

# 加振ボックス充填装置内を流動するフレッシュコンクリートに 棒バイブレータから伝搬される加速度の計測システムの開発

徳島大学大学院 学生会員 ○藤原京介 徳島大学大学院 フェロー 橋本親典  
徳島大学大学院 正会員 山地功二 徳島大学大学院 正会員 渡邊 健

## 1. はじめに

棒バイブレータによる内部振動機や型枠振動による外部振動機によるコンクリートの締固めに関する既往の研究は大変多い。しかしながら、流動中のフレッシュコンクリートに伝播される加速度を直接計測した研究はあまりみられない。本研究は、最新の IoT 技術を導入し、Raspberry Pi と圧電素子の加速度センサを使って、充填過程のコンクリートの加速度の時系列データを Wi-Fi を用いて同時多点の計測を行う安価な計測システムを開発した。加振ボックス充填装置内を流動するフレッシュコンクリートの加速度を計測し、鉄筋障害を通過した後の加速度は、距離減衰の影響によって必ずしも一様でないことを明らかにした。

## 2. 方法

### 2.1 使用材料および配合

使用材料を表-1、配合表を表-2 に示す。実際のコンクリート二次製品に使用される配合となっている。水セメント比は 41.5%，細骨材率は 43% とし、SP 剤の添加量およびスランプロスでスランプの調整を行った。同一配合で、スランプ 14cm~4cm まで 4 種類のコンクリートを実験に供した。

### 2.2 無線加速度計測システム

写真-1 に、①：Raspberry Pi，②：3 軸の加速度センサ(ADXL345)，③：モバイルバッテリーを組み合わせた無線加速度計を示す。写真-2 にエポキシ樹脂を用いて防水処理を行った加速度センサを示す。ノート PC から Wi-Fi ルーターを介してコマンドおよびデータを送受信し計測を行った。

### 2.3 加振ボックス充填装置および鋼製フレーム

写真-3 に加振ボックス充填装置および鋼製フレームの外観を示す。加振ボックス充填装置は、スランプ試験のみでは評価することの難しい、コンクリートの施工性能を評価する試験方法である。図-1 に示すように A 室・B 室に分かれており、2 室間に鉄筋障害および仕切り版を設置する。初めにコンクリートを A 室側に充填する。その後、棒バイブレータを A 室側へ挿入し、加振と同時に仕切り版を外し、B 室側へコンクリートを流動させる。赤線で示す 300mm ラインに到達した時点で計測を終了した。鋼製フレームはボックス型容器を通じた振動を断ち切りフレッシュコンクリート内部の加速度のみを計測するために用いた。真鍮線を用いて鋼製フレームから吊り下げてセンサを固定した。

表-1 使用材料

種類	品名	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	粗粒率	産地または製造元
セメント	普通ポルトランドセメント	3.16	—	太平洋セメント(株)
混和材	—	—	—	—
細骨材	砕砂(粗)	2.57	3.00	徳島県阿波市市場町犬墓字小月
	高炉スラグ細骨材 BFS 5	2.77	2.55	広島県福山市鋼管町I
粗骨材	砕石2005	2.58	6.60	徳島県阿波市市場町犬墓字小月
	—	—	—	—
混和剤	マイティ21HF	1.05	—	花王(株)

表-2 配合表

水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				目標 スランプ (cm)
		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	
41.5	43	174	420	743	989	10±2.5

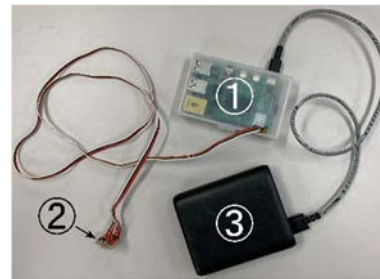


写真-1 無線加速度計

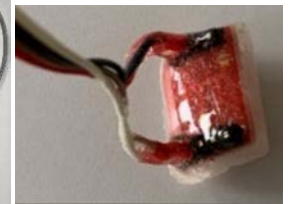


写真-2 加速度センサ



写真-3 加振ボックス充填装置  
および鋼製フレームの外観

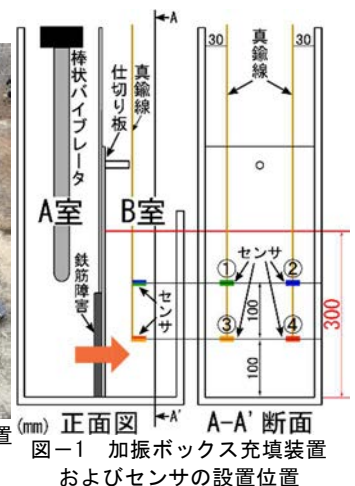


図-1 加振ボックス充填装置  
およびセンサの設置位置

### 3. 結果および考察

図-2 にスランプ 8cm での計測結果を示す。コンクリートが 300mm ライン到達するまでの時間は、計測開始から 40 秒であった。0~12 秒にかけてはバイブレータによる加振を行っていない時間である。8 秒付近の加速度が大きく卓越しているのは、仕切り板解放時にセンサを固定している真鍮線に触れてしまったことによるノイズである。12 秒前後から徐々に加速度が計測され、①では 25 秒付近で  $150\text{m/s}^2$ 、②では約 35 秒で  $200\text{m/s}^2$ 、③では約 28 秒で  $100\text{m/s}^2$ 、④では約 35 秒で  $150\text{m/s}^2$  程度の加速度が計測された。その後は①、②、④のセンサで加速度が徐々に減少した。図-3 にスランプ 12cm での計測結果を示す。コンクリートが 300mm ライン到達するまでの時間は、計測開始から 43 秒であった。10 秒付近から加速度が計測され 30 秒前後で  $90\sim 150\text{m/s}^2$  程度のピークを迎えた。その後の加速度は緩やかな減少傾向にあった。

上に位置する①、②のセンサの加速度が、下に位置する③、④のセンサの加速度より大きい理由を以下に説明する。図-4 に、加振ボックス充填装置内を流動するフレッシュコンクリートの挙動の概要図を示す。Ⅰは仕切り板を解放し、バイブレータによる加振を開始した直後の状態である。この状態では、フレッシュコンクリートは鉄筋障害の上部から崩れるように A 室側から B 室側へ流入する。よって、B 室へ流入するコンクリートがセンサに触れると、加速度が計測される。流入するコンクリートの量が増加すると共に計測される加速度は増大すると考えられ、この状態の時に加速度が立ち上がり、その後ピークを迎えると考えられる。Ⅱは B 室へ崩れるように流入したコンクリートが充填されていき、③、④の底面から 100mm

の位置に設置したセンサをコンクリートで覆っているような状態である。この状態では真鍮線およびセンサの一部がコンクリートに覆われているため、動きは抑制されると考えられる。よって、①の状態よりもセンサの自由度は低くなる。これにより、加速度は減少していくと考えられる。Ⅲは①、②の上側のセンサもコンクリートに覆われた状態である。この状態になると、①から④のセンサと真鍮線を全てコンクリートで覆っているような状態である。そのため、Ⅱの状態よりも更に計測される加速度は小さくなると考えられる。

つまり、棒バイブレータの先端とセンサの距離は、①、②のセンサの方が、③、④のセンサよりも近いため加速度が大きくなったと考えられる。なお、スランプ 8cm、12cm もほぼ同程度の加速度であり、スランプによる加速度の違いは見られなかった。

### 4. 結論

無線加速度計測システムを開発し、加振ボックス充填装置内を流動するコンクリートの加速度を計測することができた。コンクリート内部の加速度には、特徴的な「立ち上がり」の挙動があり、その後緩やかに加速度が減少することが分かった。また、加振ボックス充填装置の B 室内において、任意の位置における加速度は異なる。棒バイブレータと加速度センサの距離減衰が加速度の変化の主たる要因である。

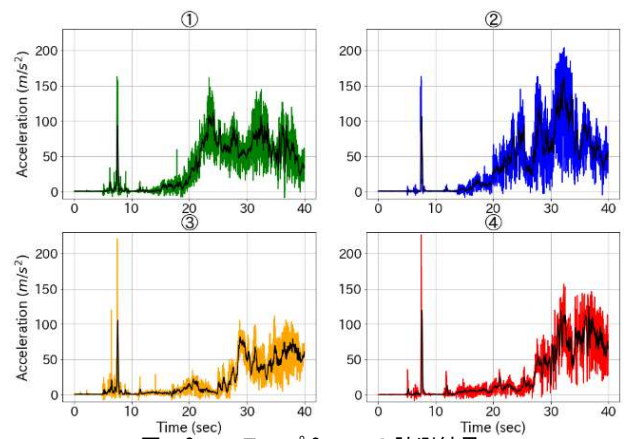


図-2 スランプ 8cm での計測結果

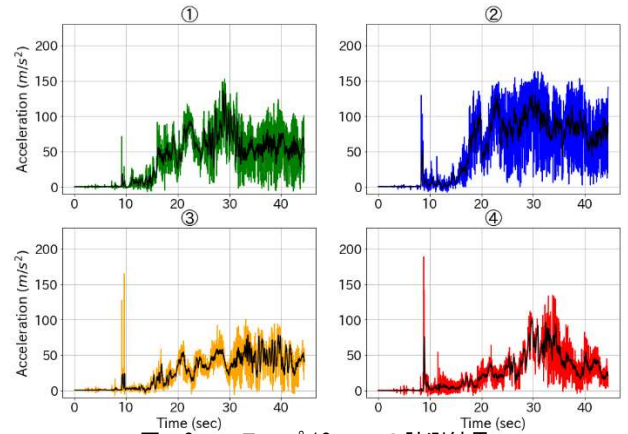


図-3 スランプ 12cm での計測結果

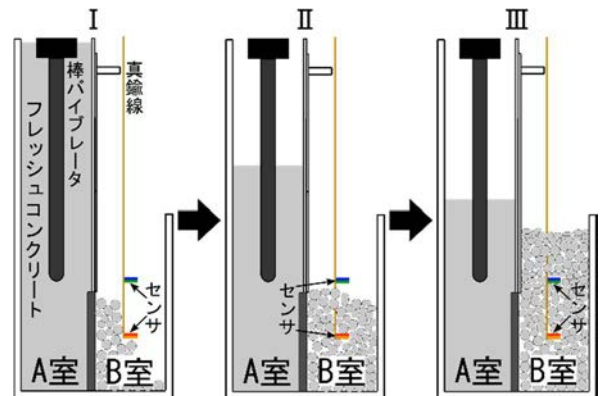


図-4 加振ボックス充填装置内を流動するフレッシュコンクリートの挙動の概要図