

— 細骨材粒度の影響について —

○ 鳥取大学 正員 工博 西林新蔵
鳥取大学 正員 工博 木山英郎
鳥取大学 正員 工修 段田豪次

1 まえがき

フレッシュコンクリートの性質は、一般にワーカビリティという術語で総称されているが、このワーカビリティはもとより定性的な意味しか持たないもので、その評価の方法も極めてあいまいである。コンクリートのワーカビリティには、可動性、すなわち流動と変形に対する抵抗性（レオロジー的性質）および材料の分離の傾向という2つの異なる特性が含まれている。これらの特性は、本来別々に評価されるべきであるにもかかわらず、これを一つの尺度で評価せんとしていることに問題があると考えられる。

着者は、フレッシュコンクリートのレオロジー的性質は、コンクリートにある外力と与える場合の可動性・降伏と粘性をもつ一種のビンガム材料の流動であると仮定し、その見掛けの粘性率と降伏値をレオロジー量として採り上げ、コンクリートの材料・諸性質や配合条件、さらには環境条件などの種々の要因との関係について実験的に検討を加えてきた。

本研究は、コンクリートの材料のうちワーカビリティにかなりの影響をおよぼすことが知られている細骨材の粒径、粒度を採り上げ、これらが上述した粘性率や降伏値などのレオロジー量などの程度の影響を与えるのかについて考察を加えたいものである。

2 測定装置

フレッシュモルタルのレオロジー的諸特性値を求めるために試作した二重円筒式回転粘度計については、昭和46年度年次大会においてその詳細を述べた。ここでは装置の諸量について述べる。

外筒直径(R_o): 30 cm, 内筒直径(R_i): 20 cm, 各円筒の高さ(l, l'): 20 cm, 試料と円筒が接する高さ(h): 0 ~ 20 cm, 外筒と内筒のすき間: 5 mm, 外筒の回転速度(Ω): 0 ~ 1 rad/sec (無段変速モータで可変), トルクモメント(M): 内筒上端の中空アルミニウム検知棒でひすみ(ε)と検出しXYレコーダに記録, この装置の特性値は、すり応力($P = M / \pi h R_i^2$) = 137 ε (dyn/cm^2), すり速度($V = 2 / R_i^2 \cdot \Omega / (1/R_i^2 - 1/R_o^2)$) = 3.6 Ω (sec^{-1}) である。

3 実験概要

実験計画を一括して表-1に示す。細骨材の種類は、天然砂(N)、人工軽量骨材(L, U)の合計3種類で、粒径の影響に関する実験においては、これらの骨材を3段階に分類して用いた。粒度の影響については骨材Nを用い、土木学会標準粒度の範囲に基づき連続粒度5種類(表-2, 図-1)と、標準粒度の中央値(連続粒度B)から途中の粒度を除いた不連続粒度7種類(表-3, 図-2), その他不連続粒度8種類(表-4, 図-3)の合計20種類について実験を行った。モルタルの配合は、9/5と50%と一主にし、水セメント比は粒径に対して5%および4種類(但しフロー値(FL0)が100%より最小の%となるように水量を決定), 連続粒度に対しては35, 40, 45%の3種類(Nにおいては25,

30, 50% と追加), 不連続粒度に対しては 35, 30% の 2 種類とした。なお, 比較のため 30~50% (5% および) のペーストも実験に供した。

モルタルの練り混ぜには電動式三段可変ミキサを用い, 練り混ぜ時間は貯水後 3 分間とした。試験は, 各試料に対して回転粘度計による η および η_c の測定, フローコンを挟みヒヤロイドのスタンピングとの時の試料の抜けり (FL) およびフローテークルと 15 回落下させた際のフロー値 (FL15) を測定した。なお, 一回の試験は, モルタルの練り混ぜ後 20~30 分を免了させた。

4 実験結果と考察

(1) 粘性率 η と細骨材の粒径および η_c との関係

図-4 は, 骨材の種類別 η と η_c との関係を示したもので, 図中の実線はペースト, 破線は原粒度 (混合粒径) の骨材を用いたモルタルの場合である。 η と η_c との関係はペースト, モルタルともほぼ同様の傾向を示し, とくに水セメント比が 40% 以下になると η は急激に大きくなり, 遂に 50% 以上に達すると η はほぼ一定値に近づく。また, モルタルの η はペー

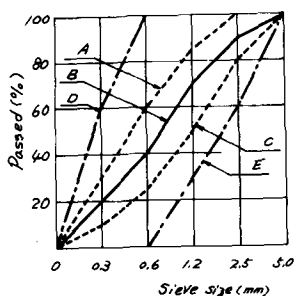


図-1 連続粒度の分布曲線

表-2 連続粒度の分布表

Kind of grading	Specific gravity	Water absorption (%)	Grading (retaining % by weight)						Fineness modulus F.M.
			2.5 mm	7.5 mm	12 mm	25 mm	47.5 mm	75 mm	
A	2.63	1.58	0	15	40	70	100	100	2.25
B	2.63	1.54	10	30	60	80	100	100	2.80
C	2.63	1.45	20	50	75	90	100	100	3.35
D	2.64	1.60	0	0	0	60	100	100	1.40
E	2.63	1.40	60	70	100	100	100	100	4.10

表-1 実験計画

Elements	Testing Conditions
(1) Kinds of aggregate	Normal sand : N A.L.A. : L and U
(2) sizes of aggregate (mm)	2.5~ , 1.2~2.5, 0.6~1.2, 0.3~0.6, ~0.3.
(3) grading of agg. (for N)	continuous grading : A, B, C, D, E (Fig. 1 and Table 2). gap grading : B ₁ ~B ₇ (Fig. 2 and Table 3) AC ₁ ~AC ₅ , AE, CD and DE (Fig. 3 and Table 4).
(4) water cement ratio	size of agg. : 4 kinds of w/c each 5%. cont. grading : 3 kinds of w/c each 5%. gap grading : 30 and 35%.
(5) testing items	coef. of viscosity, yield value, slump and flow.

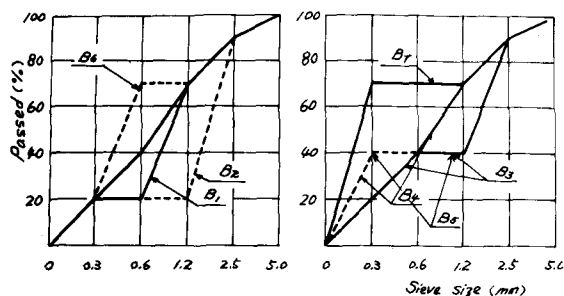


図-2 不連続粒度の分布曲線 その1

表-3 不連続粒度の分布表 その1

Kinds of grading	Specific gravity	Water absorption (%)	Grading (retaining % by weight)						Fineness modulus F.M.
			2.5 mm	7.5 mm	12 mm	25 mm	47.5 mm	75 mm	
B ₁	2.63	1.62	10	30	80	80	100	100	3.00
B ₂	2.63	1.31	10	80	80	80	100	100	3.50
B ₃	2.63	1.35	10	60	60	80	100	100	3.10
B ₄	2.64	1.60	10	30	60	60	100	100	2.60
B ₅	2.63	1.42	10	60	60	60	100	100	2.40
B ₆	2.63	1.41	10	30	30	80	100	100	2.50
B ₇	2.64	1.57	10	30	30	30	100	100	2.00

ストのそれよりも大きく、その粒度はNよりもL, Mにおいて著しい。骨材の粒径別に考察すると、全般的に単一粒径の骨材を用いたモルタルよりも混合粒度の場合の方が η が大きくなり現れ、単一粒径においては粒径が小さくなる程 η は大きくなる傾向が見られた。

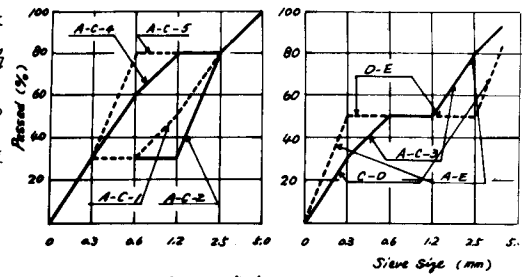


図-3 不連続粒度の分布曲線 その2

表-4 不連続粒度の分布表 その2

Tests & Grading	Specific gravity	water absorption (%)	Grading (retaining % by weight)						Fineness modulus F.M.
			75- mm	25- mm	12- mm	6- mm	3- mm	1.5	
A-C-1	2.63	1.49	20 (20)	80 (30)	70 (20)	70 (10)	100 (30)	3.10	
A-C-2	2.63	1.37	20 (20)	70 (50)	70 (10)	70 (10)	100 (30)	3.30	
A-C-3	2.63	1.41	20 (20)	80 (30)	80 (10)	70 (20)	100 (30)	2.90	
A-C-4	2.64	1.55	20 (20)	20 (10)	80 (10)	90 (30)	100 (30)	2.50	
A-C-5	2.64	1.47	20 (20)	20 (10)	70 (10)	70 (30)	100 (30)	2.30	
A-E	2.64	1.47	20 (20)	80 (30)	80 (10)	80 (10)	100 (50)	2.70	
C-D	2.64	1.41	50 (50)	50 (10)	50 (10)	70 (20)	100 (30)	3.20	
D-E	2.64	1.47	50 (50)	50 (10)	80 (10)	80 (10)	100 (50)	2.00	

(2) 粘性率 η と細骨材粒度との関係
(i) 連続粒度 5種類連続粒度をF.M.の順に並べ、F.M.と η の関係を図示すると図-5に示すようになる。これより、同一 η のモルタルにおいては、F.M.が大きくなるにつれて η は小さくなり、この傾向は η の小さいものほど顕著である。粒度Bは標準粒度範囲の中央を通るが、試験結果もほぼ中間的な値を示す。また、整粒の粒径の細いD粒度は粘性が大きくなり、逆に微粒分の多いE粒度では粘性が小さくなりモルタルは粗々しくなる。従って、粘性の点を考えても細骨材の粒度は標準粒度範囲に入ることを望ましいといえる。

(ii) 不連続粒度 中間粒度BにGapを入れ不連続粒度B₁~B₇の η とF.M.との関係を図-6に示す。Gap Gradingの骨材を用いたモルタルの η はB粒度の場合よりも必ず小さくなり、また、0.3~0.6mmとGapさせられた粒度(B₄~B₇)においてはE粒度とほぼ同じ η を示すのに対して、0.6mm, 1.2mmとGapさせられた粒度(B₂, B₃, B₆)はB粒度よりも著しく η は小さくなる傾向がある。すなわち、細粒分の0.3~0.6mmはモルタルの粘性に大きな影響を及ぼし、この部分をGapさせると粘性はめだり小さくなることかわかる。図-7は、AとCの間とGapを入れした場合である。とくに3段階のGapを入れたD-Eの場合に η は小さくなる(図-8)。

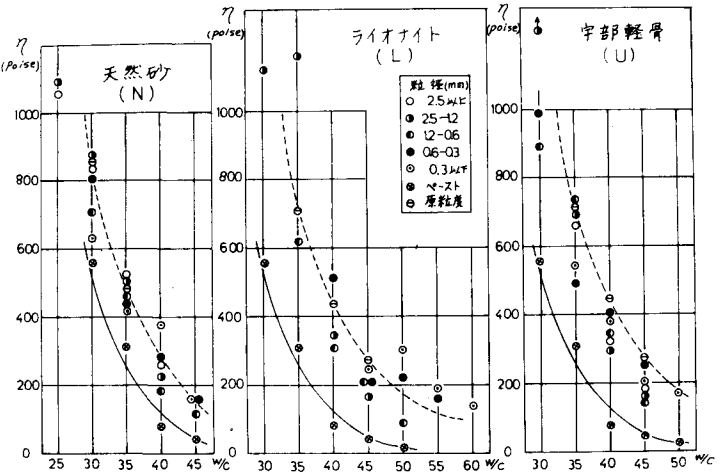


図-4 粘性率(η)と細骨材粒径の関係

細骨材の粒度分布と、それを用いたモルタルの粘性率との関係を全般的に考察すると、連続粒度であっても標準粒度の範囲のものを著しくけずれるものは、粘性が大きくなりあつて、小さくなるにつれて、 η -カビリチの点から考えれば好ましくないものもある。一方、不連続粒度の中で、とくにGapの粒径が多すぎたり、あるいは0.3~0.6mmの細粒分がGapしたものは、粘性率が小さくなってフワフワモルタルの性状が粗々しくなる。しかし、Gapの適量であれば極端に片寄った連続粒度の場合よりも

ワ-カブルなモルタルが得られることもありうる。細骨材の粒度が粘性率に与える影響を比較する場合に、中間粒度Bを用いたモルタルの性状を標準に採ることが望ましいと考えられる。

(3) 降伏値と、細骨材特性との関係

V-P曲線を直線と仮定して、直線式を最小自乗法で求め、この直線をP軸と交わる点を降伏値とした。

図-9は、降伏値と水セメント比との関係を、粒度別、骨材種類別に示したもので、図中の実線はペーストに対するもの、さらに破線は最小寸法の粒度に対するものである。

全般的に考慮すると、降伏値は人工軽骨材を用いたモルタルの方が天然砂の場合よりも大きく、また粒度が小さくなるにつれて降伏値が大きくなる傾向が見られる。さらに、各粒度別の降伏値と水セメント比との関係は、指数関数的に表わすことができ、水セメント比が大きくなるほど降伏値は急激に小さくなる。天然砂においては、 0.3mm 以下の微粒砂が示す降伏値は最も大きく、粘性率も大きいことを考慮すると、粘り気が著しく流動し滑りを起こしにくいものと考えられる。逆に 1.2mm 以上の粒度の大きい細骨材を用いた場合には、ペーストを示す降伏値よりも小さく、さらに粘性率がペーストの場合よりも大きいことを考慮すると、粒度が大きくなるほど粘性が大きく流動しにくくなる傾向を示す。

人工軽骨材を用いたモルタルにおいてもほぼ同様の傾向を示すが、全般的に粒度が小さくなることでの増加の割合は天然砂の場合よりも著しい。

現在、モルタルのレオロジー的性質に及ぼす化学親和剤の影響、さらには内筒の表面形状の影響等について実験的に検討を加えている。

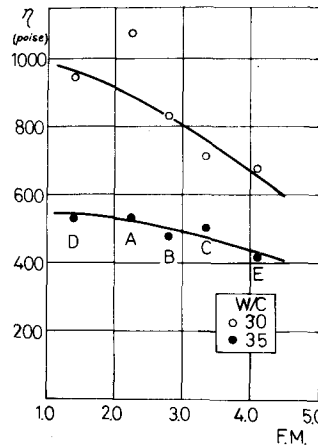


図-5 連続粒度

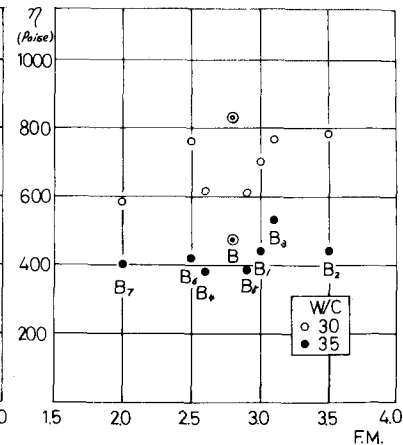


図-6 不連続粒度その1

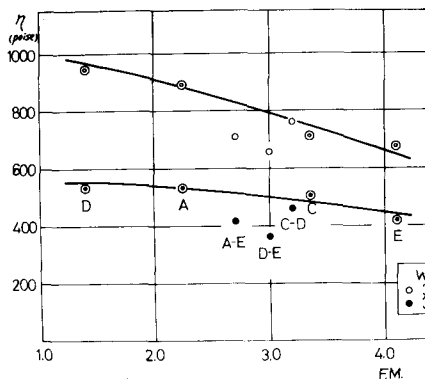


図-8 不連続粒度その3

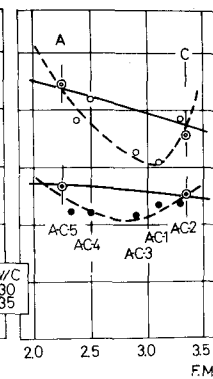


図-7 不連続粒度その2

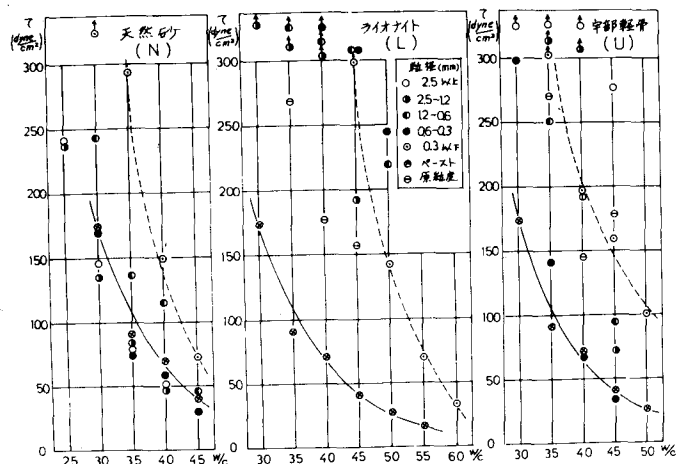


図-9 降伏値(P)と細骨材粒度の関係