

## Fiber Mat의 Sand Mat 대체가능성평가를 위한 실험적 연구

### An Experimental Study for Substitutability of Sand Mat with Fiber Mat

이 송<sup>1</sup> Lee, Song

정 용 은<sup>2</sup> Jeong, Yong-Eun

#### Abstract

At present, there are several problems related with sand mat which is used as a way to accelerate consolidation settlement, to act like an underground drainage layer and to increase trafficability simultaneously. First of all, the unbalance of the demand and supply of sand is one of the biggest problems, which causes not only price rise but also delay of the term of the total construction work. Secondly, the damage of ecosystem and scenery is triggered by thoughtless sand dredging or mining. So, the need that sand mat should be replaced with a new environmentally friendly material has been increased. Fiber mat may be one of the proper materials that suits the need. Therefore, we intended to compare the drainage properties of sand mat with those of fiber mat by experimental model tests. On the basis of the test results, fiber mat took shorter period of consolidation than sand mat and the amount of settlement in the former showed a little bit bigger than in the latter. As a conclusion, the substitutability of sand mat with fiber mat could be placed highly in view of drainage efficiency. Furthermore, when fiber mat is used, it has an advantage that spoiled soil of the construction site or nearby site can be used for the purpose of increasing trafficability in addition to a role of drainage layer.

#### 요 지

연약지반 상에 시공시 지하배수층으로서의 역할을 하여 압밀침하를 촉진시키고 주행성을 증가하는 역할을 하는 샌드매트와 관련한 여러 문제점들이 있다. 이중 무엇보다도 모래의 수급의 불균형으로 인하여 모래가격의 상승과 전체 시공공정의 지연을 야기하는 점이 가장 큰 문제점이라 할 수 있을 것이다. 다음으로는 모래확보를 위한 무분별한 채굴과 준설로 말미암은 환경 및 자연경관의 파괴도 이러한 문제점중의 하나이다. 따라서 Sand Mat를 대체할수있는 환경친화적인 재료에 대한 필요성이 날로 증가하고 있는 실정이다. 아마도 섬유매트는 이러한 요구에 부응하는 적격한 재료중의 하나라 할 수 있을 것이다. 그러므로, 모형실험을 통하여 샌드매트의 배수특성과 섬유매트의 배수특성을 비교하여 보고자 하였다. 실험결과, 섬유매트의 경우가 샌드매트에 비하여 짧은 압밀시간이 소요되었으며 동일시간의 침하량이 다소 크게 발생하였다. 섬유매트의 샌드매트 대체가능성은 배수효율적인 측면에서 높게 평가되었다. 더욱이 섬유매트는 배수층으로서의 역할 뿐만 아니라 당 현장이나 인근현장의 사토를 장비주행성 향상을 위한 목적으로 사용할 수 있다는 장점이 있다.

**Keywords :** Drainage layer, Fiber mat, Sand mat, Trafficability

1 정희원, 서울시립대학교 공과대학 토목공학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil Engrg., Univ. of Seoul, scugeo@uos.ac.kr)

2 정희원, 서울시립대학교 공과대학 토목공학과 박사과정 (Member, Graduate Student, Dept. of Civil Engrg., Univ. of Seoul)

## 1. 서론

성토 시 특히 연약지반 상에 시공한 Sand Mat의 역할은 크게 세 가지로 지반의 상부 배수층으로서 압밀의 진행을 촉진하며, 성토아래의 지하 배수층으로서 성토내의 지하수면을 저하하고 성토의 강도 혹은 트래피커 벨러티를 양호하게 만드는 점이라 할 수 있다. 이외에도 모관현상에 의한 동결융해로 발생할 수 있는 피해를 미연에 방지할 수 있는 역할을 하게 된다(박병기, 1995).

통상적으로 Sand Mat로 사용되는 모래는 지반개량대 상면적의 전역에 걸쳐 50cm부터 100cm 정도의 두께로 고르게 깔리기 때문에 그 사용량은 방대한 양이다. 따라서 대규모 단지개발이나 지반 개량 시 모래채취원의 원근과 채취량이 Sand Mat 시공에 이어 전체공정에 있어서의 중요한자라 할 수 있다.

우리나라의 경우 최근 들어 수많은 건설현장에서 모래 및 골재의 수급에 비상이 걸렸다 해도 과언이 아니다.

심지어는 재생골재의 이용조차도 공급이 수요를 따라가지 못하는 경우도 빈번하게 발생함을 볼 수 있다. 어떠한 경우에는 수급이 가능하다 할지라도 업자들 간의 담합이나 원거리의 채취원 으로부터 현장으로 반입해야 하는 문제로 수년전에 비하여 공사비증대 및 공기 지연으로 총 공사에 지대한 영향을 미치고 있는 실정이다. 뿐만 아니라 모래 및 골재의 무분별한 채취로 인하여 생태환경의 파괴 및 천연적인 자연경관의 손상도 큰 고민거리 중의 하나이다.

근래 환경적인 관심이 고조되는 가운데 건설분야에서도 별반 관심을 기울이지 않고 사용하던 환경에 악영향을 미치는 건설재료들을 환경친화적인 재료로 대체하고자 하는 움직임이 대세이다.

지반공학적인 측면에서 이러한 변화의 일례를 들자면, 천연배수재의 경우가 그것이라 할 수 있다. 연약지반 개량 시 연직배수재로서 일반적인 PDB나 모래 등을 사용하는 것이 현재까지는 일반적이거나 PDB의 경우 타입 후 영구적으로 지중에 남아있게 되어 환경적인 문제 뿐만 아니라 지하굴착이나 Shield 작업과 같은 사후 공정진행시 작업의 난점을 불러일으키는 문제점이 있으며 모래의 경우에는 전술한 문제점을 안고 있다(이송,

2004). 따라서 압밀진행시 충분한 통수능력을 갖추며, 개량 후 시간경과에 따라 박테리아에 의한 분해로 토양화됨으로써 지반오염방지와 동시에 지반개량 후 추진하게 될 작업의 난점을 미연에 방지할 수 있는 천연배수재로서 대체하고자 하는 것이다(한국건설기술연구원, 2004).

실제 설계 및 시공시 천연섬유매트는 모래에 비하여 투수성이 수배이상 크기 때문에 기성제품인 Fiber mat와 Fiber drain을 조합하여 격자형으로 포설하고 이음부를 접합하는 방식으로 시공이 이루어지고 Sand Mat에 비하여 시공성이 우수하고 시공이 빠르므로 공기를 대폭 감축할 수 있으며 주행성의 확보는 산토나 사토를 포설하는 방법으로 이루어지므로 모래수급으로 인한 문제점을 일거에 해결할 수 있다.

이러한 Fiber Mat와 Fiber Drain을 이용한 지반개량의 실제적용사례는 동남아시아와 일본의 경우에는 수건의 적용실적이 보고되고 있으나 아직까지 국내에서는 연구 및 현장적용에 있어서 초기단계라 할 수 있다. 특히 천연섬유매트에 대한 경우는 현장적용으로부터 얻은 자료뿐 만아니라 현장시험시공이나 실내시험을 통한 자료도 전무하다시피 한 실정이다.

그러므로 본 연구는 위와 같이 여러 가지 문제점을 안고 있는 Sand Mat의 대체 재료로 이미 국내의 몇 군데 현장에서 채택하여 실제시공에 적용하고 있는 Fiber mat의 효용성을 평가하는데 주안점을 두었다. 그리고 Fiber Mat의 배수효과를 판정하기 위하여 실내모형토조 시험을 통하여 Sand Mat의 배수효과와의 직접적인 비교를 실시하였다.

## 2. 실내시험

### 2.1 모형연약지반

Sand Mat와 Fiber Mat의 배수효과를 직접적으로 비교하기 위해서 토조 내에 인위적인 연약지반을 형성하였고 이때에 사용된 흙의 물리적 성질과 형성된 모형지반의 건조밀도, 간극비등은 표 1과 같다.

연약지반을 형성한 후 표층부에서 시료를 채취하여 표준 압밀시험을 실시하였고 시험결과는 그림 1과 같으며 얻어

표 1. 사용된 흙의 물리적 성질

구 분	w(%)	Gs	e	$\gamma_d(t/m^3)$	LL(%)	PI(%)	USCS
값	56.4	2.7	1.524	1.070	52.0	23.5	CH

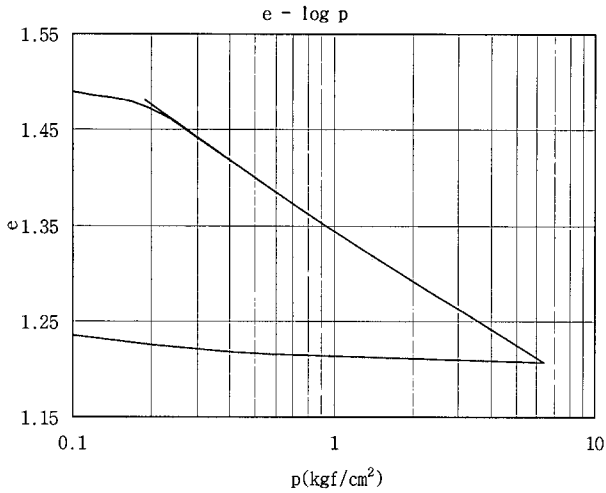
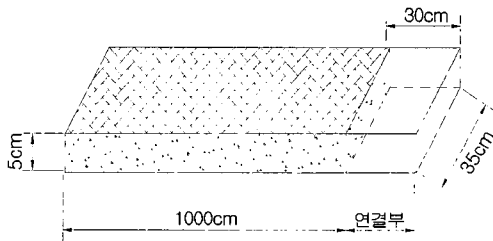


그림 1. 모형지반의 e-log P 곡선

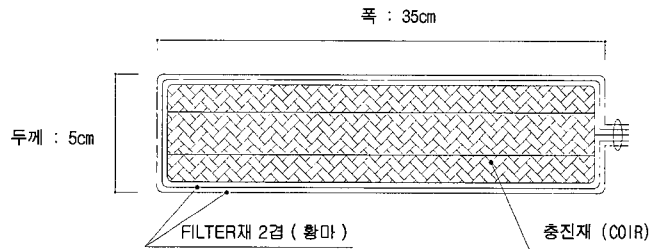
진 압축지수와 선형압밀하중은 각각 0.17과 17.7kPa이었다.

## 2.2 Fiber Mat

본 연구에서 사용한 Fiber Mat 제품은 야자섬유를 선



<FIBER MAT 개요도>



< 횡단면도 >

그림 2. Fiber Mat의 개요도 및 횡단면도

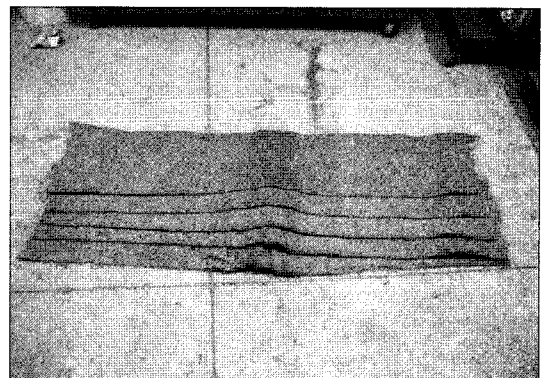
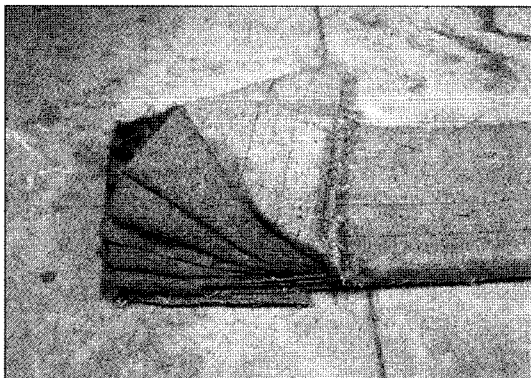


그림 3. Fiber Mat의 단면구성

표 2. Fiber Mat의 품질시험결과

구 분	재 질	인장강도	인장신도	투수계수
허용범위	황마 +야자수외피	1400N/폭(143kg/폭)	9.0%	0.5~1.0cm/sec

상으로 연결하여 압출한 판상의 필터와 그 주위에 황마 섬유를 2중으로 감은 상태의 성상으로 한 장의 크기는 폭은 35cm, 길이는 1000cm, 두께는 5.0cm, 연결용 황마의 길이는 30.0cm이다. 그림 2는 Fiber Mat의 개요도와 횡단면도이며 그림 3은 Fiber Mat의 절개단면내수를 나타내었으며 총 5겹으로 구성되어있다. Fiber Mat의 품질 시험결과를 표 2에 나타내었다.

## 2.3 시험순서 및 방법

천연섬유매트의 배수 특성을 파악하기 위하여 강철 프레임과 측면 아크릴판으로 특수 제작된 토조에 준비된 흙시료를 충분히 교반하여 토조내 투기하였고 층다짐으로 인위적인 지반을 형성한 후 시료의 포화목적으로 투기 후 일주일동안 토조 상부까지 물을 채운상태로 방치하였다.

일주일경과 후 모형지반상부의 물을 배수시키고 나서 형성된 지반상부에 주문진 표준사와 천연섬유매트를 각기 포설하여 상부배수만을 허용하면서 각 단계별

재하 시 시간에 따른 침하량을 실측하여 배수특성을 파악하고자 하였다.

사용한 토조의 크기는 20cm×120cm×60cm(B×L×H)이며 토조내 모형지반의 높이는 40cm였다. 그림 4는 토조에 모형지반을 형성한 후 Sand Mat와 Fiber Mat를 각기 포설한 그림이다.

이때 Sand Mat는 일반적인 현장적용두께가 50cm 나 그 이상이므로 1/5의 두께인 10cm로 결정하였고 20cm의 높이에서 자유낙하 시키는 방법으로 포설하고 나서 상부면을 고르게 정리하였다.

Fiber Mat는 총 5겹으로 구성되어 있으므로 한 겹이 Sand Mat 두께 10cm에 해당한다고 가정하고 모형지반 상부에 한 겹을 포설하였다.

Mat의 상부에 다공질의 강성 재하판을 설치하여 재하함으로써 실제 현장의 단지성토에 해당하는 1차원 압밀을 발생하도록 하였으며 압밀배수된 물을 Mat를 통해 일면배수상태로 상부로만 흐르게끔 유도하였다.

각 단계별 재하중은 4.9, 9.8, 19.6, 39.2kPa의 4단계로 구분하였고 유압잭을 이용하여 각 단계별 소정의 압력

을 24시간씩 유지하였다.

그리고 각 하중단계에서의 침하량을 측정하기 위하여 게이지를 좌우양단과 중앙부 총 3군데에 설치하였고 표준압밀시험 수행 시와 동일한 시간간격으로 재하시의 시간에 따른 침하량을 측정하였다.

그림 5는 설치후의 재하 시 모습과 침하량측정용 게이지를 설치한 모습이다.

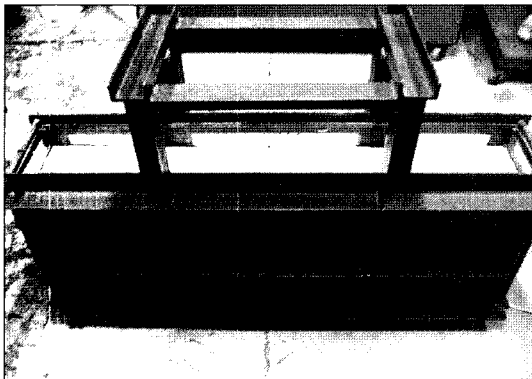
### 3. 시험결과비교분석

모형지반에 실시한 Sand Mat와 Fiber Mat의 하중단계별 시간에 따른 침하량을 그림 6에 나타내었다.

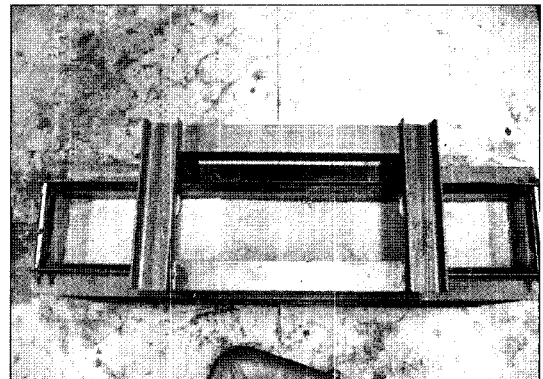
저하중단계인 4.9와 9.8kPa에서는 24시간 재하 시 두 종류의 Mat가 모두 비슷한 정도인 4mm 정도의 침하가 발생하였다.

19.6와 39.2kPa에서는 4.9와 9.8kPa에서보다 거의 두 배에 가까운 침하량을 보였다.

이는 표준압밀시험결과에서 얻어진 선형압밀하중이 19.8kPa로서 모형지반의 선형압밀하중보다 큰 19.6와



(a) Sand Mat 포설



(b) Fiber Mat 포설

그림 4. Sand Mat와 Fiber Mat의 포설모습

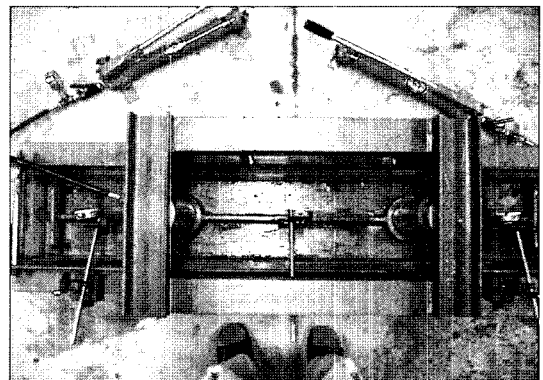
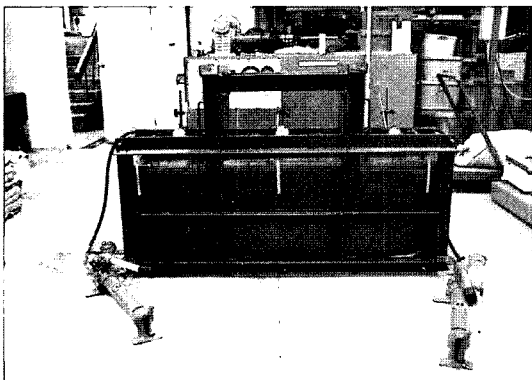


그림 5. 재하모습과 침하게이지 설치

39.2kPa 같은 재하중하에서 정규압밀점토의 거동을 보임으로서 발생한 현상이라 판단된다.

각 하중 단계별로 24시간 재하 후 침하량을 비교하여 보면 표 3과 같다.

그림 6의 경우 모든 하중단계에서 Fiber Mat가 Sand Mat에 비하여 다소나마 빨리 침하가 발생함을 알 수 있으며 최종적인 침하량은 거의 두 Mat가 모두 수렴하는 양상을 보이니 침하의 진행은 24시간 재하 후 다음 단계 재하 시 완전히 종료되지 않는 모습을 보였다.

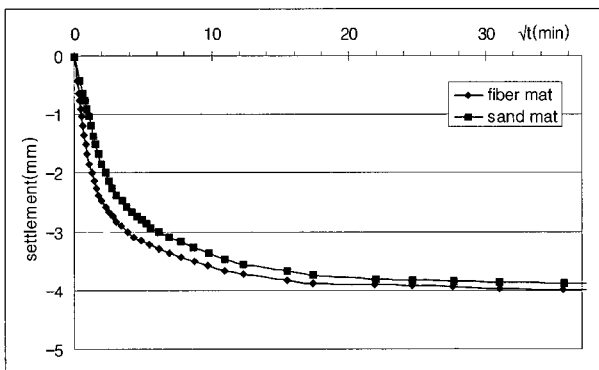
본 시험에서는 양면배수조건으로 두께 2cm의 시료에 재하를 실시하는 표준압밀시험과는 달리 40cm의 두께로 표준압밀시험시료 두께의 약 20배에 해당하는 모형지반의 상부배수만을 허용하면서 하중을 가하는 방식을 선택하였기 때문인 것으로 판단된다.

따라서 각 단계별로 24시간동안 일정한 하중을 유지

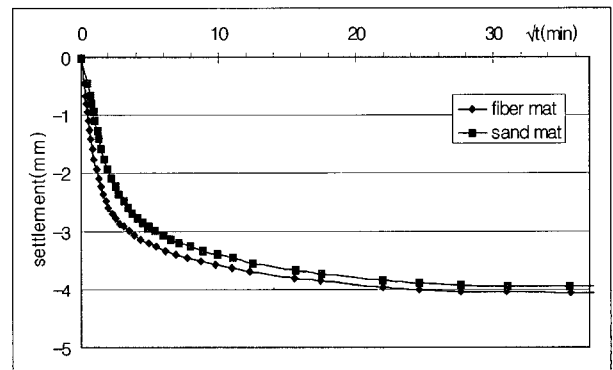
하면서 재하한다 할지라도, 다음 단계의 재하를 실시한 당시 실제로는 1차압밀이 종료되기 이전이기 때문에 다음 단계의 재하를 실시하게 되는 순간에는 비록 강도의 증가는 이전 하중단계의 재하로 인한 압밀의 발생으로 일정부분 발생하였을지라도 과잉간극수압이 완전히 소산되어 1차압밀이 완전히 종료되는 100%압밀도에 도달되지는 않은 상태이기 때문인 것으로 비록 간극수압을 직접적으로 측정하여 평가하지는 않았으나 그 원인을 미루어 판단할 수 있다.

일반적으로 모래지반의 투수계수는  $10^{-3} \sim 10^{-4}$ cm/sec 인 반면 Fiber Mat의 투수계수는 0.5~1.0cm/sec정도로 작게는 500배로부터 크게는 10000배의 큰 차이가 난다.

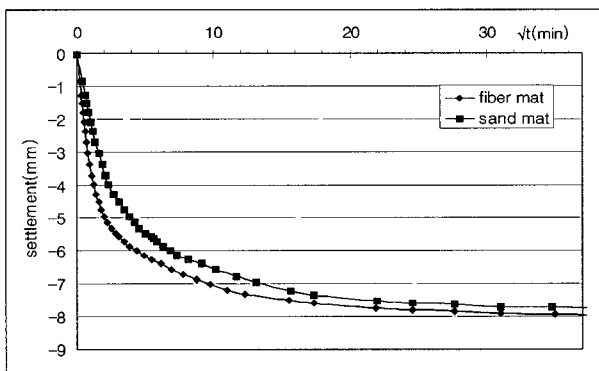
따라서 이와 같이 Fiber Mat의 투수성이 Sand Mat에 비하여 우수함에 따라 압밀배수가 원활하게 이루어짐으로써 각 재하단계초기에 Fiber Mat의 침하속도가 Sand



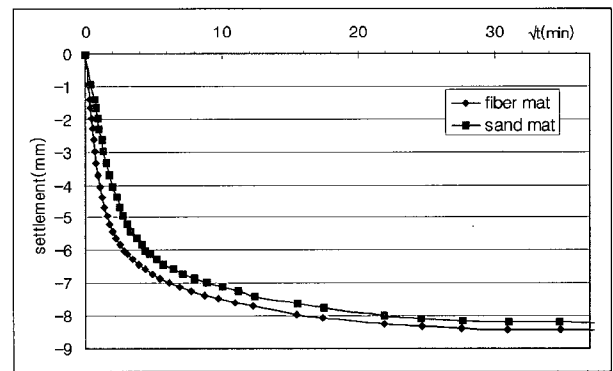
(a) 4.9kPa



(b) 9.8kPa



(c) 19.6kPa



(d) 39.2kPa

그림 6. 각 하중단계별 시간에 따른 침하량

표 3. 각 하중단계별 최종침하량

구 분	재 하 하 중 kPa				침하량누계 (mm)	
	4.9	9.8	19.6	39.2		
하중 단계별침하량(mm)	Sand Mat	3.88	3.94	7.73	8.19	23.74
	Fiber Mat	3.99	4.06	7.94	8.42	24.41

Mat에 비하여 월등한 것은 당연한 결과라 판단된다.

그러나 각 하중 단계에서의 24시간 재하 시 침하량은 Fiber Mat가 재하초기에는 Sand Mat에 비하여 크지만 시간 경과에 따라 점차 침하속도가 감소하면서 최종적으로는 Fiber Mat가 조금 크기는 하나 거의 유사함을 알 수 있다.

최종침하량은 표 3에서 보이는 바와 같이 각 단계별 침하량을 누적한 결과를 보면 24.41mm의 총 침하량이 발생한 Fiber Mat가 23.74mm의 총 침하량이 발생한 Sand Mat에 비하여 0.97mm의 침하가 더 발생하였다.

한편  $10^{-3} \sim 10^{-4}$ cm/sec에 달하는 Sand Mat의 투수계수에 비하여 Fiber Mat의 투수계수가 0.5~1.0cm/sec로 수 배 이상 큰데도 불구하고 침하시간이 크게 단축되지 않은 원인과 재하초기에 Fiber Mat의 침하속도가 Sand Mat보다 큰 이유는 두 가지 Mat 모두 재하초기에는 상부 배수층에 가까운 위치의 간극수가 가장 먼저 소산되고 시간경과에 따라 점차적으로 하부 간극수가 상부 배수층으로 이동을 하게 되는 것이 자명하므로 상부의 간극수의 배출속도는 결국 Mat의 투수성에 지배를 받게 되는 등 복합적인 작용 때문인 것으로 판단된다.

그러므로 재하초기에 투수계수가 큰 Fiber Mat의 침하속도가 빠르게 발생하고 시간이 지나고 압밀도가 증가함에 따라 모형지반 하부의 재하로 인해 발생한 과잉 간극수는 원 지반의 투수계수에 의존하기 때문에 두 Mat의 침하속도가 비슷해지는 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

Sand Mat대체 재료들 가운데 최근 부각되고 있는 Fiber Mat의 현장 적용성을 평가하기 위한 목적으로 실내시험을 실시하였으며 이들 두 Mat간의 배수특성을 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 시험결과 각 하중단계별(4.9, 9.8, 19.6, 39.2kPa) 시간에 따른 압밀침하는 Fiber Mat가 Sand Mat에 비하여 최종 침하량이 다소 컸으며 압밀침하에 소요되는 시간 또한 동일 침하량일 때 더 빠른 것으로 나타났다.
- (2) 모든 하중단계에서 Fiber Mat가 Sand Mat에 비하여 다소나마 빨리 침하가 발생함을 알 수 있으며 최종적인 침하량은 거의 두 Mat가 모두 수렴하는 양상

을 보이거나 침하는 24시간 재하 후 다음 단계 재하 시 완전히 종료되지 않는 모습을 보였다. 또한 최종 침하량이 Fiber mat가 0.97mm 더 크게 발생하였다.

- (3)  $10^{-3} \sim 10^{-4}$ cm/sec에 달하는 Sand Mat의 투수계수에 비하여 Fiber Mat의 투수계수가 0.5~1.0cm/sec로 수배이상 큰데도 불구하고 침하시간이 크게 단축되지 않은 원인과 재하초기에 Fiber Mat의 침하속도가 Sand Mat보다 큰 이유는 두 가지 Mat 모두 재하초기에는 상부 배수층에 가까운 위치의 간극수가 가장 먼저 소산되고 시간경과에 따라 점차적으로 하부 간극수가 상부 배수층으로 이동을 하게 되는 것이 자명하므로 상부의 간극수의 배출속도는 결국 Mat의 투수성에 지배를 받게 되는 등의 복합적인 작용 때문인 것으로 판단된다.

본 연구에서는 상부 전단면 포설의 형태로 축소모형 시험을 실시한 경우이기 때문에 실제 현장에서의 거동을 완벽하게 재현하기엔 다소나마 거리가 있을 것으로 판단된다.

따라서 실제 시험성토를 통한 거동의 관측 및 Fiber Mat의 인장강도를 고려한 성토사면의 안정성해석등에 관한 후속연구가 뒷받침 되어야 할 것으로 판단된다.

#### 참고 문헌

1. 박병기, 장용채, 이강일 (1995), “연약지반에서의 토질공학”, 도서출판 새론, pp.204-230.
2. 이 송, 정상국, 전제성, 김원영 (1999), “연약점토 지반의 수평배수 압밀 특성에 관한 연구”, 대한토목학회 학술발표 논문집(II), pp.431-434.
3. 이 송, 정용은, 최재균 (2004), “천연섬유배수재의 압밀배수특성”, 선진화 해안도로 건설을 위한 국제 심포지움(International Symposium Constructing Advanced Coastal Road), pp.105-117.
4. 최재균, 이 송, 정용은 (2004), “천연섬유배수재의 압밀배수특성에 관한 연구”, 대한토목학회, 가을정기학술발표대회, pp.5338-5343.
5. 한국건설기술연구원 (2004), “자연친화형 도로건설을 위한 친환경 경 배수재 활용 연약지반개량기술 연구(1)”, '03 건설기술기반구축사업 1차년도 연구보고서, pp.47-98.
6. Asaoka, A. (1984), “Observational Procedure of Settlement Prediction”, *Soil and Foundations*, Vol.18, No.4, pp.87-101.
7. Button, S. J. (1953), “The Bearing Capacity of footings on a Two-layer Cohesive Subsoil”, *Proceedings of Third International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol.1, pp.332-335.
8. Skempton A. W. (1951), “The Bearing Capacity of Clays”, *Proceedings of Building Research Congress, London*, pp.180-189.

(접수일자 2005. 5. 31, 심사완료일 2005. 7. 5)