

論文 暑中コンクリートの初期養生がコンクリートの耐久性能と物質移動抵抗性に及ぼす影響

渡邊 晋也*1・鈴木 康宏*2・立神 久雄*3・今西 謙二*4

要旨: 暑中コンクリートの初期養生がコンクリートの諸性質に与える影響を検討するために、3種類の異なる性質の養生マットと養生無しの計4試験体を作製し、コンクリートの力学的性質、耐久性能および物質移動抵抗性について評価を行った。その結果、初期の養生が不十分な場合、強度の発現が小さくなり、耐久性能や物質移動抵抗性などの性能が十分に発揮されなかった。一方で、十分な養生をしたコンクリートでは、強度発現は標準養生の90%となり、その他の性質も良い値を示した。このことから、初期養生がコンクリートの性能を左右することが判明し、より丁寧な養生を実施する必要があることがわかった。

キーワード: 初期養生, 養生マット, 力学的性質, 耐久性能, 物質移動抵抗性

1. はじめに

コンクリートの打込み初期における養生は、力学的性質や耐久性能を左右するなどの重要な要素であることは周知の事実^{1,2,3)}である。特に、夏季においては、外気温の他に直射日光などの影響でコンクリート中の水分が急激に蒸発し、セメントの水和反応に必要な水が少なくなることで水和反応が阻害され要求通りの力学的性質や耐久性能を発揮できない恐れがある。

そこで、施工者は初期養生を丁寧に実施し、要求通りの力学的性質や耐久性能を満足させるように工夫を行っているのが実態である。

初期養生の一般的な方法は、養生マットを用いた散水養生であるが、その他にも養生マットや養生剤などを使用する場合がある。養生マットの場合、湿潤状態を維持するためには適宜散水をするなど労力が必要となる。散水を怠ると、十分な養生にならない。そこで、散水の労力を少なくするために、近年では保水性の高い養生マットなどが開発されている。

本研究では、養生マットによるコンクリートの初期養生が力学的性質、耐久性能および物質移動抵抗性に与える影響について検討することを目的とした。

本論文では、夏季の施工現場を想定した過酷な環境下で、一般的な養生マットと高保水性の養生マットを使用して養生を行ったコンクリートの力学的性質や物質移動抵抗性について検討した結果をまとめたものである。

2. 実験概要

本研究では、3種類の養生マットと養生無しの4条件

で試験体を作製し、コンクリートの力学的性質、耐久性能および物質移動抵抗性に与える影響について実験を実施した。

2.1 養生マットの概要

実験に使用した養生マット⁴⁾を表-1に示す。従来養生マットは、合成繊維製の一般的なものである。高保水性の養生マットは、保水シートに高吸水性アクリル繊維(150g/m²)を使用し、湿潤状態を保持させるためにポリエチレンフィルム(t=100μm)を貼り合わせた仕様となっている。高保水性+反射フィルムの養生マットは、高保水性の養生マットと同じ保水シートを使用しており、輻射

表-1 使用した養生マットの概要

凡例	保水シート材料	被覆材料
従来養生マット	合成繊維(アクリル+ポリエステル)	無し
高保水性	高吸水性アクリル繊維	ポリエチレンフィルム
高保水性+反射フィルム	高吸水性アクリル繊維	ポリエチレンフィルム+アルミフィルム

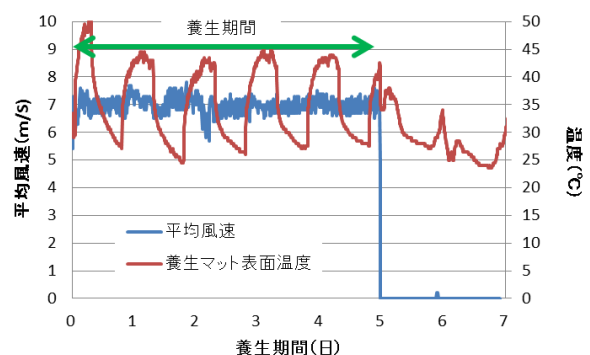


図-1 養生環境の測定結果
(平均風速・養生マット表面温度)

*1 (一社)日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 研究第二部 研究員 博士(工学) (正会員)
 *2 三井造船鉄構エンジニアリング(株) 東部建設本部 工事部 部長
 *3 ドービー建設工業(株) 技術部 東京グループ 部長 博士(工学) (正会員)
 *4 東洋紡(株) 化成品事業本部 AP事業部 グループリーダー

表-2 使用したコンクリート配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スラブ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位数(kg/m ³)					
					水 W	セメント C	細骨材 S1 S2	粗骨材 G	混和剤 Ad	
25	12	4.5	46.5	43.4	164	353	466	310	1021	3.53

備考
C: 普通ポルトランドセメント(3.16g/cm³)、S1: 富士川産川砂(2.64g/cm³)、
S2: 富士宮産山砂(2.62g/cm³)、G: 富士川産川砂利(2.66g/cm³)、Ad: AE減水剤

表-3 測定項目および試験法

	項目	試験方法	実施材齢	試験期間
保水性能	単位面積当たりの保水量	-	7日まで	5日間
	コンクリート表面の湿度	-		5日間
力学性能	圧縮強度	JIS A 1108	7日、28日	-
	静弾性係数	JIS A 1149		-
耐久性能	促進中性化	JIS A 1153	28日以降	13週間
	塩化物イオン浸透深さ	JSCE K 571		13週間
	スケーリングに対する抵抗性	JSCE K 572		90サイクル
	簡易透気係数	Torrent法		7日、14日、28日
物質移動抵抗性能	酸素拡散係数	JCI-DD5	28日以降	-
	透水量	JSCE K 571		7日間

熱による温度上昇を抑制するためにアルミ+ポリエチレンフィルム(t=150μm)を貼り合わせた仕様となっている。

2.2 養生環境

本研究では、夏季の過酷条件を再現するものとした。現場の施工で最も水分逸散に影響を与えるのは、風と直射日光と考えられる。そこで、養生は室内で行い養生期間中はコンクリート試験体に送風機を用いて絶えず送風を行った。また、日射は灯光器を用いて1日のうち12時間点灯させた。養生マットの設置は、コンクリート打設後2時間とし、直接コンクリート表面に設置している。なお、養生期間は5日間とし、その期間は水分の追加供給(散水)は実施していない。

図-1に平均風速と養生マット表面の温度を示す。平均風速は6.9m/sであった。また、養生マット表面の最高は50.5℃で平均最高温度は44℃であった。

2.3 使用コンクリートおよび供試体寸法

本研究で用いたコンクリートの配合を表-2に示す。一般的な30-12-25Nの配合を用いた。供試体寸法は縦90cm×横90cm×厚さ20cmとした。

2.4 測定項目

養生マットの保水性能やコンクリートの力学的性質、耐久性能および物質移動抵抗性を確認する目的で表-3に示す項目について試験を実施した。試験体の採取位置は灯光器の熱影響範囲内とし、試験体中心から半径20cm以内から直径10cmのコアを採取した。各試験の試験体数は3体で実施している。なお、試験の詳細は各試験結果に記載する。

3. 実験結果

3.1 保水性能

3.1.1 単位面積当たりの給水量と保水量

養生マットの保水性能を確認する目的で養生開始前に

単位面積当たりの給水量、養生終了後に単位面積当たりの保水量を測定した。測定方法は、養生マットを30分間水に浸した時の質量を測定し、単位面積で除した値を給水量とし、保水量は養生終了時の養生マット質量を給水前のシート質量で差し引きその値を単位面積で除した値を用いている。保水性能の測定結果を表-4に示す。従来の養生マットに比べて、高保水性および高保水性+反射フィルムの養生マットの方が給水量は多くなった。また、保水量は、高保水性+反射フィルムの養生マットが最も大きかったが、高保水性のみでは従来養生マットとは大差ない結果となった。

3.1.2 コンクリート表面湿度

コンクリート表面の湿度を測定した結果を図-2に示す。測定方法は、コンクリート表面と養生マットの間に湿度センサを埋設している。その結果、従来養生マットでは、養生直後からコンクリート表面湿度が低下していき、その後は外気湿度とほぼ同様の湿度となった。一方、高保水性および高保水性+反射フィルムの養生マットは、養生開始後から養生終了までの5日間ほぼ湿度100%RHであった。保水量では高保水性と従来養生マットでは大差が見られなかったが、実際のコンクリート表面湿度の結果より、コンクリート表面の湿潤状態に違いがあることが確認された。

3.2 力学的性質

3.2.1 圧縮強度

材齢7日と材齢28日の圧縮強度を図-3に示す。高保水性と高保水性+反射フィルムの養生マットの場合、設計基準強度30N/mm²を満足する結果が得られたが、従来養生マットの場合では養生マット無しの試験体と同等の結果となった。材齢28日における標準養生と各試験体の強

表-4 養生マットの保水性能結果

	従来養生マット	高保水性	高保水性+反射フィルム
給水量(g/m ²)	2514	3385	2679
保水量(養生5日間)(g/m ²)	27	93	562
水分損失率(養生5日間)(%)	98.9	97.3	79.0

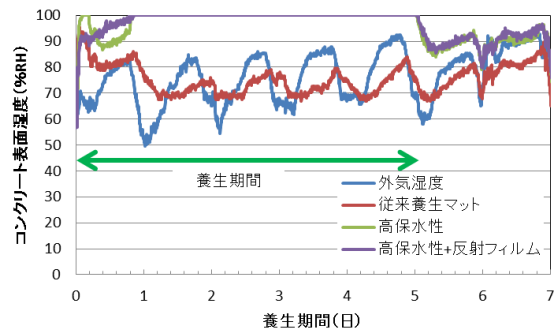


図-2 コンクリート表面の湿度

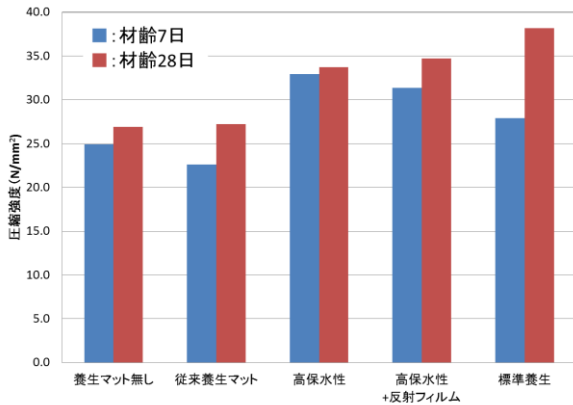


図-3 圧縮強度

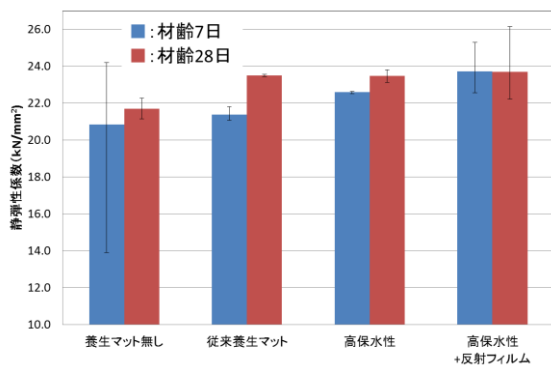


図-4 静弾性係数

度発現比を比べると、養生無し：70.4%，従来養生マット：71.2%，高保水性：88.3%，高保水性+反射フィルム：90.9%となり、従来養生マットは、散水を行わなければ、養生無しの試験体と変わらない結果となった。

3.2.2 静弾性係数

静弾性係数の平均値，最大値，最小値の結果を図-4に示す。圧縮強度と同様に，高保水性と高保水性+反射フィルムの養生マットを用いた試験体の方が静弾性係数は大きくなる結果となった。しかしながら，ばらつきが他の養生マットと比較して大きくなっている結果が得られた。なお，従来養生マットの材齢28日における静弾性係数が大きくなった理由については不明であり，今後検討を行いたいと考える。

3.3 耐久性能

3.3.1 促進中性化試験

室温20℃，湿度60%RH，CO₂濃度5%の促進養生槽の中に13週間曝露した試験体を用いて中性化深さを測定した。試験開始前には，室温23℃，湿度60%RHの恒温恒湿室に7日間静置させた後，促進試験を開始している。中性化深さの結果を図-5に示す。養生マット無しの場合中性化深さは21.8mmとなった。一方で高保水性では9.0mm，高保水性+反射フィルムでは8.9mmとなり，養生マット無しと比較した場合60%程度の中性化を抑制す

ることができた。中性化速度係数を算出した結果，養生マット無し：6.04mm/√週，従来養生マット：4.88mm/√週，高保水性：2.50mm/√週，高保水性+反射フィルム2.48mm/√週となった。

3.3.2 塩化物イオン浸透深さ試験

水温23℃，10%塩化ナトリウム水溶液に13週間浸漬させた試験体を用いて塩化物イオン浸透深さを測定した。試験開始前には塩化物イオンが急激に浸透しないように，20℃の水中に24時間の浸漬を行った。塩化物イオン浸透深さの測定は，0.1%フルオレセインナトリウム水溶液および0.1N硝酸銀水溶液を噴霧して，蛍光を発せる部分を塩化物イオン浸透域として計測した。

塩化物イオン浸透深さの結果を図-6に示す。養生マット無しの場合浸透深さは19.4mmとなった。一方で高保水性では15.2mm，高保水性+反射フィルムでは12.4mmとなり，養生マット無しと比較した場合29%程度の浸透を抑制することができた。

3.3.3 スケーリングに対する抵抗性試験

3%塩化ナトリウム水溶液を用いて，20℃～-20℃までの凍結工程を4時間，-20℃の温度保持を3時間，-20℃～20℃までの融解工程を4時間，20℃の温度保持を1時間，計12時間を1サイクルとして90サイクル実施した。スケーリング片の質量測定は6サイクル間隔で実施している。試験開始前には20℃の水中に24時間の浸漬を行った。スケーリング量の測定結果を図-7に示す。その結果，最もスケーリングが大きかったのは従来養生マット

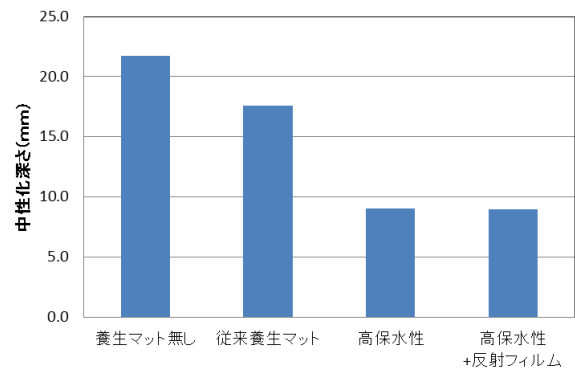


図-5 中性化深さ

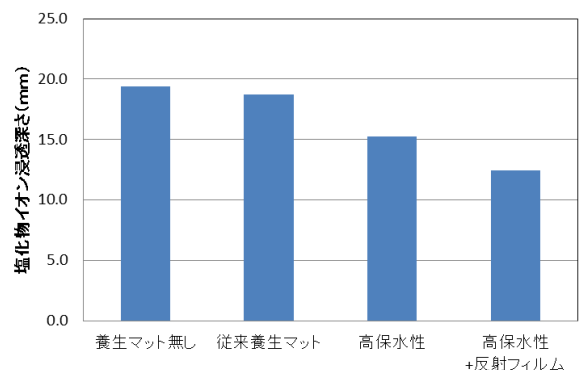


図-6 塩化物イオン浸透深さ

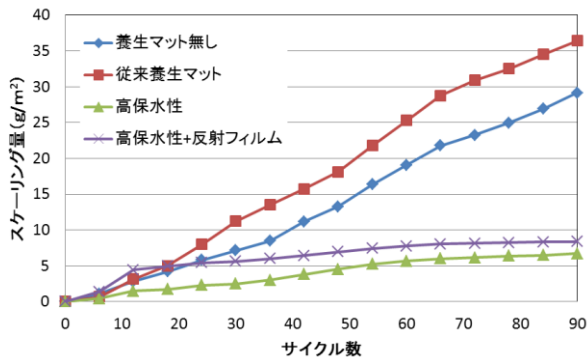


図-7 スケーリング量

であった。高保水性および高保水性+反射フィルムの養生マットを用いたコンクリートではスケーリングを抑制することができた。

3.4 物質移動抵抗性

3.4.1 簡易透気試験

Torrent 法⁵⁾を用いてコンクリート表層部の透気係数を測定した。測定位置は各試験体3箇所としている。また、Torrent 法はコンクリートの含水率により結果が大きく異なることが知られているため、高周波水分計を用いてコンクリート表層の水分率を測定した。水分量の測定結果を図-8に示す。この結果、材齢7日で5%、材齢14日で4.5%、材齢28日4.2%となった。すべての試験体で同様の傾向となったことから、含水率の影響を無視して透気係数を評価することが可能であることと判断した。

透気係数の測定結果を図-9に示す。全ての試験体で材齢7日～材齢28日までの測定結果に大きな変動は見られなかった。また、透気係数が最も大きくなったのは養生マット無しの試験体であった。高保水性と高保水性+反射フィルムの試験体については、養生マット無しの試験体と比べて1/100の値になることが確認された。従来養生マットについては散水を行わなければ、養生マット無しとほぼ変わらない結果となった。

3.4.2 酸素拡散係数

各試験体からコアを採取して、コンクリート表面から0-20mm、20-40mmおよび40-60mmの3箇所における酸素拡散係数をJCI-DD5「酸素の拡散係数試験法(案)」に準拠して測定を行った。酸素拡散係数試験法の試験装置を図-10に示す。なお、酸素拡散係数はコンクリートの含水率が影響を与えるため、コアを採取後、ドライカッターで切断した後、室温23℃、湿度60%RHの恒温恒湿室に14日間養生した後測定を行った。これにより、全ての試験体における飽水率を同等とするようにした。JCI-DD5による試験体の飽水率を測定した結果を表-5に示す。目標としていた飽水率の50%～80%を下回る試験片も確

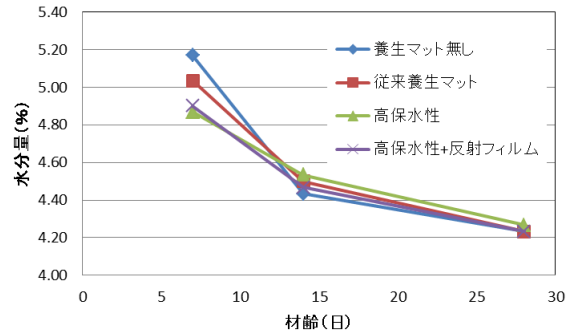


図-8 水分量

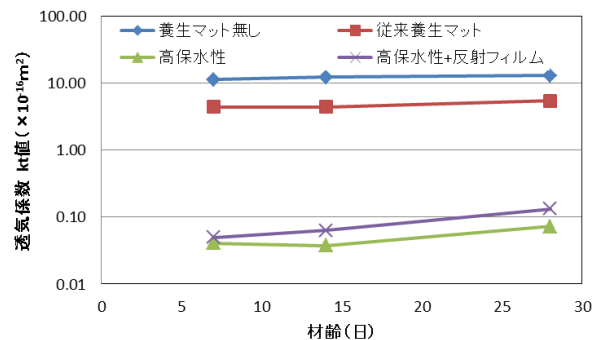


図-9 透気係数

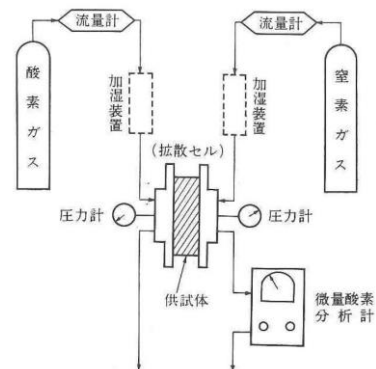


図-10 酸素拡散試験装置 (JCI 基準集より引用)

認された。上述したように、試験体の水分量が試験結果に与える影響があることから、飽水率を一定にすることが望ましいが、一定にさせるには困難なため、本研究では、飽水率が異なる条件で試験を行っている。

酸素拡散係数の結果を図-11に示す。養生無しのコンクリート表層部については、若干のひび割れが発生していたことにより、本試験方法の適用外となったため、試験結果は記載していない。30mm以深の結果、酸素拡散係数が他の試験体に対して4.5倍程度大きな値を示していることから、コンクリートとしては、他の試験体と比較して粗であると判断できる。なお、飽水率は47%と48.1%であることから、他の試験体と比較して著しく低い値ではない。したがって、養生不足によりコンクリートが粗になっているものと推測する。高保水性および高

表-5 各試験体の飽水率

試験体名	表面からの深さ (mm)	飽水率 (%)
養生無し	0-20	-
	20-40	47.0
	40-60	48.1
従来養生マット	0-20	33.9
	20-40	45.0
	40-60	33.0
高保水性	0-20	45.1
	20-40	50.3
	40-60	55.0
高保水性+反射フィルム	0-20	50.9
	20-40	60.8
	40-60	64.1

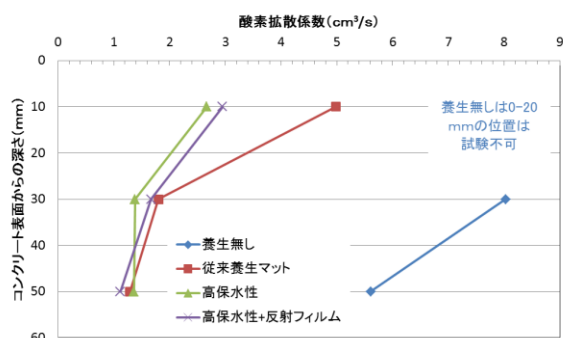


図-11 酸素拡散係数

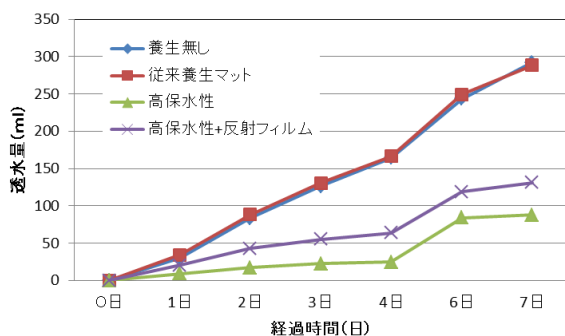


図-12 透水量

高保水性+反射フィルムの場合、深部と比べて表層の酸素拡散係数は2倍程度大きくなったが、酸素拡散係数としては低い値を示している。一方、従来養生マットにおいては、深部では高保水性と高保水性+反射フィルムの試験体と同等の結果が得られたが、表層部では、高保水性と高保水性+反射フィルムの結果と比較して1.6倍程度大きな値を示した。この結果は、コンクリート表層部が深部に比べて粗になっていること意味している。なお、飽水率は、最も小さな値を示しているのが、40-60mmあり、0-20mmの酸素拡散係数は小さな値を示していることか

ら、0-20mmの酸素拡散係数の値は飽水率の影響よりも、適切な養生ができなかったことによる結果であると考えられる。

上述してきたようにコンクリートが粗になる理由として、打設後初期からの風の影響や日射（灯光器による模擬）の影響によりコンクリート中の水分が逸散し、水和が阻害されたことにより生じたことが原因として考えられる。

3.4.3 透水量

コンクリート試験版にφ75mmの漏斗を取り付け、水頭が25cmになるようにした試験装置を用いて透水量試験を実施した。本試験では2箇所の平均値を図に記載している。透水量試験の結果を図-12に示す。養生無しと従来養生マットの結果には、ほとんど差異がなく同じ傾向が確認された。高保水性と高保水性+反射フィルムについては、7日後の透水量が養生無しと比べて65%~70%低減することが確認できた。

このことから、初期養生を確実に行うことで緻密なコンクリートになったことが言える。

上述してきたように、現場施工においては、初期養生が非常に重要であり、適切な養生を怠ると力学的性質、耐久性能および物質移動抵抗性が低下し、コンクリートの劣化を早期に生じさせる恐れがあることが確認できた。

5. 結論

本研究では、暑中コンクリートの初期養生がコンクリートの諸性質に与える影響を検討するために、3種類の異なる性質の養生マットと養生無しの試験体を作製し、評価を行った。その結果、初期養生の重要性を力学的性質、耐久性能および物質移動抵抗性の視点から確認することができた。なお、本研究では従来養生マットについて、適切な方法で養生していないため、養生無しとほぼ変わらない結果となっているが、労力をかけて初期養生時に適切な散水を行うことで、得られたような結果にはならないことが考えられることを付記する。

本研究で得られた知見を以下に示す。

(1) 力学的性質として、十分な養生ができた試験体では、標準養生の圧縮強度と比較して約90%の強度発現が確認された。一方、初期養生が不十分な試験体では、約70%の強度発現であった。

(2) 耐久性能として、十分な養生ができた試験体では、中性化、塩分浸透深さおよびスケリング量が少なくなり、耐久性能が向上することが確認できた。一方で、初期養生が不十分な試験体では、耐久性能の全てで劣る結果となった。

(3) 物質移動抵抗性として、十分な養生ができた試験体では、透気係数、酸素拡散係数および透水量が小さくな

り、物質移動抵抗性が大きくなる結果となった。一方、初期養生が不十分な試験体では、物質移動抵抗性が小さくなる結果となった。

以上の結果、初期養生の重要性を再認識できたとともに、簡易な非破壊検査手法である Torrent 法でコンクリートの品質を相対的に評価できる可能性があることが判明した。また、高性能な養生マットを使用することで、散水などの労力を低減できることや養生不足などの諸問題を解決することができると考えられる。

謝辞：本研究の計画やとりまとめなどにご助言を頂きました、三井造船株式会社 技術開発本部 皆田龍一氏ならびに、透気係数を測定する際にご助言を頂きました、エフティーエス株式会社 第二営業部 藤原貴央氏にご協力いただきました。ここに付記し感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 小山智幸, 松藤泰典, 大久保孝昭, ムハマド・ファウジ: 養生方法が暑中環境下で打設されるコンクリートの品質に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 15, No. 1, pp. 555-560, 1993
- 2) 伊代田岳史, 高羅信彦, 魚本健人: 初期養生時に乾燥を受けるセメント系硬化体の水和反応と水分逸散特性, コンクリート工学年次論文集, Vol. 22, No. 2, pp. 703-708, 2000
- 3) 浅井洋, 谷口秀明, 三加崇, 三上浩: 暑中コンクリートの初期養生方法がコンクリート温度および若材齢ひずみに及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 31, No. 1, pp. 1675-1680, 2009
- 4) 立神久雄, 住谷龍明, 今西謙二, 皆田龍一, 内田大介, 鈴木康宏: 高吸水性アクリル繊維を用いた養生マットの開発, 土木学会第 68 回年次学術講演会概要集, V-575, 2013
- 5) R. J. Torrent: A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of permeability to air the concrete cover on site. *Materials and Structures*, vol. 25, No. 6, pp. 358-365, 1992
- 6) 川西貴士, 近松竜一, 水野敬久, 阿部諭史: 高断熱性湿潤養生シート工法「アクアサーモ®」, 大林組技術研究所報 No. 76 2012
- 7) 師山裕, 塩永亮介, 倉田幸宏: コンクリート床版における養生方法に関する実験的検討, 石川島播磨技報 Vol. 44, No. 2, pp. 137-144, 2004