

V-502 粉体粒度特性とモルタルのレオロジー特性に関する基礎的研究

日本セメント（現東京工業大学大学院）正会員 藤原浩巳
 東京工業大学工学部 正会員 長瀧重義
 東京工業大学工学部 正会員 大即信明
 日本セメント中央研究所 遠藤秀紀

1. まえがき

近年における、シリカフュームや高炉スラグ微粉末等の微粉材料技術の進歩はコンクリートに使用される粉体の粒度特性の幅を広げることとなった。本報告は粉体の粒度特性とコンクリートの施工性の関係を明らかにするための研究の一環として、広い範囲の粉体粒度特性とモルタルのレオロジー特性の関係について調べると共に、レオロジー特性に影響を与えと考えられる要因について検討したものである。

2. 実験概要

2.1 粉体粒度特性とモルタルレオロジー特性の把握実験

普通ポルトランドセメントに、粉碎した石灰石粉を1：1で混合することにより、図-1に示すブレン比表面積3500～7500cm²/g、Rosin-Rammler線図によるn値（以下n値）0.7～1.1の範囲の49種の粒度を持った粉体を調整した。この粉体と水および細骨材（瑞穂産砕砂、比重：2.60、粗粒率：2.47）を高流動コンクリートのモルタル部に相当する30.2：9.7：60.1の重量割合（A配合）で混合しモルタルを練り混ぜ、塑性粘度および降伏値を回転粘度計で測定した。なお、β-ナフタレンスルホン酸塩系高性能減水剤（以下NSP）を粉体重量比2.0%添加した。

2.2 モルタルレオロジー特性に影響を与える要因の検討

次の要因について検討を行なった。

(1)粉体の充填率：図-1に示した粉体の500回のタッピングによる充填率を測定した。

(2)初期水和による粒度特性の変化：普通ポルトランドセメントをブレン比表面積一定（4720cm²/g）でn値を0.70～0.94の範囲の4水準に調整し、それぞれW/C=40%、NSP2%添加のペーストを練り混ぜ、注水後5分でアセトン投与により水和を停止させて粒度特性の変化を調べた。

(3)余剰水膜厚：A配合におけるモルタルのペースト部分における余剰水膜厚を次式で算出し、粉体粒度特性との関係を調べた。

$$\text{余剰水膜厚}(\mu\text{m}) = (1 - V_c/G_c) / (V_c \cdot \rho \cdot F) \times 10000$$

V_c：ペースト中における粉体容積割合、G_c：タッピング充填率、

ρ：粉体密度（g/cm³）、F：ブレン比表面積（cm²/g）

(4)NSP吸着量：中庸熱ポルトランドセメントをブレン比表面積3160～6240cm²/g、n値0.75～1.05の範囲11種に粒度特性を調整し、水および細骨材と26.3：13.2：60.5の重量割合で混合し、NSPをセメント重量に対し3.0%添加してモルタルを練り混ぜた。次に吸引ろ過により液相を抽出し、吸光度計を用いNSP濃度を求め求めた検量線より測定することによりNSPの吸着量を求めた。

3 実験結果および考察

3.1 粉体粒度特性とモルタルレオロジー特性の関係

図-2、3にモルタルレオロジー特性測定結果をもとに作成した等降伏値線図および等塑性粘度線図を示す。この結果、降伏値は粉体のn値の影響が卓越しており、n値が通常のセメントレベル（1.1程度）より小さくなるに従い降伏値も小さくなるが、0.75程度以下となると再び降伏値は増大することが分った。また、塑性粘度は、ブレン値が4000cm²/g以下の領域においては降伏

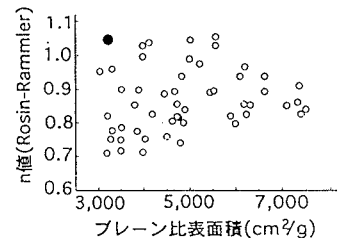


図-1 粉体のブレン比表面積およびn値
 (図中の黒点は普通ポルトランドセメント)

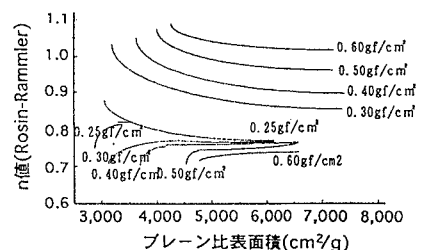


図-2 粉体粒度特性とモルタル降伏値

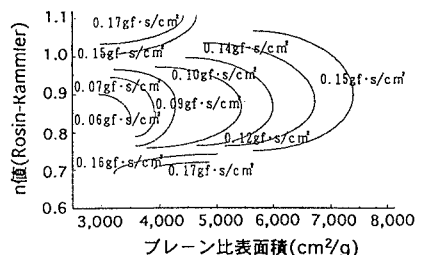


図-3 粉体粒度特性とモルタル塑性粘度

値同様に n 値の影響を大きく受けるが、それ以上の領域においてはブレン比表面積の影響を強く受け、ブレン比表面積が大きくなるほど塑性粘度は大きくなることが分った。

3.2 各種要因の検討

(1)粉体の充填率：図-4にタッピング充填率の測定結果をもとに作成した等充填率線図を示す。この図は n 値0.75以上の領域において等降伏値線図とほぼ一致している。一般に充填率は粉体の空隙を埋めるために必要な水量の指標であり、充填率が大きいほど余剰水量が多いことを示している。本実験の結果は降伏値と余剰水量が密接な関係にあることを示している。しかし、 n 値0.75以下の降伏値の逆転現象はこれだけでは説明できず、他の要因の検討が必要である。

(2)初期水和による粒度特性の変化：表-1に、注水前後での n 値および粒径 $1\mu\text{m}$ 以下の微粒分の変化を示す。表より注水前の n 値が小さいほど微粒分の含有量が多いが、注水による減少率も大きく、そのため n 値の増大率も高いことがわかった。特に注水前の n 値が0.8以下の粉体においては、注水後の n 値の大小関係が逆転している。これは水和による架橋が微粒子間で多く起こることに起因するものと考えられる。このような n 値0.8以下における注水後の n 値の逆転現象がモルタルの降伏値および塑性粘度の逆転となって現われたものと推察される。

(3)余剰水膜厚：図-5に計算値をもとに作成した等余剰水膜厚線図を示す。余剰水膜厚は n 値が大きいほど、ブレン比表面積が大きいくほど薄くなる傾向にある。吉野らによるペーストでの研究では余剰水膜厚と塑性粘度は密接な関係に有るとしているが¹⁾、図-5は図-3の塑性粘度の傾向とは大きく異なっており、余剰水膜厚だけでは塑性粘度を説明できないと考えられる。

(4)NSP吸着量：図-6に測定結果をもとに作成したNSPの等吸着量線図を示す。この結果、 n 値が小さいほど、ブレン比表面積が大きいくほど吸着量が多いことが分った。ここでNSP吸着量と塑性粘度の関係について調べるために図-6中の余剰水膜厚 $0.200\mu\text{m}$ 線上の4点(No.1~4)についてNSP吸着量とモルタルの降伏値および塑性粘度を測定した結果を図-7に示す。この図より余剰水膜厚は一定でもNSP吸着量の増加が塑性粘度の増大をもたらす事が分った。

したがって、①ブレン比表面積が大きくなると余剰水膜厚は薄くなると共にNSP吸着量が増して塑性粘度は増大する、② n 値は小さくなるに従い余剰水膜厚は厚くなるがNSP吸着量は増すために塑性粘度への効果が相殺されるため図-3に示されたような塑性粘度の傾向を示したものと推測された。

4. まとめ

本研究により粉体の粒度特性とモルタルのレオロジー特性の関係について把握すると共に、レオロジー特性に影響を与えられる種々の要因の効果を評価することができた。

〔謝辞〕本研究の実施に当り船山義之君(現東北電力)に御協力を頂いた事に感謝を表します。

〔参考文献〕1)吉野、西林、河野：混和剤および結合材の材質がペーストの塑性粘度に及ぼす影響、土木学会年次学術講演会講演概要集第5部, pp938-939, 1993.

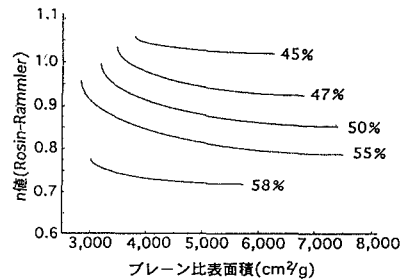


図-4 粉体粒度特性と充填率

表-1 注水前後での微粒分および n 値の変化

注水前		注水後	
微粒分(%)	n 値	微粒分(%)	n 値
6.5	0.94	6.1	0.97
7.9	0.86	6.6	0.90
9.0	0.76	6.5	0.85
9.8	0.70	6.8	0.87

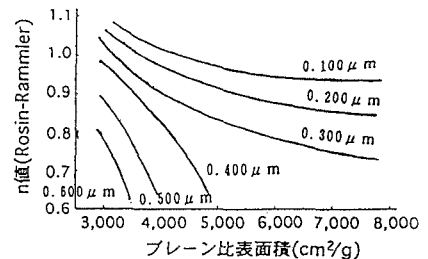


図-5 粉体粒度特性と余剰水膜厚

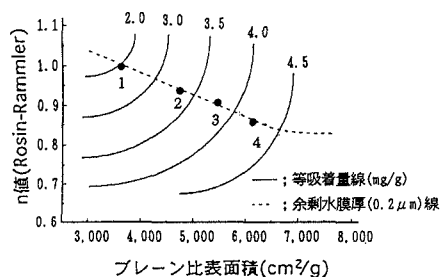


図-6 粉体粒度特性とNSP吸着量

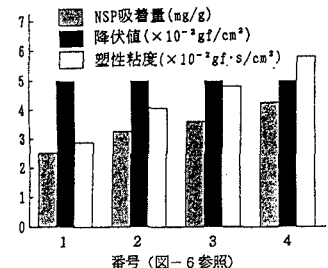


図-7 NSP吸着量とモルタルの降伏値および塑性粘度の関係