

光ファイバを用いた張力分布計測技術の開発と PC ケーブルおよびグラウンドアンカーテンドンへの適用

Development of the Measuring Method for the Tensile Force Distribution by Optical Fiber
and Application to PC-Cable and Ground-Anchor-Tendon

大窪 一正 Kazumasa Okubo

1. はじめに

プレストレストコンクリート（以下、PC）構造物やグラウンドアンカーにおいては、それぞれ PC ケーブルやテンドンと呼ばれる緊張材に必要な張力が導入され、維持されることが、設計で想定する構造性能を発揮する上で重要である。これに対し、従来の緊張管理では、ケーブルやテンドンの端部における張力と伸び量から躯体や地山内部における導入張力を間接的に評価しているため、ケーブルの配置形状が複雑となる場合には正確な評価が難しいことや、グラウンドアンカーにおいては想定される裕度で地山に定着できているかを評価できないことなどが課題であった。また、供用時における異常の有無を検知できる技術は複数実用化されているものの、既往の技術では異常の発生による影響範囲や、地山の内部で生じている変状を評価することはできず、対策工の選定・設計に向けて十分な情報が得ることができなかった。本研究では、これらの課題に対して、光ファイバ全長のひずみ分布を計測可能な光ファイバセンサを応用し、PC ケーブルやグラウンドアンカーテンドンの全長にわたる張力分布を直接計測・評価する、「光ファイバを用いた張力分布計測技術」を開発した。

2. 張力分布計測技術の開発と計測性能の確認

本計測技術は、PC ケーブルやグラウンドアンカーテンドンとして用いる PC 鋼より線に光ファイバを組み込み、そのひずみ分布を計測することで張力分布を評価するものである。光ファイバは、ガラスを主成分とした電氣的・化学的に安定した高耐久な材料であることに加え、再計測用の光ファイバを安全な場所まで延長しておくことによって随時の再計測を容易に行うことが可能であり、長期間にわたる構造物の計測に適したセンサーである。

光ファイバ組込み式 PC 鋼より線として、7 本より 1S15.2 を用いた、裸 PC 鋼より線（以下、裸線タイプ）と、内部充填型エポキシ樹脂被覆 PC 鋼より線（以下、ECF タイプ）の 2 種類を開発した。外径が通常の PC 鋼より線と同一となるよう、裸線タイプでは、PC 鋼より線の表面における素線間

の凹部内に光ファイバを接着し、ECF タイプでは同様に素線間の凹部内に光ファイバを組み込み、その上からエポキシ樹脂被覆を施している（Fig. 1）。これにより、いずれのタイプにおいても、光ファイバを損傷することなく、ケーブルの挿入から緊張、計測までの一連の作業を行えることを確認している。また、張力分布の評価においては、光ファイバセンサによる計測結果に対し、必要に応じて温度補正を行った後、見かけの弾性係数を用いて張力に換算する手法を確立した。

本技術の基本的な計測性能を確認するため、長さ約 2.0m のサンプルを用いた引張試験や、長さ約 8.0m での曲線引張試験などを行った。試験結果より、光ファイバが PC 鋼より線と一体として挙動することで、PC 鋼より線全長のひずみ分布を計測できること（Fig. 1）、曲線状に配置された場合においても、シース管との摩擦による張力のロスを含めた張力分布を、実務上十分な精度で評価できることなどを確認した。

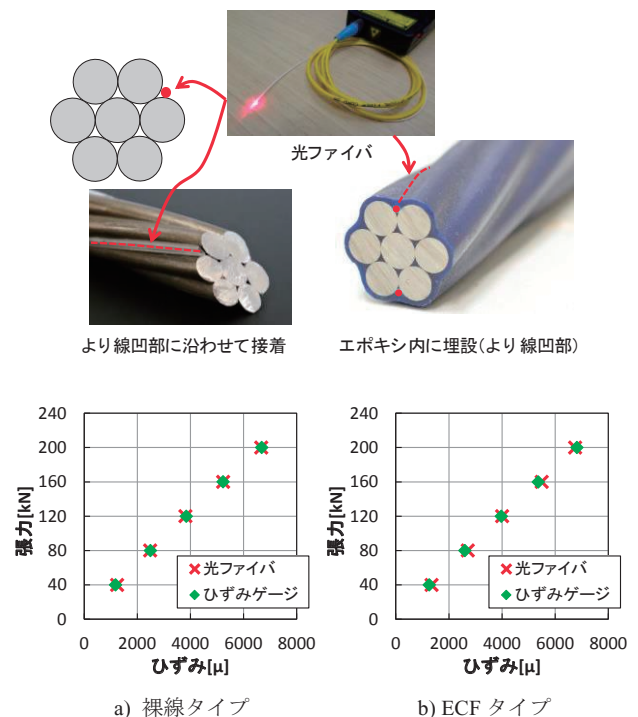


Fig. 1 PC 鋼より線への光ファイバの組込みと計測性能確認試験結果
(Embedment of Optical Fiber in PC Strand and Result of Performance Verification Test)

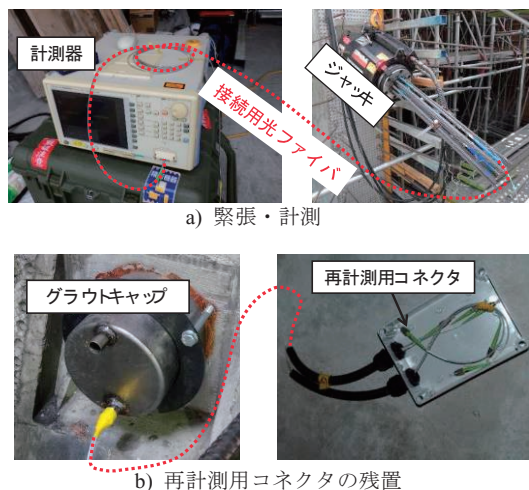


Photo 1 PC 橋梁上部工工事への適用状況
(Application to the Actual PC Viaduct)

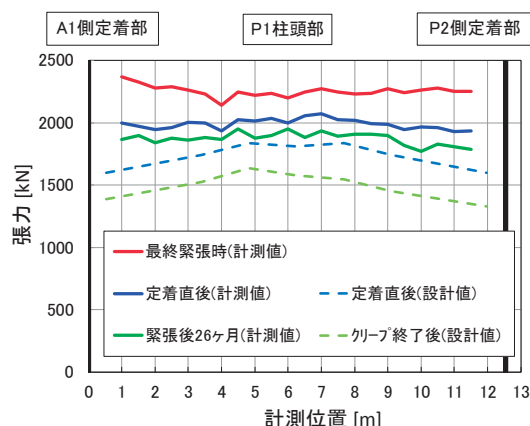


Fig. 2 PC 橋梁上部工工事における計測結果の例
(A Result of Application to the Actual PC Viaduct)

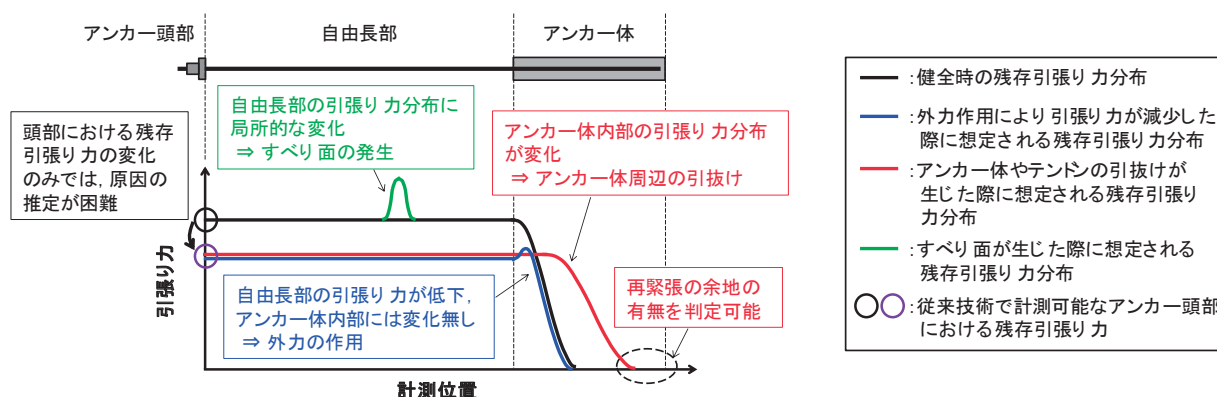


Fig. 3 グラウンドアンカーにおける変状発生時に想定される残存引張り力分布の変化 (イメージ図)
(Change of Tensile Force Distribution of Ground Anchor Tendon Related to Assumed Abnormalities)

3. PC 構造物への適用

PC 梁試験体を用いた曲げ試験を行い、PC 部材内に配置された PC 鋼より線のひずみや張力の曲げによる変動を、降伏後まで計測可能であることを確認した。また、PC 鋼より線の切断試験の結果より、本計測技術によって任意の位置における PC ケーブル破断などの異常およびその影響範囲を検知できる可能性が示された。

さらに、実際の PC 橋梁上部工工事への適用試験を行い、緊張管理に本計測技術を用いることで、設計張力以上の張力が導入されていることを全断面において確認可能であることを示した (Photo 1, Fig. 2)。

4. グラウンドアンカーへの適用

供用中のグラウンドアンカーにおいては、地山内部における様々な変状が想定される (Fig. 3)。本計測技術をグラウンドアンカーへ適用し、地山内部における引張り力分布の変化を計測することによって、供用期間中に何らかの異常が発生した際にその原因である変状を推定し、アンカー体の引抜けに対する余裕度などを評価することが可能になると考えら

れる。そこで本研究では、アンカー体の引抜けやすべり面の発生などの変状を模擬した室内試験を行い、検知性能を検証した。その結果、Fig. 3 で想定したように、アンカー体を含めた全長にわたる引張り力分布の変化を計測することで、地山の変状を推定できることが示唆された。

さらに、実際のグラウンドアンカー工事へ本計測技術を適用し、テンドン全長にわたる引張り力の分布を計測でき、その計測結果から、施工時および供用期間中のグラウンドアンカーの健全性と、のり面に対する補強効果を評価できることを確認した。

5. おわりに

本研究では、全長にわたるひずみ分布を計測することが可能な光ファイバセンサを応用し、PC ケーブルやグラウンドアンカーテンダンの張力分布を計測する技術を開発した。各種室内試験によって計測性能を確認した後、実際の工事への適用試験を行い、本技術の有用性を示した。本計測技術は、PC 構造物やグラウンドアンカーの緊張管理および維持管理の高度化に資する技術であると期待される。

キーワード: 光ファイバ, 張力分布, PC 構造物, グラウンドアンカー, 緊張管理, 維持管理

Keywords : optical fiber, tensile force distribution, PC structure, ground anchor, control of prestressing, maintenance