

## 論文 高強度コンクリートの表面仕上げと養生の方法に関する検討

谷口 秀明<sup>\*1</sup>・樋口 正典<sup>\*2</sup>・藤田 学<sup>\*2</sup>

**要旨**：本論文は、プレストレストコンクリート橋に用いる高強度コンクリートの打上り面の仕上げおよび養生における塗布材料の効果と弊害に対する検討を行ったものである。実験の結果、養生剤の塗布により標準水中養生あるいは湿潤養生と同等の圧縮強度が得られること、乾燥収縮の低減効果や付着強度への影響は塗布材料の種類によって異なること、パラフィン系仕上げ補助剤の混入は圧縮強度の低下を招くことなどが明らかになった。

**キーワード**：高強度コンクリート、仕上げ、養生、圧縮強度、乾燥収縮

## 1. はじめに

プレストレストコンクリート橋に用いる高強度コンクリート（以下、PC用高強度コンクリートと称す）は、早期強度の確保を目的に早強ポルトランドセメントが使用されるため、一般のコンクリートに比べてブリーディングが極めて少ない。また、コンクリートの打込み時から供用後に至るまで、通風や日射等により乾燥しやすい環境下に置かれる。そのため、施工段階では表面仕上げや養生などで十分な対策を講じなければ、ひび割れ等の発生を招く可能性が高い。

しかし、一般に仕上げに関する記載はブリーディングが多い普通強度域のコンクリートが中心であり、養生に関しても散水や湿潤養生等が可能な構造物の形状・立地条件等の制約を受けない場合を想定したものである。昨今、表面仕上げを補助する材料（以下、仕上げ補助剤と称す）や養生剤の使用も広まりつつあるが、それらの品質規格等は明確に定まっていない。これに対し、高炉セメントを用いた一般土木構造物用コンクリートに対する各種養生剤の効果を検討した研究<sup>1)</sup>も見られるようになった。

筆者らのこれまでの研究<sup>2)</sup>により、PC用高強度コンクリートには仕上げ補助剤が必要となるが、水の蒸発量がブリーディング量に比べて多い場合には仕上げ補助剤の使用が却って仕上り

面にひび割れを発生する場合もあることなど、ブリーディングおよび蒸発量に応じた適切な仕上げ方法があることを明らかにした。また、仕上り面と表面被覆材の付着強度にもブリーディング量、乾燥条件、仕上げ方法等の影響を受け、パラフィン系の材料を硬化コンクリートおよびブリーディングを生じないフレッシュコンクリートに塗布した場合には、塗布しない場合の付着強度の1/2以下となることも把握した。

本論文では、それらの知見をもとに、PC用高強度コンクリートの表面仕上げとその後の養生で塗布する各種材料に着目し、コンクリートの圧縮強度および収縮への改善効果、表面被覆材との付着強度の影響、仕上げ補助剤の混入の影響を対する実験的検討を行った。

## 2. 実験に使用したコンクリート、仕上げ補助剤および養生剤の特徴

## 2.1 コンクリート

実験には、表-1、表-2に示すとおり、早強ポルトランドセメントを使用し、設計基準強度 $40\text{N/mm}^2$ のPC用高強度コンクリートを想定した配合H40のコンクリートを使用した。水セメント比および単位粗骨材量を一定とし、単位水量を変えた配合H40U、H40Dは、収縮ひずみの比較に用いた。スランプは8~12cm、空気量は

\*1 三井住友建設（株）技術研究所 土木研究開発部 修(工)（正会員）

\*2 三井住友建設（株）技術研究所 土木研究開発部 博(工)（正会員）

4.5±0.5%, 練上り温度は 20±1°Cに調整した。

## 2.2 仕上げ補助剤, 養生剤の種類と塗布方法

使用した仕上げ補助剤と養生剤を, 表-3に示す。パラフィン系 MC, PC は, 双方の用途で使用されている。AS は塗布型の収縮低減剤で一般にはいずれの用途にも位置づけられないが, 本研究では一般品との比較として使用した。使用量はメーカー推奨値とし, 霧吹きを用いてコンクリート表面に塗布した。塗布量は噴霧前後の質量変化で確認した。仕上げは, 実験結果<sup>2)</sup>をもとにブリーディング量と凝結時間を考慮し, 表-4に示す方法で行った。養生剤は仕上げ補助剤を使用しないで 3 回目の仕上げを行った面に対し, 以下の各実験で決定した時間に噴霧した。

## 3. コンクリートの圧縮強度に着目した仕上げ補助剤および養生剤の効果

### 3.1 実験方法

養生の基本は, 打ち終わったコンクリートを湿潤に保つことで十分に強度を発現できる状態を得ることであり, 圧縮強度は養生の良否を判断する指標の一つとなり得る。そこで, 円柱供試体 (φ100×200mm) を用いて, コンクリートの仕上り面に各種材料を塗布し, その他の部分は封緘状態とした供試体の圧縮強度(材齢 28 日)を調べた。使用した仕上げ補助剤は MC, KM, AS, 養生剤は MC, AS, NC である。養生剤は凝結の終結を確認した後に噴霧した。塗布した後の供試体は気中養生(温度 20°C, 湿度 60%)とした。比較として, 塗布しない仕上り面の 1 面が乾燥状態となる供試体(1 面気中養生)のほか, 標準水中養生, 3 日間の湿潤養生(以降は気中養生)および封緘養生を行った場合の圧縮強度も確認した。いずれの養生も 20°Cの環境下である。湿潤養生とは濡れた養生マットの敷布(湿度はほぼ 100%を確保)での存置を指す。

### 3.2 実験結果

実験結果を, 図-1に示す。圧縮強度比とは, 各養生・塗布材料を施した場合の圧縮強度を標準水中養生の値(63N/mm<sup>2</sup>)で除したものである。

表-1 コンクリートに使用した材料

材料	種類	産地, 物性, 成分	密度	記号
水	水道水		1.00	W
セメント	早強ポルトランドセメント	比表面積4610cm <sup>2</sup> /g	3.13	C
細骨材	川砂	鬼怒川産, 吸水率1.66%, F.M2.71	2.58	S1
	砕砂	葛生産(硬質砂岩), 吸水率0.9%, F.M2.96	2.64	S2
粗骨材	砕石2005	葛生産(硬質砂岩), 粒径判定実積率59.7%, F.M6.66	2.65	G
化学混和剤	高性能 AE減水剤	ポリカルボン酸エーテル系と分子内架橋ポリマーの複合体(消泡タイプ)		SP
	AE減水剤	リグニンスルホン酸化合物ポリオール複合体		WA
	AE剤	変性アルキルカルボン酸化合物系陰イオン界面活性剤		AE

(密度:単位はg/cm<sup>3</sup>, 骨材の値は表乾密度である)

表-2 コンクリートの配合

記号	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (上段:kg/m <sup>3</sup> , 下段:L/m <sup>3</sup> )				混和剤		スランプの測定値 (cm)
			W	C	S	G	種類	量(Cx%)	
H40	40		170	425	701	1020	SP	0.70	10.5
		40.7	170	136	265	385			
H40 U	40		185	463	630	1020	WA	0.30	8.0
		38.1	185	148	238	385			
H40 D	40		150	375	796	1020	SP	1.50	10~16*
		43.8	150	120	301	385			

\*) 砂利っぽく, 片崩れを示して安定せず。

表-3 仕上げ補助剤および養生剤の特徴

記号	成分	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	塗布量	
			標準使用量	採用値
MC	水溶性パラフィンワックス	0.95~	70~300	150
		1.00	<150>ml/m <sup>2</sup>	ml/m <sup>2</sup>
PC	水溶性パラフィンワックス	0.97	80~	100
			170g/m <sup>2</sup>	ml/m <sup>2</sup>
NC	塩基性シリカ化合物(浸透型養生剤)	1.38~1.45	100ml/m <sup>2</sup> (3倍希釈)	
KM	SBRラテックス系ポリマーディスパージョン	0.995~	70~	80
		1.05	90g/m <sup>2</sup>	g/m <sup>2</sup>
AS	低級アルコールのアルキレンオキシド付加物(含浸系収縮低減剤)	0.975~	100~	200
		0.995	300ml/m <sup>2</sup>	ml/m <sup>2</sup>

< >: 古いメーカー資料の値

表-4 仕上げ方法

仕上げ工程	仕上げ補助剤	1回目	2回目	3回目	存置			
		□	□	□				
あり	あり	木コテ均し	金コテ均し	噴霧→金コテ均し	存置			
	なし	→	→	→				
注水からの経過時間(h)	配合	1回目	2回目	3回目	凝結時間 始発 終結			
	H40	0.25	2.3	2.5	4.5	5.0	6.5	7.8
	H40U	(打込み終了の直後)	3.8	4.0	6.8	7.0	8.3	9.8
	H40D		3.0	3.0	5.8	6.0	8.3	9.9

BL1: ブリーディング量の1/2に相当する時間

BL2: ブリーディング試験で最終の浮き水が確認された時間

配合 H40 は 3 日間の湿潤養生を行うことで, 標準水中養生および封緘養生と同等の圧縮強度が

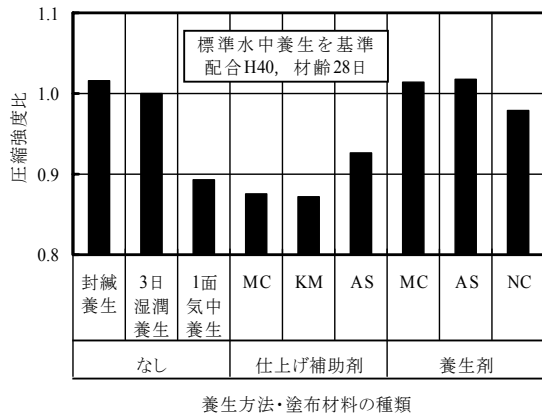


図-1 仕上げ補助剤および養生剤の種類と圧縮強度比の関係

確保できる。しかし、仕上げ補助剤の値は0.9前後で、1面気中養生との差異が認められず、仕上げ補助剤では強度低下の抑制効果がない。一方、養生剤に関しては、NCがやや小さいものの、標準水中養生等と同等の圧縮強度が得られている。すなわち、コンクリートの強度から判断すれば、養生剤の塗布は、湿潤養生もしくは標準水中養生と同等の効果があると見なすことができる。

#### 4. コンクリートの乾燥収縮への養生剤の効果

##### 4.1 実験方法

養生剤によるコンクリートの乾燥収縮の低減効果を確認するため、コンクリート供試体(100×100×400mm)の収縮ひずみ(埋込み型ひずみ計による)を測定した。また、鉄筋拘束試験体によって自己・乾燥収縮によるひび割れ発生日数を確認した。鉄筋拘束試験体は、日本コンクリート工学協会「コンクリートの自己収縮応力試験方法(案)」を参考とし、100×100×150mmの中心に、中央300mm範囲のリブ等を除いた鉄筋D32を設置したものである。シート等で縁切りした型枠内にコンクリートを打ち込み、打込み翌日まで封緘状態とした。材齢1日から乾燥を開始し、養生剤はこの段階で6面に塗布した。塗布した養生剤は、MC, PC, AS, NCである。

##### 4.2 実験結果

収縮ひずみおよび収縮ひび割れ発生日数の結果を、それぞれ、図-2, 図-3に示す。図-

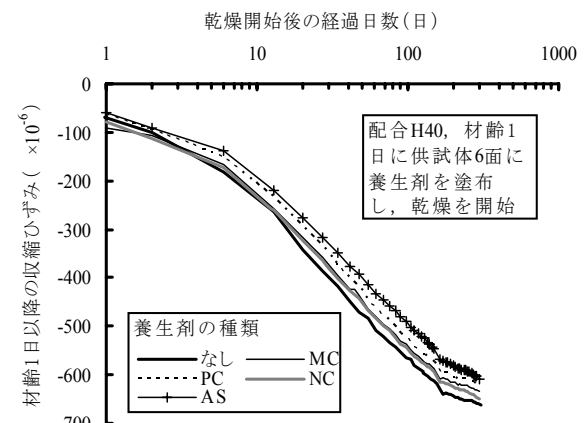
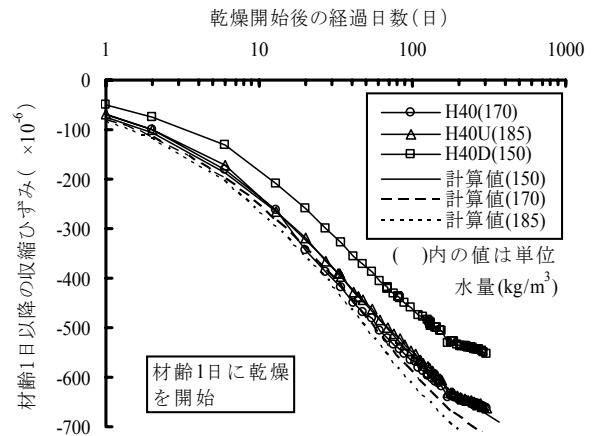


図-2 養生剤の種類および配合の違いが収縮ひずみに及ぼす影響

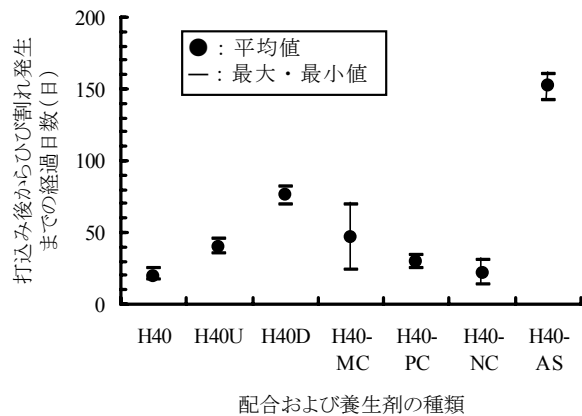


図-3 鉄筋拘束試験体を用いた収縮ひび割れ発生までの経過日数

2の収縮ひずみの原点は乾燥を開始した材齢1日とした。材齢300日における収縮ひずみは配合H40Dと配合H40では $100 \times 10^{-6}$ 程度の差があり、配合H40Dのひび割れ発生日数も配合H40に比べて約56日遅延しており、単位水量の減少による収縮低減効果が認められる。しかし、配

合 H40 と配合 H40U の収縮ひずみはほぼ同値で、ひび割れ発生日数は単位水量が少ない配合 H40の方が約 21 日早くなる結果になった。示方書<sup>3)</sup>による乾燥収縮ひずみの計算値でも、比較した単位水量の範囲では乾燥収縮ひずみの差は材齢 300 日で数  $10 \times 10^{-6}$  程度であり、配合や試験の条件によっては単位水量の低減による効果が明確でない場合も生じるようである。

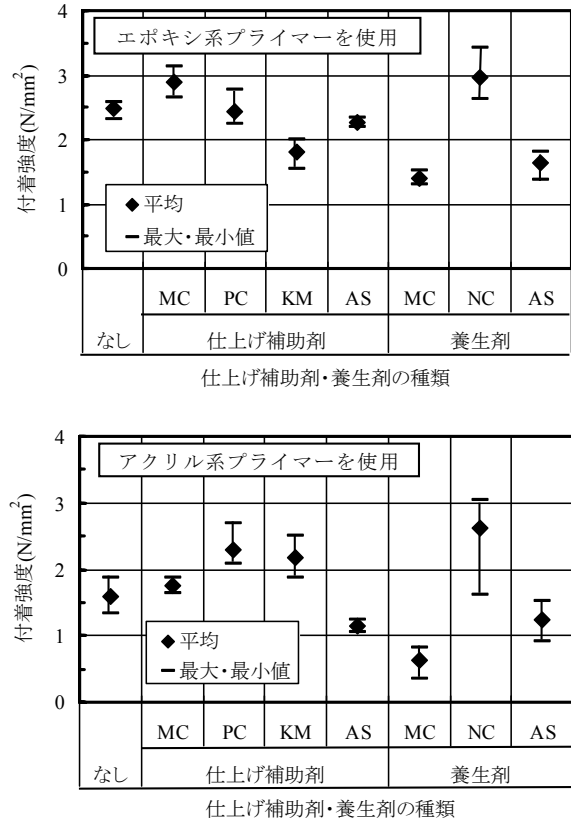
一方、養生剤を塗布した場合には、いずれも収縮ひずみの低減効果が見られ、NC 以外の養生剤を塗布した場合に関しては塗布しない場合よりもひび割れ発生が遅延している。収縮ひずみおよびひび割れ発生日数は、塗布型収縮低減剤 AS を使用した場合の効果が顕著であり、ひび割れ発生日数は単位水量を  $150\text{kg/m}^3$  とした H40D よりも 2 倍程度遅延している。

コンクリートの収縮および収縮ひび割れの低減に対し、単位水量をできるだけ少なくすることが基本であるが、コンクリートの施工性能も重要な要素で、実務上、これを満足する単位水量の低減には限界がある。そのため、施工作業段階においても、本論文で検討した養生剤の使用等の対策を講じることが重要である。

## 5. 仕上げ補助剤および養生剤がコンクリートの仕上り面と表面被覆材の付着強度への影響

### 5.1 実験方法

仕上げ補助剤および養生剤の塗布がコンクリートの仕上り面と表面被覆材（プライマー）の付着強度に及ぼす影響を調べた。実験方法は過去の実験<sup>2)</sup>と同一で、コンクリートブロック（約  $0.35 \times 0.35 \times 0.25\text{m}$ 、上面以外は封緘）に対して仕上げ補助剤と養生剤（材齢 1 日）を噴霧した面を約 3 ヶ月存置し、2 種類のプライマーを塗布して付着強度試験（建研式）を行った。エポキシ系プライマーは、ローラで約  $0.2\text{kg/m}^2$  を塗布し、硬化後にエポキシ系パテ材を厚塗りして試験治具に張り付けた。一方、アクリル系プライマーは、モルタル等の下地処理に使用されるので、3 倍希釈液をローラで  $0.18\text{kg/m}^2$  塗布し、塗



図－4 仕上げ補助剤および養生剤の種類と付着強度の関係

布した翌日にモルタルを枠(40×40×10mm)内に塗り込んだ。モルタルは水セメント比 45%、砂セメント比 2.5 で、早強ポルトランドセメント、収縮低減剤(C×2wt%)を使用した。材齢 14 日まで湿潤状態を保ち、材齢 21 日に試験を実施した。

### 5.2 実験結果

図－4 に示すとおり、プライマーの種類にかかわらず、パラフィン系材料 MC または PC を仕上げ補助剤として使用した場合には付着強度への影響はないものの、MC を養生剤として使用した場合には付着強度の低下を生じている。仕上げ補助剤 KM の付着強度はエポキシ系プライマーでは低下し、アクリル系プライマーでは増加している。さらに、AS はいずれのプライマーでも低下、NC は増加の傾向が見られる。このように、付着強度には塗布材料の種類と時期、ならびにプライマーの種類によって異なるため、事前に影響度を確認する必要がある。

## 6. 仕上げ補助剤 MC の混入がコンクリート表層のモルタルの品質に及ぼす影響

### 6.1 実験方法

まだ固まらないコンクリートに噴霧する仕上げ補助剤は、コンクリート表面近くのモルタル部分に混入する可能性があるが、その影響度は明らかにされていない。そこで、混入比率を 0～10%の範囲と仮定し、仕上げ補助剤 MC を混入したモルタルの品質を確認した。比較として、仕上げ補助剤と同量の水をモルタルに混入した場合の影響も調べた。モルタルの配合は、配合 H40 から粗骨材の容積を除いた比率とし、材料分離を生じる可能性があるので高性能 AE 減水剤の使用量を 0.4%に減じた。なお、これ以降の図表および文章中の表記 MC5 等は、MC が仕上げ補助剤、W が水の混入を意味し、数字は混入比率(%)を表す。

モルタルの品質として、空気量、ブリーディング量、凝結時間、圧縮強度(φ50×100mm, 気中養生, 材齢 28 日), 収縮ひずみ, 塩化物イオン含有量および全細孔量を測定し、硬化体組織の顕微鏡観察も行った。収縮ひずみは、埋込みひずみ計を用いた方法(試験体寸法: 100×100×400mm, 気中養生)とコンタクトゲージを用いた方法(試験体寸法: 40×40×160mm, 材齢 1 日以降に気中養生)の 2 通りで測定した。塩化物イオン含有量の測定には、収縮ひずみと同一環境に約 1 年間置かれた供試体(100×100×400mm)を使用した。供試体を 2 分割した切断面(100×100mm)以外をエポキシ樹脂で被覆した後、塩水漬せき試験(JSCE G572)を約 0.6 年間実施し、表面から 10mm 幅で 5 層の試料を採取して塩化物イオンのみかけの拡散係数を求めた。全細孔量には水銀圧入測定装置、顕微鏡観察には光学顕微鏡(低倍率)と走査型電子顕微鏡(高倍率)を用いた。

### 6.2 実験結果

表-5 に示すとおり、ブリーディング量は、MC, 水の混入によって増加する傾向があるが、MC の値は水の 1/2 程度で、無添加との差も小さ

表-5 仕上げ補助剤 MC または水を混入したモルタルのブリーディング量, 凝結時間, 空気量および圧縮強度の結果

モルタルの種類	ブリーディング量 (cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup> )	凝結時間 (h)		空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )		強度比
		始発	終結		実測値	補正值	
無添加	0.07	5.77	7.19	6.4	59.2	59.2	1.00
MC5	0.11	7.07	8.54	6.4	49.6	49.6	0.84
MC10	0.13	7.27	8.68	5.3	40.4	38.1	0.64
W5	0.27	6.73	8.20	5.4	50.2	47.7	0.81
W10	0.27	7.10	8.52	3.8	35.2	30.6	0.52

補正值: コンクリートと同様に空気量1%増減に対し、圧縮強度5%の変化があると仮定し、無添加との空気量の差を補正した値

強度比: 補正值を使用し、無添加を基準とした圧縮強度の比

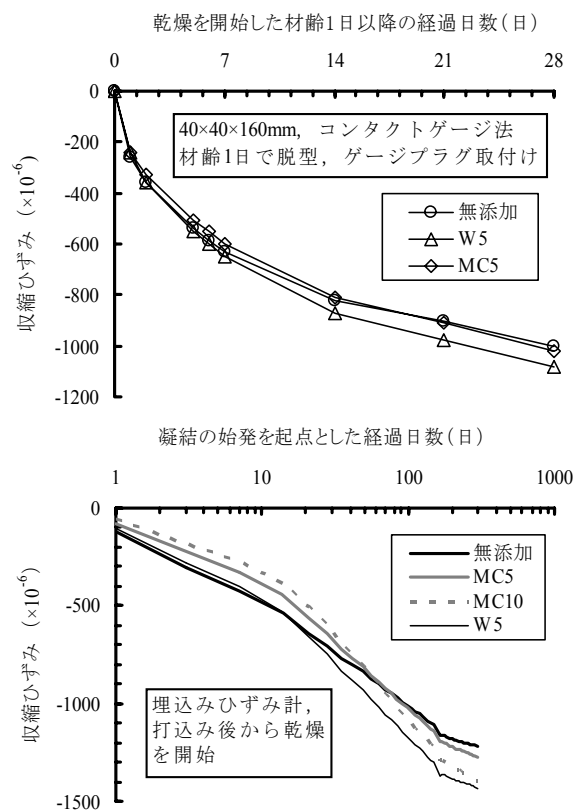


図-5 仕上げ補助剤 MC または水の混入がモルタルの収縮ひずみに及ぼす影響

い。また、いずれの混入も凝結を多少遅延させる傾向があるが、MC の混入はブリーディングおよび凝結への影響は小さいと言える。一方、圧縮強度(空気量の変化を加味)は、いずれの混入によっても添加量に応じて低下している。MC の混入は水と同様にコンクリート表面近くに脆弱層を発生する可能性があり、混入しないようにコテ均しを行う必要があると判断される。

次に、収縮ひずみは、図-5 に示すとおり、コンタクトゲージを用いた方法では、MC5 は材齢 7 日までは W5, それ以降材齢 28 日までは無

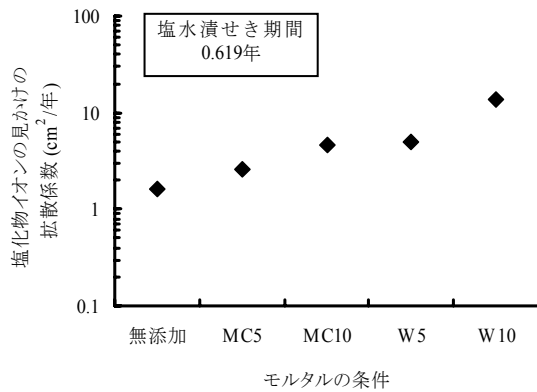


図-6 仕上げ補助剤MCまたは水の混入が塩化物イオンの見かけの拡散係数に及ぼす影響

混入と同様の变化を示した。一方、埋込みひずみ計を用いた方法では、材齢が約70日まではMCの混入によって収縮が抑制され、混入量が多いほど抑制効果大きい。ただし、材齢70日以降では無混入よりも収縮が進行する傾向にある。仕上げ時のMC混入は、コンクリートの打上面近くの薄いモルタル層であるため、短期材齢での現象はコンタクトゲージを用いた方法の結果を参考とし、収縮抑制効果に期待しない方がよいものと考えられる。

塩化物イオンのみかけの拡散係数は、図-6に示すとおり、MC、水のいずれも混入比率の増加に伴い、無混入よりも大きくなることである。圧縮強度の低下にはMC5とW5の違いがほとんど見られなかったが、拡散係数ではMC10とW5が一致しており、同量の比較ではMCの方が影響は小さいと言える。

顕微鏡で観察した結果では、MCの混入が水に比べて内部組織を粗にするような現象は認められなかった。MCを添加したモルタルの水和物に関しても、C-S-H、エトリングaitおよびCa(OH)<sub>2</sub>といった通常のセメント水和物のみであることから、MCの存在によりセメントの水和が阻害される可能性は低いと判断された。さらに、表-6に示すとおり、MC5の全細孔量および平均細孔直径は、W5よりもやや大きな値であるが、混入物の違いによる顕著な差異は認められない。

表-6 細孔径の測定結果

項目	無混入	MC5	W5
測定区間の全細孔量 (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	0.178	0.231	0.223
細孔表面積 (m <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup> )	24.6	23.8	26.7
平均細孔直径 (nm)	29	38.8	33.6

## 7. まとめ

PC用高強度コンクリートの表面仕上げと養生の方法に関する実験により、以下のことが明らかになった。

- (1) 仕上げ終了後に養生剤を塗布すれば、標準水中養生あるいは湿潤養生と同等の圧縮強度が得られる。ただし、同じ材料であっても仕上げ補助剤として使用した場合にはその効果は期待できない。
- (2) 養生剤には乾燥収縮を低減させる効果があるが、乾燥収縮の低減を目的とするのであれば、一般の養生剤よりも塗布型収縮低減剤を養生剤として使用した方が効果的である。
- (3) 仕上げ補助剤および養生剤がコンクリートの仕上り面と表面被覆材との付着強度に及ぼす影響は、塗布する材料の種類と時期、ならびにプライマーの種類によって異なる。
- (4) パラフィン系仕上げ補助剤の混入により、モルタルの圧縮強度の低下等に影響を及ぼすことから、仕上げ作業時に練り込まないようにする必要がある。

## 参考文献

- 1) 榎原泰造, 近松竜一, 十河茂幸: コンクリートの乾燥防止用各種養生剤の適用効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.817-822, 2005.
- 2) 谷口秀明, 樋口正典, 藤田学: 高強度コンクリートの打上面の表面仕上げ方法に関する検討, 三井住友建設技術研究所報告, 第2号, pp.47-52, 2004.12.
- 3) 土木学会: コンクリート標準示方書, 構造的能照査編, 2002.