

高強度吹付けコンクリートの試験施工

(株)福田組 正会員 ○桜沢 雅志

(株)福田組 小山 正春

(株)福田組 小川 泰元

1. はじめに

トンネルで施工されている吹付けコンクリートは、設計基準強度が 18N/mm^2 と比較的低強度である。この吹付けコンクリートを高強度化することで、

- ① 支保構造（吹付けコンクリート）の耐久性向上
- ② 早期の強度発現によるトンネルの安定性・品質の向上（地山の緩み防止）
- ③ 膨張性地山等の大変形トンネルでの支保能力向上（変状対策）
- ④ 吹付けコンクリートの薄肉化によるコスト削減（今後の課題）

が可能となると考えられる。

表-1 使用材料一覧

2. 高強度吹付けコンクリートの配合

目標とする設計基準強度 36N/mm^2 （以降 H-36 と呼ぶ）と 70N/mm^2 （以降 H-70 と呼ぶ）の 2 種類の高強度吹付けコンクリート各々 6m^3 を現場において試験施工した。使用した材料を表-1 に、配合を表-2 に示す。

材 料 名	主 成 分 ・ 種 別 等
セメント	普通ポルトランドセメント
高炉スラグ微粉末	ほぼポルトランドセメントと同成分 ブレーン値 $6000\text{ cm}^2/\text{g}$
シリカヒューム	二酸化珪素 (SiO_2) メイコ MS610
粗骨材	Gmax15mm 信濃川 産
細骨材	FM2.59 信濃川 産
高性能減水剤	ポリカルボン酸エーテル系 NT-1000S
高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸エーテル系 レオビルド SP8SV
エトリンガイト	エトリンガイト系高強度混和材 デンカ Σ80N
急結材	カルシュームアルミネート鉱物系 デンカナトミック Type-5 カルシウムサルフォアルミネート鉱物系 デンカナトミック Type-10

表-2 吹付けコンクリート配合

呼び名	単 位 量 (kg/m^3)										
	水	普通セメント	エトリンガイト	シリカヒューム	高炉スラグ微粉末	細骨材	粗骨材	高性能減水剤	高性能 AE 減水剤	急結材 Type-5	急結材 Type-10
	W	C	E	SF	BSF	S	G	AD1	AD2	AC1	AC2
H-36	160	210	—	15	90	893	916	3.9	—	14.7	—
H-70	200	600	67	33	—	624	815	—	10.0	—	42.0

3. 試験施工の結果

1) 強度性状

試験施工による強度試験結果を表-3 に示す。

H-36 は既存の高強度コンクリートの規格（材齢 3 時間で 2.0N/mm^2 ，材齢 28 日で 36N/mm^2 ）を満足する。急結材はカルシュームアルミネート鉱物系であるが、吹付けコンクリートの材齢 28 日強度は、ベースコンクリートの強度を 13%程度上回っている。これは、吹付け圧で締め固められ、密実なコンクリートとなったことによると考えられる。

H-70 の材齢 28 日の圧縮強度は 77.0N/mm^2 と目標とした 70N/mm^2 をクリアする。しかしながら、カルシウムサルフォアルミネート鉱物系の急結材を使用したため、ベースコンクリートの 77%程度の強度となった。これは、粘性が大きく付着性が良い反面、逆にエアーをまきこんで強度低下を招いたものと考えられる。

2) 跳ね返り・粉塵量

跳ね返り試験結果を表-4 に、粉塵測定結果を表-5 に示す。

キーワード 高強度吹付けコンクリート，試験施工，粉塵，跳ね返り

連絡先 〒951-8668 新潟県新潟市中央区一番堀通町 3-10 (株)福田組 TEL 025-266-9111

表-3 強度試験結果

H-36						
材齢	吹付けコンクリート			ベースコンクリート		
1 時間 ^{※1}	1.21	1.51	1.51			
	平均 1.41					
3 時間 ^{※1}	2.41	2.96	2.35			
	平均 2.57					
1 日	11.8	11.2	11.2	4.40	4.32	3.91
	平均 11.4			平均 4.21		
7 日	30.3	24.6	26.4	15.3	16.6	16.7
	平均 27.1			平均 16.2		
28 日	45.3	41.3	40.0	36.0	38.5	37.1
	平均 42.2			平均 37.2		

H-70						
材齢	吹付けコンクリート			ベースコンクリート		
1 時間 ^{※1}	1.57	1.75	2.11			
	平均 1.81					
3 時間 ^{※1}	3.50	5.49	3.02			
	平均 4.00					
1 日	55.2	51.5	50.0	31.4	32.9	33.6
	平均 52.2			平均 32.6		
7 日	53.5	57.6	55.5	44.7	52.5	49.4
	平均 55.5			平均 48.9		
28 日	76.0	80.6	74.4	97.8	96.3	105
	平均 77.0			平均 99.7		

※1 プルアウト試験による圧縮強度の換算値

H-36 の跳ね返り率は 21.9%と大きくないが、吹付け材料が高価であることを考えると、跳ね返り等による材料ロスを極力抑える必要がある。粉塵濃度は平均で 2.4mg/m³と、目標レベル 3.0mg/m³を満足した。通常の吹付けコンクリートでは粉塵低減剤を添加しており、高強度吹付けコンクリートでは粉塵低減剤を添加しなくとも同等以下の粉塵量となっている。

H-70 の跳ね返り率が 8.4%と非常に小さく、粉塵量も 1.6mg/m³と少ない。これは、ベースコンクリートのスランプは 23.5cm と大きいものの、粉体量が多いために粘性も大きく、良好な付着性となったことによると考えられる。

3) 施工性等

H-36 では、配合選定試験（7/9 実施）ではスランプ 15.5cm、強度確認試験（7/30 実施）ではスランプ 8.0cm、今回の試験施工ではスランプ 15.5cm と、安定した性状を示さない。これは、粉体量が 315kg/m³と少なく、高性能減水剤を使用して単位水量も 160kg/m³としているために、骨材の表面水の多少が大きく影響して性状が安定しないものと考えられる。また、スランプが大きくなると付着が悪くなり、エアーで吹き飛ばされて、跳ね返り量、粉塵発生量も多くなる傾向がある。

H-70 では、完全に閉塞することはなかったが、急結材供給部（Y 字管）で急結材とコンクリートが付着・硬化し、その付着片が剥がれて吐出するために、短時間の閉塞が時々起こる。また、施工を中断する際には配管を十分に清掃しないと急結材供給部で硬化し、次の施工で完全な閉塞を招く。現状では、恒常的に安定して施工できる性状にはなく、何らかの閉塞を防止する対策を考える必要がある。

4. おわりに

H-36 は、配合の調整や骨材の表面水管理等によりフレッシュ性状を安定させることで、経済的な高強度吹付けコンクリートとできる。また、H-70 は材料・配合や施工設備等の見直しによる、施工性の改善（閉塞防止）とコスト削減が課題である。

今後は、トンネル現場で試験を実施しながら、上記の問題点を解決し実用化を目指す予定である。

表-4 跳ね返り試験結果

H-36	
1m ³ 当り重量	2,303 kg
吹付け量	1.0 m ³
吹付け材料全重量	2,303 kg
跳ね返り材の全重量	504 kg
跳ね返り率	21.9 %
H-70	
1m ³ 当り重量	2,391 kg
吹付け量	1.25 m ³
吹付け材料全重量	2,989 kg
跳ね返り材の全重量	250 kg
跳ね返り率	8.4 %

表-5 粉塵測定結果（デジタル粉塵計）

H-36			
測定位置	左側壁	中央	右側壁
カウント数	51	67	61
測定時間	1 分		
粉塵濃度	2.0 mg/m ³	2.7 mg/m ³	2.4 mg/m ³
平均値	2.4 mg/m ³		

H-70			
測定位置	左側壁	中央	右側壁
カウント数	30	47	42
測定時間	1 分		
粉塵濃度	1.2 mg/m ³	1.9 mg/m ³	1.7 mg/m ³
平均値	1.6 mg/m ³		

※ 発生粉塵量 = K 値 (0.04 mg/カウント/分)
× (カウント数÷測定時間)