

混和材種類および追加養生が蒸気養生モルタルの強度と耐久性に及ぼす影響

太平洋セメント(株) 正会員 ○東 洋輔 森 寛晃 多田 克彦

1. はじめに

蒸気養生コンクリートの緻密性は、同程度の強度を有する標準養生した場合よりも低いと報告されている¹⁾。近年、透気・透水等の測定からコンクリートの表層品質を評価する研究が盛んである。著者らは、標準養生コンクリートを対象とする検討で、追加で行う養生の種類や期間によって表層品質（透気性および透水性）が改善されることを示した²⁾。LCCの観点からPCa製品においても、更なる高耐久化が求められるが、蒸気養生コンクリートを対象に、表層品質の改善を検討した事例は殆どない。

本研究では、各種混和材を用いて蒸気養生を行った早強セメントモルタルを対象に、混和材の添加や蒸気養生後の湿潤養生（以下、追加養生）が、モルタルの強度および表層品質に与える影響を検討した。

2. 実験概要

使用材料を表 1、モルタル配合を表 2 に示す。各配合の W/B は、蒸気養生後の材齢 28 日（以下、28d）の圧縮強度が 50N/mm^2 となるよう決定した。実験要因は、混和材種類および養生方法とした。養生方法は、常圧蒸気養生（以下、St）、品質改善を期待して蒸気養生後に湿潤養生（以下、StW）あるいは封緘養生（以下、StS）を 7 日間（一部で 3 日間）、比較用として蒸気養生を行わない 20°C 水中養生（以下、W）とした。

養生方法と実験フローを図 1 に示す。蒸気養生は前置き 20℃で 3h, 昇温 15℃/h, 高温保持 50℃で 5h, 降温 5℃/h とした。養生終了後は, 20℃, R.H.60%の恒温恒湿室で気中養生を行った。脱型は全て 1d で行い, 追加養生水準は供試体側面に湿潤マットによる湿潤養生を 3 あるいは 7 日, 養生テープによる封緘養生を 7 日, 残りの面はアルミ粘着テープで封緘した。

試験項目を表 3 に示す。透気係数はモルタルの表面含水率が同程度 (6.5~7.5%) であることを事前に確認した上で、鋼製型枠側面を測定した。塩化物イオン (以下、 Cl^-) 浸透深さは、各種養生後に 28d まで乾燥させ、 $\text{NaCl}10\%$ 水溶液に 3 ヶ月間浸漬後、 0.1N 硝酸銀水溶液を噴霧し白色に変化した箇所を測定した。細孔径分布測定用の試料は型枠側面の深さ 5mm までの部位 (以下、表

表 1 使用材料

名称	備考
H: 早強セメント	密度: 3.14g/cm^3
B: 高炉スラグ微粉末	密度: 2.91g/cm^3 , 比表面積: $6360\text{cm}^2/\text{g}$
AH: 無水石こう	密度: 2.98g/cm^2
F: フライアッシュ	JIS II種相当 密度: 2.26g/cm^3 , 比表面積: $3910\text{cm}^2/\text{g}$
SF: シリカフューム	密度: 2.23g/cm^3 , 比表面積: $20\text{m}^2/\text{g}$
Ad1: 高性能減水剤	ポリカルボン酸エーテル系化合物
Ad2: 空気量調整剤	ポリリアルキレングリコール誘導体

表 2 モルタル配合

配合名	W/B (%)	Mi.Ad/B [※] (%)	S/B	単位量 (kg/m ³)					Ad1 (B×mass%)	Ad2
				W	C	Mi.Ad	AH	S		
H	49	—	2.5	276	564	—	—	1409	—	0.015
B50	41	50	2	264	313	322	9	1290	0.5	0.015
F20	39	20	2	259	531	133	—	1328	0.35	0.02
SF5	47.5	5	2.5	272	544	29	—	1403	0.6	0.04
SF3	48	3	2.5	273	552	17	—	1408	0.2	0.03

※MiAd: 混和材、B: C+MiAd+AH、15打フロ-200±20mm、空気量3±1%を目標。

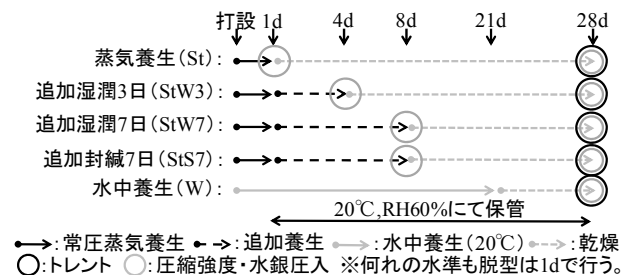


図1 養生方法と実験フロー

表 3 試驗項目

試験項目	備考（試験方法、供試体寸法、計測箇所）
圧縮強度	JIS A 1108、円柱φ5×10cm
透気係数	トレント法、角柱15×15×53cm、鋼製型枠側面
Cl ⁻ 浸透深さ	NaCl10%濃度水溶液浸漬、円柱φ5×10cm、鋼製型枠底面
細孔径分布	水銀圧入法、角柱10×10×40cm、表層および内部

層) から採取し、St 水準は供試体断面 (10×10cm) の中心付近 (以下、内部) からも採取した。

3. 實驗結果

圧縮強度結果を図 2 に示す。St の各配合は目標強度 50N/mm² を満足した。7d 以後の強度増進は St で僅かだが、追加養生水準では大きい。StW3 と StW7 は追加養生による強度増進効果が大きく、特に、混和材を使用したもので顕著であった。これは、蒸気養生後の追加養生によって、水分の逸散が抑制されることや、外部からの水分供給が加わることで、未水和セメントや混和材の水和反応が進み、硬化体の組織が緻密になったためと推察される。

キーワード 蒸気養生、追加養生、混和材、透気係数、塩化物イオン浸透深さ、細孔径分布

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント(株) 中央研究所 TEL 043-498-3804

透気係数結果を図3に示す。Stと比較して、追加養生水準の透気係数は小さく、Wと同程度であった。追加養生の方法は、湿潤養生の効果が大きかった。本検討では、追加養生として湿潤養生を3日以上行うことで、水中養生と同程度の透気性に改善できることが分かった。

Cl⁻浸透深さの結果を図4に示す。浸透深さは混和材添加により減少し、B50で一番小さく、F20、SF5、SF3の順で大きくなる傾向であった。一方、追加養生の影響は小さく、Stと比較して僅かに小さくなる程度であった。

細孔径分布毎の累積細孔量について、Stの1dおよび追加養生終了時の結果を図5に、28dの結果を図6に示す。径50~100nmの細孔量に着目すると、Stの表層と内部の細孔量は、1dから28dまでに、Stの表層で1割、Stの内部で4割減少した。この表層と内部の違いは、乾燥の影響が少ない内部において、表層よりも水和が進行したためと推察される。一方、追加養生によっても、径50~100nmの細孔量は減少し、例えば、養生終了時点では、Stの表層(1d)の約半分、28d時点ではStの内部あるいはWと同程度となった。径50~100nmの細孔量の減少は、表層が湿潤環境に置かれたことで、水和が進んだことを示すと考えられ、追加養生によって透気性が改善された一因であると推察される。次に、28dの径5nm以上の細孔量は、Cl⁻浸透深さと相関が高かった。また、28dの径5nm以上の細孔量は、混和材種類によって大きく影響を受けており、養生種類の影響は小さかった。

4. まとめ

本研究から得られた結果を以下にまとめる。

- 1) 蒸気養生後の追加養生は、材齢28日までの強度増進を大きくし、その効果は混和材を用いた場合に顕著である。また、同時に透気性を改善するが、その効果は封緘よりも湿潤養生の方が、期間は長い方が大きい。
- 2) 混和材種類によっては塩化物イオン浸透抵抗性が改善される。また、追加養生種類の効果は小さい。
- 3) 追加養生あるいは混和材添加による空隙構造変化が、透気性や塩化物イオン浸透抵抗性の改善に寄与した可能性がある。

参考文献

- 1) 佐々木謙二ほか: 蒸気養生を模擬した温度暦を与えたコンクリートの水分逸散性状と緻密性評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.1540-1545 (2012)
- 2) 東洋輔ほか: 脱型後の養生種類および期間がコンクリートの表層品質に及ぼす影響, 土木学会第69回年次学術講演会, V-466, pp.931-932 (2014)

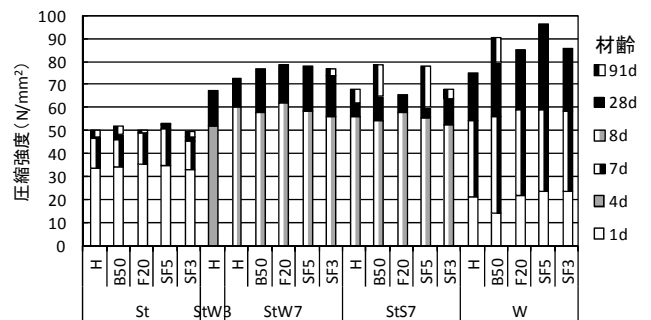


図2 圧縮強度結果

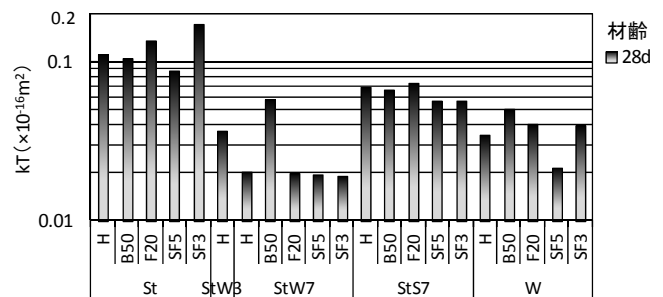


図3 透気係数結果 (材齢28日)

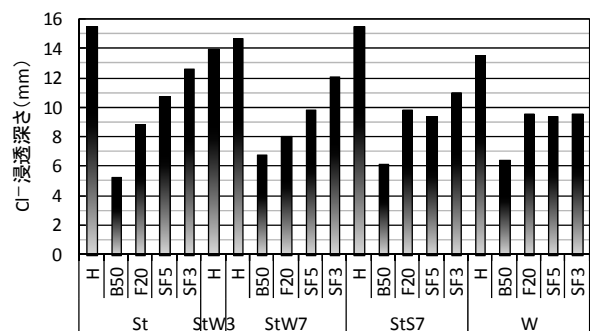


図4 Cl⁻浸透深さ結果 (浸漬期間3ヶ月)

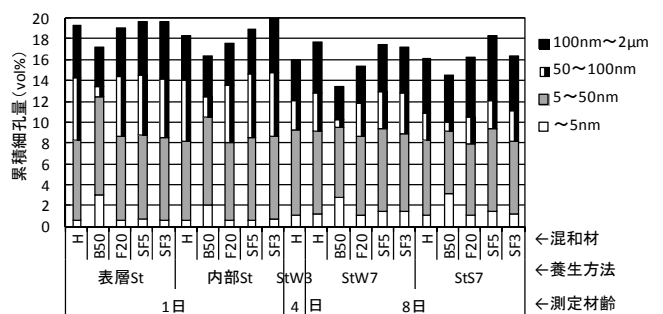


図5 細孔径分布 (材齢1日および追加養生終了後)

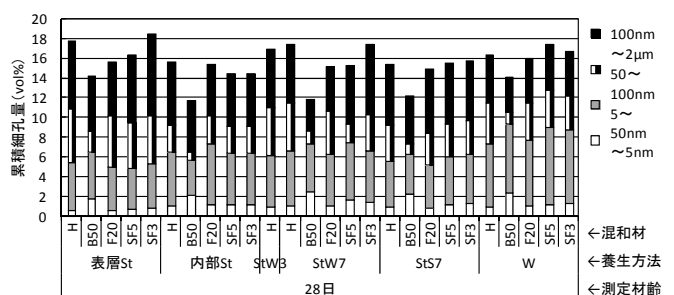


図6 細孔径分布 (材齢28日)