

敷設幅に着目したマットレス補強地盤の支持力特性評価に関する研究

九州大学大学院 学 ○草野 陸 正 石藏 良平 F 安福 規之
前田工織株式会社 正 辻 慎一郎

1. はじめに

ジオテキスタイルで碎石等の土質材料を巻き込み拘束した地盤補強技術であるマットレス工法は、浅層軟弱地盤上に構造物を構築する際の支持力確保や不同沈下抑制を主目的として図-1 のように利用され、日本国内において普及している。マットレス工法は図-2 に示す各諸元に基づき、上載荷重とマットレスおよび支持地盤の支持力の鉛直成分のつり合いとして、以下に示す(1)式¹⁾によって設計されている。(2)式のマットレス効果 M_E は、中詰め材のせん断抵抗 S とマットレス底面部におけるジオテキスタイルの引き上げ効果 T の和で、(1)式中では上載荷重に抵抗する項である。

$$qB_p = p(B_p + 2H \tan \alpha) + M_E \quad (1)$$

$$M_E = S + T = (\gamma_1 D_f H + \gamma_2 H^2 / 3) K_p \tan \phi_2 + 2T_D \sin \theta \quad (2)$$

設計では、マットレス底面に作用する分散荷重 p とマットレスの自重 $\gamma_2 H$ の和が支持地盤の許容支持力 q_a に対して $q_a \geq p + \gamma_2 H$ を満たすように、マットレス厚 H が決定できる。しかし、現行の(1)式だけでは所定の載荷幅 B_p に対するマットレス幅 B_M を合理的に決定できない。本研究では、 B_M を合理的に決定できる新たな支持力評価手法の提案を目指してアルミ棒積層体模型地盤による載荷試験を行った。マットレス模型地盤の支持力および鉛直変位の測定と併せてジオテキスタイルの引張力 T_D を測定することで、所定の載荷幅に対するマットレス幅と支持力の関係性について検討した。

2. 実験概要

本研究で使用したアルミ棒積層体載荷装置の概要を図-3 に示す。支持地盤部のアルミ棒は直径 1 mm と 1.6 mm のものを重量比 3 : 2 で混合し、マットレス中詰めは直径 2 mm のみとすることで、それぞれの粒径の違いを表現した。載荷板は幅 16 cm で一定とし、鉛直載荷速度は 0.1 mm/sec とした。マットレス模型は、幅 16 cm から 32 cm までの 4 組、厚さ 2.5 cm と 5.0 cm の 2 組で、計 8 個を作製した。また、補強材のジオテキスタイルは寒冷紗で模擬し、図-4 に示すようにマットレス中心とその両端に等間隔で OHP シートを介してひずみゲージを 3 枚貼り付けて、測定されたひずみ値から引張力を推定できるようにした²⁾。載荷は鉛直変位が 0 mm(初期状態)から 20 mm に達するまで行い、荷重(支持力)と鉛直変位(沈下量)を測定した。また、図-5 のように積層体側面に 2 cm 間隔の格子状に点をプロットし、載荷中の鉛直変位 1 mm ごとの撮影画像よりベクトル図およびせん断ひずみ分布図を作成できるものとした。

3. 実験結果と考察

本稿ではマットレス幅と支持力の関係に着目した既往の研究³⁾に対して、新たに行った補強材引張力の測定結果を元に、そのメカニズムの解明と支持力評価への反映を目指して考察を行った。図-6 は、載荷試験時の鉛直変位が 10 mm に達する前までに測定された支持力の最大値を極限支持応力(kN/m²)とし、極限支持応力測定時の 3 か所の引張力の平均値(kN/m)を横軸にとってマットレス幅 $B_M=16$ cm と 20 cm の試験結果をまとめたグラフである。いずれの場合も、厚さ H を大きくすると支持力が向上している。 $B_M=16$ cm の場合は支持力の増加とともに引張力が大きく増加しているのに対して、 $B_M=20$ cm では前者ほど引張力の増加は見られず、支持力向上における引張力の影響が小さいと考えることができる。



図-1 マットレス工法の適用例

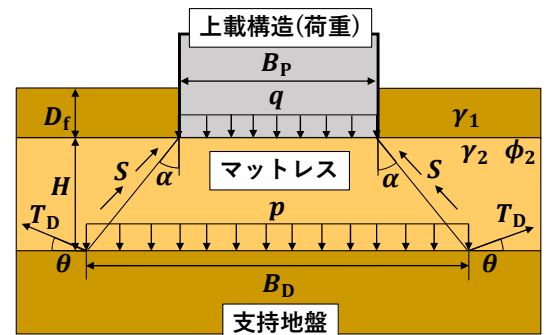
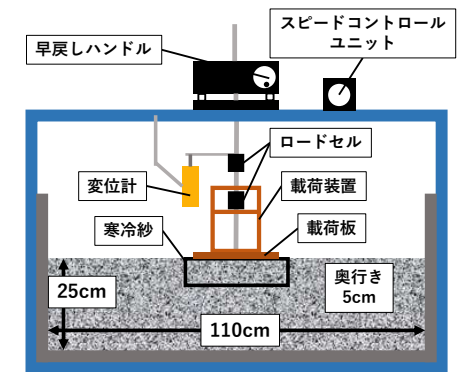


図-2 支持力評価式の各諸元¹⁾



※1/50スケール
図-3 アルミ棒積層体載荷装置概要図

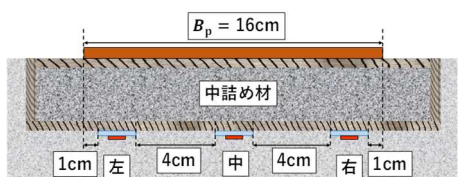


図-4 ひずみゲージ貼付概要図²⁾

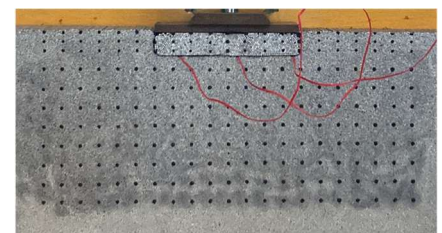


図-5 模型地盤の撮影画像
($B_M=16$ cm, $H=2.5$ cm, 鉛直変位 0mm)

これは、上載荷重に抵抗するマットレス効果 M_E を表す(2)式に着目すると、 $B_M=16\text{ cm}$ の場合は引き上げ効果 T が大きく向上したのに対して、 $B_M=20\text{ cm}$ の場合は T 以外のパラメータ、すなわちせん断抵抗 S が大きく向上したと考えることができる。つまり、同じマットレス厚の変化でもマットレスの敷設幅によって補強材の拘束効果に差異が見られ、支持力発現の要因が異なる可能性がある。

図-7は載荷幅 B_p とマットレス幅 B_M が等しい 16 cm 一定で、マットレス厚 $H=2.5\text{ cm}$ および 5.0 cm の条件での初期状態と鉛直変位 10 mm 時点の撮影画像を比較した最大せん断ひずみ分布図である。赤枠がマットレスの外縁を示している。支持地盤部に生じたせん断ひずみはいずれも 30% 前後で、マットレス厚が大きいほど深くまで変形が生じたことが分かる。図-6より、 $B_M=16\text{ cm}$ の場合は厚さと共に引張力が大きく向上している。図-7と比較すると、 $H=5.0\text{ cm}$ では、せん断ひずみがマットレス底部まで及んでいる可能性があり、補強材の引張力の増加に影響している可能性がある。既往の研究²⁾では $B_p < B_M$ の場合にも、支持地盤の変形が引張力の発現に影響を及ぼす可能性が示唆されており、載荷幅 B_p とマットレス幅 B_M の大小関係と引張力発現との関係について、今後さらに検討する必要がある。

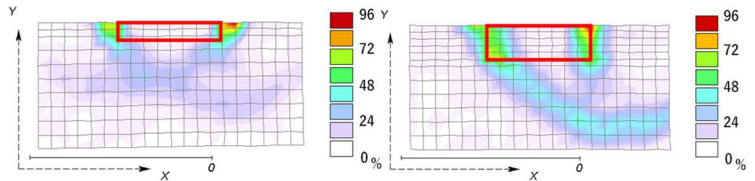


図-7 最大せん断ひずみ分布図
(左: $B_M=16\text{ cm}$, $H=2.5\text{ cm}$ 右: $B_M=16\text{ cm}$, $H=5.0\text{ cm}$)

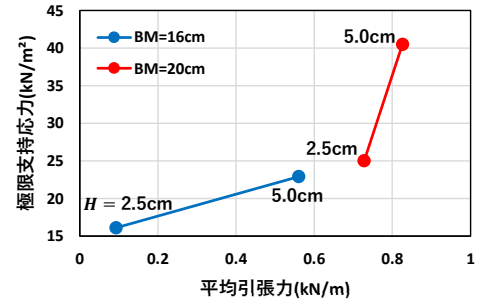


図-6 極限支持応力-平均引張力関係

支持力特性に及ぼすマットレス敷設幅の影響を考慮するため、既往研究⁴⁾では(1)式中のマットレス効果 M_E に(3)式の低減係数 X を乗じて極限支持応力を計算する方法が提案されている。図-8に、模型実験結果と模型実験の材料パラメータを用いて計算した極限支持応力の計算結果との比較を示す。表-1に計算に用いた主なパラメータを示す。計算に用いた分散荷重 p には、アルミ棒模型地盤に、マットレスを敷設せずに直接載荷板($B_p=16\text{ cm}$)で載荷した際の極限支持応力値を用いた。計算に用いる引張力には、試験時に極限支持応力値が測定された時点の引張力測定値の平均値(3か所)を T_D としたTD実測と、実務の設計に倣い寒冷紗の最大引張強度の 10% を T_D としたTD10%の2つを用いた。いずれの計算結果も、極限支持応力がピークを示すマットレス幅が実験結果と一致しており、低減係数の考え方をを用いることで支持力特性に対する最適なマットレス幅を決定できる可能性が示唆された。今後は、模型実験により得られた補強材に作用する引張力と支持力特性の関係や、模型地盤のせん断ひずみ分布に基づき、マットレス補強地盤の補強メカニズムについてさらに検討を行う予定である。

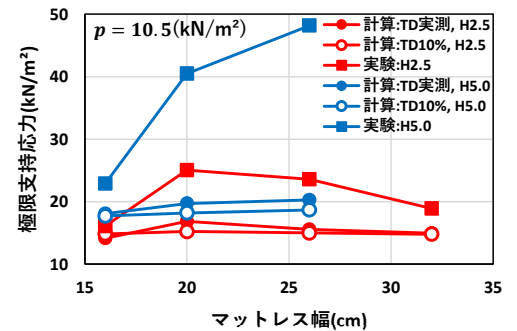


図-8 極限支持応力計算結果

表-1 支持力計算に用いたパラメータ

中詰め材の内部摩擦角 ϕ_2 (°)	26.7
中詰め材の単位体積重量 γ_2 (kN/m ³)	21.8
荷重分散角 α (°)	45
補強材の変位角 θ (°)	20

$$X = 1 - \left| 1 - \frac{B_p + 2H \tan \alpha}{B_M} \right| \quad (0 \leq B_p \leq B_M) \quad (3)$$

4. まとめ

本稿では、アルミ棒積層体模型を用いた載荷試験により、マットレス補強地盤の支持力と補強材引張力の測定を行い、マットレス幅を合理的に決定できる支持力評価手法について検討した。その結果、幅や厚さの異なるマットレス補強地盤の支持力は、模型地盤内に生じる最大せん断ひずみ分布やそれに伴う補強材の引張力と密接な関係があることが示唆された。また、既往の研究⁴⁾で提案された低減係数 X を用いた支持力計算結果と模型実験結果の比較より、低減係数の考え方をを用いることで支持力特性に対する最適なマットレス幅を決定できる可能性が示された。今後は、一連の模型実験結果から、補強材引張力と支持力との関係性を整理するとともに、模型地盤内のせん断ひずみ分布との関係についても考察を行い、補強メカニズムを明らかにして新たな支持力評価手法の提案を行う予定である。

【参考文献】1) 落合英俊, 松下博通, 林重徳: 硫酸イオンを含む地盤における住宅基礎, 土と基礎, 第34巻, 第6号, pp.45-50, 1986. 2) 草野陸, 石蔵良平, 辻慎一郎, 板垣聡, 安福規之: 荷重分散とジオテキスタイルの引き上げ効果に着目したマットレス補強地盤の支持力特性評価に関する研究, 第15回地盤改良シンポジウム論文集, pp.403-406, 2022. 3) 草野陸, 石蔵良平, 安福規之, アロウイシーアデル, 横田善弘, 辻慎一郎: 敷設形状に着目したアルミ棒積層体マットレス補強地盤の支持力特性, 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会概要集, III-104, 2021. 4) 石蔵良平, 安福規之, 横田善弘, 辻慎一郎: 載荷幅に着目した新たなジオグリッドマットレス補強地盤の支持力特性とその評価, ジオシンセティクス論文集, 第35巻, pp. 89 - 94, 2020. 【謝辞】本研究は九州大学の八尋裕一技術職員および中島通夫技術協力スタッフから実験支援を受けて、実施した。また、本研究の一部は、ジオテキスタイル補強土工法普及委員会および科研費22K04317の支援を得て実施した。ここに記して謝意を表します。