

徳島大学 正 員 水口裕之

1. まえがき フレッシュコンクリートの性質を知ることは、合理的な設計施工を行い、経済的に良い品質のコンクリートを得るために必要であるが、現在この性質を適確に把握しているとはいえない。

本研究は、フレッシュコンクリートの性質を明らかにする研究の一環として行ったもので、本実験においては、フレッシュコンクリートをビンガム物体と仮定し、モルタルと粗骨材とからなる二相材料と考え、マトリックスとしたモルタルの性質を一定にしてインクルージョンとした粗骨材の混合割合を変えて、レオロジー定数すなわち塑性粘度および降伏値を平行板プラストメーターで測定し、配合要因とレオロジー定数との関係より、フレッシュコンクリートの複合機構について定性的な説明をするための基礎的資料を得ようとしたものである。

2. 実験の概要 測定の対象とした配合は、表-1に示す117種類とし、配合要因は、フレッシュコンクリートをモルタルと粗骨材とからなる二相材料と考えたため、モルタルの性質を変化させるためにはW/CおよびC/Sを使用し、粗骨材の混合割合としては、全コンクリート容積中の粗骨材の容積割合 $v_g$ を用いた。

レオロジー定数を測定するのに使用した平行板プラストメーターは、比較的硬い試料に適するもので、図-2および図-3に示すようなものとした。ビンガム物体に対する平行板プラストメーターの理論は、図によって導かれており次式で表される。 $\dot{\gamma} = \frac{1}{\eta_{pl}} (z - z_y)$ 、ここで、 $\dot{\gamma} = \frac{qr}{2A^2} \frac{dh}{dt}$ 、 $t = \frac{3AF}{\pi r^3}$ 、 $\eta_{pl}$ ；塑性粘度、 $z_y$ ；降伏値、 $r$ ；試料の高さ、 $r$ ；平板の半径、 $F$ ；平行円板（試料）に載荷する定荷重、 $t$ ；時間である。ただし、試料と平板の間にはすべりはなく、試料高さ $r$ と試料の直径 $2r$ との比 $\frac{r}{2r}$ は10以下である必要がある。

したがって、平行円板間にセットした試料に一定荷重を載荷し、その時の試料高さの時間的变化を測定し、これらより $\dot{\gamma}$ および $t$ を計算し、図-1のようにプロットし図上より塑性粘度 $\eta_{pl}$ および降伏値 $z_y$ を求めた。

なお、平行円板の直径は30.60および80cmとし、試料高さの測定は、0.84秒間隔で約6秒まではモータードライブ式のカメラで記録し、その後30秒までは3秒間隔、1分までは10秒間隔で目視して行った。

セメントは、普通ポルトランドセメント（比重3.15、ブレン値3,170 $\text{cm}^2/\text{s}$ ）を用い、細骨材としては、F.M.2.96の川砂、

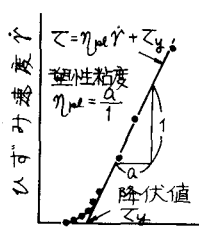


図-1 ビンガム物体の流動曲線および平行板プラストメーターによる測定例

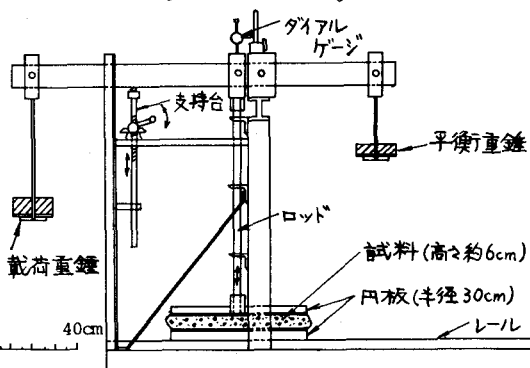


図-2 平行板プラストメーター

表-1 配合要因および測定範囲

| C/S<br>W/C<br>$v_g$ | 1/2  |      |      |      |      |      | 1/3  |      |      |      |      |      |      |      | 1/4  |      |      |      |      |      |  |  |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|--|
|                     | 0.35 | 0.40 | 0.45 | 0.50 | 0.55 | 0.60 | 0.45 | 0.50 | 0.55 | 0.60 | 0.65 | 0.70 | 0.75 | 0.55 | 0.60 | 0.65 | 0.70 | 0.75 | 0.80 | 0.85 |  |  |
| 0.00                | •    | •    |      |      |      |      | •    | •    | •    | •    |      |      |      | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    |  |  |
| 0.05                | •    | •    |      |      |      |      | •    | •    | •    | •    |      |      |      | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    |  |  |
| 0.10                | •    | •    |      |      |      |      | •    | •    | •    | •    |      |      |      | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    |  |  |
| 0.15                | •    | •    | •    |      |      |      | •    | •    | •    | •    | •    |      |      | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    |  |  |
| 0.20                | •    | •    | •    | •    |      |      | •    | •    | •    | •    | •    | •    |      | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    |  |  |
| 0.25                | •    | •    | •    | •    | •    |      | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    |  |  |
| 0.30                |      | •    | •    | •    | •    | •    |      | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    |  |  |
| 0.35                |      | •    | •    | •    | •    | •    |      | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    |  |  |
| 0.40                |      |      | •    | •    | •    | •    |      | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    |  |  |
| 0.45                |      |      | •    | •    | •    | •    |      | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    |  |  |
| 0.50                |      |      |      | •    | •    | •    |      | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    | •    |  |  |

注) • 測定範囲(たもの)

粗骨材としては、最大寸法15mm, F.M. 643の砂岩碎石を使用した。  
 練りませは、容量50lの強制練りミキサーを用い、全材料投入後3分間練りませた。試料の温度は、練りませ水の温度を $\pm 20^{\circ}\text{C} \pm 2\text{deg}$ になるように管理した。測定は注水後15分以内に終るようにし、温度および経過時間による影響は無視した。

各配合については、日を変えて2回測定し、試験値は平均とした。

3. 実験結果および考察 (1) 平行板プラストメーターによる測定結果  
 フレッシュコンクリートをビンガム物体と仮定し、平行板プラストメーターで測定した結果は、図-1のようになり、完全なビンガム流動は示さない。しかし、図にみられるようにビンガム流動に近く、第1次近似としては、ビンガム物体と仮定することができると考えられ、本実験では図-1に示すように直線部分の勾配の逆数より $\eta_{rel}$ , 2軸との切片より $\tau_y$ を求めた。

(2) 平行円板半径のレオリジー定数に与える影響  
 試料高さがあまり小さいと骨材のかき合わせなどの原因によって、測定したレオリジー定数が不正確になることが考えられる。

円板(試料)半径を表-2に示すように、すなわち、大体の試料高さを3, 6および8cmとした同じ試料についてこの結果の一例はこの表のようになり、本実験では直径60cmのものを用いた。

(3) 粗骨材の容積率 $N_g$ とレオリジー定数との関係

図-4および5に示す $C/S = 1/3$ の場合の $N_g$ と $\eta_{rel}$ および $\tau_y$ との関係は、 $N_g$ が大きくなると $\eta_{rel}$ ,  $\tau_y$ ともに大きくなっている。この傾向は、 $C/S = 1/2$ および $1/4$ の場合も同様である。 $N_g$ に対する $\eta_{rel}$ および $\tau_y$ の増加割合が変化する $N_g$ が図にみられるように存在するようであり、フレッシュコンクリートのレオリジー定数の発生機構すなわち複合機構が変化する $N_g$ があるように思われる。

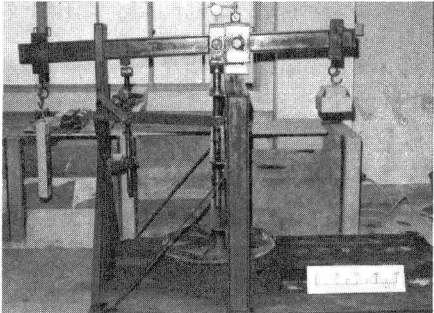


図-3 測定中の平行板プラストメーター

表-2 円板半径とレオリジー定数との関係

| 平行円板半径 (cm) |        | 15                   | 30  | 40   |      |
|-------------|--------|----------------------|-----|------|------|
| W/C=0.6     | vg=0.0 | $\eta_{rel}$ (kPa.s) | 29  | 25   | 28   |
|             |        | $\tau_y$ (kPa)       | 410 | 420  | 370  |
| C/S=1/3     | vg=0.3 | $\eta_{rel}$ (kPa.s) | -   | 210  | 230  |
|             |        | $\tau_y$ (kPa)       | -   | 3000 | 2900 |

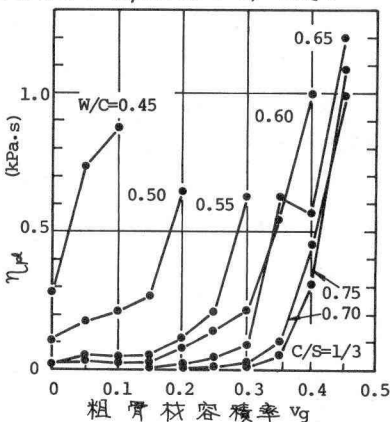


図-4  $N_g$ と $\eta_{rel}$ との関係

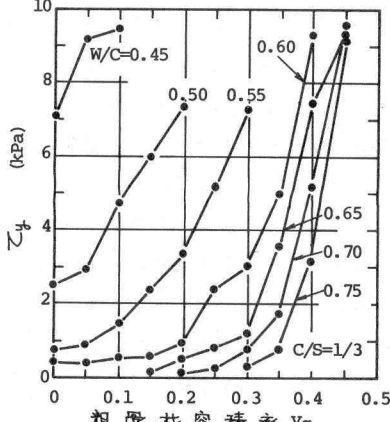


図-5  $N_g$ と $\tau_y$ との関係

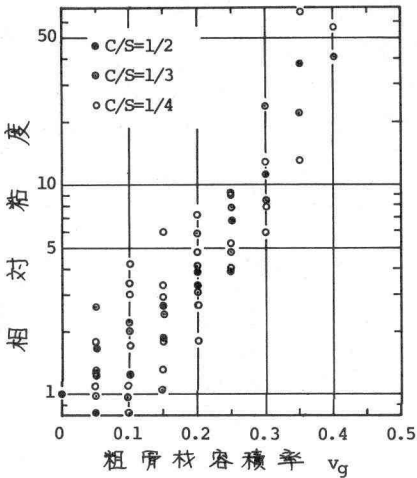


図-6  $N_g$ と相対粘度との関係

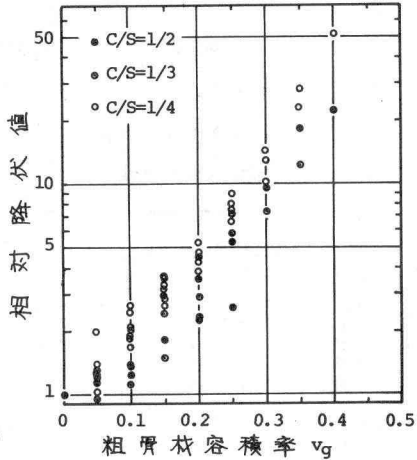


図-7  $N_g$ と相対降伏値との関係

また、 $\eta_g$ の影響は $\eta_{rel}$ の元に大きく、 $\eta_g$ の $\eta_{rel}$ および $Z_g$ の発生機構に及ぼす影響は異なることも考えられる。

(4) 粗骨材容積率 $\eta_g$ と相対粘度および相対降伏値との関係 二相材料においては、その材料のレオロジー量とベースとなるマトリックスのレオロジー量との比、すなわち粘度の場合は相対粘度という概念が使われており、同様の考え方で相対降伏値を求め、 $\eta_g$ とこれらの対数での関係を図-6および7に示す。図にみられるように、バラツキはかなり大きい、モルタルの配合要因に関係なく、 $\eta_g$ が増加するにつれて相対粘度および相対降伏値はともにある幅をもってほぼ直線的に増加しており、第1次近似としては、フレッシュコンクリートモルタルと粗骨材とからなる二相材料と考えられる。

しかし、相対粘度については、相対降伏値よりもバラツキが大きく、また、2回の測定値の差もかなりあるものもあり、 $\eta_{rel}$ の測定精度には若干問題点が残っているとも考えられる。

(5) 骨材の全容積割合 $\alpha$ とレオロジー定数との関係 本実験においては、フレッシュコンクリートモルタルと粗骨材とからなる二相材料と考え、図-4~7のような整理を行ったが、図-4および5においてのレオロジー量の増加割合の変化する $\eta_g$ が、 $C/S$ と $W/C$ によって異なること図-6および7をもっと詳しく見れば $C/S$ によって相対粘度や相対降伏値が異なっていることなどより、フレッシュコンクリートをベースと骨材とからなる二相材料と考え、骨材の全容積割合 $\alpha$ と $\eta_{rel}$ および $Z_g$ との関係は、図-8および9のようになり、 $C/S$ が違えば同一 $W/C$ のペーストをマトリックスとするコンクリートの $\eta_{rel}$ および $Z_g$ は大きく異なっており、このような二相材料とは考えられないうである。

(6)  $Z_g$ と $\eta_{rel}$ との関係 複合機構を説明する一つの手がかりになると考えられる $Z_g$ と $\eta_{rel}$ との関係は、図-10のようになり、測定した配合の範囲は表-1に示すようにかなり広いものであるが、図にみられるように、 $Z_g$ と $\eta_{rel}$ とは完全に独立には変化できないようである。しかし、同じ $Z_g$ に対しての $\eta_{rel}$ の最大のもものと最小のものとは2~3倍の範囲になっており、この差が実際の施工においてどの程度の意味を持つかは今後検討しなければならず、 $\eta_{rel}$ の測定精度をも考慮すると、はっきりした結果は出せないと思われる。

4. まとめ 本実験の範囲で得られた結果をまとめると、第1次近似としては、フレッシュコンクリートモルタルと粗骨材とからなる二相材料とし、ビニガム物体とすることができると考えられる。また、その複合機構は、 $\eta_g$ をパラメーターとして考察することができると考えられ、機構が変化する $\eta_g$ が存在すると思われる。今後この観点からの定量的な面も含めた研究を進めて行く予定である。なお、本研究を行うにあたり京都大学岡田清教授、徳島大学志木謙一教授よりご指導いただきましたことに感謝いたしますとともに、48年度吉田研究奨励金および49年度文部省科学研究費を受けたことを付記し、謝意を表します。

参考文献

1) 岡田清, 材料, Vol. 12, pp. 314-316, 1963-5.

参考 1 kPa = 10.2 g/cm<sup>2</sup>  
1 Pa = 10 poises

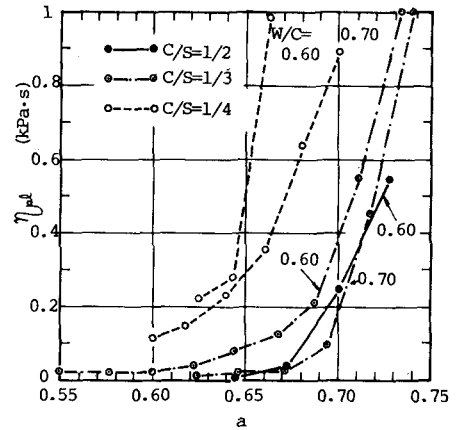


図-8 骨材の容積割合 $\alpha$ と $\eta_{rel}$ との関係

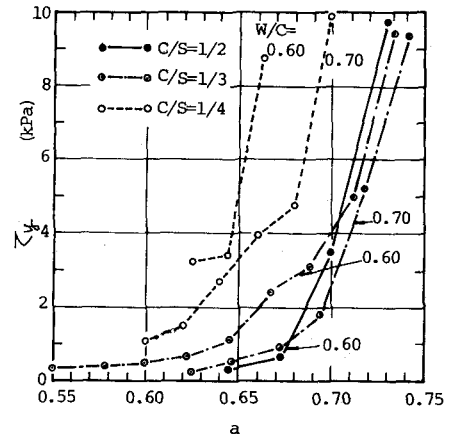


図-9 骨材の容積割合 $\alpha$ と $Z_g$ との関係

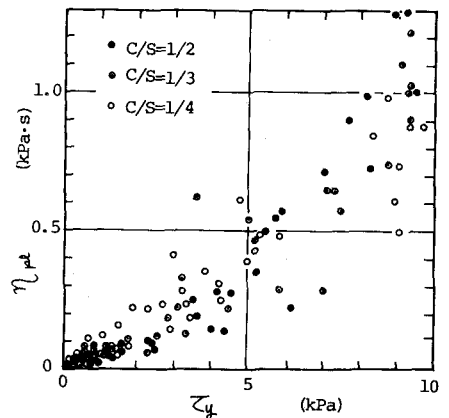


図-10  $Z_g$ と $\eta_{rel}$ との関係