

吹付けコンクリートの特性に関する基礎的研究 (7)

— EPMA を用いた吹付けコンクリート中における急結剤の濃度分布 (その 2) —

Properties of shotcrete (7)

— Evaluation of Concentration of Accelerating agent in Shotcrete using EPMA (II) —

荒 木 昭 俊*・岡 田 喬*・西 村 次 男*・魚 本 健 人*

Akitoshi ARAKI, Takashi OKADA, Tsugio NISHIMURA, Taketo UOMOTO

1. はじめに

吹付けコンクリートの施工では、コンクリートのフレッシュ性状、吹付け条件、それらに由来する施工性、急結剤との混合性、環境条件、人為的要因等多くの品質変動をもたらす因子が複雑に関与することから、吹付けメカニズムに関し定量的に検討された例は少ない。著者らは、先に、吹付けコンクリートの品質変動に大きく関与すると考えられる急結剤の濃度及び混合性を定量的に把握するための手段として、硬化した吹付けコンクリートへの EPMA 分析の有効性について検討した。その結果、相対的な急結剤濃度、及びそのばらつきを算出することで急結剤の混合性を評価できる可能性を見出している¹⁾。

本研究では、セメント量及び急結剤添加率（供給機の添加量設定値）を一定とし、水セメント比を変動させた場合、吹付けコンクリート中における急結剤の濃度及び混合性に及ぼす影響を把握することを目的とする。

また、今日における実現場では、低水セメント比で高性能減水剤を使用した高強度配合による新規吹付け工法が注目されている²⁾。このような低水セメント比で高性能減水剤を使用するコンクリートは、従来の吹付けコンクリートに比べ高い粘性を示し、特に施工性（配管の脈動）の変動による吹付けコンクリートの品質への影響が懸念される。本報告では、特に施工性が変動した場合の吹付けコンクリート中における急結剤の濃度及び混合性が強度特性に与える影響について考察した。

2. 実験概要

2.1 使用材料

セメントは、研究用の普通ポルトランドセメントを使用

*東京大学生産技術研究所 第 5 部

した。細骨材は、富士川産川砂（密度 2.63 g/cm^3 、粗粒率 2.99）をベースに市原産山砂（密度 2.57 g/cm^3 、粗粒率 2.32）で 15 vol % 置換したものを使用した。粗骨材は、両神産 6 号碎石（密度 2.72 g/cm^3 、粗粒率 6.56）を使用した。スランプ調整にポリエチレングリコール系高性能減水剤、空気量調整に非イオン系消泡剤を使用した。急結剤は、カルシウムアルミネート系急結剤を使用した。

2.2 吹付けコンクリート配合

Table 1 に吹付けコンクリートの配合を示す。単位セメント量 360 kg/m^3 、細骨材率 62 % とし、水セメント比を 3 水準（58.6 %、53.6 %、48.6 %）とした。また、全ての配合においてスランプを $17 \pm 2 \text{ cm}$ 、空気量を $2.0 \pm 1.0 \%$ に高性能減水剤及び消泡剤で調整した。

2.3 吹付け条件及び吹付け方法

吹付け条件及び吹付け方法は先の報告¹⁾と同様である。

2.4 EPMA 測定及び評価方法

供試体の作成は、JSCE-F 561 に準じ採取したコンクリートブロック（横 60 cm、縦 60 cm、厚さ約 25 cm）から $\phi 10 \text{ cm}$ のコアドリルで吹付け面からコアを抜き取り、深さ方向に横 8 cm、縦 6 cm、厚さ 1 cm 程度になるように 3 等分しそれぞれ EPMA で測定した。測定条件は、加速電圧 15 kv、電流 $5 \times 10^{-8} \text{ A}$ 、電子ビーム径 $50 \mu\text{m}$ とし、測定元素はアルミニウムとカルシウムとした。また、急結剤濃度及び混合状態の評価は先の報告¹⁾で説明したように実施した。

2.5 圧縮強度

ベースコンクリートは JIS A 1132、吹付けコンクリートは JSCE-F 561 に準じ供試体を作成し、JIS A 1108 に準じ圧縮強度試験を行った。試験材齢は 28 日とし、3 本の平均値を圧縮強度とした。

Table 1 Mix proportion of shotcrete

Slump (cm)	Air content (%)	W/C (%)	s/a (%)	Unit content(kg/m ³)				SP (C×%)	AF (C×%)	AA (C×%)
				Water	Cement	Fine aggregate	Coarse aggregate			
17±2	2.0±1.0	58.6	62	211	360	1065	677	0.15	0.001	7
		53.6		193		1094	696	0.65	0.005	
		48.6		175		1123	714	1.25	0.01	

SP: Superplasticizer
 AF: Antiformer
 AA: Accelerating agent

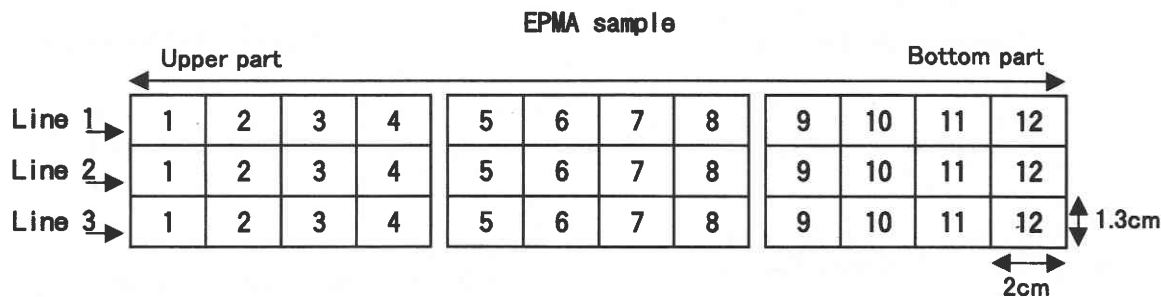


Fig. 1 Evaluation of dispersion on accelerating agent concentration

2.6 空隙率

ASTM C 642 に準じ空隙率を求めた。試験材齢は 28 日とし、吹付けコンクリート及び管理供試体共に φ10 × 20 cm の供試体を 3 等分し、その平均値を空隙率とした。

2.7 逆スランプ流下値

逆に固定したスランプコーンにコンクリートを充填し、コンクリートが流下する時間を測定した。

2.8 配管の脈動状態評価

3 人の目視による 5 段階評価の平均値で表した。Table 1 の実験 No.1 を評価点 3 とし、それより大きい場合は脈動が小さくなり、それより小さい場合は脈動が激しくなることを意味する。

3. 実験結果及び考察

先の報告¹⁾で急結剤添加率別に Al/Ca 比のマッピング処理を行い、各 0.75 以上の Al/Ca 比が占有する割合を求めたことで相対的な急結剤濃度及び混合状態を評価することができた。そこで、水セメント比を変動させることで施工性を変えた場合の吹付けコンクリートに対し、EPMA 分析を適用した。Fig. 2 には、水セメント比の変動によるばらつきを評価した結果を示す。Fig. 1 に示すように深さ方向で 12 分割、横方向で 3 分割し、36 領域における 0.75 以上の累積 Al/Ca 比占有割合を求め、ばらつきの評価とし

て標準偏差 (S.D.) を示した。また、急結剤未添加コンクリートの標準偏差 (S.D.ref) も示した。その結果、水セメント比が大きい方がばらつきが小さく、吹付けコンクリート中において急結剤が均一に混合している状態と言える。Fig. 3 には、0.75 以上の各 Al/Ca 比と各占有割合の積を急結剤濃度に相当する値とし、急結剤添加コンクリートと急結剤未添加コンクリートの急結剤濃度を差し引いて、急結剤濃度増加分として水セメント比に対してプロットした。その結果、水セメント比が小さくなると、増加分が大きくなっていることから、実際の急結剤添加率より高くなっている部分が増加していると考えられる。このような水セメント比の変動をもたらす影響は、施工性の変動と大きく関与していると考えられる。Fig. 4 に水セメント比が変動した場合の施工性と逆スランプ流下値の関係を示す。水セメント比が小さくなると施工性として配管の脈動が激しくなり、すなわち、配管内を空気搬送されるコンクリートの流動状態の連続性が低下する。これは、コンクリートの粘性が増加することに密接に関係している。つまり、Fig. 2 に示すように 0.75 以上の累積 Al/Ca 比占有割合のばらつきは、流動しているコンクリートの連続性が低下し、コンクリート濃度に差が生じ、高い急結剤濃度領域が増加したためと考えられる。これは、各領域番号で 3 つの系列における 0.75 以上の累積 Al/Ca 比占有割合の平均値を求め、

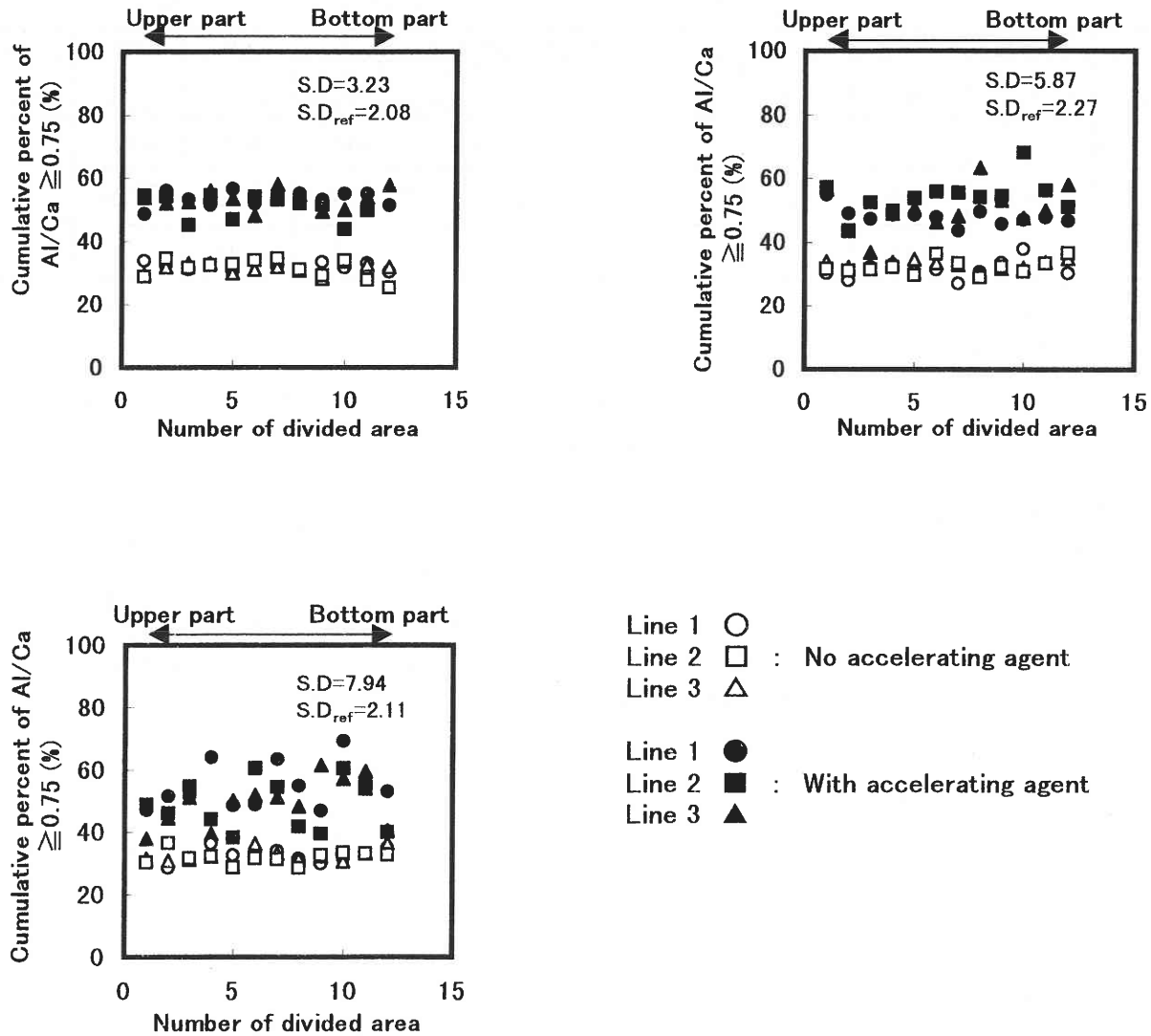


Fig. 2 Relations hips between number of divided area and cumulative percent of Al/Ca ≥ 0.75

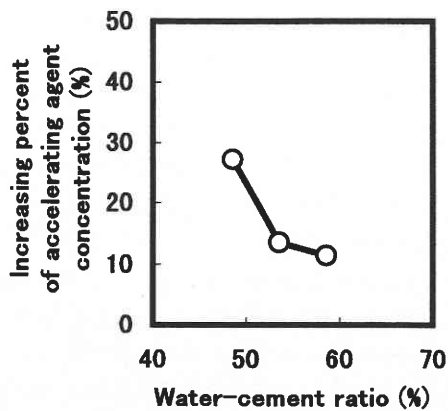


Fig. 3 Relationship between increasing percent of accelerating agent concentration and dosage of accelerating agent

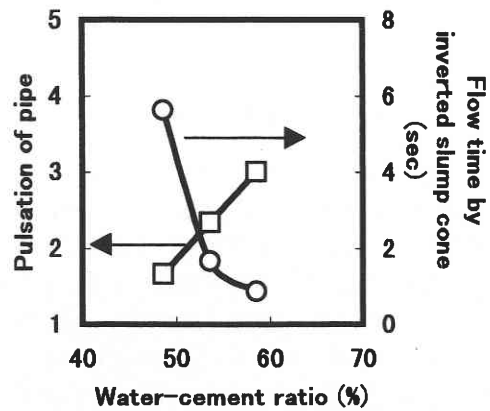


Fig. 4 Relationship between water-cement ratio and pulsation of a pipe or flow time by inverted slump cone

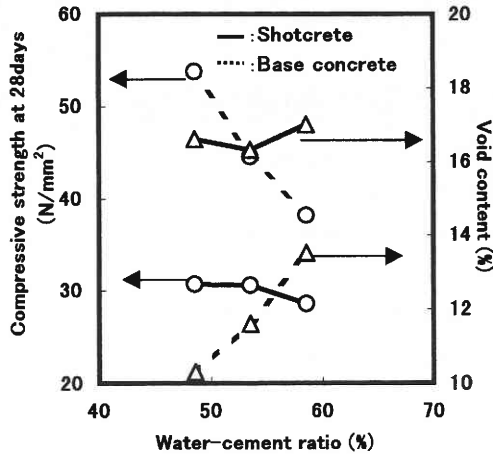


Fig. 5 Relationship between water-cement ratio and compressive strength or void content

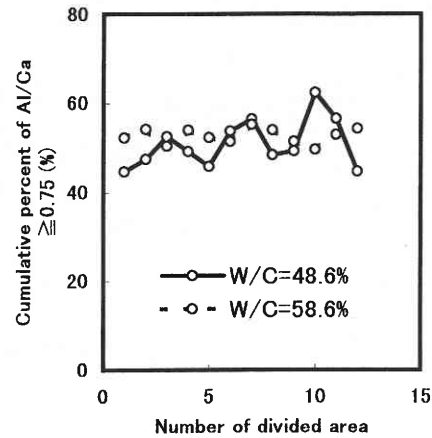


Fig. 6 Relationship between number of divided area and cumulative percent of Al/Ca ≥ 0.75

Fig. 5 に示すように深さ方向で分割した領域番号に対しプロットすると、水セメント比が小さい方が累積 Al/Ca 比占有割合の交互的変動が顕著に表れていることから示唆される。Fig. 6 には、水セメント比を変動させた場合の材齢 28 日における圧縮強度及び空隙率の関係を急結剤未添加コンクリートと共に示した。その結果、吹付けコンクリートの場合、空隙率にさほど変化がないにも関わらず、水セメント比の低下による強度発現の向上がほとんど認められなかった。このような現象は、Fig. 1, 2 の結果と大きく関連しており、アルミン酸塩等の無機塩を含む急結剤を使用した場合、過剰添加すると強度発現性を阻害することが知られており、局所的に高い急結剤濃度となった部分で強度発現性が阻止され、このような部分が増加することで、低強度での破壊が進行しやすくなったことに起因すると考えられる。従って、実現場においても脈動による施工性の良否は、品質を悪化させないためにも重要な条件となり、安定したコンクリートの搬送を維持することが品質を安定化する一つの手段と考えられる。今後、吹付けコンクリートにおける局所的な強度特性（硬度の違い）と急結剤濃度の関連性、また、急結剤濃度による水和物組織の違いを明確化するような詳細な検討が必要と考えられる。

4. ま と め

本研究の結果から、施工性の悪化により吹付けコンクリート中の急結剤濃度のばらつきが大きくなり、高い急結剤濃度領域も増加する。また、施工性の変動に伴う急結剤剤

濃度のばらつきは、得られる吹付けコンクリートの強度発現性にも影響を及ぼすと考えられる。

謝 辞

本実験は、東京大学生産技術研究所における平成 9 年度『高品質吹付けコンクリートの開発』を目的とした共同研究による成果であり、共同研究員である (株) 青木建設 酒井芳文氏、(株) 大林組 田湯正孝氏、(株) 鹿島建設 (株) 田沢雄二郎氏、佐藤工業 (株) 伊東良浩氏、清水建設 (株) 浅野篤氏、大成建設 (株) 坂本淳氏、(株) 竹中土木 安藤慎一郎氏、電気化学工業 (株) 笹川幸男氏、飛鳥建設 (株) 平間昭信氏、西松建設 (株) 松井健一氏、(株) 間 杉山律氏、前田建設工業 (株) 赤坂雄司氏、協力会社として御協力頂いた富士物産 (株) 阿部隆夫氏、(株) 北川鉄工所 見浦光夫氏、吹付け実験に参加された多くの方々、また、EPMA 測定に御協力して頂いた電気化学工業 (株) 石橋孝一氏、二階堂泰之氏、南雲敏朗氏、稲場徹氏に感謝の意を表します。

(1998 年 8 月 10 日受理)

参 考 文 献

- 1) 荒木、田沢、西村、魚本：吹付けコンクリートの特性に関する基礎的研究 (6) — EPMA を用いた吹付けコンクリート中における急結剤の濃度分布 (その 1) —, 生産研究, 第 50 巻 10 号, pp. 385-388, 1998. 10.
- 2) ジェオフロンテ研究会編集：高強度吹付けコンクリートの開発報告書, 1995, 12.