

正会員 岡本 寛昭 (舞鶴工業高等専門学校)

1. まえがき

フレッシュコンクリートのワーカビリティーは運搬・打込みやすさの程度、および材料分離に抵抗する程度で示される性質で、セメントや骨材等の材料特性、配合、温度等によつて変化する極めて複雑多様な性質である。これらをレオロジー的性質と関連づけると、大略、次のようにならる。

$$\begin{cases} \text{運搬・打込みやすさの程度} & \rightarrow \text{粘性} \rightarrow \text{降伏値}, \text{塑性粘度} \\ \text{材料分離に抵抗する程度} & \rightarrow \text{凝集性} \rightarrow \text{凝集力(粘着力)} \end{cases}$$

従つて、降伏値、塑性粘度および粘着力を測定することができるれば、現在、主に経験技術者の目視によつて判断されているコンクリートのワーカビリティーを定量的に評価することができると考えられる。

最近、内外の研究者によつて、回転粘度計や球引き上げ型粘度計等の種々のレオメーターを用ひてフレッシュコンクリートのレオロジー的研究が盛んに行われてゐるが、それらの結果はコンクリートが非ニュートン流動であり、大体によつてビンガム流動として近似できることを示してゐる。スランプ試験は簡便な試験であるため、現在、広く用ひられてゐるが、このスランプ値はビンガム流動体における降伏値と最も関連する性質であり、塑性粘度とは明確な関連が認められないと報告されてゐる¹⁾。また、三軸試験等によるセト断試験によつて、粒状体としての粘着力および内部摩擦角が存在することを明らかにして研究もよるが、このうち、粘着力は材料分離のより指標となることが示されている²⁾。

現在までに開発された種々のレオメーター(あるいは試験装置が大きめで、試験時間も長く、現場コンクリートへの適用が困難であると思われ、現場によつて簡易に降伏値や塑性粘度や粘着力が測定できる試験装置の開発が必要であると考えられ、また、その機運も高まつてゐる。

以上の観点から、本研究は球並びにプレートからなる引き上げ抵抗試験を提案し、それを用ひてフレッシュコンクリートのワーカビリティーを評価することを目的として、基礎的研究を行つた。実験対象としてはコンクリートは、(1)コンシスティンシーが比較的大きいコンクリートにおいて、細骨材率を変化させた場合、(2)高性能減水剤を用ひたコンクリートの場合、である。

2. 引き上げ抵抗試験2-1. 球引き上げ抵抗 ビンガム流動体中にある球の抵抗力 F は次式で表わされる。

$$F = 4\pi r^2 \tau_f + 6\pi r \nu h_{pl} \quad (1)$$

ここで、 r : 球の半径、 ν : 流動速度、 τ_f : 降伏値、 h_{pl} : 塑性粘度

$\nu = \nu_1$ のとき、球の抵抗力 F_1 は図1を参照して次のようになる。

$$F_1 = F_y + F_p = 4\pi r^2 \tau_f + 6\pi r \nu_1 h_{pl} \quad (2)$$

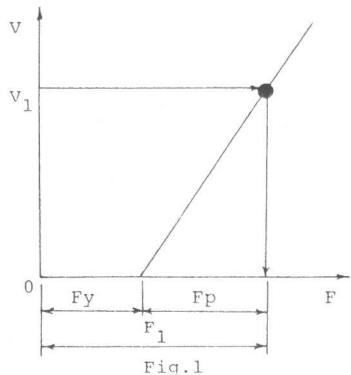
ある一定引き上げ速度 ν_1 に亘り ν_1 抵抗力は降伏値 F_y による抵抗力 F_y と塑性粘度 h_{pl} による抵抗力 F_p との合算値 F_1 によって示され、適当な引き上げ速度であれば、両者を区別する必要はない、との重ね合わせた合算値でも、て、各種コンクリートの粘性を表わす指標となるものと考えられる。

2-2. プレート引き上げ抵抗 フレッシュコンクリート中にあはるプレートを引き上げるととき、その抵抗力 P は図2を参照して次のようにならる。

$$P = P_s + wV \quad (3)$$

$$P_s = C \pi H (B + \tan \theta) \quad (4)$$

$$V = \frac{\pi H}{3} \left(\frac{3}{4} B^2 + \frac{3}{2} BH \tan \theta + H^2 \tan^2 \theta \right) - \frac{\pi}{4} D^2 H \quad (5)$$



$$C = \frac{P - wV}{\pi H(CB + \tan \theta)} \quad (6)$$

ここで、 P_s :せん断抵抗応力による鉛直合力、
 V :a,b,c,d塊の体積、 w :コンクリートの
 単位重量、 C :粘着力、 θ :すべり角、 B :プレート底版幅、 H :コンクリートの深さ。

従て、一定引き上げ速度であれば、プレート引き上げ抵抗試験によて簡単に粘着力 C を測定することができる。これによてコンクリートの材料分離に抵抗する程度の指標が表わせると考えられる。

2-3. 引き上げ抵抗試験装置およびその試験方法

引き上げ抵抗試験装置の概要是写真1および写真2に示し、装置の寸法は表1に示すとおりである。球およびプレート引き上げ抵抗試験は同一容器中の試料で連続して行えるように工夫した。抵抗力量はロードセル(容量500kgf)を用いて、抵抗力へ時間関係をレコーダーに記録させた。試験手順は次に示すようである。(1) 球・プレートがセメントされていける容器中へ試料となるコンクリートを一定高さまで詰め、締固め、表面を均らす。(2) 先ず、最初に球引き上げ抵抗試験を行う。(3) 引き続き、球引き上げ試験にて乱されたコンクリートを再度締固め、表面を均し、プレート引き上げ抵抗試験を行う。(4) 球引き上げ抵抗値 w およびプレート引き上げ抵抗値 P を記録紙から読み取る。

3. 実験方法

実験に用いたセメントは普通ポルトランドセメントであり、細骨材は川砂(表乾比重2.60, FM 2.90)で、粗骨材は碎石(表乾比重2.80, 最大寸法20mm)である。コンクリート練り混ぜは可搬式ミキサーで3分間とし、球引き上げ試験における締固めは容器周辺をバイブレーターにより、入念に締固めた。試験は各ベッキにつき3回行い、コンクリート練り混ぜ後30分内で終了するようにした。

球引き上げ抵抗およびプレート引き上げ抵抗試験のそれとの代表的な抵抗力～時間関係は図3および図4に示すとおりである。曲線の形状は各試験によつて異なるが、抵抗力の最大値は明確に表され、本研究にみつけては最大抵抗力のみ問題とした。なお、容器中にみつけるコンクリート深さは、4.(S/aの変化)の場合が $H=10cm$, 5.(高性能減水剤)の場合が $H=20cm$ としている。

4. 細骨材率を変化させたコンクリートのワーカビリティー

W/C および単位水量 W を一定として表2に示す配合の条件で

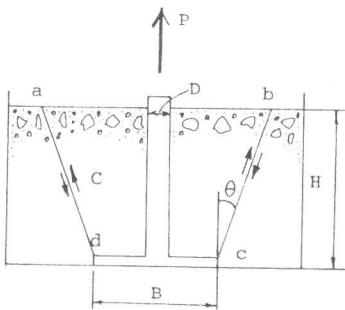


Fig. 2

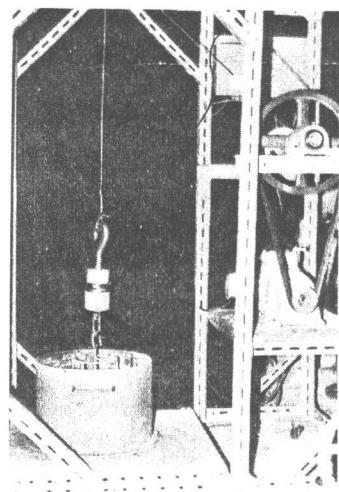


Photo.1 Apparatus

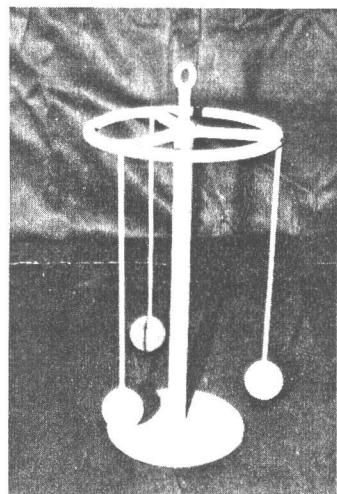


Photo.2 Ball & Plate

Table 1

Ball	Steel $\phi 30mm$, 3 pieces
Plate	Steel $B=110mm$ $H=100mm$ $H/B=0.91$ $D=12mm$ $H=200mm$ $H/B=1.82$
Vessel	Steel $\phi 350mm$
Velocity of Uplift	$0.92cm/sec$

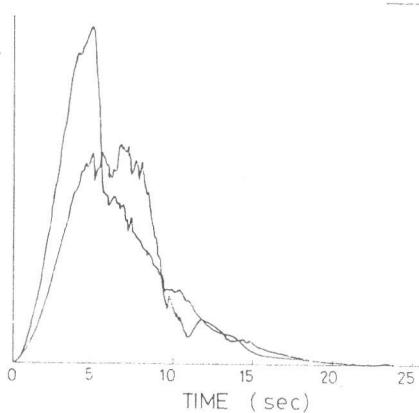


Fig. 3 Ball

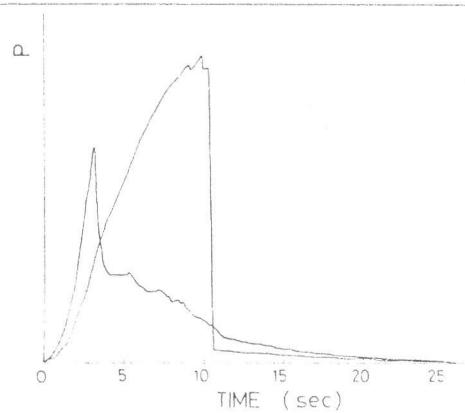


Fig. 4 Plate

細骨材率 S/a を変化させたコンクリートのワーカビリティーについて検討を行なったものである。その結果は図5(スランプ値), 図6(球引き上げ抵抗力F)および図7(プレート引き上げ抵抗力P)に示すとおりである。これらの図から次のことがわかる。

S/a が0~46%の範囲ではスランプ値および球引き上げ抵抗力はほとんど変化がない。たゞ、 $S/a=100\%$ (モルタル)の場合には大差があることを示した。プレート引き上げ抵抗力は S/a が大きすぎても、小さすぎても小さくなり、 $S/a=42\sim 44\%$ において最大値を示した。球引き上げ抵抗力はスランプ値と同様性があり、プレート引き上げ抵抗力の場合も同様性を示さない。以上のことから、本実験の範囲内に次のことが考えられる。

セメントペースト分が一定の濃度のままだと、粘性、すなわち「運搬・打込みやすさ」はモルタルの場合が最も悪く、 S/a が46%以下になると、ほぼ一定であることを示したが、これは S/a が46%以下ではコンクリートの粘性はセメントペーストの軟度によって支配されやすくなると思われる。

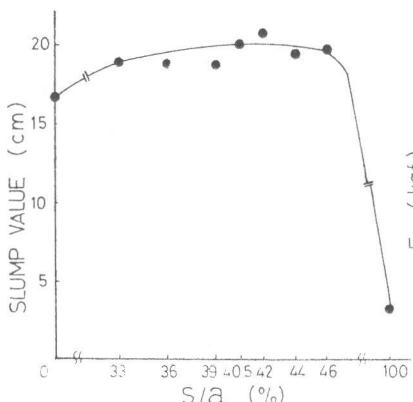


Fig. 5 Slump

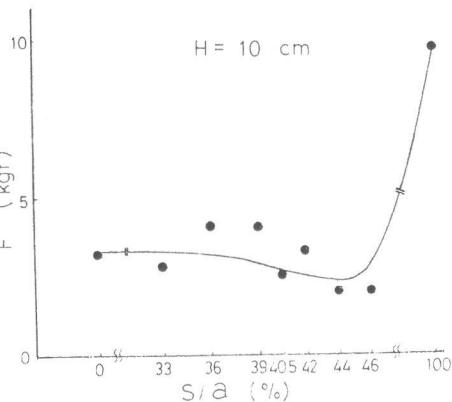


Fig. 6 Ball

		TABLE 2			
W/C (%)	S/a (%)	W	C	S	G
50	0	175	350	0	1999
	33	175	350	613	1339
	36	175	350	668	1279
	39	175	350	724	1219
	40.5	175	350	752	1189
	42	175	350	780	1159
	44	175	350	817	1119
	46	175	350	854	1079
	100	175	350	1556	9

		TABLE 3			
W/C (%)	S/a (%)	W	C	F	G
30	48	100	333	998	1127
	46	120	400	992	1147
	42	140	467	785	1147
	39	160	533	678	1147
	35	180	600	573	1147
	30	200	667	463	1147

H = 10 cm

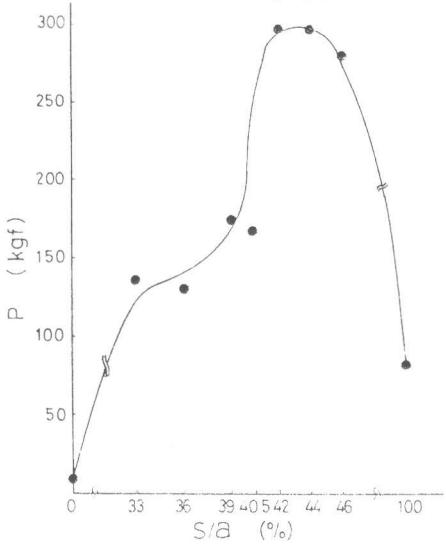


Fig. 7 Plate

一方、粘着力、すなわち「材料分離」は S/a が大きくなると小さくなると分離しやすく、粘着力の最大値、すなわち、最も分離し難い最適細骨材率があることを示した。粘着力がある S/a に対してピークを示すことの理由は、コンクリート中の粗骨材粒子をモルタル分から分離させて、モルタル内部に保持されたための粗骨材の材料特性に応じて最適粒度が存在することによると考えられる。 S/a の変化に対して粘性よりも粘着力の方が鋭敏な変化を示し、プレート引き上げ抵抗試験の有効性が認められた。

5. 高性能減水剤を用いたコンクリートのワーカビリティー

高性能減水剤を用いた高強度コンクリートはフレッシュコンクリートの状態で特異なレオロジー特性を示すがこのようなコンクリートのワーカビリティーについて検討を行なった。高性能減水剤として高強度用減水剤(NL-400セメント相当30cc使用)を用いた。実験に用いた配合は表3に示すとおりであり、単位水量を100~200kg/m³に変化せしめ、実験結果は図8(スランプ値)、図9(球引き上げ抵抗力F)および図10(プレート引き上げ抵抗力P)に示すとおりである。これらから、本実験の範囲内で次のことがわかる。

球引き上げ抵抗力は単位水量が多くなるほど、小さくなり、スランプ値は単位水量が増大すると大きくなる傾向を示し、球引き上げ抵抗力とスランプ値との関連性が認められた。プレート引き上げ抵抗力Pは単位水量が増大すると小さくなる傾向があり、W=120~160 kg/m³の範囲では変化がない。

以上のことから、単位水量を多くすると粘性が小さくなり軟らかくなるが、粘着力が小さく、

材料分離しやすさと「運搬・打込みやすさ」と「材料分離し難さ」の2つの相反する性質は球並みにプレート引き上げ抵抗力を用いて、コンクリートの施工条件に応じた両者のつりあいを考へることで、適切なコンクリートのワーカビリティーを評価することができると思われる。

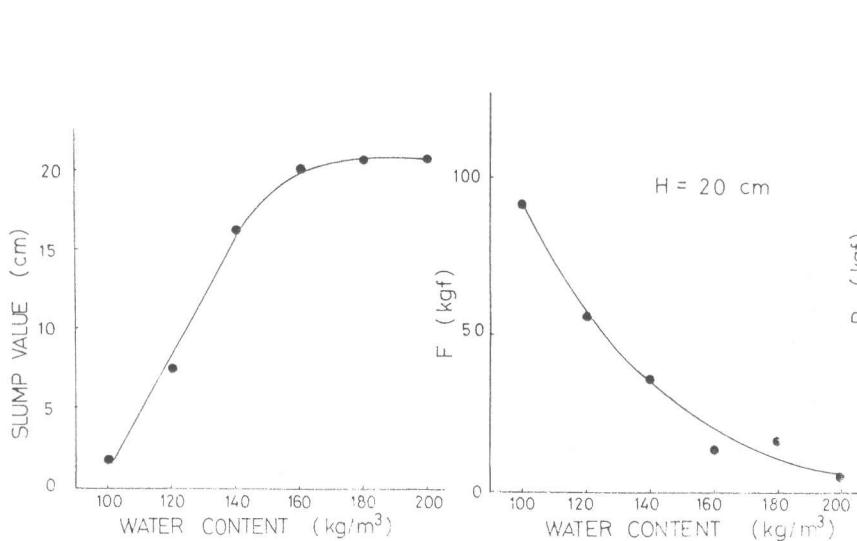


Fig. 8 Slump

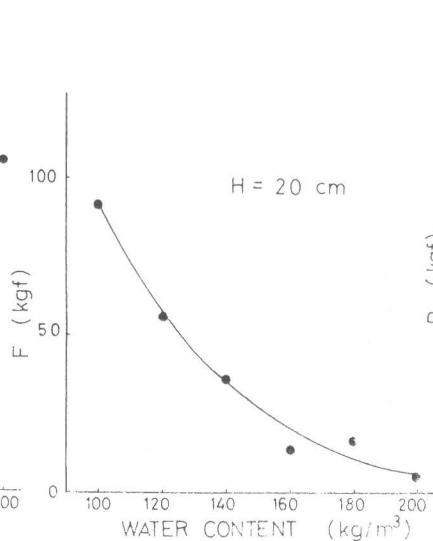


Fig. 9 Ball

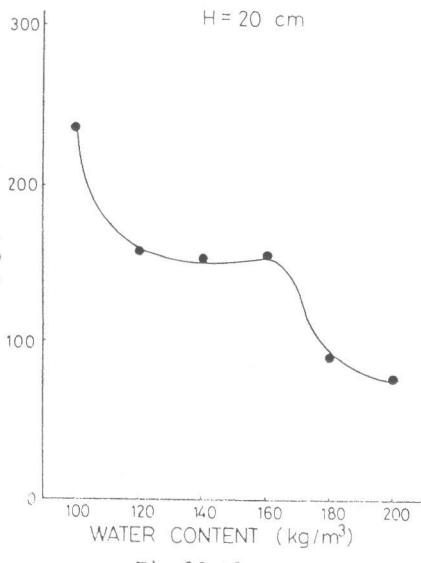


Fig. 10 Plate

6. まとめ

本研究の範囲内で次のことがわかった。

- (1) コンクリートのワーカビリティーを運搬・打込みやすさの程度と材料分離に抵抗する程度の2つに分け、それらを球引き上げ抵抗試験によって粘性の指標を、プレート引き上げ試験によって粘着力をそれぞれ簡単に測定することができ、これらを用いてコンクリートのワーカビリティーが定量的に評価できる可能性を示した。
- (2) η/η_0 の変化に対して、粘性よりも粘着力や鉛直変化を示した。
- (3) 高性能減水剤を用いたコンクリートのワーカビリティーは単位水量が増加すると球引き上げ抵抗力は小さくなり運搬・打込みやすくなるが、プレート引き上げ抵抗力、すなわち粘着力は小さくなり材料分離しやすくなることを示した。
- (4) スラブ値は球引き上げ抵抗力と関連性があるか、プレート引き上げ抵抗力とは関連性が認められなかた。

謝辞

本研究を御指導頂いた東京都立大学 村田二郎教授に深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 村田、また国よりないうコンクリートのレオロジー的性質の活用、セメントコンクリート、No. 312, 1973
- 2) 横口、村田、小林、コンクリート工学(I)施工、pp 87-90、朝国社、1976、