

[25] コンクリートのワーカビリティ 評価法に関する基礎研究

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、次のように考えられる。

{ 運搬・打込みやすさの程度 → 粘性 → 降伏値, 塑性粘度  
 { 材料分離に抵抗する程度 → 凝集性 → 凝集力(粘着力)

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い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いるが、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、大体においてビンガム流動として近似できることを示している。スランプ試験は簡便な試験であるため、現在、広く用いられているが、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いる<sup>1)</sup>。また、三軸試験等によるせん断試験によつて、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た研究もあるが、このうち、粘着力は材料分離のよい指標となる<sup>2)</sup>ことが示されている。

現在までに用いられた種々のレオメーター(はいすれも試験装置が大がかりで、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、現場におい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用であると考えられ、また、その機運も高まっている。

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、それを用いてフレッシュコンクリートのワーカビリティを評価することを目的として、基礎的研究を行った。実験対象としたコンクリートは、(1)コンシステ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)高性能減水剤を用い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。

$$F = 4\pi r^2 \tau_y + 6\pi r \nu \eta_{pl} \quad \text{---(1)}$$

ここで、r: 球の半径、 $\nu$ : 流動速度、 $\tau_y$ : 降伏値、 $\eta_{pl}$ : 塑性粘度

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

$$F_1 = F_y + F_p = 4\pi r^2 \tau_y + 6\pi r \nu_1 \eta_{pl} \quad \text{---(2)}$$

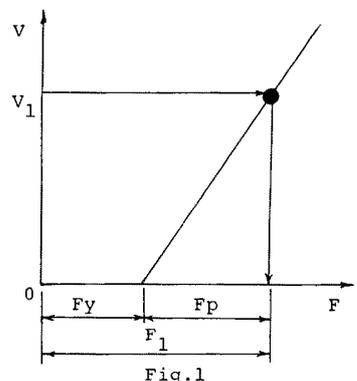
ある一定引き上げ速度 $\nu_1$ における抵抗力は降伏値 $\tau_y$ による抵抗力F<sub>y</sub>と塑性粘度 $\eta_{pl}$ による抵抗力F<sub>p</sub>との合算値F<sub>1</sub>によつて示され、適当な引き上げ速度であれば、両者を区別する必要はなく、その重ね合わせた合算値 $F_1$ によつて、各種コンクリートの粘性を表わす指標となるものと考えられる。

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るプレートを引き上げるとき、その抵抗力Pは図2を参照して次のように示される。

$$P = P_s + \omega V \quad \text{---(3)}$$

$$P_s = C \pi H (B + \tan \theta) \quad \text{---(4)}$$

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



$$C = \frac{P - \omega V}{\pi H (B + \tan \theta)} \quad \text{---(6)}$$

ここで、 $P$ :せん断抵抗応力による鉛直合力、  
 $V$ : a, b, c, d 塊の体積、 $\omega$ :コンクリートの  
 単位重量、 $c$ :粘着力、 $\theta$ :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  
 測定する事が可能であり、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。

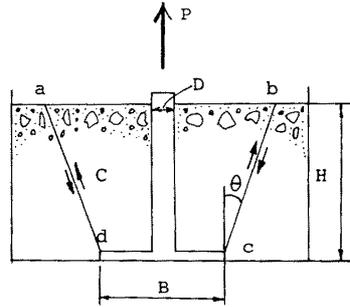


Fig. 2

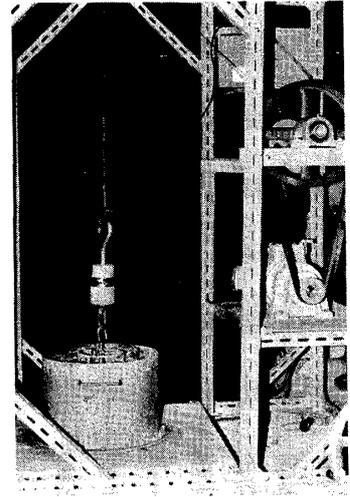


Photo.1 Apparatus

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観は写真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  
 の試料と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50kgf)  
 を用いて、抵抗力~時間関係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・プレートがセットされてい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、球引き上げ試験によ、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 $F$ およびプレート引き上げ抵抗値 $P$ を記録紙から  
 読みとる。

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傾式ミキサーで三分間とし、両引き上げ  
 試験によ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。  
 試験は各バッチにつき3回行い、コンクリート練り混ぜ後30分以内で  
 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ぞれの代  
 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、て異なるが、抵抗力の最大値は明瞭に表わ  
 れ、本研究においてはその最大抵抗  
 力値のみ問題とした。なお、容  
 器中に与えるコンクリート深さ  
 は、4.( $\theta/a$ の変化)の場合が $H=$   
 $10\text{cm}$ , 5.(高性能減水剤)の場  
 合が $H=20\text{cm}$ とした。

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

$W/C$ 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

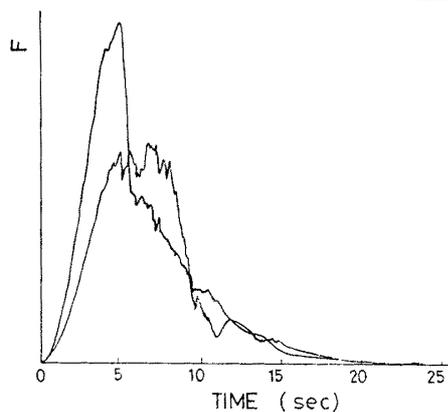


Fig. 3 Ball

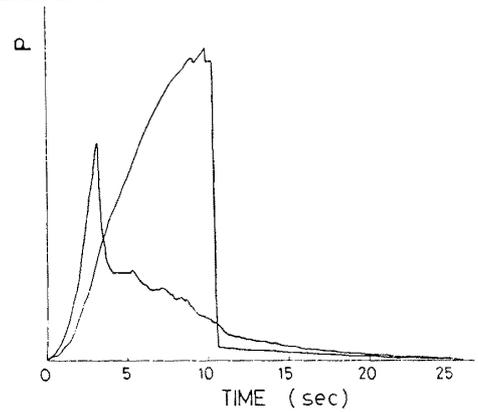


Fig. 4 Plate

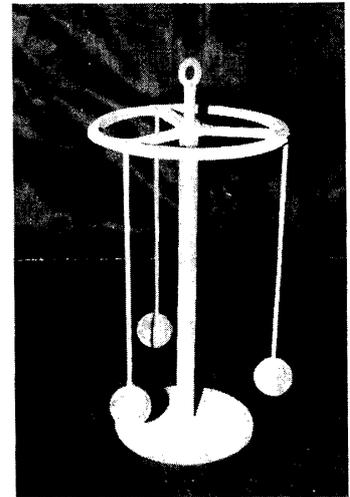


Photo.2 Ball & Plate

Table 1

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

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について検討を行ったものごである。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いえる。

$S/A$ 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が、 $F$ が、 $S/A=100%$ (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 $S/A$ が大きくなるにつれて、小さくなる傾向がみられ、 $S/A=42\sim44\%$ 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関連性があり、プレート引き上げ抵抗力の場合には関連性を示さなかつた。以上のことから、本実験の範囲内で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もとでは、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るものと思われる。

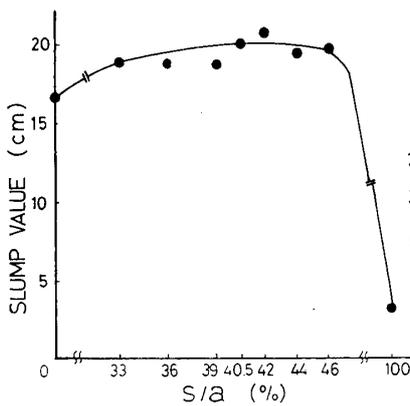


Fig. 5 Slump

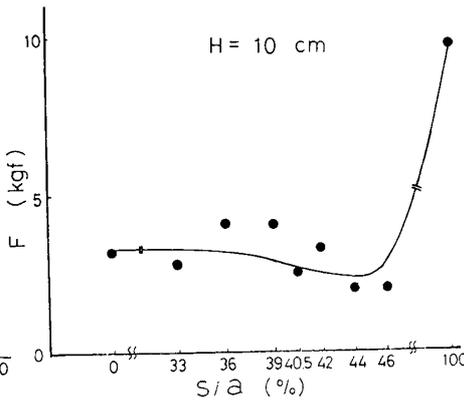


Fig. 6 Ball

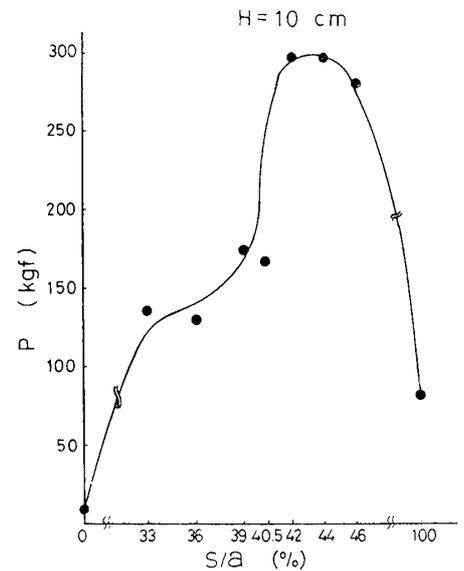


Fig. 7 Plate

一方、粘着力、すなわち「材料分離」は $S/A$ が大きくなるにつれて小さくなる傾向がみられ、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原因は、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ないで、モルタル内部に保持させるための粗骨材の材料特性に応じた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顕著な変化を示し、プレート引き上げ抵抗力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

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が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について検討を行った。高性能減水剤として高強度用減水剤(NL-400 20%相当)30cc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/m<sup>3</sup>に変化させた。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いえる。

球引き上げ抵抗力は単位水量が多くなる程、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、 $W=120\sim160$  kg/m<sup>3</sup>の範囲では変化がなが、 $F$ が、

以上のことから、単位水量を増やすと粘性が小さくなり軟らかいコンクリートとなるが、粘着力が小さく、

TABLE 2

W/C (t)	S/A (t)	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	1856	0

TABLE 3

W/C (t)	S/A (t)	W	C	S	G
30	48	100	333	998	1147
	46	120	400	892	1147
	42	140	467	785	1147
	39	160	533	678	1147
	35	180	600	573	1147
	30	200	667	463	1147

材料分離しやういという従来からいわれていることを確認した。「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合いを考えることで等価なコンクリートのワーカビリティを評価することは可能になると考えられる。

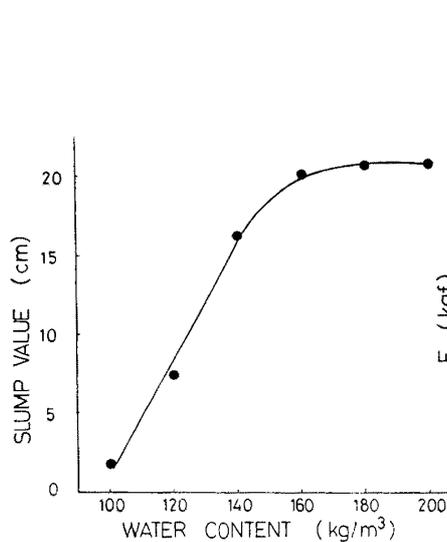


Fig.8 Slump

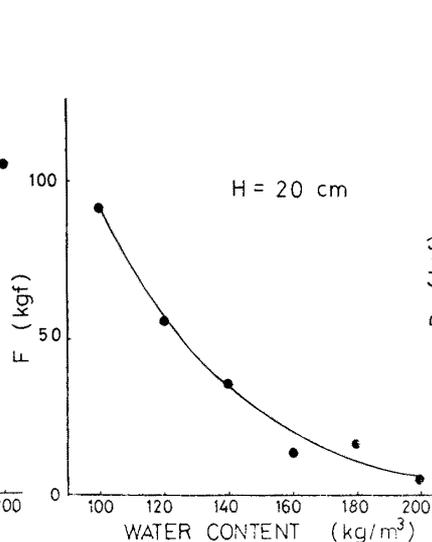


Fig.9 Ball

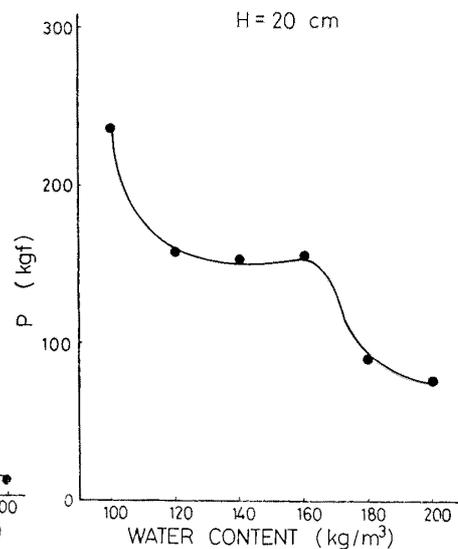


Fig.10 Plate

## 6. まとめ

本研究の範囲内で次のことがいえる。

(1) コンクリートのワーカビリティを運搬・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、それぞれを球引き上げ抵抗試験により、粘性の指標を、プレート引き上げ試験により、粘着力をそれぞれ簡易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が定量的に評価できる可能性を示した。

(2)  $S/a$  の変化に対して、粘性よりも粘着力が鋭敏な変化を示した。

(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・打込みやすいが、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ういことを示した。

(4) スラウ値は球引き上げ抵抗力と関連性があるが、プレート引き上げ抵抗力とは関連性が認められなかった。

## 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; 不固まらない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) 樋口, 村田, 小林; コンクリート工学(工施工), pp87-90, 朝倉社, 1976,