

EPS의 압축성을 이용한 토압저감효과에 관한 연구

Research on the Load Reduction Effect Using EPS

김진만¹ Kim, Jin-Man

조삼덕² Cho, Sam-Deok

최봉혁³ Choi, Bong-Hyuck

오세용³ Oh, Se-Yong

Abstract

For the last 30 years, the use of EPS as a lightweight filling material has grown significantly throughout the world. The fields of applying EPS block have also increased. The most representative example in geotechnical applications is using EPS block as a compressible inclusion that causes the reduction of static earth pressure on earth-retaining wall, bridge abutment and pipes. EPS blocks have a good workability by its lightweight characteristic and a uniform engineering property with the change of its density. Also EPS blocks have best material property as a compressible inclusion. This paper analyzes that the compressible inclusion function of EPS causes the reduction of static earth pressure on retaining wall and concrete box culvert. A series of in-situ tests were conducted to evaluate the reduction of static earth pressure using EPS inclusion. Based on in-situ test, it is found that the magnitude of static earth pressure was reduced to about 20% for the retaining wall and about 45~53% for the box culvert compared with theoretical active earth pressure.

요 지

최근 30년간 EPS 블록은 전 세계적으로 그 사용량이 증가하고 있으며, 국내·외적으로 EPS 블록의 적용 분야가 확장되고 있는 추세에 있다. 그 대표적인 사례로 EPS 블록의 압축성에 따른 아칭효과를 이용한 옹벽, 교대, 매설관 등 지반구조물에 작용하는 토압 저감 분야를 들 수 있다. EPS 블록은 경량성에 기인한 우수한 시공성과 밀도 변화에 따른 균질한 공학적 특성을 가지고 있으며, 또한 압축재로서 최적의 재료적 특성을 갖추고 있다. 일반적으로 EPS 블록은 밀도가 낮은 경우 동일한 하중 아래에서 보다 압축성이 우수한 경향을 보이나, 밀도가 10kg/m³ 이하인 경우 발포 비드간 결합력이 약하여 쉽게 파괴되는 성질이 있으므로 지반공학적으로 이용할 때에는 10kg/m³ 이상의 제품을 이용하는 것이 바람직한 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 지반구조물의 하중 저감을 위한 아칭재로서의 EPS 블록의 현장 적용성 평가를 위하여 콘크리트 옹벽과 콘크리트 박스 암거를 대상으로 현장시험시공을 수행하였으며, 현장 시험시공 결과 아칭재인 EPS 블록을 사용할 경우 기존의 이론적인 토압에 비하여 콘크리트 옹벽의 경우 약 20% 정도, 콘크리트 박스 암거의 경우 약 45~53% 정도인 것으로 평가되었다.

Keywords : Arching Effect, Box Culvert, Compressible Inclusion, EPS, Reduction of Earth Pressure, Retaining Wall

1. 서 론

1972년 노르웨이 국립도로연구소(NRRL)에서 부피

1m³ 정도의 대형 블럭 형태로 제조된 EPS 블록을 이용한 성토공법을 개발한 이래로, EPS 성토공법은 노르웨이를 중심으로 한 북유럽 국가들과 북미, 일본 등지에

1 정회원, 한국건설기술연구원 지반연구부 선임연구원 (Member, Senior Research, Geotechnical Engrg. Research Dept., KICT, jmkim@kict.re.kr)

2 정회원, 한국건설기술연구원 지반연구부 수석연구원 (Member, Researcher Fellow, Geotechnical Engrg. Research Dept., KICT)

3 정회원, 한국건설기술연구원 지반연구부 연구원 (Member, Researcher, Geotechnical Engrg. Research Dept., KICT)

서 활발하게 사용되고 있으며, 국내에서는 1993년에 교대 뒷채움재로 EPS를 최초로 사용한 이후 매년 그 사용량이 증가 추세에 있는 실정이다. 현재까지 적용되고 있는 EPS 공법의 주요 적용분야는 일반 토사의 1/100 정도밖에 안되는 EPS 블록의 초경량성, 인력시공과 신속한 시공이 가능한 시공의 우월성, 작은 흡수성, 탁월한 내구성 및 자립성 등의 장점을 활용하여 대규모의 EPS 블록을 사용한 성토분야, 구조물 뒷채움 분야, 가설 및 복구분야 등이다.

현재 국내·외적으로 이와 같은 EPS 블록의 적용분야가 점차 확장되고 있는 추세에 있으며, 그 대표적인 사례로 EPS 블록의 압축성을 이용한 옹벽, 교대, 매설관 등 지반구조물에 작용하는 토압 저감 분야를 들 수 있다. 이러한 토압 저감을 위해 압축재를 사용하는 기법은 20세기 초부터 시도되었으며, 파이프 상부의 수직변형이나 흙막이 구조물에 작용하는 토압을 감소시키기 위한 방안으로 건초더미, 유리섬유(glass-fiber), 마분지 등이 사용되었다. 그러나 이러한 압축재료는 품질관리 측면에서 볼 때 응력-변형 거동의 불규칙성, 과도한 압축성, 생화학적 분해 특성 등의 단점을 가지고 있어 사용상의 제한이 크다. 이에 대한 대안으로 제시된 EPS 블록은 경량성에 기인한 우수한 시공성과 밀도 변화에 따른 균질한 공학적 특성을 가지고 있어 압축재로서 최적의 재료적 특성을 갖추고 있다. 일반적으로 EPS 블록은 밀도가 낮은 경우 동일한 하중 아래에서 보다 압축성이 우수한 경향을 보이거나, EPS 블록의 밀도가 10kg/m^3 이하인 경우 발포 비드간 결합력이 약하여 쉽게 파괴되는 성질이 있으므로 지반공학적으로 이용할 때에는 10kg/m^3 이상의 제품을 이용하는 것이 바람직한 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 지반구조물의 하중 저감을 위한 아칭 재료로서의 EPS 블록 및 지오그리드의 현장 적용성 평가를 위하여 콘크리트 옹벽과 콘크리트 박스 암거를 대상으로 현장 시험시공을 수행하여 토압 저감 효과 및 특성을 분석하였다.

2. 이론 고찰

2.1 옹벽 배면의 수평 토압 저감 효과

일반적으로 강성 옹벽에 작용하는 토압은 국내의 경우 쿨롱과 랭킨이론에 따라 수행되고 있으나, 실제 옹벽

에서는 기하학적 구속, 외적인 구속, 구조물 자체의 강성 등의 세 가지를 주요요인으로 인하여 벽체가 주동상태에 이르지 못할 정도의 미소 변위만 발생되고, 시공시 뒷채움 흙의 다짐 등의 영향으로 주동토압 이상의 토압이 발생하게 된다. 이러한 토압 산정에 영향을 미치는 요인들에 대한 다양한 연구가 많은 연구자들에 의해 수행되어져 왔다. 지금까지의 연구결과에 의하면 주동상태에 도달하기 위해 필요한 벽체 변위는 현장 및 실내 모형시험을 통하여 옹벽높이(H)의 $0.05 \sim 0.5\%H$ 정도이며, 뒷채움 지반의 다짐에 의해 추가 토압이 발생하며, 이와 같은 다짐에 의해 유발되는 잔류토압은 시공중 벽체 변위가 발생될 경우 소멸된다고 보고하고 있다 (Ingold, 1979; Duncan & Seed 1986).

한편, 압축재를 포설한 옹벽에 대한 연구결과에 의하면, 옹벽 배면에 압축재를 포설하는 경우 아칭효과가 발생하여 실제 작용하는 토압이 그림 1에서 보듯이 옹벽상단에서 주동토압과 거의 유사한 값을 나타내고, 옹벽높이가 증가할수록 옹벽 중간 부위에서 최대가 되는 토압분포 형태가 발생한다고 하였다(Horvath, 1996). 또한, Murphy(1997)는 옹벽 배면에 부분적으로 압축재가 포설된 경우에 있어서도 이러한 토압특성이 발생한다고 하였으며, Horvath(1996) 등은 압축재를 이용한 콘크리트 옹벽의 토압 저감 방안 연구에서 이러한 개념의 옹벽 시스템을 "REP(Reduced Earth Pressure)-Wall"이라고 하였다.

압축재를 이용한 옹벽 시스템은 응력과 변형이 동시에 고려되는 옹벽, 압축재, 지반의 응력-변형을 거동 등의 흙/구조물 상호작용이 반영되어야 하므로 해석 및 설계가 매우 어렵다. 이러한 "REP-Wall"의 설계 개념에 대하여 Horvath(1996)는 그림 2에서 보듯이 압축재의 응력-변형 특성과 주동상태에 도달하기 위해 요구되는 흙의 변형을 일치시킴으로써 흙/구조물 상호작용을 간단히 반영하고 있다.

한편, 압축재로서 EPS 블록을 이용한 콘크리트 옹벽은 변위 유발에 따른 수평토압의 감소, 다짐유발응력의 해소, 상재하중에 의한 수평 하중의 감소, 지진하중에 의한 영향 감소 등과 같은 공학적 장점이 있다. 특히 지진하중에 대한 효과는 특이한 장점 중에 하나이다. 연구결과에 의하면, 지진하중은 강성 구조물의 경우 상대적으로 연성인 구조물에 비해 200%~300% 정도 크게 발생된다. 이 경우 EPS 블록을 이용한 콘크리트 옹벽은 압축재가 지진시 자연스러운 압축 변형을 유도하여 지

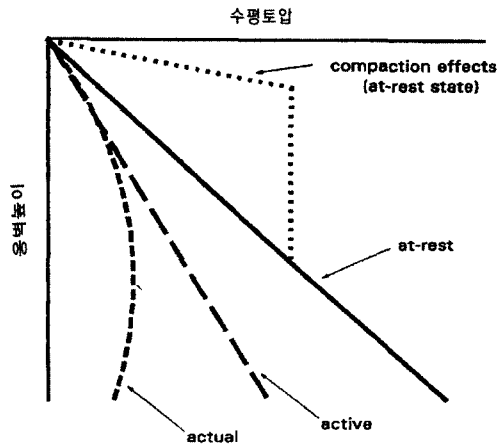


그림 1. REP-Wall 개념에 의한 토압 분포(Horvath, 1996)

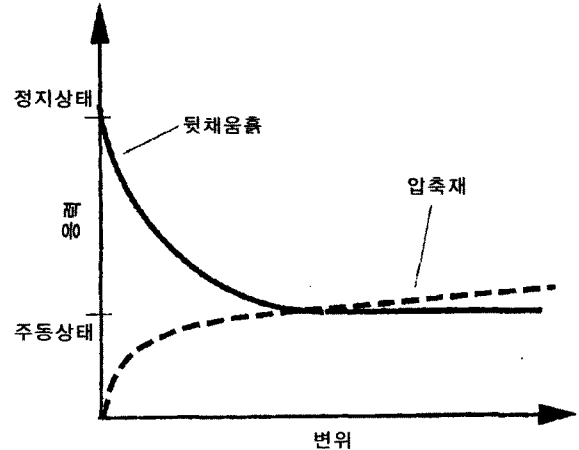


그림 2. 지지된 흙과 압축재의 응력-변형률 거동특성(Horvath, 1996)

진하중의 저감, 그에 따른 구조물의 안정성 및 경제성을 확보할 수 있다.

2.2 매설관의 수직토압 저감 효과

매설관의 수직토압 저감기법으로서 유도 고랑형 기법은 Scheer & Willet(1969), Taylor(1973), Sladen & Oswell(1988) 등 많은 연구자에 의해서 수행되었다. 유도 고랑형 기법은 다음의 그림 3과 같이 관저 상단의 내부토체에 압축성이 큰 재료(점토, 이토, 지푸라기 등)를 뒤채움재로 사용하여 주변의 다짐된 지반인 외부토체에 대해 상대적으로 하향 침하하는 변위를 인위적으로 유발시킴으로써 하중을 저감시키는 공법이다. 이때 압축재의 침하에 의해 야기된 내부 토체와 외부 토체 사이의 상대적 변위는 내부 토체와 외부 토체 사이에 상향의 전단력을 발생시키고, 발생된 전단력은 관저 상단에 작용하는 연직 하중을 저감시킨다.

근래에 들어 유도 고랑형 기법에 관한 연구는 상대적 변위를 유발시키기 위한 압축재인 점토, 이토, 지푸라기 등이 현장의 품질관리차원에서 관리가 어렵다는 문제점 때문에, 압축재로서 재료 관리가 용이한 대체 재료의 개발과 EPS 블록의 활용성 검증 등에 초점이 모아지고 있는 실정이다. 이에 대해 일본, 노르웨이, 미국 등에서는 매설암거분야에 대한 몇몇의 적용사례가 있으며, 고성토에 따른 매설암거 및 관거의 하중저감 대책방안으로 NRRL(Norwegian Road Research Laboratory, 1994)과 Yuichi et al.(1996)에 의해 현장 시험시공을 통한 연구가 수행된 바 있다.

3. 콘크리트 옹벽의 시험시공 및 평가

3.1 현장 시험시공 개요

본 연구의 대상 현장은 “충청남도 태안~서산간 국도 32호선 도로확포장공사 현장”으로 도로 인터체인지(IC) 건설을 위한 옹벽 시공이 리핑암 지반 위에 계획되었다. 본 현장에 사용된 뒤채움흙은 국내 널리 분포되어 있는 화강풍화토를 사용하였다. 뒤채움 흙시료는 현장 자연함수비 13.4%, 비중 2.67, 최대건조밀도 2.04t/m³, 최적함수비 8.5%, 통일분류법상 SW으로 나타난 화강 풍화토로 판명되었다. 본 현장의 시험시공에 사용된 EPS 블록은 기 수행된 실내모형시험으로부터 최적의

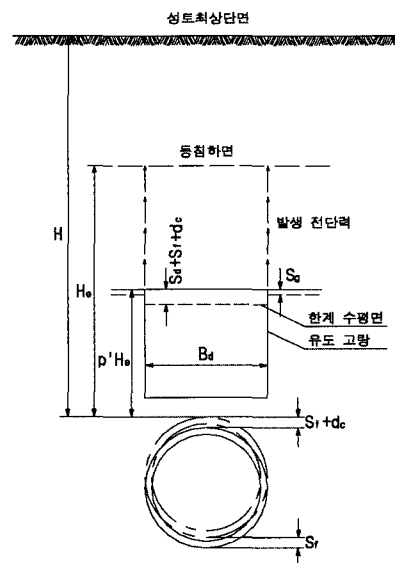
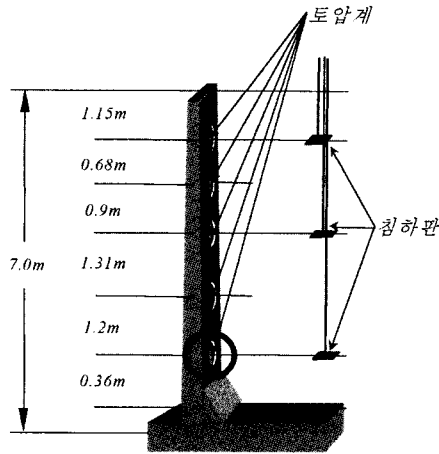
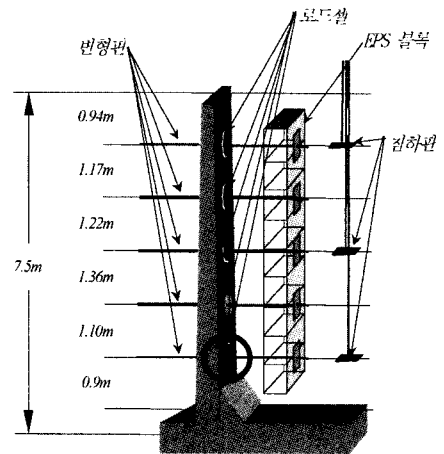


그림 3. 유도고랑관거기법 개념도



(a) 흙 성토 구간



(b) EPS 블록 포설 구간

그림 4. 계측기 매설도

밀도 및 단면으로 평가된, 밀도 D-10, 두께 15cm, 높이 20cm, 길이 1.8m로 콘크리트 옹벽 배면의 폭 20m 구간에 포설되었다.

압축용 EPS 블록을 이용한 콘크리트 옹벽의 현장계측 항목은 전면벽체에 작용하는 수평토압, 지중침하, EPS 블록의 압축 변위량 등이나, 이중 지중침하에 관한 계측 결과는 본 논문에 수록하지 않았다. 또한, 현장계측에 사용된 주요 장비는 토압계로써 용량 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ 인 스트레인게이지 타입의 토압계 및 로드셀 2종을 사용하였다. 그림 4에서는 매설된 계측기의 매설위치 및 형태를 보여준다.

3.2 현장계측 결과 분석 및 평가

3.2.1 수평토압

그림 5에서는 본 현장의 흙성토 구간 및 EPS 블록 포설 구간의 벽체높이에 따른 옹벽 배면의 수평토압 계측 결과를 보여준다. 그림 5에서 보듯이 흙성토 옹벽의 수평토압은 삼각형 형태의 토압분포로, 시간경과에 따른 토압변화가 미미하며, 그 크기가 옹벽 상단부에서 랭킨의 주동토압과 유사하고 옹벽 하단부로 갈수록 정지토압 보다 더 큰 상태의 토압을 나타낸다. 이러한 계측 결과는 김명모(2000)의 연구결과에서도 유사한 경향을 나타내며, 그 원인으로는 옹벽 하단부의 구속조건(기초근 입부 옹벽 전면의 수동저항과 벽체 하단의 현치부에 의한 구속 효과)에 의한 변위 억제 효과 및 다짐유발 응력에 기인한 것으로 사료된다. 특히, 흙성토 옹벽의 수평토압은 기초저단으로부터 1.7m 부근의 경우 시공완료

직후 $5.9\text{t}/\text{m}^2$, 시공완료 95일 후 $6.4\text{t}/\text{m}^2$ 으로, 랭킨 주동토압의 약 2배 정도이다.

한편, 압축용 EPS 블록을 이용한 콘크리트 옹벽의 수평토압은 기존의 흙 성토 옹벽과 달리 사다리꼴 형태의 토압분포로, 토류벽이나 보강토 옹벽과 유사한 분포 형태를 보였다. 또한, 본 옹벽의 수평토압은 시간경과에 따른 토압변화가 상대적으로 흙 성토 구간에 비해 다소 큰 특성을 나타낸다.

EPS 블록이 포설된 옹벽의 수평토압은 그 크기가 옹벽 상단부에서 0.4H구간까지의 경우 랭킨의 주동토압보다 다소 큰 값을 보이며, 0.4H에서 옹벽 하단부로 갈수록 작아지며, 시공완료 95일후 최하단 토압계의 토압은 $1.68\text{t}/\text{m}^2$ 으로, 주동토압의 약 0.5배 정도이다. 이때

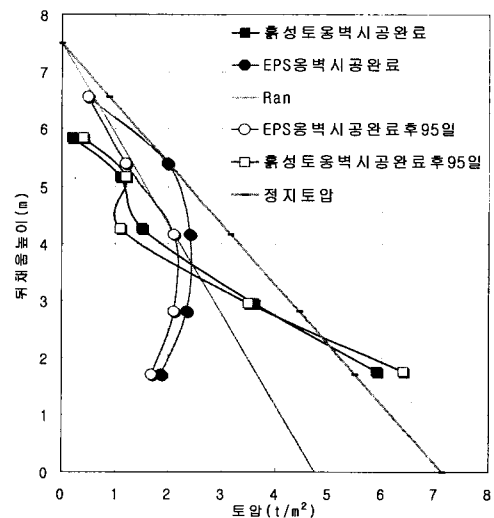


그림 5. 벽체높이에 따른 수평토압 변화 곡선

옹벽 상단부 수평토압의 증가는 아칭 효과 발현시 하부 토체들의 옹벽 구체측으로의 변위에 의한 하중 분담의 영향으로 사료된다. 또한, 이러한 사다리꼴 분포특성을 가정할 때 합력의 작용점은 대략 0.41H, 토압계수는 약 0.5Ka 정도로 평가되었으며, 특히 옹벽 하단부의 경우 옹벽 높이(수직응력)가 높을수록 더 수평토압 저감 효과를 기대할 수 있는 형태를 보이고 있다.

3.2.2 EPS 블록의 압축 변위

그림 6에서는 시간경과별 벽체높이에 따른 EPS 블록의 압축변위량을 보여준다. 그림 6에서 보듯이 콘크리트 옹벽내 EPS 블록의 압축변위량은 삼각형 형태로, 벽체 하단부로 갈수록 변위량이 큰 형태를 나타낸다. 또한, EPS 블록의 압축변위량은 시간경과에 따라 최대 토압이 작용하는 상부에서 다소 증가하고, 상대적으로 작은 토압이 작용하는 하부에서 다소 감소되는 형태를 보이고 있다. 이와 같은 변위 특성은 앞서 언급된 시간 진전에 따른 수평토압의 변화 특성과 일치하며, EPS 블록의 압축에 따른 토체내 변위 유발이 직접적으로 토압에 영향을 미친다는 것을 보여준다.

한편, 압축용 EPS블록을 이용한 콘크리트 옹벽의 시공완료 후 95일 경과시까지 최대수평변위는 대략 6mm

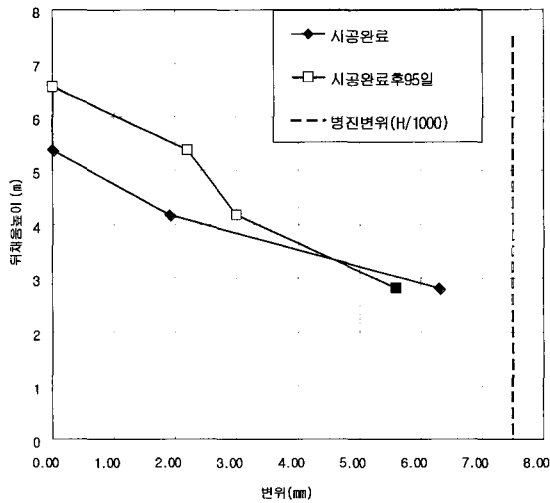


그림 6. 벽체높이에 따른 EPS 압축 변위량 곡선

표 1. 현장 시험 시공시 평가 항목

| 평가항목 | 사용 장비 | 계측기 설치 위치 및 갯수 | |
|-------------------|----------|--------------------------------------|----|
| | | 위치 | 갯수 |
| 암거상단의 수직토압 | 토압계 | 각 단면의 암거상단에 설치 | 6 |
| 보강재의 인장변형률 및 인장응력 | 스트레인 게이지 | 암거중심으로부터 0.0, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6m 지점 | 5 |

정도로 옹벽높이(H)의 0.08% 정도가 발생한 것으로 나타났으나, 이는 다소 작은 값으로 계측에 따른 문제인 것으로 판단된다.

4. 콘크리트 박스 암거의 시험시공 및 평가

4.1 현장 시험시공 개요

콘크리트 암거의 수직토압 저감방안으로 EPS 블록 및 지오그리드를 이용한 하중저감 기법의 현장 적용성 평가를 위한 시험시공 현장은 한국토지공사에서 수행한 아산국가공단 개발 사업에 의해서 해안매립을 통하여 조성한 공단내의 전기 및 통신선로용 매설암거 공사 현장이다. 본 현장의 기초지반은 매립 성토층이 3.0m~4.0m 정도가 원지반 점토층위에 매립되어 약 2년 정도가 경과되어 압밀이 거의 종료된 상태로 설계상으로는 현 매설암거가 설치되더라도 추가의 하중증가가 없어 장기간에 걸친 압밀침하에 의한 영향이 없을 것으로 판단되는 현장이다.

그림 7에서는 본 현장에서 수행된 EPS 블럭을 이용한 수직토압 저감효과와 지오그리드 인발저항에 따른 추가적인 아칭효과 유발에 따른 수직하중 저감효과를 평가하기 위한 시험시공 단면도를 보여준다. 그림 7에서 보듯이 시험대상구간은 EPS 블럭을 이용한 수직토압 경감효과를 평가하기 위해 흙 성토층, EPS 포설층, EPS/지오그리드 포설층 등으로 구분하여 시공되었으며, EPS 블럭은 D-15와 D-20 2종류를 사용하여 각각 15cm 씩 포설하는 방법으로 하였다.

수직토압 저감효과를 평가하기 위한 현장 시험 시공 시 평가 항목을 보여주는 다음의 표 1에서 보듯이 주요 평가 항목은 암거상단의 수직토압, 지오그리드 보강재의 인장 변형률 및 인장응력, 지중침하 등이며, 현장계측에 사용된 주요 장비는 토압계와 스트레인 게이지로써 토압계는 용량 2kg/cm²인 전기저항식의 토압계를 사용하였고, 스트레인 게이지는 플라스틱 계측용으로 최대계측 허용변형률 10%인 제품을 사용하였다. 여기서,

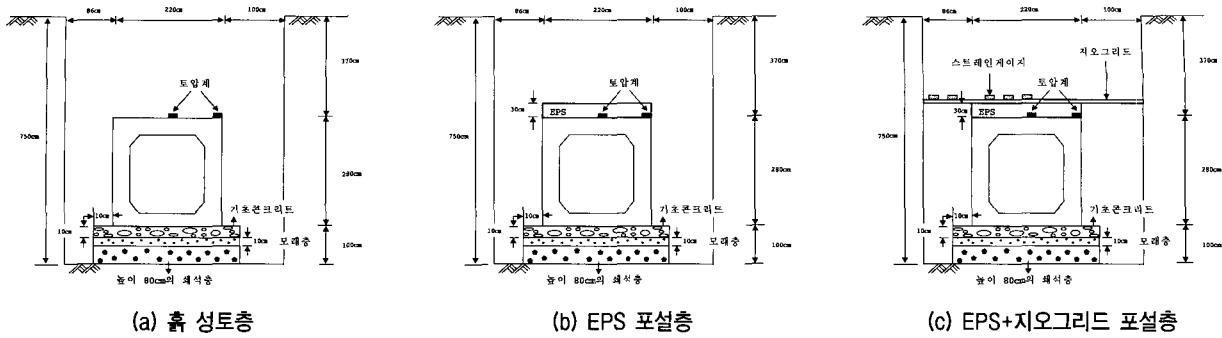


그림 7. 시험시공 현장의 EPS 및 계측기 매설단면도

지중침하 계측을 위한 침하계는 여름철 강우시 흙 손실과 그에 따른 복구과정에서 손실되어 계측결과를 신뢰할 수 없어 그 결과를 수록하지 않았다.

4.2 현장계측 결과 분석 및 평가

4.2.1 아칭재 포설에 따른 중앙부 수직토압 저감효과

다음의 그림 8 및 표 2에서는 시공구간별 매설암거 상단의 수직토압 측정 결과를 보여준다. 그림 8 및 표 2에서 보듯이 각 계측단면의 수직토압은 계측단면에 상관없이 성토 시공중인 계측 초기에 급격히 증가하다가 시공완료 후 일정해지는 경향을 나타낸다. 각 단면별 중앙부에 작용하는 수직토압은 계측이 완료된 시점에서 흙성토 구간의 경우 11.14t/m^2 , EPS 구간 경우 6.13t/m^2 , EPS/지오그리드 구간 5.26t/m^2 등으로 흙성토 구간에 대한 수직토압 저감효과는 EPS 성토층의 경우 45%, EPS/지오그리드 구간의 경우 53% 정도인 것으로 평가되었다.

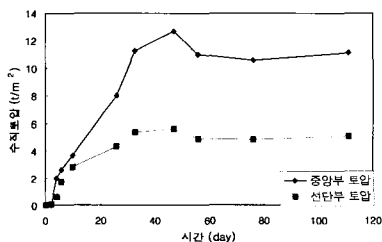
한편, 흙 성토 단면에서 계측된 수직토압 11.14t/m^2 은 도로설계요령(2002)의 규정에 따라 산정된 설계 수직토압(P_v) 7.66t/m^2 에 비해 상당히 큰 것으로 평가되었으며, 이는 기초지반이 연약지반인 경우 주변 지반과 압거 설

치부 사이에 부등침하가 발생하여 수직토압 산정에 이용되는 수직토압계수, α 를 최대 2.0까지로 제안하고 있는 일본 북해도 개발국(1991)의 연구결과와 일치한다. 이와 같은 수직토압 증가의 원인은 앞서 설명된 유도고랑암거의 하중저감 메카니즘과 반대의 개념으로 외적토체가 내적토체 보다 침하가 큰 경우, 상대적 침하량의 차이에 의해 발생된 전단력이 암거 상단에 작용하는 수직토압의 증가를 유발하는 것이다. 이에 반해 EPS 포설 단면의 경우 EPS의 압축변형에 의해 외적토체와 내적토체의 상대적 침하량이 흙 성토 단면에 비해 작아져 설계 수직토압에 비해 저감되며, EPS/지오그리드 포설 단면의 경우 EPS의 압축에 의해서 상대적 변위가 유발되

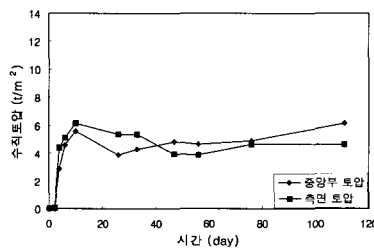
표 2. 각 단면에 작용하는 토압특성

| 항 목 | 단 면 | 흙 성토 구간 | EPS 구간 | EPS/지오그리드 구간 |
|---------------------------|-----|-------------------------|-----------------------------|---------------|
| | | 수직토압 (t/m^2) | 설계치(국내) ¹ 계측치 | 7.66 11.14 |
| 수직토압 저감효과(%) ² | | - | 45 | 53 |

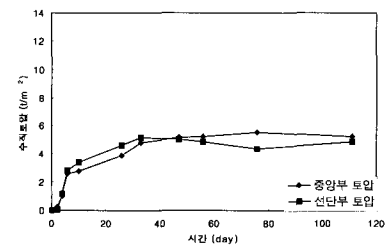
- 주) 1. 도로설계요령의 강성암거에 작용하는 연직토압 산정공식, $P_v = \alpha \cdot \gamma \cdot H$ 을 이용하였으며, 여기서 $\alpha=1.15\text{t/m}^2$, $\gamma=1.8\text{t/m}^3$, $H=3.7\text{m}$ 를 이용하였음.
2. 수직토압 저감효과는 아칭재를 포설하지 않은 흙 성토 단면을 기준으로 평가하였음.



(a) 흙 성토 구간



(b) EPS 구간



(c) EPS/지오그리드 구간

그림 8. 계측 구간별 토압측정 결과

고, 유발된 상대적 변위는 다시 지오그리드에 인장력을 유발시켜 아칭효과가 유발되는 토체 범위, 즉 아칭영역을 확대시킴으로써 수직하중 저감을 극대화시키는 메카니즘에 의해서 그 저감효과가 보다 큰 것으로 평가되었다.

4.2.2 중앙부와 선단부의 수직토압 분포

다음의 표 3에서는 각 단면별 암거 상단 중앙부와 선단부의 수직토압 측정 결과를 보여준다. 표 3에서 보듯이 각 단면별 선단부에 작용하는 수직토압은 흙성토 구간인 경우 5.02t/m², EPS 구간인 경우 4.61t/m², EPS/지오그리드 구간인 경우 4.9t/m²로 나타나 각 단면의 중앙부에 비해 작게 평가되었다. 한편, 암거 상단 지오그리드의 인장력 측정결과를 보여주는 그림 9에서 보듯이 지오그리드에 발생된 최대 인장력은 중앙부가 아닌 약 80cm 지점에서 발생함으로써 이 지점에서 상대적 침하차가 가장 큰 것으로 나타났다. 이와 같은 수직토압의 분포는 연약지반 상에 축조된 암거 상부에 작용하는 수직토압의 분포가 주변 지반에 비해 암거 상단 선단부에서 약간 감소한 후 점차 증가하다 선단부와 중앙부의 약 1/5 지점에서 최대가 되고 중앙부에서 약간 감소한다

는 Yuichi et al.(1996)의 연구결과(그림 10 참조)와 일치한다.

한편, 중앙부와 선단부 수직토압 차이를 살펴보면 흙성토 구간 6.08t/m², EPS 구간 1.52t/m², EPS/지오그리드 구간 0.36t/m²으로 나타났다. 이와 같은 중앙부와 선단부의 수직토압 차이는 앞서 설명한 바와 같이 내적토체와 외적토체의 상대적 침하량의 크기와 아칭재로서 EPS와 지오그리드의 작용에 의한 것으로 판단된다.

4. 결론

본 논문에서는 지반구조물의 하중 저감을 위한 아칭재로서의 EPS 블록 및 지오그리드의 현장 적용성 평가를 위하여 콘크리트 옹벽과 콘크리트 박스 암거를 대상으로 현장 시험시공을 수행하여 토압 저감 효과 및 특성을 분석하여 다음과 같은 결론에 도달하였다.

- (1) EPS 블록을 이용한 콘크리트 옹벽의 수평토압은 벽체 하단부로 갈수록 변위량이 큰 삼각형 형태의 EPS 블록 압축특성에 직접적인 영향을 받아 사다리꼴 형태의 토압분포특성을 가지며, 합력의 작용점이 대략

표 3. 각 단면 중앙부와 선단부에 작용하는 수직토압 특성

| 항 목 | 단 면 | | 흙 성토 구간 | EPS 구간 | EPS/지오그리드 구간 |
|---------------------------|-----|-----|---------|--------|--------------|
| | 중앙부 | 선단부 | | | |
| 수직토압 (t/m ²) | 중앙부 | | 11.14 | 6.13 | 5.26 |
| | 선단부 | | 5.02 | 4.61 | 4.9 |
| 중앙부와 선단부의 수직토압차이 | | | 6.08 | 1.52 | 0.36 |
| 수직토압 저감효과(%) ¹ | 중앙부 | | - | 45 | 53 |
| | 선단부 | | - | 8.2 | 2.4 |

주) 1. 수직토압 저감효과는 아칭재를 포설하지 않은 흙 성토 단면을 기준으로 평가하였음.

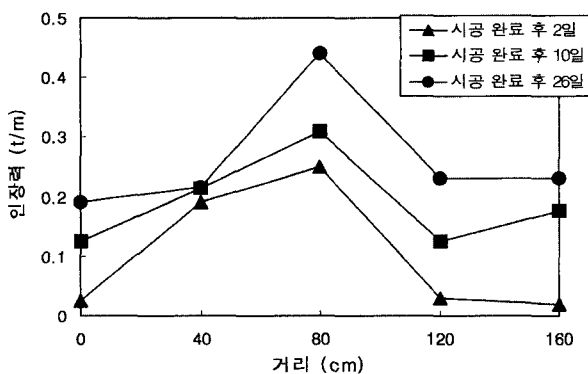


그림 9. 암거 상단 지오그리드의 인장력

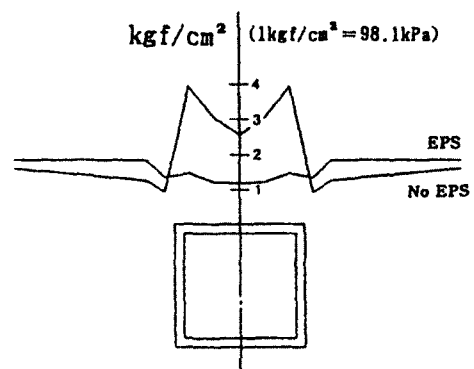


그림 10. 암거 상단 수직토압 분포도(Yuichi et al., 1996)

0.41H 정도로, 토압계수는 약 0.5Ka 정도로 평가되었다.

- (2) 각 단면별 중앙부에 작용하는 수직토압은 계측이 완료된 시점에서 흙성토 구간은 11.14t/m², EPS 구간은 6.13t/m², EPS/지오그리드 구간은 5.26t/m² 등으로 흙성토 구간에 대한 수직토압 저감효과는 EPS 성토층의 경우 45%, EPS/지오그리드 구간의 경우 53% 정도인 것으로 평가되었다.
- (3) 암거 상단 선단부에 작용하는 수직토압은 흙성토 구간의 경우 5.02t/m², EPS 구간의 경우 4.61t/m², EPS/지오그리드 구간의 경우 4.9t/m²로 나타나 중앙부에 비해 작은 것으로 평가되었으며, 중앙부와 선단부 수직토압 차이는 흙성토 구간 6.08t/m², EPS 구간 1.52t/m², EPS/지오그리드 구간 0.36t/m²로 나타나 아칭재를 사용할 경우 그 차이가 적은 것으로 평가되었다.

참 고 문 헌

1. 김명모 (2000), "옹벽의 설계 자동화기법에 관한 연구", '97 건설교통기술연구개발사업 보고서.
2. 한국도로공사 (2002), "도로설계요령 제2권 토공 및 배수", 한국도로공사, 2002년.
3. Duncan, J. M. & Seed R. B. (1986). "FE analyses : Compaction-induced stresses and deformations." *J. Geotech. Eng. ASCE*, 112(1), pp.23-43.
4. Hokkaido Development Bureau (1991), "Guidelines for Design and Execution of load construction".
5. Ingold, T. S. (1979). "Retaining Wall Performance during Backfilling", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Volume 105, Issue 5, pp.613-626.
6. J. S. Horvath (1996), "The Compressible-Inclusion Function of EPS Geofoam : An Overview", Int. Symp. on EPS Construction Method, 1996, pp.72-81.
7. Murphy, G. (1997), "The influence of geofoam creep on the performance of a compressible inclusion." *Geotextiles and Geomembranes*. 1997. Vol.15, pp.121-131.
8. NRRL (1994), "Rigid Culverts Beneath High Fills, Long Term Behavior", Publication No.74, NRRL, p.70.
9. Scheer, A. C., and Willett, G. A., Jr. (1969), "Rebuilt Wolf Creek Culvert Behavior", Highway Research Board Rec.
10. Sladen J. A. & Oswell J. M.(1988), "The Induced Trench Method - a Critical Review and Case History", *CAN. GEOTECH. J.*, Vol.25, pp.541-549.
11. Taylor R. K. (1973), "Induced Trench Method of Culvert Installation", Discussion by M. G. Spangler, Highway Research Board Rec.
12. Yuichi Ooe, Yasuaki Matsuda, Shuichi Tada, Jun'ichi Nishikawa (1996), "Earth Pressure Reduction for Culverts Using EPS", *Proc. International Symposium on EPS Construction Method (EPS TOKYO '96)*, TOKYO, pp.214-221.

(접수일자 2003. 10. 30, 심사완료일 2004. 2. 10)