

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

全国生コンクリート工業組合連合会
日本大学生産工学部土木工学科
全国生コンクリート工業組合連合会
全国生コンクリート工業組合連合会

正会員
正会員

正会員

○山之内康一郎
伊藤 義也
橋爪 翔
鈴木 一雄

1. 目的

高流動コンクリートのレオロジー定数が予め把握できれば、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決定でき、施工の合理化が実現する。

本研究では、併用系高流動コンクリート及びAEコンクリートを用いて、コンクリートの圧送システムを縮小した管型粘度計による流動性の評価方法を検討した。

2. 実験概要

2. 1 管型粘度計の緒元

管型粘度計は、試料容器、排出管、圧送管、圧力センサ、流出量測定用はかり、水平架台及びコンプレッサから構成されている(写真-1 参照)。

2. 2 使用材料及びコンクリートの配合

実験に用いたコンクリートは、表-1 及び表-2 に示す材料を用い、表-3 に示す配合の高流動コンクリート及びAEコンクリートである。コンクリートの練り混ぜは、容量100Lの強制二軸練りミキサを用い、1バッチの量を85Lとして行い、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。

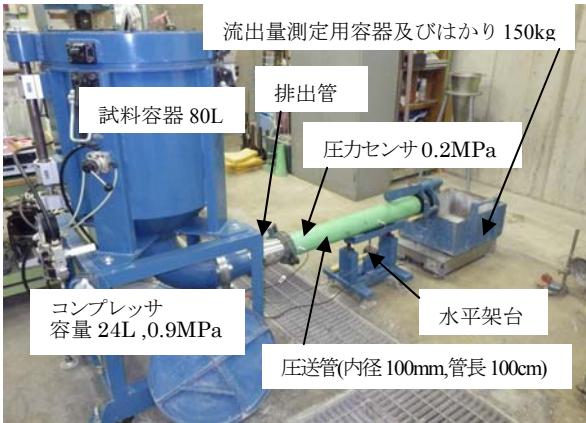


写真-1 管型粘度計

3. 管型粘度計によるレオロジー定数の推定方法

高流動コンクリート及びAEコンクリートの管内流動は、管壁ですべりを伴う塑性流れになっていると仮定し、そのすべり速度(V_R)は、実測流量(Q_A)とビンガム流量

(Q_B)との差を管の断面積で除して求められる。また、管壁と試料との界面が液体摩擦状態にあると仮定すれば、管壁におけるラビング応力(f_R)は、すべり速度に比例することから流量は式(1)となる¹²⁾。

ここに、Q_B:ビンガム流量(cm³/s), η_{pl}:塑性粘度(Pa・s), r_f:栓流半径(cm)(=2Lτ₀/ΔP), τ₀:降伏値(Pa), ΔP/L:圧力勾配(Pa/cm), R:管の内半径(cm), V_R:すべり速度(cm/s), L:管長(cm), α:粘性摩擦係数(Pa・s/cm), A:付着力(Pa)

次に、種々の圧力でコンクリートを管型粘度計内に圧送し、圧力勾配と実測流量とを用いて式(1)からレオロジー定数を求めることを検討した。この場合には、付着力あるいは粘性摩擦係数を事前に定める必要がある。

既往の研究成果によれば、AEコンクリートの付着力は、降伏値との間に1次比例関係が認められ、また降伏値はスランプ値(SL)と密接に

表-1 使用材料(セメント)

種類	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)
普通	3.15	3,150

表-2 使用材料(骨材)

種類	密度(g/cm ³)		単位容 積質量 T(kg/L)	実積 率 G(%)	微粒 分量 A(%)	吸水 率 Q(%)	粗粒 率 F.M
	絶乾 d _a	表乾 d _s					
陸砂	2.58	2.63	1.7	64.6	1.3	2.23	2.56
碎石	2.65	2.67	1.55	58.9	0.42	0.92	6.77

表-3 コンクリートの配合

配合 No.	スランプ・ スランプ フロー (cm)	細骨 材率 (%)	単位粗 骨材絶 対容積 (m ³ /m ³)	単位量(kg/m ³)						
				水 W	セ メント C	混和 材 BFS	細骨 材 S	粗骨 材 G	混和 剤 Ad	増 粘 剤
1	50±5	49.5	0.323	165	330	141	834	862	9.42	0.15
2	60±5	51.7	0.305	170	340	146	857	814	9.72	
3	70±5	53.8	0.287	175	350	150	878	766	10.00	
4	15±2	45.0	0.368	175	350	—	792	983	1.26	
5	18±2	47.0	0.350	180	360	—	818	935	2.26	
6	21±2	48.7	0.335	185	370	—	836	894	3.26	0.15
7	50±5	52.4	0.305	170	340	146	880	809	7.29	
8	60±5								8.75	
9	70±5								9.72	

※コンクリートの種類: AE 及び併用系高流動、Air: 4.5%、W/C: 50%、W/(C+BFS): 35%、
混和剤: ポリカルボン酸エーテル系高性能 AE 減水剤、増粘剤: セルロース系

関係することが明らかとなっている¹⁾。また、高流動コンクリートについては、スランプフロー(SLF)と降伏値とは密接に関係すると言われている³⁾ことから、スランプフロー(SLF)と付着力との関係を示す実験式を定めることにより、流量式(1)について 3 組の圧力勾配と実測流量を用い三元連立に解いて、レオロジー定数を推定することとした。

表-3(No.1~6)に示すそれぞれの配合のコンクリートについて、回転粘度計により求めたレオロジー定数から算定したビンガム流量と実測流量との差を管の断面積で除して求めたすべり速度とラビング応力との関係から粘性摩擦係数及び付着力を求め、これらのうち、付着力とスランプまたはスランプフローとの関係を整理し、実験式(2)及び(3)を定めた。

$$A = -1.01 \times 10^{-1} SL + 2.38 \quad (\gamma = 0.98 ; \text{AE コンクリート}) \cdots \text{式(2)}$$

$$A = -1.76 \times 10^{-2} SLF + 1.31 \quad (\gamma = 0.99 ; \text{高流動コンクリート}) \cdots \text{式(3)}$$

表-4 の右欄に、配合 No.1~6 について、管型粘度計によるレオロジー定数の推定結果を示し回転粘度計による測定値と比較した。その結果、両者の比は $1.0 \pm 0.1 (\pm 10\%)$ 程度と比較的良く一致し、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として活用できる可能性が示された。また、高流動コンクリートにおいて、付着力は AE コンクリートと同様にコンシステンシーによって相違したが、比例定数である粘性摩

表-4 レオロジー定数の試験結果

配合 No.	スランプ・スランプフロー SL・SLF (cm)	回転粘度計		管型粘度計						
		塑性粘度 η_{pl} (Pa·s)	降伏値 τ_f (Pa)	管長 L (cm)	塑性粘度 η_{pl} (Pa·s)	比 η_{pl}'/η_{pl}	降伏値 τ_f' (Pa)	比 τ_f'/τ_f	粘性摩擦係数 α (gf·s/cm ³)	付着力 A (g/cm ²)
1	55.0	458	209	100	502	1.10	190	0.91	0.1263	0.344
2	63.0	223	104		213	0.96	113	1.09	0.0775	0.203
3	74.0	80	60		86	1.08	54	0.90	0.0648	0.010
4	15.0	686	96		652	0.95	99	1.03	0.0649	0.864
5	18.5	622	92		642	1.03	87	0.95	0.0650	0.509
6	22.0	292	73		268	0.92	75	1.03	0.0622	0.155
7	48.0	465	211	50	567	1.22	252	1.19	0.138	0.465
				100	404	0.87	188	0.89		
				150	407	0.88	184	0.87		
8	60.0	236	111	50	188	0.80	88	0.80	0.111	0.254
				100	224	0.95	103	0.93		
				150	255	1.08	119	1.07		
				200	223	0.94	104	0.94		
9	68.5	82	59	50	70	0.85	50	0.85	0.0960	0.104
				100	87	1.06	64	1.08		
				150	76	0.92	55	0.93		

※配合 No.7~9; 管長の相違が試験結果に及ぼす影響

擦係数は、AE コンクリートの場合と異なり、コンシステンシーによって相違している。

4. 管長の相違が試験結果に及ぼす影響

上記の検討方法を確認することを含め、管長の相違が試験結果に及ぼす影響について検討した。この実験に用いたコンクリートの配合は、表-3(No.7~9)に示すように、単位水量を 170kg/m³ と一定にし、高性能 AE 減水剤の添加量を変化させてスランプフローを 3 種類とした。これらのコンクリートについて、管型粘度計の管長を 50, 100, 150 または 200cm に変化させ圧送実験を行った。その結果は表-4 に併記したようであって、管型粘度計により推定した塑性粘度及び降伏値は、回転粘度計による測定値と比して、いずれのスランプフローにおいても管長 100cm 以上では、0.87~1.10 となっており、上記の検討方法の信頼性が確認された。

5. まとめ

今回の実験結果から、管型粘度計は、管壁にすべりを伴う塑性流れの流量式と付着力の実験式を用いることにより、レオロジー定数の推定に活用できる可能性が示された。また、既往の実験¹⁾のような大掛かりな装置を用いずに、管長を 100cm として行った実験は、試験の容易さ及び試験結果に対する信頼性の観点からも実用上問題ないことが確認できた。

なお、今後は実験の繰り返しと種々の配合の圧送実験を行い、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適用範囲及び信頼性をさらに精査するよう計画している。

参考文献

1)土木学会：コンクリートのポンプ施工指針(案) pp.157-164 昭和 60 年 11 月
2)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
3)小門他：数値流体解析による高流動コンクリートのレオロジー定数評価法に関する研究 土木学会論文集 No.648/V-47 pp.109-125,2000.5