

中流動覆工コンクリートの模擬型枠による施工性確認試験

中日本高速道路(株) 中央研究所 正会員 ○馬場 弘二
 中日本高速道路(株) 中央研究所 正会員 海瀬 忍
 (株)エネルギー・エコ・マテリア 正会員 齊藤 直

1. 目的

流動性・充填性の向上に伴う高品質化，およびコスト削減を目指したトンネル覆工コンクリート巻厚の低減を目標とし，覆工コンクリートの吹上げ打設方法に適した新配合の中流動コンクリート開発のため，模擬型枠を使用して施工性確認試験を実施した．実大模型試験で普通コンクリートとの性状等の違いを明確にし，実トンネルで用いる中流動コンクリートの要求性能を確立するための基礎データを収集することを目的とした．

2. 試験概要

試験は，覆工コンクリートの施工で締固めが困難であり，未充填部分が発生しやすいトンネル天端部をモデル化した模擬型枠（表-1）を用いて，コンクリートのフレッシュ性状と充填状況などの関係を把握した．模擬型枠は，コンクリートの充填状況を確認できるように上面の一部を透明なアクリル板とし，吹上げ打設できるものである．また，地山の凹凸を模擬し，型枠背面に障害物（ $10 \times 10 \times 60 \text{ cm}$ ）を設置した．表-2 に検証したコンクリートケースを示す．なお，コンクリート配合は，従前の室内試験結果を基本に設定した．試験項目を表-3 に示す．

3. 試験結果

コンクリートは吹上げ口（筒先）から約 10 分程度で妻側まで達し，その間でスランプ，スランプフロー，充填性及び流動性は全てのケースで低下した．

1) ポンプ圧送性・・・本試験では圧送距離が実長で約 18m と短く，ベントや立ち上がりが少ないため，油圧もコンクリート種別間で差はなく，しかも大きくならなかった．1 ストローク当りの吐出量はコンクリート種別に差はなかった（平均 0.0342 m^3 ）．

2) 模擬型枠内のコンクリートの流れ・・・各コンクリートの注入側から妻側までのコンクリートの流れの 1 例を，表-4 に示す．ケース①及びケース②を除くコンクリートの流れは，注入口よりアーチ部左右下側の型枠に沿って妻側に進み，やや遅れて天端部のコンクリートが妻側に流れる傾向であった．ケース③及びケース⑤が他のコンクリートより速く妻側まで達したが，ケース⑤はコンクリートの回り込み状況を見ると最もスムーズな流れであった．

3) 脱型時コンクリートの状態・・・打設 1 週間後に型枠を取外し，地山側を目視観察した．その結果，ケース⑤

表-1 模擬型枠試験に用いる型枠仕様

外観	
寸法	半形状形（内径 1.85m 外径 2.15m，幅 2.496m，長さ 6.0m）
材質	鋼製
打設方法	ポンプ，吹上げ
容積	約 3.5 m^3
備考	上面より打設状況が確認できるように可視部を設ける（吹付け背面を模擬凹凸を配置（木材等））

表-2 試験ケース一覧

ケース	内容	水結合 材比 (%)	単位量 (kg/m ³)					備考
			W	結合材				
				C	石粉	F A	合計	
①	普通 (SL15cm)	63.0	170	270	—	—	270	基本
②	普通 (SL21cm)	63.0	170	270	—	—	270	スランプ 大
③	中流動 (石粉80)	47.1	165	270	80	—	350	石粉ペース
④	中流動+PF (0.3%)	50.0	175	270	80	—	350	非鋼繊維 混入
⑤	中流動 (石炭灰)	63.5	172	230	—	154	384	石炭灰 ペース
⑥	中流動 (石粉192)	61.4	175	234	192	—	426	ケース⑤ 比較用

※セメント種別は全て普通セメント

表-3 試験項目一覧

目的	試験項目	備考
圧送性の確認	ポンプ圧送圧力	総ストローク数，平均吐出量，ポンプ油圧
	型枠圧力確認	動ひずみ計
流動性の相違による充填性への影響を把握	打込み時流動状態観察・記録	型枠内上・下部の流動状況の図化
	型枠脱型後試験体仕上がり状況観察・記録	あばた，ジャンカの跡を図化
コンクリートに与えるエネルギーの把握	型枠パネレータの振動確認試験	高感度変位計
強度確認	圧縮強度試験	JIS A 1108
靱性性能確認	曲げ靱性試験	JHS 730
水密性等の確認	透水性・透気性試験	インフュージョン法，低圧法
耐久性の確認	促進中性化試験	JIS A 1152，JIS A 1153
フレッシュ性状の確認	スランプフロー・空気量・充填性試験・流動性試験	JIS A 1150，JIS A 1128
		JSCE-F 514，JSCE-F 511

キーワード：トンネル，覆工コンクリート，中流動，施工性向上

連絡先：〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1 日本道路公団試験研究所 tel:042-791-1621 fax:042-791-2380

は障害物の有無に影響を受けず、あばたやジャンカ等の発生が少なく、充填率が他のコンクリートに対して非常に良好であった。（写真-1）

4) 圧縮強度・・・材齢 28 日の標準養生、現場封緘養生、部材採取コア供試体ともに、設計基準強度の 18N/mm^2 を十分満足する値であった。

5) 水密性及び透気性・・・コンクリートの種類による拡散係数は、平均値でケース①が最も大きく、ケース⑥が最も小さかった。透気係数では、ケース②が最も大きく、最小は拡散係数と同様にケース⑥であった。また、吹上げ口側や妻側に比べて中央部では、ポンプ圧送による圧力の影響が緩和され、大きい値であった。

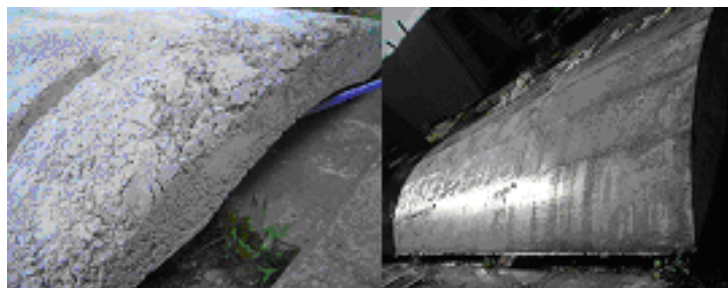
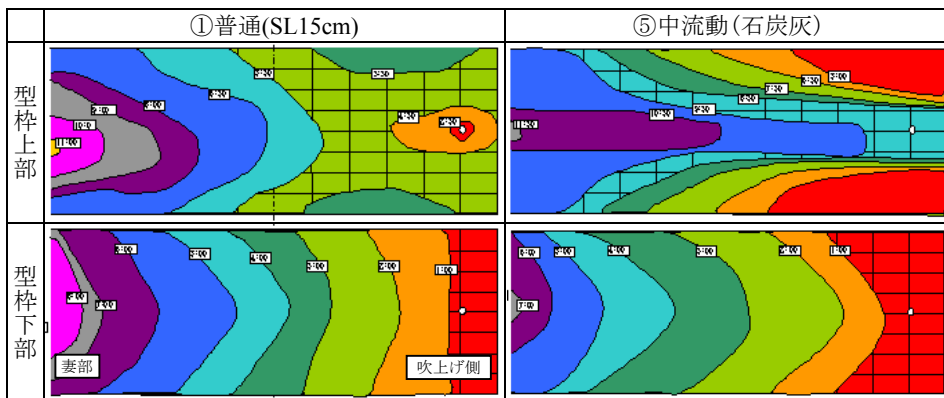
6) 促進中性化（促進材齢 3 ヶ月）・・・コンクリートの種類による相違では、全ての打設箇所および全平均でケース⑤の中性化深さが最も大きい値（平均 27.8mm ）を示した。これは、石炭灰のポズラン反応にコンクリートのアルカリが使用されること、強度発現性が他のコンクリートより遅いことによるものと推測される。

以上より、実大模型を用いた模擬型枠試験で中流動コンクリートに要求する性能を明確にするために、実施した結果を表-5 に示す評価項目により点数化した。なお、各評価項目間の重み付けは考慮していないため、総合評価は最高（5 点）・最低（1 点）点の割合により判定した。さらに、各評価項目の中で最も高い評価点を 100 とした場合の比率による相対評価を、図-1 に示した。得られた総合評価及びレーダーチャートによる相対比較から、ケース③および⑤の中流動コンクリートの適用性が高いことが確認された。

4. まとめ

今後は、実トンネルでの試験施工により、③および⑤の覆工専用コンクリートとしての適用性確認と、施工管理仕様の確立を進めていく予定である。また、同時に経済性の観点から石炭灰の供給を含めた適用箇所の検討を実施していく必要がある。

表-4 コンクリートの注入側から妻側までの流れ（例）



ケース①(普通(SL15))

ケース⑤(中流動(石炭灰))

写真-1 脱型後の地山側状況

表-5 評価項目一覧

評価項目			ケース		①	②	③	④	⑤	⑥
			コンクリート種別		基本 (SL15)	普通 (SL21)	中流動 (石粉80)	中流動 +PF (0.3%)	中流動 (石炭灰)	中流動 (石粉192)
No. 1	型枠内注入口（筒先）から妻側まで流れたコンクリートの評価点	コンスゲン	スランジ変化量	5	2	4	4	5	4	4
		スランジフロ	スランジフロ変化量	5	2	3	1	5	4	4
		空気量	空気量変化量	5	5	5	2	5	4	4
		充填性	充填高さ300mm(筒先)	1	5	5	5	5	3	3
			充填高さ300mm(妻側)	3	3	3	5	3	4	4
			流動性停止時間(振動)	2	1	3	1	3	2	2
		流動性	流動性50cm到達時間(振動)	1	3	5	4	4	4	4
			流動性最終到達時間(振動)	1	3	4	4	4	3	4
			スランジ変化量	1	1	2	5	3	5	5
			スランジフロ	1	2	2	4	3	4	4
No. 2	ベースコンクリートから60分経過後コンクリートの評価点	コンスゲン	スランジ変化量	1	2	2	4	3	4	4
		スランジフロ	スランジフロ変化量	2	5	5	1	5	3	3
		空気量	充填高さ300mm(筒先)	1	5	4	1	4	1	1
			充填高さ300mm(妻側)	1	1	4	2	2	4	4
			流動性停止時間(振動)	1	1	5	4	5	2	2
		流動性	流動性50cm到達時間(振動)	1	1	5	5	3	5	5
			流動性最終到達時間(振動)	1	1	3	5	2	4	4
		平均吐出量		3	2	3	4	2	2	2
		平均ポンプ油圧		2	4	3	2	4	5	5
		回転数		4	4	4	5	4	4	4
No. 3	ポンプ圧送性の評価点	実測吐出量		2	4	3	4	4	5	5
		模擬型枠内のコンクリートの流れの評価点	妻部までの到達時間	3	1	5	3	4	4	4
			単位積算面積差	2	3	5	1	5	2	2
No. 4	型枠内のコンクリート圧力の評価点			1	3	4	4	4	4	4
No. 5	硬化コンクリートの評価点	充填性	表面非充填率(平均値)	1	1	4	4	4	5	2
		基準強度	管理供試体圧縮強度	5	5	5	5	5	5	5
			コア供試体圧縮強度	5	5	5	5	5	5	5
		透水性	拡散係数(平均値)	2	3	5	4	3	5	5
		透気性	透気係数(平均値)	3	1	4	4	3	5	5
		中性化	促進中性化深さ	5	5	4	4	1	3	3
		総合評価		△	△	◎	○	◎	○	○

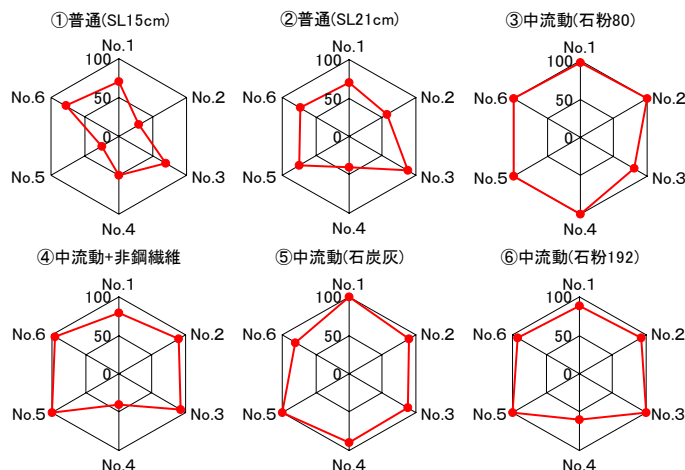


図-1 相対評価