ジオグリッドの粘性による 時間依存変形強度特性

篠田昌弘¹・Richard, J. Bathurst²・龍岡文夫³・堀井克己¹

補強土構造物の設計上の不確実性の1つとして、耐用年数を通した土中での補強材の時間依存変形特性がある。補強材の粘性による時間依存変形特性を把握するために、ポリプロピレン、ポリエステル、高密度ポリエチレンを用いて、34本のクリープ及び応力緩和試験を様々な引張荷重で24時間行い、その後に引張り試験を行い強度を測定した。画像解析により変形を測定した。実験の結果、クリープ変形や応力緩和を経験した後でも、同一の試験条件（ひずみ速度等）の下では補強材の引張強度は低下しておらず、地震時の補強材の設計強度を設定する際にクリープ低減係数を考慮すると補強材の引張強度を過小評価することが分かった。

キーワード：クリープ，リラクセーション，ジオグリッド，画像解析

1. はじめに

ジオシンセティックスは土の変形特性に関する潜在的な欠点を補うために、世界的に普及してきている。特に盛土や基礎地盤においてもその利用は拡大の一途を辿っている。土とジオシンセティックスの相互作用は設計や施工で考慮されるべき基本的メカニズムである。その複雑な相互作用を把握するために、非常に多くの引き抜き試験や引張り試験が行われている。

ジオシンセティックスの引張試験は、気中試験と土中試験がある。ジオシンセティックスは盛土内部に埋設されるため、変形強度特性が拘束圧に影響されるので、このジオシンセティックスの引張試験は、拘束圧下で行う必要がある^{1),2)}。気中試験は、拘束圧に依存しないジオシンセティックスの設計上での引張り特性を求めるものである。また、気中引張り試験には試験が容易に行えるという利点がある。本報告では、変形強度特性が拘束圧に影響を受けないジオシンセティックスの気中試験を行い、ジオシンセティックスの変形強度特性について検討した。

欧米の補強土構造物設計法では、Creep rupture curve^{3,4)}もしくは Isochronous load-strain curve^{3,5,6)}を利用して補強材の設計強度を決定している。しかしながら、長期に渡って盛土内に埋設されたジオグリッドを取り出し、同じひずみ速度で引張り強度を測定した結果、初期状態での（時間依存変形を経験していない）ジオグリッドの引張り強度とほぼ同じ値を示したという報告がある。これは、常時荷重条件にあるジオシンセティックスに地震荷重などの大きな外的荷重が加わった際の引張り強度は、クリープの履歴を受けていない引張り強度とほぼ等しいこと

を示している^{7,8,9,10,11)}。すなわち、Creep rupture curveや Isochronous load-strain curveに基づいて設計引張り強度（特に地震時の）を決定する方法は適切ではないことを示唆している。また、この点からのジオシンセティックスの時間依存変形特性に関する研究が必要であることを示している。

ジオグリッドの粘性による時間依存変形特性を把握するためには、一定荷重下での引張り試験（クリープ試験）や、一定伸び下での引張り試験（応力緩和試験）が重要である。しかしながら、欧米や日本の補強土構造物設計法では、ジオグリッドのクリープ変形のみを考慮しているが、応力緩和現象の可能性とその影響は無視している¹²⁾。これは、盛土内に敷設されたジオシンセティックスの張力の測定が技術的には非常に難しく、応力緩和現象が把握できないことに起因している。この設計法は安全側ではあるものの、現実の盛土内に埋設されたジオグリッドには盛土の変形に応じた応力緩和現象がある可能性が高い^{12,13)}。したがって、クリープ変形だけを考慮して補強土構造物の変形を予測すると、変形を過大に見積もり不経済となる可能性がある。しかしながら、ジオグリッドの応力緩和試験はこれまで殆どなされていない。

本研究では、ジオグリッドの粘性による時間依存変形特性と強度特性を調べるために、気中において様々な長さ、幅、ひずみ速度で引張り試験を行った。ジオグリッドのひずみ測定には、伸びひずみと伸びひずみに直交する水平ひずみを同時に測定できる新しいシステムを導入した。クリープ試験と同時にリラクセーション試験も行った。さらに、クリープ低減係数の妥当性を検討するために、クリープ試験と応力緩和試験後のジオグリッド

¹正会員，（株）複合技術研究所，技術部，（〒107-0052 東京都港区赤坂神田2-15-16 赤坂ふく源ビル7F），² Member of IGS, GeoEngineering Centre at Queen's-RMC, Civil Engineering Department, Professor, Royal Military College of Canada, Kingston, Ontario, K7K 7B4, Canada, ³正会員，東京大学工学部土木工学科，教授，（〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1）。

を用いて、一定のひずみ速度での引張り強度を測定した。

2. ジオグリッド供試体

ポリエステル（以下 PET）、ポリプロピレン（以下 PP）、高密度ポリエチレン（以下 HDPE）を用いた。表 1 に用いたジオグリッドの物性と変形強度特性を示す。PP と PET は、実際の現場で使用されるものより低い引張り強度を持つものを用いた。これは、引張り試験の容易さに加え、ジオグリッドの時間依存変形特性を明確に捉えるためである。一方でより現実的な挙動を把握するために、他のジオグリッドと比べ比較的大きい引張り強度を持つ HDPE を使用した。

ポリマーの種類や厚さ、リブの数や間隔などの様々な物性や形状によって、引張り挙動は異なってくる。織布や不織布では、試験供試体の形状が引張り特性に与える影響を検討するために、様々な縦横比で引張り試験が実施され、縦横比が 1:2 の割合が最もネッキングの影響が少なく適切であるとの報告がある¹¹⁾⁵⁾。ASTM D 4595¹⁶⁾においてもジオテキスタイルの引張り試験においては、幅 200 mm、クランプ間の長さ 100 mm の供試体を用いるように指導している。しかしながら、ジオグリッドの形状を変えた引張り試験はほとんど報告されておらず、ジオグリッドの形状が引張り特性に与える影響は明確ではない。したがって、本研究ではジオグリッドの形状を変えて引張り試験を行い、ジオグリッドの形状が引張り特性に与える影響も調べた。

3. 載荷装置及び測定装置

(1) 載荷装置

油圧式のアクチュエーターを備えた載荷装置を用いて引張り試験を行った。載荷枠は高さ 3.5 m、幅 1.2 m であり載荷能力は 100 kN である。最大ストロークは、160 mm であり、破断が生じない場合はこの最大ストロークで実験を終了した。

表 1 ジオグリッドの物性及び変形強度特性

基布素材	PP	PET	HDPE
構造	punched sheet drawn	knitted	Integrally formed
表面素材	NA	PVC	NA
重量(g/m ²)	215	114	NA
開き目(mm)			
縦方向	25	27	NA
横方向	33	22	NA
厚さ(mm)			
ストランド	1.0	1.1	1.0
交点	2.9	1.2	2.7
引張り強度(kN/m)			
5%ひずみ	8.3	4.4	35.7
最大値	12.5	17.5	68.9

Notes: NA: Not applicable; PP: Polypropylene; PET: Polyester; HDPE: High density polyethylene; PVC: Polyvinyl chloride.

(2) 画像解析による変形測定手法

様々な種類のジオシンセティックスを用いて変形特性を実験的に検討する際には、測定誤差が結果に影響を及ぼさないことが必要不可欠である。比較的剛な材料の引張り試験を行う際には、一般的に、外部変位計やひずみゲージを補強材に設置して引張りひずみの測定を行っている。これらの測定装置は、その重さや取り付け方法の難しさなどから、しばしば不安定な結果をもたらす。最近では、非接触式変位計、例えばギャップセンサーやレーザー変位計も開発されてはいるものの、測定方向は一方のみであり、測定方向を増やす場合には、測定装置を増やす必要がある。様々な方向を同時に測定できる手法として、Leshchinsky and Fowler (1990)¹⁷⁾が報告した写真撮影による画像解析手法があるが、人力に頼るところがあり実際には、技術的・時間的に難しい。

本研究で用いられた画像解析による自動計測システムは、上記の問題点を克服したものである。最大計測周波数は、25 Hz であり、測定精度は約 0.4 μm である。Jones (2000)¹⁸⁾は、この画像解析手法を用いて 3 種類のジオテキスタイルの引張り試験を行い、一般的に使用されている外部変位計で得られた引張りひずみの値と比較した。実験の結果、画像解析による引張りひずみ測定手法の利便性、妥当性を示した。しかしながら、Jones (2000)¹⁸⁾はその画像解析手法を用いたクリープや応力緩和試験は行っていない。本検討では、画像解析による自動計測システムを用いてクリープや応力緩和を含めたジオシンセティックスの引張り試験を実施し、画像解析手法の妥当性を明らかにした。

(3) ローラークランプ

ローラークランプ（図 1a）は、しばしば高強度のジオシンセティックスの引張り試験に用いられる^{17), 19)}。ローラークランプの主な利点はジオシンセティックスのクランプへの容易な取り付けである。ASTM D 4595¹⁶⁾ではローラークランプの性能は認めてはいるものの、引張り荷重が増加するにつれてローラーまわりでの供試体の滑り量の増加を指摘しており、クランプ間の距離で計算された実際のひずみ速度と適切に測定されたひずみ速度の相違を指摘している。したがって、ローラークランプを使用して引張りひずみを測定する場合、クランプ間に外部変位計、非接触変位計、ひずみゲージなどの測定装置を設置し測定を行う必要がある。本検討では、引張りひずみの伸び方向とその直角方向を同時に測定できる画像解析手法を用いて引張り試験を実施した。

4. 実験方法

無拘束圧下でのジオグリッドの引張り試験は以下のような手順で行った。まず、供試体の緩みを極力除きながら供試体をクランプのローラーに巻き付け、供試体を載荷装置中心にセットする。画像解析を用いて事前に行

った予備試験の結果、PPとPETジオグリッドでは、供試体中心付近で変形が一樣であるが、HDPEジオグリッドは伸びひずみ分布が一樣ではなく、引張り試験の際のひずみを測定する際には注意を要する必要があることが分かった。よって、画像解析のターゲットとして、PPとPETジオグリッドに関しては、供試体中心のリブの交点上に3個のターゲット（図1b、1cのa点、b点、c点）を設定した。HDPEジオグリッドでは、供試体の大きさからすべてのターゲットを交点には設定できないので、リブの交点と縦ストランド上にターゲットを6個（図1dのa点～f点）設置した。初期の供試体の緩みを除くために、初期荷重として0.187 kNの引張り力を加えてから、そこで引張りひずみのゼロ点を取り、引張り試験を開始した。

図1 引張り試験概略図：a)側面図、b)正面図（PP）、c)正面図（PET）、d)正面図（HDPE）

PP、PET、HDPEの変形特性を把握するために、様々な形状とひずみ速度で以下のような試験を行った。

(1) 再現性を確認するための単調載荷試験

本検討で用いられた全てのジオグリッドに対して、同じ定ひずみ速度 10 %/min で引張り試験を3回行った。

(2) ジョグリッドの形状を変化させた単調載荷試験

- ① PPとPETの供試体の長さのみを変化させて合計8本引張り試験を行った。供試体の長さは、PPの場合、224 mm, 314 mm, 432 mm, 540 mmであり、PETの場合、226 mm, 286mm, 395 mm, 496 mmであり、幅はどれも200mmである。

- ② PP供試体では、一定長さにおいて引張り方向のリブの数を2, 4, 5, 6 と変化させて定ひずみ速度で引張り試験を行った。PET供試体では、引張り方向のリブの数を2, 4, 6, 8 とした。HDPE供試体では、引張り方向のリブの数を2, 4, 6, 8, 9, 10 とした。

(3) 定ひずみ速度単調載荷試験

PP、PET、HDPE供試体にひずみ速度を0.1 %/min, 1.0 %/min, 10 %/min and 100 %/min とし破断するまで単調載荷試験を行った。

(4) 様々なひずみ速度における載荷試験

PP、PET、HDPE供試体に対して、ひずみ速度を0.1 %, 1.0 %, 10 %と変化させて連続的に載荷を行った。

(5) クリープ試験

PPジオグリッドを0.5 kN/minで所定の引張り荷重まで載荷した後に、引張り強度の10 %, 25 %, 37 %, 50 %, 60 %, 75 %でクリープ試験を行った。

(6) 応力緩和試験

それぞれのジオグリッドを所定の引張り力まで載荷した後に、PP ジョグリッドでは、引張り強度の 21 %, 41 %, 54 %, 62 %, 69 %, 72 %でリラクセーション試験を24時間行った。PET ジョグリッド、HDPE ジョグリッドでは、それぞれ引張り強度の 24 %, 37 %, 46 %, 54 %, 75 %及び 22 %, 35 %, 40 %, 58 %, 74 %で試験を開始した。

(7) クリープ及び応力緩和試験後の単調載荷試験

クリープ試験後に引張り力をゼロまで除荷し、載荷装置を応力制御から変位制御に変更した後に、同じ供試体を用いて定ひずみ速度10 %/min で破断まで単調載荷を行った。応力緩和試験では、応力緩和後に連続的に定ひずみ速度10 %/min で破断まで単調載荷を行った。

5. 実験結果

(1) 定ひずみ速度試験の再現性

高分子材料でできた補強材の物性のばらつきは、製造過程で少なからず生じるものであり、それは引張り特性にも大きな影響を与えることが一般的に知られている²⁰⁾。本研究においては、製造過程における供試体の物性のばらつきを明確にするため、各ジオグリッドを一定のひずみ速度 (10 %/min) で3回行い、引張り試験の再現性について検討を行った。

図2は定ひずみ速度 10 %/min で載荷した時の引張り力—伸びひずみ関係であり、高い再現性を示している。上記の試験結果から、PP、PET、HDPE ジョグリッドの平均破断強度はそれぞれ、13.1 kN/m、16.6 kN/m、58.3 kN/mであった。これらの値は各メーカーから提出された値の12.5 kN/m、17.5 kN/m、68.9 kN/m とほぼ等しく、引張り

試験の妥当性が確認できた。

既往の研究などから、本研究で用いる平均破断強度は、PP、PET ジオグリッドでは 13 kN/m、17 kN/m として、HDPE ジオグリッドでは実験結果に基づいて 58 kN/m とした。これらの平均破断強度をクリープ荷重や応力緩和を開始する荷重を決定する際の指標とした。

(2) ジオグリッドの縦横比の影響

a) 一定の幅で長さを变化

PPとPETジオグリッド供試体の幅を200mmで一定とし、様々な長さで定ひずみ速度10 %/minで引張り試験を行った(図3)。HDPEジオグリッドは、載荷装置のストロークの限界から、長さを变化させて試験を行うことが不可能だったため、この検討ではHDPEは用いなかった。PP、PETジオグリッドを用いて試験を行った結果、以下のような挙動が観察された。

- ① 引張り力-伸びひずみ関係は、供試体長さを变化させても同様な挙動を示し、本実験で用いた供試体幅 200 mmにおけるPP、PETジオグリッドでは、供試体長さが引張り強度に与える影響は小さい。
- ② PP、PETジオグリッドの平均引張り強度はそれぞれ 12.9 kN/m、17.3 kN/mとなり、これらの値は製品基準強度である12.5 kN/m、17.5 kN/mとほぼ等しい結果となった。

b) 一定の長さで幅を变化

ジオグリッドの引張り特性に与える供試体幅の影響を明確にするために、様々な供試体幅でPP、PET、HDPEジオグリッドの引張り試験を行い、以下のような結果が得られた。

- ① PPジオグリッドの定ひずみ速度引張り試験を供試体幅を变化させて行った結果、どの供試体でもほぼ同じ引張り強度が得られた(図4a)。しかしながら、最大引張りひずみは「幅200mmの供試体を用いた定ひずみ速度試験」から得られた値よりも、大幅に小さい。これは長手方向のリブ数が2~5のジオグリッドでは、載荷に伴う大きなネッキング現象が現れないため、最大引張りひずみが小さいと考えられる。ネッキング現象の発生の原因については現在検討中である。
- ② PETジオグリッドでは、供試体長さを变化させた実験結果と傾向は同じである(図4a)。しかしながら、長手方向のリブ数が2の引張り試験結果では、比較的低い引張り剛性が示された。これは、クランプと供試体とのすべりに起因するものと考えられる。
- ③ HDPEジオグリッドに関しては、幅を变化させても引張り特性はなんら変化せず、HDPEの引張り挙動には幅は影響しないことが分かった(図4b)。

図5はPP、PET、HDPEを用いて様々な縦横比で行った定ひずみ引張り試験結果をまとめたものである。図5には参考のため、その平均値も同時にプロットした。PETとHDPEの最大引張りひずみに関しては、供試体の幅と長さによる影響は無視できるが、PPジオグリッドに関しては大きく影響を受けることが分かった(図5a)。

図2 定ひずみ速度試験の再現性

図3 一定幅で長さを变化させた定ひずみ速度試験

図4 一定長さで幅を变化させた定ひずみ速度試験

引張り強度に関しては、PP、PET、HDPE とも若干のばらつきはあるものの、供試体の幅と長さは引張り強度には影響しないことが分かった（図 5b）。重要なことに、PP と PET ジオグリッドの引張り強度に関しては、実験結果のばらつきが非常に小さく、その平均値が製品基準値とほぼ同値であったことである。

(3) ひずみ速度の影響

図 6 に、PP、PET、HDPE ジオグリッドの引張り力を引張りひずみに対してプロットした。図 6 には、それぞれのジオグリッドでひずみ速度を一定に保った試験と急変させた引張り試験の結果を同時に示した。上記の実験結果から、以下のようなことが分かった。

a) PP ジオグリッドを用いた引張り試験

- ① PP ジオグリッドの変形強度特性のひずみ速度依存性は PET、HDPE ジオグリッドよりも大きく、ひずみ速度が上がるとピーク前の剛性と引張り強度が増加した（図 6a）。
- ② PP ジオグリッドの最大引張りひずみは、ひずみ速度が小さくなるほど大きくなった。これは、ネッキングに起因するものであり、ひずみ速度が小さくなるとネッキングの程度が大きくなるためである。

b) PET ジオグリッドを用いた引張り試験： PET ジオグリッドの変形強度特性に与えるひずみ速度の影響は比較的小さかった（図 6b）。

c) HDPE ジオグリッドを用いた引張り試験

- ① HDPE ジオグリッドの変形強度特性に与えるひずみ速度の影響は、PP ジオグリッドに次いで大きかった（図 6c）。
- ② HDPE ジオグリッドも、ひずみ速度が低いほど延性を示した。これも、ネッキングに起因するものであり、ひずみ速度が小さくなるとネッキングの程度が大きくなるためである。

(4) クリープ試験

ジオシンセティックスは、一定引張り荷重の下で時間とともに連続的に伸びる。クリープ速度は、初期クリープ、二次クリープ、三次クリープと分けられ、三次クリープは、クリープ破壊に帰着するものであり、クリープ速度は急激に増加する¹⁵⁾。本研究では様々な一定引張り荷重で PP、PET、HDPE ジオグリッドのクリープ試験を行った。クリープ試験を行うにあたって、0.5 kN/min の載荷速度でクリープ引張り荷重に達するまで荷重を連続的に供試体に与えた。クリープ時間は便宜上、24 時間と設定した。PP、PET、HDPE ジオグリッドのクリープ試験結果を図 7 に示す。クリープ試験により、以下のことが分かった。

- ① PP ジオグリッドは、一定荷重で PET、HDPE ジオグリッドよりもはるかに大きなクリープひずみを示した後にクリープ破壊した（図 7a）。
- ② PET ジオグリッドのクリープ中の引張りひずみ量は非常に小さかった（図 7b）。非常に興味深いことに

図5 縦横比を変化させた定ひずみ速度試験結果

図6 定ひずみ速度試験及びひずみ速度を変化させた試験

PET ジオグリッドのクリープ中の引張りひずみは、平均引張り強度の 10 %でのクリープ試験を除いて、クリープ荷重が大きくなるほど小さくなった。すなわち、平均引張り強度の 25 %でのクリープ試験が最もクリープ中の引張りひずみが大きかった。これは、PET ジオグリッドの接線剛性が載荷荷重の増加に伴って増加することに起因するものである²⁾。Voskamp and Van Vliet (2001)²⁰⁾によれば、この現象は分子構造の変化によるとされている。

(5) 応力緩和試験

応力緩和試験^{6), 12), 22), 23), 24)}はクリープ試験と比較すると殆ど行われていない。図 8 に、応力緩和試験中の引張り力を平均引張り強度で除した値の時刻歴を示した。応力緩和試験から、以下のことが分かった。

- ① 全てのジオグリッドにおいて、初期引張り荷重が小さくても24時間後では応力緩和現象は収束しなかった(図8)。
- ② PPジオグリッドは他のジオグリッドと比較すると、非常に大きな応力緩和量を示した(図8a)。
- ③ PP、HDPEジオグリッドにおいて、初期引張り荷重が大きいのほど応力緩和現象が顕著であった(図8a, 8c)。
- ④ PETジオグリッドは対数時間に対して線形に応力緩和が生じた(図8b)。

(6) クリープ及び応力緩和試験後の定ひずみ速度試験

クリープ及び応力緩和後でのジオグリッドの引張り特性を把握するために、定ひずみ速度10 %/min でクリープと応力緩和試験後のジオグリッドを用いて引張り試験を行った。クリープ及び応力緩和試験後に行った定ひずみ速度試験によるPP、PET、HDPEジオグリッドの引張り強度は、クリープ・応力緩和試験を行わない試験体の平均引張り強度とほぼ同じ値を示した(図9)。これらの結果は、クリープや応力緩和の履歴は引張り強度を低減させる効果はないと結論できる。これは、既往の研究結果とも整合する^{7), 8), 9), 10), 11)}。

6. 結論

PP、PET、HDPE の基本的な引張り挙動及び粘性による時間依存性変形挙動を、定ひずみ速度試験、ひずみ速度を急変させる試験、クリープ試験、応力緩和試験、クリープ及び応力緩和後の定ひずみ速度試験を行うことにより検討した。上記の試験の結果から、以下のような知見を得た。

- (1) PP、PET、HDPEを用いた定ひずみ速度試験により、画像解析により供試体の変形を測定する今回の試験法の高い再現性が確認できた。
- (2) PP、PETジオグリッドの引張り強度には、供試体の長さは影響しない。

図6 定ひずみ速度試験及びひずみ速度を変化させた試験

図7 クリープ中の引張りひずみ時刻歴

- (3) PET、HDPEジオグリッドの最大引張りひずみは供試体の縦横比には影響しない。
- (4) PPジオグリッドの長手方向のリブ数は最大引張りひずみに影響を与える。
- (5) PP、HDPEジオグリッドの引張り変形強度特性に対するひずみ速度の影響は大きい、PETジオグリッドに関しては小さい。
- (6) クリープ試験において、PPジオグリッドはPETジオグリッドと比較すると高い延性を持つ。
- (7) 応力緩和試験におけるPPジオグリッドの引張り力の緩和速度は、PET、HDPEジオグリッドと比較すると大きい。
- (8) クリープや応力緩和試験後のPP、PET、HDPEジオグリッドの引張り強度は、クリープや応力緩和試験を受けない試験体の平均引張り強度とほぼ同じ値を示した。つまり、地震時の補強材設計強度の算定においては、クリープ低減係数を使用すると補強材強度を過小評価する可能性が高いことが示された。

図8 リラクゼーション中の引張り力比時刻歴

図9 クリープ及びリラクゼーション試験後の定ひずみ速度試験

7. 参考文献

- 1) McGown, A., Andrawes, K. Z., and Kakir, M. H., 1982, "Load extension testing of geotextiles confined in soil", *Proceedings of the Second International Conference on Geotextiles*, Vol. 3, pp. 793-798.
- 2) El-Fernaoui, A. and Nowatzki, E., 1982, "Effect of confining pressure on performance of geotextiles in soils", *Proceedings of the Second International Conference on Geotextiles*, Vol. 3, pp. 799-804.
- 3) Jewell, R. A. and Greenwood, J. H., 1988, "Long term strength and safety in steep soil slopes reinforced by polymer materials" *Geotextiles and Geomembranes*, Vol.7, pp. 81-118.
- 4) Jewell, R. A., 1992, "Strength and deformation in reinforced soil design" *Proceedings of the Fourth International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*, pp. 913-946.
- 5) McGown, A., Andrawes, K.Z. and Yeo, K.C. (1984) "The load-strain-

- time behaviour of Tensar geogrid" *Polymer Grid Reinforcement*, Thomas Telford, 1985, Proceeding of a conference held in London, pp.11-17.
- 6) Greenwood, J. H., 1990, "The creep of geotextiles", *Proceeding of the Fourth International Conference on Geotextiles*, Balkema, Vol.2, pp.645-650.
 - 7) Bernardi, M. and Paulson, J., 1997, "Is creep a degradation phenomenon?", *Mechanically Stabilized Backfill*, (Wu, J.T.H. eds), Balkema, pp.289-294.
 - 8) Orsat, P., Khay, M. and McCreath, M., 1998, "Study on creep-rupture of Polyester Tendons: Full scale tests" *Proceedings of the Sixth International Conference on Geosynthetics*, Vol. 2, pp.675-678.
 - 9) Greenwood, J. H., Kempton, G. T., Watts, G. R. A. and Bush, D. I., 2000, "Twelve year creep tests on geosynthetic reinforcements", *Proceedings of EuroGeo 2000*, pp.333-336.
 - 10) Greenwood, J. H., Jones, C. J. F. P. and Tatsuoka, F., 2001, "Residual strength and its application to design of reinforced soil in seismic areas", *Proceedings of the International Symposium on Earth Reinforcement* (Ochiai et al., eds), Balkema, Vol.1, pp.37-42.
 - 11) Voskamp, W., Vliet, F. and Retzlaff, J., 2001, "Residual strength of PET after more than 12 years creep loading" *Proceedings of the International Symposium on Earth Reinforcement* (Ochiai et al., eds), Balkema, Vol.1, pp.165-170.
 - 12) Tatsuoka, F., Santucci de Magistris, F., Hayano, K., Momoya, Y. and Koseki, J. (2000): "Some new aspects of time effects on the stress-strain behaviour of stiff geomaterials", Keynote Lecture, *The Geotechnics of Hard Soils – Soft Rocks, Proc. of Second Int. Conf. on Hard Soils and Soft Rocks, Napoli*, 1998 (Evangelista and Picarelli eds.), Balkema, Vol.2, pp.1285-1371.
 - 13) Uchimura, T., Tatsuoka, F., Tateyama, M. and Koga, T. (1998), "Preloaded-prestressed geogrid-reinforced soil bridge pier", *Proc. 6th Int. Conf. on Geosynthetics*, Atlanta, pp.565-572.
 - 14) Leshchinsky, D., Dechasakulsom, M., Kaliakin, V. N. and Ling, H. I., 1997, "Creep and stress relaxation of geogrid", *Geosynthetics International*, Vol. 4, No. 5, pp. 463-479.
 - 15) Shrestha, S. C. and Bell, J. R., 1982, "A wide strip tensile test of geotextiles" *Proceedings of the Second International Conference on Geotextiles*, Vol.3, pp. 739-744.
 - 16) ASTM D 4595, "Standard test method for tensile properties of geotextiles by the wide-width strip method", American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA..
 - 17) Leshchinsky, D. and Fowler, J., 1990, "Laboratory measurement of load-elongation relationship of high-strength geotextiles", *Geotextiles and Geomembranes*, Vol.9, pp. 145-164.
 - 18) Jones, D., 2000, "Wide-width geotextile testing with Video Extensometer", *Grip, Clamps, Clamping Techniques, and Strain Measurement for Testing of Geosynthetics*, ASTM STP 1379, P.E. Stevenson, Ed., pp.83-88.
 - 19) Bathurst, R. J. and Cai, Z., 1994, "In-isolation cyclic load-extension behavior of two geogrid", *Geosynthetics International*, Vol. 1, No. 1, pp. 1-19.
 - 20) Boyle, S. R., Gallagher, M. and Holtz, R. D., 1996, "Influence of strain rate, specimen length and confinement on measured geotextile properties", *Geosynthetics International*, Vol. 3, No. 2, pp. 205-225.
 - 21) Voskamp, W. and Van Vliet, F., 2001, "Variation in creep rate at constant loading of PET geogrid strapping", *Proceedings of the International Symposium on Earth Reinforcement* (Ochiai et al., eds), Balkema, Vol.1, pp.159-164.
 - 22) Soong, T.-Y., Lord, A. E. and Koerner, R. M., 1994, "Stress relaxation behavior of HDPE geomembranes", *Proceedings of the Fifth International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*, pp. 1121-1124.
 - 23) Thornton, J. S., Allen, S. R. and Thomas, R. W., 1997, "Approaches for the prediction of long term viscoelastic properties of geosynthetics from short term tests", *Proceedings of Geosynthetics 97*, Vol. 1, pp. 277-291.
 - 24) Thornton, J. S., 2001, "Characterization of short and long term creep and relaxation properties of a polypropylene geogrid" *Proceedings of Geosynthetics Conference 2001*, pp.835-845.

TIME-DEPENDENT DEFORMATION AND STRENGTH CHARACTERISTICS OF GEOGRIDS DUE TO VISCOUS PROPERTIES

Masahiro SHINODA, Richard, J. BATHURST, Fumio TATSUOKA and Katsumi HORII

One of the main uncertainties in the design of permanent reinforced soil structures is the strength and deformation characteristics throughout the design life of polymeric reinforcement under load in the backfill. The current design practice focuses primarily on the creep deformation and the design tensile rupture strength is determined by using a relatively large creep reduction factor. To have a better insight into the time-dependent strength and deformation characteristics of polymer geogrid, in total 34 creep and stress relaxation tests were performed at various tensile load levels, each lasting for 24 hours, by using polypropylene (PP), polyester (PET) and high density polyethylene (HDPE) geogrids. A series of constant rate of strain (CRS) loading tests was performed on specimens that had been subjected to creep or relaxation loading. The tensile strength after creep and relaxation loading of each geogrid was essentially the same value as the one obtained from a monotonic CRS tensile loading test before the creep or stress relaxation test. This result shows that it is not necessary to use a creep reduction factor when determining the design tensile strength for prototype reinforced soil structures subjected to seismic force.