

石炭灰を活用したトンネル吹付けコンクリートの導入検討

中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) 正会員 ○万年 正彦
中日本高速道路株式会社 正会員 川井田 実
中日本高速道路株式会社 奥山 孝一郎
中日本高速道路株式会社 吉枝 護

1. はじめに

敦賀火力発電所では年間約20万tの石炭灰が発生し、コンクリート混和剤、地盤改良材として利用されている。今回、この石炭灰を利用し、トンネル比率が47%を占める舞鶴若狭自動車道のトンネル吹付けコンクリートに混合し、吹付けコンクリートの品質管理基準の確保と環境対策について検証した。

2. トンネル吹付けコンクリートに求められる性能

トンネル吹付けコンクリートに求められる性能を表-1に示す。石炭灰混入時もこれと同等のものが求められる。石炭灰の材料規格を表-2に示す。

3. 配合(置換)の考え方

石炭灰置換配合は、置換対象をセメントと細骨材とし、それぞれ置換率を10%~30%、0%~10%として9配合を設定した。

この9配合に対する室内試験の結果、基準値を満足し、且つ、強度発現状況と圧送性を考慮して表-3に示す標準配合と4配合を選定し、実機試験により最適置換率を検討した。表-3中の配合を示す記号で、例えばC20-S10は、石炭灰置換率でセメントに対し20%、細骨材に対し10%を示している。

4. 性能の確認

(1) 実機試験概要

実機試験は坑口部のり面を利用し、「吹付けコンクリートのコア採取用供試体の作り方(JHS703)」に準じ、のり尻にブルーシートを敷設し、リバウンド量を測定して算出した。吹付け機械は「ツインピストン方式のポンプ(吐出量16m³/h)」を使用した。実機試験結果を表-3に示す。

(2) フレッシュ性状

・スランプを図-1に示す。細骨材・セメント置換配合③④⑤は標準配合と比べ、平均で19%高い値となった。これは、石炭灰の流動効果によるものと考えられる。

表-1 吹付けコンクリートの性能

項目	基準値	試験方法	試験名
フレッシュ性状	スランプ	10cm±2cm	JIS A 1101
強度確認	材令1日強度 σ_1	5N/mm ² 以上	JHS701.702
	材令28日強度 σ_{28}	18N/mm ² 以上	JHS703.704
凝結性状	凝結試験	3.5N/mm ² 以上	JSCE-D102準拠
吹付け性状	リバウンド試験	-	JHS703

表-2 石炭灰材料規格

試験対象	単位	JIS II種	結果
二酸化けい素(SiO ₂)	wt%	45.0以上	63.3
強熱減量	%	5.0以下	4.0
密度	g/cm ³	1.95以上	2.33
粉末度比表面積	cm ² /g	2500以上	3960
フロー値比	%	95以上	101

表-3 配合および実機試験結果

項 目		単位 及び 基準	標準配合					セメント置換のみ					セメント・細骨材10%置換				
			①		②		③		④		⑤						
			N		C20-S0		C20-S10		C25-S10		C30-S10						
水セメント比		W/C	%		62		58		54		54		54				
細骨材率		s/a	%		60		61		61		62		62				
単位量	水	W	kg/m ³	223	208		215		215		215		215				
	セメント(N)	C	kg/m ³	360	288		288		270		252		252				
	石炭灰	F	kg/m ³	0	72		108		126		144		144				
	細骨材	S	kg/m ³	1042	1068		1031		1044		1040		1040				
	粗骨材	G	kg/m ³	700	688		664		645		642		642				
	急結材		kg/m ³	25.2													
	粉塵抑制剤		kg/m ³	0.36													
圧縮強度	N/mm ²	σ1	5	9.4	7.7		7.7		6.2		6.6						
		σ28	18	21.2	21.9		21.7		20.8		19.5						
フレッシュ性状		cm	スランプ	10±2	9.8		9.0		12.0		10.5		12.5				
施工状況	圧送状況	-	-	良好	良好		良好		良好		良好		詰り発生				
	分離状況	-	-	良好	良好		良好		良好		良好		べた付き				
	リバウンド率	-	%	-	16		16		17		20						

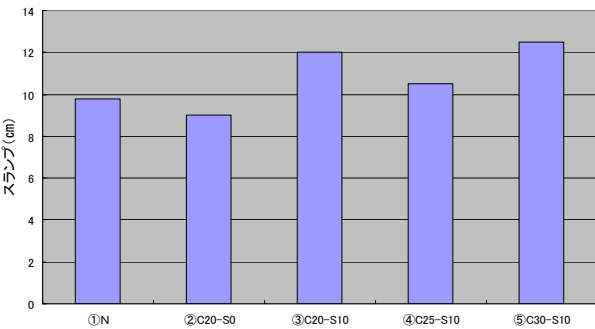


図-1 置換率別 スランプ

キーワード 石炭灰, 吹付けコンクリート

- ・置換率 40%⑤では圧送時につまり障害が生じた。

(3) 強度試験結果

・強度試験結果を図-2 に示す。初期強度 ($\sigma 1$) では、全置換配合において、標準配合より 18%~34%低い強度となった。長期強度 ($\sigma 28$) では、②③が標準配合より 2%~3%高くなった。これは、石炭灰のボールベアリング効果による単位水量の減少、ポズラン反応によるコンクリート硬化体の緻密化、等により良好な強度発現を得たと考えられる。

(4) 凝結性状 (室内試験)

凝結性状を図-3 に示す。結果は次のようである。

- ・貫入抵抗値が 3.5N/mm² に達する始発時間は、標準配合と置換配合ともに 60 秒から 90 秒の間で凝結しており、石炭灰による影響は少ない。
- ・20 分における凝結性状は、置換量が多いほど貫入抵抗値が低下する傾向である。

(5) 吹付け性状

吹付け時のリバウンド率を図-4 に示す。置換率が 20%の配合②はリバウンド率が低く、初期強度発現は標準配合と同等である。これは石炭灰の微粉末効果より、粘性が増加したことによると考えられる。トンネル下半盤の標準リバウンド率と比較すると、石炭灰に置換した場合、リバウンド率が平均で 15%程度低減している。

5. まとめ

石炭灰を利用したトンネル吹付けコンクリートの性能確認の結果、表-1 に示す性能を満足し、次に示す知見を得られた。リバウンド率や施工性から判断すると配合②「C20-S0」、配合③「C20-S10」が妥当と判断した。

- (1) スランプは、標準配合に比べセメント置換のみの場合は小さく、セメントと細骨材置換は大きくなった。置換率の多い方がスランプは大きくなる傾向となる。
- (2) 初期強度は標準配合よりやや低下する傾向にあるが、長期強度は同等以上となる。
- (3) 凝結性を示す始発時間は標準配合と同等であった。
- (4) リバウンド率は標準的な下半盤リバウンド率と比較すると平均で 15%程度低減される。

トンネル吹付けコンクリートに石炭灰置換を行う効果として、石炭灰のリサイクルによる省資源、材

料費 5%の低減、リバウンド廃材の削減による環境負荷の低減、リバウンド率の低減による工事工程の短縮、粉塵量の低減による労働環境改善が期待できる。現在、1 トンネルで施工中であり、今後施工する 3 つのトンネルへの導入を予定している。

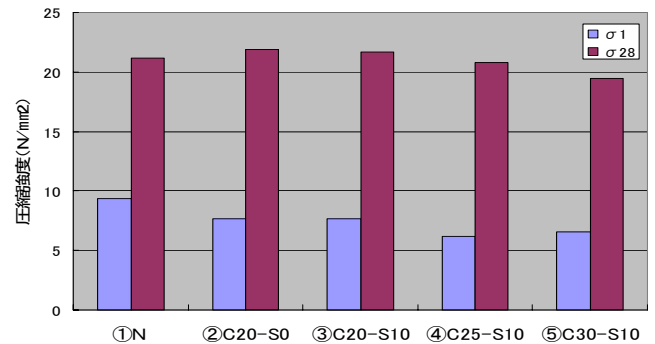


図-2 強度試験結果

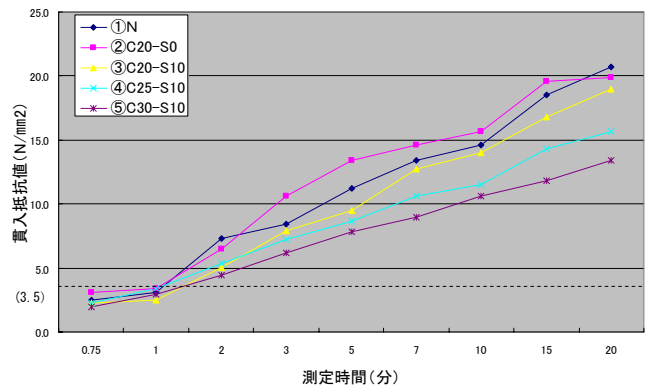


図-3 凝結性状

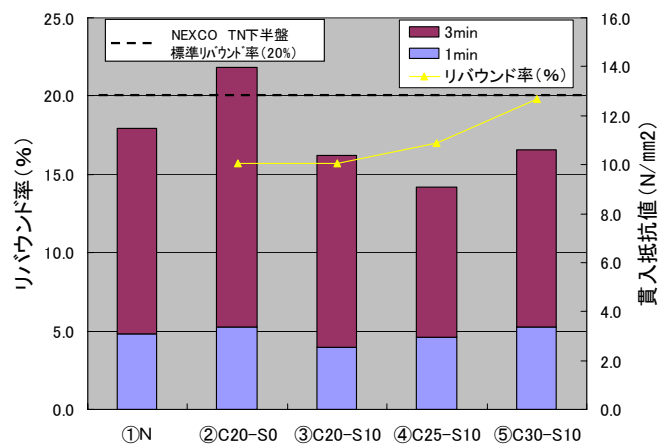


図-4 リバウンド率

参考文献

- ・ 中日本高速道路(株) トンネル施工管理要領
- ・ 中日本高速道路(株) 設計要領 第三集「トンネル編」