

吹付けコンクリートの内部組織の変化と強度特性

金沢大学大学院 学生会員 秋田 有一
 金沢大学大学院 正会員 五十嵐 心一
 西松建設㈱ 正会員 佐藤 幸三
 電気化学工業㈱ 正会員 石田 積

1. 序論

吹付けコンクリートは、山岳トンネルの標準工法である NATM の主要な支保部材であり、この工法が導入されて以来、使用機材や材料、施工法等について様々な開発が重ねられてきた。吹付けコンクリートは、急結材が添加されるため、初期強度の発現性は良好だが、長期強度の発現は通常の練り混ぜ鑄込み打設コンクリートよりも低くなるようである。また、その施工方法も異なることから、これが内部組織の形成に影響を及ぼすことも考えられる。しかし、実際の吹付けコンクリートの試料を得るのは容易ではなく、また仮設構造として捉える場合もあり、急結材の添加や施工プロセスの相違が強度発現特性に及ぼす影響を詳細に検討した例はないようである。

本研究においては、実際に吹付けされたコンクリートと練り混ぜ鑄込みされたコンクリートの内部組織の相違を明らかにし、それが強度発現に及ぼす影響について考察する。

2. 実験概要

(1)使用材料および配合 セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。骨材は新潟県姫川流域産の川砂(FM=2.82)、川砂利(Gmax=15mm)を使用した。急結材は、粉体状のものをを使用した。コンクリートの配合を表-1 に示す。

表-1 配合表

種類	スランブ (mm)	W/C (%)	S/a (%)	単位量(kg/m ³)				急結材 C×(%)
				水	セメント	細骨材	粗骨材	
打設コンクリート	120±20	0.6	0.6	216	360	1053	707	0
吹付けコンクリート				216	360	1053	707	7

(2)レオロジー試験 吹付け施工性の簡便な判定を目的として、図-1 に示すような装置を用い、レオロジーの評価を行った[1]。コンクリート上部に載せたプレートがコンクリートのスランブにより 100mm 沈下するまでの時間を測定し、次式により降伏値(τ_0)及び塑性粘度(η)を求めた。

$$\tau_0 = \rho / 270 \times (300 - S)$$

$$\eta = 25 \times 10^{-3} \rho T \quad (S < 200 \text{ mm の場合})$$

ここに、 τ_0 は降伏値(Pa)、 ρ はコンクリートの密度(kg/m³)、Sはスランブ(mm)、 μ は塑性粘度(Pa·sec)、Tはプレートが止め金に達するまでの時間(sec)である。

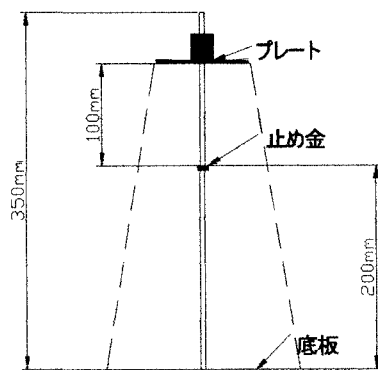


図-1 レオロジー試験装置

(3)圧縮試験およびコア採取法 コンクリートプラントで練り混ぜたコンクリートの湿式吹付け施工前に、アジテーター車から採取したコンクリートを用いて JIS A 1108 に準じて直径 100mm、高さ 200mm の円柱供試体を作製した。一方、吹付けられたコンクリートから JSCE-F 552、JSCE-F 561 に準じてコンクリートコアを採取し、整型を行って、直径 55mm、高さ 110mm の円柱供試体を作製した。供試体は、所定材齢まで標準水中養生を行い、すべての配合に対し材齢 7 日、28 日において圧縮強度試験を行った。

(4)空気量試験 コンクリートの断面に赤色の染料を混ぜた樹脂を含浸した。樹脂の硬化後、表面の研磨を
 キーワード : 急結材, 吹付けコンクリート, 強度発現

連絡先 : 金沢大学工学部土木建設工学科 〒920-8867 金沢市小立野 2-40-20 TEL076-234-4622

行い、デジタルカメラで断面を撮影し、パーソナルコンピュータに画像を取り込んだ。その画像中の赤色に染色された空隙に関して画像解析を行い、最長径 1mm 以上のエントラップドエアの体積率を求めた。

(5)反射電子像観察 材齢 7 日、28 日の供試体から試料を切り出し、エタノール浸漬した。その後、真空装置を用いて樹脂含浸し、樹脂の硬化後、耐水性研磨紙およびダイヤモンドスラリーを用いて注意深く研磨した。金パラジウム蒸着した後、研磨面の電子顕微鏡観察を行った。観察された反射電子像の画像解析によって未水セメントの体積率を求め、水和度を計算した。

3. 結果および考察

表-2 にレオロジー試験の結果を示す。スランブが 10.5cm と吹付けコンクリートとしてはやや小さいため、降伏値は多少大きい結果を示した。しかし、塑性粘度に関しては $15.5\text{Pa}\cdot\text{s}$ 程度あり、このコンクリートを用いて吹付け作業を行った結果、施工性に関しての問題は生じなかった。

図-2 に圧縮強度試験の結果を示す。材齢 7 日においては打設コンクリートの強度と吹付けコンクリートの強度はほぼ同程度であるが、その後の強度発現傾向は両者で大きく異なり、吹付けコンクリートの強度増加は小さい。

図-3 は打設コンクリートおよび吹付けコンクリートの断面の様子を示したものである。写真からも確認できるように、打設コンクリートの断面には円

形状の巻き込み空気がわずかに存在する程度なのに対して、吹付けコンクリートの断面には径が大きく、不規則な形状の巻き込み空気が大量に存在している。また、図-4 に示す画像解析の結果からも、吹付けコンクリートは打設コンクリートの約 2 倍程度の量の粗大な空気泡を含むことが確認できる。

表-3 は画像解析により求めたセメント水和度の結果を示したものである。吹付けコンクリートの水和度は材齢 7 日においては打設コンクリートの水和度とほぼ同程度であるが、材齢 28 日においては両者の水和度の差は拡大しており、吹付けコンクリート中のセメントの水和反応の進行が抑制されている。すなわち、急結剤がセメントの水和反応に影響を及ぼすことによって内部組織の形成が妨げられ、その結果、長期強度発現性に劣ることがわかる。

4. 結論

本研究において得られた結果をまとめると、以下の通りである。

- (1) 本研究で用いたコンクリートでは、吹付けの作業上、問題なく施工が可能であった。
- (2) 材齢 7 日以降、吹付けコンクリートの強度の発現性は、打設コンクリートよりも劣る。
- (3) 吹付けコンクリートの粗大な巻き込み空気泡の量は、打設コンクリートの約 2 倍程度であった。
- (4) 急結材を用いるとセメントの水和反応は遅延される。

表-2 レオロジー試験結果

	スランブ (cm)	降伏値 (Pa)	塑性粘度 ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)
打設コンクリート	10.5	1687	15.5

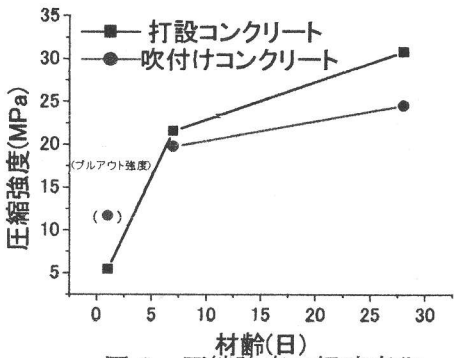
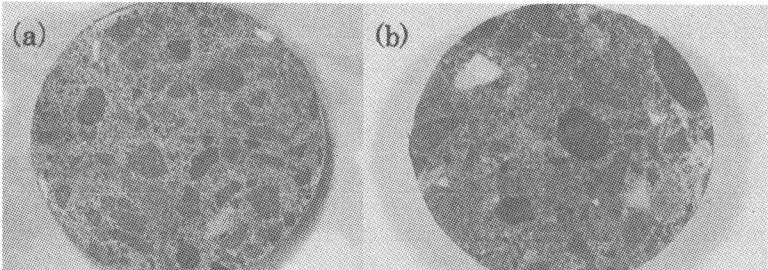


図-2 圧縮強度の経時変化



打設コンクリート($\phi=100\text{mm}$) 吹付けコンクリート($\phi=55\text{mm}$)
図-3 断面写真

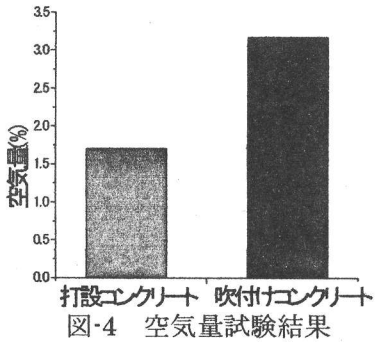


図-4 空気量試験結果

表-3 水和度の経時変化(%)

	7 日	28 日
打設コンクリート	64.3	88.4
吹付けコンクリート	59.3	75.6