

연약지반 개량시 지오그리드 보강효과에 관한 실험적 연구

Experimental Study on the Reinforcement Effect of Geogrid in Soft Ground Improvement

함현수¹, 이상덕^{2*}

Hyeon-Su Ham¹, Sang Duk Lee^{2*}

¹Member, Graduate Student, Department of Civil and Transportation Engineering, Geotechnical Engineering, Ajou Univ., 206 Worldcup-ro, Yeongtong-gu, Suwon 16499, Republic of Korea

²Member, Professor, Department of Civil and Transportation Engineering, Geotechnical Engineering, Ajou Univ., 206 Worldcup-ro, Yeongtong-gu, Suwon 16499, Republic of Korea

ABSTRACT

The number of construction of roads and railroads in soft ground such as coastal areas and wetlands is getting increased. For this reason cases that soft ground improvement is applied are increasing. In general, many ground improvement methods consider only the working conditions at the time or only economy. But if the working condition and economy are taken into consideration together, the number of applicable construction method gets limited. In such a case, a ground improvement method using both the surface layer portion and the deep layer portion is applied. But the basic research on this is still insufficient in practice. Therefore, in this study the reinforcement effect of geogrid was investigated by carrying out the model test realizing the case in which soft surface ground improvement and depth improvement are simultaneously applied. And it was intended to understand the effect of the thickness of surface layer, the diameter and length of the improvement body on the reinforcement effect of geogrid. The result showed that the effect of the surface layer thickness is greater than the effect of the deep layer diameter. Moreover, when the surface layer is reinforced with a geogrid, the strength of the surface layer part is enhanced and this effect of a geogrid reinforcement caused the reduction of surface settlement.

요 지

해안지대나 습지와 같은 연약지반에 도로나 철도 건설이 빈번해지면서 이를 위한 연약지반 개량 사례가 증가하고 있다. 일반적으로 연약지반 개량시 작업조건만을 고려하거나 경제성만을 고려한 공법은 다수 존재하나 작업조건과 경제성을 함께 고려할 경우 적용 가능한 공법은 제한적이다. 이러한 경우 표층부와 심층부를 병용하여 개량하는 공법이 적용되어지는데, 이에 대한 기초적인 연구가 부족한 현실이다. 따라서, 본 연구에서는 연약지반에서 표층부 개량과 심층부 개량을 병용하는 경우에 대해 모형시험을 수행하여 지오그리드 보강 효과를 확인하고자 하였으며, 이때 표층부의 두께, 심층부 개량체의 직경 및 길이가 지오그리드 보강 효과에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 그 결과 표층부의 두께가 심층부의 직경보다 보강효과가 크다는 것을 확인하였고, 또한 표층부를 지오그리드로 보강한 경우 표층부의 강도가 증진되어 침하량이 저감됨을 확인하였다.

Keywords : Soft ground, Geogrid, Raft foundation, Settlement

1. 서 론

최근 국내의 서해안 간척지와 낙동강 인근지역 및 동남

아시아 해안지대와 습지 등에서 대규모 항만개발, 산업단지 조성, 신도시를 건설하는 사례가 증가하고 있다. 오늘날 상부구조물이 대형화와 고층화되면서 초고층 빌딩, 초장대교량 주탑 등의 기초는 높은 연직지지력과 수평 저항력(또는 모멘트에 대한 저항력)을 요구하고 있어 대구경 현장타설말뚝 또는 고강도 기성말뚝이 균말뚝 형식으로

Received 16 Jun. 2017, Revised 18 Dec. 2018, Accepted 19 Jun. 2018

*Corresponding author

Tel: +82-31-219-2503; Fax: +82-31-219-2501

E-mail address: lsangduk@ajou.ac.kr (S. D. Lee)

설계 및 시공된다. 해외에서는 연직력이 지배적인 기초의 경우, 말뚝지지전면기초(Piled raft)로 설계를 하여 연직하중에 대하여 무리말뚝을 연결하는 전면기초(바닥슬라브)로 하중을 부담하도록 하고 있다(Patilet al., 2016; Phung, 2010).

이러한 대형구조물을 연약지반에서 시공할 경우는 지반을 개량하거나 상부에 성토하중을 재하하여 안전성을 확보해야 한다.

연약한 점토지반에 도로 또는 철도 건설을 위한 성토제방을 축조하는 경우 성토제방의 안정성 확보를 위하여 점토지반에 심층혼합공법으로 조성된 시멘트 개량체 기둥의 휨성능을 개선할 목적의 연구가 진행되었다(Jung et al., 2017). 또한 현장타설말뚝 형식을 선정하였으며 성토지이용 말뚝구조가 요구하는 현장타설말뚝의 재료에 대한 연구가 진행되었다(Choi et al., 2016).

연약지반위에 성토하중을 지지하기 위한 공법으로 최근에는 시멘트, 석회, 또는 플라이 애쉬 등으로 안정처리한 점토의 역학적 거동을 개선하기 위하여 PET(Polyester), PP(Poly-Propylene), PVA(Polyvinyl alcohol), Nylon 등의 섬유로 보강한 시멘트/석회/플라이 애쉬-점토 혼합토에 관한 연구가 많이 진행되고 있다(Kumar et al., 2006; Jadhao and Nagarnaik, 2008; Rafalko et al., 2009; Yilmaz and Karatas, 2011; Chegenizadeh and Nikraz, 2012; Fatahi et al., 2012; Estabragh et al., 2012).

국내에서는 DCM 공법이 주로 적용되며 이에 대한 해석적 연구를 진행하여 하중분담 특성에 대한 거동을 확인하였고(Shin, 2014), 일본에서는 ALiCC공법(Japan Civil Engineering Research Institute, 2007)에 대한 적용이 이루어지고 있는 실정이다.

이와 같이 심층부를 처리하여 개량하는 경우가 대부분 이거나, 경제성을 고려할 경우 적용 가능한 공법은 제한적이다. 이러한 경우 표층부와 심층부 개량을 동시에 적용할 수 있는 공법이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 표층부와 심층부 개량이 병용될 경우 지오그리드 보강 유무에 따라서 표층부 및 심층부의 거동을 확인하고자 모형실험을 수행하였다.

2. 모형실험

본 연구는 연약지반에서 표층부와 심층부 보강체에 대하여 표층부의 두께, 심층부의 직경을 변화시켜 모형실험을 수행하여 단계별 하중재하에 따른 보강체의 거동에 대한 연구를 실시하였다.

2.1 모형실험기

모형시험기는 모형토조와 가압장치 및 변위장치로 구성되어 있다(Fig. 1). 모형토조의 크기는 0.6m(Diameter) × 1.0m(Height)이다. 하중 재하로 인한 변형이 발생하지 않도록 강재로 제작하였다.

모형토조의 상부는 분리가 가능하도록 제작하여 시험 후 모형 실험체를 육안으로 확인할 수 있도록 하였다. 상부의 가압장치는 모형토체와 멤브레인을 접하게 하고, 멤브레인 내부로 압축공기를 주입하여 토체 지표에 균등한 하중이 가해지도록 제작하였다. 하중 재하에 따른 모형실험체의 변위발생을 확인하기 위하여 총 5지점에 변위계를 설치하여 위치별 침하량을 측정하였다.

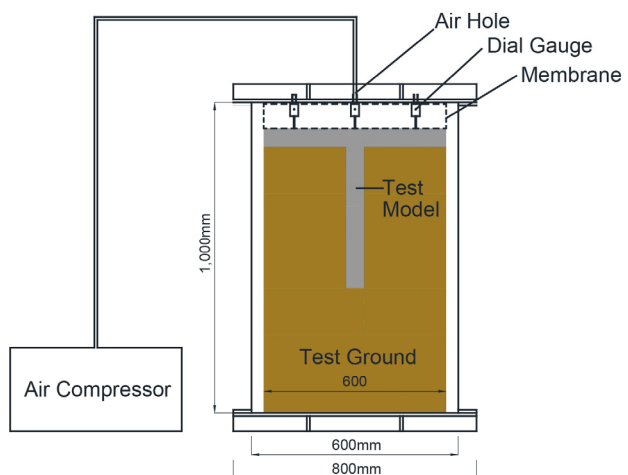
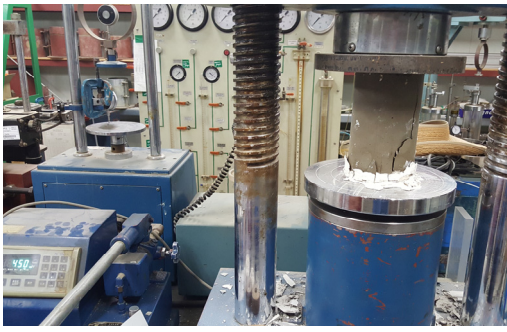


Fig. 1. Model Test Equipment



(a) Uniaxial Compression Test



(b) Test Model



Fig. 2. Model Test Equipment

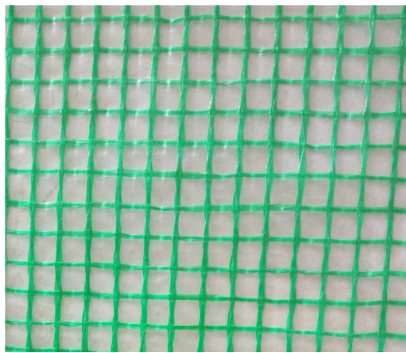


Fig. 3. Geogrid Model

2.2 모형지반 및 실험체

모형지반은 연약지반의 특성을 나타내고 균질하게 유지될 수 있도록 벤토나이트를 이용하여 조성하였다. 일정량의 함수비(약 30% 유지)를 가지도록 조성하여 균질한 상태의 지반조건을 모사하였다.

표층부 및 심층부개량체는 건조된 점토시료, 시멘트, 물을 1:1:2로 배합한 후 4MPa 이상의 일축압축강도가 발현되면 실험을 수행하였다. 연약지반 모형개량체는 함수비,

시멘트 함유량을 변수로하여 조성하였다.

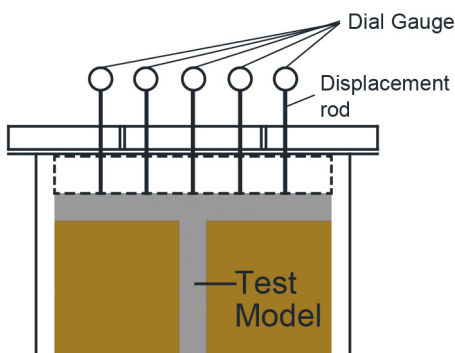
지오그리드는 PP섬유 재질의 메쉬재료를 이용하여 모사하였다(Fig. 3)

2.3 변위 및 하중의 측정

모형 실험기에 변위와 하중 측정을 위한 측정장치를 설치하여 단계별 하중재하에 따른 개량체의 변위 거동특성을 파악하였다. 표층부의 침하량은 가압판 상부에 연직으로 움직일 수 있는 변위봉(50mm)을 총 5개 거치하고 그 위에 다이얼게이지(Dial Gauge)를 설치하여 위치별 변위 특성을 파악하였다. 하중재하는 압축공기장치를 이용하여 레귤레이터로 단계별 하중을 가압하였다. 최종 하중단계는 0.2MPa까지 재하하였다. 변위 계측 장치와 하중 조절용 레귤레이터는 Fig. 4와 같다.

2.4 실험방법 및 변수

연약지반에서 표층부와 심층부개량체의 단계별 하중재



(a) Dial Gauge and Displacement rod



(b) LVDT



(c) Regulator

Fig. 4. Instrument Type

Table 1. Variables of Model Experiment

Thickness (T, mm)	Diameter (D, mm)	Length (L, mm)	Reinforcement
25	25	250	No Reinforcement
		500	
		750	
		1,000	
	50	250	
		500	
		750	
		1,000	
50	25	250	Geogrid
		500	
		750	
		1,000	
	50	250	
		500	
		750	
		1,000	

하에 따른 변위거동을 파악하기 위해 수행한 모형실험의 방법은 다음과 같다.

- ① 모형지반 조성, ② 모형 개량체 타설, ③ 상부 가압장치, 변위계 및 하중 조절용 레귤레이터 설치, ④ 하중 재하, ⑤계측의 순으로 실험을 실시하였다.

실험과정중 실험체는 완전 밀폐하여 함수비의 변화가 발생하지 않도록하였다. 실험변수는 모형 개량체의 표층부 두께, 심층개량체 직경 및 길이를 변화시켜 모형 개량체의 변위거동을 파악(Fig. 4)하고, 표층부에는 모형지오그리드를 설치하여 무보강시와 보강시의 차이점을 파악하였다.

모형지오그리드는 표층부의 하부 1/4높이에 설치하였다.

3. 결과분석

연약지반에 표층부 및 심층부개량체의 표층부 무보강과 보강시의 거동특성을 파악하기 위한 모형실험의 결과는 다음과 같다.

3.1 무보강시 거동특성

3.1.1 표층부 두께에 대한 거동특성

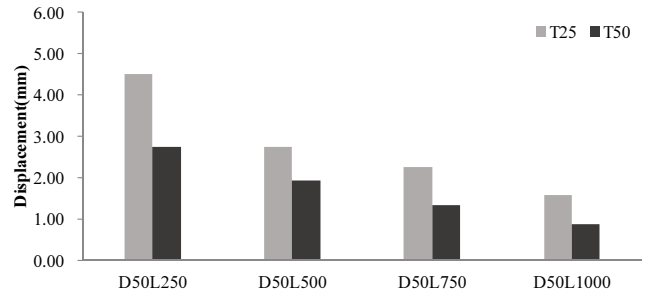
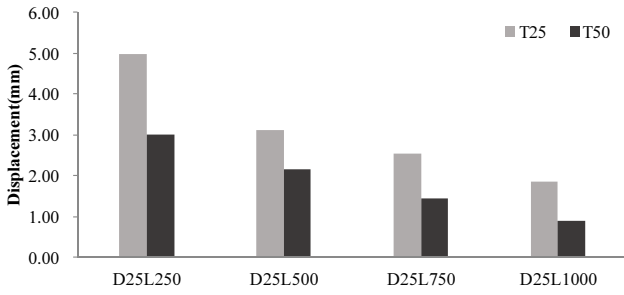
Fig. 5는 표층부 두께가 다른 경우와 심층부의 직경이

다른 경우의 표층부 침하량을 나타내고 있다. 표층부는 두께가 증가할수록 변위가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 표층부 두께가 25mm인 경우는 심층부 길이 500mm부터 침하감소가 시작되며 길이가 1,000mm로 변화하는 동안의 감소량은 작아진다. 표층부 두께 50mm인 경우는 심층부 직경의 길이가 길어질수록 선형적인 침하 감소량이 나타났다. 직경 50mm, 25mm인 경우는 동일한 심층부 직경일 때 표층부 두께 변화에 따라 약 39~51%의 침하감소량이 나타났다. 표층부 두께가 변화할 때 표층부의 강성이 증가하여 개량체 전체의 안전성을 증가시키는 것으로 판단된다.

3.1.2 심층부 직경 및 길이에 대한 거동특성

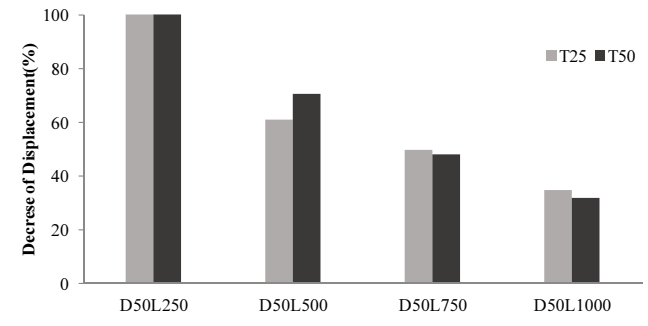
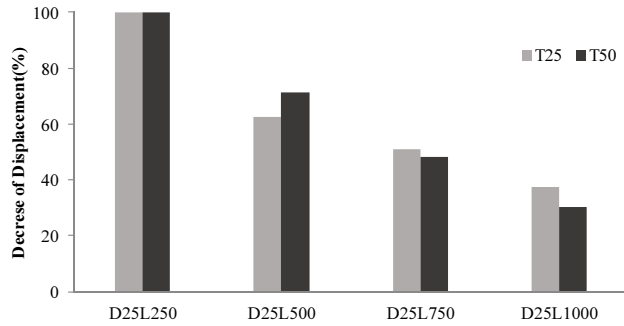
표층부의 두께가 동일하고 심층부의 직경이 증가할 경우는 표층부의 변위가 감소하는 것을 확인할 수 있다(Fig. 6(a)). 심층부 직경을 변화할 경우 두께 변화에 대한 침하량의 차이는 약 10~15% 정도가 나타났다. 그러나 심층부 직경의 증가에 대한 침하감소량은 각 케이스별 1~3%의 차이로 미세하게 나타났다. 이는 심층부의 직경보다 표층부의 두께가 전체적인 거동에 크게 작용한다고 판단된다.

심층부의 길이에 따른 보강효과는 길이가 길어지면 침하량이 감소하는 것으로 나타났다. 심층부 길이가 250mm인 경우와 심층부 길이가 1,000mm인 경우를 비교하면 34~37%의 변위 발생량이 감소하는 것으로 나타났다. 변위



(a) Displacement of Surface (Diameter 25 mm)

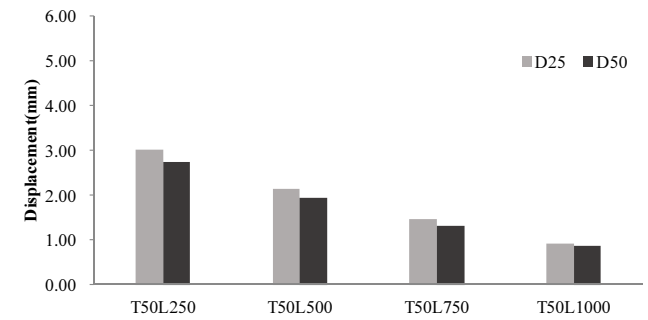
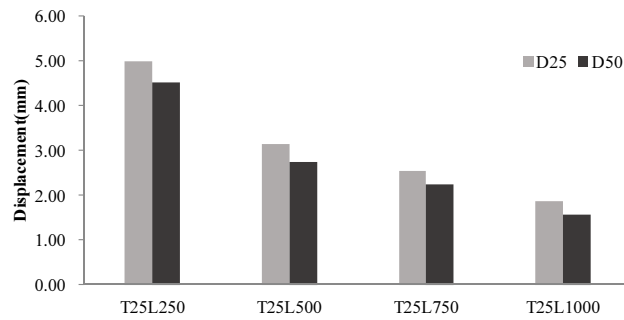
(b) Displacement of Surface (Diameter 50 mm)



(c) Decrease of Displacement (Diameter 25 mm)

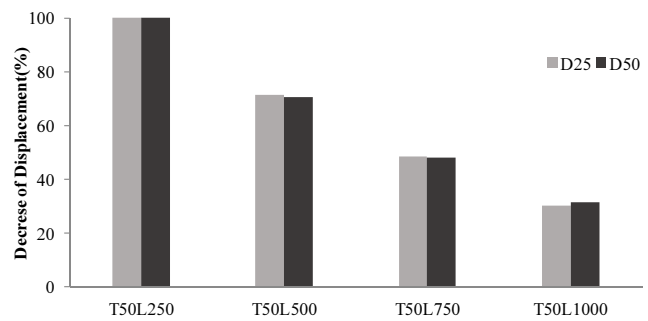
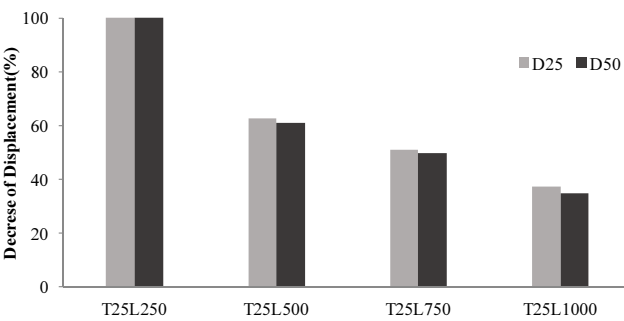
(d) Decrease of Displacement (Diameter 50 mm)

Fig. 5. Displacement Depending on Surface Thickness



(a) Displacement of Surface (Diameter 25 mm)

(b) Displacement of Surface (Diameter 50 mm)



(c) Decrease of Displacement (Diameter 25 mm)

(d) Decrease of Displacement (Diameter 50 mm)

Fig. 6. Displacement Depending on Column Diameter

감소량이 변화하는 구간은 심층부 길이가 500mm일 때로 심층부 길이가 250mm일때와 비교하면 20~60%의 변위 감소가 나타났다. 이는 심층부의 길이가 길어질수록 변위량은 감소하나 커지나 일정길이 이상부터는 변위가 감소

하는 경향이 완만히 감소하는 것을 나타낸다. 이는 시공조건을 고려하여 심층부의 개량깊이를 검토해야할 것으로 판단된다.

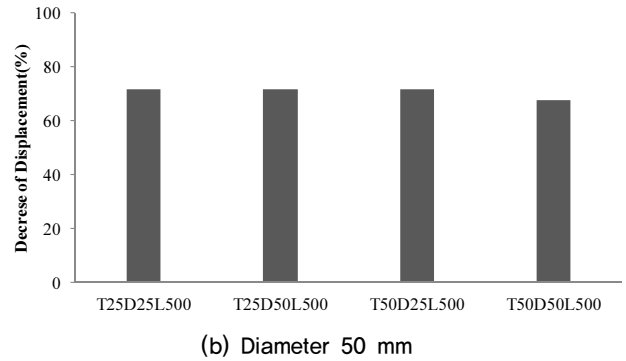
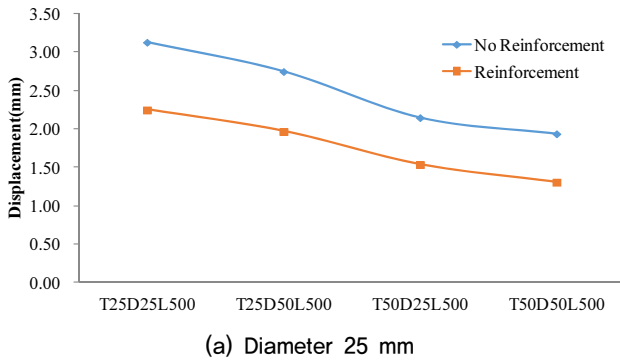


Fig. 7. Reinforcement Effect

3.2 보강시 거동특성

지오그리드를 보강하지 않은 경우 보강체 길이가 500mm 인 경우 변위 발생경향이 감소하기 시작하는 것으로 나타나 지오그리드를 보강한 경우에 대해서 실험을 진행하였다(Fig. 7).

모형 지오그리드로 보강할 경우는 지오그리드로 보강하지 않은 경우와 비교하여 표층부의 침하량이 감소하는 것을 확인하였다. 표층부두께가 두꺼워질 경우 심층부 직경이 동일한 경우보다 침하량이 감소함이 나타났고, 표층부두께가 동일한 경우 심층부 직경이 증가할수록 침하량이 감소하였고, 동일한 심층부 두께에 대하여 표층부 두께가 증가할수록 영향을 많이 미치는 것으로 나타났다. 그러나 지오그리드로 보강한 경우 무보강시와 비교하여 약 28~32%의 침하량 저감을 확인하였다. 하중재하에 의해 표층부에 설치한 모형 지오그리드는 인장저항력이 발현되며, 발현된 인장응력이 모형지반 및 개량체에 구속응력으로 작용하여 강도 증진과 강성의 증가를 확보하도록 하는 것으로 판단된다. 이는 상부하중 크기에 따라 하부 연약지반 및 개량체의 안전성을 검토 한 후 지오그리드를 보강할 경우 경제적인 설계를 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

연약지반의 경우 표층을 처리하여 개량하거나, 심층부를 처리하여 개량하는데 경제성을 고려할 경우 적용 가능한 공법이 제한적으로 병용하여 적용할 수 있도록 표층부와 심층부개량체를 모사하고 지오그리드로 보강하는 경우 거동에 대하여 실험적으로 연구하였다. 이를 통해 도출된 결론은 다음과 같다.

- (1) 표층부의 두께는 두꺼워질수록 침하가 저감되는 효과가 나타났다. 두께가 두꺼워지면 개량체의 강성이 증가하여 침하가 저감되고 심층부에 하중전달을 저감하는 것으로 판단된다.
- (2) 심층부 개량체의 직경이 증가하면 침하량 저감은 1~3%이고, 심층부 보강길이가 증가하면 침하량 저감은 34~37%인 것을 확인하였다. 그러나 표층부 두께가 두꺼워지는 경우는 39~51%의 침하 저감이 발생되어 표층부 두께에 의한 영향이 더 큰 것으로 판단된다.
- (3) 모형 지오그리드로 보강한 경우 보강하지 않은 경우보다 약 28~32%의 침하 저감 효과가 나타나는 것을 확인하였다. 하중재하에 의해 표층부에 설치한 모형지오그리드의 인장저항력이 발현되며, 발현된 인장응력이 모형지반 및 개량체에 구속응력으로 작용하여 강도 증진과 강성의 증가를 확보하도록 하는 것으로 판단된다.

본 연구는 표층부와 심층부개량체의 거동에 대하여 축대칭 실험기를 이용하여 모형실험을 통한 연구로 향후 추가적인 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This research was supported by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport (15CTAP-C098126-01). Thank you.

References

1. Chegenizadeh, A. and Nikraz, H. (2012). "Performance of fiber reinforced clayey sand composite.", *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, Vol.6, Issue2, pp.147-152.
2. Choi, C. L., Lee, K.W., Kim, E. H., and Jung, J. W. (2016), "A Study on the Pile Material Suited for Pile Supported Embankment Reinforced by Geosynthetics", *Journal of Korean Geosynthetics Society*, Vol.15, No.1, pp.21-35.
3. David (2005), *The Overriding Aspects of the Design of Geosynthetic-Reinforced Pile Supported Embankments*, American Society of Civil Engineers.
4. Fatahi, B., Khabbaz, H. and Fatahi, B. (2012). "Mechanical characteristics of soft clay treated with fiber and cement." *Geosynthetics International*, Vol.19, No.3, pp.252-262.
5. Jadhao, P. D. and Nagarnaik, P. B. (2008). "Performance Evaluation of Fiber Reinforced Soil-Fly Ash Mixtures." *Proc. of the 12th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics*, Goa, India.
6. Japan Civil Engineering Research Institute (2007), *ALiCC method manual for ground improvement*, Kashima publication, pp.3-10.
7. Jung, D. H., Cho, B. S., and Lee, Y. Y. (2017), "Flexural Performance of cement Treated clay-Sand Mixtures Reinforced with Synthetic Fibers", *Journal of Korean Geosynthetics Society*, Vol.16, No.1, pp.19-29.
8. Kim, J. H., Kim, S. G., and Chun, B. S. (2013), "A Study on Piled Raft Constructed on Soft Ground Through Numerical Analysis", *Journal of the Korean Geo-Environmental Society*, Vol.14, No.3, pp.29-34.
9. Kumar, A., Walia, B. S., and Mohan, J. (2006). "Compressive Strength of fiber reinforced highly compressible clay.", *Journal of Construction and Building materials*, Vol.20, pp.1063-1068.
10. Lee, S. D. (2011), *Soil Test*, Saeron publication, pp.90-110, 352-367.
11. Lee, S. D. (2014), *Soil Mechanics*, CIR publication, pp.37-49.
12. Patil, J. D., Vasanvala, S. A., and Solanki, C. H. (2016), "An Experimental Study on Behaviour of Piled Raft Foundation", *Indian Geotechnical Journal*, Vol.46, No.1, pp.16-24.
13. Phung, D. L. (2010) *Piled raft a cost-effective foundation method for high-rises*. *Geotech Eng J SEAGS and AGSSEA*, Vol.41, No.3, pp.1-12.
14. Shin, H. Y., KIM, and Kim, S. B. (2014), "A Comparative Study of Structural Analysis on DCM Improved by Pile and Block Type", *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol.30, No.4, pp.5-19.
15. Shin, T. S and Song, J. H. (1994), "A Study on the Application of Improved Ground Techniques on Dredging-Reclaimed Soft Ground", Chosun University National Development Institute, Vol.30, No.4, pp.21-44.
16. Yilmaz, Y. and Karatas, K. (2011). "Effect of Polypropylene Fiber on the Strength Characteristics of Lightly Cemented Clayey Soil Mixtures.", *Proceedings of Geo-Frontiers 2011: Advances in Geotechnical Engineering*, GSP 211, Dallas, Texas, USA, pp.707-716.