

避難坑断面における低リバウンド型の 乾式吹付けコンクリートに関する実験的研究

EXPERIMENTAL STUDY ON THE LOW-REBOUND TYPE DRY MIX SHOTCRETE IN EVACUATION TUNNEL

日向 哲朗¹⁾ 杉山 律²⁾ 清水 学³⁾ 横内 静二⁴⁾ 水端 八朗⁵⁾

Tetsuro HYUGA Ritsu SUGIYAMA Manabu SHIMIZU Seiji YOKOUCHI Hachiro MIZUBATA

The secondary lining of Hakamagoshi-Johana evacuation tunnel is designed to execute with the dry mix shotcrete. To reduce the rebound and dust, the low-rebound and low-dust type proportion admixing silica fume and limestone powder are selected. Test execution were performed to determine optimal proportion by measuring rebound and dust quantity. As a result, the rebound rate of decided proportion became about 20% or less, was similar to the value of a usual wet mix method. It was confirmed that this type of proportion has a substantial effect on reducing rebound compared with the conventional proportion of the dry mix method.

Key Words : Evacuation Tunnel, Dry mix shotcrete, Silica fume, Limestone powder

1. はじめに

近年、我が国の山岳トンネルにおいて吹付けコンクリートは湿式が主流となっている。これは、コンクリート製造時の配合管理や施工能力の面で、湿式が乾式と比較して有利であるという評価による。しかしながら、作業後の清掃の簡便さなどの作業性や、長距離の圧送・材料の長時間の練り置きが可能である点など、乾式が湿式より優れている面もいくつか存在する。¹⁾

本報告は、高速道路トンネルにおける避難坑の覆工を乾式の吹付けコンクリートによって施工するにあたり、湿式吹付け方式では実績のあるシリカフューム・炭酸カルシウムを添加した低リバウンド・低粉じんの配合を採用し、この配合が乾式吹付け方式においても実現可能であることを試験施工において実証した過程について述べるものである。

2. 対象トンネルの概要

東海北陸自動車道袴腰・城端トンネルは北陸地方と東海地方を連絡する東海北陸自動車道の一部として建設され、富山県と岐阜県の県境付近に位置している。その延長は袴腰トンネルが約6km、城端トンネルが約3kmである。袴腰・城端トンネル避難坑工事は、 $\phi 4.5\text{m}$ のTBM工法により、NATMで施工される本坑との中心離隔30mで掘削が行われた。この避難坑工事における覆工コンクリートには、従来のセメントを使用したコンクリート覆工ではなく、施工速度が速く経済的な吹付けコンクリートが適用される。

1)正会員 ハザマ 土木事業総本部トンネル統括部

2)正会員 ハザマ 土木事業総本部技術設計部

3)ハザマ北陸支店 袴腰・城端トンネル作業所

4)ハザマ九州支店 三池トンネル作業所

5)日本道路公団 北陸支社

前述したように我が国の吹付けコンクリートは湿式が主流となっているが、本工事ではトンネル延長およびパッチャープラントの立地条件等からコンクリートの運搬に長時間を要することが懸念されたため、湿式と比較して長時間の練り置きが可能である乾式の吹付けコンクリートで施工することとなった。しかし、乾式吹付けの欠点として粉じんの発生量あるいはリバウンドが比較的多いことが知られている。また、本工事は避難坑内での施工となるため十分な換気設備の設置が困難であり、さらには吹付け作業後のリバウンドの処理が工程に大きく影響を与える。そこで、湿式吹付け方式では実績のあるシリカフューム・炭酸カルシウムを添加した低リバウンド・低粉じん型の配合を採用することとした。

以下では実施工に向けて配合を選定するために、実際の材料および施工設備を用いて行った試験施工の概要および結果について述べる。

2. 使用材料および施工機械

使用材料を表-1に、施工機械の配置を図-1に示す。シリカフュームと炭酸カルシウムは重量比で18:90の割合でプレミックスされたものを用い、急結剤は粉体のものを用いた。吹付け材料はパッチャープラントで空練りした後、アジテータトラックにより運搬し、ベルトコンベアにより空気圧送式の吹付け機に投入し吹付けを行った。急結剤の添加は、吹付け機と共に車上に設置されたフィーダ式の添加装置により、ベルトコンベアと連動させて行った。また、水タンク・高圧ポンプを車上に搭載した給水設備には流量計を設置し、配合・空練り材料の吐出量に応じて添加水の流量を調節した。

材料の圧送管径はφ65mm、ウォーターリングはノズル径φ2mmで6穴のものを用いた。

3. 試験条件および測定項目

吹付けは1配合につき1.5m³行った。圧送距離は約40mであり、圧送圧は0.4MPaとした。目標吐出量は添加水を除いた空練りの材料について5.4m³/hとし、この目標吐

出量から吹付け時間・ベルトコンベアの稼働時間を計算し添加水の流量、急結剤添加装置の吐出量を調整した。各配合を評価・比較するために行った測定項目は、リバウンド率測定・粉じん測定・プル

表-1 使用材料

名 称	種類・品名	密度 (g/cm ³)	備考
セメント	普通ポルトランドセメント	3.16	比表面積 3300cm ² /g
細骨材	川砂	2.57	F.M 2.94
粗骨材	碎石	2.60	Gmax=10mm
混和材	シリカフュームと炭酸カルシウムの混合品 (SF:Ca=18:90)	2.61	比表面積 3.97m ² /g
	シリカフューム	2.20	比表面積 22.13m ² /g
	炭酸カルシウム	2.70	比表面積 3370cm ² /g
急結剤	粉体 (カルシウムアルミネート系)	—	—

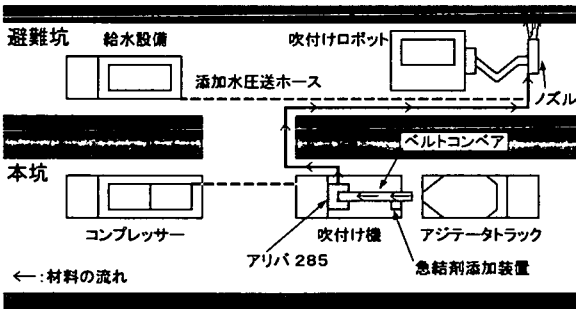


図-1 施工機械配置

表-2 配合表

配合名	配合条件			単位量 (kg/m ³)						目標吐出量	備考
	W/B	s/a	急結剤	水 W	結合材 B		細骨材 S	炭酸カルシウム Ca	粗骨材 G		
					セメント C	シリカフューム SF					
	%	%								m ³ /h	
A	55	60	B×7%	211	360	23	915	115	691	5.4	
B	55	62.5	B×7%	211	360	23	958	115	648	5.4	
C	55	65	B×7%	211	360	23	1000	115	605	5.4	
1	50	65	B×7%	192	360	23	1032	115	622	5.4	
2	52.5	65	B×7%	201	360	23	1017	115	614	5.4	
3	55	65	B×7%	211	360	23	1000	115	605	5.4	
4	52.5	65	B×7%	189	360		1164		634	5.4	従来の標準配合

アウト法による圧縮強度試験・コア供試体による圧縮強度試験である。リバウンド率については、試験施工区間にシートを敷き、吹付け終了後はね返った材料をシートごと吊り上げ、ロードセルにより重量を測定して算出した。また、添加水の流量を記録し、試験後に実際の水結合材比を求めた。

本試験施工で用いた配合を表－2に示す。先行して行った予備試験から圧送状況や付着性状が良好な水結合材比(W/B)の範囲としては概ね50%～55%が妥当であることが確認されており、今回の試験施工ではW/Bはこの範囲で設定した。また、急結剤添加量はすべての配合で結合材の7%とした。なお、今回の試験施工では単位セメント量は360kg/m³に固定し、シリカフュームは結合材の内割りで6%になるように定めた。シリカフュームと石灰石微粉末がプレミックス製品であるため、シリカフュームの単位量が決定することにより石灰石微粉末の単位量も定まる。また、石灰石微粉末は細骨材の置換として扱っている。

配合A,B,CではW/Bを固定しs/aを変化させ、最適なs/aの選定を試みている。配合1,2,3ではs/aを配合A,B,Cの結果より定まった最適な値に固定し、W/Bを変化させ、W/Bを決定している。配合4は、最適な値として決定されたW/B、s/aで混和材を用いずセメント単味にした配合で、従来の配合との比較を行うためのものである。

4. 配合および試験結果

表－3 試験結果

配合名	配合条件		目標吐出量 m ³ /h	結果							備考
	W/B	s/a		実質W/B	リバウンド率	粉じん	吐出量	ブルアウトσ1d	コアσ7d	コアσ28d	
	%	%		%	%	cpm	m ³ /h	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	
A	55	60	5.4	56.2	16.9	357	5.57				
B	55	62.5	5.4	55.4	16.6	403	5.31				
C	55	65	5.4	57.6	16.9	348	5.38				
1	50	65	5.4	52.0	20.9	289	5.24	13.7	21.7	29.9	
2	52.5	65	5.4	53.8	18.7	256	5.21	12.5	20.9	31.2	
3	55	65	5.4	55.2	18.5	289	5.51	12.3	20.8	31.0	
4	52.5	65	5.4	52.5	31.3	308	5.41	13.3	20.3	24.0	従来の標準配合

試験結果の一覧を表－3に示す。空練り材料の吐出量は、空練りされた状態での空隙率の影響を大きく受けると思われるが、同じ材料を用いるのであればこの空隙率は細骨材の表面水率に依存していると推測される。本試験施工では、十分な量の細骨材を仮置きした結果、細骨材の表面水率は全ての配合について4.0～4.1%と安定した値が得られていたが、目標吐出量と実際の吐出量には最大で0.2m³/hほどの差が生じた。

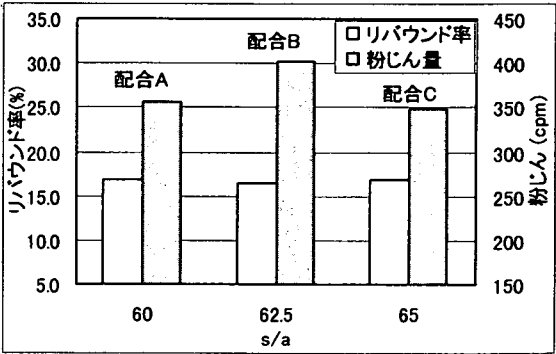
また、吐出量が目標より小さくなると吹付けが目標時間を超過しても続けられることになり、目標以上の水量が添加され、結果的にW/Bが大きくなる。この傾向については配合1～4において見受けられる。

4.1 s/aの選定（配合A,B,C）

目標W/Bを55%として、s/aを60%、62.5%、65%と変化させ、吹付け状況を確認した。その結果、リバウンド率に大きな差異は認められなかったが、粉じんはs/a＝65%で最も少なくなった（図－2）。また、仕上がり状態もs/aが65%のものが最も良好であったため、s/aは65%を選定した。

4.2 W/Bの選定（配合1,2,3）

s/aを、配合A,B,Cの結果より最適な値と定めら



図－2 s/aの違いによる比較

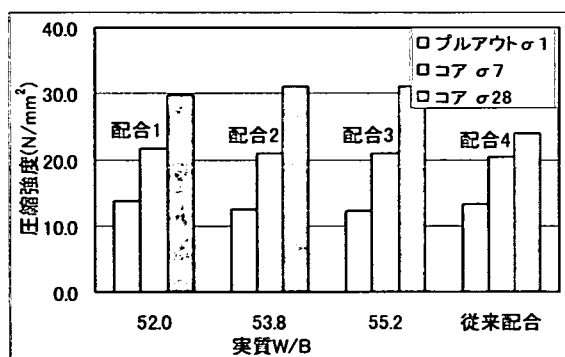


図-3 圧縮強度試験結果

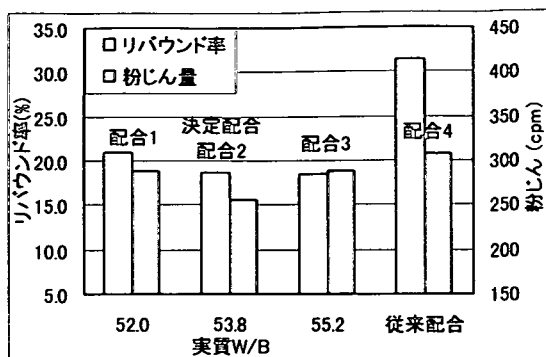


図-4 W/Bの違いによる比較

れた 65%に固定し、W/B を 50%、52.5%、55%と変化させ吹付け性状を確認した。ただし、実質の W/B は吐出量に変化した結果、それぞれ 52.0%、53.8%、55.2%と変化させたことになった。このように乾式吹付方式では、吐出量の変化や添加水の流量調節の誤差により W/B に最大 2~3%程度の目標値からのずれが生じる可能性が大きいことがわかった。吹付け状況としては、W/B の増加に伴いリバウンド率が減少する結果となったが（図-4）、初期強度は W/B が大きくなるほど低下した（図-3）。また、粉じんの発生量は W/B=52.5%（実質 53.8%）において最も少なくなった（図-4）。強度的には W/B=55%の配合でも十分施工可能であると思われるが、夏季における使用水量の増加や、添加水量の変動等の要因を考慮すると、W/B は小さめに設定したほうがよい。以上より、W/B は 52.5%に選定することとした。

4.3 従来の標準配合との比較（配合4）

今回の結果から最適と判断された $s/a=65\%$ 、 $W/B=52.5\%$ で炭酸カルシウム、シリカフュームを使用しない従来配合で吹付けを行い、比較試験を行った。その結果、図-4に示すようにリバウンド率は 30%を上回り、また粉じんも多くなった。従来の配合では作業効率および作業環境が悪化することが明らかになった。

5. まとめ

本試験施工の結果、実施工に用いるための最適な W/B、 s/a を選定することができた。シリカフューム・石灰石微粉末を使用し従来の配合と比較して粉体量を増加させた最適配合においては、粉じん低減効果は比較的小さいもののリバウンド率については 20%以下となり、通常の湿式吹付けの一般的な値と大差なく、従来の乾式吹付けに対しては大幅なリバウンドの低減効果があることが確認された。また、実際の W/B は設定した W/B と最大 2~3%程度の差が生じる可能性が大きく、施工時の空練り材料の投入量および添加水の流量管理が重要であることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 例えば （社）日本トンネル技術協会：トンネルの吹付けコンクリート 1996.2