흙-못치기 공법을 적용한 사면의 거동 비교

Comparison of Behavior of Earth Slopes Reinforced with Soil Nail

이승현*

Lee, Seung-Hyun

Abstract

Full scale field load tests were conducted on two kinds of slopes reinforced with soil nail. One of the two slope is the slope with surface treated by shotcrete. The other slope has a surface placed by precast concrete panel. By comparing load-settlement curves, load bearing capacity for the case of precast concrete panel was bigger than that for the case of shotcrete. Settlement distribution of loading plate for the case of precast concrete panel was similar to that for the case in which flexible footing lies on sand. Settlement for the case of shotcrete was bigger than that for the case of the precast concrete panel and also was the differential settlement. By considering overall the test data of all the measurements related with load cell, strain gauge, settlement of loading plate and inclinometer, precast concrete panel has the advantage of load sharing in larger area and restriction of local displacement to the shotcrete treated case.

Key words : Soil-nail, Shotcrete, Precast concrete panel, Load-settlement curve, Settlement distribution

요 지

흙-못치기 공법을 적용한 사면에 대해 법면을 슛크리트로 처리한 사면과 프리캐스트 콘크리트 전면판을 적용한 사면의 경우로 나누어 실물 현장시험이 수행되었다. 현장시험결과 얻은 하중-침하곡선을 비교해 볼 때 전면판을 적용한 경우 하중지지능력이 우수함을 알 수 있었다. 현장시험시 재하판에 가해진 총하중에 대해 재하판의 침하양상은 전면판을 적용한 경우 연성기초가 모래지반에 놓이는 경우와 같은 침하분포를 보인다. 슛크리트를 적용한 경우, 재하판의 침하량은 유사한 총하중 수준에서 전면판을 적용한 침하량에 비해 크고 부등침하의 경향도 크다. 전면판 적용시 보강면에 설치한 하중계에 의한 하중분포와 변형률계에 의한 계측결과, 재하판의 침하양상 그리고 경사계에 의한 수평변위양상을 종합적으로 고려해 볼 때 전면판을 적용할 경우 슛크리트를 적용할 때보다 국부적인 변위를 억제하고 보다 넓은 보강면에 하중을 분산시키는 것으로 생각된다.

핵심용어 : 흙-못, 슛크리트, 전면판, 하중-침하곡선, 침하양상

1. 서 론

흙-못치기 공법(soil nailing)은 원지반에 수동 저항체인 흙-못(soil nail)을 삽입하여 지반을 보강하는 방법이다. 통상 흙-못은 단계별 굴착이 끝난 후 즉시 설치되어 굴착면의 변위를 억제하게 된다. 흙-못이 효과적으로 작용하기 위해서는 제한된 범위의 지반변위가 수반되어야 하며 그에 따라 실물 현장시험을 통해 지반변위에 동반한 흙-못에 작용하는 하중을 파악하고자 하는 다양한 노력들이 있어 왔다(Stoker et al., 1979; Gassler et al., 1981; Shen et al., 1981; Cartier and Gigan, 1983; Plumelle, 1986; Juran and Elias, 1987). 일반적으로 흙-못치기 공법은 각 단계별로 사면의 굴착이 완료된 후 흙-못을 원지반에 삽입하고 와이어메쉬를 설치한 후 슛크리트를 시공하는 순으로 진행된다. 본 연구에서는 흙-못 시공

후 프리캐스트 콘크리트 전면판(Precast concrete facing block)을 법면에 설치하여 사면에 구속효과를 줌으로써 보강 사면의 안정성을 증대 시키고자 하는 개념의 전면판 보강 흙-못치기 공법을 적용한 실물 현장재하시험을 실시하고 기존의 흙-못치기 공법을 적용한 경우에 대한 시험결과와 비교하고자 하였다.

2. 현장시험

시험대상지반은 기존의 야산을 절개한 곳으로서 노출된 흙은 풍화토이며 통일분류법에 의하면 균등한 입도분포를 갖는 모래인 SP로 분류된다. 실물 현장시험은 미리 수립된 시험계획에 따라 전면판을 적용한 사면과 슛크리트를 적용한 사면에 대해 수행하도록 하였다. 두 개의 사면은 서로 인접해 있

*정회원 · 선문대학교 토목공학과 부교수 (E-mail : shlee02@sunmoon.ac.kr, 교신저자)

그림 1. 시험대상 사면의 측면도

그림 2. 법면부에 대한 정면도

어 지반물성에 큰 차이를 보이지 않는다. 시험대상 사면의 개략적인 측면도는 그림 1과 같다.

그림 1과 관련하여 현장시험은 크게 계측기 설치, 재하장치 설치, 재하 및 계측의 순으로 진행된다. 그림 1에는 현장시험과 관련된 기본적인 사항들이 나타나 있는데 흙-못으로 보강된 사면의 소단부에 재하판(Loading plate)이 위치하게 된다. 또한 그림 1에는 경사계(inclinometer)의 설치현황도 나타나 있다. 사면의 법면부는 시험계획에 따라 전면판과 숏크리트를 적용하도록 하였다. 재하판의 제원은 길이가 4 m, 폭이 2 m, 두께가 5 cm 인 강재이다. 재하판에 대한 재하는 재하판 상부에 재하빔을 설치하고 앵커를 반력장치로 하여 이루어지도록 하였다. 재하시 하중은 재하판 중앙에 설치한 하중계(load cell)를 통해 측정하도록 하였고 재하판의 침하량은 재하판의 4개소에 설치한 침하 측정장치(LVDT)를 통해 측정하도록 하였다. 시험대상 사면의 법면부에 대한 정면도는 그림 2와 같다.

그림 2에 나타난 사면 법면부에 대한 일련번호는 전면판 또는 숏크리트로 처리된 법면부에 대해 흙-못의 설치위치를 나타낸다. 전면판의 높이는 1.2 m이고 폭은 1.5 m이며 두께는 20 cm이다. 전면판을 적용한 경우에는 각각의 위치에 대해 흙-못 두부에 하중계(총 9개)를 설치하였고 흙-못이 설치된 개소당 흙-못의 길이를 따라 6개의 변형률계(총 54개)를 설치하였다. 변형률계는 흙-못 자유단으로부터 1.8 m 거리에 떨어진 위치에 첫 번째 변형률계를 설치하고 그로부터 70 cm 간격으로 변형률계를 설치하였다. 사면 법면에 대한 숏크리트의 두께는 대략 10 cm 정도이다. 숏크리트를 적용한 경우에는 그림 2의 2,5,8 위치에 대해 흙-못 두부에 하중계를 설치하였고 전면판을 적용한 경우와 동일하게 총 54개의 변형률계를 설치하였다.

3. 시험결과 및 분석

현장시험을 통해 얻은, 재하판에 작용하는 총하중에 대한 침하곡선은 그림 3과 같다. 그림 3에서 재하판의 침하량은 재하판의 4개소에 설치된 침하측정장치의 측정값들을 평균한 값이다.

그림 3을 통해 흙-못 보강사면의 하중지지능력은 전면판을 적용한 경우가 숏크리트를 적용한 경우에 비해 큼을 알 수 있다. 또한 그림 3으로부터 숏크리트를 적용한 경우 전면판을 적용한 경우에 비해 비교적 항복점이 뚜렷하게 나타난다. 하중-침하곡선으로부터의 파괴하중(failure load) 결정을 위해 숏크리트를 적용한 경우에 대해 De Beer 방법(log P-log s 방법), Terzaghi-Yelinek 방법, Mansur-Kaufmann 방법, Chin 방법(Singh, 1981)을 적용하여 보았는데 파괴하중은 각각 7170 kN, 7700 kN, 7300 kN 그리고 14280 kN으로 계산되었다. Chin 방법에 의한 파괴하중은 나머지 방법들이 항복하중 개념의 파괴하중을 결정하는데 비해 극한하중 개념의 파괴하중 결정법이기 때문에 파괴하중이 크게 계산된다. 전면판 보강의 경우 그림 3을 통해 알 수 있듯이 항복경향이 뚜렷하지 않으므로 파괴하중결정이 용이하지 않다. 두 가지 사면보강에 대한 파괴하중의 비교를 위해 전면판 보강사의 파괴하중을 시험에 적용한 최대하중(10840kN)으로 하면 전면판 보강사의 파괴하중은 앞에서 언급한 방법들에 대해 순서대로 약 1.5배, 1.4배, 1.5배, 그리고 1.1배로 계산된다. Chin 방법에 의한 경우 극한하중 개념의 파괴하중 결정법이므로 최대하중에 2/3를 곱하여 항복하중 개념의 파괴하중을 계산하였다. 이때 2/3의 분자에 나타난 2는 항복하중에 대한 안전율을 의미하고 분모의 3은 극한하중에 대한 안전율을 의미한다. 따라서 정량적으로도 전면판 보강사면의 하중지지능력이 숏크리트사면에 비해 큼을 알 수 있다. 총하중 단계에 따른 재하판의 침하양상을 좀 더 자세히 나타내면 그림 4에서와 같다. 그림 4(a)는 숏크리트를 적용한 경우에 대한 침하양상을 나타내고 그림 4(b)는 전면판을 적용한 경우의 침하양상을 나타낸다. 또한 그림 4에는 재하판에 대한 침하측정장치의 위치가 나타나 있는데 그래프의 가운데 부분의 침하량은 LVDT1과 LVDT2의 평균침하량을 의미한다.

그림 3. 하중-침하곡선

그림 4. 재하판의 침하양상

그림 4에서 슛크리트와 전면판을 적용한 경우 각각의 침하량에 대응하는 총하중의 크기에는 약간의 차이가 있으나 총하중에 대한 침하량의 크기를 비교하는데 있어 큰 영향을 미친다고 볼 수는 없다. 그림 4에 나타나 있는 두 개의 그래프를 통해 침하양상을 비교해 볼 때 슛크리트를 적용한 경우의 침하량이 전면판을 적용한 경우의 침하량에 비해 큼을 알 수 있고 총하중이 증가함에 따라 부등침하의 경향도 커짐을 알 수 있다. 전면판을 적용한 경우의 재하판의 침하양상은 가운데 부분보다 모서리부분의 침하가 커서 연성기초가 모래지반에 놓이는 경우와 같은 침하분포를 나타낸다. 총하중 7000 kN 근처에서의 재하판의 평균 침하량은 슛크리트를 적용한 경우가 전면판을 적용한 경우보다 1.2배 크며 총하중 9000 kN 근처에서의 재하판의 평균 침하량은 슛크리트를 적용한 경우가 전면판을 적용한 경우에 비해 1.87배 크다. 비슷한 크기의 총하중 수준에 대해서 이러한 침하량의 차이는 사면의 하중지지능력에 있어서의 차이를 반영하는 것으로 그 결과가 그림 3에 반영되어 있다고 볼 수 있다.

사면 법면의 가운데 열에 대해 슛크리트와 전면판 적용시 재하과정을 통해 하중계로부터 얻은 하중값은 그림 5에 나타나 있다.

그림 5에서 실선은 슛크리트 적용시, 그리고 점선은 전면판 적용시의 하중계 측정값을 나타내고 그래프안의 숫자는 대응하는 총하중의 크기를 나타낸다. 그림 5를 통해 알 수 있는 바와 같이 비슷한 총하중에 대하여 슛크리트 적용시의 하중 측정값이 전면판 적용시에 비해 대체로 큼을 알 수 있는데

그림 5. 하중계 측정값

그림 6. 총하중 증가에 따른 하중계 측정값

이는 그림 4에 나타난 침하양상과 관련이 있는 것으로 생각된다. 즉, 슛크리트를 적용한 경우에는 특정한 총하중에 대한 침하량이 전면판을 적용한 그것에 비해 상대적으로 커서 큰 하중이 작용하는 것으로 생각된다. 전면판을 적용한 경우 총하중에 따른 9개의 하중계에 의한 하중측정결과를 그림으로 나타내면 그림 6과 같다.

그림 6을 통해 알 수 있듯이 총하중 2300 kN인 경우를 제외하고 모든 경우에 있어 가운데 열에 설치된 하중계에 의한 하중값이 작음을 알 수 있다. 이러한 경향은 그림 4에 나타나 있는 재하판의 침하양상을 반영하는 것으로 전면판을 적용하는 경우 상당한 하중이 작용할 때까지 가운데 부분보다는 모서리 부분에 하중이 집중됨을 알 수 있다. 이상에서 분석한 하중-침하 거동을 종합적으로 고려해볼 때 전면판을

(a) 슛크리트

(b) 전면판

그림 7. 변형률계 측정값

적용할 경우 슛크리트를 적용할 때보다 국부적인 변위를 억제하고 보다 넓은 보강면에 하중을 분산시키는 것으로 생각된다.

사면 법면 정중앙 위치에서 측정한 변형률계 측정값을 나타내면 그림 7과 같다. 그림 7(a)는 슛크리트를 적용한 경우의 측정값을, 그림 7(b)는 전면판을 적용한 경우의 측정값을 나타낸다. 그림 7에서 그래프 안의 가로 점선은 흙막의 인장강도를 나타낸다.

그림 7(a)를 통해 알 수 있듯이 총하중 7200kN에서 흙막 길이방향으로 4번째로 설치된 변형률계에 의한 측정값이 급격하게 증가한다. 이로부터 네 번째 변형률계 근처에서 흙막의 휨이 크게 발생된 것으로 추정된다. 전면판을 적용한 경우(그림 7(b))에는 슛크리트를 적용한 경우에 비해 변형률계 측정값의 급격한 변화는 없으며 4.5번째 변형률계 위치에서 큰 변형이 발생하고 휨도 완만한 것으로 판단된다. 이러한 결과 또한 전면판을 적용한 경우의 국부변형 억제효과를 반영한 것으로 생각된다.

그림 1에 나타난 경사계와 관련하여 총하중 크기별 수평변위량을 나타내면 그림 8과 같다. 그림 8(a)는 슛크리트를 적용한 사면의 수평변위량을 나타내고 그림 8(b)는 전면판을 적용한 사면의 수평변위량을 나타낸다.

그림 8에 나타난 두 개의 그래프를 비교하면 슛크리트를 적용한 경우의 수평변위량이 대체적으로 전면판을 적용한 경우에 비해 크음을 알 수 있다. 그림 8에서 슛크리트를 적용한 경우 총하중 4800 kN이 작용할 때까지는 수평변위가 배면쪽으로 발생함을 알 수 있는데 재하판 하부지반의 연직방향 변형에 의해 경사계 상부에서도 그에 수반된 변형양상을 보이는 것으로 추정된다. 또한 그림 8에서 5.3 m 보다 큰 깊이

(a) 슛크리트

(b) 전면판

그림 8. 경사계에 의한 수평변위량

에서는 전면판을 적용한 경우 수평변위량이 거의 없으나 슛크리트를 적용한 경우에는 총하중 7000 kN에서는 사면전체가 수평변위를 일으킴을 알 수 있다. 경사계에 의한 수평변위량 또한 그림 4에 나타난 침하량의 상대적 차이와 같은 경향을 보인다고 볼 수 있다.

4. 결 론

흙-못을 적용한 사면에 대해 법면을 슛크리트로 처리하는 경우와 프리캐스트 콘크리트 전면판을 적용한 경우에 대해 현장 재하시험을 실시하고 하중-변위 거동을 비교하여 보았다. 현장시험을 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 슛크리트를 적용한 경우와 전면판을 적용한 경우에 대해 얻은 하중-침하곡선을 비교해 볼 때 전면판을 적용한 경우가 하중지지능력이 우수함을 알 수 있다. 전면판을 적용한 경우의 최대하중을 파괴하중으로 보았을 때 그 값은 슛크리트를 적용한 경우, 하중-침하곡선으로부터 De Beer 방법, Terzaghi-Yelinek 방법, Mansur-Kaufmann 방법, Chin 방법으로 구한 파괴하중에 비해 각각 1.5배, 1.4배, 1.5배, 그리고 1.1배 크다.
- 2) 현장시험시 재하판에 가해진 총하중에 대해 재하판의 침하양상은 전면판을 적용한 경우 연성기초가 모래지반에 놓이는 경우와 같은 침하분포를 보인다. 슛크리트를 적용한 경우, 재하판의 침하량은 유사한 총하중 수준에서 전면판을 적용한 침하량에 비해 크고 부등침하의 경향도 크다.

- 3) 전면판 적용시 보강면에 설치한 하중계에 의한 하중분포와 변형률계에 의한 계측결과, 재하판의 침하양상 그리고 경사계에 의한 수평변위 양상을 종합적으로 고려해 볼 때 전면판을 적용할 경우 슛크리트를 적용할 때보다 국부적인 변위를 억제하고 보다 넓은 보강면에 하중을 분산시키는 것으로 생각된다.

참고문헌

Cartier, G. and Gigan, J.P. (1983) Experiments and observations on soil nailing structures, Proceedings of the VII Conference of the ECSMFE, Helsinki.

Gassler, G. and Gudehus, G. (1981) Soil nailing-some soil mechanical aspects of in-situ Reinforced earth, X ICSMFE, Proc., Vol. 3, Session 12, Stockholm, pp. 665-670.

Juran, I. and Elias, V. (1987) Soil Nailed Retaining Structures; Analysis of Case Histories, Soil Improvement, ASCE Geotechnical Special Publication No., 12, pp. 232-244.

Plumelle, C. (1986) Full Scale Experimental Nailed Soil Retaining structures, Revue Francaise de Geotechnique, No. 40, pp. 45-50.

Shen, C.K., Bang, S., Romstad, J.M., Kulchin, L. and Denatale, J.S. (1981) Field measurements of an earth support system, Journal of the Geo. Eng. Div., ASCE, Vol. 107 GT12, pp. 1625-1642.

Singh A. (1981) Geotechnical testing and instrumentation, APT BOOKS INC., pp. 397-413.

Stoker, M.F., Korber, G.W., Gassler, G. and Gudehus, G. (1979) Soil nailing, Intern. Conference on Soil Reinforcement, Vol. 2, Paris, pp. 469-474.

◎ 논문접수일 : 11년 02월 14일
 ◎ 심사의뢰일 : 11년 02월 25일
 ◎ 심사완료일 : 11년 03월 08일