

新しい土木資材・ジオテキスタイルの 重要性とその用途

土 谷 富 士 夫

1. はじめに

「ジオテキスタイル」というとあまり馴染みのない言葉と思われるが、最近、土木技術者にとっては世界的に関心が多くなってきている言葉である。英語では「Geotextile」と表現されるが、日本語になりにくいためか、あえて「土木繊維」、「土木用布」、「土木用繊維布」などと訳している例がある。Geoとはラテン語で土を意味する接頭語で、Textileは織物類を意味し、この両者の合成語からなる。

鉄筋コンクリートが多く使用されているのは「コンクリートの引張り強さの不足を鉄が補強するため」であるが、同様に「土の欠点を繊維物質が補強する」という考えによるジオテキスタイルの混入は、この両者に優る働きを行うときがある。この言葉の規定は、共通したものではなく、国際的にも国内的にも定義の確立作業が進行している。

著者が初めてこの言葉を意識したのは、1986年に東京で開催された土質工学会の「第1回ジオテキスタイルシンポジウム」に参加して以来である。主催は、国際ジオテキスタイル学会日本支部であり、日本支部という名称がどことなく印象的に聞こえた。

次にジオテキスタイルとの接触は、1987年のカナダ、アルバータ大学の土質工学研究室に滞在している時であった。ブラジルから留

学に来ていた女子大学院生が、修士論文のテーマとしてジオテキスタイルの物性試験を懸命に行っていた。使用しているジオテキスタイルのひとつは日本製であると教えられた。

このように、ジオテキスタイルの重要性は、世界的に認められており、わが国では1985年の土質工学会誌「土と基礎」で特集が組まれている。

カナダから帰国後、著者はヒートパイプを使用した人工永久凍土貯蔵庫のモデル実験を開始した。その時に貯蔵庫内壁の土の凍上に対抗するため、引張りに強いジオテキスタイルを使用した。また、現地土を使用し、道路の凍上を抑制するための工法として、数種のジオテキスタイルを用いた凍上抑制比較実験を始めた。6種のジオテキスタイルを使用して3冬目の試験に入っている。そして、1991年6月オレゴン州立大学で、この分野で著名なBell教授に出会う機会を得た。ジオテキスタイルの凍上抑制問題に関しての有益な意見の交換をすることができた。

このように地中あるいは地下構造に対するジオテキスタイルの利用とその発展性は驚くべきところが多い。図1は北米でのジオテキスタイル市場推移を示す。比較的マイナーから出発したが、わずか10年間で世界で100億ドル産業になったものではなく、このような短

期間で増加した建設活動は他にないと言われている。そして土木技術者にとって、こんな特別な用語も近年現れなかった。まさに、21世紀の新しい土木資材として大いに進展することは確かである。

何故、このように急速な発展がなされたか明確な答は得られていない。しかし、土木技術者や監督官庁は、何か別な物質で軟弱土を補強しようと考

えている。そのためと言われている。ポリマー（重合体）と呼ばれる化学工業製品の出現から、製品の採用に時間がかかった理由は、多分土木社会の本来からの保守主義と1950年代のプラスチック製品導入時の初期性能のまずさにあるだろうと米国では通説になっている。

しかし、急速に取り扱われ始めた真の理由は明確である。ジオテキスタイルの製造業者が産業上の優秀な伝達者であり、必要性を認識した製品を開発し、市場を積極的に拡大したためである。

米国では、1970年代に口過・排水・侵食防止用に広く使用されるようになったが、年代とともに機能が增大した。現在、ジオテキスタイルの機能は少なくとも次の明確な5つの働きのひとつまたはひとつ以上を行うものである。

- ◎ 分離 (Separation)
- ◎ 補強 (Reinforcement)
- ◎ 口過 (Filtration)

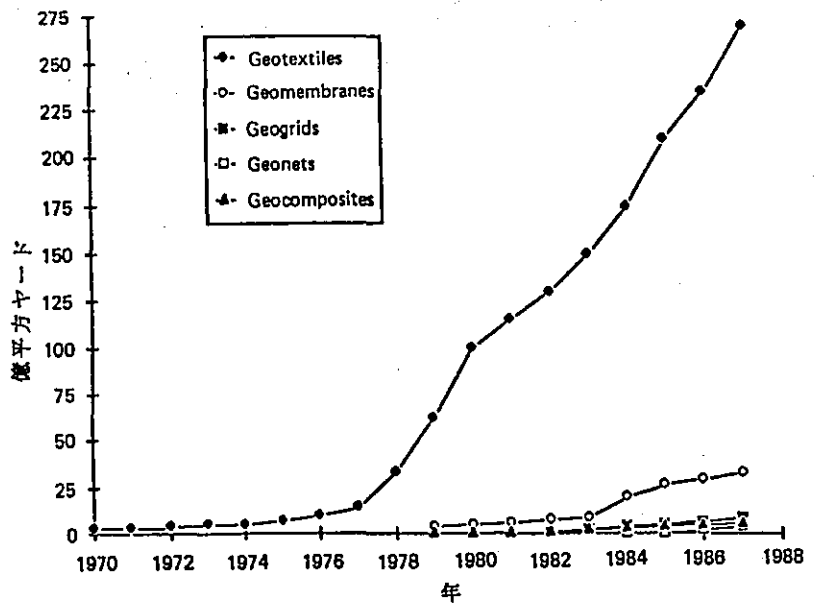


図1 北米におけるジオテキスタイル等の市場推移

- ◎ 排水 (Drainage)
- ◎ 水分障壁 (Moisture barrier)

2. ジオテキスタイルの広義と狭義

ジオテキスタイルの定義として「合成高分子材料を用いて作られ、土や岩石などの土質工学的材料とともに用いられる透水性を持つ土木用繊維製品と関連製品」と限定することが多い。国際的には天然素材や金属材料、ジオメンブレンとジオテキスタイルとは区別されていることが多い。

ASTM (米国工業標準規格) の規定と別に、種々の解釈がある。ジオテキスタイルの考え方として、次の3つの分類が紹介されている。

1) 狭義の分類

最近出版されたロバート・コナーの著書によると、ジオテキスタイルは「ジオシンテックス (Geosynthetics) に含まれるグループの一つであり、先に示した5つの機能をも

ち、ジオグリッド (Geogrid)、ジオネット (Geonet)、ジオメンブレン (Geomembrane)、ジオコンポジット (Geocomposite) と区別される。図2は各種の違いを示す。

2) 中程度の分類

土の安定、強化、空気や水の透水性を目的とした繊維製品で、ネット、グリッド、透水膜を含める。

3) 広義の分類

土質工学的材料に使用するすべての製品で、中程度の分類にジオメンブレンも含める。したがって、ジオシンシテックと呼ぶ方がふさわしい。

3. ジオテキスタイルの歴史

今日知られているジオテキスタイルは土壌侵食防止の応用として、顆粒土のフィルタ材の代用を意図するものであった。したがって時々、ジオテキスタイルは「フィルター用織物(filter fabric)」と呼ばれた。

1950年代後半に、プレキャストコンクリートの防潮壁の背面、プレキャストコンクリートの侵食防止ブロックの下、そして巨大な捨石の直下などの侵食防止状態にジオテキスタイルが使用された例が記述されている。

1960年代の後半、全く異なった応用のために針で穴を開けた不織布の織物をフランスの会社で生産し始めた。これらは、非舗装道の補強、鉄道の軌道バラストの直下、堰堤やダム内部にこれらを使用した。これら使用目的は分離と補強の機能を利用することであった。さらに、構造物の内部で水を伝達するという全く異なる機能をもたらした。

1970年代になって、イギリスのICI繊維会社が広範囲に使用できる熱加工不織布を製造し、大きな影響を与えた。米国で最初に使用した不織布はICI社から輸入したものであっ

た。

オーストリアのChemie Linz社や米国とヨーロッパのduPont社はこの分野の指導者であり、世界的にジオテキスタイルの紹介をすることとなった。今日、世界の製造会社はジオテキスタイルの製造、販売および普及を行っている。

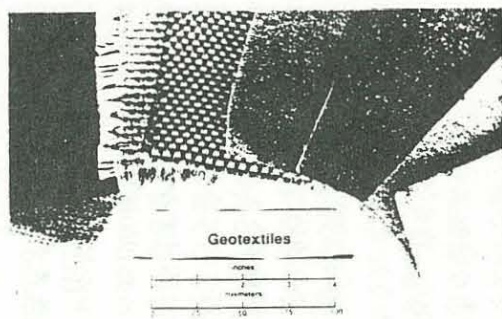
ジオテキスタイルに関する会議が多数開催されている。主なものに、1977年のパリ会議に始まり、1982年のラスベガス、1986年のウィーンそして1990年のハーグと続いている。国際ジオテキスタイル学会 (IGS) の創設はこの活動の反映であり、日本、英国、インド、東南アジア、北米に支部を持っている。フランス、オランダ、オーストラリアなどにその他の組織があって活躍している。

4. 天然のジオテキスタイル

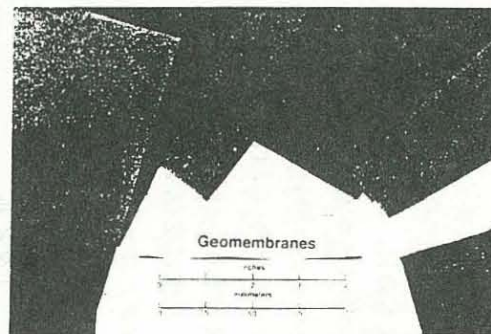
土塊の中に、引っ張り強さを持つ竹や木などの天然の材料を骨組みとしたり、わらや木片を土に混入したりして強化する技術は、中国や日本では古来から使われてきている。東洋に限らず、南米、アフリカ、ソ連などでも使用されてきているが、欧米では以外と知られていない技術であった。

中国では紀元前から、竹を使った蛇籠(じゃかご)、砂嚢(さのう)、あるいは粗朶(そだ)をよく使用し、その影響はわが国にも及んでいる。竹や木の水制や砂防に應用する技術は独自に発達し、集水機能として農地の暗渠排水などにもよく使用されてきている。

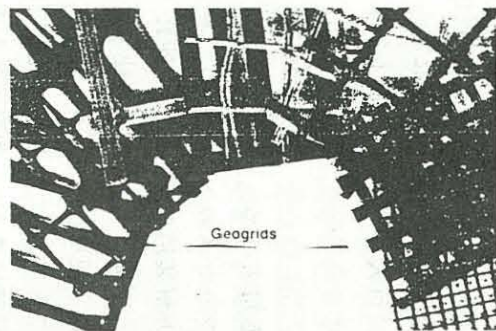
しかし、天然材が不足するにつれ、あるいは高価になりはじめた1960年代から、これに代わってポリエチレン製のシートが出現してきた。以後ジオテキスタイルの発達のきっかけとなる。



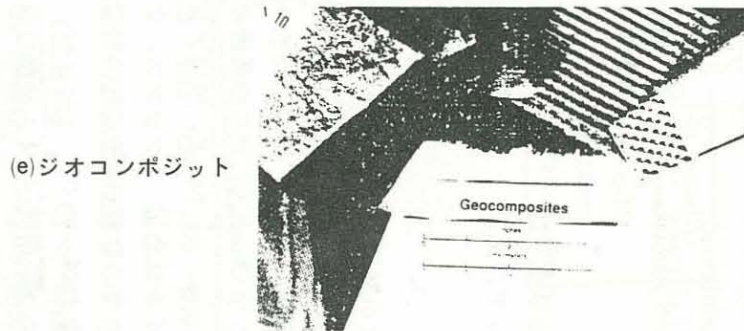
(a) ジオテキスタイル



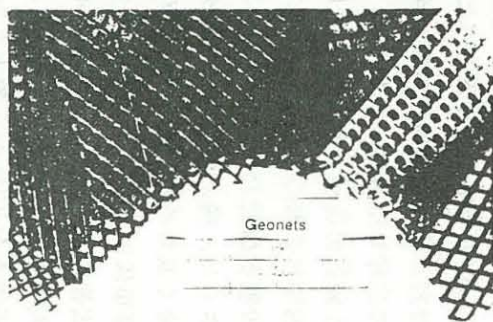
(d) ジオメンブレン



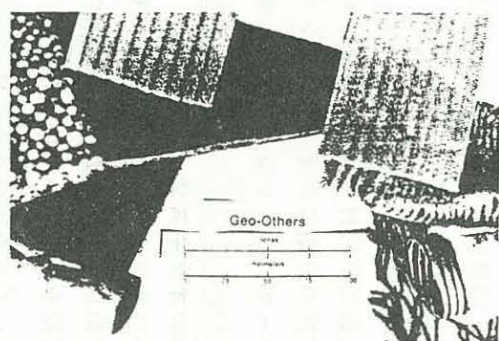
(b) ジオグリッド



(e) ジオコンポジット



(c) ジオネット



(f) その他の製品

図2 典型的な合成繊維資材（ジオシンシテックス）物質

5. ジオテキスタイルの材料

ジオテキスタイルの市場の成長や刺激に伴う繊維業界の役割は極めて大きく、そして積極的であった。製造に関するかぎり、ポリマーのタイプ、繊維のタイプそして織物のスタイルの3点が重要となってくる。

米国におけるジオテキスタイル繊維は次のポリマー物質から作製されている。

- ◎ ポリプロピレン (65%)
- ◎ ポリエステル (32%)
- ◎ ポリアミッド【ナイロン】 (2%)
- ◎ ポリエチレン (1%)

ポリマー (Polymer) とは、重合反応によって生成する化合物を総称して言う。合成高分子の著しい発達につれ、重合度の大きい分子量体を言うが、しばしば高分子と同じ意味で使用される事が多い。他方、プラスチックは合成樹脂からつくられたものの総称であり、高分子物質を主原料として人工的に有用な形状に加工された固体を言い、繊維、ゴム類は除外される。

ジオテキスタイルに使用される各ポリマーの性質を以下に説明する。

◎ ポリプロピレン (Polypropylene)
プロピレンの重合反応によって得られる高分子化合物 (PP) で、比重0.90~0.92、一般のプラスチックで最も軽い。繊維は軟化点温度が140~170°Cで、強度、弾性、耐水性、耐化学薬品性が大きい。製品として、フィルム、容器類、工業部品、板、シート、びん類、繊維類がある。

◎ ポリエステル (Polyester)
主鎖中に多数のエステル結合をもち、多塩基酸と多加アルコールとの重縮合などによって得られる。不飽和ポリエステル (UP) は比重1.6、透明で機械的性質にすぐれ、ガラ

ス強化用のものは非常に強じんである。ポリエチレンテレフタレート (PETP) は比重1.4で、強じん、熱処理・延伸をすれば強度は著しく向上する。製品として、型物、板、シート、パイプ、強化用品、塗料等がある。

◎ ポリアミド (Polyamide)

カルボン酸とアミノ酸の反応によって得られるアミド結合を主鎖に多数有する高分子の総称 (PA) で、ナイロン (Nylon) とも呼ばれる。比重1.03~1.13で、耐薬品性、低温性、潤滑性に優れている。製品として、フィルム、板、シート、繊維状品、塗料、接着材等がある。

◎ ポリエチレン (Polyethylene)

エチレンの重合反応で得られる高分子化合物で、最も単純な分子構造を有する熱可塑性プラスチック (PE) である。密度によって、比重は異なるが、0.93~0.94である。耐水性、耐薬品性、耐寒性に優れ、製品としてフィルム、容器類、板、シート、パイプ、びん類、発泡品、繊維状品等がある。

◎ ポリウレタン (Polyurethane)

分子主鎖が多数のウレタン結合よりなる高分子物質 (PUR) の総称である。比重1.2で硬質のものは断熱材に、軟質のものは弾性クッション材に使用される。製品として、型物、発泡品、繊維状品、塗料、接着材等に使用される。

◎ ポリ塩化ビニール (Polyvinyl chloride)

塩化ビニールを主体とする重合体の総称 (PVC) をいう。比重は1.23~1.45、軟質塩化ビニール (製品にフィルム、シート) と硬質塩化ビニール (製品に、型物、パイプ、びん) があり、耐気候性に優れている。

◎ ビニロン (Vinilon)

ポリビニールアルコール系合成繊維で、わ

が国でつけた名称である。強度が高く、薬品やバクテリアに対する抵抗が大きく、フィルム、繊維状品に使用されている。

このように、ポリプロピレンとポリエチレンのみが水より軽くなり、ポリエステルはわずかに吸湿性を持っている。素材の水分は強度に対して比較的マイナスのやくわりを果たす。

6. 素材の加工と製法

素材となるポリマーは、溶融してバスルームのシャワーのような原理方法で、紡ぎ口 (Spinneret) から、押しだして繊維 (Fiber) に製造される。Fiber とは、長さや形状の異なる繊維の総称をいう。このようにして製造された連続したきわめて長い繊維を長繊維 (Filament) と呼び、乾式、湿式および融式によって硬化または固形化される。冷却によって固形化したものは、同時またはその後には伸張され、繊維の直径が減少し規則的な様式に編成される。ときには、単独に使用される長繊維 (Monofilament) から2本以上の連続したマルチ繊維 (Multifilament) を作るため接合される。

これらとは多少異なり、単繊維 (Staple fiber) と呼ばれ、特定の連続長繊維から短く切断した、ロープ状の束がある。この単繊維は、ステーブル・ヤーン (Staple yarn) と呼ばれるロープ状の編んだ多少長め糸に編成される。

ヤーン (Yarn) とは形状や加工の異なる糸の総称をいう。テープ状のフィルムを引き裂いて作った形の糸があり、リボン状になっていてスリット・フィルム (Slit-film) と呼ばれる。このスリット・フィルムを結合するとスリットフィルム・ヤーン (Slit-film yarn) が作られる。図3にジオテキスタイル

に使用されるポリマー繊維の種類を示す。

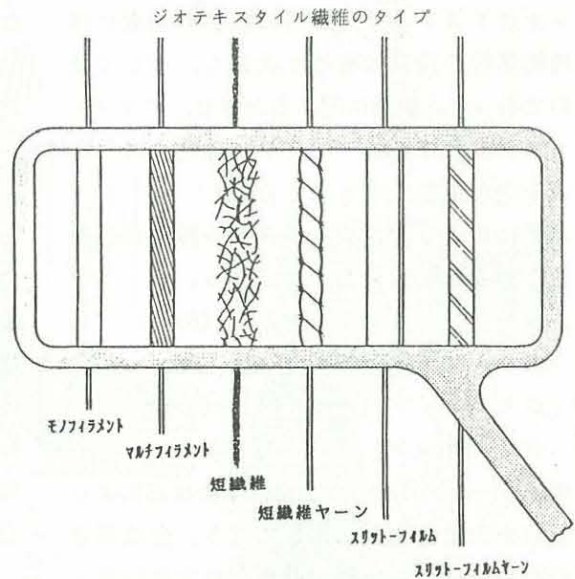
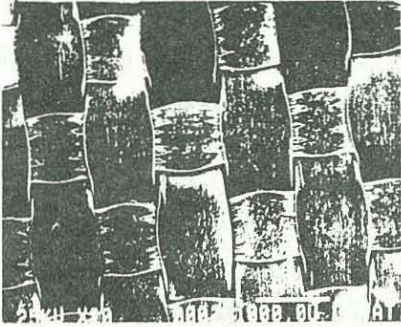


図3 ジオテキスタイルを形成する繊維の種類

次に、繊維またはヤーンを使って織物 (fabric) が製造される。基本的な製造は、織布、不織布、編物のいずれかを選択せざるを得ない。図4にジオテキスタイルに使用される種々の織物類の写真を示す。

編物 (Knitted fabric) は、長い繊維を組合わせて、直線部で連続したループで構成した布であるが、ジオテキスタイルにはあまり使用されない。

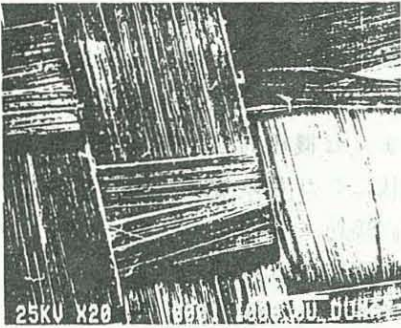
織布 (woven fabric) は織機を使用して平行に並べた縦糸 (warp) に横糸 (weft) を直角に交錯させて平面状にしたものである。織物の特定なパターンは、横糸をはた織機に通す一連の作業と、各充填用のピックの位置によって決まる。おさは、横糸を挿入するためシャトルを準備しながら、縦糸をはじき上げる。そこで、横糸を包みながら反対側で別の横糸を使ってシャトルを戻しながら、おさが下方方向にはじき落ちる。そして、おさが上方に引きもどされ、このプロセスが繰返される。



(a)



(b)

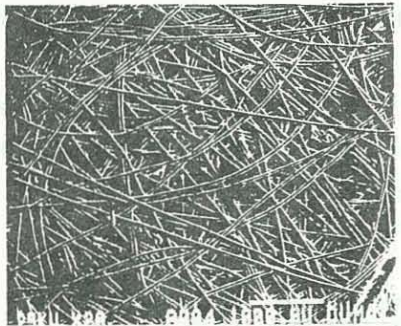


(c)

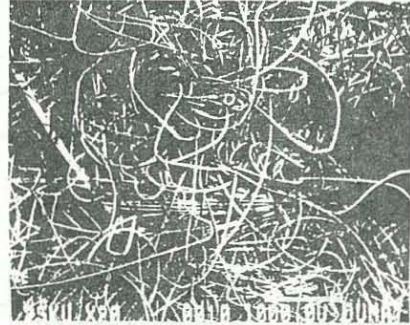
(a)モノフィラメント織布

(b)マルチフィラメント織布

(c)スリット(スプリット)フィルム織布



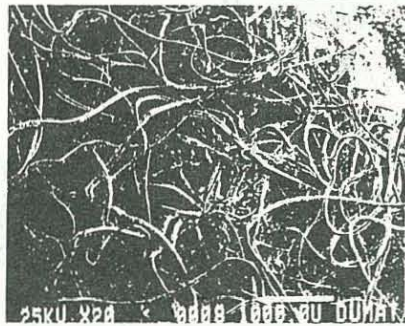
(d)



(e)

(d)溶融結合不織布

(e)ニードルパンチ不織布



(f)

(f)樹脂結合不織布

図4 ジオテキスタイルにされる種々の織物類

図5に織物機の構造を、図6におさの横糸の挿入行程を示す。ジオテキスタイルに使用される織布には、下記に示すいろいろな組織がある。

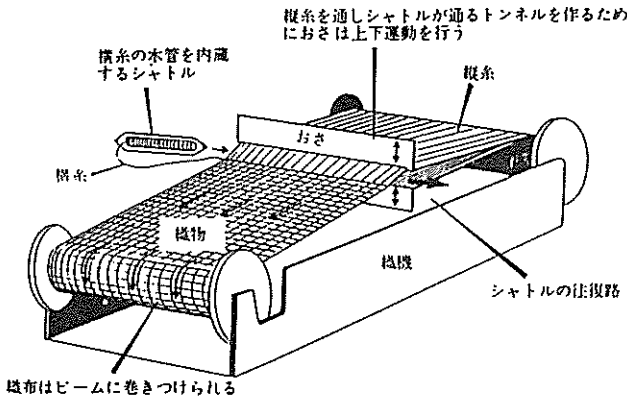


図5 織物機（はた）の基本的構造

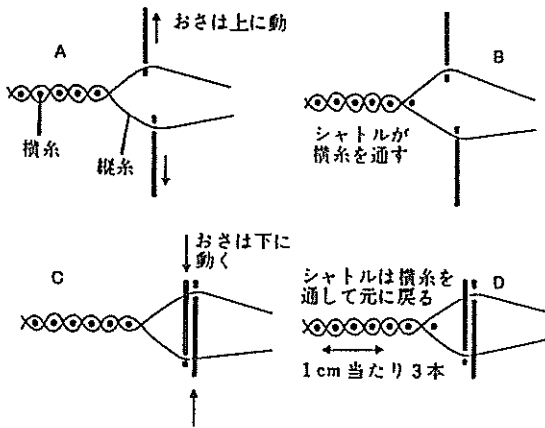


図6 横糸を挿入する際のおさの動き

◎ 平織り (plane weave)

縦糸と横糸が1本ずつ交互に交錯して織られるもので、最も単純で通常の織り型である。

◎ 籠織り (basket weave)

縦糸と横糸が1本以上で交互に交錯しておられるもの。

◎ 綾織り (twill weave)

縦糸と横糸の浮きが2目以上にわたる部分を含み、かつ斜め方向に連続したもの。

◎ 縞子織り (satin weave)

縦糸と横糸の浮きが4目以上にわたる部分を含み、浮きとなる方の糸を密に織ることができるので、光沢に富む生地になる。ジオテキスタイルには向かない。

他方、布織布 (unwoven fabric) は織機や編み機を使用せずに、繊維集合体 (web) を化学的方法による結合または機械的な作用で結合させて布状にしたものである。製造方法には直接紡糸型 (スパンポンド法)、機械的接合法 (ニードル・パンチ法) と熔融接合法がある。

スパンポンド法は、ポリマーから最終的に不織布を製造する連続行程である (図7)。

ポリマーは押し出し機から、紡ぎ口を経て繊維状に伸ばされ、冷却後に移動コンベアに載せられ、連続したウェブを形成する。紡ぎ口の

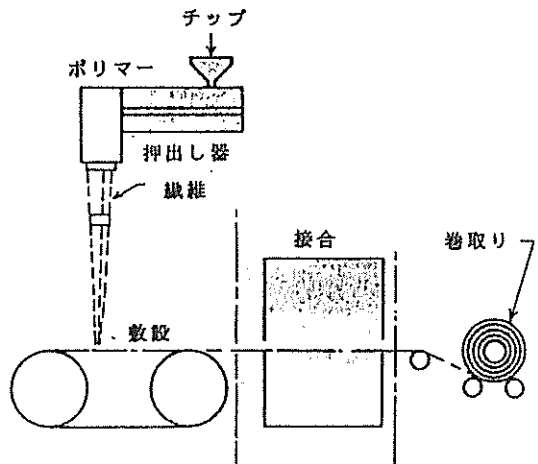


図7 スパンポンド法による製造過程の概略図

回転、荷電、エアジェットの制御、コンベア速度の変化により、多様な不織布が製造される。このとき、長繊維は熱的、化学的および機械的処理で接合され、最終的に巻取り機で巻取られる。

接合法には樹脂接合があり、アクリル樹脂でウェブにスプレーまたは強制浸透させる。薄地で硬い不織布ができる。

ニードル・パンチ法は、図8に示すように長さ75mmで3～4個のトゲを持つ特別に設計された針を使用し、ウェブを突き刺す。繊維は再配列して機械的に接合する。一般に高密度で厚地のものがつくられる。

Needle - punched Process

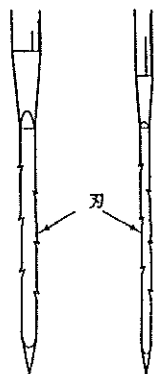


図8 ニードル・パンチ法による製造概略図

7. ジオテキスタイルの主要な用途

既に述べたように、ジオテキスタイルの機能は、分離、補強、口過、排水そして水分障壁である。これらの用途を下記に示す。

A. 異質材の分離

- 1 道路、滑走路の路盤と路床の間
- 2 鉄道の軌道バラストと路盤の間

- 3 岩石基礎と埋め立て土の間
- 4 ジオメンブランクスと砂質排水層の間
- 5 載荷重に対する築堤土と基礎の間
- 6 道路盛土の築堤土と基礎の間
- 7 フィルダムの基礎と築堤材の間
- 8 カプセル化した土層と基礎の間
- 9 剛性擁壁と土基礎の間
- 10 たわみ性擁壁と土基礎の間
- 11 貯蔵パイルと土基礎の間
- 12 斜面と下流犬走りとの間
- 13 貯水用パイルと土基礎の間
- 14 歩道スラブと真下
- 15 縁石の下
- 16 駐車場の下
- 17 スポーツおよびアセレチック場の下
- 18 装飾ブロックとパネルの下
- 19 不良粒度フィルターのブランケット下
- 20 アースダムの築堤ゾーンの間
- 21 新旧アスファルト層の間

B. 軟弱土とその他の物質の補強

- 1 非舗装道路のための軟弱土の上
- 2 滑走路のための軟弱土の上
- 3 軌道のための軟弱土の上
- 4 盛土のための軟弱土の上
- 5 スポーツ、アセレチック場の軟弱土の上
- 6 熱侵食地域の表面
- 7 締切りとしての不安定盛土の上
- 8 軌道バラストの水平封じ込めのため
- 9 カプセル化したシステムで土を包むため
- 10 織布システム補強壁を建設するため
- 11 急峻な斜面の建設を補助するため
- 12 築堤の補強のため
- 13 フィルダムの補強のため
- 14 斜面を一時的に安定させるため
- 15 斜面土のクリープ停止または削減のため

- 16 接合したたわみ性舗装の補強のため
- 17 砕岩あるは接合した岩石の橋渡しのため
- 18 粒度の良い岩石ロ過マットの保持のため
- 19 連結コンクリートブロックの代用品
- 20 非舗装貯蔵ヤードと足場地域の安定化
- 21 補強土壁の表面パネルのアンカーとして
- 22 小さな擁壁のブロックのアンカーとして
- 23 下層土ジオメンブランズの破裂防止
- 24 盛土や岩石路盤の非透水膜の破裂防止
- 25 高摩擦により安定斜面を造成するため
- 26 アースダム建設における軟弱土の採用
- 27 皮膜によるカプセル化した土の使用
- 28 緑石の土の圧密と現場締め固めに使用
- 29 現場締切の築堤不均等物質の橋渡し
- 30 浅い基礎の支持力の補助

C. ロ過作用（シート面に垂直な流れ）

- 1 顆粒土のフィルター材の代用
- 2 道路、滑走路の路盤骨材の下
- 3 鉄道の軌道内のバラストの下
- 4 地中ドレーンを囲む砕石の周り
- 5 地中ドレーンのない砕石の周り
- 6 多孔性地下排水パイプの周り
- 7 土管埋設地区の石と多孔管の周り
- 8 ロ過機能を発生させる土盛りの下
- 9 水理学的盛土のフィルタ
- 10 シルトフェンス
- 11 シルトカーテン
- 12 スノーフェンス
- 13 土壌侵食防止システム内の砂、グラウトおよびコンクリートのたわみ形式
- 14 劣化したパイプを再建するたわみ形式
- 15 地下鉱山の保全のためのたわみ形式
- 16 洗屈ピアの支持力復元のたわみ形式
- 17 煙突状の排水管物質の保護
- 18 横穴排水路の物質の保護

- 19 擁壁の空隙と裏込めの間
- 20 裏込めと保塁との間
- 21 羽根型排水のモグラ暗渠の周り
- 22 細長い排水のモグラ暗渠の周り
- 23 土の侵入を防ぐジオネットに対抗して
- 24 土侵入防止ジオユンボジットに対抗して
- 25 サンドドレーン内のサンドコラムの周り
- 26 井戸のための多孔性チップの周り
- 27 ピエゾメータ用の多孔性チップの周り
- 28 捨石土台直下のフィルタ
- 29 プリキャストブロックの真下のフィルタ

D. 排水（シート内の水の流れ）

- 1 アースダム内の煙突状排水
- 2 アースダム内の横穴排水路
- 3 水平流に対する遮断排水
- 4 載荷盛土の真下の排水ブランケット
- 5 擁壁背後のドレーン
- 6 鉄道の軌道バラスト直下の排水
- 7 ジオメンブレン直下の排水
- 8 ジオメンブレン直下の空気の排除
- 9 屋上ガーデンの排水
- 10 土盛り構造物の間隙水の消散
- 11 サンドドレーンとの置き換え
- 12 凍上しやすい地域の排水
- 13 乾燥地域の塩移動の毛管遮断
- 14 露出土や岩石表面の浸透水の消散

この様にジオテキスタイル用途は多種多様な所に使用されている。紙面の関係上、具体的な使用位置と施工、設計について記述できないが、ロ過機能と排水機能の典型例をあげる。

図9は擁壁または土留め構造物に利用した例で、いずれも背面にジオテキスタイルが使用される。図10は、地表の過剰水を地下排水する際のジオテキスタイルの使用例を示す。

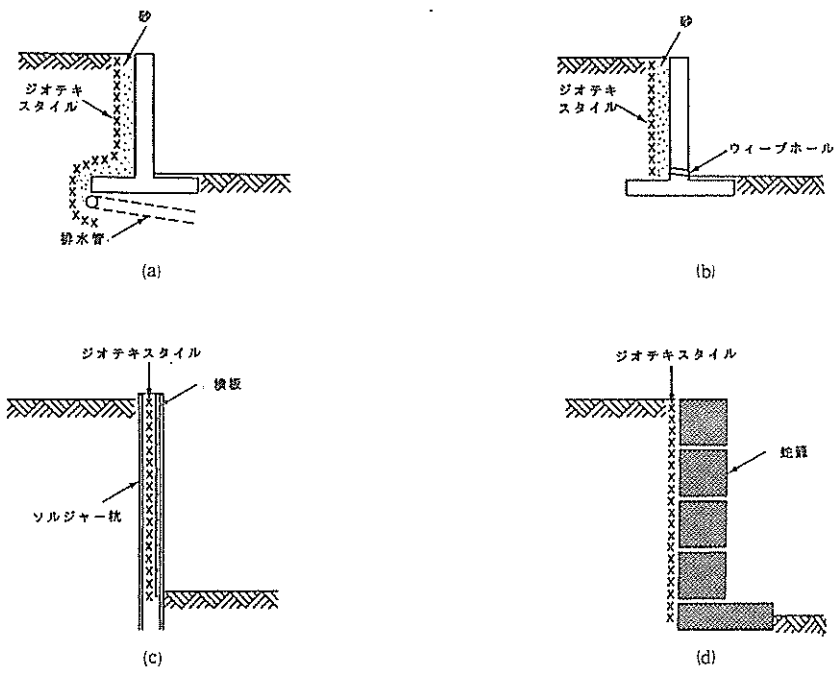


図9 ジオテキスタイルの口過機能を使用した擁壁

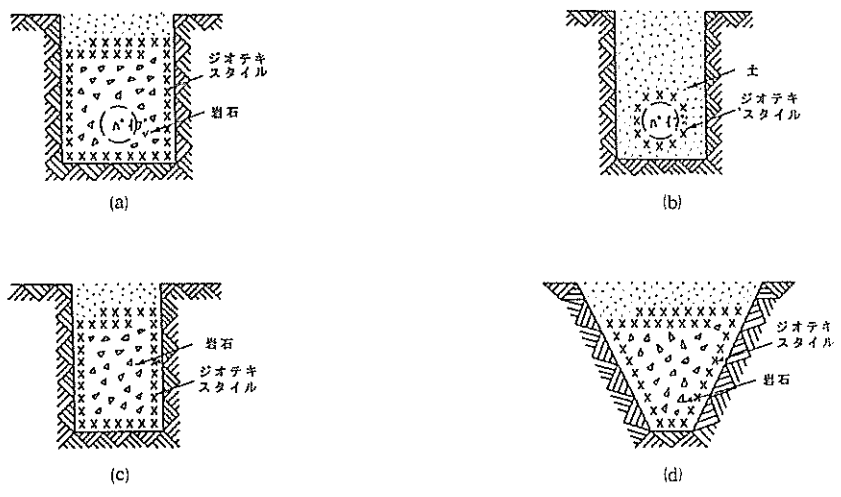


図10 ジオテキスタイルを使用した地下排水の典型

舗装道路の路盤および路肩の地下排水の例を図11に示す。

さらに、アースダムの煙突状および横穴型排水路としてのジオテキスタイルの利用例を図12に示す。さらに、多量に水分を含む細粒土を盛土の載荷重を利用し、内部の過剰水を

側溝に排除する例を図13に示す。最近、地盤凍結による凍上抑制を目的として、毛管上昇による水分移動を妨げるためジオテキスタイルの使用がされている。図14は冷凍食品の貯蔵庫の基礎底部に用いる例である。

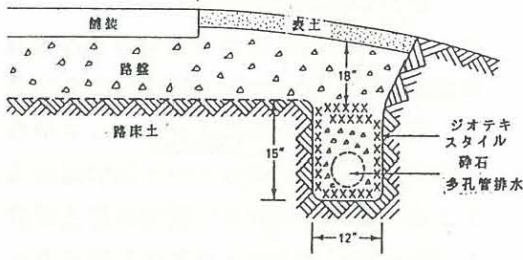


図11 ジオテキスタイルを使用した道路路盤の排水例

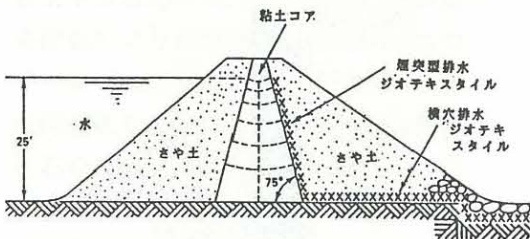


図12 ジオテキスタイルを使用したアースダムの排水

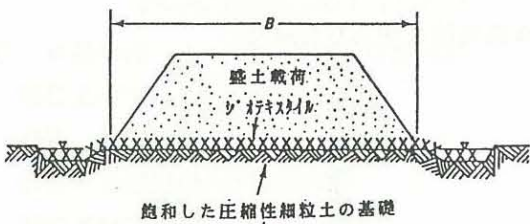


図13 盛土の載荷圧による強制排水例

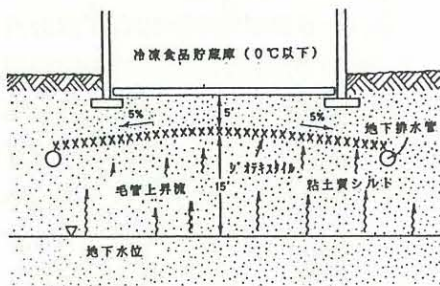


図14 地盤凍結による毛管上昇を遮断する例

8. おわりに

ジオテキスタイルの土木工事への応用はますます増大するが、技術者が使用するにあたって、(1)ジオテキスタイルの効果が発揮でき、施工可能であること、(2)ジオテキスタイルが容易に入手でき、作業性が実際的であること、

そして(3)他の方法より経済的であることを充分検討しなければならない。また、製品の使用上の統一した規格化が急いで行われる必要がある。

ジオテキスタイルの詳細な機能メカニズム、その性質と試験方法、そして設計方法についての記述は後の機会に行うこととする。また、寒冷地域における用途を広めるため、現在凍上対策への実用化実験の最中であり、結果はいずれ公表されることになるであろう。

参考文献

- 1) 福岡正巳：ジオテキスタイルを用いた工法の現状と今後、土と基礎、Vol.33, No.5, 1985
- 2) 山内豊聡：日本におけるジオテキスタイルの発達、土と基礎、Vol.33, No.5, 1985
- 3) 岩崎高明：ジオテキスタイルの種類と物性、土と基礎、Vol.33, No.5, 1985
- 4) 渡義治・高橋修三：ジオテキスタイル関連用語の解説、土と基礎、Vol.33, No.5, 1985
- 5) 山岡一三・西形達明訳：土木繊維 - ジオテキスタイルの利用法 - (P.R.Rankilor著), 森北出版, 1982
- 6) 田中茂・山岡一三・広田泰久訳：ジオテキスタイル設計マニュアル (T.A.Haliburton・J.D.Lawmaker・V.C.McGuffey著), 土木工学社, 1987
- 7) R.M.Koerner: Designing with geosynthetics (second ed.), Prentice - Hall, 1990
- 8) J.R.Bell・T.Allen・T.S.Vinson: Properties of geotextiles in cold region application, 4th Inter. Conf. on Permafrost, Fairbanks, Alaska, 51 - 56, 1983

〔 帯広畜産大学 〕
〔 つちや ふじお 〕