내의 수위는 진수위가 아니므로 양수법에 의한 지하수 검층을 행하여 실제의 붕괴면에 작용하고 있는 실효압력수도를 정할 필요가 있다.
- 5) 기암면(基岩面)에 활동면이 접하는 경우가 있으나 그 하부로 내려가지는 못한다고 판단되는 지중의 면이라 정의하면 $F=F_{\min}$ 을 주워지는 활동면은 이들 기암면의 유무와는 관계가 없다.
지표면을 평면이라 하여 기암면에 대하여 수정 Fellenius법을 적용하여 구한 임계원호의 조건식은 오히려 기암면에 강하게 지배된다. 현실의 사면은 일반적으로 평면은 아니지만

적어도 $F=F_{\min}$ 을 주워지는 원호에 대해 작업 기준으로서 유익하며 기암면에 접한 원호의 안전율은 언제나 매우 적다.

6. 붕괴방지 대책

붕괴재해의 발생은 인명피해나 재산의 손실은 물론, 국토관리 및 환경보존, 사회·경제활동에 미치는 영향이 대단히 크다. 이 때문에 붕괴 방지대책은 먼저 응급대책에 의한 붕괴현상의 검토와 단기적 처방을 해야 할 것이며 이어서 붕괴기구의 조사해명으로 항구적 대책에 착수하는 것이 일반적이다.

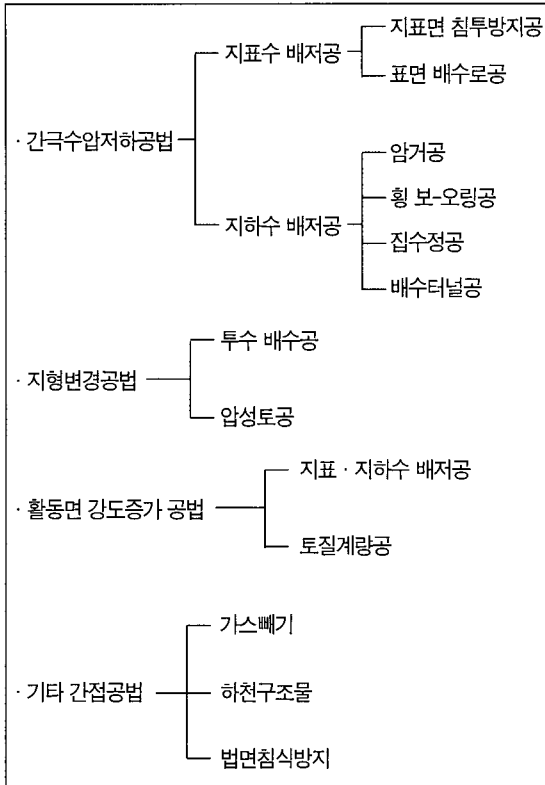
붕괴 방지대책 공법은 그 목적과 효과면에서 억제공(抑制止工)과 억지공(抑止工)으로 구분할 수 있으며 전자는 붕괴원인의 제거·계량에 주관을 둔 것이며 후자는 구조물에 의해 붕괴력에 저항이 생기게 한다. 전후자 어느 것이나 이동이 심한 구역에서의 시공은 곤란하지만, 직접으로 붕괴의 힘을 적게 받는 억제공을 선행 시행하고, 붕괴현상을 완화시킨 다음에 억지공으로 기대되는 안전도를 확보하는 것이 바람직하다. 또한 원인의 제거공법이 되지 않은 억지공 단독의 시공은 피하는 것이 원칙이고 억제공과의 병용공법을 선택하는 것도 유익할 것이다.

6.1 억제공법

(1) 억제공의 종류

붕괴를 발생시키는 원인은 지질·지형의 소인과 강수, 지하수, 지진 등의 기상유인, 하천침식, 절토, 성토 등의 인위적 유인과 이들에 영향을 주는 사면의 풍화, 토질강도의 약화 등 다양한 양상에 의한 것이다. 억제공의 종류는 표 3과 같이 나열할 수 있다.

표 3. 억제공의 종류



이상과 같이 억제공은 간극수압의 상승방지, 지형 변화에 의한 평형상태의 복원, 활동면의 점토강도의 증가 등으로 분류할 수 있고, 활동의 기구에 따라서 여러종류의 공법을 조합하여 효과적인 배치를 계획해야 할 것이다. 또한 활동의 안전을 연직절편법의 간편식으로 나타내면 안전율(F_s)은

$$(F_s) = \frac{\sum(N - u)\tan\phi' + \sum c'}{\sum T} \cdot l / \sum T \quad (4)$$

여기서 N, T는 각각 활동 토괴의 활동면에서의 법선력과 접선력(t/m^2)

u는 활동면상에서의 간극수압(t/m^2)

ϕ' 는 활동면 점토의 내부마찰각

c' 는 활동면 점토의 점착력(t/m^2)

l는 활동면 기괴(m)

6.2 활동 억제공법

항타공, 앵커공, 입관항공 등 공법을 거론할 수 있으며, 지하수 배저공과 같은 억제공과의 다른점은 붕괴지대에 물리적 저항을 도입하여 활동의 추진력에 직접 대응하는 점이다.

대책공에 의한 효과는 시공완료와 더불어 기대할 수가 있으며 긴급을 요하는 경우나 중요한 보존대상을 설치하는 경우 혹은 억제공에 의한 효과의 부족을 보충해야 할 필요가 있는 경우 등의 설계시공이 되는 것이다.

1) 항타공 : 외경 300m 전후의 동관향이 많이 이용된다. 활동면에서 아래쪽의 어느 깊이까지 굴삭한 보-오링 공내에 삽입하여 활동으로 이동이 생길때 이에 저항하게끔 설계를 한다. 항의 지름에 비하여 항의 길이가 길고, 일반적으로 휨항을 취급하고 있다.

2) 입관항공 : 케이슨 기초의 설계법에 준하여 설계를 한다. 케이슨공의 특징은 ①케이슨본체는 강체로서 취급한다. ②지반반력, 전단저항은 변형에 응하여 발생한다. ③지반은 허용지반 반력까지도 탄성력으로 거동한다.

3) 앵커공(Anchor) : 활동면 아래쪽의 기암면 중에 정착시킨 정착체와 지표면에 설치한 수압판(受壓版)과를 PC강선 등으로 연결하여 이것에 긴장력을 주워짐으로서 활동추력에 저항시키는 것이다. 항타공에 비하여 큰 특징은

- ① 시공위치는 붕괴경사내에서 자유로이 선정할수 있다.
- ② 수압판을 지표면에 연결 배치함으로 뽑힐 염려는 없다.
- ③ 얕은 활동면이나 깊은 곳의 활동면이든 적용이 되고, 특히 굴삭공경이 적음으로 붕괴성·압출성 지반 등의 경암이나 전석층을 낀 지반에서도 시공이 가능하다.

정착의 방법은 모르터를 가압 또는 무가압의 상태로 주입하고 모르터와 벽면과의 주변 마찰에 기대하는 마찰형과 정착부의 일부 또는 전길이에 걸쳐서

【 기술기사 】

공을 넓혀 마찰저항과 지압작용의 양자에 기대할 수 있는 것으로 나눌 수 있다.

7. 댛음말

산사태나 붕괴의 발생은 집중호우나 지하수 등의 유인과 붕괴토의 풍화의 정도의 소인에 의해 연관되어 있음을 확인할 수 있다. 따라서 많은 선형 강우나 연속강우의 영향을 받은 지역에서는 초기붕괴이전 재차 붕괴의 발생이전 강우나 지하수의 영향으로 진행되므로 진행성 붕괴로 발전한 것이다. 그러므로 예상되는 붕괴지역에 대해서 사전 예측과 그 대책을 수립해야 할 것이다. 우리나라도 매년 되풀이 되는 태풍이나 집중호우로 인한 재해를 최소화하여 환경지반의 보존을 위해서도 예측과 대책을 강구하는 것이 매우 필요하다.

이러한 재해를 방재하기 위해서는 전문적인 방재 센터나 연구소를 조직화하여 대처하는 것이 바람직하다. 이러한 기구는 정부 행정조직의 일환으로 중앙 정부와 광역 자치단체에 설치하여 사회기반 조성사업으로 전문성을 조직화하는 것이 중요하며 재해의 예측과 대책은 지반 공학적 차원에서 안정성과 경제성을 감안한 필수조건이 될 것이다.

참고문헌

1. 申潤植, 板恒 治(1983), "土砂災害の豫知と對策", 土と基礎, 日本土質工學會, 31-37(306)
2. 藤田壽雄, 申潤植(1983), "土砂災害の豫知と對策", 土と基礎, 日本土質工學會, 31-38(307)
3. 網干壽夫, (昭和 47年), "集中豪雨とマサ土斜面の崩壊", 施工技術, 第5卷, 第11
4. 玉田文吾, 福田順二(1996), "弱面探查による新規地すべりの豫知", 日本地すべり學會, Vol.33, No.1, 1996
5. 松尾新一郎, 喜門雄史, 富田武滿(1980), "地すべりの物理化學的方法による豫知とその對策" 日本 土質工學會, 28-2(265)
6. M.G.Anderson(1987), "Slope Stability", John Wiley & Sons
7. R.N.Chowdhury(1978), "Slope Analysis", Elsevier Scientific Publishing Company

회비 납부 안내

학회 사무국에서는 연중 수시로 학회비를 수납하고 있어 회원여러분의 적극적인 협조를 부탁드립니다. 문의사항이 있으면 사무국으로 연락하여 주시기 바랍니다.

① 은행 무통장(타행) 입금

한국주택은행

계좌번호: 534637-95-100979

예금주: 한국지반공학회

② 우체국 무통장 입금(우편대체)

전국 각 우체국

계좌번호: 013755-31-2645950

예금주: 한국지반공학회

※ 입금시 보내시는 분의 성명, 회원번호, 송금명세를 기입해서 납부하시기 바랍니다.