Bearing capacity of soft subgrade reinforced by geotextile

Tatsuaki Nishigata, Kansai University

Ichizou Yamaoka, Kansai University

Abstract

When geotextile is placed between a soft subgrade and aggregate layer, the bearing capacity of road system is significantly improved. In such application the basic function of geotextile are as follows : (1) confinement of subgrade soil and aggregate layer, (2) reinforcement by vertical component of tensile stress develops in geotextile, (3) material separation. In this study, based on the results of two dimensional model tests, especially the first function is investigated.

Geotextile reduces the stress transmission to subgrade and restrains the sliding failure of subgrade soil on both side of loading area. Next, the reinforcement of aggregate layer by geotextile is due to increasing of horizontal confinement stress, and it seems that this function has important effects upon the bearing capacity of road systems.

ジオテキスタイルを用いた軟弱地盤の支持力特性

関西大学工学部 西形 達明

関西大学工学部 山岡 一三

概 要

ジオテキスタイルを軟弱な路床と骨材層（路盤）の間に敷設すると、道路の支持力が大きく改善される。このような適用時におけるジオテキスタイルの主な機能には、（１）路床と路盤の変形拘束効果、（２）ジオテキスタイルの引張り力の鉛直成分による補強、（３）材料の分離効果などがある。本研究では、２次元モデル実験の結果から、特に（１）の機能について考察を加えることにする。

ジオテキスタイルは路床への応力の伝達を軽減するとともに、載荷部の両側の路床土の滑り破壊を抑制する。次に、ジオテキスタイルによる路盤層の補強効果は水平拘束応力の増加によるものであり、この機能は道路の支持力に大きな影響を及ぼすものと考えられる。

ジオテキスタイルを用いた軟弱地盤の支持力特性

関西大学工学部 ○西形 達明

関西大学工学部 山岡 一三

1. まえがき

軟弱地盤における路床、路盤の沈下を抑制する工法の一つとして、ジオテキスタイルを用いた工法が注目され、その有用性が確かめられつつある。しかしジオテキスタイルの持つ強度特性が従来からの補強材に比べて大きく異なるため、その補強機能については十分検討しておく必要がある。軟弱地盤におけるジオテキスタイルの補強機能としては現在のところ、1) 路床および路盤部の変形拘束、2) ジオテキスタイルに発生する引張力の上向き成分による支持力への寄与、3) 路盤と路床間分離機能、4) ジオテキスタイルの透水性による地盤の圧密促進効果などが挙げられている。上記中3)と4)の機能はいずれも時間の経過にともなって発生する効果と考えられることから、本研究では時間効果に関係ないと思われる1)と2)のうち特に1)の機能について、モデル実験により考察を加えることにする。

2. ジオテキスタイルによる支持力機構

ジオテキスタイルによる地盤の補強機構についてはいくつか提唱されており、その中の一つにBarenberg¹⁾による研究がある。これによると路床土の変形拘束効果によって、地盤の限界支持力が $q_{ult} = 3.0 \cdot c$ (局部せん断破壊) から $q_{ult} = 5.14 \cdot c$ (全般せん断破壊) に増加するとしているが、その力学的な機構については言及されていない。ジオテキスタイルを敷設した地盤の支持力について定量的な説明を加えたものに山内、後藤²⁾の研究があり、次式が与えられている。(図-1参照)

$$q_{ult} = c \cdot N_c + \frac{2 \cdot T \cdot \sin \theta}{B} + q_r \cdot N_q + \gamma \cdot H \cdot N_q \quad (1)$$

ここで N_c 、 N_q は支持力係数、 T はジオテキスタイルの引張り力、 θ は載荷端におけるジオテキスタイルのたわみ角である。上式の第3項が押し盛土的作用によって、載荷部の両側の路床土の受動すべり破壊による変形を抑制する機能を表している。すなわちBarenbergの言う路床の変形拘束効果そのものであると考えることができる。

(1)式はいわゆる路床部だけに注目したものであるが、通常の道路ではジオテキスタイルの上に路盤部が形成され、従来よりこの路盤部においてもジオテキスタイルの変形拘束機能があるといわれている。そこで本研究ではMeyerhof³⁾によって示された粘性土上の砂層の支持力に関する式を用いて、路盤部

図-1 ジオテキスタイルの補強機能

表-1 粘土試料の性質

比重	2.75
液性限界	32.4%
塑性限界	23.1%
粘着力	0.01, 0.03, 0.09 kgf/cm ²

表-2 ジオテキスタイルの性質

重量	213 g/cm ²
厚さ	0.74 mm
引張強度	7.18 kgf/cm ²
変形係数	41.4 kgf/cm ²
材質	*リフレックス + *リフレックス
製造法	ヒートボンド法

の変形拘束効果について検討を加えることにする。これによると支持力は次式で与えられている。

$$q_{ult} = c \cdot N_c + 2 \cdot P_p \cdot \sin \delta / B \quad \text{-----(2)}$$

ただし、 $P_p = 0.5 \cdot K_p \cdot \gamma \cdot H^2 / \cos \delta$ であり、 K_p は受動土圧係数である。(2) 式の第2項が路盤部の支持力を表しており、したがってこの項にジオテキスタイルの効果を検討すれば良いことになる。そこでジオテキスタイルによる変形拘束機能によって載荷部周辺の路盤層内に、さらに σ_h の水平拘束圧が生じるものと考え、(2) 式は次のようになる。

$$q_{ult} = c \cdot N_c + 2 \cdot (P_p + \sigma_h / \cos \delta) \cdot \sin \delta / B \quad \text{-----(3)}$$

したがってジオテキスタイルによる路床と路盤の変形拘束機能を考慮した限界支持力として、(1) 式と(3) 式を合わせることによって次式を得ることができる。

$$q_{ult} = c \cdot N_c + \frac{2 \cdot T \cdot \sin \theta}{B} + q_r \cdot N_q + (K_p \cdot \gamma \cdot H^2 + 2 \cdot \sigma_h) \cdot \tan \delta / B + \gamma \cdot H \cdot N_q \quad \text{-----(4)}$$

ただし上式において、 σ_h の定量的な導入方法については現在のところ明確ではないため、実験によってその効果を確認めることにする。

3. 実験方法

モデル実験には幅150cm、高さ100cm、奥行き30cmの土槽に路床土として、表-1に示されるような粘土試料を高さ60cmになるように入れ、その上にジオテキスタイル(表-2)を敷設した後、さらに路盤層として砂層を所定の厚さに敷設した。載荷方法は幅(B)5cmの長方形盤を用い、1mm/minの一定速度で載荷を行った。比較のために、粘土試料の含水比を変化させることによって強度を3種類($c = 0.01, 0.03, 0.09 \text{ kgf/cm}^2$) また砂層厚についても3種類($d = 2.5 \text{ cm}(d/B=0.5), 5 \text{ cm}(d/B=1.0), 10 \text{ cm}(d/B=2.0)$) について各種の実験を行った。次にジオテキスタイルによる路盤層および路床部の変形拘束効果を調べるために、図-2に示されるような位置に土圧計を設置した。ただし土圧計Hは路盤層における水平土圧を計測することを目的としたものである。実験結果の一例として、図-3に載荷応力と載荷盤の鉛直変位の関係を示すが、結果はいずれも両対数上にプロットし、その屈曲点をモデル地盤の最大支持力とした。

4. 実験結果

前述したように、ジオテキスタイルの存在による、式(4)の第2項あるいは3項の影響によって、載荷部直下では路床土

図-3 地盤の鉛直変位と支持力

への荷重伝達量が軽減されるものと考えられる。そこで図-4は荷重部の直下における、ジオテキスタイルの上下面の鉛直土圧（土圧計 NO.A, および B）と載荷荷重の関係を示したものである。なおジオテキスタイルのない場合の結果は路盤と路床層の境界面の鉛直土圧を表している。また図中の直線は土中土圧の測定結果との比較のために、均一地盤における弾性解による鉛直応力を示したものである。これより明らかにジオテキスタイルの上下面で応力差が生じており、ジオテキスタイルの下面（路床土表面）ではジオテキスタイルのない場合に比べて鉛直応力が減少していることがわかる。

図-4 ジオテキスタイルの上下面の応力

さらにより明確に示すために、ジオテキスタイルの上下における応力差と、載荷板の鉛直変位量との関係を調べたのが図-5である。この結果からみると、変形が大きくなると路盤厚（ d/B ）の大きさにかかわらず、ジオテキスタイルの上下面の応力差は載荷荷重の30%程度となっている。しかし変形量の小さい間（地盤の限界支持力に達するまで）は、 $d/B=0.5$ の場合が最も応力差が大きくなっていることや、補足的に実験を行った $d/B=0.25$ （ $d=2.5\text{cm}$, $B=10\text{cm}$ ）の場合にはほとんど応力差が生じていないことから、この結果はジオテキスタイルの最適な敷設位置の存在を示唆しているものと考えられる。すなわち最適な位置にジオテキスタイルを置くことによって、（4）式の2項と3項の効果がより有効に作用するものと思われる。

図-5 ジオテキスタイル上下における応力差

次に路床土の押え込み効果を表している（4）式の第3項の q_r （図-2の土圧計 No.C, D, E）を具体的に調べてみた結果が図-6である。この結果ジオテキスタイルのない場合にはほとんど q_r が発生していないのは明らかであるが、ジオテキスタイルのある場合には変形の進行とともに q_r の値が増加して行くのがわかる。ただし、その値はジオテキスタイル面に沿って一定値ではなく、ほぼ沈下形状に比例した大きさになっている。

図-6 q_r の分布図

次にジオテキスタイルの路盤層における変形拘束圧について考察する。図-7はジオテキスタイル上面の水平土圧（土圧計

No.H) を示している。これよりジオテキスタイルによる路盤層の水平拘束圧が有効に作用していることがわかる。さらに拘束圧の大きさは d/B に少なからず影響を受けるものと思われるが、路床土の強度にはそれほど左右されることはないと考えられる。この効果は先に述べたジオテキスタイルの路床の押え込み効果に対して、路盤の包み込み効果と言うことができ、現象的にはジオテキスタイルの分離効果の結果であるとも考えることができる。

図-7 路盤内の水平土圧

最後に、実験から得られた結果を用いて(4)式の各項を計算し、限界支持力を求めてみた結果が表-3である。ただし、(4)式の第2項はジオテキスタイルの引張り力による効果を表しているが、本研究で念頭に置いている道路構造では荷重による変形が局所的なものであることや、変形係数の小さい不織布を使用した場合、その影響は大きくないものと考え、この項を除外することにした。また $N_c = 5$ 、 $\delta = \phi$ とし、(4)式の第4項の σ_h の値には図-7で示したジオテキスタイルの上面の水平土圧をそのまま用いている。よって路盤部の受動土圧による項 ($K_p \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot \tan \delta / B$) は σ_h に含まれるものと考え、計算から省いている。限界支持力の値を比べてみると、実験結果よりかなり低い目の結果を与えているものも見られるが、これは計算結果が土中土圧の測定結果に頼っていることや、実験結果の限界支持力の決定時に誤差が生

表-3 限界支持力の計算結果

じたためと思われる。路盤の拘束の効果の項について見てみると、ほぼ路床の拘束効果と等しいオーダーの効果が生じているようである。

5. まとめ

c (kgf/cm ²)	d (cm)	$c + N_c$	$q_r + N_q$	$2\sigma_h \cdot \tan \delta / B$	$\gamma \cdot H \cdot N_q$	q_{ult}	q_{ult} (実験)
0.01	2.5	0.051	0.014	0.013	0.028	0.108	0.22
0.01	5.0	0.051	0.027	0.032	0.056	0.168	0.23
0.01	10.0	0.051	0.025	0.036	0.112	0.224	0.35
0.03	2.5	0.154	0.022	0.015	0.028	0.219	0.23
0.03	5.0	0.154	0.020	0.040	0.056	0.270	0.34
0.03	10.0	0.154	0.025	0.046	0.112	0.337	0.66
0.09	2.5	0.463	0.027	0.010	0.028	0.528	0.60
0.09	5.0	0.463	0.039	0.036	0.056	0.594	0.69
0.09	10.0	0.463	0.050	0.044	0.112	0.669	1.12

以上ジオテキスタイルによる路床層と路盤層の補強機能について考察を加えたが、得られた知見をまとめると次のようである。

①路床の変形拘束と呼ばれる効果は、(1)式の第3項そのものであり、載荷部の両側の路床土の受動すべり破壊による変形を抑制する機能である。②路盤層の変形拘束効果をジオテキスタイルによる水平拘束圧の増加としてとらえ、定量的な形で表したが、その効果の大きさは、①の路床の拘束効果とほぼ同程度のものである。③ジオテキスタイルによる地盤の補強機能は、直接の引張り力によるものより、ジオテキスタイルの特徴である面補強材としての効果(路床の押え込みと路盤の包み込み)が大きいものと考えられる。

参考文献) 1) E.J.Barenberg: Design and behavior of soil-fabric-aggregate systems, Transportation Res. Rec.,1978. 2) 山内、後藤: 数網工の実用支持公式の一提案、九大工学集報、1979. 3) G.G.Meyerhof: Ultimate bearing capacity of footings on sand layer overlying clay, Canadian Geotech. Jour.,1974.