

コンクリート加振圧送工法「シン 圧送工法[®]」の開発

バイブレータ制御システムによる圧送時における生コンクリートの流動性低下抑制

沢田 泰直^{*1}・城島 裕介^{*1}・依田 篤士^{*1}・砂川 凌摩^{*1}

Keywords : long-distance pumping, vibrator, pump truck, interlocking, ready-mixed concrete, fluidity

長距離圧送, バイブレータ, ポンプ車, 連動, 生コンクリート, 流動性

1. はじめに

近年、建築物の高層化・広域化が以前にも増して進み、それに伴いコンクリート圧送工事が超高層・長距離化している。一般に圧送距離が延びるほど生コンクリートの流動性は低下する傾向があり、従来は長距離化する圧送工事に対して、コンクリート配合、混和剤(材)、ポンプ性能等で対応してきたがコスト増が課題となっている。本開発は工法面からのアプローチによって長距離化する圧送工事に対応することを目的としており、コスト増の抑制も期待できる。また、圧送時に配管内でコンクリートが閉塞することも長年の課題である。閉塞が起きた場合、多大な手間・時間・費用がかかるため、防止することが出来れば現場が抱えるリスクを極小化出来ると考え、閉塞防止も目的とした。

一方で坂本らの特許【昭 60-253660】¹⁾によって、コンクリートポンプによる生コンクリートの圧送中に配管をバイブルータで加振することで、配管内を流れる生コンクリートの流動性が向上することが確認されている。しかし、バイブルータで配管内を流れる生コンクリートを加振する際の課題として①過剰な加振による材料分離の心配、②バイブルータの ON/OFF に人員が必要、の2つが考えられ実用化には至っていない。

これらの課題を解決し目的を達成するために、コンクリートポンプ車の圧送に連動して自動でバイブルータが稼働し圧送配管ごと生コンクリートを加振することができる、コンクリート加振圧送工法「シン 圧送工法[®]」を開発²⁾し、その効果を検証するために複数の建築作業所で実証試験を実施した。

本報ではコンクリート加振圧送工法「シン 圧送工法」の内容と現場実証試験の結果について述べる。

*1 技術センター 先進技術開発部 次世代建設技術開発室

2. バイブルータの選定

2.1 閉塞解消実験の概要

「シン 圧送工法」に使用するバイブルータを選定するために閉塞解消実験を行った。時間の経過による生コンクリートの流動性低下が起こす閉塞を再現した後に5種類のバイブルータを設置し振動させ、閉塞した圧送管の筒先から吐出するコンクリートの量をもとに性能の比較を行った。使用したバイブルータは表-1の5種類であり、いずれもエクセン社製の既製品のバイブルータである。選定の基準は現場での持ち運びを考慮して10kg以下のものとし、電源は100V、200Vのものとした。

表-1 バイブルータの性能比較

Table 1 Comparison of vibrator performance

名称	出力 (W)	電圧 (V)	電流 (A)	振動数 (Hz)	遠心力 (kN)	質量 (kg)
EKM1S-2P	10	100	0.26	46.5	0.05	1.8
KM3S-2PD	30	100	0.60	47.9	0.50	5.3
KM2.8-2PD	28	200	0.25	45.4	0.25	2.9
EV 3-65	90	200	0.54	49.0	0.63	4.7
EVSS 3-100	130	200	0.70	48.2	1.19	8.4

実験の方法については図-1の装置を使用し、図-2のフローで行った。

図-2のフローにある経時スランプの測定は、生コンクリートの現着時にあらかじめ経時スランプ測定用に採取しておいたものを使用した。生コンクリートの配合は33-18-20Nとして実験を行った。

表-2に示した通り、60分後にスランプが3cmとなつたため、筒先を開放し生コンクリートが重力により吐出しないことを確認し、バイブルータを振動させて性能の確認を行った。

写真-1に実験実施状況を示す。試験装置に設置され

たバイブレータを振動させ、筒先からの生コンクリートの吐出の有無と吐出量の計測を行った。

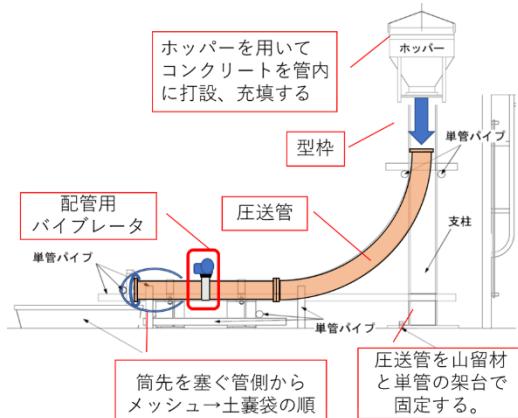


図-1 実験に使用した装置
Fig.1 Equipment used in the experiment

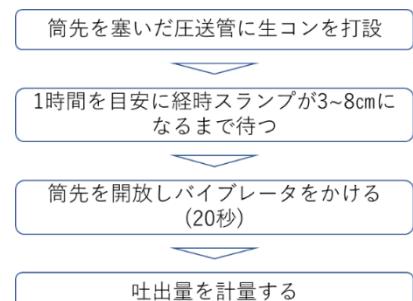


図-2 実験のフロー
Fig.2 Flow chart of experiment

表-2 経時スランプの変化
Table 2 Change in slump over time

	現着時	25分後	45分後	60分後
スランプ(cm)	19.5	10.5	7.0	3.0
写真				



写真-1 実験実施状況
Photo.1 Situation during the experiment

2.2 閉塞解消実験の結果

閉塞解消実験の結果を表-3 に示す。

表-3 実験結果
Table 3 Experimental result

	No.1 EKM1S-2P	No.2 KM3S-2PD	No.3 KM2.8-2PD	No.4 EV3-65	No.5 EVSS3-100
電圧(V)	100	100	200	200	200
電流(A)	0.3	0.6	0.3	0.5	0.7
振動数(Hz)	46.5	47.9	45.5	49.0	48.2
遠心力(kN)	0.05	0.5	0.25	0.63	1.19
質量(kg)	1.8	5.3	2.9	5.2	8.4
吐出量(kg)	0	0.7	0.12	1.88	12.84
写真					

吐出量の大小とバイブルータの遠心力について相関関係があり、遠心力の大きいバイブルータほど吐出量が多くなり閉塞解消能力が高いことが確認できた。本結果とバイブルータの重量による現場での作業性を鑑みて、電源が 200V 場合には No.4, 100V の場合には No.2 を使用することで閉塞が解消できると考えられる。No.5 については閉塞解消能力は高いが、重量が大きいため、現場における作業性の観点で選定から外すこととした。また、配管の加振による流動性の向上が確認できたため、コンクリート打設中にバイブルータによる加振を行うことで閉塞の予防が可能であると推測される。

3. 配管用バイブルータ制御システムの開発

3.1 バイブルータ固定治具の開発

閉塞解消実験の結果から、バイブルータはエクセン社製の既製品 2 種類(KM3S-2PD, EV3-65)を使用することとし、圧送配管に固定するために必要となる専用の治具を開発した。固定治具を開発するにあたり、圧送配管メーカーである株名和に協力を依頼した。今回開発した固定治具の主な特徴は①圧送配管にフィットした形状、②2種類のバイブルータに対応できかつ設置角度を変えられる、③一人で持ち運び可能な重量、の3つである。また、圧送時の圧力や振動に耐えられる強

度にすることを考慮して部材メンバーを選定した。

①圧送配管にフィットした形状

バイブレータの振動を圧送配管内に流れるコンクリートに効率よく伝えるために、圧送配管にメタルタッチで固定できる納まりとした。圧送配管より1サイズアップの配管を半分に切断して内径を配管径まで削る加工を行ったことで、複雑な加工や新規部材が不要となり安価に圧送配管にフィットする固定治具とすることができた。固定治具の断面を図-3に示す。

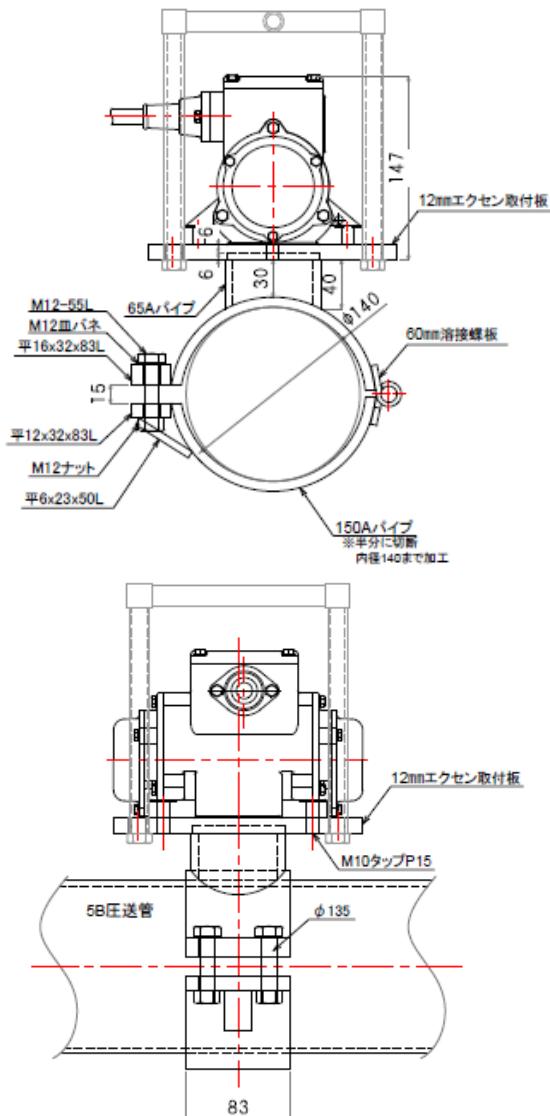


図-3 バイブレータ固定治具断面図
Fig.3 Cross section view of the vibrator fixing jig

②2種類のバイブレータに対応できかつ設置角度を変えられる

選定した2種類のバイブレータは既製品のため、それぞれ固定用のボルト孔の位置が異なっている。図-3に記載した通り、12mmバイブレータ取付板に孔をあ

けてバイブルータをボルト、ナットで固定する仕様としたが、孔の兼用ができないために図-4のように2種類のバイブルータそれぞれのボルト孔に対応できるよう孔をあけた。また後述する現場での実証試験においてバイブルータの設置角度による効果の違いを検証するため、圧送配管長さ方向に対して0°、45°、90°の3つの角度で設置できる取付板とした。

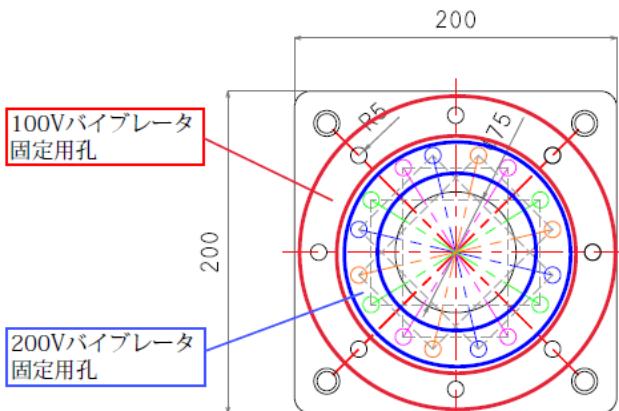


図-4 バイブルータ取付板平面図
Fig.4 Plane view of the vibrator mounting plate

③一人で持ち運び可能な重量

現場でのバイブルータと固定治具の運搬及び取付作業効率を考える場合、重量が重要な要素となるため、一人で容易に持ち運ぶことが出来る重量を目標として開発を行った。様々なケーススタディを行った結果、現場での持ち運び・取付を比較的容易に行うことが可能となる以下の重量に決定した。

- 100Vバイブルータ+5インチ管用治具：13.5kg
- 100Vバイブルータ+4インチ管用治具：12.9kg
- 200Vバイブルータ+5インチ管用治具：13.4kg
- 200Vバイブルータ+4インチ管用治具：12.8kg

写真-2のように、現場においてスムーズに取り付けることができた。



写真-2 バイブルータ取付状況
Photo.2 Installation of vibrators

3.2 バイブレータ制御システムの開発

3.2.1 制御システムの概要

コンクリートポンプ車の正転圧送時に運動し、かつ任意のタイミングに手動でバイブルーティ ON/OFF できる制御システムを開発した。制御システムの構築には富士ソフト㈱、コンクリートポンプ車制御盤の基盤改造には極東開発工業㈱に協力を依頼した。

制御システムの概要は図-5 に示す通り、コンクリートポンプ車のラジコンで正転圧送の操作を行うと、コンクリートポンプ車の制御盤→制御ユニット→配管用バイブルーティの順に信号を送り、配管用バイブルーティを ON するシステムである。圧送が止まるとバイブルーティも同時に停止する。すなわち圧送とバイブルーティが連動するシステムである。ラジコンには図-6 のように本システム専用のバイブルーティ正転運動スイッチを設け、かつ任意のタイミングでのバイブルーティ ON/OFF も可能とするため、手動で ON/OFF するバイブルーティ手動スイッチも設けた。

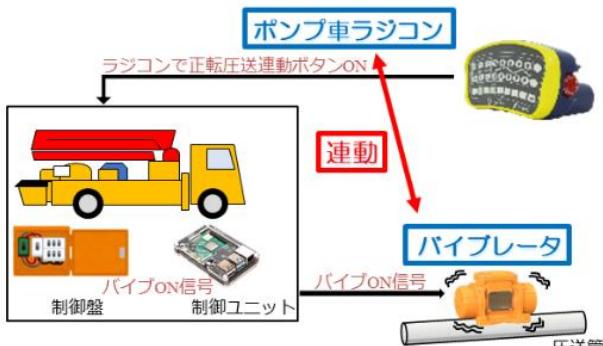


図-5 バイブルーティ制御システム概要
Fig.5 Overview of the vibrator control system

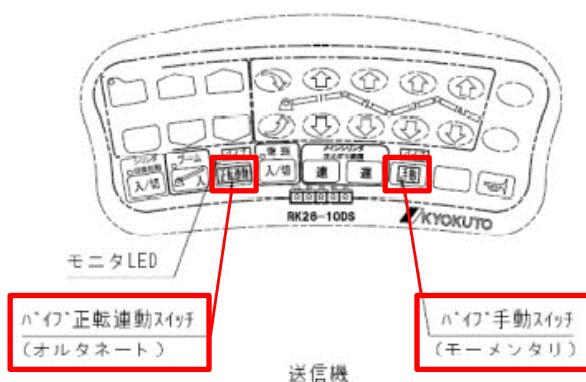


図-6 ラジコンに新たに設けたスイッチ
Fig.6 New switches on the radio control unit

3.2.2 バイブルーティ正転圧送運動の条件

コンクリートポンプ車には正転圧送操作時に圧送を開始するための条件が設けられている。ラジコンの正

転圧送運動操作時にも同様の条件でバイブルーティを作動させる必要がある。なぜなら、実際に圧送されていないのにバイブルーティが作動した場合、圧送配管内の生コンクリートに過剰な加振を与えてしまいかねないからである。過剰な加振により、コンクリートの材料分離が起こる可能性が高くなることが知られているため、正転圧送時と同条件下で運動させてバイブルーティを作動させるシステムとした。ポンプ車が以下の状態であることを正転圧送運動の条件とした。

- ・正転操作がされたこと
- ・ホッパ内のコンクリートが所定量以上であること
- ・作動油温度が所定温度を超えていないこと
- ・ラジコン送信機と受信機が接続状態であること
- ・非常停止スイッチが操作されていないこと
- (手動 ON/OFF スイッチは上記成立の有無に関わらずバイブルーティ作動信号を出力)

4. 現場実証試験

4.1 現場実証試験その 1

4.1.1 試験概要

開発したバイブルーティ制御システムを使用して、東京都内建築作業所にて現場実証試験を行った。試験に先立って実証試験が原因で品質の悪いコンクリートを撃ち込まないために、当該作業所にてコンクリート打設終了後にコンクリートポンプ車、圧送配管等をそのまま使用して事前加振試験を実施し、材料分離等の品質の悪化がないことを確認した上で現場実証試験に進んだ。主な試験条件は以下の通りである。

- ・試験日：2022年10月～11月のうち4日間
- ・実施場所：東京都内建築作業所
- ・コンクリート配合：27-21-15N 軽量2種
- ・ポンプ車：極東開発工業㈱製 PY135-28-H
- ・打設箇所：スラブ

その他の条件は表-4 に示す通りである。

表-4 試験条件
Table 4 Experimental conditions

試験日	10/20(木)	11/4(金)	11/14(月)	11/24(木)
天気	晴/曇	晴	晴	晴
開始時気温(°C)	11	18	16	14
最高気温(°C)	18	19	16	19
生コン工場	A	A	B	C
打設フロア	16階	18階	20階	22階
圧送高さ(m)	72	81	89	98
最大配管長(m)	173	182	194	206

4.1.2 試験内容

図-7 に示す通り、荷卸時の生コンクリートの性状試験と、バイブレータ加振ありの場合と加振なしの場合の筒先吐出コンクリートの性状試験結果を比較し、本工法が生コンクリートに与える効果を検証した。荷卸時の性状試験は作業所で実施した受入れ試験結果を使用した。

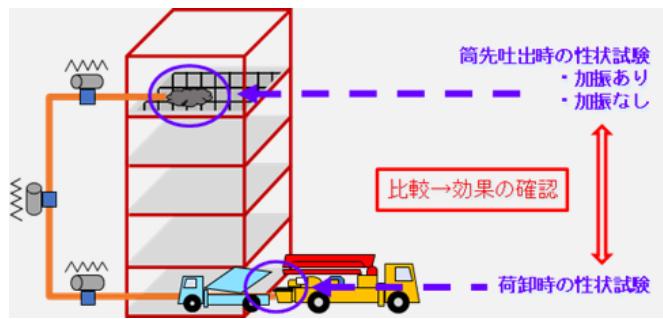


図-7 効果の検証方法
Fig.7 How to verify the effect

4.1.3 バイブレータ設置パターン

バイブルレータの設置パターンは表-5 に示す通り、設置角度を圧送配管に対して「平行」、「45°」、「直交」の 3 種類とし、設置位置は「No.1：等間隔」、「No.2：横引き管(ベント・テーパー管前後)」、「No.3：横引き管」、「No.4：豎管」、「No.5：豎管のベント管前後」と「No.6：加振なし」の 6 つとして実証試験を行った。バイブルレータは 2 章で選定したものとし、100V には「KM3S-2PD」、200V には「EV3-65」を使用した。

表-5 バイブルレータ設置パターン

Table 5 Vibrator installation Patterns

No.	パターン	振動方向		台数			電圧(V)		回数
		平行	45°	直交	1F	豎管	打設階	計	
1	等間隔	O						O	2
		O						O	1
			O		1	3,4	0,1,2	4,5,6	
		O						O	1
		O						O	2
		O						O	2
2	横引き管 (打設フロア) (ベント・テーパー)	O			-	-	6	6	O
3	横引き管 (打設フロア)	O			-	-	4,6	4,6	O
4	豎管	O			1	4	0	5	O
5	豎管(ベント)	O			1	2	1	4	O
									3

ベント(曲がり)管とテーパー管へのバイブルレータ設置方法は図-8 の通り、当該管の前後の直管に取り付けることとした。

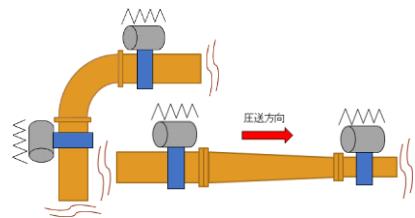


図-8 ベント・テーパー管へのバイブルレータ設置方法
Fig.8 Method for installing Vibrators in tapered pipe and bent pipe

4.1.4 試験結果

本工法の有効性を検証するため、4 日間の試験結果のデータについてバイブルレータの配置や種類は考慮せず、荷卸地点、筒先(バイブルレータ加振なし)、筒先(バイブルレータ加振あり)の 3 つに分類して比較した。荷降ろし地点フレッシュ試験のスランプの合格範囲は 19.0cm～23.0cm、空気量の合格範囲は 3.5～6.5%である。

4 日間の試験全体の平均値によるスランプ値の比較結果は、図-9 に示した通り【荷卸時：22.4cm】 = 【筒先(加振あり)：22.4cm】 > 【筒先(加振なし)：21.3cm】であり、本開発システムを稼働することでスランププロセスすなわち流動性低下を抑制できる傾向が確認できた。

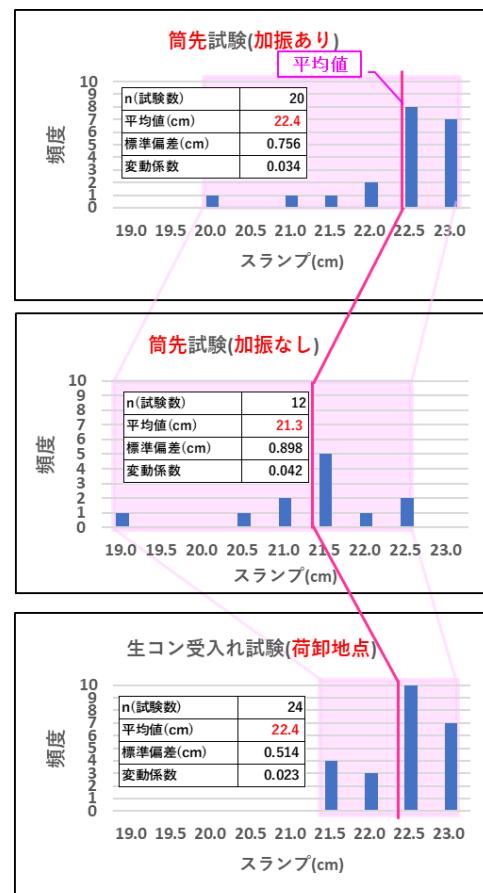


図-9 スランプ値比較(試験全体平均)
Fig.9 Comparison of slump value
(Average of the entire test)

また、空気量の試験全体の平均値は【荷卸時:4.9%】【筒先(加振なし):4.8%】【筒先(加振あり):4.4%】であり、加振した場合に空気量が小さくなる傾向があつたが、フレッシュ試験の合格範囲内に納まった。加振のありなしで比較的大きな差が出た一因として、荷卸時に空気量が小さい傾向にあった時間帯に加振ありの試験をより多く行ったためと推察される。尚、試験を通して材料分離等の品質不具合は一切生じなかった。

バイブレータの設置角度による効果の検証結果は図-10に示した通りであり、設置角度によらず同等の効果があると考えられる。(グラフ中のNo.1は表-5を参照)

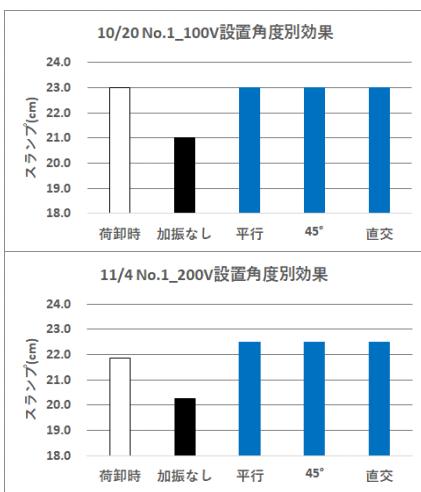


図-10 バイブレータ設置角度別効果

Fig.10 Comparison of the effects of vibrator installation angles

バイブルーテーの種類の違いによる効果の検証結果は図-11に示した通りであり、明らかな差を確認することは出来なかった。現場での使い易さを考慮すると、100Vの「KM3S-2PD」を推奨したい。ここで改善率(%)=改善量(cm)/ロス量(cm)×100と定義した。

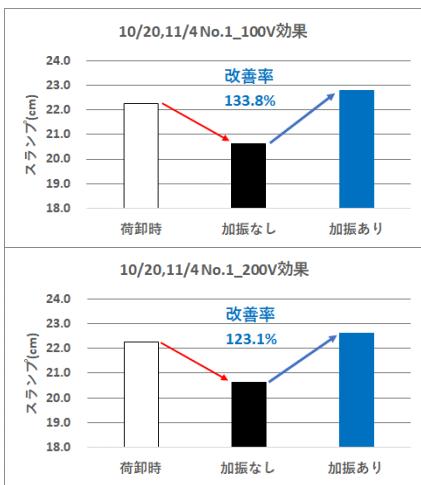


図-11 バイブルーテー種類別効果

Fig.11 Comparison of the effects of different vibrators

バイブルーテー設置位置による効果の検証結果の抜粋を図-12に示す。効果が大きかったのは横引き管のベント・テーパー管前後、豎管、豎管ベント前後に設置した場合であった。対して横引き管に均等に配置した場合には比較的効果が小さい結果となった。



図-12 試験結果抜粋

Fig.12 Excerpt of the experimental results

4.2 現場実証試験その2

4.2.1 試験概要

前述した現場実証試験その1と同じ作業所の高層階において行った。主な試験条件は以下の通りである。

- ・試験日：2023年7月～9月のうち4日間
- ・実施場所：東京都内建築作業所(その1と同じ)
- ・コンクリート配合：30-21-20N 普通
- ・ポンプ車：ツヅマスター社製 BSF2110HP
- ・打設箇所：スラブ

その他の条件は表-6に示す通りである。

表-6 試験条件

Table 6 Experimental conditions

試験日	7/18(火)	7/26(水)	8/25(金)	9/4(月)
天気	晴	晴	晴	晴
開始時気温(℃)	32	32	30	27
最高気温(℃)	35	35	33	28
生コン工場	D	D	E	F
打設フロア	39階	40階	41階	42階
圧送高さ(m)	178	181	185	189
最大配管長(m)	243	247	250	254

4.2.2 試験内容

4.1.2 項と同じ内容を実施した。ただしポンプ車が開発協力会社である極東開発工業(株)製のものではなかつたため、バイブレータのON/OFFは手動で行った。

4.2.3 バイブルーティ設置パターン

バイブルーティの設置パターンは表-7に示す通りとし、100Vの「KM3S-2PD」を使用した。

表-7 バイブルーティ設置パターン

Table 7 Vibrator installation Patterns

No.	パターン	備考	台数
No.1	堅管	堅管に等間隔となるように配置 @3フロア 堅管に等間隔となるように配置 @6フロア	13 7
No.2	堅管(下層階のみ)	下層階の堅管に集中配置 @3フロア 下層階の堅管に集中配置 @1.5フロア	7 13
No.3	堅管(上層階のみ)	上層階の堅管に集中配置 @3フロア 上層階の堅管に集中配置 @1.5フロア	7 13
No.4	堅管ベント	堅管ベント前後に配置	4
No.5	打設フロア ベント管、テーパー管	テーパー管前、テーパー管に配置 テーパー管に配置 曲がり(フレキシブルホース)前後に配置	2 1 2
No.6	組み合わせ	上記の組合せ	15.18

3.1 節の固定治具は図8のように直管に取付けることを想定していたが、4.1 節の実証試験その1の結果でテーパー管前後の直管を加振した場合に良い効果が確認できたため、より効果的にテーパー管に加振を与えるためにテーパー管の外径に合わせた治具を開発し、写真-3 のようにテーパー管を直接加振できるようにした。

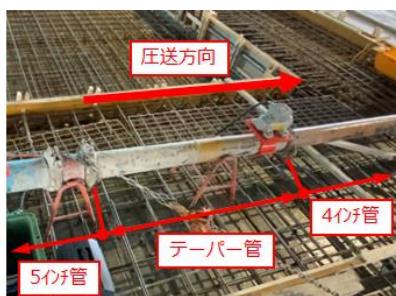


写真-3 テーパー管へのバイブルーティ取付状況

Photo.3 Vibrator installed in tapered pipe

4.2.4 試験結果

図-13にスランプを比較した結果の抜粋を示す。テーパー管、堅管ベントを加振した場合に効果が高く、堅管については同じバイブルーティの台数であれば、全体に平均的に配置するより、上層部もしくは下層部に集中的に配置した方が効果の高い結果が得られた。また空気量は試験全体の平均値で【荷卸時：4.3%】【加振なし：4.1%】【加振あり：4.2%】であり、加振による影響は小さく、標準偏差も【荷卸時：0.53】【加振なし：0.46】【加振あり：0.55】で大きな差は確認出来なかった。尚、試験を通して他材料分離などの品質不具合は一切発生しなかった。本試験結果より、超高層か

つ高気温という悪条件での圧送工事においても、本工法を使用することで流動性低下の抑制効果があることを確認することが出来た。

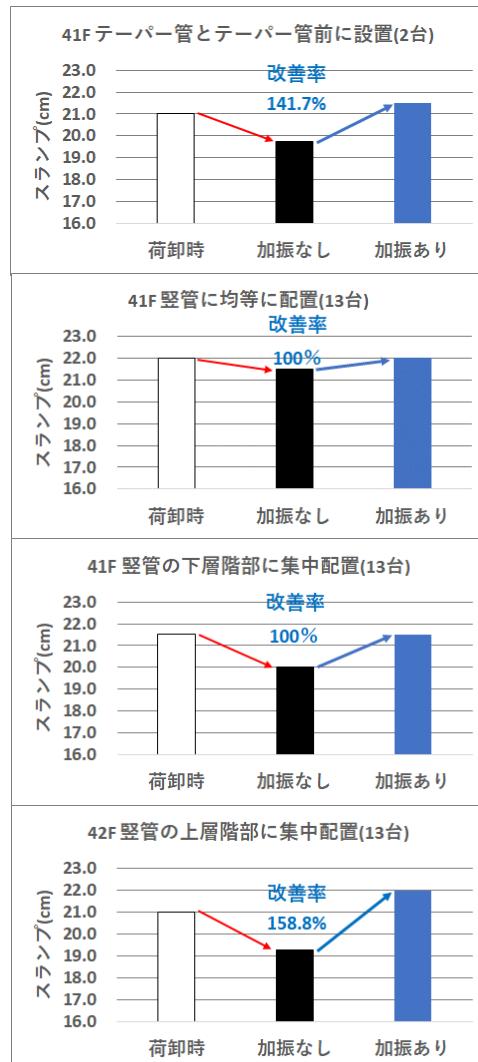


図-13 試験結果抜粋

Fig.13 Excerpt of the experimental results

4.3 現場実証試験その3

4.3.1 試験概要

東京都内建築作業所で現場実証試験を行った。試験に先立って事前加振試験を実施し、材料分離等の品質の悪化がないことを確認した上で現場実証試験に進んだ。主な試験条件は以下の通りである。

- ・試験日：2023年11月～12月のうち3日間
- ・実施場所：東京都内建築作業所(その1, 2とは別)
- ・コンクリート配合：33-15-20M 普通
- ・ポンプ車：極東開発工業(株)製 PY135-28-H
　　・ツママイスター社製 BSF2110HP
- ・打設箇所：基礎、耐圧盤(マスコンクリート)
　　その他の条件は表-8に示す通りである。

表-8 試験条件
Table 8 Experimental conditions

試験日	11/16(木)	11/18(土)	12/22(金)
天気	晴	晴	晴
開始時気温(°C)	14	13	3
最高気温(°C)	17	15	8
生コン工場	G	G	H
圧送高さ(m)	-30	-30	-30
最大配管長(m)	66	64	77

4.3.2 試験内容

4.2.2 項と同じ内容を実施した。ただし、下向き圧送における試験のため、図-14のような位置関係となる。

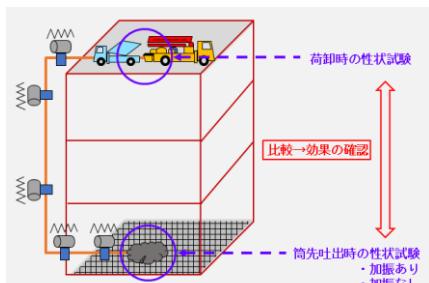


図-14 効果の検証方法
Fig.14 How to verify the effect

4.3.3 バイブレータの配置パターン

バイブルレータの設置パターンは表-9に示す通りとし、100Vの「KM3S-2PD」を使用した。

表-9 バイブルレータ設置パターン
Table 9 Vibrator installation Patterns

No.	パターン	台数
No.1	堅管	堅管に配置
No.2	堅管ベント	堅管ベント前後に配置
		堅管ベント(下層部分)に配置
		堅管ベントの下り口に配置
No.3	堅管+堅管ベント	堅管+堅管ベントに配置
		堅管+堅管ベント(下層部分)に配置
No.4	テーパー管	テーパー管に配置
		テーパー管と直前の直管に配置
No.5	打設フロア横引き管	横引き管のベント管前後に配置
No.6	組み合わせ	No.4-2+No.5
		No.1～No.5の全てを配置

4.3.4 試験結果

堅管、堅管+堅管ベント、テーパー管、打設フロア横引きベントに配置した場合に効果が高かった。図-15に抜粋したグラフを示す。また空気量は全体の平均値で

【荷卸時：4.3%】【加振なし：4.4%】【加振あり：4.5%】であり、加振による影響は小さかった。この標準偏差は【荷卸時：0.49】【加振なし：0.51】【加振あり：0.80】で加振ありの場合に少しばらつきが大きい結果となった。結果より下向き圧送時にも一定の効果があることを確認することが出来た。

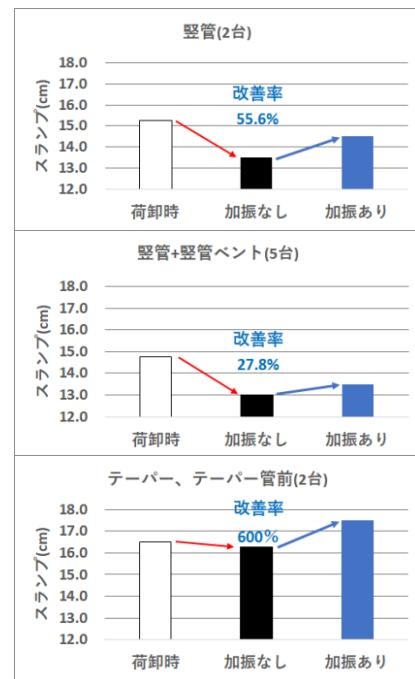


図-15 試験結果抜粋
Fig.15 Excerpt of the experimental results

5. まとめ

コンクリートポンプ車の正転圧送に連動して加振する配管用バイブルレータ制御システムを開発し、異なる条件での3回の現場実証試験により、圧送時の生コンクリートの流動性低下抑制に効果がある可能性が高いことを確認した。また、共通して効果が高いバイブルレータの配置が堅管、テーパー管であることを確認した。

生コンクリートを流動性を保ったまま、より遠くに、閉塞することなく、低コストで圧送できる工法としてコンクリート工事に貢献するために、今後は信頼性向上や適用範囲拡大に向けて実証を重ねてデータ・ノウハウを蓄積していくことや、現在明確になっていない圧送中の圧送配管への加振による流動性低下抑制のメカニズムを解明することで、本工法の確立を目指す。

謝辞

極東開発工業㈱、富士ソフト㈱、㈱名和、作業所・協力会社の皆様等にご協力いただいた。記して謝意を表する。

参考文献

- 坂本全布、山口洋、松井利治：コンクリートポンプ振動工法、公開特許公報、昭60-253660
- 沢田泰直、城島裕介、上野正美：コンクリート加振圧送工法の開発、日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)、pp1235-1236、2023。