

○ 鳥取大学 工博 西林 新蔵
鳥取大学 工博 木山 英郎
鳥取大学 工修 阪田 憲次

1 まえがき

最近、河川産骨材の涸渇に伴ない砕石がコンクリート用骨材として広く使用されるようになり、さらに構造物の軽量化、大型化に対処するために人工軽量骨材コンクリートの使用も急激に増大しつつある。これらのコンクリートは、一般に、粒形の良い川砂利を用いたコンクリートに比してワーカビリティの劣ることが認められ、それを改善する種々の方策が採られている。一方、新しい施工手段としてポンプを利用したコンクリートの打設法が採られるようになった。ポンプはコンクリート運搬の手段に過ぎないが、現状では、とくに建築現場では、ポンプで圧送する^のに^の適当なコンクリートも、選ぶことに主眼点が置かれ、安易に単位水量を増加してスランプの大きいコンクリートが用いられる傾向にある。コンクリートは、本来構造物の設計条件から要求される品質のものを配合設計から決められるべきものである。従って、ポンプの性能に合わせてコンクリートの性質を変化させることなどは全く誤りであって、どのような品質のコンクリートでも輸送できる性能のポンプを開発することこそ本来の姿であると考えられる。コンクリートをポンプの性能に合わせるなどの行為は、フレッシュコンクリートの性質が十分把握されていない点にも原因があり、コンクリート工学に携わる者はこの点に関して大いに反省しなければならない。

一般にフレッシュコンクリートの性質は、*workability*, *consistency*, *finishability* などの用語で表わされ、土木学会はコンクリート標準示方書において、*workability* は *consistency* による打込み易さの程度および材料の分離に抵抗する程度、*consistency* は水量の多少による軟らかさの程度を示すものと定義している。コンクリートの *consistency* を評価する代表的な試験方法の一つであるスランプ試験は、流動性物質の変形に対する抵抗性を求めるものであるが、この変形に対する抵抗性は物質の粘性、弾性、塑性さらには破壊形式などに関連し、スランプ現象に支配的な影響をおよぼす要因について十分な検討が加えられているとはいえない。

フレッシュコンクリートの性質を正確に評価するためには、単に変形量や変形時間を測定するだけでは不十分で、質量、時間、長さの単位を用いてレオロジー的に考察を加える必要があると考えられる。フレッシュコンクリートのレオロジー的考察の方法としては、(i)フレッシュコンクリートにある外力を与えた場合の可動性は、降伏と粘性をもつ一種のビンガム材料の流れを示すと仮定して、その粘性と降伏値をレオロジー量として採り上げて考察する方法、(ii)三軸圧縮試験によって内部摩擦角と粘着性を求め、これらを特性値としてレオロジー的に考察する方法、(iii)直接せん断試験によって、せん断力、摩擦角、粘着性を求めて考察する方法等がある。さらに上述した方法によって求めたレオロジー量の時間的变化、ダイラタンシー、チキソトロピーなどの現象、コンクリート中の空げき、骨材の性質などの影響についても考察を加え、フレッシュコンクリートの性質を総合的に検討する必要がある。

ある。本研究は、フレッシュコンクリートの諸性質のうち、レオロジー的に考察しうる流動と変形に対する抵抗性を採り上げ、これをレオロジー的諸因子を用いて量的に表わし、これをコンクリートの *workability*、とくに *consistency* や *flowability* との関係や、材料の諸性質との関係等を明らかにするために計画した。この研究計画の予初めとして、先ずセメントペーストあるいはモルタルのレオロジー的諸特性値を求めるために粘度計を試作し、この装置の特性を検討するとともにペースト、モルタルに対して予備的試験を実施した。ここでは、これらの結果について述べる。

2 粘度計 (Rotation Visco-meter) の試作

二つの同心円筒の隙間に液体を入れて外筒、内筒を夫々 Ω_o, Ω_i の異なる角速度で同方向に回転させる (Fig. 1)。円筒の隙間が小さく、かつ流速が遅ければ隙間内には円筒状の液層が重なったような回転型の層流が起り、液体には速度勾配が生ずる。この場合ずり速度 ($\dot{\epsilon}_t$) に対応した粘性応力 $P_t (= \eta \dot{\epsilon}_t)$ が生ずると考えられる。内筒の半径、外筒の半径を夫々 R_i, R_o 、内筒の長さを l 、液内の任意の二液層の半径を夫々 $r, r+dr$ とする。定常状態になったとき、 dr なる長さの円筒殻の内外における粘性カッフリ合いを考え、任意の位置 ($r=r$) におけるトルクモーメントを M 、粘性係数を η とすると、次式が計算される。(但し、ニュートン液体と仮定)

$$\eta = M / 4\pi l (\Omega_o - \Omega_i) \left(\frac{1}{R_i^2} - \frac{1}{R_o^2} \right) \quad (1)$$

つぎに、Fig. 2 のようにクエット型の流れを考える。いま、針金が θ だけ回転して定常状態になったとすると、針金の受けたモーメントは、 $M = K\theta$ (K : ねじり常数 dyne cm/radian)、また $\Omega_o = \Omega$ 、 $\Omega_i = 0$ であるから (1) は

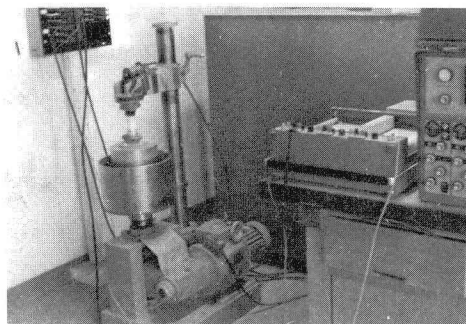
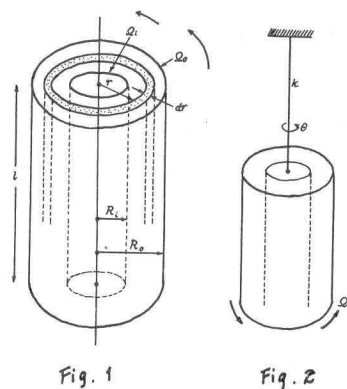
$$\eta = K\theta / 4\pi l \Omega \left(\frac{1}{R_i^2} - \frac{1}{R_o^2} \right) \quad (2)$$

となる。すなわち、一定の角速度 Ω で外筒を回転させたときのねじり角 θ を測定すれば、液体の粘性 η が求まる。なお、ビンガム物体の場合には、粘性率変数として内壁面 ($r=R_i$) における、ずり応力 P とずり速度 V の関係を用いるとよい。すなわち

$$P = M / 2\pi l R_i^2, \quad V = 2/R_i^2 \cdot \Omega / \left(\frac{1}{R_i^2} - \frac{1}{R_o^2} \right), \quad \eta = P/V \quad (3)$$

上述した原理に基づき試作した回転粘度計の概要を Fig. 3 に示す。この装置の諸量は、外筒と内筒の隙間: 5 cm、内筒半径 (R_i): 10 cm、外筒半径: 15 cm、各円筒の高さ (l, l'): 10 cm、試料と円筒が接する高さ: 0 ~ 20 cm (可変)、外筒の回転速度 (Ω): 0 ~ 1 rad/sec (無段変速モーターで可変) トルク M は中空円筒上端のアルミニウム検知部 (ひずみ計を縦軸に対して各 45° 方向に 2 枚、2 箇所貼布し、これを直列につないで X Y レコーダに接続) で検出、この際の (3) における P および V は、 $P \approx 137 \text{ E (dyne/cm}^2\text{)}$ 、 $V = 3.6 \Omega \text{ (sec}^{-1}\text{)}$ となる。

なお、内筒底面摩擦の影響、回転加速度の影響は Fig. 3 The general view of the original model of rotation viscometer



予備実験で検討し、その結果、円筒の底面を外筒のそれから2 cm離し、ガフ回転加速度は0.1 rad/sec/secとした。

3 実験計画

フレッシュコンクリートの性質をシロロジ的に究明するため、先ずペーストとモルタルを対象にした基礎実験を行った。実験計画を表-1に示す。ペーストの配合は、セメント量を一定にし、 $\%$ を5%おきに25~50%に選び、モルタルは、4種類(S, N, L, U)の骨材に対し、 $\%$ (一定)と $\%$ の組合わせおよび $\%$ (一定)と $\%$ の組合わせのそれぞれの場合について配合を決定した。試験は各試料に対し、試作回転粘度計によるP, Vおよび

降伏値の測定、JIS R-5201規定のフローテーブルによってフローコーンを持上げた際のスランプ $^{\circ}$ 、と試料のひろがり(静定フロー値FL)および15回の落下を与えた際のフロー値(FL₁₅)を測定した。なお、試料の時間的変性を考慮に入れて、1回の試験は20~30分間で完了することにした。

4 測定結果および考察

(1) ずり応力P (Shear stress)とずり速度V (Shear rate)との関係

測定結果のうちペーストと普通骨材(S, N)を用いたモルタルの測定値について考察を加える。図-4はペースト、図-5, 6はモルタルのP~V曲線を描いたものである。PとVとの関係を詳しく観察すると、P軸に対してゆるい凹の曲線を呈するものが多く、これはチキントロピーを示しているが、ここでは直線関係が成立すると仮定して最小自乗法で直線の定数を求め、勾配の逆数を粘性率 η 、直線がP軸をきる点を降伏値 τ_0 とした。ペーストにおいては、 $\%$ が大きくなるに従って勾配が大きくなり、 η および τ_0 は共に小さくなる。また、モルタルにおいてもペーストと同様の傾向が見られ、とくに $\%$ が大きくなると直線からのバラツキが大きくなり、さらに η の小さいものは τ_0 が大きく現われる傾向が見られた。

(2) 粘性スランプおよびフロー値との関係

図-7にはスランプ(SL)とフロー値(落下運動後のフロ

Table.1 Testing plans and conditions

Testing elements	Testing conditions
I Cement paste Water cement ratio (%)	25 ~ 50 (varied at every 5%)
II Mortar	
(1) Kinds of aggregate	Standard (S), River (N), Pelletized type A.L.A. (L) and Coated type A.L.A. (U)
(2) Water cement ratio and cement sand ratio	S, N { $\%$ = 1/1 : $\%$ = 30 ~ 50 $\%$ = 1/2 : $\%$ = 40 ~ 60 ($\%$ are varied at every 5%) L, U { $\%$ = 1/1 : $\%$ = 35 ~ 35 $\%$ = 2/3 : $\%$ = 45 ~ 65
(3) $\%$ and $\%$	$\%$ = 30 : $\%$ = 20 ~ 40 ($\%$ are varied at every 10%) $\%$ = 40 : $\%$ = 30 ~ 50 $\%$ = 50 : $\%$ = 40 ~ 60
III Testing items	Viscosity, Slump, Flow (static state) and Flow (due to shock)

Fig.4 Relations between shear rate and shear stress in paste

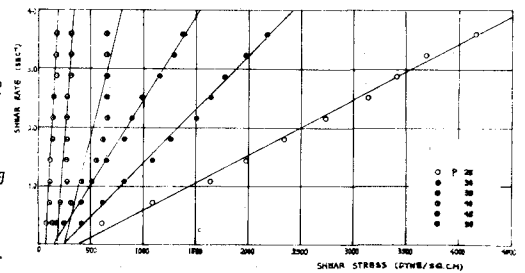
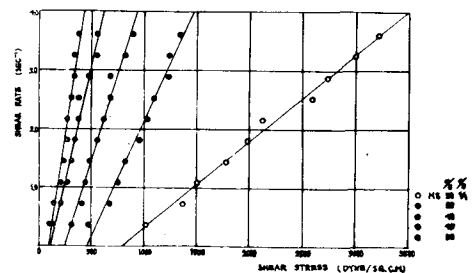


Fig.5 Relations between shear rate and shear stress in mortar used standard sand



一、 FL_{15} との関係を、図-8には FL_0 (静的フロー)と FL_{15} との関係を示す。これより、 SL と FL の間には明確なる直線関係が成立し、最小自乗法で直線式を求めると、 $SL = 0.27 FL_{15} - 30$ 、が得られる。さらに、 FL_0 と FL_{15} との間には、 $FL_{15} = 0.77 FL_0 + 100$ ($FL_0 > 110$)、 $FL_{15} = 7.57 FL_0 - 648$ ($FL_0 \leq 110$) の関係が得られ、 FL_{15} は落下運動の影響によって、 FL_{110} を境にして流動の挙動がかなり異なることもわかる。スランプとフローとの間には上述したように一義的な関係が成立するため、いずれを特性値に選んでもしオロジー量との関係を考察することができ。 SL と η 、 η との関係を全般的に考察すると、 SL が大きくなると η あるいは η は小さくなる傾向が見られる。

(3) 粘性率と配合比との関係

図-9には、ペーストおよび%一定の普通骨材を用いたモルタルにおける%と粘性率 η との関係を示す。全般的に考察すると、%と η との関係は指数関数で表わすことができ、ペーストにおいては、%が40%以下になると η は急激に大きくなり、さらに、同一%ではペーストよりもモルタルの方が η は大きくなる傾向が見られる。一方、%を一定にし細骨材量を増加すると、 η も大きくなるが、ある%以上になると逆に η が小さくなり、さらに、%が大きくなるに従って最大の η を与える細骨材量が多くなる傾向も見られる。また、この η は砂の粒度によってかなり異なり、整粒の標準砂は連続粒度をもつ細骨材(N.L.U.)の場合よりも η は小さく現われている。%が一定の場合、%が小さくなると降伏値 τ_0 は大きくなり、%が一定の場合、 τ_0 と%との間には指数関数の関係が見られる。

なお、%と η 、 τ_0 と%あるいは%との関係については、講演会当日スライドで詳しく説明する。

以上、試作回転粘度計を用いてペースト、モルタルの粘性を測定した結果を簡単に述べた。今後は、骨材粒度や界面活性剤が、ペースト、モルタルの粘性、流動性などのしオロジー的性質におよぼす影響を究明し、さらにはコンクリートのしオロジー的性質の検討にまで研究を進展させ度いと考えている。

Fig.6 Relations between shear rate and shear stress in mortar with water sand.

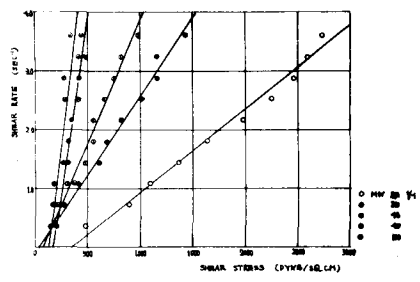


Fig.7 Static flow and sheared flow in paste and mortars

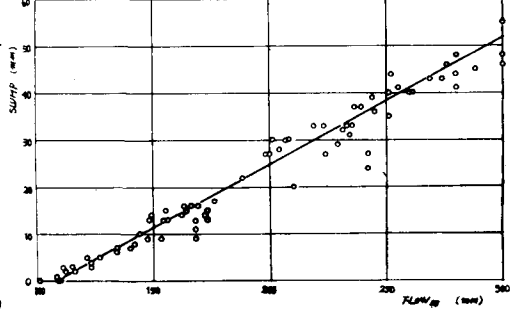


Fig.8

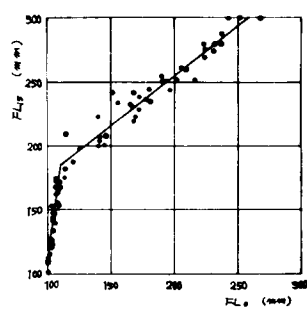


Fig.9 Relations between coefficient of viscosity and water cement ratio in paste and mortars

