한국토목섬유학회논문집 제9권 3호 2010년 9월 pp. 9 ~ 18
J. Korean Geosynthetics Society Vol.9 No.3 September. 2010 pp. 9 ~ 18

토목섬유보강 성토지지말뚝시스템에서의 하중전이 효과에 관한 모형실험

Laboratory Model Tests on the Load Transfer in Geosynthetic-Reinforced and Pile-Supported Embankment System

홍 원 표[1] Hong, Won-Pyo
이 재 호[2]* Lee, Jae-Ho

ABSTRACT

A series of model tests were performed to investigate the load transfer by soil arching in geosynthetic-reinforced and pile-supported(GRPS) embankment systems. In the model tests, model piles with isolated cap were inserted in the model container and geosynthetics was laid on the pile caps below sand fills. The settlement of soft ground was simulated by rubber form. The loads acting on pile caps and the tensile strain of geosynthetics were monitored by data logging system. At the given interval ratio of pile caps, the efficiency in GRPS embankment systems increased with increasing the height of embankment fills, then gradually converged at constant value. Also, at the given height of embankment fills, the efficiency decreased with increasing the pile spacing. The embankment loads transferred on pile cap by soil arching increased when the geosynthetics installed with piles. This illustrated that reinforcing with the geosynthetics have a good effect to restraint the movement of surrounding soft grounds. The load transfer in GRPS embankment systems was affected by the interval ratio, height of fills, properties of grounds and tensile stiffness and so on.

요 지

토목섬유보강 성토지지말뚝시스템에서의 하중전이 특성을 규명하기 위하여 일련의 모형실험을 실시하였다. 모형토조에 단독캡 말뚝을 설치하고, 토목섬유를 포설한 후 성토를 실시하였다. 연약지반 대체재료로서 스펀지고무를 사용하였다. 실험결과 성토지지말뚝시스템의 효율은 일정한 말뚝간격비에서는 성토고가 증가할수록 비선형적으로 증가하여 이후 일정한 값에 수렴하는 경향을 나타내었다. 또한 성토고가 일정한 조건에서는 말뚝간격비가 증가할수록 효율의 크기는 감소하였다. 토목섬유를 보강한 경우, 무보강시와 비교하여 말뚝으로 전이되는 하중이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 토목섬유의 보강이 연약지반의 거동을 억지하는데 효과가 있음을 나타내는 것이다. 결국 토목섬유보강 성토지지말뚝시스템에서의 하중전이 특성은 말뚝캡 설치간격, 성토고, 지반의 강도정수 및 토목섬유 강성 등에 복합적으로 영향을 받음을 알 수 있다.

Keywords **:** Model test, Load transfer, Soil arching, Geosynthetics, Embankment, Pile

1. 서 론

말뚝을 이용하여 연약지반상의 성토구조물을 보강하는 방법은 지반침하량과 공사기간을 크게 줄일 수 있는 공법이다(Eekelen et al., 2002; Liu et al., 2007). 본 공법은 시공성 및 안정성에서 많은 장점을 가지고 있으나, 지반아칭효과에 의한 하중전이특성 즉, 말뚝으로 전달되는 성토하중의 비율이 얼마인지 예측을 하는 것이 대단히 어려운 문제이다(Hong et al., 2007).

Terzaghi(1943)가 지반아칭현상을 정의한 이후, 터널이나 사면 등 지반공학 분야에서 아칭현상을 이용한 많은 이론들이 제안되고 있다(Atkinson and Potts, 1977; Matsui

1 비회원, 중앙대학교 공과대학 건설환경공학과 교수 (Non-member, Professor, Dept. of Civil & Environmental Engrg., Chung-Ang Univ.)
2* 정회원, GS건설 기술본부 지반팀 과장 (Member, Manager, Geotechnical Engrg. Team, GS E&C, E-mail : jhlee30@gsconst.co.kr)

et al., 1982). 아울러 국내외에서도 이러한 성토지지말뚝 공법의 하중전이 특성을 분석하기 위한 실내 모형실험연구가 활발히 수행되고 있다.

Bujang et al.(1993)은 말뚝면적비, 성토고 및 연약지반 침하가 성토지지말뚝시스템의 하중전이특성에 미치는 영향을 평가하기 위한 모형실험을 수행하였다. 토목섬유의 보강없이 말뚝캡의 면적비를 25%, 12.5%로 수행한 모형실험결과로부터 펀칭파괴를 예방하고 말뚝의 지지효율을 극대화시키기 위해서는 말뚝캡의 면적비와 성토두께의 결정이 중요함을 제시하였다.

Low et al.(1994)은 나무블럭으로 모사한 성토지지말뚝의 모형실험을 실시하여 평면변형률 조건하에서 지반아칭현상을 조사하였다. 블록의 간격별 및 토목섬유 보강유무에 대한 실험을 실시한 결과, 말뚝의 효율은 토목섬유 무보강시 55～80%, 토목섬유 보강시에는 68～95%인 것으로 나타나 토목섬유를 보강할 경우, 효율이 1.15～1.13배 증가됨을 제시한 바 있다.

국내에서는 홍원표와 강승인(2000)이 토목섬유가 존재하지 않는 캡보말뚝을 대상으로 모형실험을 실시하여 줄말뚝 상의 하중분담효과를 확인하였으며, 홍원표와 이광우(2003)는 캡의 형태를 단독캡으로 하여 3차원 지반아칭에 의한 하중전이 특성을 평가하였다. 또한 홍원표와 이재호(2007, 2008)는 토목섬유가 보강된 단독캡 말뚝에서 연약지반 침하시 성토지반과 토목섬유의 변형거동을 관찰하여, 지반아칭현상을 모형화할 수 있는 이론적 기반을 마련하였다.

한편, 신은철 등(2000)은 지오그리드 보강 말뚝에 대한 평판재하시험을 통하여 지오그리드의 보강유무와 말뚝간격에 따른 지지력 및 침하특성을 고찰한 바 있다.

상기 연구들은 말뚝이 캡보(cap beam)로 연결되어 성토지반내 2차원 거동을 규명하는 연구이거나, 단독캡(isolated cap)에 대한 실험이라도 토목섬유가 하중전이에 미치는 영향이 정량적으로 고려하되 않아, 이의 영향을 고려하는 다양한 조건의 모형실험을 수행할 필요가 있다.

이에, 본 연구에서는 말뚝과 토목섬유로 지지된 성토지반에서의 하중전이 특성을 모형실험을 통하여 규명하고자 한다. 모형실험에서는 단독캡 말뚝을 일정간격의 정방형으로 설치하고, 단계별 성토에 따라 성토하중이 말뚝 및 토목섬유에 전달되는 현상을 모사하였다. 이들 모형실험을 말뚝설치간격, 토목섬유 보강유무 및 강성에 따라 다양하게 수행하였다.

2. 모형실험

2.1 모형실험장치

토목섬유보강 성토지지말뚝시스템에서의 하중전이 특성을 파악하기 위하여 모형실험장치를 제작하였다. 실험장치는 크게 토조, 모형말뚝, 모래살포장치 및 하중측정장치의 네 부분으로 구성되어 있다. 모형실험은 먼저, 토조 내부에 일정간격의 성토지지말뚝과 연약지반을 조성하고 말뚝 위에 하중계를 설치한다. 다음으로 토목섬유를 말뚝과 연약지반위에 포설한 후에 모래살포기를 이용하여 성토모래층을 일정한 상대밀도를 가지도록 단계별로 성토한다. 이 성토과정에서 하중측정장치로 성토지지말뚝에 작용하는 연직하중과 토목섬유의 변형률을 측정한다.

2.1.1 토조

모형토조는 그림 1과 같이 너비×폭×높이가 100cm×80cm×110cm인 투명아크릴로 제작하였다. 말뚝설치가 용이하도록 토조의 상·하부가 분리될 수 있도록 제작하였다. 토조의 외측은 성토하중으로 인한 토조의 변형을 방지하기 위하여 강재로 보강되어 있다.

2.1.2 모형말뚝

모형말뚝은 그림 2와 같이 말뚝과 캡으로 이루어지며, 바닥판의 구멍배열에 따라 말뚝간격을 달리하여 토조속에

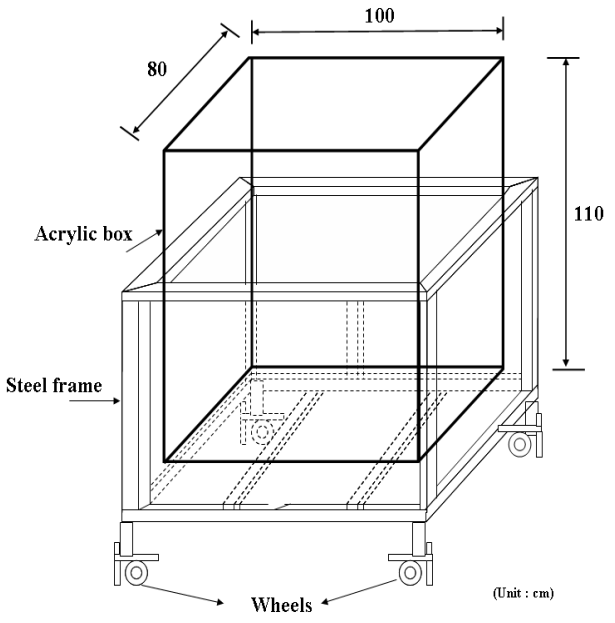


그림 1. 토조 및 토조보강장치

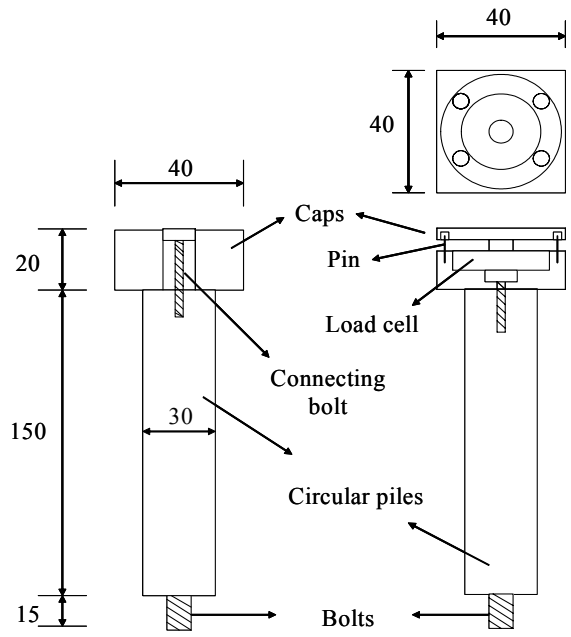


그림 2. 모형말뚝장치(단위 mm)

설치할 수 있다. 모형말뚝은 직경이 30mm, 길이가 150mm인 알루미늄 봉이다. 말뚝캡은 폭(b)이 40mm인 정사각형 형태이며, 두께가 20mm로서 말뚝두부에 결합시킬 수 있다. 한편, 계측용 말뚝에는 말뚝캡 내부에 하중계(Load cell)를 설치하여 성토하중을 측정할 수 있도록 제작하였다.

2.1.3 모래살포장치

토조속 모래의 상대밀도를 일정하게 유지시키도록 낙하높이 조절이 가능한 모래살포장치를 제작하였다. 모래살포판은 일정간격의 구멍이 뚫린 두겹의 상·하 철판으로 되어 있으며, 모래를 채운 뒤 구멍을 열면, 모래살포판 속의 모래가 동시에 낙하하여 성토층을 형성하게 된다. 예비실험을 통해 모래의 낙하고가 73.5cm일 때 토조속 성토모래의 상대밀도가 80%인 것으로 얻어졌다. 본 실험에서 단계별 성토시 모래살포기에 의한 낙하고를 73.5cm로 유지시킴으로 성토지반의 상대밀도를 80%로 유지하였다.

2.1.4 데이터측정장치

데이터측정장치는 하중계 및 변형률계를 측정하는 데이터로거(data logger)와 이를 제어하는 컴퓨터로 구성된다. 하중계는 성토하중에 대한 말뚝작용하중을 측정하기 위하여 캡 내부에 설치하며, 말뚝 설치간격에 따라 5kgf~50kgf 용량의 하중계를 선택적으로 사용하였다.

변형률계(strain gauge)는 모형실험시 지반침하에 따른 토목섬유의 변형률을 평가하기 위한 센서로서 토목섬유의 일정위치에 부착, 측정하였다. 변형률계는 전기저항식의 소성게이지이며, 변형률계를 부착한 토목섬유에 대해서 환산보정시험(Calibration)을 실시하여 실험에서 측정된 변형률 값을 환산보정하였다. 이들 센서의 계측은 데이터로거를 이용하여 실시간으로 측정하였다.

2.2 사용시료특성

2.2.1 성토모래

본 모형실험에서 성토재료는 주문진규사를 사용하였다. 주문진규사의 비중은 2.59이며, 균등계수와 곡률계수가 각각 1.83 및 0.85로서 입도가 매우 균등함을 알 수 있다. 또한 최대건조밀도 및 최소건조밀도는 각각 1.62g/cm^{3}과 1.36g/cm^{3}로 나타났다. 또한 주문진규사에 대하여 상대밀도가 80%일 때의 공시체를 제작하여 배수삼축압축시험을 실시한 결과 내부마찰각은 40.5°가 얻어졌다.

2.2.2 토목섬유

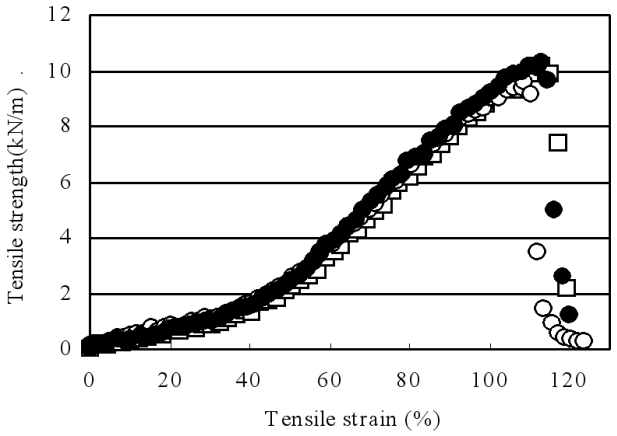
모형실험에서 사용한 토목섬유로는 PP500과 PET500 부직포를 사용하였다. 여기서 PP와 PET는 각각 폴리프로필렌(Polypropylene) 및 폴리에스터(Polyester)의 약자이며, 숫자 500은 단위면적당 무게(g/cm^2)를 의미한다.

광폭인장강도시험으로 토목섬유 PP500 및 PET500의 인장강도를 3회씩 평가한 결과, 그림 3과 같이 평균최대인장강도는 PP500의 경우 10.4kN/m, PET500의 경우 46.3kN/m로 나타났다. 이때 인장력-변형률 관계곡선의 기울기를 의미하는 인장강성(tensile stiffness)은 초기 변형구간에서 각각 6kN/m와 60kN/m로 나타나 PET500이 PP500보다 강성이 10배가량 큰 것으로 나타났다.

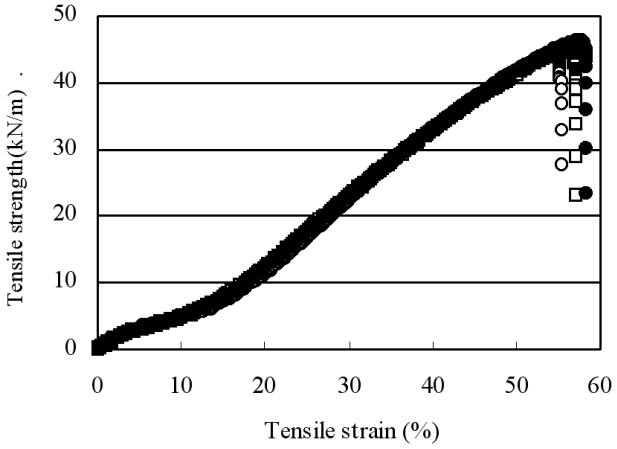
토목섬유에 변형률계를 부착하여 측정하는 경우, 센서 접착제의 영향으로 변형률계 측정치가 실제 값과는 다른 값으로 나타날 수 있다. 따라서 본 실험에서는 토목섬유의 방향성(길이방향, 폭방향 및 대각선방향)을 고려하여 토목섬유 시편에 변형률계를 부착하고 스트립인장시험을 실시하여, 변형률계 측정치와 실제 변형률과의 상관관계를 도출한 후 측정결과분석에 활용하였다.

2.2.3 연약지반

본 연구에서 수행되는 일련의 모형실험에 대하여 동일조건의 연약지반을 조성하는 것에 어려움이 따를 것으로



(a) PP500



(b) PET 500

그림 3. 실험에 사용한 토목섬유의 변형특성

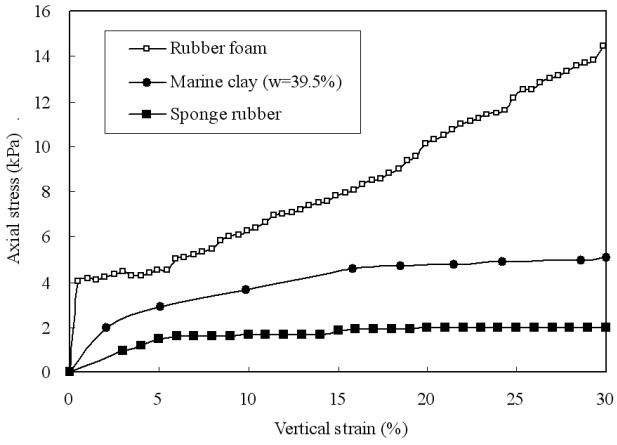


그림 4. 연약지반 대체재료의 일축압축강도

판단되어 연약지반을 대체할 수 있는 재료를 선정하여 사용하였다. 대체재료 선정을 위해 서해안 지역의 해성점토와 발포고무(Rubber foam) 및 스펀지고무(Sponge rubber)를 대상으로 일축압축실험을 실시하여 압축특성을 비교하였다.

그림 4는 각각의 재료에 대한 일축압축변형곡선을 나타낸 것이다. 이 그림에서 발포고무는 해성점토(w_n=39.5%)보다 강성이 큰 것으로 나타났으며, 스펀지고무의 경우는 서해안 해성점토보다 강도는 다소 작으나 비교적 유사한 압축특성을 갖는 것으로 나타났다. 따라서 연약지반 대체재료로서 스폰지고무를 채택하였다. 스펀지고무는 Dark grey색을 지닌 Polyurethane 재질로서 단위중량은 0.015g/cm^{3}이다.

2.3 실험계획 및 과정

토목섬유보강 성토지지말뚝시스템의 하중전이 평가를 위한 모형실험에서는 현장시공 현황을 반영하여 연약지반을 설치하고 단계별 성토에 따른 말뚝 및 토목섬유로의 하중전이량을 측정하였다. 전체 실험계획은 표 1과 같으며, 실험과정은 다음과 같이 7단계로 나누어 실시하였다.

① 정해진 말뚝캡 간격비(D_2/D_1)에 따라 전체모형말뚝을 토조하판에 고정 설치한다.
② 모형말뚝 사이에 연약지반(스펀지고무)을 조성시킨다. 이때 연약지반과 말뚝사이 공간이 생기지 않도록 주의한다.
③ 말뚝두부에 단독캡을 설치한다. 이때 하중측정용 말뚝에는 하중계를 설치한다.
④ 토목섬유에 변형률계 센서를 부착하고 말뚝캡 부분까지 성토한 후 토목섬유를 포설한다.
⑤ 성토층의 상대밀도가 80%에 상응하도록 모래살포판의 낙하고를 73.5cm로 조절하고 한 층의 성토두께가 7-9cm가 되도록 모래를 살포한다.
⑥ 말뚝하중과 토목섬유변형률이 수렴될 때까지 실시간으로 계측, 저장한다.
⑦ 최종성토고에 도달할 때까지 ⑤~⑥과정을 반복하며 분석한다.

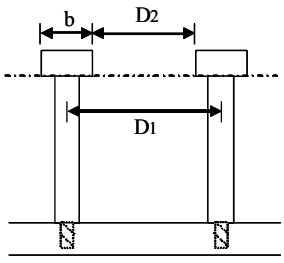
상기 과정을 표 1의 계획된 간격비에 대하여 실시하였다. 모형실험의 단계별 실험과정은 그림 5에 나타내었다.

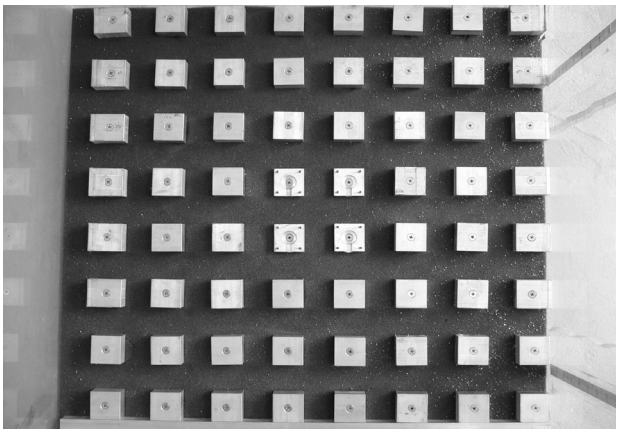
3. 모형실험결과

3.1 토목섬유가 보강되지 않은 경우의 실험결과

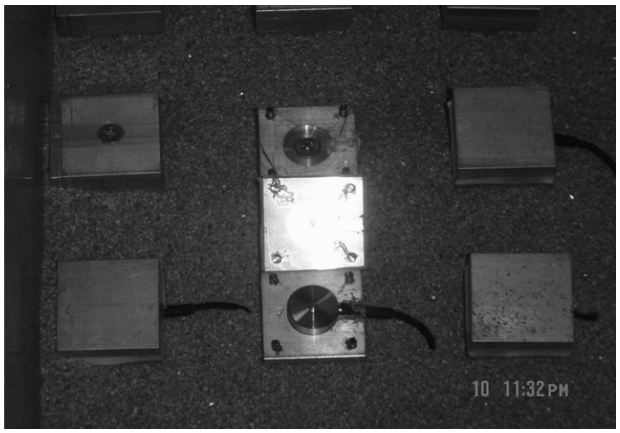
그림 6은 토목섬유가 설치되지 않은 경우, 말뚝캡의 간

표 1. 하중전이 평가를 위한 모형실험 계획

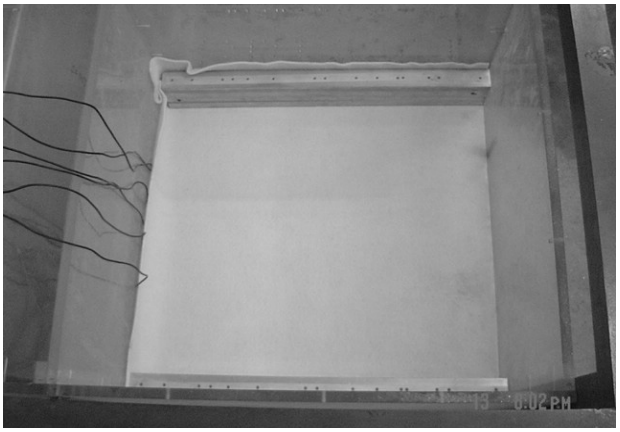
말뚝중심 간격 D_1(cm)	말뚝순간격 (cm)	간격비 (D_2/D_1)	토목섬유보강			캡면적비 (b^2/D_1^2)	모식도
			무보강	PP500	PET500		
8	4	0.5	○	○	–	25%	
10	6	0.6	○	○	–	16%	
12	8	0.67	○	○	○	11.1%	
15	11	0.73	○	○	○	7.1%	
18	14	0.78	○	○	○	4.9%	
24	20	0.83	○	○	○	2.8%	



(a) 말뚝설치



(b) 하중계 설치



(c) 토목섬유 설치 및 고정

(d) 단계별 성토 및 하중측정

그림 5. 단계별 모형실험과정

격비(D_2/D_1)를 0.5, 0.6, 0.67, 0.73, 0.78, 0.83으로 조절하여 수행한 모형실험 결과를 성토고의 변화에 따른 말뚝작용하중과 효율로 나타낸 결과이다. 먼저, 말뚝작용하중을 도시한 그림 6(a)에서는 성토고가 증가할수록 말뚝작용하중값이 선형적으로 증가하고, 말뚝캡의 간격비가 클수록 연직하중 또한 더 커짐을 알 수 있다. 이는 말뚝캡 간의 간격이 커지면 성토지지말뚝 하나가 분담하는 성토영역이 커져서 부담하는 성토하중도 증가하기 때문이다. 반면에 성토지지말뚝작용하중을 성토하중으로 나눈 값인 효율은 그림 6(b)에서 알 수 있듯이 말뚝캡간격비가 동일한 경우 성토고가 증가할수록 비선형적으로 증가하여 일정한 값에 수렴하는 경향을 보이고 있다. 그리고 말뚝간격비가 증가

할수록 효율값의 크기는 감소하고 있다. 이는 말뚝캡간의 간격이 넓어질수록 말뚝 한 개당의 성토지지말뚝시스템 효율은 감소함을 나타낸다.

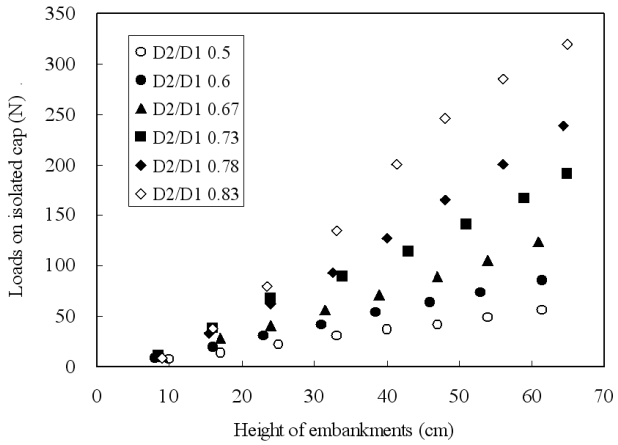
3.2 토목섬유가 보강된 경우의 실험결과

3.2.1 토목섬유 PP500 보강시

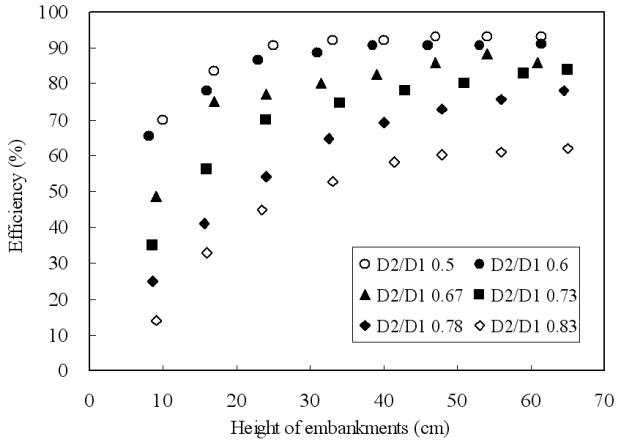
그림 7은 PP500 토목섬유가 보강된 경우, 말뚝의 간격비(D_2/D_1)를 0.5~0.83으로 조절하여 수행한 모형실험 결과를 성토고의 변화에 따른 말뚝작용하중과 효율로 나타낸 것이다.

먼저, 말뚝작용하중을 도시한 그림 7(a)에서는 성토고가 증가할수록 그리고 말뚝의 간격비가 커질수록 말뚝작용하중값이 선형적으로 증가하고 있다. 이것은 토목섬유 무보강시의 경우와 유사하며, 단지 말뚝에 작용하는 하중의 크기만 증가한 형태이다. PP500 보강시 성토지지말뚝시스템의 효율을 나타낸 그림 7(b)에서도 무보강시의 경우와 동일한 경향을 나타내며, 그림 6(b)와 비교할 때 효율의 크기가 증가하였다. 이는 토목섬유의 설치로 인하여 연약지반으로 전달되는 성토하중이 일정비율 토목섬유에 의해 말뚝으로 전이되었음을 나타낸다. 따라서 성토지지말뚝시스템에서 토목섬유의 보강은 말뚝의 효율을 높이고, 연약지반으로 전달되는 하중은 감소시키므로 연약지반 및 성토체의 침하를 효과적으로 억제시키는 기능을 하는 것으로 평가할 수 있다.

한편, 단계별 성토에 따라 발생되는 토목섬유 변형률을 나타내면 그림 8과 같다. 간격비 0.5와 0.6의 경우는 토목섬유에 발생되는 변형률이 초기 성토단계에서 비선형적으로 증가하다가 수렴되는 양상을 보인다. 또한 측정된 최대 변형률도 3% 정도로서 BS 8006(1995)에서 제시하는 기준변형률인 6% 미만으로 나타난다. 그러나 간격비가 0.67 이상으로 커지게 되면, 토목섬유 변형률은 성토에 따라 선형적인 증가를 이루고 있으며, 특히 간격비가 가장 큰 0.83의 경우 변형률이 10%를 넘으며 2차 변곡점을 나타내고 있다. 따라서 간격비가 0.67 이상인 경우에는 보다 강성이 큰 토목섬유를 사용할 필요가 있음을 알 수 있다. 또한 센

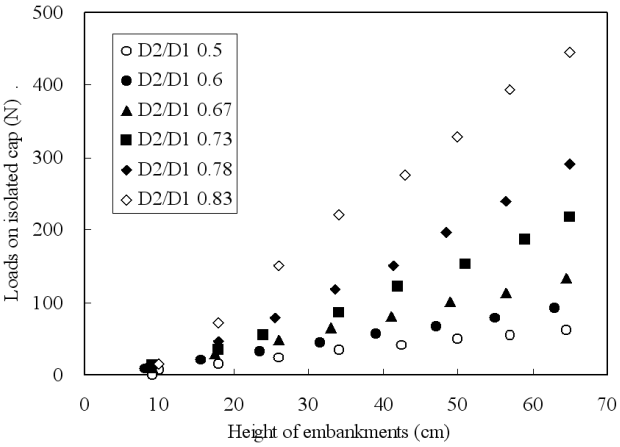


(a) 단독캡 작용하중

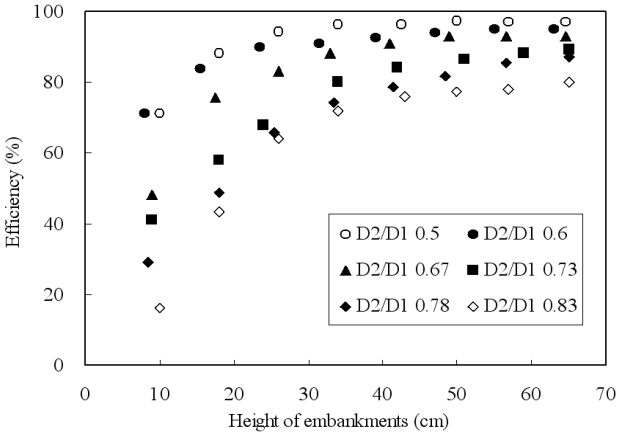


(b) 효율

그림 6. 토목섬유 무보강시 모형실험 결과

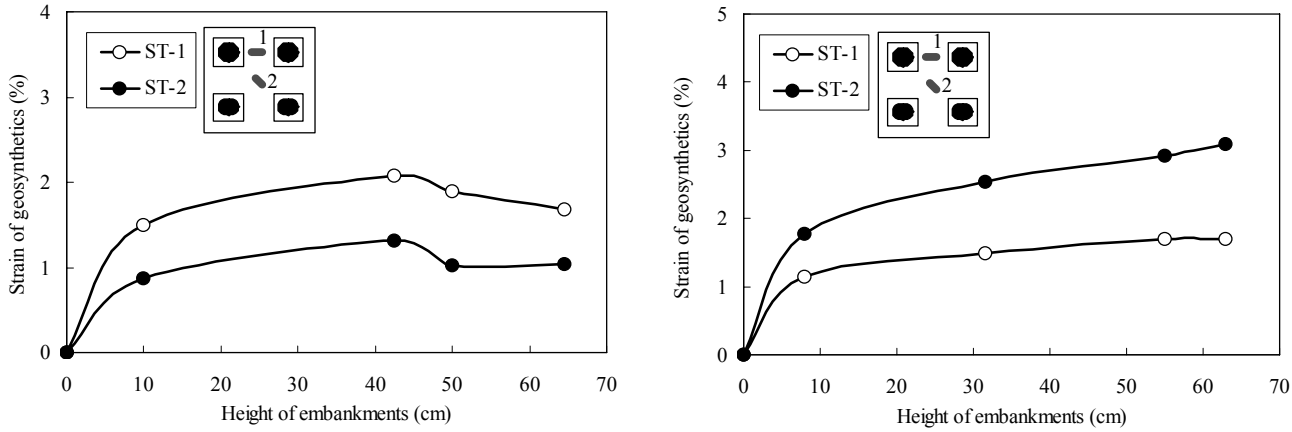


(a) 단독캡 작용하중



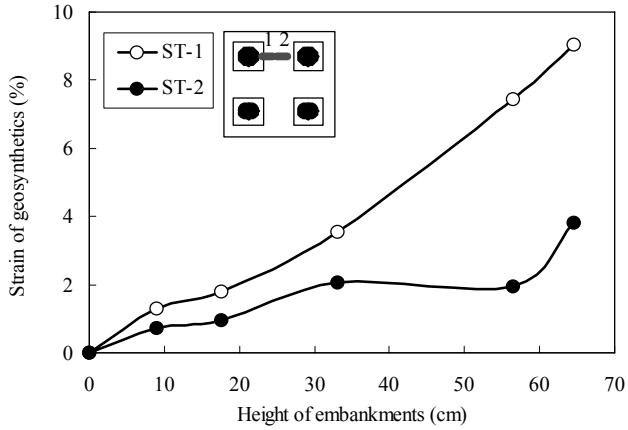
(b) 효율

그림 7. PP500보강시 모형실험 결과

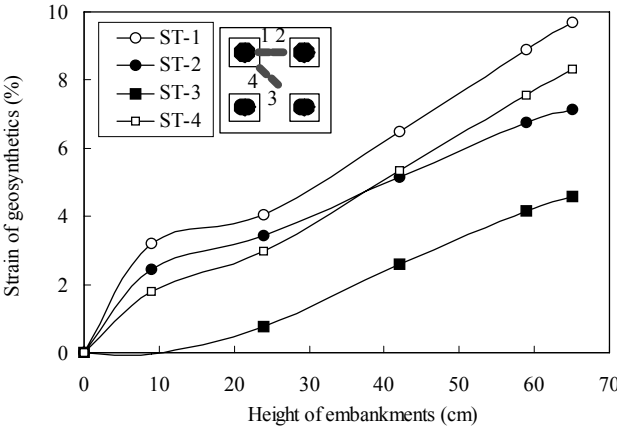


(a) 간격비 0.5

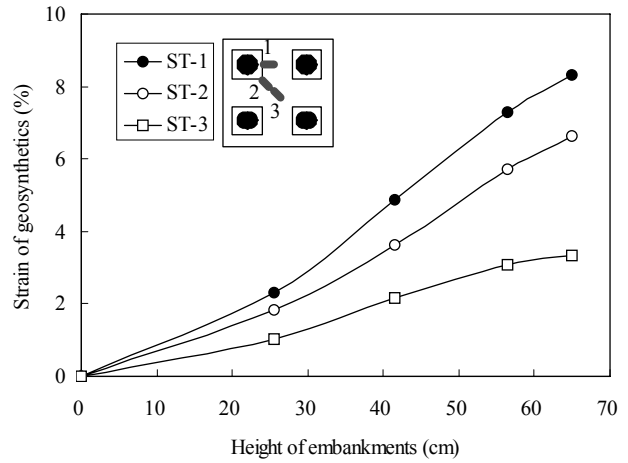
(b) 간격비 0.6



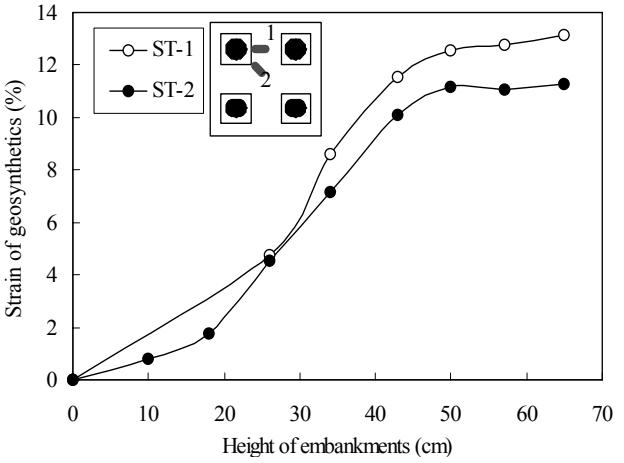
(c) 간격비 0.67



(d) 간격비 0.73



(e) 간격비 0.78



(f) 간격비 0.83

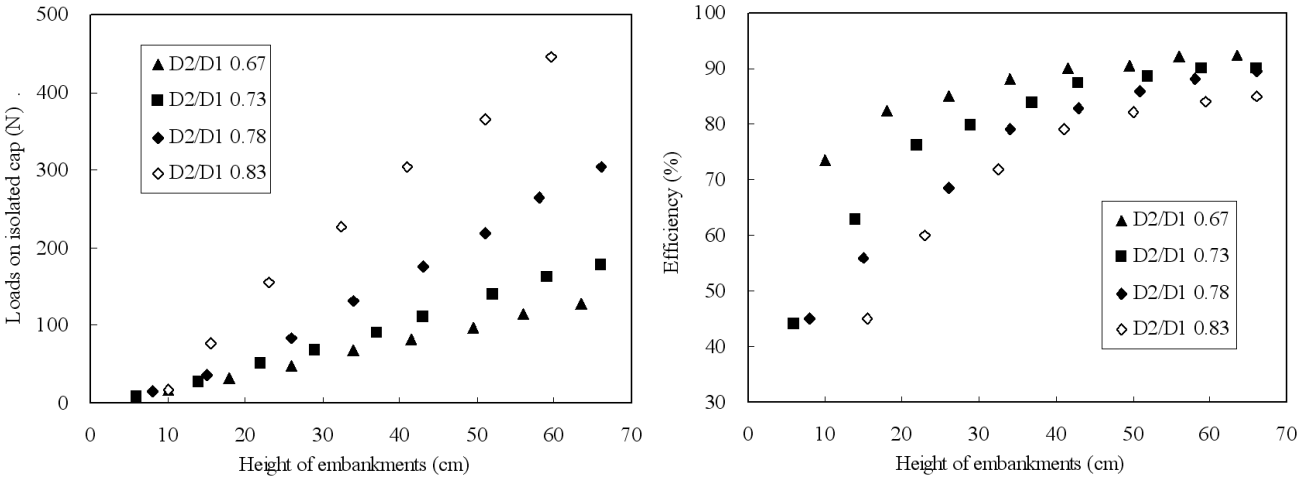
그림 8. PP500 보강시 토목섬유 변형률

서 부착위치별 변형률 분포를 보면 말뚝캡의 모서리부근에서 가장 변형이 크며, 캡사이의 중앙부에는 변형률이 상대적으로 작게 발생되고 있음을 알 수 있다.

3.2.2 토목섬유 PET500 보강시

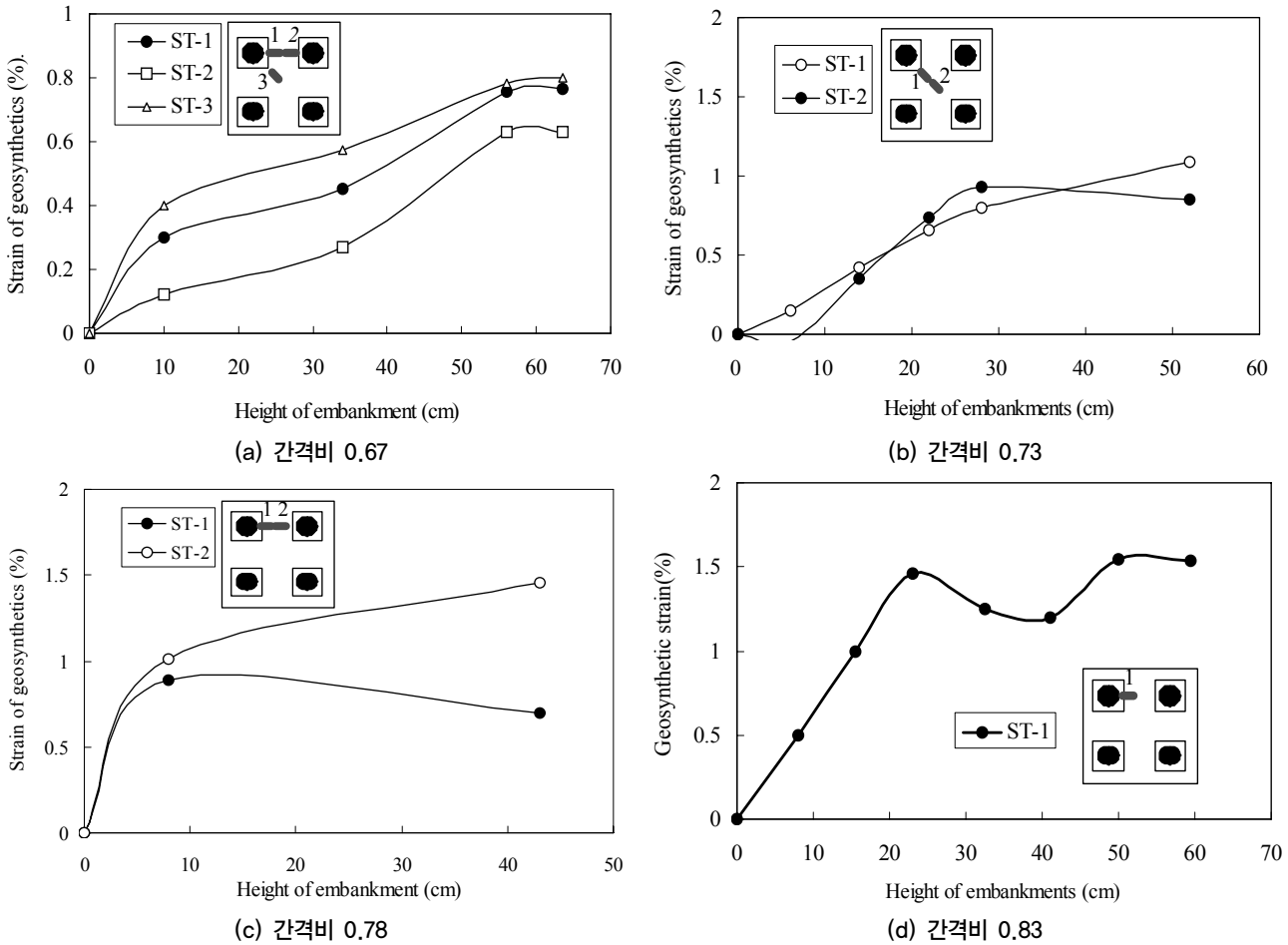
토목섬유의 강성에 따른 성토지지말뚝시스템의 하중전이 효과를 규명하고자 PP500 토목섬유보다 강성이 큰 PET500을 사용하여 모형실험을 실시하였다. PET500 토목섬유는 간격비 0.67, 0.73, 0.78. 0.83에 대하여만 실험을 실시하였다.

PET500 보강시 말뚝에 작용하는 성토하중을 나타낸 그림 9(a)를 살펴보면, 전체적으로 성토에 따라 말뚝캡에 작용하는 하중은 비례적으로 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한 성토고에 따른 말뚝시스템의 효율을 나타낸 그림



(a) 단독캡 작용하중 (b) 효율

그림 9. PET500보강시 모형실험 결과



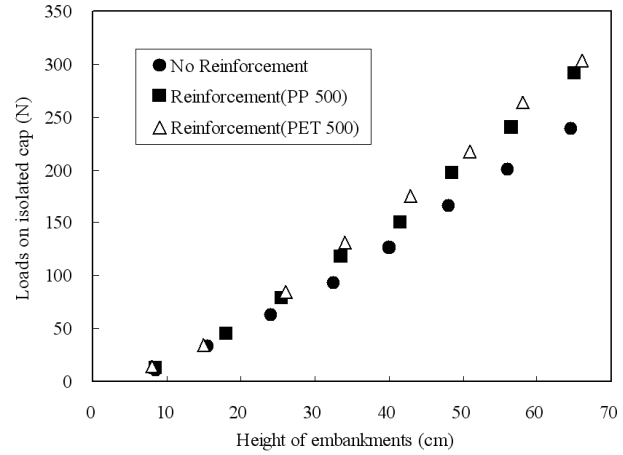
(a) 간격비 0.67 (b) 간격비 0.73

(c) 간격비 0.78 (d) 간격비 0.83

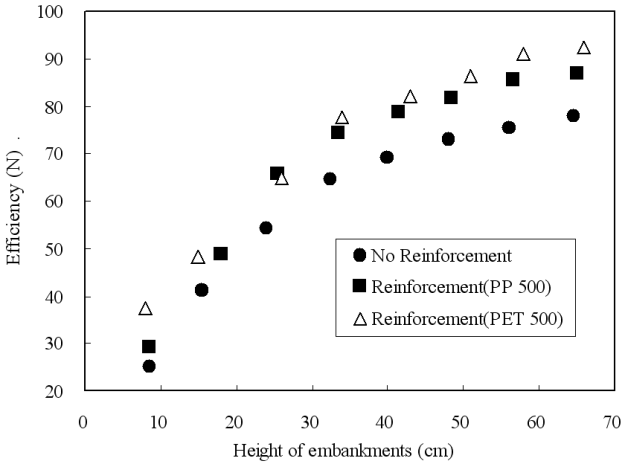
그림 10. PET500 보강시 토목섬유 변형률

9(b)를 보면, 그 경향은 같으나, 전체적으로 효율값이 토목섬유 무보강시 및 PP500 보강시보다 효율이 높은 것을 알 수 있으며, 간격비가 큰 경우에 특히 효율의 증가량이 큰 것으로 나타났다.

한편, 단계별 성토에 따라 발생되는 토목섬유 변형률을 나타내면 그림 10과 같다. 전체적으로 토목섬유의 변형률이 1.5% 미만으로 나타나 PP500 보강시보다 변형율이 작게 발생된 것으로 알 수 있다.



(a) 말뚝캡 작용하중



(b) 효율

그림 11. 성토고별 보강효과 (간격비 0.78)

4. 토목섬유 보강효과 분석

4.1 단계별 성토에 따른 보강효과

성토지지말뚝에 토목섬유를 보강하면, 성토하중이 말뚝으로 더욱 많이 전달되는 것을 확인할 수 있었다. 본 절에서는 간격비가 0.78인 경우의 모형실험 결과를 대상으로 토목섬유의 보강유무 및 강성에 따른 하중전이 효과를 정량적으로 분석해 보고자 한다.

그림 11은 간격비가 0.78인 경우의 말뚝작용하중 및 효율을 나타낸 것으로서, 토목섬유가 없는 경우와, PP500 토목섬유를 사용한 경우 및 PET500 토목섬유를 사용한 경우의 비교 그래프이다. 그림에서 보이듯이 말뚝작용하중 및 효율 모두 토목섬유 무보강시보다 토목섬유를 보강한 경우가 더 큰 값을 나타내며, 토목섬유를 사용한 경우라도 강성이 큰 토목섬유를 사용한 경우가 말뚝작용하중과 효율이 더 큼을 알 수 있다.

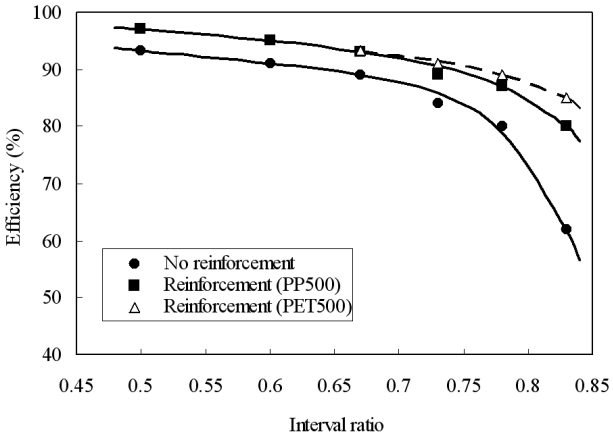


그림 12. 간격비별 성토지지말뚝시스템의 효율 (H=64cm 기준)

4.2 간격비에 따른 보강효과

그림 12는 토목섬유의 하중전이 효과를 알아보기 위하여, 각 간격비별로 성토고가 64cm에 해당하는 효율을 도시한 그림이다. 그림에서 연결선은 데이터 값의 추세선을 나타낸다.

먼저 토목섬유 무보강시와 PP500 토목섬유 보강시의 효율을 살펴보면, PP500을 보강한 경우, 대략적으로 말뚝의 효율이 3.7%~18% 가량 증가하는 것으로 나타났다. 또한 간격비가 넓을수록 토목섬유의 보강효과가 큰 것을 알 수 있다.

PET500으로 보강한 경우, 간격비 0.67에서 PP500과 동일한 효율값이 계측되었으나, 넓은 말뚝간격에서는 PP500보다 최대 5% 정도 효율이 증가하는 것으로 나타났다. 결과적으로 말뚝의 설치간격이 넓을 때 토목섬유의 보강효과가 크게 발휘되며, 토목섬유의 강성이 크면, 말뚝의 효율도 높아질 수 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

토목섬유보강 성토지지말뚝시스템의 하중전이 특성을 규명하고, 연약지반 대책공법으로서 적용성을 확인하기 위하여 토목섬유 유무 및 강성에 따른 일련의 모형실험을 실시하였다. 이들 통하여 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 성토지지말뚝시스템에서 말뚝캡에 전달되는 성토하중은 성토고에 비례하여 선형적으로 증가한다. 이를 말뚝의 효율로 나타내면 초기 성토구간에서는

효율이 비선형적으로 증가하다가, 이후 일정한 값에 수렴하는 경향을 나타낸다. 또한 말뚝의 설치간격이 증가할수록 효율의 크기는 감소한다.

(2) 토목섬유를 설치한 경우, 무보강시와 비교하여 말뚝의 효율이 증가되며, 토목섬유의 강성이 클수록 말뚝의 효율도 증가한다. 이와 같은 보강효과는 말뚝 설치간격이 클 때 토목섬유의 보강효과가 보다 크게 나타난다.

(3) 토목섬유보강 성토지지말뚝시스템에서 말뚝캡 사이의 중앙부보다 말뚝캡에 접근할수록 토목섬유의 변형률이 크게 발생되었으며, 이러한 변형률 계측결과는 말뚝사이에 가해지는 상부하중이 아칭효과 때문에 말뚝캡으로 전이됨에 따라 발생되는 현상이다.

(4) 토목섬유보강 성토지지말뚝시스템에서의 하중전이는 말뚝의 설치간격, 성토고, 토목섬유 등에 따라 영향을 받음을 알 수 있으며, 공법의 설계, 적용시에는 이의 영향을 모두 고려하여 효율적인 설치형태를 결정하여야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 2008년도 중앙대학교 학술연구비 지원에 의한 것임을 밝히며, 이에 감사드리는 바이다.

참고문헌

1. 신은철, 이상혁, 이학주 (2000), "평판재하시험을 통한 지오그리드 보강 말뚝기초의 지지력평가", *대한토목학회 학술발표회논문집*, pp.579-582.
2. 홍원표, 강승인 (2000), "성토지지말뚝에 작용하는 연직하중에 대한 모형실험", *한국지반공학회논문집*, 제16권, 제4호, pp.171-181.
3. 홍원표, 이광우 (2003), "단독캡을 사용한 성토지지말뚝에 대한 모형실험", *한국지반공학회논문집*, 제19권, 제5호, pp.49-59.
4. 홍원표, 이재호 (2007), "말뚝과 토목섬유로 지지된 성토지반의 아칭효과", *한국지반공학회논문집*, 제23권, 제6호, pp.53-66.
5. 홍원표, 이재호 (2008), "토목섬유보강 성토지지말뚝시스템의 지반아칭에 관한 이론해석", *대한토목학회논문집*, Vol.28, No.2C, pp.133-141.
6. Atkinson, J. H. and Potts, D. M. (1977), "Stability of a shallow circular tunnel in cohesionless soil", *Geotechnique*, Vol.27, No.2, pp.203-215.
7. British Standard Institution (1995), *Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills*, BS 8006.
8. Bujang, B.K.H. and Faisal, H.A. (1993), "The mechanics of piled embankment", *Proc., International Conference on Design and Construction of Deep Foundations*, FHWA., Vol.II, pp.1069-1082.
9. Eekelen, S.J.M, Bezuijen, A. and Oung, O. (2002), *Arching in piled embankments; experiments and design calculations*, GeoDeft report, pp.887-894.
10. Hong, W.P., Lee J.H. and Lee K.W. (2007), "Load transfer by soil arching in pile-supported embankments", *Soils and Foundations*, Vol.47, No.5, pp.833-843.
11. Liu, L.H., Ng, C.W.W. and Fei, K. (2007), "Performance of a Geogrid-Reinforced and Pile-Supported Highway Embankment over Soft Clay: Case Study", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.133, No.12, pp.1483-1493.
12. Low, B.K. Tang, S.K. and Choa, V. (1994), "Arching in piled embankments", *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol.120, No.11, pp.1917-1937.
13. Matsui, T., Hong, W. P. and Ito, T. (1982), "Earth pressure on piles in a row due to lateral soil movements", *Soils and Foundations*, Vol.22, No.2, pp.71-81.
14. Terzaghi, K. (1943), *Theoretical soil mechanics*, John Wiley & Sons, New York. pp.66-75.

(논문접수일 2010. 8. 11, 심사완료일 2010. 9. 2)