

岩盤内部に設置する方法には、過去の研究で実施されている場所打ちコンクリート杭の杭体に埋設する方法⁴⁾を用いた。設置方法は、異形鉄筋 D22 に溝切加工を施し、その溝に光ファイバセンサを接着剤で全面接着した上をエポキシ系樹脂材で被覆して光ファイバセンサ貼付鉄筋を作製する。次に、変状が起こると想定される亀裂先端部分に向けて、計測対象岩体の背面からボーリング孔(φ66)を穿孔して、光ファイバセンサ貼付鉄筋を挿入後、グラウトにより充填して設置を完了するものである。

図-1は、光ファイバセンサ貼付鉄筋の詳細を示したものである。光ファイバセンサの配置は、亀裂先端部分を中心に両側2mの計4mを計測範囲とした。また、鉄筋には対比する測定値を得るために、光ファイバセンサ貼付面の裏側にひずみゲージを3点設置した。孔口から観測局舎までは、気象条件等により破断することを防ぐために、ワイヤ支持線の入った自己支持型の光ファイバケーブルを使用した。図-2に岩盤内部設置概略図を示す。

岩盤表面に設置する方法としては、岩盤内部の場合と同様に過去の研究で実施された模擬岩盤斜面表面に貼り付ける方法⁹⁾を参考に、岩盤表面の貼付面にウレタン塗膜材を下塗りしてその上に光ファイバセンサを添わせ、再度その上にウレタン塗膜材を塗布して設置する方法を用いた。設置位置は、ひずみが大きく出現すると思われる計測対象岩体の亀裂先端付近とし、鉛直方向および水平方向の両方向が計測可能のように十字型に設置した。計測箇所から観測局舎までは、岩盤内部と同様に自己支持型の光ファイバケーブルを使用した。図-3に設置した光ファイバセンサの配置概略図を示す。

3. 計測結果と考察

光ファイバセンサの計測は、月1回の定期計測を1999年1月～2月、7月～11月の計7回行った。この結果、岩盤内部および岩盤表面ともに、測定開始から11ヶ月後においても破損等による計測不能は生じなかった。

計測対象岩体の状況は、計測期間中の岩盤に目視で確認できるような大きな変状が認められていない。

3.1 岩盤内部測定

図-4に、光ファイバセンサ設置後に測定した初期計測結果の一例として、テープ心線光ファイバセンサ8心線のひずみ測定値を示す。初期状態から光ファイバセンサ全体にひずみが生じていることがわかる。このひずみは、光ファイバセンサの鉄筋貼付時や岩盤への設置時に生じたものと考えられる。ここでは、長期計測のひ

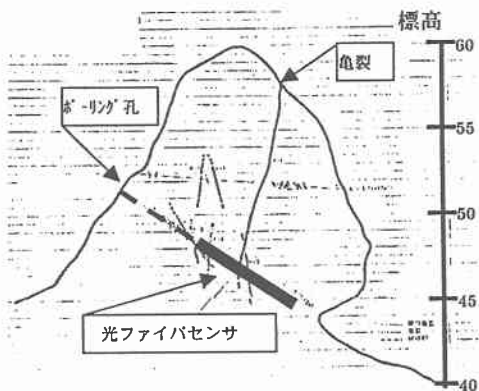


図-2 岩盤内部設置概略図

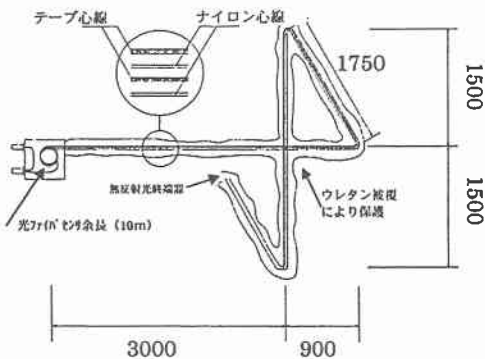


図-3 岩盤表面設置概略図

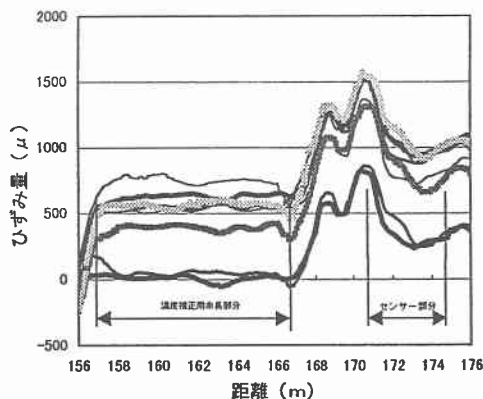


図-4 岩盤内部テープ心線光ファイバセンサの初期測定結果

ずみとして各測定値から初期測定
の値を引いたひずみの変化量を
用いた。

図-5, 6に、テープ心線光ファイ
バセンサおよびナイロン心線光
ファイバセンサのひずみ測定結果
を示す。ひずみ測定値は、テープ
心線は8心線、ナイロン心線は2
心線の測定値の平均値である。両
図には、ひずみゲージによる測定
値も示した。図の横軸は、光ファイ
バセンサの測線長であり、2.0m
の位置が亀裂の先端付近にあた
る。テープ心線では、4m の測定
区間で光ファイバセンサの大きな
ひずみ分布の変化は認められな
いが、ナイロン心線では測定区間
中央部を挟んだ前後でひずみ分
布の形状が異なる。ひずみゲージ
の測定値は、テープ心線と同様に
大きなひずみの変化はみられな
い。

図-7は、ひずみゲージ測定点
におけるひずみゲージおよび各光
ファイバセンサのひずみの経時変
化を示したものである。ひずみゲ
ージのひずみ曲線は、引張側に1
つのピークをもつ形状を示してい
るのに対して、光ファイバセンサの
ひずみ曲線は圧縮側に2つのピー
クをもつ形状を示している。光ファ
イバセンサで2つのピークをもつ曲
線形状になっているのは、2つの
ピークに挟まれた8月の測定値が
異常値を示したためと考えられる。
これまでの光ファイバセンサの実
験でも、連続した測定値の傾向は
一致しているが、値がプラス側あ
るいはマイナス側へ全体的にシフ
トした結果になることが希にあった
ことから、今回の測定でも同様な
現象が生じたものと推測される。こ

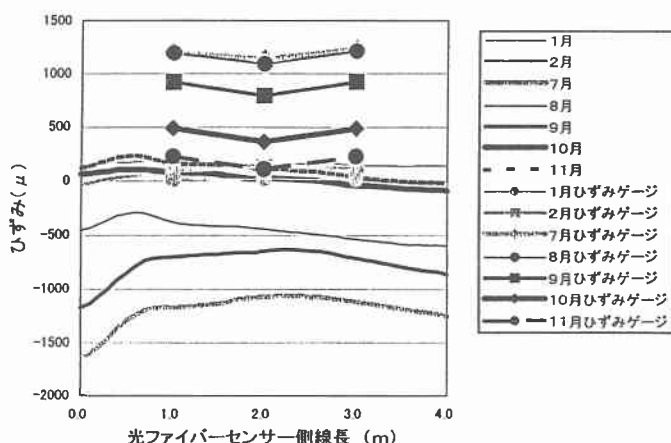


図-5 テープ心線光ファイバセンサの長期計測結果(岩盤内部)

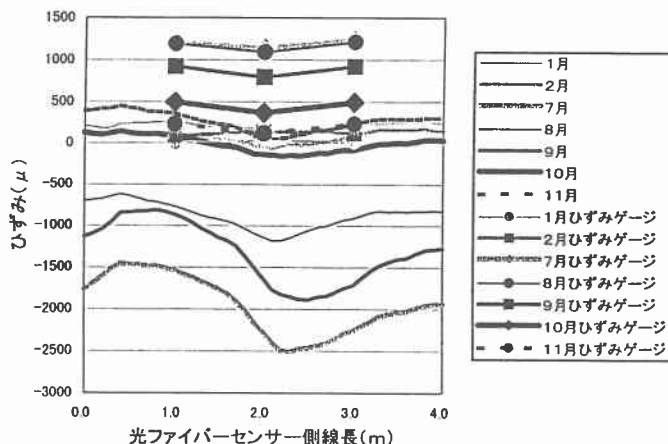


図-6 ナイロン心線光ファイバセンサの長期計測結果(岩盤内部)

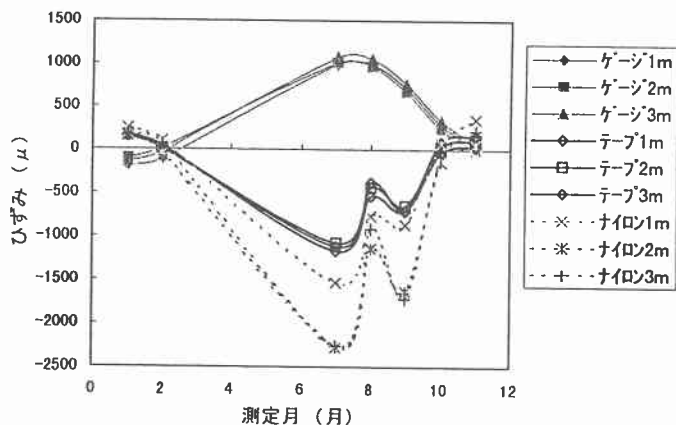


図-7 ひずみ測定点のひずみ経時変化

の原因については調査中であるが、測定を複数回実施するなどして異常値の除去方法を検討する必要がある。

また、ひずみゲージとテープ心線およびナイロン心線光ファイバセンサの各ひずみ分布の傾向を比較すると、ひずみゲージおよびテープ心線光ファイバセンサの測定点3点の各ひずみは、それぞれのセンサでほぼ同値になっているのに対して、ナイロン心線光ファイバセンサではバラツキがみられる。この原因としては、テープ心線光ファイバセンサの断面形状が、先に示した図-1にあるように扁平断面であることに対して、ナイロン心線光ファイバセンサでは円形断面であることの、断面形状の違いによることが想定される。すなわち、付着面積が広いテープ心線光ファイバセンサの方が鉄筋との付着が良好となり、ひずみゲージによるひずみ分布の傾向と同様な傾向を示したと推察される。なお、場所打ちコンクリート杭の軸力測定に関する実験でも、同様な結果が得られている。

さらに、光ファイバセンサとひずみゲージのひずみ分布経時変化は、光ファイバセンサのひずみが冬季から夏季(7月がピーク)にむかいマイナス側に変化するのに対して、光ファイバセンサ貼付鉄筋の裏側に貼付したひずみゲージのひずみは、夏季にむかいプラス側に変化している。この結果から、鉄筋には下側引張りの曲げモーメントが夏季にむかって作用していることが推察される。

図-8は、ひずみゲージ測定点3点のひずみを多項式回帰してひずみ分布を推定し、テープ心線光ファイバセンサのひずみ分布との関係から曲げモーメントを求め、その経時変化を示したものである。各月の曲げモーメントは、亀裂先端付近の測定長 2.0m を頂点とする曲線形状を示していることが分かる。また、表面クラック変位計による亀裂の測定結果では、夏季に向かつて亀裂が最大 1.6mm 程度閉じる傾向がみられた。この傾向は、今回測定された曲げモーメントの方向と一致している。

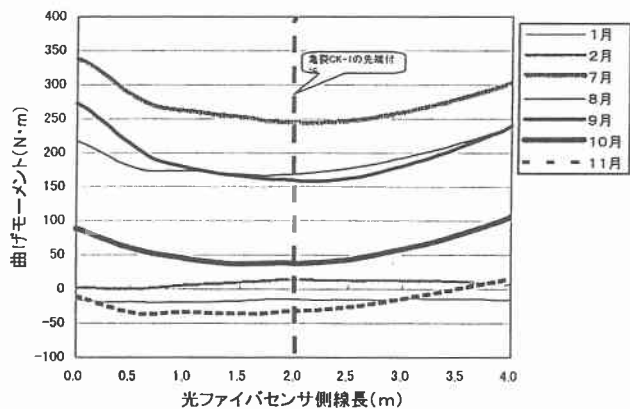


図-8 曲げモーメントの経時変化

3.2 岩盤表面測定

岩盤表面測定の初期測定においても、岩盤内部の測定結果と同様にひずみが生じていたため、長期計測のひずみとしては、各測定値から初期測定

の値を引いたひずみの変化量を用いた。図-9、10に、テープ心線とナイロン心線の光ファイバセンサ測定結果を示す。岩盤内部の測定結果と同様に、テープ心線は8心線、ナイロン心線は2心線の測定値の平均値である。図の横軸は、光ファイバセンサの測定長であり、前出の図-3に示したようにセンサ部の 0 ~ 3.9m の位置が亀裂の先端付近を通る水平方向測線、3.9 ~ 5.65m の位置が斜め方向測線、5.65 ~ 8.65m の位置が亀裂に沿った鉛直方向測線で

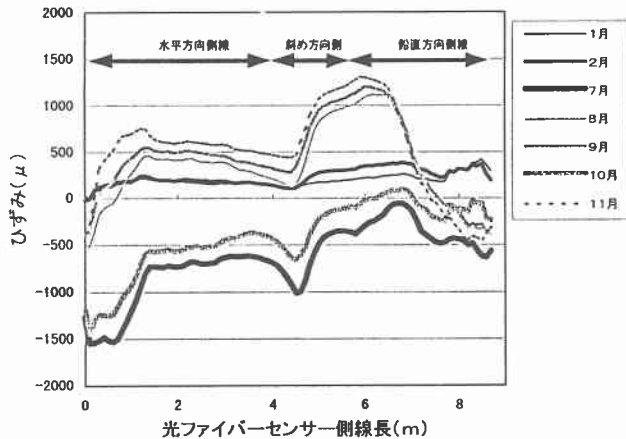
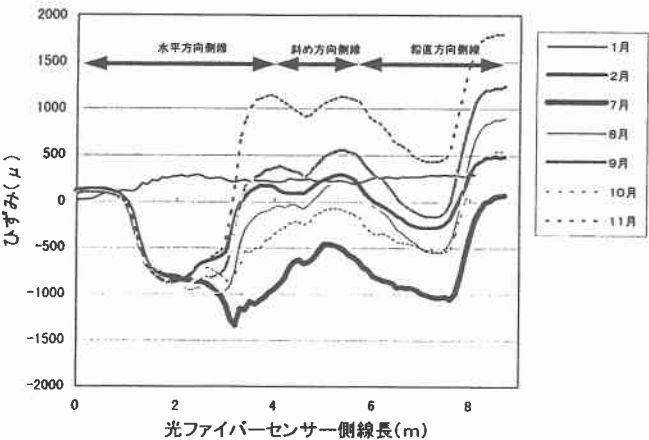


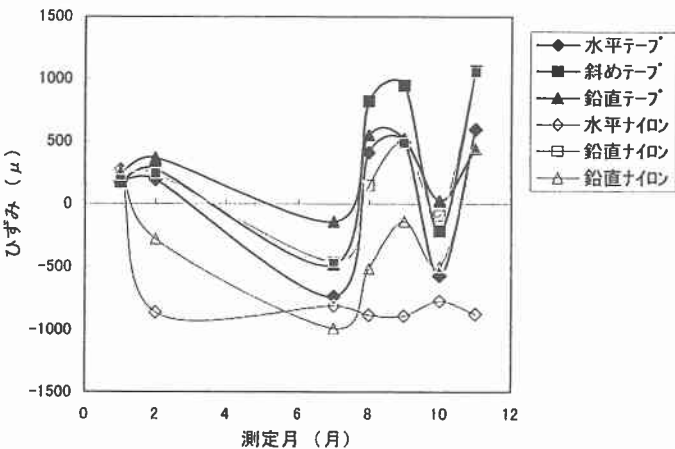
図-9 テープ心線光ファイバセンサの長期計測結果(岩盤表面)

ある。相対的な傾向としては、水平方向の測線ではひずみが圧縮側あるいは引張側でも小さくなり、鉛直または斜め方向の測線では引張側に大きなひずみが発生している傾向が認められる。

図－11は、各測定方向の中心付近として、水平方向が測線長 2m、斜め方向が測線長 5m、鉛直方向が測線長 7m の各ひずみの経時変化を示したものである。各曲線は、ピークが複数ある形状を示していることから、岩盤内部の測定結果から得られたような冬季から夏季にむかっの季節的な変化は認められない。この原因としては、岩盤表面が岩盤内部と比較して温度変化が激しいことから、測定日の気温条件が影響したことが考えられる。今後、光ファイバセンサの設置方法や温度等の補正方法について検討する必要があると考える。



図－10 ナイロン心線光ファイバセンサの長期測定結果(岩盤表面)



図－11 測定方向の中心付近ひずみ経時変化

4. まとめと今後の課題

以上をまとめると、次のとおりである。

- (1)岩盤内部に光ファイバセンサを設置する場合に、溝切り鉄筋を使用しグラウトを充填することで、通信用のナイロン心線およびテープ心線光ファイバケーブルでも、長期間(現状では約1年)に破損することなく計測可能である。
- (2)鉄筋に貼付する光ファバセンサとしては、テープ心線光ファイバケーブルが適していることが推察された。
- (3)今後の課題として、異常値が測定されることの原因究明と、その除去方法の検討が挙げられる。
- (4)長期観測を行うことにより、岩盤内部の季節的なひずみ変化を捉えることができた。また、測定されたひずみ分布から、岩盤内部に曲げ応力が発生していることが推察された。今回はひずみゲージを併用したが、光ファイバセンサを鉄筋の両側に設置することにより、岩盤内部に作用する曲げモーメントの分布をより正確に把握できることが考え

られる。

(5)岩盤表面の測定結果では、季節的なひずみの変動を捉えることができないが、ひずみ変化の傾向をある程度把握できることが推察された。今後の課題としては、光ファイバセンサの岩盤表面への設置方法や温度等の補正方法についての改良開発が必要であることが挙げられる。

5. あとがき

本報告では、光ファイバケーブルをセンサとして現地岩盤斜面に設置し、約1年程度計測した結果から、自然条件下でのセンサとしての適応可能性を検討した。その結果、岩盤表面に設置した方法では問題が残ったが、岩盤内部に設置した方法ではある程度良好な結果が得られた。今後、さらに長期の計測を実施して問題点等を把握すると共に、その問題解決のための追加実験を実施して、岩盤斜面監視センサとして実用化を図りたいと考えている。

参考文献

- 1) 佐藤昌志, 中井健司, 日下部祐基: 斜面変状監視センサと斜面モニタリングに関する試験調査, 開発土木研究所月報第 546 号技術資料, pp20 ~ 27, 1998.11
- 2) T.Kurashima, M.Tateda, K.Shimizu, T.Horiguchi, and Y.Koyamada : A high performance OTDR for measuring distributed strain and optical loss, European Conference on Optical Communication (ECOC'96), TuD.3.7, 1996.9
- 3) 須田修司, 後藤雪夫, 倉嶋利雄, 中井健司, 日下部祐基: コンクリート構造物を用いた OTDR による歪み測定に関する基礎実験, 土木学会北海道支部論文報告集第 54 号, 1998.2
- 4) 日下部祐基, 佐藤昌志, 倉嶋利雄, 野引敦, 高見和弘: 光ファイバセンサによる杭の軸力測定, 地盤工学会北海道支部技術報告集第 38 号, pp271 ~ 274, 1998.2
- 5) 中井健司, 日下部祐基, 小林将, 佐藤昌志: 模擬斜面での岩盤変状とOTDRによる変状測定, 土木学会第 54 回年次学術講演会講演概要集VI, pp558 ~ 559, 1999.9