

水和の分析に基づくシート養生がコンクリートの表層品質に与える影響に関する一考察

鹿島建設(株) 正会員 ○向 俊成 芦澤良一 渡邊賢三 坂井吾郎
 東京大学大学院工学系研究科 フェロー会員 石田哲也

1. はじめに

コンクリートの表層品質を確保・向上する上で、養生は重要な役割を果たす。既往の知見では、養生の効果として物質透過性に及ぼす影響などに着目した研究¹⁾が多くなされているが、水和度を直接測定して分析し、考察した研究は少ない。本研究では、養生の有無を要因とした試験体について非破壊法により物性を測定するとともに SEM 画像や細孔構造の分析により、水分逸散を抑制する養生が水和の進行に及ぼす影響を評価した。

2. 実験概要

2.1 試験体の概要

使用材料を表-1 に、コンクリート配合を表-2 に示す。普通ポルトランドセメントを使用した水セメント比 59.3% のコンクリートを用い、高さ 1800mm、幅 726mm、長さ 1800mm の壁状の試験体を作製した。なお、材齢 28 日における圧縮強度は 30.2N/mm² であった。

試験要因を表-3 に示す。表中の「養生なし」のケースはコンクリートを打ち込んだ後、材齢 1 日で型枠を取り外し、養生は行わずそのまま屋外に暴露した。「養生あり」のケースは、型枠の内側に予め養生用の熱可塑性樹脂シートを貼付し、コンクリートを打ち込んだ。材齢 1 日で型枠を取り外し、熱可塑性樹脂シートのみをコンクリート表面に残置させることで、シート撤去までコンクリート表面を一度も外気に曝すことなく養生した。材齢 91 日でシートを撤去し、材齢 126 日まで雨水のかかる屋外に暴露した。暴露環境は、年間平均気温が 15.4℃ の内陸部（東京都調布市）とした。

2.2 試験項目および方法

試験体の高さ 600mm の位置で、Torrent 試験および SWAT 試験を行った。また、高さ 600mm の位置から φ35mm のコアを 2 本採取し、表面から深さ 15mm まで（表層と称する）および深さ 100 から 115mm まで（内部と称する）の 2 つの試験片を作製した。作製した試験片に対し、水銀圧入法による空隙径と反射電子像による水和の進行の測定を行った。空隙径分布は試験片から粗骨材を取り除いたのち、アセトンによる水和停止と真空乾燥を行い、水銀圧入法により測定した。反射電子像による水和の進行の測定は、試験片をアセトンによる水和停止と表面の研磨を行ったのち、走査型電子顕微鏡によりペースト部分の反射電子像を各試料 20 枚撮影した。図-1 に示すような反射電子像に対し、ピクセルの輝度に応じて未水和物、水和物、空隙に分類し、未水和物のピクセル数を未水和物と水和物のピクセル数の和で除し、ペーストの固体部分に占める未水和物の面積率を算出した。ここで輝度の閾値は、撮影した 80 枚の反射電子像の中から任意の 4 枚の画像を抽出し、目視により分類を行った結果から輝度 0～92 を空隙、93～170 を水和物、171～255 を未水和物と設定した。

表-1 使用材料

材料名	記号	種類	摘要
水	W	地下水	密度 1.00g/cm ³
セメント	C	普通ポルトランドセメント	密度 3.16g/cm ³
細骨材	S1	砕砂	密度 2.62g/cm ³ 粗粒率 3.00
	S2	砂	密度 2.56g/cm ³ 粗粒率 1.80
粗骨材	G1	砕石	密度 2.65g/cm ³ 実積率 59.5%
	G2	砕石	密度 2.70g/cm ³ 実積率 59.5%
	G3	砕石	密度 2.66g/cm ³ 実積率 59.5%
混和剤	Ad	AE 減水剤	標準型 I 種

表-2 コンクリート配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)							
		W	C	S1	S2	G1	G2	G3	Ad
59.3	45.6	167	282	580	249	305	405	305	3.525

表-3 試験要因

ケース	材齢 (日)					
	0	1	～	91	～	126～
養生なし	打	脱	屋外暴露			測定
養生あり	設	型	シート養生	シート撤去	屋外暴露	

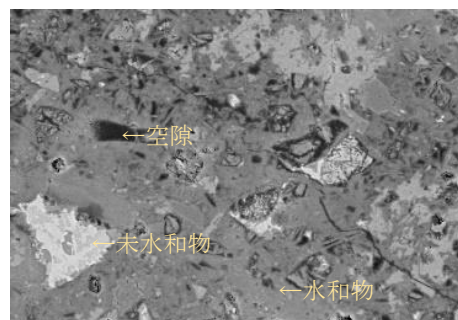


図-1 反射電子像の例 (750 倍)

キーワード：熱可塑性樹脂シート、水分逸散抑制、水和度、空隙率、走査型電子顕微鏡

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-489-6749

3. 実験結果

3.1 非破壊検査

表－4 に Torrent 試験および SWAT 試験の結果を示す。Torrent 試験の評価は養生なしが「劣」、養生ありは「一般」となった。養生なしが「劣」となったのは、材齢 1 日で脱型を行ったため、初期材齢において表面が乾燥したことに起因すると考えられる。SWAT 試験の評価は養生なし、ありともに「一般」となったものの、吸水速度はシート養生を行うことによって小さくなった。

3.2 細孔径分布

水銀圧入法により測定された細孔径分布を図－2 に示す。表層に注目すると養生ありは養生なしに比べ、 $0.25\mu\text{m}$ の粗大な空隙が減少し、 $0.05\mu\text{m}$ 以下の空隙が増加した。また、養生ありの表層は内部と同程度の空隙分布であった。養生によって水分逸散を防ぎ水和が進行したことで、 $0.25\mu\text{m}$ 程度の粗大な空隙が減少し、より緻密な空隙構造が形成されたことにより、SWAT 試験や Torrent 試験の結果が向上したものと考えられる。また、一般に $0.1\sim 1\mu\text{m}$ の毛細管空隙の増加は凍結融解抵抗性の低下に関連し、 $0.05\mu\text{m}$ 以上の空隙は物質透過性に関連しているとされている²⁾。したがって、養生によりコンクリートの凍結融解作用に対する抵抗性や物質透過性が向上するものと推察される。

3.3 反射電子像の解析によるセメントの水和度

反射電子像の解析により得られた未水和物の面積率を図－3 に示す。養生なしは表層と内部の未水和物の面積率の差が 5.22% であったのに対し、養生ありは未水和物の面積率の差は 1.68% と表層と内部の差が縮小した。これは養生により水分逸散が抑制され、表層が内部に近い環境に保たれたことによるものと考えられる。このことは、前項で述べた水銀圧入の結果が養生ありの表層は内部と同程度の空隙分布であったことを裏付けるものであると考えられる。また、表層部分に注目すると、養生ありは養生なしに比べ、未水和物の面積率が小さくなり、セメントの水和反応が確実に進行したと考えられる。

4. まとめ

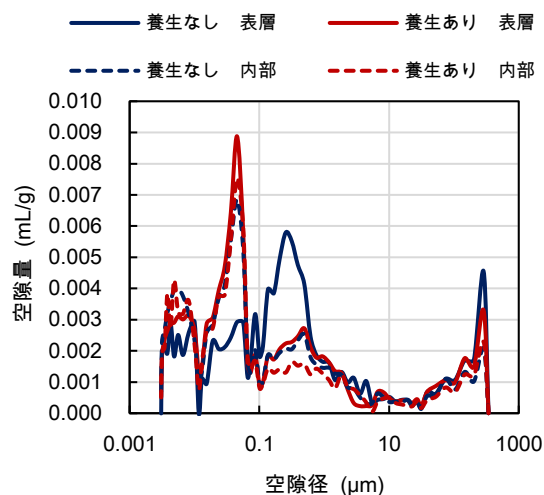
水分逸散を抑制する養生の有無を要因としたコンクリートを対象として各種評価分析を行った。その結果、水分逸散を抑制する養生を行うことにより、Torrent 試験、SWAT 試験により評価されるコンクリートの表層品質が向上した。これは養生によって $0.25\mu\text{m}$ 程度の粗大な空隙が減少し、コンクリートの組織が緻密化したためであると考えられた。また、コンクリートの表層品質の向上と組織の緻密化は表層のコンクリートの水和度によるものであることを SEM 像の定量的な分析により確認した。

参考文献

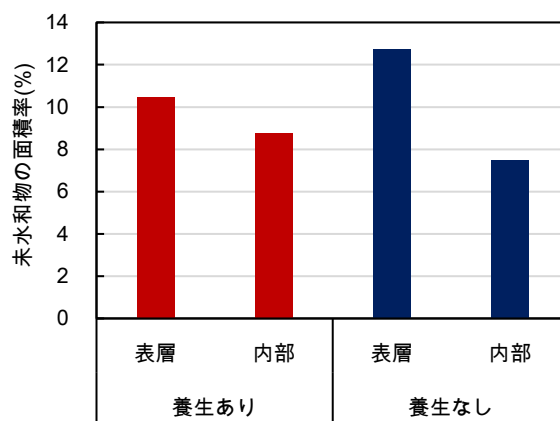
- 1) 温品ら：種々の結合材を用いたコンクリートに対する長期特殊シート養生の効果，コンクリート工学年次論文集，Vol.38，No.1，pp.747-752，2016.
- 2) 羽原ら：硬化コンクリートの空隙構造とその物性，石膏と石灰，240 号，pp.314-323，1992.

表－4 Torrent 試験、SWAT 試験の結果

項目	養生なし	養生あり
透気係数 ($\times 10^{-16} \text{ m}^2$)	1.16	0.51
電気抵抗率 ($\text{k}\Omega \cdot \text{cm}$)	8.3	7.1
Torrent 試験 評価	劣	一般
吸水速度 ($\text{ml/m}^2/\text{s}$)	0.43	0.37
SWAT 試験 評価	一般	一般



図－2 水銀圧入による細孔径分布



図－3 SEMの解析による未水和物の面積率