

研究展望

Review

【土木学会論文集 第424号／III-14 1990年12月】

研究展望

ジオテキスタイルの土構造物への利用技術の開発

THE USE OF GEOTEXTILES AND GEOMEMBRANES IN GEOTECHNICAL ENGINEERING
—RESEARCH AND PRACTICE—

久 樂 勝 行*

By Katsuyuki KUTARA

1. まえがき

近年、土工の分野で高分子材料であるジオテキスタイルを用いた補強土工法の活用が図られている^{1)~6)}。ジオテキスタイル(Geotextiles)は、Geo(大地、土地)とTextile(織物)の合成語で、Geosynthetics(ジオシンセティクス)との呼び方もあるが、一般にはジオテキスタイルという言葉が多く用いられている。なお、本文では遮水を目的としたジオメンブレンや混合土も含めているので、ジオテキスタイル類とするのが適切であると考えられるが、ここではそれらを総称してジオテキスタイルとする。

ジオテキスタイルは主としてポリプロピレン、ポリエチレン、ポリエチレン等の高分子材料を原料素材としており、それを土中に敷設、あるいは混入させることによって、土塊全体の安定性や強度を高めることができる。土の強度を高める方法としては、従来から締固めや土中水の排除、あるいはセメントや石灰による安定処理の方法などが多く用いられてきたが、ジオテキスタイルを用いた補強土工法は、それらの方法と異なり、ジオテキスタイルの補強材としての引張り抵抗、あるいは土と補強材の摩擦抵抗およびかみ合わせの効果によって土塊全体の強化を図るものである。補強土工法は、施工が比較的容易で、工期が短縮でき、しかも他の材料のものに比べて土構造物の重量を少なくすることができ、工期の節減を図ることができる。また、ジオテキスタイルを用いた土

構造物は柔構造となることから、沈下に追従しやすく、必要に応じて排水や止水の効果をもたせる水利構造物にも利用できる。

特に、最近の土工事においては、用地の制限や残土処理、良質土が得にくいなどの状況下で、以前にも増して安全性の高い土構造物の築造が求められている。また土構造物の耐震性の向上やその築造に伴う周辺地盤への影響の軽減、あるいは緑化、景観等を考慮した土構造物の築造が重要視されるようになってきており、ジオテキスタイルを用いた新しい利用技術の開発は、そのような要求に十分に対応できるものである。

ここで、天然の補強材である木、竹、粗だなどを考慮に入れると、補強土工法の基本的な考え方は古くから存在していた⁴⁾といえるが、近年になって、鉄やジオテキスタイルなどを用いた工法が次々と開発され、それらが土工の分野で実用化が図られている。そこで、ジオテキスタイルの土構造物等への利用開発とその動向について以下に述べることにする。

2. ジオテキスタイルの種類と適用

ジオテキスタイルは高分子材料を素材としているため、土と比較して下記に示すような利点を有している。

- ① 引張りに対する強度をもっている。
- ② 伸びが大きく、たわみ性がある。
- ③ 必要に応じて透水性や止水性をもたせることができる。
- ④ 水に侵食されない。
- ⑤ 軽くて、薄いことから施工しやすい。
- ⑥ 現場で継ぎ合わすことができるなどの加工が容易である。

* 正会員 工博 建設省土木研究所機械施工部土質研究室長
(〒305 つくば市旭1)

Keywords : geotextile, geomembrane, reinforcement, filtration, separation, cut-off

したがって、上記のような特性を生かして、土構造物の強化や安全性の向上を目的としたいろいろの分野にジオテキスタイルが適用されている。

(1) ジオテキスタイルの種類と用途

土構造物に利用されているジオテキスタイルは、その製法や形状、構造などによって各種のものがあるが、それらを大別すると織布、不織布、ネット、マット、ジオグリッド、ジオメンブレン、複合製品、混合土とに分けられる。引張り強度としては、通常の布縫維程度のものから、ジオグリッドのように軟鋼に近い強度を有するものまで、用途に応じた種々のものがある。

ジオテキスタイルの用途としては、表-2に示すものがある。各ジオテキスタイルのもつ補強、分離、排水、済過、遮水といった機能に応じて、いろいろの土木分野に適用されている。すなわち、道路や鉄道、造成地の盛土および擁壁の補強、のり面の保護、あるいは道路、鉄道等の路床、路盤、舗装の強化などに不織布やネット、ジオグリッドなどが用いられている。また、盛土内や擁壁背面および地盤内の排水のためのドレーン材として多く用いられているものに、透水性の不織布、マット、複合製品などが挙げられる。さらに、軟弱地盤における補強や地盤と盛土の材料分離には、織布や不織布、ネットならびにジオグリッドが多く使用されている。河川、海岸、湖沼等における堤体の補強や護岸の土砂流出の防止、あるいは洗掘防止には、不織布や織布、ジオグリッドな

どが用いられている。一方、河川堤防や貯水池、ダム、産業廃棄物の処理施設などの水利構造物では、遮水を目的としてジオメンブレン、あるいはジオメンブレンと不織布、織布等を組み合わせた複合製品が適用されている。

(2) ジオテキスタイルの適用とその基本的特性

a) ジオテキスタイルの適用方法

ジオテキスタイルを実際の土構造物に利用するにあたっては、図-1に示すようにジオテキスタイルの材料特性ならびに工学的特性を把握して、各土構造物の用途に応じた適切なジオテキスタイルを選ぶことが大切である。そのために、ジオテキスタイル単体および土との複合体としての力学的特性や透水性、あるいは現場施工での破損程度などを、適切な試験によって把握しておくことが必要である。さらに、それらの工学的特性に基づく合理的な設計、施工法によって、安全な土構造物を建築するようにしなければならない。

ジオテキスタイルを用いた土構造物の設計法については、欧米諸国では工事の適用例が多く、道路や鉄道、河川、海岸、ダム、産業廃棄物処理施設における基準ならびにマニュアルの整備が図られている^{7)~12)}など。これらのうち、アメリカ道路局のマニュアル⁷⁾や仕様書⁸⁾では、ジオテキスタイルの物性値、評価法ならびに仮設道路を含む補強盛土や軟弱地盤上の盛土、補強土擁壁および排水とフィルターを目的とした地下排水溝、護岸等の設計、施工法を提示している。また、フランスの CFGG で刊

表-1 ジオテキスタイルの種類と製法

種類	素材	製法
1. 織布	ポリエステル、ポリプロピレン、ナイロン、各種ヤーン等	からみ、くくり、織機
2. 不織布	ポリエステル、ポリプロピレン等	機械的・熱的・化学的結合
3. ネット	ポリエチレン等のストランド	押出し機
4. マット	荒くて硬めのフィラメント	接点結合
5. ジオグリッド	ポリプロピレン、ポリエチレン等	一軸または二軸延伸
6. ジオメンブレン	塩化ビニール、ポリエチレン、エチレンプロピレン等の止水シート	機械的押出しなど
7. 複合製品	織布、不織布、ネット、マット、管状排水材などの組合せ材	複合材の組合せ
8. 混合土	連続長繊維、短繊維などと土の混合	現地混合

表-2 ジオテキスタイルの機能と用途

目的	用途	機能
1. 補強盛土	道路、鉄道、造成地、空港等	補強
2. 一般盛土(圧密促進)	同上	排水
3. 補強土擁壁	同上	補強
4. のり面の保護	同上	侵食防止、補強、排水
5. 路床・路盤の強化	道路、鉄道、空港等	分離、補強
6. 舗装の補修、強化	道路等	補強
7. ドレーン工	道路、鉄道、造成地、空港、河川、海岸、貯水池、ダム等	排水、済過
8. 軟弱地盤対策	同上	補強、排水、分離
9. 護岸	河川、海岸、湖沼	分離、済過
10. 堤体補強および遮水	河川、海岸、貯水池、ダム、産業廃棄物処理施設	遮水、補強
11. 地盤処理	海岸、埋立地盤等	分離、補強
12. その他(防草、防塵、防風、汚濁防止等)		

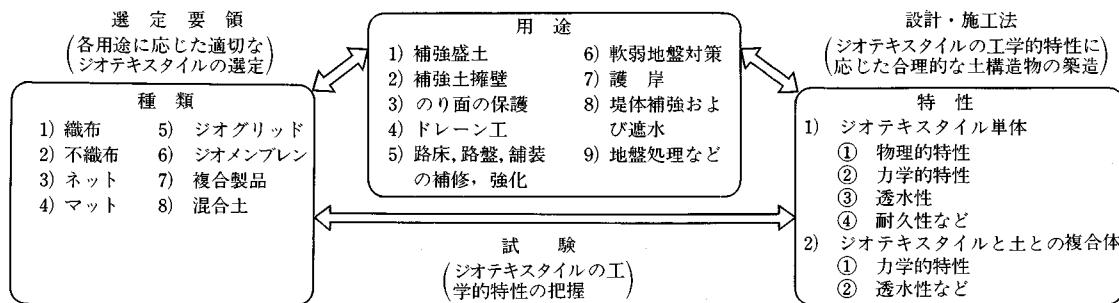


図-1 各用途に応じたジオテキスタイルの適用方法

行されたマニュアル^⑨では、上記のものに加えて、鉄道軌道や公園、運動施設、舗装への適用を含めたジオテキスタイルの利用方法が示されている。このマニュアルでは、現場の技術者が利用目的に応じてジオテキスタイルが容易に選定できる基準が示されていることが特筆される。このほかにも、ジオテキスタイルの適用についての研究成果や試験結果、施工事例などの実績を踏まえた解析や試験法、ならびに設計・施工法を示したもののが、近年多く出されるようになってきている^{13)-19)など}。

わが国においても、ジオテキスタイルを用いた土構造物の適用事例が最近多くなっており、それらの結果を踏まえたジオテキスタイルの設計・施工法のとりまとめも実施されている^{20)-23)など}。

b) ジオテキスタイルの基本的特性

ジオテキスタイルが種々の土構造物に利用されるに従って、各用途に応じたジオテキスタイルが開発され、現在わが国だけでも220種類のものがある。また、品数としても1000余のものがあり²⁴⁾、年々その使用量も増大の傾向を示している²⁵⁾。

各用途に応じた適切なジオテキスタイルを選定し、その設計、施工を行うにあたっては、ジオテキスタイルの特性を把握することが重要である。そのためには、ジオテキスタイルの種類や機能、使用される場所での作業環境への対応性、築造後の長期的な環境要因に対する耐久性などに関する試験を実施して、その適用性を明らかにしておくことが要求される。土構造物に用いるジオテキ

スタイルの特性に応じて、必要と思われる試験項目を表-3に示す。

1) 物理的特性

ジオテキスタイルの物理的特性である重量や厚さ、開口径等は、製品の品質管理の指標となる諸元であるとともに、ジオテキスタイルの載荷時の透水性や土とのインターロッキングの効果などを判断する指標にもなり得るものである。

2) 引張り強度

引張り強度はジオテキスタイルの機能において、条件によっては重要な特性である。特に、補強の場合には最も重要なファクターであり、応力とひずみの関係から設計に用いるジオテキスタイル引張り強さが求まる。試験は、図-2(a)に示すようにひずみが大きくなると、ネッキング現象が生ずるので、試験片の幅と長さの比を2:1程度にした幅広試料を用いた引張り試験が望ましいと

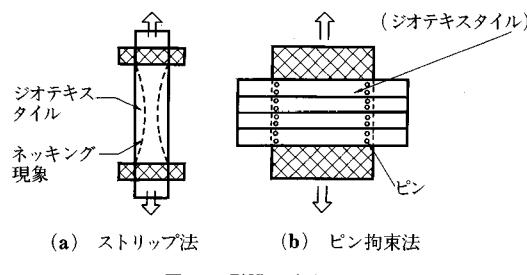


図-2 引張り試験の方法

表-3 ジオテキスタイルに要求される試験項目

特性	試験項目
1. ジオテキスタイル単体	
1) 物理的特性	重量、厚さ、開口径、開口面積率など
2) 力学的特性	引張り強さ、縫製強度、クリープ特性、引裂き抵抗、パンクチャー抵抗、破裂強度など
3) 透水性	透水係数、透水能力
4) 耐久性	紫外線照射抵抗、耐酸性、耐アルカリ性、生物学抵抗など
2. ジオテキスタイルと土との複合体	
1) 力学的特性	土中における応力、ひずみ特性、クリープ特性、摩擦・付着力特性、動的特性など
2) 透水性	土中の透水係数、透水能力、目詰まり抵抗など

いえる。また、土中における不織布の挙動をより再現する方法として、ピン拘束法による²⁶⁾のがよい。さらに、引張り速度は10%/分以下の低速度で行い、盛土材の変形特性に応じた5~10%程度の伸び率に相当する引張り強度や変形係数を求める方法が提案される。

3) クリープ特性

補強材としてジオテキスタイルを用いる場合、長期間にわたってジオテキスタイルに引張り力が作用するため、そのクリープ特性を把握しておくことが重要である。すなわち、土構造物の耐用年数に応じた許容の引張り力のもとで、ジオテキスタイルが長期変形を起こさないようにしなければならない。土構造物の耐用年数としては、50~100年程度を目安とすることが考えられる。

そこで、織布や不織布、ジオグリッドなどのクリープ特性に関する試験が実施されている^{27)~30)}など。クリープ試験は、ジオテキスタイルの最大引張り荷重に対する段階的な荷重を加え、各荷重のもとで5 000~10 000時間程度以上行うことが望ましいとされている。また、クリープ試験の結果は図-3に示すように、各載荷重下における全伸びひずみと対数目盛で表わしたひずみ速度との関係で整理し、ひずみ速度が土構造物の耐用年数を想定したときの全伸びひずみ内に収れんする荷重を求める。この荷重をクリープ荷重として、設計に用いることが考えられる。

4) 浸透特性

ジオテキスタイルの排水、済過などの機能を発揮するうえで重要なファクターである。ジオテキスタイルの浸透特性は、透水係数とともに、厚さが大きく影響するため、厚さ d を含んだ通水能力もって透水性を評価することが行われている。

ジオテキスタイルの透水性は、面内方向と鉛直方向および遮水性に関する種々の試験法³¹⁾が提示されている。

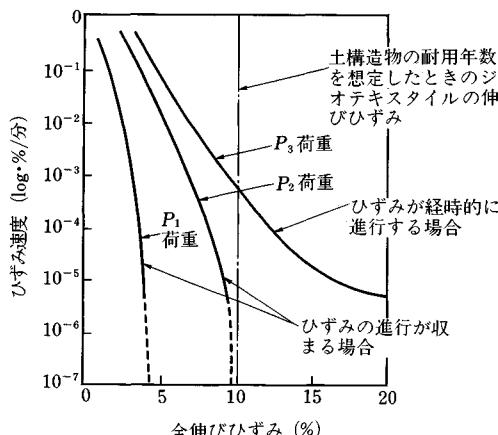


図-3 クリープ試験における全伸びひずみとひずみ速度の関係²³⁾

なお、ジオテキスタイルの透水能力は、載荷重下における面内透水試験によって求めることができる。

5) 耐久性（耐候性、耐化学性、耐微生物性など）

ジオテキスタイルの耐久性は、クリープ特性と同様に土構造物にジオテキスタイルを適用する場合において考慮すべき重要なファクターであり、種々の検討がなされている³²⁾が、長期の耐久性を評価するまでには至っていない。これまでに得られた知見としては、次に示すようなことが挙げられる。

ジオテキスタイルの耐久性は、日光の影響を著しく受けることが知られており、アメリカのフロリダ、アリゾナで実施したポリエスチル不織布の野外実験では、32週間で最大引張り強度の40~20%にまで低下することが報告されている。しかしながら、ジオテキスタイルは通常、土中に敷設または混入されることが多いので、日光等による強度の低下は少ないと考えられている。また、表面が日光にされされるような場合には、保護層を設けるなどの配慮をする。

ジオテキスタイルの耐候性の試験としては、紫外線(UV)カーボンアーケット型耐候性試験が行われる。この試験での500~700時間が、屋外の暴露時間の1年に相当するといわれているので、できるだけ長時間の試験を行うことが望ましいといえる。

ジオテキスタイルの耐化学性は、通常の場合、高いといわれている。しかしながら、ポリエスチルを素材としたものは、耐アルカリ性が懸念されるので、コンクリートに接して用いる場合などでは、耐薬品性試験を行いう必要がある。

ジオテキスタイルの耐寒・耐熱性については、土中で想定される-20°C~+50°Cの範囲では、高分子材料であるジオテキスタイルの安全性に特に問題はないといわれている。ただし、アスファルト舗装の強化や補修、あるいは地熱の影響を受けるような現場では、耐熱性試験を行ってジオテキスタイルの適用性を検討しておくことが必要であろう。

土中に敷設あるいは混入されたジオテキスタイルは、種々の微生物の作用を受けると考えられる。ここで、一般にジオテキスタイルの耐微生物性は優れているといわれている。なお、現状においては室内で耐微生物の促進試験法はないが、現場の土中に敷設されたジオテキスタイルのサンプルを取り出し、経時的な引張り強度の変化を調べたものがある。わが国の結果では、10年程度の経過では、ジオテキスタイルの強度面での劣化がほとんど生じていない報告がある³³⁾。また、アメリカで12年間埋設されていたジオテキスタイル³⁴⁾やフランスの17年間経過したジオテキスタイル³⁵⁾では、化学的、生物的な影響はほとんどみられないという結果が示されてい

る。

上記のジオテキスタイルの耐久性については、促進試験等を含めて長期の検討が今後とも必要である。

6) 耐衝撃性

施工中の重車両の通過、あるいは締固めの際の施工機械の衝撃や碎石等の突起により、ジオテキスタイルが損傷することがある。そのような損傷の程度を室内で把握する試験として、①グラブ引張り試験、②パンクチャー試験、③ミューレン破裂試験、④トラベゾイド引裂き試験、⑤貫入抵抗試験などがある。また、現場での試験施工を通して耐衝撃性を把握する方法もある。

以上述べたジオテキスタイルの試験については、欧米諸国で試験法の検討がいち早く進められ、各国の状況に応じた基準や規格が整備されつつある^{36)~42)}など。わが国においてもジオテキスタイルの材料試験法(案)が作成されている²⁰⁾。

3. ジオテキスタイルの土構造物への適用

(1) 補強材としてのジオテキスタイルの利用

土中にジオテキスタイルを敷設した場合には、ジオテキスタイルと土との摩擦抵抗、あるいはジオテキスタイルの引抜きに伴う抵抗力によって、土の補強効果が期待できる。

1) 盛土の補強

盛土内に図4に示すようなジオテキスタイルがある間隔に敷設して、盛土の強化を図ることにより、豪雨や地震などに対してより安定性の高い盛土を建造することができる。また、山岳地の盛土等では、ジオテキスタイルの補強効果により急勾配の盛土とすることも可能である。補強盛土によって、長大のり面の盛土を少なくしたり、用地や土工量の節減をはかることができ、さらに崩壊した斜面での復旧工事の盛土等にも役立てることができる。

2) 補強土擁壁

用地幅の制限や山岳地での盛土等で、盛土のり面を急

にしなければならない箇所では、図5に示すようなジオテキスタイルを用いた壁面を有する補強盛土、すなわち補強土擁壁が適用されるようになってきている。補強土擁壁は施工が容易で、工期が短縮でき、しかも他の材料のものに比べて、工費の節減を図ることもできる。また、柔構造であることから、地盤や盛土等の沈下に追従しやすいという利点を有している。

なお、補強土擁壁の壁面は、コンクリート製のパネルやブロック形式の壁面工に連結して一体化を図ったり、壁面工と分離するタイプのもの、あるいは壁面工にスライダーを設け、沈下に追従できるようにしたものがある。また、種子を入れた布製の土のうや蛇かご方式のものを積む方法、あるいはソイルセメント、コンクリートによる吹付けなどの壁面工が開発されている。

さらに、連続繊維糸と土とを現場で混合し、それを締固めて土留め壁を建築することも行われている⁴³⁾。この方法は、植物の根にヒントを得てフランスで開発されたもので⁴⁴⁾、土との接触面積が大きいことから、ジオテキスタイルによる補強効果が大きく、しかも混合土に種子

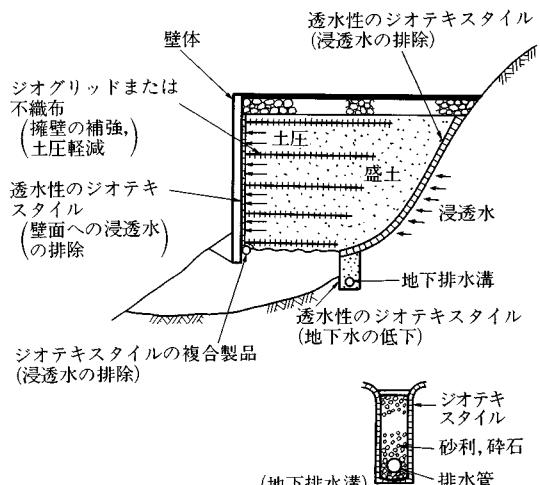


図5 ジオテキスタイルを用いた補強土擁壁

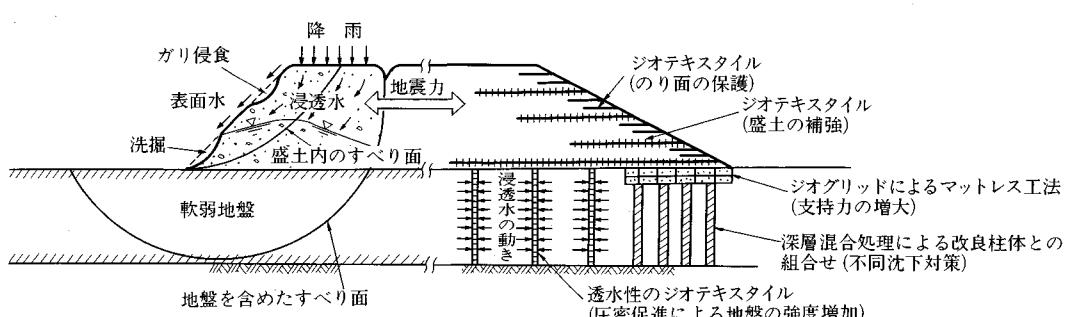


図4 盛土におけるジオテキスタイルの効果

を混入すると、緑化も行える従来にない土留め壁を築造することができる。したがって、景観を考慮した補強土擁壁として期待できるものである。

3) 軟弱地盤の補強

軟弱地盤上に盛土などの土構造物を急速に築造すると、地盤の強度不足によるすべり破壊や、施工機械のトラフィカビリティの確保ができない場合がある。そこで、軟弱地盤の表層あるいは盛土下部にジオテキスタイルを敷設して、地盤の支持力を向上させて施工機械のトラフィカビリティを確保したり、地盤のすべり破壊を防止することが行われている。

わが国においては、軟弱地盤へのジオテキスタイルの適用は、1960年代から始められており、数多くの実績を有している⁴⁾。すなわち、現場の条件に応じた各種のジオテキスタイルを用いた軟弱地盤の補強工法が適用されている。また、埋立地盤等の超軟弱地盤では、地盤表層に敷設したジオテキスタイルの引張り効果によって、上載圧とバランスをとりながら盛土や覆土を行う方法がわが国で特に発達し、広く活用されている。

軟弱地盤での表層の補強としてシート工法が多く用いられているが、その場合のシートに要求される引張り強さは、地盤の土の粘着力の関係から、その値の範囲が提示されている⁴⁵⁾。シート工法で十分な支持力が得られない場合は、シートとロープを併用した工法や、剛性の高いネットあるいはジオグリッドなどを用いた敷網工法が適用される。さらに、超軟弱地盤等では、竹枠を組んだ上にシートを敷くパンプシート工法、あるいはジオグリッドを用いたマットレス工法などが用いられている。また、軟弱地盤に打設した木杭の頭部を網目状に鉄筋で連結し、その上にシートを敷設するパイルネット工法や深層混合処理工法などの固結工法とジオテキスタイルとを組み合わせた工法が、地盤のすべり破壊の防止、あるいは不同沈下の抑制工法として現地に適用されている。このほかに、連続繊維糸と土を現場で混合させた補強土工法を軟弱地盤に適用する方法も検討されている。

4) 層厚管理材としてののり面および盛土の補強

盛土の中にネットや不織布、ジオグリッドなどのジオテキスタイルを敷設して、これらをのり面部まで巻き込んでのり面や盛土を補強する方法が用いられている。また、鉄道盛土では、のり面に2~3mの敷設長のネットを0.3m間隔に敷設する層厚管理材とよばれるものが施工されている²¹⁾。この方法は、ネットを引張り補強材として用いることにより、タイヤローラ等の施工機械ののり肩付近の走行が可能となり、十分な締固めができるとともに、一層ごとの仕上り層厚の管理にも役立つ。それによって、のり面の崩壊や雨裂の拡大が防止でき、降雨に対する安定性の高い盛土の築造が可能となる。

(2) 排水材・沪過材としてのジオテキスタイルの利用

土構造物は一般に、浸透水や地下水などの水の作用によって崩壊する事例が非常に多い。したがって、土中に浸透した水や地盤の過剰間隔水圧を速やかに排除することは、構造物の安定性を確保するうえで重要である。透水性のあるジオテキスタイルは通水能力に優れており、しかもジオテキスタイル内の間隙の間を土粒子が移動するのを防止する機能を有していることから、排水材や沪過材として利用できる。

1) ドレン工

盛土や地盤の地下水位の低下を図るためにドレン工が多く用いられており、ジオテキスタイルは、従来の礫や砂などの代替えのフィルターとして、次のような箇所に使用できる。

- ① 地下水位の上昇などに伴う路床、路盤の脆弱化を防止するために、路側の地下排水溝のフィルター材として用いる。
- ② 盛土内の自由水面の低下を図るため、のり尻部あるいは、水平排水層のフィルター材として利用する。
- ③ 地山からの浸透水を排除するために、図-5に示したように切盛り境部にジオテキスタイルを敷設する。
- ④ 擁壁やコンクリート張工などの構造物の背面にジオテキスタイルを敷設して、背面に浸透した水を排除することにより、構造物の安定性を保つ。
- ⑤ 河川堤防等ののり尻部のドレン工のフィルター材として、ジオテキスタイルを用いる（図-6(a)を参照）。
- ⑥ フィルダム等の堤体内の浸透水を排除するため、図-6(b)に示すようなジオテキスタイルを用いた排水ブランケットを設置する。

上記のように、ジオテキスタイルを用いた各種のドレン工は道路、河川、造成地などの盛土およびフィルダム、あるいは擁壁、のり面保護工等の構造物の安定性の向上に適用できるものである。この場合、ジオテキスタイルはそれぞれの用途に応じた通水能力を有するものでなければならない。それとともに、フィルターとしての効果、すなわち浸透水の流入により、目づまりを起こすようなものであってはいけない。そこで、ジオテキスタイルの孔径分布と土の粒径分布の関係から、目づまりを生じない基準が提示されている^{7)~9)}など。また、土中の浸透水による目づまり試験として動水勾配比GRを求めるこより、ジオテキスタイルの目づまりを評価する方法がある^{46), 47)}。ここで、GRが3以下であれば、目づまりは生じないとされている。

なお、土の種類、特に粒度分布や細粒分の含有率など

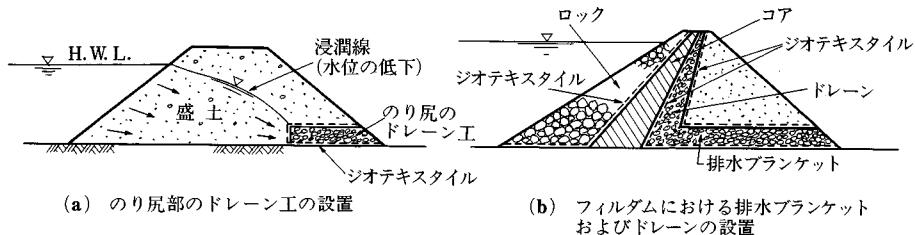


図-6 ドレン工におけるジオテキスタイルの利用例

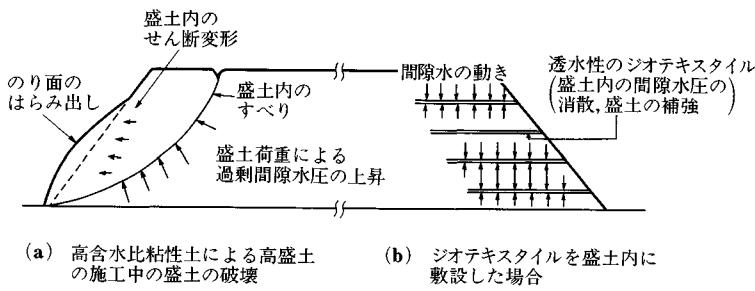


図-7 施工中におけるジオテキスタイルの効果

とジオテキスタイルの透水性、ならびに目づまりの関係について、試験方法を含めて長期の安定性に関する検討が今後とも望まれる。

2) 高含水比粘性土を用いた盛土の圧密排水

わが国には、火山灰土などの高含水比の粘性土が各地に存在する。これらの粘性土を用いて高盛土を急速施工すると、図-7に示すような盛土のはらみ出しや安定性が問題となる。そこで、施工時に盛土載荷によって発生する過剰間隙水圧を軽減させる目的で、盛土内に透水性のジオテキスタイルを敷設することが行われている。

盛土の圧密促進を図るためにジオテキスタイルの透水性や設置間隔は、一次元圧密を基本とした圧密計算式が提案されている⁴⁸⁾。また、ジオテキスタイルを千鳥配置とする場合には、Barron の圧密理論を適用してジオテキスタイルの配置を決定する方法もある。

高含水比粘性土を用いた盛土のジオテキスタイルによる圧密促進の効果は、現場での施工事例^{49), 50)}などなどで確認されている。また、降雨等による浸透水の排除ならびに補強の効果も合わせて期待できることから、高含水比の粘性土などを用いた盛土の安定性の向上にジオテキスタイルは有効であるといえる。

3) 地盤での圧密促進

地盤の圧密促進のためのバーチカルドレンの1つとして、ジオテキスタイルを用いた袋詰めサンドドレンやプラスチックボードドレンが最近用いられるようになってきている。ここで、プラスチックボードドレンについて述べると、通水能力を確保するためにコア部の高分子樹脂材とフィルター部分の不織布とから成るもの

が多用されており⁵¹⁾、それらの幅は10 cm程度で、厚さは2~6 mmである。

バーチカルドレンとしての適用にあたっては、ドレン材が十分な通水能力をもっているとともに、地盤沈下や土圧によって変形を生じても、その通水能力を保持していることが必要である。また、水中での劣化

がなく、しかも目づまりも生じないような長期的な安定性を保持できるものでなければならない。

打設間隔および配置は、サンドドレン工法と同様にして、Barron の圧密計算式を用いて決定される。ここで、プラスチックドレン工法は、長さ40 mの施工深度が可能であるとされているが、ドレン長が長くなると、ウェルレジスタンス⁵²⁾や長期にわたって必要な通水能力が確保できるかなどが問題となる。したがって、長尺物のドレン材として用いてはならないという指摘もある²⁰⁾。そこで、大深度の現場施工などを通して、プラスチックドレンの圧密促進の効果、ならびにドレン材の中の流速や間隙水圧の分布などを解明することが必要であろう。なお、最近では、センサーを用いた自動記録システムによって、ドレン材の欠損や共上がり、打設長などの施工管理が行えるようになってきている。

(3) 分離および洗掘防止のためのジオテキスタイルの利用

分離の機能は、地盤と路床および路盤と路床といった粒径の異なる土どうし、またはコンクリートと土との分離、あるいは吸い出しの防止を目的としている。ジオテキスタイルは、そのような分離の機能を有していることから、道路や鉄道の路床・路盤、河川等の護岸等に用いられる。

1) 道路の路床、路盤および舗装

道路の舗装等においては、図-8(a)に示すような浸透水や毛管水の影響などによる路床、路盤の支持力の低下に伴って、路盤材の路床へのめり込みや舗装のクラック、わだち掘れなどが生ずることがある。これらを防止

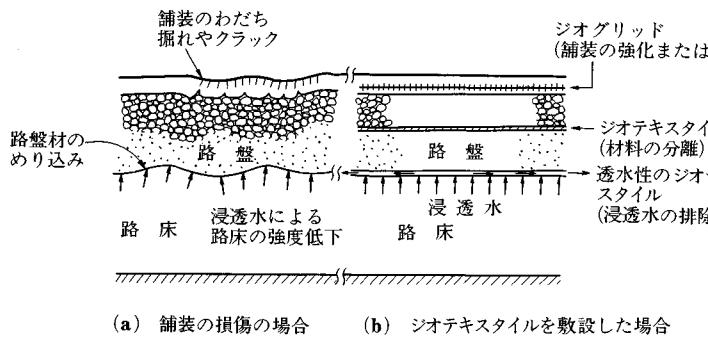


図-8 補装におけるジオテキスタイルの効果

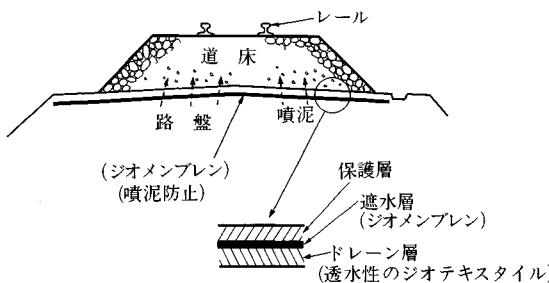


図-9 鉄道路盤における噴泥防止

するために、図-8(b)に示すように路床と路盤との境界にジオテキスタイルを敷設して、路盤材の路床のめり込み防止や路床からの浸透水の排除、および路盤内に敷設したジオテキスタイルによって材料の分離を図ることが行われている。また、舗装において表層のリフレクションクラックを防止する目的で、ジオテキスタイルが用いられている。アメリカでの施工事例によると、ジオテキスタイルを用いることで、クラックの発生を4~5年遅らせることができるという報告がある⁵³⁾。わが国においても、ジオテキスタイルの施工事例があるが^{54)~56)など}、効果等について未解明の点もあるので、試験施工などによる長期的な追跡調査の結果等から、ジオテキスタイルの評価が確立されることを期待したい。

2) 鉄道における路盤被覆工

路盤面被覆工は、鉄道において地表水や地下水等によ

り軟弱化した路盤工が、列車の線り返し荷重によりさらに泥ねい化し、路盤表面や道床に噴き出す路盤噴泥を防止するのに用いられる。この工法は、図-9に示すように路盤表面に3層構造となっている遮水性のシートを敷いて、路盤土の上昇、あるいは噴出させる媒体としての浸透水を遮断するものである。保護層は、列車荷重による道床用碎石の貫入から遮水層を保護するためのもので、遮水層としては合成ゴム系、ポリエチレン系、塩化ビニール系のものが使用されている。また、排水層は路盤内の水を排除するためのもので、保護層および排水層として現在、不織布が多く用いられている。路盤面被覆工の材料品質については基準が定められており、その設計、施工に関する検討⁵⁷⁾も十分なされている。

3) 河川等の護岸

河川や港湾、干拓などの堤防の護岸の場合には、流水や波浪等の外力に対して十分耐え得るような構造であるとともに、それらの作用による洗掘、吸い出しに対しても安全であるように設計、施工することが重要である。

ジオテキスタイルは、(2)で述べたようにフィルターとしての機能を有していることから、図-10(a)に示すようにコンクリートブロックあるいは碎石等の護岸の下に敷設して、堤体土の吸い出し防止を図るために用いられている。また、図-10(b), (c)に示すジオテキスタイルを用いた布団かご、あるいは円筒形の蛇かご方式のものが、護岸として考えられる。なお、護岸の設計にあたっては、引張りや引裂きに対して十分な強度を有しているジオテキスタイルを使用するとともに、ジオテキスタイルの目づまり、あるいはアップリフトによる浮き上がり、重ね部のねじれ、ずれなどにも配慮することが大切である。また、ジオテキスタイル面上での土羽土のすべりや、ジオテキスタイルの劣化についても配慮することが必要であり、それらの検討方法が示されている¹⁴⁾。

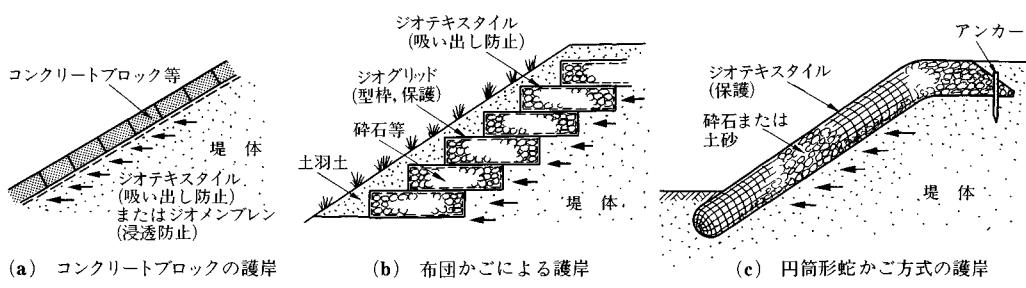


図-10 ジオテキスタイルを用いた護岸の概要

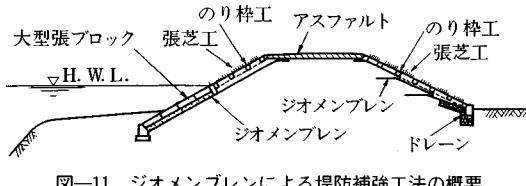


図-11 ジオメンブレンによる堤防補強工法の概要

いずれにしても、図-10に示した護岸は、堤体や基礎部の変形に追従でき、流水や波浪にも耐え得る構造とすることもできるので、可撓性の護岸としての利点を生かした現場への適用が期待される。

(4) 止水を目的としたジオメンブレンの利用

堤体および貯水池等の遮水を目的として、ジオメンブレンが用いられている。特に、不透水性の良質土が得られない場合や基盤の透水性の高い貯水池、あるいはダムのコンクリートまたはアスファルトの劣化に伴う堤体漏水等の対策として、施工が比較的容易で、しかも堤体や地盤の変形にも追従しやすく、遮水の効果が期待できるジオメンブレンが使用されている。

1) 河川堤防の補強

近年、河川流域の発展に伴い、防災構造物としての河川堤防の重要性が高まっており、越水や長期間の降雨、洪水に対しても耐え得るような安全性の高い堤防の築造、あるいは既設堤防をそのように補強していくことが求められるようになってきている。そこで、堤体表面付近に塩化ビニールや合成ゴム等のジオメンブレンを敷設して、耐越水および耐浸透能力を有する補強堤防の築造、すなわちアーマ・レビー工法^{58), 59)}が現地に適用されている⁶⁰⁾。

図-11は、アーマ・レビー工法の概要を示したものである。アーマ・レビー工法は堤体表面付近を止水性のジオメンブレンで覆うことによって、越水時の侵食や雨水、河川水の堤体への浸透を軽減するとともに、表のりは密着せず、堤体内部の残留水圧が排除できるよう重ね合わせによる敷設とする。また、裏のり部は侵食や浸透を防ぐ一方で、堤体内部の排水および排気を可能とするため、ジオメンブレンを瓦状に設置する。さらに、ジオメンブレンの日光による劣化防止と景観を考慮した緑化を図るために、ジオメンブレンの上には土羽土を施工する。

アーマ・レビー工法は、現場での施工事例等では安全性を保っており、既設堤防の補強対策としての効果が期待される。

2) 貯水池、ダムおよび廃棄物処理場への利用

貯水池やダム等において、表面遮水としてジオメンブレンが用いられている。この場合、長期の湛水において不透水性や耐久性および水圧、波浪に対して十分耐え得る材料であるとともに、ジオメンブレンが万一の損傷を

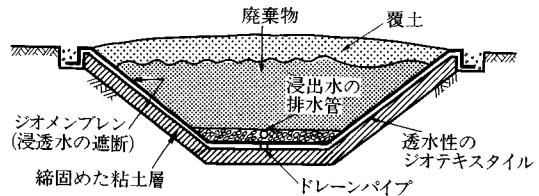


図-12 廃棄物処分場でのジオメンブレンの効果

受けても構造物としての安全性が保てるよう、設計、施工することが必要である。貯水池の斜面勾配は、シートの滑落防止のうえで1:2.0以上にするのが良く、1:3.0程度になると長期にわたって安定であるとされている^{61), 62)}など。また、堤体内の残留水圧や浸透水を排除するために、ジオメンブレンの下に透水性のジオテキスタイルを敷設したり、のり尻部にドレーンパイプなどを設置する。さらに、ジオメンブレンの下地はできるだけ平滑に仕上げ、突起物によるジオメンブレンの損傷を少なくするとともに、不慮の損傷に対しても安全に排水できるように考慮しなければならない。

コンクリート構造物などに接する箇所は、漏水を起こしやすいので、接着には特に留意することが必要である。またジオメンブレンの接続部は、ジオメンブレンを重ね合わせて熱溶着するが、その検査は溶着部への空気の送り込み、または真空試験などによって行われる。

最近、わが国において、都市や工場等から出てくる廃棄物の適切な処理の必要性が増大している。廃棄物の中には、そのまま投棄すると有害物質が飛散したり、溶出して河川や地下水等を汚染するおそれのあるものもある。この場合、いろいろな方法もあるが、図-12に示すようなジオメンブレンとジオテキスタイルとを用いて、外部と完全に遮断する方法がある。また、アメリカでは一重張りのジオメンブレンは漏水をなくすことが困難であることから、二重張りのものが用いられている⁶³⁾。

今後、廃棄物の処理場等にジオメンブレンを用いた安全で、かつ経済的な遮水工の設置が増大することが予想される。

4. 補強土の安定性の検討方法

補強土の安定検討は、ジオテキスタイルを補強材として利用する場合だけでなく、排水や汎過、分離、遮水に用いるときに、載荷重が加わったり、地盤の変形および土とのすべりが問題となる場合にも、基本的に考慮すべき事項である。そこで、ジオテキスタイルを用いた補強土の安定性の検討方法を以下に示す。

(1) 盛土の補強

1) 安定解析の方法

補強盛土の安定性の検討は、通常図-13に示すよう

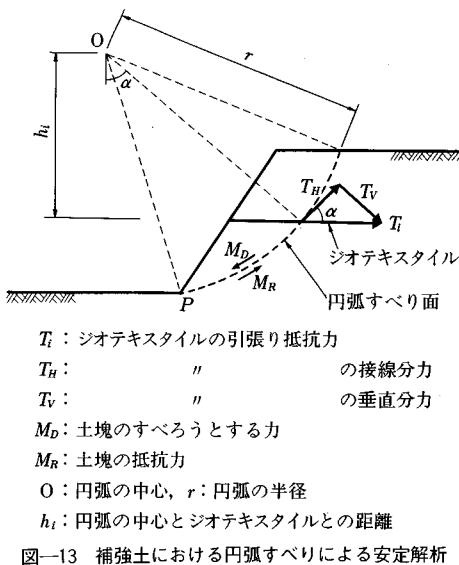


図-13 補強土における円弧すべりによる安定解析

な円弧すべりによる安定解析の方法が多い用いられている。この方法は、想定した円弧すべり面に対して、すべり面の外側に敷設されたジオテキスタイルの引き抜きに伴う抵抗力が作用することにより、式(1)に示す抵抗モーメントが付加されるため、所要の安全率を確保することが可能となる。

$$F_s = \frac{M_R + \Delta M_R}{M_b} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 F_s ：補強された盛土のすべりに対する安全率

M_R : 土のすべりに対する抵抗モーメント

ΔM_R : ジオテキスタイルの補強による抵抗モーメント

M_d : 土塊のすべりモーメント

安全率としては、使用するジオテキスタイルの設計強度のとり方や安定計算の方法、ならびに土構造物の重要性等も関係するが、わが国では土構造物の設計に用いられている安全率⁶⁴⁾、すなわち 1.2 以上を一応の目安としている。

なお、円弧すべりによる検討において、ジオテキスタイルの抵抗力を分力として考えると、土塊全体のすべり力に対してはそれを小さくする力が、また抵抗力に対しては、すべり面とジオテキスタイルの敷設角度によって鉛直応力が加算されることによる抵抗力の増大として働くことになる。それらの分力を考慮した安定計算の式がいくつか提案されている^{65), 66)}など。これらのうち、土塊のすべり力を減少させる分力を考慮した場合には、条件によっては過大な安全率を与えることにもなるので、そのような応力の伝達を考える際には、土とジオテキスタイルの相互作用や補強された土塊の応力-変形特性を明らかにして検討を進めることが重要である。一方、現場

計測や大型模型実験の結果から、ジオテキスタイルには予測される張力よりもかなり小さい応力しか発生しないことから、ジオテキスタイルの土中での拘束効果、あるいは補強土としての一体化の効果を定量的に把握する試みが行われている^{67), 68)}など。

以上のように補強盛土の安定検討の合理性を高めるうえで、安定計算式とともに、土中でジオテキスタイルに発生する引張り力とその分布、ならびに土とジオテキスタイルとの相互作用、一体化の効果などのメカニズムに関する解明が今後期待される。

2) ジオテキスタイルの設計強度

補強盛土の安定性を検討する際に必要となるジオテキスタイルの引張り強さならびに摩擦抵抗は、次に示すようなことを考慮に入れて決定される。

① ジオテキスタイルの設計引張り強さ

ジオテキスタイルの設計引張り強さ T_A は、式(2)により求められる。

$$T_A = \frac{T_L}{F_d \cdot F_c \cdot F_b} = \frac{\mu \cdot T_{\max}}{F_d \cdot F_c \cdot F_b} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

ここで、 T_L ：クリープを考慮したジオテキスタイルの限界引張り強さ

T_{\max} : ジオテキスタイルの最大引張り強さ

μ : クリープ低減係数

F_d : 耐久性を考慮した材料安全率

F_c ：施工中の損傷を考慮した安全率

F_b : 接合部の強度低下を考慮した安全率

クリープ低減係数 μ および F_d , F_c , F_b の材料安全率は、ジオテキスタイルの材料試験の結果をもとにして、ジオテキスタイルの種類や用途、土構造物の耐用年数、重要度、施工条件等を考慮して決定される。なお、各安全率のとり方については、各国の機関やマニュアルにより多少異なっている。たとえば、アメリカ林野庁の安定検討では、ジオテキスタイルの材質、製造方法に応じて長期のクリープ低減係数 μ として 70~25% のものを用いることしている。また、ジオグリッドでは前述のクリープ試験耐用年数 120 年に対応した引張り強度を求め、その値をもとにして μ を決定している。なお、わが国のジオグリッドの設計では、 μ の値として通常の場合 0.4 を用いている²³⁾。 F_d については明確に示したものはないが、1.0~1.12 程度の値が採用されている。また F_c に関しては、設計引張り強さに対して、損傷が少ないと判断された場合には 1.0 を考えてもよい。一方、損傷が大きいと判断される場合には、安全率を大きく探ることを提案したものもあり、現場の条件に合わせて 1.0~1.7 程度のものが用いられている。さらに、 F_b については重ね合わせ部および接合部での引張り試験等の結果から、それらの部分における強度を把握して安全率を決

めるのがよいが、縫製の仕方によっては強度が20～30%低下する場合もある。

以上のように、安全率のとり方には不明確な点も多く残されているので、それらの合理的な評価の確立が今後望まれる。

② ジオテキスタイルと土との摩擦抵抗

ジオテキスタイルと土の摩擦抵抗は、ジオテキスタイルの定着長を求める際に必要となるもので、一面せん断試験あるいは引抜き試験によって求められる。またジオテキスタイルが引き抜けないための定着長 L_e は、式(3)で与えられる。

$$L_e = \frac{F'_s \cdot T}{2 \cdot (\alpha_1 \cdot c_{sg} + \alpha_2 \cdot \sigma_n \cdot \tan \phi_{sg})} \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 F'_s : 安全率、 T : ジオテキスタイルに働く引張り力、 c_{sg} : 土とジオテキスタイルの間の見掛けの粘着力、 ϕ_{sg} : 土とジオテキスタイルとの見掛けの摩擦角、 a_1 および a_2 : 低減係数

式(3)において、盛土材料として砂質系の土を用いた場合には、 c_{sg} はゼロとみなすことができる。この場合においても、 ϕ_{sg} はジオテキスタイルの種類や土の含水比、締固め度によって異なるが、 ϕ_{sg} の値として、盛土材のせん断抵抗角を用いて、 α_2 を0.8~0.9の値にとることが一般に行われている。また、 $\alpha=1$ として、 ϕ_{sg} の値を $2/3\phi$ とする考え方もある。さらに、ジオテキスタイルと土との残留強度をパラメーターにして ϕ_{sg} を決めることが考えられる。なお、緩い砂では α_2 の値が、0.8よりも小さくなることもある²²⁾ので、 α の値にあつた締固めを行なうことが大切である。

ジオテキスタイルを用いた補強盛土は、残土の有効利用と合わせて、できるだけ種々の土を盛土材として用いることが望ましいといえる。この場合、粘性土などの c , ϕ 材を用いることになるので、粘着力 c_{sg} の評価と α の値の設定についての検討が必要である。

3) 地震時の補強盛土の安定性

地震時のジオテキスタイルを用いた補強盛土の安定性について、補強土の振動時の挙動や材料特性ならびに安定解析法に関する検討が最近実施されている^{21, 23, 69, 70}など、それらの結果によると、地震時の補強盛土の安定性の検討は、震度法を基本にして進められている。また、模型実験の結果からすると、ジオテキスタイルの補強効果があり、しかも剛性の高いものほど加震による盛土の沈下が少ないことが示されている。さらに、ジオテキスタイルを地山の部分に挿入、あるいはのり面保護工と連結させるなどして拘束を高めると、ジオテキスタイルの補強効果が一層期待できる。また地震時の安定解析において、ジオテキスタイルの設計引張り強度は短期の強度を対象にして、割増し係数を考慮することが

提案されている^{71), 72)}

(2) 壁面をもつ盛土の補強

1) 設計の手順

ジオテキスタイルを用いた補強土擁壁の設計手順を、図-14に示す。まず、盛土の用途や地形、基礎地盤、盛土材等の調査を通して、ジオテキスタイルを用いた補強土擁壁の適用性を検討する。続いて、前節で述べた盛土の補強の場合と同様にして、ジオテキスタイルの種類に応じた設計引張り強さ、ならびに土中における引抜き抵抗などを求め、外的安定性と内的安定性について検討を加える。そして、ジオテキスタイルの引張り破壊およ

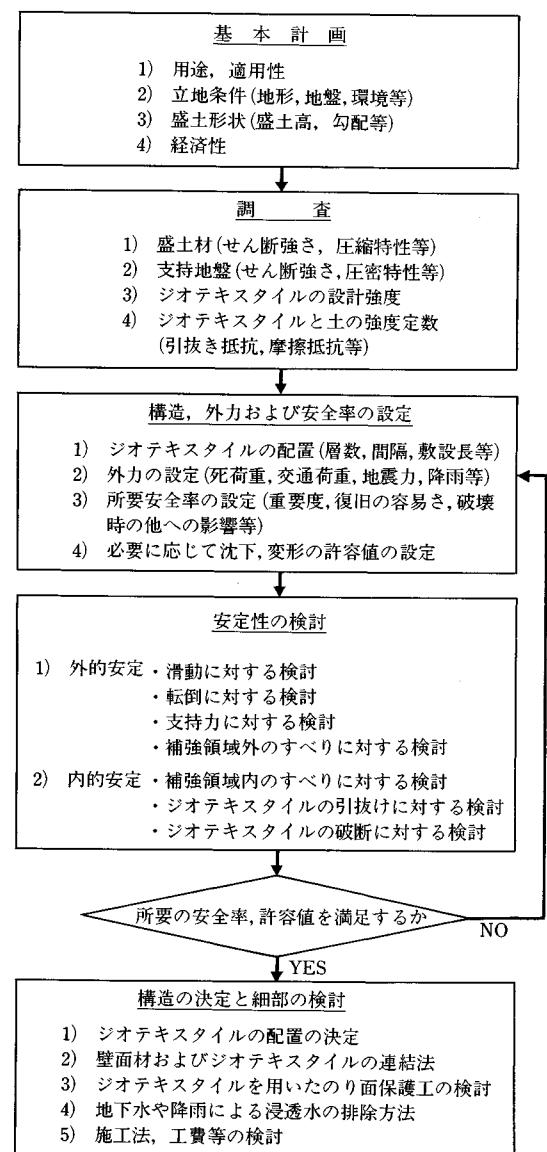


図-14 補強盛土および補強土擁壁の設計手順

び引抜けの検討結果から、ジオテキスタイルの敷設層数、間隔、敷設長などを決定する。さらに、ジオテキスタイルと壁面材との連結方法を検討したのち、実施にあたっての地下水の排除方法や施工方法、工費ならびに細部についての設計を行う。

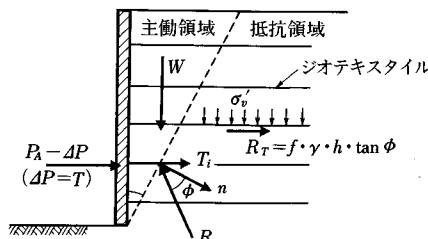
ここで、補強土擁壁の場合には、補強土に作用する土圧のとり方やジオテキスタイルの引張り破壊に対する検討が必要となるので、それらの検討方法を次に示す。

2) 作用土圧の検討方法

補強土擁壁の内的安定性の検討において、図-15に示すすべり面より奥部を抵抗領域とし、そこに敷設される引抜き抵抗力 R_T が、壁面に作用する主働土圧と平衡となるように、ジオテキスタイルの各段ごとに安定計算を実施することで、ジオテキスタイルの配置が決定される。したがって、補強土における主働土圧を求めることが必要となるが、そのすべり面の形状や土圧分布に関する基本的な仮定の相違によって、下記に示すような方法が提示されている。

- ① クーロンまたはランキンの土圧理論を適用した直線すべりによる方法
- ② 2分割くさび (Two-Part Wedge) による方法
- ③ 二直線のすべり面を考慮する方法
- ④ 静止土圧係数を用いる方法

ここで、①の方法は通常の擁壁に用いられている方法で、直線すべり面を仮定して主働土圧係数 K_A を求める。②の2分割くさび法による方法は、Jewell らによって提案された⁷³⁾もので、図-16(a)に示すように盛土内に格子点 b を設けて、この格子点 b とのり面および天端の a, d 点を結ぶ複合すべり面を仮定する。そして、垂直面 bc を境にして、すべり面上の土塊を前面くさびと後面くさびとに分割し、それぞれの分割された土塊のつり



W: 土塊重量
 σ'_v : ジオテキスタイルに作用する垂直応力
 R_T : 引抜き抵抗力
 f : 摩擦係数
 γ : 土の単位体積重量
 h : 地表面からジオテキスタイルまでの深さ
 P_A : 主働土圧
 ΔP : ジオテキスタイルによる土圧の軽減

図-15 補強土擁壁における内的安定の検討方法

合いを考える。

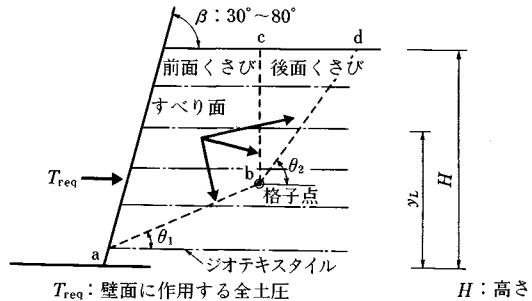
なお、のり面傾斜角 β との関係から、2分割くさび法による土圧係数 K を簡単に求める図表を与えている⁷⁴⁾ので、ジオグリッドを用いた補強土擁壁等ではこの方法が採用されている²³⁾。

③の方法は、テールアルメ工法に採用されているもので、土圧係数は実験や施工実績などを踏まえて経験的な値が得られている⁷⁵⁾。すなわち、図-16(b)に示すように、壁頂部から深さ 6 m までは静止土圧係数 K_0 から主動土圧係数 K_A まで減少し、それ以深では一定の K_A を用いることとしている。④は静止土圧係数 K_0 を用いる方法である⁷⁶⁾。

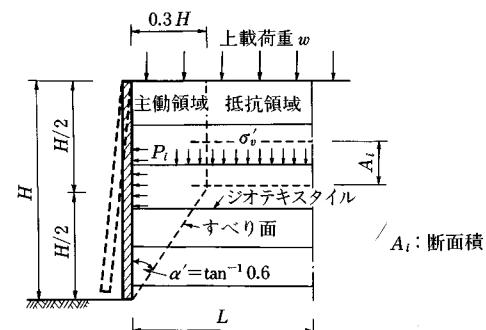
補強土擁壁の安定性や挙動については、大型擁壁を用いた破壊実験^{76),77)}などや現場の観測データなどが積み重ねられている。しかし、補強土に作用する土圧については、それを直接測定することが難しく、またジオテキスタイルの剛性や敷設間隔、敷設長、補強土の変形あるいは盛土材の種類によって作用土圧が著しく異なることから、各国の基準やマニュアルでは、それらのことを配慮した作用土圧が用いられている。

3) 引張り破壊に対する検討

ジオテキスタイルの引き抜きに対する検討は、盛土の補強で述べたと同様の考え方で行う。また、水平土圧によるジオテキスタイルの引張り破壊に対しては、次式を



(a) 2分割くさび法における土圧の求め方



(b) 2直線のすべり面を考慮する方法

図-16 補強土擁壁に作用する土圧の検討法の例

用いて検討する。

$$T_b = (\sigma_h + \sigma_{h1}) \cdot V_i \cdot F_s \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

ここで、 T_b ：ジオテキスタイルの引張り力、 V_i ：垂直方向の敷設間隔、 σ_h ：盛土内の自重による水平応力($=K \cdot \gamma \cdot h_i$)、 γ ：土の単位体積重量、 h_i ：ジオテキスタイルの敷設深さ、 σ_{h1} ：活荷重等の上載荷重による水平応力。

式(4)を用いて、 T_b がジオテキスタイルの許容引張り強さ以下になるように、ジオテキスタイルの敷設間隔 V_i を敷設深さ h_i に対して求める。

(3) 軟弱地盤の補強

軟弱地盤の補強として、本節では盛土と覆土とに分けて、表層の補強の検討方法を示す。

a) 盛土のための表層の補強

軟弱地盤上にシート、ネット、ジオグリッドなどのジオテキスタイルを敷設して盛土を行う場合の考慮すべき事項として、次のものが挙げられる^{78), 79)}。

- ① 盛土荷重による軟弱地盤を含む全面破壊(図-17(a)を参照)
- ② ジオテキスタイル上の盛土の内部破壊(図-17(a)を参照)
- ③ 盛土に伴う支持力不足による基礎地盤の破壊
- ④ の円弧すべりに対する安定性の検討は、式(1)を用いて、地盤を含めた盛土の安定計算を行い、所要の安

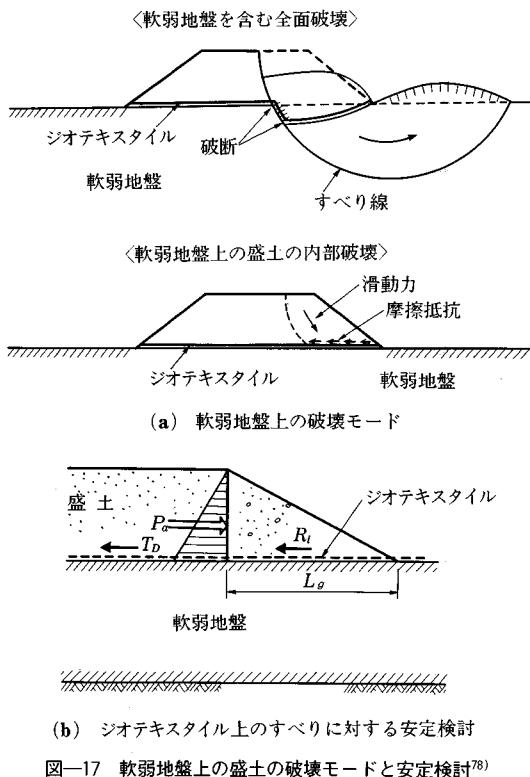


図-17 軟弱地盤上の盛土の破壊モードと安定検討⁷⁸⁾

全率を満足させるに必要なジオテキスタイルの引張り強度を求める。この場合に、地盤の強度や盛土高、軟弱層の層厚によっては、高強度のジオテキスタイルを敷設することが必要となる。また、道路盛土のような帶状盛土においては、ジオテキスタイルの十分な引張り強度を得るために、端部の固定方法とその評価についての検討が要求される。

②のジオテキスタイル上の盛土の破壊に関しては、図-17(b)に示すように、主働土圧 P_a に対して、ジオテキスタイル上で土塊が滑動するかどうかを次式によって検討する。

$$R_t = F_s \cdot P_a = \sigma_0 \tan \phi_{sg} \cdot L_g \cdot T_b = F_s \cdot P_a \quad \dots \dots \dots \quad (5)$$

ここで、 P_a ：主働土圧($=0.5 \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_A$)、 H ：盛土厚、 σ_0 ：ジオテキスタイル面上の垂直応力、 L_g ：ジオテキスタイル面上の滑動に抵抗する土塊の長さ。

上式の計算にあたっては、ジオテキスタイルと土との境界面での摩擦係数および付着力が期待できる場合には、それらを適切に評価して盛土の内的安定を検討することが重要である。

③の支持力については、次の覆土のための表層の補強で述べる方法によって検討することが考えられる。また、盛土による地盤の不同沈下を軽減する方法として、ジオテキスタイルと深層混合処理工法を組み合わせた工法が検討されている²²⁾。

b) 覆土のための表層の補強

軟弱地盤の表層にジオテキスタイルを敷設して覆土を行う場合の地盤の支持力を算定する式として、下記のものが提案されている。

- ① テルツァギーの支持力理論とジオテキスタイルの引張り効果をもとにした方法^{80), 81)}など
- ② 地盤係数法とケーブル理論に基づく方法⁸²⁾
- ③ 版理論に基づく方法⁸³⁾
- ④ 膜面変形理論に基づく方法⁸⁴⁾

ここで、①の方法は覆土工法の支持力原理を示したものので、図-18(a), (b)に示すように盛土載荷に伴うめり込みが生じ、その体積にみあった土が周辺部で盛り上がりすることにより、載荷重と地盤の支持力とが均衡するという考え方方に基づいている。図-18の載荷状態の変形形状を表わす D_r 、 θ 、 γ は理論的に明確に求めることが難しく、経験的な値が設計値として適用されている¹⁶⁾。また、ジオグリッドを用いたマットレス工法による軟弱地盤の表層や構造物基礎の補強のつり合いには、図-18(c)に示す二層系地盤を考慮した設計が行われている。

②および③の方法は、シートやネットなどのシート・敷網工法に対する理論式として提案されたものである。また、④の方法は、ロープネット工法に適用することを念頭において導かれたものである。

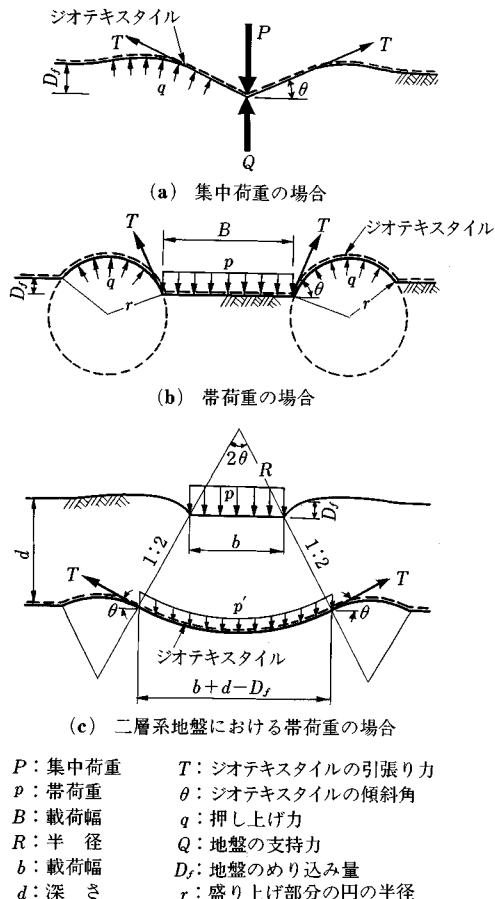


図-18 ジオテキスタイルを用いた覆土工法の検討方法の例

上記の支持力の算定式のうちのどれを用いるかは、現場の条件によってジオテキスタイルにかかる引張り力も異なるので、地盤の強度や施工方法等を考慮に入れてその選定がなされている。なお、いずれの算定式においても、両端の拘束条件や地盤反力係数、あるいは地盤の沈下量などが、ジオテキスタイルの引張り力に大きく関係するので、それらの合理的な選定法の検討が望まれる。

5. ジオテキスタイルの利用技術に関する課題

ジオテキスタイルは、土工分野における新しい建設資材として、急速にその用途が広まっている。それに伴い、前述したように土構造物に適用するにあたって必要となるジオテキスタイルの工学的特性を把握する試験や設計法について、種々の検討がなされてきている。また、ジオテキスタイルの現場への適用事例も多くなり、その利用技術に関するデータの蓄積がなされる一方で、ジオテキスタイルの適用範囲の拡大に伴い、土木材料としてのジオテキスタイルについても改良が加えられ、新しいものも登場している。

このような状況のもとで、ジオテキスタイルの利用に関する規準や規格、あるいは設計法を確立することが、各関係方面から望まれている。それらを含めて、今後の課題としては以下に示すような項目が挙げられる。

(1) 試験法に関する課題

欧米先進諸国では試験法に関する基準や規格が整備されており、それらを統合してISOの国際規格をつくる機運にある。わが国においても、日本の試験法の現状を踏まえて、厚さや重さ、開口径、引張り強度、クリープ特性、引裂き強度、貫入抵抗、耐久性などのジオテキスタイル単体の試験法について原案が作成されている²⁰⁾。また、土とジオテキスタイルの間の摩擦抵抗等を求める引抜き試験や一面せん断試験、面内の透水試験に関する試験方法の案が示されている²⁰⁾。試験方法や材料が異なると、同じ試験でも違った結果が得られることがあるので、各国の試験方法とも整合を図りながら、日本のジオテキスタイルに関する試験方法の確立が期待される。一方、土中のジオテキスタイルの挙動や特性に関する試験についての一層の検討が望まれるとともに、試験結果の現場への適用性、たとえば、耐久性や耐衝撃性、あるいは設計に用いるジオテキスタイルと土との諸定数などを合理的に評価する検討方法を見出すことも重要である。

(2) 選定基準等に関する課題

ジオテキスタイルの種類や用途は、前述のように多種多様である。したがって、用途に応じた各ジオテキスタイルの物理的特性や力学的特性、透水性、耐久性、安全性などを明らかにするとともに、土構造物の目的、用途、形状・規模、重要性、荷重条件、地盤条件等に即して、使用するジオテキスタイルの種類と要求される品質を明確にしていくことが、実務のうえで重要である。すなわちジオテキスタイルの利用にあたって目安となるよう、各土構造物の用途に応じたジオテキスタイルの選定基準、あるいは規格をつくることも重要な課題であるといえよう。

(3) 補強等の技術的な課題

ジオテキスタイルの土中における補強の効果としては、ジオテキスタイルの引張り強度や曲げ剛性、および土との摩擦、付着力、あるいはジオテキスタイルの敷設による土の拘束の効果などが挙げられる。これらの効果は、ジオテキスタイルや土の種類によって違いが生ずるとともに、土中でのジオテキスタイルの敷設間隔、敷設長さ、固定方法などによっても異なる。したがって、それらのことを考慮に入れた補強土の設計の体系化が図られているが、より合理的なものにするためには、クリープや耐久性などのジオテキスタイル自体の工学的特性を究明するとともに、下記に示すような土との相互作用の解明が期待される。

① 補強土においては、土の変形が少ない場合には、ジオテキスタイルに発生する引張り応力も小さいが、土の変形が進むと発生応力が増大し、ジオテキスタイルの補強効果が発揮される。一般には、補強盛土等の設計では土のひずみは5~10%程度が妥当であると考えられる。また、軟弱地盤ではかなり大きな変形が予測されるので、土のひずみレベルとジオテキスタイルの引張り強度の関係を明らかにして、ジオテキスタイルの選定とその設計強度を求めることが必要である。

② 補強土のひずみを考慮したときのジオテキスタイルに発生する引張り応力を求める解析手法が検討されている⁸⁵⁾など、この方法は補強土の変形に応じて、ジオテキスタイルに求められる必要な引張り強度や敷設長、層数などが算定できることから、今後の発展が望まれる。

③ 補強土の安定性は通常、無補強土のものにジオテキスタイルの引張り効果、または土との摩擦抵抗を加算する検討が行われている。しかしながら、本来は敷設されたジオテキスタイルと土との複合体としての挙動が問題となるので、複合体としての応力-変形特性や破壊機構の解明が必要である。それによって、安定解析におけるすべり面の形状や壁面に作用する土圧、あるいはジオテキスタイルに発生する応力等もより明確になるものと思われる。

④ ジオテキスタイルと土とからなる補強土の挙動を解明する方法として、FEM 解析^{86)、87)}などや RBSM 解析⁸⁸⁾が適用されている。ジオテキスタイルと土との相互の応力-変形特性を究明するうえで有望であり、実際の現場への適用へと進展することが期待される。

⑤ ジオテキスタイルと土との摩擦抵抗および付着力は、補強土の安定解析を行ううえで重要なファクターであり、ジオテキスタイルの種類、形状および土質に応じた試験法とその評価法の確立が望まれる。特に、細粒土を用いた補強土擁壁等では、粘着力を考慮することによって安全率が著しく変化する⁸⁹⁾ことから、安定解析の方法とともに、ジオテキスタイルと土との付着力の評価とその求め方についての検討が必要である。

⑥ わが国においては、豪雨や地震に対しても安全性を有する補強土工法であることが必要である。したがって、雨水の浸透による補強土の安定性の低下についても配慮しておかなければならない。また、耐震性についても、安定解析の手法とともに、補強土の動的特性や地震時の挙動についての一層の検討が望まれる。

なお、最近では短纖維補強材を土に混入させた補強土の開発が進められている。これらの短纖維補強材を用いた混合土は、掘削残土を用いた各種の土構造物の構造を利用することが考えられることから、その特性と利用技術の進展が期待される。

次に、排水・渁過、および分離、止水に関しては、3. の各利用のところである程度言及してあるので、ここではその他のものについて触ることにする。まず、排水・渁過については、土中の浸透水を排除するに必要なジオテキスタイルの透水能力を合理的に求める方法が挙げられる。特に、盛土構造物等においては、大型盛土による降雨実験の結果から、ある程度以上の透水能力を有するものでないと浸透水の排水効果が顕著に認められないという報告もある²²⁾ので、不飽和の浸透水をも対象にして、サクションの影響も考慮したジオテキスタイルの透水能力に関する検討が望まれる。また、ジオテキスタイルの渁過機能は、それ自体が土と水を分離して渁過するのではなく、土中のジオテキスタイルに接した部分の微細粒土が、ジオテキスタイルの目を通して洗い出され、その境界部に細粒または粗粒の土が残留し、ブリッジング層が形成される。その前面では、ブリッジング層によって移動した土粒子が残存し、フィルター層を形成することによってジオテキスタイルの排水・渁過機能の効果が発揮されるといわれている。しかしながら、その形成過程や層の厚さ、ならびにそれがジオテキスタイルの透水能力に与える影響等について、十分解明されるまでには至っていない。これらについては、土の粒径分布とジオテキスタイルの開口径、あるいは繰り返しの浸透水の挙動、通水期間等が関係すると考えられる。したがって、それらの要因を考慮した一層の調査・研究が進み、排水・渁過を目的としたジオテキスタイルの選定等に役立つ成果が得られることを期待したい。

分離および止水については、用途によっては技術開発が進み、品質や選定基準、設計の考え方等が整備されているものもある。一方、効果が期待されるものの、それを定量的に把握する理論的な裏付けや設計方法が確立されていない用途のものもある。これらについては、今後基礎的な実験や現場での試験施工、ならびに追跡調査等を通してジオテキスタイルの効果が明らかにされるとともに、理論的な考察も加えられて、それらの設計・施工法が確立されることにより、用途がさらに拡大されるものと思われる。

6. おわりに

ジオテキスタイルを用いた土構造物の利用技術について述べた。ジオテキスタイルを補強材、排水材、渁過材、分離材、止水材として土中に敷設、あるいは土と混合することにより、複合体としての強度の増大や排水、遮水の機能の向上を図ることができる。また、施工が容易で、しかも経済的な土構造物を築造することも可能である。さらに、ジオテキスタイルには従来の土の考え方には許容引張り強さなどが設定されているので、安全性の高

い土構造物を設計することもできる。また、地盤等の変形に追従できる柔構造で、しかも透水性のある構造物とすることもできるので、それらの特性を生かした従来の考え方と異なるタイプの構造物をつくることも可能である。

一方、ジオテキスタイルを用いた土構造物がコンクリートや鉄などを利用した土木構造物と同様に長年にわたって安定を保っていることが重要である。そのためには、ジオテキスタイルの土中における応力-変形特性、クリープならびに目詰まり、耐久性等に関する十分な配慮が必要である。したがって、それらのジオテキスタイル単体の特性とともに、土との複合体としての挙動や安全性についての解明が一層期待される。また、ジオテキスタイルを用いた補強土等においては、土とジオテキスタイルとの相互変形とジオテキスタイルに作用する応力の関係などを究明することも大切であり、それらの解析手法の進展が望まれる。

ジオテキスタイルの利用技術は、対象とする土にも多種のものがあり、またジオテキスタイルもそれに対応しているものが開発されている。したがって、現地の条件に応じてそれらを適切に組み合わせた、合理的でかつ経済的な土構造物の設計、施工の体制化が一層図られることを期待したい。

最後に、ジオテキスタイルの利用技術に関して新たな開発や調査・研究が近年積極的に行われており、それらについて十分に意を尽くしていないことに対してはお許しを願うとともに、本文の作成にあたって各文献から数多くのものを引用させていただいた。ここに、関係の各位に対して深く謝意を表します。

参考文献

- 1) Giroud, J. P., Arman, A. and Bell, J. R. : Geotextiles in Geotechnical Engineering, Research and Practice, Report of the International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Technical Committee on Geotextiles and Geomembranes, Vol. 2, No. 3, 1985.
- 2) Rankilor, P. R. : Membranes in Ground Engineering, John Wiley and Sons, England, 1981.
- 3) 土質工学会：補強土工法、土質基礎工学ライブラリー 29, 1986.
- 4) 山内豊聰：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. 3~8, 1985. 5.
- 5) Fukuoka, M. : Earth reinforcement—West and East—; International Geotechnical Symposium on Theory and Practice of Earth Reinforcement, Fukuoka, Japan, 1988. 10.
- 6) 久樂勝行：日本のジオテキスタイルの現状, Proceedings of the International Geotextile Seminar, 国際ジオテキスタイル学会日本支部, Osaka, November 1989.
- 7) U. S. Federal Highway Administration, National Highways Institute : Geotextile Engineering Manual, Christopher, B. R. and Holtz, R. D., Washington, D. C., 1985.
- 8) U. S. Department of Transportation, Federal Highway Administration : Geotextile Specifications for Highway Applications, Publication No. FHWA-TS-89-026, July 1989.
- 9) French Committee of Geotextiles and Geomembranes (CFGG) : Geotextile Manual, Chapter I ~ VII, 1981 ~ 1986.
- 10) Association Suisse des Professionnels de Geotextiles : Das Geotextiles Handbuch-Le Manuel des Geotextiles, 1985.
- 11) Don and Low (U. K.) : A Geotextiles Design Guide, 1987.
- 12) Polyfelt TS Design and Practice : The Technical Manual for Design and Construction of Projects Utilizing the Mechanically Bonded Polypropylene Nonwoven Geotextile, Printed in Austria, 1986.
- 13) Koerner, R. M. and Welsh, J. P. : Construction and Geotechnical Engineering Using Synthetic Fabrics, John Wiley & Sons, New York, 1980.
- 14) Flexible Armoured Revetments Incorporating Geotextiles, Thomas Telford Ltd., London, 1985.
- 15) Jarrett, P. M. and McGown, A. : The Application of Polymeric Reinforcement in Soil Retaining Structures, NATO AS1 Series, Kluwer Academic Publishers, 1987.
- 16) 渡 義治：実例に基づくジオテキスタイル利用工法の設計と施工, 建設図書, 1987.
- 17) Fluet, J. E. : Geotextile Testing and the Design Engineer, ASTM Special Technical Publication 952, 1987.
- 18) Ingold, T. S. and Miller, K. S. : Geotextiles Handbook, Thomas Telford, London, 1988.
- 19) Holtz, R. D. : Geosynthetics for Soil Improvement, Geotechnical Special Publication No. 18, Published by ASCE, New York, 1988.
- 20) 土質工学会、ジオテキスタイルの適用方法に関する研究委員会：ジオテキスタイルの適用性に関するシンポジウム発表論文集、設計法分科会、試験法分科会、ジオテキスタイル選定要領委員会, 1990. 3.
- 21) 日本国鉄道編：建造物設計標準解説、土構造物, 1978.
- 22) 建設省土木研究所、共同研究企業 18 社：ジオテキスタイルの土中の挙動とその効果に関する研究報告書, (その 1), (その 2), (その 3), (その 4), 共同研究報告書, 1986, 1987, 1988, 1988.
- 23) ジオグリッド研究会：「ジオグリッド工法」ガイドライン—材料試験法、設計法、施工法ガイドライン—, 1990.
- 24) ジオテキスタイル選定要領委員会：現状のジオテキスタイルの分類および用途について、第 3 回ジオテキスタイルシンポジウム発表論文集、国際ジオテキスタイル学会日本支部, 1988. 12.
- 25) 産業研究所、土質工学会：ジオテキスタイル工法に関する

- る調査研究, 1989. 3.
- 26) Miki, H., Hayashi, Y., Yamada, K., Takasago, T. and Shido, H. : Plane strain tensile strength and creep of spun-bonded non-wovens, Proceedings of the 4th International Conference on Geotextiles, Geomembrans and Related Products, pp.667~672, 1990.
- 27) Van Leeuwen, J.H. : New Methods of Determining the Stress-strain Behaviour of Woven and Non Woven Fabrics in the Laboratory and in Practice, International Conference on the Use of Fabrics in Geotechnics, Volume IV, pp. 299~304, 1977.
- 28) Bell, A.L., Green, H.M. and Laverty, K. : Factors Influencing the Selection of Woven Polypropylene Geotextile for Earth Reinforcement, Proceedings of the 2nd International Conference on Geotextiles, Volume 3, pp. 689~694, Las Vegas, 1982.
- 29) McGown, A., Andrawes, K.Z. and Yeo, K.C. : The Load-Strain-Time Behaviour of Tensar Geogrids, Proceedings of the Conference on Polymer Grid Reinforcement in Civil Engineering, pp. 11~17, London, 1984.
- 30) Greenwood, J.H. and Myles, B. : Creep and Stress Relaxation of Geotextiles, Proceeding of the 3rd International Conference on Geotextiles, Volume 3, pp. 821~826, Vienna, 1986.
- 31) 土質工学会, ジオテキスタイル研究委員会: ジオテキスタイル研究委員会報告書, pp. 33~76, 1987.
- 32) RILEM : Durability of Geotextiles (The International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures), Chapman and Hall, London New York, 1988.
- 33) 河田英雄: ブロックマットに使用した剛性繊維製織布の地中における長期耐久性について, 第3回ジオテキスタイルシンポジウム発表会論文集, pp. 110~115, 国際ジオテキスタイル学会日本支部, 1988.
- 34) Bonaparte, R., Ah-Line, C. and Charron, R. : Survivability and Durability of A Nonwoven Geotextile, Geosynthetics for soil improvement, Geotechnical Special Publication No.18, ASCE, pp. 68~91, 1988.
- 35) Cassidy, P.E., Mores, M., Blivet, J.C., Delmas, P.h. and Matichard, Y. : Durability of Geotextiles: pragmatic approach in France, Proceedings of the 4th International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products, Hague, pp. 679~684, 1990.
- 36) International Standards Organization (ISO) : Geotextile Testing—An Inventory of Geotextile Test Methods and Standards, 1986.
- 37) American Society for Testing Materials (ASTM) : ASTM Standards on Geotextiles, 1981~1988.
- 38) British Standards Institution (BS) : BS 6096, 1987, 1989.
- 39) Transport and Road Research Laboratory : Geotextile Test Procedures, Background and Sustained Loading Test, Application Guide 5, 1987.
- 40) Association Francaise de Normalisation (AFNOR) : NFG 38-010~020, NFG 38-050.
- 41) Deutsches Institut fur Normung (DIN) : DIN 53854, 53855, 53857, 54307.
- 42) Nederlands Normalistatle Institut (NEN) : NEN 5167, 5168, 5132, 1985.
- 43) 堀家茂一・高安朝之・片山 功: 連続長繊維による補強土擁壁の設計, 施工, 土木技術, Vol. 45, No. 2, pp. 118~124, 1990. 2.
- 44) LefLaise, E. and Liasa, Ph. : The Reinforcement of Soils by Continuous Thread, Proceedings of the 3rd International Conference on Geotextiles, Vol. IV, Vienna, pp. 1159~1162, 1986.
- 45) 西林清茂: シートによる軟弱地盤表層処理工法, 鹿島出版会, pp. 45~55, 1984.
- 46) Calhoun, C. C. : Development of Design Criteria and Acceptance Specific Ations for Plastic Filter Cloths, Technical Report F-27-F, U.S. Army Engineer, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, 1972.
- 47) 吉岡 淳・久楽勝行・佐藤正博: ジオテキスタイルの透水性試験, 土木技術資料, Vol. 29, No. 6, 1987.
- 48) Giroud, J.P. : Geotextile Drainage Layers for Soil Consolidation, Civil Engineering for Practicing and Design Engineers, Vol. 2, 1983.
- 49) 久楽勝行・三木博史・関 一雄・工藤浩一郎: ジオテキスタイルによる盛土の圧密促進に関する現場試験施工, 土木学会第41回年次学術講演会概要集, 第3部, pp. 905~906, 1986.
- 50) 中村和之・田村幸彦・南 久: 不織布を用いた盛土の設計, 施工とその経済性, 基礎工, Vol. 14, No. 2, pp. 104~110, 1986.
- 51) 嘉門雅史: プラスチックドレーン材料の材質とその特性, 基礎工, Vol. 13, No. 8, pp. 11~16, 1985.
- 52) 吉国 洋: パーチカルドレーン工法の設計と管理, 技報堂出版, 1979.
- 53) Wijk, W.V. and Vicelja, J. L. : Asphalt Overlay Fabrics, A Life Time Extension of New Asphalt Overlay, Proceedings of Reflective Cracking in Pavements—Assessment and Control—, Liege, pp. 312~319, 1989.
- 54) シート工法研究委員会: 道路舗装におけるシート工法に関する調査研究報告書, 1975.
- 55) 山岡一三・山本第四郎・原 富男: ジオテキスタイルを用いたオバーレイ工法, 舗装, Vol. 24, No. 6, pp. 8~16, 1989.
- 56) 安田勝美・水取清一・堀田 穂: 舗装(オバーレイ)におけるジオテキスタイルの利用, ジオテキスタイルの適用性に関するシンポジウム, 土質工学会, pp. 157~164, 1990.
- 57) 伊藤孝之・御船眞人・関口吉男・板井幸市・杉本政彦: 路盤面被覆工の設計, 施工に関する研究, 鉄道技術研究報告, No. 1319 (施設編第 576 号), 1986.
- 58) 福岡捷二・藤田光一・加賀谷均: アーマ・レバーの設計, その1—越水対策—, 土木技術資料, Vol. 30, No. 3, pp. 21~26, 1988. 3.
- 59) 久楽勝行・吉岡 淳・細谷政和: アーマ・レバーの設計, その2—浸透対策—, 土木技術資料, Vol. 30, No. 3,

- pp. 27~32, 1988. 3.
- 60) 吉川勝秀・木下英俊・堤 盛良：河川構造物におけるジオテキスタイルの利用、ジオテキスタイルの適用性に関するシンポジウム、土質工学会、pp. 165~170, 1990.
 - 61) 海老名芳郎：遮水材料としての合成ゴムシートの性能、農業土木学会誌、No. 371, 1980.
 - 62) 鶴丸雄二郎：遮水シートの貯水池への適用、昭和 63 年度農業土木課題別研究発表会（造構関係）資料集、1989.
 - 63) 福岡正己：廃棄物処理物におけるジオテキスタイルの利用、ジオテキスタイルの適用性に関するシンポジウム、土質工学会、pp. 177~182, 1990.
 - 64) 日本道路協会：道路土工一のり面工・斜面安定工指針一、1986.
 - 65) 山内裕元・龍岡文夫：補強盛土工法における極限つりあい安定解析法について、第 23 回土質工学研究発表会、pp. 2219~2222, 1988.
 - 66) 22) の(その 4), pp. 86~104, 1988.
 - 67) 山内豊聰・福田直三・赤崎敏也・池上正宏・宮崎良知：勾配の異なる急勾配補強盛土の設計と実際の比較、第 1 回ジオテキスタイルシンポジウム発表論文集、pp. 29~34, 日本ジオテキスタイル学会日本支部、1986.
 - 68) 福田直三・久樂勝行・中村和之・岩崎高明：ポリマーグリッドを用いた補強土の効果と安定解析、土木学会第 43 回年次学術講演会概要集、第 3 部、pp. 24~25, 1988.
 - 69) 名倉克博・坂口昌彦・中西 章・酒見卓也：ジオテキスタイルによる補強盛土の動的変形について、第 3 回ジオテキスタイルシンポジウム発表論文集、国際ジオテキスタイル学会日本支部、pp. 87~91, 1988.
 - 70) 谷 和弘・古賀泰之・鷺田修三：補強盛土の耐震安定解析方法について、第 25 回土質工学研究発表会、土質工学会、pp. 1985~1988, 1990.
 - 71) 山内豊聰・福田直三・周藤宣二：ポリマーグリッドの設計強度の評価試験、第 30 回土質工学シンポジウム論文集、土質工学会、pp. 23~26, 1985.
 - 72) Bonaparte, R., Schmertmann, G.R. and Williams, N.D. : Seismic design of steep reinforced embankment with geogrids and geotextiles, Proceedings of the 3rd International Conference on Geotextiles, Vienna, pp. 273~278, 1986.
 - 73) Jewell, R.A., Raine, N. and Woods, R.I. : Design Methods for Steep Reinforced Embankment, Symposium on Polymer Grid Reinforcement in Civil Engineering, London, pp. 70~81, 1984.
 - 74) Schmertmann, G.R., Bonaparte, R., Chouery, V.C. and Johnson, R. : Design Charts for Geogrid Reinforced Soil Slopes, Proceedings of Geosynthetics '87, New Orleans, Vol. 1, pp. 108~120, 1987.
 - 75) 土木研究センター編：補強土（テールアルメ）壁工法設計施工マニュアル、1989.
 - 76) Minami, K., Nakata, H., Shimada, I., Uehara, S., Maruo, S. and Nakane, A. : Large-scale Failure Experiments on Geotextile-Reinforced Retaining wall, Proceeding of the International Symposium on Geosynthetics —Geotextiles and Geomembranes—, The Japan chapter of International Geotextiles Society, pp. 81~92, 1987.
 - 77) Kutara, K., Minami, T., Nishimura, J. and Fukuda, N. : Experimental studies on the performance of polymer grid reinforced embankment, International Geotechnical Symposium on Theory and Practice of Earth Reinforcement, Fukuoka, Japan, pp. 431~436, 1988.
 - 78) Van Zanten, R.V. : Geotextiles and Geomembranes in Civil Engineering, Balkema, pp. 443~449, 1986.
 - 79) Koerner, R.M., Bao-Lin Hwu and Wayne, M.H. : Soft Soil Stabilization Using Geosynthetics, Geotextiles and Geomembranes, Vol. 6, pp. 33~51, 1987.
 - 80) 福住隆二・西林清茂：ビニロンシートによる軟弱地盤表層処理工法、土木学会第 23 回年次学術講演会概要集、pp. 122-1~4, 1968.
 - 81) 山内豊聰・後藤恵之輔：敷網工の実用支持力公式の一提案、九大工学集報、Vol. 52, No. 3, pp. 201~207, 1979.
 - 82) 清水昭夫・江口 薫：トリカルネット工法の原理と実施例、土木施工、Vol. 21, No. 3, 1980. 11.
 - 83) 山内豊聰・後藤恵之輔・案浦徳裕：版理論を用いた敷網工の沈下量計算、九大工学集報、Vol. 52, No. 4, pp. 433~440, 1979.
 - 84) 渡 義治・樋口洋平：覆土工事におけるジオテキスタイル設計、第 30 回土質工学シンポジウム論文集、土質工学会、pp. 47~50, 1985.
 - 85) Yoshioka, A., Delmas, Ph., Gourc, J.P. and Gotte-land, Ph. : Validation of the 'displacements method' on an experimental reinforced wall at failure, Proceeding of the 4th International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products, Hague, pp. 61~66, 1990.
 - 86) 久樂勝行・護摩堂満・竹内辰典・前田幸男：ジオテキスタイルを用いた盛土部の不同沈下対策とその解析法、土と基礎、Vol. 33, No. 5, 1985.
 - 87) 萩迫英治・落合英俊・林 重徳：ジオグリッドを用いた補強土壁の設計図表、第 3 回ジオテキスタイルシンポジウム発表論文集、国際ジオテキスタイル学会日本支部、pp. 8~14, 1988.
 - 88) 堀 淳二・加倉井正昭・山下 清：ジオテキスタイルの擁壁土圧に与える効果に関する RBSM 解析（その 3）、土木学会第 43 回年次学術講演会概要集、第 3 部、pp. 96~97, 1988.
 - 89) Kutara, K., Miki, H., Nakamura, K., Minami, T., Iwasaki, K., Nishimura, J., Fukuda, N. and Taki, M. : Experimental study on prototype polymer grid reinforced retaining wall, Proceedings of the 4th International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products, Hague, pp. 73~78, 1990.

(1990.10.16・受付)