

高流動コンクリートのフレッシュ性状評価に関するレオロジーの適用

芝浦工業大学大学院 学生員 ○宮川 洋一
芝浦工業大学 正会員 勝木 太

芝浦工業大学 正会員 矢島 哲司
芝浦工業大学大学院 須江 敏

1. はじめに

高流動コンクリートのフレッシュ性状を評価する指標としてスランプフロー及び漏斗流下時間等の工学量が挙げられるが、これらは必ずしもコンクリートの多様な性能を一義的に示しているものではないと考える。そこで物理量である降伏値及び粘度のレオロジー特性が着目され、これまで数多くの研究が行われているものの、まだ十分とは言えず、使用材料及び配合条件がレオロジー特性にどのように影響を与えるか完全に解明されていないのが現状であろう。

本研究ではペーストからコンクリートまで階層的に実験を行い、使用材料及び配合条件がレオロジー特性に及ぼす影響を把握し、高流動コンクリートのフレッシュ性状における評価指標としての降伏値及び粘度の有効性を現在の配合設計と比較しながら検討を行った。

2. 実験概要

本研究では図-1に示すように高流動コンクリートは流動相であるペースト及び固体相である骨材の二相材料とし、主に流動相が高流動コンクリートのフレッシュ性状に大きな影響を及ぼすと考えた。流動相であるペーストの支配的な要素として水粉体容積比、各混和材料の添加率及び置換率、固体相である骨材では細骨材容積及び粗骨材容積の配合要因が考えられる。そこで本研究では前述の考え方にに基づきペーストの実験から始め、モルタル及びコンクリートと階層的にレオロジー特性である降伏値、粘度および既往の評価指標であるフロー値と漏斗流下時間の測定を行った。本研究における使用材料を表-1に示すが、ここで粉体として普通ポルトランドセメントの他に高炉スラグ微粉末を使用し、高性能 AE 減水剤においてはポリカルボン酸系のものを使用した。

降伏値及び粘度のレオロジー特性の測定は、回転粘度計を使用し、流動曲線（せん断速度とせん断応力の関係）の測定を行った。この際に流動曲線をビンガム流体と仮定し、線形近似を行うことにより、その切片を降伏値、

表-1 本研究における使用材料

材料	記号	材料特性
セメント	C	普通ポルトランドセメント 密度 3.16g/cm^3 、比表面積 $3300\text{cm}^2/\text{g}$
混和材	Bs60 Bs80	高炉スラグ微粉末 密度 2.91g/cm^3 、比表面積 $6030\text{cm}^2/\text{g}$ 密度 2.91g/cm^3 、比表面積 $7250\text{cm}^2/\text{g}$
細骨材	S	茨城県鬼怒川産陸砂 密度 2.57g/cm^3 、粗粒率 2.29 、実積率 61.2% 静岡県富士川産川砂 密度 2.63g/cm^3 、粗粒率 3.15 、実積率 60.8%
粗骨材	G	山口県美祿市産砕石 密度 2.72g/cm^3 、粗粒率 6.58 、実積率 61.6%
混和剤	SP	高性能AE減水剤 (主成分:ポリカルボン酸エーテル系)

傾きを粘度とした。なお本研究においては降伏値及び粘度のレオロジー特性が測定時のせん断速度に依存することから、「測定で用いたせん断速度領域による値」の意で降伏値、粘度をそれぞれ「見掛け」とし、以下本文中においても使用した。

3. 実験結果

3.1 ペースト実験結果

ペースト実験においては水粉体容積比 (V_w/V_p)、各混和材料の添加率及び置換率を変化させ、レオロジー特性に与える影響を検討した。紙面の都合上、図は割愛して考察のみ記述すると、水粉体容積比、各混和材料の添加率及び置換率が大きくなるに伴い、見掛けの降伏値及び粘度は低下する傾向を示す結果となった。この結果を詳細に検討すると、本研究の範囲内において水粉体容積比 0.90 以上、高炉スラグ微粉末置換率 50%以上、高性能 AE 減水剤添加率 1.4%以上において見掛けの降伏値、粘度はともに低下したままほぼ変化しない結果となった。レオロジー特性に変化が見られない領域が存在することは、言い換えれば、この領域においては配合条件をいくら変化させてもペーストの性能はあまり変化しないと考えられ、流動性及び材料分離抵抗性を改善することが難しいと言える。よって、コンクリートのフレッシュ性状を検討する上で降伏値及び粘度の変化する領域の影響が大きいと考えられる。また図-2に示すように既往の評価指標と比較した場合、既往の評価指標では指数関数的に表現されるが、レオロジー特性では直線的に示すことが可能と考えられる。次にこの領域内の配合条件に細骨材を混入し、モルタルを作成し、モルタルのレオロジー特性の測定を行った。

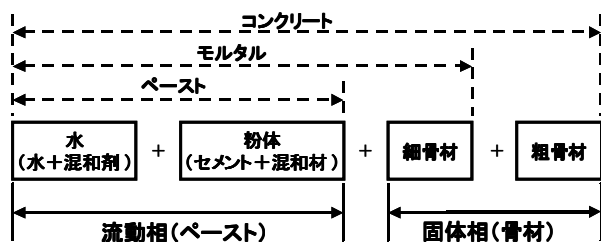


図-1 本研究における高流動コンクリートの考え方

キーワード：高流動コンクリート，流動曲線，降伏値，粘度

芝浦工業大学：〒108-8548 東京都港区芝浦3-9-14 Tel：03-5476-3054 Fax：03-5476-3166

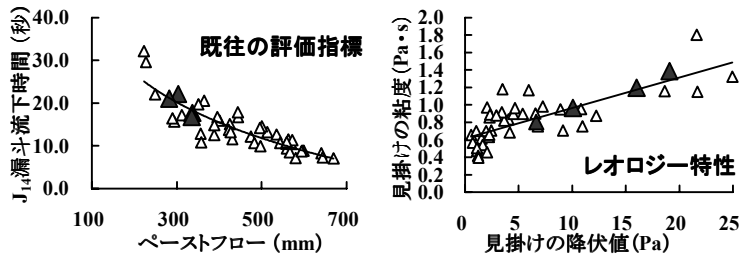


図 - 2 既往の評価指標との比較

3. 2 モルタル実験結果

ここでは細骨材容積比（細骨材容積/モルタル容積）を変化させたモルタルを作成し、細骨材容積比がレオロジー特性に与える影響の検討を行った。その一例を図 - 3 に示す。図より、細骨材容積比(V_s/V_m)が 0.40 より小さな領域では粘度に関しては若干変化が見られるが、降伏値及び粘度は、ともに変化が小さい傾向を示し、この領域に関してはペーストのレオロジー特性がモルタルのレオロジー特性を支配していると考えられる。また細骨材容積比が 0.40 より大きな領域では、レオロジー特性の変化が著しく、降伏値においてその影響が顕著となる結果となった。これは細骨材容積比が 0.40 を越えると、細骨材粒子同士の接触による内部摩擦が増加することに起因すると推察され、今度は逆に細骨材容積がモルタルのレオロジー特性を支配すると考えられる。このことより、細骨材容積に関してもペースト実験と同様にレオロジー特性が低下し、それ以下ではほとんど変化が見られない境界が存在する。またコンクリートのフレッシュ性状を考えた場合、ある程度の降伏値及び粘度を付与させる必要があるため、レオロジー特性に変化がある細骨材容積比は 0.40 以上が望ましいと考えられる。

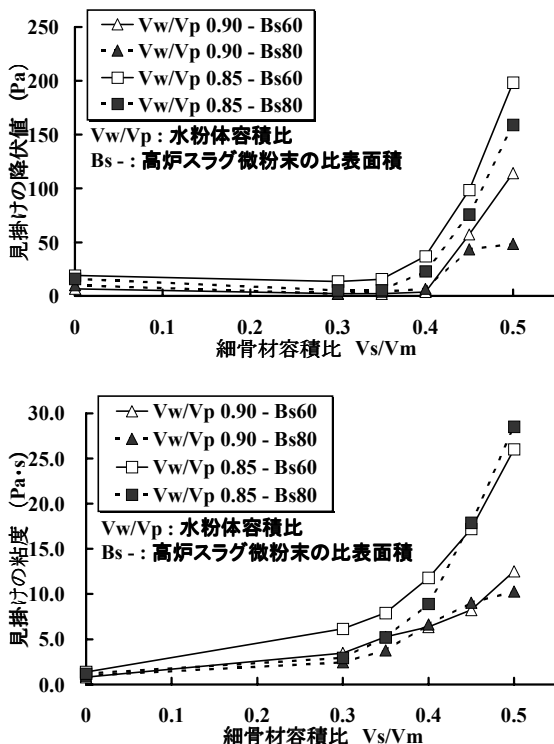


図 - 3 細骨材容積比の違いによるレオロジー特性

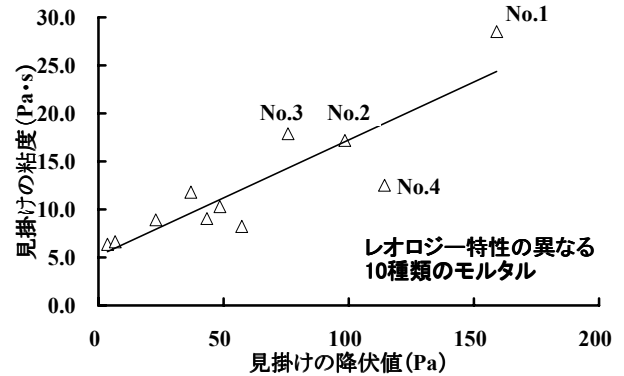


図 - 4 モルタルにおける降伏値と粘度の関連性

次にモルタルの降伏値と粘度の関連性について検討を行った結果を図 - 4 に示す。図より降伏値の増加に伴い粘度も増加する傾向にあることがわかる。また図 - 4 に示すレオロジー特性の異なる 10 種類のモルタルに一定量の粗骨材（本研究においては実積率の 50%¹⁾；粗骨材容積 0.3080m³/m³）を混入し、コンクリートを作成し、コンクリートのスランプフロー及び V_{65} 漏斗流下時間を測定した。その一例として図 - 4 に示す No.1～No.4 の点に関して、コンクリートのフレッシュ性状測定結果を表 - 2 に示す。表 - 2 より、No.2 及び No.3 の点に関して、適正な高流動コンクリートのフレッシュ性状を満足していると考えられる。このことからモルタルのレオロジー特性がコンクリートのフレッシュ性状の支配的な要素と考えることができる。今後は粗骨材容積を変化させた場合のコンクリートのフレッシュ性状について検討を行う必要があると考えられる。

表 - 2 各点におけるコンクリートのフレッシュ性状

番号	コンクリートのフレッシュ性状		モルタルのレオロジー特性	
	スランプフロー (mm)	V_{65} 漏斗流下時間 (秒)	降伏値 (Pa)	粘度 (Pa·s)
No. 1	402.0	37.4	159.2	28.5
No. 2	652.1	12.8	98.5	17.2
No. 3	706.2	11.2	75.8	17.9
No. 4	467.9	23.6	114.3	12.5

4. まとめ

本研究の範囲内において以下のことが明らかとなった。

- ①ペースト及びモルタルのレオロジー特性からコンクリートのフレッシュ性状を評価することが可能と考えられる。
- ②ペースト及びモルタルのレオロジー特性の結果より、いずれの配合においても一定に収束する境界値が存在し、これが配合選定における指標と成り得る。
- ③レオロジー特性を用いることにより、コンクリートの配合選定を行うことの可能性が示された。

参考文献

- 1)岡村甫，前川宏一，小澤一雅：ハイパフォーマンスコンクリート，技報堂出版，1993
- 2)谷川恭雄，森博嗣：高流動コンクリートのレオロジー，セメント・コンクリート，No. 558，pp. 8-14，1993