

中流動覆工コンクリートの開発検討

日本道路公団 試験研究所 正会員 ○馬場 弘二
 日本道路公団 試験研究所 正会員 伊藤 哲男

1. 目的

トンネル覆工コンクリートのコスト削減を目指した巻厚の低減および流動性・充填性の向上に伴う高品質化を目標として、現状における吹上げ打込み用コンクリートの代替えとなる、覆工コンクリートに適した中流動コンクリート（以下「Middle Performance Concrete (MPC)」という。）開発のための品質検討試験を実施した。昨年度までに選定されたMPCについてその配合設計手法の確立を目指し、物性値・ひび割れ制御および繊維混入による影響等の確認を室内試験で実施し、配合設定及び品質検討を行った。

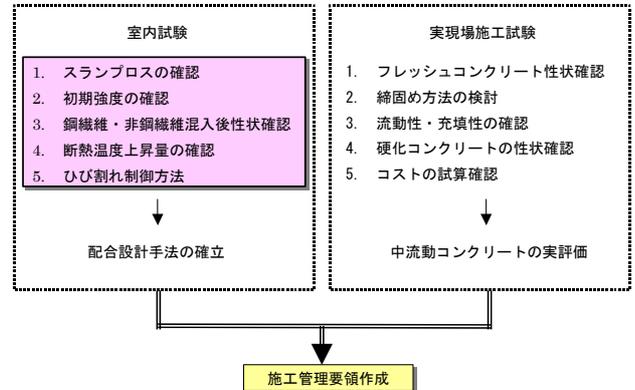


図1 開発検討の流れ

2. 品質確認試験

図-1にMPCの開発検討の流れを示す。室内試験（各物性値確認）、実現場における施工試験に分割され、最終目的として施工管理要領を作成することとなる。

表1 試験配合

ケース	コンクリート種類	スラブ及びスラブフローの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水結合材比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)						混和剤				
						セメントC			高炉スラグ微粉末	細骨材 S	粗骨材 G	AE減水剤 (ml)	高性能AE減水剤 (kg/m ³)	空気量調整剤 (kg/m ³)	増粘剤 (kg/m ³)	
						水 W	普通 N	高炉 BB								石粉
基本	覆工コンクリート(T1-1)	15±1.0	4.5±0.5	63.0	48.0	170	270	—	—	—	870	965	2.700	—	0.0041	—
高流動	高流動コンクリート	60±5.0		43.8	50.8	175	280	—	—	120	855	848	—	6.000	0.0006	0.400
1-1	セメントの一部石粉置換	45±5.0		47.1	50.0	165	270	—	80	—	875	893	—	4.200	0.0007	—
1-2	1-1にSF(0.3%)混入			50.0	50.0	175	270	—	80	—	862	880	—	4.200	—	—
1-3	1-1にPF(0.3%)混入			50.0	50.0	175	270	—	80	—	862	880	—	4.200	0.0005	—
2-1	高炉B種セメント			46.3	50.0	162	—	350	—	—	878	898	—	4.200	0.0005	—
2-2	2-1にSF(0.3%)混入			49.1	50.0	172	—	350	—	—	865	885	—	4.200	0.0005	—
2-3	2-1にPF(0.3%)混入			49.1	50.0	172	—	350	—	—	865	885	—	4.200	0.0004	—

本年度は、室内試験のうち実線で囲んだ部分を実施した。試験に用いるMPCの配合を表-1に、種類及び試験項目を表-2に示す。スランプロス試験は、練混ぜ直後、30分、60分、90分経過後のスランプ及びスランプフロー（JIS A 1150）、空気量、U形充填性（JSCE-F 511）、L形フロー（JSCE-F 514）試験を実施した。また、MPCは高炉セメントB種や粉体の一部に石粉を用いるため、温度上昇量を低く抑える効果があると予想され、この効果を断熱温度上昇量で確認した（品質評価試験方法研究委員会報告書(社)日本コンクリート工学会による）。さらに、MPCの乾燥収縮によるひび割れ特性を把握するため、拘束されたコンクリートの乾燥収縮ひび割れ試験（JIS A 1151）を実施した。実施した品質確認試験の結果、表-3に示す点が明らかとなった。

表2 試験項目

配合名称	試験項目				
	スランプロス試験 ※1	圧縮強度試験	曲げ靱性試験	断熱温度上昇試験	拘束されたコンクリートの乾燥収縮ひび割れ試験
基本	●	●	—	●	●
高流動	●	●	—	●	●
1-1	●	●	—	●	●
2-1	●	●	—	●	●
1-2	●	●	●	—	●
1-3	●	●	●	—	●
2-2	●	●	●	—	●
2-3	●	●	●	—	●

※1：基本以外はスランプフロー



写真1 フレッシュコンクリートの試験状況

3. 中流動コンクリートの要求性能

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

覆工コンクリートの施工では、ある程度の振動・締め固め作業が可能であることから、補助的に振動・締め固め作業を行うことを前提として、スランプ 15~18cm の普通コンクリートとスランプフロー65cm程度の高流動コンクリートの中間的な性状、コストを有する MPC を、次のコンセプトのもとに開発・検討進めている。①覆工コンクリートの吹上げ打設を型枠バイブレータの振動だけで行えること、②特殊な材料を用いないこと、③高コストにならないこと、④一般の生コンクリート工場の設備で製造可能なこと、⑤運搬・ポンプ圧送が通常の施工機械で行え、型枠(セントル)の補強等を必要としないこと、⑥コンクリート強度 18N/mm² 以上を対象とすること、である。

MPC に要求される性能には、覆工コンクリートの求められる硬化後の力学性能のほか、施工性能、耐久性能などがあり、これら

の性能を満足することを確認した上で覆工コンクリートに適用する必要がある。表-4 に要求性能（案）を示す。MPC は、スランプフローで管理を行うものとし、高流動コンクリートのランク 3 の要求性能であるスランプフロー500mm 以上を参考に MPC のスランプフローを決定している。なお、スランプフローの要求性能は、スランプに換算すると 20~25cm に相当する。充填性の確認は、高流動コンクリートで用いられている U 型試験で確認するものとし、覆工コンクリートは無筋の構造物であるので、鉄筋を想定した障害を設けないものとしている。なお、規定値に関しては現段階では覆工コンクリートで要求する充填性が明確になっていないことから、「高流動コンクリート施工指針(平成 10 年 7 月)」に準拠して U 型試験で 300mm 以上の充填高を確保することにしている。この要求性能は本試験のスランプフローと U 型充填高さの関係を示した図-1 より明らかなようにスランプフロー450mm 以上であれば U 型充填高さ 30cm は満足する。流動性と材料分離抵抗性は L 型フロー試験で評価するものとし、流動が停止した時点でさらにバイブレーターで振動を与え、規定値の 750mm に材料分離を起こさず到達することを目視で確認するものとしている。

4. まとめ

MPC の施工実績が無いため、要求性能が明確になっていない。今後は、実大模型を用いた模型試験を踏まえ、MPC の要求性能を明確にし施工管理基準を定め、実トンネルでの試験施工により不具合の無い健全な覆工コンクリートを構築できることを確認する必要がある。

表 3 各試験より得られた所見

試験項目	所見
スランプロス試験	① 石粉を用いた MPC は、スランプ及びスランプフローの経過時間における高い保持性能が認められ、経過時間 90 分後における加振動時の流動性は、高流動コンクリートと同程度である ② 石粉を用いた MPC は、繊維の混入によるスランプ及びスランプフローの経過時間における変化量は無混入と同程度である ③ 高炉セメント B 種を用いた MPC のスランプロス試験では、流動性試験結果においてその特性は石粉を用いた MPC を下回った
圧縮強度試験	① MPC の初期強度は、基本コンクリートより水結合材比を小さくして 45~50% の範囲内としたため、セントルダウンに必要な強度は 2N/mm ² 以上を全てのコンクリートで上回った ② MPC では、水中養生より強度発現性が低くなるとされる気中養生でも、JH で規定するトンネル覆工コンクリート T1-1 および繊維補強覆工コンクリート T3-1 の材齢 28 日圧縮強度 18N/mm ² の規定値を全て上回り 34.6~44.3 N/mm ² の強度が得られた
曲げ靱性試験	① MPC の曲げ靱性特性は、一般的な曲げ靱性特性と同様の傾向を示し、鋼繊維混入が非鋼繊維混入に比べ大きな靱性係数を示す ② 石粉を用いた MPC は、高炉セメント B 種を用いた MPC より高い靱性係数を示す傾向がある
断熱温度上昇試験	① 石粉を用いた MPC は、基本コンクリートと同程度の最大温度上昇量を示し、同程度の温度ひび割れに対する特性であると考えられる ② 石粉及び高炉セメント B 種を用いた MPC では、発熱量の観点から、石粉を用いた場合の方が温度ひび割れに対する優位性を持っている
拘束されたコンクリートの乾燥収縮ひび割れ試験	① 基本コンクリートに比べ、石粉を用いた MPC の乾燥収縮によるひび割れ低減効果は大きいものと考えられる ② 高炉セメント B 種を用いた場合には、ひび割れの発生する傾向は高くなったが、剥離剥落の防止を目的に繊維を混入する場合、ひび割れ発生に対する抵抗性は改善され従来の基本コンクリートとほぼ同等の傾向になった

表 4 中流動コンクリートの要求性能（案）

要求事項	試験項目	試験方法	要求性能	摘要
流動性	スランプフロー	JIS A 1150	450mm	流動性の評価
	L 型フロー	JSCE-F 514	750mm 到達 注2	材料分離が無いことを確認
充填性	U 型充填性(障害無)	JSCE-F 511	充填高 300mm 以上注1	材料分離が無いことを確認
耐凍害性	空気量	JIS A 1128	4.5%	耐凍害性の確保
ポンプ圧送性	加圧ブリーディング試験	JSCE-F 502	標準脱水曲線範囲内	ポンプ圧送性の確認

注1: 暫定値として土木学会コンクリートライブラリー93「高流動コンクリート施工指針(平成 10 年 7 月)」のランク3と同等とした。

注2: バイブレーターにより振動を加えて、L フロー750mm 以上になることを確認する。なお、バイブレータは、JIS A 8610 に定める種類及び公称径 BM32: 振動数 8000rpm、振幅 1.6mm 以上。

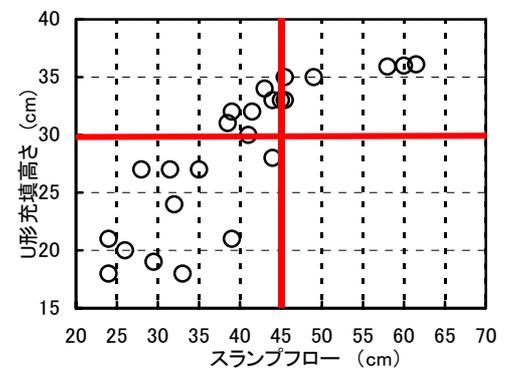


図 1 スランプフローと U 型充填高さの関係