

光ファイバーセンサーによるトンネルの 補強工事における情報化施工

CONSTRUCTION BY INFORMATION RETRIEVAL SYSTEM USING OPTICAL FIBER SENSORS IN STRUCTURAL IMPROVEMENT WORKS OF TUNNEL

岡本雅夫¹⁾・渡辺吉清²⁾・門万寿男³⁾・田中常義⁴⁾・佐藤拓哉⁵⁾

Masao OKAMOTO, Yoshikiyo WATANABE, Masuo KADO, Tsuneyoshi TANAKA, Takuya SATO

Several optical fiber sensors were installed on a surface of the concrete lining to observe a behavior of the lining during a structural improvement works of the damaged tunnel. Measured data were used to evaluate a structural integrity and stability of the concrete lining to assure a safety of the tunnel.

After the improvement works, a long term monitoring has been continued to evaluate the effects of the improvement works on a stability of the tunnel and to obtain the basic data of behavior of unimproved. It can be concluded that optical fiber sensors are one of the effective sensors for construction by information retrieval system.

Key Words : optical fiber sensor, monitoring, concrete lining, construction by information retrieval system, observation

1. はじめに

対象とするトンネルは、明治42年に市電用トンネルとして完成し、昭和50年に市道トンネルに用途変更されるとともに拡幅工事が行われた。近年、トンネル天端部付近に顕著なひび割れの発生が見られ、ひび割れが特に顕著な区間について、注入式ロックボルト工と鋼板(帯鋼板)接着工法による補強工事を施工することになった。

補強工事は、片側交通規制をし、トンネルを供用しながら行うため、十分な安全対策が要求された。特に、覆工背面に薬液を注入した際、ひび割れの激しい天端部が沈下し、覆工コンクリートが崩落することが懸念され、覆工コンクリートの挙動を監視しながら施工することになった。

覆工コンクリートの挙動監視としては、従来、覆工表面の観察、天端沈下及び内空変位の計測、ひび割れの進展量の計測などが行われてきた。しかし、今回は、①トンネルを供用しながら取り付け、計測しなければならないこと、②覆工コンクリートの全体的な挙動を監視する必要があること、③補強工事完了後に補強効果が確認できること、などが必要になるため、新しい計測技術が検討された。

ここでは、覆工コンクリート表面に光ファイバーセンサーを設置し、①補強工事施工段階での覆工コンクリートの挙動監視と補強工事へのフィードバック、②補強工事完了後の補強効果の確認、③補強工事未施工区間の挙動把握(将来の補強工事の基礎データを得るために)を行った結果について報告する。

-
- | | |
|------------|-----------------------------|
| (1) | 横浜市 道路局 建設部 橋梁課 担当係長 |
| (2) | 横浜市 道路局 泉土木事務所 道路係長 |
| (3) | 日揮(株) 第2事業本部 OSMOS事業部 PMT部長 |
| (4) フェロー会員 | 日揮(株) 第2事業本部 OSMOS事業部 |
| (5) 工学博士 | 日揮(株) 第2事業本部 OSMOS事業部 参与 |

2. 補強工事と施工管理

2. 1 対象トンネルの概要

対象とするトンネルは、横浜市内にある、一日の交通量が数万台の幹線ルートにある道路トンネルである。このトンネルは市電トンネルとして掘削されてから約90年、道路トンネルに改築後約25年経過して

表-1 対象トンネルの概要

いる。平成11年度、コンクリート強度試験、土質調査が実施され、トンネル天端上方に約10mの地山の緩みが存在すると推定された。また、緩み土圧によると思われるひび割れが天端、アーチ肩付近に観察された。

トンネルの概要を表-1に示す。覆工は700mmと、比較的厚いものとなっている。

完 成	明治42年(1909年)
種 類	市電トンネル
改 修	昭和50年(1975年)
改修内容	道路トンネルへ。拡幅
長 さ	268.4 m
アーチ部内半径	4.45 m
覆工厚さ	500~700mm

2. 2 補強工事の概要

ひび割れはトンネル全長にわたって存在するが、平成12年度は顕著なひび割れなどの変状と天端沈下が観察された区間、約50mを補強工事対象区間とした。

補強対策工法は、ロックボルト工+薬液(超微粒子セメントミルク:エスセイバーPC)注入工+鋼板(帯鋼板)接着工法による補強工法とした。薬液の注入圧力は、ポンプ出口で約10Kg/cm²である。

2. 3 施工管理方法

上述の補強工事において、ロックボルトの打設時の振動や薬液注入時に覆工背面に作用する圧力によって、顕著なひび割れが存在する覆工コンクリートが崩落することが懸念され、各工事段階における覆工の変状をリアルタイムで連続的に監視し、その結果を工事にフィードバックすることにした。

計測項目は覆工コンクリートの変形量(ひずみ)とし、工事施工中は工事事務所に設置したモニター画面上で連続的に監視した。連続的に監視することによって、万一覆工コンクリートに異常な挙動があれば、いち早く対応策を講じることが可能である。

3. 光ファイバーセンサーによる計測

表-2 光ファイバーセンサーの仕様

3. 1 光ファイバーセンサーの仕様

光ファイバーセンサーの仕様を表-2に示す。センサーは両端を対象構造物に固定される構造となっており、センサー自体は被覆で保護されている。

システムは、図-1に示すように、光学センサー部、光/電気信号変換部及びパソコンから構成され、電話回線を介して遠隔地から監視することができる。

3. 2 光ファイバーセンサーの設置位置

タイプ	3本の光ファイバーを熱った長尺の光学センサー
長さ及び本数	2m×8本
測定範囲	10mm
感 度	0.004 mm
精 度	0.02mm(スモールレンジ) 0.10mm(フルレンジ)
温度範囲	-20~60℃
温度の影響	0.0006mm/K/m

光ファイバーセンサーの設置位置を図-2に示す。A計測断面（センサー①）及びB計測断面（センサー②）は、将来の補強工事の基礎データを得るための計測断面である。C計測断面（センサー③～⑤）及びD計測断面（センサー⑥～⑧）は、補強工事施工段階での覆工コンクリートの挙動監視と補強工事完了後の補強効果の確認を行うための計測断面である。

覆工コンクリートに薬液注入による圧力が作用した場合、ひび割れのある覆工コンクリートでは変形がひび割れ部に集中する傾向が強いので、ひび割れを挟んで光ファイバーセンサーを設置した。各計測断面のセンサー設置位置を図-3に示す。

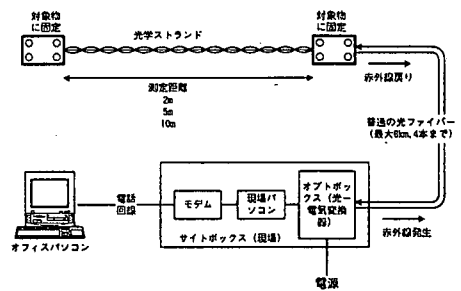


図-1 OSMOS のシステム構成

4. 光ファイバーセンサーによる計測結果

4.1 補強工事施工中の計測結果

(1) 全体的な挙動

薬液注入に先立ち、平成12年9月2日から計測を開始した。薬液注入は、最初に施工区間の周辺部のロックボルトから発砲ウレタンを注入し、次いで施工区間全域にわたってエスセイバーを注入した。エスセイバーが固化した11月下旬にロックボルトを締め込んで補強工事を終了した。

計測を開始した9月2日から工事を終了した11月27日までの計測結果を図-4に示す。図の縦軸は各センサーで測定された覆工コンクリートの変形量であり、横軸は時間を表し、一目盛が3日を表す。

図において、上下に3枚並んだグラフが、今回補強工事を行った領域のC計測断面及びD計測断面の結果である。図中、「発砲ウレタン注入」あるいは「エスセイバー注入」とあるのは、その日にそのセンサーの付近に薬液を注入したことを表す。

全体的には覆工コンクリートの動きはトンネル内の温度変動に関連しているが、ひび割れが

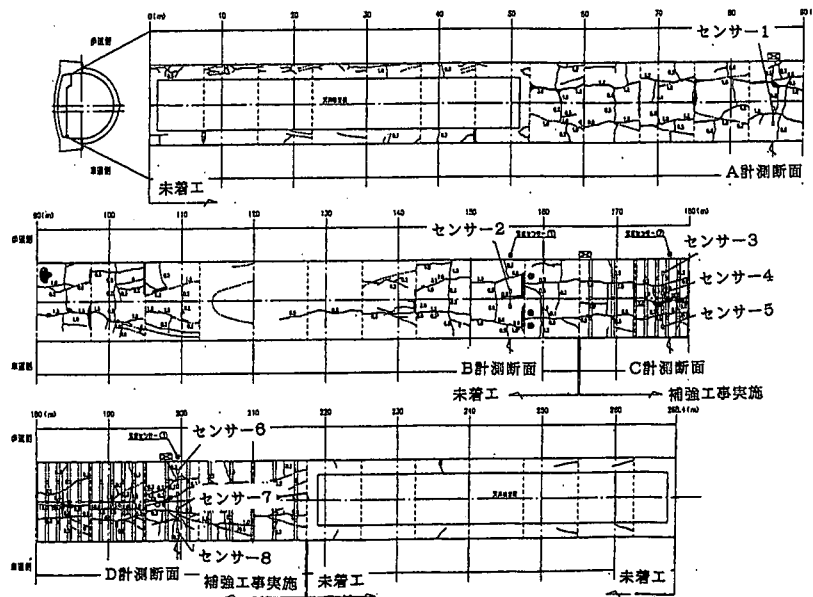


図-2 光ファイバーセンサーの設置位置

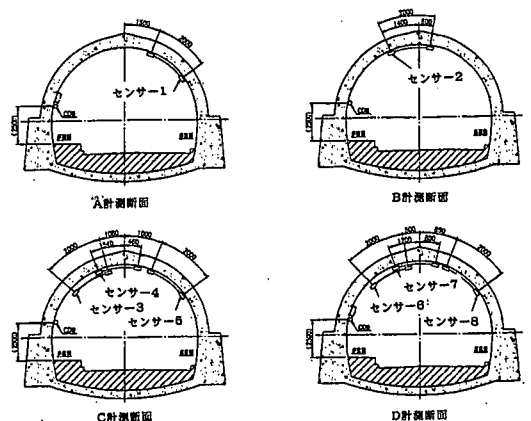


図-3 各計測断面の光ファイバーセンサー設置位置

多い断面であるため、センサーによって動きが異なっている。

D計測断面のセンサー⑦において、10月4日と6日に0.1～0.15 mm程度の、10月20日には0.1 mm程度の不連続的な動きがあった（図－4のA及びB）。また、C計測断面のセンサー③において、10月19日に0.07 mm程度の動きがあった（図－4のC）。この時期は覆工コンクリートに変形を与えるような作業は行われておらず、この動きは温度変動に伴うひび割れ部の急激な挙動（ひび割れ部の滑り等）によるものと判断される。また、定量的にも大きな値ではないので、工事安全上特に問題となる動きではないと判断し、工事を継続した。

（2）薬液注入時の挙動

薬液注入の際、覆工背面に変圧が作用するため、覆工コンクリートに変状が生じることが懸念された。したがって、薬液注入時には現場事務所において挙動を監視しながら注入した。9月に発砲ウレタンを注入したが、図－4から明らかなように、注入時の動きは温度変動に伴う動きに対して十分小さいものであり、覆工背面には当初懸念されたほど大きな偏圧が作用しなかったものと推定される。

10月及び11月にエスセイバーを注入したが、図－4から分かるように、全体としては大きな動きは認められなかった。ただし、C計測断面のセンサー③とセンサー④において、11月3日～4日にかけて0.13～0.2 mm程度の急激な動きがあった（図－4のD及びE）。また、D計測断面のセンサー⑦において、11月4日に0.08 mm程度の動きがあった（図－4のF）。この動きは、当該センサー付近に集中的にエスセイバーを注入した時間帯と一致しており、その影響によるものと考えられる。しかし、計測値は最大でも0.2 mm程度と、上述の温度の影響と思われる不連続な動きと同等のものであり、覆工の安全性の面からは直ちに問題になるものではないと判断して工事を継続した。このことから、覆工背面に作用した偏圧は、当初予想されたものほど高くなかったものと推定される。

4. 2 補強効果の確認

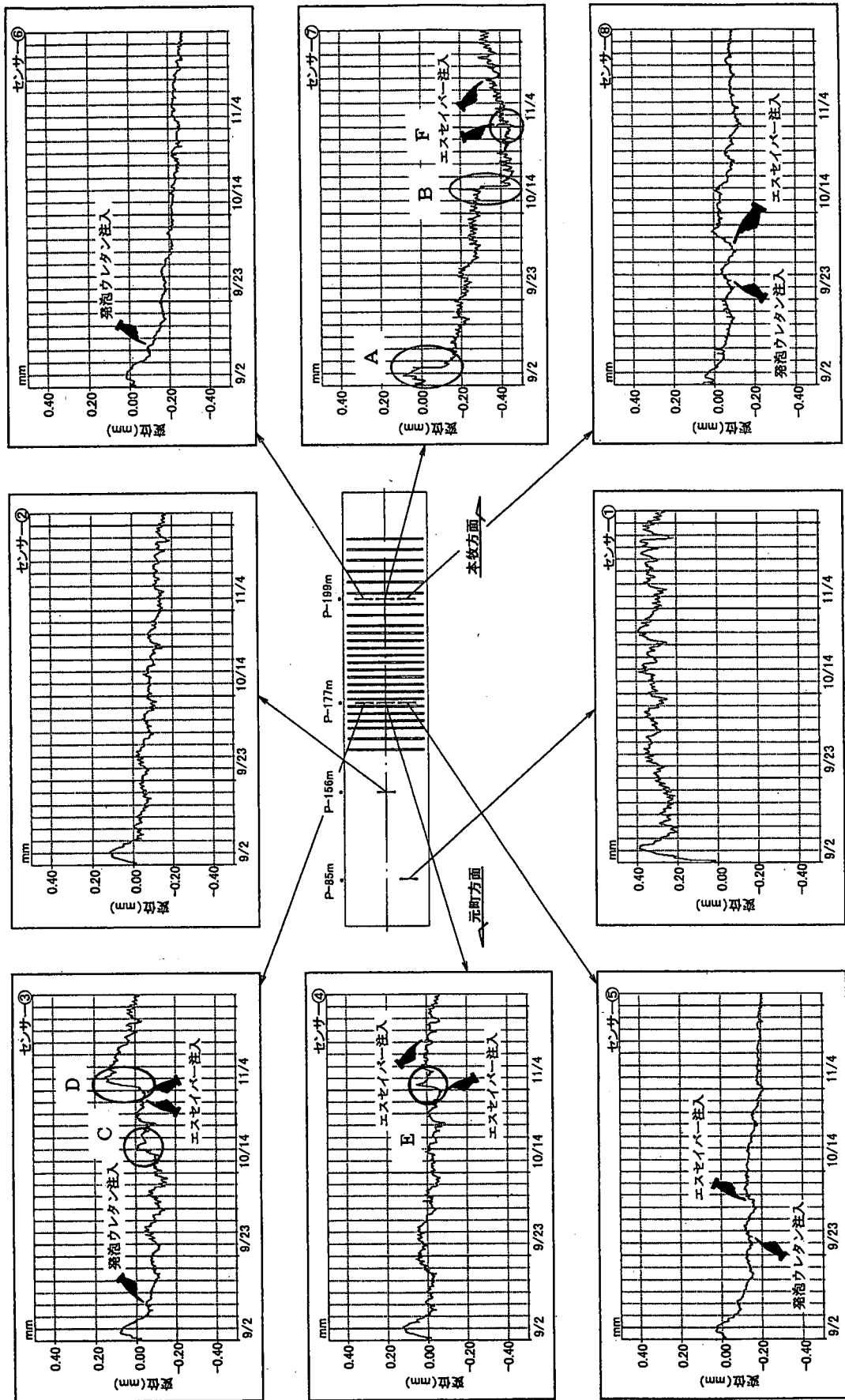
平成12年11月下旬に補強工事が終了したが、その後も計測を継続し、補強効果の確認を行った。その結果を、D計測断面について図－5に示す。

C計測断面（センサー③～⑤）及びD計測断面（センサー⑥～⑧）の結果から次のことが明らかであり、覆工コンクリートと地山が一体化された状態になっていると判断できる。

- ① 補強工事終了後、相対的に動きが小さくなった。
- ② 工事期間中にいくつかのセンサーで見られた不連続的あるいは急激な動きが、工事終了後は見られなくなった。
- ③ 一つの計測断面に設置された3本のセンサーの動きが均一化された。

4. 3 未施工区間の挙動

計測を開始した平成12年9月2日から平成13年7月31日までのA計測断面及びB計測断面について計測結果を図－6に示す。横軸の一目盛は10日を表す。この図から、計測開始から現在まではほぼ同様の繰り返し性のある動きを継続しており、年間を通して見ればほぼ7月末の値は計測開始時の値に戻る傾向にあることが分かる。このことより、覆工コンクリートは温度変動に伴って動いているものの、覆工背面の偏圧等に起因する進行性の動きは見られないものと判断される。



図一4 補強工事期間中の計測結果

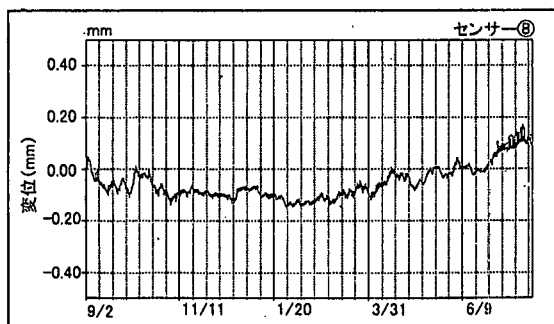
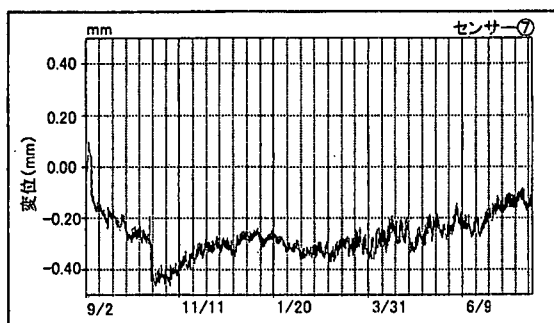
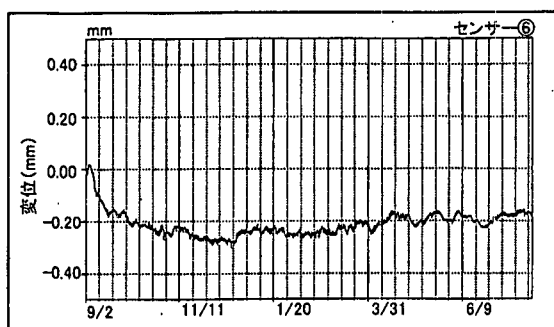


図-5 補強効果確認のための計測結果

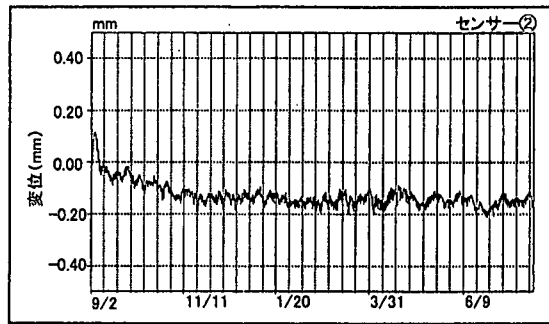
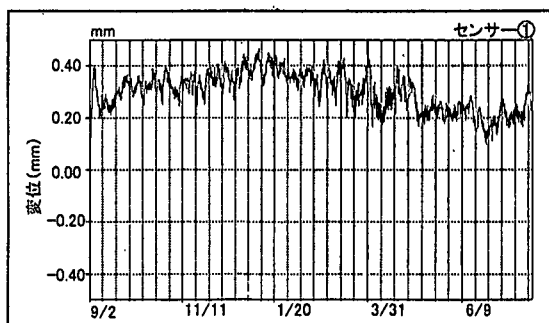


図-6 補強工事未施工区間の計測結果

5. まとめ

トンネル覆工コンクリートの表面に光ファイバーセンサーを設置し、補強工事施工段階での覆工コンクリートの挙動監視、補強効果の確認、補強工事未施工区間の挙動把握を目的として計測を行い、次の結果を得た。

- ① 光ファイバーセンサーによって、補強工事施工中の覆工コンクリートの挙動をリアルタイムで監視し、安全性を確保しながら工事を施工することができた。
- ② 補強前と補強後の覆工コンクリートの挙動を比較することによって、補強効果を確認できた。
- ③ 補強工事未施工区間についての継続的計測から、当該覆工には進行性的変形が見られず、安定していることが確認できた。これは、今後の補強工事計画の基礎資料となる。