

論文 暑中における養生マットの使用がコンクリートの品質に与える効果

大友 鉄平*1・塩永 亮介*2・戸田 勝哉*3・武田 三弘*4

要旨：本研究は、暑中に打設したコンクリートに対して、養生マットを敷設した場合の養生マットの性能とコンクリート表層の密実性との関係について定量的に評価したものである。研究の結果、養生マットの保水性、コンクリートの表層と内部の温度、コンクリートと養生マット間との相対湿度、コンクリートの表面含水率および透気係数など使用する養生マットによって大きな差がみられた。また、X線造影撮影法によって評価したコンクリート表層の密実性に関しても差がみられ、暑中に使用する養生マットは、遮光性と保水性を有することにより、コンクリートの密実性を確保できることが明らかとなった。

キーワード：暑中、養生マット、密実性、遮光性、保水性

1. はじめに

養生は、コンクリートの品質を確保するうえで重要な工程の一つであり、コンクリート表層における乾燥収縮の抑制、耐久性および密実性の確保に大きな影響を及ぼす。近年は、養生に関して様々な材料や技術が開発されており、研究も盛んに行われている¹⁾。その中で養生マットは、敷設の簡易性、高い保水性、コンクリートへの給水性およびコンクリートの品質確保などが可能なことから、現在多くの製品が開発され使用されている²⁾。

しかしながら、養生を季節ごとに考慮すると、暑中に特化した養生材料はほとんどみられず、開発が望まれているのが現状である。暑中の施工環境は、激しい日射や高い外気温度などコンクリートにとって望ましい環境とは言いがたく、コンクリートの物性が短時間で著しく変化するものと考えられる。コンクリート表面は激しい日射による輻射熱によって水分が急激に失われ、それに伴ってプラスチック収縮ひび割れが発生することや、コンクリート内部の温度が高くなるため水和が急激に促進され発熱量が大きくなり、コンクリートの表面と内部との温度差が大きくなることから、温度ひび割れの発生も懸念される³⁾。したがって、暑中のコンクリートには、養生によって十分な給水を行うことと、コンクリートの温度を抑制する必要がある、暑中における養生材料がコンクリートに与える効果を明らかにする必要がある。

そこで、本研究では、材料的かつ性能的に異なる数種類の養生マットを使用して暑中におけるコンクリートの養生を行い、各養生マットの性能がコンクリート表層の密実性に与える効果について定量的に評価および比較を行った。なお、本文における暑中は、日平均気温が30度以上の日としている。

2. 実験の概要

2.1 使用材料および供試体

実験に用いた材料を表-1に、コンクリートの配合を表-2に示す。なお、配合は、鉄筋コンクリート床版に用いられる一般的な配合を参考にして、決定している。また、フレッシュコンクリートの試験結果とコンクリートの圧縮強度は、表-3に示す。

実験に用いた養生の種類は、無養生(N)、標準マット(NM)、3重養生マット(3M)、保温層付き養生マット(TM)、保水性養生マット2種類(AS、ASC)および遮光性を有する保水性養生マット(ASP)の7シリーズとした(表-4)。供試体は床版を想定して、寸法を900mm×900mm×250mmとし、無筋で作製した。供試体は、図-1に示すように打設面と底面以外を断熱材(1200mm×1200mm×250mm)にて覆い、側面からの放熱がないように施した。なお、供試体底面の型枠は、存置とした。

コンクリートの打設は、1日の平均気温が30度以上かつ降雨予報がない日時を設定して行った。また、各供試体には日射を遮らない透過性の屋根を設置し、夜間の降雨の影響が供試体に及ばないように考慮した。

2.2 養生マットの敷設と給水頻度

養生マットの寸法は、1000mm×1000mmとした(図-1)。養生マットは、打込み後2時間経過しブリーディング水の停止を確認した後、供試体の表面(打設面)に敷設した。また、敷設後の養生マットには、両端にアングル材を錘として置き、固定した。なお、養生の期間はいずれの供試体においても7日間とした。7日間以降は養生マットを取り外し、屋根も設置しないものとした。

各養生マットは、敷設前の保水条件を統一するため、水中に24時間浸漬させた後に2分間の水切りを行い、そ

*1 早川ゴム株式会社 商品開発グループ土木技術チーム 博士(工学) (正会員)

*2 株式会社 IHI 人事部採用グループ 修士(工学) (正会員)

*3 株式会社 IHI インフラシステム 開発部研究開発2課 博士(工学) (正会員)

*4 東北学院大学 工学部環境建設工学科 博士(工学) (正会員)

表-1 使用材料

種類	材料名	備考
セメント	普通ポルトランドセメント	—
細骨材	(1)砕砂（華嚴産） (2)石灰砕砂（大船渡産） (3)陸砂（富津産）	(1):(2):(3) 50:20:30
粗骨材	(1)砕石（華嚴産） (2)石灰砕石（大船渡産）	(1):(2) 50:50
混和剤	AE減水剤	遅延型Ⅰ種

表-2 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	8	50.0	4.5	43.3
単位量(kg/m ³)				
水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 Ad
166	332	770	1030	4.32

表-3 コンクリートの物性

測定項目	測定値
スランプ	9.0cm
空気量	3.0%
コンクリート温度	34.1℃
外気温	31.3℃
圧縮強度（7d・28d）	21.8 N/mm ² ・24.7N/mm ²

表-4 養生（供試体）の種類

シリーズ名	材料構成
①無養生（N）	—
②標準マット（NM）	ウレタンフォーム+不織布 +PPクロス
③3重養生マット（3M）	標準マット+エアーキャップ +遮光シート（市販品）
④保温層付き養生マット（TM）	湿潤養生シート+保温養生マット
⑤保水性養生マット1（AS）	保水材+不織布+ポリエチレン フィルム（黒色）
⑥保水性養生マット2（ASC）	保水材+不織布+ポリエチレン フィルム（透明）
⑦遮光性+保水性養生マット（ASP）	保水材+不織布+遮光フィルム （アルミニウム）

の時点の初期保水量を測定した上で敷設を開始した。なお、保水量の測定は1日1回行い、材齢終了時までとした。

また、養生期間中に養生マットを敷設している供試体は、同一のものとした。さらに、養生期間中の養生マットへの給水は行わないこととした。

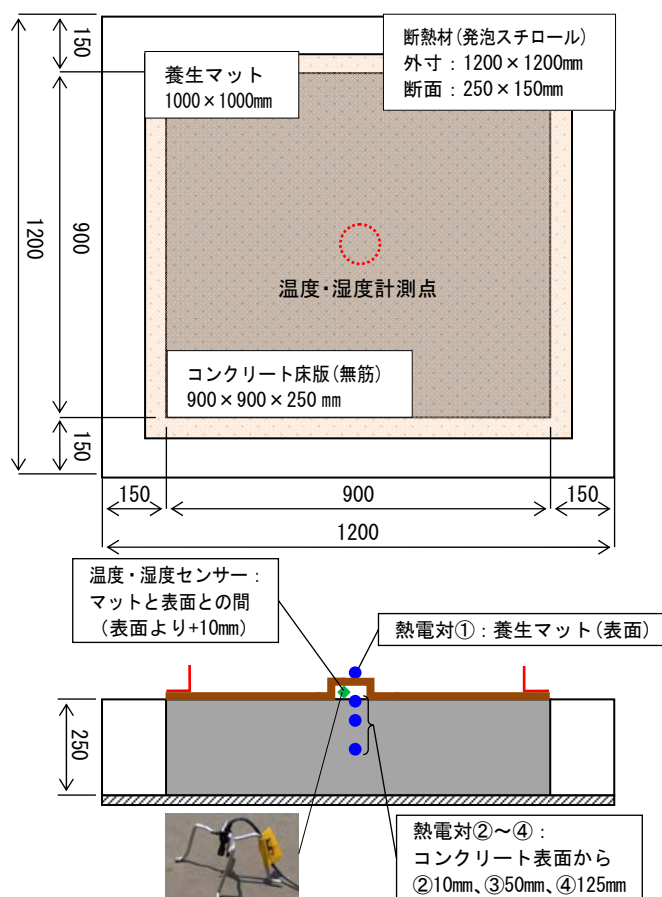


図-1 実験供試体の概要（平面図（上）・断面図（下））

2.3 測定項目

供試体の各測定位置を図-2に、測定した項目を表-5に示す。測定はいずれも打設時から開始し、材齢7日目まで実施した。コンクリート表層及び内部の温度は、表面から10、50および125mmの箇所に熱電対を埋め込み、測定した。なお、実験結果には10mmと125mmを示している。

養生マット内の温度と湿度は、コンクリートと養生マットとの間に測定センサーを設置し測定した。センサーはコンクリート表面から10mmの位置に設置し、コンクリート表面や養生マットに触れないように考慮した。

コンクリートの表面含水率は、水分計を用いて測定した。コンクリートの密実性は、テストハンマーによる表面硬度（JSCE-G504）、トレント法による透気係数（KT）及びX線造影撮影法によって評価した（表-6）。なお、透気係数は供試体1体につき、①・②・③の3点を測定し、その平均値とした。また、X線造影撮影法用の供試体は、材齢28日後に供試体（φ100mm）を養生条件ごとに6本採取した。

2.4 X線造影撮影法による密実性の定量化

X線造影撮影法は、コンクリートに造影剤を浸透させることによって、内部に発生したひび割れや空隙を検出することができる方法である。この方法を用いることによってひび割れや空隙の検出以外にも、その発生量を定量化する

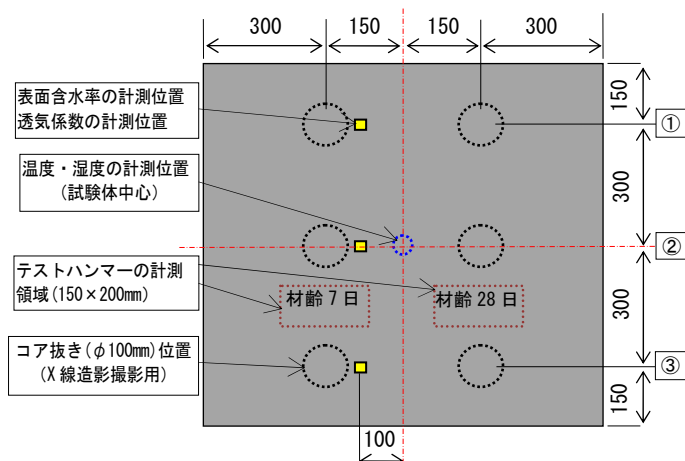


図-2 供試体の測定位置（平面図）

表-5 各測定項目

測定項目	数量	測定時期	測定機器
外気温	1点	打設開始 ～ 材齢7日	熱電対
雰囲気湿度	1点		温度・湿度 センサー
養生マットの 表面温度	1点		熱電対
コンクリート表層 および内部の温度	3点		熱電対
コンクリートと 養生マット間 との相対湿度	1点		温度・湿度 センサー
養生マットの保水量	—		電子秤
コンクリートの 表面含水率	3点		水分計

表-6 コンクリートの物性および表層品質の試験項目

測定項目	数量	測定時期	測定機
圧縮強度および 静弾性係数	6本	材齢7日 および 材齢28日	万能試験機
表面硬度	21点		テストハンマー
密実性(透気係数)	3点		トレント法
密実性 (透過線変化量)	6箇所	材齢28日	X線造影 撮影法

ことができる。X線撮影によって得られる透過画像の濃淡は、供試体を透過し検出体に到達したX線量（X線透過線量）によって決まる。すなわち、気泡やひび割れなどの空隙や吸収係数が低い物質の箇所ほどX線透過線量は多く、その箇所が黒くなる。反対に造影剤のような吸収係数が高い物質の箇所ではX線透過線量は少なく、白くなる傾向がある（図-3）。そのため、コンクリートに対して造影剤浸漬前と浸漬後にX線撮影した画像の濃度を差し引いた値は、造影剤がひび割れや初期欠陥部などの空隙に浸透したことによって得られた濃度差であることから、この値を「透過線変化量」として定義しこの値を求めることによって、微細



図-3 X線造影撮影の一例

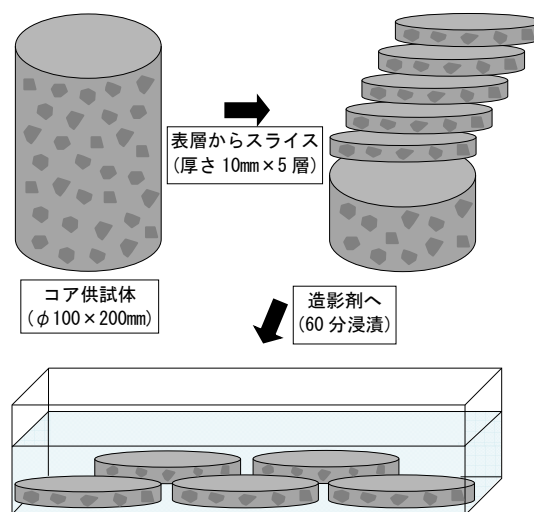


図-4 X線造影撮影用の供試体

ひび割れや初期欠陥の定量化ができる。本実験では透過線変化量が小さいほどコンクリートの密実度が高いと評価している。また、コンピュータに取り込まれた透過画像の濃度は、標準光学濃度を基準値としている。

$$D = \log(1/T) \quad (1)$$

但し、D：標準光学濃度

T：透過率

なお、求められた透過線変化量とコンクリートの圧縮強度には、良好な負の相関関係があることが分かっており、透過線変化量より強度推定を行うことが可能となっている⁴⁾。供試体は、コア供試体を養生面より厚さ10mm×5層にカットした後に造影剤の液中に浸漬させた（図-4）。供試体の厚さは10mmにすることによって、供試体全体に造影剤を浸透させると同時に、表層から深さ方向別に密実性を

求めることが可能となる。供試体は、造影剤液中に60分間浸漬後、X線撮影を行った。なお、使用した造影剤の質量吸収係数はX線出力100keVにおいて0.18cm²/gである。

3. 実験の結果

3.1 水和発熱による温度ひび割れの抑制効果

図-5は、材齢0.5日における断面の中心温度と表面近傍の温度を示している。養生マットによって、表面温度が60℃を超えるものもみられたが、一方で抑制する養生マットも確認できた。また、中心と表面との温度差は、TM (0.8℃)、3M (1.1℃)、ASP (3.6℃)、AS (4.8℃)、NM (5.4℃)、ASC (6.0℃)、N (8.6℃) の順で温度差が小さい結果であった。本実験の範囲内において、NMと比べ中心と表面近傍との温度差が小さかったのはTM、3MおよびASPであることから、遮光性能や断熱性能が温度差の抑制に与える効果が大きいと考えられる。しかしながら、TMは温度差が小さいものの、表面と内部の温度が60℃を超えており抑制できない。このことは、水和反応を過度に促進させる可能性があり、結果として初期強度が発現するものの長期強度の伸びが得られず、コンクリートの品質の確保が困難になることが懸念される⁵⁾。

3.2 輻射熱による温度ひび割れの抑制効果

図-6は、コンクリートが硬化後、もっとも日射が激しかった材齢5日目の正午におけるコンクリートの表面近傍と中心温度との差を示したものである。実験の結果から、中心と表面近傍との温度差は、TM (0.8℃)、3M (1.3℃)、ASP (2.3℃)、NM (3.7℃)、ASC (5.9℃)、AS (6.5℃)、N (9.3℃) の順で温度差が小さい結果が得られた。図-5の結果と同様にTM、3MおよびASPの温度差が小さいことから、暑中の養生材料には、遮光層や保温層(断熱層)を積層することによって表面の温度抑制に与える効果があると考えられる。また、輻射熱による内部の温度に関しては、表面温度を抑制することによって小さくすることができることから、温度抑制には、日射や外気温からコンクリートを防護することが重要であると考えられる。

また、ASとASCに関しては、表面近傍および内部とも温度が高い結果となり、とくに表面近傍の温度上昇が顕著であった。この理由として、積層してあるフィルム色はASが黒色、ASCが透明色であることから、いずれの供試体においても日射の影響を遮ることができず、表面温度が上昇したと思われる。

3.3 養生マットの保水量の測定結果

図-7は、各養生マットの保水量の推移を示している。初期の保水量は、TM以外が同程度であった。TMは保温層を有しているためコンクリートの表面温度が上昇し、保水層から水分が逸散したものと考えられる。また、TM

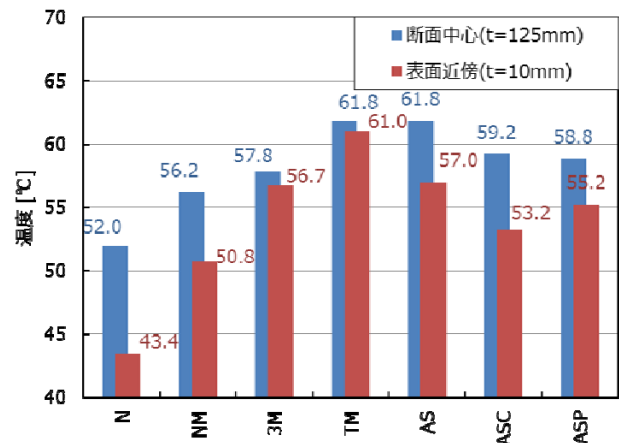


図-5 コンクリートの内部と表層との温度
(材齢0.5日目)

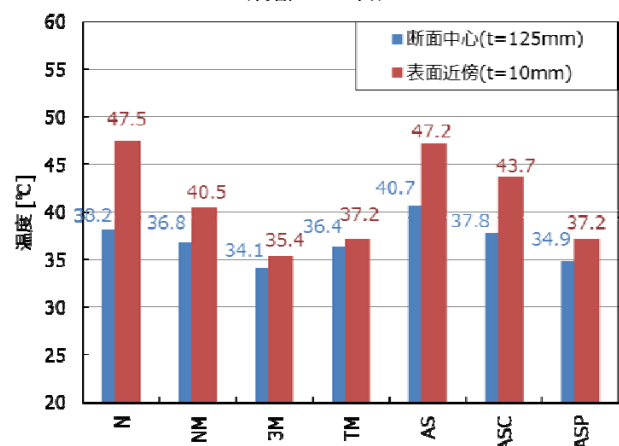


図-6 コンクリートの内部と表層との温度
(材齢5日目)

は保温層と保水層とが一体化していないため、他の養生マットに比べて保水機能が劣るものと思われる。NMの保水量は、初期の時点で1300g/m²程度を有していたものの、1日経過した時点でほぼ0となり、2日目には0となった。このことから、暑中においてNMを使用し、保水状態を維持するためには1日あたり数回の散水をし、かつ養生マットの水分状態を随時確認する必要がある。

一方、良好な結果が得られたのがASCとASPであり、初期から7日目までの保水量の減少率は、ASCが約60%、ASPが約65%であり、7日目でいずれも400g/m²以上の保水量を有していた。これは、敷設時にコンクリートの表面温度が上昇するものの、マットの保水性能が優れているため水分の逸散を防止したためと考えられる。

なお、ASは、7日目まで保水量が確認できたものの、100g/m²以下となり、3MおよびTMはそれぞれ6日目と3日目において保水量が0となった。ASは、ASC及びASPと同性能の保水層を有しているが、積層してあるフィルム層が黒色のため日射の影響が大きく、ASCやASPほどの保水結果が得られなかったと考えられる。

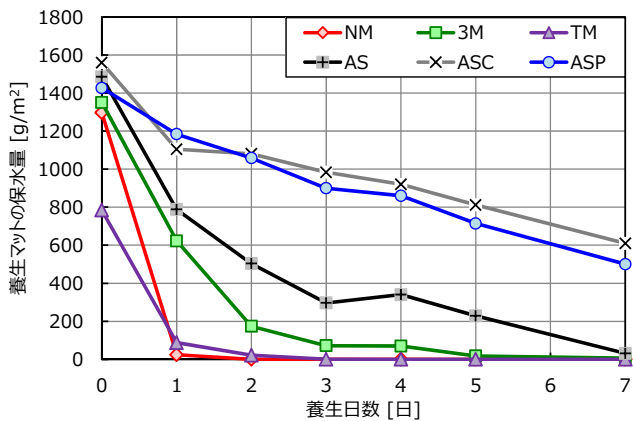


図-7 各養生マットの保水量の測定結果

3.4 養生マット内における相対湿度の測定結果

図-8は、養生マットとコンクリート表面との間（養生マット内）の相対湿度を測定した結果である。NMの相対湿度は、材齢1日目以降で数値が急激に低下し、その後RH30～70%で位置していた。また、TM、AS及びASCにおいても昼夜の変動が大きく、不連続な結果だった。

一方、養生期間中において、相対湿度を90%程度有していたのが、3MとASPであった。両マットの特徴としては、遮光層が積層されていることである。遮光層は、激しい日射による温度上昇の抑制と水分逸散を防止すると考えられるため、高い相対湿度を有したと考察している。また、夜間でも相対湿度の変動が小さいことが特徴的であり、1日を通して保湿状態を維持することが確認できた。このことから、コンクリート表面と養生マットとの間における相対湿度を保持するためには、養生材料に遮光性能を持たせることが有効であると考えられる。

3.5 透気係数による密実性の評価

図-9は、材齢7日目（養生終了時）及び28日目におけるコンクリート表層の透気係数(KT)の測定結果である。測定深さは、50mmまでとしている。測定深さに関しては、表面を数mm除去した場合、透気係数が小さくなる報告があるものの、X線造影撮影法による予備実験にて50mm程度まで変化量の差がみられたため、この深さとした。

Nの供試体では、材齢7日目及び28日目の結果とも透気係数が1.0以上であり、品質グレーディングとして「悪い」であった。また、NMでは各材齢とも「普通」であった。NMでは、温度の抑制が小さいことや保水が困難であることから、品質が確保できなかったと考えられる。

一方、他の養生マットでは、材齢7日目および28日目の結果とも透気係数が0.1前後であり、良好な結果であった。また、材齢28日を経過しても透気係数が0.1前後であることから、NやNMに比べて他の養生マットでは、コンクリート表層の密実性を確保できるものと考えられる。

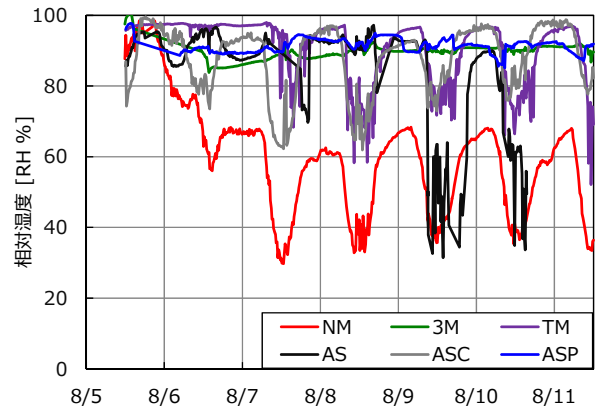


図-8 各供試体における相対湿度の測定結果

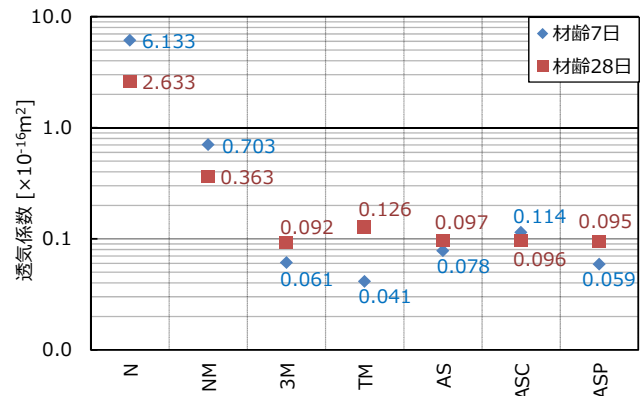


図-9 各供試体における透気係数(KT)の測定結果

3.6 X線造影撮影法による密実性の評価

図-10は、材齢28日における各種養生別のコンクリート表層とその近傍の透過線変化量と供試体深さとの関係を示している。供試体を深さ別に考察すると、表層から30mmまでとそれ以降の深さには違いがみられ、30mmより深い位置になると養生別におけるコンクリートの密実性が収束する傾向となった。材齢28日において、30mmより深い位置における密実性は、養生の有無や種類が及ぼす影響が小さいと考えられる。

一方、表層から30mmまでには養生別によって差がみられ、とくに0～20mmまでの結果が顕著であった。0～20mmにおいて養生別にみると密実度は、ASPを敷設したコンクリートがもっとも大きい（透過線変化量の値が小さい）結果が得られた。ASPとNとを透過線変化量から推定した密実度で比較すると、表層（0～10mm）においてASPが19.8N/mm²、Nが13.4N/mm²であり、差が1.48倍であった。また、全層平均（0～50mm）では、ASPが25.7N/mm²、Nが18.5N/mm²であり、差が1.39倍であった。ASPは、コンクリートの温度抑制や養生マットの性能において他の養生マットよりも良好な結果が得られていることから、表層の密実性も優れていたと考えられる。また、0～20mmにおいてはAS、ASC及びTMが他の養生マットに比べて良好な結果が得られた。AS、ASC及びTMは、温

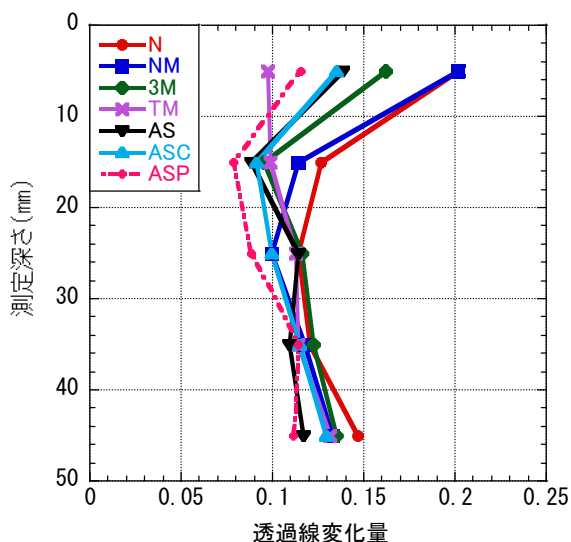


図-10 各供試体における透過線変化量の測定結果

度の抑制効果が大きいこと、内部と表層との温度差が小さいこと、相対湿度やマットの保水量が高いことなど、他の養生マットに比べ優位性が得られることから、表層近傍の密実性が向上したと考えられる。したがって、暑中の環境下においてコンクリート表層の密実性を確保するためには、本実験において遮光性や保水性を有する養生材料を選定することが望ましいと考えられる。

一方、N と NM は、同程度の透過線変化量を示しており、他の供試体に比べて密実度が低い（透過線変化量の値が大きい）結果となった。表層（0～10mm）において N が 13.4N/mm^2 、NM が 13.9N/mm^2 であり、全層平均（0～50mm）では、N が 18.5N/mm^2 、NM が 20.4N/mm^2 であった。NM は暑中において、前述のとおり養生マット自体が保水することが困難であるため、養生本来の目的を満足することができず、密実度が低かったと考えられる。さらに、図-9 の透気係数と図-10 の透過線変化量との比較をすると、透気係数では N と NM 以外に大きな差がみられないものの、透過線変化量では差がみられている。透過線変化量の測定では、造影剤が目視で確認できないマイクロクラックまで浸透（ひび割れ幅 $10\mu\text{m}$ まで浸透を確認）するため、差がみられたと考えられる。

また、図-10 では、グラフが同形状であり測定深さが 15mm より深くなるに従って、変化量が緩やかな増加傾向になっている。この要因として、表層はブリーディングや養生開始までに乾燥の影響を受けるため、微細ひび割れや初期欠陥が発生しているものと思われる。ただし、その影響を受けるのは表層より 10mm 程度までであり、それ以降はこれらの影響を受けにくいと考えられる。そこに養生マットからの給水が加わることによって、表層も一定の水和反応が進行するが、ブリーディングや乾燥

の影響が大きいいため、内部のような密実性が得られない状況であったと考えられる。しかし、乾燥の影響を受けなかった 10～20mm 以降のコンクリートは、養生マットからの限られた給水による水和が進行するため、乾燥の影響がなく給水による効果が最も大きい 10～20mm の位置が最も密実になったと思われる。

4. 結論

本実験では、日平均 30°C 以上となる暑中施工を想定し、各養生マットの性能がコンクリート表層の密実性に与える効果について評価した結果、以下の知見を得た。

(1) 材齢0.5日目及び5日目における中心と表面近傍との温度差は、養生マットに遮光性能や断熱性能を付与することによって小さくできることがわかった。

(2) 養生マットの保水には、高い給水性能や遮光性能を付与することが重要であることがわかった。また、NM の保水量は、1日目ではほぼ0となることから、遮光性能が乾燥に対するリスク低減につながると考えられる。

(3) 養生マットとコンクリート表面との間における相対湿度を保持するためには、養生材料に遮光性能を付与することが重要であることがわかった。

(4) 透気係数による品質グレーディングは、養生マットに遮光性能、断熱性能及び保水性能を付与することによって良好な結果が得られることがわかった。

(5) X線造影撮影法による評価から、養生材料の遮光性能、断熱性能及び保水性能は、コンクリート表層の密実性に効果を与えることがわかった。また、密実度は、もっとも高いASPと低いNとを比較すると、表層（0～10mm）において1.48倍、全層平均（0～50mm）において1.39倍の差が確認できた。

参考文献

- 1) 壇康弘, 伊代田岳史, 大塚勇介, 佐川康貴, 濱田秀則: 高炉スラグ微粉末を混入したコンクリートの養生条件と耐久性の関係, 土木学会論文集, 65 巻, pp.431-441, 2009.10
- 2) 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, 2014.3
- 3) 安斎憲子, 永山弘久, 倉田幸宏, 師山裕: 床板支間6m級場所打ちPC床板の日照変化の影響に関する解析的検討, 第 59 回年次学術講演会講演概要集, pp.279-280, 2004.9
- 4) 武田三弘, 大塚浩司: X 線造影撮影法によるコンクリートの性状評価手法の開発と応用, 土木学会論文集 E2, Vol.68, No.3, pp.146-156, 2012.7
- 5) 十河茂幸: JCM マンスリーレポート, Vol.15, No.5, pp.6-7, 2006.11