

シリカフュームによる吹付けコンクリートの粒度分布改善に関する一考察

飛島建設 正会員○岩城圭介 正会員 平間昭信
エルケムジャパン 山本邦雄 吉澤啓典

1. はじめに

シリカフュームを用いた吹付けコンクリートは、高強度化¹⁾やはね返り抑制²⁾などを目的として、従来から適用されてきた。一方、自己充てん型耐火物キャストブルでは、シリカフュームを含めた構成材料全体の合成粒度分布を最適化するために、LISA (Language Independent Size distribution Analyzer) ソフトウェアを用いて特定の粒度分布係数 q 値を与える Andreassen Model との比較検討が行われている³⁾。本研究では、吹付けコンクリートの粒度分布の改善に用いる微粉末混和材としてシリカフュームの適用を考え、合成粒度分布の Modified Andreassen Model による指標化を試みるとともに、合成粒度分布と凝結性状、強度発現性状との関連について検討を行った。

2. 粒度分布の指標

本研究では、粒度分布の指標として、式-1 に示す Modified Andreassen Model の適用を試みた。

$$CPFT_{ma} = 100(d^q - dm^q)/(D^q - dm^q) \quad \text{..... 式-1}$$

ここで、 $CPFT_{ma}$ (Cumulative volume percent finer than) は本モデルによる通過容積百分率 (Vol%)、 d (μm) は粒径、 D (μm) は最大粒径、 dm (μm) は最小粒径、 q は粒度分布係数である。本モデルは、図-1 の細線のような log-log のプロットで曲線を呈し、振動締固めによる耐火物キャストブル、モルタル、高流動コンクリートなどへの適用性が高いとされている³⁾。吹付けコンクリートは、モルタルに類似した配合であるため、本モデルの適用を考えた。ただし、本モデルの吹付けコンクリートへの適用例はなく、最適な q 値の提案が望まれている。また、ある合成粒度分布 $CPFT_{mix}$ に対する q 値を一義的に得るために、 $CPFT_{ma}$ と $CPFT_{mix}$ の差異を式-2 に示す平均変動率 V で表し、これを最小にする q 値を求めた。合成粒度分布の例と、これに対応する Modified Andreassen Model を図-1 に示す。

$$V = \sum_{i=1}^n (|CPFT_{mix\ i} - CPFT_{ma\ i}| / CPFT_{ma\ i}) / n \quad \text{..... 式-2}$$

3. 使用材料および試験配合

使用材料は、シリカフューム MS (密度 2.20 g/cm^3)、普通ポルトランドセメント C (密度 3.16 g/cm^3)、細骨材 S (砕砂、表乾密度 2.64 g/cm^3 、吸水率 1.32%、粗粒率 3.04)、粗骨材 G (6 号砕石、表乾密度 2.67 g/cm^3 、吸水率 0.58%、粗粒率 6.32)、急結剤 Ac (カルシウムアルミネート系粉体急結剤) である。マイクロトラック法による各材料の粒度分布を図-2 に示す。

試験配合は、単位結合材量 B を 360 kg/m^3 、単位粗骨材量 G を 631 kg/m^3 一定とし、MS 置換率 ($B \times \text{wt}\%$) を 0, 2, 3, 4, 5, 7, 10% とした 7 配合である。これらの配合のモルタル部分を試験対象とした。各配合のコンシステンシーは、JIS A 1173 によるモルタルスランプが同程度となるように単位水量と単位細骨材量の調整を行った。また、急結剤は、結合材 $B \times 7 \text{ wt}\%$ を外割で添加した。

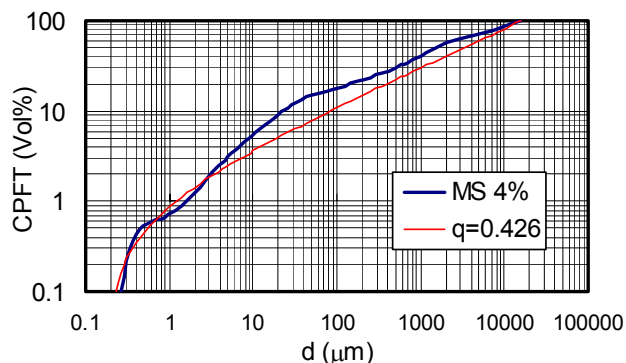


図-1 Modified Andreassen Model による粒度分布の評価例

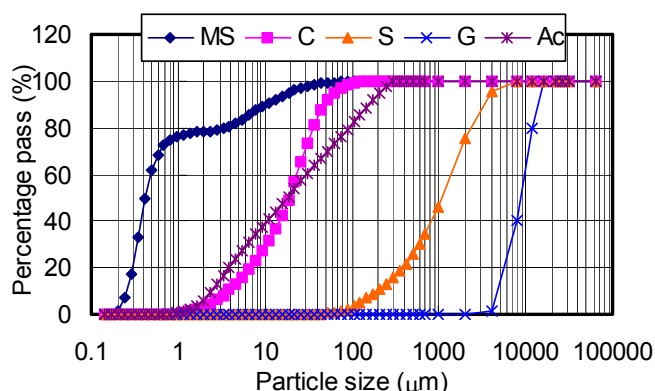


図-2 使用材料の粒度分布

キーワード：シリカフューム、吹付けコンクリート、粒度分布、凝結性状、強度発現

飛島建設 防災 R&D センター 技術研究所 〒270-0222 千葉県 野田市 木間ヶ瀬 5472 TEL: 04-7198-7559 FAX: 04-7198-7586

4. 実験結果および考察

4.1 配合設定 MS 置換率と単位水量および q 値の関係を図-3 に示す。MS 置換率が大きいほど、同程度のコンシステンシーを得るための単位水量が多くなり、MS 置換率 10%では、無置換に比べて 20 kg/m^3 超の単位水量の増加を要した。MS 置換にともなう単位水量の増加により、凝結遅延や強度低下が懸念される。また、 q 値に関しては、MS 置換率が大きいほど q 値が小さくなり、本検討の範囲で 0.34～0.57 の範囲の値を示した。

4.2 凝結性状 JSCE-D 102「急結剤品質規格」の「貫入抵抗による凝結試験時間測定方法」に準拠して、急結剤を添加したモルタルの試験を行った。なお、急結剤の添加方法は、実際の吹付け作業を反映して「モルタル先練り・急結剤後添加」とした。また、凝結時間の指標としては、一般的に用いられる始発時間、終結時間（分）に加え、貫入抵抗値が $10, 15 \text{ N/mm}^2$ となる経過時間 ST10, ST15（分）を求め、MS 置換率 0%の凝結時間に対する比で表した。 q 値と凝結時間比の関係を図-4 に示す。ここで、凝結時間比が 1.0 程度以下の場合、MS 無添加と同等以上の急結性を有するといえる。各凝結時間において良好な急結性を得るための q 値は、概ね 0.42～0.50 の範囲であった。

4.3 強度発現性状 凝結性状と同様に、JSCE-D 102 に準拠して材齢 1, 7, 28 日における急結剤を添加したモルタルの圧縮強度試験を行った。また、各配合の圧縮強度を MS 置換率 0%の圧縮強度に対する比で表した。各材齢の q 値と圧縮強度比の関係を図-5 に示す。ここで、圧縮強度比が 1.0 程度以上の場合、MS 無添加と同等以上の強度発現性を有するといえる。 q 値と圧縮強度比の関係は、材齢で異なり、材齢 1 日では q 値が小さいほど圧縮強度比が低く、材齢 28 日では q 値が小さいほど圧縮強度比が大きい結果であった。長期材齢では、MS 置換率が高い（ q 値が低い）ほどポゾラン活性が顕著であり、強度発現が増進されたと考えられる。また、各材齢を通して良好な強度発現を得る q 値は、凝結性状と同様に、0.42～0.50 の範囲であった。

4.4 考察 以上の結果から、 q 値が 0.42～0.50（MS 置換率 $B \times 2 \sim 4 \text{ wt\%}$ ）の範囲で良好な凝結性状・強度発現が示された。この q 値の範囲では、単位水量が MS 無添加の配合に比べて $2 \sim 7 \text{ kg/m}^3$ 増加しているにもかかわらず、良好な凝結性状・強度発現性状が得られたことから、MS 置換にともなう粒度分布の改善による物理的な充填効果を有効に発揮することができたと考えられる。なお、MS 置換率 4%の配合に対応する q 値は、0.426 であり、同値を用いた Modified Andreassen Model によるフィッティングは、図-1 に示すようであった。

5. まとめ

本検討では、吹付けコンクリートの粒度分布の改善を目的にシリカフェームの添加を試行し、凝結性状や強度発現性状に有効な粒度分布係数 q 値の範囲を示すとともに、シリカフェームによる粒度分布改善の有効性を示した。粒度分布の改善は、はね返り低減などにも有効である可能性があり、今後の検討課題といえる。

【参考文献】1) 例えば、平間、藤本、原田、岩城：高強度吹付けコンクリートの品質変動について、土木学会第 50 回年次学術講演会概要集第 V 部門、pp.142-143、1995.、2) 日本鉄道建設公団編：高品質吹付けコンクリート設計・施工指針（案）（微粒分を混入し粘性を活用した吹付けコンクリート）、1997.、3) LISA ソフトウェアのダウンロード URL：<http://www.refractories.elkem.com/>

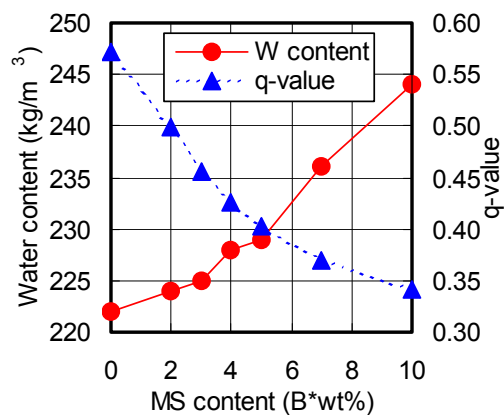


図-3 MS 置換率と単位水量・ q 値の関係

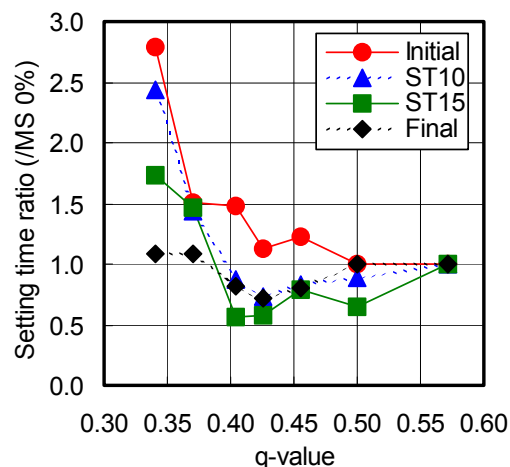


図-4 q 値と凝結時間比の関係

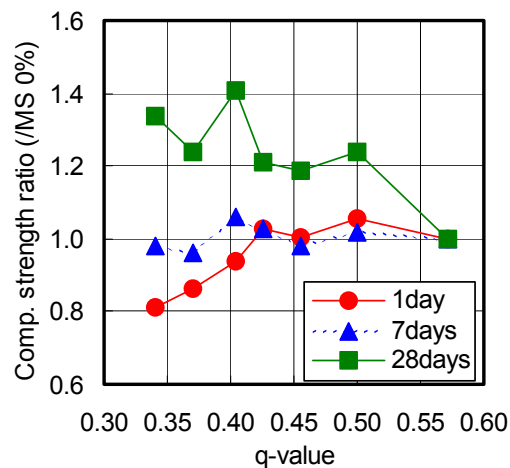


図-5 q 値と圧縮強度比の関係