

振動加速度の計測によるコンクリートの圧送性の評価

ーコンクリートの自動打設を目指してー

南 浩輔^{*1}・中島 良光^{*2}・橋本 紳一郎^{*3}・平川 恭奨^{*3}

Evaluation of Concrete Pumpability by the Measurement of Vibration Acceleration

～For Automatic Casting of the Concrete～

Kosuke MINAMI, Yoshimitsu NAKAJIMA, Shinichiro HASHIMOTO, Kyosuke HIRAKAWA

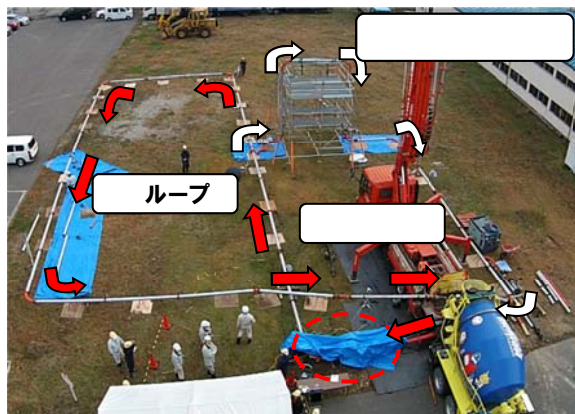


写真-1 フィールド計測全景

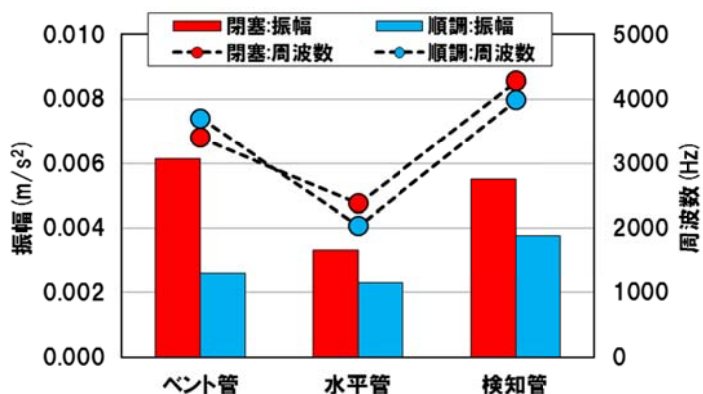


図-1 配管条件と振幅のピーク値および周波数の関係(27-8-20N)

研究の目的

近年、コンクリート施工は土木・建築を問わずコンクリートポンプを用いた打込みが主流であり、搬送効率の飛躍的な向上が図られている。一方、使用材料の多様化や天然骨材の枯渇ならびに混和剤の普及に伴い、多様なコンクリート配合が産み出され、同じスランプを有する配合であっても、施工性能が大きく異なる状況となっている。更に、施工条件の多様化や熟練労働者の減少に伴い、圧送中のトラブルが数多く報告される状況となっている。

これらに対し、著者らは、コンクリートの圧送状態を施工段階で確認する手法として、振動加速度計測による簡易な圧送性評価手法を提案している。

技術の説明

配管に生じる圧送抵抗を、加速度や電氣的な情報に変換・取得することで、フレッシュコンクリートの圧送性の評価を行う。圧送性は、加速度の乱れやベント管部およびその先の水平管部の2点の振幅のピーク値の差あるいは検知管を用いることで、その違いを判定・評価できる。

主な結論

- ・ 振動加速度波形の一定区間に対して最大値と最小値に着目することで、圧送性を簡易かつ定量的に判定することができる。
- ・ ポンプ車に近い位置のベント管部と直管部で計測した振動加速度のピーク値の差から、圧送性の違いを定量的に示すことができる。
- ・ 検知管をコンクリートポンプ近傍に設置し振動加速度計測を行うことで、配管経路に依らず定量的にコンクリートの圧送性評価を行うことができる。
- ・ 配管に生じる圧送抵抗を圧電素子を用いたセンサにより電気信号に変換・取得することにより、大幅なデータ量の縮減が図れ、分析・評価の効率化ならびにハンドリング性能の向上、リアルタイム計測による品質管理ならびに安全性の向上に寄与できると考える。

*1 本店 技術研究所 生産性革新技術研究室

*2 本店 技術研究所 社会基盤マネジメント研究室

*3 福岡大学

振動加速度の計測によるコンクリートの圧送性の評価 ーコンクリートの自動打設を目指してー

南 浩 輔^{*1}橋本 紳一郎^{*3}中 島 良 光^{*2}平 川 恭 介^{*3}

要 旨

近年、コンクリート施工は土木・建築を問わずコンクリートポンプを用いた打込みが主流であり、搬送効率の飛躍的な向上が図られている。一方、使用材料の多様化や天然骨材の枯渇ならびに混和剤の普及に伴い、多様なコンクリート配合が産み出され、同じスランプを有する配合であっても、施工性能が大きく異なる状況となっている。更に、施工条件の多様化や熟練労働者の減少に伴い、圧送中のトラブルが数多く報告される状況となっている。

これらに対し、著者らは、コンクリートの圧送状態を施工段階で確認する手法として、振動加速度計測による簡易な圧送性評価手法を提案している。圧送の際にはコンクリート中の粗骨材が粗骨材粒子群同士あるいは管壁と衝突を繰り返すことにより微細な振動が生じることが明らかとなっており、提案手法は、これら微細な振動を輸送管に取り付けた加速度センサ等により見える化することで、配合条件の異なるコンクリートや圧送状態の異なるコンクリートの圧送性の判定・評価を可能としたものである。

キーワード 圧送性／閉塞／加速度センサ／加速度／周波数／振幅／圧電素子／電圧

目 次

- | | |
|---------------------------------|---------------------------|
| 1. はじめに | 4. 振動加速度計と検知管を用いた圧送性の評価 |
| 2. 加速度の値を指標とした圧送性の評価 | 5. 振動圧電素子を用いたセンサによる圧送性の評価 |
| 3. 加速度のピーク値と周波数を指標とした
圧送性の評価 | 6. まとめ |

EVALUATION OF CONCRETE PUMPABILITY BY THE MEASUREMENT OF VIBRATION ACCELERATION

ーFor Automatic Casting of Concreteー

Kosuke MINAMI
Yoshimitsu NAKAJIMA

Shinichiro HASHIMOTO
Kyosuke HIRAKAWA

Synopsis:

Concrete pump is widely used for construction of both civil and architectural work to improve the transportation efficiency now. On the other hand, workability of concrete largely varies depend on the mix proportion, aggregate type, admixtures and so on, even concrete slump is same. Further, a lot of pumping troubles are reported due to the difficult condition of construction and/or decrease of skilled workers.

The authors propose an evaluation method for concrete pumpability by measurement of vibration acceleration to check the pumpability during construction. This method will visualize the micro vibration of pumping pipe caused by the collision between aggregate and pipe, and thus evaluates the pumpability of various type of concrete.

* 1 本店 技術研究所 生産性革新技術研究室
* 2 本店 技術研究所 社会基盤マネジメント研究室

* 3 福岡大学

1. はじめに

諸外国に比べていち早く、人口減少・少子高齢化社会を迎える我が国では、建設業においても熟練労働者や就労人口が減少の一途をたどるなど、産業構造として、これまで以上に省力化や効率化へ大きく舵を切る時期がきている。

近年、コンクリート施工は土木・建築を問わずコンクリートポンプを用いた打込みが主流であり、搬送効率の飛躍的な向上が図られている。一方で、良質な天然骨材の枯渇に伴い、コンクリートの使用材料の多様化や混和剤の普及が図られ、多様なコンクリート配合が産み出され、同じスランブを有する配合であっても、施工性能が大きく異なる状況となっている。しかし、現状の施工現場では、ピストンの稼働状態（油圧や音）や筒先からのコンクリートの排出状況を目視確認する以外に、圧送中のコンクリートの状態を確認・評価する手法がないため、突発的な閉塞によるコンクリート構造物の品質不良や配管の破裂など非常に危険なトラブルに発展した事例も報告されている¹⁾。

これらに対し、著者らは、コンクリートの圧送状態を施工段階で確認する手法として、振動加速度計測による簡易な圧送性評価手法を提案している^{2),3)}。圧送の際にはコンクリート中の粗骨材が粗骨材粒子群同士あるいは管壁と衝突を繰り返すことにより微細な振動が生じることが明らかとなっており⁴⁾、提案手法は、これら微細な振動を輸送管に取り付けた加速度センサ等により見える化することで、配合条件の異なるコンクリートや圧送状態の異なるコンクリートの圧送性の判定・評価を可能としたものである。

本研究では、コンクリートの圧送性の評価の一つとして配管の閉塞回避に着目し、1) 加速度の値を指標とした圧送性の評価、2) 加速度のピーク値と周波数を指標とした圧送性の評価、3) 振動加速度計と検知管（特殊な形状を持つ輸送管）を用いた圧送性の評価、4) 振動圧電素子

を用いたセンサによる圧送性の評価について検討した結果を報告する。

2. 加速度の値を指標とした圧送性の評価⁸⁾

2.1 試験概要

本研究で使用した配合を表-1 に示す。圧送に用いたコンクリートは、呼び強度が 18 および 27 のスランブ 8cm ならびに呼び強度が 36 のスランブ 18cm の計 3 種類とした。コンクリートのフレッシュ性状試験は、スランブ試験 (JIS A1101) および空気量試験 (JIS A1128) に準じて測定し、所定の目標スランブと目標空気量を満たしていることを確認した後、圧送試験に供した。写真-1 および表-2 に圧送試験に用いた配管経路 (4 系統: 大ループ、大ループ+閉塞、小ループ、打上げ・打ち下し) を示す。配管の種類は 125A (5B 管) を使用した。また、圧送速度はそれぞれ 20, 30, 40m³/hr の 3 水準とした。

本章では、配合 27-8-20N、圧送速度 30m³/hr 時の大ループ、大ループ+閉塞および打上げ・打ち下しの計測結果ならびに既往の計測結果^{2)~7)}を用いて、順調圧送と不安定圧送および閉塞時の加速度の波形から得られる情報

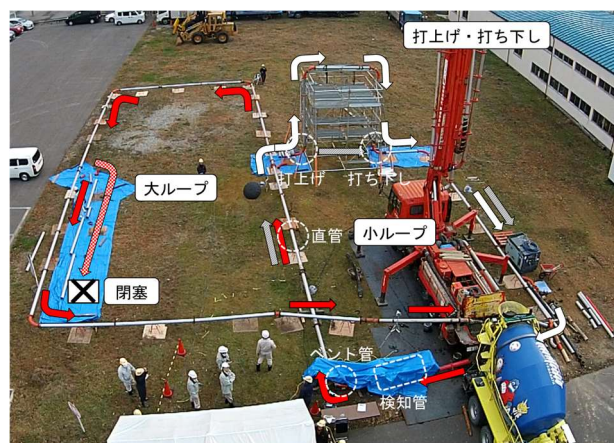


写真-1 フィールド計測全景 (配管経路及び計測位置)

表-1 コンクリートの配合および試験結果

項目	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)							試験結果			
			W	C	S1	S2	G	A1	A2	スランブ (cm)	空気量 (%)	圧縮σ28 (N/mm ²)	単位容積重量 (g/cm ³)
18-8-20N	67.5	47.2	166	246	433	433	976	2.71	—	7	3.8	28.1	2.286
27-8-20N	53	44.3	166	314	394	395	998	3.14	—	9	4.3	41	2.291
36-18-20N	43.6	44.4	184	422	365	365	920	—	3.8	17.5	3.4	57.4	2.331

W: 水, C: セメント, S: 細骨材, G: 粗骨材, A1およびA2: AE減水剤

【使用材料】普通ポルトランドセメント (密度: 3.16g/cm³)、細骨材 (酒田市岡岡神田産山砂 (密度: 2.59g/cm³, 粗粒率: 1.84, 吸水率: 1.82%), 東根市観音寺岩下産砕砂 (密度: 2.58g/cm³, 粗粒率: 3.08, 吸水率: 2.68%)), 粗骨材 (東根市観音寺岩下産碎石2005 (密度: 2.60g/cm³, 実積率: 60.1%, 吸水率: 2.22%))

表-2 配管経路

配管経路	内容
大ループ	90度ベント管を4箇所設置した (ポンプ吐出口含まず)、循環圧送が可能な水平換算距離約120mの配管経路
大ループ+閉塞	大ループから45度ベント管により分岐管を設けテーパ管 (5B 管→4B 管) により閉塞を生じさせる配管経路
小ループ	90度ベント管を4箇所設置した (ポンプ吐出口含まず)、循環圧送が可能な水平換算距離約80mの配管経路
打上げ・打ち下し	打上げ・打ち下し部 (H=5m) を含む、循環圧送が可能な水平換算距離約120mの配管経路

を用いた圧送性の判定・評価結果について示す。

なお、大ループを用いた循環圧送の評価には、コンクリートポンプに最も近い 90 度ベント管に設置した加速度センサと直管部に設置した加速度センサの値を用いた（写真-1 丸破線）。また、打上げ・打ち下し経路は、大ループでの計測箇所に加えて、上向き垂直管部および上向きベント管部と下向き垂直管部および下向きベント管部に測定した値を用いた（写真-1 丸破線）。

2.2 計測結果および考察

図-1 に水平に設置された配管経路を用いた際の、計測時間と加速度の関係を示す。一定の状態で連続的にコンクリートが圧送されている状態（順調）では、コンクリートポンプのピストン運動に合わせて一定の間隔かつ再現性のある加速度波形が得られている。これに対して、不連続かつ不規則にコンクリートが圧送された状態（不安定）やコンクリートが排出されなくなった状態（閉塞）では、加速度波形に乱れが生じ、再現性が乏しいことが判る（図-1 実線枠の形が歪）。このことから、加速度波形を形状分析することで、簡易にトラックアジテータ車毎のコンクリートの圧送性を評価することが可能と考えられる（図-1 実線枠）。また、図-2 に示す通り、比較的加速度波形が安定している区間の加速度波形の正側の加速度の最大値と最小値の差を比較した場合（図-1 破線枠），順調圧送時に比べ、不安定や閉塞時では約 2 倍の差が生じていることから、不安定や閉塞時では加速度の波形に乱れが多いことを示している。これらは順調時に比べ、不安定や閉塞時に各圧送状態で最も小さくなる加速度の値（下限値）が高い値を示していることから確認できる。

以上から、加速度の形状分析の他、任意の区間の加速度波形の最大値と最小値の差を用いることで、コンクリートの圧送性を定量的に評価可能である。

図-3 に打上げ・打ち下し経路を用いた際の、計測時間と加速度の関係を示す。直管や上向き部では、水平に設置した配管経路と同様に、順調圧送時には、一定の間隔かつ再現性のある加速度波形が得られた。一方、下向き部ではその傾向が認められず、連続的に加速度が得られる結果となった。これは、ピストンの切り替わり時も重力の影響によりコンクリートが下向きに移動するため、ピストン駆動時に比べ加速度は小さいものの、連続的に波形が得られたものと推察される。

打上げ部と打ち下し部で得られたデータをもとに、FFT 解析を行った結果、周波数領域は、既往の研究（水平配管経路）と同様に振幅のピークは 2,000~4,000Hz を示した。一方、加速度のピーク値で比較した場合、打ち上げ・打ち下し部は直管に比べ加速度が大きく、また、配管の内側・外側といった計測位置の違いが加速度の大きさに影響する結果となった。このことから、打ち上げ・

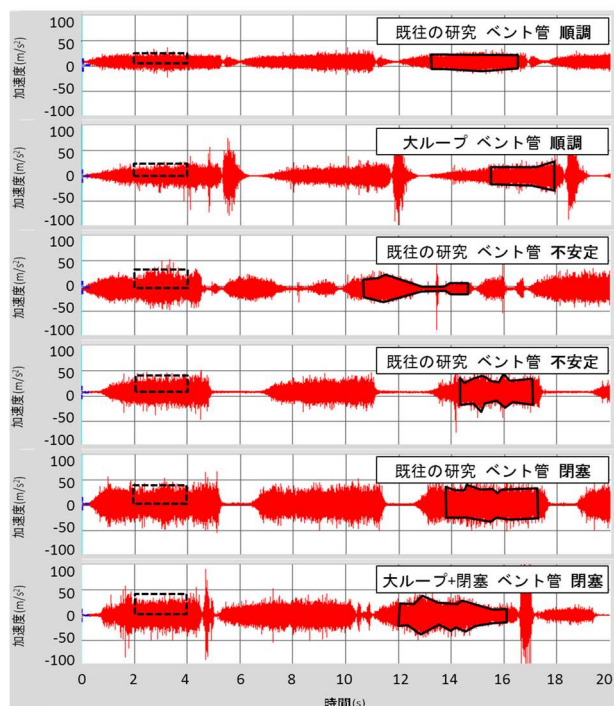


図-1 計測時間と加速度の関係（水平配管）

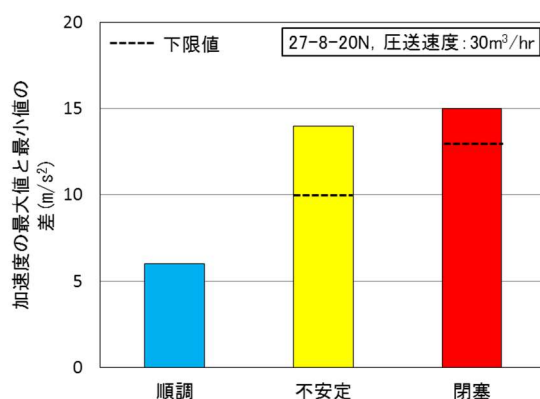


図-2 加速度波形の最大値と最小値の差

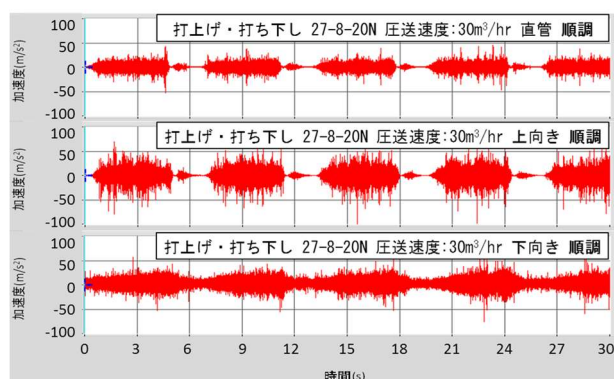


図-3 計測時間と加速度の関係（打上げ・打ち下し）

打ち下し部を計測対象とした場合は、加速度波形と加速度の値のみで圧送性を判断するには不十分であるといえる。

3. 加速度のピーク値と周波数を指標とした圧送性の評価⁹⁾

3.1 試験概要

本章では、表-1 に示す配合 18-8-20N および 27-8-20N、圧送速度 30m³/hr 時の大ループ、大ループ+閉塞の計測結果ならびに既往の計測結果を用いて、圧送性判定の閾値を検討した結果について示す。

なお、圧送性判定の閾値の検討に際しては、コンクリートの圧送状態を幅広い視点から評価することを目的として、加速度センサによる計測以外に、スランプの実測値、平均管内圧力、ポンプ主油圧の変動係数および筒先のコンクリートの吐出状況を観察した。

3.2 計測結果および考察

表-3 にスランプの実測値、平均管内圧力、ポンプ主油圧の変動係数及び筒先のコンクリートの吐出状況などから判定した圧送状態の結果を示す。大ループを用いた循環圧送では一定の状態で連続的にコンクリートが圧送されている状態（順調）であり、大ループ+閉塞では完全にコンクリートが詰まった状態（閉塞）となった。

大ループ+閉塞では、先送りモルタルを流していない内部が乾燥した直管（5B）に、配管内に硬化したモルタル分が付着しているテーパ管（5B→4B）を接続することで、モルタル分を徐々に減少させ、比較的短い区間でかつ短時間で閉塞を生じさせる条件としたが、降雨の影響から輸送管の内部に水が付着したため、直管部を通過する際にモルタル分が失われ難い状態となり、テーパ管部において急激に閉塞が生じる結果となった。そのため、閉塞直前までの値（乾燥条件の直管部を流れているときに計測された比較的良好な圧送データ）を含めた場合、ポンプ主油圧の変動係数が非常に高い結果となった。

これらに対して振動加速度計で評価した結果を以下に示す。図-4 に配管条件（配管経路、計測箇所）および配合が異なる場合の計測時間と加速度の関係を示す。

一定の状態で連続的にコンクリートが圧送されている状態（順調）では、コンクリートポンプのピストン運動に合わせて一定の間隔かつ再現性のある加速度波形が得られている。一方、閉塞した場合、特に閉塞直前（図-4 実線枠）の加速度波形が大きく乱れる傾向にあった。またこれらは、直管部に比べてベント管部で顕著に現れる結果を示した。しかし、配合 18-8-20N では、閉塞した場合においても配合 27-8-20N ほど加速度波形の乱れは見られなかった。

図-5 にベント管部で計測した加速度と周波数の関係、図-6 にベント管部と直管部で計測した加速度のピーク値と対応する周波数の関係を示す。加速度のピーク値（図-5○印）に対応する周波数の値は 3,500Hz 付近であり、配合の違いが加速度のピーク値と対応する周波数へ及ぼす影響は小さい結果となった。計測箇所と加速度のピーク

表-3 スランプ試験および圧力計測結果を用いた圧送状態の判定

配管経路	配合	スランプ実測 [cm]	平均管内圧力 [MPa]	ポンプ主油圧の変動係数[%]	圧送状態の判定
大ループ	18-8-20N	7.0	0.75	0.82	順調
	27-8-20N	9.0	1.09	2.25	順調
大ループ+閉塞	18-8-20N	5.5	0.87	16.79	閉塞
	27-8-20N	6.5	1.35	16.13	閉塞

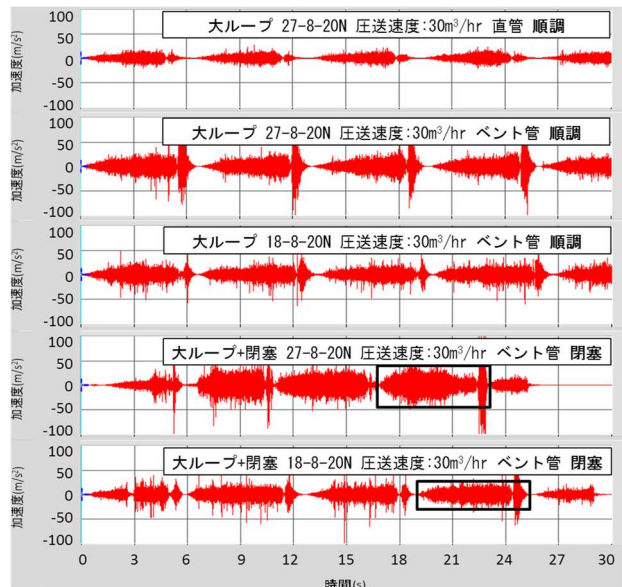


図-4 配管条件および配合と計測時間と加速度の関係

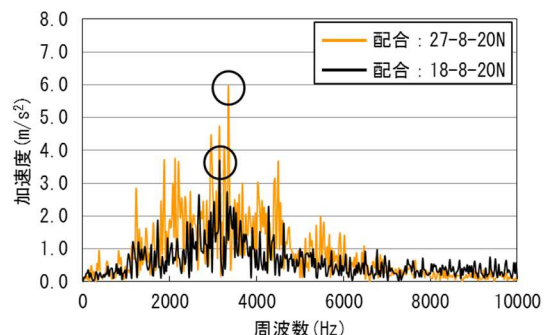


図-5 ベント管の加速度と周波数の関係（閉塞時）

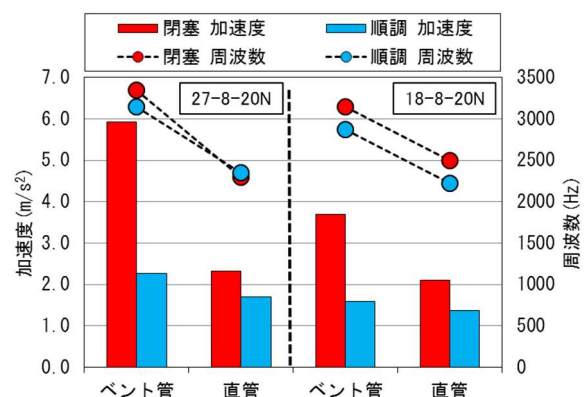


図-6 計測箇所と加速度のピーク値と周波数の関係

値が得られた周波数領域を比較した場合、ベント管と直管部ではベント管部の周波数が高くなり、圧送状態に関

しては、閉塞時に若干値が高くなる傾向にあった。また、加速度のピーク値については、ベント管部の方が直管部よりも大きな値を示し、閉塞の場合に顕著であった。しかし、各配合の加速度のピーク値は、閉塞の場合に配合 18-8-20N の加速度の波形が小さく、乱れが少なかった傾向と同様に値も小さいものであった。これは、配管条件や配合条件による影響であると考えられるが、これらについては、引き続き検討課題とする。

圧送性の定量的な評価については、ベント管と直管部の加速度のピーク値の差を用いると配合 27-8-20N では約 3.6m/s^2 の違いを定量的に示すことができた。この手法を用いて、これまでに計測した既往の計測結果とともに整理したものを図-7 に示す。これらの結果から、ベント管とその先に位置する直管部の加速度のピーク値の差が約 3.0m/s^2 以上になる場合に、不安定もしくは閉塞の圧送状態になることが示された。

4. 振動加速度計と検知管を用いた圧送性の評価¹⁰⁾

4.1 試験概要

前章までに述べた通り、加速度センサを用いた圧送性評価手法は、フィールド計測など実機を用いた試験により、その実用性の高さを示しているが、例えば、コンクリートポンプ近傍にベント管が設けられていない場合など、施工環境により配管経路は様々であり、これらの要因が計測結果に影響を及ぼす場合がある。そこで、全てのコンクリートに対し、一定条件の下、定量評価が可能となる環境を任意に構築できるように、局所的な閉塞が生じないように配慮した上で、比較的短い区間で輸送管内を流れるコンクリートにストレスを与えることが可能な形状を有した輸送管を考案し（以下、検知管と記す）、振動加速度計測と組み合わせた評価手法について検討した。

本章では、表-1 に示す配合 18-8-20N および 27-8-20N、圧送速度 $30\text{m}^3/\text{hr}$ 時の大ループの計測結果を用いて、既往の研究^{2,3)}に基づく評価手法を検知管に適用し、定量評価を行った結果について示す。

なお、検知管は、閉塞の危険性を早期に発見することを目的にコンクリートポンプ近傍に設置した。また、圧送性の評価に用いた振動加速度計の設置箇所は、コンクリートポンプ側から検知管、90 度ベント管、直管部の 3 箇所とした。

4.2 計測結果および考察

図-8 に配合 27-8-20N における検知管、ベント管、直管部の計測時間と振動加速度の関係を示す。いずれも、順調圧送時は 1 ストローク毎に加速度波形が同じ形状の塊として見え、形状に乱れはなくほぼ等間隔で圧送されていることが判る。一方、閉塞時は加速度波形の形状が乱れる傾向があり、輸送管の種類によっては形状が異なる

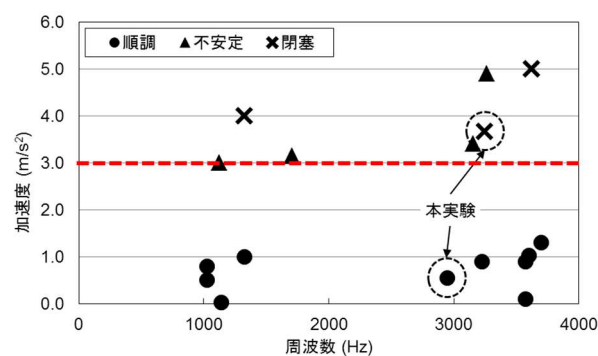


図-7 ベント管と直管部の加速度の差による評価

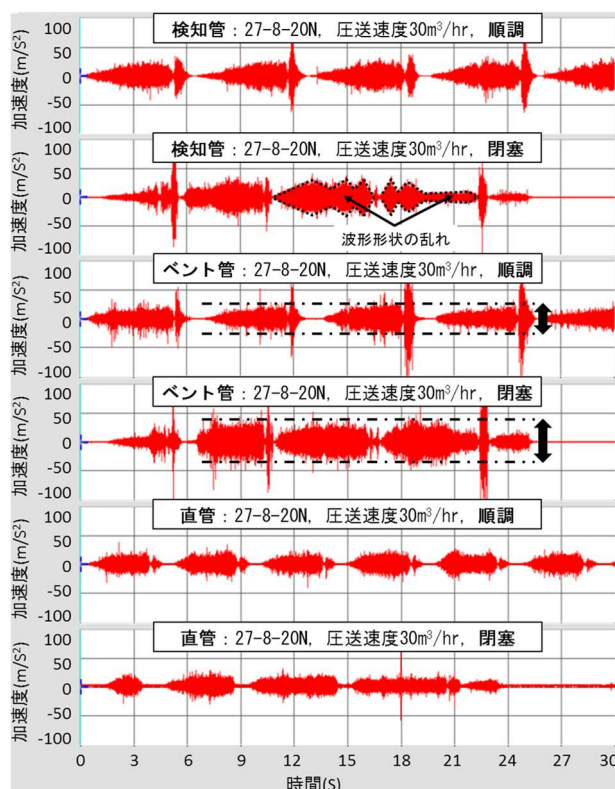


図-8 計測時間と加速度波形の関係（順調と閉塞）
（上から検知管、ベント管、直管の順）

点が見て取れた。また、閉塞直前に比較的大きな加速度が計測される結果となった。その中でも、検知管の加速度は、閉塞時においてコンクリートポンプ近傍のベント管と非常によく似た波形形状が得られた。これは、検知管とベント管はそれぞれ圧送過程においてコンクリートにストレスを与える形状を有していることが要因と推察される。一方、直管部では、コンクリートポンプから離れていることも影響しているが、圧送に伴うコンクリートへのストレスが少ないことから、発生する加速度も小さく、波形形状も検知管やベント管とは異なる結果となったものと考えられる。

図-9 に配管条件と振幅のピーク値および周波数の関係を示す。検知管、ベント管、直管部のいずれにおいても、振幅のピーク値は順調時に比べ閉塞時に大きくなり、周

波数は直管に比べ、検知管とベント管部が高い傾向を示した。閉塞時に得られた振幅のピーク値に注目すると、検知管とベント管はほぼ同程度の値を得ることができている。

圧送性の判定として、ベント管のみで評価する場合、順調と閉塞の振幅のピーク値として約 0.004m/s^2 (27-8-20N) と約 0.002m/s^2 (18-8-20N) の違いが確認できた。また、閉塞時におけるベント管と直管部の振幅のピーク値としては約 0.003m/s^2 (27-8-20N) と約 0.001m/s^2 (18-8-20N) が得られた。配合により差はあるものの、前述した評価方法（ベント管と直管部で計測した振動加速度のピーク値の差を用いる方法）により圧送性の判定が可能であることが示唆される結果となった。

同様に、圧送性の判定として、検知管のみで評価する場合、順調と閉塞の振幅のピーク値として約 0.002m/s^2 (27-8-20N) と約 0.001m/s^2 (18-8-20N) の違いが確認できた。また、閉塞時における検知管と水平管の振幅のピーク値としては約 0.002m/s^2 (27-8-20N) と約 0.001m/s^2 (18-8-20N) を得ることができた。

このことから、検知管を活用することで、全てのコンクリートに対し、一定条件の下、圧送性の定量評価が可能であると共に、コンクリートポンプ近傍にベント管を有さない配管を含め、配管経路に依らず様々な施工シーンへの対応を含め、適用範囲が広がると考えている。

検知管の利用に際しては、FFT 解析により振幅の差を評価に用いる場合、差としての確度は高まるが、加速度に比べ小さな値として出力されることから、3 章までに述べた通り、加速度を評価値として用いても良い。また、圧送性の差異をより明確化するため、検知管の改良を予定している。

5. 振動圧電素子を用いたセンサによる圧送性の評価¹¹⁾

5.1 試験概要

本章では、振動圧電素子センサを用いた、分析・評価の効率化ならびにハンドリング性能の向上、円滑なリアルタイム計測による圧送性の判定・評価の向上策の検討結果について報告する。

圧送に用いたコンクリートは、表-1 に示す 3 種類 (18-8-20N, 27-8-20N, 36-18-20N) とした。圧送経路は大ループ、小ループ、打上げ・打ち下しの 3 系統とし、圧送速度はそれぞれ 20, 30, $40\text{m}^3/\text{hr}$ の 3 水準とした。本章では、大ループで得られた計測結果を用いて説明する。

5.2 計測結果および考察

(1) 振動圧電素子を用いたセンサによる計測結果

本研究に用いた 3 種類のコンクリートは、受入れ時のフレッシュ試験やタンピング試験ならびに目視確認の結果、36-18-20N が最も閉塞が生じ難い配合と推察され、

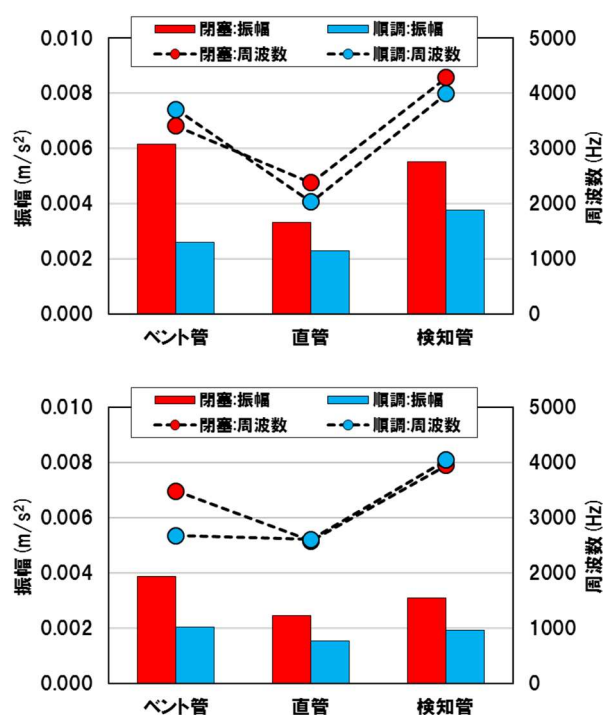


図-9 測定箇所と加速度の振幅のピーク値および周波数の関係（上：27-8-20N，下：18-8-20N）

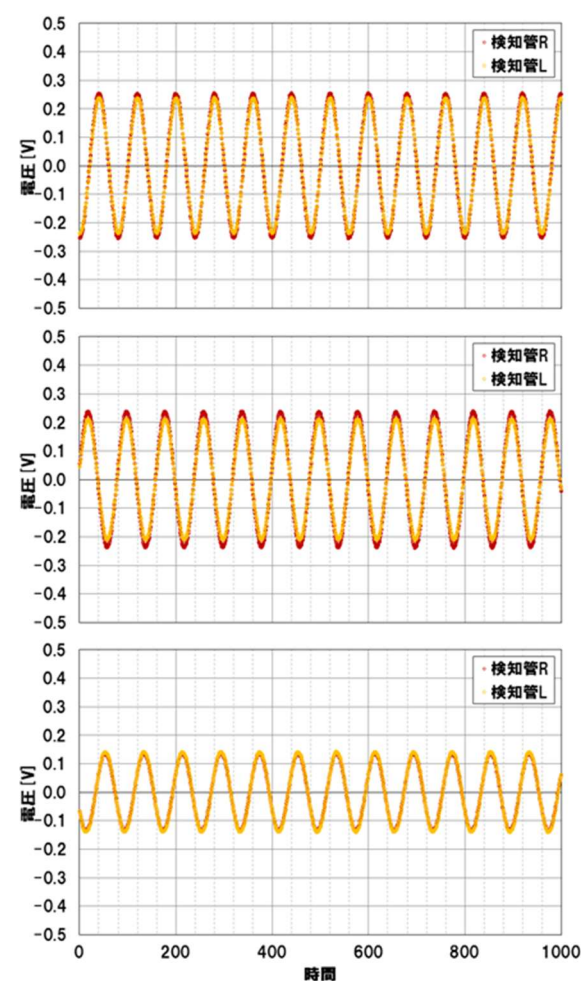


図-10 順調圧送時（圧送速度： $40\text{m}^3/\text{hr}$ ）の電圧（上から 18-8-20N, 27-8-20N, 36-18-20N の順）

18-8-20N と 27-8-20N は、36-18-20N に比して圧送性は幾分劣るものの、両者の圧送性は概ね同程度か、わずかながらに 27-8-20N の圧送性が優れていると判断された。

図-10 に振動圧電素子を用いたセンサにより、圧送時の配管に生じる微細な振動を電圧（電氣的エネルギー）として取り出した結果を示す。本稿では一例として、検知管に設置したセンサから得られた計測結果を用いた。図-10 に示す通り、呼び強度 36 の配合と呼び強度 18 および 27 の配合では、明らかに生じている電圧が異なることが判る。これは、配合と圧送性の関係を、配管に生じる微細な振動を介して電氣的エネルギーとして取り出すことで、圧送抵抗を目に見える形でリアルタイムに評価可能であることを示唆している。また、これまでは熟練のコンクリート技術者の判断を要していた配合の違いについても、本計測方法を用いることで評価できる可能性がある。なお、本計測では試験的に導入したセンサであるため、必ずしも最適なセンサであるとは言えず、得られた電圧値は小さいものとなった。今後、より明確に差異が読み取れるようセンサの改良を行う予定である。

(2) 振動圧電素子を用いたセンサによる計測結果の定量化

圧送時に配管に生じる振動は、配合の他にも圧送速度や配管の影響を受ける。ここでは、前述した電圧と同じ条件で計測した配管のひずみ測定の結果（図-11 参照）を用いて、圧送速度の影響を踏まえた圧送性の定量評価の可能性について報告する。図-11 に示す通り、配管の変位を計測することで、コンクリートポンプに備えられたピストンの 1 ストローク当りの吐出時間を求めることができる。ピストンの径と長さは使用するコンクリートポンプの仕様から既知の項目であり、1 ストローク当りの吐出量を算出することができる。これらの計測結果を用いることで、単位容積当り（1 ストローク）の圧送に要する電圧量の平均値（単位時間当たりの発生電圧量の平均）を求めることが可能となる。図-12 に 1 ストローク当りに得られた電圧量を、表-4 に配合と圧送速度を考慮した 1 ストローク当りの電圧量を示す。表-4 に示す通り、ひずみから求めた 1 ストローク当りの吐出量は配合に依らず安定した値を得ることができ、圧送速度を考慮した電圧量の平均値は、受入れ時のフレッシュコンクリートの圧送性評価と概ね一致する結果が得られた。また、本手法を用いることで、振動加速度に比べ大幅なデータの縮減が図れることから、リアルタイム計測を含め、より簡便にコンクリートの圧送性を評価可能なことが示唆される結果となった。今後、データの蓄積を図り、判定指標の検討を進めていく。

6. まとめ

本研究で述べた 4 つの判定・評価手法を、施工状況に

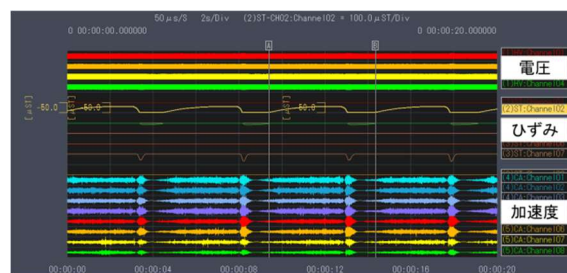


図-11 計測結果の例（上から電圧、ひずみ、加速度の順）

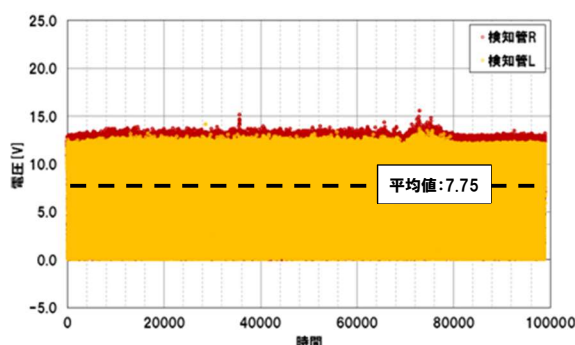


図-12 1 ストローク当りの電圧量(18-8-20N, 40m³/hr)

表-4 配合および圧送速度と 1 ストローク当りの電圧量

配合	圧送速度の実測値 [m³/hr]	ひずみから求めた 1st 当りの吐出量[L/st]	電圧量の平均値 (左右 2 箇所計測) [V/time]
18-8-20N	21	56.7	7.88
	30	57.1	7.90
	40	55.0	7.75
27-8-20N	30	53.7	6.99
36-18-20N	31	54.4	4.38

応じて選択あるいは組み合わせることで、効率的にコンクリートの圧送管理を行うことが可能になると考えられる。例えば、配合設計や試験圧送の段階に本手法を適用することで、流動性と材料分離抵抗性を兼ね備えた閉塞が生じ難いコンクリートの選定が可能となる。また、打込み量の多い工事や骨材事情の悪い地域においては、フレッシュコンクリートの変動に応じて、コールドジョイントや充填不良などの初期欠陥を生じやすいコンクリートを、コンクリートポンプ近傍で外部に排出するなど、不具合是正に貢献可能と考えている。今後、システム化や最適な組み合わせを含め、鋭意検討を進めていく。

- 振動加速度波形の任意の区間に対し、最大値と最小値に着目することで、圧送性を簡易かつ定量的に判定することができる。

以下、得られた結果をまとめる。

- ポンプ車に近い位置のベント管部と直管部で計測した振動加速度波形のピーク値の差から、コンクリートの圧送性の違いを定量的に示すことができる。
- 検知管をコンクリートポンプ近傍に設置し振動加速度

計測を行うことで、配管経路に依らず定量的にコンクリートの圧送性評価を行うことができる。

- ・配管に生じる圧送抵抗を圧電素子を用いたセンサにより電気信号に変換・取得することにより、大幅なデータ量の縮減が図れ、分析・評価の効率化ならびにハンドリング性能の向上、リアルタイム計測による品質管理ならびに安全性の向上に寄与できる。

謝辞：本実験の実施にあたり、株式会社ヤマコンの吉田兼治氏を始め多くの方々にご多大なご協力を頂きました。ここに記して深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリートライブラリー135 コンクリートのポンプ施工指針 [2012 年版]，2012.6
- 2) 橋本紳一郎，江本幸雄，伊達重之，橋本親典：コンクリートのポンプ圧送性簡易評価手法の検討，コンクリート工学年次論文集，Vol. 34，No. 1，pp. 1186-1191，2012
- 3) 案浦侑己，橋本紳一郎，渡辺健，橋本親典：振動加速度計を用いたコンクリートの圧送性簡易評価手法の検討，コンクリート工学年次論文集，Vol. 35，No. 1，pp. 1201-1206，2013
- 4) 辻村直哉，橋本親典，丸山久一，清水敬二：管内を流れるコンクリートの閉塞感知システムの開発に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol. 10，No. 2，pp. 73-78，1988
- 5) 第 10 回圧送技術研究会，報告 2-4 振動加速度計による圧送性の評価，pp. 2-4-1～2-4-16，2014. 2
- 6) 平川恭介，橋本紳一郎，江本幸雄，渡辺健，橋本親典，伊達重之：各種配管及び圧送条件における振動加速度計を用いたコンクリートの圧送性評価，土木学会年次学術講演会，V-355，pp. 709-710，2014
- 7) 第 11 回圧送技術研究会，報告 6 振動加速度の計測による圧送性の評価，pp. 6-1～6-28，2015. 2
- 8) 平川恭介，橋本紳一郎，南浩輔，中島良光，江本幸雄，渡辺健：振動加速度の計測によるコンクリートの圧送性の評価～加速度の値を指標として圧送性評価～，土木学会年次学術講演会，V-214，pp. 427-428，2015
- 9) 橋本紳一郎，平川恭介，南浩輔，中島良光，渡辺健，橋本親典：振動加速度の計測によるコンクリートの圧送性の評価～加速度のピーク値と周波数を指標とした圧送性評価～，土木学会年次学術講演会，V-215，pp. 429-430，2015
- 10) 中島良光，南浩輔，橋本紳一郎，平川恭介：振動加速度の計測によるコンクリートの圧送性の評価～振動加速度計と検知管を用いたコンクリートの圧送性評価～，土木学会年次学術講演会，V-216，pp. 431-432，2015
- 11) 南浩輔，中島良光，橋本紳一郎，平川恭介：振動加速度の計測によるコンクリートの圧送性の評価～振動圧電素子を用いたセンサによるコンクリートの圧送性評価～，土木学会年次学術講演会，V-217，pp. 433-434，2015