

東京都立大学 正員 村田二郎

1 まえがき

ワーカビリティ、コンシステンシー、フィニッシュビリティなどの未だ固まらないコンクリートの性質は、それぞれ定義づけがなされているが、実体は極めて複雑であって、これらを適格に評価することは難しい。従来硬化したコンクリートの諸性質については応用力学の助をかりて可成り解析が進んでいる。これと同様にまだ固まらないコンクリートの諸性質の解析にもある大系づけられた学問の力をかりることが必要である。ワーカビリティ、フィニッシュビリティなどの複雑な性質をより明確に理解し、さらにこれをコンクリート施工の合理化に活用できるようにするためには、未だ固まらないコンクリートのレオロジー的性質に着目し、レオロジーの力をかりることが最も有力な手段と考えられる。

本文は まだ固まらないコンクリートの諸性質のレオロジー解析に関する2, 3の考察を述べると共に、レオロジー解析を進めるうえに最初に問題となるレオメーターの機能、設計について述べている。

2. コンクリートの流動曲線

流動現象を応力ひずみ速度関係で示したものを流動曲線（コンシステンシー曲線）という。流動曲線には、

図1に示すように原点を通るものと、 τ 軸上の点から出発するものがある。これらのうち、線型のものをそれぞれNewton流動及びBingham流動という。これらのレオロジー基礎式は Newton 流動 $\tau = \eta \dot{\gamma}$ ---- (1)

$$\text{Bingham 流動 } \tau = \eta_{pl} \dot{\gamma} + \tau_f \text{ ---- (2)}$$

ここに η : 粘性係数, η_{pl} : 塑性粘度, τ_f : 降伏値

流動曲線を求めるには粘度試験を行なう。未だ固まらないコンクリートの粘度試験には二重円筒型回転粘度計を用いるのが適切である。

回転粘度計によって求めた典型的なコンクリートの流動曲線を図2に示す。図2において、 τ_f は流動開始応力（降伏値）、 τ_b

図1 各種流体のコンシステンシー曲線

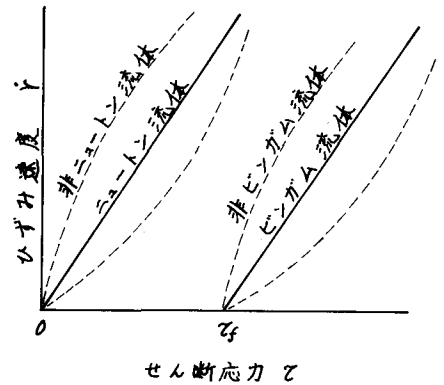
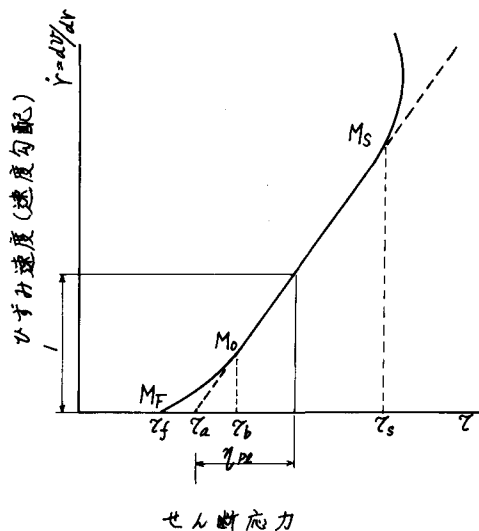


図2 回転粘度計によるコンクリートのコンシステンシー曲線



は全試料流動開始応力で、(図3参照)全試料が流動を始めたのちは流動曲線は線形を呈する。従って未だ固まらないコンクリートはビンカム体と見なすことができる。この回転系に基礎式(2)を適用する。すなわち $M = 2\pi r h \tau$, $\dot{\gamma} = d\dot{\Omega}_i / dr$

$$M/2\pi r h = r d\dot{\Omega}_i / dr + \tau_f \text{ ----- (3)}$$

$\dot{\Omega}_i$: ω - τ の角速度

$$\tau_f \leq \tau \leq \tau_b \quad r_{pl} \dot{\Omega}_i = \frac{M}{4\pi h} \left(\frac{1}{R_o^2} - \frac{1}{r_n^2} \right) - \tau_f / n \frac{r_n}{R_o} \text{ ----- (4)}$$

$$r_n = \sqrt{\frac{M}{2\pi h \tau_f}}$$

$$\tau \geq \tau_b \quad r_{pl} \dot{\Omega}_i = \frac{M}{4\pi h} \left(\frac{1}{R_o^2} - \frac{1}{R_i^2} \right) - \tau_f / n \frac{R_i}{R_o} \text{ ----- (5)}$$

また τ_b は直線部から外れるときの応力であって、 τ_b 以後の曲線の形、試料コンクリートの状態から判断して、コンクリートが分離を始めるときの応力と考えることができる。

3. 未だ固まらないコンクリートの諸性質のレオロジー解析

(1) 最適細骨材率, 最適細骨材率はVB試験によって判定でき

るか 硬練りコンクリートに限られる。 η_{pl} , τ_f はコンクリートの流動抵抗を示す数量であるから、これらによっても A/a の適正値を定められると考えられる。図4は単位セメント量を一定とし、スランパを一定に保ちながら A/a を変化させたときの流動特性を示したものである。 η_{pl} の最小値から A/a の適正値を容易に判定できるが A/a が増加すると η_{pl} は再び減少する。これはコンクリートを高濃度サスペンションと考えたときの溶媒量(モルタル)の減少が η_{pl} を低下させるものと考えられる。 τ_f はスランパと密接は関係がある。

(2) フィニッシャビリティ

フィニッシャビリティを数量的に示すことは極めて困難である。 τ_f はコンクリート面にズレ力を与えたときの降伏応力である。ならし仕上けはコンクリート表面にズレ力を与えることとなるから、 τ_f が小さい程仕上けが容易になると考えられる。一般的に言って、フィニッシャビリティのよいコンクリートとは、

図3 二重円筒式回転粘度計 (内円筒回転型)

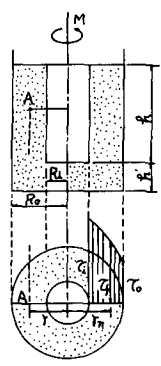
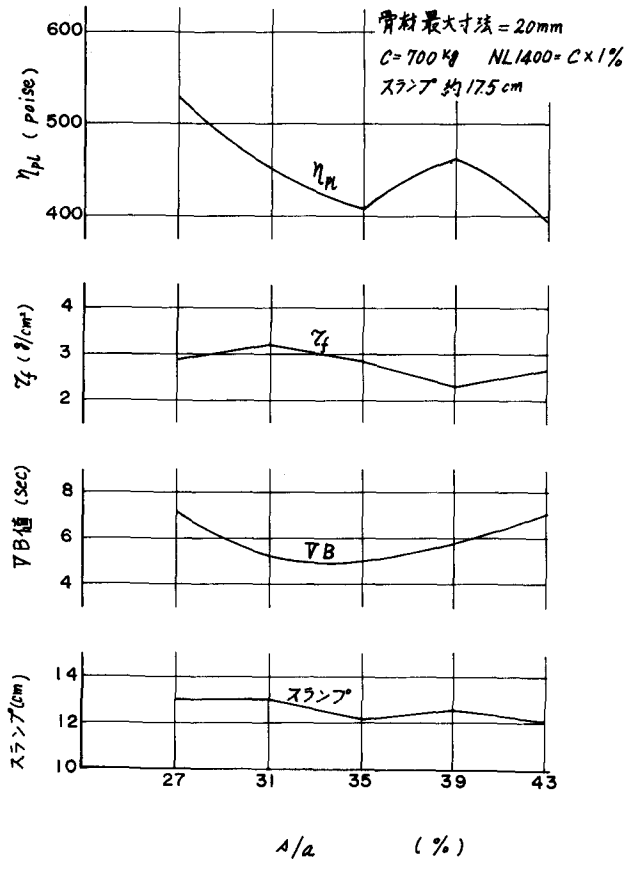


図-4 A/a と η_{pl} , τ_f , VB値およびスランパの関係



仕上げが容易でかつ分離の少ないもの、流動曲線では図5の④線であらせよう。

フィニッシュビッチー改善剤を用いたモルタルの τ_f , η_{pl} の試験値は図6のようであって、配合を同じくした減水剤使用モルタル及びプレーンモルタルにくらべて τ_f は小さく、 η_{pl} は幾分大となっている。

(3) ポンパビッチー ポンプによって輸送管内を圧送されるコンクリートは、駆動力をうけるビンガム体の管内流れと同様に考えることができる。

図7を参照して $\Delta P R^2 = 2\pi R L \tau$ $\tau = \Delta P \frac{R}{2L}$ ---- (6)
レオロジー基礎式(2)を適用する。

$$\eta_{pl} \frac{dV}{dr} = \frac{\Delta P r}{2L} - \tau_f \text{ ---- (7)}$$

境界条件 $r = R \quad V = 0$

$$V = \frac{1}{4L} \left[\frac{\Delta P}{4L} (R^2 - r^2) - \tau_f (R - r) \right] \text{ ---- (8)}$$

流量は図8を参照して

$$r \leq r_0 \text{ (せん断部)} \quad Q_0 = \frac{\Delta P R^2}{4L \eta_{pl}} r^2 (R - r_0)^2 \text{ ---- (9)}$$

$$r_0 = \tau_f \frac{2L}{\Delta P}$$

$$r_0 \leq r \leq R \quad Q = \frac{\Delta P R^2}{4L \eta_{pl}} \left[R^2 \left(1 - \frac{4}{3} \left(\frac{\tau_f L}{\Delta P R} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{\tau_f L}{\Delta P R} \right)^3 \right) \right] \text{ ---- (10)}$$

管内流量は η_{pl} に逆比例し、 τ_f の影響は比較的少ない。従って、骨材の架橋作用を無視すれば、ポンパビッチーは主として η_{pl} に支配されるから、各種配合要素と η_{pl} の関係について検討することが必要である。図9は配合要素と η_{pl} との関係の例であって、 η_{pl} は配合要素が変ればスランプが一定の場合でも変化している。すなわち η_{pl} はコンクリートの軟度とは直接関係なく、セメントペーストの量や濃度などの配合要素に支配されるものであって、サスペンションの粘性と同様に取扱うことができる。

4 レオロジー解析の問題点

未だ図まもないコンクリートのレオロジー解析の研究は緒についたばかりで、前記(1), (2), (3)なども今後の研究課題である。中でもオーに検討を要す

図5 フィニッシュビッチーとコンシステンシー曲線

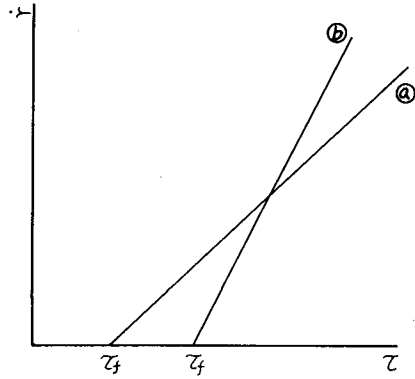


図6 フィニッシュビッチー改善用減水剤を用いたモルタルの τ_f および η_{pl}

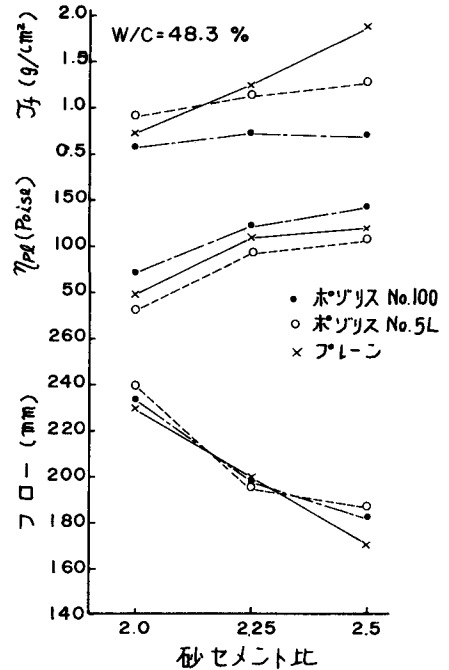


図7

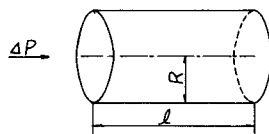


図8 ビンガム体の管内流速分布

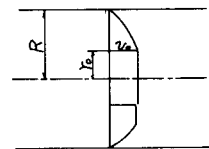


図-9 水セメント比と η_{pl} および τ_f との関係

るのは測定

装置である。

試作した回

転粘度計に

よる実験結

果から粘度

計の設計に

ついて次の

事から明らか

となった。

(1)内外

円筒の径及

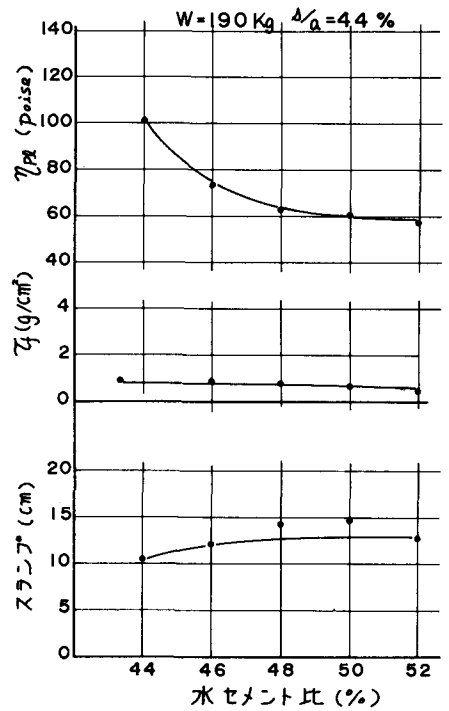
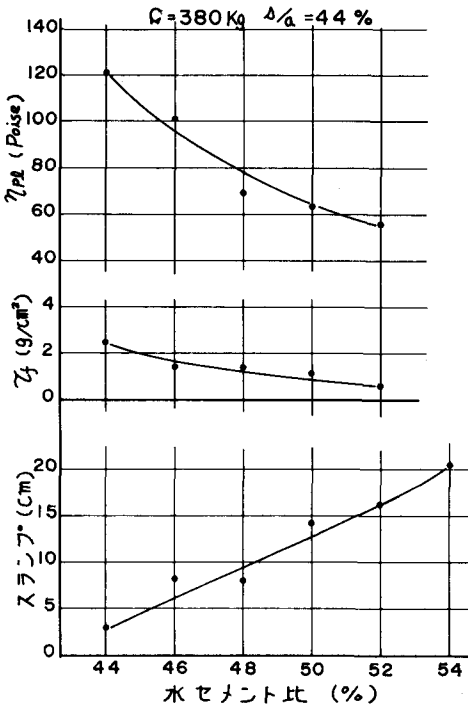
び長さ

$$l = R_0 - R_i \geq 3\theta$$

--- (11)

θ :粗骨材の

最大寸法



$$\frac{M_2}{M_0} = \left(\frac{R_i}{R_0}\right)^2 \frac{\tau_s}{\tau_f} \gg 1, \quad \frac{R_i}{R_0} \gg \sqrt{\frac{\tau_s}{\tau_f}} = 0.577 \text{ --- (12)} \quad \tau_s \approx 3\tau_f$$

$R \geq 25 \text{ mm}$ として、 $l \geq 8 \text{ cm}$ の場合の R_i , R_0 の所求寸法を図10に示す。

ロータ底面と容器底面とは回転円板粘度計を構成するから、ロータ端部に吸収トルクが存在する。

吸収トルクと全トルクの比は次式で与えられ、 h が長い程 Me の影響は少い。しかし h を大にすると試

$$Me/M = \left\{ \frac{1}{8} \frac{R_i}{h} \frac{R_i}{h} + \frac{1}{6} \frac{R_i}{h} \frac{\tau_f}{\Omega R_{pl}} \right\} / \left\{ \frac{1}{\Omega R_{pl}} \left[\frac{1}{R_i/R_0} - 1 \right] \left[1 - \frac{\tau_f}{\Omega R_{pl}} \ln \frac{R_i}{R_0} \right] \right\} \text{ --- (13)}$$

料コンクリート量が多くなり分離もしやすい。それでロ

ータ端部にスリッパ材を挿入して、 $Me \approx 0$ とし、 h は任

意長さとするのが得策である。

(2)所要のトルク及び回転数

流動開始トルク: $M_f = 2\pi R_i h \tau_f$, 全試料流動開始トルク:

$M_0 = 2\pi R_0^3 h \tau_f$, 分離点トルク: $M_s = 2\pi R_i^3 h \tau_s$ から計算できる。

スランプ2cm程度のコンクリートで、 $\tau_f = 5 \text{ g/cm}^2$, $\tau_s = 16.5 \text{ g/cm}^2$

である。

回転数は回転系のレオロジー方程式(5)より

$$\text{角速度 } \dot{\Omega}_i = \frac{1}{2} \frac{\tau_s}{\Omega_{pl}} \left[\left(\frac{R_i}{R_0} \right)^2 - 1 \right] - \frac{\tau_f}{\Omega_{pl}} \ln \frac{R_i}{R_0} \text{ --- (14)}$$

$$\text{回転数 } N = \frac{\dot{\Omega}_i}{2\pi} \times 60 \text{ rpm}$$

$$R_i/R_0 = 0.6 \quad \dot{\Omega}_i = 13.6 \quad N = 130 \text{ rpm}$$

図10 内外円筒の寸法

