

# 吹付けコンクリートの特性に関する基礎的研究 (18)

—急結剤の種類が吹付けコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響—

Properties of Shotcrete (18)

— Effect of Accelerator on Compressive Strength of Shotcrete —

平 間 昭 信\*・西 村 次 男\*\*・魚 本 健 人\*\*\*

Akinobu HIRAMA, Tsugio NISHIMURA and Taketo UOMOTO

## 1. はじめに

近年、トンネルの大断面化、扁平化および各種地下構造物など多様化するニーズや建設費縮減などを背景とし、トンネル支保の形態が次第に変化している。これを反映して、トンネルの支保部材である吹付けコンクリートについては、従来の設計基準強度 18 N/mm<sup>2</sup> より高い強度や耐久性など品質の向上が求められている<sup>1)</sup>。吹付けコンクリートの高品質化の手法としては、配合（水セメント比の低減、混和材の使用、空気量など）や使用材料（混和材の種類など）からのアプローチがほとんどである。吹付けコンクリートの強度発現に大きく影響を及ぼす急結剤については、

カルシウムアルミネート系粉体急結剤が主流であったが、要求される品質によって多様化しつつある。

本報告は、吹付けコンクリートの配合設計手法を確立するための基礎資料を得ることを目的に、急結剤の種類および添加率が吹付けコンクリートの強度発現に及ぼす影響について、湿式吹付け実験および室内実験により検討したものである。

## 2. 実験概要

### 2.1 配合および使用材料

吹付け実験および室内実験における基本配合を表1に示す。また、一連の実験で使用した材料の物性値などを表2

表1 基本配合

スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )				
				セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤
21.0	2.0	45.6	58.2	450	205	960	703	C×0.8%

表2 使用材料

材 料	名 称	密 度 (g/cm <sup>3</sup> )	諸 元 , 主 成 分
セメント	普通ポルトランドセメント	3.16	比表面積 3,260cm <sup>2</sup> /g
細骨材	千葉県君津市産山砂	2.61	吸水率 1.70%, F.M 2.76
粗骨材	東京都八王子産 6号砕石	2.66	最大寸法 15mm, 吸水率 1.02%, F.M 6.24
混和剤	高性能減水剤	1.05	ポリグリコールエステル誘導体
急結剤	セメント鉱物系粉体急結剤	2.57	カルシウムアルミネート系 (C A)
	セメント鉱物系粉体急結剤	2.88	カルシウムサルフォアルミネート系 (C S A)
	無機塩系液体急結剤	1.55	アルミン酸塩 (A S)
	アルカリフリー液体急結剤	1.44	水溶性アルミニウム塩 (A F)

\*飛鳥建設 株式会社

\*\*東京大学生産技術研究所

\*\*\*東京大学 国際都市基盤安全工学国際研究センター

に示す。

なお、室内実験では、急結剤を添加した後、瞬時に凝結が始まることから、供試体の作製が困難であったり、試験結果にばらつきが生じることが予測された。そのため、供試体作製時間を確保するために凝結遅延剤として、市販のクエン酸をセメント量に対して0.8%添加した。

**2.2 吹付け実験概要**

**(1) 吹付け方法**

吹付け方式は湿式吹付け方式とし、吹付けシステムはポンプ圧送方式（ピストン方式）で実施した<sup>2)</sup>。配管条件は、急結剤との混合装置までの16mをポンプ圧送し、Y字管により圧縮空気を挿入後、急結剤との混合装置まで10mを空気圧送し、急結剤と混合して2mのフレキシブルホースを介してテーパノズル（L=0.6m）にて吹付けを行った。

**(2) 実験要因および水準**

実験要因および水準を表3に示す。単位セメント量450 kg/m<sup>3</sup>において、ASを除いて急結剤添加率は標準添加率を中心に30%増減させた。

**(3) 試験項目および試験方法**

吹付け実験における試験項目および試験方法を表4に示す。吹付けコンクリートは、JSCE-F 561「吹付けコンクリートの強度試験用供試体の作り方」に準拠し、箱型枠（60×60×25cm）に吹付けた試験体よりコアを採取した。また、比較として急結剤を添加しないコンクリート（以下、ベースコンクリート）についても、圧縮強度試験を行った。表4に示すMEYCO針貫入試験、プルアウト試

験で得られた推定圧縮強度を初期強度とし、材齢7日以降の圧縮強度を長期強度とした。

**2.3 室内実験概要**

室内実験の対象としたモルタルは、吹付け実験で検討したコンクリート配合から粗骨材を除いた配合に急結剤を添加したモルタルである。

**(1) 練り混ぜ方法、供試体の作製方法**

実験は、温度20℃、湿度80%の恒温恒湿室で実施した。モルタルの練り混ぜは、セメント、混和材および細骨材を加えて15秒間の空練りを行った後、高性能減水剤および凝結遅延剤を溶解した水を加え120秒間練り混ぜた。これに急結剤を加えて、高速攪拌で10秒間の練り混ぜを行った。得られたモルタルを型枠に流し込み、振動締め固めにより供試体を作製した。

**(2) 実験要因および水準**

表3に示した吹付け実験で検討した実験要因および水準について実施した。

**(3) 試験項目および試験方法**

室内実験における試験項目および試験方法を表4に示す。

表3 実験要因および水準

実験要因	実験水準	
	急結剤種類	急結剤添加率
急結剤の種類 および添加率	CA	C×3.5, 5.0, 6.5%
	CSA	C×7.0, 10.0, 13.0%
	AS	C×5.0%
	AF	C×6.3, 9.0, 11.7%

表4 試験項目および試験方法

実験名	試験項目	試験方法
吹付け実験	初期強度試験 (MEYCO針貫入試験)	試験はASTM C 403-70に準拠し、箱型枠に吹付けたコンクリートに針(φ3mm)を15mm貫入させた。 ①試験材齢：1分、5分、15分、30分 ②養生方法：現場養生 ③測点数：各材齢とも10点
	初期強度試験 (プルアウト試験)	土木学会規準「引抜きによるコンクリートの初期強度試験方法(案)」(JSCE-G561)に準拠した。 ①養生方法：現場潤湿養生 ②試験材齢：材齢3, 6, 24時間
	圧縮強度試験	JIS A 1107「コンクリートからのコア及び切り取り方法並びに強度試験方法」に準拠した。 ①供試体寸法：φ75×150mm(吹付け)、φ100×200mm(ベース) ②養生方法：標準水中養生 ③試験材齢：材齢7, 28日
	空隙率の測定	ASTM C 642に準拠した。 ①供試体寸法：φ75×150mm(吹付け)、φ100×200mm(ベース) ②養生方法：標準水中養生 ③試験材齢：材齢28日
室内実験	凝結時間の測定	土木学会規準「吹付けコンクリート用急結剤品質規格(案)」付属書(JSCE-D102)に準拠した。 ①養生方法：温度20℃、湿度80%の恒温恒湿室にて養生
	圧縮強度試験	JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準拠した。 ①供試体寸法：φ50×100mm ②養生方法：標準水中養生 ③試験材齢：材齢28日

研究速報

3. 実験結果および考察

3.1 吹付け実験

(1) 初期強度

図1に示すように、急結剤の種類が吹付け直後の強度発現に及ぼす影響は大きく、粉体急結剤のCAおよびCSAに比べて、液体急結剤のAS、AFの強度発現は遅れる傾向であった。ただし、図2に示すように、ASは材齢3時間以降の強度発現は、粉体急結剤のCAおよびCSAとほぼ同等であった。AFについては、材齢3時間以降も強度発現が遅れる傾向である。

(2) 長期強度

急結剤の種類が長期強度に及ぼす影響を図3に示す。図に示すように、CSAの強度発現は良好であり、材齢28日においては、ベースコンクリートの圧縮強度が42.5 N/mm<sup>2</sup>に対して51.0 N/mm<sup>2</sup>と吹付けコンクリートの方が高い値を示した。

図4には、材齢28日におけるベースコンクリートに対する吹付けコンクリートの強度比を示す。図に示すように、急結剤の種類により強度比は異なり、標準添加率においてCAは0.87, CSAが1.20, ASが0.86, AFは0.65であった。

更なるデータの蓄積は必要であるが、ベースコンクリートの配合を設定するにあたっては、このような使用する急結剤の強度特性に及ぼす影響を考慮する必要がある。

また、いずれの急結剤とも、急結剤添加率が増加するほど強度比が低下する傾向を示した。このことから、急結剤添加率が長期強度に及ぼす影響を考え、品質変動を抑えるためには急結剤添加率の管理が重要である。

(3) 空隙率

急結剤の種類が硬化体の空隙率に及ぼす影響を図5に示す

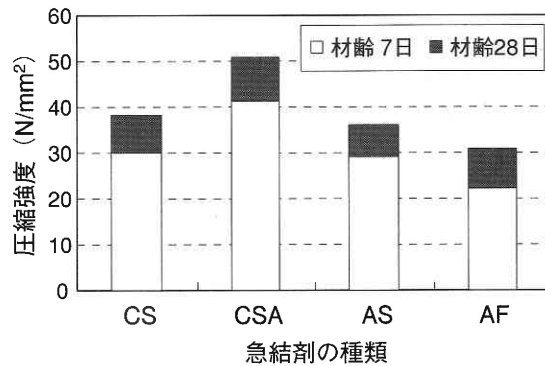


図3 急結剤種類と長期強度の関係

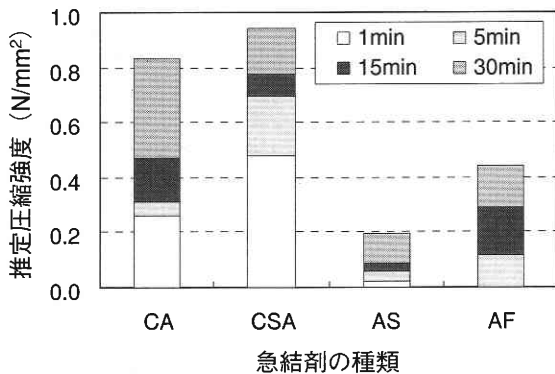


図1 急結剤種類と初期強度 (MEYCO) の関係

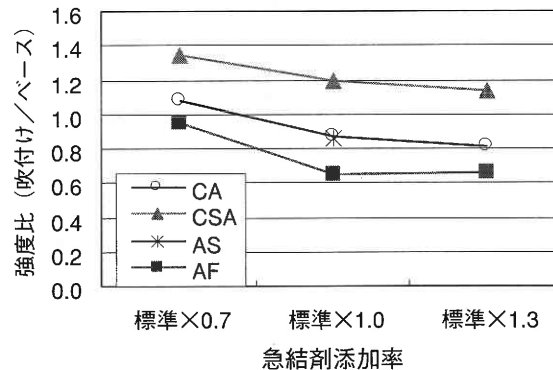


図4 急結剤添加率と強度比の関係 (材齢28日)

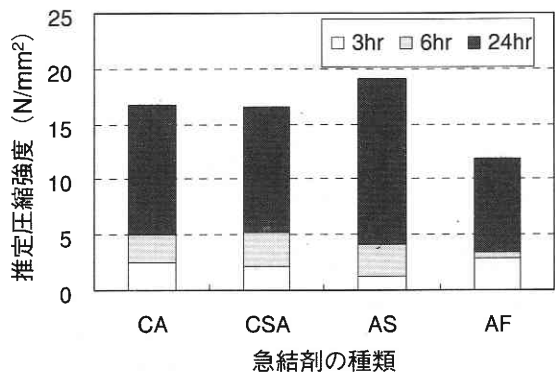


図2 急結剤種類と初期強度 (プルアウト) の関係

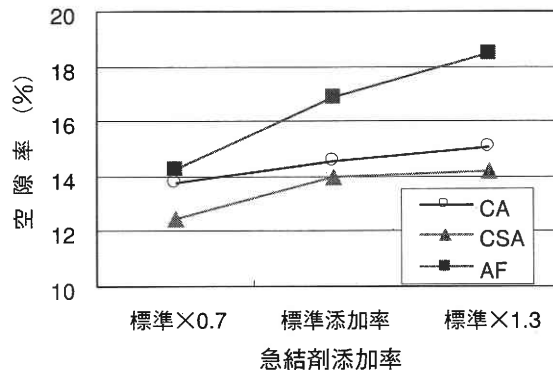


図5 急結剤添加率と空隙率の関係

す。急結剤の種類に関係なく、急結剤添加率が高いほど、空隙率は大きくなる傾向が認められる。標準添加率に対して添加率が30%変化するに伴い、硬化体の空隙率は10%程度変化するという結果であった。

図6は、各急結剤における標準添加率を1とした場合の強度比と空隙率比の関係を示したものである。図に示すように、強度比と空隙率比には負の相関関係が認められ、強度比が大きいほど空隙率は小さい傾向である。このことから、急結剤添加率が長期強度に及ぼす影響の要因として、

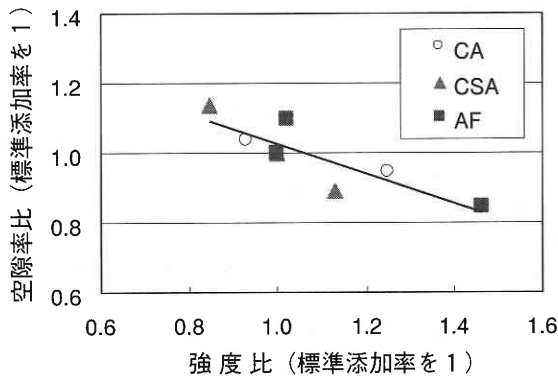


図6 強度比と空隙率比の関係

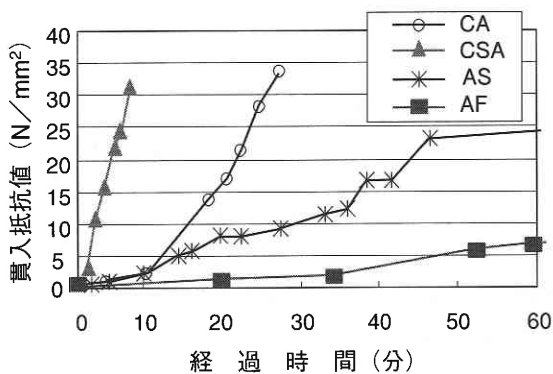


図7 プロクター貫入抵抗値

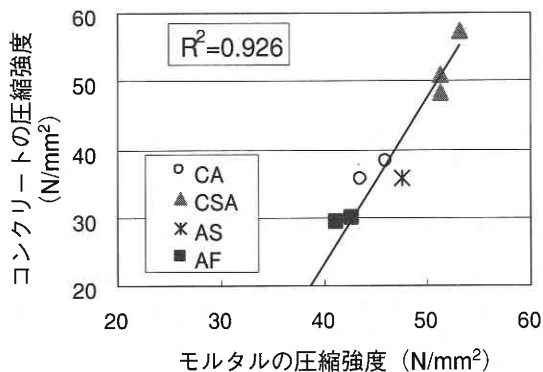


図8 モルタル強度とコンクリート強度の関係

硬化体の空隙構造が要因のひとつであると考えられる。

### 3.2 室内実験

#### (1) 凝結速度

急結剤種類を変化させたモルタルの凝結性状の結果を図7に示す。図に示すように、急結剤の種類により、凝結性状は顕著に異なる。この傾向は、図1に示した初期強度の傾向と一致する結果である。今後、使用する凝結遅延剤の種類および添加量などの課題もあるが、このような手法によって使用する急結剤の性能評価が可能であると思われる。

#### (2) モルタル強度とコンクリート強度の関係

図8には、急結剤の種類および添加率を変化させた材齢28日における室内実験のモルタル強度と吹付けコンクリートの圧縮強度の関係を示す。図に示すように、両者には高い相関関係が認められたことから、室内実験で得られたモルタル強度から吹付けコンクリートの強度を推定できる可能性が見出せた。

## 4. ま と め

- (1) 急結剤の種類により強度比は異なることから、使用する急結剤の強度特性に及ぼす影響を把握し、ベースコンクリートの配合設計に反映する必要がある。
- (2) 急結剤の種類に関わらず、その添加率は長期強度に大きく影響を及ぼすことから、品質変動を抑えるには添加率の管理が重要である。
- (3) 室内実験による凝結性状の傾向は、吹付け実験における初期強度の傾向と一致する結果であったことから、室内実験レベルでも使用する急結剤の性能評価が可能である。

## 謝 辞

本研究は、東京大学国際・産学共同研究センターと民間企業17社との共同研究「高品質吹付けコンクリートの開発」の成果であり、共同研究各社並びに関係各位の方々に多大な協力を得ました。末尾ながら、記して感謝の意を表します。

(2001年3月7日受理)

## 参 考 文 献

- 1) 例えば、トンネルの吹付けコンクリート、(社)日本トンネル技術協会, pp. 92-96, 1996. 2.
- 2) 杉山律ほか: 吹付けコンクリートの圧送性状に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 21, No. 2, pp. 1357-1362, 1999. 6.