

토목섬유튜브를 이용한 교대-토공 접속부 토압저감기법.

Earth pressure reduction method in Railway bridge abutment
using Geosynthetics Tube

김자연*, 박양후**, 조국환*†

Kim Ja Yeon*, Park Yang Hoo**, Cho Kook-Hwan†

Abstract Recently, construction regulation has been tighten up in transitional zone. Excessive compacting on the rear of abutment to get compaction requirement causes higher earth pressure effects on than Design values. in order to reduce earth pressure and to satisfy with tack support stiffness. The use geosynthetics tube was tested, it shows that 120% of support stiffness is increased, however 75~90% of lateral earth pressure are decreased than existing transitional zones. The long term stability was evaluation by using numerical analysis, and the results show that 85% of lateral earth pressure are decreased than existing transitional zones. Fully satisfied support stiffness and decreased effect on earth pressure on abutment than existing transitional zones are remarkably noted when in case of constructing transitional zones by using Geosynthetics Tube.

Keywords : transitional zone, Geosynthetics Tube., earth pressure reduction method, Full scale test,

초 록 최근 구조물 토공 접속부 시공이 늘어남에 따라 접속부에 대한 관리 규정도 점차 강화되어가는 추세이다. 교대 배면의 뒷채움부를 소요 지지 강성을 얻기 위하여 과도한 다짐을 실시 할 경우 교대에 설계 토압 보다 큰 토압이 작용하여 교대의 손상을 야기할 수 있다. 본 연구에서는 접속부의 소요지지강도를 얻고, 교대에 작용하는 토압을 현저히 줄이기 위하여 토목섬유튜브를 사용하여 뒷채움재에 자립성을 확보하여 교대를 시공하는 방법을 제시하고자 한다. 실 대형실험을 수행한 결과 기존 접속부 보다 지지력은 약 120% 증가하고, 수평토압은 약 75~90%까지 저감되는 것으로 나타났다. 수치해석을 통하여 10년간의 장기 안정성을 평가한 결과 수평응력이 최대 85%까지 저감되어 교대에 미치는 응력이 줄어들어 따라 장기 안정성에도 문제가 없는 것으로 나타났다. 토목섬유튜브를 사용하여 접속부를 시공하는 경우 소요 지지강도를 충분히 만족시키고, 기존 접속부에 비해 교대에 미치는 토압의 영향이 현저히 줄어들 수 있었다.

주요어 : 교대-토공 접속부, 토목섬유튜브, 토압 저감, 실대형실험, 수치해석

1. 서 론

최근 우리나라는 경제성장을 기반으로 도로 및 철도 인프라 구축에 많은 투자가 되고 있으며, 우리나라 특성상 도로 및 철도 건설 시 교량과 터널시공이 많이 이루어 지고 있어 교대-토공 접속부 시공이 증가 하고 있다.

† 교신저자: 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 교수
(khcho@seoultech.ac.kr)

* 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 석사과정

** 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 박사과정

구조물 접속부는 하부 구조물의 지지강성이 변화하는 구간을 말하며, 구조물 접속부에서 불균등 침하가 생기면 충격하중이 발생되어 노반의 침하를 가속시키는 결과를 초래한다. 이러한 이유로 이 구간을 취약구간으로 구분하여 교대 배면의 뒷채움재는 시멘트 처리된 입도조정쇄석으로 $E_{V2} \geq 120MN/m^2$ 와 $E_{V2}/E_{V1} < 2.2$ 의 설계기준을 제시하여 관리하고 있다. 그러나 현장에서 설계기준에 만족하는 지지강성을 확보하기 위해 다짐 장비를 이용하여 다짐을 수행하는 경우 교대 배면의 과 다짐을 유발하게 된다. 이러한 과도한 다짐으로 발생한 토압은 교대의 측방유동을 야기할 수 있고, 과도한 토압을 견디기 위해 교대의 거대화로서 공비가 늘어나게 되는 결과를 초래한다. 본 논문에서는 토목섬유 튜브를 이용하여 교대 배면에 자립성을 주어 교대에 미치는 토압을 저감시키고자 한다. 이를 반복 하중 재하 시험과 수치해석을 통해 알아보려고 한다.

2. 구조물-토공 접속부 보강기법

구조물 접속부의 소요 다짐도를 충분히 확보하며, 시공 시 대형기계다짐과 과도한 다짐으로 인한 교대변형을 개선하고, 운영 중 교대에 작용하는 수평토압을 경감시켜 교대구조물의 변형과 이로 인한 어프로치블록의 침하를 방지하기 위한 공법의 필요성이 제기되었다. 구조물-토공 접속부 보강에 대한 국외사례를 살펴보면 보강토 (MSE : Mechanically Stabilized Earth) 또는 토목섬유 보강토 (GRS : Geosynthetic Reinforced Soil) 옹벽 등의 방식이 노반에서 발생하는 과도한 침하문제를 해결 할 수 있는 것으로 보고하고 있다(Burke, 1987). 전형적인 보강토 교대는 강제 스트립과 같은 인공 보강재를 교대 구조물에 설치하는 것으로 Fig.1과 같다. 최근에는 보강재로 토목섬유를 사용하는 토목섬유 보강토 교대가 주목을 받고 있으며, 이러한 보강방법들은 노선방향에 비해 구속력이 작은 노반의 측방영역에 대한 변위억제 효과로 침하에 대한 안정성을 향상시키는 것으로 추정된다. 일본의 경우 내진성능이 뛰어난 보강토 공법에 대한 연구를 꾸준히 진행하여 최근 토목섬유 보강재와 쏘일시멘트 개량공법을 병용하여 교대배면의 변형억제효과가 큰 시멘트 개량 보강토 교대를 개발하였다.

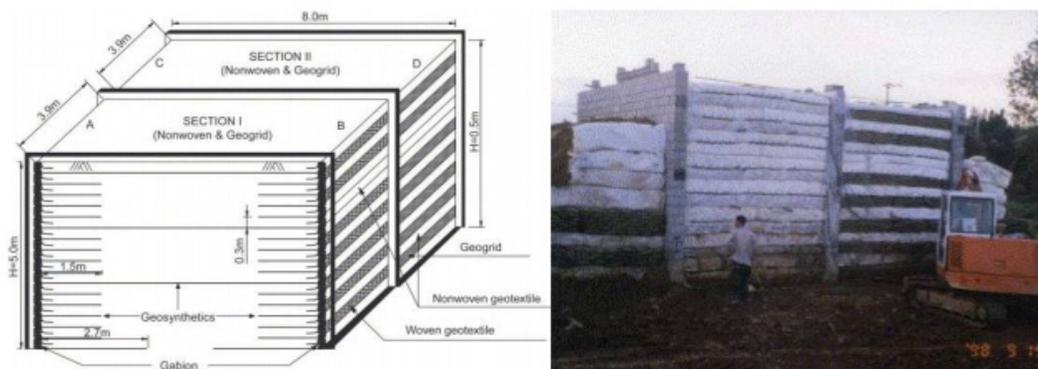


Fig 1 토목섬유 보강토(GRS wall)교대 (Won and Kim, 2007)

3. 실대형 실험

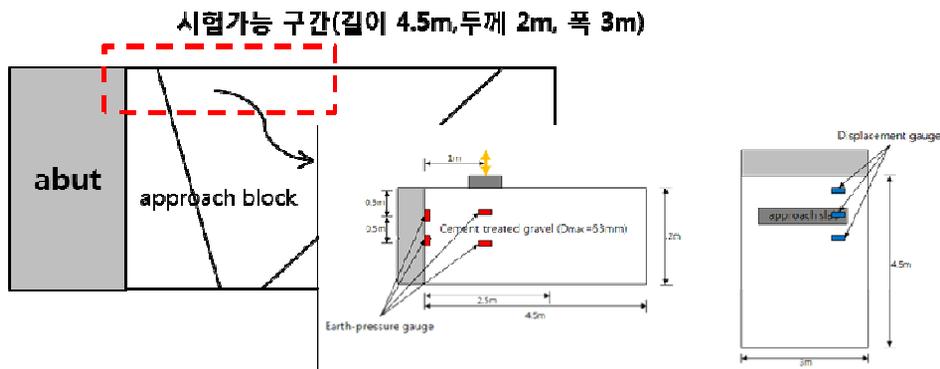
3.1 토조 구성

실험단면은 토목섬유튜브로 보강된 접속부 구간과 기존 접속부 구간의 성능을 동일조건하에서 조성하고 비교하고자 한다. 시험노반 조성에 활용된 토조의 제원은 4.5m (길이) × 2m (깊이) × 3m (폭)으로 실제현장을 모사할 수 있도록 하였다. 하중이 가장 크게 걸리는 조건을 설정하기 위하여 호남고속철도 접속부 단면에서 어프로치슬래브를 제외시킨 단면을 토조에 조성하였다. 교대의 배면의 노반조성은 기존접속부의 경우 입도조정쇄석의 중량대비 3%의 시멘트를 섞은 시멘트 처리된 입도조정쇄석을 사용하고, 토목섬유튜브를 사용한 접속부의 경우 토목섬유튜브와 시멘트 처리한 흙을 사용하여 부설하였다. 입도조정쇄석의 경우 체분석실험(KS F 2502)을 통하여 현장에서 사용하는 재료를 사용해 고속철도 노반시방서를 준용하여 시공하였다. 토목섬유튜브로 보강된 접속부의 뒷채움재로 사용된 재료는 40mm 자갈과 풍화토를 2:1 로 섞은 혼합골재에 시멘트를 3%섞어서 사용하였다. 토목섬유튜브 안에 시멘트 처리된 흙을 채움도 변화에 따른 인장변형 거동을 고려하여 80% 채움을 실시하여 횡방향 변위가 발생하지 않도록 하였다.

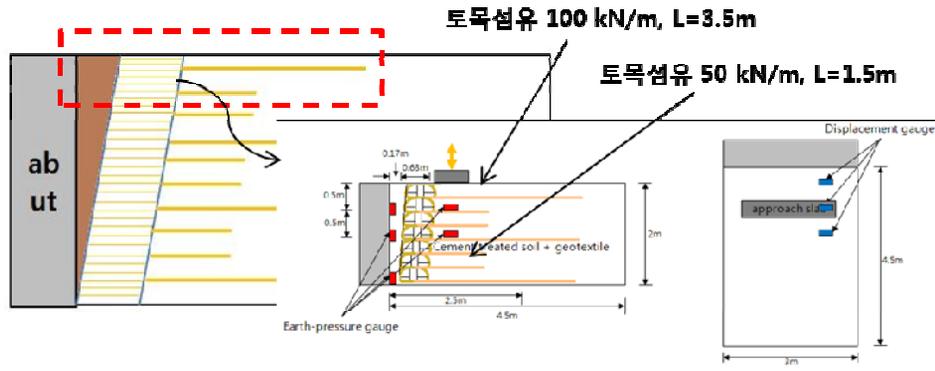
3.2 실험단면 및 실험방법

토조에 재현할 수 있는 단면이 제한적이기 때문에 전체 접속부 구간에서 그림 2 에서 보는 것 같이 점선박스 부분만을 가지고 시공하였다. 단면은 총 7 개층으로 구성되어있고 한층 당 약 30cm 의 두께로 부설하였다. 실험 시 기초지반을 3.5ton 의 롤러를 이용하여 왕복 5 회 다짐을 실시하였다. 실험단면의 다짐상태 평가를 위하여 반복 평판 재하시험을 수행하였다. 기존접속부의 변형계수(E_{v2})는 355MPa, 토목섬유튜브로 보강된 접속부는 450MPa 로서 후자가 더 지지력이 큰 것으로 나타났다. 접속부 다짐기준은 변형계수(E_{v2})가 120MPa 이상이기 때문에 시방기준은 충분히 만족하고 있다.

토압계는 0.5m, 1m심도에 수직 및 수평방향에 설치되어 수직하중에 대한 토압성분과 교대에 작용하는 수평하중의 크기를 측정하고자 하였다. 하중은 교대에서부터 1m위치에 재하 하였다.



(a) 기존 접속부 단면



(b) 토목섬유튜브를 사용한 집속부 단면

Fig 2 집속부 구조별 실험단면

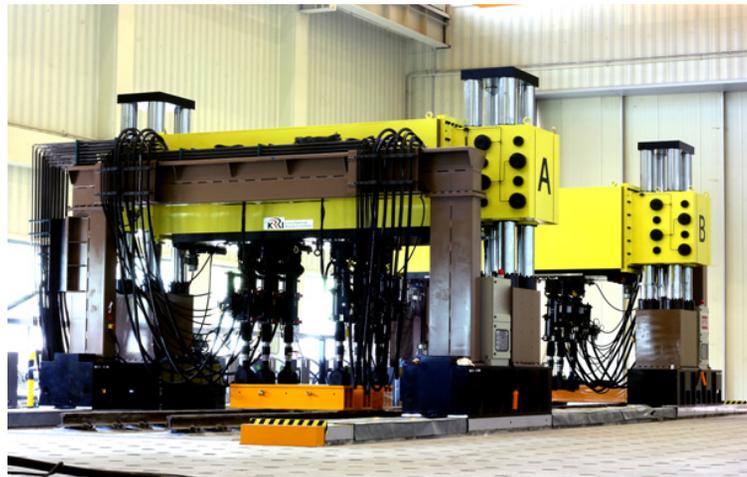


Fig 3 RLS(Railroad Loading System) 시험장비]

실험장비는 철도연구원에서 보유하고 있는 그림 3에서 보는 것과 같이 RLS(Railroad Loading System)장비를 활용하였다. 이 시험장비는 12축의 재하축을 이용하여 이동하중을 재현할 수 있는 시험장비로서 최대 1470kN까지 재하가 가능하다. 실험에 사용된 하중은 실제 노반에서 작용하는 최대설계하중으로 173.5kN (86.7kN/acuator)으로 300kPa 적용하였다. 재하판의 면적은 330×1,800mm이다. 정적 하중 재하 시험 후 현재 경부선의 통과톤수를 고려하여 200만회(약3년상당)의 반복하중을 재하 하여 시험을 수행하였다. 초기 실험단면의 안정화를 위하여 정적 하중 상태에서 단계적으로 하중을 증가시켜 최대하중까지 재하 한 후, 0.5Hz로 2,000회까지 저속의 반복하중을 재하 하여 충분히 안정화한 후, 반복재하실험을 실시하였다. 반복재하 횟수는 총 200만회이며 100만회 재하 후 집속부 재료를 충분히 포화시킨 후 100만회를 추가 재하 하였다. 실험에 사용된 하중패턴은 다음과 같다.

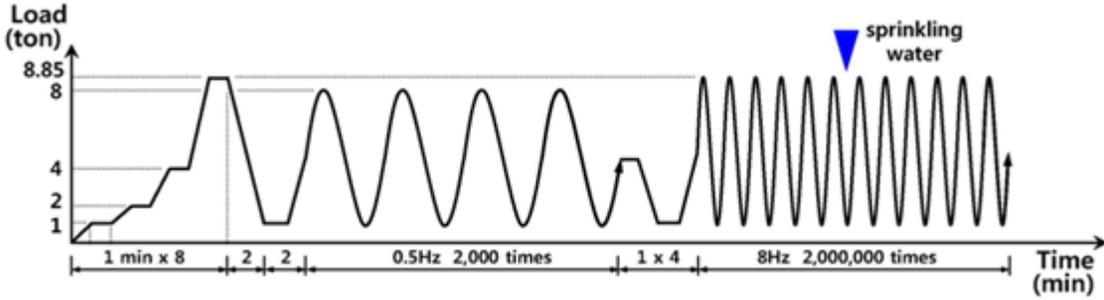


Fig 4 하중 재하 패턴

3.3 실험결과

Fig 5 (a)는 200만회 재하 횟수 동안의 수평토압, Fig 5(b)는 수직토압의 변화를 접속부 별로 비교하여 나타내었다. 기존 접속부 구조는 다짐 직후에는 심도 0.5m에서 14kPa, 심도 1m에서는 22kPa의 수평토압이 작용한다. 반복 재하가 실시되면 심도 0.5m에서 45kPa로 증가하며 재하횟수에 따라 60kPa까지 증가한다. 심도 1m에서는 45kPa로 증가하여 그 이후에는 반복재하 횟수와 상관없이 일정한 수평토압이 작용하였다.

토목섬유튜브접속부가 기존 접속부 구조보다 수평토압이 작은 것은 토목섬유튜브를 사용한 접속부 구조에서 사용된 토목섬유의 인장보강효과로서 수평토압의 감소에 영향을 미쳤다고 할 수 있다.

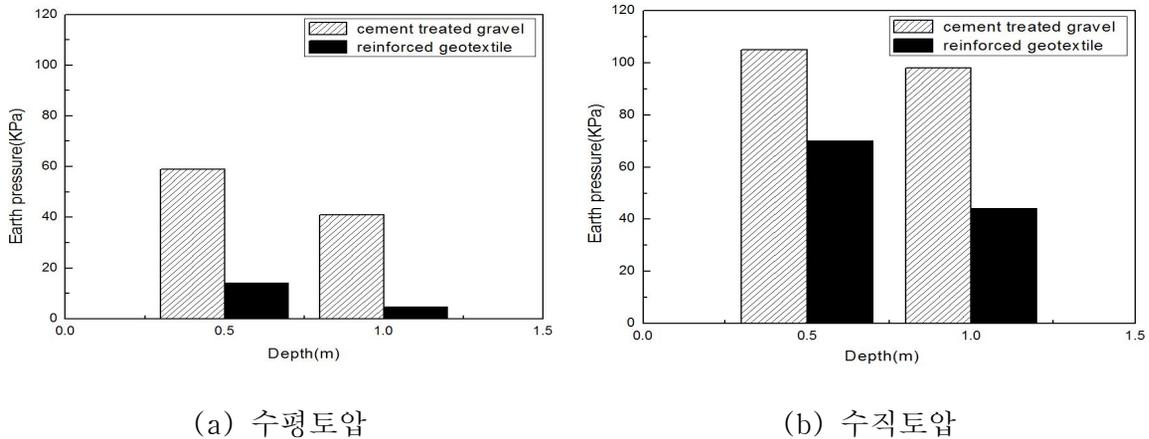


Fig 5 반복 하중 재하 시험 결과

4. 수치해석

4.1 수치해석 개요

철도에서는 300km/h이상 고속으로 주행하는 열차의 대용량 반복 동하중에 대한 쌓기부의 내구연한을 80년으로 보고 유지관리를 시행하고 있다. 접속부 구간의 경우 매우 하중에 대한 민감도가 큰 지역이므로, 수치해석을 통한 장기안정성검토가 필요하다.

본 해석은 교량/토공 접속부 구조물이 받는 수평응력 분포를 간극수압이 소산되고 압밀이

진행되어 10년간의 교대에 미치는 응력을 검토하여 장기안정성을 평가하기 위해 수행되었다. 수치해석은 2차원 지반공학 전용 유한요소해석 프로그램인 Plaxis 2D를 이용하여 수행하였다. 더욱 정확한 해석 결과를 얻기 위하여 15절점 요소를 선택하였다. 또한 모델링 시에 지반재료의 성질에 따라 해석방법의 차이가 있기 때문에 Mohr-Coulomb model과 자갈 및 Soil cement에서 사용되는 Linear Elastic을 구분하여 적용하였다. 물성타입은 배수와 비배수 조건을 각각 적용시켜 해석을 수행하였다. 보강토 공법의 Geotextile은 특수한 인장전용 Geogrid 요소로 모형화 하였으며, 압밀해석은 최종 압밀상태 및 시간단계별 압밀상태 해석을 수행하였다. 모델링에 사용된 물성치는 아래 표 3.1과 같으며 기존 해석 자료와 실내시험으로 얻은 값을 적용하였다.

Table 1 Model Properties

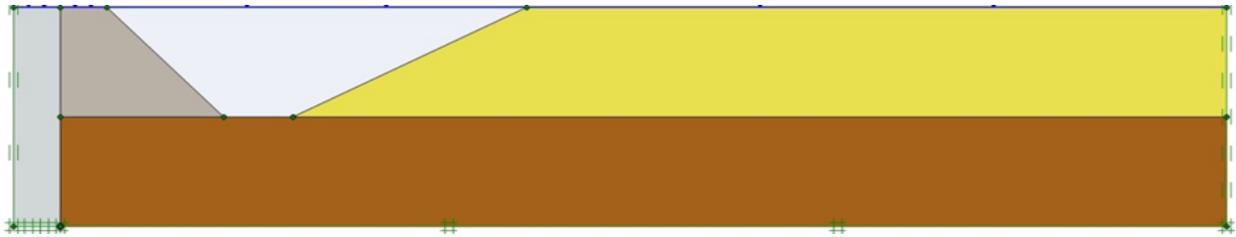
Material	Model	Young's modulus(MPa)	Poisson's ratio	Cohesion (KN/m^2)	Friction angle($^{\circ}$)
Abutment	Elastic	2.0×10^4	0.21	-	-
Approach block	Elastic	1.6×10^4	0.21	-	-
Rock	M-C	2.0×10^2	0.33	1	29
Gravel	M-C	2.0×10^2	0.21	-	35
Cement treated Gravel	Elastic	8.0×10^2	0.21	-	-
Cement treated soil	Elastic	3.6×10^2	0.21	-	-
Soil	M-C	1.0×10^2	0.33	2	30

4.2 수치해석

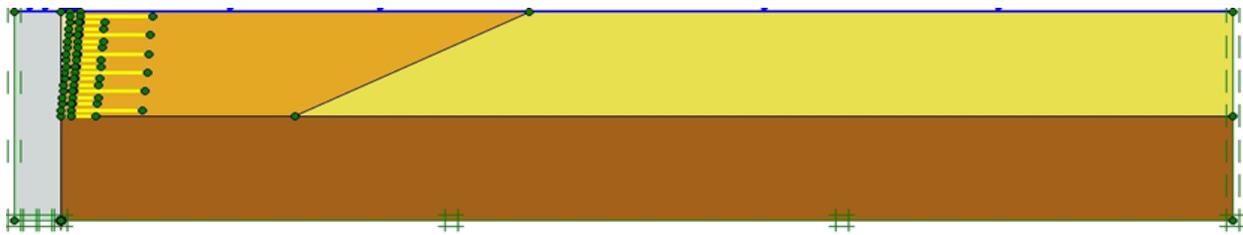
수치해석에 사용된 하중은 실제 실험실에서 고속철도의 이동하중을 고려하여 각 모델에 60의 등분포하중을 적용하였다. 모델링은 기존 접속부 모델(그림 5.1(a))에서는 교대, 시멘트 처리된 자갈, 자갈, Soil로 구성되었으며 총 너비는 30m, 높이는 5m로 모델링 되었다. 각 물성의 위치는 설계기준에 맞추어 교대로부터 2m지점에서 1:1의기울기를 적용하였으며, 그 지점으로부터 3m떨어진 지점부터 다시 2:1의 기울기를 적용하여 교대 상부로부터 20m되는 곳으로 그 구역을 정하였다. 물성이 적용된 순서는 교대, 시멘트 처리된 자갈, 자갈, 노반 순으로 되어있다.

토목섬유 보강 모델(그림 4.1(b))은 교대, 시멘트 처리된 흙, 노반으로 구성되어있다. 교대 아랫부분과 시멘트 처리된 흙이 만나는 지점부터 상부 끝까지 12:1의 기울기로 30cm간

격으로 토목섬유(Geotextile)를 보강하였다. 수치해석 시 기간은 10년을 주어 해석을 수행하였다.



(a) 기존 접속부 해석 모델

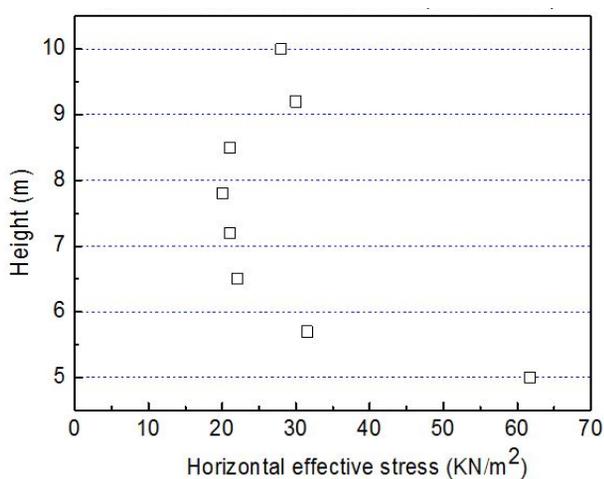


(b) 토목섬유로 보강한 접속부 해석 모델

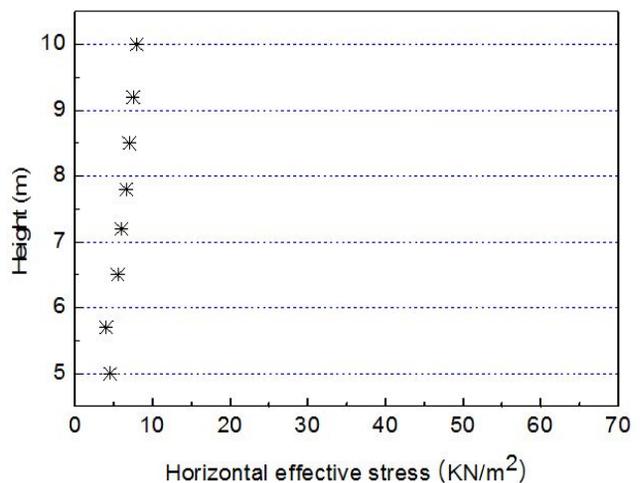
Fig 6 수치해석 기본 모델

4.3 수치해석 결과

그림 7은 각 구조물이 받는 유효응력과 옹벽에서 받는 수평응력을 나타낸 그림이다. 그림 7 (a) 기존 접속부는 옹벽 상부와 하부에서 최대값이 나타났으며 그 크기는 61.18 KN/m^2 이다. 그림 7 (b) 토목섬유튜브로 보강된 접속부의 구조물에서 받는 수평응력 분포는 전체적으로 비슷하나 그 크기가 7.95 KN/m^2 로 기존구조물과 비교 했을 경우에 약 85%의 수평응력이 저감됨을 알 수 있다.



(a) 기존 접속부



(b) 토목섬유튜브를 이용한 접속부

Fig 7 접속부 별 교대에서 받는 수평응력

5. 결론

본 연구에서는 시멘트 섞은 자갈을 교대 뒷채움 재료 사용한 기존접속부와 토목섬유튜브에 시멘트 섞은 흙을 채워 뒷채움재로 사용한 토목섬유튜브접속부와 기존 접속부를 반복 하중 재하 시험과 수치해석을 통해 비교 검증 하였다.

1. 반복재하시험 결과 시멘트 처리된 입도조정쇄석을 사용하는 기존 접속부는 355MPa, 토목섬유와 시멘트처리 된 흙을 사용하는 토목섬유튜브를 적용한 접속부는 450MPa로서 토목섬유튜브 적용한 접속부가 약 20% 지지력이 큰 것으로 나타났다.

2. 수평토압은 기존 접속부는 심도 0.5m에서 14kPa ~ 60kPa, 심도 1m에서 22kPa ~ 45kPa의 토압분포를 보였고, 토목섬유튜브 적용한 접속부는 심도 0.5m와 1m에서 0.1~0.3kPa의 토압분포를 보였다. 토목섬유튜브를 적용한 접속부가 기존접속부에 비해 수평토압은 최대 90%, 수직토압은 최대 60%의 토압저감효과가 있는 것으로 나타났다.

3. 수치해석 결과 기존 접속부의 수평응력은 옹벽 상부와 하부에서 최대값이 나타났으며 그 크기는 61.18KN/m^2 이다. 토목섬유를 적용한 접속부에서는 수평응력의 분포 형태가 비슷하나. 그 크기가 7.95KN/m^2 으로 기존 접속부와 비교 했을 경우에 최대 85%의 수평응력이 저감되었다.

반복재하시험과 수치해석을 통하여 토목섬유튜브를 적용한 접속부에 대해 검토한 결과 수직응력 수평응력이 감소하였고, 교대 배면 지지력이 약 20% 증가하였기 때문에 접속부 시공 시 토목섬유튜브 적용하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 최혜강 (2005) 연약지반 지오그리드 보강의 실무 적용에 대한 연구, 성균관 대학교 과학기술 대학원 석사논문
- [2] 이일화 (20012) 열차하중 작용시 블록식 보강토 옹벽으로 지지된 철도 노반의 거동, 한국철도학회 논문집, 제 15권 제5호. pp. 467-478
- [3] 유충식 (2010) 보강토 교대 구조물의 하중지지 특성에 관한 3차원 유한요소 해석, 한국지반공학회 논문집, 제 26권 제5호, pp. 15-35.
- [4] 김대상, 박성용, 김수일(2008), 평판재하시험을 이용한 지반반력계수와 변형률계수의 상관관계평가, 한국지반공학회 논문집 제 24권 제 6호, pp. 57-67