

V-541

使用材料および配合が吹付けコンクリートの品質に及ぼす影響

清水建設技術研究所 正会員 橘 大介

1. まえがき

吹付けコンクリートは、NATM工法におけるトンネルライニング、のり面の防護工事などに利用されている。しかしながら、吹付けコンクリートは練り上がったコンクリートを吹付け機を用いて圧送、吹付け施工するため、コンクリートがポーラスになったり、場合によってはいわゆる鬆（す）などの大きな空隙をつくることもある。また、トンネルライニングに用いられる吹付けコンクリートは、天端からのコンクリートの剥落防止、地山の変位拘束などの観点から、急結剤を多量に使用する。これらの施工法或使用材料の特殊性が吹付けコンクリートの品質を低下させる原因になっていると考えられる。その一方で、吹付けコンクリートを仮設ではなく本設で大々的に使用するための技術や大断面トンネルの急速施工技術などが要求されており、品質の高い吹付けコンクリートの製造技術が必要になってきている。本研究は、トンネルライニング用吹付けコンクリートを対象として、硬化した吹付けコンクリートの品質を改善するために実施した。

2. 実験概要

2.1 使用材料およびコンクリート配合

使用材料およびコンクリート配合を表-1, 2に示す。混和材は、スラリー状のシリカフュームを水結合材比の低い高強度吹付けを対象とした配合（W/B=34.0%）に使用した。急結剤には、カルシウムアルミネートを主成分とするもの（CA系）とカルシウムサルフォアルミネートを主成分とするもの（CSA系）の2種類を選定した。配合に関しては、水結合材（セメント）比を52.8, 34.0%とし、急結剤の種類と混和率を変化させた9配合とした。目標スランプは、W/B=52.8%の配合で10cm、W/B=34.0%の配合で20cmとした（ただし、配合I-3は、20cm）。目標空気量は、2%とした。なお、凝結試験に使用した骨材は、レディーミクストコンクリート工場のものを使用したもので表中のものとは異なる。

2.2 実験項目と実験方法

減水剤の使用が急結剤混和率に及ぼす影響に関して検討するために、吹付け実験を実施する前に、凝結試験（ASTM C 403）を実施した（配合は表-3参照）。吹付けは、ピストンタイプのコンクリートポンプ（理論最大吐出量17m³/h、吐出口径100mm）を使用して、土木学会規準に準拠して行った。吹付けたパネル試験体（50×50×30cm）からコア供試体を採取して、所定の材齢において圧縮強度試験（供試体寸法φ10×20cm）、ポロシメータによる水銀圧入試験、促進中性化試験（供試体寸法10×10×40cm）を実施した。

表-1 使用材料

材料	種類	物性 / 成分
セメント	普通 C	比重=3.15, 比表面積=3290cm ² /g
細骨材	陸砂 S (浜岡産)	表乾比重=2.60, 吸水率=1.69%, FM=2.80
粗骨材	碎石6号 G (青梅産硬質砂岩)	Gmax=15mm, 表乾比重=2.65, 吸水率=0.59%, FM=6.50
混和材	シリカフューム SF	スラリー状, 比重=1.50, 固形分濃度=60%
混和剤	急結剤	CA系 カルシウムアルミネート系, 比重=2.80
		CSA系 カルシウムサルフォアルミネート系, 比重=2.87
	減水剤 SP	ポリグリコールエステル誘導体, 比重=1.05

表-2 コンクリート配合

配合 No.	W/B (%)	s/a (%)	単位結合材量 B (kg/m ³)		急結剤		混和剤 (B×%)
			C	SF	種類	混和率 (B×%)	
I-1	52.8	60	360	—	—	—	—
I-2					CA系	6.2	—
I-3						6.9	0.7
I-4					CSA系	16.8	—
II-1	34.0	60	450	50	—	—	1.6
II-2					CA系	4.3	
II-3						8.2	
II-4					CSA系	11.6	
II-5						17.2	

キーワード：吹付けコンクリート，急結剤，圧縮強度，耐久性，細孔量，鬆（す）

連絡先：〒135 東京都江東区越中島3-4-17 TEL 03-3820-5513 FAX 03-3820-5955

3. 実験結果と考察

3.1 凝結性状

表-3に凝結試験結果を示す。単位セメント量 $C=360\text{ kg/m}^3$ 一定下で、単位水量を 205 kg/m^3 から 175 kg/m^3 と順次少なくすることにより、凝結時間は大幅に減少した。すなわち、減水剤を使用して単位水量を少なくすることにより、所要の急結性を得るための急結剤混和率が顕著に減少した。この結果は、減水剤を使用した吹付けコンクリートのコストアップを相殺するばかりでなく、硬化した吹付けコンクリートの諸物性に対しても、後述するように、有効に作用するものと言える。

3.2 圧縮強度

圧縮強度試験結果を図-1に示す。CA系急結剤を使用した吹付けコンクリートの圧縮強度は、圧送・締固めを行った急結剤無混和のもの（場所打ちコンクリート I-1 および II-1）と比較して、顕著に強度が低下した。一方、CSA系急結剤を使用した場合、強度低下はかなり小さくなった。特に $W/B=52.8\%$ の配合 I-4 では、材齢91日圧縮強度が 63.4 N/mm^2 となり、急結剤無混和のものと比較して、約27%高い強度が得られた。このことは、シリカフュームや減水剤を使用することなしに、50%を超える水セメント比で経済的に高強度吹付けコンクリートの製造が可能になることを示している。CSA系急結剤を使用した場合のこのような強度性状は、図-2に示す細孔量の測定結果から説明できる。すなわち、CSA系急結剤を使用した場合、CA系急結剤と比較して、急結剤使用による細孔量の増加が顕著に少なくなった。これは、同急結剤がセメントの水和反応をあまり抑制・停止させないことやカルシウムサルフォアルミネートがセメントと反応してエトリンガイトなどを生成して空隙を充填したためと考えられる。

3.3 中性化に対する抵抗性

図-3に促進中性化試験結果を示す。CA系急結剤を使用した場合、中性化に対する抵抗性が顕著に低下する結果になった。一方、CSA系急結剤を使用した場合、抵抗性の低下は小さくなり、 $W/B=34.0\%$ では、急結剤無混和のものと同等の抵抗性を示した。このような結果になったのは、圧縮強度試験結果と同様にコンクリート中の細孔量に起因すると考えられる。

4. まとめ

本研究により、品質の高い吹付けコンクリートの製造方法に関して、依然としていくつかの課題はあるとはいっても、2,3の提案をすることができた。

表-3 凝結試験結果

W/C (%)	W (kg/m^3)	減水剤 SP (C×%)	スランブ (cm)	急結剤 CA系 (C×%)	凝結時間 (分一秒)	
					始発	終結
56.9	205	—	10.5	7	0-55	35-00
				10	<0-50	18-00
				13	0-55	15-00
52.8	190	0.7	11.0	6	1-10	19-40
				7	<0-50	14-00
				10	0-40	12-40
48.6	175	1.3	10.5	5	1-00	6-40
				7	<0-50	6-10
				10	<0-50	7-00

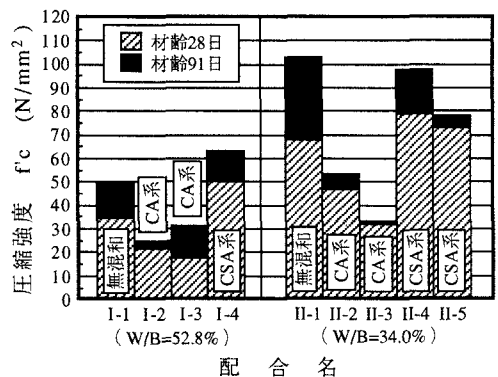


図-1 圧縮強度試験結果

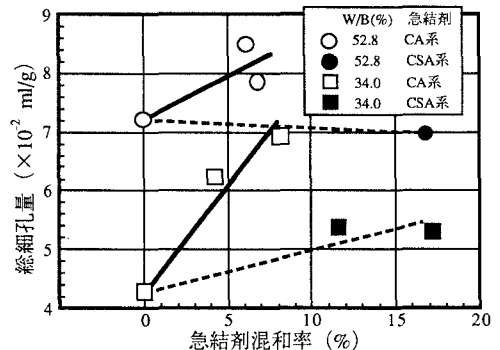


図-2 急結剤混和が細孔量に及ぼす影響

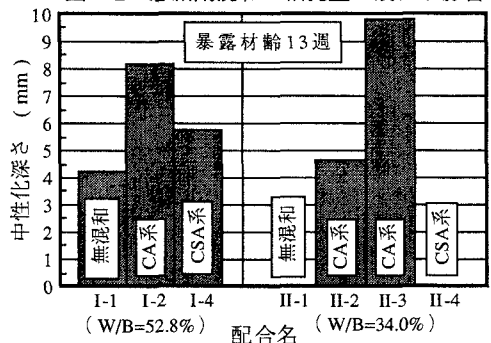


図-3 促進中性化試験結果