

모형실험에 의한 지오텍스타일의 압력배수 특성 연구

A Study on the Characteristics of Pressure Drainage for
Geotextiles by Laboratory Model Tests

이 상 호*¹

Lee, Sang - Ho

권 무 남*²

Kwon, Moo - Nam

Abstract

In order to investigate the characteristics of pressure drainage for geotextile, small-scale model tests were carried out for the horizontal and vertical geotextile drain to accelerate consolidation of foundation under embankment for the purpose of foundation reinforcement. According to the result of this study, the accumulative drainage discharge is found to increase as compressive stress of geotextile increases with logarithmic function. The drainage discharge under each step of compressive stress linearly increases with the increase of hydraulic head and its increasing rate is smaller when the compressive stress is higher. The drainage discharge shows to be greater when the number of geotextile layers is more and the foundation material is finer. The relationship between transmissivity of geotextile and drainage discharge has positive correlation and the rate of increase is appeared to be the same regardless of foundation material and hydraulic head. And it proves that the drainage capacity of geotextile drain is determined by the transmissivity of geotextile.

요 지

지오텍스타일에 의한 압력배수 특성을 연구하기 위하여 성토하중의 증가에 따른 기초지반의 초기압밀 축진을 유도하기 위한 수직수평 배수공의 모형을 구상하여 실험을 수행하였다. 배수재로 사용된 지오텍스타일의 압축응력이 증가함에 따라 배수공의 누적배수량은 대수함수의 형태로 증가하였다. 수두상승에 따른 각 응력단계별 배수공의 배수량은 직선적으로 증가하였으며 그 증가율은 압축응력이 클수록 작게 나타나는 경향을 보였으며 배수공의 배수량은 포설 겹 수가

*¹ 정회원, 경북대학교 농업토목공학과 조교수

*² 정회원, 경북대학교 농업토목공학과 교수

많을수록, 지반재료가 세립일수록 크게 나타났다. 지오텍스타일의 전수성과 배수공의 배수량의 관계는 정의 상관관계를 나타내었으며 그 증가율은 지반재료와 수두에 관계없이 거의 동일한 것으로 나타났는바 배수공의 배수능력은 지오텍스타일의 전수성으로 결정됨이 입증되었다.

Keywords : Geotextile, Drain, Pressure drainage, In-plane Permeability, Transmissivity

1. 서론

토목재료의 대용재료로 개발된 토목섬유 (geosynthetics)는 특히 우수한 시공성을 인정 받아 관련산업의 성장속도는 여타 토목재료의 추종을 불허하는 획기적인 기록을 갱신하고 있으며 용도에 따라 다양한 토목섬유가 지속적으로 개발되고 있어 적용범위도 날로 확대되어 갈 전망이다. 이러한 토목섬유의 주종을 이루는 지오텍스타일(geotextile)은 보강(reinforcement), 필터(filtration), 배수(drainage), 분리(separation)용 및 이들 용도를 조합한 용도로 다양하게 토목재료로 활용되고 있으나(Giroud 1980, Koerner 1994) 각 용도에 대한 국내의 체계적인 연구는 아직까지 실현되지 못하고 있으며 특히 지오텍스타일 배수공(geotextile drain)에 관한 연구는 극히 미흡한 상태로 남아 있다.

따라서 본 연구에서는 지오텍스타일에 의한 배수 중에서 특별히 압력배수(pressure drainage)에 초점을 맞추었다. 압력배수에 의한 지오텍스타일 배수공은 지오텍스타일보다 투수성이 낮은 재료를 통하여 침출되는 물을 수압차에 의하여 배제하는 기능을 가지고 있으므로 연약지반의 압밀축진을 위한 수직배수공(vertical drain), 지오텍스타일 보강토의 보강재에 의한 수평배수공(horizontal drain), 수위하강으로 인한 토언제(earth dam) 상류측 사면의 침출수 제거를 위한 수평배수공 및 성토될 기초지반의 침출수 제거를 위한 수평배수공 등으로 활용될 수 있다. (Cazzuffi & Puccio 1982, Giroud 1981) 국내여건을 감안한 지오텍스타일 배수공의 설계기준이 정립되어 이러한 지오텍스타일 배수공이 토목공사에

광범위하게 적용될 수 있다면 배수재로 사용될 천연재료를 절약할 수 있을 뿐만 아니라 토목섬유의 우수한 시공성을 고려한다면 획기적인 공기단축과 공사비 절감효과를 기대해 볼 수 있다.

이에 본 연구에서는 지오텍스타일 배수공의 설계를 위한 기초자료를 제공하기 위하여 지오텍스타일에 의한 압력배수의 전형적인 형태로서 성토 대상 기초지반의 압밀축진을 위한 수직수평 배수공(vertical and horizontal drain)의 모형을 구상하여 실험적으로 지오텍스타일의 압력배수 특성을 연구하였다.

2. 지오텍스타일 배수공의 배수이론

지오텍스타일 배수공은 지오텍스타일보다 투수성이 낮은 재료(흙이나 콘크리트 등)의 내부나 외면에 설치하여 침출수를 모아 출구로 운반하는 기능을 가지고 있다. 지오텍스타일의 배수능력은 물을 지오텍스타일 내부에서 지오텍스타일 평면과 평행하게 운반할수 있는 성질, 즉 전수성에 의하여 좌우되며 이 전수성은 지오텍스타일의 평면투수계수 K_{ps} 와 지오텍스타일의 두께 H_g 에 비례하며 이들 인자들은 지오텍스타일 상면에 재하되는 하중에 의하여 압축응력이 생기면 감소하게 된다.(이 1992, Rumann 1982) 또한, 이 전수성은 지오텍스타일의 종류에 따라서 상당한 차이를 보여 두께가 비교적 얇은 직포(woven geotextile)나 열융합에 의한 부직포(heatbonded nonwoven geotextile) 등은 전수성이 낮아 배수용으로는 부적합하며 배수용으로 사용될 수 있는 형태로서는 대체로 두께가 두껍고 평면투수성이 우수한 니들펀칭에 의한 부직포(needlepunched nonwoven geotextile) 혹은 양면을 지오텍스

타일 필터로 보호한 지오그리드(geogrid)나 지오매트(geomat) 등이 추천되고 있다.(Giroud 1981)

한편 지오텍스타일 배수공의 설계는 흙에서 지오텍스타일로 유입되는 유입량과 지오텍스타일 배수공에 의하여 출구로 운반되는 유출량이 같다는 가정 하에서 이루어지며 이들 흐름은 Darcy의 공식에 근거하여 투수성과 동수경사에 의하여 지배된다. 흙 내부에 포설된 지오텍스타일을 고려한다면 흙 내부에서의 흐름은 흙의 투수성과 흙 내부의 동수경사에 의하여 지배되며 이 동수경사는 흙의 기하학적 형태와 흙과 지오텍스타일 내부의 수압차에 의존한다. 따라서 흙 내부의 동수경사가 최대가 되고 지오텍스타일 내부의 수압이 최소로 되면 배수는 보다 쉽게 이루어 질 것이다. 그러므로 지오텍스타일 내부의 수압이 지오텍스타일 내에서 물의 흐름을 야기시킬 수 있는 범위에서 가능한 최소이어야 한다는 것이다. 지오텍스타일 내부에서의 흐름은 지오텍스타일의 투수성과 지오텍스타일 내의 동수경사에 의하여 지배되며 이 동수경사는 지오텍스타일의 시공경사와 지오텍스타일의 내부와 출구의 수압차에 의하여 결정된다. 이러한 지오텍스타일 배수공의 배수이론을 지오텍스타일에 의한 압력배수에 적용할 수 있을 것이다.

압력배수란 흐름의 에너지가 주로 수압차, 즉 압력수두(pressure head)에 의한 배수형태로 수평 배수 혹은 수직상향 배수가 이에 속한다. 이러한 경우 지오텍스타일 내의 수압은 흐름의 근원점에서 최대가 되고 최소가 되는 출구로 가면서 감소하게 된다. 지오텍스타일 내에서의 물의 흐름을 보장하기 위하여서는 지오텍스타일 내에서 충분한 동수경사를 가질 수 있도록 흐름의 근원점과 출구의 수압차가 커야 하지만 흙으로부터 물의 유입을 위하여 흙 내부에서 충분한 동수경사를 유지할 수 있도록 지오텍스타일 내의 수압이 흙 내부의 수압보다 낮아야 한다는 것이 설계의 전제조건이 된다. 이때 요구되는 지오텍스타일 배수공의 배수능

력은 지오텍스타일의 전수성 θ 가 되고 성토 대상 기초지반의 압밀축진을 유도하기 위한 배수공을 고려한다면 다음 식으로 표시할 수 있다. (이 1992, Koerner & Sankey 1982, Koerner 1994)

$$\theta = K_{pk} \cdot H_k = \frac{B^2 \cdot K_s}{(C_v \cdot t)^{1/2}}$$

여기서, θ : 설계에 요구되는 지오텍스타일

전수성(cm^2/sec)

B : 성토의 폭(cm)

K_s : 기초지반의 투수계수 (cm/sec)

C_v : 기초지반의 수직압밀계수

(cm^2/sec)

t : 성토에 요구되는 시간(sec)

3. 실험재료 및 방법

3.1 실험재료

3.1.1 지오텍스타일 시료

지오텍스타일에 의한 압력배수 모형실험의 배수재료로 사용된 지오텍스타일 시료는 Table 1과 같이 배수용으로 적합하다고 판단되는 지오텍스타일 중에서 두께, 중량, 재질(polymer), 소재(element), 제조회사 등을 고려하여 대표적인 15 종을 선별하여 사용하였으며 동일한 계통의 지오텍스타일을 (a)에서 (f)까지 6종으로 구분하였다.(Giroud 1983) 또한 시료명의 마지막 번호는 두께가 두꺼운 순으로 배열하였다.

Table 2는 각 지오텍스타일 시료의 두께, 중량 및 평면투수계수를 나타낸 것으로 평면투수계수의 측정은 독일의 Franzius 연구소에서 제안한 실험방법으로 한국건설기술연구원에서 제작된 실험장치를 이용하였다.(이 1992, 홍,조,조 1986, Heerten & Kazanskij 1981)

Table 1. General specifications of geotextile samples

| No. | Sample name | Polymer | Element | Type | Bonding method | |
|-----|-------------|-----------|-----------------------------------|--|----------------------------------|----------------------------------|
| 1 | (a) | PES | Filaments | Nonwoven | Spunbonded Needlepunching | |
| 2 | | | | | | E/F-1 |
| 3 | | | | | | E/F-2 |
| 4 | | | | | | E/F-3 |
| 5 | (b) | PP. | Filaments | Nonwoven | Thermal bonding | |
| 6 | (c) | PES | Staple fibers | Nonwoven | Needlepunching | |
| 7 | | | | | | E/S-1 |
| 8 | | | | | | E/S-2 |
| 9 | (d) | PP. | Staple fibers | Nonwoven | Needlepunching | |
| 10 | | | | | | P/S-1 |
| 11 | | | | | | P/S-2 |
| 12 | (e) | PES.+PP. | Staple fibers | Nonwoven | Needlepunching | |
| 13 | | | | | | P/S-3 |
| 14 | (f) | PES.//PP. | Staple fibers //Slit film yarn | Composite | Needlepunching // Plain woven | |
| 15 | | PP/C-1 | PES.+PP. //PP | Staple fibers // Multifilament yarn | Composite | Needlepunching // Net(Nassen) |

*Sample names are different from the model names of geotextile products.

PES. : Polyester

PP. : Polyester

// : Composition

Table 2. Physical properties of geotextile samples

| No. | Sample name | Thickness, H_z (mm) | | Weight (g/m ²) | Coeff. of In-Plane Permeability, K_p (10 ⁻¹ cm/sec) | | | |
|-----|-------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------------|---|------------------------------|-------|------|
| | | without loading | under 2kN/m ² | | under 2kN/m ² | under 50kN/m ² | | |
| 1 | (a) | E/F-1 | 2.2 | 1.6 | 200.8 | 6.04 | 1.45 | |
| 2 | | | 2.3 | 1.7 | 257.9 | 4.99 | 1.48 | |
| 3 | | | 3.0 | 1.9 | 308.3 | 4.42 | 0.54 | |
| 4 | | | 3.5 | 2.4 | 398.2 | 5.83 | 2.30 | |
| 5 | (b) | P/E-1 | 2.5 | 1.8 | 314.7 | 2.96 | 0.79 | |
| 6 | (c) | E/S-1 | 3.5 | 1.8 | 203.5 | 17.17 | 4.82 | |
| 7 | | | E/S-2 | 4.5 | 3.9 | 575.1 | 10.58 | 2.49 |
| 8 | | | E/S-3 | 4.7 | 3.4 | 567.6 | 9.33 | 2.74 |
| 9 | (d) | P/S-1 | 4.4 | 3.3 | 486.0 | 12.52 | 4.12 | |
| 10 | | | P/S-2 | 4.4 | 3.0 | 515.5 | 9.33 | 2.21 |
| 11 | | | P/S-3 | 5.3 | 3.9 | 740.2 | 9.90 | 2.40 |
| 12 | (e) | EP/S-1 | 5.8 | 3.6 | 373.8 | 15.32 | 2.92 | |
| 13 | | | EP/S-2 | 8.4 | 5.9 | 636.7 | 19.56 | 4.00 |
| 14 | (f) | PP/C-1 | 5.4 | 3.4 | 649.3 | 11.28 | 2.15 | |
| 15 | | | PP/C-2 | 6.4 | 3.8 | 593.3 | 31.29 | 5.49 |

3.1.2 흙 시료

지오텍스타일에 의한 압력배수 모형실험의 체체재료로 사용한 흙 시료는 조립토에서 세립

토 순으로 SS-1, SS-2 및 SS-3, 3 종을 사용하였으며 각 시료의 입도분포곡선 및 물리적 성질은 Fig. 3 및 Table 3과 같다.

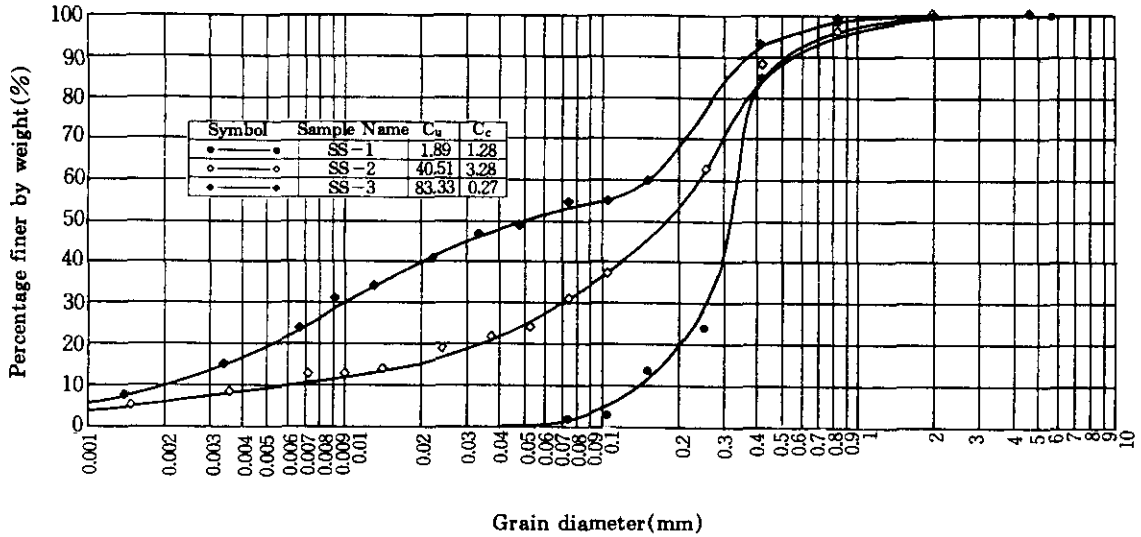


Fig. 1 Particle size distribution curves of soil samples.

Table 3. Physical properties of soil samples

| Item | SS-1 | SS-2 | SS-3 |
|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| G_s | 2.62 | 2.69 | 2.75 |
| γ_d (g/cm ³) | 1.44 | 1.50 | 1.55 |
| k_s (cm/sec) | 9.45×10^{-3} | 4.87×10^{-4} | 1.02×10^{-4} |
| ϕ (°) | 40.5 | 20.4 | 15.8 |
| c (kg/cm ²) | 0.08 | 0.24 | 0.46 |
| LL (%) | Nonplastic | 35.2 | 24.7 |
| PL (%) | Nonplastic | 32.7 | 20.0 |
| Soil Classification | SP | SC | OL |

*Soil samples are classified by unified soil classification system.

3.2 실험장치 및 방법

실험모형은 지오텍스타일에 의한 압력배수 의 전형적인 형태로서 연약지반상에 성토할 때

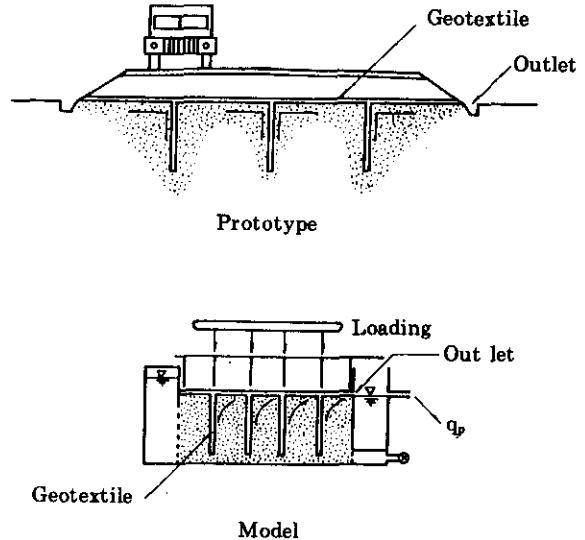


Fig. 2 Geometry of prototype and model for a geotextile drain by pressure drainage - soil improvement under embankment.

지반강화를 목적으로 포설되는 수직수평 배수공으로 구상하였다. Fig. 2는 성토하중이 증가함에 따른 기초지반의 초기압밀 축진을 유도하기 위한 수직수평 배수공의 원형과 모형을 도시한 것으로 완속도로 침출되는 수류는 1 방향 층류상태로 단면의 치수효과(scale effect)는 무시하였다.

3.2.1. 실험장치

실험장치는 Fig. 3과 같이 고수조, 토조, 피에조미터(piezometer) 및 재하상자로 구성된다. 고수조는 활차에 연결하여 수두조절용 수조로 사용하였으며 토조는 투명한 플렉시글래스(plexiglass)를 사용하여 가로, 세로 및 높이가 각각 50cm, 20cm 및 35cm 크기로 제작하였다. 토조의 상류부에는 공기압 밸브를 설치하여 모형지반 내부의 공극수압(pore pressure)을 인위적으로 높힐 수 있도록 하였으며 상하

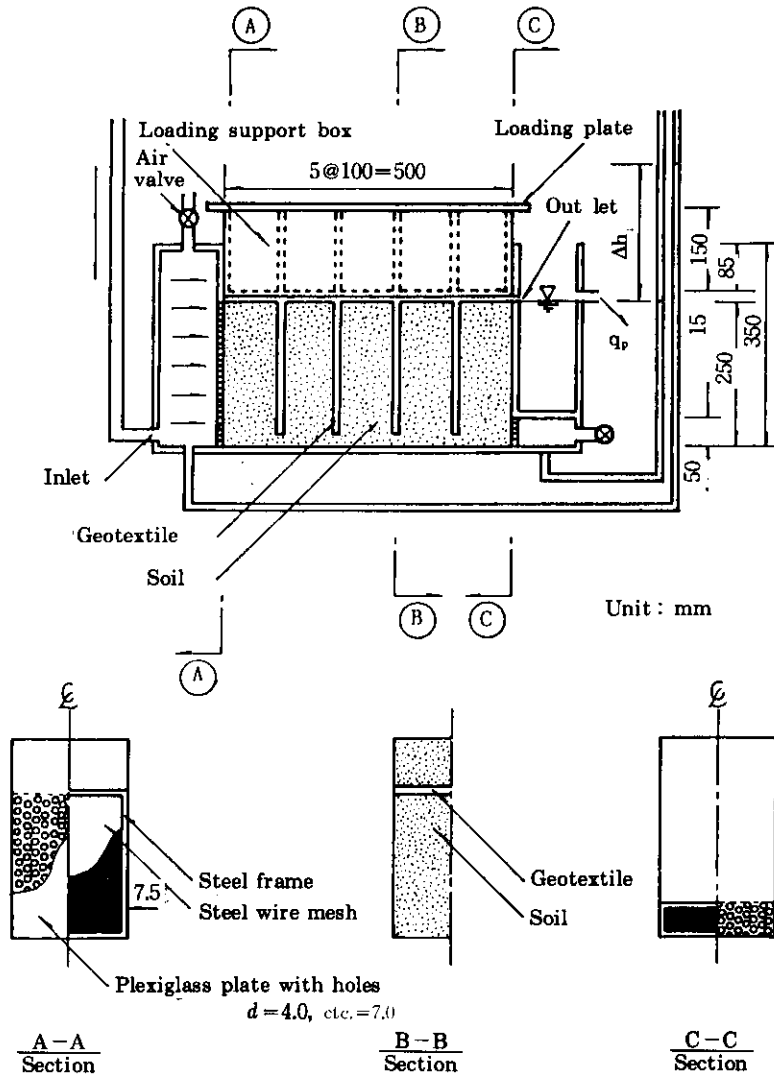


Fig. 3 Layout of the experimental equipment.

류측 경계면에는 'Section A-A, B-B'와 같이 칸막이를 설치하여 모형지반의 형을 유지시키는 동시에 토립자의 누출을 방지하였다. 모형지반 상면에는 재하상자를 삽입하여 하중을 재하할 수 있도록 하였으며 토조의 상하류측에는 피에조미터를 설치하여 수두를 측정할 수 있도록 하였다.

록 하였다.

물은 고수조로부터 모형지반 내부로 흘러들어가는 지반 내부에 과잉공극수압(excess pore pressure)을 형성하면서 수직배수공 내부로 침투하여 수직상향으로 흐르고 수평배수공을 따라 배수된다.

Table 4. List of the experiments

| Sample name | | Number of Layer(sheets) | Hydraulic head(cm) | Key factor | |
|-------------|--------|-------------------------|--------------------|------------|-------|
| Geotextile | Soil | | | | |
| (a) | E/F-1 | SS-2 | 5 | 20 | STD |
| | E/F-3 | SS-3 | 3 | 25 | STD |
| | | SS-3 | 1, 2, 3, 4 | 35 | Layer |
| | E/F-4 | SS-3 | 3 | 35 | STD |
| (b) | P/F-1 | SS-4 | 4 | 45 | STD |
| (c) | E/S-1 | SS-2 | 3 | 25 | STD |
| | | SS-3 | 2 | 25 | STD |
| | E/S-2 | SS-3 | 2 | 35 | STD |
| | | SS-4 | 2 | 35 | STD |
| | | SS-3 | 1, 2, 3, 4 | 35 | Layer |
| | | SS-2, 3, 4 | 2 | 35 | Soil |
| | | SS-3 | 2 | 25, 35, 45 | Head |
| | E/S-3 | SS-3 | 2 | 35 | STD |
| E/S-4 | SS-3 | 2 | 35 | STD | |
| (d) | P/S-1 | SS-2 | 3 | 35 | STD |
| | | SS-4 | 2 | 25 | STD |
| | P/S-2 | SS-3 | 2 | 25 | STD |
| | P/S-3 | SS-2 | 2 | 25 | STD |
| | | SS-2 | 2 | 35 | STD |
| | | SS-2, 3, 4 | 2 | 25 | Soil |
| SS-3 | 2 | 25, 35, 45 | Head | | |
| (e) | EP/S-1 | SS-2 | 2 | 35 | STD |
| | EP/S-2 | SS-2 | 2 | 25 | STD |
| (f) | PP/C-1 | SS-2 | 2 | 35 | STD |
| | PP/C-2 | SS-2 | 1, 2, 3, 4 | 35 | Layer |
| | | SS-2, 3, 4 | 2 | 35 | Soil |

*STD : Standard conditions as follows :

Number of layers : Corresponding to $H_g \approx 1\text{cm}$

Soil : SS-2, SS-3 or SS-4

Hydraulic head : 25cm, 35cm, or 45cm

Compressive stress : 5 steps(116.3 N/m², 217.2 N/m², 419.0N/m², 618.9N/m² and 883.3N/m²)

3.2.2 실험방법

모형지반은 5 구간으로 나누어 지반과 수직 배수공을 축조하고 상면에 수평배수공을 설치하였다. 지오텍스타일 시료는 기포발생을 방지하기 위하여 24시간 이상 포화시킨후 사용하였으며, 모형지반은 균일한 다짐도를 유지하기 위하여 각 축조구간에 대하여 2.5kg 표준형 다짐기(rammer)를 사용하여 1층을 5cm 두께로 각 층마다 7회 타격하여 축조하였다. 축조가 끝나면 모형지반을 24시간 이상 포화시킨후 실험을 수행하였다. 고수조를 이용하여 수두를 고정한다음 침출수가 수직수평 배수공을 따라 배수되기 시작하면 배수량이 일정한지를 확인한 후 하류측 유출구로부터 유량을 측정하여 단위폭당 배수량 q_b 를 산정하고 상하류측 피에조미터에 의하여 수두 Δh 를 구하였다.

Table 4는 각 지오텍스타일 시료에 대한 실험목록을 나타낸 것이다. 표에서와 같이 수두는 일반적으로 25cm 내의 혹은 35cm 내의를 표준으로 하였으며 35cm 내외에서도 수직상향 배수가 되지 않는 특별한 지오텍스타일에 대해서는 수두를 45cm 이상으로 하여 실험하였으며 하중은 콘크리트 공시체 몰드(mould)를 이용하여 116.3, 217.2, 419.0, 618.9 및 883.3 N/m²의 5 단계로 가압하였다. 모형지반시료는 SS-1, SS-2, SS-3를 사용하였으며 수직수평 배수공의 두께는 1cm 정도를 표준으로 하였다. 또한 포설 겉 수, 흙의 종류 및 수두의 증가에 대한 배수량의 변화를 분석하기 위하여 수 종의 지오텍스타일에 대해서는 포설 겉 수, 지반 재료 및 수두에 변화를 주었다.

4. 결과 및 고찰

4.1 압축응력과 배수량의 관계

Fig. 4는 모형지반용 시료를 SS-1, SS-2, SS-3로 하고 25cm, 35cm 혹은 45cm 내외의 수두에서 상재하중을 5 단계로 변화시켜 압력배수 실험을 수행한 결과를 도시한 것으로 SS-1,

SS-2 및 SS-3에 대하여 각각 실선, 점선, 파선으로 구분하여 표시하였다.

압축응력의 증가에 대하여 각 응력 단계별 배수공의 배수량은 수두의 크기, 모형지반재료, 지오텍스타일의 두께 및 종류 등에 따라 다소 상이하게 변화하였으나 일반적으로 감소하는 경향을 보였다.

지반재료별로 배수공의 배수량을 분석하면 투수성이 비교적 높은 SS-1에서는 35cm의 수두에 대한 최고 및 최저 배수량이 30cm³/sec/m~20cm³/sec/m 정도로 가장 적게 나타났으며 SS-2에서는 50cm³/sec/m~20cm³/sec/m, 세립토인 SS-3에서는 90cm³/sec/m~40 cm³/sec/m로 가장 많이 나타나 지반재료가 세립일수록 배수공의 배수량이 많은 것을 알 수 있었다. 이는 중력배수의 경우와는 상반되는 현상으로서 압력배수인 경우는 흐름의 주된 에너지가 압력수두로 흙 내부에서 지오텍스타일 배수공으로 흐르는 물은 흙 내부의 과잉 공극수압과 지오텍스타일 내의 공극수압차에 의하여 흐르고 일단 지오텍스타일 내로 침투한 물은 지오텍스타일 내의 근원점과 출구의 수압차에 의하여 배수되는 것이다. 따라서 동일한 수두에서는 모형지반 재료의 입자가 미세할수록 흙 내부에서의 공극수압이 커지게 되므로써 흙에서 지오텍스타일로 비교적 많은 유량이 유입되기 때문이다.

또한 전반적으로 관계곡선은 균일하지 못하고 지반재료가 비교적 미세한 SS-2, SS-3에서는 상당히 뚜렷한 첨두점을 발견할 수가 있고 이러한 현상은 수두가 클수록 지반재료가 미세할수록 현저하게 나타나고 있다. 이는 재하초기에 하중에 의한 흙 내부의 공극수압과 지오텍스타일 내의 수압차의 증가로 인하여 배수량이 다소 상승하다가 더욱 하중이 증가되므로써 상재하중으로 인한 지반재료의 초기압밀이 이루어짐과 동시에 지오텍스타일도 압축응력으로 인하여 두께가 감소하여 평면투수성이 저하되었기 때문으로 판단된다. Fig. 4와 같이 첨두 배수량은 지반재료와 수두에 따라 다소의 차이

는 있으나 대부분의 경우 압축응력이 100N/m²~200 N/m²인 초기에 나타났으나 실제로는 모형의 치수효과에 상당한 영향을 받을 것으로 생각된다.

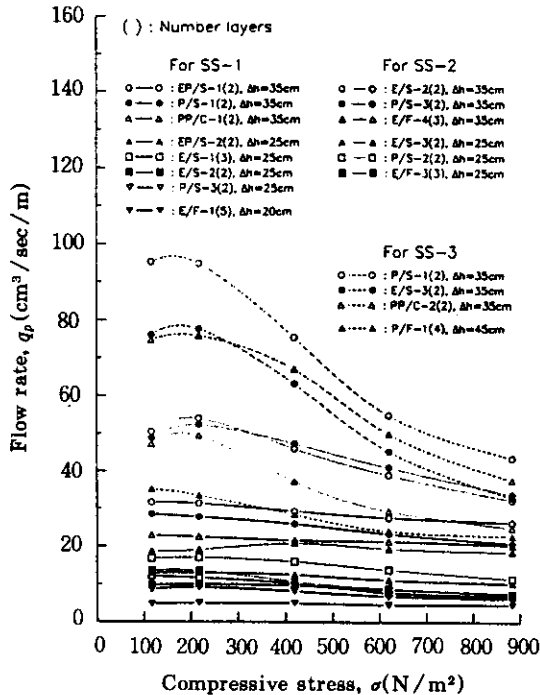


Fig. 4 Flow rate vs. compressive stress in the condition of $H_s \approx 1$ cm.

Fig. 5는 지반재료가 비교적 세립인 SS-2와 SS-3에 대하여 35cm 내외의 수두에서 압축응력 증가에 따른 누적배수량을 도시한 것이다. 압축응력에 대한 누적배수량은 지반재료가 관계없이 대수함수의 형태로 증가하였다. 이는 Fig. 4에서 알 수 있는 바와 같이 압축응력의 증가에 따른 각 응력 단계별 배수량은 재하초기의 100N/m²~200N/m²에서는 다소 증가하나 상재하중이 증가될수록 감소하기 때문에 누적배수량의 경우에서도 재하초기에는 비교적 크게 증가하고 그 이후로는 점진적으로 증

가하는 경향을 나타내는 것이다.

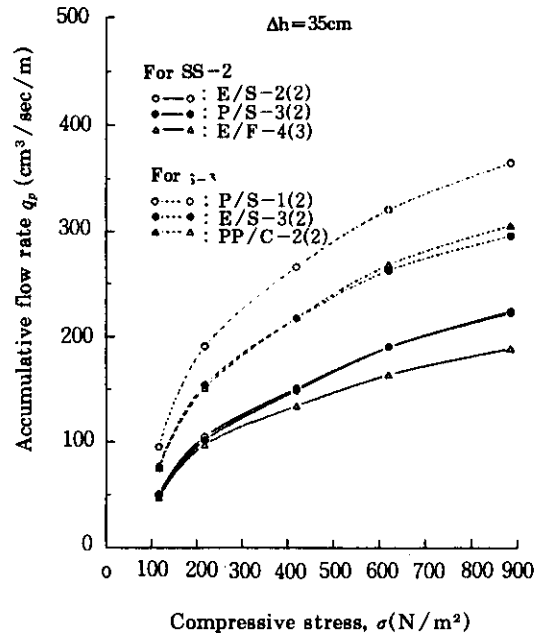


Fig. 5 Accumulative flow rate vs. compressive stress in the condition of $H_s \approx 1$ cm.

4.2 전수성과 배수량의 관계

Fig. 6은 배수공의 포설두께로 계산한 지오텍스타일의 전수성과 배수량의 관계를 도시한 것으로 지오텍스타일의 전수성이 증가함에 따른 배수량의 변화는 증가하는 경향을 보였으며 그 증가율은 제체재료에 따라 다소 차이를 나타내는 중력배수의 경우와는 달리 지반재료와 수두의 변화에 관계없이 거의 동일하게 나타났다. 이는 중력배수와 압력배수의 배수특성이 상이한 데 기인하는 것으로 중력배수의 경우는 배수공의 배수량이 흙의 투수성과 관계되는 침투류에 보다 크게 의존하지만 압력배수의 경우에는 지반재료의 투수성보다는 수두에 의한 지반과 배수공 내부의 공극수압, 지반과 지오텍스타일 내의 수압차 및 지오텍스타일 내의 수압차 등 복잡한 배수조건에 의하여 결정되기 때문이다.

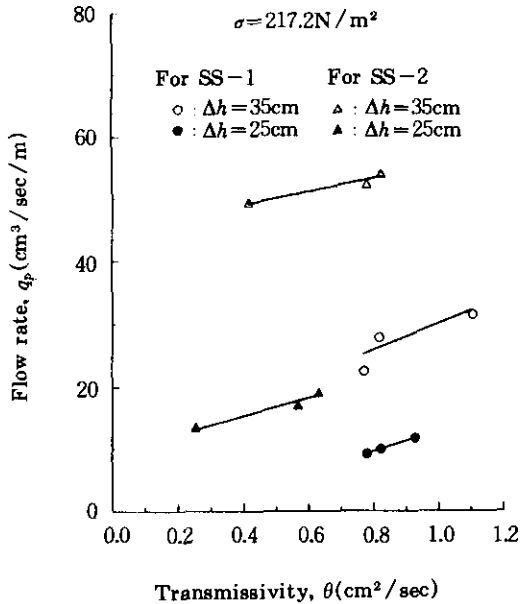


Fig. 6 Flow rate vs. transmissivity in the conditions of $H_f \approx 1$ cm.

4.3 포설 겹 수의 변화에 따른 압축응력과 배수량의 관계

Fig. 7은 지반재료를 SS-1와 SS-2로 하고 지오텍스타일 배수공의 포설 겹 수를 변화시켜 실험한 결과를 나타낸 것으로 포설 겹 수가 많을수록 배수량 및 그 증가율은 다소 크게 나타나는 경향을 보였다. 이 변화는 압축응력이 비교적 큰 600N/m^2 정도 이하의 압축응력에서는 비교적 크게 나타났으나 그 이상의 응력 하에서는 변화가 거의 없는 것으로 나타나 압축응력이 작을수록 크게 나타났었다. 포설 겹 수의 증가에 대하여 배수량이 다소 많은 이유는 두께의 증가에 따라 전수성이 증가하였기 때문이고 압축응력이 클수록 겹 수의 증가에 대하여 거의 변화가 없는 것은 압축응력의 증가로 인하여 지오텍스타일이 압착되어 두께의 증가효과가 저하되고 지오텍스타일의 공극이 감소하여 전수성도 크게 증가되지 못하였기 때문이다.

또한 동일한 지반재료를 사용한 (b)와 (c)의 경우에서 장섬유 부직포인(filament spun-bonded needlepunched nonwoven geotextile)

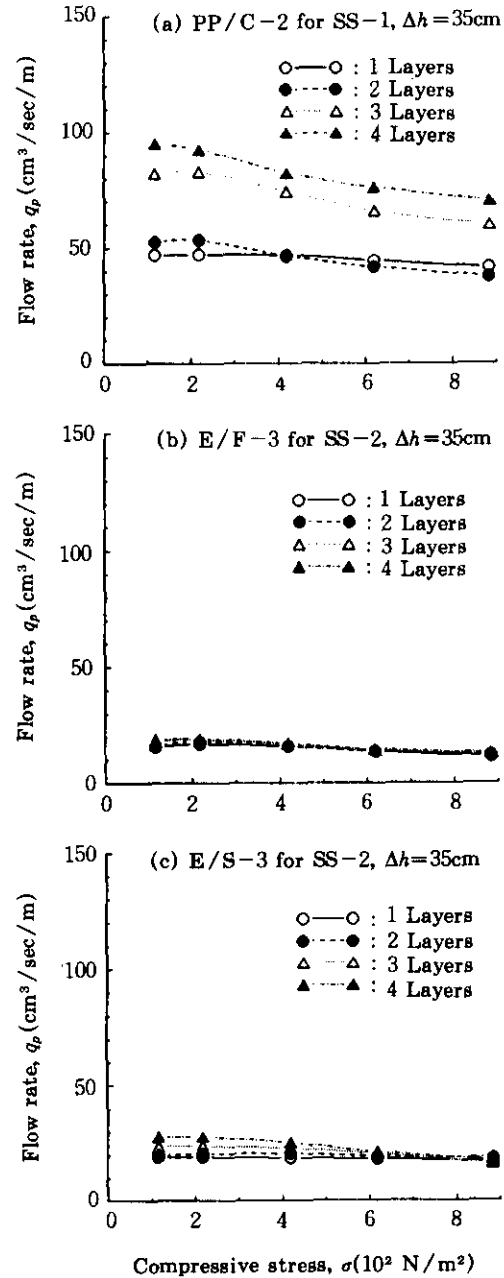


Fig. 7 Flow rate vs. compressive stress with variations of number of layers.

E/F-3 재료는 1 겹의 초기두께가 3.0mm로 포설 겹 수의 증가에 대하여 배수량의 변화가 극히 작게 나타났으나 단섬유 부직포(staple fiber needlepunched nonwoven geotextile)인 E/S-3 재료는 1 겹의 초기두께가 4.7mm로 비교적 크게 변화하였다. 이는 지오텍스타일 단면의 표면과 내부의 압축률이 상이한 데 기인하는 것으로 수직배수공의 경우는 상재하중으로 인한 지반의 수평토압을 받게되고 이 토압으로 인한 지오텍스타일의 압축은 표면에서 보다 크게 일어날 것이므로 두께가 두꺼울수록 압축이 작게 되기 때문인 것으로 판단된다.

4.4 지반재료의 변화에 따른 수두와 배수량의 관계

Fig. 8은 수두를 25cm 내외 혹은 35cm 내외로 하고 지반재료를 SS-1, SS-2 및 SS-3로 변화시켜 배수량을 비교한 것이다. 지오텍스타일 시료별로 지반재료에 대한 배수량의 증가율을 분석하면 PP, 단섬유 부직포(polypropylene staple fiber nonwoven)인 (a)의 경우는 SS-2 및 SS-3에서의 배수량이 비교적 조립인 SS-1에 대한 배수량의 1.8배 및 3.7배 정도이고 (b)의 경우는 1.3배 및 2.5배, 복합포(composite geotextile)인 (c)의 경우는 1.2배 및 1.6배 정도로 지반재료가 세립일수록 배수공의 배수량은 크게 나타났다. 이는 동일한 수두에서는 지반재료가 미세할수록 공극수압이 크게 형성되기 때문이다.

4.5 상재하중의 변화에 따른 수두와 배수량의 관계

Fig. 9는 각 단계의 수두에서 압축응력을 5 단계로 변화시켜 실험한 결과를 도시한 것이다. 수두의 증가에 대한 배수량의 변화는 전반적으로 직선적으로 증가하였는데 이는 수두 상승에 따라 지반의 과잉 공극수압이 증가하였기 때문이다.

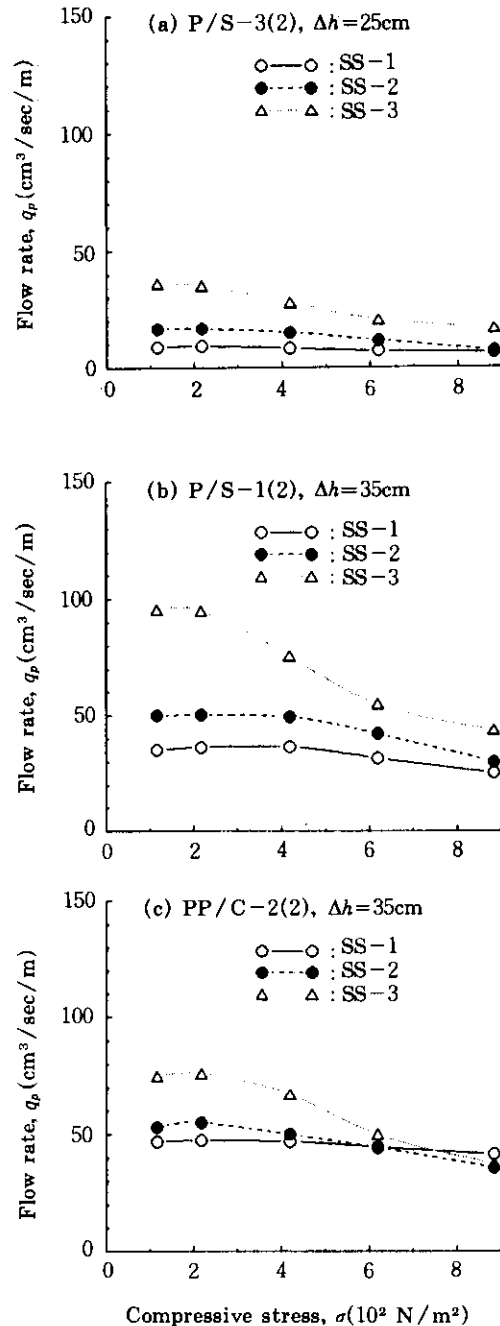


Fig. 8 Flow rate vs. compressive stress with variations of type of soils.

수두 상승에 대한 배수량의 증가율은 압축응력이 클수록 작게 나타나 그림과 같이 완만한 경사로 변화하였다. 이는 압축응력이 크게 되면 배수공으로 사용한 지오텍스타일이 초기에 압착되어 수두 상승에 따른 배수공 내의 동수경사의 증가가 작아졌기 때문이다.

또한 PES (polyester) 단섬유 부직포인 (a)의 경우와 PP (polypropylene) 단섬유 부직포인 (b)의 경우에서 45cm의 수두를 기준으로

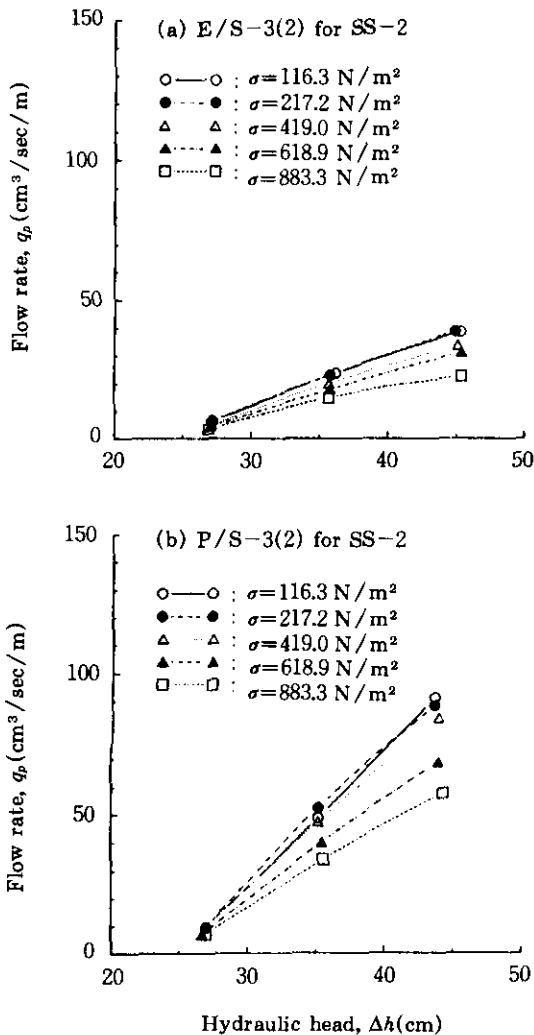


Fig. 3 Flow rate vs. hydraulic head with variations of compressive stress.

최저압축응력 하의 배수량에 대한 최고압축응력 하의 배수량의 비는 공히 1.6배~1.7배로 나타났다. 이는 상재하중의 증가에 대한 배수량의 증가율은 지오텍스타일의 시료에 따라 큰 차이가 없음을 의미한다.

5. 결 론

지오텍스타일에 의한 압력배수 특성을 연구하기 위하여 일종의 압력배수에 의한 지오텍스타일 배수공의 형태로서 연약한 성토 대상 기초지반에 대하여 성토하중의 증가에 따른 지반의 초기압밀 축진을 유도하기 위한 수직수평 배수공 모형실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 압축응력의 증가에 대한 배수공의 누적배수량은 대수함수의 형태로 증가하였고, 각 응력단계별 배수량은 일반적으로 재하초기에 크게 나타났으며 응력의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다.
2. 지오텍스타일의 전수성과 배수공의 배수량의 관계는 정의 상관관계를 나타내었으며 그 증가율은 지반재료와 수두에 관계없이 거의 동일한 것으로 나타났는 바, 배수공의 배수능력은 지오텍스타일의 전수성으로 결정됨이 입증되었다.
3. 배수공의 배수량은 포설 겹 수가 많을수록 지반재료가 세립일수록 크게 나타났다.
4. 수두상승에 따른 각 응력단계별 배수공의 배수량은 직선적으로 증가하였으며 그 증가율은 압축응력이 클수록 작게 나타났다.
5. 압력배수에 의한 지오텍스타일 배수공은 흐름의 에너지가 수압차에 의존하므로 중력배수의 경우에서보다 그 배수특성이 복잡하여 본 실험에서도 모형제작 및 모형 축조상의 난이에서 오는 실험적 오차는 무시하였으며 실제 설계에서도 불규칙하게 배열된 흙 내부의 모세관 형태 등 복잡한 배수구조와, 구멍막힘(clogging) 현상, 지반의 압밀계수와 같은 토질역학적인 문제, 시공상의 문제점

등을 감안하여 안전율을 크게 고려해야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 이상호(1992). "Geotextile의 평면투수 성능 분석", 한국지반공학회지, 8권, 3호, pp. 61-73.
2. 홍성완·조삼덕·조중각(1986). "Geotextile 종류별 효용성의 비교연구", 한국건설기술연구원, pp. 18-24.
3. Cazzuffi D. & M. Puccio(1982). "The Use of Geotextile as Drain: Laboratory Tests and Design Criteria", Proc. of Int. Symposium on Recent Developments in Ground Improvement Technique, pp. 193-203.
4. Giroud J. P.(1980). "Introduction to Geotextile & Their Applications", Proc. of the 1st Canadian Symposium on Geotextiles, pp. 3-31.
5. Giroud J. P.(1981). "Designing with Geotextiles", *Materiaux et Constructions*, Vol. 14, No. 82, pp. 257-272.
6. Giroud J. P.(1983). "Geotextile Products", *Geotechnical Fabrics Report*, Summer, pp. 12-15.
7. Heerten G. & I. Kazanskij(1981). *Geotextilien in Wasserbau* Franzius Institut, Hannover, pp. 108-121.
8. Koerner R. M. & J. E. Sankey(1982). "Transmissivity of Geotextiles and Geotextile /Soil Systems", Proc. of the 2nd Int. Conf. on Geotextiles, Vol. 1, pp. 173-176.
9. Koerner R. M.(1994). "Designing with Geosynthetics, 3rd Ed. Prentice-Hall, Eaglewood Cliffs, NJ., pp. 1-66, pp. 95-105, pp. 263-269.
10. Rumann G.(1982). "Inplane Permeability of Compressed Geotextiles, Proc. of the 2nd Int. Conf. on Geotextiles, Vol. 1, pp. 55-60
(접수일자 1996. 4. 30)