

フレッシュコンクリートの圧送性評価方法に関する基礎研究

全国生コンクリート工業組合連合会 正会員 ○山之内康一郎  
 日本大学生産工学部土木工学科 学生会員 佐久間 翔平  
 日本大学生産工学部土木工学科 正会員 伊藤 義也  
 日本大学生産工学部土木工学科 正会員 山口 晋

1. 目的

フレッシュコンクリートのポンプ施工の合理化のためには、圧送性を簡易に評価するシステムの構築が必要となっている。ポンプ圧送性を合理的に評価するためには、レオロジー定数を用いることが必要であり、これを試験練り時に予め把握できれば、コンクリート工事で必要となるポンプ圧送量を確保するためのポンプ能力を選定でき、施工の合理化に寄与する。

本研究では、フレッシュコンクリートの施工の合理化の一端として、コンクリートの場内運搬に用いるポンプ圧送のシステム化のための、第一歩として、管内流動の解析に用いる管型粘度計を開発し、圧送性の評価方法について検討した。

2. 実験概要

2.1 管型粘度計の諸元

管型粘度計は、コンクリートの圧送システムを縮小したもので、その諸元は、試料容器、排出管、圧送管、圧力センサ、流出量測定用はかり、水平架台およびコンプレッサから構成(写真-1参照)されており、フレッシュコンクリートを圧送した際に得られる圧力勾配と流量との関係からレオロジー定数を把握できるものである。

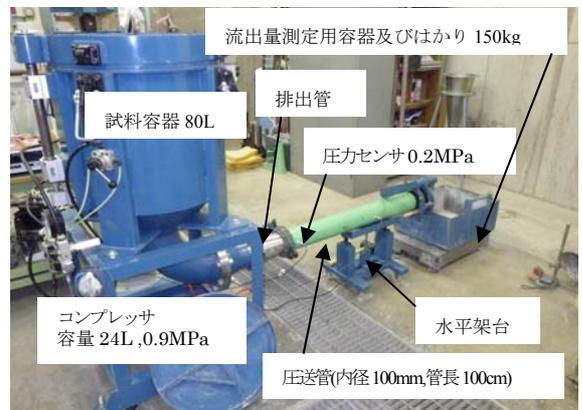


写真-1 管型粘度計

2.2 使用材料およびコンクリートの配合

実験に用いたコンクリートは中流動コンクリートである。この中流動コンクリートは、混和剤などの改良により近年提案されたもので、その特性は、混和材を使用せず、普通コンクリートと同程度のセメント量で高流動コンクリートに近い流動性と分離抵抗性を有するものである。使用材料および配合は表-1 および表-2 に示すとおりである。練混ぜは、容量 100L の強制二軸練りミキサを用い、1 バッチの量を 85L として、練上がり直後のコンクリートを管型粘度計により圧送圧力を種々に変化させ流量の測定を行った。

表-1 使用材料

材料	種類
セメント	T社製普通ポルトランドセメント 密度 3.15g/cm <sup>3</sup>
細骨材	鹿島産陸砂 表乾密度 2.63g/cm <sup>3</sup> , 粗粒率 2.56
粗骨材	青梅産碎石 表乾密度 2.67g/cm <sup>3</sup> , 実積率 58.9%
練混ぜ水	上水道水
混和剤	M社製高性能 AE 減水剤 (増粘剤一液タイプ)

表-2 コンクリートの配合

配合 No.	目標スランプフロ (cm)	細骨材率 (%)	単位粗骨材絶対容積 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 Ad* (C×%)
1	50	53.7	0.316	160	356	966	844	0.80
2	60	53.1	0.316	165	367	845	944	0.80
3	65	52.4	0.316	170	378	937	960	0.63

※コンクリートの種類: 中流動, Air: 4.5%, W/C: 45%  
 混和剤: ホリカルボン酸エーテル系化合物と増粘性高分子化合物の複合体の高性能 AE 減水剤

3. 管型粘度計による圧送性評価の検証

3.1 圧送性評価の検証手順

管型粘度計による圧送性の評価を検証するにあたり、以下の4項目を検討した。

- 1) 中流動コンクリートが普通コンクリートと同様なビンガム体流れとなることを確認するため、コンクリートの管内流動の解析に必要な降伏値および塑性粘度は、従来、採用されている回転粘度計により求める。
- 2) 管型粘度計によりレオロジー定数を求める試験方法を検証する。
- 3) 一般に工事現場(生コンの荷卸し地点)で行われている定性的なコンシステンシー試験(スランプ・スランプフローやO漏斗流下試験)とレオロジー定数との相関性を把握する。
- 4) 3)を活用した任意の流量および配管条件に必要なポンプ能力の選定方法の手順を提案する。

キーワード 管型粘度計, 圧送性評価, レオロジー定数, フレッシュコンクリート

連絡先 〒273-0012 千葉県船橋市浜町 2-16-1 全国生コンクリート工業組合連合会 Tel.047-433-9492

### 3. 2 圧送性評価の検証結果

1) 中流動コンクリートの流動挙動 中流動コンクリートのコンシステンシー曲線は図-1 に示すようになって、ビンガム体に近似した挙動を示すことが分かった。この曲線は、普通コンクリートの場合と相違し直線部分が少なく、その形状は逆S字状となっており、既往の研究<sup>1)</sup>である高流動コンクリートと近似している。今回は便宜上、図-1 に示すように直線回帰し、降伏値および塑性粘度を求めた。なお、相関係数は0.97となっている。

2) 管型粘度計を用いる手法 図-2 に示すとおり、圧力勾配と流量との関係は、単位水量毎に個々の直線で示される。また、それぞれの直線の相関係数は1.0に近似していることから、圧力勾配を種々に変化させてそれぞれの流量を求めることにより、一定の圧力勾配における流量が精度良く測定できることになる。中流動コンクリートは、高流動やAEコンクリートと同様に、その管内流動は、管壁ですべりを伴う塑性流れと考え、管壁にすべりを伴う場合の流量式(1)を用いて、管内流動解析に必要な降伏値、塑性粘度、付着力および粘性摩擦係数を求める。しかし、4つの未知数に対し、4組の圧力勾配と流量との測定値を用いても流量式が発散し、四元連立で解けないため、定性的なコンシステンシー試験とレオロジー定数との相関を把握し、未知数の1つの解として用いることを検討した。

#### 3) 定性的なコンシステンシー試験とレオロジー定数との関係

回転粘度計により求めた降伏値、塑性粘度から算定した実測流量(Q<sub>A</sub>)とビンガム流量(Q<sub>B</sub>)との差を管の断面積で除して求めたすべり速度(V<sub>R</sub>)とラビング応力(f<sub>R</sub>)との関係から粘性摩擦係数および付着力を求め、これらのうち、極めて高い相関関係がある付着力とスランプフローとの実験式(図-3)を活用して、流量式を三元連立に解いて降伏値、塑性粘度および粘性摩擦係数を求めた結果は、表-3 に示すとおりである。

#### 4) ポンプ能力の選定方法の手順

3) の手法を活用したポンプ能力の選定手順は、以下のとおりとなる。①工事条件より定まる流量・配管径を設定する。②現場の平面図・横断面を基に配管経路を決定し、水平換算距離を計算する。③コンクリートの試験練りを行い、管型粘度計を用いて圧送圧力に対応する流量を測定する。④管型粘度計と同時にスランプフロー試験を行い、実験式を用いて付着力を推定する。⑤流量式に付着力を代入し、三元連立を解いて降伏値・塑性粘度および粘性摩擦係数を求める。⑥レオロジー定数と工事条件から定まる流量を流量式に代入し、圧力勾配を newton 法により求める。⑦圧力勾配の水平換算距離を乗じ、ポンプの吐出圧力を計算する。⑧計算したポンプの吐出圧力に安全係数1.20を乗じ、これを超える最小のポンプを選定する。

### 4. まとめ

管型粘度計とスランプフロー試験とを併用することで、定量的なコンシステンシー試験値やポンプ能力の選定が可能となり、施工の合理化への有用性が示された。

### 参考文献

1)山之内他：管型粘度計によるフレッシュコンクリートの流動性評価方法の提案 第17回生コン技術大会 pp.47-52.2013.4

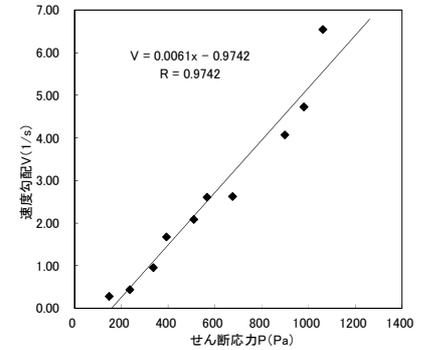


図-1 コンシステンシー曲線

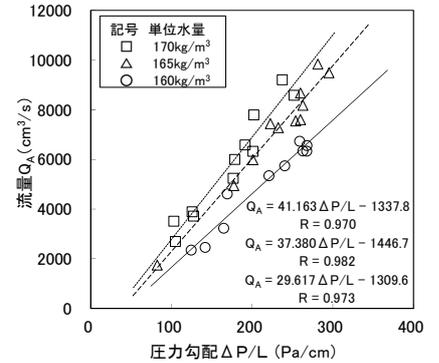


図-2 圧力勾配と流量との関係

$$Q_A = Q_B + Q_S = Q_B + \pi R^2 V_R$$

$$= \frac{\pi R^4}{8\eta l} \frac{\Delta P}{L} \left\{ 1 - \frac{4}{3} \left( \frac{r_f}{R} \right) + \frac{1}{3} \left( \frac{r_f}{R} \right)^4 \right\} + \pi R^2 \left[ \frac{1}{\alpha} \left( \frac{R \Delta P}{2L} - A \right) \right] \dots \text{式 (1)}$$

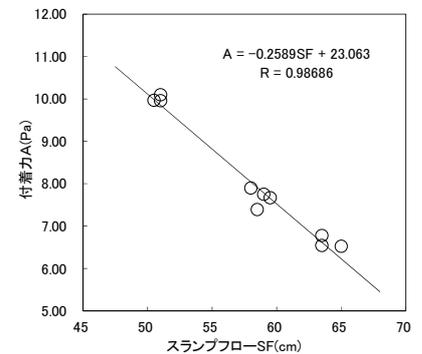


図-3 スランプフローと付着力との関係

表-3 管型粘度計による試験結果

スランプフロー-SFL (cm)	回転粘度計		管型粘度計					
	降伏値 τ <sub>r</sub> (Pa)	塑性粘度 η (Pa·s)	降伏値 τ <sub>r</sub> (Pa)	比 τ <sub>r</sub> /τ <sub>r</sub>	塑性粘度 η' (Pa·s)	比 η'/η	粘性摩擦係数 α (Pa·s)	付着力 A (Pa)
51.0	97	141	87	0.90	120	0.85	7.44	9.86
58.5	69	94	75	1.09	106	1.13	6.45	7.92
63.5	64	86	58	0.91	79	0.92	6.21	6.62