

## 光ファイバーによるグラウト充填検知技術の開発

(株) 銭高組		○角田 晋相
(株) 銭高組		細野 順平
(株) 銭高組	正会員	渡辺 淳
神戸大学		芥川 真一

## 1. はじめに

プレストレストコンクリート (PC) 構造物においては鋼材の腐食防止やコンクリートとの一体性を確保するため、シース内にはグラウトを隙間なく充填する必要がある。そのため、シース内にセンサーを埋め込み、施工時においてグラウト充填状況の確認が行われることが多くなってきている。

一方、計測技術では光ファイバーにより光の状態をセンシングするシステムが開発され実用化に向けて検討が進められている。

そこで、PCグラウトの充填状況を検知する手法として光ファイバーによるセンシング技術に着目し、実施工への適用性について検討した<sup>1)</sup>。ここでは、光ファイバーを用いたセンサー (以下、光ファイバーセンサー) によるグラウト充填に対する検知性能を確認するために実施したグラウト注入実験とPC橋梁工事への適用事例について紹介する。

## 2. センサーの概要

図-1に光ファイバーセンサーによる計測の概要を示す。センサーは2芯の光ファイバーで構成され、物体の反射による光の強さを測定することでセンシング部の状態を確認する技術である。

計測方法は、照射用のファイバーに光を与えて先端から放射される光の反射や透過による光の情報 (光強度の変化) を受光用のファイバーを通して読み取ることで状態の変化を検知する。

センシング部の形状は、2本のファイバーを平行に配置するTwin Fiber方式とそれぞれのファイバーを対向して配置するGap方式を用意し、グラウトの充填検知センサーとして適切な形状を実験により選定した。

## 3. グラウト注入実験

## 3. 1 室内モデル実験

## (1) 実験内容

モデル試験体を写真-1に示す。試験体はPCケーブルの下り勾配部を模擬し、20°の勾配で延長は2.5mとした。

光ファイバーセンサーの形状と試験体への取り付け方法を図-2に示す。室内モデル実験では、Twin Fiber方式を採用し、センサーの先端はグラウトの先流れ時にセンシング部への付着を防止するため、光ファイバーの先端をシース内面から外側へオフセットして配置した。

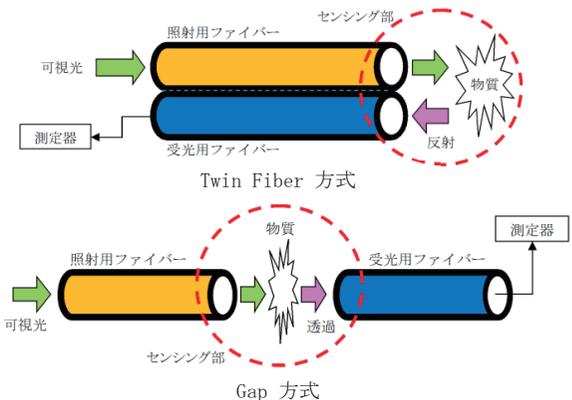


図-1 光ファイバーセンサーの計測概要



写真-1 室内モデル実験試験体

表-1 実験の材料諸元

グラウト材		試験体			計測点	
種別	JP漏斗流下時間	材質	内径	延長	光ファイバーセンサー	従来型センサー
高粘性型	14~23 s	半透明PE	70 mm	2.5 m	3箇所	3箇所

グラウトの充填計測点は3箇所とし、一般的に普及している温度センサーを応用したグラウト充填検知センサー (MSセンサー; 以下, 従来型センサー) も用いて比較した。

実験に用いた材料諸元を表-1に示す。グラウト材は高粘性型のものを使用し、試験体にはφ70mmの半透明ポリエチレン製シースを用いた。

グラウト注入は、試験体上端から自然流下により行い、下端に設けたバルブからグラウトを排出することで繰り返し充填による検知を行った。これにより、先流れなどにより一度充填された区間に空隙が生じた場合における検知の可否を確認した。

(2) 実験結果

各計測点の充填計測結果を図-3~図-5に示す。ここで、光強度は物理量ではなく、階調を表しているため無単位である。

全計測点において、グラウトの充填および空隙に対して値が大きく変化しており、グラウト通過時のセンサー反応後に空隙が生じる状況も検知できることが確認できた。また、従来型センサーとも同様の反応を示すことが確認できた。

グラウト注入時の詳細な計測記録を図-6に示す。Twin Fiber方式では、グラウト充填の進行に伴ってセンサーと光の反射面であるグラウト界面の距離が短くなり反射光が強くなる傾向が見られた。これにより、注入時に空隙の程度についても把握することが可能であると考えられる。

室内モデル実験では、光ファイバーセンサーのグラウト充填検知に対する性能が確認できたが、充填時に計測される光強度の値は計測点ごとに異なり、充填完了に対する閾値の設定に課題が残った。

3. 2 実物大グラウト充填試験

(1) 試験概要

実施前に先立ち、PCグラウトの充填性を確認する実物大グラウト充填試験に光ファイバーセンサーを導入し、充填検知性能を確認した。

試験に使用した材料の諸元および試験状況を表-2、写真-2に示す。試験体には半透明のポリプロピレン製シースを用い、実際のケーブル配置形状でシース内を真空にした状態でグラウト注入を行った。

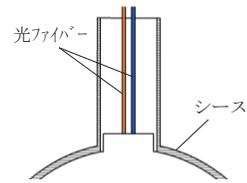


図-2 センサーの形状

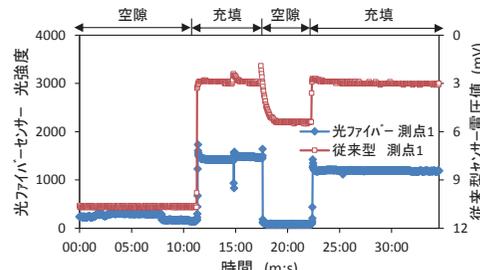


図-3 測点1の計測結果

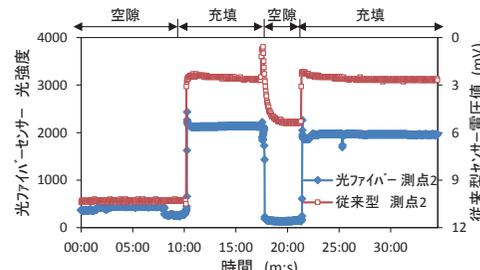


図-4 測点2の計測結果

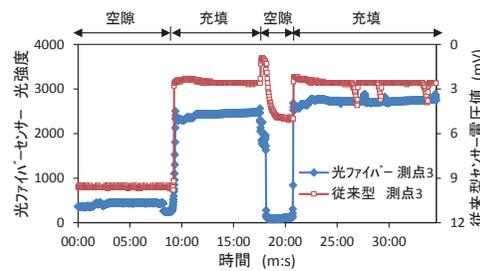


図-5 測点3の計測結果

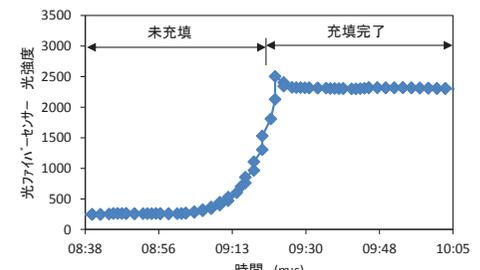


図-6 注入時の計測記録

表-2 試験に用いた材料の諸元

グラウト材		試験体			計測点	備考
種別	JP漏斗流下時間	材質	内径	延長	光ファイバーセンサー	
超低粘性型	3.5~6.0 s	半透明PP	106 mm	131.5 m	2箇所	真空グラウト



写真-2 実物大グラウト充填試験

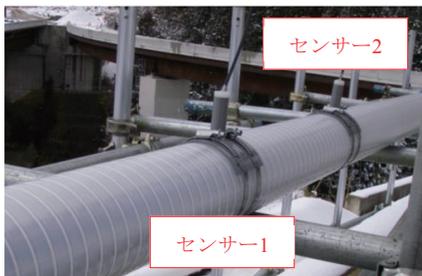


写真-3 センサー配置

試験に用いた光ファイバーセンサーの仕様を表-3に示す。センサーは勾配変化点に2箇所設置した。

充填の検知方式は、室内モデル実験で用いたTwin Fiber方式とGap方式の2種類とし、先端にはグラウトの先流れ時の付着を防止するため撥水加工を施した。Gap方式では、対向する2本の光ファイバー間にグラウトが入り込むことで、照射用ファイバーからの光が遮断され、受光用ファイバーを通して検出される光強度の値が0となることで充填完了を判断することとした。

(2) 試験結果

各センサーのグラウト充填計測結果を図-7および図-8に示す。

Twin Fiber方式では、センシング部にグラウトが到達した時点で一時的に光強度が増加したが、その後、光強度は0に低下したままとなった。これは、注入ポンプの脈動により飛散したグラウトが、シース内面からオフセットした空間内に侵入し、光ファイバーの先端に付着したため、以降の検知が不能になったと考えられる。

一方、Gap方式のセンサーでは、グラウト到達時に光強度の値が低下し、その後しばらくは値の変動が続いた。このことから、グラウト到達後のポンプ圧送に

表-3 光ファイバーセンサーの仕様

測点	センサー1	センサー2
計測方式	Twin Fiber方式	Gap方式
先端形状		
シース内取付状況		
判定基準	光強度の増加	光強度の低下(0)

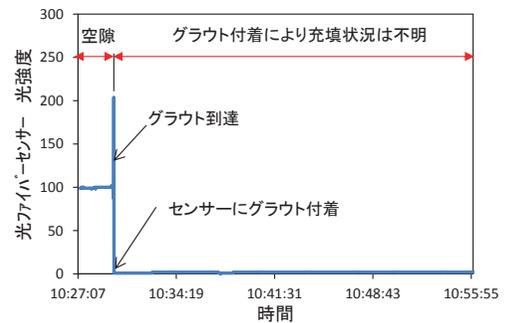


図-7 Twin Fiber方式の計測結果

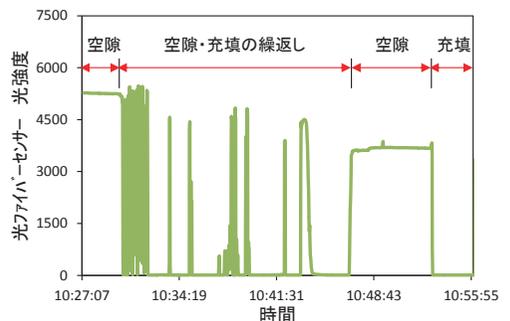


図-8 Gap方式の計測結果

表-4 適用した現場の概要

発注者	工事名	ケーブル種別	グラウト
国土交通省近畿地方整備局	丹波綾部道由良川橋才原地区上下部工事	内ケーブル(12S15.2)	超低粘性型(真空グラウト)
国土交通省関東地方整備局	中部横断自動車道田原川橋上部工事	外ケーブル(19S15.2)	超低粘性型

ともなうグラウトの流動により、シース内において空隙と充填が繰り返される状況が検知できてい  
る。以上の結果から、グラウトの充填検知にはGap方式のセンサーが適していると判断し実用化に向  
け検討を進めた。

4. 現場適用事例

光ファイバーセンサーを適用した現場の概要を表-4に示す。

適用現場では、実用化したセンサーの充填検知性能を実施工  
において検証した。実用化した光ファイバーセンサーを写真-  
4に示す。センサーはGap方式を採用し、シースの排気口を利用  
して取り付ける構造とした。

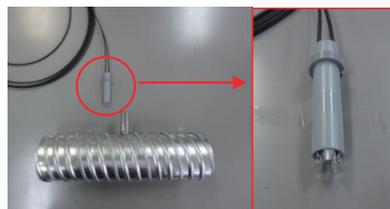


写真-4 光ファイバーセンサー

センサーの内ケーブルへの配置状況を写真-5に、外ケー  
ブルへの配置と充填計測状況を写真-6に示す。

各適用現場でのグラウト充填計測記録を図-9および図-10  
に示す。いずれもグラウトの到達およびその後の空隙と充填が  
繰り返される状態が計測でき、充填完了と判定できる状態で注  
入を終えた。内ケーブルにおいては、従来型センサーによる充  
填計測も同時に行い同等の検知性能であることを確認した。

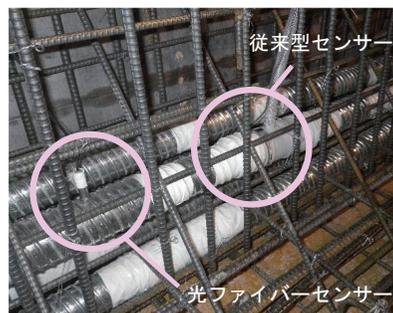


写真-5 内ケーブルへの配置

また、外ケーブルではグラウト硬化後にセンサーを取り外し、  
シース内部にグラウトが充填されていることを目視により確認  
した(写真-7)。

5. まとめ

グラウト注入実験および現場適用事例の結果から、Gap方式  
による光ファイバーセンサーは、グラウトの充填・空隙に対し  
て確実な反応を示し、充填検知への適用性が確認できた。

今後、積極的に現場適用を行い  
実績を積み重ねていきたい。



写真-6 外ケーブルの計測状況

【参考文献】

1)角田他：光ファイバによるPCグラウト  
充填確認の適用性，土木学会第69回年次  
学術講演会，pp75-76，平成26年9月



写真-7 グラウト充填状況

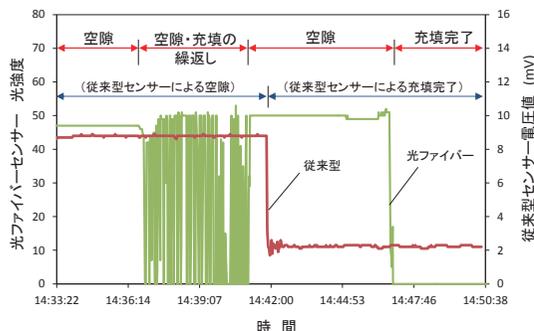


図-9 内ケーブルの計測記録

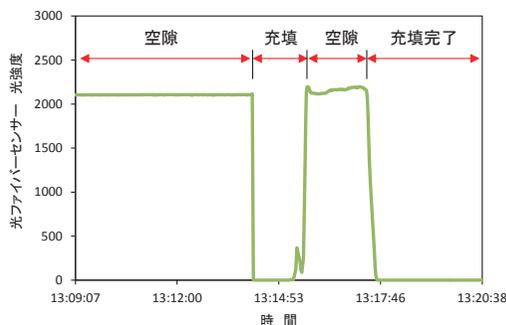


図-10 外ケーブルの計測記録