

AGF 鋼管計測用光ファイバセンサによる曲げ試験

清水建設（株）技術研究所土木研究開発部	正会員	渡辺浩平
清水建設（株）技術研究所構造研究開発部		熊谷仁志
清水建設（株）技術研究所土木研究開発部	正会員	風間広志
NTT（株）アクセスサービスシステム研究所		成瀬 央
NTT（株）アクセスサービスシステム研究所		大野博重

1. はじめに

近年、未固結地山における NATM の補助工法として、切羽の安定性と変位抑制のため AGF 工法が採用される機会が増えている。この AGF 工法の補強効果を確認するために、今回、新たに AGF 鋼管計測用光ファイバセンサの開発を行った。実工事での適用に先立ち、有効性を確認するため予備試験として曲げ試験を行い、鋼管の変形やひずみについて従来型センサの変位計やひずみゲージにより計測した結果と比較検討を行った。本センサは、「BOTDR」¹⁾ を利用したものである。「BOTDR」は、図 - 1 に示すようにブリルアン散乱光の周波数とその地点のひずみによって変化するという原理を用いたものである。

2. 試験概要

AGF 鋼管の応力やたわみを計測するため、今回、新たに AGF 鋼管計測用光ファイバセンサの開発を行った。図 - 2 には、本センサを鋼管に設置した場合の縦断面図と横断面図を示した。標準的な AGF 鋼管の長さは 12.5m であるが、図 - 2 (a) に示すように曲げ試験では長さ 4.0m の鋼管を用いた。鋼管は両端から 10 cm の位置を単純支持する単純梁とした。また、曲げ試験は、MTS 社製サーボ制御剛性試験装置を用い、変位制御で鋼管中央部に鉛直方向 (90° から 270° 方向) に 1mm ~ 40mm の変形を与えて行った。光ファイバセンサ (通信用光ファイバを繊維強化プラスチック (FRP) 被覆により耐久性を高めたもので外径約 1 mm) をアルミパイプの 90° と 270° の 2 方向に貼付けて計測した場合については既に報告を行ったが²⁾、今回は図 - 2 (b) に示すように 3 次元的な変形が捉えられることを確認するために、45°、135°、225°、315° の 4 方向に貼付けて計測した場合について報告を行う。計測は、図に示すように、ひずみゲージを鋼管の表面 16 箇所、アルミパイプの表面 4 箇所、上下対になるように、また、変位計を支持点より 1/4 (: 支間長 3.8 m) 、1/2、3/4 の 3 箇所を設置して行った。なお、鋼管とアルミパイプの間は空

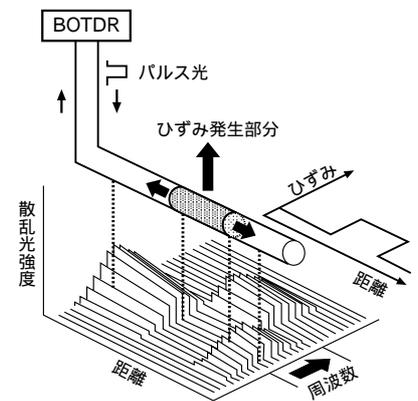


図 - 1 「BOTDR」によるひずみ計測原理

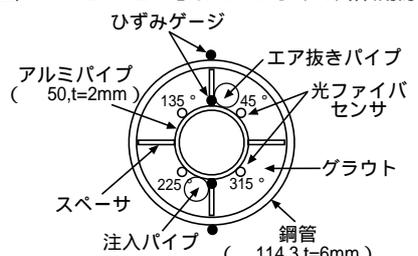


図 - 2(b) 鋼管計測用光ファイバセンサ (横断面)

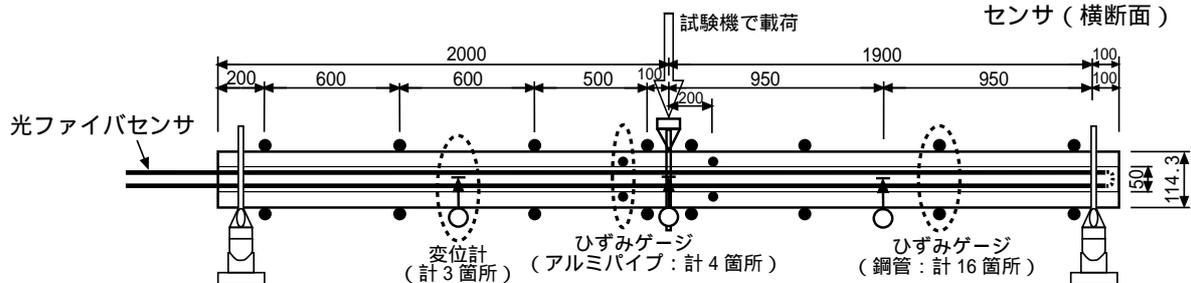


図 - 2(a) 鋼管計測用光ファイバセンサ (縦断面)

キーワード：光ファイバセンサ、BOTDR、NATM、AGF 鋼管、曲げ試験

連絡先： 〒 135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 TEL 03-3820-5520 FAX 03-3820-5959
 〒 135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 TEL 03-3820-5517 FAX 03-3820-5955

洞となっているため鋼管とアルミパイプの変形を一体化させるためグラウトを行ったが、圧縮強度は材令1日、28日で約30MPa、60MPaであった。

3. 試験結果

図-3には、鋼管中央部で40mmの変位を与えた場合の鋼管上側(90°、圧縮側)における軸方向ひずみの値を以下に示す3つの方法で計測した結果を示した。鋼管上側表面の8箇所に貼付けたひずみゲージにより直接計測した場合(○)、アルミパイプの135°表面に貼付けた光ファイバセンサ(△)、上側表面に貼付けたひずみゲージ(●:2箇所)により計測した軸方向ひずみ ϵ_{AL} を式(1)により鋼管表面における値 ϵ_{ST} に変換することにより間接的に求めた場合の軸方向ひずみをそれぞれ示した。

$$\epsilon_{ST} = \epsilon_{AL} \quad (1)$$

ここで、 ϵ_{AL} は換算比で135°表面の場合3.233、上側表面の場合2.286である。これより、ひずみゲージによる値は、鋼管表面、アルミパイプ表面から求めた場合とも良い対応を示した。また、光ファイバセンサによる値は、鋼管中央部においてひずみゲージの値に比べてやや小さいものの全体に良い対応が見られた。これは、ひずみゲージが計測点における値を求めるのに対して、光ファイバセンサの距離分解能が1mであるため、曲率の変化する鋼管中央部ではやや小さい値になったものと考えられる。図-4には、鋼管上側と下側の軸方向ひずみ ϵ_1 、 ϵ_2 から式(2)により算定した曲率 $1/R$ の値をひずみゲージ(○:鋼管表面、●:アルミパイプ表面から換算)、光ファイバセンサ(△:アルミパイプ表面の135°と315°から換算)の3つの方法で求めた場合について示した。

$$1/R = (\epsilon_1 - \epsilon_2) / 2 / R_{ST} \quad (2)$$

ここで、 R_{ST} は鋼管変形後の材軸線の曲率半径、 R_{ST} は鋼管の半径である。また、図には集中荷重を受ける単純梁の公式から求めた曲率の値を実線で示した。これより、曲率の値は、鋼管中央部において、理論値に比べ、ひずみゲージの場合はやや大きく、光ファイバセンサの場合にはやや小さいが、全体的には良い対応を示すことが分かった。図-5には、鋼管のたわみを、光ファイバセンサ(○)および変位計(●)から求めた値を示した。光ファイバセンサの場合、2方向(45° - 225°、135° - 315°)のたわみを合成して鉛直方向(90° - 270°)のたわみを求めた。また、図には集中荷重を受ける単純梁の公式から求めたたわみ曲線を実線で示した。鋼管中央部において、変位計に比べ光ファイバセンサによる値はやや小さいものの両者の対応は良いことが分かった。

図-6には、鋼管中央部に1~40mmの変形を与えた場合の光ファイバセンサと変位計によるたわみの計測値を3箇所(0.95m、1.9m、2.85m)で比較した結果を示したが両者は良い対応を示すことが分かった。以上より、4方向に貼付けた光ファイバセンサを用いて鋼管の3次元的な変形を計測できることが確認できた。

4. まとめ

今回、AGF鋼管の3次元的な挙動を把握するため、新たにAGF鋼管計測用光ファイバセンサの開発を行うとともに実工事での適用に先立ち、曲げ試験により有効性の確認を行った。その結果、本センサは、従来型センサの変位計やひずみゲージによる計測結果と良い対応を示し実工事へ適用できることが確認できた。参考文献 1) 成瀬 央: 光ファイバひずみ計測技術、地質と調査、第2号、pp.28~29、2000。 2) 渡辺浩平ほか: 東急東横線地下化工事AGF鋼管計測用光ファイバセンサの開発、第36回地盤工学研究発表会(投稿中)、2001。

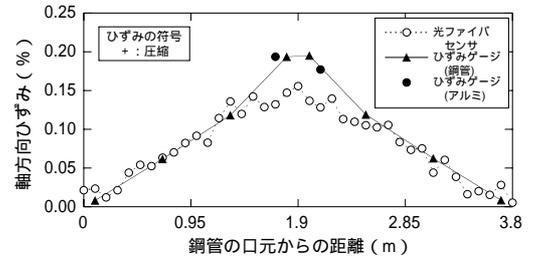


図-3 鋼管上側(圧縮側)ひずみ分布

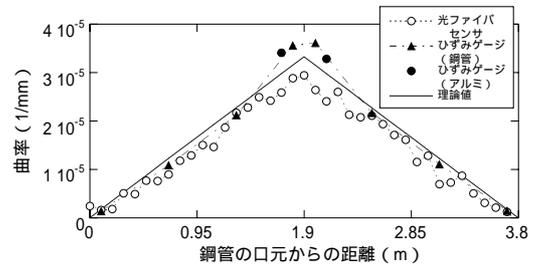


図-4 曲率の比較

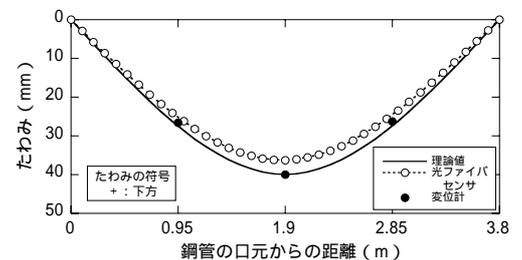


図-5 たわみ分布の比較

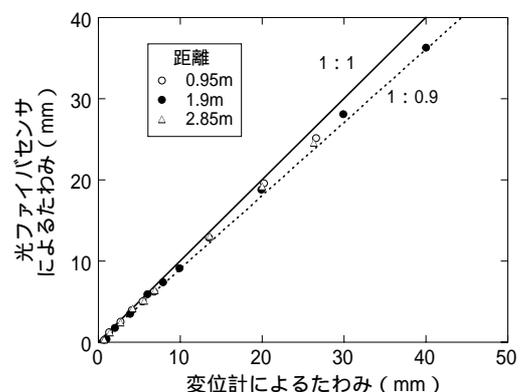


図-6 たわみの大きさの比較