

光ファイバを用いた帯状複合体センサによる遮水シートひずみ計測法の検討

東洋建設(株) 正会員 小竹 望 ○北出 圭介
正会員 鶴ヶ崎 和博 馬場 慎太郎
シバタ工業 正会員 西野 好生

1. はじめに

廃棄物処分場の表面遮水工に用いる遮水シートは、非常に柔軟性の高い合成樹脂材などからなり、そのひずみ挙動は施工中の作用や下地層の不陸の影響などを受けやすい¹⁾。ひずみゲージを直接貼付する測定法は局所的ひずみの計測に適しているが、全体挙動の把握には不利な面がある。本研究では、施工時の衝撃や様々な環境作用に対する耐久性を備え、遮水シートの全体挙動の把握・大ひずみ領域の計測が可能なひずみ計測法の開発を目的として、光ファイバセンサを帯状の合成樹脂材料で挟み込んだ帯状複合体センサの適用性を検討した。

2. 帯状複合体センサ

帯状複合体センサは、光ファイバと合成樹脂材から構成される。その構造は、下部シート(厚 $t=1\text{mm}$, 幅 $B=50\text{mm}$)の中央部に光ファイバをセットし、被覆シート($t=1\text{mm}$, $B=25\text{mm}$)と下部シートを熱溶着することにより光ファイバを固定したものである(図-1 断面図)。現場における設置方法は、同センサを予め工場にて製作し、ロール状態で現場に搬入し、計測対象となる遮水シート測定線に沿ってロールから引出しながら遮水シートに熱溶着で接合する。

光ファイバは耐水性・耐腐食性に優れるが、芯材のガラス繊維とアクリル製被覆材で構成されるため脆弱な材料である。遮水シートひずみ計測への適用性検討に当たり、PVC製の下部・被覆シートを用いた $L1=300\text{mm}$ の短い試作品を製作し(図-1)、光ファイバ固定およびセンサ設置における溶着時の耐熱性、被覆層施工や埋立廃棄物投入時の耐衝撃性に関して試験した。現場状況を模擬した条件で耐久性を試験した結果、光ファイバの曲率半径が 30mm 以下にならない限り、下部・被覆シートの保護性能が発揮されると評価された。また、引張限界に関して、 $L1=300\text{mm}$ の供試体に対して遮水シート部に 10% 程度の伸びひずみを与えても光ファイバの断線が生じなかった。荷重～変位関係については、供試体全体のひずみが数%より大きくなると剛性の低下が見られた。このとき、光ファイバ自体の破断ひずみは PVC 製シートに比して極めて小さいことから、数%を超えるひずみ領域においては、光ファイバ表面、被覆材表面あるいは下部・被覆シート部の境界面で滑りが生じていると推定された。

3. 引張試験

帯状複合体センサのひずみ追随性を確認するため、供試体長 $L1=2,000\text{mm}$ の PVC 製遮水シート($t=3\text{mm}$, $B=50\text{mm}$)を計測対象とする引張試験を実施

キーワード 光ファイバセンサ、B-OTDR 法、ひずみ、遮水シート、廃棄物処分場、FEM

連絡先

〒101-8463 東京都千代田区神田錦町 3-7-1 東洋建設(株) 技術本部技術部 TEL03-3296-4719

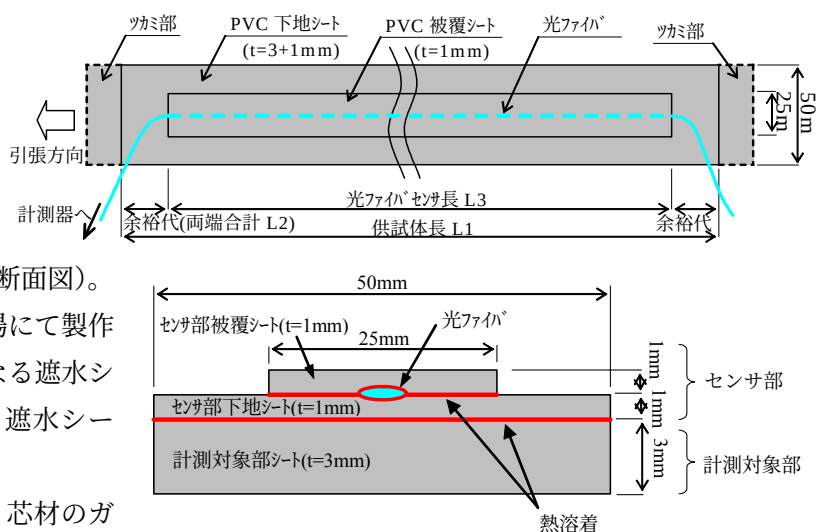


図-1 供試体概略図



写真-1 引張試験状況
(供試体長 $L1=2000\text{mm}$)

した。引張試験用供試体の構成を図-1 に示す。ここではPVC製の下部・被覆シートを用いた帯状複合体センサを熱溶着により遮水シートに接合した。供試体両端のツカミ部で計測対象の遮水シート（ $t=3\text{mm}$, $B=50\text{mm}$ ）を固定し、変位制御（ 0.2 mm/sec ）の引張試験を行った（写真-1）。パルス光を用いたB-OTDR方式により測定される長さL3の光ファイバ部の平均ひずみ（以下、指示ひずみ： ε_f ）と、初期長さL1に対する供試体長手方向の伸びひずみ（以下、設定ひずみ： ε_g ）を測定した（図-2）。3供試体の試験結果は同様な傾向を示し、本試験の範囲では指示ひずみと設定ひずみは線形性が高いことが認められた。ただし、光ファイバ端部（ $\varepsilon=0$ ）および供試体端部の余裕代の伸びによる影響が若干含まれている。なお、光ファイバは $\varepsilon_g=6\sim7\%$ で破断した。

4. FEM 解析

引張試験を再現し、帯状複合体センサの挙動を評価する目的でFEM解析を実施した。解析モデルは引張試験用供試体の形状寸法を基にモデル化し、光ファイバと下部・被覆シートの境界面での滑りを表現するためにせん断バネを設けた（図-3）。解析ケースを

表-1 FEMによる解析ケース

解析ケース	バネ定数 $k(\text{N/mm})$
A-1	剛結
A-2	5
A-3	0.5
A-4	0.05
A-5	0.005

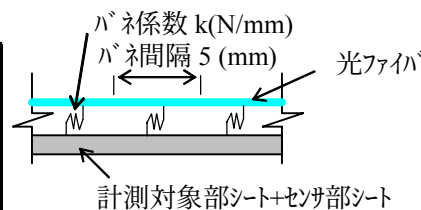


図-3 せん断バネの概念図

表-1 に示す。各材料は線形弾性体として表-2 に示す物性値を用いた。試験結果と同様な傾向を示す解析ケースはA-2であった（図-2）。光ファイバと下部・被覆シートの境界面のせん断剛性 G/EA と指示ひずみと設定ひずみの比 $\varepsilon_f/\varepsilon_g$ の関係を図-4 に示す。ここで、 G はばね定数から換算した境界面のせん断弾性係数

表-2 解析用材料物性値

材料名	寸法	弾性係数 $E(\text{N/mm}^2)$	ポアソン比 ν
計測対象PVCシート	$t=3\text{mm}$	11.6	0.167
センサ部下地PVCシート	$t=1\text{mm}$	11.6	0.167
センサ部被覆PVCシート	$t=1\text{mm}$	11.6	0.167
光ファイバ	$A=0.44\text{mm}^2$	8000	0.167

(N/mm^3)、 E 、 A はそれぞれ計測対象の遮水シートの変形係数 (N/mm^2) と断面積 (mm^2) である。同図から、境界面のせん断剛性 G/EA が相対的に小さくなるに従って $\varepsilon_f/\varepsilon_g$ が小さくなる。言い換えれば、光ファイバの引張限界値（ ε_f の引張限界）は $1\sim3\%$ と小さいが、境界面のせん断剛性を制御できれば、計測対象の遮水シートひずみ（ ε_g ）が大きい領域まで測定可能であることを示している（図-2）。

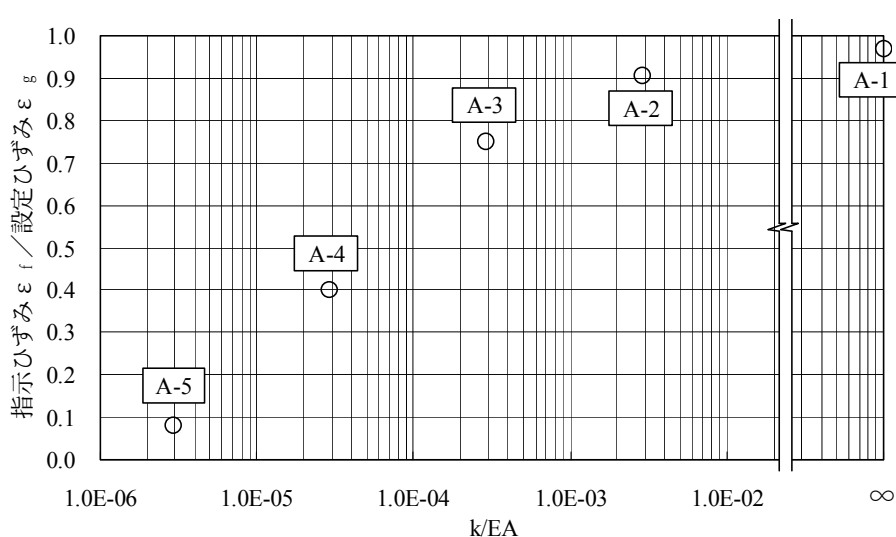


図-4 せん断剛性と指示ひずみ ε_f / 設定ひずみ ε_g の関係

参考文献

1) 小竹, 北出ら: 管理型廃棄物海面処分場における遮水シートのひずみ計測, 第39回地盤工学研究発表会(投稿中)