「ジオテキスタイル」特集

補強土工法、法面補強への繊維の利用

浜 田 敏 裕

1. はじめに

補強土工法は、盛土や地山の内部に土以外の土よりも引張り剛性の高い面状や帯状、あるいは棒状の材料、すなわち補強材を配置して土の自立性を高める近代的な工法である。言いかえと、土自身の性質を変えないで、土の内部の応力分布や歪み状態を変化させて、内部から強化する工法である¹⁾。

補強土工法には、すでに存在している地山を補強材で補強しながら掘削して急な斜面(法面)を形成する「地山補強土工法」、盛土しながら内部に補強材を配置して盛土や擁壁を建設する「盛土補強土工法」、埋立・盛土をしながら水平地盤の支持力を増加する「地盤補強土工法」がある。これらの工法の補強には、鋼材(棒鋼、パイプ、PC鋼材)やFRP製補強材が用途に応じて使用されている。FRP製補強材とは、連続繊維強化プラスチック製の補強材で、炭素繊維、アラミド繊維、ガラス繊維、ビニロン繊維などが一般に用いられている²⁾。

また、工法にはこのほかにも既存の法面にコンクリート材料を被覆して補強する「法面補強工法」がある。

本稿では、これら工法に多用される補強材としての太径棒状補強体と短繊維補強コンクリートによる法面補強について解説する。

2. 太径棒状補強体工法の概要

近年、都市部の再開発などにおいて、鉄道盛土や道路盛土などの斜面を急勾配化して有用な土地を創出する工事が増えている。また、従来からの盛土斜面の耐降雨対策や阪神淡路大震災以降の耐震対策が注目されている。

このような社会状況の中、経済的で効果的な工法として「太径棒状補強体工法」は開発された³⁾。

太径棒状補強体は図1に示すように、芯材、セメントミルク固化体、ソイルセメント固化体の3層構造から成り、従来の補強体に比べ太径(30cm～50cm)の棒状補強体であることが最大の特徴である。また、その補強体の築造においては、深層混合処理工法の中でも高品位の撈拌混合技術を応用している。

さらに、太径の場所打ち棒状補強体であることから、従来の鉄筋補強土に比べ1本あたりの引抜き抵抗力が極めて大きく、打設長を短くかつ本数を少なくすることができ、①工期短縮と②工費節減が同時に図れるというメリットがある。以下、応用例と構成、性能などを説明する。

図1 太径棒状補強体の構造

2.1 太径棒状補強体応用例

(1) 斜面急勾配化

撈拌混合方式の代表的工法として位置付けられ、多数の実績を有する。この用途の場合、ソイルセメント柱体の鉛直抑止杭ならびに低強度抑止杭と併用することで、スムーズな斜面急勾配化施工を可能とする。また、鉄道

Application of Synthetic Fibers to Reinforced Soil and Slope

著者紹介 TOSHIHIRO HAMADA

Kuraray Co., Ltd.

株式会社クラレ 岡山工場 産資開発部 部長

著者は、産業資材分野で使う合成繊維の開発およびその分野の用途開発を専門とされている。

本稿では、補強土工法に多用される補強材としての太径棒状補強体と短繊維補強コンクリートによる法面補強について解説していただいた。

や道路の営業線供用時にも安全に施工することができる。
図2に斜面急勾配化のモデルを示す。

図2 斜面急勾配化モデルにおける応用

(2) 仮土留め

H鋼横矢板などと太径の棒状補強体とを組合せて、既設盛土または自然地山を仮土留めする工法である。土留めの設計で、太径棒状補強体を用いることで隣地境界を侵すことなく設計することを可能とした。太径棒状補強体との組合せの土留め方式としては、親杭横矢板方式のほか、鋼矢板方式もあり、この場合にも、適合部材の使用や適切な施工方法を用い、柔軟な対応が可能である。図3に仮土留めのモデルを示す。

図3 仮土留めにおける太径棒状補強体の応用

2.2 太径棒状補強体におけるFRPロッド

つぎに、太径棒状補強体の芯材で補強の骨格を成すFRPロッドについて触れておく。本用途には従来ネジシ異形鉄筋D32、D35を使用することが基本であった。しかし、重量からの作業性問題、鉄道の迷走電流による発錆問題、作業中の感電問題から、セメントによる耐アルカリ性能に優れ、鉄筋よりも強く、比較的安価なFRPロッドの開

発が望まれたという経緯がある⁴⁾。

ビニロンFRPロッドは、補強材料としてビニロンを使用しているが、ビニロンは耐アルカリ性能に優れており、セメントスレート板の補強用石棉代替材料としての実績がある。繊維結合材(補強樹脂)には耐アルカリ性のエポキシ樹脂を使用し、引抜き成形法でロッドを製造する。この用途に使用するビニロンは高強度ビニロンであり、その力学特性は下記のように優れている。

(1) FRPロッドの原材料

(i) 繊維：ビニロン(高強度ビニロン)

高分子量のポリビニルアルコール樹脂を使用して、高強度を得る。表1に繊維物性を示す。

表1 高強度ビニロンの性能(単繊維物性)

繊維径 (μm)	引張り強度 (cN/dtex)	弾性率 (cN/dtex)	破断伸度 (%)
14	17	460	5

(ii) 繊維結合材：エポキシ樹脂

繊維結合材には、熱硬化性樹脂を使用している。熱硬化性樹脂は種々あるが、耐アルカリ性、ビニロンへの含浸性からエポキシ樹脂が使用される。

(2) FRPロッドの製造方法と形状

FRPの成形方法の1つである引抜き成形法を示す。引抜き成形は繊維を必要な太さに引揃え、ライン方向に引出しながら、硬化剤を混合した液状樹脂に含浸させた後、乾燥炉を通し硬化させ、連続的に成形を行う成形方法である。

図4に2種類のFRPロッドを示す。10D-7は中実の10mm直径ロッドを製造後、数本を樹脂で集束したタイプである。P-3716は、繊維量は集束ロッドと同量でも集束する工程が省略され、一体成形により生産性を向上させた中空タイプのロッドである。

図4 FRPロッド形状

表2 各種引張り芯材の物性⁵⁾

引張り芯材		呼称	比重	呼び径 (mm)	単位重量 (kg/m)	破断荷重 (kN)	引張り強度 (N/mm ²)	備考
FRPロッド	中空タイプ	P-3716	1.25	37	0.97	342.3	588	ビニロン系
	集束タイプ	10D-7	1.25	35	0.82	313.8	569	
ネジフシ異形棒鋼 異形鉄筋		D32	7.89	31.8	6.23	389.3	490	
		D35	7.89	34.9	7.51	468.8	490	

(3) FRPロッドの性能

(i) 試験方法

土木学会連続繊維補強材の引張り試験方法(案)準拠。

(ii) 試験結果

表2にFRPロッドの物性を鉄筋と比較して示す。

FRPロッドが鉄筋に比べて、軽量性と補強性に優れていることが判る。

3. 法面補強工法の概要

法面補強とは、浸食あるいは風化が予測される法面の浸食防止、表層土強化、岩石の風化防止を図るため、主に構造物で法面を被覆するものであり、高速道路沿いの斜面、海岸に面した斜面などに適用されている。最近では緑化による環境保全という点での目的も生じている。法面補強は樹木などによる植栽工法と、構造物による保護工法に大別される。以下、構造物による法面補強工法について述べる。

3.1 法面補強工法の種類

法面補強にあたっては、法面の性状・岩質・土質・形状・湧水有無などの環境条件や施工条件、気象条件などに適合した工法で行う必要がある。表3に工法の概略を示した。

表3 法面補強工法の概略⁶⁾

工法大分類	工法中分類	概要
張工	ブロック張工	タイルの嵌め込み
	コンクリート張工	コンクリートの嵌め込み
枠工	プレキャスト枠工	工場で井桁格子を製造
	現場打ち枠工	現場で井桁格子を設置
	吹付け枠工	上記に吹付けを応用
吹付け工	コンクリート吹付け工	法面に直に吹付ける

上記工法の中で繊維補強が好んで使用される工法は、吹付け工法である。以下吹付け工法について話を進める。

3.2 繊維補強の効果

コンクリートを繊維で補強すると、構造体にひび割れが発生した後にたわみを発現できる。これは、コンクリートに繊維を混入すれば、構造体に少しばかりの変位が生じてても、コンクリートは破断することなく持ちこたえることができることを意味する。これは近年問題になっているコンクリートの崩落・剥落に対して極めて有効な手法であると考えられている。繊維補強によって期待される靱性の向上を、曲げ補強試験結果を例として図5に示す。図中の曲線と横軸で囲まれる面積が大きいほど、補強効果が高いと考えられ、繊維を混入しないプレーンのコンクリートに比べ数百倍もの靱性が得られる。

(a) ビニロン補強体

(b) 繊維補強なし

図5 法面補強用コンクリートの曲げ性能

(試験方法: 10×10×40cm, 三等分点載荷)

法面補強工法、とくに吹付け工法に繊維を混入する期待効果は幾つかあるが、ビニロンを用いた場合の特徴・効果として以下のようにまとめることができる。

- ・ 曲げタフネスの増加が繊維を使用しない場合に比べて7~8倍期待でき、ひびわれ発生後の強度低下が少ない。
- ・ 初期せん断強度、長期せん断強度の増加が20%程度あり、中硬岩地に対して地山の緩み防止や岩塊剥落防止に有効である。
- ・ 吹付けコンクリートが均一となり、スチールと比較して安全に施工できる。
- ・ 吹付けコンクリートの薄層化と、それによる作業時間の減少。
- ・ 金網設置の省略による、危険作業の回避と作業時間の減少。

3.3 吹付け配合

繊維補強コンクリートの組成は、セメント、細骨材、粗骨材、混和剤、繊維、水から成る。細骨材とは一般的に砂であり、川砂、海砂が用いられる。粗骨材としては最大径20mm程度を示すような川砂利や碎石が使用される。混和剤とは上記混合物の流動性を調整するために使用される薬剤であり、流動化剤、減水剤などがある。減水剤とは流動性を維持しながら水を減らすことができる薬剤である。配合例を表4に示す。

表4 繊維強化コンクリート吹付け配合例

セメント	単位量 (kg/m ³)				ビニロン (vol%)
	細骨材	粗骨材	混和剤	水	
385	1074	581	48	198	0.5

3.4 吹付けの実際

実際の吹付けは図6に示すように、上記の配合を混練するミキサーと、吹付け現場の吹付け機、両者を接続してコンクリートを搬送するチューブと定量供給装置から成っている。吹付け機まで搬送されたコンクリートは圧縮空気によって霧状に吹付けられる。吹付け機には無人遠隔操作と手動タイプがあるが、後者は切り立った崖などの場面などで使用される。

4. おわりに

本稿では、地山補強分野における有機繊維使用例の極く一部を紹介した。今後有機繊維はその長所である軽量性、加工性、安全性を生かして当該分野に用途を拡大していくことが期待されるが、そのためには繊維性能の向上、加工技術の深化への不断の努力が必要である。

生コン車での混合

ミキサー

アリバー

定量供給装置

吹付け機

図6 吹付けの概要

参考文献

- 1) 岡文夫, 斜面・盛土補強土工法技術総覧(1995).
- 2) 土木学会, 連続繊維補強材のコンクリート構造物への適用, コンクリートライブラリー第72号(1992).
- 3) 松本英美, ラディッシュアンカー工法協会, ジオンセティックス技術情報(2000).
- 4) 浜田敏裕, 河村吉彦, 浦川智行, 吉田茂, 田村幸彦, 館山勝, 太径棒状補強体工法に用いるFRPロッドの性能, 第13回ジオンセティックスシンポジウム論文集(1998).
- 5) 株式会社テノックス, ラディッシュアンカー(太径棒状補強体)工法, 先端建設技術・審査証明報告書(1997).
- 6) 建設産業調査会, 最新コンクリート工事ハンドブック(1996).

第27回炭素材料学会年会

主 催: 炭素材料学会

共 催: 日本化学会, 日本セラミックス協会, 日本学術振興会炭素材料第117委員会(予定)

協 賛: 繊維学会他

後 援: 炭素協会(予定)

会 期: 2000年12月6日(水)~8日(金)

会 場: 北九州国際会議場 <http://www.ijnet.or.jp/kitakyu-cb/>
(北九州市小倉北区浅野3-9-30 JR小倉駅北口より徒歩5分)

懇親会: 2000年12月7日(木)夕刻 年会会場内レストラン「ラ・プラーージュ」

内 容: (オールセッション・ポスターセッション)電極材料, 電池材料, 炭素前駆体, 多結晶黒鉛, ガラス状炭素, 高配向性黒鉛フィルム, 炭素繊維, 複合材料, 黒鉛層間化合物, フラーレンズ, ダイヤモンド, カーバイド, 活性炭, カーボンブラックなどについて

申込方法: 詳細なプログラムを下記事務局までご請求下さい.

又は本学会年会ホームページ<http://www.digital-contents.com/ca/tanso/nenkai.html>をご覧ください.

参加費: (要旨集代込, 懇親会参加費別途)当日受付

炭素材料学会正会員・賛助会員7,000円, 共催・協賛学協会会員8,000円, 非会員12,000円, 学生3,000円

申込・問合せ先: 炭素材料学会事務局 〒113-0033 東京都文京区本郷4-1-4 コスモス本郷ビル

TEL: 03-3815-8514, FAX: 03-3815-8529, 年会関連E-mail: cb-nenkai00@rlz.co.jp

■会場までのアクセスのご案内■

<http://www.ijnet.or.jp/kitakyu-cb/>をご覧ください.

■会場周辺のご宿泊のご案内■

本学会年会ホームページ<http://www.digital-contents.com/ca/tanso/nenkai.html>の「第27回炭素材料学会年会宿泊等ご案内」の項をご覧ください.