

표층 처리 전후 사면의 MASW 조사에 관한 사례 연구

고건우*, 이병식**, 양승현***

*(주)이지오 산업, **전북대학교 토목공학과, ***전북대학교 지역건설공학과
e-mail:kunwoo@jbnu.ac.kr

Case study on the Investigation of The Multichanel Analyis Surface Wave on the Slope Before and After treat Soil Cement.

Kun-Woo Ko*, Byeng-Suk Lee**, Seung-Hyun Yang***

*E-geo Industry Co., ltd.

**Dept. of Civil Engineering, JeonBuk National University

***Dept. of Agricultural & Rural Engineering, JeonBuk National University

요약

본 연구는 최근 이상 기후 발생 증가로 인해 사면의 붕괴 현상이 다수 발생하고 있으며 이 중 대다수는 사면의 세굴로 인한 유실이 주를 이루고 있다. 이를 해결하기 위해 사면을 붕괴 요인으로부터 보호 할 수 있는 표층 처리 공법이 많이 활용되고 있으나 안정성 검토 및 설계에 대한 명확한 기준과 시공 효과 검증에 대해 많은 의문을 표하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 표층 처리 적용 전후 사면에 대해 MASW 탐사를 수행하였고 이를 통해 표층 처리를 통한 지반 매스의 역학적 성질 변화를 검토해보았다. MASW 탐사를 통해 얻어지는 전단 속도는 지반의 역학적 특성을 유추할 수 있는 정수로 이를 통해 지반 강도를 알 수 있다. 조사 결과 붕괴된 사면의 전단 속도 분포는 200m/s이하를 나타내었으며 특히 붕괴 영역의 경우 더 낮은 전단 속도 분포를 나타내는 것으로 차후 전단 속도 감쇠비를 통해 안정성 검토의 가능성을 확인할 수 있다. 또한, 표층 처리 이후 조사 결과 3일 경과시 200 ~ 220m/s의 전단 속도 분포를 나타내었으며, 90일 경과시 270 ~ 330m/s의 전단 속도를 나타내어 표층 처리 시 지반의 역학적 성능 개선 효과를 확인 할 수 있다.

1. 서론

일반적으로 사면의 붕괴는 강우, 지형, 지질 토질 등의 자연적 요인과 땅꺼짐, 흩 썩기 등 인위적 요인에 영향을 받아 발생하며 장기적인 물리·화학적 풍화작용에 의하여 사면붕괴가 일어날 수도 있다. 이러한 사면붕괴 요인과 형태는 다양하고 이러한 각 각의 요인은 서로 관련이 있어 어느 한가지의 요인에 의하여 사면 붕괴의 발생을 설명할 수는 없다. 최근 우리나라는 이상기후로 인하여 일반적인 강우가 아닌 시간당 30mm 이상의 국지성 호우가 발생 빈도가 높아지고 있다.

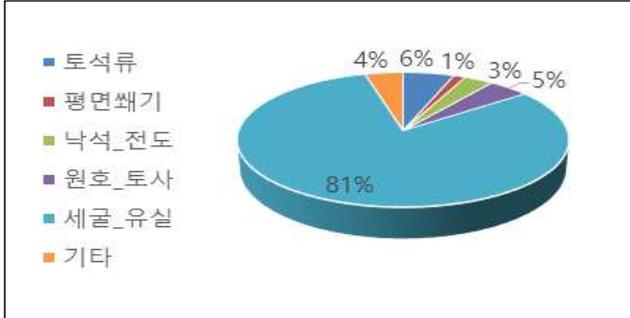
특히, 2020년도에는 54일 동안 장마기간이 지속되었고 이는 역대 가장 긴 장마철로 조사되었다. 또한, 강우 발생 유형이 정체전선으로 인해 폭이 좁고 강한 강수대가 발생하며, 8~9월 사이에 4개의 연이은 태풍의 영향으로 많은 사면이 붕괴되었다. 2020년도 사면 붕괴현황에 대하여 한국도로공사에서 조사한 결과[그림 1]에 따르면 617개의 붕괴 사면중 500개의 사면은 세굴로 인한 유실이 발생하였다. 이를 방지하기 위해 사면 보호 공법 중 하나인 지반 개량제를 적용한 표층 처리 공법으로 사면을 붕괴요인으로부터 보호할 수 있어 현재 많은 사면에 적용되고 있다. 이러한 표층 처리 공법은 현재

명확한 안정성 검토 및 설계에 대한 기준이 없고 시공 완료 후 정확한 시공 효과 검증에 많은 의문을 가지고 있어 이를 위해 물리 탐사를 통해 이를 해결하는 방안에 대해 연구가 필요하다.

물리탐사는 탄성파가 지표면을 따라 전파하는 표면파 존재에 대해 예측하고 비파괴적으로 밀리미터(mm)수준의 매우 작은 규모로부터 킬로미터(km) 수준의 물성 분석이 가능하다는 이점으로 인해 고체 물리학, 초음파 공학, 지진학 및 지질 공학 등 다양한 분야에서 관심을 갖고 연구하기 시작하였다(래샤 et al. 2014). 표면파 탐사에는 인공송신원을 이용하는 능동 탐사법과 주변의 표면파를 측정하여 해석하는 수동 탐사법이 있으며, 이 연구에서 초점을 두고 있는 수신 채널 개수를 12개 이상으로 늘려 해상도를 높이고 신호대 잡음비(S/N)를 높인 다중채널 표면파(Multichanel Analysis of Surface waves; MASW) 탐사법을 사용하였다(Park et al., 1999). 탄성파 탐사에는 굴절법이나 반사법 탐사등 다양한 분야가 있으나 본 연구 지역은 표층 처리를 통해 지반의 강도가 역전된 역전층을 조사하기 위한 것이기 때문에 MASW방법을 통해 연구를 수행하였다.

이러한 표면파 탐사는 국내에서도 천부 지질 구조 파악이

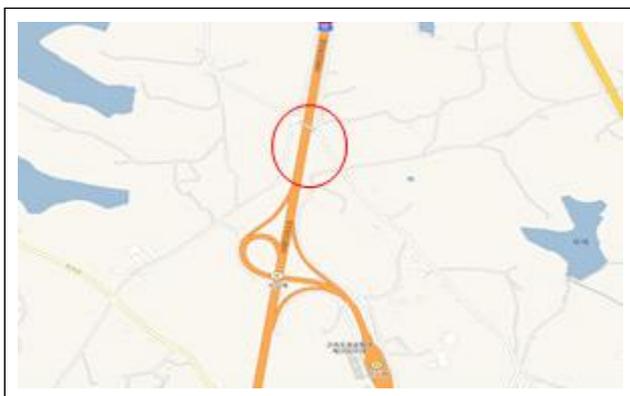
나 지반 안정성 평가 등을 위해 여러 분야에서 활용되고 있으나 표면파에 대하여 전반적으로 기술한 사례가 없다. 따라서, 본 논문에서는 표층 처리 공법이 적용되기 전과 후의 붕괴된 사면에 Multichannel Analysis Surface Wave(MASW) 방법을 이용하여 지질 조사를 실시하였고 이를 통해 표층 처리 공법에 대한 효과 검증에 대한 연구를 수행하고자 한다.



[그림 1] 2020년 비탈면 붕괴현황
(한국도로공사 고속도로 공공 데이터 포털, 2020)

2. 연구지역

연구 지역은 서김제 IC 부근에 위치한 성토사면 A와 순천완주 고속도로에 위치한 성토 사면인 B를 대상을 수행하였다. A사면에서 획득한 자료는 시공이 완료된 후 90일 이상 지난 상태에서 조사를 진행하였으며, B사면의 경우 붕괴된 사면 원지반 상태와 시공 후 2일정도가 경과된 상태에서 조사를 수행하였다. 연구지역의 사면은 우수로 인해 표층이 유실된 상태로 붕괴의 형태는 [그림 3]의 유형과 같이 발생하였다. 붕괴가 발생한 사면에 대해서는 지반개량재를 사용한 표층처리 공법이 적용 되었으며, 본 연구에서는 시공 전과 시공 이후의 지질 조사를 수행하여 지반개량재 사용시 표층 처리 부위의 지질 상태에 대한 검토를 통해 표층 처리 공법의 시공성 검증을 수행하였다.



[그림 2] 연구지역 위치 현황

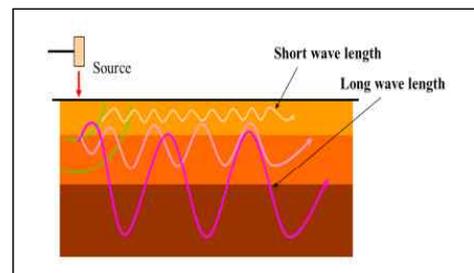


[그림 3] 표층유실로 인한 사면 붕괴 예시

3. MASW 탐사

2.1 표면파의 물리적 특성

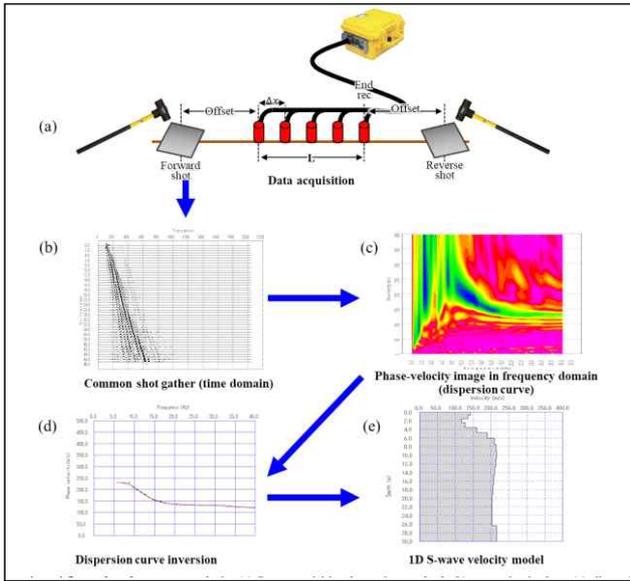
탄성체 내에서 전파하는 탄성파는 크게 실체파와 표면파가 있다. 매질 내에서 구형으로 전파하는 실체파와 달리 표면파는 유체에 접하고 있는 고체의 표면을 따라 전파한다. 이 때 표면파의 전파 속도는 주로 S파 속도 구조에 따라 결정되며, 표면파의 파장에 따라 영향을 받는 범위가 다르기 때문에 전파 속도는 파장에(혹은 진동수에 따라) 다른 분산 특성을 보인다. 표면파 탐사는 이러한 분산 특성을 이용하여 지질 구조를 파악하는 탐사를 말하며, 지층에 따른 분산의 변화 과정은 [그림 4]와 같다.



[그림 4] 깊이에 따른 표면파의 분산

2.2 MASW 탐사 및 해석 방법

현장으로부터 표면과 탐사중 MASW 탐사를 수행하는 방법은 [그림 5]와 같다. 분산 특성을 파악하기 위해서는 주로 표면파와 위상속도와 진동수 혹은 파장의 관계를 도식한 분산 곡선을 구성한 뒤 이를 역산하여 지층의 매질별 전단 속도 구조를 구하는 탐사 방법이다. 본 연구에서는 Geometrics사의 Geode exploration Seismograph를 사용하여 조사를 수행하였으며 [표 1]과 같은 제원으로 조사를 수행하였으며, 획득 자료는 Seisimager S/W를 사용하여 분석하였다.



[그림 5] MASW 탐사의 작업 순서(Kim et., 2019)

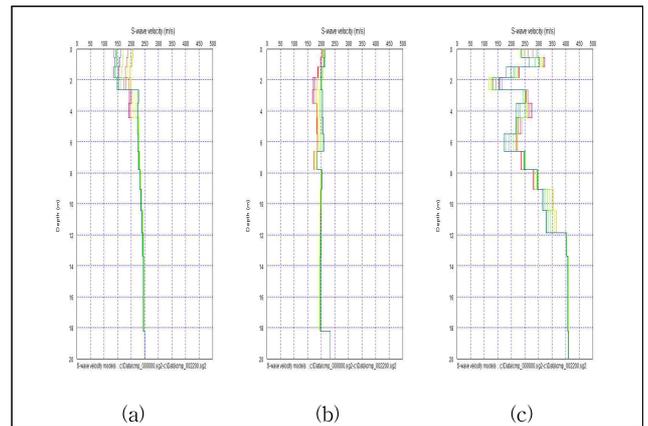
[표 1] MASW 탐사 데이터 획득 제원

Recording system	Geode
Recording Format:	SEG-2
Pre trigger	ON
Stack mode:	Summation
Geophones:	24 geophones of 4.5 Hz frequency
Geophones array:	Linear with geophone spacing of 1m
Source:	11kg sledg hammer
Source array:	Source is shifted with 1m interval

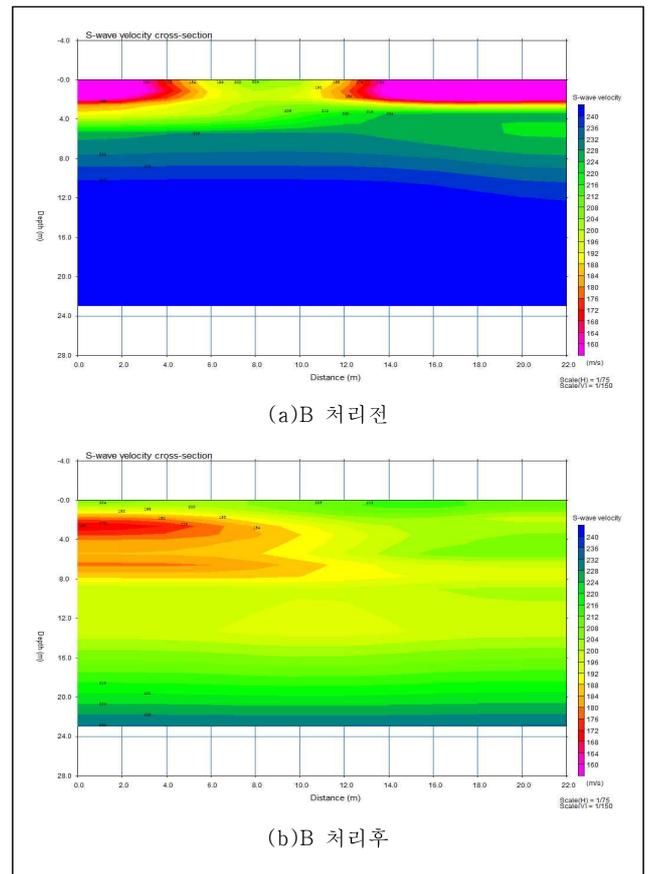
2.3 조사 결과

획득된 자료를 분석한 결과는 [그림 6], [그림 7]과 같다. 전단 속도는 지층 매질의 물리적 역학적 특성을 유추 할 수 있는 지반정수로 많이 사용된다. 본 조사 결과 B사면의 처리 전 전단 속도 분석 결과 우수로 인해 붕괴 발생 지역의 경우 전단 속도 감소를 나타내고 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 전단 속도 감소는 지반의 물리적 역학적 특성의 감소 특성과 연관되는 것을 나타내는 것으로 지반 정수를 활용한 사면 안정성 검토 뿐 아니라 전단 속도의 감쇠비를 통한 안정성 분석에 대한 가능성을 확인 할 수 있다. 또한, 표층 처리 공법 적용시 확실한 지반 매질의 전단 속도 증가 양상을 보여 이를 통해 사면을 붕괴 요인으로부터 보호하는 것을 확인 하였다.

B사면의 경우 지반개량재를 이용하여 표층 처리전의 지반의 상태를 분석한 결과 붕괴된 지층의 전단 속도는 200m/s 이하의 속도 분포를 나타내고 있는 것으로 나타났다. 이를 표층 처리 3일 경과후 탄성과 탐사를 실시한 결과 표층 처리 영역인 깊이 1m 이내에 전단 속도 분포가 200~220m/s의 분포를 나타내는 것으로 보아 MASW 탐사시 지반개량재와 혼합된 표층 처리 적용 지층 탐색이 가능한 것으로 나타났다. 특히, 90일 이상이 경과한 A사면의 경우 270 ~ 330m/s의 전단 속도 분포를 나타내어 표층 처리 공법의 시공성 검토에 MASW 탐사법의 활용 가능성을 확인 할 수 있었다.

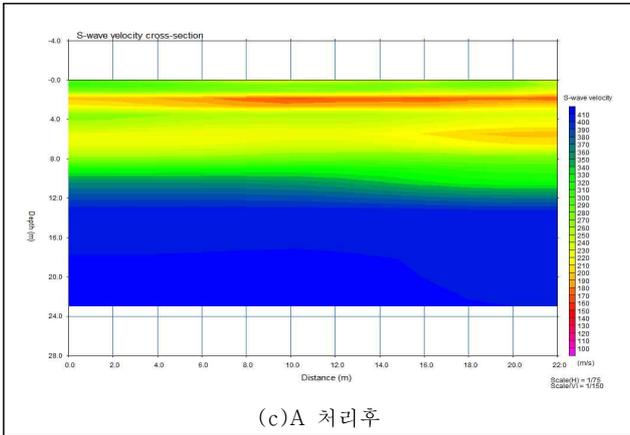


[그림 6] S-wave Velocity Model
[(a),B 처리후 (b)B 처리후, (c)A 처리후]



참고문헌

- [1] 김빛나래 외 4명, “표면파 탐사: 능동 탐사법을 중심으로”, 제 22권 4호, pp. 210-224, 2019년, 지구물리와 물리탐사.
- [2] K.S.Rao, “Multichannel analysis of surface wave (MASW) testing for dynamic site characterization of delhi region, May 24-29, 2010, Recent Advance in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics.
- [3] Park, C.B., R.D.Miller, and J.Xia, “Multi-channel Analysis of Surface Waves”, Geophysics, 64, No.3, 800-808, 1999년, geophysics.



[그림 7] MASW 탐사 2D조사 결과

4. 결 론

본 연구는 붕괴된 사면에 지반개량재를 혼입하여 표층 처리된 사면에 MASW 탐사법을 적용하였고, 이를 통해 시공성 검증에 대한 사례 연구를 수행하였고 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. MASW 탐사 결과 사면의 지반 매질에 대한 전단 속도 결과를 통해 지질 조사가 가능한 것으로 나타났으며, 붕괴영역에 대해 전단 속도 분포를 분석한 결과 우수로 인해 유실된 영역에 대해 주변 지반에 비해 낮은 전단 속도를 나타내었다. 이는 차후 전단 속도 감쇠비를 통해 간접적으로 사면의 붕괴 위험성 검토 수행이 가능한 것으로 사료된다.
2. 표층 처리 공법을 적용한 사면에 MASW 탐사를 수행한 결과 전단 속도가 빠른 층이 위에 존재하는 역전층 조사가 가능한 것으로 나타났으며, 본 조사를 통해 표층 처리 공법 적용시 지반 매질의 전단 속도 증가 양상을 확인 할 수 있었으며, 이를 통해 지반의 성질 개선으로 사면을 붕괴 요인으로부터 보호할 수 있는 것으로 나타났다.
3. 본 사례를 통해 사면에 대한 물리탐사에 MASW 방법의 적용 가능성을 확인 하였으며, 특히 지층의 강도가 단단한 지반이 위에 있는 역전층이 존재하는 경우에도 분석이 가능한 것으로 자료 분석 결과 나타났다. 본 연구에서는 지반의 시료에 대하여 보다 정확한 진단과 분석 및 표층 처리 지반에 대한 정확한 전단 속도 데이터에 대한 명확한 실험을 수행하여 비교 분석하지 않았으나 차후 추가적인 연구를 통해 조사 결과와 현장 시료의 전단 속도 및 지반 역학적 특성에 대한 관계가 명확히 연구된다. MASW 탐사 적용시 신뢰성 있는 조사 결과를 획득할 것으로 판단된다.