

分割練混ぜによる新吹付けコンクリートの施工特性

日本鉄道建設公団 正会員 伊藤 隆 日本鉄道建設公団 正会員 越智 修
住鉱コンサルタント 正会員 末永充弘 フジタ 正会員 伊藤祐二
リブコンエンジニアリング 正会員 田村忠昭 日本鉄道建設公団 小山 昭

1. はじめに

日本鉄道建設公団は、平成2年度以来、効率的吹付けコンクリート工法の開発を目指した研究を続け、シリカフューム(SF)と石灰石微粉末(L)の微粉体と分割練混ぜ(SEC)工法を採用した新吹付けコンクリートの技術的集約を、学識者よりなる委員会の審議を経て体系化し、平成9年5月に「高品質吹付けコンクリート設計・施工指針(案)」(指針案)を制定、同年度発注の整備新幹線トンネル工事に適用して以来、多数の現場に適用している。

本報告は現場データを基に SF 等を混入し、SEC 工法にて製造された「新吹付けコンクリート」の造殻(一次練混ぜ時の物理現象)等に起因する特性について検討したものである。

2. 施工特性

新吹付けコンクリートの示方配合例を表1に、地区別材料保水特性を表2に示す。現場毎の示方配合は、現場使用材料(粉体および細骨材)の保水特性を予め試験し、一次水結合材比($W1/(C+SF)$)を算定した後、現場で試験練りを行って決定する。

表1 新吹付けコンクリートの示方配合例(ポンプ搬送の場合)

粗骨材最大寸法 (mm)	スランブの範囲 (cm)	水結合材比 ($W/(C+SF)$) (%)	細骨材率 (s/a) (%)	単位セメント量 (C) (kg/m ³)	石灰石微粉末 (L) ($S \times \%$)	((C+SF) × %)	急結剤	混和材 (SF)	減水剤
10～15	8±2	55～60	60～65	342	概ね15	4～7	5	必要量	

表2 地区別材料保水特性

地区	東北	北陸	九州
保水特性			
細骨材 FM	2.47	2.94	2.71
0.15mm 以下粒子(%)	6.42	5.74	8.57
75μm 以下粒子(%)	2.33	1.86	3.18
β_{OH} (%)	2.32	1.15	3.02
α (%)	24.0	23.0	22.0
$W1/(C+SF)$ (%)	37.82	34.48	34.95

また、練混ぜ水を介した混合粉体(セメント, SF, L)粒子間の結合形態は、吸着水膜を共有した強固な結合状態にあるものと考えられ¹⁾、この結合状態での SF の初期活性化と L がセメントの C_3S の水和を促進する効果等が硬化体の初期強度向上に大きく貢献していると考えられる。

新吹付けコンクリートの $W1/(C+SF)$ は平均 35.8% (標準偏差 3.3%) であり、細骨材特性および混合粉体に影響される。ただし、 $W1/(C+SF)$ の変動には混合粉体の水混合粉体比(α)の影響よりも、細骨材固有の拘束水である細骨材表面吸着水率(β_{OH})の影響の方が大きい。細骨材 FM が小さい場合にはその表面積が大きくなることから、 β_{OH} が大きくなるためである。図1に $W1/(C+SF)$ と細骨材粗粒率(FM)の関係を示す。

図2にリバウンド率と細骨材 FM、図3にコア強度と $W1/(C+SF)$ 、図4にコア強度と細骨材 0.6～1.2mm 粒子含有率、図5にリバウンド率と $W1/(C+SF)$ の関係を示す。これらの図より以下のことが言える。

細骨材 FM が小さい場合、 $W1/(C+SF)$ が大きい場合にリバウンドが低減可能となる。

$W1/(C+SF)$ の小さい場合、細骨材の 0.6～1.2mm 含有率が多い場合に強度増進が可能となる。

3. 考察

施工特性を明らかにするために分割練混ぜ(SEC)の原理、混合過程に着目して施工実績を検討した結果、練混ぜ時および硬化時に次のような現象が発生していると考えられる。

(1) 一次練混ぜ時 混合粉体粒子が吸着水膜を共有するパブリ状態の強固な結合を形成する。 粒子径 0.6～

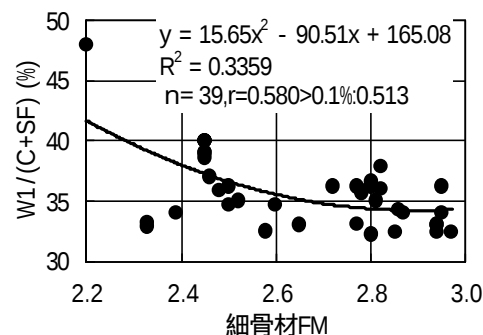


図1 $W1/(C+SF)$ と細骨材 FM の関係

1.2mm を主体とする細骨材周面でキャピラリー状態の混合粉体と造殻(造殻体)を形成する(この時フレッシュコンクリートは0スランプ状態)。

(2) 二次練混ぜ時 細骨材との造殻体の大部分は $W1/(C+SF)$ のまま造殻状態を保持する(造殻部の形成)。細骨材と造殻していないキャピラリー状態の混合粉体は、水結合材比が増大して流動性を有するスラリー状態となり(非造殻部の形成)、フレッシュコンクリートに流動性を付与する。

以上より、 $W1/(C+SF)$ は粉体粒子間の結合および造殻体の性能を支配し、二次水結合材比($W2/(C+SF)$)はフレッシュコンクリートの粘性特性や非造殻部の性能に影響を与えていると考えられる。

(3) 硬化時 造殻部は、水結合材比の大きな非造殻部を包含しつつ、細骨材とキャピラリーに近い状態で水和が進行し、箍(たが)の役割を果たす。特に、コア供試体の場合には、非造殻部への急結剤混入や空隙の形成が起こり得ることから、造殻部の補強効果が大きいと考えられる。図6に造殻部概念を示す。

4. まとめ

以上をまとめると、ブリーディング率の低減、分離抵抗性・圧送性の向上等は SEC 工法の特徴であるが、新吹付けコンクリートの場合、微粉体を SEC 工法により効果的に活用できたものと考えられる。

吹付け施工時、圧縮空気使用による大きな拡散力に抗して粉じん濃度を低減できた²⁾ことは、混合粉体粒子間の強固な結合効果が寄与していると考えられる。細骨材の FM、細骨材粒径範囲、混合粉体等の造殻性能に影響する要因を適切に選定・採用することにより、造殻の品質を向上させ得る可能性がある。二次水量を適切に設計することにより、フレッシュコンクリートの粘性、および硬化コンクリートの性能を向上させ得る可能性がある。

5. おわりに

今回、施工実績の分析・検討から、新吹付けコンクリートの特徴や効果が混合粉体と骨材との造殻に起因していると考えられ、SEC 工法の基本的な原理の一端を把握できたと考えている。今後は、硬化体の力学的特性調査等を通じて、指針案の更なる深度化を図ると共に、新吹付けコンクリートの活用領域並びに有効活用方法を追求して行きたいと考えている。

最後に、本報告をまとめるにあたり、貴重なご助言をいただいた関係各位に心からお礼申し上げます。

<参考文献>

- 1) 北川ほか:微粒分を混入し粘性を活用した高品質吹付けコンクリートの諸特性、土木学会、トンネル工学研究発表会論文・報告集、Vol.7、1997.11
- 2) 越智ほか:分割練混ぜによる新吹付けコンクリートの施工実態、土木学会第 54 回年次学術講演会講演概要集、第 部門、1999.9、pp.400 ~ 401

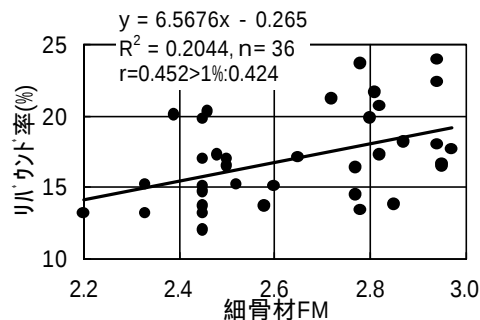


図2 リバウンド率と細骨材 FM の関係

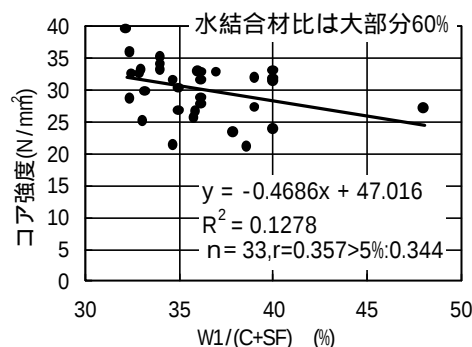


図3 コア強度と $W1/(C+SF)$ の関係

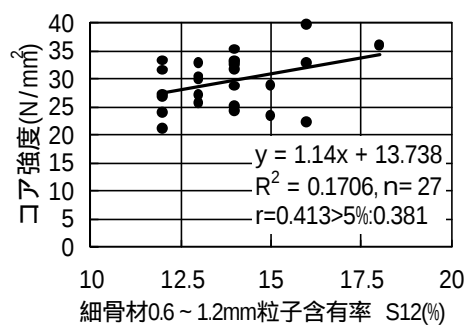


図4 コア強度と S12 の関係

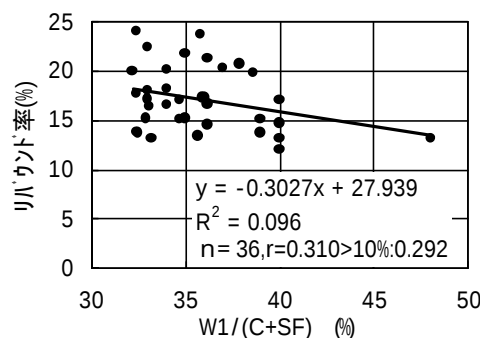


図5 リバウンド率と $W1/(C+SF)$ の関係

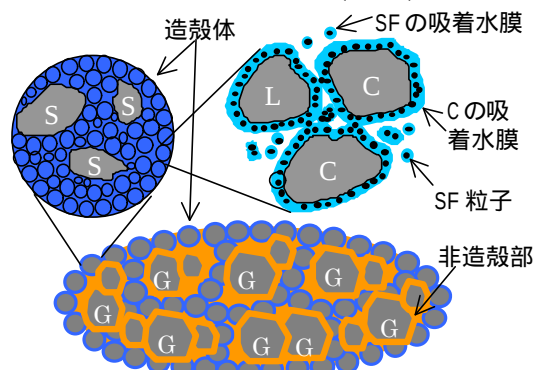


図6 造殻部概念