

# 31. ジオファイバー工法（連続纖維複合補強土工法）の機械化施工

日特建設㈱：堀江 直樹

## 1. はじめに

山間部の多い我が国では、開発や災害により多くの法面が現れる。これら法面には、安定保護工はもとより、環境保全や景観保全に配慮した法面対策工が求められる。

本工法は、棒状の抵抗体を地山内に多数埋め込む「地山補強土工」と、砂質土と連続纖維の混合土からなる「連続纖維補強土工」、さらに植物に覆われた法面をつくりあげる「植生工」とを組み合わせた法面の安定保護工法で、「連続纖維複合補強土工法」である。

この内、連続纖維補強土工は、厚い連続纖維補強土層を築造するジオテキスタイル技術である。ジオテキスタイル技術の多くは、補強材を面的に敷設して土を撒き出し転圧することを繰り返し補強土壁を構築する。これに対し、連続纖維補強土は、法面上で砂質土と連続したポリエステル纖維を均一に吹付混合して、連続纖維補強土壁を構築するものである。

ここでは、本工法の概要と連続纖維補強土の機械化施工技術について報告する。

## 2. ジオファイバー工法（連続纖維複合補強土工法）

### 2.1 工法の概要

ジオファイバー工法は、図-1に示すように、従来のコンクリート吹付工や法枠工、積みブロック工に代わる工法で、「地山補強土工」と「連続纖維補強土工」、および「植生工」を組合せた「連続纖維複合補強土工法」である。

連続纖維補強土の造成形状は、積みブロック工などに代わり、断面を台形状に造成する擁壁形状タイプと、法枠工などに代わり、均一な厚さに造成する法面保護タイプに大別される。

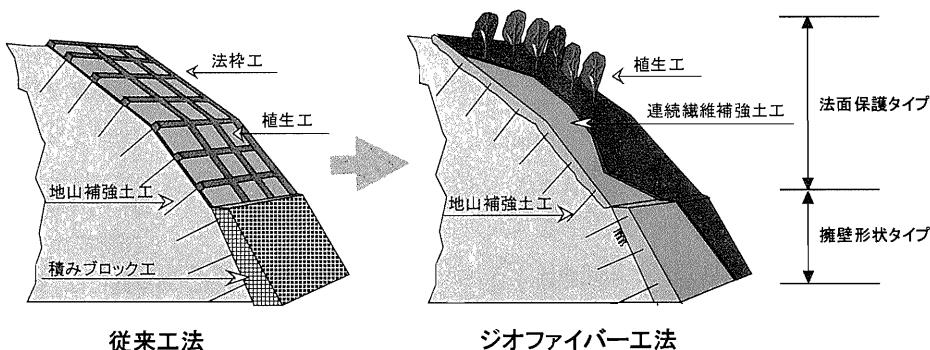


図-1 従来工法とジオファイバー工法

## 2.2 複合補強土帯

法面の安定保護機能は、図-2～3に示すように、「鉄筋補強土帯」・「連続繊維補強土帯」・「バイオアンカー帯」を組み合わせた「複合補強土帯」からなる。

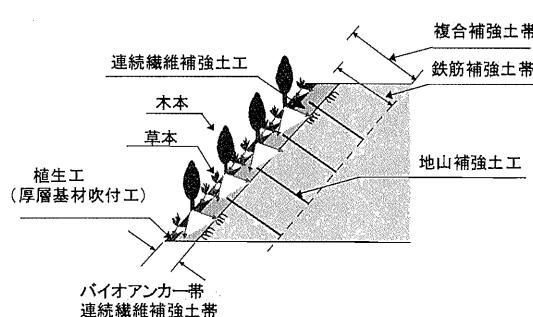


図-2 法面保護タイプの複合補強土帯

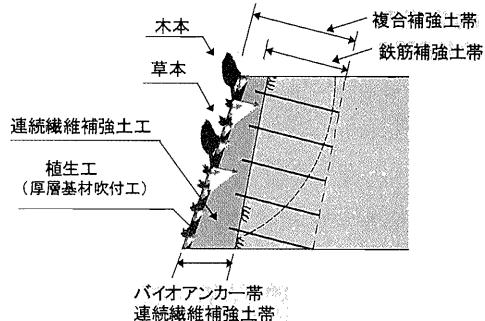


図-3 擁壁タイプの複合補強土帯

## 3. 連続繊維補強土工の概要

### 3.1 連続繊維補強土

連続繊維補強土の材料規格は、表-1に示すとおりである。砂質土と連続繊維との配合割合は、砂質土  $1m^3$ 当たり  $3.3kg$ 以上の連続繊維（繊維の長さは約  $200km$ ）を均一に混合する。この砂質土には、砂質系現地発生土や火山灰などを粒度調整して有効利用することも可能である。また、連続繊維は、回収ペットボトルから再生したポリエステル繊維を使用し、資源の有効活用が図られている。

砂質土に連続繊維を混入した連続繊維補強土は、連続繊維が砂質土の粒子間に均等に混入されることで、繊維が引張り補強材として働き、砂質土に疑似粘着力が付与され、せん断強度が増加して粘り強い土質材料となる（平成4年5月「土木系材料技術・技術審査証明」（（財）土木研究センター）取得）。

表-1 連続繊維補強土の材料規格

種別	項目	規格
素材	材質	ポリエステル（ペットボトル再生繊維）
	太さ	125～300d※ <sup>1)</sup>
	フィラメント数	24～60本
	引張り強度	4.0g/d以上
	砂質土	最大粒径 シルト粘土分含有率 20mm程度以下 20%程度以下
繊維の混入量（連続繊維/砂質土）		3.0～4.0kg/m <sup>3</sup> （標準設計 $3.3kg/m^3$ ）
添加材		必要に応じて
保水・保肥材		1～2個/m <sup>2</sup> ※ <sup>2)</sup>

※<sup>1)</sup> d (デニール) : 繊維  $9000m$ あたりのグラム質量を表す単位 (100 d は繊維  $9000m$ あたり  $100g$ )

※<sup>2)</sup> 有機質ブロック体（連続繊維補強土の表面近くに埋設する）

### 3.2 施工機械

連続繊維補強土工の施工機械には、図-4に示すように砂質土と連続繊維の供給ノズルを人力によって操作する「ハンディータイプ」と、図-5に示すように供給ノズルをバックホウ型のベースマシーンのアームに取り付けた「ロボットタイプ」がある。

施工機械の仕様は表-2に示すとおりである。

連続繊維補強土の築造方法は、機械化された専用の施工システムによって、砂質土を高圧空気によって骨材ホース内を圧送し、先端の骨材ノズルより吐出する。また、連続繊維は高圧水の吐出力によって格納ケース（スレッドフィーダー）内から引き出し、高圧水とともに先端の噴射ノズル（エジェクター）より噴射する。この2系統からの砂質土と連続繊維は、同時に同位置に吐出・噴射して、斜面の法尻から上方に向かって順次積層する。

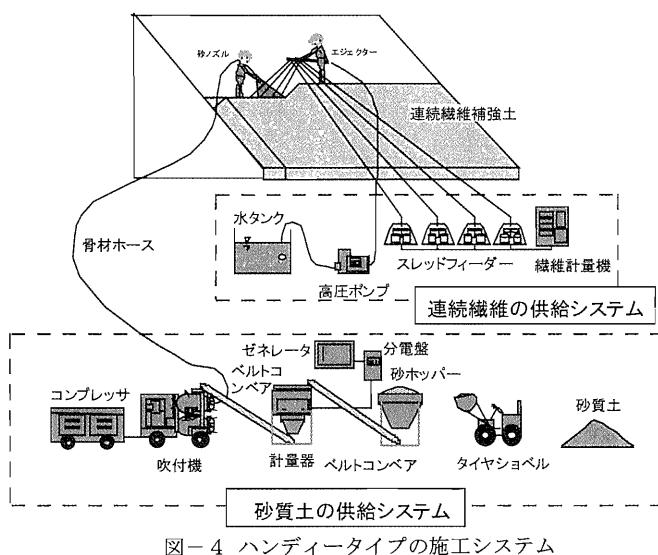


図-4 ハンディータイプの施工システム

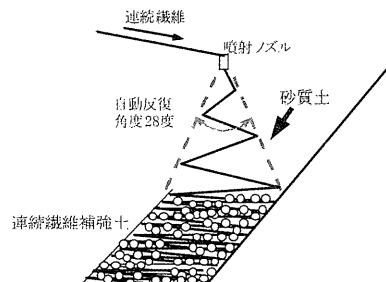


図-6 連続繊維の規則的な配向

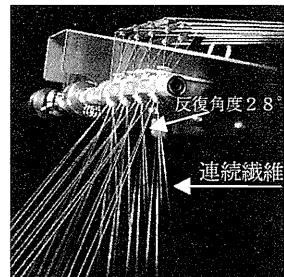


写真-1 ハンディタイプのエジェクター

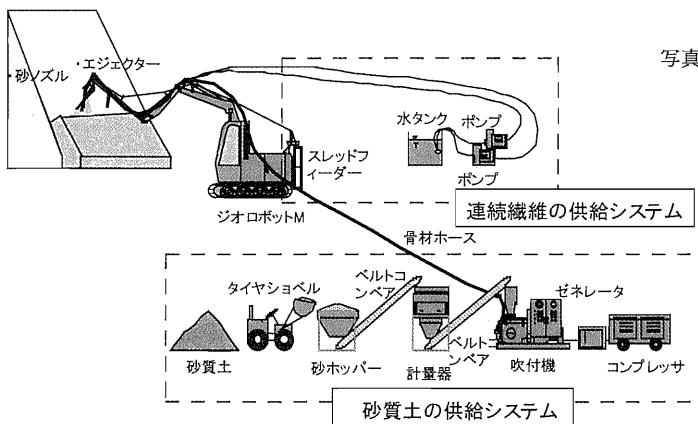


図-5 ロボットタイプの施工システム

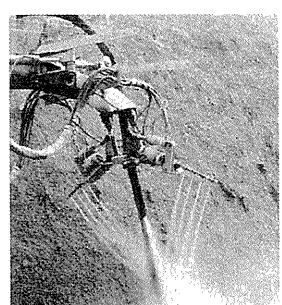


写真-2 ロボットタイプのノズル部

砂質土と連続繊維は、均一に混合されさらに繊維が直線的に配向をもって混合されることで、繊維補強土としての補強効果が増すことができる（図-6）。そこで、連続繊維の噴射ノズルは、ハンディータイプ・ロボットタイプとともに、28度の反復揺動を自動化した（写真-1～2）。

連続繊維の噴射量は、繊維重量を管理しているロードセルの信号を繊維計量機に常時表示することで、経時的な噴射量を管理することが可能である。さらに、砂質土の吐出量は、バッチ毎の値を繊維計量機に表示し管理することが可能である。これにより、連続繊維補強土としての品質が安定するとともに、施工管理を容易にすることが可能である。

ハンディータイプでは、砂質土と連続繊維の供給ノズルを人力によって操作する。これに対し、ロボットタイプでは、写真-2に示すようにノズル部を機械に取り付けた。これにより、人力操作が困難であった太径の骨材ホース（φ65mm）を使用することができ、ハンディータイプでは $1.45\text{ m}^3/\text{h}$ の施工量であるのに対し、ロボットタイプでは、この2倍以上の施工が可能である。また、ノズル部の操作は、ラジコンによる遠隔操作によって、安全性が確保されるとともに、工期の短縮を図ることができる（平成12年3月「連続繊維補強土の機械化施工技術審査証明」（（社）日本建設機械化協会）取得）。

表-2 施工機械の仕様

機種		ハンディータイプ	ロボットタイプ	
項目			ジオロボットM型	ジオロボットL型
施工適用範囲	最大施工高	45.0m	7.0m	15.0m
	圧送距離※	150.0m	60.0m	60.0m
ノズルの操作		(人力)	バッカホ（0.4m <sup>3</sup> 級） ラジコン遠隔操作	バッカホ（0.7m <sup>3</sup> 級） ラジコン遠隔操作
砂質土 供給システム	骨材ホース	φ45mm 耐摩耗ホース	φ65mm 耐摩耗ホース	φ65mm 耐摩耗ホース
	吹付機	A G300N デイゼルエンジン※※ 電動モーター※※ 15kw×1台 重量=2.8t 容量：300リットル	ジオショット800W 電動モーター 17.5kw×2台 重量=5.5t 容量：400～800 リットル×2	ジオショット800W 電動モーター 17.5kw×2台 重量=5.5t 容量：400～800 リットル×2
	コンプレッサ	0.7MPa 19.0m <sup>3</sup> クラス/min	0.7MPa 19.0m <sup>3</sup> クラス/min	0.7MPa 19.0m <sup>3</sup> クラス/min
	ゼネレータ	45KVA	125KVA	125KVA
	ベルトコンベア	350×7m×2台	450×7m×2台	450×7m×2台
	計量機	300kg	1000kg	1000kg
連続繊維 供給システム	ポンプ	3.7kW×1台	3.7kW×2台	3.7kW×2台
	繊維揺動方法	エアーサーリンダーによる 自動揺動	電動モーターによる 自動揺動 400W	電動モーターによる 自動揺動 400W
	繊維揺動反復角度	28.0度	28.0度	28.0度
	繊維揺動数	0～10回/秒	0～30回/秒	0～30回/秒
	ボビン収納数	16～28個	40個	40個
繊維使用量の管理 方法		ロードセル指示 計にて連続計量	ロードセル指示計に て連続計量	ロードセル指示計に て連続計量

※：標準的なホース長（この値以上の距離を圧送する場合はコンプレッサーの容量・付属部品の検討が必要である。）

※※：ディーゼルエンジンまたは電動モーターのいずれかを選定

#### 4. 施工手順

図-6、写真-3～5に、施工の手順およびロボットタイプでの施工事例を示す。

ロボットタイプは、擁壁形状タイプ専用タイプに用いられ、施工規模  $500m^3$  以上の施工に適用される。

写真-3は、鉄筋を地山内に多数埋め込み、地山自体の抵抗値を高めるとともに、連続繊維補強土との一体化を図る「地山補強土工」の施工状況である。写真-4は、砂質土と連続繊維をジェット水と共に噴射・混合させて法面上に厚い連続繊維補強土壁を構築する「連続繊維補強土工」である。写真-5は、連続繊維補強土層の表面に施した「植生工」で、施工完了後に草本植物が繁茂している状況である。

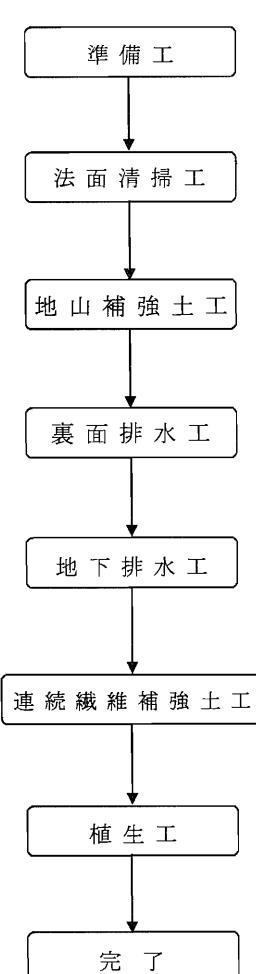


図-6 施工手順

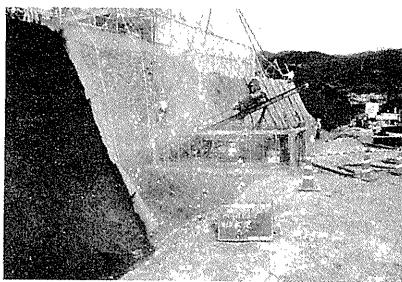


写真-3 地山補強土工（ロックボルト工を施工）

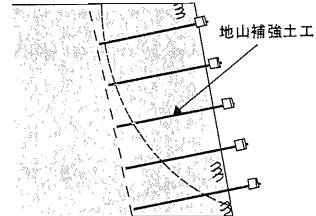


写真-4 連続繊維補強土工

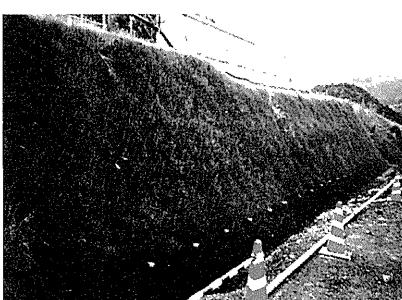
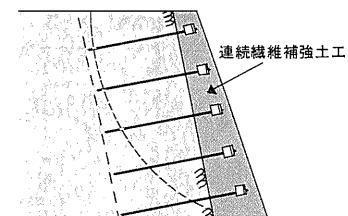
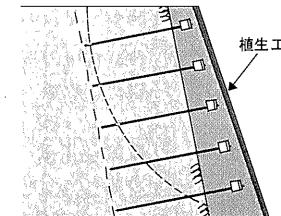


写真-5 植生工（厚層基材吹付工を施工）



## 5. 施工事例

### 5.1 ジオロボットの施工における緑の擁壁づくり

秋田県と青森県の県境には、世界自然遺産に指定されているブナの原生林、白神山地がある。世界自然遺産に通じる秋田県側の道路改良工事において、積みブロック擁壁工に代わって、ジオロボットでの施工を実施した。

写真-6はジオロボットのノズル部をラジオコントローラで操作している状況である。

写真-7はジオロボットにおける連続繊維補強土の施工状況である。写真-8は施工後6ヶ月経過した状況である。大容量の施工が能率良く進み、緑の擁壁が完成した。



写真-6 ラジコン操作

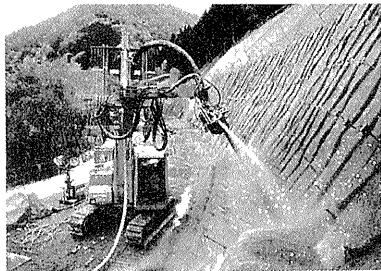


写真-7 連続繊維補強土の施工



写真-8 施工後 6ヶ月経過

### 5.2 阪神大震災で崩壊した山腹斜面の復旧

写真-9は、阪神大震災で山腹斜面が崩壊した状況である。従来工法では、法枠工と植生工との組み合わせで対応することが多いが、遠景からも容易に目立つため、ジオファイバー工法が採用された。尾根添いの地山安定工にはロックボルト工を施し、ハンディータイプにより、20cm厚さの連続繊維補強土を施工した（写真-10）。写真-11は、施工後3年6ヶ月経過した状況である。徐々に周辺の森林景観との調和が進んできている。



写真-9 崩壊山腹斜面

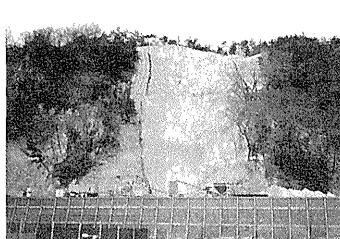


写真-10 連続繊維補強土の施工



写真-11 施工後 3年6ヶ月経過

## 6. おわりに

ジオファイバー工法（連続繊維複合補強土工法）の概要と連続繊維補強土工の機械化施工技術について紹介した。連続繊維補強土は、繊維の適切な混入方法が品質を大きく左右する。これらを機械化することで品質の管理・施工性の向上が図れた。今後とも新たな機械化施工技術に寄与したい。