

光ファイバセンサを具備した CFRTP グラウンドアンカー支圧板の開発

京都大学 正会員 ○麻植久史 塩谷智基 Bruno RIBEIRO

国立研究開発法人 物質・材料研究機構 内藤 公喜

小松マテール株式会社 中山 武俊

1. はじめに

グラウンドアンカーは地すべり抑止工として、斜面を安定させる目的で施工されている。グラウンドアンカー工において、斜面での作業性を向上できる軽量化を目的とした鋼に代わる材料の使用、健全性評価の指標となる残存緊張力を長期間かつ定量的に測定できる手法などが求められている。現在、残存緊張力を推定する手法としてリフトオフ試験が実施されているが、事前準備が必要、かつ高コストであるといった問題がある。本研究では、軽量な熱可塑性炭素繊維強化プラスチック（Carbon Fiber Reinforced Thermoplastics Polymers, 以下、「CFRTP」）のグラウンドアンカー支圧板に光ファイバセンサ（FBG：Fiber Bragg Grating）を埋め込み、残存緊張力を簡易にモニタリングできる支圧板を作成した。ここで、室内試験により CFRTP 支圧板の力学的特性と、FBG の波長シフト量と残存緊張力の関係を把握した。この FBG センサによるモニタリング機能を有した CFRTP 支圧板を実斜面において 2018 年に試験施工した。この実証試験で得られたデータに重回帰分析を実施して、残存緊張力推定式を構築した。

2. 波長シフトと残存緊張力の関係

FBG は、光ファイバ内に形成されたブラッグ格子間距離に応じて、特定の波長成分を反射する。そのため、FBG が外力によりひずんだとき、ブラッグ格子間距離が変化して波長シフトが生じる¹⁾。本研究では、緊張力作用時に発生する CFRTP 支圧板内のひずみに追従した波長シフト量より緊張力を推定する。支圧板には、4 点（No. 1 から No. 4）の FBG を有する光ファイバを 2 回線（①および②）、らせん状に埋設した（図-1）。円型支圧板に対して、上面を載荷、下面を全面支持として、施工状況を想定した 50 kN から 300 kN までの漸増載荷を行いながら波長シフト量を測定した。結果を図-2 に示す。どの FBG も 50 kN 以降は荷重と波長シフトに線形関係が見られる。これは波長シフト量から残存緊張力が推定できることを示唆している。一方で、クリープ試験時に測定した波長シフト量は変動があり、荷重制御下でも供試体が熱膨張し、その変形に FBG が追従していると推察された。また、CFRTP 支圧板は 2000 kN まで載荷しても終局に至らず、部材として高い靱性を持つことが確認された。

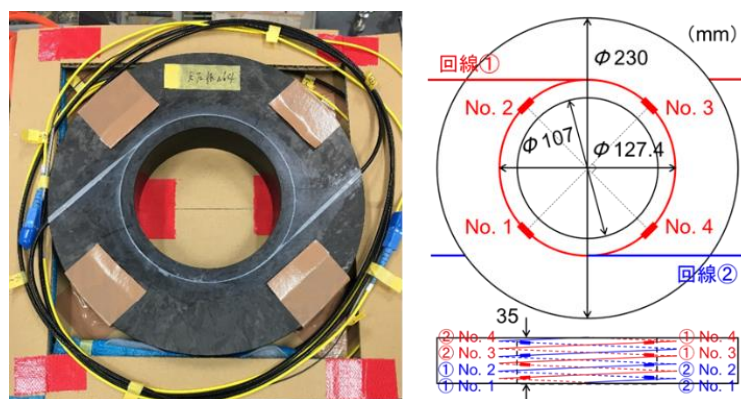


図-1 光ファイバおよびFBGの配置

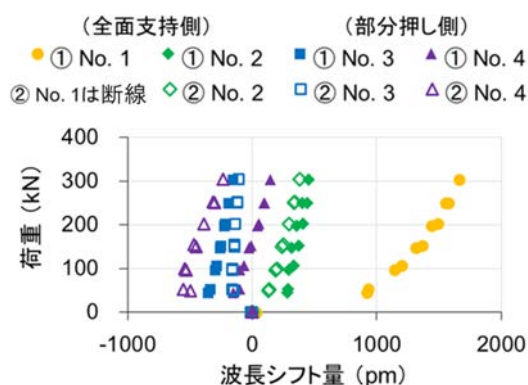


図-2 波長シフト量と荷重の関係

キーワード FBG, 残存緊張力, 波長シフト, 重回帰分析, 長期実証試験

連絡先：〒615-8245 京都市西京区御領大原 1-30 イノベーションプラザ 202 TEL075-383-2855

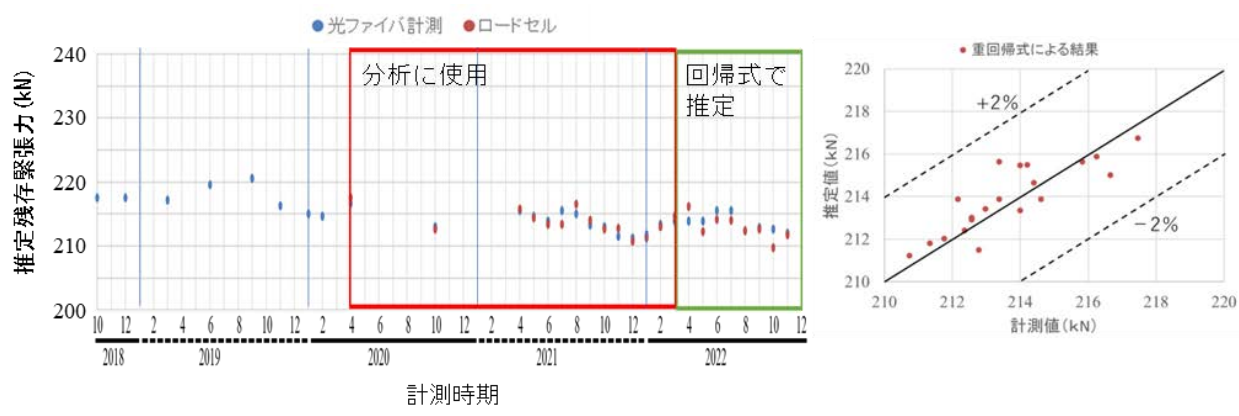


図-3 光ファイバセンサ計測で推定された残存緊張力とロードセルで計測された残存緊張力の比較

表-1 重回帰分析（減少法）により求められた補正 R2 の比較

回帰統計 (補正R2)	使用した説明変数			
	全部	波長シフト2, 3, 4, 温度	波長シフト2, 3, 4	波長シフト2, 3
	0.611	0.645	0.665	0.531

3. 実証試験と残存緊張力推定式の構築

本研究で開発した光ファイバセンサを具備した CF RTP 支圧板試験体を、高速道路沿いの斜面補強工事に試験施工して、2018 年 7 月より実証試験を行っている。ここで、同支圧板が設置されたグラウンドアンカーにおいて、ロードセルによる荷重計測も同時に実施している。得られたデータより、重回帰分析を実施して、残存緊張力推定式を検討した。このとき、目的変数をロードセルで計測された残存緊張力、説明変数を波長シフト 1, 2, 3, 4, および温度として減少法で評価した。波長シフトの番号は図-1 における回線①の FBG の No.1 ～4 と対応している。得られた補正 R2 を表-1 に示す。これより、表-1 で使用した説明変数の種別では、大きな差は見られないが、その中で FBG の No.2～4 までを使用した重回帰式が最もよい補正 R2 を示した。このときの重回帰式は以下の式 (1) のようになる。

残存緊張力(kN)=0.048・波長シフト 2 -0.153・波長シフト 3+0.147 波長シフト 4+209.791 (1)

FBG の No.1 が設置されている支圧板の最下部は、荷重によるひずみが上部よりも小さくなるため、他 FBG に比べて残存緊張力を再現し難いと考えられる。また、光ファイバは温度の影響を受けるが、本研究では温度を考慮する必要はないとみなせる結果が得られた。この理由として、テンドンを構成する鋼の線膨張係数 1.22×10^{-5} に対して、光ファイバの線膨張係数が 5.0×10^{-7} と 1/25 程度であるため、鋼製テンドンの温度依存性による残存緊張力変化が支配的になり、光ファイバの温度依存性はほぼ無視できると考えられる。光ファイバセンサによる計測を重回帰式で推定した残存緊張力とロードセルで計測した残存緊張力を図-3 に示す。これより、重回帰式による残存緊張力推定は±2%以下の誤差で実施できることが示された。

4. おわりに

光ファイバセンサを具備した CF RTP 支圧板は、実環境下でも長期的に鋼製支圧板と同等の性能を示した。また、FBG センシングによりアンカー残存緊張力のモニタリングを精度よく実施できることを示した。

謝辞

本研究は、文部科学省・科学技術振興機構による COI プログラム「革新材料による次世代インフラシステムの構築～安全・安心で地球と共存できる数世紀社会の実現～」により進められたものである。

参考文献

1) A. Othonos, and K. Kalli, Fiber Bragg Grating, Artech House Publishers, 1999, 95-99.