「ジオテキスタイル」特集

JR総研でのジオテキスタイルの新しい性能評価法の試み

御 船 直 人・矢 口 直 幸

1. はじめに

ジオテキスタイルは広義では盛土等の土構造物を安価にし、しかも時には短期間に構築することを目的として使用される繊維、樹脂、ゴム等を素材とした布、ネット、グ

リット、メンブレン(膜)などの総称である。ジオテキスタイルの機能には土構造物の補強、安定、排水、ろ過、分離等がある。そして、その適用例としては図1に示す鉄道、道路、港湾、埋め立て造成などの広い領域がある。このようなジオテキスタイルの適用範囲の拡大には今日の土木、建設工学の発展と高分子材料の高機能化および低廉化が大きく寄与している。

一方、ジオテキスタイルが学問の対象として多くの研究者、設計者に認識され始めたのは1983年に国際ジオテキスタイル学会が正式に創設されて以来であり、したがってジオテキスタイルの学問としての歴史は10年に満たない。すなわちジオテキスタイルの本格的な研究、開発はまだ産声を上げたばかりの段階である。そのため、ジオテキスタイルの性能評価、試験法等についても研究は各国で鋭意進められているが、未だに充分とは言い難い状況である。

本文では筆者らがこれまでにジオテキスタイルの性能、機能を簡易かつ迅速に評価する目的で考案、試作してきた試験機器および試験法の一部を簡単に紹介する。

2. ジオテキスタイルの強度特性

従来まで行われている繊維材料の引張試験は幅5cm、長さ20cm(幅/長さ=0.25)の短冊状試料で行うのが一般的であった。その試験状況は図2に示すように試料のネッキング現象をとまなう。ところが、ジオテキスタイルとして使用される場合には土中で大面積で敷設されるため、このようなネッキング現象は殆ど起こり得ないと考えられ、5cmの試料幅の引張試験で得られる特性値をそのまま土木の設計に適用することは問題を引き起こす可能性がある。そのため、引張り強さの試料幅による影響を検討する必要がある。ところが、幅の広い試料の測定は従来のチャッキング方式では試料とチャックとの間で

図1 ジオテキスタイルの適用例

筆者紹介 NAOTO MIFUNE and NAOYUKI YAGUCHI

Railway Technical Research Institute

(財)鉄道総合技術研究所

御船氏は主任研究員、矢口氏は研究員。

両氏とも高分子材料、ジオテキスタイルを専門とされ、スポーツ、旅行、音楽と趣味も同じである。

本稿では、ジオテキスタイルのオリジナルな試験機器の紹介と、現在要求される課題を解決する上で、非常に有効かつ示唆的な評価法について述べていただいた。

図2 短冊状試料の引張試験におけるネッキング現象

図3 引張り強さの試料幅による変化

試料のチャック間長さは5cm

PET: ポリエステル PP: ポリプロピレン

()内は単位質量

滑りを生じ精度の良いデータは得られ難かった。そのため、これまで広幅の試料についての測定データは多く得られていない。そこで、筆者らは測定試料とチャックに滑り止めのための穴をあけ両者の一体化を図る工夫でこの問題を解決し、試料幅80cmまで測定可能な広幅チャックを試作した。この広幅チャックを用いて現在ジオテキスタイルとして多用されているポリプロピレン、ポリエステルを素材とした不織布について引張り強さを測定した結果を図3に示す。幅と長さの比が20(幅/長さ=80cm/5cm)までの試料で測定を行った結果、引張り強さはいずれの試料においても試料幅に比例して直線的に増加するが、破断伸びは変化せずほぼ一定であること等が

図4 水中強度測定器の概要

確認された¹⁾。しかし、引張弾性率は試料幅により変化することなどが明らかになった。なお、この強度特性試験では試料の引張り速度、温度の影響も重要となる。

3. ジオテキスタイルの水中での強度特性

ジオテキスタイルは多くの場合屋外の土中あるいは水中で使用され、ぬれた状態にあることが殆どである。そのため、ジオテキスタイルの強度についても室内の乾燥した標準状態で測定された特性値だけでは実用に供することは不十分と考えられる。そこで、ジオテキスタイルのぬれた状態および水中での強度を測定できる装置として水中強度測定器を試作した。概要を図4に示す¹⁾。試料およびチャック部分を透明の水槽内に水密を保った状態でセットできるように工夫がなされており、必要に応じて水のpH、温度を変化させることも可能である。ポリプロピレン製不織布について蒸留水中での測定結果の概要を図5に示す。ぬれた状態ではジオテキスタイルを構成している繊維同士の接触部分における摩擦が緩和されるため引張り強さ、伸び率、弾性率等が変化すると推定される。

図5 ポリプロピレン製不織布の水中強度特性

図6 貫通抵抗力測定状況(SM試験機)

4. ジオテキスタイルの貫通抵抗力

列車走行頻度の高い線路の道床碎石の下部に噴泥防止等の目的で敷設される路盤シート(路盤面被覆工用シート材料, 図1(i)参照)やのり面等における雑草の繁殖を防ぐ目的で使用される防草シートについては, 碎石や雑草等の突起物によるシート材料の貫通, 貫入に対する抵抗力を評価することが不可欠となる²⁾。

そこで, 貫通抵抗力測定装置(通称SM試験機)を考案した³⁾。測定状況を図6に示す。貫入する押し針の先端形状はシート材料の使用される環境条件に対応するように取り替えが可能となっている。

図7は東海道新幹線関原地区に路盤シートとして実用されているゴム・アスファルト含浸不織布についての貫通抵抗力の測定例である⁴⁾。また, 図8には2年間実際に防草シートとして使用されたシート材料の雑草によ

図7 押し針の貫入変位と貫通抵抗力, SM値との関係(ゴム・アスファルト含浸不織布)

図8 防草シートの最大貫通抵抗力と破損貫通穴数(2年後)との関係

る破損貫通穴数とSM試験機により求めた最大貫通抵抗力値(通称SM値)との相関を示す⁵⁾。最大貫通抵抗力値が大きい程破損貫通穴数が少ないことが確認された。

5. ジオテキスタイルの透水, 通水性能

ジオテキスタイルに排水, ろ過機能を期待する場合にはジオテキスタイルの透水あるいは通水性能を評価することが重要となる。一般に行われている手法は, 土質の透水係数を求める試験法に準拠しており試料を積み重ね, その内部を水がどのように透過するのか計算するものである。ところが土に比較して圧縮弾性率が遙かに小さいジオテキスタイルにおいては圧力の影響を強く受けることになり, 使用される環境が一般に土中であるため, 土圧および水圧によって薄く潰れてしまい(図9), 本来の透水機能を発揮しなくなるおそれがある。そこで, 土圧, 水圧に相当する圧力を受けた状態でのジオテキスタイルの透水性能を評価することを目的とした透水試験装置を考案した¹⁾。図10に装置の概要を示す。試料

図9 土圧の変化に伴う試料厚さの変化

図10 透水試験装置概要(H₁:最大水位)

図11 土圧の変化に伴う水位の変化

図12 ぬれ特性(吸水)の測定原理

の透水性能が良好な場合には水は速やかに下に透過するが、透水性能が不良の場合には試料上の水位 H_1 が次第に増加することになる。圧力の変化にともなう水位 H_1 の変化を図11に示す。

6. ジオテキスタイルのぬれ特性

ジオテキスタイルの透水性能を従来の透水試験装置等を用いて評価するには、一般に長時間と大面積の試料を必要とする。そのため、より迅速、簡易にかつ少ない試料で透水性能を評価できる手法の開発を検討した。

ジオテキスタイルの透水性能の良否は現象的には繊維と水との界面における相互作用により大きく支配される。このような相互作用は繊維のぬれ特性と関連づけて考えられる。そこで、吸水性測定装置を用いることによりジオテキスタイルのぬれ特性を定量的に測定することを試みた⁴⁾。図12に本装置の測定原理を示す。試料をわずかに水面に接触させることにより試料中に水が吸収される。この吸水質量 W の経時経化(吸水曲線)を検討することにより試料のぬれ特性が評価できる。ぬれ特性に優れる試料中には吸水が多量でかつ速やかに進行する。図13には現在ジオテキスタイルとして使用されている不織布について測定された吸水曲線の例を示す。吸水質量 W が負の値を示すのは繊維と水とが反発し吸水しないためである。急速に吸水する試料(No.1)や吸水しない試料(No.2)などぬれ特性の差異が明確に認められた。

屋外暴露、土中暴露および促進劣化(キセノンウエザオメータ使用)によりポリエステル製不織布の透水特性およびぬれ特性がどのように変化し、また、それらの特性がどのように関連しているのか検討した。屋外暴露により透水特性においては水位 H_1 が増加し、また、ぬれ特性においては飽和吸水質量 W_{30} がマイナスとなり、ともに水とのなじみ(親水性)が低下することが明らかとなった。さらに、それらの特性値に逆比例関係のあることも確認された(図14)。

図13 ジオテキスタイルのぬれ特性(吸水曲線)

図14 透水特性とぬれ特性の関連(ポリエステル)

図15 促進クリープ試験器

図16 ポリエステル繊維ネットのクリープ特性の温度依存性

7. ジオテキスタイルのクリープ特性

ジオテキスタイルに土構造物の補強や強化を期待する場合にはジオテキスタイルの長期間にわたるクリープ特性の把握が必要不可欠となる。何故ならばジオテキスタイルの施工初期には十分な補強効果を発揮していても長年月の使用期間中にクリープ現象により補強効果が低下するからである。このようにクリープ特性は非常に大切な評価項目ではありながら、実際には測定には長期間を要することがネックとなり、有用なデータが蓄積され難い特性値となっている。そこで、クリープ現象を加速し短時間で把握することを目的として、ジオテキスタイルを構成している高分子材料の特性(時間-温度重合せ原理)に着目し、図15に示す恒温水槽を配置した促進クリープ試験器を考案した¹⁾。この測定手法の原理は、負荷応力条件下で高分子材料を取りまく環境温度が上昇するとその変形が加速されることに因っている。図16にはポリエステル製不織布について測定された結果を示す。破断荷重 T_B の50%および25%のいずれの負荷時にもクリープ量 C が温度の上昇により増大することが認められた。この測定値を基に時間-温度重合せ手法により図17に示すように約20年間のクリープ挙動を推定した。ここで実線はデッドウエイトによる長期クリープ試験の結果を示す。途中経過ではあるが両者間の良い対応が確認された。

8. ジオテキスタイルの耐久性

ジオテキスタイルは機能に係わりなく一般に半永久的に使用される目的が殆どである。そのため設計上の必要性から何年間機能を保持するのか事前に耐久性の評価が不可欠になる。ジオテキスタイルの耐久性には図18に示す多くの環境要因が影響すると考えられる。ジオテキス

図17 時間-温度重ね合せ手法によるクリープ特性
——：長期クリープ試験結果

図18 ジオテキスタイルの耐久性に影響を及ぼす主な環境要因

図19 擁壁の裏込め用ジオテキスタイル(透水マット)の使用例

タイルの耐久性の具体的な検討対象として擁壁の裏込め用透水マット(図19)を取り上げた。この透水マットの果たす機能は擁壁裏の水を速やかに系外に排水することである。透水マットの耐久性に大きく影響を与える環境要因としては図18中の pH、寒暖および土圧が挙げられ

図20 促進耐久性評価試験機

る。そこで、これらの環境要因を複合して、なおかつ促進して透水マットに負荷できる促進耐久性評価試験機を考案した(図20)⁷⁾。これは試料に土圧に相当する圧縮力を負荷した状態で試料が接触する環境の pH を 2~13、温度を 0~50℃ に変化させることが可能である。現在、実用されている透水マットについて 5 カ月間促進耐久性評価試験を行った結果、初期の厚さの約 1/4 に薄く塑性変形して潰れてしまう製品のあること等が認められ、有効排水断面積に減少等の不具合の生じることが懸念された。

番外——新たな課題は？(筆者の実体験を基に)

話題を転じて、遠い(案外近いかもしれない)未来を想像してみたい。——過去のジオテキスタイル施工現場を掘り返して発生した、うずたかく積まれた諸々のジオテキスタイルの山。再利用も適わず、処理が大問題である。『昔のジオテキスタイルの開発者は何を考えて、何を評価してこんな物使ったんだ！ どうしてくれる！』——リサイクル、省資源を意識した新たな材料開発、評価がそろそろジオテキスタイルにも必要かもしれない。

おわりに

筆者らがこれまで主に必要に迫られて試作、考案してきた試験機器および評価法について、その一部を紹介させて頂いた。前例が乏しい分野へのチャレンジのため筆者らの思い違い、認識不足も多々あることと考える。御批判を抑ぎたい。この小文が同じ目的を持ち、日頃苦悩しておられるジオテキスタイルの開発者、設計者の方々にとって新たなアイデアの礎になれば幸いである。

文 献

- 1) 御船直人, 矢口直幸, Railway Research Review, 46, No. 3, 15 (1989)
 - 2) 御船直人, 繊維学会誌, 43, P-61 (1987)
 - 3) 御船直人, 繊維機械学会誌, 42, 315 (1989)
 - 4) 御船直人, 西村 孝, 鉄研速報, No. A-87-88 (1987)
 - 5) 御船直人, 西村 孝, 鉄研速報, No. A-87-88 (1987)
 - 6) 御船直人, 矢口直幸, 西村 孝, 鉄道総研報告, 2, No. 5, 40 (1988)
 - 7) 御船直人, 西村 孝, 矢口直幸, 鉄道総研報告, 2, No. 5, 46 (1988)
- (平成3年6月3日受理)

第35回材料研究連合講演会

共 催：日本学術会議材料工学研究連絡委員会, 日本学術会議金属工学研究連絡委員会ほか関連44学協会(繊維学会ほか)

開催日：平成3年9月19日(木), 20日(金)

会 場：京大会館(京都市左京区吉田河原町 15-9
TEL 075-751-8311)

講演部門：・一般セッション

・オーガナイズドセッション

A.セラミックスの合成と評価, B.界面の力学と評価, C.高分子系複合材料の力学の特性と評価法, D.球状黒鉛鑄鉄の進歩と強度評価, E.セメント・コンクリートの超高強度化と利用, F.トライボロジーと破壊力学

申込み：講演要旨集 9月9日(月)までにお申し込みの場合は, 予約価格 1冊5,000円(締切後は(83題集録)5,500円)郵送希望の方は別に送料360円を加算下さい。

申込先：随意用紙に氏名, 勤務先, 送本先を明記のうえ, 代金を添えて,
〒606 京都市左京区吉田泉殿町 1-101
日本材料学会 第35回材研連講演会係
(TEL 075-761-5321, FAX 075-761-5325) までお申し込み下さい。

なお, 今回は参加登録料(一般2,000円, 学生1,000円)を当日会場にて申し受けます。

第6回化学情報講演会

主 催：化学情報協会

共 催：繊維学会ほか

日 時：平成3年10月2日(水) 15時から約2時間

場 所：社団法人 日本化学会講堂(電話 03-3292-6161)
千代田区神田駿河台 1-5
(JR お茶の水駅から徒歩5分)

講演会：社団法人化学情報協会創立20周年記念第6回化学情報講演会

参 加：無料, 定員になり次第締切り

第34回標準化全国大会

主 催：(財)日本規格協会

後 援：通商産業省工業技術院ほか

協 賛：(社)繊維学会ほか

日 時：平成3年10月16日(水)～18日(金)の3日間

場 所：サンケイホール(定員650名), サンケイ会館
601～603(定員300名), 農協ホール(定員450名),
農協第一大会議室(定員200名)

大会参加料：維持会員一口につき, 1名ご招待
一般参加 1名 14,420円(消費税込み)

問合せ先：(財)日本規格協会

〒107 東京都港区赤坂 4-1-24
電話 03-3583-8001