

### 3-3 ファゴット工法の原理

ファゴット工法の原理および効果は大きく次の2つの要素に分けることができる。

(1) 土砂まき出し時の土砂陥没防止効果

(2) 完成後の盛土構造体安定効果

1 土砂まき出し時の土砂陥没防止効果

図-1は軟弱地盤上に直接土砂をまき出した場合のまき出し土陥没状況の模式図であり、図-2はファゴット工法を適用した場合の盛土安定模式図である。



図-1 直接まき出しの場合

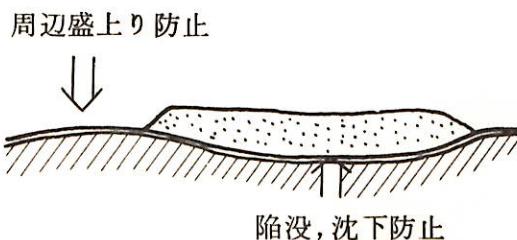


図-2 ファゴット工法の場合

同一の盛土載荷であっても、軟弱地盤上に盛土を直接載荷する場合には、載荷物は陥没してしまうが、シートが存在している場合には、シートの引張応力によって陥没しようとする載荷物を両端から上へ持上げようとする力が働く。これはハンモックと同一の原理と考えることができる。ファゴット工法の場合には、図-3に示すように余分に敷設されたシートと粘土表面との摩擦が累計され、その総合力がシートの引張力と等しい点と考えることができる。

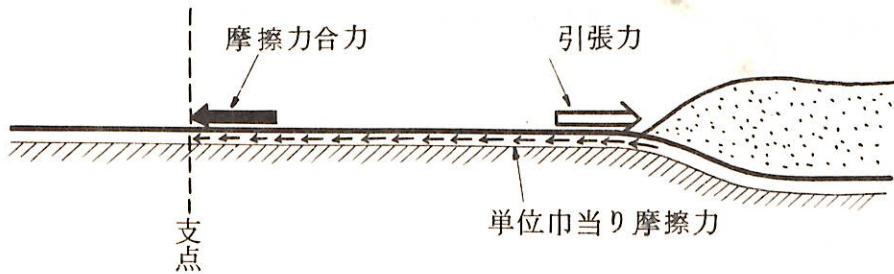


図-3 ファゴット工法における摩擦力発生原理

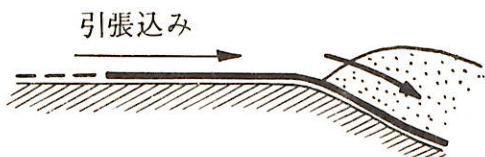


図-4 シート摩擦力不足による陥没



図-5 シート破断による陥没

上記の効果がファゴット工法を成立させる第1の原理である。これに附隨して軟弱地盤に盛土を直接載荷すれば、載荷物の荷重によって現地盤が側方へ逃げだし、周辺で盛り上がりうとする現象が発生するがシートが存在する場合には、シートが隆起を押えようとする作用が働き、全体的に側方流動を防止する。これが押え盛土効果である。

### 3-4 完成後の盛土構造体安定効果

3.1で述べた現象は、実際には土砂のまき出し先端部分で発生することになる。次に載荷された直後の載荷物下の現地盤粘性土は軟弱であっても盛土完成後、放置されれば、現地盤表層部分では圧密現象が発生し、現地

盤の強度が増加する。顕著に強度増加する部分は、層厚から見れば数m程度であるが、盛土載荷重を支持するためには十分役立つ。

この状態における力の釣合を考えてみると、図-6に示すように現地盤に作用する盛土荷重は現地盤高さよりも上にある盛土部分の荷重と

斜線部分の重量から同体積の現地盤土の重量を差し引いた分の重量を加えた分だけが荷重として働いていることになる。したがってこれはあたかも水中に物体を浮かべたとき浮力が働くような現象が発生し、その分だけ現地盤に伝わる荷重が減少されるので、そう大きな地盤強度でも載荷物が十分安定していることになる。

盛土体が完成した時点ではシートを取り除いても盛土構造体は一体を保ち安定していると思われるが、この上に施工機械のような他の載荷重が作用した場合、載荷巾の部分だけに荷重が作用し、盛土地盤にクラックが入って、陥没破壊

する。これを  
「拡がり破壊」と称している。

シートが存在する場合には盛土一体化を確保できるので、上載荷重を盛土

$$\text{作用荷重 } P = p_1 + p_2 \\ p_2 = V(\gamma_{t2} - \gamma_{t1})$$

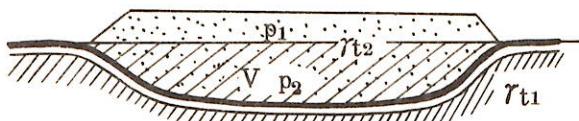


図-6 盛土完成後の盛土荷重

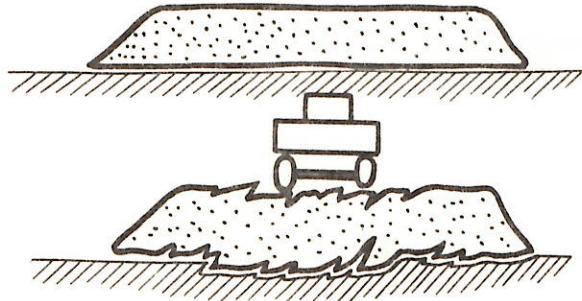


図-7 直接まき出し法の拡がり破壊

内で荷重分散し、軟弱地盤に伝える荷重を分散軽減することによって安定を確保できる。

盛土完成後のシートの役割は上記の点が最も大であるがその他の効果も入れてまとめてみると、

- (1) 完成盛土構造体の拡がり破壊防止効果
- (2) シートと現地盤間に働く現地盤塑性流動防止効果
- (3) 盛土構造体端部におけるシート引張力による支持効果と抑え盛土効果
- (4) 盛土構造体端部におけるすべり破壊防止効果

などがあげられる。

### 3-5 ファゴット工法の設計と施工計画

ファゴット工法の設計および施工計画を行なうにあたっては、設計計画条件として次のような事項をまず第1に調査する必要がある。

- ① 載荷形態…………平面的敷地造成、帯状的道路等造成
- ② 地盤状態…………軟弱層の土性、軟弱層の層厚、分布、地下水位
- ③ 工事条件…………工期、規模、施工機械、陸上か水中か
- ④ その他改良工法の併用の有無
- ⑤ 盛土使用材料の材質

上記の各施工条件を総合勘案して決定すべきである。

$$P_{src} = a \cdot c \cdot N_c \cdot b + P_s \sin \theta \cdot \frac{P}{r} \cdot N_q \cdot b \quad (342)$$

ここで  $P_{src}$ : 荷重

$a$ : 基礎の形状係数

$c$ : 粘着力

$N_c$ : 支持力係数

$b$ : 載荷幅

$p$ : シート引張力

$\theta$ : シートの傾斜角度

$r$ : 仮想円の半径

$N_q$ : 支持力係数

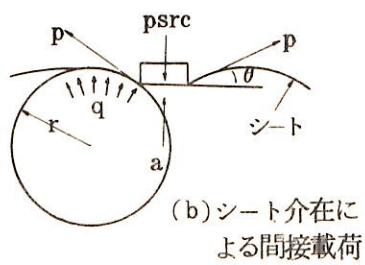


図-8 ファゴット工法における載荷支持機構（理論）

そのためには上述した各条件をできるだけくわしく知ることがファゴット工法の成否に大きく影響する。

以下、各項目について説明する。

#### 1. 載荷形態

ファゴット工法を適用する対象が工場敷地や宅地造成のように広がりをもつた平面的敷地造成であるか、あるいは巾の狭い帯状的な道路、鉄道等であるかは、計画にあたって重要な要素となる。

一般に帶状的道路等造成の場合には、集中的荷重形態になるので施工中、完成後ともシートの引張力の果す役割が大きい上に、広く、シートを敷設できないので、アンカー等をとるため、シートの引張強度も平面的敷地造成よりも大きなものを選定する必要が生じてくる。

## 2. 地盤状態

地盤強度の大小はシートの分担する或荷重の大きさに直接関係するとともに盛土まき出し施工法の決定にも関係する。

層厚は現地盤塑性流動の量に關係するので同様に重要である。

また、軟弱地盤の分布状態、地下水位も盛土まき出し施工法に關係してくる。

地盤状態を知るための調査方法としては、

軟弱地盤の分布、深さ、層別……ボーリング調査

サウンディング調査

軟弱地盤の土性（強度その他の力学、物理特性）…土質試験、貫入試験

強度が測定できる貫入試験……コーンペネトロメーター

スウェーデン式サウンディング

オランダ式二重貫入式コ

コーンペネトロメーター

などがある。軟弱地盤の分布、深さを簡略に知るためには鉄筋棒の押入なども考えられる。

強度の表示法を次に示す。

N 値 ……標準貫入試験値

g u ……一軸圧縮試験値

c ……三軸圧縮試験、直接セン断試験による粘着力

φ ……三軸圧縮試験、直接セン断試験による内部マツ角

q c ……コーンペネトロメーター、オランダ式コーンペネトロメーターによるコーン指数

Nc, Nd ……スウェーデン式サウンディング器械による

このうち判別しやすいのは土質試験から求める  $q_u$ ,  $c$  である。

この他の土性としては物理試験では

1. 含水比  $w$
2. 単位体積重量  $\gamma_t$
3. 粒度試験結果
4. 液性限界, 塑性限界  $w_L$ ,  $w_s$
5. 土質判別結果

力学試験では

1. 圧密試験結果
2. 三軸圧縮試験結果（圧密非排水）

などがある。

### 3. 施工位置条件

陸上であるか水中であるかはシート敷設方法盛土まき出し方法の選択に直接影響してくる。この際、水中の場合にはその水深、水位の変化波浪等も知る必要があろう。

### 4. 工事条件

対象とする工事の規模と工期は、シート選択、盛土まき出し方法の計画に大きく影響してくるので、できるだけ詳細に知る必要がある。

工期を例にとって、短期間であれば、盛土まき出しにおいて一層のまきだし層厚を大にしがちであるが、そうすれば、シート引張強度の大なものを選定せねばならなくなるし、施工機械の選定も高能率のものを使用せざるを得なくなる。

陸上か水中かは当然知っておかねばならない条件である。

### 5. その他の地盤改良工法併用の有無

一般にファゴット工法施工前に対象地盤に工法的な改良を加えることは少ないが、ファゴット工法の途中時点で、きわめて低い接地圧をもった特殊施工機械を使用して、深層地盤改良（サンドドレーン工法、ペーパードレーン工法など）を行なうことがある。

このような場合、地盤改良工法が圧密促進工法であるときには、ファゴット工法の一層盛土材料として砂を使用しサンドマットとするのが普通である。また、最近では、ファゴット工法適用前に石灰やセメントを撒布混合し、ある程度の事前改良をはかることも考えられているので、このようなこともシート選定、盛土まき出し施工法の計画に影響する。

#### 6. 盛土使用材料の材質

一般にファゴット工法では、一層目の盛土材料として砂、山土を使用する。しかし場合によっては砂利玉石、碎石、粘性土等が使用されることが考えられる。

碎石、玉石などはシートの破断の原因となったり、粘性土を使用する場合には、まき出し施工機械の選定が重要となる。

以上の各項目の他にも事前に調査する事項は多々あると思うが、これらのこととを十分事前調査しておくことはファゴット工法を成功の内に完了させるばかりでなく、経済性にも大きく響くことになる。

### 3-6 使用シートの選定

ファゴット工法に使用するシート材料に要求される条件としては、引張強度、透水性、耐久性伸びおよび土との摩擦力の大きさ、縫合性能に秀れていることが要求される。

現在、ファゴット工法に適用されているシート材料としては、ビニロン、ポリプロピレン、ナイロン、ポリエチレンなどの合成繊維がある。代表的なものは「ファゴット工法カタログ」にも掲載されている通りである。参考までに表一 1に示す。

シートの選定にあたって最も大きな決定要因は先に述べた設計計画条件のうち地盤の強度条件、地盤の軟弱層厚、載荷条件、使用盛土材料の材質等であり、これらを総合勘案して決定する。

しかし、これらの条件をすべて包含したシートの選定基準を作成することができないので、まず、一般的に広く行なわれているケースについて分類してみる。

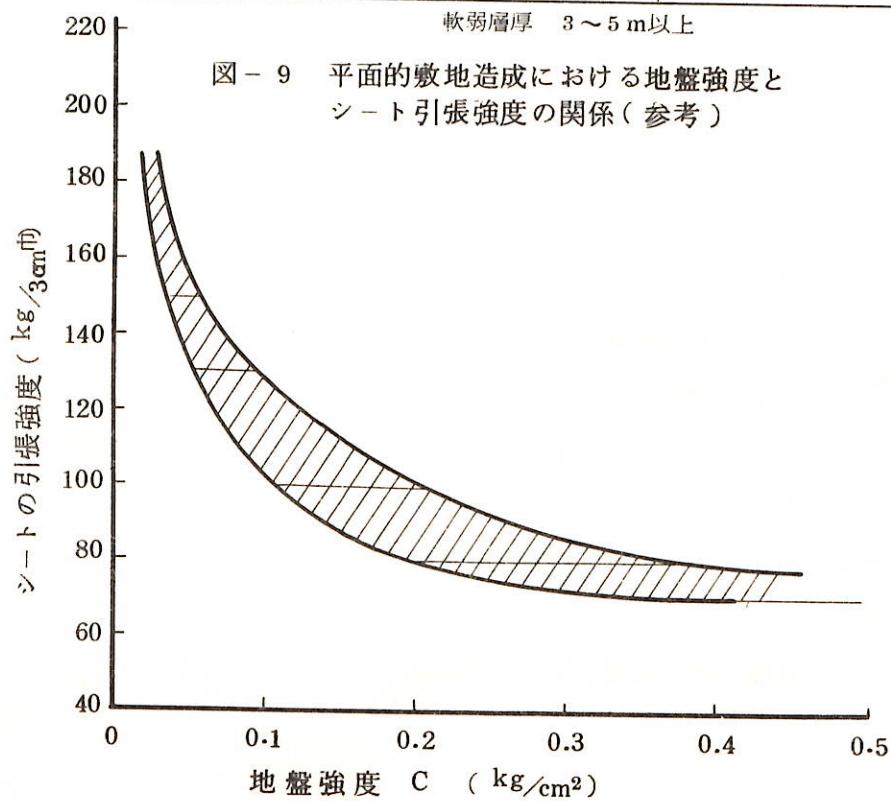
シートの選定で最も大きな決定要因は地盤の強度条件である。これを表一に示す。一応盛土高さも併記しているが、これは通常の土工重機、杭打機が走行可能となる高さである。

また、適用地盤を参考までに示しておく。

ただし、この表一はあくまで過去の実績を地盤強度等と対比させたものであり、しかも、その数値は巾を持ったものであるため、この表を使用するにあたっては、その他の条件をも考慮に入れてシート選定を行なわなければならない。

表-1 平面的敷地造成におけるシート選定指標

地盤強度 粘着力 C kg/cm <sup>2</sup>	シートの引張強度 kg/3cm巾	盛土高さ (安定地盤を得る盛土厚) m	通用地盤の例
0.03程度以下	150以上	2.30～2.00 m 砂層0.50	臨海埋立地(浚渫直後) 湖・沼・池(表面水除去直後)
0.03～0.05	150前後	2.00～1.80 m 砂層0.50	臨海埋立地(浚渫後短期放置) 湖・沼・池(表面水除去短期放置)
0.05～0.10	130～	1.80～1.50 m 砂層0.50	臨海埋立地(長期放置) 自然粘性土地盤
0.10～0.20	100～	1.50～1.20 m 砂層0.50	臨海埋立地(長期放置) 自然粘性土地盤
0.20～0.40	80～	1.20～0.60	自然粘性土地盤
0.40程度以上	70以下	0.60以下	自然粘性土地盤 普通地盤



## 合 織 シ ー ト

品 名	規 格	材 質	重 量	引 張 強 さ	ランク
			9/m <sup>2</sup>	kg/3cm kg/5cm	
クレモナ土木 シート (クラレ)	A	ビニロン	88	61×52	D
	C	ビニロン	160	98×98	C
	NF	ビニロン	230	148×144	B
クラフテル シート (クラレ)	#7510	ポリエスチル	167	150×150	B
	KF	ポリエスチル	280	240×233	A
	#7540	ポリエスチル	350	290×295	特A

## ポリオレフィンシート

品 名	規 格	材 質	重 量	引 張 強 さ	ランク
			9/m	kg/3cm kg/5cm	
P P F シート (三菱油化)	#300	ポリプロピレン	140	129×118	D
	#700	ポリプロピレン	185	165×156	C
	#1000	ポリプロピレン	280	250×240	B

表-2 ファゴット工法に使用されるシート例

以下に考慮すべき事項を列記する。

### 1. 盛土形態の影響

ファゴット工法の適用工事の盛土形態が平面的敷地造成か道路のような帶状的造成かによってシートの選定も異なってくる。一般的に帶状の盛土形態の場合には、シートに過剰な引張力が作用しがちであるので、シート選定にあたっては1ランク上げたものが望ましい。特に地盤強度が粘着力  $C = 0.2 \text{ kg/cm}^2$  程度以下ではその必要性を強く感じる。

## 2. 軟弱層厚の影響

これは地盤強度が  $C = 0.2 \text{ kg/cm}^2$  程度以下の軟弱地盤に関連することであるが、軟弱層厚  $1 \text{ m} \sim 2.0 \text{ m}$  程度では沈下も小さく、また盛土施工中に圧密強度が増加しやすいので、盛土施工方法を十分考慮すれば、若干低めの強度のシートを選定することができる。

## 3. 軟弱地盤地区とファゴット処理地区との関係

池、湖、沼、埋立地などでおいて周囲が強固な地盤で囲まれ、面積も小さい地区にファゴット工法を適用する場合、シートを全面に敷設してあたかも“太鼓の腹”的にするときには盛土施工時に発生する塑性流動が完全にシート下に拘束される。

したがってシートが部分的に大きな引張力を受けやすいのでシートのランクを 1 段階アップした程度のシートを使用することが望ましい。

## 4. 水中施工の影響

水中施工の場合でも盛土面は水面上に頭を出させるわけであるが、盛土の大部分が水面下に没するので、盛土の重量は水中重量となって軽くなり、陸上と同様の盛土高さであれば荷重軽減分だけシートのランクを低下させられると考えがちであるが、このことは、水深が浅い場合にいえることで深い場合にはそ

れだけ盛土厚も  
大となるので荷  
重も大きくなる。

又、一般に水  
中下の地盤はへ  
ドロ化し、強度  
が非常に小とな  
っているので、  
逆に強度大のシ

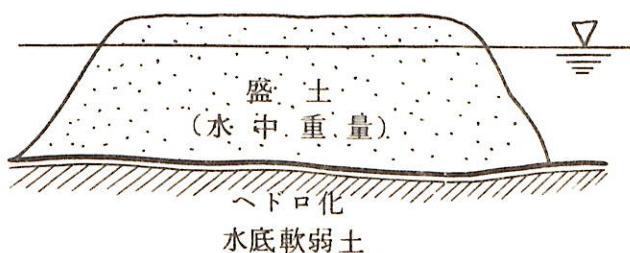


図-20 水中ファゴット工法

ートを適用する必要がある場合が多い。水中施工の場合には、表-1 にと

らわれず盛土施工法も勘案して慎重に決定する必要がある。

#### 5. 盛土材質の影響

盛土材として砂材料とするか、普通の山土にするかもシートの選定に影響を与える。これは粘性土分を多く含む山土等にいえることで、これらは現地盤から圧密排水させた水によって軟弱化しやすいために荷重伝達層としての機能が低下し、所定厚よりも層厚大になりがちである。

このことは軟弱化しやすい山土ほど（ロームシラスなどの火山灰土や、粘土、シルト分を多く含む土）この傾向が大きい。

砂材料のように排水性が良く、水浸したとしても荷重伝達の機能が低下しないものはこの影響を考慮しなくとも良い。

### 3-7 シートの敷設作業

シートの敷設作業は、一般に人力によって行なうことが多い。

シートの単位面積も施工条件によって異なってくるが、一般に使用されているシート面積は、作業性を考慮して  $1,000 \text{ m}^2 \sim 1,500 \text{ m}^2$  を一単位としている。具体的な敷設作業方法としては通常の場合（粘着力  $C = 0.1 \text{ kg/cm}^2$  程度以上），軟弱地盤上にパネル、足場板を敷設して行なう。

これよりも強度小の超軟弱地盤の場合には、舟でシート敷設作業を行なった実例がある。（図-21）水中での敷設方法例を図-22に示す。

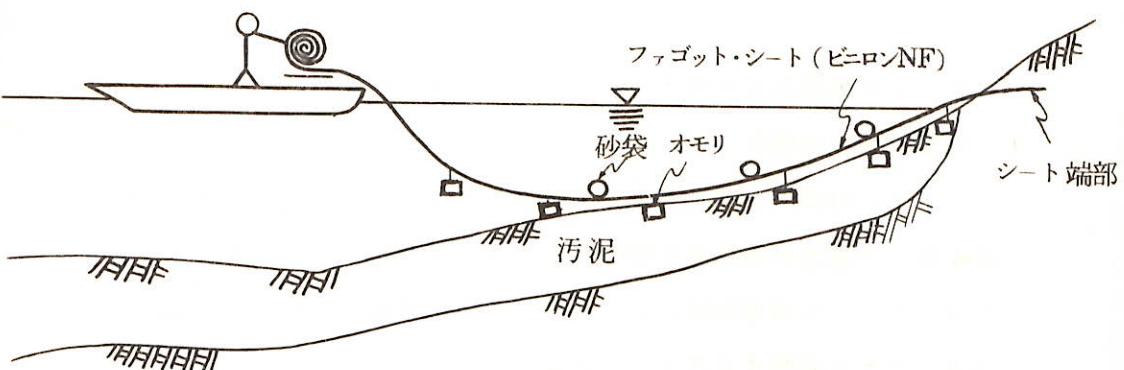


超軟弱土

図-21 超軟弱土上でのシート敷設(例)



図-22 水中のシート敷設(例)



シート敷設面積が広大な場合には、現場でシートをジョイントしなければならない。

シートジョイント方法はロープ結合が主体である。その他シートをラッ

ブさせて、鋼線等でクシ止めする方法もある。このシートジョイント作業はファゴット工法でも重要な部分を占めており、この優劣によっては重大な事故をまねく恐れがあるので、でき得ればロープ結合する方法が望ましい。

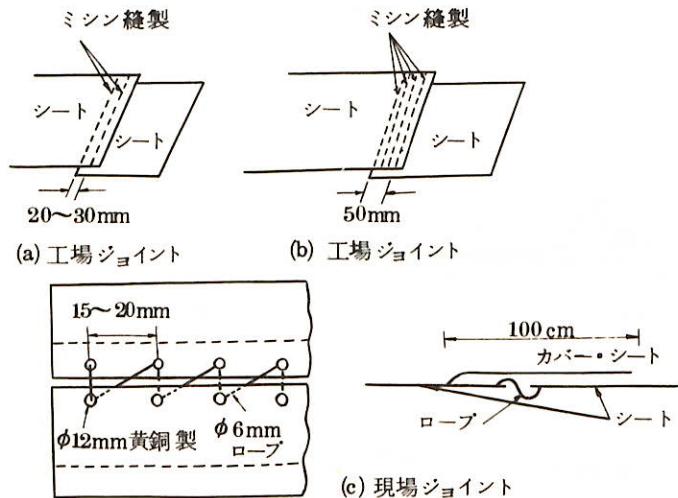


図-23 シートの縫製方法とジョイント形式

次にシート敷設にあたって注意すべき事項をあげると、

#### 1. 平面的敷設の場合

シートに引張力を与えるような敷設方法よりも、若干しわ状に敷設して第1段階の盛土荷重程度に対しては容易に現地盤中に沈下できるようにした方がよい。この理由は、シートの引張力を当初から緩らかせず、最終段階盛土で十分發揮させるためである。

#### 2. 帯状的道路造成の場合

この場合には、ファゴット工法の原理の項で述べたシートの摩擦支点を大きくとることが困難である。そこで、この摩擦支点を十分取るためにシートを広めに敷設したり、シート端部にクイを打ち込むことがある。

後者のシート端部にクイを打ち込む方法は盛土荷重をシート引張力で大

きく支えようとするものであるから表-1にとらわれずシート強度の大きなものを使用する場合が多い。

一般に帯状的道路造

成において地盤強度  $C$

$= 0.2 \text{ kg/cm}^2$  程度以下の場合には表-1において 1~2 ランク上のシート

を使用した方が安全である。

地盤強度が  $C = 0.2 \sim 0.3 \text{ kg/cm}^2$  程度以上の地盤に道路造成を行なう場合にはファゴット工法に期待する主たる効果はまき出し良質土の軟弱地盤への陥入、混合防止にある。

また、地盤の軟弱表層部を取り除き置き換える工法においてファゴット工法を適用すれば効果的である。



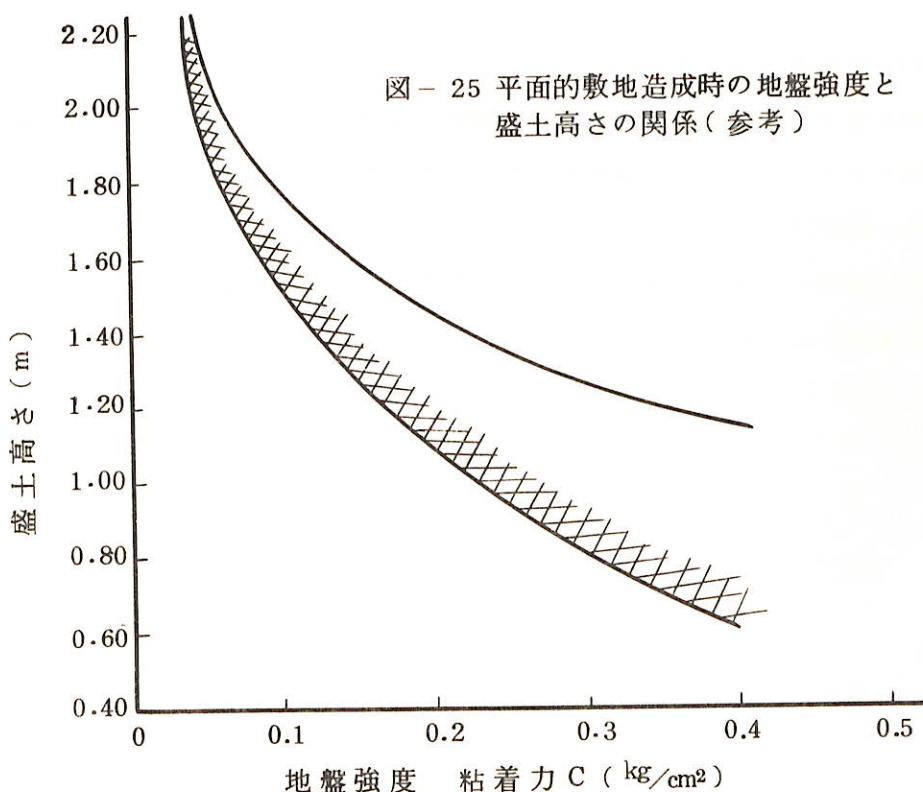
図-24 道路造成時のシート引張力増加方法

### 3-8 盛土施工

盛土まき出し施工にあたっても現地盤条件（強度、層厚、分布）盛土材料、盛土形態を考慮して施工機械、土砂まき出し方法などを決定する必要がある。

#### 1. 所要盛土層厚

まず施工重機（20 ton 級クローラークレーン、10 ton 級ダンプ）等の走行稼動を可能にする盛土厚さと地盤強度との関係については、先のシート選定の項で示した表-1 を参照されたい。



その理由は、厚地盤が高含水であるので、第一層も粘性土を含む山土等を使用した場合には脱水された間ゲキ水が山土を浸潤し土砂まき出し施工機械の走行によって軟弱化され荷重分散層の効果を低減してしまうからである。

地盤強度  $C = 0.20 \text{ kg}/\text{cm}^2$  程度以下の場合には第一層として 50 cm 厚程度の砂層を形成すべきである。やむを得ず、山土を使用する場合には、

その山土の土性（とくに粘土、シルト分の含有状態）を十分考慮して表一

1の盛土層厚よりも大きめに計画する必要がある。

## 2. 土砂まき出し施工方法

ファゴット工法による地盤表層処理の成否はシート敷設後の土砂まき出し施工にかかっているといつても過言ではない。

### (1) 軟弱地盤上に平面的な敷地造成を行なう場合

埋立地や宅地造成などのように平面的で広い面積をファゴット工法で処理する場合の土砂まき出し施工法について述べる。

対象とする地盤は臨海埋立地や、湿地帯（腐植土層）、排水後の池、湖沼が主で、このような地盤の強度は一般的に小さく表-1でいえば、 $C = 0.2 \text{ kg/cm}^2$  程度以下が大部分で、盛土高さは 1.20 m 以上を必要とする。

土砂まき出し施工でまず最初に注意しなければならないのは所用盛土層厚の全層を均一にまき出すことである。シートの引張力が非常に大であるからといって、1 m 以上もの厚さの盛土を 1 段階でまき出せば、荷重が大きいので沈下量も大きく発生する。また、まき出し前方、側方のごく近い部分では、塑性流動を起こした現地盤が膨れ上がってくる。沈下量が大であると、シートに作用する引張力も大となり、しかも、前方の地盤は膨れ上がるため上方向への押し上げ力でシート破断の原因となる。

又、前方の地盤が膨れ上がれば、土砂のまき出し施工自体も困難となる。

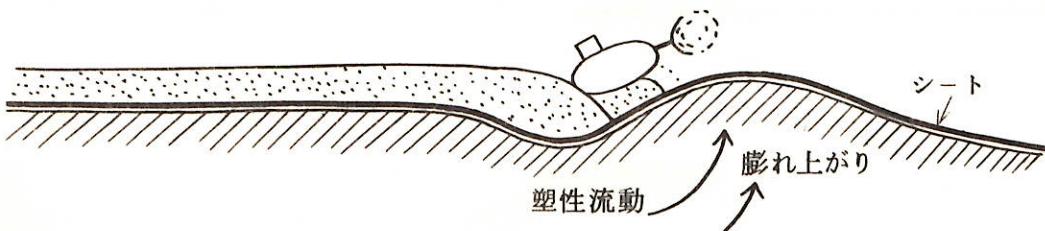


図-26 土砂まき出し時の前方地盤膨れ上がり

ファゴット工法の失敗例の大きな原因の一つはこのような土砂まき出し作業方式によるものである。これはシート引張力の過大視以外に工期短縮を目指す場合に多く見られる。シート破断にいたらないとしても先の理由で土砂まき出しが困難となって作業性が低下し、結果的には逆に工期の遅れにもつながってくる。したがって、土砂まき出し施工方法は基本的に次の方針を厳守する必要がある。

#### (2) 段階的土砂まき出し施工

「土砂まき出し施工は、一層の土砂まき出し厚さを 30 cm 程度とする段階的施工が良い。」

これは、局部的に集中荷重を与えないための方法である。

#### (3) 第 1 層の土砂まき出し

第 1 層のまき出しあは、層厚 50 cm 以下のできるだけ薄いものとする。地盤強度  $C = 0.05 \sim 0.2 \text{ kg/cm}^2$  程度では、土砂まき出し施工機械として自重 2 ~ 3 t 程度の小型ブルドーザーを使用できる。この程度の地盤強度の地盤強度でも表面水等の存在で施工できない場合には次に述べる特殊機械を使用する。

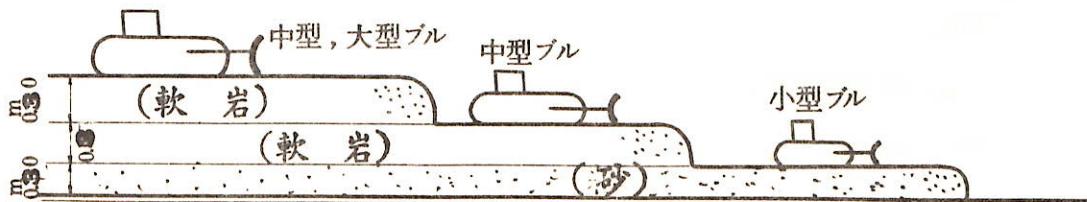


図-27 土砂まき出しにおける段階施工

#### (4) 第2層以後の土砂まき出し

第1層がまき出された部分は若干トラフィカビリティが上がっているので、第2層のまき出し（層厚50cm程度）にあたっては自重8t程度の湿地用中型ブルドーザーを使用して施工能率を上げる。

第3層も層厚50cm程度として、中型あるいは条件によっては大型ブルドーザーを使用する。

#### (5) 施工機械の配置

前述の如く土砂まき出し機械は第1層盛土時に注意して選定する必要があるが、これら各段階を能率良く施工するためには図-29に標準的配置を示すように各まき出し先端間に10～20mの間隔を置き、しかも機械の配置はその機械の施工能力を勘案して計画すべきである。

#### (6) 土砂まき出し時の注意事項

次に土砂まき出しにあたって注意すべき事項をあげる。

- イ. シートジョイント部はできるだけ先行する。
- ロ. シートの端部を先行させ、中央部のまき出しを後行させる。
- ハ. シートの一部分に過度な局部応力を与えないこと。
- ニ. ブルドーザーの排土板でシートを傷つけやすいので、注意すること。
- ホ. シート破損の場合には、放置せず、予備のシートで修復すること。

この場合予備のシートはかなり広めのものとする。

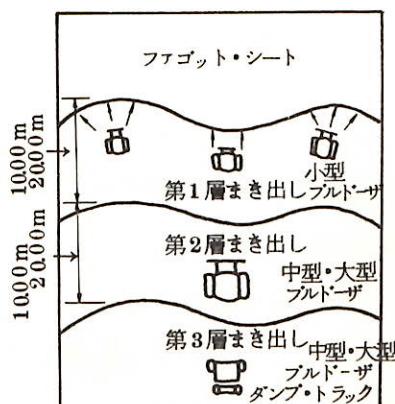


図-29 土砂まき出し状況模式図

図-29 土砂まき出し状況模式図