

論文 先送り材の配管圧送を対象とした静電容量型加速度センサ付き無線 I C タグによるコンクリートの加速度の定量化

○橋本 親典*1 木村 芳幹*2
 山崎 順二*3 中村 成春*4
 岸 繁樹*5 河野 純子*5

静電容量型加速度センサ 無線 IC タグ 先送り材
 加速度 F F T 解析 卓越周波数

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 I C 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先送り材の配管圧送を対象に、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 I C 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。



写真-2 2系列による圧送配管



写真-1 無線 IC タグの外観(左)とパソコン側の送受信機(右)

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。本論文が対象とする先送り材とは、コンクリートを圧送する前に、配管内に数 100 投入する増粘性を有する流体のことで、一般的な圧送作業で数 1000 必要と

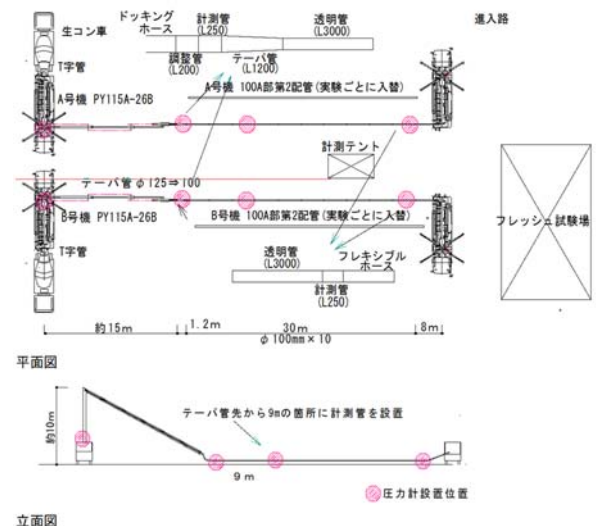


図-1 配管図 (上:平面図, 下:立面図)

Measurement of acceleration of fresh concrete in pipeline in order to study of pump-ability of preceding lubricant using several RFID tags with capacitance type acceleration sensor

HASHIMOTO Chikanori, KIMURA Yoshimoto, YAMASAKI Junji, NAKAMURA Shigeharu, KISHI Shigeki, and KOHNO Junko

なる先送りモルタルを削減できるメリットがある。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、高さ約10mで下り角35~45度の下向き配管とし、その後水平圧送する一方向圧送とした。閉塞発生を想定して次の圧送実験を速やかに実施するために、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。

また、加速度計測とは別に、通常の管内圧力損失の計測を行った。計測位置は、図-1に示す下り配管直後とその9m先の位置で、圧力センサの圧力差を9mで除して求めた。なお、先送り材の圧送性の評価のため、吐出量は20m³/h程度の圧送とした。



写真-3 T字管

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 (cm)	19.0	19.5	17.5	21.5	18.5
スランプフロー (cm)	33.5	34.0	30.0	40.5	30.5
空気量 (%)	3.8	3.7	3.8	4.4	4.2
圧縮強度(N/mm ²)	54.1	53.8	55.1	56.2	52.6
動弾性係数(kN/mm ²)	39.5	40.1	40.3	40.2	39.4

加速度を平均した移動平均値である。もう1つは、1/10秒間隔で1/100秒の加速度10個を算術平均した1/10秒の平均値である。本研究では、データ数が1/100秒と変わらないため、移動平均値を採用した。

3.3 無線ICタグから取得できた加速度時系列データ

第1回目の計測で得られた無線ICタグ3個の加速度の時系列データを図-2に示す。縦軸の加速度は最大200m/s²であるが、大半のデータは数m/s²以下であるので、変化が

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 加速度データの処理

無線ICタグによって得られる時系列データの生データは、1/100秒(0.01秒)の時間間隔の3軸加速度(x軸の加速度: a_x , y軸の加速度: a_y , z軸の加速度: a_z)である。無線ICタグの位置が固定されていないため、3軸の座標軸は絶えず変動する。3軸方向の加速度ベクトルの総和を加速度の代表値

$(\alpha = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} - g)$ として扱うこととした²⁾。

一方、1/100秒間隔では、加速度 α の変動が大きい。そのため、時間平均をとり、変動を小さくするように処理した。

時間平均の処理には、以下に示す2種類の方法がある。1つは、1/100秒ずつ移動し、10個の

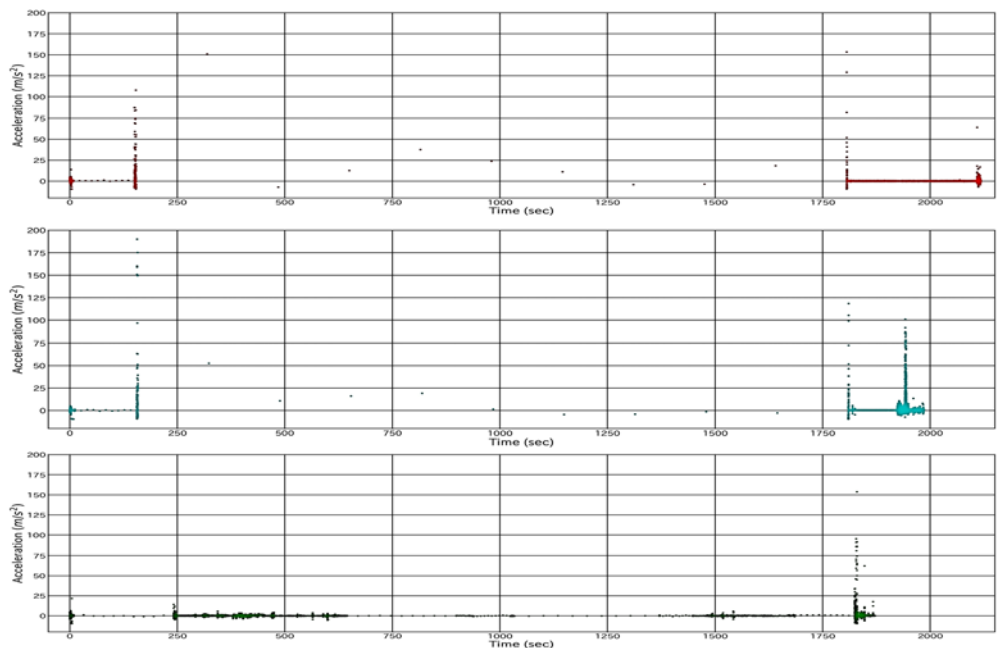


図-2 第1回圧送の加速度の時系列データ (全体)

ないように見える。時間間隔は、100Hz、つまり、1/100 秒単位である。上段と中段の時系列データは、200 秒から 1800 秒までデータが極端に少なく、通信状態が悪かった。下段の時系列データは、250 秒から 600 秒程度までデータがある。配管は、図-1 に示すように、最初、ブームを鉛直に立ち上げて、そのあと、ブームの斜め下り配管でポンプ車の水平面高さまで下り、そのあと水平管で圧送する。圧送直後の高い加速度は、無線 IC タグが鉛直立ち上がりあるいは、斜め配管にあるときと思われる。そのあとは水平管に移動する。この計測では、2000s 程度まで計測しているが、輸送管内を流動している時間は、数分である。圧送距離は約 63m である。100mm の直管とすると、約 500ℓ の容積である。吐出量が 20m³/h であれば、0.5/20×3600=90 秒程度で排出される。5m³/h であっても 0.5/5×3600=400 秒である。したがって、400 秒以降の加速度は輸送管外の加速度が計測されたと考えられる。3 個の無線 IC タグのうち、1 個のみ計測することができたと判断した。第 3 回圧送と第 5 回圧送でも同様に加速度の時系列データが取得できた。

3.4 解析に用いた加速度の時系列データ

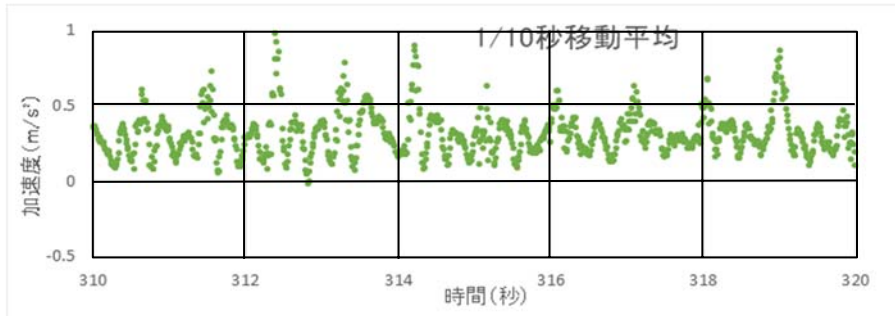
解析に用いた加速度は、1/100 秒間隔では変動が大きいため、1/10 秒間の移動平均を用いて変動を小さくすることにした。図-3 に第 1 回圧送、第 3 回および第 5 回の加速度の時系列データの 1/10 秒間の移動平均の時系列データを示す。

3.5 FFT 解析

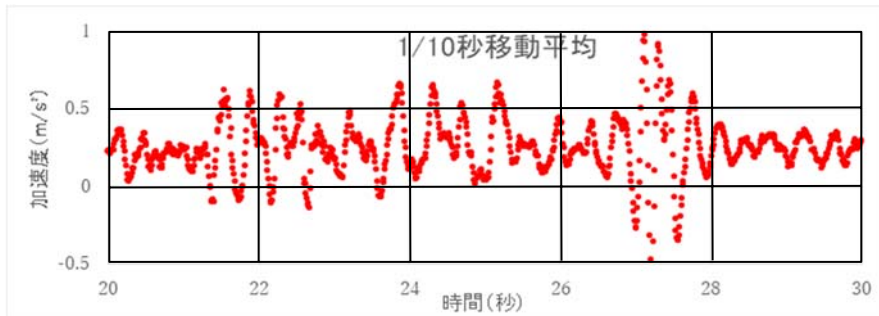
前節の第 1 回圧送と第 3 回圧送および第 5 回圧送の 1/10 秒間隔の移動平均の加速度データの FFT 解析結果を図-4 にまとめて示す。周波数軸は対数表示である。これは、コンクリートの吐出量 20m³/h 以下の低速で 2 連のピストンバルブの周波数は 10Hz 以下である。10Hz 以上の高周波数は無視した。1.0~3.0Hz 付近に卓越周波数があることが確認された。

3.6 加速度データ分析結果

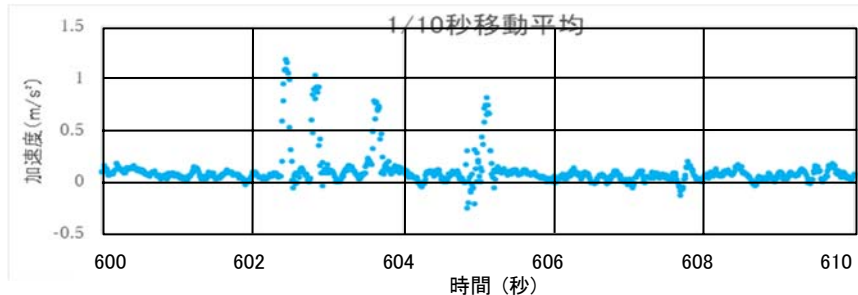
圧送実験から得られた加速度の時系列データの統計値として、1/10 秒の移動平均の平均値、標準偏差、変動係数および卓越周波数を一覧表として、表-2 に示す。図-5 に、



第 1 回圧送の 310 秒から 320 秒の間の 1/10 秒間隔の移動平均の加速度時系列データ

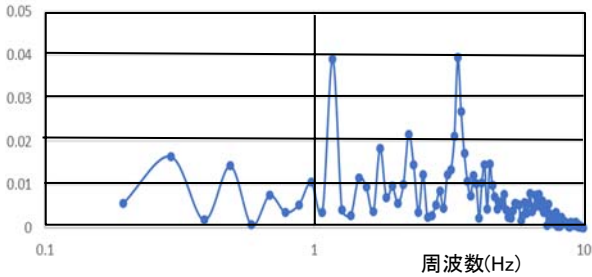


第 3 回圧送の 20 秒から 30 秒の間 1/10 秒間隔の移動平均の加速度時系列データ

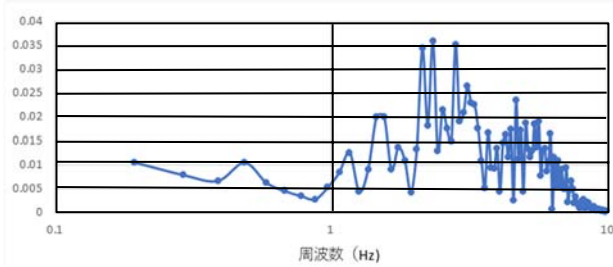


第 5 回圧送の 600 秒から 610 秒の間の 1/10 秒間隔の移動平均の加速度時系列データ

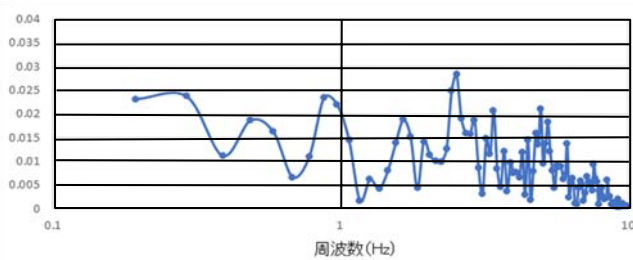
図-3 解析に用いた加速度の時系列データの例



第1回圧送の310秒から320秒の間の1/10秒間隔移動平均の加速度時系列データによるFFT解析結果



第3回圧送の20秒から30秒の間の1/10秒間隔移動平均の加速度時系列データによるFFT解析結果



第5回圧送の600秒から610秒の間の1/10秒間隔移動平均の加速度時系列データによるFFT解析結果

図-4 第1回、第3回および第5回圧送の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	
	310s~320s	320s~330s	20s~30s	30s~40s	600s~610s	610s~620s
解析時間	310s~320s	320s~330s	20s~30s	30s~40s	600s~610s	610s~620s
平均値(m/s ²)	0.309	0.288	0.252	0.225	0.095	0.057
標準偏差(m/s ²)	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

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/s²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。

3.7 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、

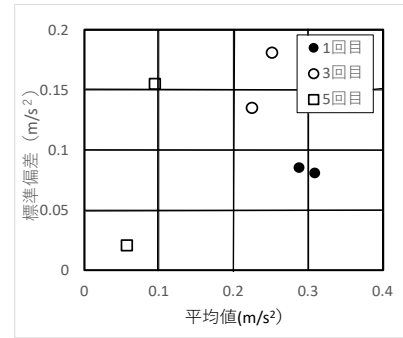


図-5 加速度の平均値と標準偏差の相関

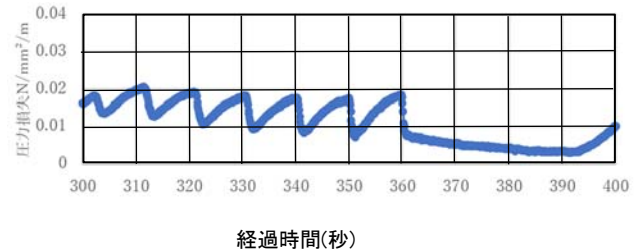


図-6 300秒から400秒の第3回の圧力損失

圧力センサの位置は配管に固定されているが、無線ICタグは管内を流動し、計測位置が変化している。この違いのために、卓越周波数が一致しなかったものと考えられる。

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。ただし、圧力損失の時系列データの周波数とは一致しなかった。

参考文献

- 1) 池澤壯大, 橋本親典, 山地功二, 渡邊健: 模擬型枠を用いた締固め途中においてインナーパイプからフレッシュコンクリートに伝達される加速度の計測, セメント・コンクリート論文集, Vol.76, No.1, 576-584, 2023
- 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

*1 徳島大学大学院 理工学域 社会基盤デザイン系 教授 工学博士

*2 (株)コンステック 技術本部 安全品質管理部 博士 (工学)

*3 (株)浅沼組 技術研究所 建築材料研究グループ 博士 (工学)

*4 大阪工業大学 工学部 建築学科 准教授 博士 (工学)

*5 近畿生コンクリート圧送協同組合