

# 研究展望

## ジオテキスタイル

### GEOTEXTILES—STATE-OF-THE-ART

山内豊聡\*

By Toyotoshi YAMANOUCHI

#### 1. はじめに

ジオテキスタイル (geotextiles, geotechnical textiles の略) とは、かつて ASTM の技術委員会が定義したところによれば、“人工の工事、構造物あるいはシステムを統一体にまとめる(integrate) ため、土質工学的材料とともに用いられる何らかの透水性材料” のことである。

ジオテキスタイルの効用は、既製品であるテキスタイルを使用して、盛土、擁壁、ダム、河川・海岸構造物、舗装などの土質構造物の築造をインテグレートして築造すること、すなわち“諸要素を統一体にまとめあげる”ことにあり、それによって、従来の工事を著しく合理的、能率的に遂行し得るだけでなく、新しい形式の土質構造物をも出現させ得る効用をもち、ひいては長期にわたる工費を低減させる効果を伴うものである。

わが国でもごく近年、とみにジオテキスタイルの研究と実際への応用が盛んになってきているが、先進諸国にみられる世界的傾向である。このことをいっそう促進したのは、次のような国際会議の開催であるが、その他、地域内あるいは国内での会議も、最近は、1年間に3、4回開かれているのが現状である。しかし、これはわが国のことではない。

1977年：土質技術におけるファブリックの使用に関する国際会議 (パリ、フランス国立橋梁・道路研究所主催)<sup>1)</sup>

1982年：第2回国際ジオテキスタイル会議 (ラスベガス、国際産業繊維協会主催)<sup>2)</sup>

1984年：土木工学におけるポリマーグリッド補強に関するシンポジウム (ロンドン、英国科学工学研究評議会・ネトロン社主催)<sup>3)</sup>

1984年：国際ジオメンブレン会議 (デンバー、国際産業繊維協会主催)<sup>4)</sup>

1986年：第3回ジオテキスタイルに関する国際会議 (ウィーン、国際ジオテキスタイル学会 (IGS) 主催、約700名出席)<sup>5)</sup>

さかのぼって、フランスの Vidal, H. が1966年に発表したテールアルメ (Terre Armée) は、テキスタイルではなくメタルストリップを用いたものであったが、土質構造物の補強という点で、ジオテキスタイルの発展に刺激を与えたことは否定できないように思われる。

この研究展望では、その技術が新しく、しかも英米の対応があまりに活発であるため、日本では、研究に従事している技術者でさえとまどっている状態であるので、ジオテキスタイルの沿革、効用、最近における分類の方法、最近の内外の研究成果、基準化など、総合的に論述することにしたい。

#### 2. ジオテキスタイルの沿革

現在、ジオテキスタイルといえば、合成樹脂製のことを指すが、歴史的には、古代から最近まで使われていた、著者のいう“天然ジオテキスタイル (natural geotextiles)”の延長上にあって発展しているところがある。イングランドの Rankilor, P. R. との個人的な話によれば、天然ジオテキスタイルの語も悪くないが、もし新しく造語するとすれば、ジオガニックス (geoorganics) がよいであろうということであったが、天然ジオテキスタイルに比べてわかりにくいのではない

\* 正会員 工博 九州産業大学教授 土木工学科  
(〒813 福岡市東区松香台2-327)

かと思われる。

紀元前4000年のメソポタミアに、天然ジオテキスタイルを応用して築造されたジグラート（高台の神殿）が残っていることは、イギリスの関係工学者がしばしば指摘することであるが、おそらくその技術が伝わったのではないかと思われるのは、古代中国の土質構造物であり、シルクロードに沿う仏塔や、西域に近い万里の長城に天然ジオテキスタイルを応用したものが、2000年の風雪に耐えて現在でも残っている<sup>14)</sup>。その後、中国で天然ジオテキスタイルの技術が少なくなったのは、唐の時代に土質構造物の築造が天日干しれんが積み変わったためである。

日本での天然ジオテキスタイルは、竹蛇籠が古事記に現われることに始まっているが、おそらく朝鮮半島から伝わった技術であったように思われる。かなり降って封建時代になると、“粗だ”が軟弱地盤対策としてところどころで応用されるようになり、明治維新後は、オランダの技術者の推奨によって河川改修工事に頻用され、昭和30年代にまで、種々伝統工法として応用されてきた<sup>14)</sup>。

的確な概念を伴わなくて、1つのアイデアとして合成ジオテキスタイルが応用された例は、1959年の伊勢湾台風災害対策工事にシートが応用されるなど、いくつか回顧されるが、粗だ工法に代わる工法として、合成シートを使うファゴット工法（ファゴットは粗だの英語、fagot）が1960年代後半に、軟弱地盤対策の1つとして考案された。しかし、やがて材料の抵抗力、特に剛性の欠如に問題があることがわかった。同時期に著者によって提示されたプラスチックネット（工学的にはジオネット）に代わることになり、いわゆる“敷網工”として広く普及した。

これは、著者が軟弱地盤の拘束（restraining）という概念のもとに行った研究<sup>14)</sup>の一環であったが、現在、国際的には補強（reinforcement）なる概念のものに包含される。

補強対策としてのジオテキスタイルは、その後もっぱらプラスチックネットを中心に盛土斜面の補強にも発展したが、パイオニアとしては1972年に始まる国鉄の堀松の研究<sup>14)</sup>が挙げられる。

一方、関東ロームなど高含水比の土による盛土に透水性合成フェブリックをサンドフィルターの代わりに応用されることが、1970年代から各所で試みられるようになったが、その濫ちようを著者は詳らかにし得ない。沔過（フィルトレーション）、排水（ドレーン）を目的とした透水専用フェブリック材料の種類はあまりに種々さまざまであったし、それら材料の表面の性質によっては、斜面のすべりを促さないかが議論された時期もあった。

ごく最近になって、ポリマーグリッド（polymer grids, 工学的にはジオグリッド（geogrids））とよぶ、ヤング率は及ばないが、引張り強度が軟鋼に匹敵するほど剛で、しかも土質構造物の補強に至便な構造をもつグリッドが1979年に出現し、それまでのプラスチックネットはこの材料に代わる傾向を生じている。しかし、この材料の用法はもっぱら土質構造物などの“補強”を目的としている。そして、この材料によって種々の新しい土質構造物が考案されつつある。

広義のジオテキスタイルに含まれることの多かった、いわゆるジオメンブレン（geotechnical membranesの略）は、前掲1984年開催の国際会議の刺激によって、これも急速に発展しつつある。

一方、竹蛇籠なるものが、封建時代から日本の伝統工法の1つとして長く使用されてきたが、大正末期に鉄線蛇籠に代わっていた。しかしその腐食性などの理由により、近年以前のように使用されなくなっていたものの、ポリマーグリッドの出現によって、今後“ポリマーグリッド蛇籠”が普及するのではないかと考えられる。現にある防潮堤に、1個が20トンの蛇籠（世界最重の蛇籠）の設置が某港で計画されている。

たとえ、土質構造物をインテグレートして築造し得ることがジオテキスタイルの優れた効用であるとはいえ、天然ジオテキスタイルに比べてコスト高となるため、インドなど、開発途上国ではまだ、プラスチックネットへの関心が進んでいる段階である。しかし、自国に油田をもつマレーシア国では必ずしもそうでなく、ポリマーグリッドへの関心が深く、研究もすでに始まっている。

Giroud, J. P.（フランス人、在アメリカ合衆国、1986年から国際ジオテキスタイル学会（IGS）会長）のこの数年間における研究活動、特にジオテキスタイルに関しての総合的な取りまとめとコミュニティ活動はきわめてめざましく、この研究展望でも、同氏の発表を多く引用することになることをあらかじめお断りしておくたい。

### 3. ジオテキスタイル材料の分類・名称

#### （1）ジオテキスタイルとジオメンブレン

広義の意味でのジオテキスタイルは、1984年に不透水性のものと定義されたジオメンブレン<sup>7)</sup>なども包含させて使われることが多い。しかし、1984年にイングランドから創刊された唯一の関係ジャーナルは、International Journal of Geotextiles and Geomembranesとして、ジオメンブレンを併せて掲げているし、1990年にハーグで開催される第4回国際会議は、International Conference on Geotextiles and Geomembranesと変わることになっている。

表—1 ジオテキスタイルの大別

工 学 的 名 称	材 料 的 名 称
ジオファブリック (geofabrics)	織 布 (woven fabrics)
	不織布 (nonwoven fabrics)
ジオネット (geonets)	プラスチックネット (plastic nets)
ジオグリッド (geogrids)	ポリマーグリッド (polymer grids)

(2) 狭義のジオテキスタイルの大別法

狭義のジオテキスタイルのなかで、ファブリックの種類と名称は、年を追って変化しており、土質技術者を混乱させているが、その他のジオテキスタイルと合わせて、表—1 に示すように大別すれば、コミュニケーションのうえでは、ほぼ不便がないように思われる。

これらは、軟から剛へと列記されているが、それはまた材料開発の歴史的経過でもある。また、パーチカルドレーン材や、フィルター材あるいはドレーン材などのように、軟らかいファブリックと剛な材料とを組み合わせる既製品とした複合材も、数年前からメーカー側から供給されていて、その数も決して少なくない。広義のジオテキスタイルのメーカー数は、世界で実に百数十社に及ぶ。

ジオネットは、かつてメッシュ (mesh) ともよばれていたが、最近はネットに統一されつつあり、その製品はわが国だけでも4社から供給されている。またグリッドは英語のうえでは直交に限るとされるが、現在入手できるのは、ブランド名でテンサー (Tensar) とよばれるものだけである。高密度ポリエチレンを素材とするプラスチックネットとはほぼ同材料を素材として製造されるポリマーグリッドは、ともに、イングランドの Mercer, F. B. の発明によるもので、後者は1979年に発表されている。このポリマーグリッドの特長は、延伸によって軟鋼に匹敵する引張り強度を与えることを可能にしたこ

とと、新しい形態の土質構造物の出現を可能にした独特の構造をもっていることである。ともにイングランド人の英知によって考案されたものと高く評価されている。

このような国際的造語は、新用語が欧米からもたらされることに慣れているわが国ではきわめて困難で、このことはまた、ある新しい概念を提示するときの造語についてと同様に、大きなハンディをもつことを免れない。しかし、これはジオテキスタイルに限ったことではない。

(3) さらに新しく出現した用語

ジオテキスタイルやジオメンブレンのような土質工学的合成材料を総合した、“ジオシンセティック (geosynthetics)” なる用語が1985年に提示され、さらに、EPS (expanded polystyrene) とよぶ合成超軽量盛土材の実用化に伴い、それらを包含する用語として、“ジオプロダクト (geoproducts)” なる用語が提示されるに至っている。これらはほとんど、前出の Giroud<sup>9)</sup> によって提示されたものである。Giroud がそれらを英語によって行っているとはいえ、造語をよくするフランス人であることに負うところが大きいといえようが、このように、ジオテキスタイル (広義) の分野では、日本語訳をつくるには適語がなかったり、あるいは対応にいとまがないことによって、この分野ではカタカナ書きの用語が年を追って増加するばかりである。表—2 は、Giroud<sup>9)</sup> がごく最近提示したジオプロダクトの分類法であるが、合成材料のみならず、土質工学的に応用するす

表—2 Giroud の提案するジオプロダクトの分類 (Giroud, 1986)

大 き さ	寸 法	タ イ プ	材 料	
微視的 ジオプロダクト	一次元的	ファイバー, フィラメント, つむぎ	シンセティック	
	二次元的	微視的グリッド	鋼	
巨視的 ジオプロダクト	二次元的	ケーブル ストリップ	ガラス	
		棒 (“釘”)	鋼	
	二次元的	ジオファブリック	グリッド	通常, 合成化学製品 (ジオシンセティック)
			ジオテキスタイル ウェッピング マット ネット 成型シート	
			ジオテキスタイル ウェッピング マット ネット 成型シート	
			アスファルト (通常, 合成ファブリックと併用)	

注：ここでジオシンセティックは、平面構造のポリマー製品を含む。

すべての材料を包含させており、材料の微視的、巨視的な見方による大別法に基づいている。この表によれば、ジオテキスタイルは、種々のジオプロダクトのうちの一部にすぎないことになり、ジオテキスタイルなる語はもはや広義の意味には使えなくなる傾向にある。

#### 4. ジオテキスタイルの工学的機能

ジオテキスタイルの分野では、機能 (function) がよく論じられ、種々その分類法が提示されているが、著者がそれらのうち、最もよく整っていると考えられる Giroud<sup>5)</sup> による分類法を、表一3~5 によって紹介することにする。

表一3 ジオテキスタイルの性質と機能・目的・配置との関係 (Giroud, 1985, 1986 による)

性質	機能	目的	配置
厚さ	液体の移送	過剰水分の除去	1種類の土の中
透水性			
連続性	戸過作用	バイピングの防止	界面
	分離	混合の防止	界面
	保護	損傷、破壊の防止	界面
引張強度	引張を受けるメンブレン	補強を加える	界面
	引張部材	同上	1種類の土の中
摩擦			

表一4 ジオテキスタイルの応用と機能との関係 (Giroud, 1985, 1986 による)

応力のカテゴリー	応用分野	応用のタイプ	機能				
			液体の移送	戸過作用	保護	分離	引張メンブレン
水理学的応用	排水	フィルターなしのジオシンセティック排水 フィルターを伴うジオシンセティック排水(ジオ複合体) 礫排水、パイプ	×	×			
	侵食のコントロール	堤体面保護 侵食マット シルトフェンス、シルトカーテン		×		×	
ジオシンセティック工事	収容体	コンクリート型わく工、砂のう(水搬送盛土) 蛇籠、砂のう		×			×
	ジオメンブレン的支持	橋渡し クッション			×		×
土質工学的構造物	道路、鉄道などの交通路	アスファルトのオーバーレイ 舗装しない道路(大きなたわみ) 路盤(小さなたわみ)、バラスト			×		×
	土の補強	補強擁壁、斜面、盛土					×

表一5 機能と材料の関係 (Giroud, 1985, 1986 による)

ジオシンセティック	機能	土	伝統的材料
ジオメンブレン	液体の遮断	粘土	
マット	表面保護	礫	
ネット、ワッフル	液体の移送	砂	パイプ
ジオテキスタイル	戸過作用	砂	
	分離	砂	
ウェビング、ジオグリッド	界面保護		
	引張メンブレン		鋼グリッド
	引張部材		鋼ストリップ

表一3は、材料の物理的ないし、力学的要因と機能、応用目的、土中での配置についての基本的な関係を示したもので、ごく大まかに大別するときの種々の機能はほぼすべてを包含しているようにみえる。

表一4は、応用のカテゴリーを3大別して行ったもので、応用分野、応用タイプと機能との関係を表示していることがこの表の特長である。

表一5は、さらにジオシンセティックについての機能を土と伝統的材料との関係を表示したもので、1つの材料が複数の機能を発揮することが、この表によってよく理解できるであろう。

## 5. ジオテキスタイルの工学的および力学的分類

### (1) 国際会議での部会の分類

過去3回にわたる1977年以來のジオテキスタイル国際会議、1回のジオメンブレン国際会議、および1回のポリマーグリッドのシンポジウムの部会の標題は、次に列記するとおりであり、かなりの変遷がみられるが、いずれの会議でも、急速な研究と技術の発展に対応して、かなり苦心の跡がうかがわれる。そして、それらは広義のジオテキスタイルの1つの工学的分類法でもあるといえる。

- ① 第1回ジオテキスタイル国際会議(パリ, 1977年)
- 地中土と工事材料の界面でのファブリック
- 多層系土・ファブリック系
- 土・ファブリック相互作用のメカニズム
- フィルターを含むファブリックの機能化

排水  
圧密  
試験と示方書

この会議では、部会名を工学的ないし力学的に分類している。

- ② 第2回ジオテキスタイル国際会議(ラスベガス, 1982年)

排水  
ダム  
侵食の抑制(コントロール)  
舗装を施さない道路  
舗装道  
鉄道  
擁壁と基礎  
斜面と盛土  
耐久性  
性質と試験  
国際的基準

この会議では、土質構造物名を大きく打ち出している

ほか、前回の会議で掲げていたいくらかの工学的問題を残しており、また、国際的基準を新しく提示しているが、圧密が取り去られている。

- ③ ジオメンブレン国際会議(デンバー, 1984年)
- 築造と市場
- 貯水場のライナーと浮き被覆
- 耐久性
- 運河、河川およびトンネル
- 縫い目と漏出のモニタリング
- ジオテキスタイルとジオメンブレンとの複合材
- 設計と示方書

このジオメンブレン会議の部会名が、ジオテキスタイル会議に比べて、かなり狭少になっているのは当然のことであるが、そのうち、ジオテキスタイルとの複合材をも掲げていることを特徴とする。また、ジオテキスタイル会議と比べて、縫い目と漏出という、特に現場の施工上の問題を取り上げていることが、大きな相違点として指摘されるであろう。また、“引張応力を受けるメンブレン(tensioned membranes, stressed membranes)”なる用語がこの会議で使われるようになったことは、それがジオメンブレンの力学的特徴の1つであることを示している。

- ④ 第3回ジオテキスタイル国際会議(ウイーン, 1986年)

道路と鉄道への応用  
基礎と補強盛土  
斜面保護と擁壁  
侵食の抑制  
特別の応用  
排水(ドレーン)と汜過(フィルトレーション)  
防水とライナー(不透水性被覆工)  
性質と試験

この会議では、前回はほぼ踏襲して、土質構造物の種類を掲げているほか、本来、ジオメンブレンに属する問題を加えており、この会議がジオメンブレン会議をも包含する姿勢を示している。性質と試験は残ったが、耐久性が姿を消している。このような変化は、Giroudの主張に負うところが大きい。同氏<sup>3)</sup>による広義のジオテキスタイルの使用上の概念は、図一1(1980年)によって理解できるであろう。

### (2) 力学的観点による分類

力学的観点による広義のジオテキスタイルの分類は、これまでもいくつか提示されているが、これについてもまた、Giroud<sup>4)</sup>による方法が最も整っているばかりでなく、現状に最も適応しているように思われる。

図一2は、ジオテキスタイルに加わる応力の状態を分離したもので、応力が1要素的に作用するものと、複合

的に作用するものとに大別し、またそれらを分布荷重、集中荷重とに分けて図示しているほか、作用する応力の方向（直交的と平面的）とその数を示している。

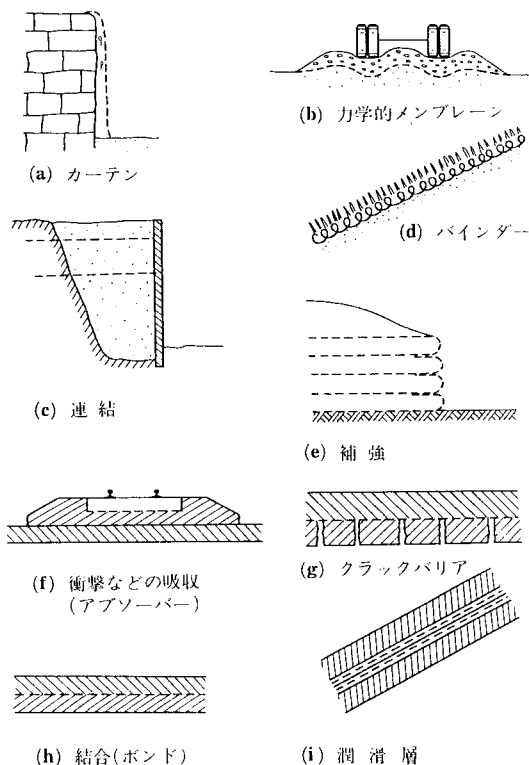


図-1 A ジオテキスタイルの工学的使用法 (Giroud, 1980)

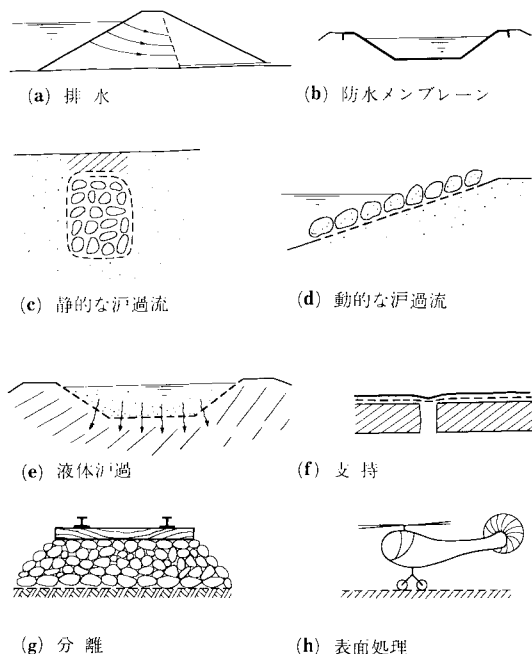


図-1 B ジオテキスタイルの工学的応用法 (Giroud, 1980)

図-3は、図-2に示されている応力状態をモデル化したもので、それらはそのまま室内のエレメント試験に適用できるであろう。また、試験法の基準化に対しても示唆するところが多い。

図-4は、ジオテキスタイルと土との間の相互作用を変位で分類したもので、引抜き試験における、対カバーの支持体の変位と対カバーのジオテキスタイルの変位とを座標として、土・ジオテキスタイルの相互作用をほとんどカバーしている。

図-5は、図-4で示した室内引抜き試験の状態と、それぞれ対応する現場でのジオテキスタイルの挙動との関係を示した基礎的な分類法であり、よく取りまとめられていると評価できる。そして、ジオテキスタイルの土質力学上の研究のため示唆を受けるところが多い。

### 6. 内外における最近の主な研究成果

この数年間の国内外、特に先進諸外国における研究発表はかなりの数にのぼり、また、ごく最近開催された第3回国際ジオテキスタイル会議の発表論文は250編にも及んでいる。したがって、それらに目を通し得ない状態であるので、重要な研究成果を見落とす懸念があるが、次に主として設計法にかかわる研究成果のいくつかを紹介し、若干の見解を加えることにしたい。

#### (1) 外 国

##### a) 補強盛土

わが国よりもかなりリードして発達した英米の補強盛

	分布荷重	集中荷重	応力の方向数	
要素的	圧縮 	パンチング 	1	0
	引張 	引き裂き 	0	1または2
	せん断 	引っかき 	0	1または(2)
複合的	メンブレン 	破裂 	0	2
	三軸 	バンク破壊 + 引き裂き + 引っかき 	1	(1)または2**
	曲げ 	折り曲げ 	0	(1または2)

図-2 ジオテキスタイルに作用する応力の分類 (Giroud, 1980)

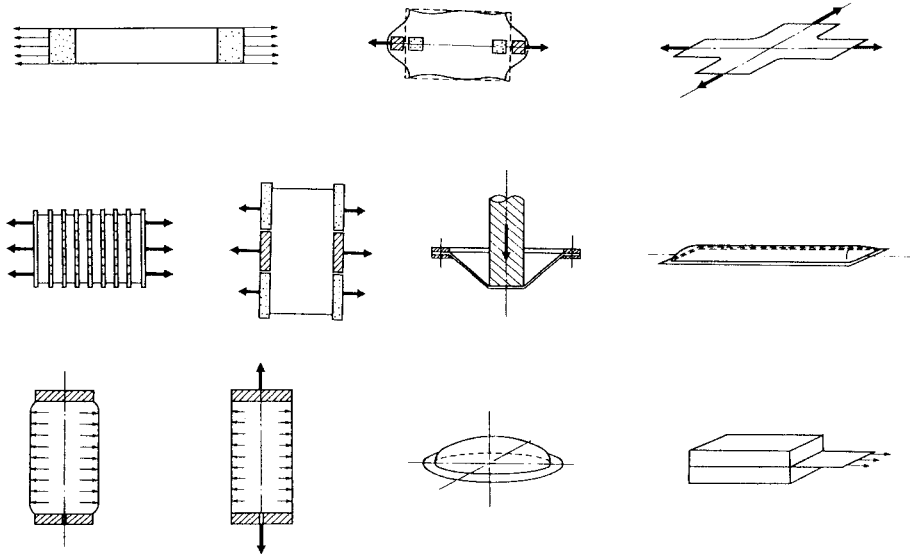


図-3 ジオテキスタイルの種々の引張り試験の図化 (Giroud, 1980)

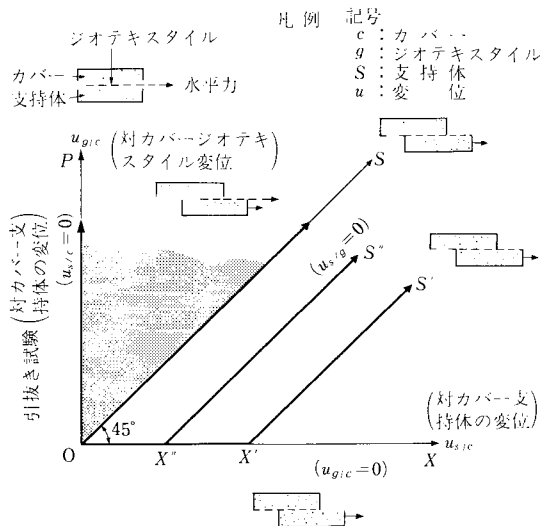


図-4 ジオテキスタイルの引抜き試験におけるカバー、ジオテキスタイル、支持体の相対変位 (Giroud, 1980)

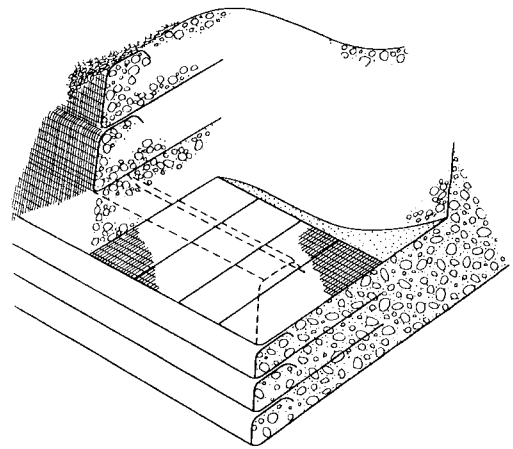


図-6 ポリマーグリッドを用いて築造する巻込み式急勾配補強盛土

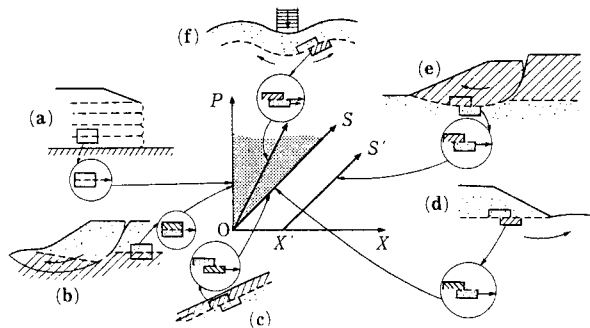


図-5 ジオテキスタイルの引抜き試験 (図-4) の方法と現場での変位状態との関係 (Giroud, 1980)

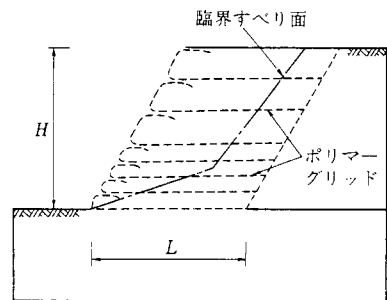
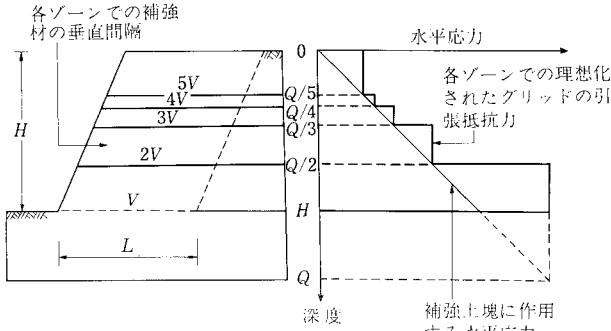


図-7 くさび破壊に基づく補強体モデル (Jewellら, 1984)



注：V：転圧基準層厚さ、 $Q = T_D / K \gamma V$  ( $T_D$ ：グリッドの設計強度、 $K$ ：土圧係数、 $\gamma$ ：土の単位体積重量)

図-8 ポリマーグリッドの敷設高さ間隔の決定法 (Jewell ら, 1984)

土の研究のうち、主として一軸延伸によるポリマーグリッドによってのみ実現可能な、剛な壁面を施さない (non-facing) 急勾配盛土は、図-6 に示すような築造法によるもので、最近における最も独創性の高い土質構造物として評価される。その設計法についての研究は Jewell ら<sup>10)</sup> によるものが優れており、日本でもこの方法が普及しつつある。

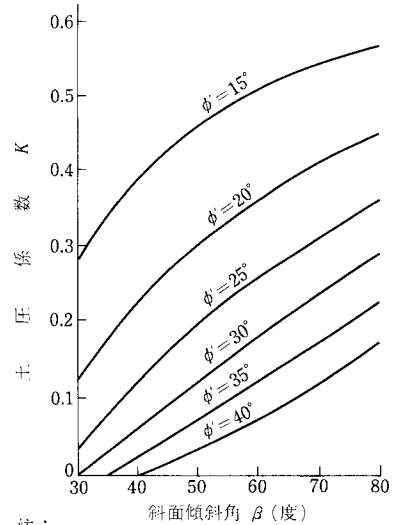
この方法は、グリッドが敷設されるその縁端までの斜面の菱形の土塊を、図-7 に示すように補強体として、内的安定と外的安定のチェックを行うものである。グリッドの敷設長は、敷設前の臨界せん断すべり円の中心についての、定着長部分の引張り抵抗力のモーメントと土の自重によるモーメントとの、安定率を考えたつり合いによって決定され、グリッドの敷設高さ間隔は、その引張り抵抗力が土圧分布とつり合うようにして決定される (図-8)。この土圧係数の決定のため、図-9 が提示されている。外的安定性のチェックは、補強体を重力式擁壁の場合に行う安定計算のように、体底での支持力とすべりについて行う (図-10)。

このような補強体についての内的・外的安定性をチェックする手法は、ロックボルトでも行っており、最初、フランスの技術者によって提示されたものである。

b) 軟弱地盤の補強

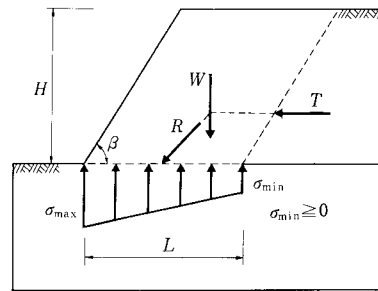
ジオテキスタイルを用いて行う軟弱地盤を補強して、盛土の沈下を抑制する研究のうち、Rowe<sup>12)</sup> によって発表された研究成果を紹介したい。これは、あるファブリック (織布) をピート地盤に敷設して盛土を行うときの地盤の動きを、平面ひずみ状態で FEM 解析を行い、地盤の変形および塑性領域破壊領域を調べたもので (図-11)、現場での観測結果とも対比している。

特に、土とジオテキスタイルは、土のせん断強度以内の応用範囲においては一体化した複合体として取り扱

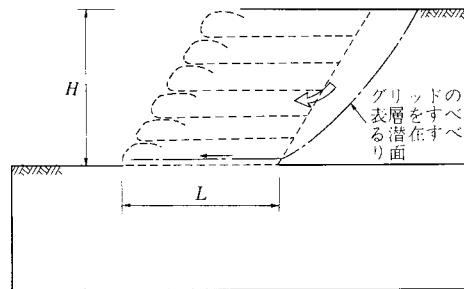


注：WAGGLE コンピュータープログラムによる

図-9 土圧係数  $K$  と斜面傾斜角  $\beta$  および土の内部摩擦角  $\phi'$  の関係 (Jewell ら, 1984)



(a) 支持力のチェック



(b) すべりのチェック

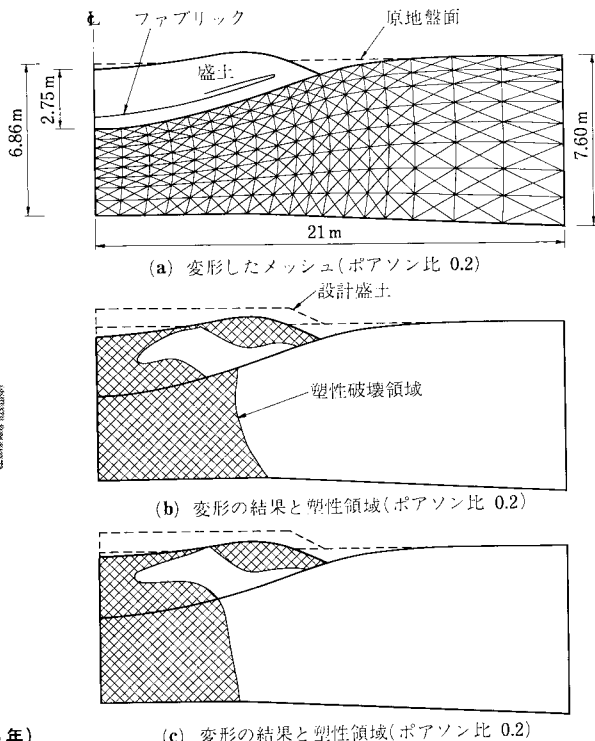
図-10 補強体の外的安定性のチェック (Jewell ら)

い、土のせん断強度以上の応力になって土とジオテキスタイルの間ですべりが働く場合との2段階について解析しているだけでなく、設計のため、FEM 解析によって得られた結果に基づいて、数種の計算図を示していることを特長とした研究で、ASCE の受賞論文 (1985 年)





写真—1 第3回国際ジオテキスタイル会議(ウイーン, 1986年)を記念したオーストリアの郵便切手と記念封筒(1986年4月)

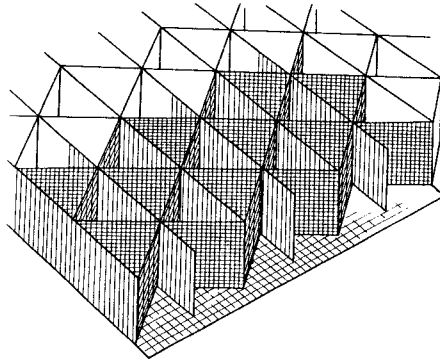


図—11 軟弱地盤上にファブリックを敷設して盛土を行った場合の地盤の変形および塑性破壊領域 (Rowe, 1984)

表—6 第20回土質工学シンポジウム“ジオテキスタイルを用いた工法”において発表された論文の分類

材 料	力学的分類	特 徴
織 布	支 持	敷シート工の挙動
ファブリック	支持	遠心装置による実験
	支持	力学的諸要因の計測
	支持	支持力破壊の機構
	支持(舗装表層)	オーバーレイへの応用
	支持	超軟地盤上の盛土
	盛土の補強	砂との摩擦性状
	盛土の補強	中空円筒供試体での三軸試験
	濾過	Self-induced filter 生成の確認
	濾過	透水性
	排水	暗渠における排水能力
排水	暗渠における排水能力	
排水	水理学的, 海岸工学的	
排水	不飽和~飽和流への効果	
排水	汚染泥の処理	
不織布と織布	試 験 法	総合的試験
織布とプラスチックネット	擁 壁 分 離 盛土の補強	大型実験, アンカー併用 噴 泥 対 策 諸断面の盛土
プラスチックネット	支 持	置 換 工 法
ポリマーグリッド	盛土の補強 盛土の補強 引張強さ	FEM解析上のくふう Jewell らの設計法の検討 動的荷重の影響
複 合 版	排 水	垂直・水平ドレーン併用

注: フランスの技術紹介の1編を省いた.



図—12 ポリマーグリッドを用いて築造するジオグリッドマツレスの骨組

となった。

ポリマーグリッドを用いて築造するジオセルマットレス (geocell mattress) (図—12) とよばれる工法は、一軸延伸材に限っているものの、急勾配補強盛土工法とともにユニークな工法である。独創的評価からいえば、これもテールアルメに類似する補強土擁壁工法より勝っているといえる。これの設計法は、すでに提案されているものもあるが、まだ納得のゆく計算法は発表されていない。なお、弾性支承上の版として計算することもできるが、ジオセルマットレスの特長とするマットレス内の隔壁グリッドの作用を取り入れるのでなければ、適切な設計手法とならないであろう。

敷網工は、特に日本で開発されて発展した工法であるが、欧米でも常識的な工法になっていて、第3回国際ジオテキスタイル会議を記念したオーストリアの記念切手と記念封筒にもこの類似工法が描かれている(写真—1)。

#### c) その他

ポリマーグリッドを用いる工法は、欧米、特に英国を中心として、ジオセルマットレスを応用した砂防のためのジオセル擁壁をはじめ、河川の護岸・防潮堤の防護・排水工・アースダムのような水工構造物にまで実績を得つつあるだけでなく、アスファルト表層の補強やコンクリート版の補強にも及んでいるが、水理学的研究のほかは、まだみるべき理論的研究は現われていない。

ファブリックを応用して行う沓過(フィルトレーション)についての研究もあるが、古典的水理学を応用する範囲を出ていないように思われる。

数年前までは、三軸圧縮試験など、エレメント試験による研究もいくつか発表されていたが、最近では構造物についての解析的研究や現場での観測結果を報告した論文が増えている。

#### (2) わが国

わが国における最近のジオテキスタイルの研究成果

は、昨年(1985年)、第20回土質工学シンポジウム“ジオテキスタイルを用いた工法”論文集<sup>2)</sup>にはほぼ集約されている。表—6は表—1に示したジオテキスタイルの大別法(表—1)に従って、24編の発表論文を分類したもので、同表によって、最近のわが国における研究の動向とその成果がうかがわれるであろう。

表—6によって知られるように、研究発表はファブリックに関する研究が最も多く、したがってまた、沓過、排水に関する研究が多いのは当然のことであろうが、ファブリックによる補強の研究も行っているのが、欧米と異なった特徴といえるかもしれない。一方、ネットやグリッドは当然のことながら、分離、支持、盛土の補強、擁壁についての応用について研究されている。このシンポジウム論文のうち、数編が、前出の Int. Jour. Geotextiles & Geomembranes の日本特集号(1987年)に発表される。

その研究発表のうち、地震時の安定性にかかわる盛土補強材(ポリマーグリッド)の弾塑性的設計法のアプローチの研究がある。アメリカの Bonaparte ら<sup>1)</sup>もまた、地震時の問題を取り上げていて興味深いのが、容易な研究とは思われない。

(1) で紹介した諸外国でのジオテキスタイルの研究と比べて、わが国ではまだより狭い応用範囲での研究にとどまっているといえるだろう。

## 7. ジオテキスタイルの基準化

基準化も研究の一分野であり、それによって現場技術者にひびくところが多い、多種多様のジオテキスタイル、特に本文でいうファブリックについての基準化は、必ずしも容易ではない。現在、わが国内で基準化されているものは、国鉄での盛土斜面のプラスチックネットによる施工厚管理材についてだけである。

国際標準化機構(ISO)では、テキスタイルに関する技術委員会が、“ジオテキスタイルに関する小委員会”を設置し、1985年にイングランドで委員会が日本を含む17か国から43名の参加者を得て開かれている。その結果によるワーキンググループとして、

GT 1 用語

GT 2 同定とサンプリング

GT 3 力学的性質

GT 4 水理学的性質

を設置した。

このほか、各国内における標準化は、英国、IFAIなどでも進められており、日本では土質工学会ジオテキスタイル研究会のワーキンググループで作業を進めている。ところが、前出第3回国際ジオテキスタイル会議では、IFAIによる“Inventory of Test Methods and

Standards” が仮の報告書となって提示されたので、日本のみならず、各国ともこれを参考にすることが多くなるだろう。

ジオテキスタイル関係のシンボルは、IGS によって採用された Giroud の記号表<sup>6)</sup>が現在最も権威あるものとされ、一例を挙げると、単位幅当たりのジオテキスタイルの力を  $\alpha_e$ 、ジオメンブレンの力を  $\alpha_f$  とするよう、いくつもジオテキスタイル特有のシンボルが提示されている。

## 8. わが国における今後の課題

土質工学的工法はもともと、それぞれの国の土と地盤条件を対応して発達するものであり、それも、かつて超軟弱地盤を克服するために日本で考案された敷網工のように、必要度の高い対策から手がけられているので、諸外国で行われているすべての工法を、研究あるいは実施する必要はあまりないように思われるが、わが国における今後の問題として、研究上考慮すべき二、三の課題を挙げるとすれば、次のようなことであろう。

(1) 個々の現象を調べ、新しい知見を研究成果とすることについてはよく行われているが、土工学の眼目である設計法の提案については、欧米においてリードされがちである。欧米のそれが、十分な基礎データや実績を積まないうちに提案されることが多いとはいえ、実用に供し得るように研究をとりまとめる欧米の学風には学ぶところがあるように思われる。

(2) わが国の土と地盤条件を考えると、ローカル土あるいは特殊土に適した研究や、わが国で欠かせない耐震上の研究を、もっと重視して進めることが必要であろう。耐震設計は、小変位にとどめることが要求される擁壁などの土質構造物において必要度が高い。しかし、テールアルメでもまだ耐震設計は確立されていないので、この研究は容易ではないだろう。

(3) 港底あるいは湾底のシルト質粘土を用いて、浚渫によって土地造成を行うことの多いわが国では、いわゆる軟弱地盤を対象としたジオテキスタイルの研究は依然として重要であり、ジオグリッドマットレスの研究も新しい課題として研究するに値しよう。その際、中詰め材料は英国のように、砂利、碎石が、そして砂さえも豊富には使用できないことを考慮すべきであろう。

(4) ファブリックの多種多様性は、研究成果を、必ずしも一般性をもつものでなくしているところがあるので、困難ではあろうが、これまでのファブリックは、ある程度の規格化が望まれる。そして、それはもはや不可能ではないように思われる。

(5) アースダムなどの水工構造物、あるいは道路表層への応用へのジオテキスタイルの応用については、わ

が国では研究が特に少ないので、今後の研究と開発が期待される。また、汚泥処理やしらすダムなどのためのジオメンブレンの研究開発についても同様である。

(6) 天然ジオテキスタイルはジオシンセティックに比べて応用範囲が狭いとはいえ、開発途上国との技術交流を考えると、リクリエートした研究を行うことも意義のあることと考える。これは米英において、開発途上国のために、低コスト・エネルギー節減工用材料 (low-cost and energy-saving construction materials) の研究を行っていることと同じ趣旨である。

(7) プラスチックネットやポリマーグリッドは英国の開発によるものであるが、今後土質工学的応用を考えて、つまりユーザーとの連けいによって、それらを陵駕する材料の開発をメーカー側に期待してもよいだろう。

わが国のコミュニティ活動は、第3回国際ジオテキスタイル会議の基調講演でも評価された。今後、それを基盤としてジオテキスタイルの研究がいつそう発展することを期待したい。

## 参考文献

- 1) Bonaparte, R., Schmertmann, G.R. and Williams, N.D. : Seismic Design of Slopes Reinforced with Geogrids and Geotextiles, Proc. 3rd Int. Conf. Geotextiles, Vienna, Vol.1, pp.273~278, 1986.
- 2) 土質工学会 : ジオテキスタイルを用いた工法, 第20回土質工学シンポジウム, 昭和60年度発表論文集, 1985.
- 3) Giroud, J.P. : Introduction to Geotextiles and Their Applications, Proc. 1st Canadian Symp., Geotextiles, pp.3~31, 1980.
- 4) Giroud, J.P., Arman, A. and Bell, J.R. : Geotextiles in Geotechnical Practice and Research, Report of the ISSMFE Technical Committee on Geotextiles, Int. Jour. Geotextiles and Geomembranes, Vol.2, No.3, pp.179~242, 1985.
- 5) Giroud, J.P. : From Geotextiles to Geosynthetics : A Revolution in Geotechnical Engineering, Proc. 3rd Int. Conf. Geotextiles, Vienna, Vol.1, pp.1~18, 1986.
- 6) Industrial Fabrics Association International (IFAI) : Proc. 2nd Int. Conf. Geotextiles, Las Vegas, 4 vols., 1982.
- 7) Ditto : Proc. Int. Conf. Geomembranes, Denver, 2 vols., 1984.
- 8) International Geotextile Society (IGS) : Symbols for Geotechnical Engineering, Geotextiles and Geomembranes, Int. Jour. Geotextiles & Geomembranes, Vol.2, No.2, pp.243~262, 1985.
- 9) Ditto : Proc. 3rd Int. Conf. Geotextiles, Vienna, 5 vols., 1986.
- 10) Jewell, P.A., Paine, N. and Woods, R.I. : Design Methods for Steep Reinforced Embankments, Polymer Grid Reinforcement, Proc. Symp. Polymer Grid Reinforcement in Civil Engineering, London, SERC & Netlon Ltd., 1984 (または, SERC & Netlon Ltd. :

- Polymer Grid Reinforcement, Thomas Telford, 1 vol., 1985).
- 11) Pont et Chaussée, France : Proc. Int. Conf. Use of Fabrics in Geotechnics, Paris, 3 vols., 1977.
  - 12) Rowe, R.K. : Reinforced Embankment : Analysis and Design, Jour. Geotech. Engrg., ASCE, Vol.110, No.2, pp.231~246, 1984.
  - 13) Science and Engineering Research Council (SERC), Britain, Proc. Polymer Grid Reinforcement in Civil Engineering, London, 1 vol., 1984.
  - 14) Yamanouchi, T. : The Use of Geotextiles in Japan, Proc. Inst. Eng. Malaysia (IEM) & JSSMFE Joint Symp. Geotechnical Engineering, Kuala Lumpur, 1 vol., pp.82~89, 1986 (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, pp.3~10, 1985).

(1986.5.20・受付)

---