土中におけるジオテキスタイル水平ドレーン材の通水・透水性能

日本大学大学院 学生員 ○栢澤 竜生
日本大学理工学部 正会員 巻内 勝彦
同上 正会員 峯岸 邦夫

概要：

現地発生土である高含水比粘性土を用いての盛土の構築や通常の土質構造物における浸透水の集排水を目的とした対策工の中に、ジオシンセティックス(ジオテキスタイル, ジオコンポジット等)をドレーン材として用いる工法がある。しかし通水性能と透水性能がそれぞれ異なるジオシンセティックスを土中に敷設したとき地盤との関係においての排水メカニズムに関して、未解明な部分も少なくない。

そこで本研究では地盤内に水平に敷設したジオテキスタイル(不織布)をドレーン材として用いたときの面内方向の通水性, 垂直方向の透水性について室内土槽試験を行い, 水頭, 上載圧, 土の種類の影響について調べた結果を報告する。

キーワード: ジオテキスタイル, 水平ドレーン材, 通水性能, 透水性能, 透水試験

Transmissivity and Permittivity of Horizontal Geotextile Drain Material in Soil

by

Ryusei KABASAWA, Katsuhiko MAKIUCHI & Kunio MINEGISHI
(College of Science & Technology, Nihon University)

Abstract:

Horizontal geosynthetic drain such as geotextile, geotextile-related product and geocomposite are employed for constructing of highly moistured clay embankment and drainage of seepage water in the existing embankment. The usage of the geosynthetic drain materials is being increased because of the shortage of natural filter sands.

In order to investigate fundamental properties of transmissivity (in-plane permeability) and permittivity (cross-plane permeability) of horizontal drain materials embedded in the embankment, a series of laboratory box permeability tests under different water heads and overburden pressures are conducted using a spunbonded geotextile, Toyoura sand and Kanto loam clayey soil.

It was found from the test results that there was a constant ratio of in-plane permeability to cross-sectional one, and the transmissivity was affected by the decrease in the thickness of geotextile under surcharge loads.

keyword: geotextile, horizontal drain, transmissivity, permittivity, permeability test

土中におけるジオテキスタイル水平ドレーン材の通水・透水性能

日本大学大学院 学生員 ○桃澤 竜生
日本大学理工学部 正会員 巻内 勝彦
同上 正会員 峯岸 邦夫

1. はじめに

高含水比粘性土を用いての盛土構築や、その他の土質構造物における浸透水の効果的集排水を目的とした対策工法の中にジオシンセティックス(ジオテキスタイル, ジオコンポジットなど)をドレーン材として用いた工法がある。最近では良質な自然のフィルター材が枯渇化していることもあり、ジオシンセティックスのドレーン材としての利用は高まるものと考えられる。シート状のジオシンセティックスを地盤中に水平敷設した時、通水性能と透水性能がそれぞれ異なるため、その地盤特性との関係においての排水メカニズムの解明は適切なドレーン材の選定に際して重要な意味をもつ。

本研究では、水平に敷設したジオシンセティックス(不織布)をドレーン材として用いたときの面内方向の通水性、垂直方向の透水性について室内土槽試験を行い、考察した。

2. 試験方法と条件

2-1 水平ドレーン材の排水性能試験

水平ドレーン材としてスパンボンド不織布 S-300(厚さ 3 mm)を用いた。ドレーン材単体の面内方向の通水性と垂直方向の透水性および地盤との関係を調べるために、試料土に埋設した水平ドレーン材の排水性能を調べた。後者の場合は、『試料土+ドレーン材』として一つの複合体と考えての数値である。

試料土には、高含水比粘性土である関東ローム($\rho_s = 2.67 \text{ g/cm}^3$, $w_n = 110\%$, $w_L = 143.7\%$, $w_p = 68.9\%$, $I_p = 74.8$)を使用した。

図-1 面内方向通水と垂直方向透水

図-2 室内土槽試験装置

面内方向通水試験は、試験装置にドレーン材を水平に敷設し、動水勾配 i （水頭差／試料長さ）を 0.1、0.2、0.5 の 3 種類と流量が安定した後、一定流量が得られるまでの時間を測定した。

垂直方向透水試験は、網ふるいを二つ重ね合わせたものを試験装置として用い、上部ふるいの底にドレーン材を敷設し、水頭差を 1、3、5 cm に設定して上記と同様に一定流量の時間を測定した。同様にして、試料土を用いたときの透水性を調べるために土槽に試料を所定の密度で締め固めて入れ、水頭差を同様に設定して試験を行った。

2－2 室内土槽試験

試料土として、透水性の高い豊浦砂（ $\rho_s = 2.64 \text{ g/cm}^3$ ）、透水性の低い関東ローム（排水性能試験で用いた試料と同じ）の 2 種類を用いて行い、図－2 に示す試験装置の中央部にドレーン材を敷設した場合と無敷設の場合について試験を行った。各方向の集水量は土槽上部より水を注入し続けた状態で試料土を飽和状態にし、流量が安定した状態にしてから 5 分毎に面内方向の通水量と垂直方向の透水量の測定を行った。

同様にして載荷重下の挙動を調べるために、ドレーン材を敷設した場合で、上載圧力を 5 kPa と 10 kPa を載荷して試験を行った。この場合、試料土には関東ロームを用いて行った。

3. 試験結果および考察

3－1 面内方向通水性能試験結果

ドレーン材のみの性能試験結果を表－1 に、試料土＋ドレーン材の性能試験結果を表－2 に示す。また、各値を求める式を以下に示す。

$k_p = q_p / (i \cdot A)$ (1)

$q'_p = k_p \cdot T_g \cdot i$ (2)

$\theta_{15} = (Q \cdot L) / \Delta h \cdot W \cdot t) \cdot \eta_t$ (3)

k_p ：通水係数（cm/s）、 q_p ：通水量（cm³/s）、 i ：動水勾配、 A ：通水面積（cm²）、 T_g ：ドレーン材の厚さ（cm）、 q'_p ：通水能力（cm²/s）、 θ_{15} ：15℃における通水性能（s⁻¹）、 Q ：流量（cm³）、 L ：試料長さ（cm）、 Δh ：水頭差（cm）、 W ：試料幅（cm）、 t ：測定時間（s）、 η_t ：水の温度補正係数

ドレーン材の面内方向の通水性能とは土の透水係数とは異なるものであり、単位時間でのドレーン材からの単位厚さを通過する流量という物理量で表される。

水平ドレーン材の面内方向の通水能力(式 2)は、ドレーン材単体の場合では動水勾配が高くなるとより排水量が増加する結果になった。

表－1 ドレーン材の面内方向通水試験結果

動水勾配 i	0.1	0.2	0.5
通水量 q_p (cm ³ /s)	1.646	2.301	4.776
透水係数 k_p (cm/s)	2.744	1.917	1.592
通水能力 q'_p (cm ² /s)	0.082	0.115	0.239
通水性能 θ_T (sec ⁻¹)	0.802	0.561	0.072

ただし、図－3を見ると、通水能力は増加するに伴い通水性能は低下する傾向を示すことからドレーン材に排水限界があると考えられる。

試料土に埋設したドレーン材の面内方向の通水性を、ドレーン材単体の場合の通水能力で比較すると平均で減少率が約7割と大きな差異を生じている。試料土の試験中の透水係数が $1.13\text{cm/s} \sim 5.40 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ と粘性土としては低い値を示した。通水性能が大きく減少したのは、水平ドレーン材が用いる試料土の透水性に支配的影響を大きく受けているためと考えられる。

3－2 垂直方向透水性能試験結果

ドレーン材単体の時の性能試験結果を表－3に、試料土に埋設したドレーン材の性能試験結果を表－4に示す。また各値を求める式を以下に示す。

$k_n = q_n / (i \cdot A)$... (4)

$q'_n = q_n / A$... (5)

$\phi_{15} = Q / (\Delta h \cdot A \cdot t) \cdot \eta_t$... (6)

k_n : 透水係数 (cm/s), q_n : 透水量 (cm^3/s), i : 動水勾配, Δh : 水頭差 (cm), A : 透水面積 (cm^2), q'_n : 透水能力 (cm/s), ϕ_{15} : 15℃における透水性能 (s^{-1}), Q : 流量 (cm^3), t : 測定時間 (s), η_t : 水の温度補正係数

表－2 試料土+ドレーン材の面内方向通水試験結果

動水勾配 i	0.1	0.2	0.5
通水量 q_p (cm^3/s)	0.680	0.286	0.165
透水係数 k_p (cm/s)	1.134	0.239	0.055
通水能力 q'_p (cm^2/s)	0.057	0.014	0.008
通水性能 θ_T (sec^{-1})	0.332	0.070	0.016

図－3 ドレーン材の通水能力と通水性能

表－3 ドレーン材の垂直方向透水試験結果

水頭差 Δh (cm)	1	3	5
透水量 q_n (cm^3/s)	3.190	32.57	67.890
透水係数 k_n (cm/s)	0.004	0.013	0.016
透水能力 q'_n (cm/s)	0.013	0.133	0.269
透水性能 ψ_T (sec^{-1})	0.014	0.048	0.058

表－4 試料土+ドレーン材の垂直方向透水試験結果

水頭差 Δh (cm)	1	3	5
透水量 q_n (cm^3/s)	0.643	0.296	0.210
透水係数 k_n (cm/s)	0.60×10^{-3}	0.13×10^{-3}	0.54×10^{-4}
透水能力 q'_n (cm/s)	1.98×10^{-3}	1.27×10^{-3}	0.09×10^{-3}
透水性能 ψ_T (sec^{-1})	2.16×10^{-3}	0.46×10^{-3}	0.20×10^{-3}

図－3 ドレーン材の通水能力と通水性能

図－4に示すように、垂直方向の透水能力と透水性能はともに水頭差の増加に伴い増加する傾向を示した。ただし、水頭差が3cm付近から増加が緩慢になっている。これより、垂直方向の透水性にも面内方向の通水性と同様に排水限界透水性能があると考えられる。

試料土+ドレーン材の垂直方向の透水能力、透水性能は、ドレーン材単体の場合と比較して、試

料土に埋設したドレーン材の通水性能と同様に大きく低下しており、透水性能は約7割近い減少率を示す結果になった。これも試料土の透水係数に大きく依存していると考えられ、土中に敷設したジオテキスタイルドレーン材は、使用する地盤材料の透水係数に大きく左右される。

図-4 ドレーン材の透水能力と透水性能

図-5 ドレーン材敷設時の土槽底部からの集水量

3-3 室内土槽試験結果

3-3-1 地盤中の通水性と透水性

図-5にドレーン材を敷設した場合の底部からの集水量を、図-6はドレーン材無敷設時の底部からの集水量を示したものである。無敷設時の場合、豊浦砂で約1.6倍、関東ロームで約1.5倍の集水量を示した。これは地盤中に水平ドレーン材を敷設することによって土中の浸透水を効果的に排除することができジオテキスタイルドレーン材敷設による排水効果の高さがうかがえる。

図-7に両試料におけるドレーン材敷設時の面内方向の通水量を示す。図-5の底部からの集水量との比率を表すと、豊浦砂、関東ロームともに約3：1（通水量：集水量）となった。排水量の絶対値に差は見られるものの、試料土の透水係数の違いにより、ジオテキスタイルドレーン材には通水性と透水性には一定の比率が存在すると考えられ、この比率をもとにドレーン材の敷設ピッチを考慮す

図-6 試料土のみの土槽底部からの集水量

図-7 ドレーン材敷設時の面内方向通水量

ることが可能であることが示唆される。

3-3-2 載荷重の影響

載荷条件下の面内方向の通水量を図-8に、垂直方向の集水量を図-9に示す。面内方向の通水量は載荷重が大きくなるにしたがって減少することがわかる。また垂直方向の透水量は、面内方向の通水量と比較して若干安定した挙動を示している。荷重が加わることによって、土が圧密されることによる透水係数の低下とドレーン材の厚さの減少、およびドレーン材内に土粒子が侵入しやすくなることよっての通水量の低下、すなわち通水面積の減少を招くと考えられる。これらの結果より、載荷重は面内方向の通水性には大きく影響を及ぼすが、垂直方向の透水性には影響が少ないと考えられる。

また、荷重を加えた場合にも面内方向の通水量と垂直方向の透水量には無載荷の場合と同様の比率(3:1)を示したことから、載荷時においても先述のことがいえる。

4. まとめ

本研究の範囲内で得られた結果をまとめると以下ようになる。

- 1) ジオテキスタイル水平ドレーン材を地盤内に敷設することによって、高い排水効果が認められた。
- 2) ジオテキスタイル水平ドレーン材の面内方向の通水性、垂直方向の透水性には、通水・透水能力を上げてても排水限界がある。
- 3) ジオテキスタイル水平ドレーン材の面内方向の通水量と、垂直方向の透水量には一定の割合があり、試料土の種類による影響をほとんど受けない。
- 4) ジオテキスタイル水平ドレーン材の通水性は、上載圧力によるドレーン材の厚さの減少により、排水効果が減少しやすい。

今後は面内方向と垂直方向の排水性能を同時評価可能な試験方法の開発と、ドレーン材の厚さの減少、目詰まりなどによる排水性の低下に関して、さらに基礎的な試験を行う必要がある。

【謝辞】 本研究を行うにあたり、本学学生の村上亙、小松智子両君の協力を得たことを記してここに謝意を表します。

図-8 載荷時と無載荷の面内方向通水量

図-9 載荷時と無載荷の底面からの集水量