軟弱地盤上舗装道路へのポリマーグリッド応用に関する模型実験

佐賀大学理工学部○三浦哲彦

〃 〃 坂井 晃

佐賀県土木部 毛利一之

1. ま え が き

軟弱地盤上に築造された低盛土道路においては、盛土荷重による沈下のみならず交通供用後の走行荷重による沈下も大きな問題となっている。従来、軟弱地盤の沈下防止として数多くの対策工法が用いられているが、網目構造を持つジオテキスタイルを用いた補強土工法は、土の連続性を阻害せずに土を網目中に強く拘束することから、土の補強における有用な形態の一つと考えられる。我国では、樹脂網を軟弱地盤上に敷設して地盤を拘束し土の撤出しを容易にする敷網工が世界に先駆けて実用化されてきた経緯がある。しかし、これらの網目製品は材料の剛性不足と耐久性の問題によって、恒久的な土の補強材としては積極的に用いられなかった。一方、樹脂の延伸成形によるポリマーグリッドは軟鋼にも匹敵する高い剛性を持ち、現在これらの補強土への応用¹⁾²⁾³⁾⁴⁾が広がつつある。軟弱地盤上の舗装道路の沈下抑制工法においてもポリマーグリッドを用いた補強土工法があるが、その補強メカニズムや設計法については、まだ不明確な点が多い。本研究では、繰返し荷重を受ける舗装道路の沈下抑制工法として高張力材料のポリマーグリッドを採用し、模型舗装の繰返し載荷試験を行って舗装道路におけるポリマーグリッドの沈下抑制効果について検討した。

2. 試料および実験装置2.1 試料の物理的性質

模型舗装実験に用いた試料は、粘土（路床）クラッシュラン・粒度調整砕石（路盤）、アスファルトコンクリート（表層）および補強材のポリマーグリッドである。

路床材として使用した有明粘土は、佐賀市蓮池付近の深さ1.2～2mの位置から採取した。表一1は、その物理的性質を示す。本試料にも見られるように有明粘土は多くの場合、自然含水比は液性限界より高く、非常に不安定な状態で堆積している。また、有明粘土は、鋭敏比16以上の超鋭敏粘土でもあり、通常の沖積粘土に比べて取扱いの難しい粘土である。

路盤材としては、クラッシュラン（c-40）・粒度調整砕石（M-40）を用いた。また、ポリマーグリッドの延伸成形品には一軸延伸品と二軸延伸品があるが、本実験には、二軸延伸グリッド（目寸法 28x38(mm)、引張強度(縦x横)1200x1700kgf/m）を用いた。

2.2 実験装置

図一1は、本研究で用いた実験装置を示す。土槽は内径寸

表一1 粘土の物理的性質

比 重 (G _s)	2.625
初期含水比 (W _s)	129.0%
液性限界 (W _L)	116.9%
塑性限界 (W _p)	38.6%
塑性指数 (I _p)	78.3

法 1.5m(縦)x1.5m(横)x1.0m(深さ)、横厚0.15m、底厚0.2mの鉄筋コンクリート土槽である。繰返し載荷装置は、空気圧がコンプレッサーからブーasterを通してタンクに送り込まれ、そこから送り出される水圧によってベロフラムシリンダーが作用するようになっている。繰返し載荷の周期はツインタイマーによって載荷時間と除荷時間を調整する。実験は、模型舗装の打設後、所定の載荷条件にセットし上述のベロフラムシリンダーを用いて繰返し載荷試験を実施した。

図-1 土槽および繰返し載荷試験装置

3. 実験方法

3.1 模型舗装の打設

土槽の底部に排水用フィルター(1.5mx1.5m)を敷いた後、繰返しした有明粘土を高さ約65cmになるまで4層に分けて打設した。その後、粘土層の表面を水平に整形し、その上面にも排水用フィルターを敷いて両面排水の圧密を行った。圧密荷重はコンクリートテストピース(一個約12.2kgf)を用いて0.05kgf/cm²載荷し、約2ヶ月間放置した。

ポリマーグリッドの敷設位置と形状は、図-2 (a) (b)に示すように2種類行った。Case-1は、クラッシャーランの上下面にグリッド端部を図のように折り曲げてポリマーグリッドを敷設した。一方、Case-2のポリマーグリッドはクラッシャーランの上面と粒度調整碎石中に敷設し、鉄筋を用いてグリッド端部を固定した。

舗装の打設は、圧密した粘土層を約60cmに整形した後、まず下層路盤としてクラッシャーランを2層に分けて突棒でそれぞれ2回締固め、振動プレートで仕上げて20cm厚さにした。引き続き、クラッシャーランと同様の方法で上層路盤の粒度調整碎石を厚さ15cmに打設し、最後に、表層のアスファルト厚が5cmになるように打設して完了した。

図-2 ポリマーグリッドの敷設位置とひずみ・沈下量の測定位置

3.2 繰返し载荷試験

アスファルト表面の中心部に直径20cmの载荷板を設置した後、ペロフラムシリンダーによって繰返し荷重 1.85kgf/cm^2 （2秒载荷, 4秒除荷）を加えた。排水は上部からの片面排水とした。舗装各層の沈下量は、各舗装打設時にパイプを通して埋設した沈下棒（先端に5cm×5cmの沈下板）によって測定した。また、ポリマーグリッドのひずみはグリッドに貼付したひずみゲージにより測定した。図-2に、沈下棒とひずみゲージの測定位置を示す。

4. 実験結果および考察

4.1 繰返し荷重を受ける道路舗装の沈下量

(1) 舗装各層の沈下量

図-3 (a) (b) (c)は、それぞれ载荷板直下・载荷板中心から20cm・35cmにおける残留沈下量の経時変化を示す。舗装道路は载荷回数の増加とともに次第に沈下し、载荷板直下において最も大きな沈下曲線を示している。ポリマーグリッドによる沈下抑制効果は両ケースとも認められ、特にCase-1ではその効果が著しく、载荷板直下では繰返し载荷によって生じた沈下量がポリマーグリッドの敷設によって約1/2に低減しているのがわかる。

(2) アスファルト表面の沈下量

路盤の圧縮性は粘土に比べてかなり小さいことから、アスファルト表面の沈下量は粘土路床の沈下量にほぼ等しいと考えた。かくして、各舗装材に埋設した沈下計の測定結果よりアスファルト表面全体の沈下量を推定し、その半径方向の分布を繰返し回数別に

示したのが図-4である。標準舗装に対して繰返し载荷初期から沈下抑制効果が認められ、繰返し回数が増加してもその効果は継続するのが認められる。特に、Case-1では载荷板中心より20cmの位置において標準舗

図-3 繰返し荷重による残留沈下量

図-4 繰返し回数と残留沈下量の関係

装の約1/3の沈下抑制効果がみられる。

4.2 ポリマーグリッドによる沈下抑制効果

(1) ポリマーグリッドのひずみ分布

繰返し载荷に対するポリマーグリッドの沈下抑制効果は、グリッドに発生する引張りひずみに依存する。図-5 (a) (b) (c)は、繰返し荷重によって生じた载荷・除荷時のポリマーグリッドのひずみ(载荷板中心から7cm・12cm・22cmの測定位置)と繰返し回数の関係

(Case-1)を示したものである。これらの図から、载荷時には繰返し回数に関わりなくほぼ一定の引張力が作用し、载荷回数の増加とともに引張りひずみが累積していく傾向が認められる。

また、ポリマーグリッドに作用する各载荷時の引張りひずみ分布を示したのが図-6 (a) (b)である。载荷板直下より少し離れた位置でひずみのピークが見られ、ポリマーグリッドを2枚敷設した場合には下部の方がひずみは大きい。ポリマーグリッドの敷設位置の違いについては、路床面上に敷設したCase-1の方がCase-2よりも大きな引張りひずみを生じている。すなわち、舗装最下層に敷いたグリッドのひずみが最も大きく、ポリマーグリッドを路盤と路床との境界面に敷設するのが最も有効であると考えられる。

図-5 ポリマーグリッドのひずみの経時変化

図-6 ポリマーグリッドのひずみ分布

(2) ポリマーグリッドの引抜き特性

路床(粘土)と路盤との境界面に敷設したポリマーグリッドによる沈下抑制効果は、路盤材とポリマーグリッドの相互作用だけでなく、粘土路床とポリマーグリッド間のせん断抵抗にも依存する。したがって、このせん断抵抗を把握することは、ポリマーグリッドによる補強機構を解明する上での重要な課題の一つである。ここでは、その基礎データとして土中に埋設したポリマーグリッドの引抜き抵抗について実験的な検討を行ったものである。

実験は、図-7(a)に示すように土槽中で圧密した有明粘土に、16cm(幅)×60cm(長さ L_1)の広さのポリマーグリッドを合計6枚鉛直に挿入した。その後、コンクリートテストピースを粘土層の表面に敷き詰めて、3段階の鉛直荷重 $\sigma_v=520\text{kgf/m}^2$, 1030kgf/m^2 , 1470kgf/m^2 を加えた。引抜き試験は図-7(b)に示すようにポリマーグリッドに鋼棒と力計をワイヤーでつなぎチェンブロックで徐々に引き上げ、1段階の荷重ごとにポリマーグリッドを2枚ずつ引抜いた。

ポリマーグリッドの粘土中における変形係数 E^* は、ポリマーグリッドの深さ方向のひずみが直線分布を示すとして求めた各ひずみゲージ位置での引張り力 F を、そのひずみの最大値 ε_{max} で除すことによって算出した。その結果、 E^* の平均値は約90000 kgf/m^2 となり、大気中での値43000 kgf/m^2 の約2.1倍である。図-8(a)は、有明粘土における引抜き試験結果である。縦軸の最大引抜き抵抗力 T_{max} とポリマーグリッドの埋め込み長さ L_1 との比 T_{max}/L_1 (但し、 $L=2L_1$)は、鉛直圧の値に関係なく一定値215 kgf/m^2 を示している。この値は、粘土の非排水状態での粘着力 $C_u=405\text{kgf/m}^2$ のほぼ1/2に等しい。一方、砂中での引抜き試験結果を示したのが、図-8(b)である。 T_{max} とポリマーグリッドの定着長 L_2 との比は、 $T_{max}/L_2=\sigma_v \tan 39^\circ$ と表され、線の傾き $\psi=39^\circ$ はこの砂の内部摩擦角 38° にほぼ一致する。上述の2つの結果より、土中に埋設したポリマーグリッドの最大

図-7 ポリマーグリッドの挿入位置と引抜き装置

図-8 T_{max}/L と鉛直圧 σ_v の関係

引抜き抵抗力 T_{max} は土自身のせん断強度に強く支配されることが示唆された。したがって、最大引抜き抵抗力 T_{max} は、 $T_{max}/L = \alpha C_u + \sigma_v \tan(\beta \phi)$ （ここに、 $\alpha \leq 1.0$, $\beta \leq 1.0$ ）と表すことができる。本実験の有明粘土に対しては、 $\alpha=0.53$, $\beta=0$ 、また、砂に対しては、 $\alpha=0$, $\beta=1.0$ である。

5. 結 論

ポリマーグリッドを用いた模型舗装実験および引抜き試験から、以下のことがわかった。

- (1) 下層路盤の上下面に敷設したポリマーグリッドは繰返し載荷に対して大きな沈下抑制効果（非補強の1/3）がある。
- (2) 舗装表面下に浅く敷くよりもより深い路床面上に敷設したポリマーグリッドの方が大きな引張りひずみを生じ、グリッド本来の引張り特性を発揮することができる。また、土中におけるポリマーグリッドの最大引抜き抵抗力 T_{max} は、土自身のせん断強度に強く支配され、 $T_{max}/L = \alpha C_u + \sigma_v \tan(\beta \phi)$ （有明粘土の場合、 $\alpha=0.53$, $\beta=0$ ）と表すことができる。
- (3) ポリマーグリッドは路床面上に敷設し、かつ初期張力が発生するように施工することが重要である。

謝辞 本実験を行うにあたって、三井石油化学工業(株)からは材料を提供していただき、復建調査設計(株)からは計測器を貸与していただいた。上記の関係各位に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 福田直三・三浦哲彦・山内豊聡：延伸プラスチックグリッドによる擁壁土圧の軽減効果、土と基礎、No. 317, pp. 21-26, 1985.
- 2) 安原一也・平尾和年・三浦哲彦・了戒公利：ジオテキスタイルによる軟弱地盤の沈下抑制工法に関する模型実験、第30回土質工学シンポジウム, pp. 55-58, 1985.
- 3) 土質工学会：土と基礎小特集「補強土工法」、土と基礎、No. 308, pp. 5-62, 1983.
- 4) 土質工学会：土と基礎小特集「ジオテキスタイルを用いた工法」、土と基礎、No. 328, pp. 1-54, 1985.

Model Tests on Reinforced Pavement on Soft Clay Ground

Norihiko Miura, Prof. of Civil Eng., Saga University

Akira Sakai, Research Associate of Civil Eng., Saga University

Kazuyuki Mouri, Chief, Roadway Section, Saga Prefectural Office

This paper describes model tests investigating the feasibility of utilizing polymer grid for suppressing the differential settlement of asphalt pavement constructed on a very soft clay, the Ariake clay ground. Repeated loading tests were carried out on pavement models of 2.2 sq.m and 1 m depth of a standard specification and those reinforcement by polymer grids in several geometries. The main results derived from are as follows: Polymer grid placed at the interface between base course and subgrade (the Ariake clay) contributes effectively for suppressing the differential settlement of pavement; Maximum pull-out resistance of polymer grid in subgrade, T_{max} , closely depends upon the shear characteristics of the soil, $T_{max}/L = \alpha c_u + \sigma \tan(\beta \phi)$, where $\alpha = 0.53$ and $\beta = 0$ for the Ariake clay.

A Transmissivity Test for Geotextiles

Toshinobu Akagi, Professor, Dr. Eng., Department of Civil Engineering,
Toyo University

Tetsuro Ishida, Research Associate, M. Eng., Department of Civil
Engineering, Toyo University

A new transmissivity test is proposed to determine the drainage characteristics of geotextiles for design purposes. The test results give both the vertical and horizontal permeabilities under the condition of one-dimensional compression. The paper describes the testing apparatus, the method to calculate the coefficient of permeability, the drainage characteristics of non-woven fabrics and the behavior of a combined body of soil and fabric.