

静電容量型加速度センサ付き無線 IC タグを用いた圧送中のフレッシュコンクリートの加速度の定量化

徳島大学大学院 フェロー○橋本 親典
(株)四電技術コンサルタント 平岡 隼人
徳島大学大学院 正会員 渡邊 健
徳島大学技術支援部 正会員 石丸 啓輔

1. 研究の経緯と目的

著者らは、静電容量式小型加速度センサを用いて、Wi-Fi やシングルボードコンピュータや無線 IC タグといった ICT・IoT に関する技術を用い、安価でかつ無線で、流動中のフレッシュコンクリート内部の加速度を計測するシステムを開発した¹⁾²⁾。本研究では、この計測システムを圧送時の輸送管内の流動状態の定量化を試みた。

従来は、圧電素子の圧力センサや加速度センサを輸送管の管壁に外部から取り付けて計測する方法しかなかった。当然であるが、圧送状態のフレッシュコンクリート中の内部の圧力や加速度ではない。

本研究では、**写真-1** に示す静電容量型加速度センサを内蔵する無線 IC タグを用いて、輸送管内のフレッシュコンクリート中に伝播される加速度を直接計測し、その加速度の時系列データの取得を行った。

2. 実験方法

圧送実験は、近畿生コンクリート圧送共同組合主催の現場圧送実験で行った。本現場圧送実験は、先送り材の性能を検討するための圧送実験であった。**写真-2** と **図-1** にその概要を示す。先送り材とは、コンクリートを圧送する前に配管内に単位セメント 400kg の 4m³ のモルタルを圧送しないで、数 10ℓ の増粘性を有する流体をコンクリートの前面に圧送するものである。大量のモルタルの廃棄をしなくてよい。SDGs の観点からも望ましい材料である。しかしながら、現在は、この先送り材の性能規定がされていない。先送り材の種類や使い方を間違えると、配管によっては管内閉塞が発生する場合もある。本圧送実験は、基礎的データを取得することを目的として、ブームを鉛直に立ち上げ、高さ 10mm で下り角 45 度前後の下向き配管とし、その後水平圧送する一方向圧送とした。ただし、閉塞発生を想定して 2 系列とした。圧送するコンクリートは 1 配合とし、W/C50%，s/a49.9%，単位水量 180kg/m³ の目標スランプ 18cm の AE コンクリートである。

先送り材は、T 字管 (**写真-3**) から投入し、次に無線 IC タグを 3 つ入れ、そのあとにフレッシュコンクリートを圧送した。水平配管内を流動するフレッシュコンクリート中に発生する加速度を計測した。圧送実験の計測は全部で 5 回行ったが、加速度データは、第 1、第 3 および第 5 回の圧送で得ることができた。圧力損

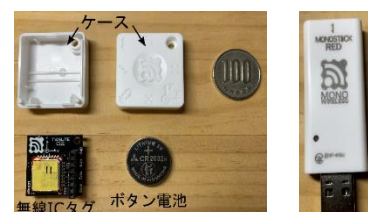


写真-1 無線 IC タグの外観(左)とパソコン側の送受信機(右)



写真-2 2 系列による圧送配管

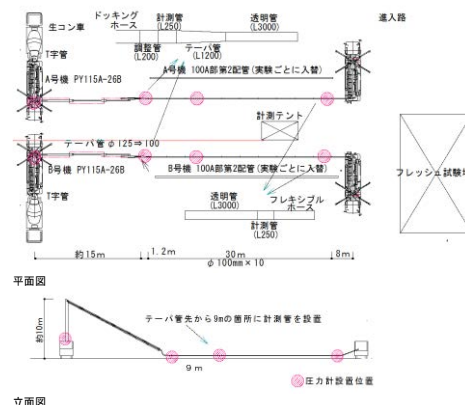


図-1 配管図 (上:平面図, 下:立面図)



写真-3 T 字管

キーワード 無線 IC タグ、圧送、加速度、管内流動、FFT 解析、卓越周波数

連絡先 〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町 2-1 徳島大学大学院社会産業理工学研究部
橋本 親典 TEL088-656-7321 chika@ce.tokushima-u.ac.jp

失は、図-1 に示す下り配管直後とその 9m 先の位置の圧力センサの圧力差を 9m で除して求めた。

3. 実験結果

3.1 圧送したコンクリートの品質

圧送試験毎に用いたコンクリートのフレッシュ性状および硬化性状を表-1 に示す。配合はすべて同一であるため、フレッシュおよび硬化性状はほぼ同程度であった。

3.2 加速度の時系列データ

加速度は、1/100 秒間隔で計測できた。例として第 1 回圧送の 1 つの加速度の時系列データの一部を図-2 に示す。

3.3 FFT 解析

第 1 回圧送の加速度データの FFT 解析結果を図-3 に示す。1/10 秒間の移動平均を用いることによって、1.17Hz に卓越周波数があることが確認された。

3.4 加速度データ分析結果

圧送実験から得られた加速度の時系列データの統計値として、1/10 の移動平均の平均値、標準偏差、変動係数および卓越周波数を一覧表として、表-2 に示す。図-4 に、平均値と標準偏差の相関を示す。加速度自体の大きさは 1m/s^2 程度で非常に小さいが、両者には正の相関があり、統計量としては妥当であると判断した。

3.5 圧力損失

閉塞が発生しなかった第 3 回圧送の圧力損失を図-5 に示す。周期は 10 秒程度であり、周波数は 0.1Hz となった。加速度の周波数と一致しなかった。一致しなかった理由は、圧力センサの位置は配管に固定であるが、無線 IC タグは管内を流動し、計測位置が変化しているためと考えられる。

4. まとめ

本実験の範囲内で次の 2 点が明らかになった。

- 1) 輸送管内のフレッシュコンクリートに発生する加速度の時系列データを無線 IC タグにより得ることができた。
- 2) 加速度の FFT 解析より、1~3Hz 程度の脈動の存在が確認できたが、圧力損失の時系列データの周波数とは一致しなかった。

謝辞：本計測を遂行するにあたり、一般社団法人 日本建築学会近畿支部 材料・施工部会（山崎順二主査（浅沼組））ならびに近畿生コンクリート圧送協同組合の関係者には大変お世話になりました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 池澤壮大，橋本親典，石丸啓輔，渡邊健：Wi-Fi と Raspberry Pi を用いた振動締固め途中のフレッシュコンクリートに伝搬する加速度の計測，第 76 回セメント技術大会講演概要集 2022 Web 版, Vol.76, 224-225, 2022.5
- 2) 藤原京介，山地功二，橋本親典，渡邊健：振動締固め途中のフレッシュコンクリートに伝搬される加速度を対象とした加速度センサ付き無線 IC タグを用いた計測システムの開発，土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.77, V-117, 2022.9

表-1 フレッシュ性状および硬化性状

試験回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
スランプ	19.0cm	19.5cm	17.5cm	21.5cm	18.5cm
スランプフロー試験	33.4cm	34.2cm	30.0cm	40.4cm	30.5cm
空気量	3.8%	3.7%	3.8%	4.4%	4.2%
圧縮強度	54.1N/mm2	53.8N/mm2	55.1N/mm2	56.2N/mm2	52.6N/mm2
動弾性係数	39536N/mm2	40139N/mm2	40303N/mm2	40161N/mm2	39395N/mm2

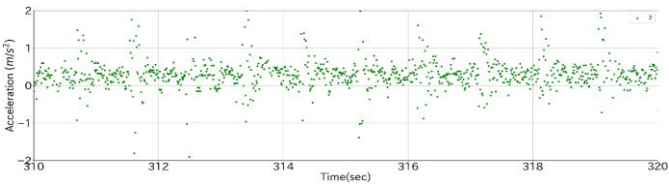


図-2 310 秒から 320 秒の間の加速度時系列データ

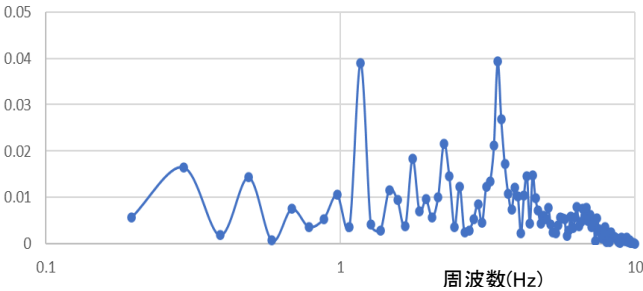


図-3 310 秒から 320 秒で移動平均の FFT 解析結果

表-2 加速度データから分析した結果の一覧表

計測回	1回目		3回目		5回目	
解析時間	310s~320s	320s~330s	20s~30s	30s~40s	600s~610s	610s~620s
平均値(m/s²)	0.309	0.288	0.252	0.225	0.095	0.057
標準偏差(m/s²)	0.081	0.085	0.181	0.135	0.155	0.021
変動係数(%)	26	30	72	60	163	36
卓越周波数(Hz)	1.17	1.27	2.83	2.73	2.53	1.56

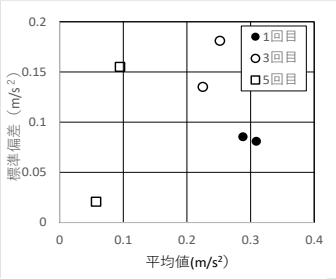


図-4 加速度の平均値と標準偏差の相関

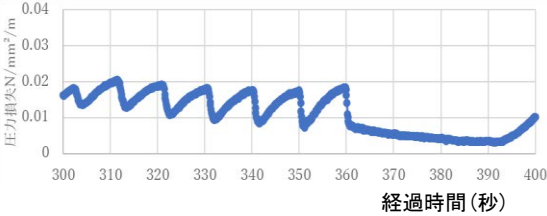


図-5 300 秒から 400 秒の第 3 回の圧力損失