

高品質吹付けコンクリートの施工特性について

STUDY ON THE EXECUTION PROPERTIES OF HIGH QUALITY SHOTCRETE

鈴木雅行¹⁾, 大内悟²⁾, 向田恵三²⁾, 佐々木照夫²⁾, 鈴木弥一²⁾

Masayuki SUZUKI, Satoru OUCHI, Keizou MUKAIDA, Teruo SASAKI and Yaichi SUZUKI

Iwate Tunnel of Tohoku Shinkansen line is a long length tunnel of 25,810 meters. As usual, it contains such problems as construction environment and cost performance on shotcreting in a tunneling work. In this project, we tried improve mix proportion, mixing method and execution procedure of high quality shotcrete using limestone, silica fume and superplasticizer, for the purpose of improvement on constructability and decrease on the rebound and dust of shotcrete. This report describes the execution properties of high quality shotcrete obtained from the above experience.

Key Words: railway tunnel, high quality shotcrete, silica fume, limestone

1. まえがき

東北新幹線岩手トンネル工事は全長25,810mの新幹線長大トンネルであり、そのうち褶皺工区は、斜坑1,233m、本坑4,110mの工区である。掘削工法は斜坑はNATMによる全断面工法、本坑はNATMによる補助ベンチ付き全断面工法であり、ずり出しはタイヤ方式である。このように長大トンネルにおいては施工の効率化や坑内環境の改善がトンネルの経済性、安全性に大きく寄与することになる。トンネル施工のうち、吹付けコンクリート工はその施工特性から、従来の方法ではコンクリートをエアールによりトンネル壁面に吹き付けることから、材料の跳ね返りが約30%と多く、しかも粉塵の発生も概ね10~20mg/m³と多いため坑内環境が悪化するなど経済面および安全面で非常に大きな問題であった。そこで、本トンネルでは吹付けコンクリートの跳ね返りの低減と発生粉塵量の低減および施工性の改善を目的に、材料混練り方法の効率化、吹付けコンクリートの現場配合試験、吹付け方法および配合によるリバウンド低減効果および粉塵低減効果について実トンネルの施工において検討した。

今回検討した高品質吹付けコンクリートは、シリカフュームと石灰石微粉末および混和剤を従来の吹付けの配合に加えたものであり、粉塵発生量の低減、リバウンドの低減、吹付けコンクリート強度増加の効果があることから、種々の検討が行われてきている¹⁾²⁾。このような効果はあるものの、施工性においてはシリカフュームに関して、平均粒径0.15μm以下の超微粒子で飛散しやすく粉塵対策が必要となること、時間経過とともに性状が変化すること、湿気に弱いこと、およびその取扱いに手間がかかることから、本工事ではシリカフュームと石灰石微粉末を所定配合にプレミックスした材料を作成し、セメント同様サイロにて計量できるようにした。また、配合にあたってはリバウンドの減少効果、粉塵低減効果の最も優れた配合に関し、現場配合試験および吹付け試験を行いその結果から決定した。

ここでは、上述した高品質吹付けコンクリートを実際のトンネルに適用しその効果を確認したので、これらの施工特性および従来の吹付けコンクリートとの比較により、その効果を報告するものである。

1) 正会員 工修 ハザマ 土木本部トンネル統括部

2) 正会員 ハザマ・若築・矢作共同企業体

2. 高品質吹付けコンクリートの施工

高品質吹付けコンクリートの現場適用にあたり、本トンネルで使用できる材料にて事前に試験配合を行い設定した。現場での使用材料、使用機械によりリバウンド量、粉塵量について検討した。

2. 1 使用材料

高品質吹付けコンクリートの施工に用いた材料の一覧を表-1に示す。

ここでは、炭酸カルシウムとシリカフュームについては事前にプレミックスしている材料をサイロに入れ使用した。

表-1 高品質吹付けコンクリート使用材料

材 料	種 類
セメント	普通ポルトランドセメント
細骨材	岩手県葛巻産 砕砂 FM=2.65 比重:2.60
粗骨材	岩手県葛巻産 砕石 FM=5.85 比重:2.61
微粒分+SF	炭酸カルシウム+シリカフュームプレミックス 宮城石灰工業(株)プレミックスCS9018
急結剤	デンカナトミック
AE減水剤	高性能AE減水剤 ダーレックスFTN-30

2. 2 コンクリートの配合

高品質吹付けコンクリートの配合については、日本鉄道建設公団の仕様に基づき配合設計を行った。配合設計については、高品質吹付けコンクリートの単位結合材の標準を360kg/m³とし、シリカフュームは単位結合材量の内割で5%とした。炭酸カルシウムは細骨材の一部置換とし、細骨材の0.15mm以下の含有量(細骨材質量の7%)を加えて細骨材重量の概ね15%となるよう調整した。そのため質量で90kg/m³となった。ここで、W/Cを60%、S/aを60%とし、このための高性能減水剤は単位結合材質量の0.75%となった。

試験練りの際にW/Cを55~60%、S/aを60~65%に振ったが、W/Cを小さくすると強度が高くなるものの高性能減水剤の添加量が増加する。次にS/aは60%と62%を実施したが大差がなかったため、上記の数値に設定した。表-2に高品質吹付けコンクリートの配合を示す。

表-2 高品質吹付けコンクリート実配合

	W/C %	S/A %	W kg/m ³	C g/m ³	S1 kg/m ³	G g/m ³	Ca kg/m ³	SF g/m ³	減水剤 kg/m ³	表面水率 %	骨材最大寸法
case-1	60	60	158.8	342	1,012	698	90	18	2.70	6.0	10mm
case-2	60	60	177.8	342	992	698	90	18	2.70	4.0	

2. 3 コンクリートの製造・運搬および吹付け機械、吹付け方法

高品質吹付けコンクリート施工に用いる主要機械一覧を表-3に示す。吹付けプラントには炭酸カルシウム微粉末とシリカフュームを混合したものを供給する設備として、サイロと計量装置、および高性能AE減水剤添加装置を追加した。

ミキサーでの練り混ぜ時間は60sec/バッチとした。高品質吹付けコンクリートを施

表-3 主要仕様機械

使用機械	メーカー	仕様
バッチャープラント	光洋機械産業(株)	KBN-KBC500 2軸強制練りミキサー 22kW: 0.5m ³
吹付け機	富士物産(株)	マンテスSF-1E 一体型:エア式
	古河	CJM2200E 一体型:ポンプ式

工するにあたり、吹付け機の急結剤添加位置がホースの閉塞や安定した圧送性および粉塵の低減に影響することから、各種検討した。その結果、通常の吹付けでは急結剤の添加位置であるY字管とノズルまでの長さについては3.0~3.5mであるが、この場合は非常に閉塞し易く圧送時にも不安定であった。そのため、ノズルからY字管までの長さを1.5~2.0mとすると良好に施工できることが確認できた。次にポンプ式の場合のエア供給位置については、急結剤のY字管より20m手前にノズル供給空気圧力4.0~4.5kgf/cm²で添加するこ

とが最も安定性が良いことが確認された。このとき、Y字管からノズル付け根までは90cm、ノズル先端までの長さは60cmであった。

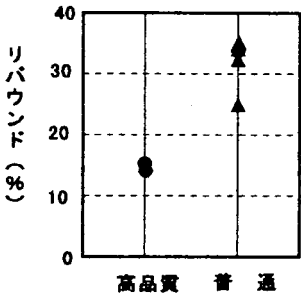
2. 4 施工結果および考察

(1) 施工結果と跳ね返りについて

高品質吹付けコンクリートの施工結果については通常の吹付けと同程度の能力で施工できた。ここで、表－3に高品質吹付けコンクリート施工結果を、図－1に高品質吹付けと普通吹付けのリバウンドの比較を示す。

その結果、普通吹付けが33%に対し、高品質吹付けは15%程度と55%もリバウンドを低減することができた。

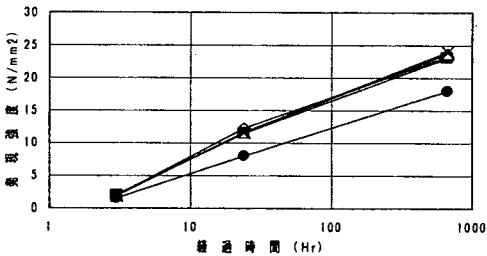
表－3 高品質吹付け施工結果			
		case-1	case-2
コンクリート温度	℃	27.0	23.0
スランプ	cm	14.0	16.0
急結剤添加率	%	6.7	7.6
跳ね返り率	%	14.2	15.1



図－1 高品質吹付けと普通吹付けのリバウンドの比較

(2) 強度発現について

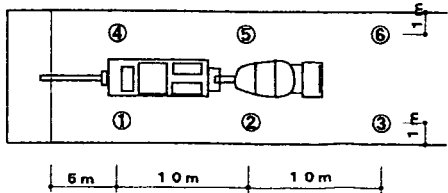
強度発現については、3時間で1.5N/mm²、24時間で8N/mm²、28日で18N/mm²の強度の設定がある。現在普通吹付けと高品質吹付けについては特に強度発現では、変えていない。今回施工して吹付け強度について発現状況を示したものを図－2に示す。図中の最下部の線は基準強度を示したものである。この図からわかるように、いずれの強度も基準強度を十分上回っており、28日強度では23N/mm²と基準強度18N/mm²に比べ30%増の強度が発現していることがわかる。



図－2 高品質吹付け強度発現結果

(3) 粉塵の発生量について

高品質吹付けコンクリート施工時の粉塵発生量については、吹付け時に切羽面がはっきり確認できるほど粉塵の発生は少なかった。図－3に吹付け施工時の切羽周辺粉塵測定位置を、表－4に高品質吹付けと普通吹付けの切羽周辺の粉塵測定結果を示す。粉塵測定結果から、高品質吹付けについては吹付け施工時でも約2.0～2.4mg/m³、最大3.2mg/m³と非常に少なく、同様な条件で実施した普通吹付けが10.6～16.2mg/m³、最大41.1mg/m³と比較すると大幅に粉塵低減効果があることがわかる。



図－3 切羽粉塵測定位置

表－４　吹付け施工時の切羽粉塵測定結果					
	単位	高品質吹付けコンクリート		普通吹付けコンクリート	
		TD. 1714m	TD. 642m	TD. 1360m	斜路
温度	℃	24.5	23.0	9.0	
湿度	%	70 0.8	85	64 1.8	
流速	m/s	～2.5		～2.3	
粉塵濃度	mg/m ³	① 1.5	① 1.7	① 8.0	① 14.6
		② 1.4	② 2.1	② 6.6	② 12.4
		③ 1.4		③ 7.8	③ 9.2
		④ 3.2	④ 3.1	④ 12.6	④ 41.1
		⑤ 2.8	⑤ 2.5	⑤ 32.6	⑤ 17.2
		⑥ 2.9		⑥ 8.3	⑥ 15.3
幾何平均濃度		2.0	2.4	10.6	16.2

(4) 吹付けコンクリートの材料コストの比較

表－５に高品質吹付けと普通吹付けの材料面でのコスト比較を示す。この際、両材料の差額は約4,000円である。上述したようにリバウンドが普通吹付けに比較して約50%程度になることから、材料費は高くなるものの、トータルコストでは十分メリットがでることがわかる。ただし、パッチャープランツの設備がかかることから、延長の短いトンネルでは問題はあるものの、延長が長くなれば十分メリットはできるものと考えられる。

表－５ 吹付けコンクリート材料単価試算例

名称・項目	単位	単価	高品質吹付けコンクリート		普通吹付けコンクリート	
			数 量	金 額	数 量	金 額
セメント（普通ポルトランド）	kg	12	342	4,104	360	4,320
細骨材	m ³	4,300	0.62	2,666	0.80	3,440
粗骨材	m ³	3,600	0.50	1,800	0.47	1,692
急結剤（デンカナミック）	kg	200	25.2	5,040	25.2	5,040
炭カル＋S F（CS9018）	kg	39	108	4,212	—	—
高性能A E減水剤（FTN-30）	kg	315	2.7	850	—	—
1 m ³ 当り単価	円			18,672		14,492
（普通吹付けに対する割合）				1.29		1.0

以上、長大鉄道トンネルへの高品質吹付けコンクリートの実施工への適用した結果、従来の普通吹付けの方法と比較して、高品質吹付けコンクリートでは以下に示す各特長が確認できた。

- ①吹付けコンクリートの跳ね返りは、従来の吹付けが約33%に対し約15%と約55%の低減効果が得られた。
- ②吹付けコンクリート作業箇所の粉塵発生量は、今回の試験結果によると従来の吹付けによる場合は平均濃度16.2、10.6mg/m³（最大41mg/m³）に対し、高品質吹付け方式では2.0、2.4 mg/m³（最大3.2mg/m³）と約77～88%もの粉塵低減効果が得られた。
- ③高品質吹付けの材料練混ぜにあたり、従来はシリカフェームと石灰石微粉末を別々に配合していたものをプレミックスした材料にすることにより、混練り時の粉塵の発生や取り扱いの煩雑さも抑えることができ、さらに施工性も向上した。

以上示した各施工結果により、実現場での新たな吹付け方法として十分効果的であると考えられる。

3. あとがき

現在、当トンネルにおいては今まで述べてきた高品質吹付けコンクリートについて、さらに施工を進めており、吹付け材料の温度の影響、吹付けエア圧力、吹付け時の切羽湧水条件、換気条件等によりリバウンド、粉塵および強度発現にどのように影響するかについてもさらに検討を進めていく必要がある。

本施工にあたり、多大なご指導を戴いた日本鉄道建設公団盛岡支社、ならびに吹付け配合試験等でご協力戴いた新和商事（株）東北支店の方々には感謝の意を表す次第である。

参考文献

- 1) 鬼頭、末永、登坂、弘中、吉永：微粒分を混入した吹付けコンクリートの施工特性、土木学会、トンネル工学研究発表会論文・報告集、第5巻、pp.63-70、1995.11
- 2) 北川、末永、伊藤、大須賀、田村：微粒分を混入し粘性を活用した高品質吹付けコンクリートの諸特性、土木学会、トンネル工学研究発表会論文・報告集、第7巻、pp.31-38、1997.11