加速度センサーを用いたコンクリートの簡易圧送性評価の適用性向上

前田建設工業　正会員○南　浩輔　正会員　太田 健司
福岡大学　正会員　橋本 紳一郎　学生会員　北野 潤一

1. はじめに

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，天然骨材の枯渇，使用材料の多様化や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，長距離圧送や100mを超える高所への搬送にもコンクリートポンプが用いられるようになり，配管破裂など事故も重大化している．

これらに対し，著者らは施工中のコンクリートの圧送状態を現地で確認する手法として，加速度センサーを用いた簡易な圧送性評価手法を提案している．これまで，室内試験や実機ポンプを用いたフィールド計測の結果から，ポンプ近傍に設置されたベント管や水平管の計測結果を用いて，加速度の波形やFFT解析により，加速度ピーク値や周波数の値から圧送性の評価が可能であることを示している[1)]．しかし，施工環境により配管経路や用いられる配合は様々であり，必要な箇所に計測対象となる輸送管が設置されているとは限らない．そこで，全ての配管経路やコンクリートに対し定量評価が可能となるよう，特殊な形状を持つ輸送管を開発し（以下，検知管と記す），加速度センサーによる圧送性評価の精度向上ならびに適用性の拡大を図った．

以下，得られた結果を報告する．

2. 実験概要

2.1 配合およびフレッシュ性状

表-1，写真-1に使用した配合およびフレッシュ性状を示す．本検討では，JIS認証を持つレディーミクスト工場で用いられる27-8-20Nを基準配合：No.1とし，基準配合No.1に対して単位水量および単位粗骨材量一定条件のもと，単位セメント量を50kg/m^{3}増減させた配合をそれぞれ配合：No.2，No.3とし，単位水量および単位セメント量一定条件のもと，細骨材率を5%増減させた配合を配合：No.4とNo.5とした5種類を用いた．室内配合試験は実機練りやアジテータ車による運搬時のスランプおよび空気量の低下を考慮し，荷卸し時のスランプが8.0±2.5cm，空気量が4.5±1.5%となるよう，練上がりの目標スランプを12.0±1.0cm，目標空気量を5.0±0.5%として管理した．

2.2 圧送条件および計測方法

図-1に圧送試験に用いた配管図および計測位置を示す．本検討では定置式のコンクリートポンプ（理論吐出量：14～26m^3/h，コンクリートピストン前面圧力4.09MPa）を用い，配管延長33.5m（水平換算距離：39.5m）の直線配置とした．圧送速度は，理論吐出量で15m^3/hと20m^3/hの2水準とした．計測には，加速度センサーおよび圧力計を使用し，加速度センサーは配管外周面に直接貼り付け，圧力計（左･右･上の3箇所）は圧力計測用の輸送管を用いた．加速度センサーの取り付け位置は，ポンプ吐出口からの水平換算距離で6.5m（検知管），7.5m（水平管），8.0m（テーパー管）とした．また，圧力計は，ポンプ吐出口から6.25,7.25,15.8,24.8および33.8mの5箇

表-1　配合およびフレッシュ試験結果

No	配合	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)							フレッシュ性状（室内配合試験）		
				W	C	S1	S2	G1	G2	Ad	スランプ (cm)	空気量 (%)	CT (℃)
1	基準(27-8-20N)	54.9	47.4	162	295	617	259	497	497	3.688	11.5	4.6	24.0
2	C＋50kg/m^3	47.0	46.2		345	588	246			4.140	11.5	5.0	23.0
3	C－50kg/m^3	66.1	48.5		245	646	269			3.553	10.5	5.0	23.0
4	s/a＋5%	54.9	52.4		295	684	285	450	450	3.688	11.5	5.1	23.0
5	s/a－5%	54.9	42.4			553	231	544	544	2.950	13.5	4.7	22.5

W:水，C:セメント，S1:細骨材(砕砂)，S2:細骨材(山砂)，G:粗骨材，Ad:AE減水剤
[使用材料]普通ポルトランドセメント(密度:3.16g/cm^3)，細骨材(栃木市鍋山町産砕砂(密度:2.66g/cm^3)，成田市前林産山砂(密度:2.59g/cm^3))，粗骨材(秩父郡横瀬町産砕石2005(密度:2.70g/cm^3)，栃木市鍋山町産砕石2005(密度:2.70g/cm^3))

写真-1　フレッシュ性状（左から配合No.1,2,3,4,5の順）

キーワード　圧送性，閉塞，加速度，管内圧力，材料分離抵抗性，検知管
連絡先　〒179-8914　東京都練馬区旭町1-39-16　前田建設工業(株) 技術研究所　TEL：03-3977-2241

所とした．検知管は，圧送中に配管内のコンクリートに閉塞が生じない程度の負荷が掛かるように，コンクリートの流入口から中央部に向かって絞りを持つ形状を有している．

3. 計測結果および考察

3.1 平均管内圧力および加速度振幅と配合の関係

フレッシュ試験時の目視観察やタンピング試験結果（図-2 参照）から，配合 No.5（s/a-5%）は材料分離傾向にあり，配合 No.2（C+50kg/m^3）は材料分離抵抗性が高く，配合 No.1（基準配合），No.3（C-50kg/m^3）は粘性に多少の差はあるものの，ほぼ同程度の材料分離抵抗性を有していると判断された．また，No.4（s/a+5%）は，荷卸し直後は良好なフレッシュ性状を示したが，短時間で締まりが生じ，変形性能が低下する傾向がみられた．図-3 に示す管内圧力の計測結果から，検知管前後において若干管内圧力の変動がみられるが，圧送距離の延長とともに平均管内圧力が低下傾向を示しており，検知管によるコンクリートへの負荷の差が管内圧力計測に及ぼす影響は小さいと考えられる．図-3 および図-4 より配合 No.1 を基準とした場合，単位セメント量の増加に伴い粘性が増し，材料分離抵抗性が高まった配合 No.2 の平均管内圧力は上昇し，加速度振幅が低下している．一方，単位セメント量を減じたことで粘性が低下した配合 No.3 は，平均管内圧力が低下し，加速度振幅は同程度の結果となった．また，細骨材率をパラメータとした配合 No.5 は，細骨材の減少に伴う材料分離の影響から平均管内圧力，加速度振幅とも最も高い値を示す結果となった．なお，細骨材率を高めた配合 No.4 は塑性的な性状が強く表れる状態ではあったが，初期の順調圧送時の平均管内圧力や加速度振幅は，配合 No.1 と同程度の値を示した．

3.2 検知管を用いた圧送時の閉塞性の評価

既往の研究[2]では，検知管の近傍あるいは配管経路にベント管が含まれている場合があり，連結された配管に生じた振動加速度を検知管において取得している可能性がゼロではないと考え，本検討では，不確実な要因を全て排除するため，ベント管を含まない直線配管のみによる検知管の性能確認を実施した．圧送性の評価に際しては，経時変化に伴いテーパー管（5B→4B）において閉塞が生じた配合 No.4（s/a+5%），圧送速度 15m^3/h の計測結果を用いた．図-5 に順調圧送ならびに閉塞時の検知管と水平管の加速度振幅の差による評価を示す．図-5 に示す通り，順調に圧送が行われている場合は，検知管と水平管から得られる加速度振幅の差は小さいが，閉塞時には大きな差が生じていることが判る．この結果は既往の研究[1]と同様であり，検知管がベント管の代替としてコンクリートの圧送性評価に適用できることが判る．また，管内圧力計測においても，順調に圧送されている際は小さかった平均管内圧力が，閉塞時に急激に上昇する現象が確認され，加速度センサーと検知管を用いたコンクリートの圧送性評価は，管内圧力と同様の現象を捉えることが可能であると考えられる．

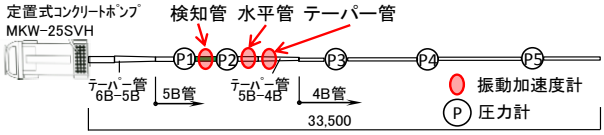

図-1 配管図および計測位置

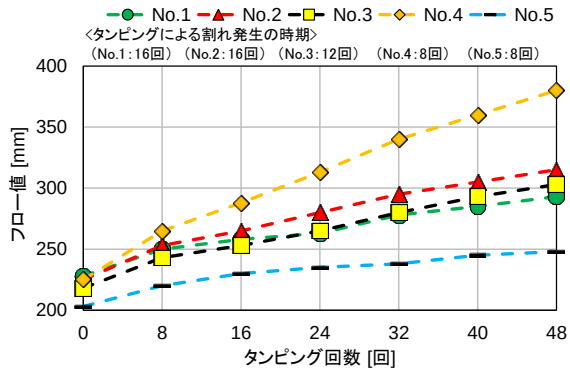

図-2 タンピング試験

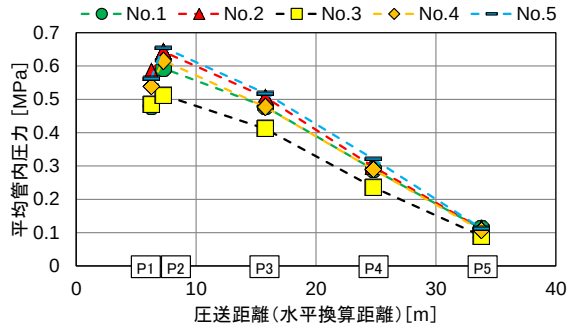

図-3 平均管内圧力と圧送距離および配合

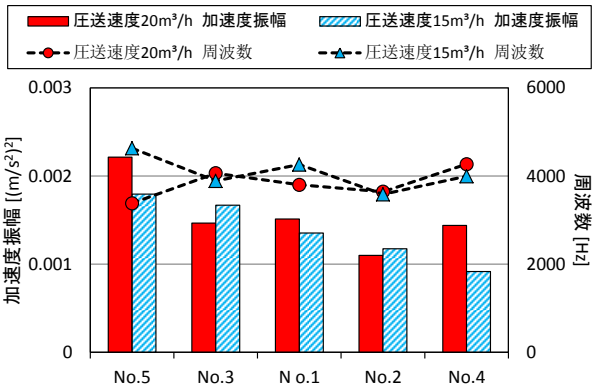

図-4 加速度振幅のピーク値と配合（検知管）

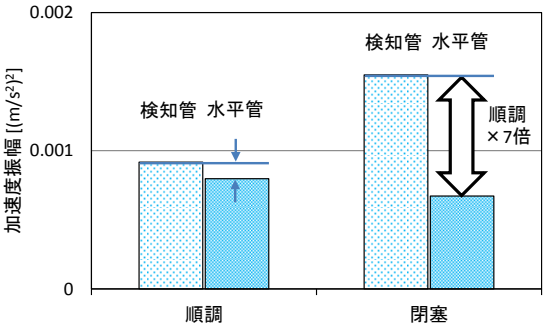

図-5 検知管と水平管の加速度振幅の差による評価

＜参考文献＞
1）案浦侑己，他：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
2）中島良光，他：振動加速度の計測によるコンクリートの圧送性評価～振動加速度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概要集，Vol.70，V-216，pp.431-432，2015.9