

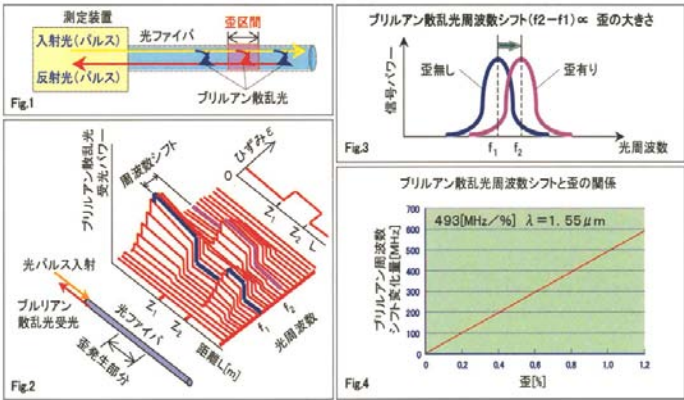
# 光ファイバーセンサー機能付ジオテキスタイルによる補強土壁の安定性評価

前田工織株式会社 法人会員 伊藤修二  
 前田工織株式会社 正会員 吉田浩一  
 前田工織株式会社 正会員 荻野将一  
 前田工織株式会社 正会員 竜田尚希  
 岐阜大学工学部 正会員 辻慎一郎

## 1. はじめに

ジオテキスタイルを用いた補強土壁の施工中および施工後における変状の有無や安定性の評価は、ジオテキスタイルのひずみを計測することにより実施されることがある。ジオテキスタイルのひずみ計測には、ひずみゲージが一般的に使用されている。しかし、ジオテキスタイルのひずみを連続的に計測する場合には、ひずみゲージを数多く配置する必要があるため、ひずみゲージ単体が安価であっても、設置の手間やケーブルのコスト等が大きくなり、計測の負担も大きい。また、ひずみゲージの寿命は約2～3年程度であり、長期的な計測は難しい。そこで、ひずみ計測の新しい手法として、既に鋼構造やコンクリート構造物に用いられている光ファイバーを用いた計測を試みた。光ファイバーを適用することによって、ジオテキスタイルを用いた補強土工法における補強領域内の応力状態を、連続的に且つ長期的に計測することが可能となる。また、災害時における補強土壁の健全度評価指標として光ファイバーセンサー機能付ジオテキスタイルのひずみを計測し、補強土壁の内部の変状を予測することなどができる。本論文では、「光ファイバーセンサー機能付ジオテキスタイル」を敷設した補強盛土2例の計測結果を報告する。

## 2. 光ファイバーセンサー機能付ジオテキスタイル (1) 光ファイバーによるひずみ計測 (BOTDR 方式)

光ファイバーによるひずみ計測は、に示すような、光ファイバーに光パルスを入射し、ブリルアン散乱光の周波数の変化からひずみの大きさを計測する BOTDR 方式で行う。光ファイバーの片端から入射したレーザパルスは光ファイバー内を伝播しながらブリルアン散乱による戻り光を発生するが、ひずみが発生した箇所において、この戻り光の周波数が変化する。その変化量とひずみが比例する性質を利用して、光ファイバーのひずみを計測することができる。また光パルスが戻るまでの時間を計測することにより、ひずみの発生位置が求められる。

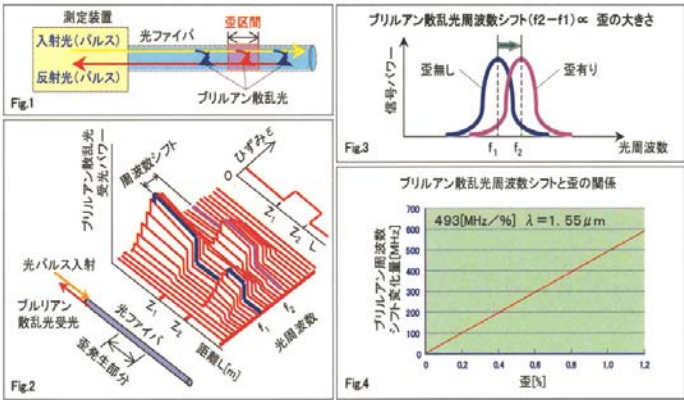


図-1 BOTDR によるひずみの計測原理

(2) 光ファイバーセンサー機能付ジオテキスタイル  
 ジオテキスタイルを用いた補強盛土に使用される盛土材は、粘性土から礫質土と適用範囲が多い事が特徴である。そのため、施工時に光ファイバーが切

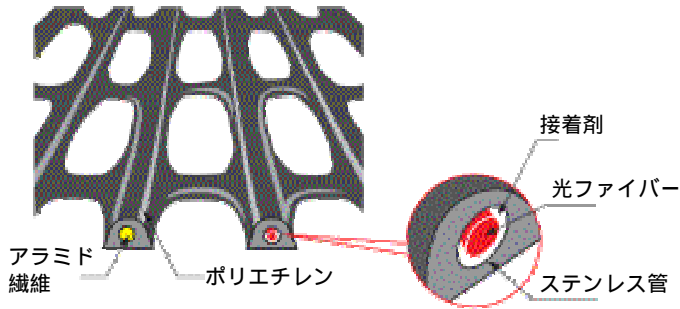


図-2 光ファイバーセンサー機能付ジオテキスタイル

Stability assessment of reinforced soil wall using optical fiber sensor geotextile : Shuji Ito (E-mail : s\_ito@mdk.co.jp), Koichi Yoshida, Syoichi Ogino, Naoki Tatta (Maeda Kosen Co.,Ltd) and Shinichiro Tsuji (Gifu University)

断される恐れなどがある事から保護を必要とする。ジオテキスタイルは縦軸方向にアラミド繊維を芯材として使用しており、高密度ポリエチレン樹脂と一体化させることによって、高い剛性（破断ひずみ：約 5%）や耐衝撃性に優れるなどの特徴を持つ。光ファイバーセンサー機能付ジオテキスタイルの構造は、[図-2](#)に示すように、アラミド繊維の代わりにステンレス管を入れその中に光ファイバーを挿入し接着剤で一体化させたものである。BOTDR 計測器による計測状況の例を[写真-1](#)に示す。



写真-1 BOTDR 計測器によるひずみの計測状況

### (3) 補強土壁の健全度の評価方法

補強土工法の設計では、ジオテキスタイルの製品基準強度にクリープ低減係数を乗じた設計引張強度を用いて設計が行われる。ジオテキスタイルに生じる引張荷重が設計引張強度以下であれば、100 年の耐用年数が保証される<sup>2)</sup>。光ファイバーが挿入されるジオテキスタイルの引張強さと伸び率の関係を[図-3](#)に示す。ジオテキスタイルの設計引張強度に対するひずみが約 3%であることから、設計引張強度時のひずみ量をジオテキスタイルが許容できるひずみ量と考える。このことを考慮して、本論文で提案するジオテキスタイルのひずみに対する安定度評価指標を[表-1](#)に示す。

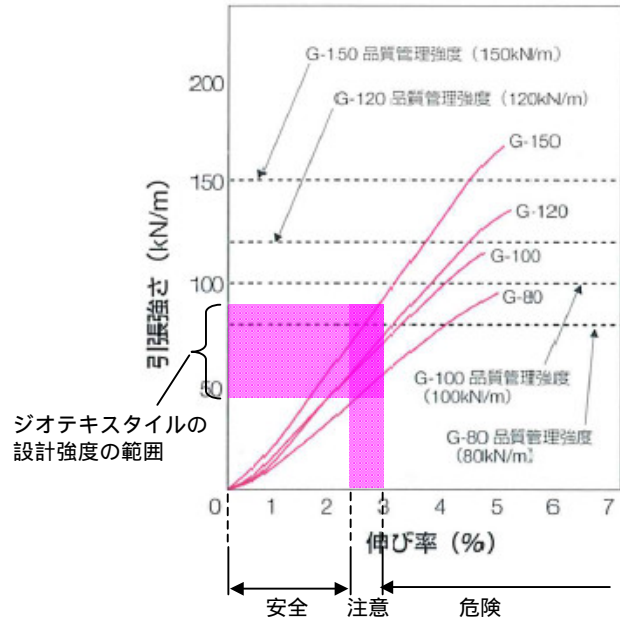


図-3 ジオテキスタイルの引張特性

表-1 安定性評価指標

計測したひずみの最大値 (%)		
安全領域	注意領域	危険領域
0 ~ 2.5	2.5 ~ 3.0	3.0 以上

## 3. 両盛土の高速道路 OFF ランプ盛土への適用

### (1) 補強土壁の概要

高速道路 JCT 工事の OFF ランプの盛土工事において、最大壁高 10.2m、幅 6.5m の幅員の狭い両面盛土形状の垂直補強土壁に、光ファイバーセンサー機能付ジオテキスタイルを適用した。[図-4](#)に補強土壁の横断面図と光ファイバー機能付ジオテキスタイルの配置、[写真-2](#)にジオテキスタイルの敷設状況を示す。補強盛土体の一体性と施工性の向上を目的に、各段のジオテキスタイルは全層敷設とし、単一断面で決定した規格のジオテキスタイルを反対側の壁面まで敷設した。補強土壁の基礎地盤は沖積粘性土層（N 値：1 程度）が約 7m 堆積し、その下位には基盤岩が分布していた。基礎地盤が軟弱であったため、一部区間を除き補強土壁の直下を深層混合処理工による地盤改良を行った。盛土材料の物性を[表-2](#)に示す。盛土材料は、粘土質砂質礫に分類され、施工中は盛

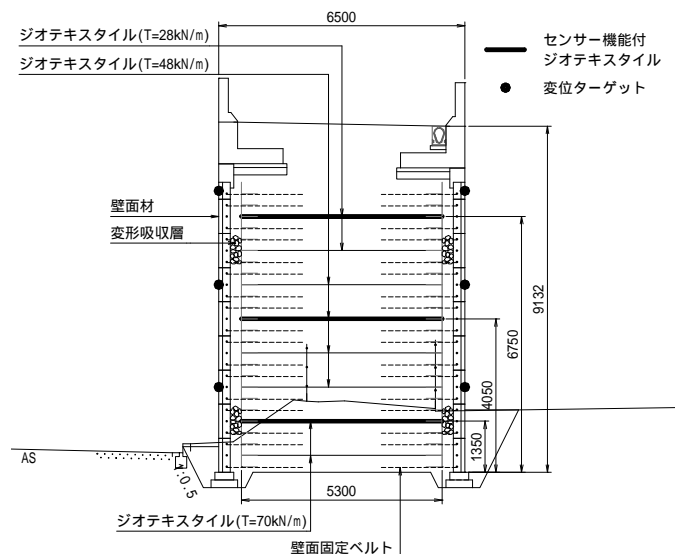


図-4 横断面図

土材料の含水比を調整するため生石灰安定処理工を行った。補強土壁の施工は2008年5月10日に開始し、2008年7月25日に完成した（剛性防護柵工は除く）。

(2) ひずみの計測結果

光ファイバーによるひずみの計測結果を図-5に示す。敷設時を初期値(0%)とし、施工に伴うひずみの増加量の分布を表している。ジオテキスタイルAは両側の壁面より1.5m~2mの箇所でひずみのピークを示している。ジオテキスタイルBに関して盛土の中心でひずみのピークを示している。ジオテキスタイルCについては、ひずみのピークは顕著には現れていない。ひずみを計測した2008年7月24日の時点では、土被り厚さが0.3m程度であったためと考える。最小安全率の円弧すべり線と合わせてみると、ジオテキスタイルに発生しているひずみは設計時の円弧すべり線より壁面側に発生している。このひずみは0.1~0.5%であり、表-1の安定度評価指標では安全領域に対応し、ジオテキスタイルおよび補強土壁は健全であると判定される。



写真-2 ジオテキスタイルの敷設状況

表-2 盛土材料の物性

土の種類		粘土質砂質礫
土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )		2.710
自然含水比 $w_n$ (%)		14.4
粒度分布	礫分 2~75mm (%)	45
	砂分 75 $\mu$ m~2mm (%)	31
	シルト分 5~75 $\mu$ m (%)	15
	粘土分 5 $\mu$ m未満 (%)	9
最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ (g/cm <sup>3</sup> )		1.837
最適含水比 $w_{opt}$ (%)		16.3
粘着力 $c$ (kN/m <sup>2</sup> )		13.0
内部摩擦角 ( $^{\circ}$ )		31.4

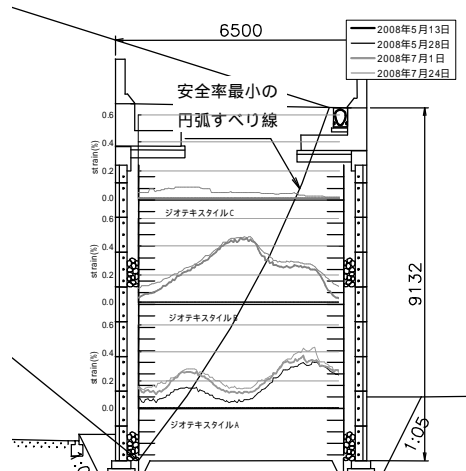
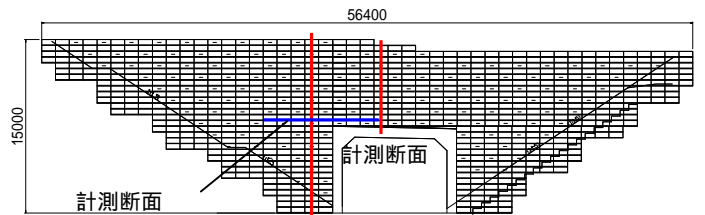


図-5 ひずみの計測結果

4. 最大壁高15mの補強盛土への適用

(1) 補強盛土の概要

第二東名高速道路本線盛土で勾配1:0.6、最大壁高15mの補強盛土に、光ファイバーセンサー機能付ジオテキスタイルを適用した。補強土壁の正面図を図-6に、計測断面、の横断面図と光ファイバー機能付ジオテキスタイルの配置を図-7に示す。写真-3に示すように、補強盛土内にボックスカルバートが設置されるため、ボックスカルバートに隣接している箇所では、補強盛土の圧縮沈下に伴う不等沈下の発生が懸念された。このため、縦断方向（計測断面）の補強領域内（A）と補強領域外（B）に光ファイバーセンサー機能付ジオテキスタイルを敷設するとともに、補強盛土内に沈下板を設置して沈下計測も行った。盛土材料の物性を表-3に示す。盛土材料は砂質礫に分類される。壁面勾配が1:0.6であるため、壁面付近の盛土材料の十分な締固めが困難と予想されたため、壁面から1mの区間は砕石を使用した。補強盛土の基礎地盤はN値50以上の結晶片岩層で沈下の恐れはない箇所である。



計測断面  
図-6 正面図

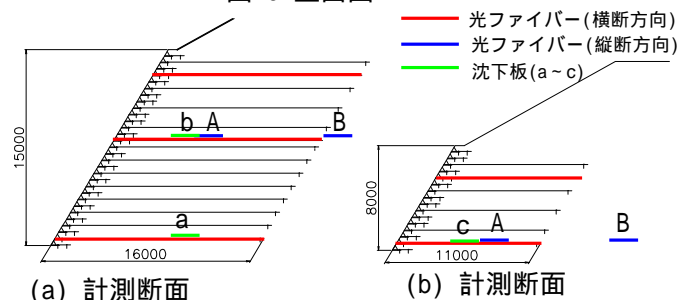


図-7 横断面図



写真-3 補強盛土の施工状況

## (2) ひずみの計測結果

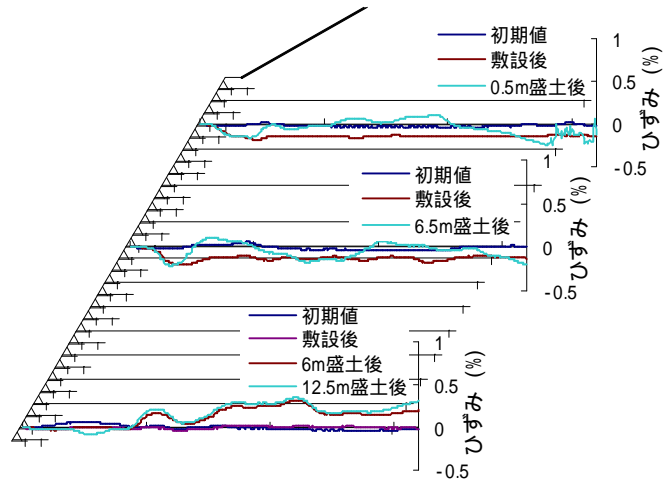
光ファイバーによるひずみの計測結果を図-8に示す。ジオテキスタイルに作用しているひずみは最大で0.4%程度であり、安定度評価指標では安全領域に対応し、ジオテキスタイルおよび補強盛土は健全であると判定される。また、図-9に示すように、縦断方向に敷設したジオテキスタイルのひずみは非常に小さく、ボックスカルバートと補強盛土の境界で不等沈下は生じていないと思われる。また、補強盛土完成時の沈下量は、沈下板 a:82mm、沈下板 b:60mm、沈下板 c:54mmであった。最大壁高が15mにも達しているにもかかわらず、基礎地盤が堅固であることと、良質な盛土材料を用いて適切な締固め管理が行われたため、沈下量の小さい、非常に安定した補強盛土を構築できた。

## 5. おわりに

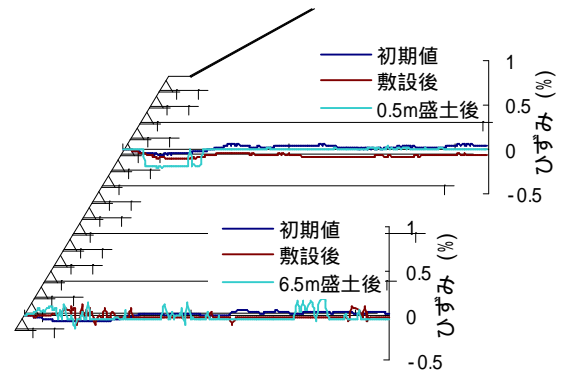
光ファイバーセンサー機能付ジオテキスタイルを用いて、ジオテキスタイルのひずみ分布の計測を行った結果、盛土施工中、施工後および長期間経過後における補強土壁の変状の有無や安定性を評価する手法として適用できることを確認した。今後、多数の工事に本手法を適用し、長期的な計測を行う。本論文を執筆するにあたり、名古屋高速新宝線工事 五洋・竹中土木特定建設工事共同企業体の職員皆様、中日本高速道路豊川工事事務所、第二東名浦梨沢工事 壺山建設の職員皆様をはじめ多くの方々にも多大なる協力を頂いた。末尾ではありますが、ここに特記し謝意を表します。

表-3 盛土材料の物性

土の分類	砂質礫	
土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.736	
自然含水比 $w_n$ (%)	8.7	
粒度分布	礫分 2~75mm (%)	73.7
	砂分 75 $\mu$ m~2mm (%)	24.7
	シルト分 5~75 $\mu$ m (%)	1.6
	粘土分 5 $\mu$ m未満 (%)	
最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.965	
最適含水比 $w_{opt}$ (%)	11.5	
粘着力 $c$ (kN/m <sup>2</sup> )	14.0	
内部摩擦角 ( $^{\circ}$ )	33.7	



(a) 計測断面



(b) 計測断面

図-8 ひずみの計測結果

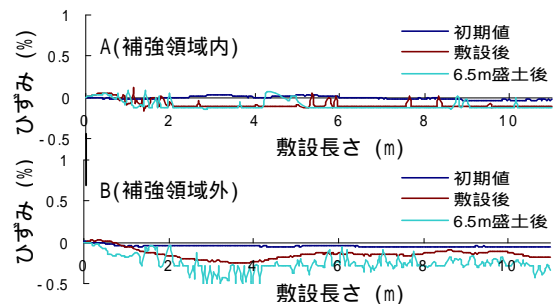


図-9 ひずみの計測結果 (計測断面)

参考文献 1) 吉田ら：二重壁構造を有する補強土壁の両面盛土への適用，ジオシンセティックス論文集，第23巻，pp.183-186，2008．2) 財団法人 土木研究センター：建設技術審査証明報告書「アダム」Gタイプ「アダム」Fタイプ，2002．