

中流動覆工コンクリートの開発検討

Development of Middle Performance Concrete for Tunnel Lining

馬場弘二¹・海瀬忍²・山田隆昭²・齊藤直³・白野武⁴

Koji Baba, Shinobu Kaise, Takaaki Yamada, Tadashi Saitoh and Takeshi Shirano

¹正会員 工博 ㈱高速道路総合技術研究所 トンネル研究室 (〒194-8508 東京都町田市忠生1-4-1)

E-mail:k.baba.aa@ri-nexco.co.jp

²正会員 ㈱高速道路総合技術研究所 トンネル研究室 (〒194-8508 東京都町田市忠生1-4-1)

³正会員 工博 ㈱エネルギー・エコ・マテリア 技術部 (〒730-0042 広島市中区国泰寺町1丁目3-32)

⁴正会員 ㈱エネルギー・エコ・マテリア 技術部 (〒730-0042 広島市中区国泰寺町1丁目3-32)

This research improves long-term durability of tunnel lining concrete. It aims at making to the high quality by the improvement of fluidity and filling performance, and it describes the development passage of suitable new concrete for the construction of tunnel lining concrete. The content sets mixing Middle Performance Concrete (MPC) that can be constructed only with form vibrator by using intermediate concrete of usualness and High Performance, and is an evaluation of the performance by trial construction. As a result, the construction of high-quality tunnel lining became possible by using MPC.

Key Words : *tunnel lining concrete, Middle Performance Concrete, durability improvement, trial construction*

1. はじめに

覆工コンクリートのアーチ部の施工は、NATM導入以来、コンクリートをポンプ圧送による吹上げ打設としており、閉鎖された狭小空間での作業を余儀なくされている。この状況下で施工される覆工コンクリートは、締固め困難な天端部におけるコンクリートの密実性の低下、打重ね部の一体化不良による強度低下、充填不足による背面空洞の発生と応力状態の偏りなどの問題を抱えている。これら不具合解決のためには、材料分離抵抗性、流動性に優れた覆工コンクリート専用の新規材料の開発が必要である。

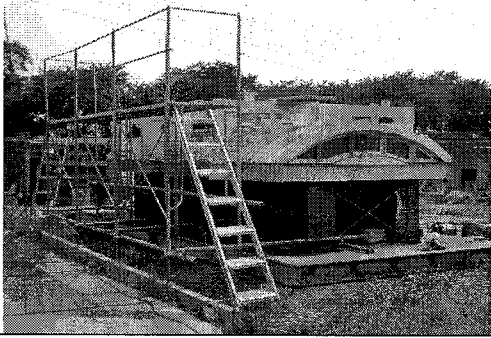
現在、施工性に優れたコンクリートとして、流動性が高く自己充填性を有した高流動コンクリート(以下「High Performance Concrete (HPC)」という。)が存在し、土木学会コンクリートライブラリー93「高流動コンクリート施工指針(平成10年7月)」等で配合設計から施工までを規定している。このHPCは、振動・締固め作業を必要

とせず、型枠に材料分離を生じることなく充填することが可能であり、覆工コンクリートの品質を大幅に向上することができる。しかし、HPCは、高い流動性を有しながら材料分離抵抗性を確保するために粉体量が多く、また、増粘剤などの混和材料を用いているために、通常のコンクリートより製造コストが高くなる。

これに対し、山岳トンネルの覆工コンクリートは一般的に無筋コンクリート構造であり、コンクリートの流動を阻害する鉄筋が配置されていないか、あっても坑口付近の補強鉄筋程度であるため、HPCを用いることなく、無筋コンクリート構造の覆工を対象とした経済的で流動性の高い、新たなコンクリートの開発・検討が望まれている。

筆者らは、トンネル覆工コンクリートの流動性・充填性の向上に伴う高品質化を目指し、覆工コンクリートの打込み方法に適した新配合のコンクリートの開発を目的として、模擬型枠試験および現地試験施工を通してその性能を評価した。

表-1 模擬型枠試験に用いる型枠仕様

外観			
寸法	内径1.85m 外径2.15m, 幅2.496m, 長さ6.0m, 厚さ0.3m, 容積約3.5m³		
材質	鋼製	打込み方法	ポンプ, 吹上げ
備考	上面より打込み状況が確認できるように可視部を設置, 吹付け背面を模擬凹凸を配置(木材等)		

2. 新配合コンクリートの概要

現状の吹上げ打設用コンクリートの代替えとなる覆工専用のコンクリートを、中流動覆工コンクリート（以下「Middle Performance Concrete (MPC)」という。）と呼ぶこととした。これは、MPC開発検討における基本条件として、スランプフロー30～50cm程度で、普通コンクリート（スランプ15～18cm）とHPC（スランプフロー65cm程度）の中間的な性状を有することとしたためである。

HPCは、使用する材料の種類や量から、粉体系、増粘剤系および併用系の3種類に大きく分類されるが、MPCの場合は、使用する材料が比較的容易に入手できる粉体系コンクリートが望ましい。安定した材料品質を確保するためにも、公的な材料規格を用いることが必要と考え、現状としては、JISなどで規格化されているフライアッシュ（石炭灰）および石粉（石灰石微粉末）を混和材として採用している。なお、MPCとしての適切な流動性および材料分離抵抗性の確保と繊維補強コンクリートとしての展開を踏まえ、粗骨材最大寸法は20or25mmとしている。

3. 模擬型枠試験

(1) 試験概要

事前に実施した室内試験において選定された配合のMPCを用いて、模擬型枠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MPCの要求性能を確立するための基礎データを収集した。

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

表-2 試験ケース一覧

ケース	内容	水結 合材 比(%)	単位量 (kg/m³)					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 基本
④	中流動 +PF(0.3%)	50.0	175	270	80	—	350	③に非鋼 繊維混入
⑤	中流動 (石炭灰)	63.5	172	230	—	154	384	石炭灰 基本
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

※石炭灰 (FA: フライアッシュIV種)

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、吹上げにより打込むものである。検証した試験ケースを表-2に示す。

(2) 試験結果

a) 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、しかも高くならなかった。1ストローク当りの吐出量もコンクリート種別に差はなく（平均0.0342m³）、平均ストローク数を乗じると3.66m³となり、ほぼ模擬型枠の容積となった。

b) 模擬型枠内のコンクリートの流れ

ケース①およびケース②を除くMPCの流れは、吹上げ口よりアーチに沿って流れ落ちた後、左右下側の型枠に沿って妻側に向かって進み、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およびケース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。

c) 脱型時コンクリートの状態

打込み後1週間で型枠を脱型し、地山側を目視観察した。その結果、ケース⑤の充填性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）

d) 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/mm²を十分満足する値であった。

e) 水密性および透気性

コンクリートの種類の相違による拡散係数は、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。



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-3 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	型枠内吹上げ口（筒先）から妻側まで流れたコンクリートの評価点	コンスタテン	スランプ 変化量	5	1	4	4	5	4	
			スランプフロ-変化量	5	2	3	1	5	4	
		空気量	空気量変化量	5	5	5	2	5	4	
		充填性	充填高さ300mm(筒先)	1	5	5	5	5	3	
			充填高さ300mm(妻側)	3	3	3	5	3	4	
		流動性	充填性停止時間(振動)	2	1	3	1	3	2	
			流動性50cm到達時間(振動)	1	3	5	4	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	コンスタテン	スランプ 変化量	1	1	2	5	3	5	
			スランプフロ-変化量	1	2	2	4	3	4	
		空気量	空気量変化量	2	5	5	1	5	3	
		充填性	充填高さ300mm(筒先)	1	5	4	1	4	1	
			充填高さ300mm(妻側)	1	1	4	2	2	4	
		流動性	充填性停止時間(振動)	1	1	5	4	5	2	
			流動性50cm到達時間(振動)	1	1	5	5	3	5	
No.3	ポンプ圧送性の評価点		流動性最終到達時間(振動)	1	1	3	5	2	4	
			平均吐出量	3	2	3	4	2	2	
			平均ポンプ油圧	2	4	3	2	4	5	
			回転数	4	4	4	5	4	4	
			実測吐出量	2	4	3	4	4	5	
No.4	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	
No.5			単位積算面積差	2	3	5	1	5	2	
No.6	型枠内のコンクリート圧力の評価点			1	3	4	4	4	4	
		充填性	表面非充填率(平均値)	1	1	4	4	5	2	
			管理供試体圧縮強度	5	5	5	5	5	5	
		基準強度	コア供試体圧縮強度	5	5	5	5	5	5	
			透水係数(平均値)	2	3	5	4	3	5	
		透気性	透気係数(平均値)	3	1	4	4	3	5	
			中性化促進中性化深さ	5	5	4	4	1	3	
総合評価				△	△	◎	○	◎	○	

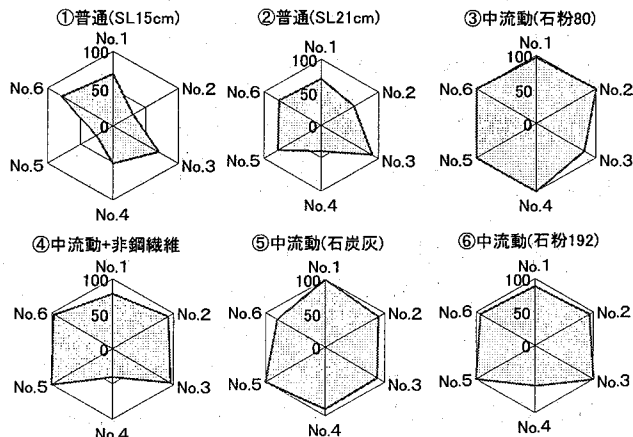


図-1 相対評価

f) 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、全ての打込み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、石炭灰のポゾ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MPCに要求する性能を明確にするために、実施した結果を表-3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、各評価項目は最高(5点)最低(1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。得られた総合評価およ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MPCの適用性が高いことが確認された。

4. 実現場における試験施工

(1) 試験概要

MPCの特徴である振動機を補助的に用いることでスムーズに流動するパフォーマンスを最大限に生かすため、通常の内部振動機を一切使用せず、型枠振動機のみによる施工を実施することとし、実トンネルにおいてその施工性能や仕上がり品質を評価した。

試験施工は、覆工コンクリート施工中の設計強度18N/mm²の2車線断面のトンネル(覆工巻厚30 or 35cm, 型枠長10.5m)を対象として実施した。

試験ケースを表-4に示す。なお、本試験では、中流動ケースに関して、プラント設備の事情から石炭灰のみの実施となった。

試験に用いたコンクリート配合を表-5に、コンクリートの品質管理基準を表-6に示す。なお、スランプ、スランプフロー、L型フロー、U型充填性、空気量といった数値は、試験施工のために模擬型枠試験を踏まえて暫定的に設定した値である。

a) 打設圧と打設速度の管理上限値

MPCは、普通とHPCの中間的な性状ではあるものの、その側圧の程度が不明であることから、実施工での計測を行い検証した。計測は、土圧計を用いて、既存の窓を取替えて細工し、断面当り3箇所(窓部:P1~P3)×2断面(吹上げ側と妻側)とした。なお、実施にあたり、型枠は現状の仕様のままで特に補強は行わないものとし、MPCの打込み時には、型枠の強度計算書をベースにして、現状型枠の安全率を考慮した打設圧と打設速度の管理上限値を設定(0.064 N/mm², 15 m³/h)し、管理値とした。

表-4 試験ケース一覧

鉄筋 有無	覆工厚 (cm)	普通 ¹⁾		中流動(石炭灰) ²⁾	
		PF 繊維有	プレーン 繊維無	PF 繊維有	プレーン 繊維無
有	35	①-1-1	—	②-1-1	②-2-1
無	30	①-1-2	①-2-2	②-1-2	②-2-2 ②-2-2'

1) 棒状振動機使用の通常施工

2) 型枠振動機のみ使用

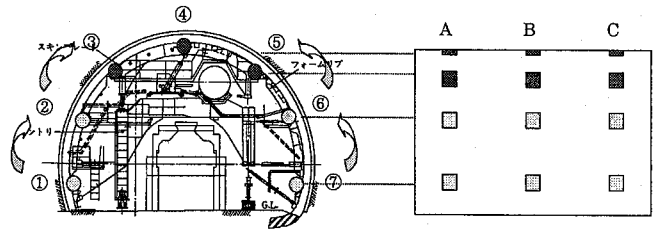


図-2 型枠振動機の配置

表-5 コンクリート配合

	W/C (%)	W/B (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
				W	結合材B		S	G	繊維 PVA ²⁾
					C	FA ¹⁾			
①-1	50.3	—	53.1	173	344	—	922	848	3.9
①-2	59.7	—	45.0	163	273	—	820	1032	—
②-1	66.3	51.1	49.4	179	270	80	840	894	3.9
②-2	66.3	51.1	49.4	179	270	80	840	894	—

1) 石炭灰 (フライアッシュ IV 種)

2) ビニロン (0.3%)

表-6 中流動覆工コンクリートの配合決定のための基準
(今回試験用暫定値)

種別	σ_{28} (N/mm ²)	G _{max} (mm)	スラング ¹⁾ (cm)	L形 π - ¹⁾ (mm)		U形充 填性 ¹⁾ (mm)	空気量 ⁵⁾ (%)
				無振動	振動 ²⁾		
②-1	18	20	20±	300 以上	8cm/s 以上 ⁴⁾	300 以上	5.5 ±0.5
②-2		25	2.5 ³⁾		750以 上で分 離無し		

1) コンクリートの打込み箇所における値

2) 棒状振動機を用いて型枠に振動を加えて、L形 π が基準値以上になることを確認3) ②-1: ベースコンクリートのスラング π の目安 45~55cm②-2: スラング π の目安 35~45cm

4) 振動最終到達速度(cm/s) = (75cm - 無振動到達距離 cm) / 最終到達時間(s)

5) 石炭灰仕様にあつては、その性質より 4.5+1.5%の範囲で上限に近いものとする事が多い。

b) 型枠振動機のみによる施工

本試験においては、MPCのケースについて、その特性を生かし、型枠振動機のみを用いて打込みを実施した。MPCの流動性・充填性といった特性を最大限に引き出すためには、振動を与えることなく流し込んだコンクリートの動きが止まった後に、コンクリートの上面全体が水平になる程度の再振動を与えた。型枠振動機の配置は、模擬型枠による試験結果を考慮して図-2に示す位置とした。型枠振動機は周波数 100~240Hz、振動数 50~120Hzのもので、簡易に移動据付が可能なタイプとし、断面当たり 3台×3断面、全9台を用意した。天端縦断方向の3台のみ固定し、側壁部コンクリートの立ち上りに合わせて型枠振動機を上段へ移動しながら使用した。

c) 調査項目・内容および方法

調査・試験項目と検証内容および試験方法の関係を表-7に示す。本試験での確認事項としては、①覆工打込み時のMPCの流動性等の施工状況の確認、②MPCの硬化品質

表-7 調査・試験項目

種別	試験項目	試験方法	検証内容
覆工の 打込み	施工状況 調査	目視立会による	実施工における配合や施工上の留意点などを把握
	型枠の 振動測定	振動計 打込み前・打込み中	型枠振動機の振動数・振動時間及び影響範囲確認
	型枠に作用 する側圧	土圧計 (ひずみゲージ式)	側圧規模の把握及び型枠設計への反映
外観 観察	目視	施工箇所表面 (打込み後3ヶ月)	ひび割れ、あばた、繊維の露出、剥離等の変状の有無
	温度・湿度	対象箇所付近へ 温湿度計の設置	試験環境の把握
密実性 試験	透気試験	Proceq社製 トノ法	材齢28日、91日 硬化コンクリートの品質確認
	水分吸着 試験	Proceq社製 ボロメーター	
コア 採取 試験 φ10× 20cm	圧縮強度	JISA1108	材齢28日、91日 設計基準強度の確認
	繊維配向性 確認試験	供試体断面の繊維形状から算定	配向係数とその変動係数の把握(配向性)
	混入率試験	試料を粉砕後繊維抽出し繊維量確認	部位別厚さ方向別の混入率の変動把握(分散性)

の確認(コア物性、外観の仕上り状況)、が挙げられる。コア採取は、鉄筋無しの場合を対象に実施し、繊維補強を実施しないケースについては、圧縮強度用のコア採取のみを行った。繊維補強コンクリートにおける配向性確認試験については、非鋼繊維の場合、X線撮影画像では明瞭な画像を得ることができないため、供試体切断面の繊維形状から配向性を測定する方法¹⁾を用いた。

(2) 試験結果

a) 型枠の振動測定

型枠振動機の周波数を190Hzとした場合の各測定位置の振動数は、ほぼ一定の90Hzであった。しかし、ほぼ同一の振動数にも関わらずその振幅には大きな差が認められた。同一箇所におけるコンクリートの有無による振幅の差は、コンクリートが型枠内にある場合、無い場合の約50%近く振幅が小さくなる。また、横断方向の型枠振動機設置中間の振幅は、近傍の値の約1/7程度小さくなる傾向であった。縦断方向の型枠振動機設置中間では、近傍の値と大きな差は認められなかった。以上のことから、今回使用した型枠では、縦断方向に比べ、横断方向の型枠振動機中間位置において、振幅の伝達が少なく、コンクリートの流動性および充填性に影響を与えるものと考えられる。

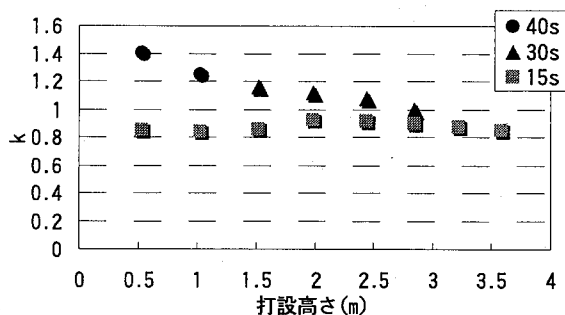


図-3 振動時間の違いによる打設高さと側圧係数の変化
(打設量: 18m³/h)

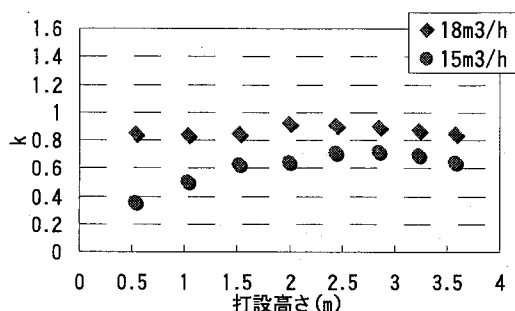


図-4 打設量の違いによる打設高さと側圧係数の変化
(振動時間: 15s)

b) 型枠に作用する側圧

MPCの繊維補強無し・鉄筋無し区間において、管理基準値の0.064N/mm²を若干超える側圧の発生が見られたが、打設量の調整などによる打込み方法の見直しにより対応可能なレベルであった。また、コンクリートの打込みが吹上げに切り替わり、肩部～天端部に打ち上がった状態で、主に側壁部で側圧が最大値を示した。

図-3に振動時間の違い、図-4に打設量の違いによる側圧係数の変化を示す。時間当りの打設量が同じ場合、振動数が30～40秒の場合には側圧係数が液圧相当となるが、15秒の場合ではほとんど変動せず推移している。また、図-4のように振動時間が同一で打設量を変えた場合においては、打設速度が速い場合(18m³/h)に比べ、遅い場合(15m³/h)には打込みの進行とともに側圧は上昇するものの、速い場合までの値に達してはいない。

このことから、打設量を15m³/h程度、かつ、振動時間を15秒で管理すれば、液状化することによる側圧の上昇および側圧係数の変動を抑えて、型枠に対して安定的に施工できるものと考えられる。

c) 外観観察結果

MPCの仕上り状況を写真-2に示す。普通コンクリートのケース①-1およびケース①-2の外観観察結果では、温度収縮・乾燥収縮に起因するひび割れが施工に起因するひび割れより多く認められた。MPCでは、温度収縮・乾燥収縮に起因するひび割れより施工に起因する不具合が多く認められた。これは、初めてのMPCの試験施工である



写真-2 仕上り状況

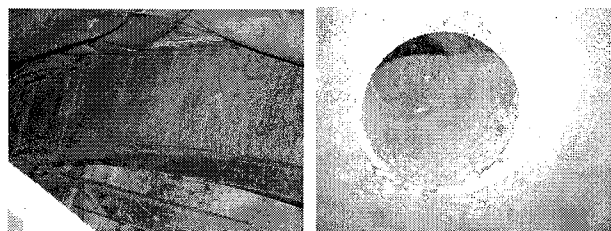
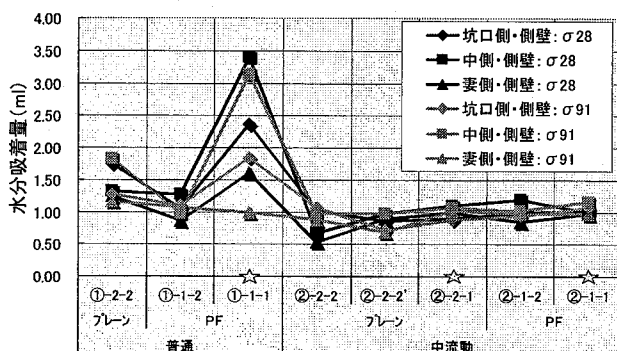


写真-3 妻部およびコア抜き後のコンクリート内部の充填状況

表-8 透気係数平均値

	普通	中流動
材齢28日	$10.0 \times 10^{-16} \text{m}^2$	$4.59 \times 10^{-16} \text{m}^2$
材齢91日	$14.9 \times 10^{-16} \text{m}^2$	$10.03 \times 10^{-16} \text{m}^2$



※ケース番号の☆は鉄筋有り区間を示す
図-5 測定箇所と60分後の水分吸着量の関係

ため、型枠振動機設置位置および振動時間等を模索しながら実施し、また現場作業員の施工方法に対する手順等が不慣れなためと推測された。

なお、妻部およびコア抜き後のコンクリート内部の充填状況(写真-3)からは、充填性に問題は無いものと考えられる。

d) 密実性試験

施工後の覆工コンクリート表面部について、各ケースの密実性を打込み後28日と91日で比較確認するため、透気試験と水分吸着試験を実施した。

透気性試験では、試験部位の違いによる明確な差は認められなかった。材齢28日と材齢91日の透気係数平均値を表-8に示すが、MPCは、従来の普通コンクリートに比べ透気性は小さく密実であり、透気試験結果のばらつきが小さいため均質に仕上がっていると考えられる。

表-9 評価項目と総合評価

ケース	施工状況・強度・配向性等					外観観察（コンクリート変状）					密実性試験				総合 評価点	総合 評価点 百分率 (%)
	作業労 力効率 (人)	型枠に 作用す る最大 側圧 (N/mm ²)	17圧縮 強度 σ ²⁸ の変動 係数(%)	コアの 繊維 配向性	コアの 繊維 混入率 の変動 係数(%)	最大ひ び割れ の幅 (mm)	総ひび 割れの 長さ (m)	はく離 の大き さ (m ²)	骨材露 出の大き さ (m ²)	材齢28日 ・91日の 透気係数 平均値 (×10 ⁻¹⁶ s ²)	透気係 数変動 係数(%)	σ ²⁸ ・ σ ⁹¹ の 水分吸 着量平 均値 (ml)	水分吸 着量の 変動係 数(%)			
①-1-1	2	5	—	—	—	3	4	5	5	5	4	1	1	35/50	63.6	
①-1-2	1	5	2	1	1	2	1	5	5	4	1	4	4	36/62	65.5	
①-2-2	4	3	1	—	—	2	3	5	5	1	3	3	3	33/55	60.0	
②-1-1	4	3	—	—	—	5	5	3	4	4	4	4	5	41/50	74.5	
②-1-2	4	4	5	2	3	1	2	5	1	5	2	4	4	42/62	76.4	
②-2-1	5	4	—	—	—	3	4	1	4	5	4	4	4	38/50	69.1	
②-2-2	5	1	4	—	—	1	3	5	5	4	3	5	2	38/55	69.1	
②-2-2'	5	1	4	—	—	2	2	5	4	5	5	5	4	42/55	76.4	

注) 各項目の は最高評価、 は最低評価

【総合評価点百分率(%)】

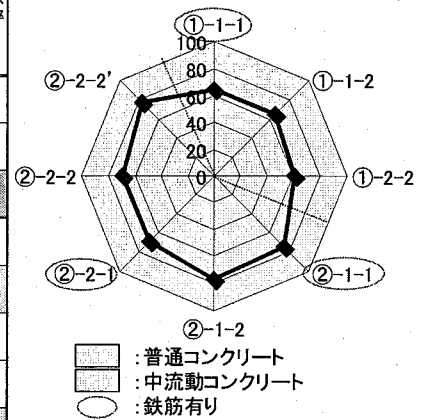


図-6 総合評価

水分吸着試験結果を図-5に示す。60分後の水分吸着量は、普通コンクリートに比べMPCの水分吸着量は小さく、結果のばらつきが小さいことから、透気性試験と同様に均質で密実性が高いものと考えられる。

e) コアの圧縮強度

全てのケースにおいて所要の強度を十分満足している。MPCは、普通コンクリートに比べ石炭灰を使用していることから、ポゾラン反応により材齢91日では強度の伸びが認められた。

f) コアの繊維配向性・混入率確認試験

繊維補強ケースにおける内空側と地山側の配向係数および混入率の関係から、普通コンクリートに比べてMPCのばらつきは小さく、内空側と地山側とが比較的均一な状態となっている。配向係数の全平均は、普通コンクリートでは0.51、MPCでは0.48と、一般に理想的とされている配向係数の範囲であった(3次元的にランダムに繊維が配向されている場合の理論配向係数は0.41もしくは0.50とされている²⁾)。硬化コンクリート中の繊維混入率は、普通コンクリートおよびMPCとも設定混入率0.30%に対して全体平均で0.28%および0.29%であり、大きな差は認められなかった。

(3) 中流動覆工コンクリートの適用性評価

MPCは前述したように普通コンクリートに比べて優れた品質を有している。ここでは、試験施工におけるケース毎に試験結果から算出する評価点を用いて整理した。各評価点は全ケースの最大値および最小値を等間隔に5段階に分けて設定することを基本とし、総合評価点は、コアの圧縮強度や繊維補強の有無により合計点に差が出るため、各評価項目の満点評価点に対する百分率を算出した。総合評価結果を表-9、図-6に示す。

総合評価点が最も高いケースは、MPCケース②-1-2およびケース②-2-2'（総合評価点百分率で76.4%）であり、

最も低いケースは、普通コンクリートケース①-2-2（総合評価点百分率で60.0%）であった。また、普通コンクリート3ケースの平均は、総合評価点百分率で63.0%、MPC5ケースでは73.1%とMPCが高い評価となった。この結果は、模擬型枠試験と同様の傾向となった。

5. まとめ

現行の生コン工場が持っているスランプ18および21cm配合を修正することにより、MPCの配合選定は十分対応可能であった。また、MPCを用いることで、普通コンクリートに比べて高品質な覆工の施工が可能であることを確認できた。

今後、MPCの使用実績を拡大していくにあたっては、以下の課題を解決していく必要がある。

- ① 全国展開を視野に入れた石炭灰以外の混和材（石粉など）の試験施工による適用性確認
- ② 試験施工結果を基に、MPCを用いた覆工コンクリートの施工管理の基準となる仕様の整備
- ③ 品質管理試験における簡易で適正な評価ができる流動性および充填性試験の再検討
- ④ MPCの振動エネルギーと締固め性状の関係把握
- ⑤ 型枠振動機を用いる場合、構造の異なる型枠に対する適切な施工方法の確立

参考文献

- 1) 馬場弘二、伊藤哲男、松本健次、鳥越信一、吉武勇、中川浩二：コンクリート中におけるプラスチック系繊維の配向状態の評価方法、土木学会論文集、No.760/V-63, pp.173-180, 2004.
- 2) 小林一輔：繊維補強コンクリート特性と応用一、pp.59-60, オーム社、1981.