

石炭灰原粉を使用した中流動コンクリートの開発

前田建設工業株式会社 正会員 森 英治
 (株)エネルギー・エコ・マテリア 正会員 齊藤 直

1. はじめに

近年、トンネル覆工コンクリートには巻厚確保はもちろんのこと、吹付けコンクリートまでの完全充填が求められている。一方、経済性の観点からはより一層のコストダウンが望まれ、安価な覆工コンクリートの施工が要求されている。現在の覆工コンクリートは設計基準強度、最低セメント量、単位水量の上限、スランプが規定されていることが多い。スランプが 15cm で縛られているため、クラウン部や坑口部の鉄筋区間では、充填に関してはかなりの労力を有するのが現実である。

今後、コスト削減のため巻厚を低減した場合や地圧を考慮した設計で有鉄筋になった場合には、現状のコンクリートでは、充填のためさらに多くの混和剤を添加しなければならなくなり、コストアップにつながる可能性がある。そこで、経済的で且つ流動性のよいコンクリートの開発を目指し、石炭灰原粉を細骨材およびセメントの一部とした配合仕様を検討し、施工性を確認した。

2. コンクリート配合

流動性がよく、設計基準強度を満足し、かつ低コストというコンセプトのもと、表-1 に示す配合で、試験を行った。石炭

CASE	配合	粗骨材 最大寸法 (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)									
					水		セメント		細骨材		粗骨材		混和剤	
					W	C	FA	S	FA	2005	4020	AD 1	AD 2	
1	基本T1-1	40	59.5	46	175	295	0	858	0	648	349	2.95	0	
2	現場T1-1	40	59.5	46	175	294	0	739	97	649	349	2.94	0.18	
3	中-C10S15	40	59.5	46	183	277	31	713	102	633	341	3.08	0.18	
4	中-C20S15	40	58	46	178	246	61	714	102	634	341	4	0.18	

灰原粉の置換率は細骨材容積の 15 %とセメント重量の 10%, 20%とした。

3. 試験項目

図-1 に示すように、初期材令での圧縮強度結果でセメントの 20%を置換した CASE4 を除き、初期の脱型強度を満足し、通常の施工サイクルを確保できることがわかった。上記の結果を踏まえ、本坑断面において、表-2 に示す項目について試験を実施し、特性を把握した。

4. 試験結果

4-1. スランプ・圧縮試験

CASE 3 のコンクリートのスランプ・圧縮試験結果を表-3 に示す。過去実績で CASE 2 の平均強度は $\sigma_7=24.4$ (N/mm²), $\sigma_{28}=36.7$ (N/mm²) である。CASE 3 の平均強度は $\sigma_7=22.4$ (N/mm²), $\sigma_{28}=33.8$ (N/mm²) であるので、それぞれ 92%程度の強度である。この原因は、セメント量が 20kg 程度少ないためと考えられる。

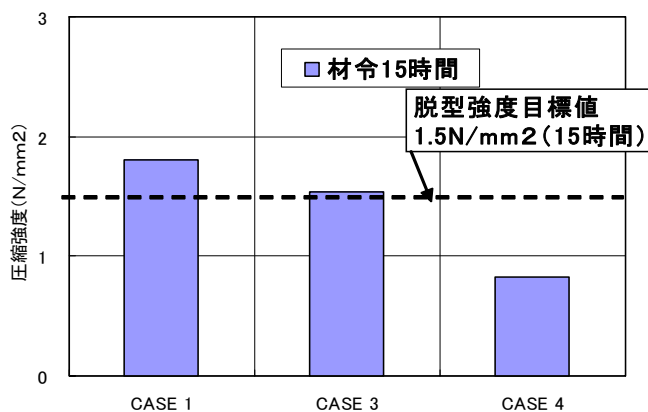


図-1 初期材令圧縮強度結果

表-2 試験項目一覧表

試験項目	測定項目	測定方法	備考
材料特性	強度、スランプ	専用試験器	
覆工仕上がり状況	あばた状況	目視、スケッチ	棒パイプレータの簡易締固めと型枠パイプレータを補助的に併用
セントル作用荷重	土圧	セントルに取付けた土圧計	SL位置の投入部と妻部 CASE 3のみ測定
充填性能	充填時間	U型容器	CASE1, 3のみ測定

キーワード トンネル覆工、中流動コンクリート、石炭灰原粉

連絡先 〒421-1113 静岡県志太郡岡部町桂島 974-1

前田・鉄建・銭高 J V岡部トンネル作業所 TEL054-667-3380

4-2. 仕上がり状況の比較

表-4 にトンネル内面のアバタを観察項目として、仕上がり状況を比較した結果を示すが、天端部や肩部では両者に仕上がりの差はない。一方、側壁部や下半部では中流動コンクリートの方がアバタは少ないことがわかる。従って、中流動では締め固め動作をかなり少なくしても、十分なエアの排除や表面の仕上げ状態を確保できると考えられる。一部、側壁付近に砂目が生じているが、これは、最適な振動締め固め条件の選定や単位水量の減少等の配合選定で改善できるものと考えられる。

表-3 CASE3 のコンクリートのスランプ・圧縮強度試験結果

No.	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度 (°C)	圧縮強度 (N/mm ²)	
				7日	28日
1	20.5	3.5	14.0	22.7	35.4
2	21.0	4.0	11.0	23.1	34.4
3	20.5	4.1	15.0	20.8	31.4
4	21.0	5.3	17.5	23.0	33.8
平均	20.8	4.2	—	24.4	33.8

4-3. セントル側圧測定試験

セントル側圧測定を図-2 に示すが、ほぼ液圧に近い状態で、天端付近まで圧力が作用する結果となり、締め固め条件の選定およびセントルの構造補強等について今後検討する必要があると考えられる。

表-4 覆工仕上がり状況観察結果

あばたの状態	ケース	天端部	肩部	側壁部	下半部
直径3-5mmのあばた	CASE2	7	9	93	72
	CASE3	6	10	66	45
直径5mm以上のあばた	CASE2	0	0	40	11
	CASE3	0	0	8	10

4-4 充填性の確認

U 形容器による充填性試験結果として、配合種類と充填高さの関係を図-3 に、締め固め時間と充填高さとの関係を図-4 に示す。

図-3 より、仕切りゲート開放直後の充填高さは、CASE 1 に比べて CASE 3 の方が大きく、充填性が高いことを示している。特に障害物の無い流動障害 R3 の場合には、充填高さがほぼ 300mm に達している。なお、充填高さ 300mm は、高流動コンクリートでは、コンクリートの充填性能の良否を判断する基準となっている値である。また、図-4 は流動障害 R2 の条件での、締め固め時間と充填高さとの関係を示したものである。図-4 から、同一の充填高さに到達するまでの締め固め時間は、CASE 3 の方が CASE 1 に比べて短くなっていることが分かる。したがって、今回検討した CASE 3 は、補助的な締め固め作業で型枠内にコンクリートを充てんすることができるコンクリートであると考えられる。

5. まとめ

今回は本坑断面を使用して中流動コンクリートに関する各種の試験を行った。その結果、型枠に作用する側圧上昇の課題はあるものの、石炭灰原粉の活用により従来コンクリートに比べて流動性が大幅に向上し、その結果、軽微な締め固め作業で充填が可能で、クラウン部等の空洞発生や骨材分離の恐れも大幅に低減できることがわかった。

また、追加調査では、ひび割れ発生も比較的少ないことが判明しており、今後、石炭灰原粉が安価で取得できれば、比較的安価で性能のよい覆工コンクリートを石炭灰中流動コンクリートで構築できると考えられる。

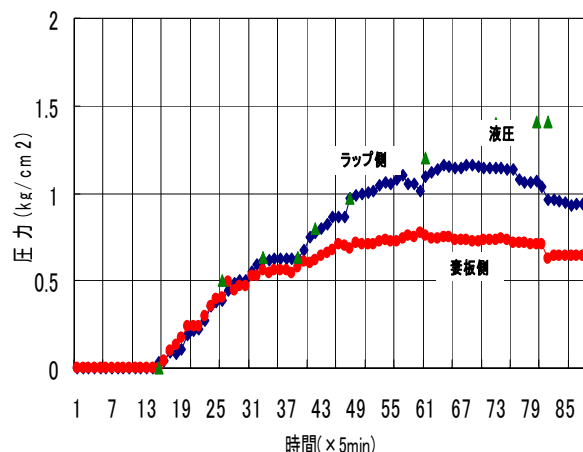


図-2 セントル側圧測定結果

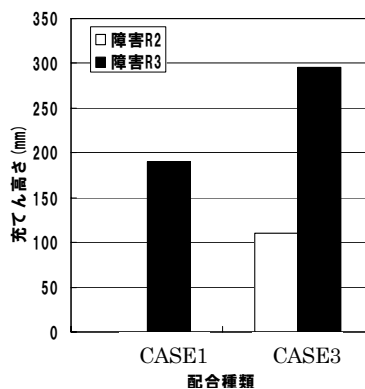


図-3 配合種類と充てん高さの関係

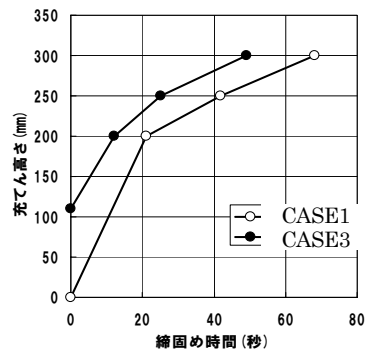


図-4 締め固め時間と充てん高さの関係