

土中ひずみ計測のための光ファイバーセンサーの要素試験

三菱重工業（株） ○伊藤裕昌，山浦剛俊
(財)鉄道総合技術研究所 小島謙一，村田修，金口義胤

1. はじめに

光ファイバーによるひずみ計測手法の中で，ブリルアン散乱光のひずみ依存性を利用した方法は，長距離にわたるひずみ分布の計測が可能であることから，大型土木構造物のひずみ計測に適した手法であると考えられる。しかし，土中の変形挙動計測へ適用する場合，土中水分や温度変化に対する耐久性の評価が必要となるため，多雪地帯における盛土¹⁾や地下水位の高い軟弱地盤²⁾中に光ファイバーセンサーを設置し，実環境下で2年程度の耐久性確認を行っている。本論文では，現場に適用した光ファイバーセンサーについて，耐久性の評価を目的とした各種の要素試験結果について報告する。

2. 光ファイバーセンサーの構造

土中ひずみ計測用光ファイバーセンサーの構造を図1に示す。これは土中の変形挙動を基板の変形を介して光ファイバーで計測するもので，土中での耐久性および土中の変形への追従性の点から，薄いガラスエポキシ板を基板とし，光ファイバー上から可とう性エポキシ樹脂でコーティングしている。

3. 試験概要

3.1 技術課題

光ファイバーセンサーの土中への適用にあたっては，耐久性に関連した下記の技術課題がある。

- (1) 光ファイバー保護のための透水性評価
- (2) 酸・アルカリに対する劣化の有無の確認
- (3) 土中の温度変化に対する耐久性の確認
- (4) 鉄道や道路などの盛土内へ水平に設置したケースでは，交通荷重に対する耐久性の確認

3.2 試験方法

現場での適用や，基板やコーティング材に関する室内試験から，ガラスエポキシ板は厚さ 0.2mm，可とう性エポキシ樹脂は主剤と硬化剤の配合比を 1:1.8 とした。

(1) 透水試験

本試験は地下水位以下の土中で，かつ比較的深い地点に設置した厳しい条件を想定し，基板やコーティング材からの透水の有無を評価することで，光ファイバ自身の安定性を評価することを目的としている。試験は，JIS A1404 に準じ，0.5MPa の水圧を 72 時間かけて，透水量の測定を行った。試験条件を表1に，試験状況を図2に示す。なお，変形を受けたセンサーの透水性を確認するために，曲げ試験後の供試体から切出した可とう性エポキシ樹脂についても試験を行った。

(2) 浸漬試験

強酸・強アルカリの条件下へ設置した場合の劣化の有無を評価することを目的に，pH=4，7，14 の液中に供試体を浸漬し，コーティング材としての可とう性エポキシ樹脂の重量変化および JIS K6854 に準じた剥離強度変化の測定を行った。なお，測定は浸漬前，浸漬後 1，2，3，5.5 ヶ月後に行った。

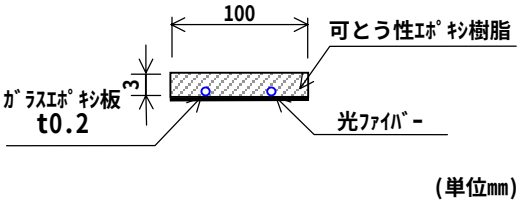


図1. 光ファイバーセンサー構造

表1. 透水試験条件

準拠規格	J I S A1404
加圧条件	水圧 0.5MPa×72 時間
供試体材質	(1)可とう性エポキシ樹脂 (2)ガラスエポキシ板(t0.2mm) (3)曲げ履歴を受けた可とう性エポキシ樹脂



図2. 透水試験状況

(3) 温度サイクル試験

本試験は土中の温度変化に対する劣化の有無を評価することを目的とし、可とう性エポキシ樹脂およびガラスエポキシ板について、土中の温度変化として想定される $-10^{\circ}\text{C}\sim+40^{\circ}\text{C}$ の範囲で加熱・冷却を繰返し、25回、50回、150回の熱履歴を加えた後、引張試験を行った。

(4) 疲労試験

本試験は鉄道や道路の盛土における交通荷重に対する耐久性評価を目的とし、センサーの破断の点からクリティカルになるガラスエポキシ板について、鉄道盛土で想定される引張ひずみ $0\sim1000\mu$ を周波数10Hzで 1.5×10^6 回繰返し载荷し、破断の有無を確認した。

4. 試験結果

(1) 透水試験

各供試体とも透水量0gで、加圧した条件下においても透水がなく、地下水位以下50mの地点への設置を想定した場合でも水の浸透がないことが確認された。

(2) 浸漬試験

①重量変化

試験結果を図3に示す。試験初期において吸水による重量増加が見られるものの、3ヶ月程度で収束傾向となるため強酸・強アルカリの条件下でも劣化はないと考えられる。

②剥離強度変化

試験結果を図4に示す。吸水に伴い、試験初期において剥離強度が低下するものの、 $\text{pH}=4,14$ のケースでも初期強度に対し30%程度の強度低下にとどまっている。また、5ヶ月程度で収束傾向となるため、強度的にも大きな劣化はないと考えられる。

(3) 温度サイクル試験

試験結果を図5に示す。可とう性エポキシ樹脂については25回の熱履歴を与えた後の引張強度が大きく向上し、その後、安定する傾向を示したが、これは最初の加熱により可とう性エポキシ樹脂の反応が促進されたためと考えられる。またガラスエポキシ板については、引張強度が若干低下するものの、収束傾向を示しており、温度サイクルに対しても大きな劣化はないと考えられる。

(4) 疲労試験

3.2(4)に示す条件下でガラスエポキシ板の破断はなく、疲労強度的にも問題ないことが確認された。

5. おわりに

土中ひずみ計測用光ファイバーの耐久性について要素試験を行い、耐久性評価の指標を得た。今後は実現場におけるセンサーの経時計測結果とあわせ、長期的な耐久性評価を行う予定である。

<参考文献>

- 1)小島謙一, 村田修, 金口義胤, 伊藤裕昌, 山浦剛俊, 馬場行雄, 横田善弘: 地中の変位計測用光ファイバーセンサーの耐久性の検討, 第38回地盤工学研究発表会, 地盤工学会, 2003 (投稿中)
- 2)金口義胤, 小島謙一, 村田修, 伊藤裕昌, 山浦剛俊, 馬場行雄: 光ファイバーセンサーの地中ひずみ計測への適用性に関する検討, 第4回地盤計測技術に関するシンポジウム, 地盤工学会, 2002

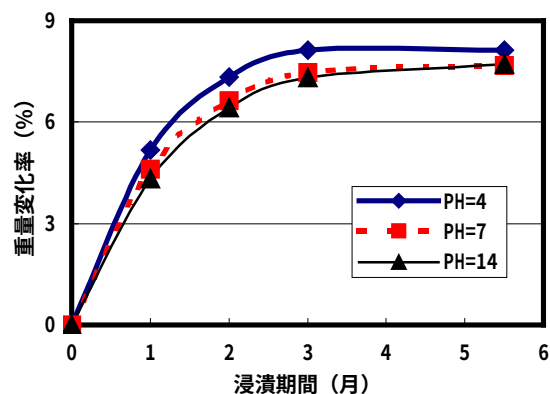


図3. 可とう性エポキシ樹脂の重量変化

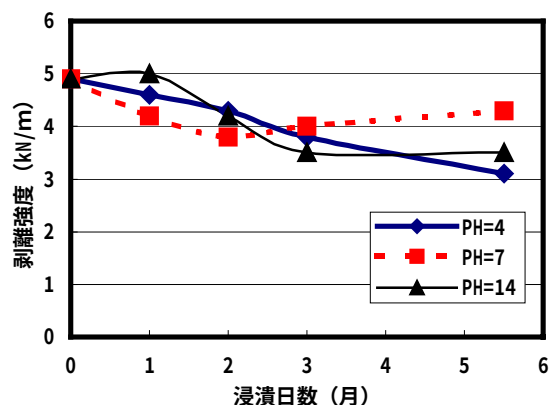


図4. 可とう性エポキシ樹脂の剥離強度変化

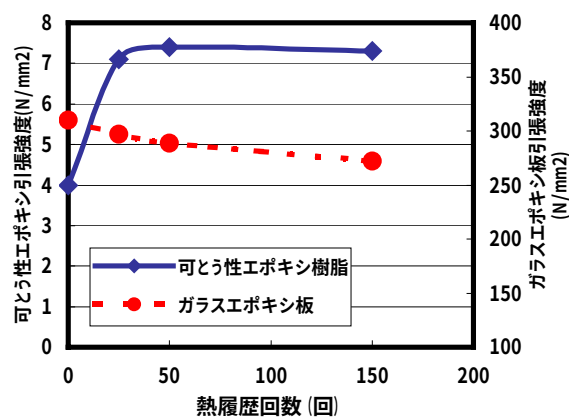


図5. 温度サイクル試験結果