Study on separation function of geotextile in road constructions

Tatsuaki Nishigata, Kansai University

Ichizou Yamaoka, Kansai University

Hironobu Nishimiya, Kansai University

Abstract

The reinforcement and separation are important functions for geotextiles used in road construction on the soft ground. In this paper, we experimentally investigated concentrating on the separation function, and had a try to represent the function quantitatively. The cyclic loads were employed to the test specimens, the settlement, pore pressure and the mixing between the subbase layer and the subgrade soil were measured. The needle-punched non woven had a enough strength and showed an excellent effect on the separation. As the result of considering the relationship between the separation and reinforcement function of geotextiles, it is obtained that the separation was principal function in road construction on soft ground.

概 要

ジオテキスタイルを軟弱地盤上の道路建設に使用する場合、その補強機能と分離機能が重要となる。本研究では、分離機能に焦点を絞って実験的な考察を行い、分離機能の定量的な表現方法について模索した。実験には繰返し荷重を用い、モデルの沈下量、間隙水圧および路床層の路盤層への混合量を測定した。その結果、ニードルパンチ不織布の分離機能が優れていることが明らかとなった。また、分離効果と補強効果の関連性について検討し、軟弱地盤上の道路では分離機能が主機能であることが明らかとなった。

道路構造におけるジオテキスタイルの分離機能

西形達明（関西大学工学部）

山岡一三（同）

西宮宏信（関西大学大学院）

1. はしがき

ジオテキスタイルを道路構造に適用した場合、1) 分離機能、2) 補強機能、3) 排水機能の3つの機能が相互に作用することにより道路構造全体の安定化が促進される。したがって、上記の3つの効果を個別に評価することが必要となる。従来より、ジオテキスタイルの補強機能とその有用性については数多くの研究がなされてきた。反面、分離機能については、その重要性が指摘されていながらも、ほとんど検討がなされていないのが実状である。これは、分離機能が単に路盤層と路床層を分離する機能と定義されており、現象的に簡明すぎることから、機構そのものを定量的に研究することが困難なためであると考えられる。

そこで、本研究では、ジオテキスタイルの分離機能に重点をおいて、実験的に検討し、定量的な評価を行うことを試みる。また、分離機能と補強機能の関連性について考察を行うことにする。

2. 実験概要

本実験で使用した実験試料の概略図を図-1 (a) に示す。供試体を作成する容器は、内径 240mm、深さ 300mmの円筒形スチール製モールドで、載荷時にモールド内壁から受ける反力を緩和するため内壁に沿って5mm厚のゴム膜を装着し、底部には20mm厚のゴム板を装着してある。路床土には、その非排水せん断強度を $c_u = 0.01 \sim 0.1 \text{ kgf/cm}^2$ の間で調節したカオリン粘土を120mm高さまで詰めた。使用したカ

図-1 実験モデル

オリソ粘土の物理特性を表一1に示す。路盤層としては、あらかじめ表面乾燥飽水状態とした骨材（粒径10～20mm）を100mm厚さになるよう敷設した。ジオテキスタイルを挿入する実験では、試料周辺部での路床土と路盤材の混合を防ぐために、モールド内径より少し大きめに切断したジオテキスタイル試料を路床土と路盤材の境界に敷設し、端は上方に折り返すようにした。また、ジオテキスタイルにはニードルパンチ系不織布とともに、比較のために開口径が大きいモノフィラメント織布を用いた。その強度特性を表一2に示す。

載荷方法は、ペロフラムシリンダーによる繰返し載荷とし、載荷板には、まずモールド内径と同じ大きさのもの（全面載荷）を使用した。これは、図一1（b）に示すような局所的な載荷を行うと、モデル地盤の載荷部周辺に局所的な沈下が生じ、その結果、ジオテキスタイルに発生する張力（T）の影響（補強効果）が現れ、分離効果だけを抽出することができなくなるためである。したがって、全面載荷実験より得られる沈下量の大半は（圧密による沈下を除外すれば）、路床土が路盤層に混入することによって生じたものと考えることができる。また、補強効果との関係を見るために、図一1（b）の局部載荷（載荷半径＝100mm）も同時に行うことにした。載荷荷重はいずれの場合も1.2、1.5、1.8kgf/cm²の3種類とし、載荷周期は1秒載荷1秒除荷として、載荷回数は最大で10000回とした。測定項目としては、試料沈下量、路盤層への路床土の混合量、路床土中の間隙水圧の計測を行っている。

表一1 路床粘土の性質

比 重	2.63
塑性限界	37.4%
液性限界	56.5%
塑性指数	19.1
最適含水比	33.1%

表一2 ジオテキスタイル試料の性質

試 料	製 造 方 法	材 質	厚 さ (mm)	重 量 (gf/m ²)	破断強度 (kgf/cm)
不織布	ニードルパンチ	ポリエステル	2.46	322	16.8
織 布	モノフィラメント	ポリエステル	0.40	154	30.8

2. 分離機能の検討

図一2は、ジオテキスタイルのない場合と2種類のジオテキスタイルを使用した場合のモデルの載荷回数と沈下量の関係を示したものである。横軸は載荷回数（回）、縦軸は累積沈下量（mm）である。この図から、ジオテキスタイルを敷設しないモデルとモノフィラメント系織布を敷設したモデルでは、ニードルパンチ系不織布を敷設した場合より、大きな沈下量を示している。また、モノフィラメント系織布を敷設したモデルがジオテキスタイルを敷設しない場合

図一2 全面載荷実験における載荷回数と沈下量の関係

とほとんど変わらない沈下量を示している。これは、開口径の大きいモノフィラメント系織布が粘性土の侵入を防ぐことができず、分離効果が発揮されなかったためである。また、モノフィラメント系織布が比較的高い強度を有するにも関わらず、地盤の変形による補強効果も現れていないことから、全面載荷法によれば、補強効果が除去されており、分離効果のみを考察できることがわかる。一方、ニードルパンチ不織布では路床土の混入はほとんど見られず、分離効果が十分発揮されていた。

図-3 は各実験の最終沈下量を比較した図である。なお、実験条件（載荷応力、路床土の強度）の異なるすべての結果を比較するために、横軸は路床土の非排水せん断強度 c_u (kgf/cm²) を路床面に作用する応力 σ (kgf/cm²) で除することにより実験条件を無次元化した c_u/σ によって表している。

図-3 最終沈下量と c_u/σ の関係

図-4 分離効果 E_g と c_u/σ の関係

この図によると、若干のばらつきがあるが、不織布を使用したモデルでは、ジオテキスタイルのない場合とモノフィラメント系織布を敷設した場合に比べて、 c_u/σ が小さいときに差が大きくなっている。したがって、分離効果においても補強効果と同様に、路床強度が低く作用荷重が大きいほど、効果が明確になることがわかる。

ここで、ニードルパンチ不織布を敷設したモデルでは、混合は全く生じることがなく、沈下量は路床土の圧密沈下のみに依存し、ジオテキスタイルを敷設しないモデルの路床の圧密沈下量はニードルパンチ不織布敷設モデルの沈下量に等しいと仮定する。この場合、ニードルパンチ敷設モデルと敷設しないモデルとの沈下量の差はすべて混合によるものと考えることができる。すると、ニードルパンチ不織布の分離効果は、それぞれの沈下量の差は次式のように表すことができる。

$$E_g = W_N - W_g \quad (1)$$

E_g : ニードルパンチ不織布の分離効果

W_N : ジオテキスタイルを敷設しないモデル地盤の沈下量

W_g : ニードルパンチ不織布を敷設したモデル地盤の沈下量

したがって、ニードルパンチ不織布を使用した場合の路床土混合量を無視すれば、 E_g はジオテキスタイルを敷設しない場合の混合量を沈下量に置換したものと考えることができる。

図-4は、実施したすべての全面載荷実験について、 E_g と c_u/σ の関係を示したものである。この図を見ると、 c_u/σ の値が 0.025 以下になると、分離効果が急激に増加しており、より軟弱な地盤ほど分離効果が大きくなることがわかる。いま、ニードルパンチ不織布の分離効果を c_u/σ の関数と考え、図-4の回帰曲線より次式を得ることができる。

$$E_g = \frac{c_u/\sigma}{0.615 \cdot (c_u/\sigma) - 0.0056} \quad (2)$$

次に、路床中の間隙水圧の変動について検討する。図-5は、路床の $c_u = 0.01\text{kgf/cm}^2$ 、載荷重 1.5kgf/cm^2 時のそれぞれのモデルについての間隙水圧の推移を示したものである。ニードルパンチ不織布敷設モデルでは、他の場合（ジオテキスタイルのない場合とモノフィラメント織布の場合）と比較して初期の間隙水圧が高い。これは載荷初期において、軟弱路床土の変形と路盤層への混入をニードルパンチ不織

図-5 載荷回数と間隙水圧の関係

布が一時的に防止したためと考えられる。その後の消散速度は、わずかではあるがニードルパンチ系不織布敷設モデルが大きくなっており、その排水性の良さを示している。以上のことより、ニードルパンチ系不織布を敷設することにより、分離効果の2次機能として、排水効果が十分期待できることがわかる。

(2)式に得られた式を道路構造に適用することを試みる。現実の道路構造では、載荷荷重は路盤層内で分散して路床面に作用することになる。したがって、路床土の混合領域は、載荷部直下で最大となり、周辺部に向かって減少する。そこで(2)式が道路構造における路床と路盤層の境界部の混合現象に適用できるとし、ジオテキスタイルの分離機能が応力作用領域のみに発揮されると仮定すると、(2)式が次のようになる。

$$E_{g2} = \int_0^{L/2} \frac{c_u/\sigma(x)}{0.615 \cdot (c_u/\sigma(x)) - 0.0056} \quad (3)$$

ここに、 $\sigma(x)$ は載荷中心から x の距離にある点での路床面応力、 L は $\sigma(x)$ の作用範囲である。路盤層内の応力分散形態に対して、図-6に示す Koglerの直線分布式を用いて(3)式の計算を行うことにした。その他の計算条件は、載荷荷重 $q=5.0\text{kgf/cm}^2$ 、載荷幅 $2B=30\text{cm}$ とし、載荷幅と路盤層厚 D

との比 ($2B/D$) が 0.5, 0.75, 1.0 の 3 種類としている。その結果を図-7 に示す。図の横軸は路床粘土強度であり、縦軸には分離効果 (2) 式より、ジオテキスタイルの無い場合の混合量と考えることができる) を取っている。これより、路盤層厚が大きいほど ($2B/D$ が小さいほど) ジオテキスタイルの分離効果が大きくなっているが、これは路盤層厚が大きいと、路床面応力の作用範囲が大きくなり、路床土の混合領域が大きくなるため、分離効果が大きくなったものである。しかし、路床土の強度が小さくなるとジオテキスタイルの分離効果が急激に大きくなっており、 $c_u=0.03\text{kgf/cm}^2$

以下では、路盤厚の小さい場合において分離効果の増加が急激に大きくなる傾向があることが分かる。

3. 補強機能との関連性

ここでは、全面載荷実験と同じ条件で局部載荷実験を行った結果から、補強効果と分離効果の関連性について考察し、それぞれの機能がどの程度の割合で発揮されるかについて検討する。

図-8 は、同じ実験条件下における局部載荷と全面載荷についての載荷回数-沈下量曲線である。この図における局部載荷と全面載荷のそれぞれについて、ジオテキスタイルのある場合とない場合の沈下量の差を求めることにより、補強効果と分離効果を個々に検討することができる。この両者の差を図示したものが図-9 である。すなわち、全面載荷におけるジオテキスタイルのある場合とない場合の沈下量の差は分離効果と考えることができる。一方、局部載荷におけるジオテキスタイルのある場合とない場合の沈下量の差には、補強効果と分離効果が混在していることになる (図-1 (b) 参照)。したがって、図-9 の 2 つの曲線間の距離は補強効果と見なすことができ、

図-6 計算に使用した路盤層における応力分散形状

図-7 ジオテキスタイルの分離機能の計算例

図-8 載荷回数と沈下量の関係 (全面載荷と局部載荷の比較)

また全面載荷の差の曲線の下部は分離の効果を表していると考えることができる。

図より、全面載荷と局部載荷とは、載荷初期の段階に大きな差が生じている。これは、地盤の変形が大きく生じる載荷初期においてジオテキスタイルの補強効果が発揮されたことを示している。しかし、載荷回数 100回を越えるあたりから、分離効果が徐々に大きくなり、補強効果を上回る機能を発揮していることがわかる。この結果から、道路構造における補強効果は載荷初期の段階に発揮される効果であり、分離効果は長期的に発揮される効果であり、補強道路変形に対して大きく影響を及ぼす効果であると言える。また従来より補強効果の検討法として、モデル載荷実験が数多く行われているが、いずれの場合も補強効果だけではなく分離効果も混在していたものと推測される。

図－9 全面載荷と局部載荷におけるジオテキスタイルのある場合とない場合の沈下量の差

3. まとめ

本研究では、分離効果に焦点を絞った考察を行い、その定量的な評価方法について検討した。得られた結果をまとめると次のようである。

- 1) 実験方法としては、モデル地盤に全面載荷を実施することによって、補強機能を除外し、分離機能のみを抽出することができる。
- 2) 今回使用したニードルパンチ不織布は、実験中に破損も生じることなく、有効な分離機能を有しており、分離材として十分使用できるものである。
- 3) ジオテキスタイル敷設道路では、分離機能を重視した設計を行うべきであるという観点から、分離効果の定量的な表現方法を模索した。
- 4) 全面載荷実験と局部載荷実験の2つの結果から、分離機能と補強機能を個々に考察し、その結果、長期的には分離機能が補強機能を大きく上回る効果を示すことが明らかとなった。

今回は、ジオテキスタイルの物理的特性による分離効果への影響に関する検討を行わなかったが、今後、これらの点について詳細な考察を進める予定である。