蒸気養生中の散水がコンクリート製品の強度特性および細孔構造に及ぼす影響

首都大学東京　学生会員　○鳥海　秋，首都大学東京　正会員　宇治公隆
首都大学東京　正会員　上野　敦，東京セメント工業株式会社　正会員　原　洋介

1. はじめに

蒸気養生を行ったコンクリート製品(以下，蒸気養生コンクリート)の長期強度および耐久性は，同一配合の標準養生したコンクリートと比較して低下する。これは，蒸気養生中におけるコンクリート内外部での温度差による表層部の乾燥が影響している考えられる。また，一般のコンクリートにおいて，若材齢時の乾燥は水和反応を停滞させ，コンクリート表層部の細孔構造の粗大化に顕著な影響を及ぼす。本研究では，蒸気養生中にスプリンクラーによる散水を行い，蒸気養生中の散水が乾燥の抑制および蒸気養生コンクリートの品質向上に及ぼす影響を評価した。

表-1 使用材料

結合材	普通ポルトランドセメント，密度3.16g/cm^3
細骨材	砕砂，表乾密度2.63g/cm^3，吸水率0.93% F.M.2.97%
粗骨材	砕石，表乾密度2.65g/cm^3，吸水率0.88% F.M.6.59%
混和剤	AE減水剤：トリカルボン酸エーテル系
	AE助剤：アルキルエーテル系陰イオン界面活性剤

表-2 コンクリートの配合

Gmax (mm)	目標スランプ (cm)	W/C (%)	Air (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3) 水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	高性能減水剤 WR	AE剤 AE
20	5	40	4.5	43	170	425	735	984	1.7	0.02

表-3 供試体パラメータおよび記号

種類	W/C (%)	養生条件 一次養生	二次養生	記号
蒸気養生コンクリート (s)	40	蒸気養生	気中保管 (20℃,60%R.H.) (d)	s40-d
		蒸気養生+散水(sp)		s40-sp-d
現場打ち模擬コンクリート (n)		封緘(5日間)(5r)		n40-5r-d

2. 実験概要

2.1 使用材料およびコンクリートの配合

使用材料を表-1 に，コンクリートの配合を表-2 に示す。供試体パラメータおよび記号を表-3 に示す。コンクリートの配合は，実際のプレキャストコンクリート製造工場で適用されているものを参考にした。

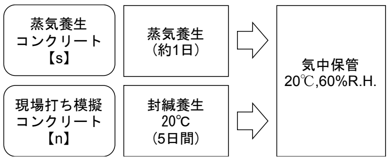

図-1 養生条件

2.2 養生条件および蒸気養生工程

供試体の養生条件を図-1 に，蒸気養生工程を図-2 に示す。本研究では，大型プレキャストコンクリート製品を作製する際に実施されるサイクルを適用した。また，蒸気養生中のスプリンクラーによる散水は最高温度保持工程開始時から降温工程終了時まで実施した。散水温度は 20℃である。

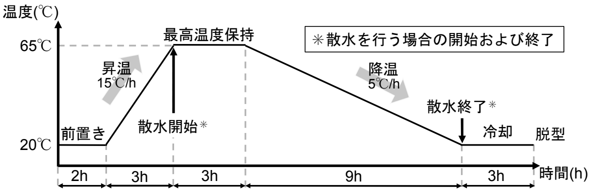

図-2 蒸気養生工程

2.3 試験項目

蒸気養生中の供試体内部と養生槽内の温度測定，細孔径分布測定，圧縮強度試験(JIS A 1108)，曲げ強度試験（JIS A 1106）および促進中性化試験(JIS A 1153)を行った。細孔径分布測定は，コンクリート表層部における細孔構造が内部に比べ、乾燥の影響による変化が顕著であることを考慮し [1)]、表面から深さ 10mm 部分の試料を用いて行った。

3. 実験結果および考察

3.1 蒸気養生中の温度履歴

蒸気養生中の温度履歴を図-3 に示す。図より，通常の蒸気養生コンクリート（s40-d）は，最高温度保持工程から脱型まで供試体温度が養生槽内温度よりも高くなっている。つまり，温度差が生じることで，温度に依存する相対湿度が低下し，コンクリート表層部の水分が逸散していると言える。したがって，s40-d は蒸気養生中にコンクリート表層部が乾燥していると考えられる。一方で，散水を行った蒸気養生コンクリート（s40-sp-d）は散水の影響で養生槽内，並びに供試体の温度が低下したが，降温工程において，s40-d に比べて，槽内と供試体の温度差が小さくなった。そのため，散水を行うことで相対湿度の低下を抑え，乾燥を抑制することができたと考えられる。

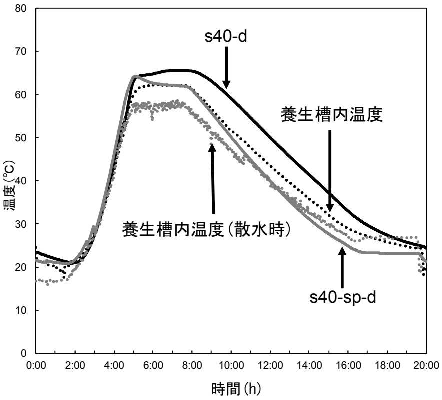

図-3 蒸気養生中の温度履歴

キーワード　コンクリート製品，蒸気養生，細孔構造，圧縮強度，曲げ強度，中性化速度係数
連絡先　〒192-0397　東京都八王子市南大沢 1-1　TEL 03-677-2775

3.2 散水による細孔構造の変化

材齢 28 日における，表面から深さ 10mm の総細孔量および 40nm 以上の細孔量の測定結果を図-4 に示す。図より，散水を行った蒸気養生コンクリート（s40-sp-d）は，通常の蒸気養生コンクリート（s40-d）と比べて，総細孔量および 40nm 以上の細孔量が減少している。これは，最高温度保持工程，降温工程に散水を行ったことで蒸気養生中の乾燥が抑制されたためだと考えられる。また，s40-sp-d の総細孔量および 40nm 以上の細孔量は同一 W/C の現場打ち模擬コンクリート（n40-5r-d）と同程度であった。したがって，蒸気養生中に散水を行ったコンクリートは，表層部の細孔構造が緻密化し，現場打ち模擬コンクリートと同程度の細孔構造を形成することができる。

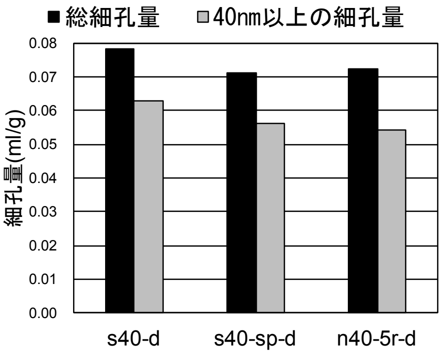

図-4 材齢 28 日の細孔構造

3.3 強度特性の変化

圧縮強度，曲げ強度試験の結果を図-5 に示す。図より，s40-sp-d は，s40-d に比べ，高い強度を得た。また，材齢 91 日の曲げ強度と圧縮強度の比は，s40-d が約 1/8 であったのに対し，s40-sp-d は約 1/7 であった。これは，散水によって乾燥が抑制されたことでコンクリート内部に蓄積された収縮ひずみが減少し，曲げ強度が大きくなったためだと考えられる。また，s40-sp-d と n40-5r-d を比較すると，材齢 28，91 日の圧縮強度は s40-sp-d の方が大きく，材齢 91 日の曲げ強度も s40-sp-d の方が大きい。曲げ強度と圧縮強度の比は，s40-sp-d，n40-5r-d 共に約 1/7 であった。したがって，蒸気養生中に散水を行うことで，蒸気養生コンクリートは現場打ち模擬コンクリートと同程度の強度を得ることができると言える。

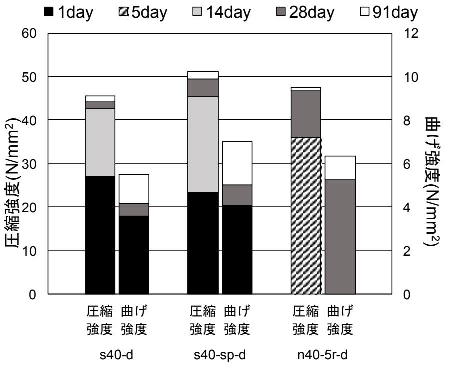

図-5 圧縮強度・曲げ強度

3.4 中性化速度係数の変化

促進中性化試験の結果から求めた中性化速度係数を図-6 に示す。図より，s40-sp-d は s40-d に比べ，中性化速度係数が 2 割程度減少した。また，s40-sp-d は n40-5r-d と同程度の中性化速度係数を示した。これは，コンクリート表層部の細孔構造が緻密化し，40nm 以上の細孔量が減少したことで，二酸化酸素の侵入が抑制されたためだと考えられる [2]。したがって，蒸気養生中に散水を行うことで，蒸気養生コンクリートの中性化速度係数を同一 W/C の現場打ち模擬コンクリートと同程度まで小さくすることができる。

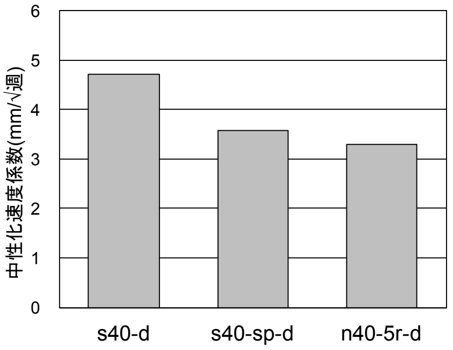

図-6 中性化速度係数

4. 結論

(1) 通常の蒸気養生コンクリートは，蒸気養生中，コンクリートの内部温度が養生槽内の温度よりも高くなる傾向がある。そのため，コンクリートの相対湿度が低下することで蒸気養生中であっても乾燥し，現場打ち模擬コンクリートに比べて疎な細孔構造を形成する。

(2) 蒸気養生中に散水を行うことで，コンクリート表層部の細孔構造が緻密になり，現場打ち模擬コンクリートと同程度の細孔構造を形成することができる。

(3) 蒸気養生中に散水を行ったコンクリートは，圧縮強度，曲げ強度が増加する。また，散水を行うことで中性化速度係数が低下し，現場打ち模擬コンクリートに匹敵する中性化抵抗性を得ることができる。

参考文献

1） 郭度連，宇治公隆，國府勝郎，上野敦：乾燥によるコンクリート組織の不均質化，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.1，pp.711-716，2002.6

2） 関健吾，宇治公隆，上野敦，原洋介：蒸気養生を実施したコンクリートの細孔構造および中性化性状，土木学会第 65 回年次論文学術講演会，pp.605-606，2010.9