

地層環境モニタリングのための光ファイバケーブル自動巻付け装置の開発

鹿島建設(株) フェロー会員 ○瀬尾昭治 正会員 今井道男 川端淳一 石神大輔 栗原啓丞 三好貴子
ニューブレクス(株) 岸田欣増 山内良昭 木村純一

1. はじめに

ボーリング孔内のケーシングパイプに光ファイバケーブルを複数設置し、地層状態をモニタリングする技術を開発している。今回、ケーシングパイプを建て込みながら、光ケーブルを張力調整しつつ自動でパイプに巻き付けることができる装置を製作した。本稿では、その動作確認等を行ったので紹介する。

2. 光ファイバセンサによるパイプ形状計測

(1) パイプ形状計測の概要

分布型光ファイバ計測技術により、光ファイバ全長にわたる物理量（ひずみや温度）変化を捉えることができる。この特長を活かせば、表-1に示すようにパイプ状のものに光ファイバケーブルを配置、固定することによって、そのひずみ分布からパイプに加わる様々な変形を捉えることができる。パイプへ直線状に光ファイバを固定すれば、パイプの引張や曲げを計算することができる。また、パイプへ螺旋状に光ファイバを固定すれば、パイプの断面変形を計算することができる。微小変形理論が適用可能な範囲内ではあるが、光ケーブルの配置形態によって、様々なパイプの変形をとらえることが可能となる。

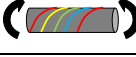
(2) 地質環境モニタリング用のパイプ形状計測

これまでに、ケーシングパイプに直線状に光ケーブルを設置して、曲げを把握する取り組みがなされてきた¹⁾。地質環境をより詳細に把握するためには、パイプの断面変形も把握する必要がある。そのためには、図-1に示すようにひずみ用光ケーブルをケーシングパイプに螺旋状に固定する必要がある。また、螺旋の巻き付け角度によって、表-2に示すようにパイプの軸ひずみと周ひずみに対する感度を調整することが可能である。

(3) 自動巻付け装置

光ケーブルを、現場でケーシングパイプへ螺旋状に実装するための自動巻付け装置を図-2に示す。パイプの建て込みスピードを接触式のエンコーダで計測することで、パイプの降下に同期させて、90度ごとに配置された光ケーブルをボビンごと回転させて巻き付ける。ボビンの回転にブレーキをかけることによって、光ケーブルにかかる張力を一定に保つことができる。また、目的に応じてボビンを傾けることによって、螺旋の巻き付け角度を変更可能である。

表-1 パイプ変形に応じた光ケーブルの配置形態

想定される変形		未知量	光ケーブル配置形態	
			直線	螺旋
一軸引張		軸ひずみ ε_0	1本	1本
曲げ		曲率半径 R_x, R_y	2	2
断面変形		Δ (仮定による)	不可	1
一軸引張+曲げ+断面変形		ε_0 R_x, R_y, Δ	不可	4

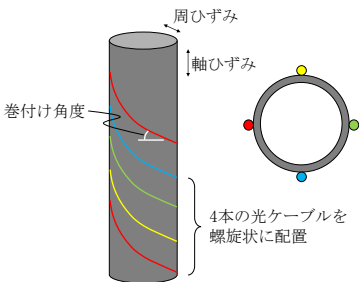


図-1 ケーシングパイプへの光ケーブル巻付け

表-2 巻き付け角度による感度調整

巻き付け角度 (度)	感度 (%)	
	軸ひずみ	周ひずみ
0	0	100 断面変形感度最大
30	25	75
45	50	50
60	75	25
63.4	80	20
65	82	18
75	93	7
90	100 曲げ変形感度最大	0

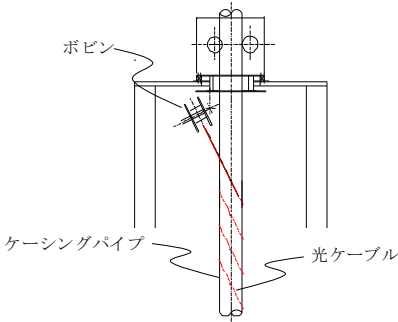


図-2 自動巻付け装置

キーワード：光ファイバセンサ，ボーリング調査，モニタリング，地質調査

連絡先 〒107-8348 東京都港区赤坂 6-5-11 鹿島建設(株)土木管理本部 TEL 03-5544-2412

3. 自動巻付け装置の検証

(1) モックアップ試験

製作した自動巻付け装置を用いて、モックアップ試験でその動作確認を行った。写真-1 に示すようにモックアップ試験は横置きで行い、架台上に置かれたケーシングパイプを、手動で自動巻付け装置内に通した。エンコーダやボビンの回転装置、またボビンのブレーキが問題なく動作することとともに、所定の張力をもって光ケーブルがパイプに巻き付いていること、光ケーブルの巻きピッチが一定であることなどを確認した。本装置によって、光ケーブルへの均一かつ一定の張力導入が達成できていることを確認した。

(2) 施工手順確認試験

実際のケーシングパイプ施工時には、巻き付けた光ケーブルが孔壁と擦れて断線することが懸念される。そのため、ケーシングパイプには一定間隔ごとに、光ケーブルの保護を目的としたセントライザを、一断面あたり4個溶接固定することとした。光ケーブルの巻き付けから、光ケーブルの固定に用いるインシュロックの設置、またセントライザ溶接まで、一連の手順を確認試験として行った。溶接時の様子を写真-2 に示す。各段階で光ケーブルの状態を確認したが、4本の光ケーブルとも断線せずに一連の手順を完了することができた。セントライザ溶接後の目視確認においても、光ケーブルの被覆などに異状は認められなかった(写真-3)。

実施工時には、図-3 に示すようにボーリング槽(リグ)下部架台に自動巻付け装置を設置する。施工時に品質管理上必要な仮設備(セントライザ位置決め治具およびその保持装置、光ケーブルを実際の固定した位置の確認手順や手段など)や安全設備についても、本試験で洗い出した。また、別途ケーシングパイプの終端部には、光ケーブルの保護ならびに終端処理用の治具が必要となる。同治具も設計、製作のうえ、その動作を確認済みである。

4. おわりに

これまでにない地質環境モニタリング手法の実現に向け、ケーシングパイプへ4条の光ケーブルの張力を一定に調節しながら螺旋状に自動で巻き付ける装置を製作した。今回、同装置のモックアップ試験などを通じて、その動作や施工性を確認できた。

今後、実施工に向けて本装置を用いた施工手順を確立するとともに、得られたひずみ分布計測結果からパイプ変形を算出するためのアルゴリズムを構築し、リアルタイムで確認可能なプログラムを実装する計画である。

参考文献

- 1) 橋本 励, 薛自求: 分布式光ファイバーを用いた遮へい層や坑井健全性監視技術開発, 石油学会 年会・秋季大会講演要旨集, 第46回石油・石油化学討論会, 公益社団法人石油学会, pp.358-359, 2016.

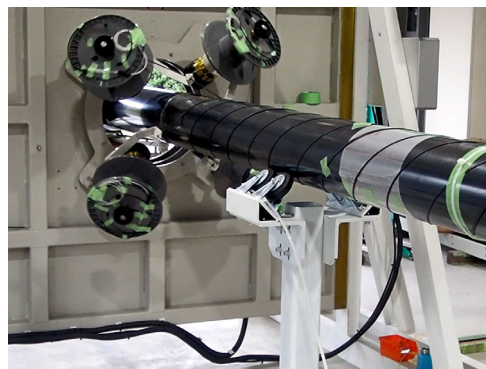


写真-1 モックアップ試験（横置き）



写真-2 施工手順確認試験（溶接）



写真-3 セントライザ溶接後

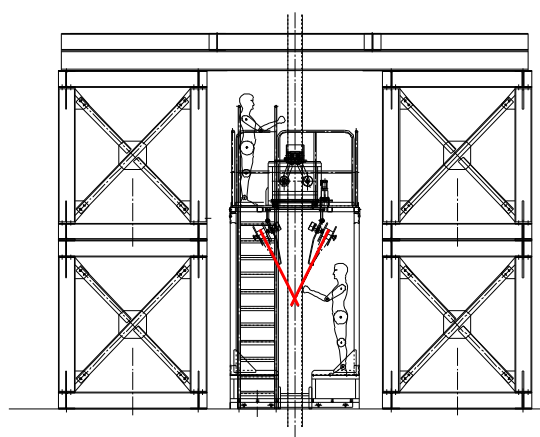


図-3 現地での施工イメージ