

토목섬유보강 성토지지말뚝공법 TEST-BED 시공 및 장기거동 계측계획 Estimating the Geosynthetics-Reinforced Pile-Supported Embankment TEST-BED

이일화*, 김승선**†, 이주공**, 심성규**

IL-Wha Lee*, Seung-Sun Kim**†, Joo-Gong Lee**, Shung-Kyu Shim**

Abstract Test-Bed for Geosynthetics-Reinforced pile-supported embankment (GRPS) was constructed to analyze the application and verify the system. The Test-bed is designed by Korean method considering the stability of the structure, field condition. Measuring plan was conducted for behavior analysis. Measuring system is focused on the load transfer platform layer (LTP layer) which is main affecting factor of the system to analysis the arching effect. Geosynthetics-Reinforced pile-supported embankment system is verified by the design and construction of the system. The pile-supported embankment has great potential for application in soft ground condition in Korea.

Keywords : Pile supported embankment, Geosynthetics, Arching effect, Soft ground

초 록 국내에서 성토지지말뚝공법은 기존 이론식 분석, 경제성 및 안정성 분석, 실험 재하시험을 통한 안정성 및 설계법 평가, 설계인자를 고려한 구조의 최적화 등 다각적인 측면에서 연구가 이뤄졌으며 이를 바탕으로 성토지지말뚝 시스템을 구축해왔다. 본 연구에서는 이러한 성토지지공법에 대한 검증과 현장 적용성을 분석하기 위해 현장시험부설을 수행하였다. 현장시험부설은 구조물의 안정성을 확보하고 현장조건을 고려하여 설계가 이뤄졌으며 이를 바탕으로 시공이 진행되었다. 또한 실제거동을 파악하기 위해 계측계획을 수립하였으며 특히 성토지지말뚝공법의 주요인자인 하중전이층(Load Transfer Platform layer, LTP 층)의 아칭효과를 파악하기 위해 합리적인 계측계획을 수립하였다. 현재까지 진행된 시험부설구간 시공상황을 통해 시공성 및 구조적 안정성을 확인하였다.

주요어 : 성토지지말뚝, 토목섬유, 연약지반, 시험부설

1. 서 론

토목섬유보강 성토지지말뚝 공법(Geosynthetics-Reinforced pile-supported embankment, GRPS)은 성토 및 운영하중을 성토체내 아칭효과(arching effect)와 토목섬유의 인장력을 이용하여 말뚝을 통해 지지층으로 전달시키는 공법이다. 이 공법은 연약지반 상에 시공시 압밀침하가 발생하지 않아 장기침하를 근본적으로 억제하는 공법으로 유럽 및 중국에서 잔류 침하 억제, 공기단축 등의 목적으로 고속철도를 중심으로 적용되고 있다. 국내에서도 토목

† 교신저자: (주)본이앤씨(sunandjoy@naver.com)

* 한국철도기술연구원

** (주)본이앤씨

섬유보강 성토지지말뚝 공법은 기존의 이론식 분석, 경제성 및 안정성 분석, 실험을 통한 안정성 및 설계법 평가, 설계인자를 고려한 구조의 최적화 등 다각적인 측면에서 연구가 이루어졌으며 이를 바탕으로 국내 적용 가능한 성토지지말뚝 시스템을 구축해 왔다. 국내의 연구를 바탕으로 공법에 대한 검증, 거동예측을 위한 분석, 현장 적용성 분석을 수행하기 위해 토목섬유보강 성토지지말뚝공법의 현장시험부설을 계획하고 시공을 수행하였다

2. 본 론

2.1 현장시험 부설구간 현황

토목섬유보강 성토지지말뚝공법의 Test Bed를 계획한 현장은 00공구 건설공사 현장으로 총 연장길이는 약 6.292km이다. 이 구간 중 40m 구간에 연약지반 대책 공법으로 현장조건 및 공사기간을 고려하여 토목섬유보강 성토지지말뚝 공법의 현장 시험부설 계획을 수립하였다.

2.2 현장시험 부설 구간 단면계획

2.2.1 단면계획을 위한 설계법

침하억제형 성토지지말뚝의 적용을 위해 추가 지반조사를 통한 지지층 및 연약층 심도 확인 및 기존 지반조사 자료 분석을 수행하였다. 지층분포는 Fig. 1과 같이 매립층, 퇴적점토층, 풍화토, 풍화암, 연암으로 나타났으며, 풍화암 분포심도는 GL(-) 24.0~28.5m로 나타났다. 추가 지반조사 결과 퇴적점토층의 N치는 1/30~7/30으로 나타났다.

2.2.2 토목섬유보강 성토지지말뚝공법의 설계법

현장 시험시공을 위한 설계는 철도기술연구원 등에서 개발된 국내 설계법(안)을 바탕으로 이루어졌다. 이 설계법은 독일의 EBGEO와 네덜란드의 CUR 설계법을 기본으로 개발되었으며 이론적 분석과 수치해석, 실험재하시험, 재료특성 검토, 설계인자를 고려한 구조의 최적화 등 다각적인 측면에서 진행된 연구를 바탕으로 국내 적용을 위해 개발된 설계법이다. 특히 현장 시험부설을 통한 검증과 장기거동 분석을 통해 성토지지말뚝 공법의 국내 설계기준 및 지침(안)을 제시하는 연구가 수행되고 있다.

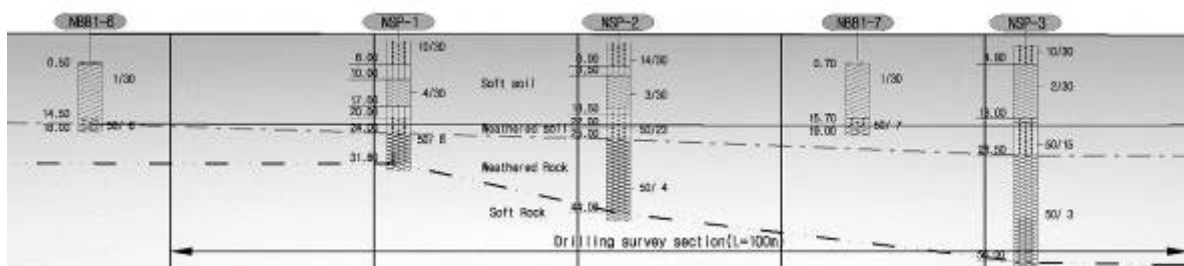


Fig. 1 Soil stratum on Test Bed

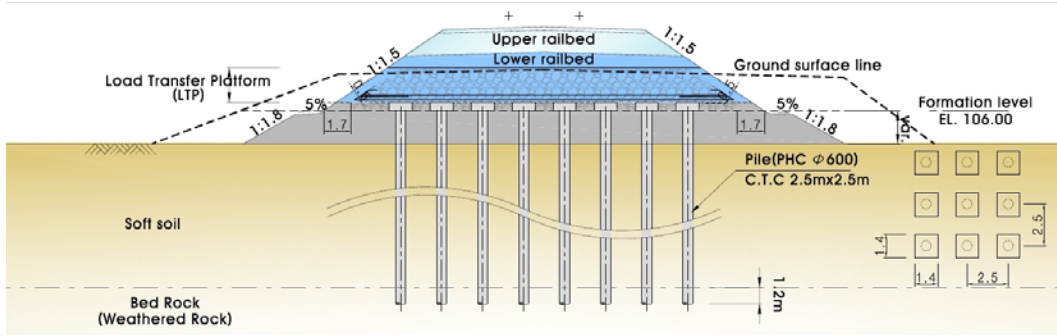


Fig. 2 Cross section of Test-Bed

Table 1 Properties of the Test-Bed

Item		Properties
Height of Embankment		4.7m
Thickness of LPT		2.1m
Pile material		PHC (Φ600)
Pile Spacing		2.5m×2.5m (Rectangular grid)
Pile Cap		1.4m×1.4m
Geosynthetics	1 st layer	PET Mat(200kN/m)+Geogrid(200kN/m)
	2 nd layer	Geogrid(200kN/m)

2.2.3 단면계획

현장시험부설 구간은 성토하중을 말뚝으로 전달시키기 위한 하중전이층 및 말뚝캡의 설계, 성토하중을 지지하기 위한 말뚝 설계, 안정성 분석 등을 통해 Fig. 2와 같이 단면을 계획하였다. 계획된 단면의 LPT층, 토목섬유, 말뚝캡과 말뚝의 재원 및 배치는 Table 1과 같다.

말뚝은 모든 성토하중 및 상재하중을 부담할 수 있도록 설계하였으며 지반조건, 말뚝 관입 저항, 상재하중 및 운영하중을 고려하여 매입말뚝(PHC)으로 풍화암에 지지하도록 계획하였다. 성토하중 및 운영하중의 효과적인 전달과 충격하중으로 인한 아칭효과의 영향을 최소화하고 성토체의 안정성을 확보하도록 하중전이층의 두께, 토목섬유의 종류 및 배치, 성토고 제한의 검토, 말뚝의 간격 및 파일캡의 폭 등을 검토가 이뤄졌으며 국내 설계법에서 제시한 허용기준 이내로 설계되었다. 토목섬유는 성토체 내에 하중재분배로 인해 토목섬유에 작용되는 하중을 고려하여 산정하였으며 허용강도가 장기허용인장강도 이내가 되도록 계획되었다. 현장시험부설 구간의 침하 안정성, 토목섬유의 작용인장력, 국부 및 전반 활동과피 등의 안정성을 분석

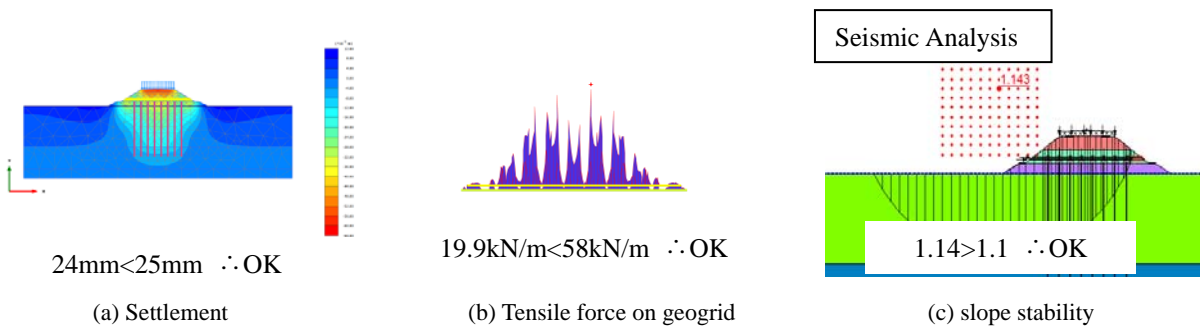


Fig. 3 Stability analysis result of the Test-Bed

하기 위해 수치해석적인 방법을 적용하여 수행하였으며 검토결과 토목섬유에 작용되는 인장력, 말뚝의 축력 및 성토체 침하 안정성은 모두 확보되는 것으로 나타났다(Fig. 3).

2.3 토목섬유보강 성토지지말뚝공법 시공

성토지지말뚝 공법의 시공순서는 부지정지, 말뚝설치, 말뚝 두부절단, 두부보강, 말뚝캡 설치, LTP층 및 토목섬유 포설, 상·하부노반 단계별 성토 순으로 이뤄진다. 현장부설 시험은 2016년 11월을 착공하여 2017년 2월까지 LTP층 포설까지 시공이 완료되었다. 말뚝의 시공후 견전도와 지지력을 확인하기 위해 동재하 시험, 정재하 시험 및 견전도 시험을 수행하였으며 시험결과 지지력은 예상 설계지지력을 상회하게 나타났다. 말뚝캡은 현장에서 콘크리트 타설하는 방법을 선택하였다. 말뚝 캡 시공 후에는 쇠석으로 말뚝캡 사이를 채웠으며 말뚝캡 상단 15cm까지 포설후 PET mat(200kN/m)와 Geogrid(200kN/m)를 포설하였다. 1단 토목섬유 포설 후에는 쇠석을 30cm를 포설하였으며 그 위에 Geogrid(200kN/m) 종방향으로 포



Fig. 4 Test-Bed construction sequence

설하였다. 현재 LTP층이 2단 토목섬유 위 30cm까지 포설된 상태이다. 잔여공정은 현장조건을 고려하여 2017년 5월까지 시공할 예정이다. 현재까지 이뤄진 공정은 그림 Fig. 4와 같다.

2.4 계측 계획

현장부설시험의 계측계획은 시공중, 완공후 지반의 침하 및 활동안정성 등의 토공 안정관리 및 시공관리를 위한 계측뿐만 아니라 현장시험부설의 검증에 위한 계측 계획을 수립이 필요하다. 연약지반의 침하량 측정, 과잉간극수압 변화측정, 압밀 진행상황 파악, 노반의 침하량 분석 및 흙쌓기 비탈면의 안정관리를 위해 Fig. 5와 같이 층별 침하계, 간극수압계, 경사계, 지표 침하판을 설치하였다.

말뚝으로의 하중전이효과를 분석하고 아칭영역의 토압을 분석하기 위해 말뚝에 4개의 하중계를 설치하였으며 토압계는 말뚝 상단과 말뚝과 말뚝사이에 각각 4개소씩 설치하였다 (Fig. 6). 또한 원지반의 침하와 LTP층의 침하 분석을 위해 말뚝 상단과 말뚝 사이에 각각 4개의 침하판을 설치하였다.

성토지반의 아칭효과에 의해 감소된 성토하중은 토목섬유 상부에 전달되며 토목섬유를 통해 다시 말뚝으로 전이된다. 이러한 아칭효과를 분석하고 설계이론의 검증하기 위해 Fig. 7

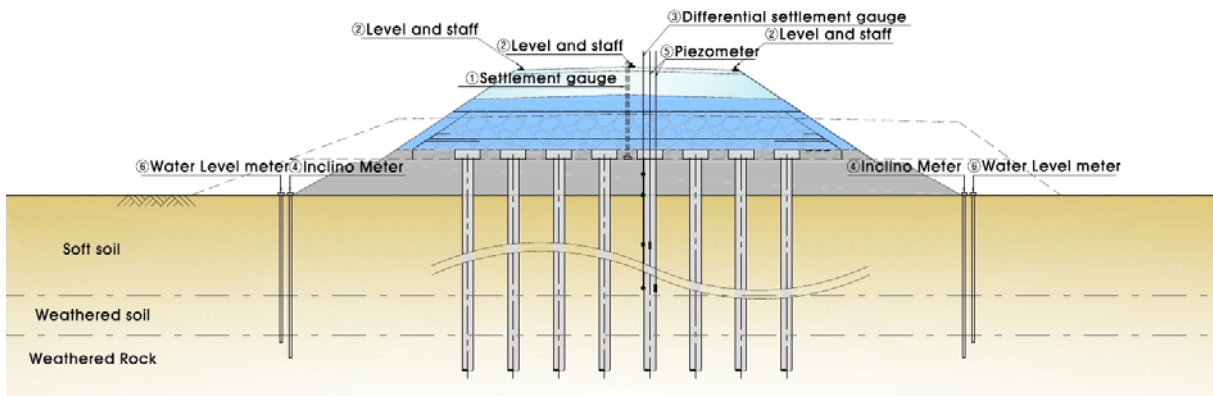


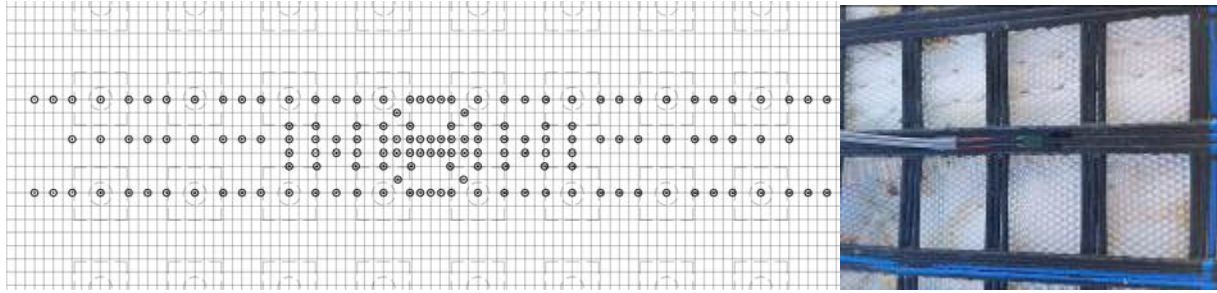
Fig. 5 Cross section of the measuring plan



(a) Load cell

(b) Earth pressure cell

Fig. 6 Installation of the load cell and earth pressure cell



(a) Strain gauges arrangement

(b) strain gauge on geogrid

Fig. 7 Installation of the strain gauges

과 같이 총 255개의 변형율계를 위치별로 배치하였다. 변형율계 배치는 성토사면으로 인한 측방유동력(spreading force)을 고려하여 성토부 중앙에 집중하여 배치하고 사면부에서는 일정 간격으로 배치하였다.

3. 결론

국내에서 개발된 성토지지말뚝공법 시스템의 검증과 현장 적용성을 분석하기 위해 현장시험부설을 수행하였다. 토목섬유보강 성토지지말뚝 공법의 국내 설계법(안)을 바탕으로 현장 조건을 고려하여 설계 및 시공이 이뤄졌다. 그리고 실제 거동을 파악하기 위해 계측계획을 수립하였으며 특히 성토지지말뚝공법의 주요인자인 하중전이층의 아칭효과를 파악하기 위해 합리적인 계측 계획을 수립하였다. 현재 시험부설은 LTP층까지 시공이 이뤄졌으며, 시공단계부터 계측 데이터 분석이 이뤄지고 있다. 본 연구에서 성토지지말뚝 공법 Test-Bed 구간의 설계 및 시공으로부터 시공성 및 구조적 안정성을 확인하였으며 추후 성토노반의 시공시의 하중 증가에 따른 말뚝 및 토목섬유 변형을 그리고 원지반 침하 데이터의 장기적인 획득 및 분석을 통해 합리적인 국내 설계기준 및 성토지지말뚝공법의 시스템을 제안 할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원(연약지반구간 교량대체를 위한 침하억제공법 개발, 15RTRP-B067919-03)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] I.W. Lee, S. S. Kim, S.H. Lee, J.G. Lee, S.K. Shim(2016), Applicability of the Pile-supported Embankment in Korea, *Journal of The Korean Geotechnical Society*, .32(3). pp. 5~13.
- [2] BS8006(1995), British Standard, Code of practice for: Strengthened/reinforced soils and other fills.
- [3] Korea Rail Network Authority(2012), “Design of embankment” , KR C-04020.
- [4] The German Geotechnical Society(2011), “Recommendations for Design and Analysis of Earth Structures Using Geosynthetic Reinforcements-EBGEO”