

V-117 フレッシュコンクリートのレオロジー定数の推定と配合要素の影響

名城大学 正会員 菊川 浩治

1. まえがき

フレッシュコンクリートの流動、変形の予測技術は、コンクリート施工のシステム化やロボット化を推進するための基本となるもので、その骨子は、（１）種々のコンシステンシーのコンクリートに対する適切なレオロジーモデルの設定、（２）モデルを構成する物性値の把握、（３）解析方法の確立である。

本研究は、（２）に関する研究の一部として、軟練りコンクリートの物性値（塑性粘度と降伏値）の測定法が一般に煩雑で実用上不便であることから、筆者が提案したコンクリートの粘度式¹⁾および降伏値推定式の有用性を確かめたものである。

本研究の実施にあたり、東京都立大学名誉教授、村田二郎博士のご助言を得た。ここに記して謝意を表します。

2. 実験概要

使用材料は比重3.16の普通ポルトランドセメントと比重2.55、粗粒率2.66、実積率0.62の川砂および比重2.59、粗粒率6.94、実積率0.63、骨材最大寸法20mmの川砂利である。なお、粘度測定中の材料分離を防ぐ目的で水溶性高分子エーテルと特殊リグニンの混合物（アクリス12S） 0.5 kg/m^3 と変性リグニン、アルキルアリルスルホン酸および活性持続ポリマー複合物（レオビルドSP-9N） 0.2 l/m^3 を混合し、消泡剤（N0 404） 1% 希釈液 4 kg/m^3 を添加したものを用いた。

レオロジー定数は、二重円筒型回転粘度計を用い、多点法によって測定した。回転粘度計の諸元は、内円筒半径15cm、長さ20cm、外円筒半径20cmである。コンクリートの配合は表1に示すとおりである。

3. レオロジー定数に及ぼす配合要素の影響

表1に示す配合を用いてレオロジー定数に及ぼす配合要素の影響を検討した。図1は、単位セメント量一定の場合であって、水セメント比の増加にしたがって単位水量も増し、スランプが増加するとともに降伏値は減少した。また塑性粘度は水セメント比の増加とともに懸濁質（粗骨材）の体積濃度が次第に減少するため減少傾向を示す。図2は、単位水量一定の場合であって、水セメント比が変化しても降伏値はほとんど変化が見られない。これは

降伏値がコンクリートの静的変形量に密接な関係を持つ物質定数であることを示している。一方、塑性粘度は図2の場合あまり変化が見られないがこれは、懸濁質の体積濃度の変化が小さいためである。

4. レオロジー定数推定

コンクリートの粘度推定法は、セメントペース

表 1 コンクリートのレオロジー定数測定値および推定値

項目	水セメント比 W/C	単 位 量 (kg/m ³)				スランプ (cm)	塑性粘度 (P)		B ₁ /A ₁	降伏値 (gf/cm ²)		B ₂ /A ₂
		セメント C	水 W	細骨材 S	粗骨材 G		測定値 A ₁	推定値 B ₁		測定値 A ₂	推定値 B ₂	
単位セメント量一定	54	380	205	589	1114	12.0	1210	1189	0.98	2.01	2.07	1.03
	56		213	582	1101	14.0	832	902	1.08	1.65	1.74	1.05
	58		220	575	1088	16.5	670	721	1.08	1.50	1.40	0.93
	60		228	568	1075	18.0	512	561	1.10	1.28	1.20	0.94
	62		237	562	1063	19.0	407	450	1.11	1.20	1.11	0.93
単位水量一定	54	407	220	568	1074	16.5	815	746	0.92	1.58	1.40	0.89
	56	393		572	1082	17.0	730	735	1.01	1.62	1.35	0.83
	58	379		576	1089	17.5	675	731	1.08	1.52	1.30	0.86
	60	367		579	1096	18.0	639	718	1.12	1.48	1.20	0.81
	62	355		582	1102	18.0	633	707	1.12	1.45	1.20	0.83

ト、モルタルおよびコンクリートの懸濁媒をそれぞれ水、セメントペーストおよびモルタルとし、次に示すそれぞれの粘度式を順次に用いて行うものとする。

$$\text{セメントペーストの粘度式} \quad \eta_{re} = \frac{\eta}{\eta_o} = \left(1 - \frac{V}{C}\right)^{-\alpha} V^{\beta} \phi^{\gamma} \quad (1)$$

ここに、 η_{re} ：セメントペーストの相対粘度、 η ：セメントペーストの塑性粘度（P）、 η_o ：水の粘性係数 1.002cP (20°C)、 C ：セメントの実積率（ $C=0.55$ ）、 V ：セメントの体積濃度、 ϕ ：セメントの粉末度（フレン比表面積）(cm²/g) α, β, γ ：実験定数、 $\alpha=1.00$ 、 $\beta=-1.03$ 、 $\gamma=0.08$ 。

$$\text{モルタル及びコンクリートの粘度式} \quad \eta_{re} = \frac{\eta}{\eta_o} = \left(1 - \frac{V}{C}\right)^{-(a_1 \mu + b_1)} \quad (2)$$

ここに、式（2）をモルタルに適用する場合、 η_{re} ：モルタルの相対粘度、 η ：モルタルの塑性粘度（P）、 η_o ：セメントペースト（懸濁媒）の塑性粘度（P）、 C ：細骨材の実積率、 V ：細骨材の体積濃度、 μ ：細骨材の粗粒率 a_1, b_1 ：実験定数、 $a_1=-0.57$ 、 $b_1=3.40$ 。

式（2）をコンクリートに適用する場合、 η_{re} ：コンクリートの相対粘度、 η ：コンクリートの塑性粘度（P）、 η_o ：モルタルの塑性粘度（P）、 C ：粗骨材の実積率、 V ：粗骨材の体積濃度、 μ ：粗骨材の粗粒率、 $a_1=-0.89$ 、 $b_1=9.31$ 。

降伏値とスランプとの関係は理論的に定式化されているが、やや煩雑で実用的でないので、次に示す実験式を用いて降伏値を推定した。

$$\tau_f = a_2 \log SL + b_2 \quad (3)$$

ここに、 SL ：スランプ（cm）、 a_2, b_2 ：実験定数、 $a_2=-4.83$ 、 $b_2=7.29$ 。

また、粗骨材の最大寸法20mm以下で適当な粒度の川砂を用いた場合には、単位水量と降伏値との間に次の関係が認められるので、適用範囲が限定されるが、この関係式を用いて降伏値を推定できる。

$$\tau_f = \left(\frac{1}{\alpha} \cdot \frac{W}{G_{max}}\right)^{1/\beta} \quad (4)$$

ここに、 W ：単位水量 (kg/m³)、 G_{max} ：粗骨材最大寸法（mm）、 α, β, γ ：実験定数、 $\alpha=1.00$ 、 $\beta=-0.31$ 、 $\gamma=1.85$ 。

上記の式（2）、（3）を用いて推定したコンクリートのレオロジー定数の推定値は実測値とよく一致し、推定値と実測値の比で示すと塑性粘度の場合0.92~1.12、平均1.06変動係数6.6%、降伏値の場合0.81~1.05、平均0.91、変動係数8.8%であった。

参考文献

(1) 菊川：土木学会論文集、第414号、V-12、pp 109~118、1990。

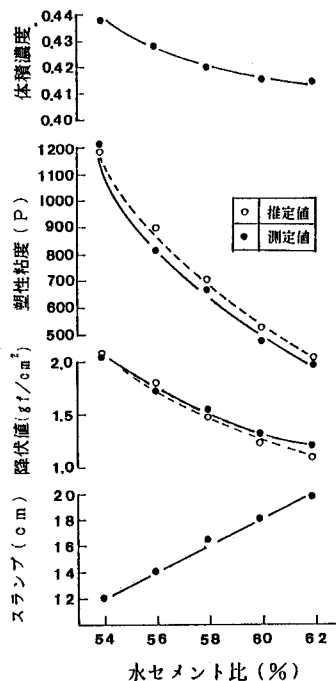


図1 水セメント比とコンクリートのレオロジー定数及びスランプ等との関係（単位セメント量一定の場合）
W/C = 54~62%, s/a = 35%, C = 380 kg/m³

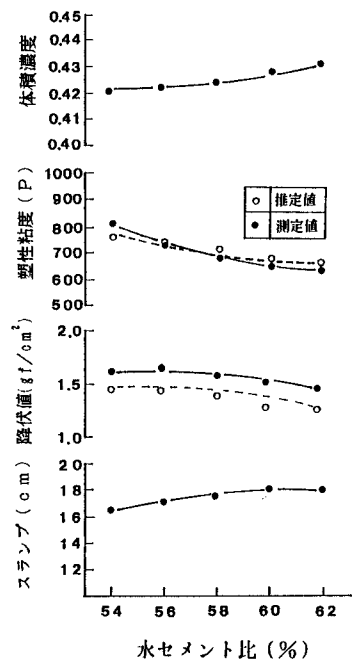


図2 水セメント比とコンクリートのレオロジー定数及びスランプ等との関係（単位水量一定の場合）
W/C = 54~62%, s/a = 35%, W = 220 kg/m³