



절토비탈면의 설계와 문제점

류 기 송
(농어촌진흥공사 교육원 교수단장)

1. 개요

대부분의 절토는 그 하부 평면을 이용하기 위하여 시공하므로 절토비탈면이 붕괴될 경우는 그하부의 구조물 및 경사에 따라서는 인명 피해를 가져오는 경우가 많다. 최근 산간지 등에서 도로건설, 택지개발 등이 급증함에 따라 대규모의 절토시공이 많아지고 있으며, 또한 절토비탈면의 활동, 붕괴 등도 증가하고 있다. 따라서 본고에서는 절토비탈면의 설계, 지질에 따른 문제점, 문제발생지역의 절토 및 붕괴에 측 등에 대하여 간단히 기술하고자 한다.

2. 절토비탈면의 설계

자연지반은 매우 복잡하고 불균질하므로 절토비탈면의 지반강도를 구하기가 매우 어려우며, 지반강도를 구해도 이를 이용하여 계산하는 안정검토방법도 문제가 많고, 또한 토질역학적인 계산방법을 적용할 수 없는 경우도 적지 않다. 따라서 절토비탈면은 일반적으로 과거의 실적이나 환경조건 및 중요성을 고려하여 설계를 하는 경우가 많다. 비탈면 각부의 명칭은 그림. 1과 같다.

가. 비탈면 모양의 설계

일반적으로 절토고는 최종 굴착지반의 위치, 지형과 비탈면의 평균기울기에 의하여 결

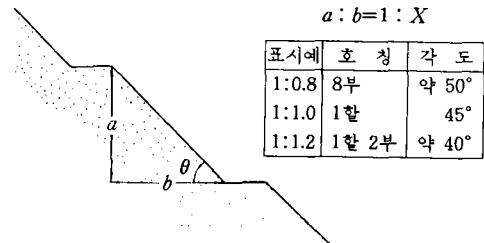


그림. 1. 비탈면구배 표시와 호칭

정하는데 절토고가 높아지면 비탈면의 면적이 증가하기 때문에 그 보호공 비용이 또한 증가하므로 비탈면 기울기를 약간 급하게 하여 절토고를 낮게 하는 경우도 있다.

한국도로공사의 도로설계요령, 건교부의 도로설계시공지침에 지반의 토질 및 절토고에 따른 표준비탈면 구배가 제시되어 있는데 이에 의하면 비탈면구배를 결정할 수 없는 지반은 별도의 비탈면 안정검토를 해야 하며, 이 표준비탈면구배는 식생공에 의한 비탈면보호공을 하는 것을 전제조건으로 설정된 것이라 보면 좋다.

절토비탈면구배는 일반적으로 지반을 구성하는 토질의 종류와 경연상태, 절토고에 의하여 결정되는데 일반적으로 지반은 심부일 수록 토질이 단단하므로 비탈면의 하부는 구배를 급하게 하는 경우가 많으며, 비탈면 높이가 높으면 비탈면을 완만하게 해야 한다.

소단은 시공 중에는 작업장, 시공 후는 유지관리를 위한 통로, 낙석, 붕괴시의 충격완화

등의 목적으로 설치하는데 소단폭은 일반적으로 1.5m(높은 비탈면에서는 4~5m의 넓은 소단을 설치하는 경우도 있다)를 표준으로 하며, 소단 간격은 5~10m범위 내에서 절토고에 따라 토층의 경계를 고려하여 정한다.

나. 비탈면 보호공의 설계

비탈면 보호공은 그 목적 및 비탈면모양, 지질조건 등에 따라 비탈면구배를 적절히 선정하며, 비탈면이 안정되어도 강우 등에 장기간 견디어야 하므로 비탈면 보호공이 필요하다.

1) 식생공

비탈면의 침식, 붕괴 등을 방지하기 위하여 비탈면에 식생공을 하는데 토사 및 연암에 대한 식생공중 선정기준으로 표-1과 같으며, 연암은 뿌리의 침입이 어려우므로 보조공을 하지 않으면 식생이 곤란하고 경암은 일반적으로 식생이 거의 불가능하다.

다만 최근 암반사면 부분녹화 공법이 “건설신기술”로 지정되어 경암까지도 수목에 의한 부분녹화가 가능하나 아직까지 초보단계에 그치고 있다.

표-1. 토질별 식생공중 선정기준¹⁾

토 질 구 분		적 용 공 중	비 고
굵은모래, 가는모래 (SW, SP)		15cm이상 객토한 후 씨앗뿌어붙이기공B, 식생매트공, 평떼공	침식에 특히 약하므로 급속히 전면 객토를 하고 전면 식생을 하는 것이 안전하다.
사질토, 자갈 또는 암과 섞인 사질토 (SM, SC, GM, GC)	토양경도 27mm이하	씨앗뿌어붙이기공B, 식생매트공, 평떼공	비교적 침식에 약하므로 조기에 비탈면에 뿌리가 박히기 힘들므로 객토를 하여 뿌리의 침입을 촉진하는 부분 식생공이 적합하다.
	토양경도 27mm이상	씨앗뿌어붙이기공(도랑객토 병용), 씨앗뿌어붙이기공A(상동), 식생대공, 부분 객토식생공, 식생관공	토양경도가 27mm를 넘는 곳은 비탈면에서 뿌리의 침입을 촉진하는 부분 식생공이 적합하며, 동상이 되기 쉬우므로 시공시에 주의를 해야 한다.
점성토, 자갈 또는 암과 섞인 점성토, 점토 (CL, SC, GM GC)	토양경도 27mm이하	씨앗뿌어붙이기공B(도랑객토 병용), 씨앗뿌어붙이기공A, 식생매트공	동상이 되기 쉬우므로 시공시에 주의를 해야 한다.
	토양경도 27mm이상	씨앗뿌어붙이기공(도랑객토 병용), 씨앗뿌어붙이기공A(상동), 식생대공, 부분 객토식생공, 식생관공	토양경도가 27mm를 넘는 곳은 비탈면에서 뿌리의 침입을 촉진하는 부분 식생공이 적합하며, 동상이 되기 쉬우므로 시공시에 주의를 요한다.
연 암		씨앗뿌어붙이기공(도랑객토 병용), 씨앗뿌어붙이기공A(상동), 식생대공, 부분 객토식생공	잘게 파쇄되기 쉬운 연암일 때 도랑이 파질 경우는 씨앗뿌어붙이기A, B(도랑객토용)식생대공을 한다.

주) 표 안의 통일흙분류기호는 일반적인 분류에 의한 것이다.

가) 식생환경조사

시공면적, 비탈면의 구배 및 높이 등에 따라 기계 및 인력 시공방법을 검토해야 하며, 사질토는 침식에 약하고 식생 양생기간 동안은 유지관리가 필요하다. 고결도가 높은 사질토 및 굵은 점토는 뿌리의 침입이 어려우며, pH가 4이하인 강산성토 또는 8.5이상인 알칼

리성토에서는 일반적으로 식생이 곤란하다. 또한 염분, 유황 등을 포함하는 흙은 식생에 부적합하다.

나) 흙의 경도

토양의 경도지수 27mm(20kgf/cm²)까지의 뿌리의 침입이 일반적으로 가능하며, 점토는 23mm가 한계이다. 여기서 경도지수는

그림. 2와 같은 토양경도계로 측정하는데 이것은 길이 20cm, 지름 3cm, 무게 0.64kg인 원통형의 소형시험기이며, 흙의 경도와 식물뿌리의 성장관계 및 적용 예는 그림. 3과 같다.

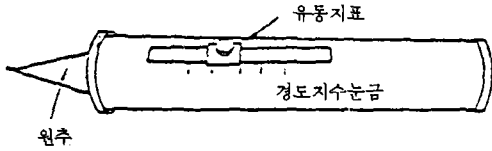


그림. 2. 토양경도계

뿌리의 성장상태	뿌리의 성장 용이	생장가능	생장곤란	뿌리침입 능가등 균열부 로 들어가 지만 지표로 변 어간다.
경도지수 (mm)	0 10 15 18 20 23 27 30 40			
지지력 강도 (kgf/cm ²)	1 2 3 5 10 20 30 50 100 500 ∞			
비탈면 상태		کم	다짐기	고연경
비탈면 처리	다짐필요	터	준	결 토 암 암
적용공종	면적이 클 경우 → 면적이 작을 경우 →	씨앗뿌어 불이기 식생 매트공 평매공	도랑객토 구멍객토 병 용 식생혈공 식생대공 식생판공	

그림. 3. 토양의 경도와 식물뿌리 성장 및 적용공종³⁾

다) 흙의 화학성분

비탈면 식생용 식물은 일반적으로 약산성 (pH 5~7)에서 생육이 가장 잘된다. 유기질 토는 공기에 접하면 강산성을 나타내는 경우가 많고 pH 4이하의 경우는 석회 등을 뿌려 중화시켜야 하며, 식생 종류와 토양의 pH 범

위는 화본과 식물이 pH 5.5~6.5(미산성~약산성), 콩과 식물이 pH 6.0~7.0(미산성~중성)이다.

라) 식생재료

식생공 시공시는 씨앗의 종류와 품질, 특성, 파종량 등을 적절히 선정해야만 하며, 씨앗은 온도와 습도가 높으면 발아율이 급격히 저하하므로 건조한 냉암소에 보관해야 한다. 씨앗뿌어붙이기의 경우 대표적인 파종 예는 표-2와 같으며 최근에는 사면에 식생기반을 조성하여 현장 주변의 향토초류의 식생천이에 의하여 자연녹화를 유도하여 주변환경과 조화를 이루도록 하는 공법이 시도되고 있다.

표-2. 대표적인 파종 예

파종시기 (일 평균기온 °C)	혼합 씨앗의 종류	파종량 (gf/m ²)	비 고
봄 10~25	켄터키 31페스큐	20.0	씨앗뿌어 불이 기의 경우
여름 15~25	위핑러브 그라스	0.5	
	화이트 클로버	0.3	
여름 25 이상	위핑러브 그라스	3.0	
겨울 5이하 (동상이 없는 곳)	켄터키 31페스큐 이탈리안 라이그라스	20.0 8.0	

마) 양생재

씨앗을 파종하여 충분히 번성하기까지는 빗물에 의한 씨앗의 유실, 동사에 의한 씨앗의 부상, 건조에 의한 고사 등이 없도록 보호를 해야만 한다. 따라서 씨앗뿌어붙이기 공법에서는 화학양생재 또는 섬유류를 비탈면 표면에 피복 하거나 경화를 시켜 양생을 한다.

바) 식생공의 시공

씨앗뿌어붙이기 공법은 건(gun)을 사용하는 경우와 펌프를 사용하는 경우가 있는데 건을 사용할 때는 공기압축기로 씨앗, 비료, 흙에 물을 가하고 이상(泥狀)으로 하여 비탈면에 뿌어붙이기를 하며, 절토비탈면이 높은 곳, 급한 비탈면 시공에 적합하다. 뿌어붙이기를 한 후는 아스팔트유제를 살포하여 피막양생을

해야한다. 펌프를 사용할 경우는 씨앗, 비료, 섬유 등을 물에 분산시킨 후 펌프로 비탈면에 살포하는데 비교적 낮고 완만한 비탈면에 적합하다.

식생관 공법은 씨앗과 비료를 혼합한 흙을 관상으로 성형하여 비탈면에 굴착한 도랑에 띠형태로 붙이는 공법이다. 평때공법은 전 면적을 모두 때로 피복 하므로 시공과 동시에 사면보호 효과를 발휘할 수 있으며, 비탈면에는 화학비료를 살포하고 평탄하게 마무리한 후에 때를 지반과 잘 밀착시켜 시공한다.

식생대 공법은 망태 안에 흙, 씨앗, 비료를 채우고 비탈면에 수평으로 굴착한 도랑에 띠형태로 시공하는 공법으로서 겨울이나 여름에도 시공이 가능하다. 식생형공법은 비탈면에 구멍을 뚫고 그 안에 흙, 비료, 씨앗을 채우는 공법으로서 단단한 점토의 절취비탈면에 적합하다.

2) 구조물에 의한 보호공

돌 또는 콘크리트블록 쌓기, 옹벽 등은 어느 정도의 토압에 견디는 구조물이며, 콘크리트 뿔어붙이기나 격자를, 블록라이닝 등은 토압에 저항할 수 없는 구조물이므로 주의해야 한다.

3) 억지공

말뚝이나 앵커 등의 억지공 설계는 일반적으로 활동면을 가정하여 안정계산을 하고 필요한 억지력을 얻도록 그 길이를 결정한다.

4) 낙석대책공

낙석은 비탈면뿐만 아니라 그 상부의 자연 비탈면에서도 발생하는 경우가 있으므로 주의해야 하며, 그 규모, 에너지 등으로부터 대책공의 종류, 치수, 구조 등을 설계한다.

다. 높은 절토

높이가 20m를 넘는 절토를 보통 높은 절토라 부르며, 이러한 절토는 사면이 크므로 비탈면 전체의 지질이 불균질하고 불안정한 경우가 많다. 즉, 절토비탈면은 단층이나 일정

방향의 균열등 구조적인 취약선을 가지고, 강풍화대, 변질대, 파쇄대 등 비탈면내 암질이 급변하며, 전혀 성질이 다른 지층이 공존하고, 용출수가 있는 등의 악조건을 가지고 있는 경우가 많다.

따라서 높은 절토의 경우는 미리 조사를 충분히 해야 하며, 비탈면 배후지에 철타 등의 중요 구조물이 있는 경우는 이를 고려하여 조사를 해야 한다.

또한 높은 절토의 설계, 시공 시는 절토하면 응력이 해방되어 지금까지 작용한 구속압이 작아지므로 절토전보다 지반의 강도가 저하되고 당초의 지하수위보다 더 깊게 절토를 할 경우는 지하수압의 균형이 무너져 붕괴원인이 되며, 당초 예상과 다른 지반조건, 특히 전술한 악조건이 확인될 경우는 조속히 비탈면 기울기나 비탈면보호공을 검토하고 높은 비탈면에서는 높이 20~30m마다 폭 3~4m 넓이의 소단을 설치하는 등을 고려해야 한다.

3. 지질에 따른 문제점

가. 침식에 약한 토질

화강암질 풍화토 등 모래가 많은 미고결 또는 고결이 낮은 지반은 빗물이나 용출수에 의하여 침식되기 쉽고 또한 건습 및 동결융해의 반복에 의하여 표층이 박리(剝離)되기 쉬우며, 지진에도 약하므로 절토면을 적절히 보호해야 한다. 이러한 토질은 입도구성 및 토양경도 등으로 판단하는데 시공장소 주변 도로·철도의 기존 비탈면에 대한 침식형태를 참고로 하면 좋다.

이러한 토질에서는 절토 후 가능한 한 빨리 보호공을 시공하여 피복 하는 것이 효과적이며, 또한 비탈면은 물론 배후지로부터의 유출수에 대한 배수처리를 잘 해야 한다. 특히 비탈면 내에 용출수가 있을 경우는 맹암거 등으로 배수를 하면 좋다.

나. 고결도가 낮은 토사 및 풍화암

급한 비탈면 상부의 풍화암석이 붕괴, 탈락하여 퇴적된 반원추상의 퇴적물인 애추퇴적물(talus cone) 및 단구퇴적물 등은 고결도가 별로 높지 않으며, 지층사이에 고결도가 더 낮은 층이 협재되어 있거나 역으로 단단한 자갈을 포함하고 있는 경우가 많고 화강암 풍화부에는 미풍화된 단단한 자갈이 남아있는 경우가 있다.

이러한 지층을 절토하면 고결도가 낮은 지층만 침식을 받거나 지층경계에서 용출수가 생겨 사면이 불안정화되기 쉽고 비탈면 지반이 약화되면 비탈면의 자갈이 부유상태로 되어 낙석의 원인이 되며, 절토시에 자갈을 무리하게 제거하면 주위 지반이 느슨해져 작은 붕괴가 생기는 등의 문제를 일으키기 쉽다.

이러한 지반조건에서 절토사면의 안정성은 지층구성 및 지하수 상황 등을 고려하여 판단하며, 안정성에 문제가 있을 경우는 비탈면구배를 가능한 한 완만하게 하고 낙석보호공 및 지층경계에 알맞게 소단을 넓게 설치하며, 지하수 배수대책을 충분히 하는 등의 대책을 강구하면 좋다.

다. 균열이 많은 암

암반에는 퇴적될 때의 면을 나타내는 층리면, 생성 후 지금까지 받은 이상 압력 등의 변성 작용으로 만들어진 편리면, 지각변동에 의한 응력집중이나 냉각수축으로 조성된 절리면 등 많은 균열이 있다. 이러한 균열이 있는 암반비탈면은 암반의 강도가 커도 균열방향으로는 현저하게 작으므로 비탈면의 안정성은 균열에 따라 많이 달라진다.

이러한 균열은 몇mm에서 몇 10cm까지 있으며, 어느 방향성을 가지고 발달되어있는 경우가 많아 암반 균열의 수평방향 주향이 비탈면방향과 같을 때는 주의해야 하며, 균열이

발달된 암석층에는 결정편암, 처트, 점판암, 사암과 혈암의 호층, 석회암, 응회암, 안삼암, 현무암 등이 있다.

라. 구조적으로 취약선을 가진 지질

지반활동 및 도괴(toppling) 등도 일종의 구조적인 취약선에 의한 것으로서 이 취약선에는 대규모 지반활동의 요인이 되는 퇴적구조, 단층 및 습곡 등이 있다. 구조적인 취약선에 의한 대규모의 지반활동은 사전에 예측하기 곤란한 경우가 많으며, 지층이 같은 방향으로 똑같이 경사진 단사구조지형이 확실한 경우는 주의해야 한다.

이것은 20~30° 정도로 완만한 경사의 단사구조를 나타내는 퇴적암지역에 형성된 비대칭지역으로서 좌우의 비탈면구배가 다를 경우는 완만한 비탈면 쪽이 층리면과 일치하는 경우가 많으며, 이러한 지형의 완만한 비탈면에서 굴착공사를 하면 지반활동이 발생할 가능성이 높기 때문이다.

마. 풍화에 의하여 약화되기 쉬운 암

신제3기의 이암층, 응회암 또는 사문암 중에는 굴착당시에는 단단하지만 시간경과와 함께 풍화가 급속히 진행되어 약화되는 경우가 있으므로 이들 비탈면에는 적절한 보호공을 하여 표층의 탈락을 방지해야 하며, 이를 그대로 방치하면 심부까지 약화되어 붕괴에 이르는 경우가 있다.

특히 사문암은 흡수팽창 등에 의하여 단기간에 토사로 되기 때문에 심부의 전단강도가 급격히 저하되어 예상치 않는 대규모의 붕괴를 일으키는 경우가 있으므로 이러한 성질은 암의 경도와 슬래킹(slaking)성으로 판단을 한다.

이러한 지반은 풍화가 진행되어도 붕괴되지 않는 안정된 비탈면구배를 확보하고 소단을

넓게 설치하여 붕괴에 의한 피해를 최소로 하며, 상황에 따라 구조물에 의한 사면보호공을 설치하는 등의 대책을 하면 좋다. 현장조사시는 노두관찰, 토양경도측정, 탄성파탐사 등을 하고 채취시료는 일축압축시험, 흡수팽창율측정, 건습반복시험 등의 실내시험을 하여 조사하는 경우가 많다.

4. 문제발생지역의 절토

가. 지반활동, 붕괴지역의 절토

자연 중에서도 주로 물에 의한 침식이 긴 세월을 걸쳐 생기는데 이 침식에 의한 과거의 지반활동 및 붕괴를 일으킨 흔적은 지형 및 지질구성으로부터 찾아 볼 수 있으며, 이러한 장소에서 절토를 할 경우는 힘의 균형을 잃어 붕괴되기 쉬우므로 주의해야 한다.

지반활동지역은 몇 개의 지형적 특징을 가지고 있으므로 지형도 및 공중사진으로 판독할 수 있으며, 그림. 4와 같이 정상부에는 활락의 흔적인 벼랑, 중간부에는 침하와 용기 흔적을 나타내는 등고선이 교란된 완만한 비탈면, 말단부에는 압출지형 등의 특징이 있다.

현지에서 상세히 관찰하면 지반활동 블록 안에는 그림. 5와 같은 균열 및 단차를 볼 수 있고 그 단차는 일반적으로 단절되어 있으며, 넓게 보면 평면적으로 원호상을 나타내는 경우가 많다. 또한 식생으로 볼 때 주변에는 큰 나무가 있는데 일부에는 작은 나무만 있는 곳, 휘어진 나무가 있는 곳, 연꽃 등 친수성식물이 자생하는 곳 등도 지반활동 흔적을 판단하는 기준이 된다.

이러한 지반활동지역에서 그림. 6과 같이 지반활동블록의 정상부 부근을 굴착할 경우는 활동하려는 힘이 가장 큰 부분을 제거하므로 안전성이 증가하며, 말단부 부근을 굴착하면 활동에 저항하는 부분을 절취하게 되므로 안전성이 저하된다.

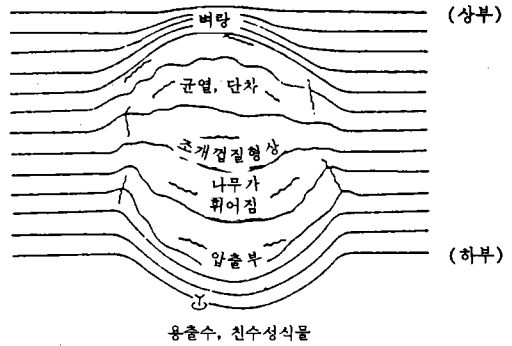


그림. 4. 지반활동부의 평면적 특징

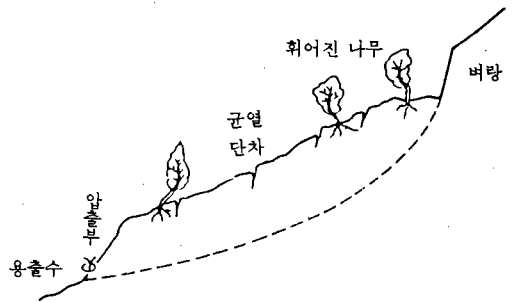


그림. 5. 지반활동부의 단면특징

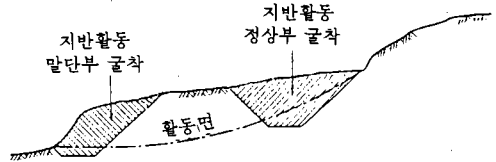


그림. 6. 지반활동 블록내의 굴착

나. 용출수가 많은 장소의 절토

절토비탈면 내의 용출수는 지반의 파이핑, 지반강도의 약화 및 침식 확대 등을 유발하여 비탈면안정에 나쁜 영향을 준다. 사질토와 점성토 및 이들이 섞인 흙은 물이 침입하면 세립분이 유출되기 쉬우며, 이러한 현상이 진행되면 지반의 강도가 약화되어 붕괴에 이르게 된다.

비탈면을 구성하는 지반이 경암일 경우는 용출수에 대한 문제는 적으나 연암 및 미고결

지반의 경우는 붕괴가 일어나기 쉬우므로 비탈면 중에 친수성인 풀이 자라는 곳이 있으면 배수구조물을 설치하여 배수를 해야 한다.

비탈면 내에 용출수가 있으면 지반 내부에 보링을 하고 배수파이프를 삽입, 표면으로 유도하여 바로 아래 소단의 배수로로 배수처리 하는 등의 배수대책을 세워 지반의 약화를 방지해야만 한다.

다. 적설(積雪) 한랭지의 절토

적설 한랭지에서 절토를 할 때는 지반활동 블록 상부에 눈이 쌓이면 그 중량이 활동토피에 가해져 불안정하게 되며, 융설시기에 지하수위가 상승하여 지반활동을 유발시키고 융설수가 지반내로 침투하여 사면에 용출수가 증가한다.

또한 동결융해의 반복에 따라 지반강도가 약화되고 동결 또는 서릿발에 의하여 비탈면이 파괴 또는 압출되거나 뿔어붙임 콘크리트 등의 구조물이 파괴되는 등의 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 비탈면 구배 조절, 비탈면보호공 및 배수대책 등을 검토해야 한다.

5. 붕괴의 예측

절토는 성토보다 지반의 지질구조가 복잡하기 때문에 활동면 위치나 토질정수를 정하기가 매우 어렵고 더구나 절토는 굴착 후에 시간경과와 함께 지반강도가 저하되는 경우가 많으므로 이를 예상하여 토질역학적인 안정해석을 해도 안정성이 결여되는 경우가 있다.

따라서 현장에서 절토비탈면의 균열, 용기, 함몰 등을 장기간 관찰하여 경험적으로 붕괴 여부를 신속히 예측을 해야 하며, 변형의 진행은 신축계나 경사계를 설치하거나 기타 간이방법으로 그림. 7과 같이 시멘트풀, 측량핀,

관측관 또는 관측말뚝을 설치하고 동태관측을 하여 붕괴를 예측해야 한다.

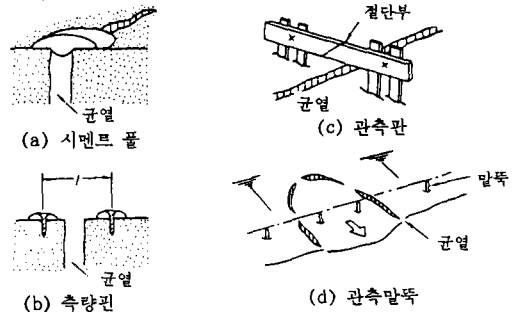


그림. 7. 변형 진행의 간이측정 방법

6. 결 언

이상으로서 절토비탈면의 설계와 지질에 따른 문제점 등에 대하여 기술하였는데 비탈면이 높은 절토의 경우는 지층이 복잡하고 용출수가 나타나는 경우가 많으므로 사전에 지질 조사를 상세히 하여 지질조건에 따라 적절한 소단과 비탈면구배로 절토를 하고 식생 등의 비탈면보호공을 해야 하며, 특히 용출수가 있을 경우는 배수대책공에 유의해야 한다.

참 고 문 헌

1. 한국도로공사 편(1992): "제2권 토공", 도로설계요령, pp.9~271.
2. 류기송(1984): "녹화에 의한 사면보호공", 한국농공학회지, 26-3, pp.10~13.
3. 日本土質工學會 編(1990): "切土", 土工入門, 土質工學會, pp.120~141.
4. 安保 昭(1983): "のり面綠化工法", 森北出版株式會社, 東京.