

論文

[1057] シリカフェームを混和した吹付けコンクリートの物性に関する一実験

正会員○本橋賢一（鹿島技術研究所）

山 毅彦（鹿島横浜支店）

1. はじめに

シリカフェームを混和した吹付けコンクリートが北欧・北米のトンネル工事に盛んに適用されてきており、その理由は圧縮強度の増大、はね返りの低減、一回の吹付け厚さの増大等にあると報告されている [1]。ノルウェーにおいては、岩質が良好なトンネル工事の永久覆工に流動化剤を用いた鋼繊維補強シリカフェーム混入吹付けコンクリート（配合の一例として、骨材最大寸法 8mm、単位セメント量 $470\text{kg}/\text{m}^3$ 、シリカフェーム $38\text{kg}/\text{m}^3$ 、鋼繊維 $50\sim 75\text{kg}/\text{m}^3$ ）が湿式工法で施工されている。

一方、わが国においても吹付けコンクリートはトンネルの一次覆工に広く適用され、道路トンネルにおけるその標準的な配合は、設計基準強度 $180\text{kgf}/\text{cm}^2$ に対して単位セメント量 $360\text{kg}/\text{m}^3$ である。

本報文は、このトンネル一次覆工吹付けコンクリートを対象としてシリカフェームの混和効果を検討したもので、単位結合材量 $360\text{kg}/\text{m}^3$ 、水結合材比 55%、セメント鉱物系急結剤使用の条件で、セメントに対するシリカフェーム置換率を 0、5、10% に変化させた配合をパネルに吹付け、このパネルから切り出した試験体の圧縮強度、耐凍害性及び中性化について調査した結果を報告する。

2. 実験方法

2. 1 機械設備

機械の配置を図-1 に示す。容量 300ℓ のパン型強制式ミキサーで練り混ぜたコンクリートを、空気圧送方式の吹付機（アリバ280）使用、圧送ホース径 2.5インチ、ホース長 20m、ノズルから吹付面までの距離約 2m の条件で、1:0.5 の勾配で壁面に立て掛けて設置した縦 50cm × 横 50cm の型わくパネル内へ厚さ 30cm に吹付けた。吹付機の設定吐出量は機械の能力の 60% である $6\text{ m}^3/\text{h}$ とした。

2. 2 使用材料及び配合
コンクリート材料は、普通

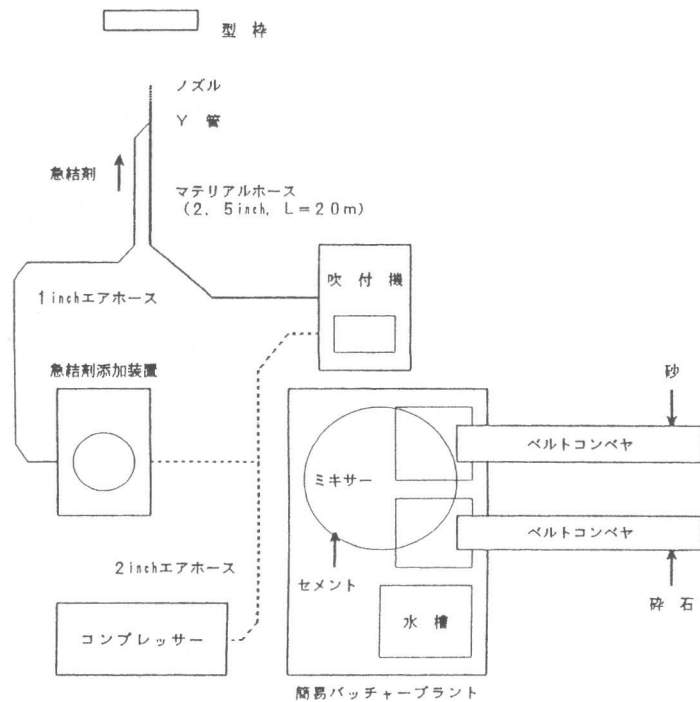


図-1 機械の配置

ポルトランドセメント、碎石 (G_{max} 15mm、比重2.67)、川砂 (FM2.70、比重2.61)、セメント鉱物系急結剤及び粉末タイプのシリカフェーム (比重2.20、 SiO_2 90%以上) を用いた。配合及び吹付機に投入する前に測定したフレッシュコンクリートの試験結果を表-1に示す。

表-1 配合及びフレッシュコンクリートの試験結果

No.	W/C+SF (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					スランブ (cm)	空気量 (%)
			W	C	S	F	急結剤		
SF-0	5.5	6.0	198	360	0	18	6.0	2.1	
SF-5	5.5	6.0	198	342	18	18	7.0	1.9	
SF-10	5.5	6.0	198	324	36	18	6.0	1.7	

2.3 試験項目

試験項目は、圧縮強度 (σ_7 、 σ_{28} 、 σ_{91})、凍結融解抵抗性及び促進中性化である。吹付けパネルから切り出したコア又ははり状の試験体 (以後“パネル切り出し試験体”と呼ぶ) についてこれらの試験を行なうとともに、吹付機に投入する前のコンクリート試料で供試体を作製して (以後、“打込み試験体”と呼ぶ) 圧縮強度と凍結融解抵抗性を調査した。

圧縮強度試験体は $\phi 10 \times 20$ cm であり、温度20℃、相対湿度70%の条件室内に保存した。

凍結融解試験体は $10 \times 10 \times 40$ cm であり、材令14日まで標準水中養生を行なった後に ASTM C 666-A法に準拠して試験を行った。

促進中性化試験体は吹付け表面が一面を構成するように切り出した $10 \times 10 \times 40$ cm であり、温度20℃、相対湿度70%の条件室内に保存した。試験体は、吹付け表面を除く他の面をエポキシ樹脂でシールして材令28日から3ヶ月間、温度40℃、相対湿度40%、炭酸ガス濃度10%の条件に暴露し、この切断面にフェノールフタレイン1%アルコール溶液を噴霧して中性化深さを測定した。

3. 実験結果及び考察

3.1 圧縮強度

図-2に打込み試験体及びパネル切り出し試験体の圧縮

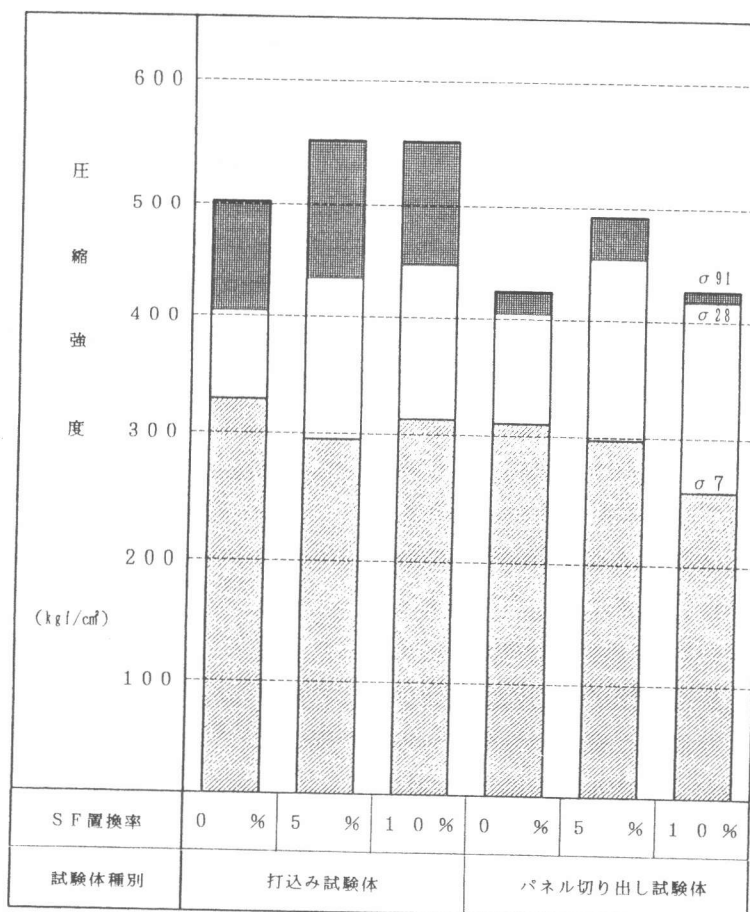


図-2 打込み試験体及びパネル切り出し試験体の圧縮強度

強度を示す。

打込み試験体の圧縮強度は大略、材令7日で300kgf/cm²、材令28日で400~450kgf/cm²、材令91日で500~550kgf/cm²であり、材令の進行とともに順調に増進した。シリカフェームの影響を見ると、その混和によって材令7日圧縮強度は同等かやや小さくなる傾向があるが、材令28日及び91日圧縮強度は逆に増大し、材令91日圧縮強度は約10%大きくなった。

一方、パネル切り出し試験体の圧縮強度は材令28日までは打込み試験体とほぼ同等の値を示したが、材令28日から91日にかけての伸びが小さく、急結剤を必要とする吹付けコンクリートでは材令28日以後の強度増進をあまり期待できないことが確認された。シリカフェームの影響を見ると、置換率5%の配合が材令28日及び91日強度とも最も大きな値を示し、材令28日圧縮強度はシリカフェーム無混和で403kgf/cm²、置換率5%で455kgf/cm²であった。

3. 2 耐凍害性

図-3に凍結融解試験結果を示す。打込み試験体及びパネル切り出し試験体とも耐凍害性はあまり良好でなく、打込み試験体で20~25サイクル、パネル切り出し試験体で70~100サイクルで相対動弾性係数が60%を下回った。重量減少率は試験終了時ににおいても5%以下であって、表面剥離の程度は小さかったことから、試験体はその内部を含めて劣化が進行したものと推測された。

弘中らは、吹付けコンクリートの耐凍害性は単位結合材量に影響され、単位結合材量が360kg/m³の条件ではシリカフェームの混和の有無にかかわらず不良であったと報告しており、今回の結果と符合する[2]。したがって、単位結合材量を増すことなく耐凍害性を高めるためには、AEコンクリートとした場合の効果を検討することが必要と考えられる。

3. 3 中性化

図-4に促進中性化試験の結果を示す。平均中性化深さは、シリカフェーム置換率が0、5、10%でそれぞれ25mm、42mm、46mmであって、シリカフェームの混和によって中性化速度は早まる結果であった。ちなみに、今回の促進条件下での暴露3ヶ月は、既往の文献を参考にすると温度20℃、相対湿度60%、炭酸ガス濃度0.03%の条件で約260年

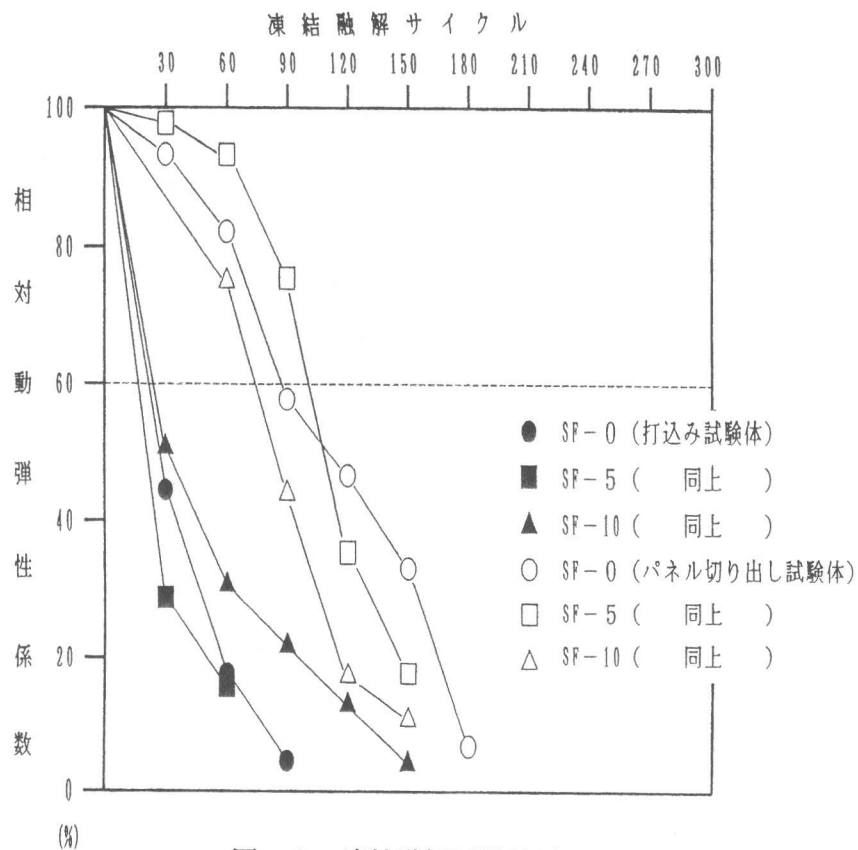


図-3 凍結融解試験結果

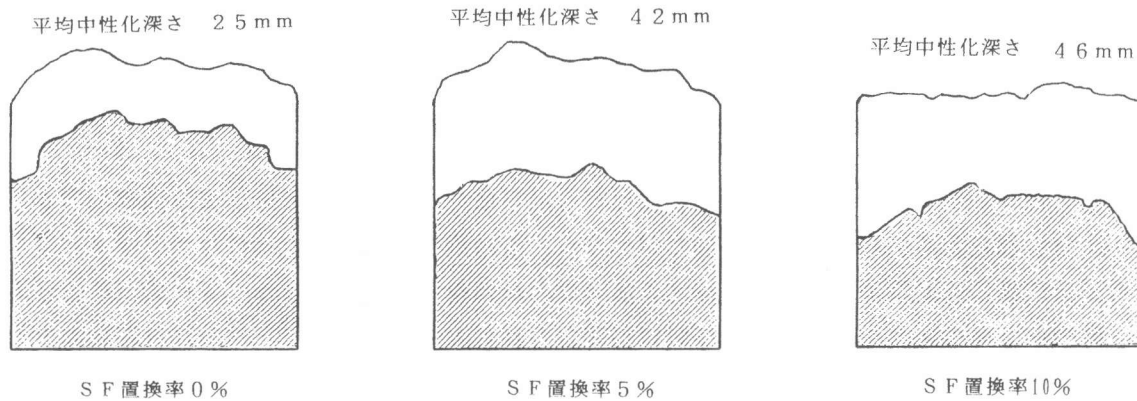


図-4 促進中性化試験結果

に相当するものである [3]。

4. まとめ

道路トンネルの一次覆工用吹付けコンクリートとして標準的に使用されている単位結合材量が 360 kg/m^3 の配合に関して、シリカフェーム置換率を 0, 5, 10% として吹付けコンクリートの物性を調査した。実験結果をまとめると以下のとおりである。

- (1) 急結剤を必要とする吹付けコンクリートでは、シリカフェームの混和の有無にかかわらず材令 28 日以降の強度増進が小さい。材令 28 日圧縮強度はシリカフェーム無混和で 403 kgf/cm^2 、置換率 5% で 455 kgf/cm^2 であったが、対象構造物の設計基準強度が 180 kgf/cm^2 であることを考慮するとこの強度差は重要とは考えられない。
- (2) 耐凍害性はシリカフェームの混和の有無にかかわらずあまり良好でない。
- (3) 中性化速度はシリカフェームの混和によって早まる。

以上のとおり、単位セメント量 360 kg/m^3 の配合でセメントの一部をシリカフェームで置換するという方法では、吹付けコンクリートの物性はほとんど改善されないことが確認された。今後、吹付けコンクリートの用途にシリカフェームを有効に利用していくには、はね返りや粉塵の低減を追求するか、あるいは若干のセメント量の増量と高性能 A E 減水剤の併用によってより高強度・高耐久性が求められる構造物、例えば永久覆工等への適用を検討することが妥当と考えられる。

参考文献

- 1) 日本シリカフェーム研究会：第 3 回研究会資料、1991. 2
- 2) 弘中義昭ほか：シリカフェームを混和した吹付けコンクリートの性質、(その 2) 圧縮強度および凍結融解抵抗性について、土木学会第 46 回年次学術講演会講演概要集第 5 部、1991. 9
- 3) 阿部道彦ほか：コンクリートの促進中性化試験の評価に関する研究、日本建築学会構造系論文報告集、Vol. 409、1990. 3