

억지말뚝으로 보강된 절개사면의 거동

The Behavior of a Cut Slope Stabilized by Use of Piles

홍 원 표*¹

Hong, Won-Pyo

한 중근*²

Han, Jung-Geun

이 문구*³

Lee, Moon-Gu

Abstract

On development of mountaneous or hilly area, stability of cut slope should be provided to prevent undesirable landslides. When piles are used as a countermeasure to stabilize existing landslide, stabilities for both piles and slope should be simultaneously satisfied to obtain the whole stability of the slope reinforced by piles.

In order to confirm the effect of stabilizing piles on slope stabilization, it is necessary to investigate the behavior of the slope, in which the piles are installed.

In this paper, first, the countermeasures used commonly to control unstable slope in Korea were summerized systematically. Next, the behavior of piles and slope soil was investigated by instrumentation installed into a cut slope for an apartment stabilized by a row of piles. Instrumentation could present sufficient effect of piles on slope-stabilization. Construction works in front of the row of piles affected the displacement of piles and slope. The construction works were divided into four stages, i.e. initial cutting stage of slope, excavation stages for retaining wall and parking space, and construction of retaining wall. As the result of research, the applicability of the proposed design method could be confirmed sufficiently.

요 지

산지나 구릉지의 개발시 생성되는 절개사면의 안정문제는 반드시 확보되어야 할 중요한 사항이다. 산사태방지대책으로 억지말뚝공을 채택하는 경우, 억지말뚝공의 사면안정효과는 말뚝 및

*¹ 정희원, 중앙대학교 공과대학 토목공학과 교수

*² 정희원, 중앙대학교 대학원 토목공학과 박사과정

*³ 정희원, (주) 금호건설 상무이사

사면 모두의 안정이 동시에 만족되어야 한다. 이러한 억지말뚝의 사면안정효과를 확신하기 위하여 억지말뚝이 설치된 사면의 거동을 면밀히 조사·분석하여 볼 필요가 있다.

본 논문에서는 우선 우리나라에서 적용되어 오고 있는 산사태방지대책을 체계적으로 정리하였다. 그리고 한 아파트 신축부지 절개사면을 억지말뚝공으로 복구한 현장사면을 대상으로 사면과 말뚝에 각종 계측기를 설치하고 계측치를 이용하여 억지말뚝과 사면지반의 거동을 조사·분석하여 보았다. 현장계측결과 일정간격의 줄말뚝으로 설치된 억지말뚝의 사면안정효과는 상당히 양호한 것으로 판단되었다. 억지말뚝 및 지반의 변위는 억지말뚝 전면의 사면정지 작업시 영향을 많이 받았다. 여기서 사면안정공의 시공과정은 크게 4단계로 구분된다. 즉 초기의 사면정지 작업단계와 사면하부 옹벽설치위치 및 전면의 지하주차장용 지하굴착단계 그리고 옹벽완성단계이다. 결국, 본 연구를 통하여 제안된 억지말뚝설계법의 합리성은 충분히 확일될 수 있었다.

1. 서 론

산지나 구릉지를 절개하는 경우 지금까지 균형을 유지하고 있던 안정된 사면이 균형을 잃게되어 산사태가 유발되는 경우가 점차 증가하고 있다. 이와같은 인위적 요인에 의해 사면붕괴가 발생한 절개사면의 복구대책으로 억지말뚝을 사용하여 사면안정성을 확보하려는 현상이 늘어나고 있다. 이 경우 억지말뚝의 사면안정효과를 얻기 위하여는 억지말뚝 및 사면의 안정이 동시에 만족되어야만 한다.

이러한 억지말뚝공의 사면안정효과를 확신하기 위하여는 억지말뚝이 설치된 사면의 거동을 면밀히 조사·분석하여 볼 필요가 있다. 따라서, 본 논문에서는 수일간 지속된 강우로 산사태가 발생한 한 아파트 신축부지 절개사면을 억지말뚝공으로 복구한 한 현장사면을 대상으로 사면 및 억지말뚝에 각종 계측기를 설치한 후 그 거동을 조사하여 보고자 한다. 즉, 당 현장의 절개사면에 설치된 경사계, 변형계, 지하수위계등의 계측기로부터 1994년 1월부터 계측된 자료를 당 현장의 상황과 관련하여 분석하여 본다.

특히, 본 연구에서는 억지말뚝 및 사면지반의 거동의 영향을 시공과정에 따라 단계별로 관찰분석하여 본다. 즉, 사면안정공의 시공단계를 사면정지작업단계, 흙막이굴착단계, 지하주차장건설을 위한 굴착시공단계, 그리고 옹벽완성이후단계로 구분하여 관찰한다. 이와같은

시공단계별로 발생한 억지말뚝과 사면지반의 변위를 계측·분석하므로써 사면의 단면형상 변화가 이들 거동에 어떤 영향을 미치는가를 관찰하여 보고자 한다.

2. 억지말뚝의 사면안정공법

2.1 산사태방지대책공법

산지나 구릉지를 절개하는 경우 절개사면의 안정성은 절실하게 요구된다. 이때 절개사면에 대한 사면안정성이 확보되지 않을 경우 효과적인 방지대책이 마련되어야 한다. 그러나, 효과적인 산사태방지대책은 대상지역의 지질학적, 지형학적 및 지반공학적 특성에 따라 다를 수 있다. 즉 국가나 지역에 따라 기상특성, 지반특성 및 산사태발생기구특성이 달라질 수 있으므로 각 지역의 특성에 적합한 대책공법을 개발할 필요가 있다.

따라서, 우선 우리나라에서 적용된 산사태방지대책공법을 체계적으로 정리하여 볼 필요가 있을 것이다. 산사태방지대책공법의 분류방법은 여러가지가 있을 수 있다. Schuster(1992)는 사면안정공법을 배수공, 절토공, 압성토공 및 지반보강공의 4가지로 구분하였다. 한편 山田(1982)는 산사태방지대책공을 억지공과 억제공의 두가지로 크게 구분하였다. 그러나 대책공법은 기능상으로 분류한다면 사면안전율이 확보되어 있는가에 따라 구분될 수 있을 것이다. 즉, 현재 사면안전율이 확보되어 있는 경

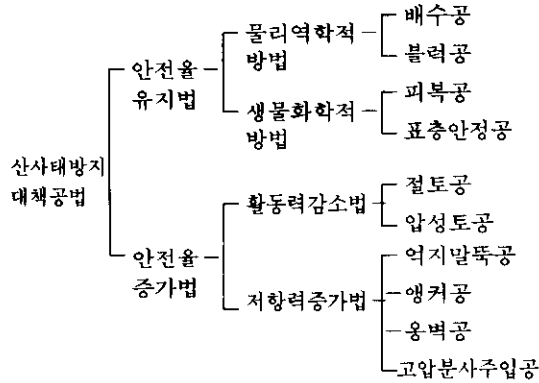


그림1 산사태방지대책공법

우는 안전율이 감소되지 않게 유지하여야 할 것이고 사면안전율이 확보되어 있지 않은 경우는 안전율이 확보되도록 하여야 한다.

따라서, 산사태방지대책공법을 방지기능별로 구분하여 보면 그림 1과 같이 안전율유지법과 안전율증가법의 두가지로 크게 구분할 수 있다 (홍원표의 1인, 1994). 즉 전자의 방법은 강우, 융설등과 같은 물의 영향에 의하여 사면의 안전율이 감소하는 것을 방지하는 소극적 대책공법이고 후자의 방법은 불안전하게 판단된 사면의 안전율을 말뚝등의 저항력을 이용하여 증가시켜 산사태의 잠재적 취약성을 개선시키는 적

극적 대책공법이다.

그림에서 보는 바와 같이 적극적 대책공법은 사면의 활동력에 대한 저항력을 증가시켜 주는 방법과 사면이 안전하도록 사면의 활동력을 감소시켜 주는 방법으로 구분할 수 있다. 우선 저항력증가법으로는 말뚝, 앵커, 옹벽, 흙 등을 사용하여 이들 재료의 전단, 휨, 인장, 압축 등의 역학적 저항특성을 이용하는 물리적방법과 지반안정약액을 사용하여 직접 지반의 강도를 증가시켜주므로써 사면활동에 저항하도록 하는 화학적 방법을 들 수 있다. 한편, 활동력 감소법으로는 사면상부의 흙을 제거하는 절토공과 사면의 경사를 보다 완만하게 변경시키는 사면구배변경법을 들 수 있다. 그 밖에도 사면하부에 압성토를 실시할 경우도 활동력감소에 효과적이다.

2.2 역지말뚝의 사면안정공

역지말뚝공은 사면의 활동토괴를 관통하여 부동지반까지 말뚝을 일렬로 설치하므로써 사면의 활동하중을 말뚝의 수평저항으로 받아 부동지반에 전달시키는 공법이다. 이러한 역지말뚝은 수동말뚝(passive pile)의 대표적 예중 하나로 활동토괴에 대하여 역학적으로 저항하

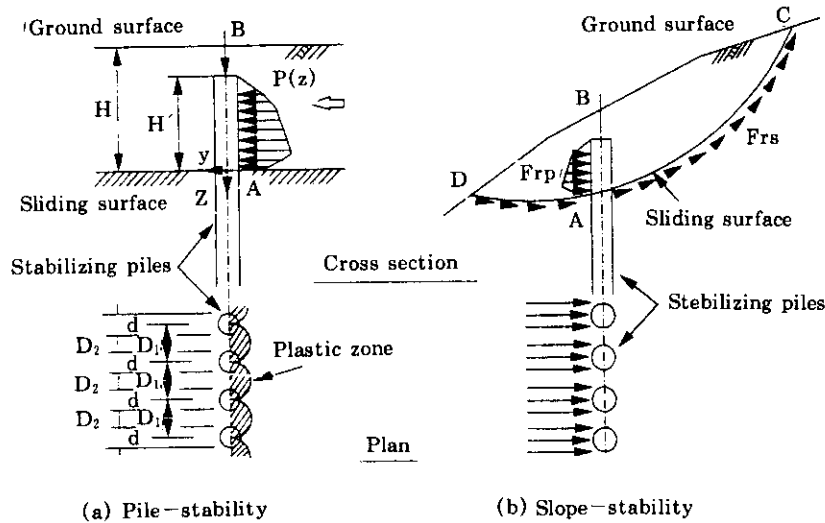


그림 2. 역지말뚝의 사면안정공

는 공법이다(홍원표, 1983, 1991, 1993, 1994, Ito et al, 1981, 1982). 억지말뚝을 일렬로 설치하여 사면안정을 도모한 경우의 개략도는 그림2와 같다.

이때 말뚝의 거동은 말뚝과 주변지반의 상호작용에 의하여 결정된다. 말뚝의 사면안정효과를 얻기 위하여는 말뚝과 사면 둘 다의 안정성이 충분히 확보되도록 말뚝의 설치위치, 직경, 강성, 근입깊이 등을 결정하여야만 한다. 억지말뚝으로 사용되는 말뚝은 강관말뚝, H말뚝, PC말뚝, PHC말뚝 등이 있으며 최근에는 Micro-pile을 사용하는 사례도 보고되고 있다(홍원표외3인, 1995).

3. 억지말뚝 현장실험

3.1 현장개요

본 연구의 대상현장은 부산광역시 영도구에

위치한 E아파트 공사현장이다. 1993년 8월 19일 공사중 수일간 계속된 강우로 아파트 배면 절개사면이 붕괴되어 억지말뚝을 이용하여 붕괴사면을 복구하였으며 현장상황은 그림 3과 같다. 본 아파트는 경사가 급한 산지를 절개정지하여 3동의 고층아파트(25층 2동, 18층 1동)와 부속건물을 신축하도록 되어 있다. 산사태 발생전 절개사면은 후방의 산지가 1:1의 급경사로 절개되어 있고 옹벽예정위치에 연직으로 12.5m 깊이를 굴착하였다. 굴착면은 5단의 어스앵커로 지지된 흙막이벽으로 지지되어 있었다.

부산지방에는 93년 7월 26일부터 8월 19일까지 25일동안 4일(8월 4~6, 11일)을 제외하고는 계속해서 530.3mm의 강우량을 기록하였으며 특히 8월 12~18일까지는 누적강우량이 169mm, 파괴당일 강우량은 30.6mm를 기록하

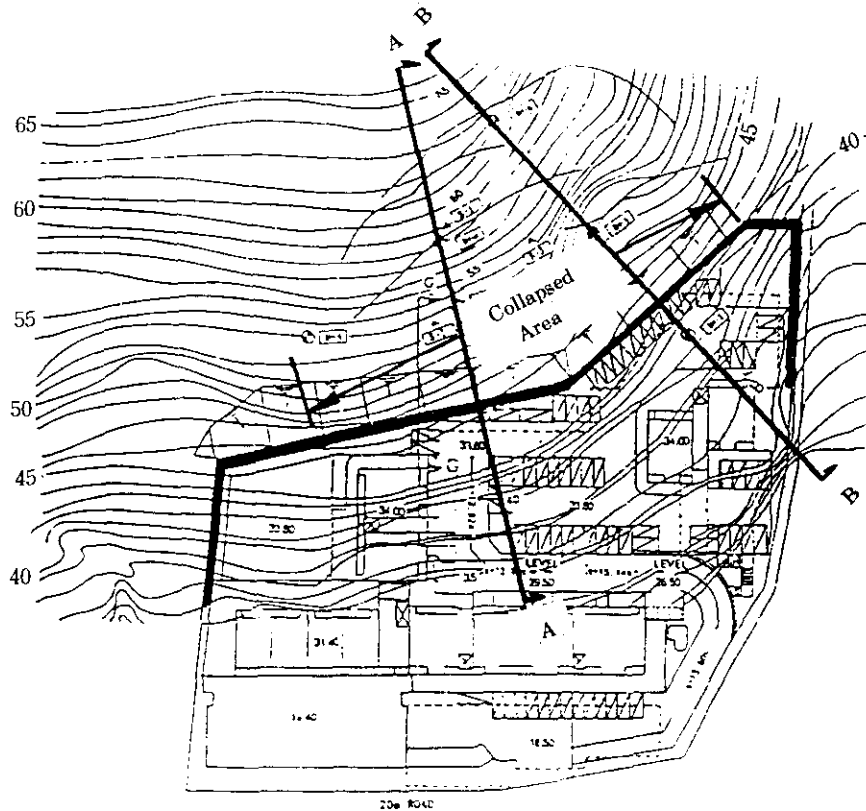


그림 3. 현장 평면도

였다. 8월 19일 낮 12시 40분경 어스앵커로 지지된 옹벽의 곡선부 위치에서 3~4단 어스앵커의 절단소리와 더불어 1차로 붕괴되기 시작하였다. 특히 3~4단의 띠장위치에서 용출수가 솟아나고 후방의 산사태로 인하여 토사가 공사 중인 아파트 위치까지 밀려왔다. 그리고 16:45분경에 1차 붕괴위치의 좌우에서 2차붕괴가 발생하였고 8월 20일 밤 00:30분경 3차붕괴가 계속해서 발생하였다. 또한 연직벽 후방의 사면은 사면활동으로 인해 인장균열이 흙막이벽과 평행하게 5~6단계에 걸쳐 발생하였으며 균열 폭은 30~50cm, 균열깊이는 1.0~1.5m의 규모로 연직벽 후방 약 40m 위치까지 활동면이 연장되어 있었다.

한편 본현장의 지층구성을 보면 지질은 중생대 경상누층군에 속하는 안산암류로 구성되어 있고 주로 암회색의 색상을 지니고 있으며 치밀한 비정질로 이루어져 있다. 또한 상부층으로부터 표토층, 풍화토층, 풍화암층 및 연암층의 순으로 구성되어 있고 표토층은 0.3~6.7m 두께로 실트질 모래 혹은 모래질 실트로 구성되어 있다. 풍화토층은 1.8~14.0m 두께의 실트 내지 모래 및 암편이 조밀한 상태로 구성되어 있다. 또한 풍화암층은 비교적 진전된 풍화작용을 받은 상태로 모암의 조직을 그대로 유지하고 있고 1.5~4.4m 두께로 분포하고 있다. 연암층은 기반암의 풍화대층 하부에 분포되어 파쇄절리면 및 약선대를 따라 초기 풍화작용이 진행되고 있는 상태로 5.7~17.8m 깊이에서 분포되고 있고 RQD가 낮을 뿐 아니라 암질이 매우 불량한 상태에 있다.

3.2 사면안정공

역지말뚝이 사면에 일정한 간격으로 일렬로 설치된 줄말뚝은 사면붕괴 역지효과를 상당히 가질 수 있으므로 역지말뚝을 일렬로 설치하였다. 일반적으로 사면붕괴 방지용 역지말뚝의 설계에 있어서는 말뚝과 사면 모두의 안정에 대하여 검토하여야 한다. 우선 파괴면 상부의 붕괴토포의 이동에 의하여 말뚝에 작용하는 측

방토압을 산정하여 말뚝이 측방토압을 받을 때 발생될 최대휨응력을 구하고 말뚝의 허용휨응력과 비교하여 말뚝안전율(F_s)_{pile}을 산정한다. 또한 사면의 안정에 관하여는 말뚝이 받을 수 있는 범위까지의 측방토압을 산출하여 사면안정에 기여할 수 있는 저항력으로 생각하고 사면안전율(F_s)_{slope}를 선정한다(Ito et al, 1981, 1982).

이와 같이 하여 산정된 말뚝과 사면의 안전율이 모두 소요안전율 이상이 되도록 말뚝의 치수를 결정한다. 여기서 말뚝의 소요안전율은 1.0으로 하고 사면의 소요안전율은 1.2로 한다. 역지말뚝의 설계에는 줄말뚝의 사면안정효과를 고려할 수 있도록 개발된 프로그램(SPI-LE)을 사용하였다.

AA단면과 BB단면에 역지말뚝이 보강설치된 상태는 그림 4 및 그림 5에서 보는 바와 같다. 옹벽배면에서 16.5m 되는 위치에 H-300×300×10×15 규격의 역지말뚝을 중심간격 1.5m로 연암층에 1.5m 깊이까지 소켓트 형태가 되도록 설치하였으며 역지말뚝 두부는 띠장을 대고 철근콘크리트 지중보를 두어 회전구속 효과를 가지도록 하고 이 지중보위에 사면의 소단이 설치되도록 하였다.

이때 H말뚝을 설치하기 위하여 항타공법을 실시할 경우 사면지반을 교란시키게 되므로 이를 지양하고 천공($\Phi=450$ mm) 후 H말뚝을 삽입하도록 하였다. H말뚝을 삽입한 후에는 시멘트그라우팅으로 천공내 공간을 메워 강재가 직접 지반과 접하지 않게하여 H말뚝의 부식을 방지하였다.

또한 사면구배는 현재 지표면의 형상을 최대한 유지하도록 하여 붕괴구간에서는 옹벽배면으로부터 1:1.5구배가 되도록 하였으며 5m높이마다 폭 1m, 4%의 횡단구배의 소단을 두도록 하였다.

한편, 옹벽 예정위치에는 흙막이벽을 붕괴이전 높이로 재설치하지 않고 흙막이벽과 옹벽의 높이를 붕괴된 후의 현재의 지표면(8m) 높이만큼으로 축소 조정하도록 하였다. 옹벽설치

위치에는 흙막이벽을 설치하였으며 이 흙막이벽은 엄지말뚝(H-250×250×9×14)을 2m간격으로 설치하고 4단의 앵커(2m 높이간격으로)로 지지시켰다. 엄지말뚝의 시공방법은 엄지말뚝과 동일한 방법으로 하였고 앵커는 부식을 방지하기 위해 영구앵커로 시공하였다. 단기적으로는 흙막이벽이 전토압을 지지할 수 있게 하나, 장기적으로는 앵커의 이완등을 고려하여 옹벽이 전토압의 50%를 지지할 수 있도록 하였다. 또한 옹벽위치의 굴착시공이 끝난 후 옹벽과 아파트사이에 지하 7m를 굴착하여 2층의 지하주차장을 건설하였다. 주차장건설이 완료된 후 옹벽의 시공을 실시하였다.

3.3 계측기 설치현황

당 현장에 설치된 엄지말뚝 및 사면지반의 거동을 파악하기 위하여 여러가지 계측장비를 활용하였다. 즉, 절개사면에 보강된 엄지말뚝에는 스트레인게이지와, 경사계를 그리고 지반에는 경사계 및 지하수위계를 설치하였다. 본 적용단면에 설치된 계측기들은 A-A단면과

B-B단면에 동일하게 설치되어 있다(홍원표 외 2인, 1994).

(1) 스트레인게이지

스트레인게이지는 그림 3의 AA단면과 BB단면상의 말뚝에 각각 설치하였으며 스트레인게이지의 설치단면은 그림 6에서 보는 바와 같다. 즉 엄지말뚝 전면과 배면에 스트레인게이지를 각각 설치하였으며 그림에서 보는 바와 같이 AA단면의 경우 엄지말뚝은 15.5m 관입되어 있고 관입된 말뚝에 깊이 1.5m 간격으로 전면(아파트쪽으로 통칭)11곳, 배면(사면쪽으로 통칭)11곳에 설치되어 총22곳에 설치되어 있다. BB단면은 13.0m 관입되어 있으며 말뚝당 1.5m 간격으로 전면과 배면 각각 10곳에 설치되어 총20곳에 스트레인게이지를 설치하였다. 스트레인게이지가 부착된 말뚝의 설치모습은 사진 1에서 보는 바와 같다.

한편, 스트레인게이지는 휘스톤브리지 방식을 채택, full bridge로 하여 온도 및 습도의 보정을 꾀하도록 하였으며 switch box를 이용한 transducer로 하였다.

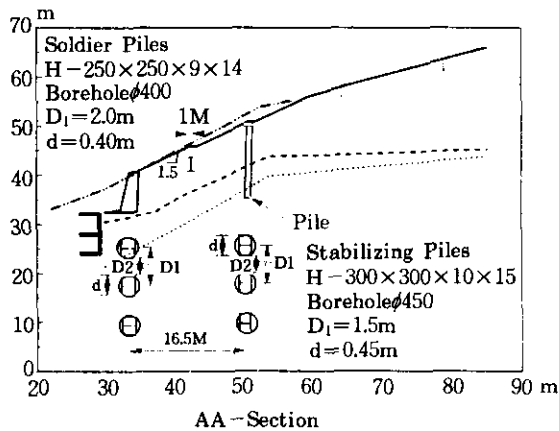


그림 4. AA단면(보강후)

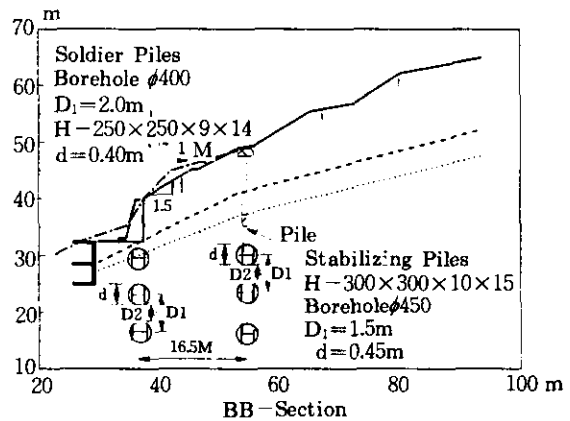
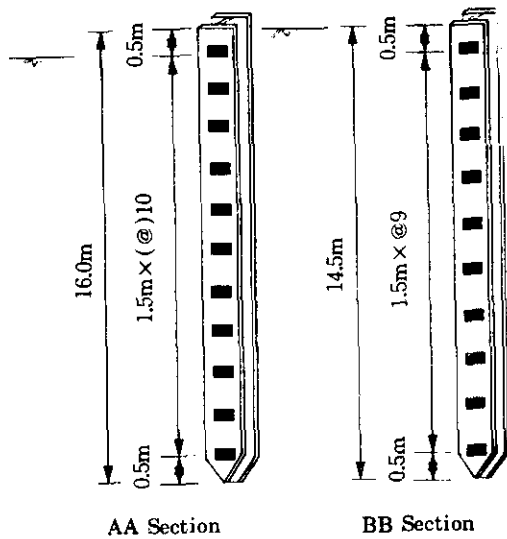
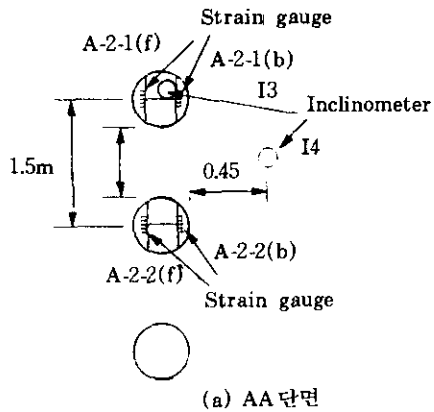


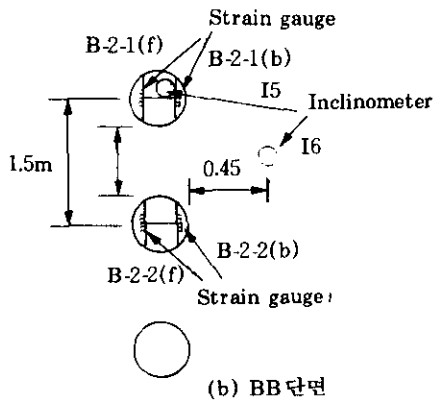
그림 5. BB단면(보강후)



AA Section BB Section
그림 6. 스트레인게이지 설치단면



(a) AA 단면



(b) BB 단면

그림 7. 경사계 설치 단면

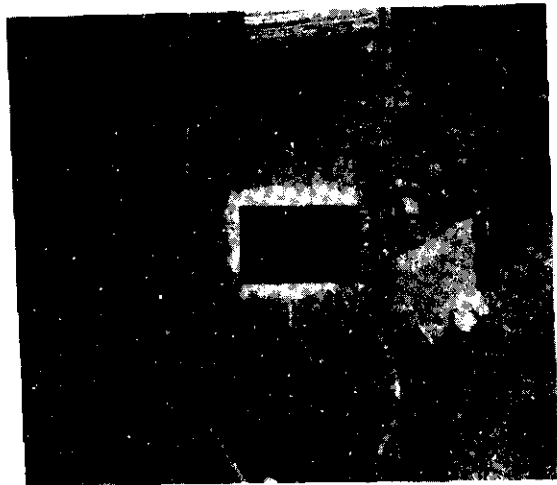


사진 1. 스트레인게이지 설치상황

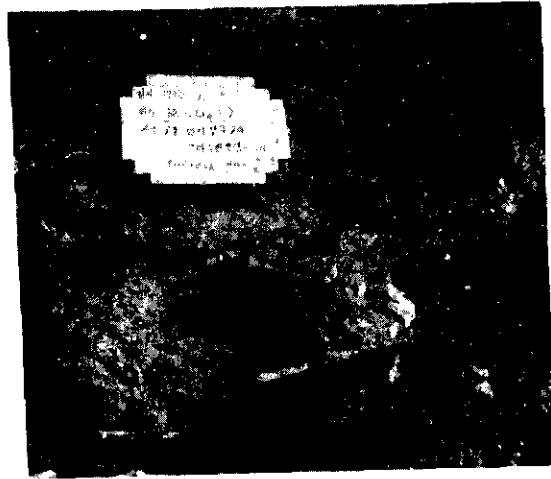


사진 2. 경사계 설치 상황

(2) 경사계

사면 및 억지말뚝의 거동을 파악하기 위해 AA단면과 BB단면에 각 2개씩의 경사계를 말뚝내와 사면지반속에 각각 그림 7과 같이 설치하였으며 설치모습은 사진 2와 같다. 설치된 경사계는 말뚝의 변위를 알기 위해 억지말뚝내부에 1개 설치하였고 억지말뚝사이 지반의 변위를 파악할 수 있도록 말뚝과 말뚝사이 지반의 소성변형영역내에도 설치하여 각 단면마다 4개의 경사계를 설치하였다. 경사계는 AA단면의 경우 말뚝과 지반에 각각 15.5m, 14.5m 관

입되어 있고 BB단면의 경우 말뚝과 지반 모두 15.0m 관입되어 있다.

(3) 지하수위계

사면의 지하수위 상승에 따른 영향을 파악하기 위해 지하수위계를 그림 8에서 보는 바와 같이 설치하였으며 설치모습은 사진 3과 같다. 즉 AA단면과 BB단면 각각에 엄지말뚝 배면으로 3m 지점, 엄지말뚝 배면 3m 지점 그리고 엄지말뚝 배면 21m 지점에 설치하므로써 3개 소씩 모두 6개소에 설치하였다.

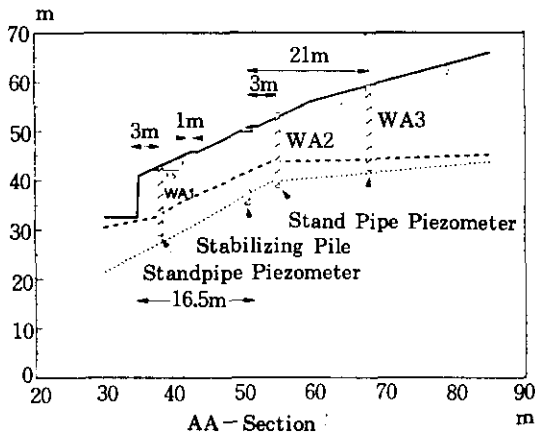


그림 8. 지하수위계 설치단면

3.4 시공과정

본 절개사면에 설치된 각종 계측자료를 활용하여 시공단계별 엄지말뚝과 사면지반의 변형 거동을 조사분석하기 위하여 사면대책공을 포함한 공사의 시공과정을 각 단면별로 나타내면 그림 9와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 두 단면은 엄지말뚝을 설치한 후 엄지말뚝 전면의 사면을 1차, 2차에 걸쳐 정지작업을 실시한 후 흙막이벽 엄지말뚝을 설치하였고 엄지말뚝을 시공한 후 옹벽설치부를 4단계로 굴착시공하

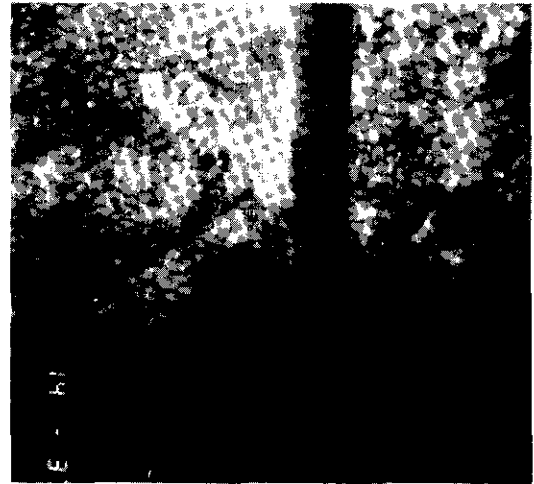


사진 3. 지하수위계 설치 상황

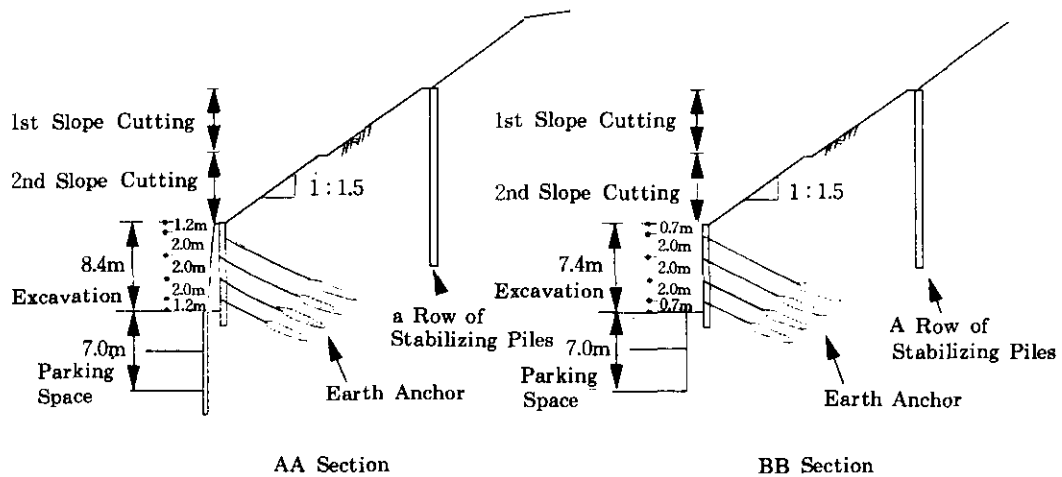


그림 9. 각 단면별 굴착단계

였다. 다음으로 역지말뚝전면하단부에 지하주차장건설을 위하여 GL-7m까지 지하굴착을 실시하였다. 또한 지하굴착이 완료된 후 옹벽공을 실시하므로써 대책공의 시공을 종료하였다.

따라서, 본 연구에서는 그림과 같은 시공과정을 사면정지단계, 흙막이굴착단계, 지하굴착단계 그리고 옹벽완성단계로 구분하였다. 따라서, 현장에 설치된 계측기로부터 계측된 자료를 상기의 시공단계에 따라 조사분석하고자 한다. 또한 이후의 고찰에서는 각 시공단계별로 사면정지단계는 (A)영역, 굴착단계는 (B)영역, 지하굴착단계는 (C)영역 그리고 옹벽완성 이후단계는 (D)영역으로 구분하였다.(그림 10 참조)

4. 현장계측결과

4.1 지하수위계 계측결과

역지말뚝의 거동에 영향을 미치는 지하수위는 주로 그림 8에서 보는 바와같이 역지말뚝 배면 3m거리에 설치된 지하수위계이므로 이

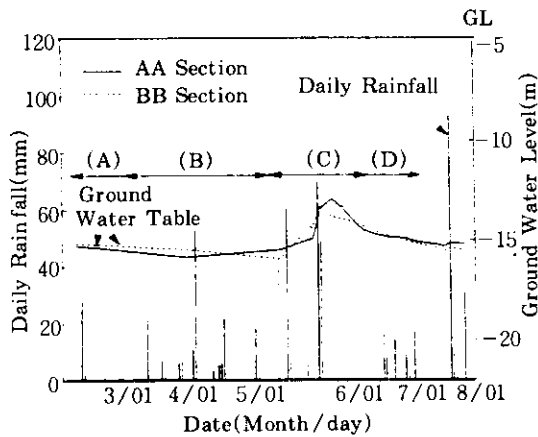
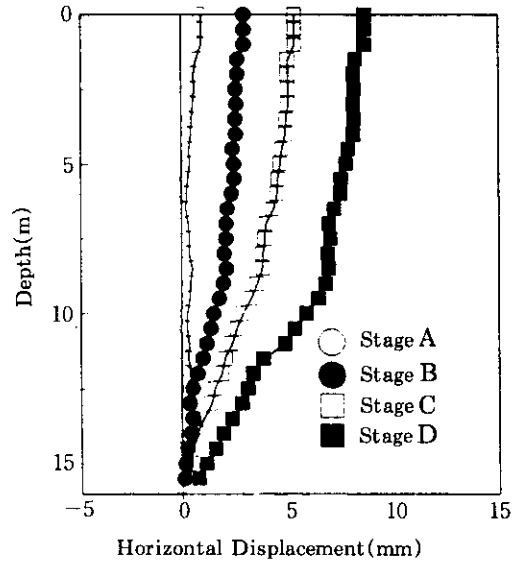


그림 10. 지하수위계측치

결과에 대하여만 취급하기로 한다.

지하수위계측결과를 시간에 따라 도시하여 보면 그림 10과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 AA단면, BB단면 모두 사면정지작업기간(A영

역) 및 4단굴착기간(B영역)동안의 지하수위 변화는 초기에 약간의 감소외에는 거의 변화가 없었으며 계측된 각각의 지하수위는 GL-15.3m, GL-15.2m였다. 또한 지하굴착단계에서의 지하수위는 이 기간중의 강우에 의하여 급



(a) Pile deflection

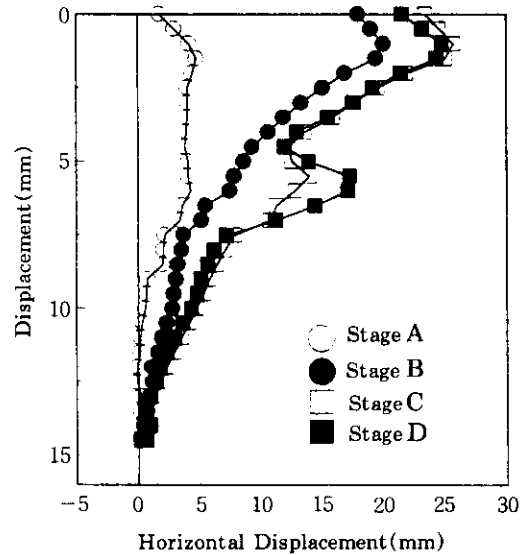


그림 11. 경사계 계측치(AA단면)

격히 증가(C영역)하여 AA단면과 BB단면의 지하수위상승 최대치는 각각 GL-12.95m, GL-13.24m를 기록하였다. 옹벽이 완성된 이후(D영역)의 지하수위는 다시 감소하여 일정한 값을 기록하였다.

4.2 경사계 계측결과

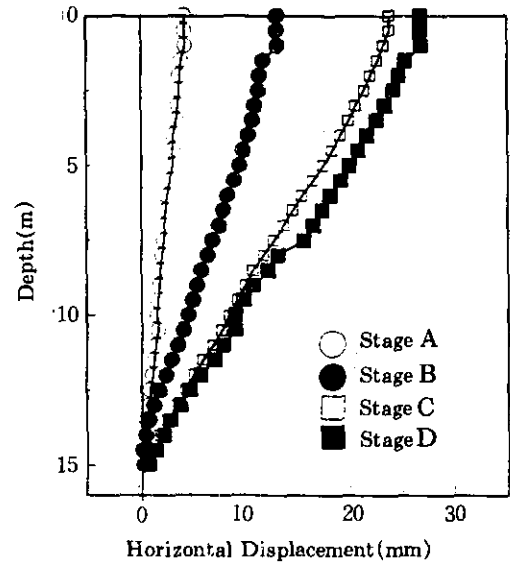
AA단면의 억지말뚝에 설치된 경사계 I3과 지반에 설치된 I4의 계측치를 그림 11에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 경사계의 변위는 시간이 지남에 따라 증가하며 말뚝의 최대변위는 말뚝두부에서 8.8mm 발생하였고, 지반의 최대변위는 GL-1.5m에서 25.7mm가 발생하였다.

한편, 그림 12에는 BB단면에 설치된 억지말뚝 I5와 지반에 설치된 I6경사계의 계측치를 나타내었다. BB단면에 설치된 억지말뚝의 최대변위는 말뚝두부에서 26.9mm 발생하였고, 지반의 최대변위는 GL-1.5m에서 25.5mm가 발생하였으며 최대변위가 발생하는 위치는 AA단면의 경우와 동일하였다.

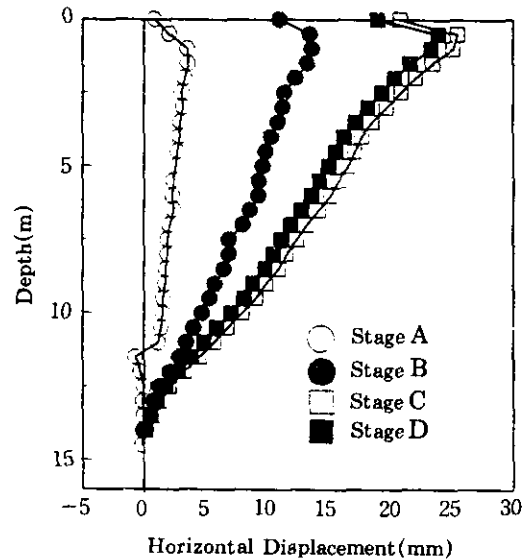
그림 11, 그림 12에서 보는 바와 같이 GL-1.5m이상의 지표지반에서 변위가 급격히 줄어드는 이유는 억지말뚝의 두부가 철근콘크리트 지중보로 되어 있어 그 사이 지반의 변형이 억제되어 나타나는 결과라 할 수 있다. 또한 말뚝 및 지반의 변위는 지층경계면위치에서 약간의 차이가 나고 있다.

4.3 스트레인게이지 계측결과

스트레인게이지는 두단면에서 경사계가 설치된 말뚝과 이에 인접한 억지말뚝의 배면과 전면에 설치되어 있다(그림 7참조). 이들 억지말뚝에 설치된 스트레인게이지의 계측자료를 이용하여 응력상태를 조사하여 대표적으로 나타내면 그림 13과 같다. 그림 9의 시공과정에 따라 AA단면과 BB단면에 대하여 각각의 측정된 응력치를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 두 단면 모두 굴착초기에는 응력의 변



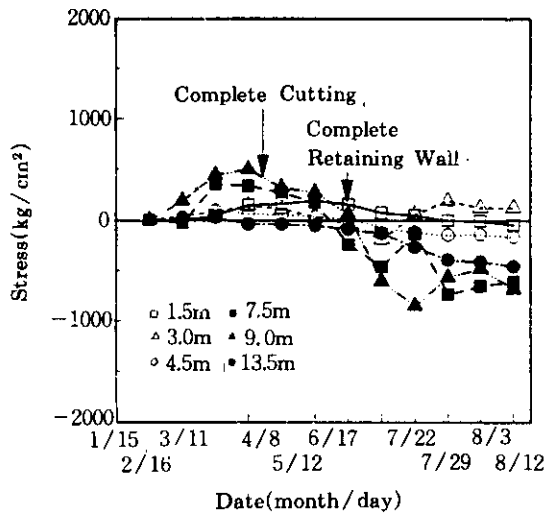
(a) Pile deflection



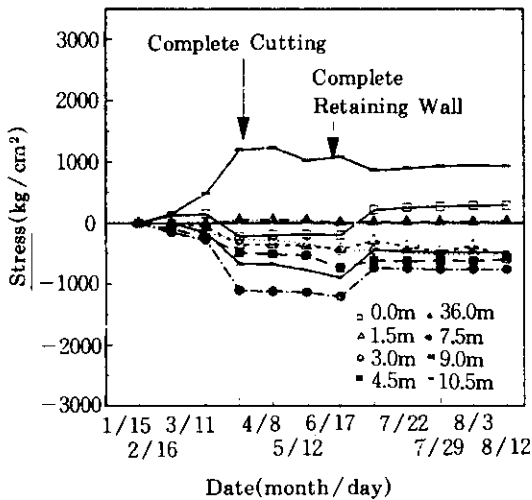
(b) Soil deformation

그림 12. 경사계 계측치(BB단면)

화가 작다가 굴착이 완료되는 시점에서는 응력 변화는 비교적 크게 나타났다. 옹벽이 완성되는 시기에서의 응력의 변화는 급격히 나타나고



(a) AA Section



(b) BB Section

그림 13. 각 단면에 설치된 스트레인게이지의 응력도

있으며 옹벽완성이후의 억지말뚝이 받는 응력은 안정된 값을 보여주고 있다.

5. 억지말뚝 및 사면지반의 거동

앞장에서는 억지말뚝 및 사면지반에 설치된 계측기들로부터 측정된 값들을 검토하여 보았

다. 본장에서는 이들 계측치를 이용하여 억지말뚝 및 사면지반의 거동에 대하여 각각 조사하여 보고자 한다.

5.1 억지말뚝의 거동

억지말뚝에 설치된 경사계와 사면지반내에 설치된 경사계의 최대변위량의 변화상태를 각각 그림 14와 그림 15에 나타내었다. 우선 그림 14에서 보는 바와 같이 말뚝의 최대변위는 BB 단면이 AA단면보다 더 크게 발생하고 있다. 초기사면정지작업과정(A영역)에서는 BB단면 억지말뚝의 변위가 급속히 증가하고 있다. 그러나 그후 4단계의 흙막이 굴착과정에서는 굴착단계에 따라 점진적인 변위의 증가현상을 보이고 있다. AA단면의 변위는 그다지 많이 발생하고 있지않다(B영역). 또한 흙막이 굴착단계가 완료되고 지하굴착시 말뚝의 변위는 최대치를 기록하고 있다(C영역). 한편, 옹벽이 완성된 후의 변위는 비교적 안정되어 일정한 응력값을 보이고 있다. 결국 AA단면의 억지말뚝은 사면정지작업시 및 사면하부의 흙막이 굴착 및 지하주차장굴착시 큰 영향(즉 활동토압)을 받고 있음을 알 수 있다. 즉 억지말뚝을 설치한 후 이 말뚝위치보다 하부의 토사를 제거하므로써 사면의 안정성이 감소하게 되며 이로 인하여 사면토사의 활동력이 증가하게 될 것이다.

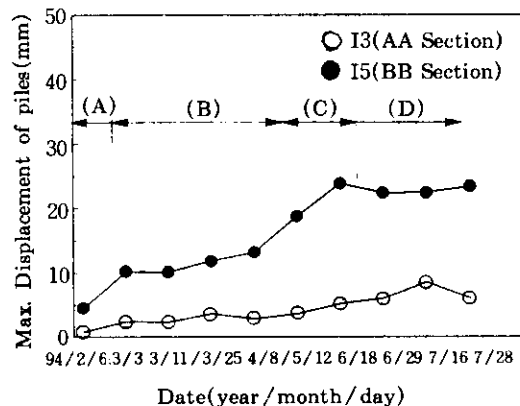


그림 14. 굴착단계별 말뚝의 최대변위증가분포도

역지말뚝은 이 활동력증가로 인한 측방토압을 받고 있음을 알 수 있다. 이는 역지말뚝이 받는 응력도를 표시한 그림 16에서도 유사한 경향을 보이고 있다.

5.2 사면지반의 거동

사면지반의 거동은 사면에 설치된 경사계의 변위량을 이용하여 관찰할 수 있다. 그림 15는 AA단면 및 BB단면의 두단면의 최대지반변위량의 변화상태를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 AA단면의 경우 사면정지작업단계(A영역)에서 급격한 변위증가를 보이며 흙막이 굴착단계에서는 변위가 거의 일정함을 알 수 있다(B영역). 한편, BB단면의 경우는 초기 사면정지작업단계와 흙막이 굴착단계에서 사면지반의 변위가 점진적인 증가함을 보이고 있다. 이러한 지반변위 증가 현상은 지하굴착단계까지 계속되고 있다.

한편, 굴착이 완료되고 옹벽이 완성된 이후의 사면지반의 변위는 두 단면이 거의 같이 일정 변위량을 나타내고 있다. 이는 옹벽이 완료되면서 옹벽배면 지반이 더이상 큰 변위의 증가가 발생되기 힘든 상태의 안정된 지반상태로 되므로써 사면지반이 일체로 이동한다고 할 수 있다.

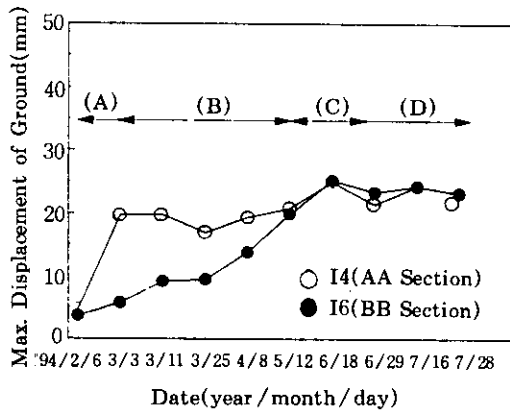


그림 15. 굴착단계별 사면지반의 최대변위증가분포도

5.3 역지말뚝의 사면안정효과

역지말뚝 및 사면지반의 사면안정효과를 조사하기 위하여 각 단면별로 말뚝과 지반에 설치된 경사계의 계측치를 최대변위량으로 함께 나타내어 보면 각각 그림 16, 그림 17과 같다.

그림 16은 AA단면에 설치된 경사계의 최대 변위의 변화상태를 나타낸 것으로 사면정지작업단계(A영역) 및 흙막이굴착단계(B영역)에서는 지반의 변위가 말뚝의 변위보다 크게 발생하고 있다. 또한 지반의 변위는 굴착초기단계에서 급속하게 발생하며 말뚝의 변위는 점진적인 증가를 보이고 있다. 한편, BB단면에 설치된 말뚝 지반의 최대변위의 변화상태는 그림 17과 같으며 AA단면의 경우와는 달리 말뚝 및 지반의 변위량은 큰 차이를 보이지 않음을 볼 수 있다. 따라서 BB단면에서는 역지말뚝과 사면지반이 동일한 탄성변형을 하였다고 생각된다.

즉, 말뚝 지반의 거동은 굴착단계에 따라 상당히 많은 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 특히, 사면정지작업단계(A영역) 굴착단계(B영역) 및 C영역)에서의 토사제거는 말뚝 및 지반의 안정에 많은 영향을 미침을 알 수 있다.

결국 그림 14와 그림 15로부터 절개사면의

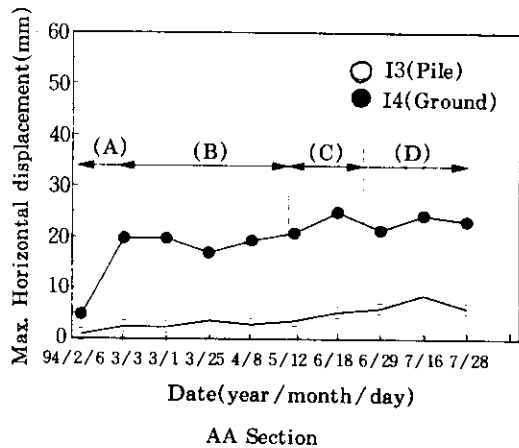


그림 16. 시공단계에 따른 각 단면별 최대변위증가분포도

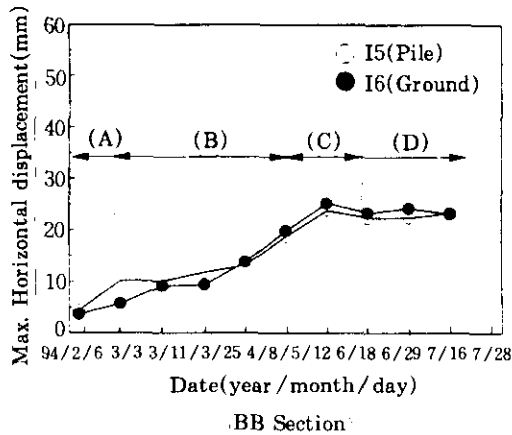


그림 17. 말뚝 및 지반의 사면안정효과 단면도

시공시에는 사면의 변위가 상당히 진전될 수 있음을 알 수 있고 본 현장에서는 억지말뚝의 저항으로 인하여 이러한 변위는 상당히 감소시켰을 것으로 예측된다. 따라서, 억지말뚝의 사면안정효과가 상당히 있었고 말뚝의 설계가 합리적이었음을 확인할 수 있다. 즉, 사면지반의 경우도 억지말뚝과 동일하게 억지말뚝설치 후 사면정지작업시, 흙막이굴착단계 및 지하굴착 단계에서 사면안전성 저하에 따른 활동력 증가로 점진적으로 변위량이 증가됨을 알 수 있다.

6. 결 론

먼저 우리나라에서 적용·시공되어 오고 있는 산사태방지대책공법을 체계적으로 분류·정리하였다. 이들 공법중 억지말뚝공을 중점적으로 연구관찰하였다. 즉, 아파트배면 절개사면에 억지말뚝을 시공한 현장사례를 선정하여 억지말뚝과 절개사면지반의 거동을 계측자료를 이용하여 조사분석하여 보았다. 특히 시공 단계에 따라 이들 거동에 미치는 그 영향을 검토하여 본 결과는 다음과 같다.

1) 억지말뚝이 설치된 절개사면에서 말뚝 및 사면지반의 안정은 억지말뚝하부지반의 제거 및 굴착에 의하여 많은 영향을 받는다. 이러한 굴착에 의하여 사면의 안정성이 감소하고 활동

력과 측방토압이 증가하므로 이로 인하여 사면지반과 억지말뚝에 변형이 발생한다.

2) 굴착시공시 사면의 안전성 저하는 억지말뚝의 효과에 의하여 충분히 방지할 수 있고 억지말뚝설계법의 합리성을 확인할 수 있다.

3) 굴착시공시 발생된 억지말뚝의 변위와 사면지반의 변형은 억지말뚝의 사면안정효과에 의하여 탄성범위내의 값정도이다.

4) 절개사면에 설치된 억지말뚝 및 사면지반의 최대변위발생증가량을 비교하여 본 결과 사면지반의 변위가 말뚝의 변위보다 약간 많이 발생할 수 있다.

5) 억지말뚝의 두부를 철근콘크리트지중보로 설치하였을 경우 말뚝배면의 표토층의 억지안정효과를 얻을 수 있다.

감사의 글

본 논문은 한국과학재단 92특정기초연구과제(과제번호: 92-2900-07-01-3) “산사태 및 사면 재해에 관한 연구” 중 제4 세부과제인 “우리나라 산사태방지를 위한 효과적 대책공법” 연구의 일부를 정리한 결과이며 (주)금호건설의 현장지원도 있었음을 밝히는 바이다. 이에 한국과학재단과 (주)금호건설에 사의를 표하는 바이다.

참 고 문 헌

1. 한국지반공학회(1994): “사면안정” 지반공학시리즈 5, pp.319~360.
2. 홍원표(1983). “수평력을 받는 말뚝” 大韓土木學會誌, 第31卷, 第5號, pp.32~36
3. 홍원표(1991). “말뚝을 사용한 산사태 억지공법”, 한국지반공학회, 제7권 4호, pp.75~87
4. 홍원표(1994). 수동말뚝, 중앙대학교
5. 홍원표, 한중근(1993). “말뚝을 사용한 사면안정공법”, 사면안정, 한국지반공학회 사면안정위원회 학술발표회 제2집, pp.119~152.
6. 홍원표, 한중근(1994). “한국에서 실시되고 있는 산사태방지대책공법” Proceedings of the North-East Asia Symposium and Field

- Workshop on Landslides and Debris Flows
Pre-session, June 28-July 16, 1994, Seoul,
Korea, KGC., pp.155~210.
7. 홍원표, 한중근, 조성한, 최문택(1993), "산사태
역지말뚝의 사면안정효과" 1993年度 學術發表會
概要集(Ⅰ), 大韓土木學會, pp.569~572.
 8. 홍원표, 한중근, 이문구(1994), "절개사면에 설
치된 역지말뚝의 거동분석에 관한 연구(신소재,
신기술에 관한 사면안정이론과 시공사례)", 한
국지반공학회사면안정위원회 학술발표회, pp.
49~74.
 9. 홍원표, 한중근, 하용구, 김동민(1995), "Mi-
cro-pile을 이용한 산사태역지공에 대한 연구
(1)", 1995년도 대한토목학회학술발표회개요집
 10. 홍원표, 한중근, 하용구, 신민호, 위동인, 강희복
(1994), "역지말뚝을 사용한 사면안정", 1994년
도 대한토목학회학술발표회개요집(1), pp.565~
568.
 11. Fukumoto, Y.(1976), "The behavior of piles
for preventing landslides." Jour., JSSMFE,
Vol.16, No. 2, pp.91~103
 12. Fukumoto, Y.(1977), Report on Landslides
Investigation, Forestry Conservancy Section,
Niigata Prefecture.
 13. Ito, T., Matsui, T. and Hong, W.P.(1981),
"Design method for stabilizing piles against
land-slides-One row of piles", Soils, and
Foundations, Vol.21, No.1, pp.21~37.
 14. Ito, T., Matsui, T. and Hong, W.P.(1982),
"Extended design method for multi-row
stabilizing piles against landslides", Soils and
Foundations, Vol.22, No.1, pp.1~13.
 15. Matsui, T., Hong, W.P. and Ito,T.(1982),
"Earth pressure on piles in a row due to lat-
eral soil movements", Soils and Foundations,
Vol.22, No.2, pp.71~81.
 16. Hong, W.P. et al.(1994), "A Case Study on
the Reinforcement of Cut Slopes Using
Stabilizing Piles and Anchored-Earth Walls"
Proceedings of the North-East Asia Sym-
posium and Field Workshop on Landslides
and Debris Flows, June 28~July 16, 1994,
Seoul, Korea, KGC, pp.219~226.
 17. Schuster, R.I.(1992), "Recent advances in
slope stabilization" Proc. 6th ISL, Christ-
church, New Zealand, Vo.3
 18. 山田邦光(1982), 最新の斜面安定工法(設計, 施
工), 理工圖書, 東京.

(접수일자 1995. 9. 22)