

토목섬유를 이용한 철도용 보강토교대의 배면토압 저감효과에 대한 실험적 연구

Experimental study on reduction effect of earth pressure behind abutment for geosynthetic-reinforced abutment for railway

이일화[†], 최원일^{*}, 조국환^{**}, 이주공^{***}, 홍은수^{***}, 이강명^{****}

Il-Wha Lee[†], Won-Il Choi^{*}, Kook-Hwan Cho^{**}, Joo-Gong Lee^{***}, Eun-Soo Hong^{***}, Kang-Myung Lee^{****}

Abstract Geosynthetic-reinforced transition structure is suggested to improve the performance of existing bridge-earthwork transition structure. The suggested transition which reinforcing the approach block using high-tension geotextile has a similar structure with the earth reinforced abutment. The used backfill material is cement treated soil and gravel. This material is reducing water intrusion into the approach block and increasing uses the surplus earth materials. As experiment is performed under the same condition to compare with the existing transition structure. Evaluation items are vertical and horizontal earth pressure acting on abutment. As results of real-scale accelerated testing, the suggested transition structure has excellent performance for the reduction of earth pressure and settlement.

Keywords : geosynthetic-reinforced abutment, transition structure, earth pressure

초 록 기존의 교량-토공 접속구조의 단점을 보완하고 성능을 개선하기 위한 방안으로 토목섬유와 시멘트처리뒤채움재로 보강된 접속구조를 제안하고 실물가속실험을 이용하여 교대배면에 발생하는 수직 및 수평토압의 저감성능을 평가하였다. 제안된 접속구조는 토목섬유를 이용하여 어프로치블럭을 보강하는 보강토 교대의 일종으로서 재료는 시멘트처리된 흙자갈을 사용하여 유용토의 활용을 증대시키고 우수 침입을 저감시켰다. 실물가속실험 결과, 제안 보강토교대는 토압저감에 탁월한 효과가 있는 것으로 나타났다.

주요어 : : 보강토 교대, 접속부, 토압

1. 서론

본 논문에서는 기존의 교량-토공 접속구조의 단점을 보완하고 성능을 개선하기 위한 방안으로 토목섬유와 시멘트처리뒤채움재로 보강된 보강토교대의 구조를 제안하고 예측평가를 위한 실물가속실험을 수행하였다. 제안된 보강토교대는 토목섬유를 이용하여 교대와 별개로 어프로치블럭을 시공하여 교대에 토압이 작용하지 않게 하였으며, 토목섬유보강을 통하여 강성을 증대시켰다. 또한 사용재료를 시멘트처리된 흙자갈을 적용함으로써 유용토의 활용을 증대시키고 우수의 침입을 저감시키고자 하였다. 검토방안은 제안구조와 현재 적용중인

† 교신저자: 한국철도기술연구원 첨단인프라연구단 책임연구원(iwlee@krri.re.kr)

* 한국철도시설공단 녹색철도연구원시설연구부장

** 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과, 부교수

*** (주)본이앤씨

**** 한국철도기술연구원 첨단인프라연구단 연구원

기존구조에 대하여 동일조건하에서 실물가속시험을 실시하여 각 조건별 교대에 작용하는 수평 및 수직 토압을 검토하였다.

2. 보강토 공법을 이용한 접속구조의 개발 현황

최근 연구동향을 살펴보면 구조 및 재료적 개선과 더불어 토목섬유 등을 활용한 다양한 보강방안 연구도 활발히 진행되고 있다[1,2,3]. 접속부 보강사례를 살펴보면 보강토(MSE; Mechanically Stabilities Earth) 또는 토목섬유 보강토 (GRS; Geosynthetic Reinforced Soil) 방식이 다양하게 적용되고 있으며, 최근에는 접속부의 역할과 교대의 역할을 같이 수행하는 보강토 교대가 주목을 받고 있다[3]. 보강토 교대는 교대 자체를 보강토공법을 적용함으로써 접속부에서의 단차발생을 최소화하고 건설비도 절감하는 효과를 얻을 수 있다. 보강토 교대는 미국을 중심으로 활발하게 연구되어 도로분야에 적용되고 있으며 철도분야에서는 주로 일본에서 연구가 진행 중인데 내진보강이 주 목적으로 토목섬유로 보강된 보강토교대를 적용하고 있다[4]. 보강토 재료는 일반적인 성토재를 이용한 경우와 어프로치 블록 부분을 시멘트로 개량하여 이용하는 경우가 있다. 일본 신간선에서 적용한 시멘트개량 보강토교대는 Fig.1과 같이 시멘트 개량 어프로치블럭, 토목섬유 및 철근 콘크리트 교대 본체로 구성된다 [5].

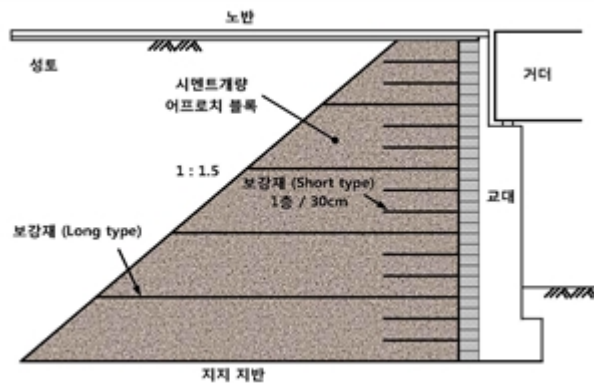


Fig. 1 Cement treated geosynthetic-reinforced abutment structure

보강토 교대는 시멘트 개량토의 자립성이 높기 때문에 이론적으로는 교대에 토압이 거의 작용하지 않는다. 따라서 신간선 기준으로 교대 두께를 1m까지 슬림화하여 건설비를 대폭적으로 절감할 수 있는 장점이 있다. 일본에서는 보강토교대의 연구결과가 매우 만족할만한 성과를 나타내었기 때문에 2007년에 정식으로 채택되어 설계표준화 되어 있다[5].



Fig. 2 Application of geosynthetic-reinforced abutment (Kyushu shinkansen)

3. 토압경감 및 침하억제를 위한 토목섬유보강토 교대

Fig.3은 토목섬유로 보강된 접속구조에 대한 표준단면으로서 등장보강재 길이의 최소 길이는 1.5m 이상 또는 0.35h (높이)를 적용하였다. 선로방향 보강재의 길이는 하단부가 길고 상단부로 갈수록 짧도록 설계하였다(1:1.5의 경사). 또한 층 간격은 30cm로 하였다. 토목섬유보강토 교대의 경우 일본의 경우와 같이 상부로부터 매 2단을 보강재 최소 길이의 등장보강재를 적용하고 매 세 번째 단에는 장척보강재를 적용하였다. 보강재 인장강도는 통상적으로 생산되는 5ton/m, 10ton/m 강도의 토목섬유를 적용하는 것으로 하였다. 또한 보강재 끝단은 토목섬유를 타원형으로 둥글게 말아 내부에 뒤채움재를 채우는 방식으로 자립도를 확보하도록 하였다.

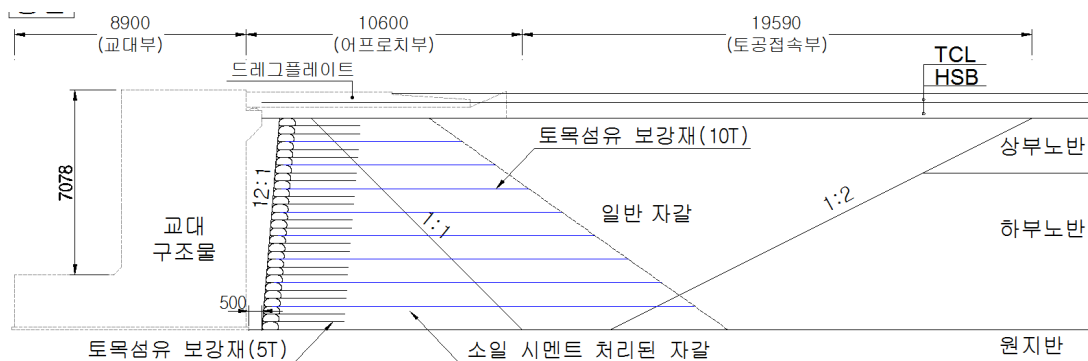


Fig. 3 Test section

4. 접속구조별 토압특성

기존 접속구조의 경우에는 교대 건설 후 중량의 다짐장비로 뒤채움을 하기 때문에 과도한

토압이 교대에 작용하지만, 섬유보강형 접속구조의 경우에는 토목섬유로 보강된 어프로치블럭을 먼저 시공한 후, 교대를 시공하기 때문에 교대에 작용하는 토압은 매우 작다. 본 절에서는 교대에 발생하는 수평 및 수직토압의 저감효과를 정량적으로 평가하기 위하여 시험토조의 수직 및 수평방향에 층별로 토압계를 설치하고 재하횟수에 따른 토압의 크기 및 변화 특성을 검토하였다.

Fig.4는 기존 접속구조 교대에 작용하는 수평토압을 깊이별 및 재하횟수별로 나타낸 그림이다. 그림에서 토압계는 심도 0.5m, 1m에 각각 설치되었으며 반복횟수는 함수비 변화에 따른 영향도 같이 검토하기 위하여 백만회 재하 이후에 살수를 실시하고 포화상태에서 추가적으로 백만회를 재하하여 토압변화를 검토하였다. 심도 1m의 토압특성은 성토 및 다짐 직후에는 22kPa의 토압이 작용하다가 반복재하가 진행되면서 약 45kPa로 증가하여 그 이후에는 반복재하횟수와 상관없이 일정한 경향을 나타낸다. 심도 0.5m에서의 토압특성은 성토 및 다짐 직후에는 14kPa의 토압이 작용하다가 반복재하가 진행되면서 45kPa로 증가하며 재하횟수에 따라 60kPa까지 증가하는 경향을 보이고 있다. 60kPa은 열차하중재하시 최대수직토압과 유사한 범위로서 실제 이론적인 값보다 큰 토압이 작용하는 것으로 나타났다. 백만회에 실시한 살수의 영향은 수평토압에서는 나타나지 않는 것으로 판단된다.

Fig.5는 섬유보강 접속구조의 교대에 작용하는 수평토압을 재하횟수별로 나타낸 그림이다. 그림에서 토압계는 심도 0.5m, 1m, 2m에 각각 설치되었으며 이백만회 재하 동안의 토압변화를 나타내었다. 심도별 토압특성은 성토 및 다짐 직후에는 5kPa이내로서 0.5m와 1m 심도에서는 수평토압이 0.1~0.3kPa로서 토압의 거의 작용하지 않는 것으로 나타났다. 반복재하가 시작되면서 토압이 증가하는데 10만회까지는 증가하다가 일정한 토압을 유지하는 것을 나타내고 있다. 최대 토압은 심도 2m에서 16kPa이 발생하였다. 이론적으로 보강토교대구조에서는 교대에 수평토압이 작용하지 않지만 반복재하에 따라 토압이 증가하는 것은 초기 뒤채움 시공시 부족한 다짐에너지로 인한 미소한 토압증가가 있었다. 섬유보강 접속구조가 기존 접속구조보다 수평토압이 작은 것은 토목섬유의 인장보강효과가 수평토압의 감소에 기여하였기 때문이다.

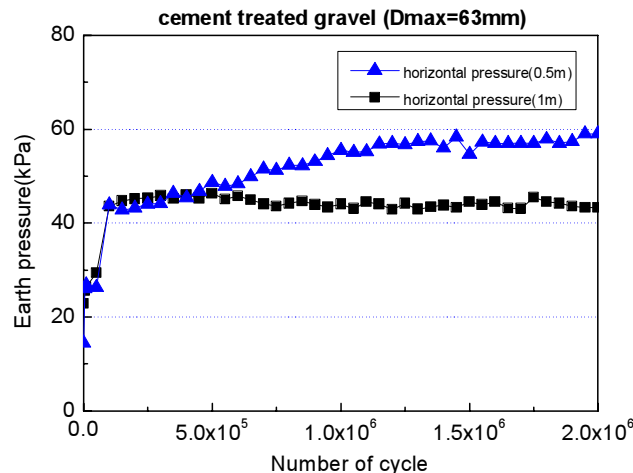


Fig. 4 Horizontal earth pressure of existing transition structure

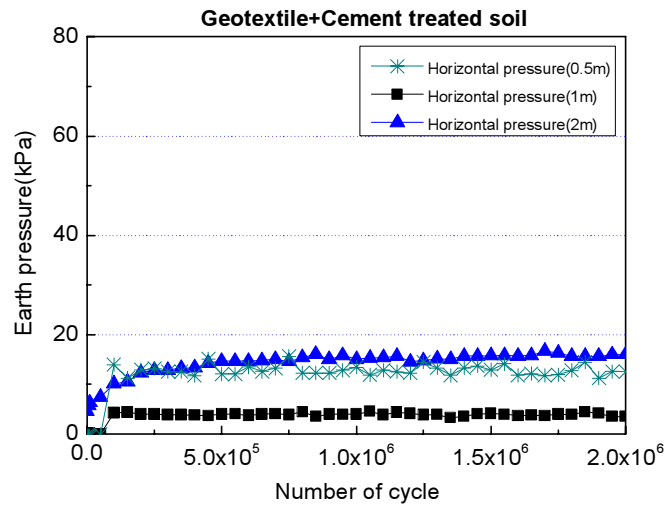


Fig. 5 Horizontal earth pressure of geosynthetic-reinforced abutment

Fig.6은 기존 접속구조의 수직토압특성을 나타낸 그림이다. 노반면에 작용하는 재하하중은 300kPa이며 심도 0.5m에서 작용하는 최종토압은 106kPa, 심도 1m에 작용하는 최종토압은 98kPa이다. 0.5m에서의 수직토압은 초기재하 후 안정화되어 일정한 토압수준을 유지하고 있지만 1m에서의 수직토압은 최대 130kPa까지 증가하였다가 점차 감소하는 경향을 나타내고 있다.

Fig.7은 섬유보강 접속구조의 수직토압특성을 나타낸 그림이다. 노반면에 작용하는 재하하중은 300kPa이며 심도 0.5m에서 작용하는 최종토압은 43kPa, 심도 1m에 작용하는 최종토압은 68kPa이다. 섬유보강 접속구조는 기존 접속구조와 비교하여 수직토압도 상당한 저감효과가 있는 것으로 나타났다.

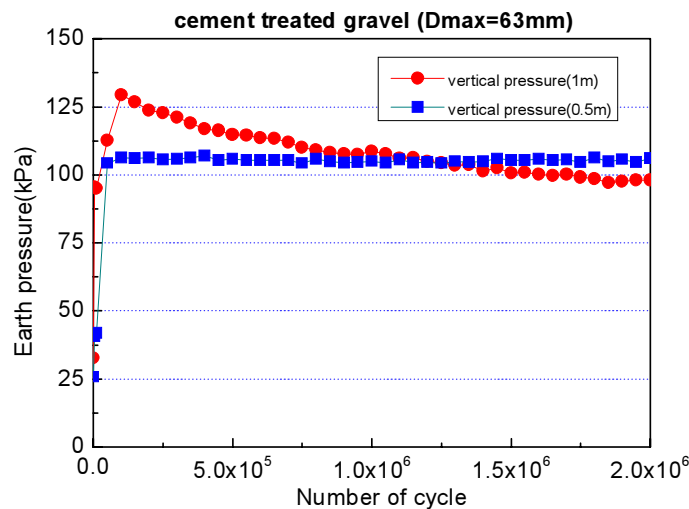


Fig. 6 Vertical earth pressure of existing transition structure

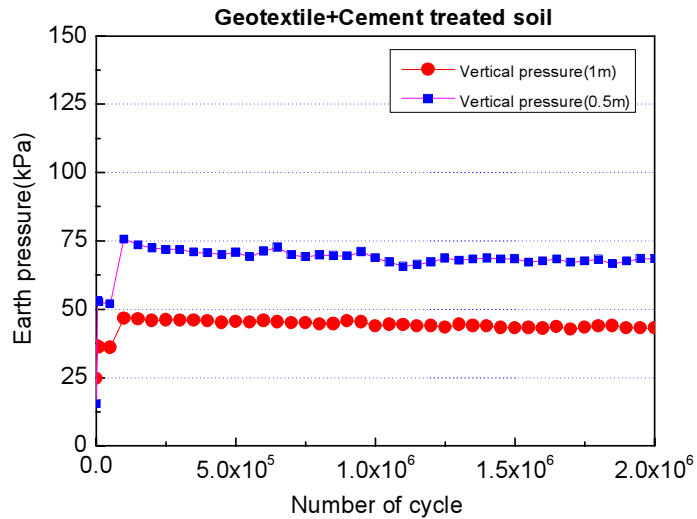


Fig. 7 Vertical earth pressure of geosynthetic-reinforced abutment

Fig.8은 각 구조별 수평 및 수직토압의 최대크기를 비교한 그림으로서 섬유보강 접속구조는 분리형 접속구조와 비교하여 수직토압은 약 30~60%까지 저감되며 수평토압은 75~90%까지 저감되는 것을 확인하였다. 이는 토목섬유의 인장보강효과로 인한 것으로서 토목섬유의 설계방법에 따라 다소 차이가 있을 것으로 예상된다.

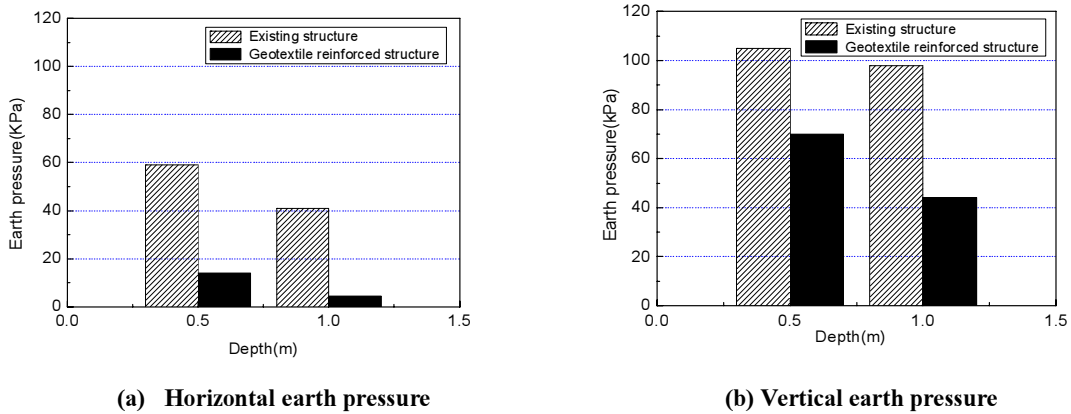


Fig. 8 Earth pressure reduction for each structure and depth

6. 결론

토목섬유와 시멘트처리뒤채움재로 보강된 접속구조의 성능평가를 위하여 실물가속실험을 이용하여 토압의 변화특성을 검토하였다. 각 구조별 수평 및 수직토압의 저감량은 섬유보강 접속구조가 기존 접속구조와 비교하여 수직토압은 약 30~60%까지 저감되며 수평토압은

75~90%까지 저감되는 것을 확인하였다. 이는 토목섬유의 인장보강효과로 인한 것으로서 섬유보강 접속구조를 적용할 경우, 교대 및 기초에 미치는 부담력이 작아지므로 경제적인 교대건설을 기대할 수 있다.

참고문헌

- [1] M.P. Burke (1987) Bridge Approach Pavements, Integral Bridges, and Cycle-Control Joints, Transportation Research Record 1113, TRB, National Research Council, Washington D.C., pp. 54-65.
- [2] F. Tatsuoka, M. Tateyama, J. Koseki (2012) GRS structures recently developed and constructed for railways and roads in Japan, Advances in Transportation Geotechnics II.
- [3] F. Tatsuoka, et al. (2009) A new type of integral bridge comprising geosynthetic-reinforced soil walls, Geosynthetics International, Vol.16, No.4, pp.301-326.