

静電容量式加速度センサ付き無線 IC タグによる各種プレキャスト型枠内を 充填するコンクリートの伝播加速度の定量化

山地功二*1 橋本親典*2 藤原京介*3 渡邊健*2

*1 徳島大学 大学院先端技術科学教育部博士後期課程（〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町 2-1）

*2 徳島大学 大学院社会産業理工学研究部（〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町 2-1）

*3 徳島大学 大学院創成科学研究科博士前期課程（〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町 2-1）

要旨: 締固め時のコンクリートの伝播加速度の測定は、従来有線加速度計による測定手法が大多数であり、無線 IC タグを使用した手法は皆無である。本研究では、IoT 技術を活用したワイヤレスの静電容量式加速度センサ付き無線 IC タグを用い、プレキャストコンクリートの型枠内に充填されるフレッシュコンクリートの伝播加速度を計測、定量化した。計測された加速度は、スランプおよびスランプフロー値に依存しない。また製品形状および締固め充填高さ等の差異に関係なく、型枠に設置されている外部振動機近傍は大きく、遠方は小さく、加振位置からの減衰作用と考えられる。

キーワード: 無線 IC タグ、プレキャストコンクリート、フレッシュコンクリート、合成加速度

1. はじめに

現在、建設業界においては、就労者数が平成 9 年 685 万人をピークに約 25% 以上も減少し、それに伴い作業者の 3 割以上が 55 歳以上と高齢化が顕著となっている。それに伴い、取り巻く建設作業環境は、年々厳しくなっており、コンクリート工を含めた、ほぼ全ての施工工種に影響を及ぼしている現状となっている。また、近年、建設現場における IoT 技術の導入および活用に取り組む事例が増加し、作業の効率化や省力化等が推し進められている。同時にプレキャストコンクリートを使用する建設現場が多くなっており、種々の作業の省力化等が求められる。一方、コンクリート硬化体を製造する上で重要な要素となる充填および締固めにおいては、内部振動機や外部振動機を用いるが、一部の数値基準はあるものの、そのほとんどが定性的な締固め作業標準のものとなっており²⁾、現場作業の締固めは、定量的基準および評価に基づいたものになっていないのが現状である。既往研究においても有線加速度計や型枠に取り付けたセンサによる加速度評価³⁾が多く、締固めによるフレッシュコンクリートの加速度を直接計測しているものが少ない。

筆者らは、シングルボードコンピュータと静電容量式の加速度センサを用い、フレッシュコンクリートに伝播される加速度を Wifi 環境下で同時多点を無線通信で直接計測するシステムを開発した^{4,5)}。しかしながら、シングルボードコンピュータと加速度センサは有線であ

るため、完全な無線化ではないという欠点があった。

本研究では、前述の計測システムから改善を加え、3 軸加速度センサ、磁気センサを搭載したワイヤレスの静電容量式加速度センサ付き無線 IC タグ（以下、無線 IC タグと、略記）をノート PC に接続した受信機にてデータ受信するという計測システムを新たに試作し、試験実施した。これによって、遠隔操作によるフレッシュコンクリートの伝播加速度を完全無線化で計測を行うことが可能となった。

同時多点計測を可能にした無線 IC タグを使用した計測手法にて、プレキャストコンクリート工場にて製造される製品用コンクリートを対象に、鋼製型枠内へ打込みされる有スランプおよび締固めを要する高流動のフレッシュコンクリートの締固め過程における伝播加速度を計測した。外部振動機によって締固めエネルギーが与えられるプレキャストコンクリート製品型枠の形状が伝播加速度に与える影響について検討を行った。

2. 無線 IC タグを用いた加速度の計測装置

加速度の測定において、Photo. 1 に示す無線 IC タグと Photo. 2 に示す受信機を用い、受信機をノート PC の USB ポートに接続し、コマンド入力およびデータ送受信等を行い、加速度の計測を行った。

センサタグおよび受信機は、ワイヤレスの加速度、磁気センサタグ、アンテナ、コイン電池ホルダと受信機が

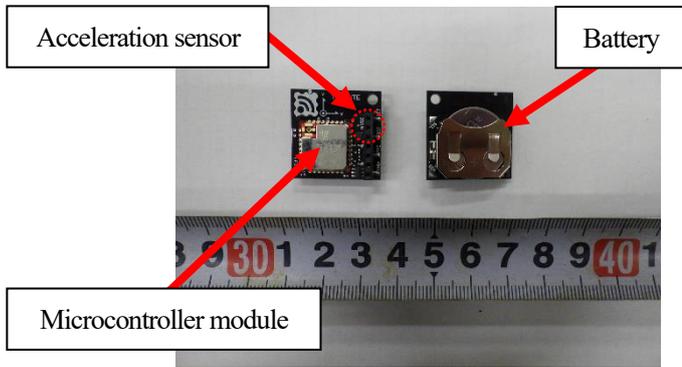


Photo. 1 Rfid(radio frequency identification) tag

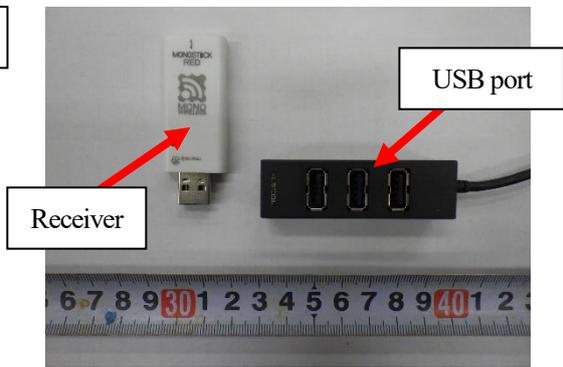


Photo. 2 Receiver and USB port

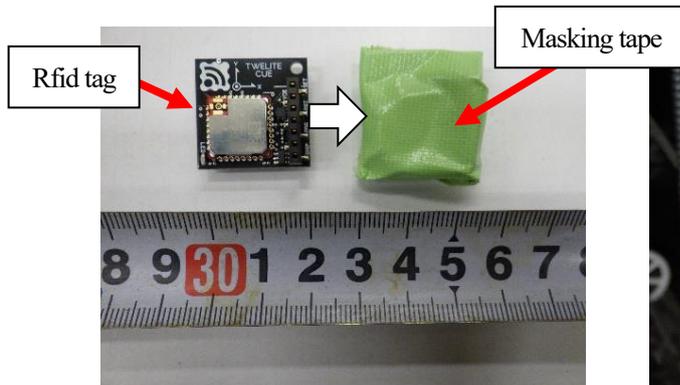


Photo. 3 Surface waterproofing of rfid tag

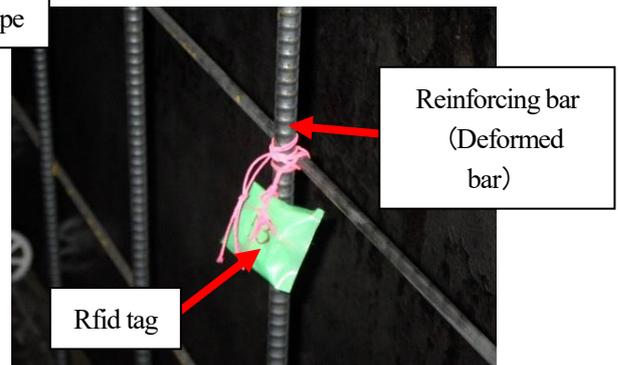


Photo. 4 Installation status of rfid tag

セットとなったものを用いた。また、今回使用した無線 IC タグは、数千円/個と従来の有線加速度計より、非常に安価で有り、多点計測に適したセンサである。

2. 1 無線 IC タグの設定方法

(1) ソフトの準備

使用するノート PC の OS に適合するソフトをインストールする。

(2) 無線 IC タグの設定

受信機を USB ポートに接続し、設定書き込み用に変換させる。チャンネル番号、送信間隔、センサの計測周波数等の設定を行い、使用する無線 IC タグに書き込みを行う。その後、設定書き込み用に変換させた受信機を受信機用に戻す。

(3) 計測用プログラム環境の準備

計測用のプログラムを作動させるための環境を整える必要があり、インタープリタ型の高水準汎用プログラミング環境を構築させ、ターミナルソフトをインストールし、プログラミング言語のインストールを実施する。送信された各種センサ情報等のシリアルデータを受け取るためのスクリプトをインストールする。

得られるデータは、CSV ファイルとして保存され、容易にデータ処理作業が実施可能となる。

2. 2 無線 IC タグの使用に関する事前処理

前述の無線 IC タグの防水処理として、養生テープ等にて全面を覆うなどの防水処理を施し、プレキャストコンクリートの鋼製型枠内に配筋される鉄筋に括り付ける程度の装着とした。これにより、無線 IC タグが固定拘束による影響をほぼ受けない自由な状態であるものと判断

Table 1 Materials used

Material			density (g/cm ³)
Series ①	Cement	Ordinary portland cement	3.16
	Fine aggregate	Crushed sand	2.57
		Blast-furnace slag fine aggregate BFS 5	2.77
	Coarse aggregate	Crushed stone	2.58
Chemical admixture	High-range water-reducing admixtures	1.05	
Series ②	Cement	Ordinary portland cement	3.16
	Mineral admixture	Fiy ash (type II)	2.25
	Fine aggregate	Crushed sand	2.57
		Blast-furnace slag fine aggregate BFS 5	2.72
	Coarse aggregate	Crushed stone (2010)	2.64
		Crushed stone (1505)	2.61
Chemical admixture	High-range water-reducing admixtures	1.05	

する (Photo. 3 および Photo. 4)。なお、この無線 IC タグはコンクリート中に埋設され、計測終了後に回収しない。

3. 実験詳細および方法

3. 1 使用した材料およびコンクリートの配合

実験に使用した製品用コンクリートの使用材料および配合表を Table 1 および Table 2 に示す。

シリーズ①は、試験用としてスランプの範囲が 20.0±1.5cm の有スランプコンクリート、シリーズ②はスランプフロー範囲が 575±75mm の締固めを要する高流動

Table 2 Mixture proportions of concrete

Series	Maximum size (mm)	W/B (%)	s/a (%)	Unit weight (kg/m ³)					
				Binder (B)		Aggregate		Chemical admixture	
				W	C	FA	S		G
①	20	41.5	43	174	420	—	743	989	3.36
②	20	34.3	42.4	175	350	160	698	940	3.88

Table 3 Precast concrete product details

Mixture proportions	Precast concrete products	Standard size B×H×L (mm)	Main reinforcing bar	Reference weight (kg)
Series ①	U-shape waterway	1,200×1,200×2,000	D10	2,370
Series ②	L-shape retaining wall	1,000×1,250×2,000	D10	1,290
	Box culvert	1,500×1,500×2,000	D16	5,170



Photo. 5 Precast concrete products

Left : U-shape waterway (upside down)、Center : L-shape retaining wall、Right : Box culvert

コンクリートである。なお、製品用コンクリート配合は、目標空気量 1.5%、細骨材率 42~43%のコンクリートである。配合設計上における空気量は 1.7%、粗骨材の最大寸法 20mm、設計基準強度は、35.0N/mm² で鉄筋コンクリート製品用である。

3.2 実験に使用したプレキャストコンクリート

実際の鉄筋コンクリート製品を対象とし、製品選定を行った。選定の際の留意事項として、製品重量が 1 トン以上とある程度のコンクリート容積があること、締固め充填高さがあるもの、汎用性のあるプレキャストコンクリートであることとし、選定を行った。なお、使用した製品の種類および詳細を下記に記す。

選定製品は、製造工場により配合および製造製品群が異なっている。シリーズ①配合では、内幅 1200×内高 1200×長さ 2000mm の U 型水路である。シリーズ②配合では、控幅 1000×壁面高さ 1250×長さ 2000mm の道路用 L 型擁壁、内幅 1500×内高 1500×長さ 2000mm のボックスカルバートとした (Table 3、Photo. 5)。なお、U 型水路の型枠は、逆さまに組立て、底版が打込み面となる。

3.3 無線 IC タグ取付け箇所および外部振動機

3 種類のプレキャストコンクリートに配筋される鉄筋に無線 IC タグを取付け (Photo. 4)、測定準備とする。取付け位置詳細を Fig. 1、Fig. 2 および Fig. 3 に示す。

シリーズ①配合における U 型水路では、外部振動機近傍およびその振動効果が得られにくいと推定される打込み面の底版付近や側壁の端部位置など合計 11 箇所設置し、2 体の製品製造を行い、実験 1 回目打設時に [1] 1~6、実験 2 回目目打設時に [2] 1~5 までの箇所を測定した。

シリーズ②配合における L 型擁壁では、前述同様、外部振動機近傍と遠距離にある位置など合計 8 箇所設置した。

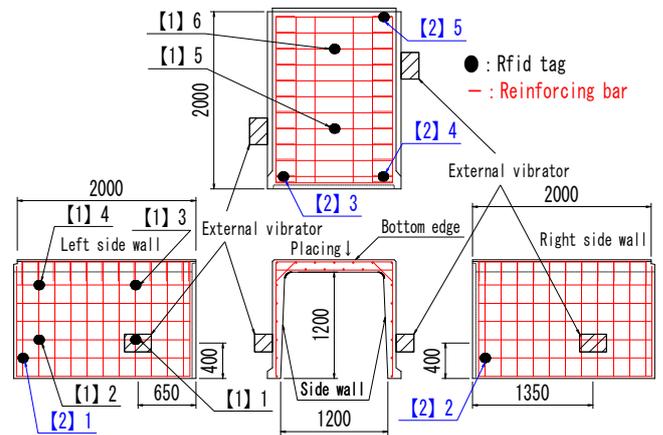


Fig. 1 U-shape waterway (Rfid tag : [1] 1~6、[2] 1~5)

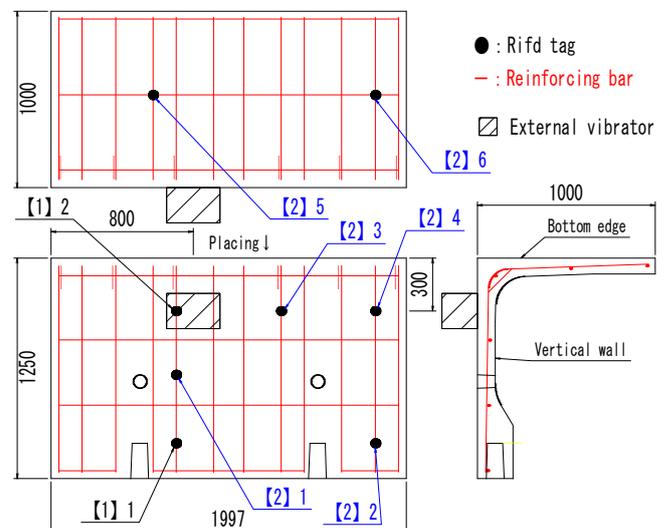


Fig. 2 L-shape retaining wall (Rfid tag : [1] 1~2、[2] 1~6)

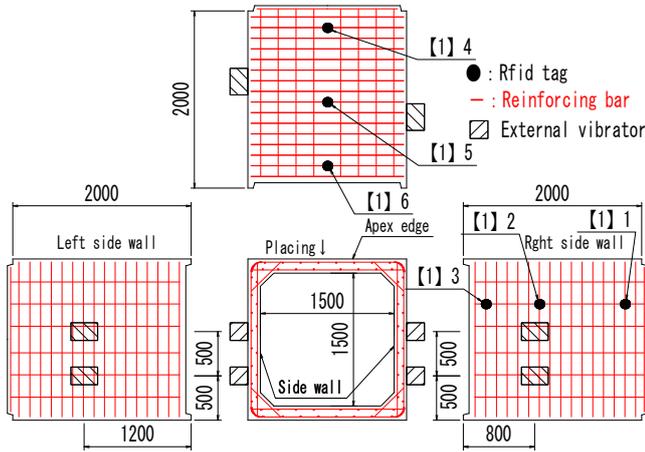


Fig. 3 Box culvert (Rfid tag : 【1】 1~6)

同じく 2 体の製品製造を行い、実験 1 回目打設時に

【1】 1~2、実験 2 回目打設時に 【2】 1~6 を測定した。同じくシリーズ②配合を使用するボックスカルバートでは、【1】 1~6 までの合計 6 箇所とした。

なお、プレキャスト型枠に装着されている外部振動機の規格を Table 4 に示す。

3.4 無線 IC タグの計測方法

打設されるフレッシュコンクリートの加速度を計測した方法を下記に記す。

- (1) 設定された無線 IC タグに防水処理を行い、各製造製品の設置位置に取付け、鉄筋を鋼製型枠内に挿入し、型枠を閉合するなど打設前準備を行う。
- (2) 起動させたノート PC に受信機を必要数、USB ポートに接続する。
- (3) 計測用プログラムを起動し、計測前環境を整える。
- (4) 受信機を受信しやすい位置、型枠天端付近に静置。
- (5) コンクリート打設および外部振動機始動を開始、充填締めされるフレッシュコンクリートの加速度を受信する。
- (6) コンクリート打設および計測完了。

3.5 計測データの整理

計測するデータのサンプリング間隔は 100Hz とし、得られた x、y、z 軸方向の加速度 (accX、accY、accZ) を既往の研究^{4, 5)}同様、式[1]に記載する計算式にて合成加速度を演算、処理した。

$$\text{合成加速度} = \sqrt{\text{accX}^2 + \text{accY}^2 + \text{accZ}^2} - g \quad [1]$$

ここに g : 標準重力加速度 (m/s²)

4. 実験結果および考察

4.1 各配合シリーズのフレッシュ性状

各配合シリーズで使用したコンクリートのフレッシュ性状を Table 5 に示す。シリーズ①は、目標スランプの範囲内であった。シリーズ②の L 型擁壁製造時は、締め

Table 4 External vibrator standards

Model	Power capacity	Voltage	Electric current	Frequency	Frequency (vibration)	Maximum centrifugal force
HKM75LA	750W	48V	17.0A	100~240Hz	50~120Hz	11.6kN

Table 5 Result of fresh properties for each the mixture proportion series

Mixture proportions	Precast concrete products	Slump (s.l.) and slump flow (flow)		Air content
		1st	sl. / frow	
Series ①	U-shape waterway	1st	sl. 19.0cm	1.0%
		2nd	sl. 20.0cm	1.2%
Series ②	L-shape retaining wall	1st	frow 560mm	1.3%
		2nd	frow 510mm	1.4%
	Box culvert	flow	360mm	1.3%

を要する高流動コンクリート性状とし、ボックスカルバート時、スランプフローが 360mm と経時変化で小さくなったものを使用した。

4.2 配合 : シリーズ①、製品 : U 型水路

無線 IC タグ取付け、コンクリートの打設状況を Photo. 6、1 回目打設時の経過時間と合成加速度との関係を Fig. 4 に示す。また、合成加速度の変動振幅が大きいため、前後 5 点による移動平均を図示することとした (No.1 のみ実測値も記載)。なお、本 U 型水路は、上下が反転した鋼製型枠となっており、コンクリートの投入は、底版部から打設され、両方の側壁部、その後最終底版部といった順序で打設される。コンクリートの打設はリフト投入機を用いて実施した。

打設されたコンクリートの時系列挙動を下記に示す。

- (1) 振動開始約 10 秒後、底版部少量打設 (製造工程上の都合)
- (2) 40 秒後、左側側壁部に打設、80 秒後、右側打設
- (3) 約 120 秒後、左側充填、280~320 秒後、左右充填
- (4) 430 秒および 540 秒付近、底版部充填し、完了

計測箇所の実質充填締めされている経過時間時の合成加速度は、側壁部 【1】 1-2 は、50~80m/s² まで上昇している。その後、120 秒後に合成加速度が途絶えた。側壁上部の 【1】 3-4 は、110~125m/s² まで上昇し、320 秒後、合成加速度が減少傾向を示しつつ、途絶えた。一方、底版部 【1】 5 は、540 秒後に 25m/s²、【1】 6 は約 50m/s² の合成加速度が計測され、製品の打設および締めが完了した。【1】 1~4 において、データ受信が途絶えた理由としては、コンクリートが側壁部に投入されたことによるかぶりコンクリートが一定のボリューム (厚さ) を有すると無線通信が不通となる可能性があり、鋼製型枠の鋼板厚さが大きい場合も同様と思われる。側壁部は短時間で底版付近まで打設されが、【1】 4 の移動平均データの減少傾向から振動締めが行われ、一定程度の締めが進行および収束しつつあることを意味している。底版

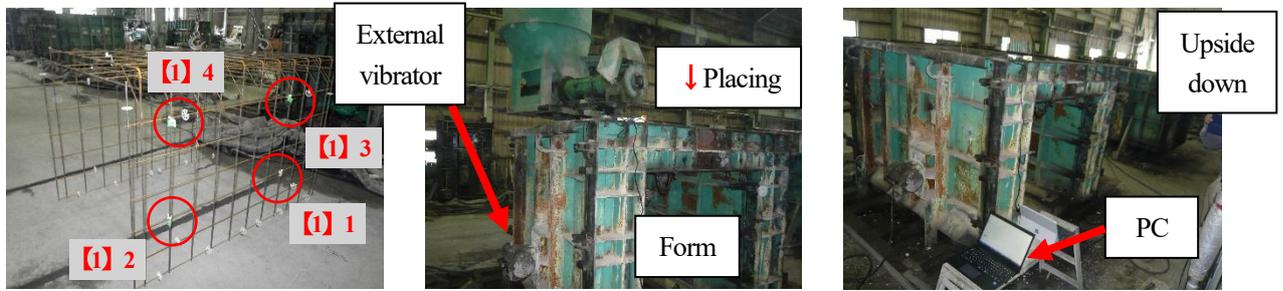


Photo. 6 Installation of rfid tag and placing of concrete, measurement status (U-shape waterway)

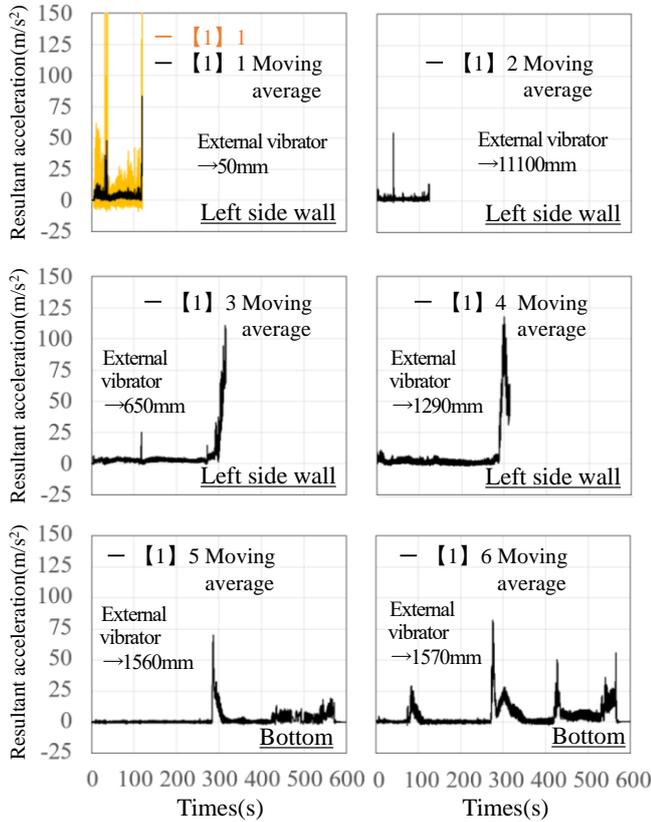


Fig. 4 Relation between times and resultant accelerations when placing of concrete to U-shape waterway (1st)

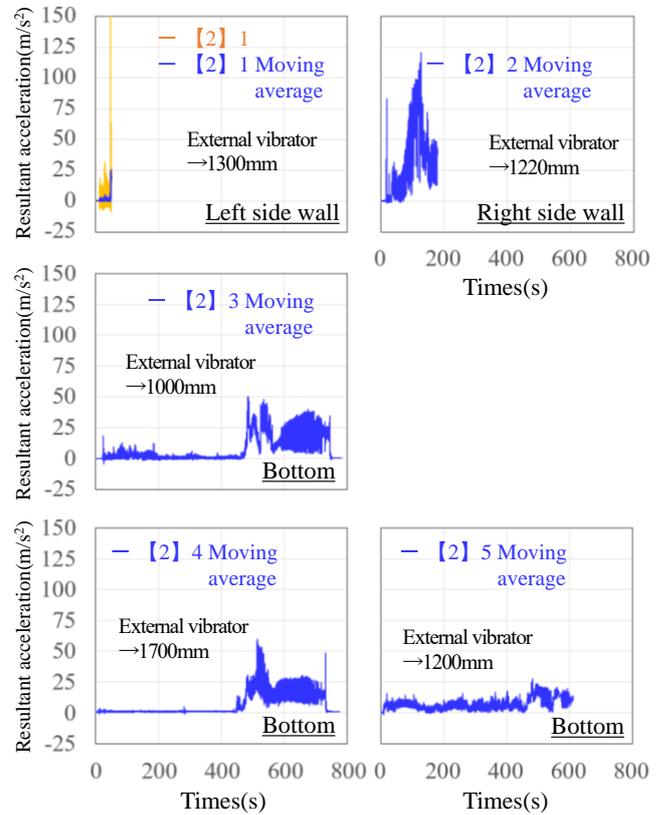


Fig. 5 Relation between times and resultant accelerations when placing of concrete to U-shape waterway (2nd)

部では、投入時の突発的な上昇を除き、概ね 25m/s^2 以下の合成加速度で推移しており、ほぼ投入時直後から厚み 140mm の底版部コンクリートの振動締めが 30 秒程度の短時間で十分であったものと考えられる。次に別日の 2 回目打設時の経過時間と合成加速度との関係を Fig. 5 に示す。

時系列挙動は、

- (1) 30 秒後、底版部、左側壁部打設開始
- (2) 50 秒後、右側側壁部へ一定量打設、その後全体
- (3) 460 秒後、底版部全体打設、 750 秒後締め完了

側壁部下側【2】2の充填締め中の合成加速度は、 $100 \sim 125\text{m/s}^2$ をピークに減少傾向を示した。【2】1については、左側側壁打設時に合成加速度を瞬間計測し、不通となった。底版部【2】3～5では、実質充填締め中の合成加速度ピークは $25 \sim 50\text{m/s}^2$ であり、その後の減少および収束傾向を示している。1 回目同様、底版部は側壁部よ

り合成加速度も小さく、締めが概ね完了しているものと推測する。

1 および 2 回目を通じて、プレキャストコンクリートの鋼製型枠に打設されるフレッシュコンクリートの伝播加速度を計測出来ているものと思われる。また、打設時系列に差異はあるが、打設落下および外部振動機に近い側壁部の合成加速度は大きい。また、水平移動を伴う箇所合成加速度は、打設コンクリート量などにより差異は生じるが、 50m/s^2 程度と小さい値を示した。

4.3 配合：シリーズ②、製品：L型擁壁

使用型枠、無線 IC タグセンサ取付け、コンクリートの打設状況を photo. 7、1 回目打設時の経過時間と合成加速度との関係を Fig. 6 に示す。L 型擁壁についても上下が反転した鋼製型枠となっている。コンクリートの投入は、U 型水路同様、底版部方向から打設され、たて壁部へ打設される。

その時の時系列挙動は、

- (1) 20秒後、底版部、たて壁部打設開始
- (2) 50～180秒、たて壁部ほぼ打設完了し、振動停止

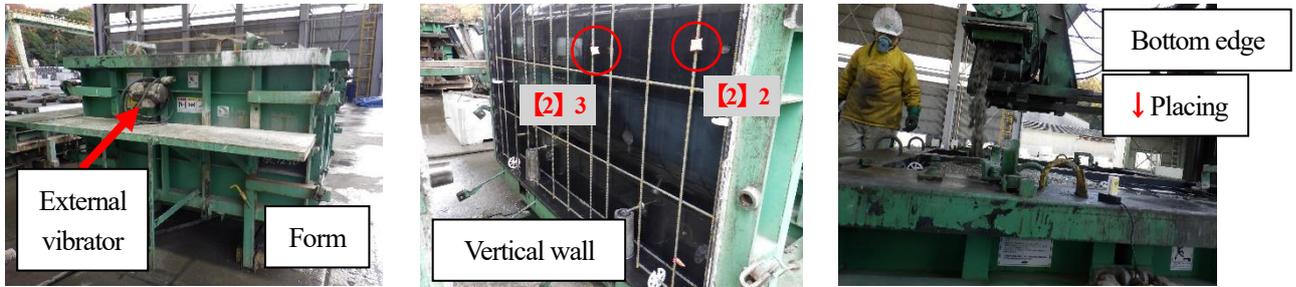


Photo. 7 Form, installation of rfid tag and placing of concrete (L-shape retaining wall)

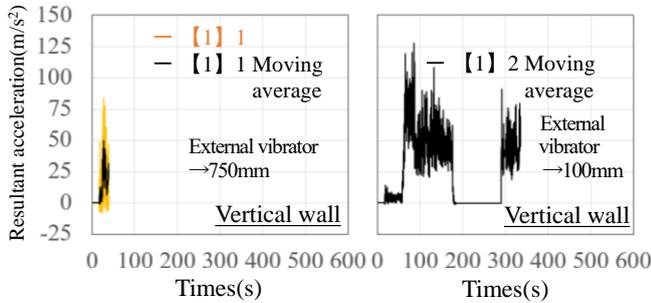


Fig. 6 Relation between times and resultant accelerations when placing of concrete to L-shape retaining wall (1st)

(3) 290 秒後再振動、たて壁部・底版部全体打設、完了

たて壁部下部位置の【1】1は、コンクリート投入時の影響で受信不良となった。たて壁上部の【1】2は、 125m/s^2 の合成加速度計測し、その後減少に転じ、時系列挙動との関係から締固めの収束傾向を示しているものと思われる。再振動後の底版部・たて壁部打設時も同程度の数値を計測したが、340 秒後のデータも測定不良と思われる。次に別日の2 回目打設時の経過時間と合成加速度との関係を Fig. 7 に示す。

打設時の時系列挙動は、

- (1) 30 秒後と 130 秒後、底版部、たて壁部打設し、休止
- (2) 330 秒後、底版部、たて壁部の上段まで打設
- (3) 約 500~630 秒で残りをすべて打設し、完了

たて壁下部【2】1の合成加速度は $125\sim 150\text{m/s}^2$ 、外部振動機近傍の上部【2】3は $50\sim 65\text{m/s}^2$ 、上端部の【2】4は $100\sim 110\text{m/s}^2$ を計測した。底版部の【2】5-6は、概ね $25\sim 30\text{m/s}^2$ と小さい値を示した。またいずれの合成加速度ともピークがあり、その後減少に転じ、前述のU型水路と同様の傾向となっている。

1 および2 回目の合成加速度およびその移動平均傾向より、無線 IC タグによるフレッシュコンクリートの伝播加速度の測定は可能であると判断できる。たて壁の外部振動機近傍の箇所の合成加速度は高い数値となり、底版部の約 100mm の厚みコンクリート箇所は外部振動機位置から遠く、合成加速度は 30m/s^2 以下と非常に小さい。

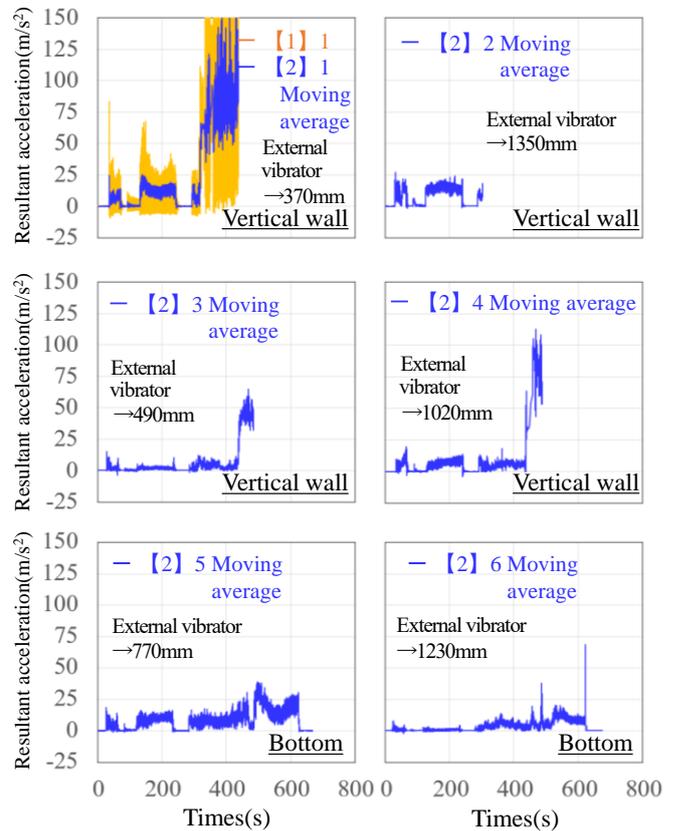


Fig. 7 Relation between times and resultant accelerations when placing of concrete to L-shape retaining wall (2nd)

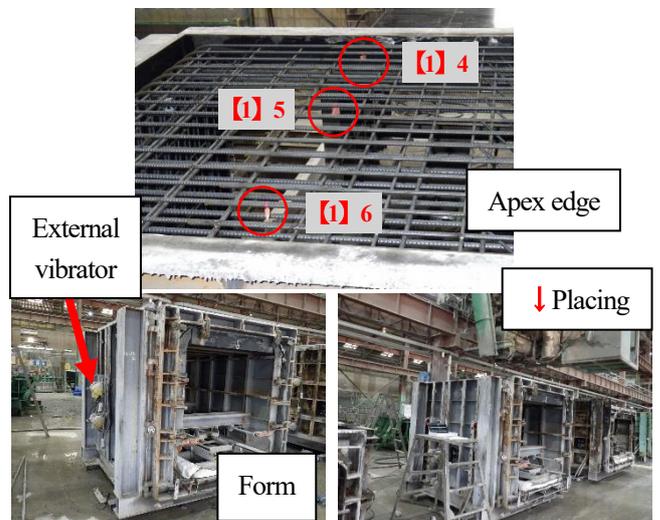


Photo. 8 Installation of rfid tag, form and placing of concrete (box culvert)

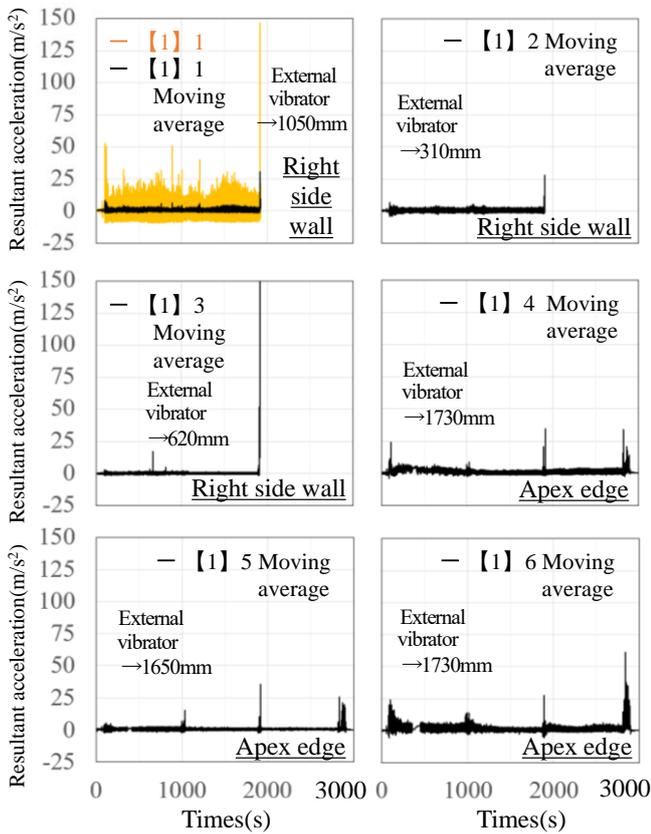


Fig. 8 Relation between times and resultant accelerations when placing of concrete to box culvert

4.4 配合：シリーズ②、製品：ボックスカルバート
 実験状況を Photo. 8、打設時の経過時間と合成加速度との関係を Fig. 8 に示す。製造において、コンクリートは4バッチに分けて徐々に打設を行った。

側壁部での測定位置【1】1～3では、1850秒後に多くのかぶりコンクリートが側壁部に打設され、通信遮断となり、受信不能となった。ボックスカルバートの型枠へのコンクリートの打込みは、通常の型枠内に充填されるコンクリートの打込みと比較して、打込みの時間が短い。特に、鉛直方向の狭隘な空間に大量のコンクリートが打ち込まれる。そのため、通信が瞬時に不通になったと思われる。また、本無線ICタグの通信には限界があり、かぶりが25cmを超えると通信不能になる。そのため、瞬時に通信遮断が起こってしまったと考えられる。ただし、それ以前に測定された合成角速度については、受信できていることより、有効な値であると判断した。厚み160mmの頂版部【1】4～6においては、継続して加速度データが計測出来ており、最終打設時の2800秒付近から25～50m/s²の合成加速度を計測し、その後収束した。締固め完了まで計測できたデータの範囲内では、外部振動機から遠い位置にある打設天端の箇所は小さい合成加速度となった。

4.5 フレッシュ性状および無線ICタグ位置と合成加速度との関係

シリーズ①および②におけるフレッシュ性状、無線IC

Table 6 Measurement results by each series

Precast concrete products	Measuring point	Slump and slump flow	RFID measurement position	The distance from external vibrator (mm)	Measured maximum resultant acceleration within vibration times (m/s ²)	
Series ① U-shape waterway	【1】	19.0cm	Vertical	1	50	80
				2	1,110	Measurement failure
				3	650	110
			4	1,290	125	
			5	1,560	25	
			6	1,570	50	
	【2】	20.0cm	Vertical	1	1,300	Measurement failure
				2	1,220	125
				3	1,000	50
			4	1,700	50	
			5	1,200	25	
			6	1,200	25	
Series ② L-shape retaining wall Box culvert	【1】	560mm	Vertical	1	750	50
				2	100	125
				3	370	150
			vertical	4	1,350	20
				5	490	65
				6	1,020	110
	【2】	510mm	Horizontal	1	770	30
				2	1,230	20
				3	1,050	30
			Vertical	4	310	30
				5	620	150
				6	1,730	25
【1】	360mm	Horizontal	1	1,650	20	
			2	1,730	50	
			3	1,730	50	

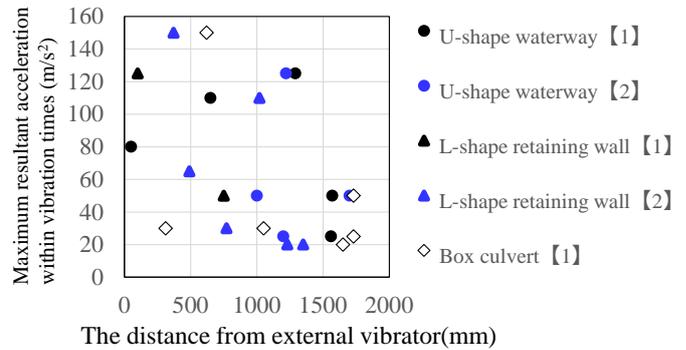


Fig. 9 Relation between the distance from external vibrator and maximum resultant accelerations within vibration times by each series

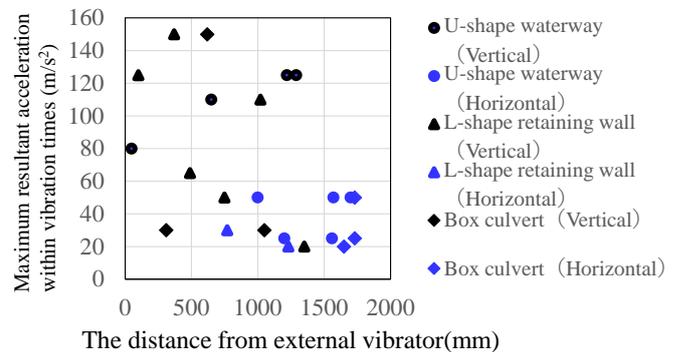


Fig. 10 Relation between the distance from external vibrator and maximum resultant accelerations within vibration times by rfid measurement position of each series

タグ位置（外部振動機からの距離等）および振動時間内の最大合成加速度を Table 6 に示す。また、各シリーズに

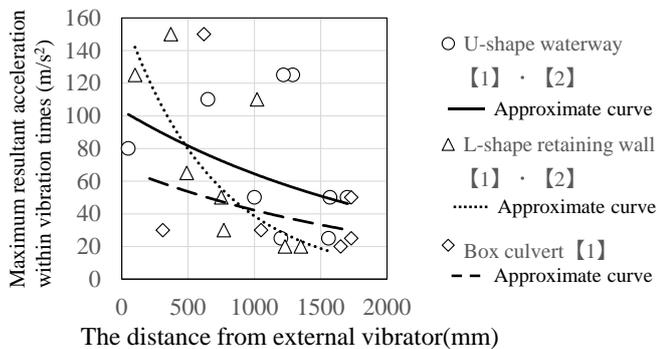


Fig. 11 Approximate curves acquired from the data of acceleration with elapsed vibration time by each series

よる外部振動機からの距離と最大加速度との関係を Fig. 9、鉛直や水平部材に取付けた無線 IC タグ位置による最大合成加速度の分布状況を Fig. 10、各種プレキャスト製品で測定された最大加速度の分布状況を Fig. 11 に示す。なお、Fig. 9、Fig. 10 および Fig. 11 の最大合成加速度の測定点は同一であり、Fig. 11 は、U 型水路、L 型擁壁およびボックスカルバートの最大合成加速度の時系列データを近似曲線で示したものである。

有スランブコンクリートで製造した U 型水路、締固めを要する高流動コンクリートで製造した L 型擁壁およびボックスカルバートの振動時間内の最大合成加速度は、外部振動機から近い位置では概ね高く、遠い位置にある箇所では小さい傾向を示している。本傾向より、スランブおよびスランブフローの大きさが振動時間内の最大合成加速度に影響していないものと推察する。

また、本試験に用いた製品群における無線 IC タグ位置と振動時間内の最大合成加速度との関係は、製品種類に関係なく、無線 IC タグの測定位置が鉛直部材の場合には大きな値のものが多く、水平部材はすべて小さい結果となった。全般としては、最大合成加速度が 100m/s^2 を境界とした 2 局化した分布となっているものの、外部振動機に加振位置に近い箇所は、高い合成加速度を示し、遠い位置にある箇所では、低い傾向となった。

以上より、振動時間内の最大合成加速度は、外部振動機の近傍と遠方の位置で異なる伝播加速度となる。これは、加振位置からの距離による減衰作用に起因するものと考えられる。

今回初めて、無線 IC タグを用いて、型枠に充填されるフレッシュコンクリートの伝播加速度を計測することができた。また、これまで経験則に基づいたプレキャストコンクリート型枠の部材設計や外部振動機の設置位置等をより合理的に設計および配置するための基礎資料に役立つ実験データを得ることができたものと考えられる。

5. 結論

本実験の範囲内で得られた知見を下記に記す。

- (1) プレキャストコンクリートの型枠内に充填されるフレッシュコンクリートの伝播加速度を静電容量式加速度センサ付きの無線 IC タグにて計測出来た。
- (2) スランブやスランブフローが大きく変わっても、同一部位で計測した加速度の大きさは同程度である。
- (3) 無線 IC タグによるフレッシュコンクリート内の伝播加速度は、外部振動機近傍では、大きな値 ($100\sim 150\text{m/s}^2$ 程度) となり、遠方では、小さい値 (50m/s^2 以下) となり、加振位置からの減衰作用と考えられる。

今回、無線 IC タグにて外部振動機近傍での受信不通過が一部見られ、受信方法等を踏まえた改善が必要である。

具体的には、この無線 IC タグと、池澤ら⁹⁾が提案したシングルボードコンピューターと静電容量式の加速度センサを用いた有線による計測方法の併用が考えられる。鉛直方向で急激にかぶりが 25cm を超えるような打込み箇所の加速度を計測する部位では、無線 IC タグではなく有線による計測手法を用いる方が適切であると思われる。

謝辞：

実験実施に際し、日本興業(株)徳島工場並びに高松工場の方々には、付記し感謝の意を表します。

参考文献：

- 1) 国土交通省：最近の建設業を巡る状況について、持続可能な建設業に向けた環境整備検討委員会第 1 回検討会、参考資料 1(2022)
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書【施工編】(2017)
- 3) 山内匡ほか：加速度センサによるコンクリート振動締固め状況の把握・管理、コンクリート工学年次論文集、Vol.41、No.1、pp.1337-1342(2019)
- 4) 藤原京介ほか：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播される加速度の計測システムの開発、コンクリート工学年次論文集、Vol.44、No.1、pp.776-771(2022)
- 5) 池澤壮太ほか：模擬型枠を用いた締固め途中においてインナーバイブレータ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、pp.576-584(2022)

MEASUREMENT OF THE ACCELERATION PROPAGATED INTO FRESH CONCRETE FLOWING THROUGH SEVERAL TYPES OF PRECAST CONCRETE MOLD WITH HELP OF RFID TAG WITH CAPACITANCE TYPE ACCELERATION SENSOR

Noritsugu YAMAJI*1, Chikanori HASHIMOTO*2, Kyosuke FUJIWARA*3 and Takeshi WATANABE*2

- *1 TOKUSHIMA UNIVERSITY, Graduate School of Advanced Technology and Science, Doctor's Program
(2-1, Minami Josanjima, Tokushima-shi, Tokushima 770-8506, Japan)
- *2 TOKUSHIMA UNIVERSITY, Graduate School of Technology, industrial and Social Science
(2-1, Minami Josanjima, Tokushima-shi, Tokushima 770-8506, Japan)
- *3 TOKUSHIMA UNIVERSITY, School of Sciences and Technology for innovation, Master's Program
(2-1, Minami Josanjima, Tokushima-shi, Tokushima 770-8506, Japan)

ABSTRACT: The measurement of majority conventionally is methods to use the accelerometer having wire or cable in order to measure the acceleration on fresh concrete compacting into the form. There is not the measurement of the acceleration on fresh concrete compacting using the RFID (radio frequency identification) tag with the wireless capacitance-type acceleration sensor until now. In this study, it was carried out the measurement of acceleration transmitted from the outside vibration machines on the fresh concrete compacted in the form of the precast concrete product with help of the RFID tag having wireless capacitance-type acceleration sensor for the first time in the world. The resultant acceleration measured does not depend on value of the slump and slump flow. The resultant acceleration measured was larger as the distance to the position of the outside vibration machine was closer and regardless of differences such as product shape and the filling height. The difference of maximum resultant acceleration by the damping action from the position of the outside vibration.

KEY WORDS: Rfid(radio frequency identification) tag, Precast concrete, Fresh concrete
Resultant acceleration