

ジオシンセティックスの高速引張り特性に関する研究

Tensile Characteristics of Geosynthetics under High Tension Rate

西村 正樹* 赤井 智幸*
Masaki Nishimura Tomoyuki Akai

(2012年6月20日 受理)

Geosynthetics have been applied to various civil engineering structures. Their required tensile characteristics are generally determined with consideration for earthquake occurrence. However, because geosynthetics are fundamentally polymeric materials that have viscoelasticity, their mechanical characteristics depend on the deformation rate. Therefore, it is important to evaluate tensile characteristics of geosynthetics experimentally under a high tension rate (high-speed tensile deformation), as well as evaluating their tension rate dependence. For this study, tensile tests were conducted under various tension rates for geogrids and geomembranes with a high-speed impact testing machine. Then the tension rate dependence of tensile strength and elongation were examined. Results showed that tensile strength and elongation exhibit distinct tension rate dependence for both geosynthetics. Therefore, adopting appropriate characteristic and estimating an extra coefficient based on tension rate dependence are inferred to facilitate derivation of more reasonable and economical aseismic designs.

Key Words: geosynthetics, tensile characteristics, high tension rate, viscoelasticity, aseismic design

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震による未曾有の被害が報告される中、土木構造物の安全、安心に対する意識はますます高まっており、ジオシンセティックス (geosynthetics: 土木・建設用途に用いられる繊維・高分子材料の総称) に対しても、高度な性能、信頼性がより強く求められている。地盤の補強を目的として土中に埋設されるジオグリッド (geogrid) や、廃棄物最終処分場の遮水工に用いられる遮水シート (geomembrane) においては、材料の破断が土木構造物の損壊・機能不全をもたらす、その結果、社会的混乱にも至るため、材料の力学特性を詳細に把握することは極めて重要である。

ここで、ジオシンセティックスの力学特性に関しては、それぞれの用途や適用される状況に基づき、地震発生時をも想定して、要求特性値 (設計引張強さなど) が決定される。その際、代表的な大規模地震時における最大速度は 2 m/s 相当とされる^{1,2)}。一方、ジオシンセティックスは粘弾性体である高分子から構成されているので、一般にその力学特性は変形速度に依存する。したがって、大規模地震を考慮した場合、高速変形下での力学特性値や、その速度依存性を評価することが要求される。しかし、そのような評価が可能な装置は稀有であることから、実際に高速変形を与えた実験報告は極めて少ない。

本研究では、上述したジオグリッドおよび遮水シートについて、地震時相当の高速領域を含む種々の速度で引張り実験を行い、力学特性値の速度依存性を評価した。

* 繊維・高分子科

2. 実験方法

2.1 試料

ジオグリッドに関しては、リブ間隔：225 mm，単位幅あたりのストランド本数：45 本/m の HDPE 製ジオグリッド (Fig. 1) を用い，Fig. 2 に示すように，両端にリブを有するストランド 1 本を切り出して試料とした。

また，遮水シートについては，HDPE 製，厚さ 1.5 mm の遮水シートを 2 号ダンベル^{3,4)} 形に打ち抜き，試料として用いた。遮水シート試料の外観および寸法を Fig. 3 に示す。

なお，ジオグリッドは，主たる補強方向であるストランド方向に対する引張強さと，材料と土とのインターロッキング効果に由来する引抜き抵抗力によって，地盤の変形を拘束するものである。このうち引抜き抵抗力は，主に，土と格子形状のジオグリッドとの界面に作用する複合的な力によってもたらされるため，ジオグリッド単体については，ストランド方向に対する引張強さが最も重要な特性値となる。一方，遮水シートには，地盤等の凹凸や変形に追随する柔軟性も求められることから，伸び率に対する重要度が高い。

2.2 力学特性の速度依存性評価

本研究では，当研究所が保有する高速衝撃試験機 (島津製作所製 EHF-U2H-20L；Fig. 4) を用い，高速引張り変形時の力学特性およびそれらの速度依存性について検討した。ただし，低速での実験においては，10 kN 材料試験機 (島津製作所製 AG-10kNG) を併用した。

なお，通常，ジオグリッドおよび遮水シートの引張り試験においては，前者は JIS L 1908⁵⁾，後者は社団法人全国都市清掃会議提案の試験規格⁴⁾，といったそれぞれの規格に準じて，低速で実施される。そこで本研究では，それらに対応する引張り速度を実験時の最低速度に設定した。すなわち，ジオグリッドについては 0.0007 ~ 2 m/s (0.042 ~ 120 m/min)，遮水シートについては 0.00083 ~ 2 m/s (0.050 ~ 120 m/min) の範囲の種々の速度で，それぞれ 3 回ずつ引張り実験を行った。

3. 結果と考察

3.1 ジオグリッド

引張り速度を 0.0007, 0.01, 0.1, 1 m/s とした際の変形量と引張り荷重の関係を Fig. 5 に例示する。なお，いずれの引張り速度においても，試料はリブとストラ

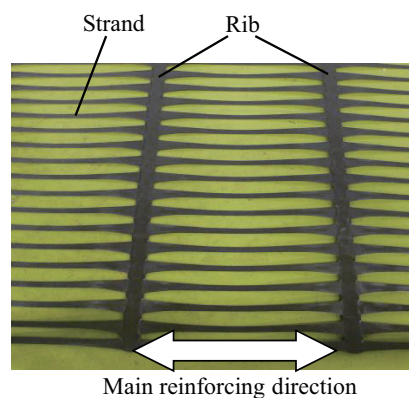


Fig. 1 Configuration of geogrid.

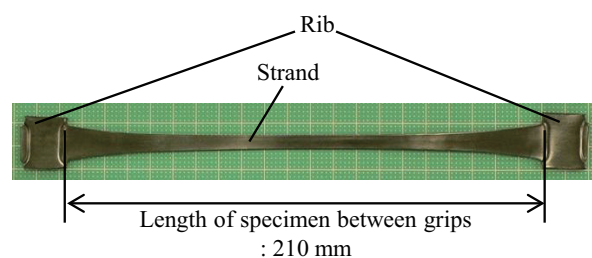


Fig. 2 Appearance and dimensions of geogrid specimen.

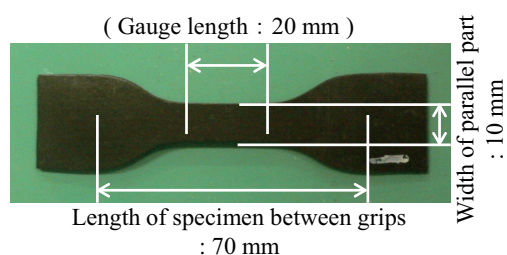


Fig. 3 Appearance and dimensions of geomembrane specimen.



Fig. 4 High-speed impact testing machine.

ンドの境界部で破断しており、リブ自体の変形はほとんど観察されなかった。ストランド部が主として変形するとともに、リブとストランドの境界部に応力が集中したためと考えられ、ジオグリッドの特徴的な形態に即した変形、破壊挙動が確認された。

また、各引張り速度における実験結果から、降伏時引張強さ、破断時引張強さ、降伏時伸び率、破断時伸

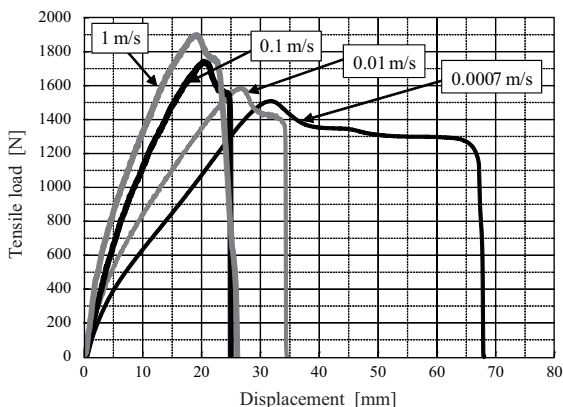


Fig. 5 Tensile load-displacement curves for geogrid at various tension rates.

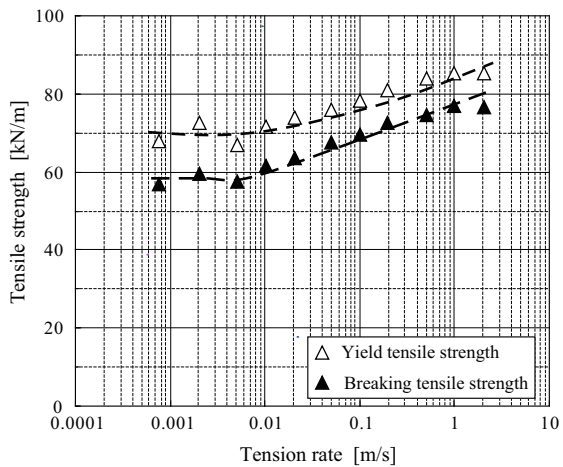


Fig. 6 Tension rate dependence of yield tensile strength and breaking tensile strength for geogrid.

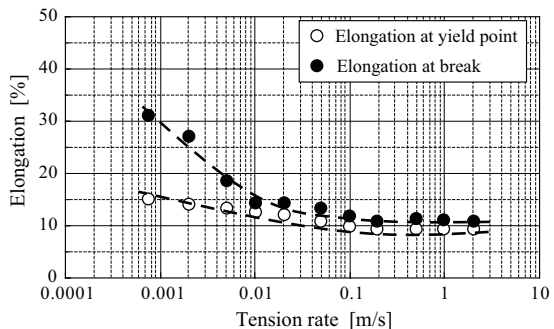


Fig. 7 Tension rate dependence of elongation at yield point and elongation at break for geogrid.

び率の平均値を算出し、それらと引張り速度の関係を片対数グラフにプロットしたものを Fig. 6, Fig. 7 に示す。なお、降伏時引張強さおよび破断時引張強さは、それぞれ、降伏時、破断時の荷重に単位幅あたりのストランド本数 (45 本 /m) を乗じて求めた。

まず Fig. 6 より、破断時引張強さは降伏時引張強さよりも小さな値を示し、それらは引張り速度の増加に伴って大きくなることが確認された。

補強土に用いられるジオグリッドの設計においては、常時の設計引張強さ (T_A ; 低速での引張り試験における最大引張強さを基に、クリープ変形等による強度低下の要因を考慮した値) に、引張強さの変形速度依存性を勘案した割増し係数 (λ) を乗じ、耐震設計時の設計引張強さ ($T_{AE} = \lambda \times T_A$) とする方法が提案されている^{6,7)}。ただし、 λ を求めるための具体的な試験方法が確立されていないことから、これまで、 λ を 1.0 として安全側の設計とすることが推奨されてきた。

そこで、Fig. 6 に示した破断時引張強さおよび降伏時引張強さの速度依存性から、最大引張強さとして降伏時引張強さに着目し、地震時相当の 2 m/s と 0.0007 m/s における降伏時引張強さの比から λ を見積もると、1.3 程度となることがわかった。今後、本研究のような室内実験的手法による速度依存性の評価や CAE を用いた解析など、 λ の算定に係る多面的な技術蓄積が進められることで、より合理的且つ経済的な耐震設計が可能になると期待される。

なお、Fig. 7 より、破断時伸び率、降伏時伸び率は、引張り速度が増加すると小さくなり、引張り速度 2 m/s (地震時相当) においては、10% 程度と見積もられる。

3.2 遮水シート

引張り速度を 0.00083, 0.01, 0.1, 1 m/s とした際の変形量と引張り荷重の関係を Fig. 8 に例示する。なお、いずれの引張り速度においても、遮水シートは標

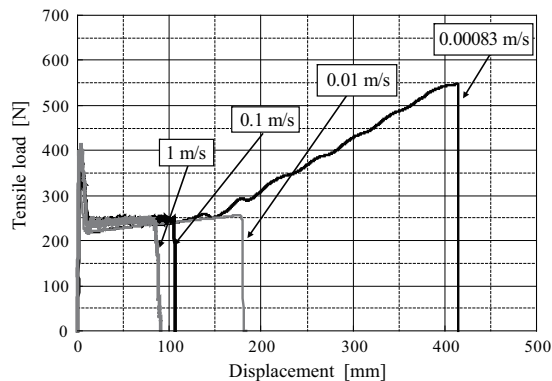


Fig. 8 Tensile load-displacement curves for geomembrane at various tension rates.

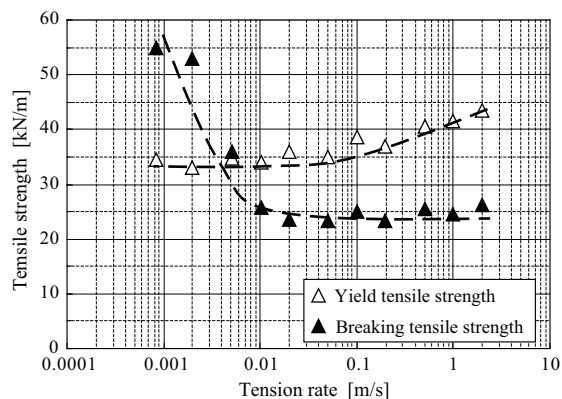


Fig. 9 Tension rate dependence of yield tensile strength and breaking tensile strength for geomembrane.

線間で破断した。

さらに、Fig. 6, Fig. 7と同様に、降伏時引張強さ、破断時引張強さ、降伏時伸び率、破断時伸び率と引張り速度の関係を、それぞれ片対数グラフにプロットしたところ、Fig. 9, Fig. 10が得られた。ただし、低速での引張り実験時には、鋼尺を用いて標線間距離を実測し、破断時伸び率を求めた。一方、高速での実験においては、同様の方法での標線間距離の実測は不可能であったが、破断後の試料を観察したところ、標線間の外側での変形がほとんど発生していなかったことから、試料全体の変形量が標線間の変形量であったと見なした。

Fig. 9より、引張り速度が大きくなるに従い、降伏時引張強さは大きく、破断時引張強さは小さくなるのがわかった。なお、0.002 m/s以下の速度域において、破断時引張強さが著しく大きな値を示したが、塑性変形領域においては、標線間以外の部分でも引張り応力が発現し、見かけの破断時引張強さが増大したためと推測される。

ここで、廃棄物最終処分場に用いられる遮水シートの耐震設計に関しては、CAEを用いた解析等による検討が進められている^{8,9)}ものの、遮水シートが本質的に変形追随性の高い材料であることなどに起因して、地震時を想定した設計引張強さという観点での統一的な方針は明確化されていない。しかし、Fig. 9より、地震時相当の高速領域を含む広範な速度範囲に対して、引張強さの速度依存性が実験的に明らかになったことより、地震時を想定した遮水シートの設計引張強さに関し、今後、3.1で示したジオグリッドの場合と同様の設計方法も適用の可能性があると推察される。

ただし、通常の遮水シートの引張り試験⁴⁾においても、測定された引張り荷重の最大値が「引張強さ」とされ、設計引張強さの算定に用いられる。しかし、こ

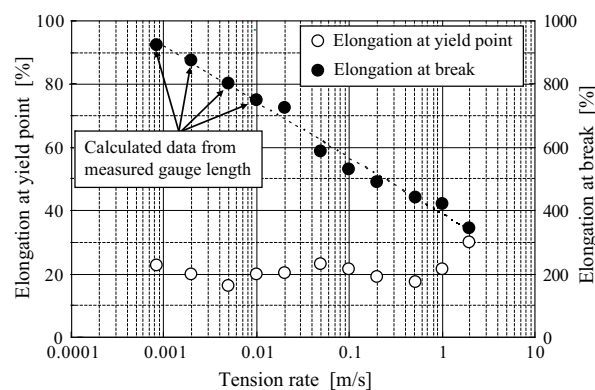


Fig. 10 Tension rate dependence of elongation at yield point and elongation at break for geomembrane.

れに準じて Fig. 9の実験結果を整理すると、低速領域では破断時引張強さが、高速領域では降伏時引張強さが、それぞれ「引張強さ」に相当するため、この「引張強さ」によって速度依存性を論じると、2つの力学特性値を混用することとなり、不適切である。一方、廃棄物最終処分場において、地震時に遮水シートに加わる変形は5%程度、すなわち弾性範囲内である。したがって、設計引張強さの算定にあたっては、降伏時引張強さを「引張強さ」とすることが妥当であると考えられる。

一方、Fig. 10より、引張り速度の増大とともに破断時伸び率は減少するが、引張り速度2 m/sにおいても300%以上の値を示すことが確認された。また、降伏時伸び率については、明確な引張り速度依存性は認められないものの、いずれも15%以上であった。地震時に遮水シートに加わる伸び率は5%程度であり、上述の結果から、地震時相当の引張り速度においても十分な伸び率を有していると考えられる。

4. まとめ

代表的なジオシンセティックスであるジオグリッドと遮水シートについて、地震時相当の高速領域を含む種々の速度で引張り実験を行った。その結果、ジオグリッドと遮水シートの双方について、力学特性値の速度依存性が確認された。今後、それらの結果を基に、各々の力学特性値の速度依存性を考慮して適切な力学特性値を選定した上で、割増し係数を導入することで、より合理的且つ経済的な耐震設計が可能になると考えられる。

なお、ジオシンセティックスも然ることながら、自動車部材や高速駆動機械の部材、スポーツ用品の構成材料など、高速で衝撃的な変形が加わりうる状況で使

用される各種の工業材料・工業製品において、安全・安心への要求はますます高まりつつある。よって、これらの広範な産業分野の材料・製品の開発においては、実際に高速変形時の力学特性を評価することが、さらに重要視されてきている。

当研究所では平成24年2月に、本研究で用いた高速衝撃試験機の後継機として、高速引張り試験機(島津製作所製 HITS-T10-S)を導入した。高速引張り試験機では、高速衝撃試験機には無い温度調節機能(恒温槽; -40℃～150℃)や、変形状態撮影機能(高速度ビデオカメラ; 試験片の変形・破壊状態の観察, ビデオ変位計としても使用可能)なども装備されており、より高度な高速引張り特性評価が可能である。

謝辞

本研究は財団法人能村膜構造技術振興財団の研究助成を受け実施したものである。また、本研究の試料は太陽工業株式会社より提供いただいた。ここに記して深謝の意を表す。

参考文献

- 1) 独立行政法人防災科学技術研究所:(最大)加速度・(最大)速度・計測震度について, URL <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/chuetsuoki20070716/pgav5v20070716.html>
- 2) 独立行政法人防災科学技術研究所:2011年03月11日東北地方太平洋沖地震による強震動, URL http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/html20110311144626/main_20110311144626.html
- 3) JIS K 6251(2010); 加硫ゴム及び熱可塑性ゴム一引張特性の求め方
- 4) 社団法人全国都市清掃会議:廃棄物最終処分場の計画・設計・管理要領 2010 改訂版(2010) 634.
- 5) JIS L 1908 (2000); ジオテキスタイル試験方法
- 6) ジオテキスタイル補強土工法普及委員会:ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル 改訂版, 財団法人土木研究センター(2000) 47.
- 7) ジオテキスタイル補強土工法普及委員会:ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル 改訂版, 財団法人土木研究センター(2000) 269.
- 8) 狩野信吾, 諸星一信, 小田勝也, 近藤三樹郎:廃棄物海面処分場遮水工に用いられる遮水材の変形強度特性, 国土技術政策総合研究所資料 No.124 (2003).
- 9) 梶村隆穂:管理型最終処分場(広島港出島地区廃棄物埋立護岸)の遮水技術等について, 中国地方建設技術開発交流会, 国土交通省中国技術事務所(2009).