

光ファイバーセンサー（PPP-BOTDA 方式）によるコンクリートのひび割れ測定の実験的検討

清水建設株式会社 正会員 ○中谷 篤史 正会員 奥野 哲夫
清水建設株式会社 正会員 若林 成樹 正会員 岩城 英朗

1. はじめに

都市ガス岩盤貯蔵施設の技術開発¹⁾において、施設（裏込めコンクリート）の健全性を検証・監視する技術が重要となる。それらを検証・監視するため、前報告²⁾では、光ファイバーセンサーにスリーブを被せ、ひび割れ発生に伴う局所ひずみを測定区間に均等分布させることで平均ひずみを測定した。この際の測定方式はBOTDR方式であった。今回は、より高い距離分解能を実現したPPP-BOTDA方式³⁾を用いて、ひび割れ部の光ファイバーに生ずる局所ひずみを直接測定することが可能か、類似の実験を行った結果について報告する。

2. 試験方法

試験装置および試験体は、前報告²⁾と同様に、図1、図2に示す試験装置、試験体を用いた。中央部に発生するひび割れの開口幅を測定するためにクリップゲージを設置した。また、鉄筋の周囲に4種類の光ファイバーセンサーを配置して、試験を行った。光ファイバーセンサーの一覧を表1に示す。センサーAとBのピコストレインセンサーは、ステンレス管の中に光ファイバー心線を通し、一定間隔のカシメ部を設けたもので、前報告でスリーブを被せた方法との比較のために採用した。センサーCとDは、光ファイバー心線をFRPで被覆しセンサー表面をエンボス加工したコンクリート埋込型センサーである。

光ファイバーセンサーによるひずみの測定はPPP-BOTDA方式を採用した。この方式は、光ファイバーの両端から測定用の階段状パルス光と連続光を入射し、連続光から光ファイバー中に誘導されたブリルアン散乱光の周波数分布を測定・解析する事で光ファイバーに生じているひずみを高精度に測定する技術である³⁾。また、今回のPPP-BOTDA方式との比較のためBOTDR方式での測定も行った。

試験のケースを表2に示す。静的試験は、数百 μ の载荷ひずみによるひび割れ発生状況下で、光ファイバーセンサーのひび割れ測定可能性の基本確認のために行った。繰返し試験は、最小ひずみ1500 μ に対して、最大ひずみを3000 μ 、3500 μ の2段階で実施した。

表1 光ファイバーセンサー一覧

センサー種類		仕様	メーカー
A	ピコストレインセンサー	カシメ間隔：600mm	日鐵溶接工業
		カシメ間隔：200mm	
C	エンボス付きめがね型ひずみセンサー	φ2mm 2芯・FRP/PE被覆 表面エンボス加工	日立電線
D	コンクリート埋込型光ファイバーセンサー	φ6mm単芯・FRP/PE被覆 表面エンボス加工	

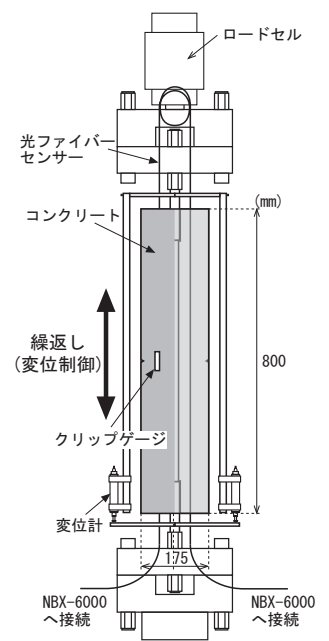


図1 試験装置概要

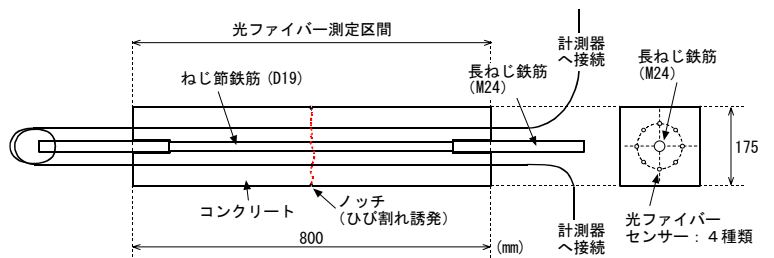


図2 試験体概要

表2 試験ケース一覧

測定方式	静的試験	繰返し試験		試験体 番号
		引張載荷ひずみ（μ）		
		ε _{min}	ε _{max}	
PPP-BOTDA	----	1500	3000	No. 5
	○			No. 7
	----		3500	No. 6
	○			No. 8
BOTDR	----	1500	3000	No. 2
	----			No. 4
	----		3500	No. 1
	----			No. 3

キーワード 都市ガス岩盤貯蔵、光ファイバー、PPP-BOTDA、ひび割れ、繰返し、ひずみ

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 研究開発支援センター TEL. 03-3820-8414

3. 試験結果および考察

図3に PPP-BOTDA 方式でのひずみの測定結果と BOTDR 方式でのひずみの測定結果を示す。各光ファイバーセンサーにおいて PPP-BOTDA 方式の方がひずみの立ち上がりが顕著に表れている。また、センサーAではカシメ区間に明確な平均ひずみがほぼ一定値で表れている。さらに、局所ひずみの測定として、センサーCがひび割れ発生位置で明確なひずみのピークを捉えている。このように明確な区間およびピークのひずみが計測された理由は PPP-BOTDA 方式の特徴である高精度な距離分解能によりひずみ発生位置が明確に計測できたためと考えられる。

静的試験の結果を図4に示す。PPP-BOTDA 方式によるひずみの測定結果は、数百 μ の载荷ひずみに対しても充分測定可能であることが確認できた。

繰返し試験の結果を図5に示す。前報告同様に光ファイバーセンサーの繰返しによる耐久性が確認できる。

図6は、繰返し試験の1回目の引張载荷時の結果から光ファイバーセンサーからの開口変位を求め、クリップゲージで測定した開口変位と比較した結果を示す。光ファイバーセンサーでは、ひずみが発生している領域を積分（面積）して開口変位を求めた。センサーAおよびCがクリップゲージで測定した開口変位に近い値を示している。この事よりひび割れ開口幅を評価する場合は、平均ひずみから評価するにはある程度（60cm 程度）の区間長を有する方が、また局所ひずみから評価するにはエンボス付きめがね型ひずみセンサーの方が、それぞれ適用可能性があるものと考えられる。

4. まとめ

今回の実験的検討により、(1)PPP-BOTDA 方式による局所ひずみの測定精度向上、(2)エンボス付きめがね型ひずみセンサーのひび割れ発生位置の特定可能性、(3)4 種類の光ファイバーセンサーの耐久性、(4)ピコストレインセンサー（カシメ間隔 60cm）およびエンボス付きめがね型ひずみセンサーのひび割れ開口幅の評価への適用可能性の4点を確認した。

今後も更なる適用可能性を検討する予定である。

参考文献

- 1) 澤、石塚：都市ガス岩盤貯蔵の実用可能性の調査研究、トンネルと地下、vol. 35, no. 4, 2004. 4
- 2) 中谷、奥野、若林：ひび割れ測定のための光ファイバーセンサーの設置方法の実験的検討、土木学会第60回年次学術講演会、3-479, 2005. 9
- 3) ニューブレクス社：高精度ひずみ分布計測技術資料、

<http://www.neubrex.jp/>

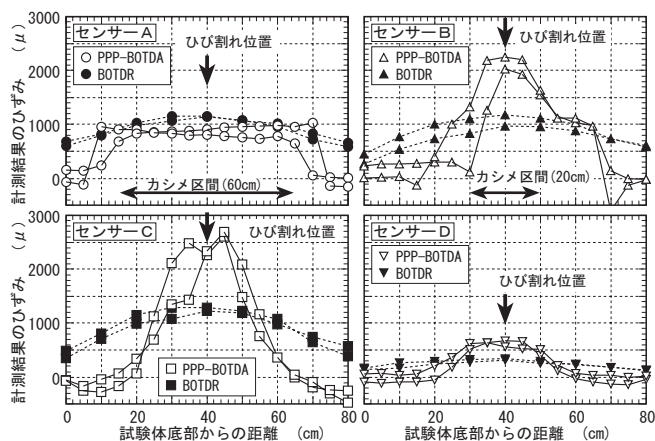


図3 PPP-BOTDA 方式と BOTDR 方式の測定結果の比較

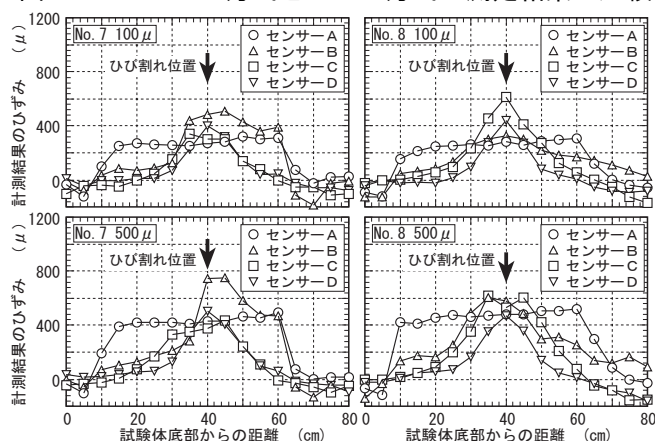


図4 静的試験結果(载荷ひずみ 100 μ , 500 μ)

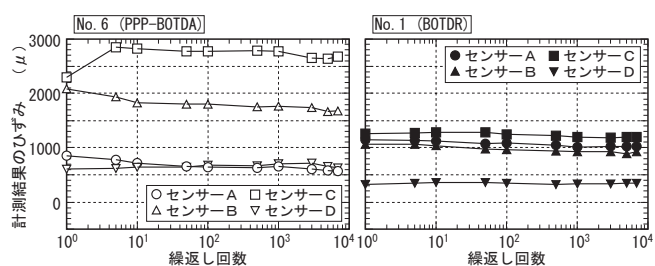


図5 繰返し試験結果 (No. 6, No. 1)

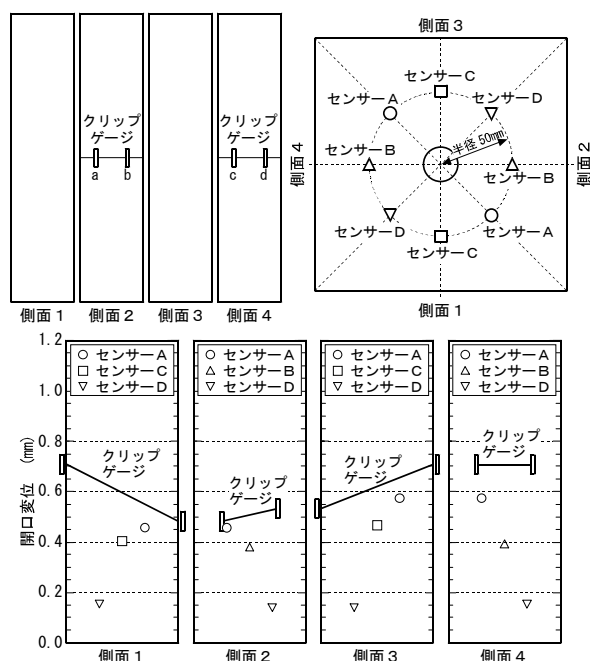


図6 開口変位結果