

ジオグリッドの変形特性の時間依存性のモデル化

東京大学大学院 学 平川大貴
 東京大学工学部 正 龍岡文夫

1. はじめに

補強土構造物の構成材の一つである補強材を延性補強材と非延性補強材に分類することにより、「延性補強材と分類されたジオテキスタイルで補強した土構造物は変形しやすい」と考える場合が多い。一方、ジオテキスタイルの時間依存性を示す変形を予測するために「ジオテキスタイルに作用する応力は載荷開始後に生じるひずみと経過時間の一義的な関数である」と言う Isochronous (等時) 理論が広く用いられている。しかし、この理論は延性補強材の変形特性の時間依存性を合理的に予測できない¹⁾。本報告では、ジオグリッドの引張り試験結果を TESRA(Temporary effects of strain rate and strain acceleration) モデル^{2)~5)} によってシミュレーションすることにより、ジオグリッドの強度・変形特性の時間依存性を考察した。

2. TESRA モデルの構造

TESRA モデルは、図 1 に示す一般三要素モデルの一つである。基本仮定は、1) 全ひずみ ε = 弾性ひずみ ε^e + 非可逆ひずみ ε^{ir} の線形和とする、2) 弾性ひずみ速度は現在の応力状態の関数であるヤング率 $E_t^e(s)$ を用いて求める (垂弾性モデル)、3) 応力の変数として原点の定義が不要な非可逆ひずみ速度 $\dot{\varepsilon}^{ir}$ と非可逆ひずみ加速度 $\ddot{\varepsilon}^{ir}$ だけを用いる、4) 応力 σ は「 ε^{ir} と履歴の非線型な関数である時間非依存成分 σ^f と粘性成分 σ^v 」の線形和、の 4 つである。 $\sigma^f \sim \varepsilon$ (または ε^{ir}) 関係を reference curve と呼ぶ。TESRA モデルの地盤材料への適用性は十分に高いことは参考文献 2) ~ 5) で示されている。

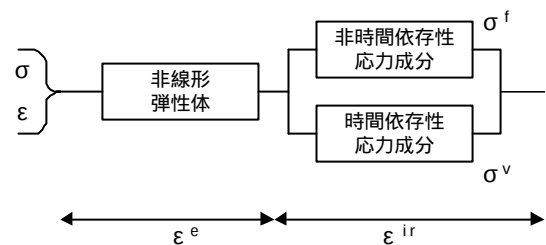


図 1. 一般三要素モデル

上記 2) に関して、粘着力のない地盤材料に対しては(1)式が用いられる。

$$s = E \cdot e^e, \quad E = E_0 \cdot \left(\frac{s}{s_0} \right)^a \dots\dots\dots (1)$$

今回のジオテキスタイル (後述) に対しては、 $a = 0$ 、 $E_0 \times t = 5 \text{ kN/m}$ (t はジオテキスタイルの厚さ、 $E \cdot t$ はバネ係数) とした。また、応力の粘性成分は、貧配合の砂と同様に「 $\dot{\varepsilon}^{ir} = t$ の時に生じる非可逆ひずみ速度の変化 (非可逆ひずみ加速度) と、非可逆ひずみの変化 (非可逆ひずみ速度) による応力の粘性成分 σ^v への影響 ($d\sigma^v$)」は、 ε^{ir} の進行に対して一時的であるとして次式を用いた。

$$s^v(e^{ir}) = \int_{e_1^{ir}}^{e^{ir}} [d\{s^f \cdot g_v(\dot{\varepsilon}^{ir})\}] \cdot r^{(e^{ir}-t)} ; \quad g_v(\dot{\varepsilon}^{ir}) = a \left[1 - \exp \left\{ 1 - \left(\frac{\dot{\varepsilon}^{ir}}{\dot{\varepsilon}_r^{ir} + 1} \right)^m \right\} \right] \dots\dots (2)$$

$r^{(e^{ir}-t)}$ ($r < 1.0$) は減衰関数であり、 $\varepsilon^{ir} - t$ が増加するとゼロに漸近する。このモデルによるとひずみ速度が一定の載荷時、応力 (今回は張力) ~ ひずみ関係はひずみの増加に伴いひずみ速度に依存しないようになる。

キーワード：ジオグリッド、変形特性、時間依存性

連絡先；〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 TEL03-5841-6123 FAX03-5841-8504

3. 実験結果とシミュレーション結果

基布素材ポリエステルジオグリッド（縦横目合 9mm、引張り強度 39.2kN/m、伸度 22%以下）を、幅 $W = 5\text{cm}$ - 長さ 10cm の試験体として引張り試験を実施した¹⁾。補強材に生じるひずみはクリップゲージを用いて試験体中心部で計測した。今回、一定のひずみ速度（0.05%/min）で载荷を開始して加速・減速を途中で繰返した実験結果を TESRA モデルでシミュレーションした。パラメータは $\alpha = 0.4$ 、 $m = 0.1$ 、 $e_0^{\text{ir}} = 0$ である。図 2 に実験結果およびシミュレーション結果を、図 3 に図 2 におけるひずみ $\varepsilon = 3 \sim 8\%$ の拡大図を示す。図 2、3 を見ると、TESRA モデルは実験結果を十分にシミュレーションできているわけではないことが分かる。その理由の一つは、reference curve（ $\sigma^f \sim \varepsilon$ 関係）が適切でないこと、(2)式のパラメータがまだ十分に適切でないことが考えられる。しかし、载荷速度の増減に伴う補強材の強度・変形特性を定性的に表現できている。特に、実験結果およびシミュレーション結果ともに、载荷速度急変直後には張力 T が急変した後その変化分が減少していく現象（under-shooting 現象、over-shooting 現象）が確認できる。この現象は今回用いたようなジオグリッドの応力は、一時的には非可逆ひずみ速度によって支配されたが、その影響がひずみの増加とともに減少する傾向があることを表している。つまり、少なくともこのジオテキスタイルでは、「応力は载荷開始後に生じるひずみ量と経過時間」の関数ではなく、「現在のひずみ量と非弾性ひずみ速度」の関数であると考えられる。

4. まとめ

ジオグリッドの引張り試験結果は定性的に TESRA モデルでシミュレーションできるようである。このモデルでは、「応力は载荷開始後に生じるひずみ量と経過時間の関数モデルである Isochronous モデル」とは異なり、「応力は現在のひずみ量と非弾性ひずみ速度の履歴」の関数で表される。

謝辞： 本報告は、運輸施設整備事業団「運輸分野における基礎的研究推進制度」による研究の成果である。末尾ではありますがここに特記し、関係各位に謝意を表します。

参考文献：1) 平川大貴、龍岡文夫(2001)：ジオグリッドの変形特性の時間依存性、第 36 回地盤工学研究発表会、2) Tatsuoka.F., Santucci de Magistris.F., Hayano.K., Momoya.Y and Koseki.J(2000)：Some new aspects of time effects on the stress-strain behavior of stiff geomaterials, Keynote Lecture, The Geotechnics of Hard Soils-Soft Rocks, Proc. of Second Int. Conf. on HS & SR, Napoli, 1998, Balkema, Col.2、3) 龍岡文夫、石原雅規、丸山直樹（2000）：地盤材料の時間依変形特性のモデルについて、第 35 回地盤工学研究発表会、PP.305-306、4) 龍岡文夫、石原雅規（2000）：応力に対するひずみ速度・加速度の影響を一時性を考慮した砂の変形特性のモデル化、第 55 回土木学会年次学術講演会、PP.78-79、5) 石原雅規（2000）：砂の変形特性の時間依存性とそのモデル化、東京大学修士論文

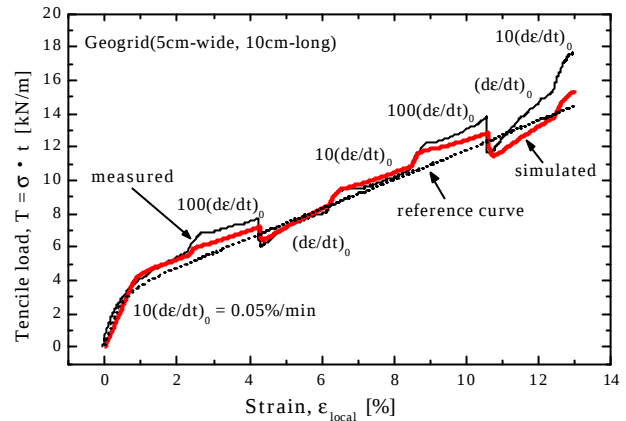


図 2 . 実験結果とシミュレーション

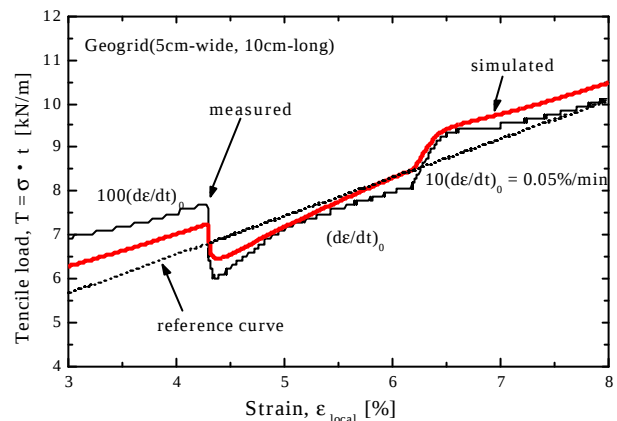


図 3 . ひずみ速度急変時の張力のジャンプ