

フレッシュコンクリートの流動特性とその影響要因

都市リサイクル工学分野

石野 梨紗

1. はじめに

近年、コンクリート塊の剥落事故の発生等により、コンクリートの信頼性に疑問が投げかけられている。その原因として、施工不良や良質な材料の不足等が考えられる。コンクリートの信頼性の回復のためには、施工方法の適正な選定とその施工を可能とするコンクリートの流動性状の管理技術の向上が望まれる。これまで、流動性によってコンクリートの施工方法は異なり、それぞれ配合設計手法は確立している。しかし、合理的な施工技術の向上を円滑に進めるためには、広範囲のフレッシュコンクリートの流動性および材料分離抵抗性と、それを構成するペーストの性状および細・粗骨材の性質との関係を明確にする必要がある。

これらのことから、本研究では、普通コンクリート、軟練りコンクリートおよび高流動コンクリートにわたる広範囲のコンシステンシーをもつコンクリートを対象とし、そのフレッシュ性状に及ぼす、構成材料の性状と構成比の影響を検討し、配合設計やコンクリートの性能把握に必要な要因の明確化を目的とする。

2. 骨材の粒子間距離

コンクリートの流動性は、骨材粒子の分散により起こる。図 2.1 に示すように、充填状態の粒子間隙に流体を流し込むと、粒子間隙が満たされるまで粒子は分散しない。粒子間隙がすべて満たされた後、さらに流体を加えた時、はじめて粒子は分散し、全体としての流動が生じる。追加した流体の体積を余剰体積とすると、余剰体積を粒子の全表面積で除した値の 2 倍を分散状態の粒子間の距離として考えることができる¹⁾。これを本研究では粒子間距離と呼ぶこととする。

上記の考え方にに基づき、コンクリートの流動性を考えると、粒子は骨材、流体はモルタルまたはペーストのことを指している。これら 2 つの関係に着目し、それぞれの性状の影響について検討する。なお、本研究では、骨材の粒子間距離を算出する際に、詰め込んだ状態の粒子間隙は、骨材の実積率から求めた。また、骨材の比表面積 S_s (cm^2/cm^3) を、 $0.075\sim 0.15\text{mm}$ の範囲にある球の比表面積 558 (cm^2/cm^3) と仮定し、体積割合を乗じて算出した比表面積に各単一粒度骨材の角張り係数を乗じる powers の式 (1)²⁾ から算出した。

なお、本研究では、角張り係数 $1/\phi$ を各粒度で一定とし³⁾ とし、式 (2) から算出した。

$$S_s = 558 \sum \left(\frac{1}{\phi} \frac{1}{2^i} \frac{P_r}{100} \right) \quad (1)$$

$$\frac{1}{\phi} = 1 + 4.0 \left(0.64 - \frac{G}{100} \right) \quad (2)$$

ここで、 S_s : 骨材の球形比表面積 (cm^2/cm^3)、 i : 粒径 r mm の粒子の単一粒径での粗粒率、 P_r : 粒径 r mm の粒子が骨材全体に占める体積百分率 (%), $1/\phi$: 骨材の角張り係数、 G : 骨材の粒径判定実積率 (粗骨材では単粒の実積率を用いた) (%) である。

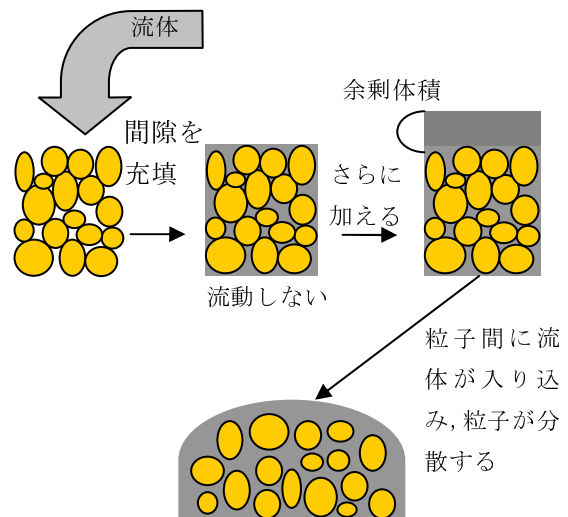


図 2.1 粒子の分散状態と流動

3. モルタルの流動特性に関する検討

3.1. 実験概要

モルタルの流動特性には、ペーストのフレッシュ性状および細骨材の物理的性質が関係していると考えられる。そこで、表 3.3 に示す様々な性状のペーストに川砂または再生細骨材を混合したモルタルを作製した。モルタル中に占める細骨材の体積割合 s/m を数種類に変化させたモルタルも作製し、そのフロー値を調べた。

ペーストのフロー値をコンクリート用スランプコーン (上端径 100mm, 下端径 200mm, 高さ 300mm) の 1/4 縮尺のコーンを用いて測定した。モルタルのフロー値を、コンクリート用スランプコーンの 1/2 縮尺の

コーンを用いて測定した。また、レオロジー定数として B 型回転粘度計を用いて、塑性粘度および降伏値の測定も行った。45 秒間ペーストを先に練った後、細骨材を入れて 1 分 45 秒練り混ぜてモルタルを作製した。使用材料は、表 3.1 および表 3.2 に示す。

3.2. 実験結果

図 3.1 に、様々なペーストおよび細骨材に川砂および再生細骨材を用いたモルタルでの細骨材の粒子間距離とモルタルフローとの関係を示す。判例に示す SP とは、高性能 AE 減水剤の添加量を示している。粒子間距離の増加にともない、モルタルのフロー値が増加する。しかし、ある距離以上になるとその増加割合が緩やかになる。これは、ペーストの増加に比例して、骨材間の距離が増加し、細骨材どうしの接触等の影響が小さくなるのに対し、ある距離以上になると細骨材が十分に分散し、影響しなくなることを表していると考えられる。

また、表 3.3 に示すとおり、W/C=45%、ペーストのフロー値 142mm の場合と W/C=35%、ペーストのフロー値 147mm の場合、粒子間距離が 14 μm になるまでは、同一直線上にプロットされている。ペーストのフロー値が同じであれば、細骨材の種類に関係なく、

表 3.1 骨材以外の使用材料

材料	種類	備考
セメント	普通ポルトランドセメント	密度 3.15g/cm ³
水	水道水	-
高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸エーテル系	標準型 密度 1.050~1.070g/cm ³
空気量調整剤	ポリアルキレングリコール誘導体	消泡剤 密度 0.990~1.01g/cm ³

表 3.2 実験に使用した骨材

骨材の種類		絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	実積率 (%)	粒形判定実積率 (%)	S _s (cm ² /cm ³)
細骨材	川砂	2.53	2.58	66.1	58.1	136.4
	再生	2.07	11.10	64.4	57.4	204.6
粗骨材	碎石 1	2.59	0.84	60.1		8.55
	碎石 2	2.67	0.75	60.2		6.69

表 3.3 実験に用いたペーストの配合と流動特性

W/C	高性能 AE 減水剤 SP (C×%)	フロー値 (mm)	塑性粘度 (Pa·s)	備考
35	1.3	237	0.35	フロー値一定 塑性粘度一定
35	0.4	147	2.07	
45	0	142	0.50	
40	0.5	179	0.45	
35	1.0	210	0.45	
30	2.0	220	0.49	

モルタルのフロー値に影響を及ぼさなくなる粒子間距離が同じと考えられる。

次に、図 3.2 に細骨材に川砂を用い、モルタル中に占める細骨材体積割合 s/m=50%としたときのペーストとモルタルとのフロー値の関係を示す。細骨材の種類と s/m がおなじであれば、モルタルのフロー値とペーストのフロー値とは比例関係にあると考えられる。

以上よりモルタルの流動性には、細骨材の種類に関係なく細骨材の粒子間距離が 14 μm までは、ペーストの流動性と粒子間距離の影響が大きい。しかし、それ以上では、ペーストの流動性のみが影響するため、モルタルの流動性の増加は小さくなる。

4. コンクリートの流動特性に関する検討

4.1. 実験概要

コンクリートの流動特性には、ペーストまたはモルタルのフレッシュ性状と骨材の物理的性質が関係していると考えられる。そこで、表 3.1 のペーストを用いて作製した表 4.1 のモルタルと細骨材に川砂および再生細骨材、粗骨材に碎石を用いて、コンクリートを作製し、その流動特性を調べた。45 秒間モルタルを先に練った後、粗骨材を入れて 1 分 45 秒練り混ぜてコンクリートを作製した。なお、すべてのコンクリートの空

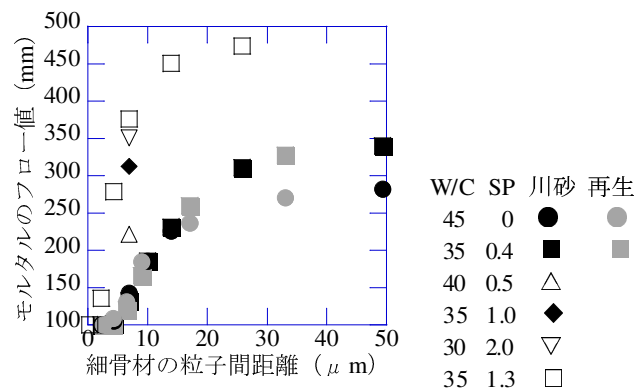


図 3.1 細骨材の粒子間距離とモルタルのフロー値との関係

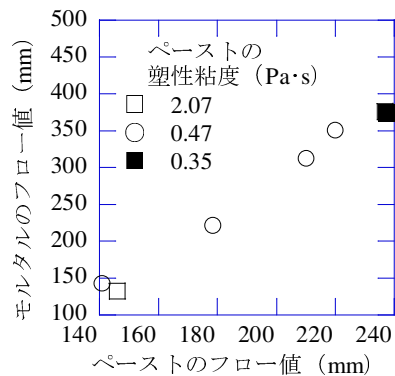


図 3.2 ペーストとモルタルのフロー値の関係 (s/m=50%, 川砂を用いた場合)

気量を，空気量調整剤を用いて， $1.5 \pm 1\%$ に調整し，スランプ値を測定した．使用材料は表 3.1 および表 3.2 に示す．

4.2 実験結果

まず， $W/C=45\%$ のペーストと川砂および再生細骨材を用い，モルタル中に占める細骨材の体積割合を調整してフロー値を一定としたモルタルを用いてコンクリートを作製した．細・粗骨材を対象とした粒子間距離とスランプ値との関係を図 4.1 に，粗骨材のみを対象とした粒子間距離とスランプ値との関係を図 4.2 に示す．粗骨材の粒子間距離のほうが，細・粗骨材の場合とは異なり，細骨材の違いによる差が見られない．すなわち，コンクリートの流動性は，粗骨材の粒子間距離による影響が大きいといえる．

次に，川砂を用い，モルタル中に占める細骨材の体積割合 50%とし，ペーストの性状を変化させたコンクリートを作製した．

モルタルと粗骨材の体積比 m/g とスランプ値との関係を図 4.3 に示す．ここで， m/g が増加するとスランプ値が増加するが，モルタルの場合と同様にその増加割合が変化する点があった．その m/g は，モルタルのフロー値が異なっても，ほぼ同じ点であり，その値は 2~2.5 であった．次に，図 4.4 に m/g ごとのモルタルのフロー値とコンクリートのスランプ値との関係を示す．どの m/g でも，モルタルフロー値と，コンクリートのスランプ値とは比例関係にあった．

以上より，コンクリートの流動性には，モルタルと細骨材の体積比 m/g が 2~2.5 以下では，粗骨材の粒子間距離の影響が大きいので，モルタルの流動性と m/g の影響が大きく，コンクリートの流動性の増加は大きい．しかし，それ以上では，粗骨材が十分に分散しているため，モルタルの流動性のみが影響が大きく，コンクリートの流動性の増加は小さくなる．

ここで，粗骨材の違いによる影響について検討する． $W/C=45\%$ ，モルタル中に占める細骨材の体積割合を 50%とし，細骨材に川砂，粗骨材に 2 種類の砕石を用いたコンクリートの性状について，図 4.5 に示す．スランプ値の増加割合が変化する m/g が，粗骨材の種類

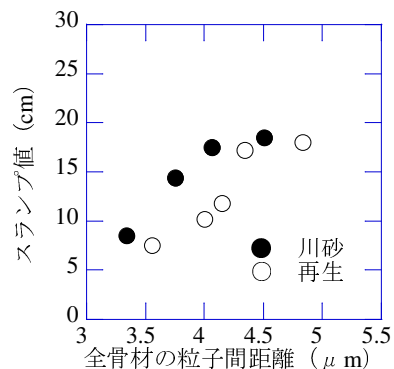


図 4.1 余剰ペースト膜厚とスランプ値との関係 ($W/C=45\%$ のペースト，モルタルのフロー値一定)

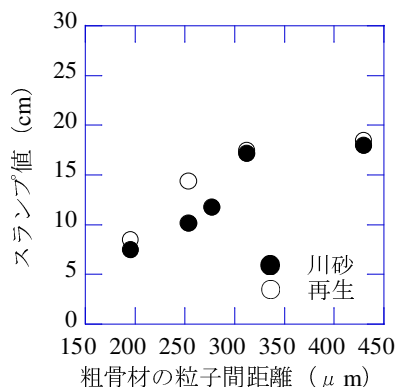


図 4.2 余剰モルタル膜厚とスランプ値との関係 ($W/C=45\%$ のペースト，モルタルのフロー値一定)

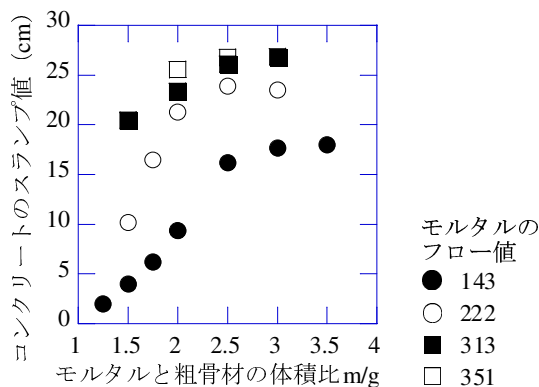


図 4.3 モルタルと粗骨材の体積比 m/g とコンクリートのスランプ値との関係 (細骨材に川砂を使用)

表 4.1 実験に用いたモルタルの配合と流動特性

W/C (%)	高性能 AE 減水剤 (C×%)	s/m (%)	細骨材	フロー値 (mm)	高さ (mm)	塑性粘度 (Pa·s)	降伏値 (Pa)	備考	
45	0	50	川砂	143	68	3.16	13.52		ペースト一定 モルタルのフロー値一定
		45	再生	132	76	2.10	12.03		
40	0.5	50	川砂	222	24	1.80	10.77	ペーストの塑性粘度一定	
35	1.0			313	14	2.45	6.90		
30	2.0			351	12	3.19	7.10		

に異なっていることがわかる。ここには、示していないが、粗骨材の物理的性質だけでは、この値の違いが説明できなかった。原因としては、細・粗骨材間のなんらかの関係が影響していると考えられる。

図 4.6 のコンクリートのスランプ値とスランプフローとの関係を示す。その関係は曲線で表され、スランプ 15cm 以下では、傾きが小さく、20cm 以上になると傾きは急になる。すなわち、流動性によってスランプまたはスランプフローのどちらかで表すほうがよい範囲がある。これをモルタルのフロー値により考察すると、フロー値が小さいほどスランプ値で表すほうが合理的であり、フロー値が高いとスランプフローで表すのが良いと考えられる。すなわち、従来、普通コンクリートや高流動コンクリートとされてきた区分に、モルタルのフロー値の影響が大きく、それによりコンクリートの流動性を管理することができると考えられる。

また、モルタルの場合についても同様に、図 4.7 のとおり、モルタルのスランプ値が 10cm のところで変化がみられる。コンクリートの場合と同様に、ペーストのフロー値により、モルタルの流動性が管理できる可能性がある。

5. まとめ

- 1) モルタルのフロー値には、ペーストの流動性と細骨材の粒子間距離の影響が大きい。細骨材の粒子間距離が $14\mu\text{m}$ 以上では、粒子間距離の影響は小さくなり、モルタルのフロー値の増加割合も減少する。
- 2) コンクリートのスランプ値には、モルタルのフロー値と粗骨材の粒子間距離の影響が大きい。モルタルと細骨材の体積比 m/g が 2~2.5 以上では、粗骨材が十分に分散され、 m/g の影響は小さくなり、スランプ値の増加割合は減少する。ただし、粗骨材の種類により、分散される m/g は異なる。
- 3) 従来のコンクリートの流動性による区分にモルタルのフロー値が及ぼす影響は大きく、コンクリートの流動性は、モルタルのフロー値により調整できる。同様に、モルタルの流動性に及ぼすペーストのフロー値の影響も大きい。

参考文献

- 1) 村田二郎ほか：コンクリートの科学と技術，(株)山海堂，p.86，1996.
- 2) Powers, T. C. : Properties of Fresh Concrete, John Wiley & Sons, New York, 1968.
- 3) 松下博通ほか：コンクリートの配合設計への余剰ペースト理論の適用に関する基礎的研究，土木学会論文集，No. 578/V-37, pp. 57-70, 1997.

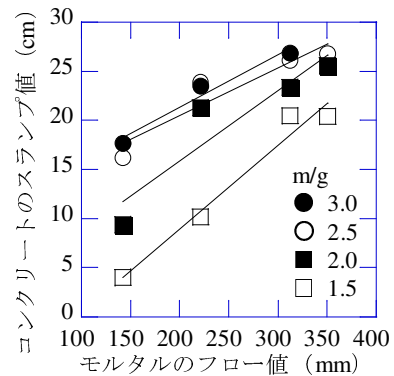


図 4.4 m/g ごとのモルタルのフロー値とコンクリートのスランプ値との関係（細骨材に川砂を使用）

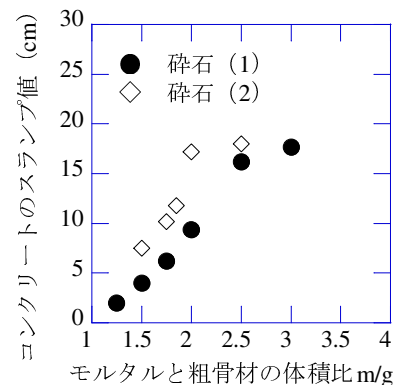


図 4.5 モルタルと粗骨材の体積比とコンクリートのスランプ値との関係 ($W/C=45\%$, $s/m=50\%$, 細骨材に川砂, 粗骨材に 2 種類の砕石を使用)

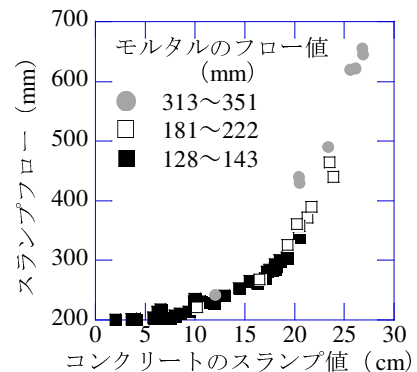


図 4.6 コンクリートのスランプ値とスランプフローとの関係

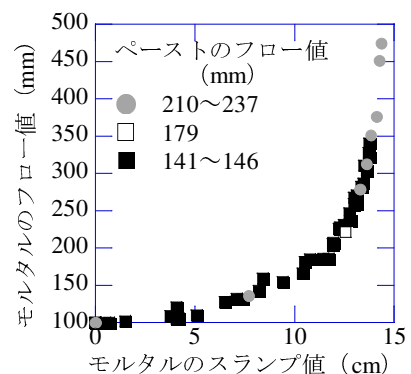


図 4.7 モルタルのスランプ値とフロー値との関係