

억지말뚝으로 보강된 절개사면의 강우시 거동

The behavior of a Cut Slope Stabilized by Use of Piles during Heavy Rain

한 중 근*¹

Han, Jung-Geun

홍 원 표*²

Hong, Won-Pyo

신 민 호*³

Shin, Min-Ho

Abstract

An instrumentation system is designed to observe the behavior of slope soil and stabilizing piles during heavy rains. Inclinometers, standpipe piezometers and strain gages are installed into a cut slope reinforced by a row of piles for an apartment. The horizontal deflection and bending stress developed on the piles can be measured, respectively, by the inclinometers and strain gages installed in piles, while the horizontal deformation of the slope soil can be measured by the inclinometer installed in the soil across the open space between piles.

The groundwater level dose not grow so sensitively during heavy rain. The behavior of piles and slope is affected by the wetting front, since the driving force of slope increases with the weight of slope soil above the wetting front. The stabilizing piles and the slope soil show elastic behavior during heavy rain.

요 지

강우시의 사면지반과 억지말뚝의 거동을 관찰하기 위하여 각종 계측기에 의한 현장계측이 실시되었다. 즉, 억지말뚝으로 보강된 아파트 배면절개사면에 경사계, 지하수위계 및 스트레인게이지가 설치되었다. 억지말뚝에 발생된 수평변위와 휨응력은 억지말뚝속에 설치된 경사계와 스트레인게이지로 측정하였으며, 사면지반의 수평변형은 말뚝사이지반에 설치된 경사계로 측정하였다.

지하수위 계측결과 강우시 지하수위는 집중호우에 그다지 민감하지 못하였다. 강우시 지표면으로부터 습윤대가 형성되고 이 습윤대의 강하는 말뚝과 지반의 거동에 많은 영향을 미치고 있

*1 정희원, 중앙대학교 대학원 토목공학과 박사과정

*2 정희원, 중앙대학교 공과대학 토목공학과 교수

*3 정희원, (주) 금호건설 기술연구소 차장

었다. 왜냐하면 습윤대의 강하로 인하여 이 습윤대 상부지반의 단위체적중량이 증가하게 되고 또한 사면의 활동력이 증가하게 되기 때문이다. 이러한 집중호우시의 억지말뚝과 사면의 거동은 탄성적이었다.

Keywords : Stabilizing Pile, Inclinometer, Stand Pipe Piezometer, Strain Gage, Wetting Front.

1. 서론

우리나라는 전국토의 약 70%가 산지로 구성되어 있어 도로를 건설하거나 주택단지 조성할 경우 구릉지나 산지를 절토 혹은 성토하는 경우가 빈번하다. 이 경우 지금까지 안정을 유지하고 있던 사면은 불안정하게 되어 우기철에 산사태가 발생하게 된다. 이와같은 사면붕괴가 발생되거나 예상되는 절개사면의 복구대책으로 억지말뚝을 사용하여 사면안정성을 확보하려는 현장이 점차 늘어나고 있다. 이 경우 산사태억지말뚝의 사면안정효과를 얻기 위하여는 말뚝 및 사면의 안정이 동시에 만족되어야 한다. 이러한 억지말뚝공의 사면안정효과를 확인하기 위하여는 억지말뚝이 설치된 사면의 거동을 면밀히 조사분석하여 볼 필요가 있다. 특히, 다우지역에 속하는 우리나라에서 우기철에 억지말뚝의 거동이 강우에 어느 정도 영향을 받는지를 조사하여 볼 필요가 있다.

부산과 같이 인구집중으로 인한 택지부족현상을 해결하기 위하여 산지를 절개하여 택지를 공급하여야 하는 지역에서는 우기철에 집중호우가 내리게 되면 절개된 사면의 안정문제는 방재적 측면에서 특히 소홀히 할 수 없다(백한기, 1994, 홍원표, 1990).

본 논문에서는 수일간 지속된 강우로 산사태가 발생한 부산지방의 한 아파트 신축부지배면 절개사면을 억지말뚝공으로 복구한 한 절개사면을 대상으로 사면 및 억지말뚝에 각종 계측기를 설치한 후 사면과 억지말뚝의 거동을 조사하여 보고자 한다. 본 연구는 사면안정공 시공과정시의 억지말뚝으로 보강된 사면

의 거동을 집중적으로 분석한 첫번째 논문(홍원표, 한중근, 이문구, 1995)과 일련의 연구로서 본 논문에서는 특히 강우시의 억지말뚝 및 사면지반의 거동, 억지말뚝의 사면안정효과등에 대하여 분석하여 보고자 한다.

2. 현장실험개요

현장실험에 대하여는 이미 첫번째 논문(홍원표, 한중근, 이문구, 1995)에서 상세하게 설명된 바 있으므로 상세한 내용은 이를 참조하기로 하고 본 논문에서는 현장실험의 개요에 대하여만 간략하게 설명하기로 한다.

본 연구가 수행된 현장은 1993년 8월 19일 공사중 수일간 계속된 강우로 붕괴된 부산의 한 아파트배면 절개사면이다. 이 붕괴사면은 억지말뚝공등을 사용하여 복구하였으며 복구된 사면이 위치한 현장의 평면도는 그림1과 같다. 본 절개사면에 사면안정공이 실시된 후의 복구사면의 대표단면은 그림2와 같으며 시공단계는 그림3과 같다.

2.1 사면안정공

그림 2에서 보는 바와 같이 본 절개사면에 설치된 억지말뚝은 억지말뚝사면안정프로그램 SPILE(stabilizing piles landslides control, 1995)을 사용하여 해석하였으며 그 결과를 토대로 설계·시공하였다. 본 설계법에서는 말뚝과 사면의 안정이 모두 만족할 수 있도록 설계하므로써 억지말뚝의 사면안정효과를 합리적으로 얻을 수 있게 하였다. 억지말뚝은 옹벽에서 부터 16.5m 되는 위치에 H말뚝(H-300×

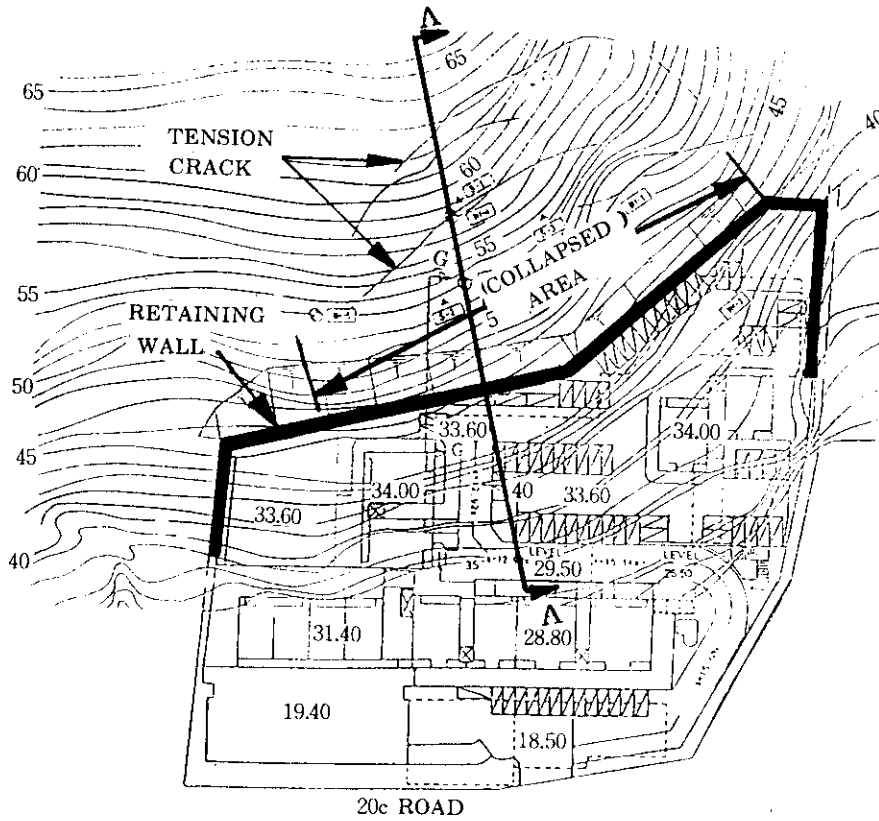


Fig 1. 현장평면도

300×10×15)을 말뚝중심간격 1.5m로 일렬로 설치하였으며 이들 말뚝은 연암층 1.5m 깊이 까지 관입되도록 설치하고 말뚝주위의 공간은 그라우팅으로 충진을 실시하였다. 또한 말뚝두부는 회전구속으로 하였으며 사면구배는 현재 지표면의 형상을 최대한 유지하도록 하였다. 한편, 옹벽부에는 그림3에서 보는 바와 같이 엄지말뚝(H-200×200×8×12)이 중심간격 2m로 설치된 흠막이벽이 4단의 앵커로 지지되어 있다. 또한, 장기적으로 앵커의 이완등을 고려하여 이 흠막이벽 전면에 철근콘크리트 옹벽을 설치하고 이 옹벽이 전체의 50%에 해당되는 측방토압을 지지할 수 있도록 설계하였다. 그림에서 보는 바와 같이 사면하부지반의 굴착단계는 사면정지단계, 굴착단계 및 지하주차장

굴착단계로 구분하였다. 강우의 영향을 조사한 시기는 옹벽이 완성된 이후의 단계로 하였다.

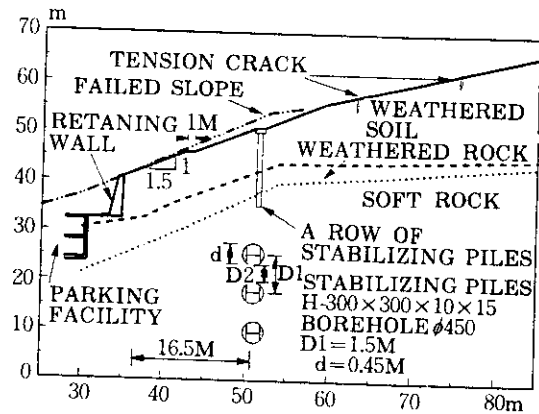


Fig 2. 복구사면 대표단면도

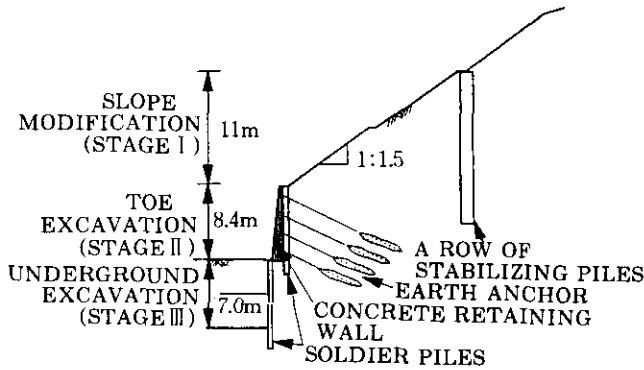


Fig 3. 시공단계 개략도

2.3 계측기설치상황

역지말뚝 및 사면지반의 거동을 파악하기 위하여 여러가지 계측장비들을 활용하였다. 그림 4와 그림5에서 보는 바와 같이 절개사면에 설치된 말뚝에는 스트레인게이지와 경사계를 그리고 사면지반에는 경사계와 지하수위계를 각각 설치하였다.

우선, 스트레인게이지는 그림1에서 표시된 AA단면 및 BB단면에 관입된 역지말뚝에 1.5m 간격으로 말뚝의 전면과 배면에 각각 부착·설치하였다(그림 4(a)참조). 또한 경사계는 그림4

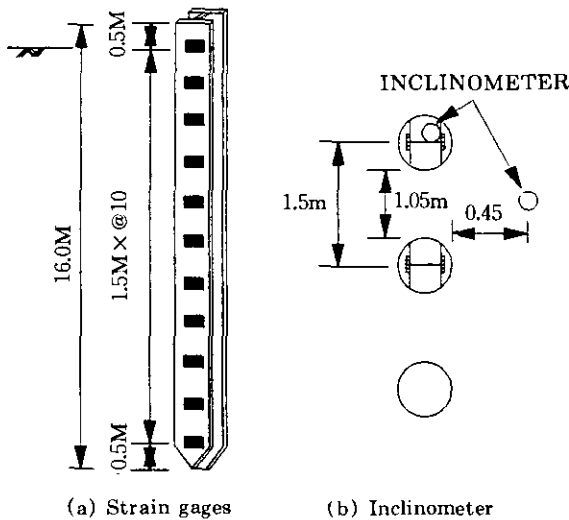


Fig 4. 스트레인게이지 및 경사계 설치상황

에서 보는 바와 같이 말뚝내 및 사면지반속에 각각 설치하여 말뚝 및 지반의 거동을 파악할 수 있도록 하였다. 사면지반속에 설치된 경사계는 말뚝과 말뚝사이의 소성영역으로 예상되는 위치에 설치하여 말뚝사이 지반의 거동을 파악할 수 있도록 하였다. 한편, 사면의 지하수위 변화에 따른 영향을 파악하기 위하여 그림5에서 보는 바와 같이 AA단면 및 BB단면에 3개소씩 지하수위계를 설치하였다.

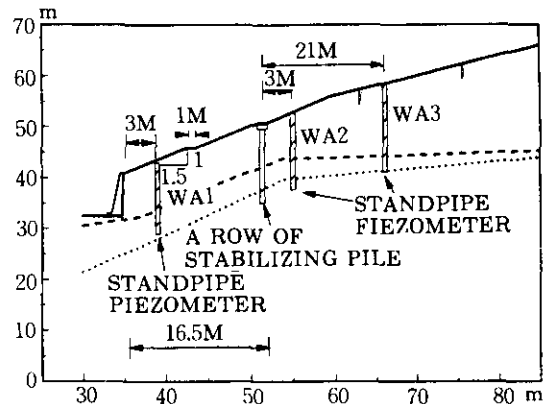


Fig 5. 지하수위계 설치상황

2.4 계측계획

본 연구를 위하여 상기에서와 같이 사면에 설치된 계측기들을 1994년 1월부터 1995년 6월까지 총 30회 계측을 실시하였다. 또한, 시공과정시와 강우시의 영향을 구분하여 조사분석하기 위하여 각각 계측시기를 구분하여 계측을 실시하였다. 우선 시공과정시의 분석을 위하여는 시공단계에 따라 굴착전후에 각각 계측을 실시하였고 강우시의 영향을 고려하기 위하여는 집중호우 혹은 누적강우량이 많이 발생한 전후 및 전기시에 각각 계측을 실시하였다. 각각의 계측시마다 스트레인게이지, 경사계 및 지하수위계의 계측을 동시에 실시하여 서로의 연관성을 조사할 수 있도록 하였다.

3. 강우와 지하수위

우리나라에서는 년평균강우량의 대부분이 6월~9월의 우기철에 발생된다. 우기철에 발생되는 집중호우는 그 형태나 규모에 따라 집중호우형태인 이동성 저기압에 의한 영향과 강우강도에 영향을 받는 태풍에 의한 집중호우로 구분될 수 있다. 이들 강우형태는 모두 짧은 기간에 걸쳐 강우가 집중되므로 산사태나 하천범람등 피해를 유발시키는 요인이 된다. 따라서, 본 장에서는 우선 현장실험이 실시된 부산지방의 강우특성과 산사태와의 관계를 검토하여 보고자 한다.

3.1 강우와 산사태의 관계

우리나라는 기후적 측면으로 보면 열대지역과 한대지역의 경계지역에 위치하고 있으므로 장마전선, 고기압, 저기압등의 통과가 빈번하므로 기상 및 지역특색에 따라 강우특성을 분류할 수 있다(Kim, Hong & Kim, 1992). 부산지역의 강우형태는 태풍에 의한 집중호우의 특징을 갖고 있어 일일강우강도에 대한 영향을 지배적으로 받고 있다고 할 수 있다(백한기, 1994).

최근 10년간(1978~1987년)의 풍수해에 의한 피해중 호우, 폭풍 및 폭풍우 그리고 태풍에 의한 피해는 전체 자연재해의 77.2%에 달하고 있으며 이중 태풍과 호우에 의한 피해는 48.2%로 전체피해규모의 약 50%를 점하고 있다. 또한 이들 피해발생시기를 살펴보면 1년 중 88.8%가 6월~9월 사이에 발생되고 있으며 7월, 8월의 호우집중률은 61.4%에 이르고 있다(홍원표, 1990).

한편, 부산지역은 최근 10년간(1982~1991) 호우 및 태풍에 의한 피해로 인하여 발생한 주요 산사태는 7월 및 8월에 집중적으로 발생하였다. 이들 기록을 우리나라의 산사태발생규모별로 나타낸 이전의 연구결과(Kim, Hong & Kim, 1992)에 도시하여 보면 그림 6과 같다. 이 그림에서 보는 바와 같이 부산지역에서 10

여년간 발생한 산사태발생규모는 중규모 및 대규모산사태에 속하는 경우임을 알 수 있다. 또한 부산지방의 산사태발생은 누적강우량에 의한 경우보다 집중호우에 의하여 더 많은 영향을 받고 있으므로 강우강도와 밀접한 관련이 있다.

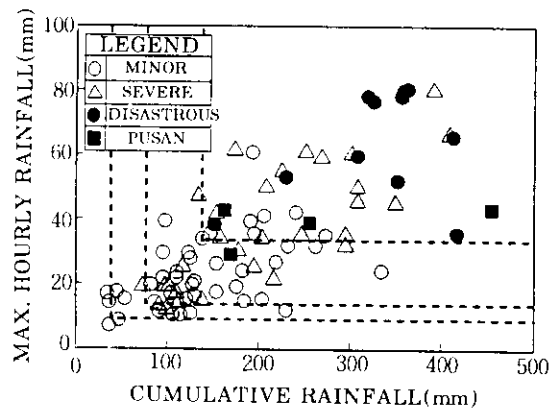


Fig 6. 산사태발생규모별 최대시간강우강도와 누적강우량의 관계

3.2 강우기록

앞에서 검토된 바와 같이 산사태발생은 강우에 의하여 많은 영향을 받는다. 따라서 본 현장실험이 실시된 곳에서의 강우기록을 조사하여 보면 그림 7과 같다. 사면안정공의 시공이 완료된 이후 현장실험기간중 일일강우량이 10mm 이상인 경우는 40회, 20mm 이상인 경우는 26회, 30mm 이상인 경우는 17회 발생하였다. 즉, 계측기간동안에 기록된 부산지역의 강우형태는 집중호우성이었다. 또한 그림 6중에 점선으로 도시된 소규모 산사태가 발생할 수 있는 최대시간강우강도 10mm 및 누적강우량 40mm 이상 보다 강우량이 많이 기록된 강우회수는 총 13회였다. 따라서, 현장실험기간중 이러한 강우시에 소규모 이상의 산사태가 발생할 수도 있는 가능성이 있었음을 알 수 있다.

3.3 지하수위 계측결과

산사태의 발생은 일반적으로 지하수위 상승과도 밀접한 관련이 있다고 알려져 있다. 따라서, 본 현장에서도 지하수위의 변화상태를 조사하여 보기로 한다. 역시말뚝 배면 3m지점에 설치된 지하수위 계측결과를 강우에 의한 지하수위의 변화와 함께 나타내어 보면 그림 7과 같다. 이 그림에서는 사면안정공이 완성된 이후의 지하수위 변화를 주로 관찰하여 보았다. 왜냐하면, 사면안정공 시공시에는 강우의 영향보다 시공에 의한 영향이 더 크게 작용하므로 강우의 영향은 사면안정공 시공이 완료된 이후로 하였다. 시공단계별에 따른 지하수위 변화는 첫번째 논문에서 약간 언급된 바 있으므로 용벽이 완성된 이후의 지하수위 변화에 대하여만 고려하여 보기로 하고 그림 7에 이를 표시하였다. 이 기간중에는 역시말뚝으로 보강된 사면하부에 용벽시공이 완료된 이후로 이미 사면이 안정된 상태를 유지하고 있는 상황이라 할 수 있다.

지하수위의 변화를 관찰하여 보면 용벽시공이 완성된 시기의 지하수위는 AA단면에서 G.L. -13.0m, BB단면에서 G.L. -13.2m를 각각 기록하였다가 용벽이 완성된 후 지하수위는 급격히 감소하여 일정한 상태로 유지되고 있다. 그림 7에 표시되어 있는 바와 같이 1994년 7월 26일부터 3일간 누적강우량 134.9mm, 일일최대강우량 93.1mm가 기록되었을 경우에도 AA단면, BB단면에서의 지하수위는 모두 약간 증가(0.2m 정도)하였다가 이내 다시 감소하였다. 또한, 1994년 10월 20일부터 2일간 누적강우량 41.1mm, 일일최대강우량 23.6mm일때 지하수위는 약간 증가하다가 다시 감소하여 일정한 상태를 유지하였다. 그밖에도, 1995년 4월 21일부터 최대일일강우량 60mm, 2일간 누적강우량 88.4mm를 기록한 때에도 마찬가지로 경향을 보여주고 있다.

이는 장기간의 가뭄으로 인하여 지하수위가 계속 감소하여 일정한 상태를 유지하다가 일시적인 집중호우시 지하수위가 일시적으로 약간

상승하였다가 곧 감소하여 지하수위가 다시 일정한 상태를 유지하였음을 보여 주고 있다. 따라서, 본 현장에서의 지하수위는 집중호우에 민감하게 영향을 받지 않고 있음을 볼 수 있다. 또한, 일시적인 집중호우에 의한 강우는 지반에 깊이 유입되지 못하고 지표면에서만 지반이 포화되어 지표수에 의하여 단지 흙의 단위중량만을 증가시키는 결과를 초래한 것으로 판단된다. 즉, 강우로 인하여 지반이 포화되는 경우는 강우가 사면에 침투되어 지하수위를 상승시키는 것보다 강우로 인하여 지표면으로 부터 습윤대가 형성되고 이 습윤대(wetting front)의 하강이 지하수위의 상승보다 빠르게 증가되어 종국에는 지하수위와 만나게 될때 지반은 완전히 포화된다고 할 수 있을 것이다.

이러한 강우의 지중 침투거동 결과는 모형시험에 의한 시험결과에서도 이미 관찰된 바 있다.(Kim, Hong & Kim, 1992).

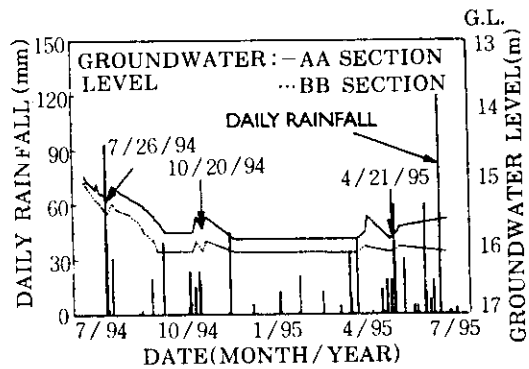


Fig 7. 일일최대강우량과 누적강우량 및 지하수위 변화 관계

4. 강우시의 거동

본장에서는 각종 계측기로 계측된 계측기록과 강우시의 강우기록에 의거하여 역시말뚝과 사면지반의 거동 및 역시 말뚝의 사면안정효과를 강우와 관련지어 조사·분석하여 보고자 한다.

4.1 억지말뚝의 거동

강우발생전후의 억지말뚝에 설치된 경사계와 스트레인게이지의 계측치를 정리하여 보면 그림 8에서 그림 11까지와 같다. 이 결과를 이용하여 억지말뚝의 거동을 분석하여 보면 다음과 같다.

(1) 경사계 계측결과

억지말뚝내에 설치된 경사계의 계측치를 강우발생전후 및 전기시로 구분하여 대표적으로 AA단면의 경우에 대하여 나타내어 보면 그림 8과 같다. 우선 그림 8(a)는 1994년 7월 26일부터 3일간 강우시의 억지말뚝거동을 나타낸 결과이다. 즉, 옹벽시공이 완료된 이후의 경사계 변위는 말뚝두부에서 최대변위가 발생하고 있으며 강우전 6.1mm이었으나 강우로 인하여 7.4mm로 증가하였다. 그러나, 이 변위는 강우후 계속된 건조기간동안 6.1mm로 회복하였음을 보여주고 있다. 또한 계측이 처음 시작된 시기로부터 1여년후인 1995년 3월 15일부터 2일간 강우시의 AA단면에서의 억지말뚝거동은 그림 8(b)와 같다. 이 그림에서도 보는 바와 같이 강우전에는 억지말뚝두부에서의 최대변위가 9.7mm, 강우후에는 11.0mm로 증가하였다. 그러나 강우후 계속된 건조기간동안 8.8mm로 변위가

회복되었음을 알 수 있다.

한편, 말뚝내에 설치된 경사계의 최대변위량의 변화상태를 각 단면에 대하여 나타내어 보면 그림 9와 같다. 이 그림에서 보는 바와 같이 BB단면에 설치된 억지말뚝의 변위가 AA단면의 경우보다 크게 발생하였다. 옹벽시공완료후에 발생한 말뚝의 최대변위증가량을 나타내어 보면, 집중호우후 말뚝의 최대변위는 증가하고 전기시에는 증가되었던 변위가 회복되는 것을 볼 수 있다. 결국 이러한 변위회복현상은 억지말뚝이 강우시 탄성거동을 하고 있음을 의미하고 있다. 즉, 강우시 지표수의 지중침투는 지표부의 지반이 습윤상태로 무거워지므로 단위체적중량이 증가되고 이 중량증가가 억지말뚝에 수평축방토압증가에 의한 수평변위발생을 유발시키게 된다. 그러나, 이 수평변위는 지반이 다시 건조되어 지반의 단위체적중량이 감소할 때 원상태로 회복하므로 결국 강우시 발생한 억지말뚝의 변위는 탄성변위였음을 알 수 있다. A영역에서 옹벽완성직후의 변위증가는 BB단면의 경우 AA단면의 경우보다 더 크게 나타났고 말뚝이 장기간 설치되어 있는 경우 말뚝의 변위는 AA단면의 경우가 BB단면의 경우보다 더 탄성적이었다.

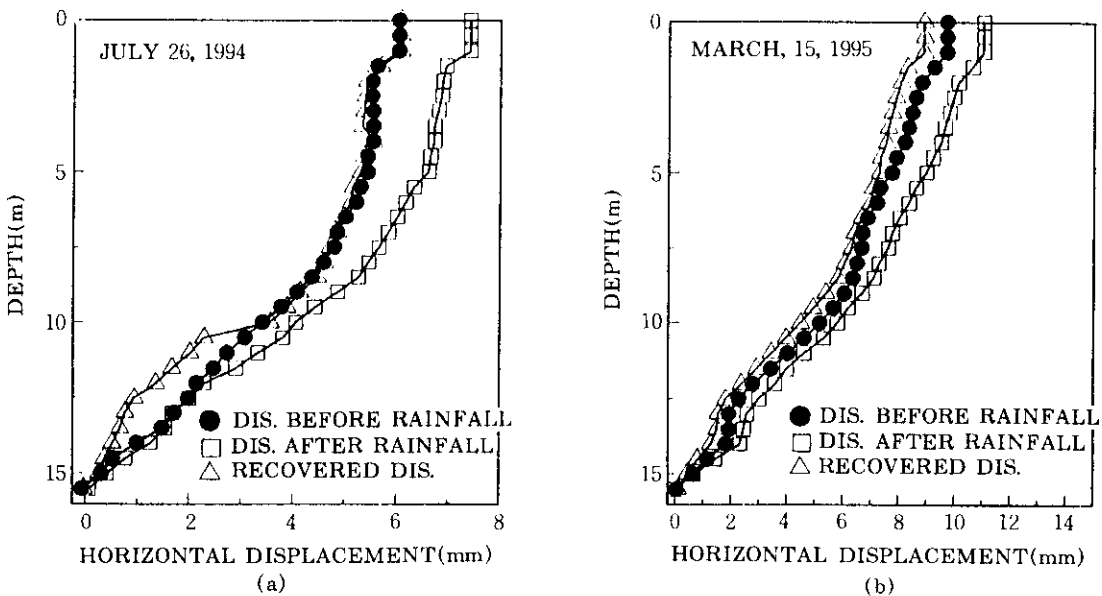


Fig 8. 강우시 억지말뚝내 설치된 경사계 변위(AA단면)

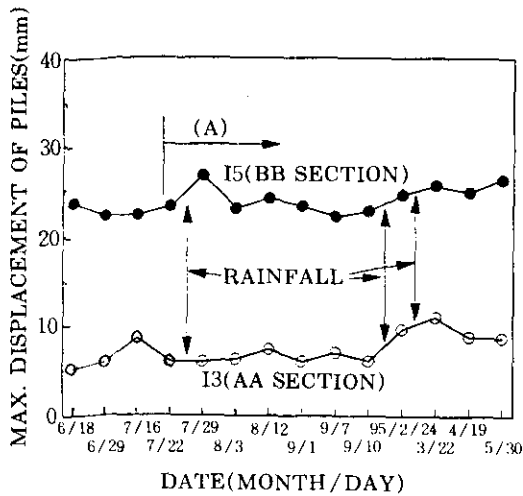


Fig 9. 강우시 역지말뚝의 최대변위변화

(2) 스트레인게이지 계측결과

역지말뚝에 부착된 스트레인게이지로 부터 측정된 휨응력 분포를 말뚝의 깊이방향에 따라 대표적으로 나타내어 보면 그림 10과 같다. 이 그림에서는 BB단면에 설치된 역지말뚝에 1995년 3월 15일 2일간 강우시 발생된 휨응력을 강우발생전후 및 건기시로 구분하여 표시하였다. 이 그림에서 보는 바와 같이 역지말뚝에 발생된 휨응력은 지층경계선 부근에서 크게 변화하고 있다. 풍화암층 상부 풍화토층의 측방 변형에 의하여 역지말뚝에 측방토압이 작용하였기 때문이다. 이 결과는 역지말뚝이 파괴면 상부의 토사이동에 의하여 측방토압을 받고 있고 역지말뚝이 이에 저항하고 있음을 의미한다. 한편, 풍화암층에서는 부의 휨응력이 발생하고 있다. 이는 풍화암 상부토사층에 측방토압이 발생할 때 이 토압에 역지말뚝이 저항하기 위한 저항력으로 지반반력을 받기 때문이다. 또한, 연암층에서는 이 지반반력을 더욱 증대시키기 위하여 반대방향의 지반반력이 발생되고 있음을 보여주고 있다. 우선, 말뚝 두부의 캡이 설치된 부위의 스트레인게이지값은 캡속에 매설된 관계로 계측이 불가능하여 이 부분에서의 구속응력(부의 응력)은 알 수 없으나 그 바로 아래의 휨응력의 경향으로 보아 상당

한 부의 응력이 발생되었음을 추측할 수 있다.

다음으로 풍화토층내에는 정의 휨모멘트 발생으로 인하여 정의 응력이 발생되었다. 이러한 정 및 부의 휨응력 발생경향은 그림 10에서 보는 바와 같이 강우시 휨응력의 값이 변화되고 있음을 알 수 있다. 즉, 말뚝캡아래 3m 깊이 위치에서는 강우로 인하여 정의 휨응력이 증가하였으나 건조시 이 증가분이 다시 감소하여 원래의 값으로 회복하였다. 또한 말뚝캡부근(말뚝캡아래 1.5m 깊이)위치에서도 강우로 인하여 부의 휨응력이 증가하였으나 건조시 일부 회복되었다. 그러나, 지반반력부에서는 강우시 부의 휨응력이 감소하였던 것이 건조시 다소 회복하였다.

이러한 결과는 앞에서 설명한 경사계의 계측결과와 동일한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 즉, 강우시 지표부근의 토사의 단위체적중량의 증가로 인하여 풍화암층 상부의 소성변형 지반이 측방으로 변형하게 되어 측방토압이 역지말뚝에 작용하게 되며 이로 인하여 말뚝에는

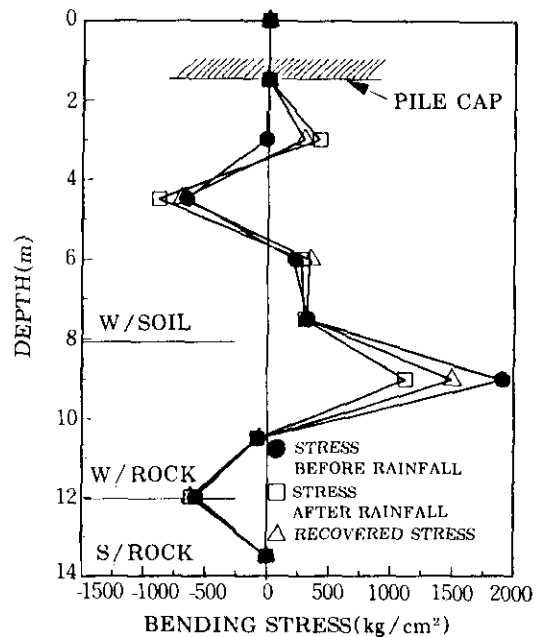


Fig 10. 말뚝의 휨응력

휨응력이 증가하고 수평변위가 증가하게 된다. 그러나 습윤상태의 토사가 건조시 수평변위와 휨응력의 증가량은 전부 혹은 일부 다시 감소하게 된다. 따라서, 강우로 인하여 발생된 억지말뚝의 수평변위는 탄성변위가 대부분임을 알 수 있다.

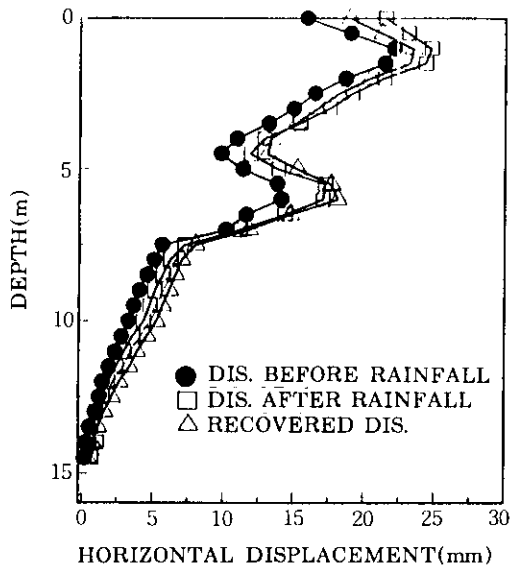
4.2 사면지반의 거동

억지말뚝이 설치된 사면지반의 거동을 말뚝 사이의 소성변형지반영역에 설치된 경사계 측정값을 활용하여 조사하여 본 결과가 그림 11이다. 그림 11은 용벽시공완료직후 및 장기간 경과된 후의 경사계 측정값을 강우발생전후 및 건조시로 구분하여 각각 나타내었다. 우선 그림 11(a)에는 AA단면에서의 용벽시공완료직후의 경사계 측정값을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 1994년 7월 26일부터 2일간 강우시 지반속 경사계의 최대변위는 강우발생전에 23.4mm에서 강우후 25.6mm로 증가하였다가 건조시에는 21.7mm로 다소 회복되었다. 풍화토층에서의 변위회복량이 풍화토층 하부에

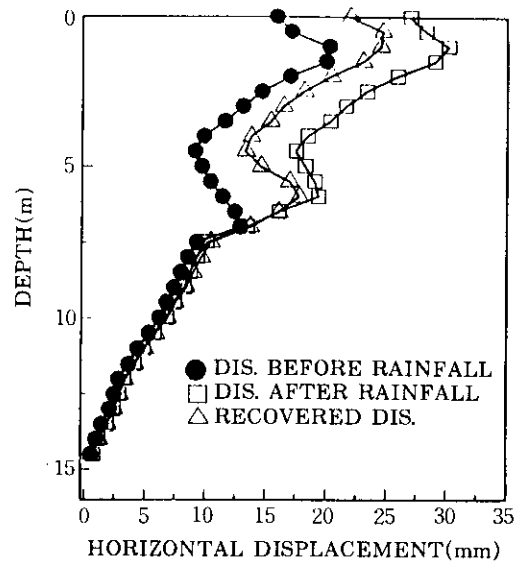
서의 회복량보다 크게 나타났다. 그림 11(b)에서는 말뚝이 장기간 설치된 때의 경사계 측정값을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 1995년 4월 21일부터 2일간 강우시 지반의 변위는 강우발생전에 17.8mm에서 강우후 30.1로 증가하였다가 건조시 24.8mm로 회복하였다.

그림 11에서 보는 바와 같이 지반의 변형은 그림 10에서와 동일하게 토사층과 풍화암층의 경계선부근에서 변위의 증가 현상이 크게 차이가 있음을 알 수 있다. 즉, 이 경계선상부에서의 풍화토층의 지반변형은 크게 증가하고 있지만 경계선하부의 풍화암층에서의 지반의 변화는 거의 증가가 없는 것을 볼 수 있다. 또한 그림 11(b)의 경우 지반의 변형은 강우에 상당한 영향을 받고 있다.

한편, 그림 11중 경사계의 최대변위위치가 지표면이 아니고 지표면 아래 1.5m부근이 되는 이유는 억지말뚝 두부에 철근콘크리트 캡의 지중보가 설치되어 있어 이 부분에서는 지반변형이 어느정도 억제되어 있기 때문이다. 또한 이 그림중 6m 부근에서 지반변형이 크게 발생



(a) 용벽시공완료직후 & 1994년 7월 25일



(b) 1995년 4월 21일

Fig 11. 지반에 설치된 경사계의 변위(AA단면)

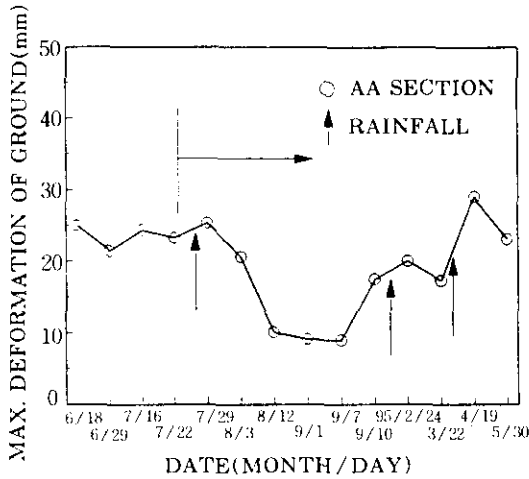


Fig 12. 지반에 설치된 경사계의 최대변위량변화

되어 있는데 이는 사면하부 흩막이벽 지지앵커의 시공으로 인하여 발생한 변형이다.

사면지반에서 발생한 경사계변위의 최대변위변화상태를 나타내면 그림12와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 강우직후에는 지반변형은 증가하고 있으나 건기시에는 발생한 지반의 변형이 다시 감소하고 있음을 볼 수 있다. 이들 측정결과에 의하면 사면지반에서도 강우시 지반의 단위체적중량증가에 의한 사면활동력 증가로 측방변형이 증가하고 건조시 이 증가량이 다시 감소하여 원래 상태로 회복되고 있음을 알 수 있다. 따라서, 사면지반에서도 강우로 인하여 발생하는 지반변형이 대부분 탄성변형임을 알 수 있다.

5. 억지말뚝의 사면안정효과

억지말뚝 사면안정효과를 조사하기 위하여 AA단면에서의 말뚝과 지반에 설치된 경사계로 계측된 최대변위량을 비교하여 보면 그림 13과 같다. 이 그림에서 보는 바와 같이 강우시 지반에 설치된 경사계의 변위는 억지말뚝에 설치된 경사계의 변위에 비하여 크게 발생하고 있다. 그러나, 건기시의 말뚝 및 지반의 변위를 비교하여 보면 말뚝의 변위 회복량에 비하여

지반의 변위회복량은 크게 나타남을 볼 수 있다. 결국, 억지말뚝과 지반은 모두 강우와 건기의 반복에 의해 영향을 많이 받음을 알 수 있다. 또한 억지말뚝의 저항으로 인하여 강우시 사면지반의 활동력에 대한 변위는 억제력을 갖고 있으며 지반이 말뚝보다 강우의 영향에 대하여 더 탄성적이었다.

그림 13에서 보는 바와 같이, 사면지반의 변형량은 억지말뚝의 변위량보다 크게 나타나고 있다. 따라서, 말뚝사이의 지반에는 이들 변위의 상대적인 차이에 의하여 아칭(soil arching) 현상이 발생되었을 것이고 이로 인하여 사면의 활동에 억지말뚝이 저항하고 있음을 알 수 있다.

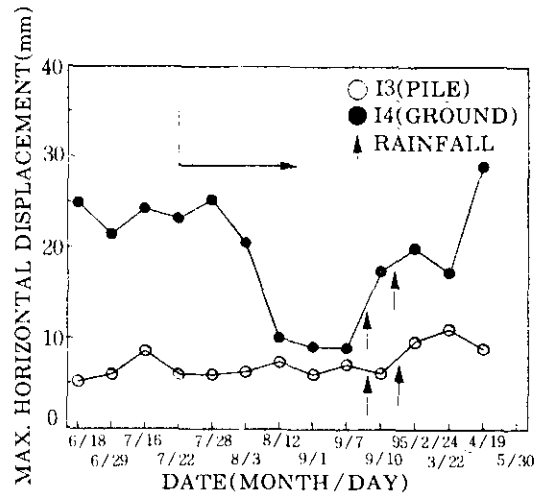


Fig 13. 강우시 말뚝 및 지반의 최대변위증가분포도 (AA단면)

6. 결론

아파트배면의 절개사면에 억지말뚝을 시공한 현장에 억지말뚝 및 지반에 계측기들을 설치하고 이들로 부터 계측된 계측자료를 이용하여 억지말뚝 및 절개사면지반의 거동 그리고 억지말뚝의 사면안정효과를 조사·분석하여 보았다. 특히, 강우시 이들 거동 및 효과에 대하여 검토하여 본 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 사면지반속 지하수위는 집중호우에 민감하게 영향을 받지 않았다. 즉, 일시적인 집중호우는 강우가 지반에 깊이 침투되지 못하고 지표면 지반만 포화되어 지표부 지반의 단위중량을 증가시키게 된다. 따라서, 이 경우 지표면으로부터의 습윤대가 형성되고 지반의 포화상태도 지하수위 상승에 의한 경우보다는 지표면으로부터의 습윤대의 증가에 의하여 더 빠르게 형성된다.

2) 억지말뚝의 변위와 휨응력은 강우발생 직후 증가한다. 그러나, 이들 변위와 휨응력의 대부분은 건기시 다시 원상태로 회복된다.

3) 강우로 인하여 풍화암층 상부의 소성변형 지반의 사면활동력과 억지말뚝에 작용하는 측방토압은 증가하게 되고 지반과 말뚝의 측방변형이 많이 증대된다. 이러한 변화는 풍화암층 상부의 풍화토층에서만 주로 발생된다.

4) 강우에 의하여 발생하는 말뚝과 지반의 측방변형은 주로 탄성변형이며 지반은 말뚝보다 더욱 탄성적이었다.

5) 억지말뚝의 변위가 사면지반의 변형보다 적은 관계로 말뚝사이 지반에는 아칭현상이 발생되며 이로 인하여 사면지반의 활동에 억지말뚝이 효과적으로 저항할 수 있다.

감사의 글

본 논문은 한국과학재단 92특정기초연구과제(과제번호:92-2900-07-01-3) “산사태 및 사면재해에 관한 연구” 중 제4세부과제인 “우리나라 산사태방지를 위한 효과적 대책공법” 연구의 일부를 정리한 결과이다. 이에 동재단의 지원에 사의를 표하는 바이다.

참고 문헌

1. 백한기(1994): “부산지역의 산사태와 강우특성에 관한 연구”, 중앙대학교 건설대학원 석사학위논문.
2. 홍원표(1990): “우리나라의 자연재해상황통계”, 대한토목학회, 제7권 제1호, pp.93~99.
3. 홍원표, 한중근, 이분구(1995): “사면에 설치된 억지말뚝의 거동” 한국지반공학회, 제11권, 제4호 pp.111~124.
4. Kim, S. K., Hong, W.P. & Kim, Y.M.(1992): “Prediction of rainfall-triggered landslides in Korea”, Proc. 6th. ISL. Christchurch, New Zealand, Vol.3, pp.989~994.
5. SPILE Manual(1995): LANDISE.

(접수일자 1995. 10. 27)