

ビニロン製織布の土木的利用に関する研究

—特に地盤安定工法への適用について—

福住 隆二
西林 清茂

概 要

合成繊維織布を土木工事に利用する機会は徐々に多くなってきているが、本文はその一環として主として土質工学分野へのビニロン織布の適用について考察したものである。最近筆者などは土木技術的に重要と思われる斜面安定および軟弱地盤表層処理の問題の解決のために、ビニロン織布を適用した一連の開発実験を行ってきた。現在施工法の一応の確立を見たと思うのでここに紹介したい。

1. まえがき

近来、合成化学の発達により極めて強靱かつ低廉な繊維が生産されるようになり、他の合成諸材料と同様に、土木建築分野に利用される面が多くなってきた。養生シート、コンベヤーベルト、土壌などへの適用はすでに極めて普及した実例である。

筆者らは従前からこの材料を地盤安定工法に適用すべく一連の開発研究を行ってきた。特に道路盛土や宅地造成におけるノリ面防護の問題、ならびに埋立地や干拓地などにおけるヘドロ地盤の表層処理などの問題の解決は土木技術的に極めて重要であることから主としてこの二つに焦点をしばって適用検討を進めてきた。

本報告では、まず一般論として織布の土質工学分野における最近の幾つかの適用法を概観的に述べ、ついで上記2問題に対してビニロン織布を使用した最近の実用試験結果を述べるつもりである。

2. 織布の土木的利用

いわゆるシート材には合成繊維織布と不織布および樹脂成型品とがあり、それぞれの材料特徴は多種多様にのびているが、土木的機能から見て特に重要な性質と考えられるものは、

(イ)強度 (ロ)耐久性 (ハ)剛性 (ニ)透過(水)性の4つである。この中の(イ)(ロ)の性質はあらゆる適用面において大であることが望ましいが、(ハ)(ニ)はそれぞれの材料の特徴としてその大小有無に応じて目的別に使われられている。

織布の場合、フレキシブルでかつ透水性があるということが基本的特徴となっており、これをそのまま使用する場合の適用分野はその性質を長所となし得る範囲内にある。フレキシブルな性質は施工時における取り扱いの面でのみ有利なばかりでなく、それ自体が建築物の目的にかなう場合が少なくない。しかし逆に用途によってはこの性質が欠点となる場合もあり、この

ようなときには主としてつぎのような二つの方法によって問題を解決している。

- (イ)強度の高いことを利用して織布に大きな引張り力を与えて剛性の代用とする。
- (ロ)補強、被覆的な意味で剛性の高い材料と組合せ使用する。

また織布に期待する強度、耐久性などの性質とならんで、高い透水性とそのフィルター効果を利点として使用する場合もかなり多い。透水性の大小は織り方によって調節し得るが、さらに適用範囲を広げ逆に止水性の膜として使用するためには樹脂との合成が必要となり織布自体は補強的役割を果たすこととなる。

織布の利用分野を類別すると上に述べたような考慮によって性質を組み合わせ、工事目的と合致させた場合が大部分を占める。以下土質と関連した最近の実例を幾つか具体的にあげて見よう。

(a)洗堀、漂砂防止への利用

合成繊維の織布が引張り強度が高く、タワミ性を有しかつフィルターとしての機能をもつことから注目されている適用法の一つである。

この施工例はオランダに多く、現在施工中の Haringvliet Dam¹⁾ では水門下流側に広範囲に洗堀防止のための合織シートが使用されている(図-1)。サンド

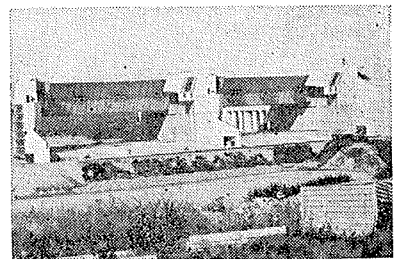


図-1 Haringvliet 水門下流側のシート沈床

マットと捨て石との境界に挿入することにより砂の流亡、捨て石の陥没を防止している。また Grevelingen Dam²⁾ でも基礎海底面全面にこれを布設して海底を保護した(図-2)。

また愛知県赤羽根港では波浪による海底浮遊砂の移動を防止する目的でビニロン製漁網を使用した興味ある施工例³⁾を残している。図-3は防波堤先端部に魚

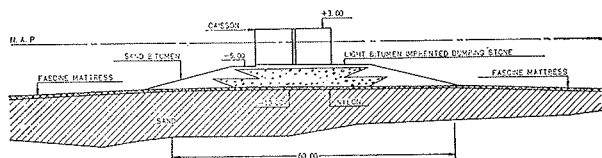


図-2 Grevleingen Damの基礎断面

網沈床を行ない、テトラポットによって抑えた状態を示している。一般によく使用されるソダよりもフレキシブルではあるが、取り扱いや沈設作業が簡単で工費も安いと報告されている。目の荒い魚網が有効であるということは水工学的にも興味ある事実である。

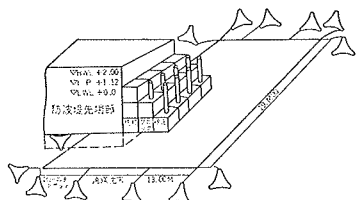


図-3 赤羽根港の漁網沈床

東名佐久米工事では上記と類似の考え方を利用して成功した。浜名湖底に造成したサンドベットの表面をビニロンシートで覆い、捨石生産期間中砂の流亡を防止し長期にわたってその形状を保持させた。

(b) フィルター材としての利用

この目的での主な適用法としては

- (i) 護岸裏込め土の吸出防止
- (ii) 堤防ノリ尻などにおける漏砂防止
- (iii) 浚渫埋立て施工時の土の流亡防止

などがある。これらは合成繊維そのものの持つ特徴をすべて利用した適用法ということができ実施例も極めて多い。図-4は(i)の場合についての高砂での一例である。(ii)は埋立て地周辺への被害を防ぎ同時に埋立ての能率化をはかるもので、埋立て区域周囲の木柵や金網に裏張りして使用される。図-

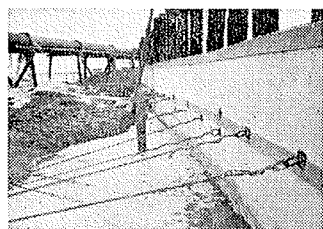


図-5 衣浦の木柵裏張り状況



図-4 高砂岸壁保護工事状況

5は衣浦における施工状況である。

(c) ノリ面保護材としての利用

この場合は現場状況に応じて透水性繊維が使用される場合と不透水性シートが使用される場合とがある。後者の場合の一例としてアメリカの



図-6 ミシシッピ河堤防ノリ面保護

Mississippi 河の堤防の施工例がある(図-6)。ここではゆるい砂のノリ面の崩壊をポリエチレンシートによって経済的に防止している。

降雨などによるエロージョン防止のためには透水性繊維の使用が望ましい。オランダのエムス川干拓水路ではノリ面保護の

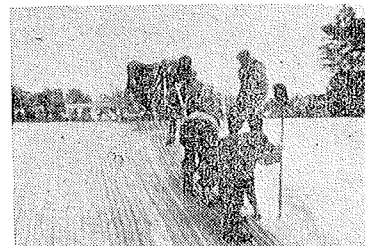


図-7 エムス川干拓水路ノリ面保護工法

目的に特殊な形のナイロン繊維を使用している。図-10に示すように繊維を二重に筒状に縫合し、これを斜面にセットしたのち布筒内に人力で密に砂を詰め込む。図-7はその施工状況である。

筆者らはこの考え方を堤防の斜面舗装や盛土ノリ面の崩壊防止工法に適用することを試みているが、これについては3に詳述する。

(d) 湧水および漏水防止への利用

一般に止水膜としては合繊維布に樹脂塗装したものゴムまたは塩ビシート、まれにポリエチレンなどが使用される。シートをこの目的に使うケースは

- (i) 基礎工事におけるカーテン止水
- (ii) 貯水池底面の全面止水
- (iii) 堤体内の浸潤防止

などいろいろあるが、合繊維布は強度的に期待できるので他材料との合成により上記の各方面に使用されている。

地下水の通路をシート状物で垂直に遮断する工法すなわち遮水幕工法として現在確立されているものには

- (i) トレンチ掘削後シートを挿入する工法
 - (ii) 扁平ケーシングを打込みシートを残しておく工法
- があり、材料としてはビニロンターポリン、塩ビ、スチールなどがある。図-8はビニロンによる遮水幕施工状況である。

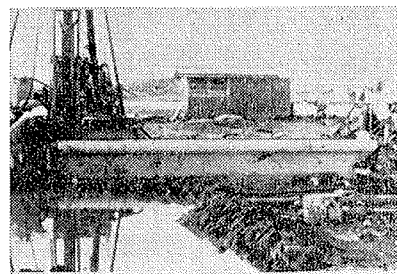


図-8 ビニロン遮水幕工法施工状況

(e) 半透膜としての利用

合繊維布は半透膜の補強材としても使用される。最近軟弱粘土間ゲキ水の脱水工法として半透膜を使用した逆浸透工法⁶⁾が開発された。筆者らは現在本工法の効果と実際への適用性検討を進めつつある。一般に半透膜材料としてはセルローズ、PVAフィルム、セロ

ファンなどが有効であるが、機械的強度が低いために現場施工に耐えない。そこで筆者らはビニロン織布にPVAフィルムをラミネートしたものを現場に使用して成功することができた。図-9は東海製鉄地盤改良工事における実用試験施工の状況である。

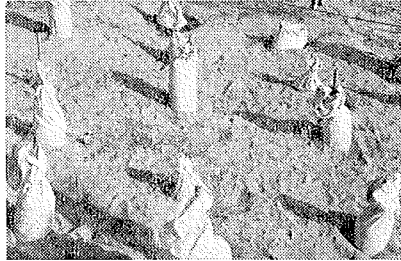


図-9 東海製鉄マイス工法打設状況

(f) 軟弱地盤表層改良への適用

4に述べるごとく、軟弱地盤のトラフィカビリティー改善のために地盤上に織布を布設しその上に土砂をまき出すFagot Sheet工法が開発された。その原理は後述するが、織布に引張り力を与えて剛性の代用とした考え方の好例といえる。本工法は宇部興産堺工事に適用されて以来、すでに各地で実施されている。

これと目的を一にする工法として、ポリエチレンシートによる表層処理工法⁸⁾がある。帯状の薄いシートを特殊な施工法で軟弱地盤上に敷き、その上にポンプ輸送による砂を置く工法で堺埋立地において一実施例がある。ただ前記工法とは施工法および改良原理が著しく異なっている。

合繊織布は以上のほか構造仕上材料、道路材料としても新しい適用分野を開拓しつつある。現在わが国には10種程度の系統の合繊材料があるが、土木建築に使用されているものの70%はビニロンで、ナイロンがこれに次ぐ。その理由は特に強度、耐久性がすぐれている点にある。しかし他の諸材料もその個々の特性を建設目的にマッチさせることにより、将来ますます利用面の開発がなされるであろう。

3. マットレスによるノリ面防護工法

現在、盛土築堤の斜面防護工法として、植生工、吹付け工、張石工、井枠工、コンクリートおよびアスファルト舗装工など各種のものがあるが、ここでは織布を利用したマットレス工法について述べる。この工法は連続したチューブ状の織布内へコンクリートを充填して転圧することによって、斜面地盤と一体となった保護体を造成するもので、従来の工法とはきわめて異なっており経済的にすぐれかつ効果的なノリ面工法である。以下その施工法を述べ最近利根川堤防ノリ面において行なった現場実験の結果について報告する。

3. 1. マットレス工法とその施工

2(c)に述べたごとく、この工法開発の端緒となった

のは、オランダの干拓水路ノリ面保護工法である。オランダでは充填材料として砂を使用しかつその充填は人力によっているが、本工法ではコンクリートを迅速な機械的方法で充填するのが特色である。マットレスは図-10のような構造をしているが、単に2枚の織布

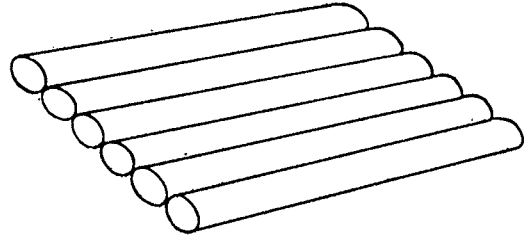


図-10 マットレス構造

の重ね合せではなく、構造強度を考慮して紡織過程上のアイデアにより組み縫いをしてある。

チューブ断面の大きさは斜面の安定性の大小により変えることができるが、直径8~12cm程度が使用に適する。径を大にすれば斜面の安定化はより確実となるが、当然のことながら充填材料の量が増大してしまう。

この工法の施工上の最大の問題点はチューブ内へのコンクリートの充填作業であり、まずチューブ内へパイプを挿入し、小型ブローサーまたは吹付け機などでコンクリートを吹込み同時にパイプを引抜いてゆくという方法をとる。その施工は十分能率的に行ない得るが、その難易はコンクリートの配合条件とパイプの引抜き技術に左右される。

コンクリート充填の終わったマットレスは小型のコンパクターで軽い転圧を行ない、チューブ断面を長円形につぶして厚みを揃える。充填されたモルタルは織布の目からにじみ出し、地盤との接着および隣接チューブ相互の結合を強化する。斜面舗装に有りがちなコンクリートのノリ尻方向へのタレがなく、きわめて均一な施工ができる。

マットレス構造上の問題として

- (イ) 相隣るチューブ相互のコンクリートの連続性
- (ロ) 不等沈下



図-11 マットレス工法施工状況

より草が生えること

などがある。これらについては現在まだ検討すべき要素があるが、幸いビニロン織布が高強度で耐久性がありさらに転圧時に浸出したモルタルが相互を結合するので、これらの問題は大半に解消し得る。またしいて連続性を要求しない場合もあり、このような時には低廉なマットレス材料を単に型枠代りに使用することもできる。また場合によっては斜面の植生を歓迎する考え方もある。

以上のようにマットレス工法をノリ面舗装的に使用

する以外に、盛土などのノリ面崩壊防止の目的で使用するとき、図-12に示すように単

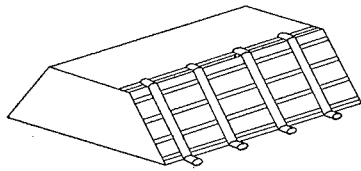


図-12 盛土ノリ面崩壊防止工法

あるいはロープなどで連続し、チューブにはコンクリートを充填して斜面の抑えにし、相隣るチューブの間の地盤に植生を考えた構造にすればさらに経済的なノリ面保護工法となる。チューブ間のノリ面の崩壊は水平に緊張した数段の帯布の引張り力によって防止される。チューブの径、間隔および帯布の間隔はノリ面崩壊の危険度によって適切に決定する。

3. 2. 利根大堰現場における試験施工

利根大堰現場の堤防斜面を利用してマットレス工法の試験施工⁹⁾を実施した。その目的は

- (イ)チューブ内へのコンクリートの充填方法
- (ロ)マットレスに使用する織布の引張り強度、布目間隔、耐久性などの諸条件
- (ハ)マットレス転圧効果
- (ニ)マットレス工法の施工速度と経済性

を把握することにある。

2回にわたる予備実験ののち選定した材料と施工機械によりノリ長さ 4.5 m の斜面保護をきわめて順調に施工することができた。以下その概略の結果を述べる

3. 2. 1. 使用材料 予備実験の結果マットレス材としては布目の比較的粗いものが好適であったため、本試験では表-1に示す品質のものを使用した。この材料は本工法に要求される必要条件をやや上まわるものと考えられ、その適性と経済性から現在さらに研究中である。例えば縦横の糸本数に格差を与えて材料の経済化をはかる方法も考えられる。

		糸本数	強度	伸度
ビロン寒冷沙 No. 5	クチ	12本/in	136kg/5cm	13%
	ヨコ	12本/in	97kg/5cm	14%

表-1 使用したマットレス材料

供試したマットレスは1m巾当たりのチューブ本数を9本とし、長さ4.5m、巾4mのものを単位とした。この巾はコンクリート充填後当然変化することとなるので、ノリ面1m²を施工するためにはマットレス材料が1×1.35m²必要であった。

コンクリートは充填の必要から骨材粒径に制限があり、またスランプが充填の難易に敏感に影響する。また布目から適度にペーストをにじみ出させるためにその分離性も適当である必要がある。実験に使用した配合は表-2のとうりである。この配合は充填機械の性質上やや変則的で、砂量が砂利より多くなっている。ノリ面保護の目的のためには必ずしも高い強度が必要でなく、むしろスランプが重要で、10~13cm程度が

施工に最適であった。なおコンクリート単位体積重量は転圧後 2.35 g/cm³ であった。

材 料	重量配合比
セメント (普通ポルトランド)	1
砂 (φ0.2%程度)	6
砂 利 (φ10~15%程度)	4

表-2 充填コンクリート配合

3. 2. 2. 施 工 予備実験ではコンクリート充填にブレーサーを使用した。容量的な問題もあって施工が困難であったので、本実験ではスイス製のコンクリート吹付け機 Aliver を使用した。この機械はドライコンクリートを定量に送ることができ、吹き出し口に注水装置があり、水量を調整して適当なスランプのコンクリートを作ることができる。

この機械を本工法用に若干改良し、吹き付け口に鉄製パイプ (φ2", l=4 m) を取り付け、コンプレッサー圧 3~5 kg/cm² で使用した。問題なく迅速に施工することができ、また充填状態も良好であった。図-14は充填施工方式を説明したものである。

充填を終わったマットレスの表面を振動式タンパーで転圧し、チューブ側面下面へモルタルを浸出させノリ面との密着性をはかった(図-13)。

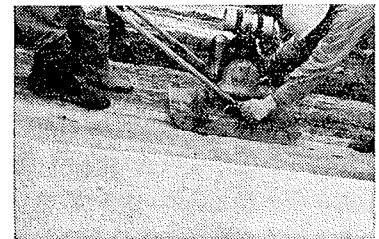


図-13 マットレス転圧状況

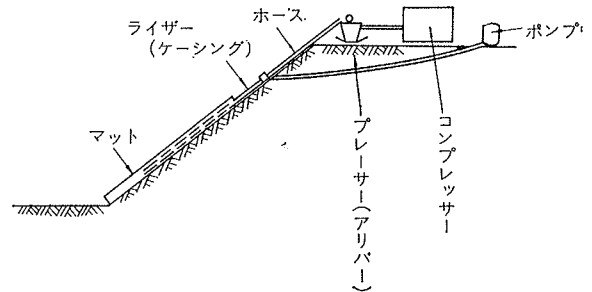


図-14 コンクリート充填施工方式

3. 2. 3. 施工能率と経済性 本工法の施工速度はチューブ内へのコンクリート充填作業に支配的な影響を受け、1サイクルの所要時間

作業項目	所要時間
ライザーパイプ挿入	10~20sec
コンクリート充填	30~40 "
計	40~60 "

表-3 コンクリート充填サイクルタイム

間は表-3のとうりであった。また試験施工の実績からその施工能力は表-4のごとくになった。

本工法の工費はマットレスおよびコンクリート材料費がその主要部分を占めている。したがってコンクリート充填作業の能率向上を追究する一方、上記材料の経済化をはかる必要がある。試験施工に使用したマッ

単位中(1m)当りチューブ本数	9本
チューブ1本(4.5m)当り所要時間	60 sec
単位時間(1時間)当り施工能力	60本
単位時間(1時間)当り施工面積	43 m ²
1日(8時間)当りノリ面施工延長	53 m

表-4 マットレス工法の施工能率

トレスは強度、耐久性とも十分満足できるものであるが、過剰な品質を低下させることによって将来単価低減の可能性がある。またコンクリートにしても配合改善の余地があり、鉄筋挿入法なども考えあわせてセメント量の経済化をはかることもできる。

一方施工速度の面では、パイプの先行挿入によって挿入に要する時間を節約でき、また充填口の構造の改善により大巾なサイクルタイムの減少が期待し得る。

以上検討の結果、施工速度としては将来 400 m²/日程度が考えられ、工費も試験施工実績の約20%減が推定される。これはアスファルトやソイルセメントなどによる従来のノリ面舗装工法に比べてはるかに経済的な工法と考えることができる。

4. Fagot Sheet による軟弱地盤表層処理工法

わが国には軟弱粘土いわゆるへドロによって構成された埋立地、干拓地などがきわめて多く、これらをそれぞれの土地利用目的に沿って使用するためには何らかの地盤改良を行なう必要がある。この場合、地盤改良には大別して2種あり、(イ)重要施設構造物に対する支持力を改善し沈下を防止するための深層改良と、(ロ)軽構造物の支持力のみを保持する目的あるいは施工時の車両機械のトラフイカビリティを確保する目的の浅層改良とがある。(ロ)は一時的、仮設的な要素が多いが、深層改良工事などを含めてへドロ地盤に工事を起そうとするすべての場合にまず問題となることである。

へドロ地盤表層上に人車を走行させ作業を進めるために、通常へドロ上に良質の山土を適当な厚さにまき出すことが行なわれる。しかしへドロの強度はきわめて低いのが一般で、土砂まき出しによって地盤は流動を起して前方へ隆起し、まき出し土は際限なく陥没してゆく(図-15)。したがって必要以上の龐大な良質土を投入せねばならない結果を招く上に、隆起した剰余のへドロを運搬廃棄する必要も生じてくる。これはいわば埋立てに二度手間をかけることであってその経済的損失はきわめて大きい。

Fagot Sheet 工法とは上記のような問題を解決するために開発した軟



図-15 へドロ上まき出し土の陥没流動状況(堺)

弱地盤表層処理工法の一つである。ここでは、表層処理に関する従来の対策を概観し、ついで Fagot Sheet 工法の内容とその効果について述べ、あわせて最近の代表的施工例にふれたい。

4.1. へドロ地盤表層処理のための対策工法

へドロ上へのまき出し土砂の陥没を防ぎ、地盤の塑性流動を阻止する方法として、従来から考えられているものをまとめると表-5のごとくになる。

地盤表層処理工法	まき出し施工法の改善	(a)まき出し方法の改良
		(b)まき出し機械の開発
		(c)まき出し材料の選択
	表層改良工法の適用	(d)表尽土自身の強度増加
		(e)表尽土への薬材添加固結
		(f)表尽土・盛土間への他材料挿入

表-5 地盤表層処理工法の分類

4.1.1. まき出し施工法の改善 浚渫工法を採用する場合を別とすれば、一般に良質土のまき出しはダンプトラックブルドーザーの組合せで行なわれる。このような通常機械を使用する場合でもそのまき出し方法、順序を考慮することによって施工の経済化をはかることができる。たとえばある区域のまき出しを行なう場合、適当な間隔に縦横に土砂の陥没を許した道路を先行して造成しておき、へドロに大きな流動破壊を生じさせないように残部をを薄く施工する方法が考えられる。またたとえば、図-16において(イ)よりも(ロ)の施工法をとる方がまき出し土量を経済化し得ることが確認される。¹⁰⁾これらの施工原理は流動性へドロをできるだけ拘束状態に置き、隆起したへドロはこれを抑え盛土的に使用するという点にある。

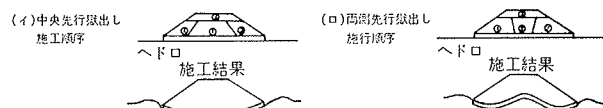


図-16 まき出し順序と流動量の関係(佐野)

また当然のことながらまき出し機械として軽量なもの、接地圧の低いものを使用することが望ましく、小型ブルドーザーを数多く編成した施工例も少なくない。さらには接地圧 0.08 kg/cm² 以下のクオリターマーシュ機などの利用も考慮でき、またジェットコンベヤーで土砂を遠方からへドロ上へ吹き飛ばす工法などもある。しかしこれらはまだ一般的でなく、この方面のより有利な施工機械の開発が望まれる。

一方、まき出し材料として土砂の代りに単位体積重量の低いフライアッシュ残滓などを使用した施工例がある。

4.1.2. 表層改良工法の適用 へドロ表面は日数の経過により薄く乾燥し亀甲状のクラックを生じる。この乾燥表土の存在は流動破壊の抵抗体としては無視されるべきものであるが、技巧的なまき出しを行なう場合作業上非常に重要な役割を果たすものと考えられ、

これを破壊させることは長年月の時間効果を一瞬にして解消することとなり得策ではない。

ヘドロ表層部の水を重力排水する工法として有孔塩ビパイプを不織繊維で被覆して埋設することが行なわれているが、低廉なわりに効果は大きい。一方ヘドロ上では脱水のために戴荷を行なうことが不可能であるため、強制脱水のための幾つかの特殊工法が考えられている。すなわち、大気圧真空工法¹¹⁾、毛管乾燥工法¹²⁾、Hori-Vac 工法¹³⁾、ミス工法⁹⁾その他があげられ、幾つかの施工例を残しているが、いずれも広大な面積を処理する有力な手段とはなっていない。

上記は脱水による表層強度増加を期待したものであるが、ヘドロ上にセメント、石灰などを撒布し軽量なドラゴン機によって混合固結した実施例¹⁴⁾がある。その固結効果はきわめて良いが、混合の不完全さやベタツキによるドラゴン機の稼働性に問題を残した。

以上のような脱水固結工法に代わるべきものとして、ヘドロとまき出し土との間に他のシート状物を介在させる考え方がある。古くはソダ工法がこれに当り、またヘドロの上に竹を縦横に組み上げその上に土をまき出す竹わく工法も幾つかの実施例がある。また最近の剛板諸材料を布設して盛土した試験例も幾つか数えられる。

本節に述べる Fagot Sheet 工法も上記の範疇に属しヘドロ上に一面を織布シートを布設し、その上に盛土を進めて土砂の陥入や地盤の流動を防ぐ工法である。Fagot Sheet は上述のソダ、竹枠その他の材料による場合に比べて材料単価、入手の難易性、施工の迅速性に関しはるかに優れているが、その特徴とするところは別にあり、従来の材料とは異質の全くフレキシブルなものを高度の引張り力に期待して利用したという点にある。

4.2. Fagot Sheet 工法開発の経緯

図-7に示したオランダの水路ノリ面防護用マット工法のアイデアを軟弱地盤表層処理の目的に使用しようと考えたのが本工法のはじまりである。

まず、地盤上に布設したマットレス中へ砂を能率的、機械的に吹込む施工実験を大阪機械工場で実施した。図-17はその時の状況である。カニフミキサーを使用して長さ16mの筒状織布に約10 m/分の速度で砂を密に詰めることができ、この予備実験は一応の成功を収めた。

ついで上記の考え方を神鋼灘浜埋立地に導入し、ヘドロ上に各100 m² づつの改良および非改良地区を設け、この工法の効果を検討した。当埋立地のヘドロの強度はきわめて低く直接土砂をまき出した非改良地区は厚さ約8 mの陥没を見た。改良地区のマットの砂詰めには約1日を要し、その上に土砂をまき出すとマットは約1 m沈下し、まき出し厚さは1.50 mとなった。この上で8 tトラックの走行試験を行なったがトラフ

イカビリティは完全に確保された(図-18)。

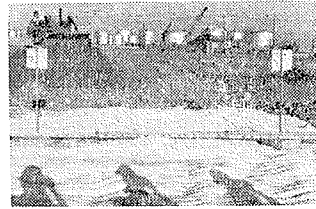


図-18 マット施工試験状況神鋼灘埋立地



図-17 砂充填予備実験 (大阪機械工場)

以上のようにこの現場試験では砂マットの支持効果が確認され一応の成功を収めたが、この実験を通じてつぎの2項目が結論された。

(イ)この支持効果は当初マットの剛性に基づくものと考えられたが、必ずしもそればかりでなく効果の原理はマット自体の張力に基づくものであると考えられた。

(ロ)広大な埋立地の表層処理工法としては人力を要しすぎややこそくな方法であると考えられた。

宇部興産堺工場は超軟弱なヘドロ地盤 ($qu=0.03\sim 0.05\text{kg/cm}^2$) 上に短工期で建設されたが、当初は人車の進入が不可能な状態であった。表層にまき出す土砂は旧海底地盤(-15m)まで陥没し図-15にも示されるごとく地盤の塑性流動はきわめてはげしかった。筆者らは灘浜における施工試験結果を検討のうえ、一枚の織布をヘドロ表面全面に張ることによってこの問題を解決した。最初試験工事¹⁵⁾を実施しつぎのような施工方針を決定した。

(イ)ビニロン織布を全面に布設する。

(ロ)小型ブルドーザーでその上に0.50~1.00m厚の土をまき出す。

(ハ)その上から軽量なジェット式サンドドレーンを施工する。

(ニ)ヘドロ上部の強度増加を見てさらに1 m厚程度の土をまき出す。

この方式を約50,000 m²の地盤に適用した結果、使用土量は大巾に減少し施工も迅速に進行した。図-19はその施工状況である。

八郎瀧干拓地では現在干拓を終り、縦横に各等級の道路を造成しているが、軟弱地盤が多く土砂の陥没がはげしいので従来からソダ

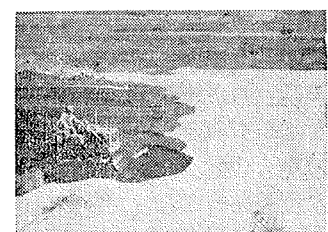


図-19 シート上のまき出し施工状況(宇部興産堺埋立地)

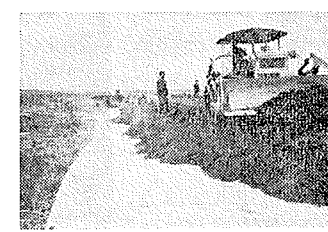


図-20 ヘドロ上の道路盛土試験状況(八郎瀧干拓地)

工法を頻繁に採用していた。今回巾10m、長さ240mの道路区域に4種類のシートを布設して施工試験を行った。図-20はその施工状況である。この結果シートの顕著な効果が確認され、今後のソダ工法に代るべきものとして期待されている。

日本鋼管福山埋立地では広大なヘドロ地盤が表層未処理のままに残されている。この一部に剰余のヘドロを運搬廃棄するための突出し道路の造成が計画された。ヘドロ地盤へ道路盛土をまき出すと約10mの深さまで陥没し巾員10m、延長60mの道路造成に約10,000m³の土量を必要とし工事を中止した。その延長にシート工法を採用した結果約5000m³の土量で巾員20m延長80mの道路を完成し得た。図-21はそのまき出し状況を示している。シート材としては40×40mのものを2種類使用した。

この施工試験¹⁶⁾では本工法はトラック運搬路造成のためにはきわめて経済的なものであることが確認されたが、その後道路盛土の3m嵩上げをするに及んでシートは切断し土砂の陥没が生じ問題を今後に残した。



図-21 シート上の土砂まき出し状況 (福山埋立地)

以上のような施工例を経た現在、この工法の適用範囲、シート構造、施工法に関する知識とアイデアが集積され、しだいに施工法の確立を見つつある。現在各地での実施予定があり、同時に施工原理を追究するための実験も進めている。

4.3. Fagot Sheet 工法の原理と効果

本工法の原理と効果は以下に示す2つの観点から考察することができる。これらについては現在室内実験を行なっているので、その詳細は後日報告することとする。

(a)部分荷重が加えられたときのシートの引張力の発生

地盤に荷重Pが加えられたとき、地盤支持力Qがこれに不足すれば

$$P > Q \dots \dots \dots (1)$$

により荷重は地盤内に陥没する。今地盤上にシートを布設すると、シートは荷重Pにより(2)式のような抵抗力Rを発揮する。

$$R = \frac{P - Q'}{\sin \alpha} \dots \dots \dots (2)$$

この場合地盤支持力Qはシートの存在による抑え荷重の増大によってQ'となり、Q' > Qである。

荷重面積に比較してシートが広範囲に

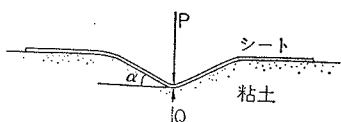


図-22 シート上へかかる集中荷重

布設されている場合、シートの引張り強度をP、荷重周辺のシートの引張り有効巾をBとすれば、最大Rはシートの破断力pBに等しく(3)式が成立する。

$$pB = \frac{P - Q'}{\sin \alpha}$$

ゆえに $P = Q' + p \cdot B \cdot \sin \alpha \dots \dots \dots (3)$

またシート布設面積が比較的小なる場合は、表面地盤の粘着力をc、布設面積をSとすれば、最大Rはシートと地盤の摩擦力c・Sに等しく(4)式が成立する。

$$P = Q' + c \cdot S \cdot \sin \alpha \dots \dots \dots (4)$$

(3)および(4)式の第1項はシート布設により増大した地盤支持力を示し、第2項はシートに負担された載荷量の軽減量を示している。

この原理はある広さをもった完成時の盛土底面支持の場合にも適用できるが、特に盛土のまき出し施工時に顕著な効果を発揮する。まき出し時の盛土材料の荷重はきわめて不規則な集中荷重の組合せである。シートがない場合、ヘドロ上に落された盛土材料はヘドロより単位体積重量が大であるため支持力不足により小規模な破壊を起して今まで以上に不安定な地盤状態を形成する。さらにその上に落された



図-23 まき出し土砂の陥没断面 (推定)



図-24 まき出し先端部に発生するシートの引張力 (福山埋立地)

盛土荷重は再び陥没し、(イ)それが基底にまで達するか、(ロ)側方流動によって周辺のヘドロが隆起して抑え盛土的效果を発揮するかあるいは(ハ)陥没土の荷重分散効果により下層のヘドロに過剰応力が加わらなくなるまで止まらない。このようなことから、ある広さにまき出した土砂の陥没断面は図-23のような様相を呈し、その厚さはきわめて不規則となり、上載荷重の荷重分散層としての必要厚さを上まわる部分が多くなる。シートを布設したときは上述の原理により必要厚さだけの均一な盛土施工が可能となり、この面での経済性はきわめて大きなものとなる(図-24)。

(b)盛土戴荷時のシートと土との間の摩擦力の発生

一般に戴荷重の支持条件として図-25に示す3つの場合が考えられる。(イ)は盛土直接戴荷の場合、(ロ)はシートを使用した場合、(ハ)は剛な基礎の戴荷の場合を示したものであり、それぞれの場合の戴荷時の地中応力状態は相違すると考えられる。支持機構に関しては(イ)(ロ)についてはそれぞれ多くの研究があり、また(ハ)については基礎底面の摩擦の有無による支持力の相違も論じられている。最近(ロ)(ハ)の支持特性の比較検討結果

も報告¹⁷⁾されている。しかし本工法の原理を確証することとなる(イ)(ロ)の差については現在あまり研究が進められていない。

	基礎形式	沈下状態	タワミ性	伸び
イ			有	有
ロ			有	無
ハ			無	無

図-25 載荷重の支持条件と沈下状態

図-25に予想される沈下形状を模式的に示した。(イ)の場合、引張り強さを持たない盛土材料は地盤の側方流動に乗って拡がり沈下を生ずる。この際盛土底面に高い引張り強さを持つシートを介在させると、盛土材料とシートとの摩擦力によって盛土の拡がり沈下は阻止される。また地盤とシートとの間の摩擦力は地盤の塑性流動自体を量的に低減させる効果をも発揮する。この場合の地盤強度、荷重、シートに加わる応力などの相互関係は現在室内実験で解明しつつある。

つぎに以上述べた原理と効果を現場測定結果から検討を加えよう。図-26は堺埋立地におけるシートの有無による地盤の沈下および流動状況を比較¹⁵⁾したものである。シートの存在により沈下が減少するばかりでなくまき出し厚さが均一化し、さらに小さな側方流動破壊が防止されていることがわかる。また図-27は福山埋立地における測定例¹⁰⁾であるが、土砂陥没の防止により土量がきわめて節約されてゐることがわかる。

以上述べたことのほか本工法の効果として

- (イ)図-28に示すように地盤全体の流動変形にもとづく盛土完了地盤での粘土の吹き出しが防止される。
- (ロ)シートの部分的な引張り作用により表層粘土の圧密効果が見られる。またこれが盛土と粘土との間の薄い透水層の役目をする。

などの点もあげられる。

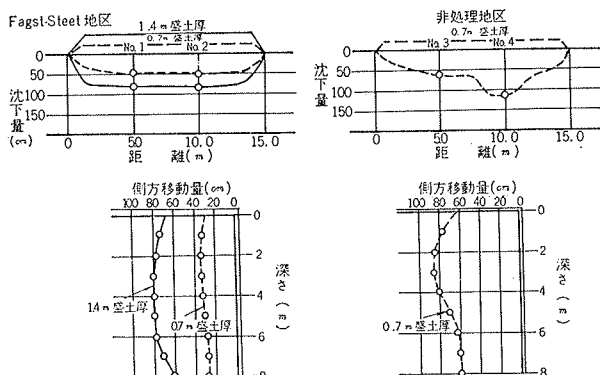


図-26 シートの有無による沈下流動状態の相違 (堺埋立地)

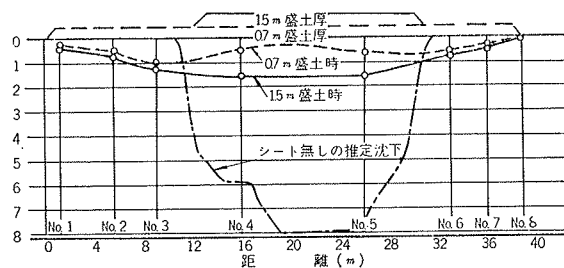


図-27 シートの有無によるまき出し土陥没状態の相違 (福山埋立地)

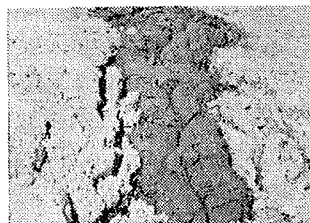


図-28 地盤の流動変形による盛土敷地の粘土の吹き出し (堺埋立地)

4. 4. Fagot Sheet 工法の施工とその検討

ここでは本工法の今までの実施例にもとづいて計画施工上の検討結果をまとめて述べる。

本工法の施工法は適用粘土地盤の強度条件と盛土の荷重条件に支配されて大きく変り、その施工計画上の主眼は上記の条件に沿ったシート材料の選定と土のまき出し方法の決定にある。

シート上への載荷形態には大別してつぎの二つの場合がある。

- (イ)ヘドロ上に平面的な敷地造成を行なう場合
 - (ロ)ヘドロ上に帯状的な道路造成を行なう場合
- 上記のそれぞれは土砂載荷時の地盤流動条件およびシートにかかる応力の均一性に相違があり、計画上まづ区別して考えるのが適当である。

4. 4. 1. 上載荷重の安定

本工法ではヘドロに布設したシート上にかかる荷重として

- (イ)施工時—まき出し土砂荷重とブルドーザー荷重
 - (ロ)完成時—盛土荷重とトラックなど交通荷重
- があり、それぞれの場合について安定性とトラフイカビリティーが問題となる。

施工時はまき出し土量の経済化と布設シートに過度の引張り力を与えないために、できるだけ薄いまき出しを行なうべきである。まき出しに自重 2t 程度のブルドーザーを使用すれば、人の進入不能のヘドロ地盤 ($c=0.02\sim 0.05\text{kg/cm}^2$ 程度)でも 0.3~0.8m 厚さのまき出しが可能である。このように表層に薄くまき出された盛土はシートと一体となって広域のヘドロ地盤安定化に役立つ。

しかし上記の状態では直ちにトラック交通に開放することができない。したがって第2層目の盛土を大型のブルドーザーで行ない、動荷重分散層としての所要盛土厚さにまで達せしめ、そのあとでトラックを追随させる。この時の盛土厚は前記強度の地盤では通常 1.50m程度である。

あるいはまた第1層目のうすいまき出しを終ったのち軽量の地盤改良機械を搬入してヘドロ表層の強度増加を待って交通に開放してもよい。

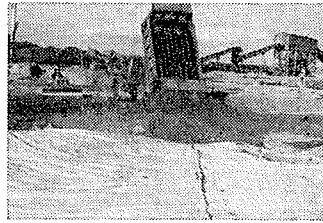


図-29 トラック交通への開放 (福山埋立地)

トラック交通が可能であるという条件の地盤造成を最終目的とする場合は以上が標準の施工法であるが、地盤上に一つ土構造物を造成するという観点から盛土の天端高さを規定し高い盛土の造成を必要とする場合がある。このようなときには本工法をもってしても不可能な場合があり、地盤強度がきわめて低いときは盛土荷重の増大につれてシートの引張り力が限界を越え切断されることとなる。したがってこのような場合にはあらかじめ通常の安定計算を行ない限界盛土高を判断しておくべきである。この安定計算にはスベリ抵抗力としてシートの引張り力(4 t/m 程度)と引裂き力(0.3 t/m 程度)の中間値を加算することができよう。

広域な敷地造成の場合にはまき出し終了後の土砂荷重によってシートは理論上引張り力を受けないが、帯状荷重の場合にはシートは荷重中心方向へ引込まれることになる。したがってシートを拘束するために

(イ)シートと地盤との摩擦を増す意味で荷重巾以上にシートを布設する。

(ロ)シートの両縁を遠方のクイなどに連結する。

などの方法がとられる。これらは帯状荷重強度のある限界内では有効である。しかしいずれにせよ広域な平面荷重の場合の方が帯状荷重の場合より本工法の経済効果が顕著であるということが結論される。

4.4.2. シート材料とその布設 本工法用のシート材料は強度、伸度、耐久性、透水性および土との摩擦力などが問題となるが、なかでも強度が最も重要な選定規準となる。現在のシート材料の中ではビニロン織布が最も好適でかつ低廉である。

前述のようにシートの強度は粘土地盤強度と上載荷重条件によって決まり、表-6 は概略的な目安を示したものである。なお帯状荷重の場合は路線方向と横断方向のシート強度に格差をつけた材料を使用する方が効果的である。

粘土強度 (kg/cm ²)	平面的な敷地造成	帯状的な道路造成
C=0.02~0.05(福山, 堺)	120kg/3cm巾	180kg/3cm巾
C=0.05~0.10	90 "	150 "
C=0.10~0.20(八郎潟)	90 "	120 "

表-6 シート強度と地盤強度との概略の関連

シートは単位巾約1mの帯状物として生産され、これを敷地条件、運搬および布設条件にもとずき所定の大きさに工場縫製される。その大きさは表-7 に示し

	シートNo.	1ブロックの大きさ	施工面積
堺	8006	5m×30m	約50,000m ²
八郎潟	5450 8066	10m×30m 5m×30m	約1,800m ²
福山	5450 2607	10m×40m	約3,200m ²

表-7 シートの使用実績

た実例程度が適当である。現場に搬入されたシートは布設時にロープ結合される。上記の結合部はいずれもシート部分と同等強度を発揮するようにいくつかの考慮がはらわれている。

シートの布設は人力で行なうが、人の進入困難な地盤では足場板を使用する。この際地盤とシートの間に板を残さぬように心掛けるべきである。このような場合の施工量は5000~6000m²/10人/日程度である。

4.4.3. 土砂のまき出し シート上へ土砂をまき出す場合、シートに大きな引張り力を与えるような施工をすればまき出し厚さは小となり、逆の場合はまき出し厚さが大になるという原則をまず把握する必要がある。これはまき出し厚さを目的に応じて調整する場合や強度の大きいシートに十分な役割を果させ、逆に強度不足のシートを破断させぬように使用する場合などの基本となるものである。

まき出し厚さを調整するには具体的に以下のような方法がある。

(イ)まき出し厚さを大にするにはシートをゆるめて布設する。

このときのゆるめた方向にはシートに過剰の引張力が働かない。

(ロ)シートの周辺をさきまき出し、あとで中央部をまき出すと、全体としてまき出し厚さはうすくなる。

(ハ)シートの両縁部を引張って移動を拘束するとまき出し厚さはうすくなる。

つぎに、まき出し時にシートに過剰な局部応力を与えないように注意することが大切である。前述のように、はじめは軽量のブルドーザーでまき出し、ついで大型機を使用して段階的に施工することは、まき出し先端の局部応力を減少させる意味からいっても得策である。また不均一な厚さのまき出しにより土砂荷重とヘドロ押上げ圧との関係に場所的な格差を生じさせることも良くない。また2t程度のブルドーザーならばシート上を直接走行することも可能であるが、排土板などでシートを破断させヘドロを噴出させる危険がある。ヘドロ上の残材やまき出し土中の木根などもシート引裂の原因となることがある。

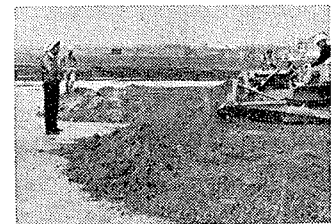


図-30 小型ブルによるまき出し作業状況 (福山埋立地)

4.4.4. 本工法の経済性 本工法の経済効果がどの程度であるかは一概には述べられないが、一般に地盤強度が低いほどシートを使用するときと使用しないときの格差が大きくなるので工法の経済効果は増大する。福山や堺の埋立地の場合、通常のまき出し工法では5~10m程度の陥没を生ずるところが多いが、シートを使用すればこれを1.5~2.0程度にすることができ、その土量の差はきわめて大きくシート材料とまき出し手間の増分を入れても本工法を使用する方がはるかに低廉となる。表一8は福山の試験施工における工費実績を比較したものであるがm²当りの単価は約1/3となっている。順調な施工をする場合にはその差はさらに開くと考えられ、また工期も十分に短縮できる。

	施工面積 (m ²)	使用土量 (m ³)	平均まき厚 (m)	所要日数	1日当り施工面積 (m ²)	1日当り使用土量 (m ³)	m ² 当り単価
シート工法	3,200	5,400	1.69	8	400	675	752
従来工法	1,200	10,000	8.33	8	150	1,250	2,283
比率			0.20	1.00	2.66	0.54	0.33

工法	内訳	金額	合計金額	m ² 当り単価
シート工法	シート工 シート代 1,600×225=360,000 1,600×250=400,000 布設手間 10×1,500=15,000 雑材料 21,200	796,200	2,406,700	752
	土代 5,400×250=1,350,000	1,350,000		
従来工法	土工 2トンブル 157×1,500=235,500 ブル手元 10×1,500=15,000 雑材料 10,000	260,500	2,740,000	2,283
	土代 10,000×250=2,500,000	2,500,000		
	土工 D-8ブル 80×3,000=240,000	240,000		

表一8 本工法と従来工法との工費比較 (福山埋立地)

その上通常のまき出し施工を行なうと押し出されたヘドロの除去の問題が起り、それが可能であるとしても廃棄運搬の経費が当然必要となってくる。またまき出し後サンドドレーンなどの地盤改良を行なう場合には、ヘドロを大中に流動攪乱させたため強度低下した地盤に対して過剰の改良設計をしなければならぬ。またその施工に際してはまき出し土層がきわめて厚いので、その層に対する全く無益な打込みのために手間が増加する結果となる。このような間接的な損失を考えると本工法の経済効果はきわめて大きいということが結論される。

5. 結 語

以上斜面防護および軟弱地盤表層処理に関する二つの工法について述べたが、一見単純そうなこれらの施工法も実際に行なってみると微妙な技術的要素が含まれており、設計施工法に関し残された問題も少なくない。室内実験的にも裏付けを行ない早急に解決したいと考えている。

なお、上記の工法は倉敷レーヨンと共同で研究開発を行なったものであることを付記しておく。最後に本工法の研究開発に当り倉敷レーヨンKK担当者各位な

らびに当研究所齋藤主任研究員の御協力を謝し、また現場実験の実施に関し当社大阪機械工場ならびに東海製鉄上野町、神鋼灘浜、鋼管福山、宇部興産堺、利根大堰行田、八郎瀧の各工事々務所の方々の御援助を深謝する。

〔参考文献〕

- (1)J.S. Lingsma: Holland and the Delta Plan: 1964
- (2)Function of the dam and of the auxiliary projects: Rijkswaterstaat Deltadienst
- (3)三輪 英一: 砕波線付近における突堤の施工について・水産庁39.2
- (4)松尾新一郎他: フィルター材としての布の応用: 第1回土質工学研究発表会講演集. 41. 11
- (5)Film Reduces Costs: Construction Method: 1966. 8
- (6)三瀬 貞他: MAIS 工法に関する基礎的研究: 土木学会講要(21)41. 5
- (7)福住・西林: MAIS 工法現場実験工事報告書: 41. 2
- (8)亜細亜浚渫KK: 軟泥土の表土安定処理工法: 41. 2
- (9)齋藤, 福住, 西林: マットレス工法によるノリ面保護実験報告書: 41. 6
- (10)佐野 文彦: 軟弱地盤の機械化施工: 建設機械 1966. 5
- (11)三笠正人他: サンドマットによる埋立粘土の圧密改良工法の現場実験: 土と基礎特集号 4: 36. 1
- (12)松尾新一郎他: 毛管乾燥工法に関する研究: 土木学会講要(20)40. 5
- (13)網干寿夫他: 軟弱地盤の真空排水工法に関する二三の実験的研究: 土木学会講要(19)39. 5
- (14)三瀬 貞他: ヘドロ地帯の添加材による急速安定工法・土木学会講要(20)40. 5
- (15)福住・西林: Fagot Sheet 工法による軟弱地盤表層処理工法(堺埋立地) 41. 7
- (16)福住・西林: Fagot Sheet 工法試験工事報告書(福山埋立地) 41. 11
- (17)伊藤富雄他: 築堤の軟弱地基礎地盤の流動について: 土木学会講要(21)41. 5