

高分解能光ファイバ分布ひずみセンサ(PPP-BOTDA)によるガス導管ひずみ計測への適用試験

清水建設（株） 正会員 ○岩城 英朗 岡田 敬一

1. はじめに

地中埋設されるガス導管の維持管理手法として光ファイバを用いた分布ひずみ計測の適用が検討されている¹⁾²⁾。光ファイバ分布ひずみ計測技術として現在主流である BOTDR 方式の場合、ひずみ変化に対する空間分解能の限界が 1m 程度であるため、局所的な変形部の検出などにおいては困難を来す場合があった。そこで本報では、より高い空間分解能を実現した PPP-BOTDA 方式³⁾を用いて模擬ガス導管に対しひずみ計測試験を行い、本設ガス導管への適用可能性の検討を行う。

2. PPP-BOTDA 方式

光ファイバに沿ってパルス光を入射すると、レーリー散乱光、ラマン散乱光、ブリルアン散乱光と呼ばれる微弱な光が後方反射する。この中のブリルアン散乱光は光ファイバが受けるひずみに対して、散乱光波長がシフトする特性を有しているため、散乱光を時間分割して捕らえることにより、光ファイバ中の分布ひずみを得ることができる。ブリルアン散乱光を効率よく捕らえることができる技術として現在主流なのは、光ファイバ片端からパルス光を入射し、同端で反射光を受光する BOTDR 方式であるが、ひずみ量の空間分解能は主にパルス光の幅により制限を受け、概ね 1m（パルス光幅 10ns）が空間分解能の限界とされている。一方、BOTDR 方式以前に開発・実用化されていた、光ファイバ両端から光を入射し、後方散乱光を増幅させ受光する BOTDA 方式に対して、パルス光（ポンプ光）の出力を改良し、パルス光幅 1ns を実現した PPP-BOTDA 方式が新たに開発された。この方式を用いることにより、空間分解能は最高 10cm となり、従来困難であった局所変形部の検知の可能性が示されている³⁾。

3. 試験概要

本試験は地中埋設するガス導管を模擬し、以下の 2 種類の鋼管（図-1）を用いた。なお、試験においては各試験体が塑性するまでのステップ載荷を行った。

- a) 曲げ試験体（図-1 a））：試験体はφ100mm、長さ 4000mm であり、両端部を支持点とし中央部を加力する曲げ載荷により変形させた。センサに用いた光ファイバは、通常のシングルモード光ファイバにアラミド繊維およびポリエチレンで被覆した分布ひずみ計測用光ファイバ（φ2mm）を用い、試験体上面および下面に接着固定した。試験体各部位には、光ファイバセンサとの比較のため、ひずみゲージ（26 点）および変位計（9 点）を設置した。
- b) 圧縮試験体（図-1 b））：試験体はφ400mm、長さ 200mm であり、試験体管周上部から加力する圧縮載荷により変形させた。センサに用いた光ファイバは曲げ試験体で用いたものと同様であり、管周に沿って 2 周、接着固定した。また、曲げ試験体と同様に比較のためひずみゲージ（12 点）および変位計（4 点）を設置した。

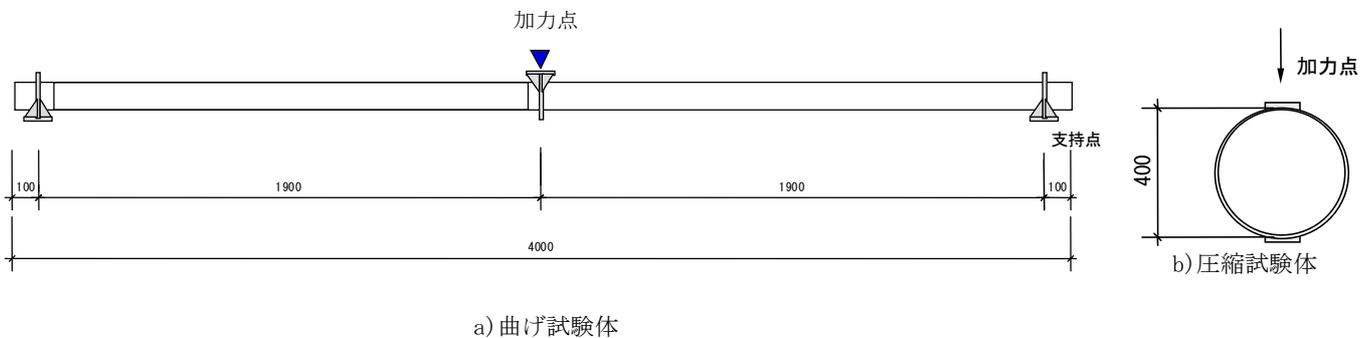


図-1 試験体概要

キーワード： 光ファイバセンサ, PPP-BOTDA, BOTDR, ガス導管, 分布ひずみ計測

連絡先： 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設（株）技術研究所

TEL 03-3820-6512 FAX 03-3820-5955

4. 試験結果および考察

a) 曲げ試験（図-3）：試験体の変形が少ない低ひずみ領域および変形が大きい高ひずみ領域の双方において、試験体各所に設置したひずみゲージの測定量と高い相関がみられることがわかる。特に、高ひずみ領域においては、試験体中央部の局所変形が見られるが、これに対する PPP-BOTDA 方式によるひずみ分布計測においても、ひずみゲージとの計測値には差が見られるが、局所変形の発生位置については概ね合致している。

b) 圧縮試験（図-4）：本試験のように管上下方向に圧縮ひずみ、管水平方向に引張ひずみが生じる場合、試験体（ ϕ 400mm）の管周は約 1.3m であることから、空間分解能の限界が 1m である BOTDR 方式による計測の場合、圧縮部位と引張部位が分離できない可能性が高い。これに対し PPP-BOTDA 方式によるひずみ分布計測においては、ひずみゲージとの計測値には差が見られるが、管周に沿った圧縮および引張の分布が低ひずみ領域から明瞭に検知されている。

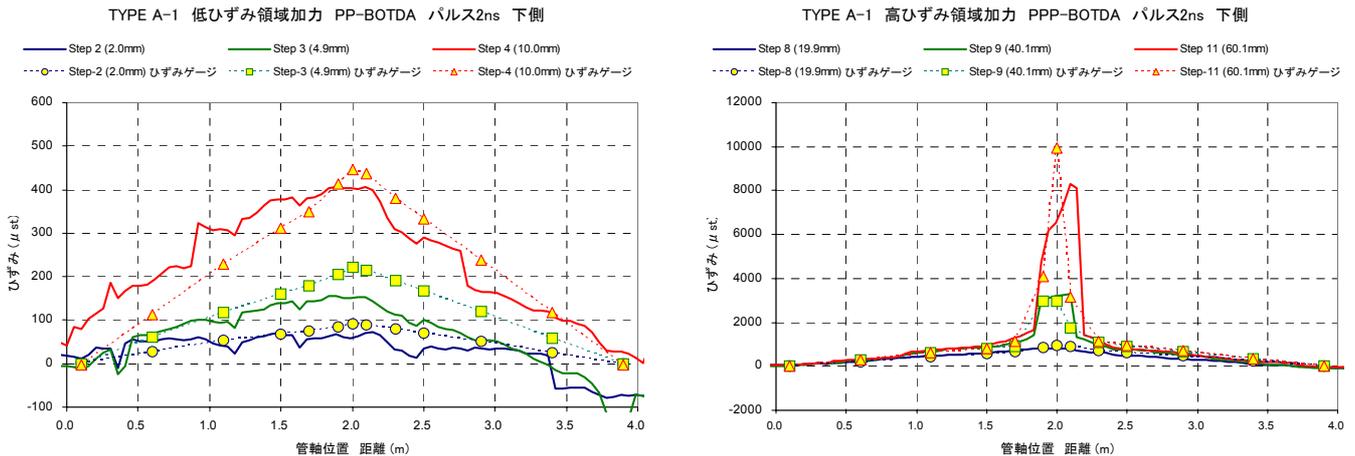


図-3 曲げ試験計測結果（管軸方向下側のひずみ分布）

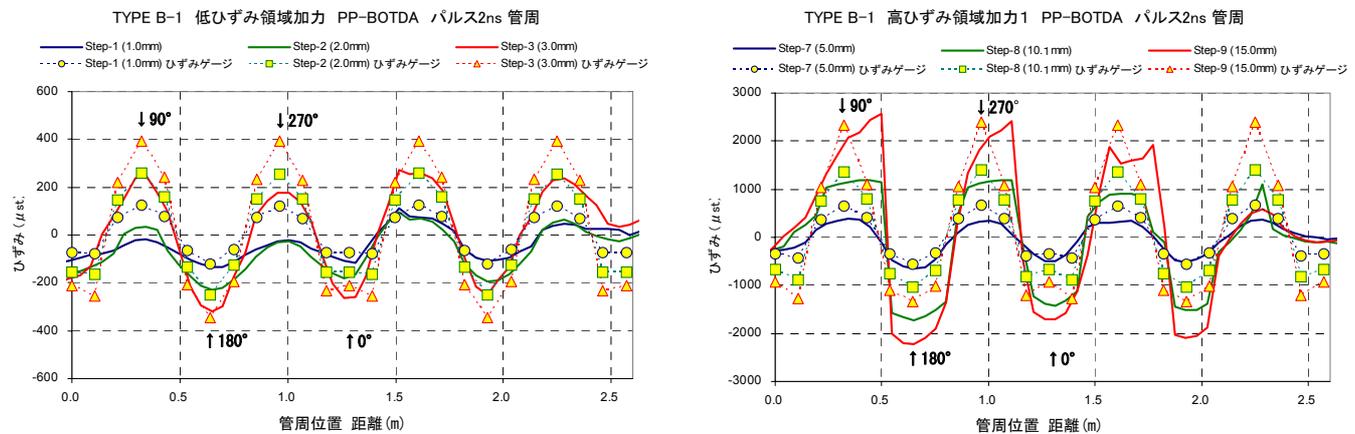


図-4 圧縮試験計測結果（管周方向のひずみ分布：2周分）

5. おわりに

本試験の一連の結果から、高い空間分解能を持つ光ファイバ分布ひずみ計測方式(PPP-BOTDA)の適用により、従来困難であった局所変形部位の特定や、管周方向の変形量の検知に対しても、有効であることが示された。今後もガス導管の維持管理手法として本方式の適用可能性について検討を進めていく予定である。なお、本試験は東京ガス(株)殿の委託により、清水建設(株)、千代田アドバンスト・ソリューションズ(株)が共同で実施したものである。また、本試験で使用した PPP-BOTDA 方式計測システムは(株)ニューブレクスで開発、製品化されたものであり、試験の実施において多大なご協力をいただいた。本報に記し謝意を表したい。

参考文献

- 1) 佐々木太郎他：光ファイバセンサによる地中埋設ガス導管のひずみ計測の現場適用，土木学会第 56 回年次学術講演会，2001
- 2) 岡田敬一他：光ファイバセンサによる地中埋設ガス導管の歪み計測への適用試験，土木学会第 56 回年次学術講演会，2001
- 3) ニューブレクス社：NEUBRESCOPE NBX-6000 製品資料