

グラウト充填ワイヤレス検知の実用化に関する検討

オリエンタル建設 (株)	正会員	○阿部 浩幸
太平洋セメント (株)	正会員	小川 彰一
太平洋セメント (株)	非会員	金田 由久
オリエンタル建設 (株)	正会員	原 健悟

1. はじめに

PC グラウトは、PC 構造物の耐荷性能および耐久性を確保するために重要な役割を担っている。このPC グラウトの要求性能を満たすため、シースおよびグラウト注入口・排出口にグラウトが充填されていることが最も重要となる。これは、PC 鋼材を腐食させないアルカリ性物質で包むこと、そして、外部からの腐食因子の進入を防ぐためである。これまで、グラウトの充填性能を高めるために、グラウト材の開発、品質検査の改善および施工指針の見直しがされた。また、グラウト充填の確認のために、注入量の管理、センサによる注入時の充填確認、注入後の非破壊検査などが行われ¹⁾、さらに、センサから引き出されたリード線の後処理など、煩雑な作業が行われている。本開発は、グラウト充填検査のひとつである充填確認センサをワイヤレスとすることで、現行システムの配線・リード線の保護・計測後の後処理などの作業の簡素化およびコンクリート表面の品質の確保を目的としている。今回適用したシステムは、センシング機能付 RFID (Radio Frequency Identification) タグを用い、これをコンクリート中に設置することにより、グラウトが注入されたかどうかを外部から無線通信により確認を行なおうとするものである。RFID タグは、主に物流や販売を中心とする分野で普及が進んでいる。しかし、センシング機能を付加した RFID タグのコンクリート構造物への適応に関する研究報告は極めて少なく、実構造物で検証した例はない。

本報告では、センシング機能付き RFID タグを用いたワイヤレスでのグラウト充填検知システムを試作し、試験体および実構造物にてグラウト充填検知について検討を行ったので、その結果を報告する。

2. システム概要

2.1 通信システム

システムの構成を図-1 に示した。センシング機能付 RFID タグおよびシースに取り付けたセンサ部をコンクリート中に埋設し、外部読書装置(リーダライタ)と制御用のパソコンとによって外部からデータを読み取る。図-2 に用いた RFID タグの構成を示すが、基板はセンシング機能を持つ RFID 用 LSI、アンテナ、およびセンサインターフェースとからなる。電池は搭載せず、リーダライタからの電波エネルギーによって駆動し、センシングおよび内蔵メモリへのアクセスを行い、その結果をリーダライタに送り返したり、メモリ部にデータを格納したりする。これらの通信は、コンクリートの自由水による影響を少なくするために

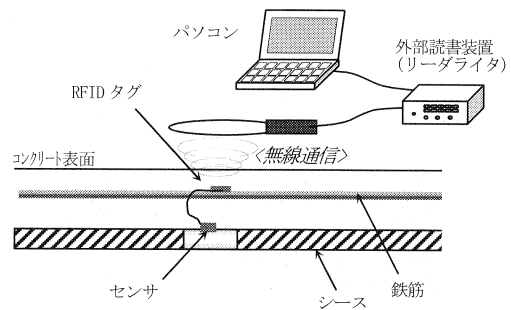


図-1 システムの構成

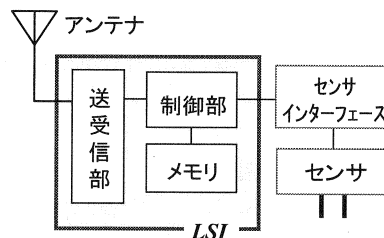


図-2 RFID タグの構成概要

13.56MHz帯を利用している。メモリにはユーザエリアを確保しており、識別コード(ID)だけでなく、ケーブル番号や計測結果などの情報を記録することができる。RFIDタグ基板の形状は、図-3に示すような長方形で長さ約70mm、幅約15mmのものである。

2.2 グラウト検知

グラウト充填を検知するセンサのセンシング方法は、センサ部電極間のインピーダンス(電気的な抵抗)を計測し、電圧値として示すことでグラウト充填状態を検知している。グラウト充填前のセンサ部は空気と接し、空気はほぼ絶縁体であることからインピーダンスは無限大とみなすことができ、本システムでの理論的な電圧値は約1320mVを示す。これに対して、センサ部にグラウトが充填された場合、グラウトのインピーダンス(電気的な抵抗)は空気のインピーダンスに比べ非常に小さく、結果として計測される電圧値は数十~百数十mVと空気と比べて非常に小さくなる。計測電圧値が低下することでシースにグラウトが充填されたかどうか判断するものである。

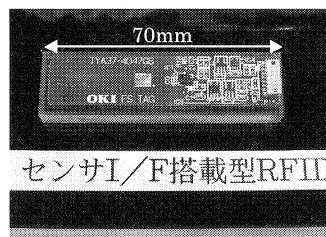


図-3 RFIDタグ写真

3. 試験体による確認試験

3.1 グラウト充填検知の試験

現在、グラウト材のタイプは、高粘性型・低粘性型・超低粘性型の3種類に大別できる²⁾。それぞれ、グラウトの性能および混和剤の主成分が異なる。今回適用するグラウト検知部が、グラウトの種別で検知結果に違いがないかどうかを確認する必要がある。そこで、代表的なグラウトとして高粘性型混和剤のポゾリスGF-1720と超低粘性型のハイジェクターAD-1を用いたグラウトで、確認試験を行った。試験に用いたグラウト材の配合とフレッシュ性状を表-1に示す。試験に用いたセンサー一体型カブラとRFIDタグを組み合わせたものを図-4に示す。

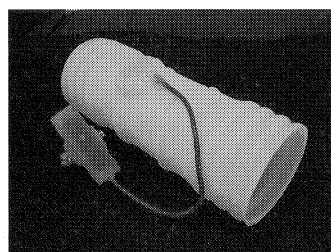


図-4 センサー一体型カブラとタグ

表-1 グラウト材の種別、配合およびフレッシュ性状

混和剤	水セメント比 (%)	フロー (秒)	グラウト温度 (°C)	外気温 (°C)
ハイジェクター AD-1	35	4.0	34	31
ポゾリス GF-1720	43.5	18.7	32	35

試験方法は、ポリエチレン製シースφ70の中央部にセンサ付シースを取り付け、全体を水平に設置してグラウト注入前後の電圧値の計測を行った。

計測結果を図-5に示す。それぞれのグラウト材でグラウト充填後の電圧値はGF-1720で約100mV、ハイジェクターで約160mVと若干異なるものの、充填前の電圧値(空気中での理論電圧値:1320mV)よりも極端に小さくなったことからシースにグラウトが充填されたと判定できる。グラウト充填後の両者の違いは、配合

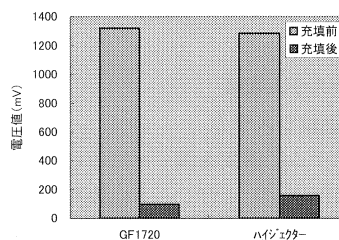


図-5 グラウト充填前後の電圧値

(特に水セメント比)の違いによるものと考えられる。目視観察においてもシース管にグラウトが充填されていることを確認した。このことより、グラウト種別によることなく、グラウト充填を判断できることが確認された。

3.2 データ通信の確認試験

RFIDタグは、無線通信でデータの読み取りが可能なものであるが、コンクリート中に埋め込んだ状態で使用された例はない。そこで、コンクリートを透過して通信が可能かどうかを目的に、図-6に示す試験体を用いて確認を行った。試験体中央にPC鋼材12S12.7を挿入したセンサ付シースを配置して、RFIDタグはか

ぶり 35 mmの位置に鉄筋に固定するように設置した(図-7参照)。コンクリート打設後、試験体に埋め込んだシースヘグラウトを充填し、充填前後の電圧値を計測した。使用したコンクリートは、設計基準強度 45MPa、水セメント比 41%のもので、グラウト材としてポゾリス GF-1720 混和剤使用のものを用いた。

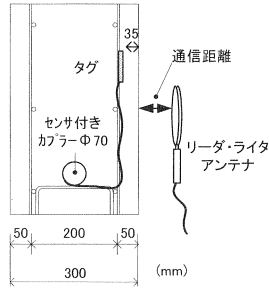


図-6 試験体概要

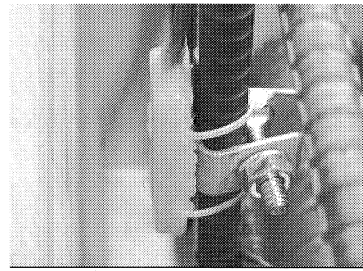


図-7 RFID タグ取り付け状況

結果は、コンクリート表面よりリーダーライタまでの距離として 40~50 mmまで計測可能なことが確認された。計測状況を図-8に示す。通信距離を計測した結果、コンクリート打設前には約 65mmであったものが、打設後には40~50 mmに減少していた。通信距離とは、図-6に示すようにコンクリート表面からリーダーライタまでの距離をいう。この結果より、通信距離はコンクリートの有無に影響を受けている事が確認された。グラウト充填前後の電圧値の結果は、試験体の結果と同様で、グラウト充填前で約 1300mV を、グラウト充填後で約 50mV を示し、グラウト充填後に電圧値が急激に減少したことから、シースにグラウトが充填されたことを検知している。

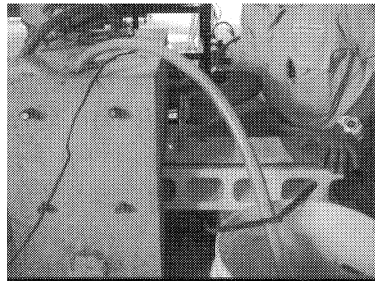


図-8 グラウト充填前後電圧値の計測状況

以上のことより、本システムがコンクリートに埋め込まれた状態でも通信可能であること、グラウト充填検知が確実に行われていることが確認された。

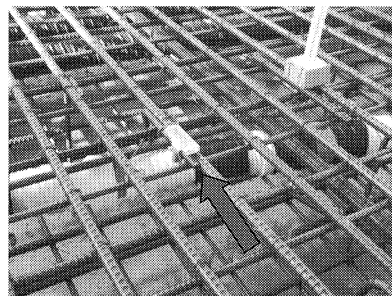


図-9 センサ・タグ取付状況

4. 実構造物での確認試験

4.1 設置状況

実構造物での使用性確認のため、中一色川橋の内ケーブルに試験体に用いたセンサ(図-4参照)と同様なものを設置して試験を行った。使用されている内ケーブルはPC鋼材 12S15.2で、シースはφ80mmの高密度ポリエチレン製で、用いたグラウトはノンブリーディング型混和剤を使用した水セメント比 43%の高粘性型グラウトである。図-9に設置したRFIDタグおよびセンサ付シースを示した。設置箇所はシース1本に対して1箇所で合計4箇所、RFIDタグのかぶり厚は35mmとした。グラウト充填確認のため、ほぼ同位置に現行の有線方式グラウトセンサと今回のセンサを設置した。

4.2 計測結果

(1) 通信距離

図-10にコンクリート打設前後の計測状況の一例を示す。鉄筋取付け前のタグの通信距離はおおよそ120mmあったが、鉄筋への取付けおよびコンクリート打設によって通信距離は低下し、その後材齢とともに

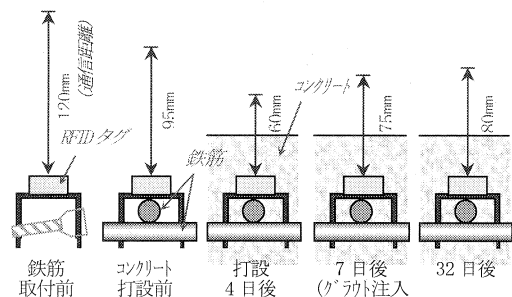


図-10 通信距離測定結果

通信距離は回復した。これは、鉄筋への電磁波の吸収と、水分の影響が少ない周波数帯を利用しているがコンクリート中の水分に影響されたためと考えられる。材齢の経過によって通信距離が回復したのは、水和の進行とともにコンクリート中の自由水が減少したことが原因と考えられる。

(2) グラウト充填の確認

4箇所取り付けけたセンサの測定電圧値の変化を図-11に示す。グラウト注入前は、試験体の結果同様に電圧値約1320mVを示し、グラウト注入によって測定電圧値は大きく低下した。グラウト注入後、時間経過とともに測定電圧値は上昇している。これはグラウト硬化に伴って自由水が減少し、インピーダンスが増加したことによると考えられる。グラウトが硬化しても水分が完全に無くなることはないことから、グラウトとセンサが接していれば測定電圧値は絶縁体とした1320mVまで戻ることはなく、本システムが竣工検査など時間経過した後も充填状況を確認できる手段として利用できると考えられる。各測定結果が経過時間とともにばらつきが大きくなっているのは、グラウト中の自由水の減少状態がそれぞれ異なることに起因していると思われる。有線方式のグラウト充填センサの結果を図-12に示すが、グラウトが充填された結果が示されたことより、本システムのグラウト充填検知の検証がされた。また、RFIDタグには、図-13に示すようなケーブル情報や計測結果を記録することができ、最終時点(コンクリート打設後39日)においても計測履歴を呼び出すことができることを確認した。このことより、検知結果を再確認できるシステムであることが検証された。

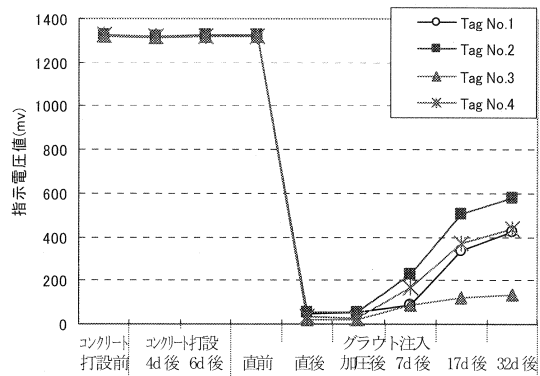


図-11 測定電圧

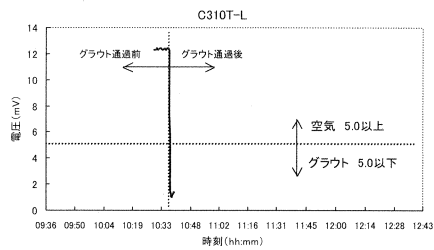


図-12 既存 (MS) センサ計測結果

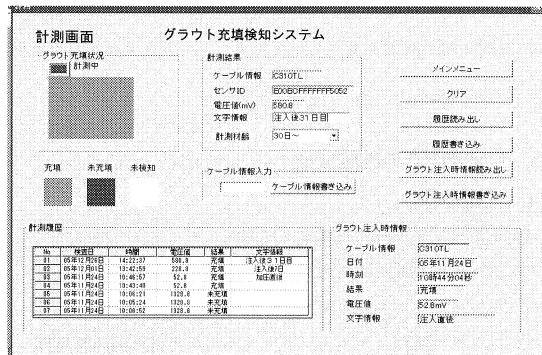


図-13 計測判定画面

5. まとめ

今回の試験結果より、RFIDタグを用いたワイヤレス充填検知システムは非接触でグラウトの充填の検知が可能であることが明らかになった。以上の結果より、本システムが実用可能なものであることが確認された。

最後に、実構造物での確認試験においてご協力いただいた中日本高速道路株式会社に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 青木圭一, 菅浩一, 落合勝, 齊藤大輔: PCグラウトの設計・施工および充填検査について, プレストレストコンクリート, Vol. 48, No. 2, pp. 46~52 2006
- 2) PCグラウトの設計施工指針, (社)プレストレストコンクリート技術協会, 2005年12月