

論文 保水性養生マットがコンクリート仕上げ面表層の密実性に与える効果と湛水養生との比較

大友 鉄平*1・塩永 亮介*2・中村 善彦*3・小松 怜史*4

要旨：本研究は、保水性養生マットを敷設してコンクリート仕上げ面表層の密実性を透気係数や累積吸水量から定量的に評価し、その結果と湛水養生との比較を行ったものである。また、養生マット自体の保水性能も評価をし、標準マットや複数の保水性養生マットにおいて比較を行った。結果として、保水性養生マットの敷設は、コンクリート仕上げ面表層の密実性の向上に与える効果が大きいこと、また、保水性養生マットの敷設は、湛水養生に近い結果を得られることが明らかとなり、養生効果がより明確となった。

キーワード：保水性養生マット、湛水養生、密実性、透気係数、累積吸水量

1. はじめに

養生は、コンクリートの品質向上のために必要不可欠な工程であり、現場においても標準化されつつある。そのことから昨今は、養生材料に関する材料や技術が積極的に開発されており、いずれにおいてもコンクリートの品質向上に寄与することが報告^{1,2)}されている。その中の一つとして保水材と不織布とを合わせた保水性養生マットが挙げられるが、軽量で施工が簡便であること、高い保水性能を有すること、コンクリートの品質向上へ与える効果など多くの特徴が挙げられることから、これまで多くの現場にて使用されてきた。しかしながら、保水性養生マットの最大保水量は把握しているものの、コンクリート仕上げ面表層の湿潤確保に要する養生マットへの散水量に規定がなく、現場の判断に一任しているのが現状である。したがって、散水量の違いによって養生マット自体がどの程度保水するのか、それによってコンクリート仕上げ面表層が湿潤状態になるのか、コンクリートの品質確保に寄与するか否かが不明確である。さらには、既往の研究結果から養生マットと湛水養生との比較をした例がほとんど見られず、保水性養生マットが与える効果と湛水養生が与える効果との比較においてどの程度の差があるのかが未知である。

そこで本研究では、代表的な保水性養生マットを複数ケース使用して、毎日散水した条件と現場を想定した散水条件における養生実験を行い、保水性養生マットがコンクリートの品質に与える効果を定量的に評価した。さらには湛水養生も同時に実施して、保水性養生マットと湛水養生の各々評価した結果を定量的に比較することを目的として実験を実施したものである。

2. 実験の概要

2.1 供試体

供試体は寸法 900mm×900mm×250mm とし、内部に鉄筋を配置しないものとした。また、供試体の全ての側面には厚さ 150mm の断熱材を設置し、コンクリート表面以外からの熱の影響を極力無くすように考慮した。

コンクリートの配合を表-1 に示す。供試体は屋外南向きに設置をし、湛水養生用の供試体以外は 10%の勾配を付けた。また、昼間の降雨時と夜間(18:00~翌9:00)には日射透過性のある屋根を設置し、供試体表面に養生水以外の水分が及ばないように配慮した。

2.2 養生ケースおよび散水条件

養生のケースを表-2 に示す。養生は、保水性を有する養生マットとそれに遮光性や断熱性を付加した4ケース、標準的なマット(以下、標準マット)、湛水養生および養生無の計7ケースとした。表-2の①および②のフィルムは透水性がない材料となっており、①から④の保水材は吸水系ポリマーである。敷設する養生マットの寸法は1000mm×1000mmとし、飛散の防止策としてマットの4辺に錘(L型アングル)を設置した。

散水の条件を表-3に示す。打設後から散水養生開始

表-1 コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法(mm)	スランプ(cm)	水セメント比(%)	空気量(%)	細骨材率(%)
20	12	49.5	4.5	42.3
単位量(kg/m ³)				
水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 AE
164	332	760	1070	3.32

*1 早川ゴム(株) 事業開発グループ土木技術チーム 博士(工学) (正会員)

*2 (株)IHI 技術開発本部基盤技術研究所構造研究部 修士(工学) (正会員)

*3 (株)IHI インフラシステム 開発部研究開発第2グループ (非会員)

*4 横浜国立大学 大学院都市イノベーション研究院 博士(工学) (正会員)

表-2 養生のケース

養生ケース	養生材料の構成
①保水性養生 マット MS	黒フィルム＋不織布＋保水材 厚み：1.3mm(不織布＋保水材=1.2mm)
②保水性養生 マット MC	透明フィルム＋不織布＋保水材 厚み：1.3mm(不織布＋保水材=1.2mm)
③保水性養生 マット MP	遮光層＋不織布＋保水材 厚み：2.2mm(不織布＋保水材=1.2mm)
④保水性養生 マット MU	断熱層＋不織布＋保水材 厚み：11mm(不織布＋保水材=1.2mm, 断熱層 10mm)
⑤標準マット	PPクロス＋ウレタンフォーム＋不織布 厚み：5mm
⑥湛水養生	—
⑦養生無	—

表-3 養生のケースと散水条件

養生ケース	散水条件	
①保水性養生 マット MS(黒色)	A.毎日 (28日間) ※標準・湛水養生 との比較 ※AM9:00に散水	B.2回/週 (28日間) ※現場の散水 頻度を想定 ※月・金 AM9:00に散水
②保水性養生 マット MC(クリア)		
③保水性養生 マット MP(遮光性)		
④保水性養生 マット MU(断熱性)		
⑤標準マット		—
⑥湛水養生	常時湛水 (28日間)	
⑦養生無	—	

までは水槽に浸漬させた各養生マットを敷設しその後散水を開始した。散水の実施時間は、定時（AM9:00）として、自動散水装置によって散水をした。なお、散水は、養生マットをコンクリートへ敷設した状態にて実施し、マットが均一に給水するように配慮した。また、散水時間は、散水量とポンプの性能から4分51秒としている。散水量については、いずれの養生ケースとも一定量とし、標準マットにおける初期保水量の30%とした。散水量とコンクリート表面の湿潤状態との関係を調べると、湿潤のための散水最低量が30%であることからこの値とした。なお、初期保水量は、養生マットの給水前後における重量差から事前に測定した。散水の頻度は、毎日と週2回（月および金曜日）の2パターンとした。週2回散水は、現場を想定した必要最低限の散水回数として設定している。ただし、標準マットに関しては散水によって一時的に保水をするものの、その後の水分逸散量がきわめて多いため、毎日散水のみとして実験を行っている。

表-4 実験の項目

項目	数量	測定 時期	測定 方式	備考
コンクリート温度	4点/ 体	打設 ～ 材齢 28日	熱電対	供試体 中央
養生マット内の 相対湿度	1点/ 体		温度・湿度 センサー	—
養生マットの 保水量 (散水前測定)	1回/ 日		電子秤	同タイミ ングで 2項目を 実施
コンクリート 表面の含水率	9点/ 体/日		水分計	

表-5 コンクリート仕上げ面表層の評価

項目	数量	時期	測定 方法	備考
透気係数	6点/ 体/回	材齢 7,14,28日	トレント 法	全供試体
累積 吸水量	3点/ 体/回	材齢 110日	SWAT 法	保水性養生マット および湛水養生 ※毎日散水のみ

湛水養生は、貯水タンクを設置してタンク内の水切れや装置の不具合が生じないようにした。また、供試体には湛水用の止水壁を設置し、養生中に漏水が発生していないことを事前に経過観察しており、常時湛水状態が継続していることを確認した。なお、湛水養生のケースは、実験の材齢時に一時的な排水をするため、養生マットの測定条件（実験材齢の前日にマットを外す）と異なる。

2.3 実験の項目

実験項目を表-4、コンクリート仕上げ面表層の評価を表-5に示す。各養生マットの初期保水方法は、実験前日から水槽にて24時間浸漬させて十分に給水させ、後にコンクリート供試体へ敷設をしている。なお、各養生マットは、コンクリート供試体への敷設直前に浸漬してある水槽から取り上げ、2分間鉛直に吊るして水切りを行った後に敷設した。敷設後は定時に重量の測定を行い、材齢期間における保水量の経時的な増減を確認した。

コンクリート仕上げ面表層の密実性は、トレント法による透気係数kTの測定によって、材齢7、14および28日に評価した。なお、測定した結果は、トレント法の品質グレーディング³⁾に準じて段階別に評価をしている。

また、材齢110日には、SWAT法によって累積吸水量を測定し、コンクリート仕上げ面表層の密実性を評価している。実験に使用した供試体は、材齢28日における各評価試験を実施した後に供試体上面に防水性シートを設置して、測定材齢まで屋外に放置したものである。なお、供試体は、毎日散水条件の保水性養生マットと湛水養生のものであり、透気係数kTの結果が良好であったケースのみを抽出して、実験を実施している。

3. 実験結果について

3.1 養生マットの保水量

図-1 に毎日散水条件における各養生マットの保水量を示す。なお、実験期間（3月末から4月末）における平均気温は14.6℃、相対湿度は65%であった。

標準マットは給水部分がスポンジ状であるため、初期においても最も保水量が多い。しかしながら、1日目以降は毎日散水したものの、保水量が著しく減少する傾向が見られた。試験開始4日目以降は保水量がほぼ確認できないことから、標準マットを使用する際には1日当たりの散水回数を大幅に増加させることや、昼夜を問わず散水することが必要となり、コンクリートの品質確保にはきわめて大きな労力を要することが考えられる。

一方、保水性養生マットでは、いずれのケースとも標準マットのような保水量の大きな減少が確認できなかった。ケース別ではMUの保水量が多く、MPとMCが同

程度、MSが少なかった。MUには断熱層が積層してあるため、外気（日射や風による乾燥）が保水層に及ぼす影響が小さいため、水の逸散を抑制したと考えられる。MSは黒フィルムのために外気的作用から養生内の温度が上昇し水分の逸散によって保水量が減少したと考えられる。

図-2 に週2回散水条件における各養生マットの保水量を示す。図-2と図-4には散水時の印を記しており、材齢1, 4, 8, 11, 15, 18, 22および25日となっている。なお、標準マットの結果は毎日散水条件のものであり、他マットとの比較のために示している。いずれの保水量とも毎日散水条件の結果に比べて値が小さくなり、上下に変動する傾向が見られた。これは散水頻度を減らすことによって保水の累積量が少なくなるために水の逸散が進行することから、このような結果になったと考えられる。しかしながら、保水性養生マットはいずれも、毎日散水している標準マットと比べて高い保水性能を確認

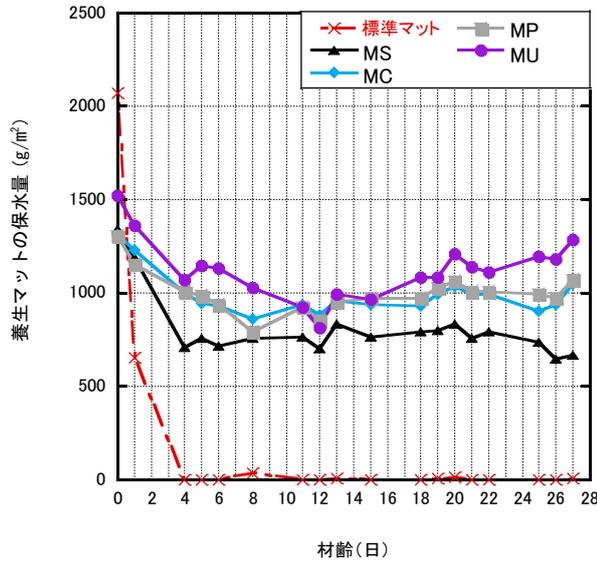


図-1 養生マットの保水量（毎日散水）

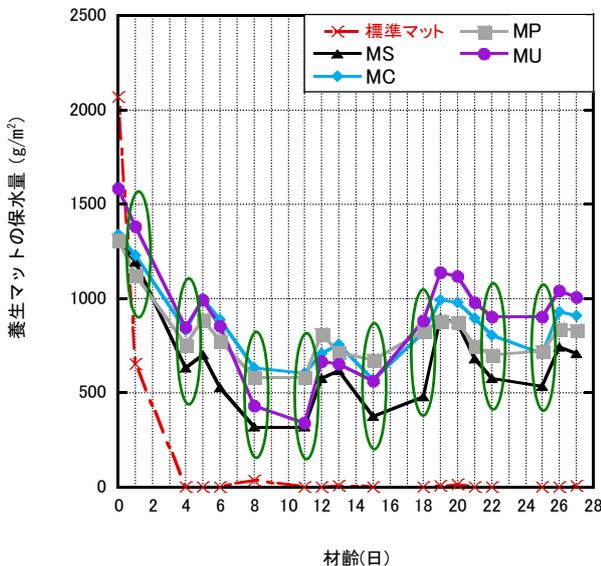


図-2 養生マットの保水量（週2回散水）

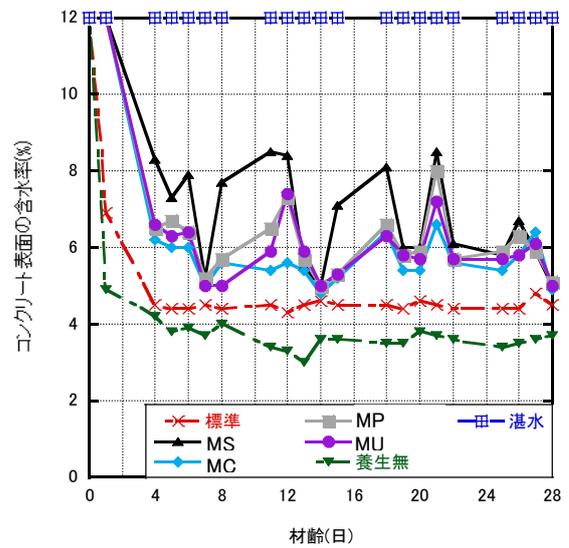


図-3 コンクリート表面の含水率（毎日散水）

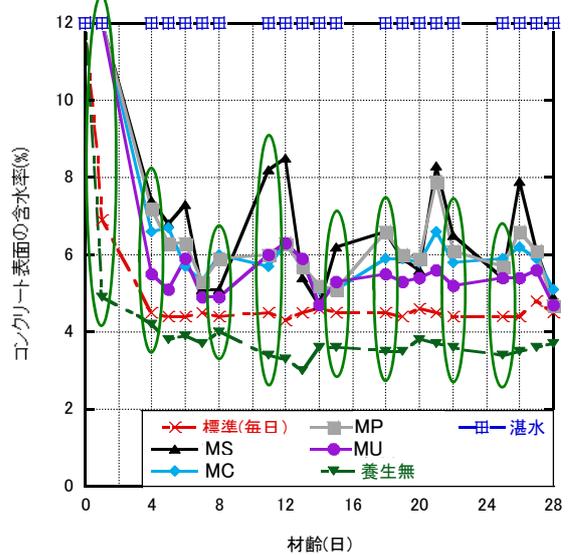


図-4 コンクリート表面の含水率（週2回散水）

することができたため、本実験の範囲内において保水性養生マットでは、最低週2回程度散水すれば養生マットおよびコンクリート表面の湿潤状態は確保できるものと考えられる。

3.2 コンクリート表面の含水率

図-3 に毎日散水条件におけるコンクリート表面の含水率を示す。材齢4日目以降でみると、標準マットは養生無と同程度(3.0~4.3%)の含水率を示しており、標準マットの敷設によってコンクリートの表面含水率5%以上を確保することが困難であると考えられる。

一方、保水性養生マットでは、4.8~8.5%の含水率を確認できており養生マット間において差がみられるものの、いずれも標準マットの結果より良好であったことから、保水性養生マットがコンクリート表面の湿潤に与える効果が大きいと考えられる。とくにMSが最も高い値であったが、これは養生内の温度が上昇して水分が逸散したものの、コンクリート表面の含水には寄与すると考えられるが、今後の検討課題としている。湛水養生については、測定器機の上限である12%を維持していた。

なお、材齢7、14および28日において含水率の値が大きく減少する結果となった。これは、後述「3.3 透気係数kTの測定」実施条件として、コンクリート表面の含水率を5.5%以下にする必要があるため、試験材齢の前日に養生

マットを外したことによる影響である。図-4 に週2回散水条件におけるコンクリート表面の含水率を示す。なお、標準マットのデータは毎日散水条件のものであり、他マットとの比較のために示している。実験結果は前述「3.1 養生マットの保水量」と同様に、散水頻度を減らすことによって全体的な数値は下がるものの、4.7~8.5%の範囲で含水率が維持しており、保水性養生マットがコンクリート表面の湿潤性確保に与える効果が大きいと考えられる。また、保水性養生マットの含水率はいずれも、毎日散水した標準マットの含水率よりも大きい値が得られた。このことから、養生マットの保水性能はコンクリート表面の湿潤に与える効果が大きいため、養生初期段階からの保水性能を有する養生材料が湿潤確保のために重要であると考えられる。

3.3 透気係数kTの測定

表-6 および図-5 に毎日散水条件における各養生ケースの透気係数kTを示す。また、図-6 は保水性養生マットと湛水養生の結果を示している。図-5 ではいずれも透気係数の測定値がきわめて小さいため、別図とした。既往の研究では、コンクリート表面を数mm除去した場合に透気係数が小さくなる報告⁴⁾があるものの過去の実験結果⁵⁾から、表面処理の行わなくともコンクリート表面からの深さ方向別(0mmから50mm)に密実性の差を

表-6 養生ケース別の透気係数kTと品質評価(毎日散水) ※ () は透気係数測定時の含水率

養生ケース	養生無	標準	MS	MC	MP	MU	湛水
透気係数kT (材齢7日)	6.95 (3.7)	3.40 (4.5)	0.119 (5.2)	0.840 (5.0)	0.180 (5.2)	0.096 (5.0)	0.005 (5.1)
評価	劣	劣	一般	一般	一般	良	優
透気係数kT (材齢14日)	8.10 (3.6)	4.15 (4.6)	0.129 (5.0)	0.337 (4.8)	0.120 (5.0)	0.150 (5.0)	0.022 (5.3)
評価	劣	劣	一般	一般	一般	一般	良
透気係数kT (材齢28日)	6.35 (3.7)	4.05 (4.5)	0.015 (5.0)	0.012 (4.9)	0.005 (5.1)	0.018 (5.0)	0.001 (5.3)
評価	劣	劣	良	良	優	良	優

表-7 養生ケース別の透気係数kTと品質評価(週2回散水) ※養生無・標準・湛水は表-6と同値

養生ケース	養生無*	標準*	MS	MC	MP	MU	湛水*
透気係数kT (材齢7日)	6.95 (3.7)	3.40 (4.5)	0.290 (5.1)	0.727 (5.3)	0.123 (5.3)	0.072 (4.9)	0.005 (5.1)
評価	劣	劣	一般	一般	一般	良	優
透気係数kT (材齢14日)	8.10 (3.6)	4.15 (4.6)	0.267 (4.7)	0.713 (5.1)	0.150 (5.2)	0.088 (4.7)	0.022 (5.3)
評価	劣	劣	一般	一般	一般	一般	良
透気係数kT (材齢28日)	6.35 (3.7)	4.05 (4.5)	0.048 (4.9)	0.503 (5.1)	0.024 (4.7)	0.007 (4.7)	0.001 (5.3)
評価	劣	劣	良	一般	良	優	優

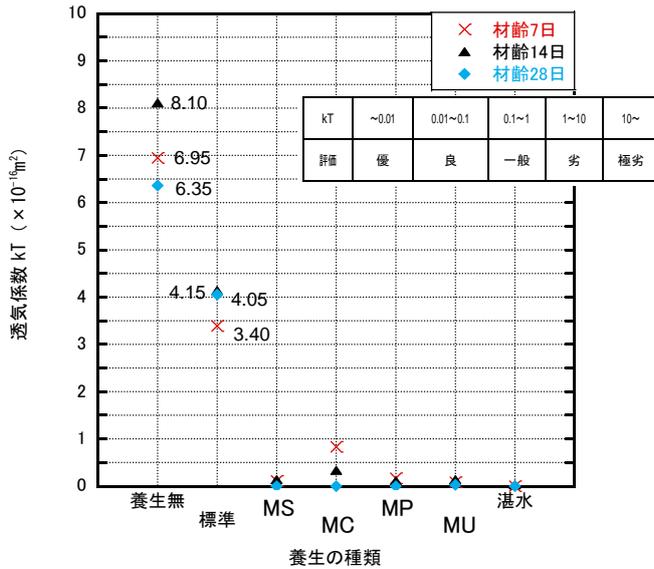


図-5 透気係数 kT の測定結果・全ケース
(毎日散水)

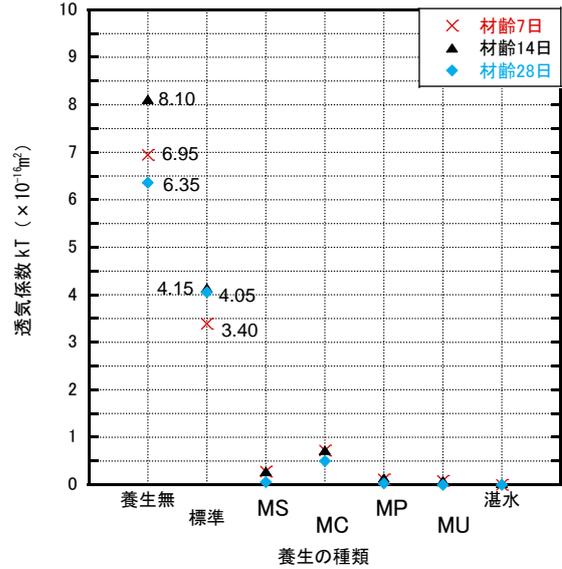


図-7 透気係数 kT の測定結果・全ケース
(週 2 回散水)

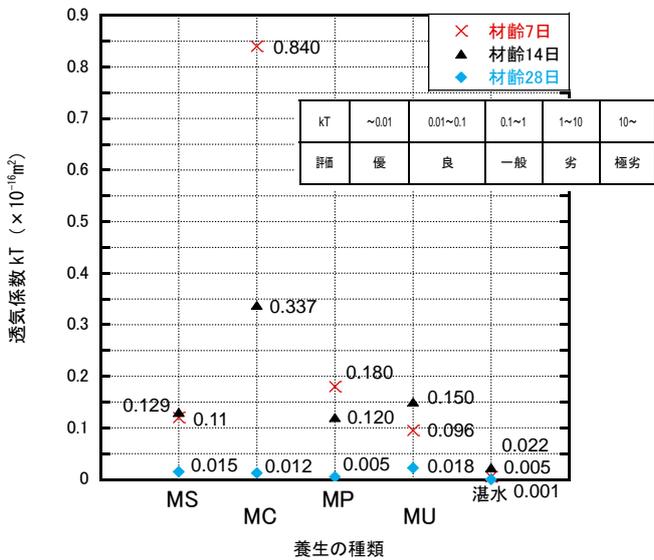


図-6 透気係数 kT の測定結果・保水性マットと湛水養生
(毎日散水)

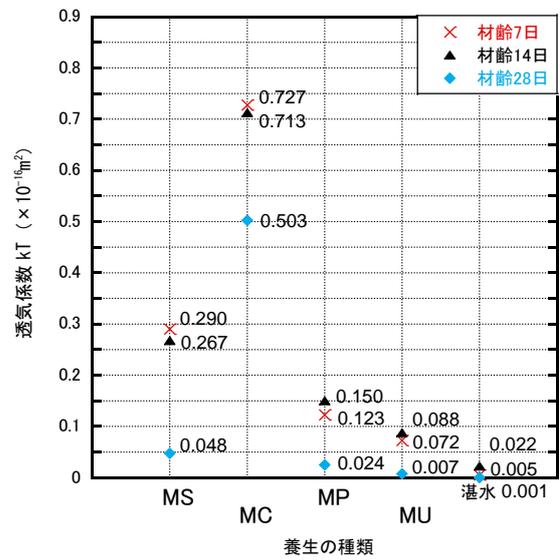


図-8 透気係数 kT の測定結果・保水性マットと湛水養生
(週 2 回散水)

確認しているため、処理の必要性がないと判断している。
標準マットおよび養生無の透気係数は、 $3.40 \sim 8.10 [\times 10^{-16} \text{m}^2]$ であり、全ての材齢において評価が「劣」であった。この結果から、標準マットではコンクリート仕上げ面表層の密実性を得ることが困難であるため、散水回数や散水量を大きく増加させる必要があると考えられる。それ以外の養生ケースでは、いずれも「一般」、「良」、「優」であり、透気係数も標準マットに比べて小さい値 ($0.005 \sim 0.84 [\times 10^{-16} \text{m}^2]$) であった。とくに湛水養生の結果は品質グレーディングによる評価が最も高く、透気係数に関しても値 ($0.001 \sim 0.022 [\times 10^{-16} \text{m}^2]$) が最も小さかった。なお、保水性養生マットの値は湛水養生の結果に及ばないものの、同程度結果が得られたことから、保水性

養生マットがコンクリートの品質に与える効果は、湛水養生に近似することが本実験の範囲から示された。既往の研究⁹⁾において、十分に養生した供試体ではスケリング量、中性化および塩分浸透深さが少なく、耐久性能の向上を確認していることから、コンクリート表層における密実性の確保はきわめて重要であると考えられる。
表-7 および図-7 に週 2 回散水条件における各養生ケースの透気係数 kT を示しており、コンクリートの表面処理は行わずに実験している。また、表-7 および図-7 には、比較のために養生無、標準マットおよび湛水の結果を記載している。なお、図-8 は、前述同様に保水性養生マットと湛水養生の結果のみを示している。
いずれの保水性養生マットとも、品質グレーディング

による評価は、「一般」、「良」、「優」であり、透気係数も値(0.007~0.727[$\times 10^{-16} \text{m}^2$])が小さい結果が得られたことから、コンクリート仕上げ面表層の密実性が十分に確保できることが分かった。したがって、保水性養生マットは散水回数を減少させたケースにおいても、毎日散水条件より劣るものの、コンクリート仕上げ面表層の密実性が確保できることが本実験の範囲内で示された。

3.4 累積吸水量の測定

図-9にSWAT法によるコンクリート表面の累積吸水量を示す。実験実施の材齢は110日であった。

既往の研究⁷⁾では、計測開始から100秒間の累積吸水量が1.0ml以下であれば、空気量に関係なく高いスケールリング抵抗性を有するコンクリートであることが分かっている。また、1~1.5mlでは、設計時に適切に空気量を確保しながらも、硬化時に空気量が確保されていることが重要となる。1.5mlを超えるような場合は、空気量を確保してもスケールリング抵抗性が劣る可能性がある。

図-9の結果では、累積吸水量が0.7~1.2mlであったため、材齢110日の経過後も、保水性養生マットを用いた供試体は十分なスケールリング抵抗性を有していることを確認することができた。また、保水性養生マットは湛水養生と比較すると、断熱層が積層されていないMS、MCおよびMPの結果が優れていた。さらに、湛水養生の結果が最も優れていると予想していたが、この結果の根拠は今後の検討課題としている。

4. 結論

本実験では、3月から4月の平均気温14.6度の状況で保水性養生マットを使用したコンクリート仕上げ面表層の

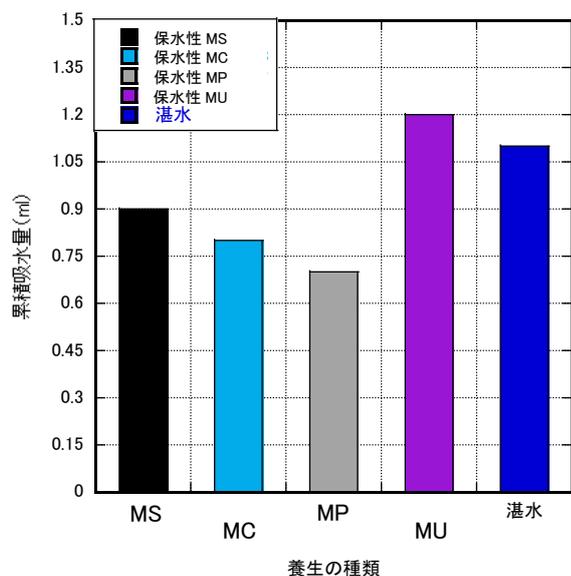


図-9 累積吸水量の測定結果・保水性マットと湛水養生 (毎日散水)

品質を評価し、標準マットおよび湛水養生との比較を行ったものである。本実験の範囲内で以下の知見を得た。

- (1) 養生マットへの散水頻度に関して標準マットでは、多数回かつ昼夜問わず行う必要があるが、保水性養生マットでは最低限の週2回程度によって養生マットの保水量を継続的に確保できることが分かった。
- (2) コンクリート表面の含水率は、養生マットの保水性に依存する傾向があり、保水性を有する養生マットを敷設することによってコンクリート表面の含水率を確保できることが分かった。また、保水性養生マットを敷設すれば週2回程度の散水でもコンクリート表面の含水率4.7%以上を確保できることが分かった。
- (3) 透気係数kTによるコンクリート仕上げ面表層の品質評価は、保水性養生マットを敷設することによって毎日散水および週2回散水のいずれも「一般」、「良」、「優」の結果が得られた。これは、湛水養生の透気係数kTと近い結果であった。また、標準マットでは、「劣」の評価であることから品質確保が困難であることが再確認できた。
- (4) 累積吸水量による評価は、材齢110日経過後も十分なスケールリング抵抗性が確保される結果となった。コンクリートの打設直後における若材齢から確実に湿潤養生を実行することの重要性が示された。

参考文献

- 1) 伊代田岳史：養生に関する研究の現状、コンクリート構造物の品質確保に関するシンポジウム, 2014
- 2) 渡邊賢三, 坂井吾郎, 坂田昇, 石田哲也：水分逸散抑制養生が表層品質に及ぼす影響, 土木学会論文集E2, 74巻, 4号, pp.247-255, 2018
- 3) 国土交通省東北地方整備局, コンクリート構造物の品質確保の手引き, 2015
- 4) 細田暁, 林和彦, 下田智也, 吉田早智子：コンクリート表層のマイクロクラックが表面の吸水性と透気性に及ぼす影響, Cement Science and Concrete Technology, No.63, pp.196-203, 2009
- 5) 大友鉄平, 塩永亮介, 戸田勝哉, 武田三弘：暑中における養生マットがコンクリートの品質に与える効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.1587-1592, 2016
- 6) 渡邊晋也, 鈴木康宏, 立神久雄, 今西謙二：暑中コンクリートの初期養生がコンクリートの耐久性と物質移動抵抗性に及ぼす影響, コンクリート工学論文集, 第36巻, pp.694-699, 2014
- 7) 小松怜史, 田島涼, 細田暁：表面吸水試験を用いたコンクリート床版上面の品質評価方法の検討, コンクリート工学論文集, 第29巻, pp.33-40, 2018