

## 말뚝 간격비에 따른 억지말뚝의 사면안정효과

송영석<sup>1)\*</sup> · 홍원표<sup>2)</sup>

### 1. 서 론

억지말뚝공법은 활동토괴를 관통하여 부동지반까지 말뚝을 일렬로 설치하므로써 사면의 활동중을 말뚝의 수평저항으로 받아 부동지반에 전달시키는 공법이다. 억지말뚝의 설계에 있어서 종래 취급이 곤란함으로 인하여 경시되어 온 중요한 요소 중의 하나는 줄말뚝의 말뚝간격에 대한 영향이다. 실제의 억지말뚝은 줄말뚝으로 사용되고 있음에도 불구하고 종종 단일말뚝으로 해석하고 줄말뚝으로서의 영향을 수정계수에 의하여 개략적으로 고려하는 경우가 있다. 실제 억지말뚝에서 말뚝주변지반의 변형은 줄말뚝의 영향을 받으므로 단일말뚝에 작용하는 측방토압과 당연히 다른 값을 가질 것이다. 왜냐하면 억지말뚝에 작용하는 측방토압은 지반과 말뚝사이의 상호작용의 결과로서 정하여지기 때문이다(홍원표, 1991).

본 연구에서는 말뚝의 간격비에 따른 억지말뚝의 사면안정효과를 조사하기 위하여 일련의 모형실험을 수행하였다. 이를 위하여 억지말뚝이 설치된 사면에 대한 모형실험장치를 고안하였으며, 모형말뚝을 제작하고 모형사면지반을 조성하였다. 그리고 모형실험시 각종 계측시스템을 이용하여 사면활동에 따른 억지말뚝의 변형거동을 조사하였다. 이를 통하여 억지말뚝의 간격비에 대한 영향을 조사하고, 이에 따른 억지말뚝의 사면안정효과를 고찰하고자 한다.

### 2. 모형실험

말뚝의 간격비에 따른 억지말뚝의 사면안정효과를 확인하기 위하여 모형실험장치를 제작하였다. 모형실험장치는 지반변형제어장치, 모형사면지반토조 및 데이터입력장치의 세부분으로 구성되어 있다. 지반변형제어장치는 사면지지판과 롤러 및 동력장치(모터)로 이루어져 있으며, 속도조절이 가능하도록 제작하였다. 모형사면지반토조는 모형말뚝과 모형사면으로 이루어져 있으며, 모형말뚝의 거동과 휨응력을 측정하기 위하여 각각 말뚝변위측정기와 변형률계를 설치하였다. 그리고, 데이터입력장치는 변형률계, 데이터기록장치(U-CAM) 및 컴퓨터로 이루어져 있다.

그림 1은 모형사면지반토조와 지반변형제어장치를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 모형사면지반토조는 길이 170cm, 높이 130cm, 폭 50cm이며, 모형실험시 모형사면지반토조 내부의 지반변형을 관찰하기 위하여, 2cm두께의 투명아크릴 판을 사용하여 제작하였다.

그림 2는 모형말뚝과 모형말뚝에 설치된 변형률계를 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 사면활동지반에서 모형말뚝에 작용하는 휨응력을 측정하기 위하여 변형률계를 설치하였다. 모형말뚝은 직경이  $2.5 \times 10^{-2}m$ 이고 두께가  $0.1 \times 10^{-2}m$ 인 알루미늄관을 사용하였으며, 지반변형제어판으로부터 30cm떨어진 곳에 설치하였다.

주요어 : 모형실험, 억지말뚝, 말뚝간격비, 휨응력, 저항비

1) 한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 산사태재해연구팀 (yssong@kigam.re.kr)

2) 중앙대학교 공과대학 건설환경공학과

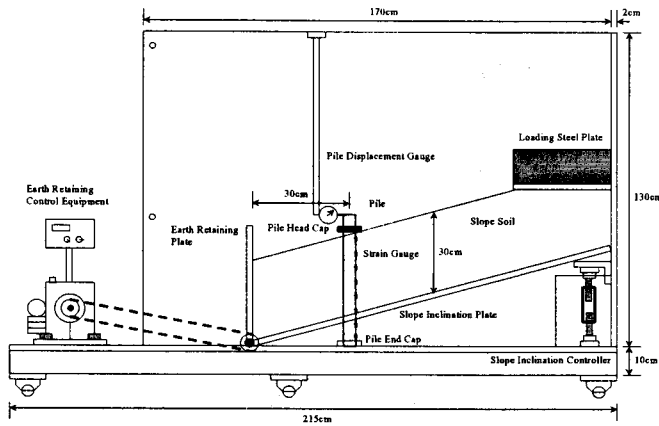


그림 1. 억지말뚝이 설치된 모형사면 실험장치

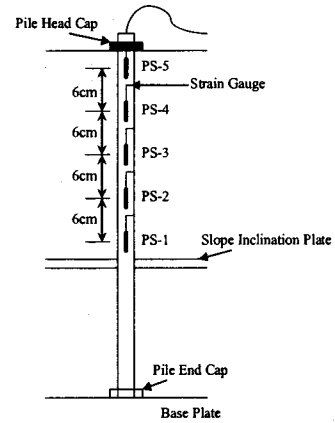


그림 2. 모형말뚝

본 모형실험에서는 모형사면지반의 재료로 주문진 표준사를 사용하였다. 모형사면지반은 깊이 30cm, 상대밀도 60%, 사면경사 30°로 조성하였다. 그리고 사면활동을 일으키기 위한 사면 지지판의 회전속도는 1.5°/min로서, 이는 사질토에서의 직접전단시험시 전단속도를 고려하여 결정하였다.

말뚝의 간격비에 따른 영향을 검토하기 위하여 말뚝두부를 회전구속조건으로 동일하게 하고, 말뚝의 간격비를 0.33, 0.50, 0.67, 0.75, 0.78 및 0.83으로 변화시키면서 실험을 수행한다. 여기서 말뚝의 간격비는  $D_2/D_1$ 으로 나타내며,  $D_1$ 은 말뚝의 중심간격이고  $D_2$ 는 말뚝의 순간격이다.

### 3. 실험결과 및 고찰

그림 3은 말뚝의 간격비가 0.50인 경우에 대한 모형실험결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 사면지지판의 바로 위에 설치되어 있는 PS-1위치에서 휨응력이 가장 크게 발생되며, 최대휨응력은 68.5kg/cm<sup>2</sup>으로 나타났다. 그리고 지표면으로부터 깊이 설치되어 있는 순으로 휨응력이 크게 발생되었다.

그림 4은 말뚝간격비에 따른 억지말뚝에 작용하는 휨응력을 나타낸 것이다. 그림을 살펴보면 말뚝에 작용하는 최대휨응력은 간격비가 0.8이상에서는 일정하고, 간격비가 0.5~0.8에서는 증가하며, 간격비가 0.5이하에서는 일정하게 나타났다. 억지말뚝에 작용하는 최대휨응력이 크면 사면활동에 대한 억지말뚝의 저항효과가 크다는 것을 의미한다. 따라서 억지말뚝의 간격비가 0.5~0.8일 경우 사면활동에 대한 억지효과가 우수함을 알 수 있다.

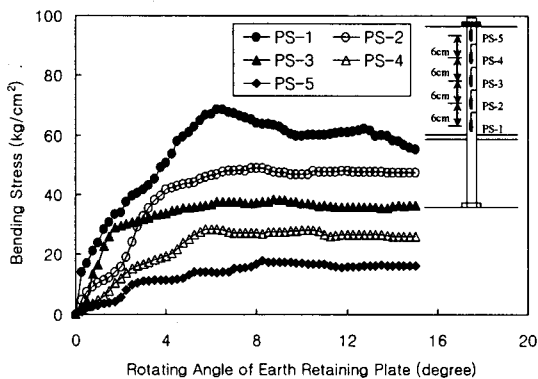


그림 3. 말뚝의 휨응력 변화 (간격비 0.50)

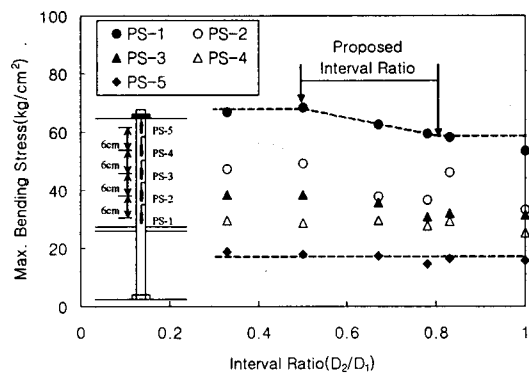


그림 4. 말뚝간격비에 따른 말뚝의 휨응력

#### 4. 말뚝간격비에 따른 사면안정효과

그림 5은 말뚝간격비와 사면활동에 대한 저항비의 관계를 나타낸 것이다. 저항비( $\eta$ )란 단독 말뚝일 경우 사면억지효과를 1이라고 할 때 줄말뚝 가운데 말뚝 1본에서의 사면억지효과를 나타낸 것이다(木村, 1993). 그림을 살펴보면 말뚝간격비가 1에서 0.5사이에서 말뚝간격비가 작을수록 억지율이 증가하는 것으로 나타났으며, 말뚝간격비가 0.5이하에서는 억지율이 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 말뚝간격비가 0.5일 때 사면활동에 대한 억지율이 가장 크게 발휘됨을 알 수 있다. 그리고 말뚝간격비가 1인 단독말뚝일 경우보다 줄말뚝일 경우가 사면활동에 대한 억지율이 더 크게 발휘됨을 알 수 있다. 이는 말뚝과 말뚝사이에서 발생하는 지반의 야칭효과로 인하여 사면활동에 대한 억지율이 더 크게 발휘되기 때문이다.

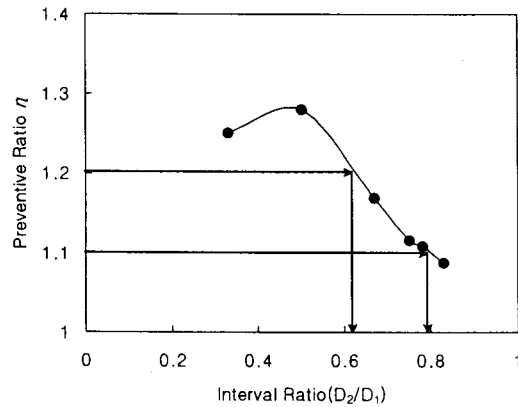


그림 5. 말뚝간격비에 따른 말뚝의 억지율

#### 5. 결 론

본 연구에서는 말뚝의 간격비에 따른 억지말뚝의 사면안정효과를 조사하기 위하여 일련의 모형실험을 수행하였다. 이를 위하여 억지말뚝이 설치된 사면에 대한 모형실험장치를 고안하였으며, 모형말뚝을 제작하고 모형사면지반을 조성하였다. 그리고 모형실험시 각종 계측시스템을 이용하여 사면활동에 따른 억지말뚝의 변형거동을 조사하였다. 모형실험결과 억지말뚝의 간격비가 0.5~0.8일 경우 억지말뚝이 휨응력을 크게 받으므로 억지말뚝의 사면활동에 대한 저항효과가 우수함을 알 수 있다. 억지말뚝의 간격비가 작아질수록 사면활동에 대한 억지율은 증가하며, 간격비가 0.5일 때 사면활동에 대한 억지율이 가장 우수함을 알 수 있다. 또한 억지말뚝의 소요억지율을 1.1로 가정할 경우 말뚝간격비는 0.5~0.8사이로 설치됨이 바람직하다.

#### 6. 감사의 글

본 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업(과제명: 산사태재해 예측 및 저감기술개발) 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 7. 참고문헌

- 홍원표, 1991, 말뚝을 사용한 산사태 억지공법, *한국지반공학회지*, 제7권, 제4호, pp.75-87.  
 木村 亮, 1993, *水平力を受ける群抗の舉動に関する基礎的研究*, 京部大學校 大學院 博士學位論文, pp.188-196.