

ジオグリッドの長期クリープ変形量の予測における促進試験の適用性の検討

防衛大学校 正会員 宮田喜壽 平川大貴
防衛大学校 学生会員 松野剛

1. はじめに

我が国では多様な材質・構造を持つ高分子補強材が実用化されている。高分子補強材の力学的特性には少なからず粘性的挙動があるため、その適用にあたっては設計耐用年数で生じる長期クリープ変形量を予め評価する必要がある。高分子補強材の長期クリープ変形特性は現状では材料試験「一定温度下でのクリープ試験」によって検討されてきた。しかし、この方法では設計耐用年数に相当する長期的なクリープ変形量を算出することは困難である。一方、高分子工学などの材料工学分野では熱レオロジーの知見を用いて短期間の促進試験結果から長期クリープ挙動を評価する場合が多い¹⁾。本研究ではポリプロピレン製ジオグリッドに対して幅広い荷重レベルでの促進クリープ試験を実施し、促進試験の適用性を検討した。

2. 促進試験および実験概要

本研究では、強度方向に対して延伸度合いが均一なポリプロピレン(PP)製ジオグリッドを用いた。このジオグリッドの製品基準強度 T_f は 10.0 kN/m である。PP は結晶性高分子で、一般的な熱的性質はガラス転移温度 $T_g = -20^\circ\text{C}$ 、融点 $T_m = 160 \sim 170^\circ\text{C}$ である。室温 $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ において、この PP 製補強材の 1%/min (一定) での単調引張り試験結果を図-1 に示す。図-1 より PP 製補強材の張力 T ～ひずみ ε 関係は延性的な挙動を示すことが分かる。これは、結晶性高分子は T_m 以下の温度域で結晶と無定形の 2 つの領域で構成され、 T_g 以下の温度ではもろく脆性的であるが、 $T_g \sim T_m$ の間の温度域ではゴム状態で延性挙動を示すためである¹⁾。高分子材料の力学的性質は実験温度によって異なることから、高分子工学などの材料工学分野では熱レオロジーの概念によって「加熱した短期間の実験結果」から「常温での長期挙動」を予測する場合が多い。粘弾塑性～温度関係については系統的な説明が行われ、その基本的な法則性が温度-時間換算則である。このように温度(もしくは、その他パラメータ)を変化させる事で時間スケールを変える試験を促進試験と呼ぶ。本研究では様々な荷重レベルに対してクリープ試験を実施し、「加熱した短時間での促進クリープ試験結果」と「従来の一定温度下でのクリープ試験結果」を比較して促進試験の適用性を検討した。

試験機概要を図-2 に示す。促進クリープ試験は恒温室内で行うクリープ試験である。本研究ではローラークランプを用いた。張力 T はクランプと載荷軸の間に接続されたロードセルで計測し、 ε は補強材表面に設置した標点の変位を CCD カメラで計測して画像解析を行うことによって算出した。クリープ張力レベルは 6.3 kN/m (T_f の 63%)、4.4

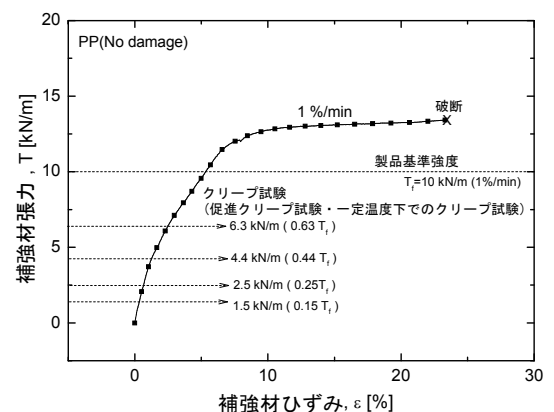


図-1. PP 製補強材の $T \sim \varepsilon$ 関係、およびクリープ試験の荷重レベル

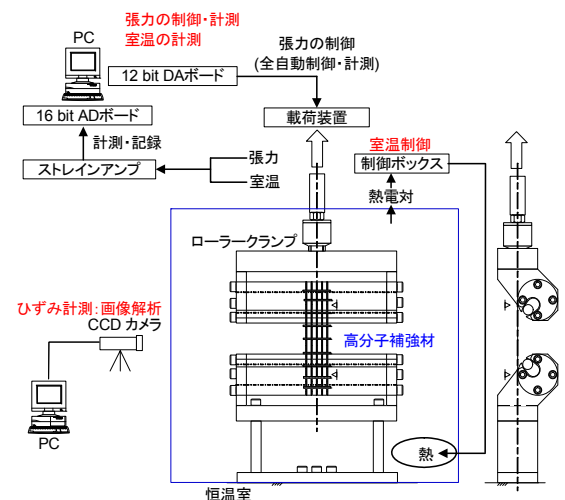


図-2. 試験機の概要

キーワード 高分子補強材, クリープ, 促進試験

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校システム工学群建設環境工学科

kN/m(44%), 2.5 kN/m(25%)および 1.5 kN/m(15%)の 4 段階について実施した。23℃を基準温度とし、1.5 kN/m(T_f の 15%)では 2 時間ごと、それ以外の実験条件では 1 時間ごとに恒温室温度 T_f を 10℃ずつ増加させた。

3. 実験結果および考察

促進クリープ試験における恒温室温度 T_f と、 T_f に対応した補強材ひずみ ε の時刻歴の例を図-3 に示す。図-3 はクリープ荷重 2.5 kN/m での結果である。図-3 より、恒温室温度 T_f に応じてクリープ変形特性が変化していくことが分かる。それぞれの T_f に対してクリープ開始時間 t'_n を求め、 $\text{Log}(\text{各 } T_f \text{ でのクリープ時間} - t'_n) \sim \varepsilon$ を算出する(図-4)。第 1 温度ステップ T_{f1} でのクリープひずみ～時間曲線を基準に、それ以外の T_f におけるクリープひずみ～時間曲線を移動させると図-4 の様な一本の滑らかな曲線を得る。この曲線が短時間の促進クリープ試験結果から長期クリープ変形量を予測した結果となる。

図-5 に本研究で検討した全ての荷重レベルにおける促進クリープ試験結果をまとめる。図-5 中には従来の方法である「一定温度下でのクリープ試験結果」もあわせて示した。本研究において、「促進クリープ試験」の実験時間は 7～12 時間と極めて短い。図-5 より、若干の差はあるものの、「促進クリープ試験結果」は「一定温度下でのクリープ試験結果」と高い整合性があることが分かる。本研究で用いた PP 製補強材では、クリープ荷重レベルが増加するとクリープひずみ～時間曲線は非線形性が強く表れるが、促進クリープ試験結果においてもこの傾向は一致している。すなわち、クリープ荷重レベルに関係なく、「促進クリープ試験」によって短時間の実験結果から長期クリープ変形量を予測することが可能であると言える。本促進試験は近似的に長期クリープ変形量を求めているが、数十年という長期の設計耐用年数に対して長期クリープ変形量を予測する方法は他にないため、「促進クリープ試験」は長期クリープ変形特性を評価する有効な方法であると考えられる。

4. まとめ

PP 製ジオグリッドの「促進クリープ試験」と「一定温度下でのクリープ試験」を実施し、「促進クリープ試験」の適用性を検討した。この結果、荷重レベルに関係なく、「促進クリープ試験」によって長期クリープ変形量を予測できることを確認した。

謝辞： 本研究は科学研究補助金(21360229, 研究代表者：宮田喜壽)の研究成果である。また、本研究を行うにあたり、三井化学産資株式会社には補強材の提供を受けた。ここに明記し、関係各位に謝意を表す。

参考文献： 1) 例えば、中江利昭監修、レオロジー工学とその応用技術、技術情報センター、2001。

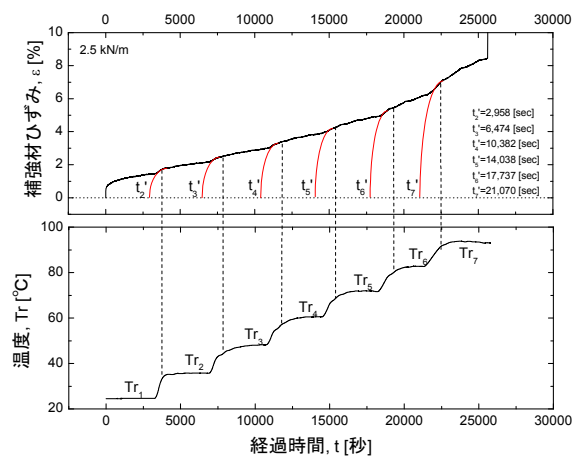


図-3. 促進クリープ試験における T_f および ε の時刻歴の例(クリープ荷重 2.5 kN/m)

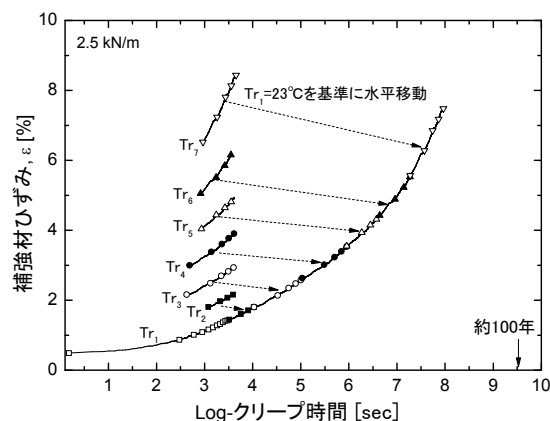


図-4. 促進クリープ試験結果の整理方法

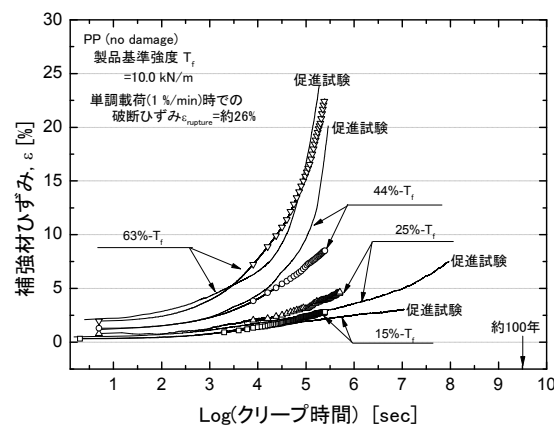


図-5. 「促進クリープ試験結果」と「一定温度下でのクリープ試験結果」との比較