

섬유 보강토의 균열 특성 연구

A Study on the Crack Characteristics of the Synthetic Fiber Reinforced Soil

송 창 섭* · 이 신 호* · 장 병 욱** · 반 창 현*
Song, Chang Seob · Rhee, Shin Ho · Chang, Pyoung Wuck · Ban, Chang Hyun

Abstract

This study has been performed to confirm the three dimensional effect of the crack reduction and the restrained effect of crack growth for the synthetic fiber reinforced soil. Two types of polypropylene fiber and low plastic clay(CL) were used for the test. And the test variables were fiber length and so on.

The results of the study were summarized as follows :

- 1) The mixing of synthetic fiber was effective in reducing crack growth due to adhesion between soil particles and synthetic fiber. Especially initial crack was delayed, as compared with the pure soil, for about 1 day in case of mono filament synthetic fiber and for about 1 or 2 days in case of fibrillated synthetic fiber.
- 2) As the content and length of synthetic fiber were increased, the effect of crack reduction was increased. It was found that 0.5% fibrillated synthetic fiber with 40mm length reinforced soil had about 3 times more effective than natural soils.
- 3) In case of the same fiber content and fiber length, the fibrillated synthetic fiber has more effective than the mono filament synthetic fiber for crack reduction.

I. 서 론

토목섬유는 1926년 미국 South Carolina Highways Department에서 발주한 도로공사에 처음으로 사용된 이래, 주로 분리, 여과, 보강, 배수, 액체/기체 차단기능 등의 용도로 각종 토목건설 및 환경분야에서 그 사용 영역을 확장해 나가고 있다. 토목섬유의 종류에는 투과성을 가진 지오텍스타일(Geotextiles), 차수성의 지오 멤브레인(Geo-

membranes), 보강용의 지오그리드(Geogrids), 배수용의 지오네트(Geonets) 그리고 지오웹(Geowebs), 토목섬유 점토차수제(Geosynthetic clay liners), 지오메시(Geomesh) 및 복합체(Geocomposites)등을 들 수 있다. 토목섬유 보강의 기능에 대한 역학적 기본 개념은 인장강도가 크고 탄성계수가 큰 재료를 흙속에 매설함으로써, 압축력에는 비교적 강하나 인장력에는 약한 흙의 공학적 성질을 개량하고, 이 보강 구조물의 수직 및 수평 활동을 억

* 충북대학교 농과대학

** 서울대학교 농업생명과학대학

키워드 : 섬유 보강토, 단사형 섬유, 망사형 섬유, 균열 특성

제시킴으로서 지반의 안정과 구조물의 내구성을 증진시켜 주는 것이 토목섬유의 보강에 대한 개념이다. 이러한 토목섬유 보강개념은 흙-토목섬유의 층상 interface 작용에 의한 2차원적인 개념에 한정되어 있는 것이 사실이며, 3차원적인 입체 섬유 보강토의 성질 및 역학적 특성들에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

한편, 흙은 분자간 결합이론에 의하여 거리가 15Å 이내이면 입자간 인력이 작용한다. 이들 힘은 건조 또는 압밀에 의하여 입자가 아주 접근될 때에 나타나며, 이때 발생하는 건조수축으로 인해 유발되는 수축 균열은 지반이나 토목구조물에서 여러 가지 문제를 일으키고 있다. 만약 흙의 광물 조성, 흙의 입자 배열구조, 그리고 수분 감소에 따른 건조수축률이 본 연구에서 사용된 소성 수축판의 전단면에서 일정하다면 건조수축에 의한 균열은 일어나지 않을 것이다. 그러나 흙입자간 인력의 차이는 수축시 균열을 발생시키게 되며, 일단 발생된 균열은 지속적으로 성장하게 된다. 섬유보강토의 균열에 영향을 미치는 힘은 섬유의 인장력, 섬유와 흙사이의 부착력 및 마찰력 등이 있는데 흙에 혼합된 섬유는 건조시 발생하는 흙 입자사이의 인력권내에 위치하게 되어 부착력이 가장 크게 영향을 미치게 된다.⁶⁾ 이렇게 부착된 섬유는 인력권과 비 인력권사이의 이탈을 방지하게 되어 건조수축시 발생하는 균열을 제어하는 효과와 더불어 균열의 성장을 억제하는 효과를 동시에 발휘하게 된다.

본 연구의 목적은 3차원적인 입체 섬유 보강토의 균열에 대한 저항능력과 균열 성장 제어능력을 규명함과 동시에 그 적정 혼합비를 제시하는데 있다.

II. 재료 및 실험방법

1. 재 료

본 연구에 사용된 섬유는 국내 S사에서 콘크리트의 수축균열을 억제하고 충격, 파손, 마모, 투수, 부식 및 동해 등 콘크리트 저항능력을 향상시키기 위해 제조된 제품으로, 재질은 Homopolymer Polypropylene이다. 섬유길이에 따라 19mm, 30mm, 40mm 나누어지며, 형태는 단사형(여러개의 단사형 압출섬유)과 망사형(수십개의 섬유가 망형으로 연결된 섬유덩치)을 사용했으며, 단사형은 2,941.2 데니어(Denier), 망사형은 1,233.7 데니어(Denier)이다. Table 1은 사용된 섬유의 물리적 성질을 나타낸 것이다.

그리고 흙은 경기도 수원시에서 채취한 시료로서 사질성분을 많이 함유한 화강암 풍화토이며 물리적 특성은 Table 2와 같다.

2. 실험 방법

가. 소성 수축판 제작

소성 수축판은 자체 제작된 것으로, 건조 수축시 섬유 보강토와 수축판 사이의 마찰을 줄이기 위해 코팅 합판을 사용하였으며, 측면에 60cm×

Table 1. Physical properties of synthetic fiber

| Absorption | Specific gravity | Melting point °C | Acid resistance | Alkali resistance | Tensile strength kgf/cm ² | Young's modulus kgf/cm ² |
|------------|------------------|------------------|-----------------|-------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| none | 0.91 | 162 | very high | very high | 3,500~7,700 | 35×10 ³ |

Table 2. Physical properties of soil

| Atterberg limits (%) | | Gs | Grain size distribution (%) | | | | | | U.S.C.S. |
|----------------------|----|------|-----------------------------|--------|--------|---------|---------|----------|----------|
| LL | PI | | No. 4 | No. 10 | No. 40 | No. 200 | mm 0.01 | mm 0.002 | |
| 38 | 21 | 2.62 | 100 | 99.6 | 95.5 | 64.6 | 40.6 | 23.1 | CL |

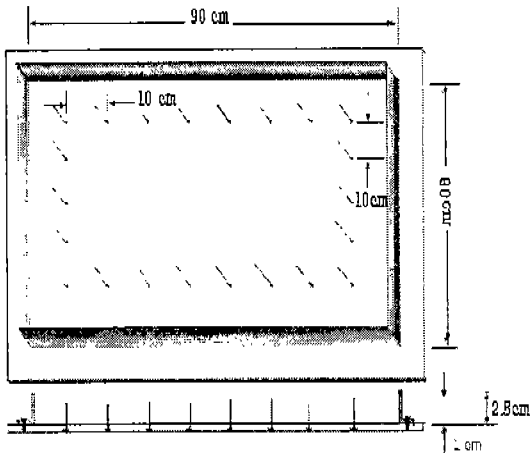


Fig. 1. Plastic shrinkage plate

90cm×2.5cm 앵글을 고정시키고 소성 수축판 내 건조수축의 중앙 집중을 방지하고 균열을 유도하기 위한 장치를 부착하였다. Fig. 1은 소성 수축판을 도시한 것이다.

나. 시료 조제 및 균열 측정 방법

자연 건조시킨 흙에 길이 19mm, 30mm, 40mm의 단사형 및 망사형 섬유를 0.1%, 0.3%, 0.5% 중량비로 첨가하여, 함수비가 28%~33%가 되도록 물을 첨가하면서 섬유가 골고루 분포하도록 혼합

하였다. 혼합한 시료는 약 1시간 정도 그늘진 곳에 방치한 후, 소성 수축판에 타설하고 표면에 균열측정 방안격자를 설치하였다. 소성 수축판에 타설된 시료는 통풍이 잘되는 실내에서 기건시키면서 균열측정기를 사용하여, 균열크기, 균열길이 그리고 균열갯수 등을 측정하였다.

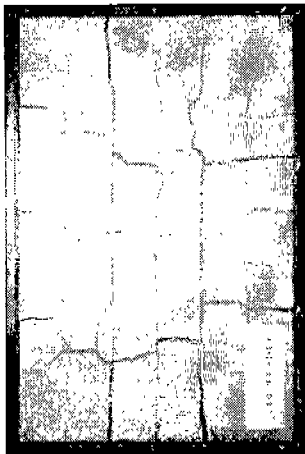
III. 결과 및 고찰

1. 단사형 섬유 보강토의 균열 특성

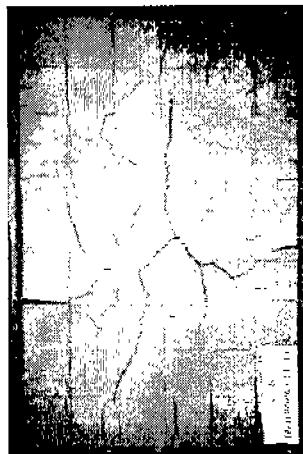
Fig. 2는 19mm 단사형 섬유를 혼합한 시료의 혼합비에 따른 균열 종료 후의 사진이다. 사진에서 볼 수 있듯이 혼합비의 증가에 따라 균열폭 및 길이가 감소됨을 알 수 있다.

Table 3은 균열완료 후 자연시료 및 단사형 섬유 보강토의 균열상수를 나타낸 것이다.

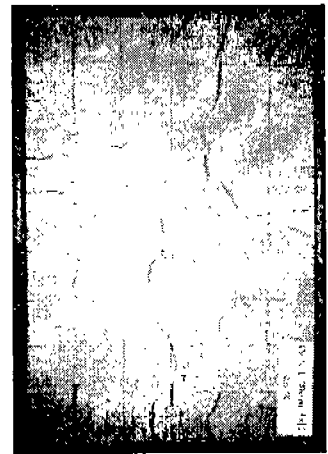
단사형 섬유 보강토의 균열상수를 자연시료와 비교해 보면, 자연시료에 비해 섬유길이가 증가하고 혼합비가 증가함에 따라 미세한 균열로 인하여 균열 갯수는 증가하는 반면, 균열폭과 균열길이는 감소함을 알 수 있다. 이는 섬유와 흙입자와의 부착력에 의해 건조수축시 흙입자간의 인력권내에서 섬유가 균열의 성장을 제어하는 효과가 있음을 증



(a) 0.1%



(b) 0.3%

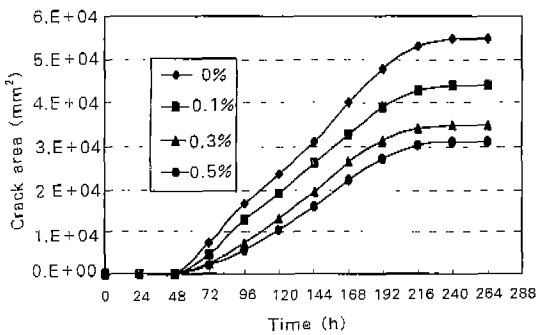


(c) 0.5%

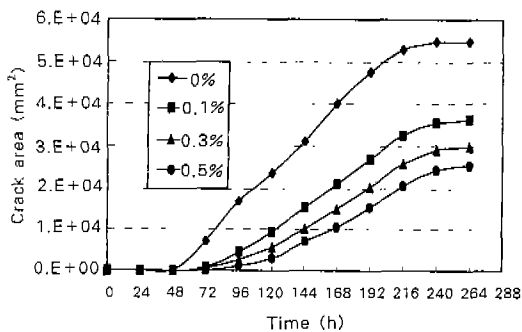
Fig.2 Crack shapes of 19mm mono filament synthetic fiber reinforced soils

Table 3. Summary of crack constants of mono filament synthetic fiber reinforced soil

| Sample | Weight fraction (%) | Crack numbers | Crack width(mm) | Crack length(mm) | Crack area | | |
|--------------------------|---------------------|---------------|-----------------|------------------|------------------------|-----------|--------------------|
| | | | | | Area(mm ²) | Ratio (%) | Relative ratio (%) |
| Soil | 0 | 60 | 0.3~10 | 10~880 | 54926.5 | 10.17 | 100 |
| 19mm Polypropylene fiber | 0.1 | 63 | 0.5~9.8 | 10~870 | 44000.6 | 8.15 | 80.1 |
| | 0.3 | 144 | 0.1~8 | 10~300 | 35023.0 | 6.49 | 63.8 |
| | 0.5 | 149 | 0.1~6.4 | 10~220 | 31002.0 | 5.74 | 56.4 |
| 30mm Polypropylene fiber | 0.1 | 90 | 0.3~9 | 20~490 | 39600.5 | 7.33 | 72.1 |
| | 0.3 | 127 | 0.3~5.7 | 20~230 | 31520.7 | 5.84 | 57.4 |
| | 0.5 | 138 | 0.2~4.9 | 20~210 | 27901.8 | 5.17 | 50.8 |
| 40mm Polypropylene fiber | 0.1 | 82 | 0.5~7.7 | 20~360 | 36189.9 | 6.70 | 65.9 |
| | 0.3 | 230 | 0.2~4.5 | 15~220 | 30060.7 | 5.57 | 54.7 |
| | 0.5 | 239 | 0.2~3.3 | 15~180 | 25562.1 | 4.73 | 46.5 |



(a) 19mm



(b) 40mm

Fig. 3. Relationship between crack area and elapsed time for mono filament synthetic fiber reinforced soils

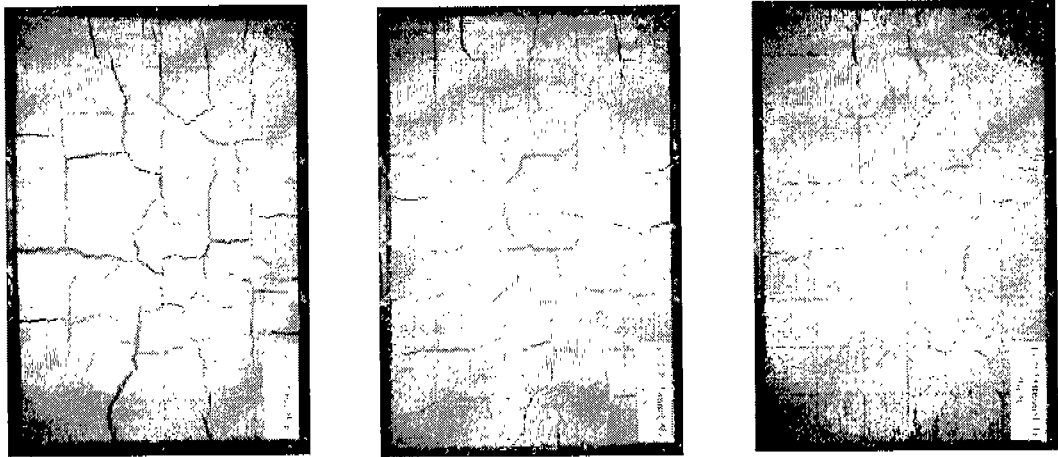
명한다. 이러한 효과는 섬유길이의 증가에 따라

그리고 각각의 섬유길이별 혼합비가 증가함에 따라 수축균열의 확대와 발전을 제어하는 효과는 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig. 3은 19mm 및 40mm 단사형 섬유 보강토의 균열폭과 균열길이를 바탕으로 계산된 균열면적을 시간의 경과에 따라 도시한 것이다. 소성 수축판에 타설한 후, 순수한 흙의 경우 약 1일부터, 섬유혼합토인 경우에는 약 2일부터 균열이 시작되어, 10~13일까지 균열성장이 지속됨을 알 수 있다. 자연시료에 비해 섬유길이가 길수록, 각각의 섬유길이별 혼합비가 증가할 수록 초기 균열이 상당히 억제됨과 동시에 시간의 경과에 따라 전체적인 균열면적이 감소하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 앞에서 언급된 바와 같이 섬유가 시료의 건조에 따른 균열을 억제하는 효과를 분명히 보여주고 있으며, 40mm 섬유를 0.5% 혼합한 경우, 자연 흙에 비해 약 2배 이상 효과가 있는 것으로 나타났다.

2. 망사형 섬유 보강토의 균열 특성

Fig. 4는 40mm 망사형 섬유의 혼합비에 따른 균열사진이다. 단사형 보강토와 마찬가지로 혼합비가 증가할수록 미세한 균열 개수는 증가하지만,



(a) 0.1% (b) 0.3% (c) 0.5%

Fig. 4. Crack shapes of 40mm fibrillated synthetic fiber reinforced soils

Table 4. Summary of crack constants of fibrillated synthetic fiber reinforced soil

| Sample | Weight fraction (%) | Crack numbers | Crack width(mm) | Crack length(mm) | Crack area | | |
|--------------------------------|---------------------|---------------|-----------------|------------------|------------------------|-----------|-------------------|
| | | | | | Area(mm ²) | Ratio (%) | Relative ratio(%) |
| Soil | 0 | 60 | 0.3~10 | 10~880 | 5,4926.5 | 10.17 | 100.0 |
| 19mm Polypropylene fiber | 0.1 | 62 | 0.3~7.5 | 15~500 | 4,2547.0 | 7.88 | 77.5 |
| | 0.3 | 94 | 0.3~5.8 | 20~230 | 3,3189.4 | 6.15 | 60.4 |
| | 0.5 | 113 | 0.3~5.1 | 20~180 | 2,0458.5 | 3.79 | 37.2 |
| 30mm Polypropylene fiber | 0.1 | 86 | 0.3~7 | 30~370 | 3,8292.3 | 7.09 | 69.7 |
| | 0.3 | 128 | 0.3~5.2 | 20~220 | 2,9870.5 | 5.53 | 54.4 |
| | 0.5 | 141 | 0.3~4.5 | 20~180 | 1,8412.7 | 3.41 | 33.5 |
| 40mm Polypropylene fiber | 0.1 | 82 | 0.3~6.3 | 10~350 | 3,5244.4 | 6.53 | 64.2 |
| | 0.3 | 136 | 0.3~4.2 | 15~210 | 2,5479.6 | 4.72 | 46.4 |
| | 0.5 | 164 | 0.3~3.1 | 20~170 | 1,7255.5 | 3.20 | 31.4 |

균열폭과 길이는 감소함을 알 수 있다. 그러나 단사형 사진(Fig. 2)과 비교하면 균열이 불규칙하게 망상으로 형성되고 있음을 볼 수 있는데, 이는 망사형 섬유의 2방향 억제 효과에 기인한 것으로 판단된다.

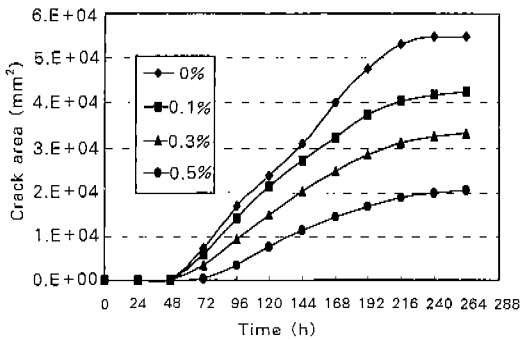
Table 4는 단사형 섬유 보강토와 같은 방법으로 각각의 섬유 혼합비에 따른 망사형 섬유 보강토의 균열상수를 자연시료와 비교하여 나타낸 것이다.

섬유길이의 증가와 각각의 섬유길이별 혼합비의

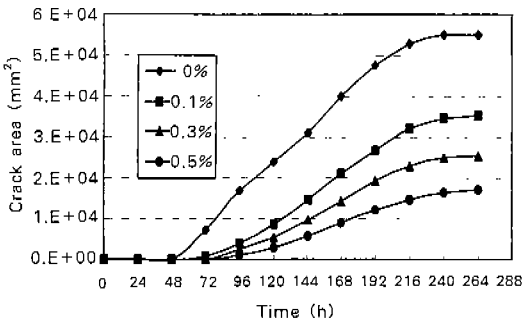
증가에 따라 균열폭과 균열길이가 감소되고 이로 인해 전체적인 균열면적이 감소됨을 알 수 있다. 단사형 섬유 보강토와 비교(Table 3)하면 섬유길이의 증가와 각각의 섬유길이별 혼합비의 증가에 따라 동일한 단사형 섬유 보강토에 비해 균열폭과 길이가 감소함을 알 수 있다. 40mm 섬유를 0.5% 혼합한 경우를 비교해 보면, 단사형인 경우 Table 3에서 균열폭 0.2~3.3mm, 균열길이 15~180mm로 전체적인 균열면적은 4.73%인데 반해, 망사형

인 경우는 균열폭 0.3~3.1mm, 균열길이 20~170mm로 전체적인 균열면적은 3.2%로 나타났다. 이러한 결과는 단사형인 경우 흙입자와 섬유사이의 부착효과가 1방향으로 한정되는데 반해, 그물모양으로 얽혀있는 망사형인 경우 2방향으로 부착효과를 발휘하게 됨으로써 시료의 건조에 따른 수축 균열을 억제하는 효과가 단사형에 비해 증가하는 것으로 판단된다.

Fig. 5는 19mm 및 40mm 망사형 섬유 보강토의 균열폭과 균열길이를 바탕으로 계산된 균열면적을 시간의 경과에 따라 도시한 것이다. 자연시료 및 혼합토의 경우, 소성 수축관에 타설한 후 순수한 흙의 경우 약 1일부터, 망사 0.1% 혼합의 경우는 약 2일부터, 망사 0.3%~0.5% 혼합의 경우는 약 3일부터 균열이 시작되어 11~13일까지



(a) 19mm



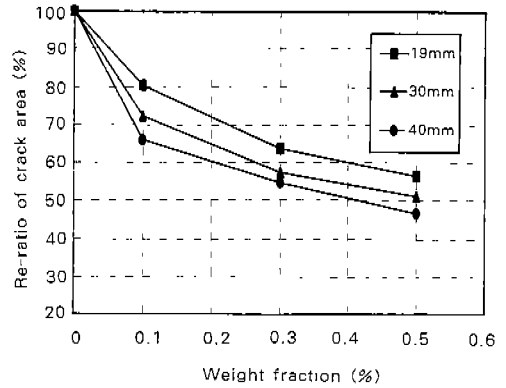
(b) 40mm

Fig. 5. Relationship between crack area and elapsed time for fibrillated synthetic fiber reinforced soils

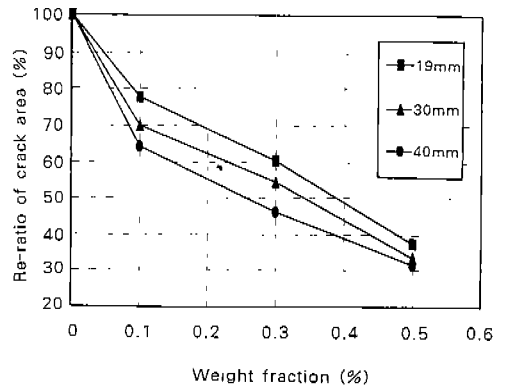
균열성장이 지속됨을 알 수 있다. 순수한 흙의 경우에 비해 섬유길이가 증가하고 각각의 섬유길이별 혼합비가 증가할수록 초기 균열이 지연되며 시간이 경과함에 따라 균열면적 곡선의 기울기가 완만해져서 섬유의 균열제어 효과가 커짐을 알 수 있다. 40mm 섬유를 0.5% 혼합한 경우, 순수한 흙의 경우에 비해 약 3배 정도 균열 억제효과가 있는 것으로 나타났다.

3. 섬유 보강토의 적정 혼합비 추정

Fig. 6은 단사형 및 망사형 섬유 보강토의 자연 흙에 대한 상대 균열면적비를 도시한 것이다. 균



(a) Mono filament types



(b) Fibrillated types

Fig. 6. Relationship between relative crack ratio and weight fraction for monofilament and fibrillated synthetic fiber reinforced soils

열폭과 균열길이로부터 전체적인 균열면적을 계산하고, 자연 시료의 균열면적을 100%로 하여, 단사형과 망사형 섬유의 혼합에 따른 상대 균열면적비를 계산하였다. 자연시료에 비해 단사형과 망사형 섬유 보강토 모두 상대적인 균열면적비는 감소하며, 동일한 혼합비에서 단사형 보다 망사형이 상대적인 균열면적비가 감소함을 알 수 있다. 예를 들어 19mm, 30mm, 40mm 단사형 섬유, 혼합비 0.5%에서 상대 균열면적비가 각각 56.4%, 50.8%, 46.5%로 감소됨을 알 수 있고, 19mm, 30mm, 40mm 망사형 섬유, 혼합비 0.5%에서 상대 균열면적비가 각각 37.2%, 33.5%, 31.4%로 감소됨을 알 수 있다. 여기서 단사형과 망사형을 비교해 보면, 40mm 섬유, 혼합비 0.5%에서 망사형이 단사형에 비해 상대 균열면적비가 15.1% 정도 낮게 나타남을 알 수 있다. 이는 시료의 건조에 따른 수축균열을 섬유 혼합으로 인해 억제할 수 있는 효과에 대한 효용성을 입증할 수 있는 결과이다.

따라서 본 연구에서 추정된 균열 억제효과에 적합한 섬유 보강토의 적정 혼합비는 40mm 망사형 섬유 0.5%로 나타난다.

IV. 결 론

3차원적인 입체 섬유 보강토의 균열제어 효과와 균열 성장 억제효과를 규명하기 위해, 19mm, 30mm, 40mm 단사형과 망사형 섬유(Polypropylene)에 대하여 혼합비를 0.1%, 0.3%, 0.5%로 달리하여 시간에 따른 균열면적을 측정하였으며, 균열 특성을 요약하면 다음과 같다.

1. 3차원적인 입체 섬유 보강토의 균열제어 효과는 흙 입자와 섬유사이의 부착력에 기인한다. 특히 섬유의 혼합으로 인하여 초기 균열이 지연되며 섬유의 균열제어 효과는 시간의 경과에 따라 커진다.

2. 단사형 및 망사형 섬유 보강토는 섬유길이가 길수록, 각각의 섬유길이별 혼합비가 증가할수록 균열 제어효과와 균열 성장 억제효과가 증가하는 것으로 나타났다.

3. 망사형 섬유 보강토는 2방향 부착효과로 단사형 섬유 보강토보다 균열에 대하여 효과적이며, 섬유길이와 혼합비의 증가에 따라 균열에 대한 저항성이 증가하는 것으로 나타났다. 특히 40mm 섬유 0.5% 망사형 섬유 보강토의 경우 자연시료에 비해 약 3배정도 효과가 있는 것으로 나타났다.

4. 본 연구에서 추정된 균열에 대한 가장 효과적인 섬유의 적정 혼합비는 40mm 망사형 섬유 0.5%로 판단된다.

본 연구는 농림부 농특과제 연구비에 의하여 수행된 연구결과와의 일부임.

참 고 문 헌

1. 권무남 외 6인., 1994, 토질역학, pp. 12~24.
2. 고흥섭 외 2인., 1991, 흙-토목섬유 Interface 특성에 관한 연구, 한국농공학회지, Vol. 33, No 2, pp. 82~93.
3. 전한용, 1998, "토목섬유 종류 및 시험방법, 98년도 토목섬유 기술세미나, 한국원 사직물시험연구원, pp. 229~267.
4. 농림부, 1997, "전통·환경보존형 농촌주택 모형 개발 연구", pp. 83~188.
5. Das, Braja M., 이형수, 이병수 공역., 1994, 토질공학특론, pp. 13~29.
6. 박영근, 1999, "섬유혼합토의 파괴 예측 모델의 개발과 비배수 강도 특성 분석", pp. 11~22.
7. Das, Braja M., 1993, Soil structure, Principles of geotechnical engineering, pp. 58~62.