

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

Experimental Study on Curing Method in Concrete Slabs

師 山 裕 技術開発本部基盤技術研究所構造研究部
塩 永 亮 介 技術開発本部基盤技術研究所構造研究部
倉 田 幸 宏 物流・鉄構事業本部橋梁事業部建設部 課長 技術士（建設部門）

耐久性に優れたコンクリート構造物を施工するために養生が担う役割は大きい。コンクリートの養生は、構造物の規模・形式、施工場所の環境などに左右されるため、それらに応じた養生方法を選択することが重要となってくる。そこで本稿では、コンクリート構造物として当社での施工事例が多いコンクリート床版に着目し、その養生方法についての基礎的な検討を行った結果について報告する。養生方法をパラメータとして保温性、保水性などからの評価を行ったところ、各種養生方法の特性について有益な結果を得ることができた。

Curing is very important to construct excellent concrete structures with high durability. Curing methods must be selected corresponding to the scale and form of structures and environment of the construction, which control the curing of concrete. This study considered the concrete slabs in many cases of construction in IHI, and performed basic examination of the curing methods. Evaluation of the heat retentivity and humidity retentivity, assuming the curing method to be parameter, obtained portable results about the characteristics of curing methods.

1. 緒 言

コンクリート構造物の機能性を低下させる原因として、気象による浸食、化学的浸食、物理的浸食などが考えられる。これらの劣化因子に対するコンクリート構造物の耐久性を高めるためには、使用材料の選定、配合、設計、施工といった各段階において十分な検討が必要となってくる。耐久性に優れたコンクリート構造物を施工するための対策のなかで、現地において積極的に行える対策の一つとして、「コンクリート打込み時に十分な養生を実施する」ことが挙げられる⁽¹⁾。しかし、コンクリートの養生に関しては、養生方法の違いによる効果が定量的に評価されているとはいえず、実際に実施する段階においては施工業者が経験的に行っている場合も多い。環境の整った工場内で製作されるプレキャストコンクリートと異なり、現地において直接コンクリートを打ち込んで施工する場所打ちコンクリートは、施工場所の環境に大きく左右されるため、その場の環境に応じた養生を行うことが重要となってくる。また、いくら性状の良いコンクリートを打ち込んだとしても、養生を怠ると構造物自体の耐久性は低くなる。コンクリート構造物は十分な養生を行ってこそ所定の品質が得られるのであり、耐久性のあるコンクリート構造物を施工するために養生が占める割合は大きい。

以上のことから、現場の環境に応じた最適な養生を行うためには、養生の効果を定量的に把握することが必要となってくる。しかし、養生の方法は構造物の規模や形式によっても異なってくる。これまでも、ダムコンクリートや基礎構造物などの部材断面の大きいマスコンクリートにおいては、温度ひび割れが懸念されることなどから、養生についても各種検討が行われている^{(2)~(4)}。しかし、鋼橋コンクリート床版のように部材厚に対して外気に触れる面積が広い薄板構造については、これまで詳細な検討はほとんど行われていない。

そこで著者らは、薄板構造として当社での施工事例が多い鋼橋の場所打ちコンクリート床版（以下、コンクリート床版）に着目し、室内実験および実橋計測実験を行い、各種養生方法の特性について検討をしている。本稿では、これらのなかで室内実験から得られた知見について報告する。

2. 養生の効果

コンクリート構造物の施工における養生の役割としては、所要の耐久性の確保、外部からの有害な作用に対する保護、ひび割れの抑制、安定した施工工程の確保、美観の改善、といったことが求められる。そこで本実験では、養生方法をパラメータに各種養生方法の効果について評価を行う。

評価項目としては以下の項目が挙げられる。

(1) 保温効果

異なる物質間の熱のやり取りは、界面の熱伝達境界をとおして行われる。コンクリートはセメントの水和反応によって強度を発現するが、その際に発熱を伴う性質をもっている。しかし、水和反応中にも表面部の熱伝達境界をとおして外気の影響を受けるため、表面部と内部では発熱の状況が異なってくる。この断面内の温度差によって内部と表面部にひずみ差が生じ、表面部には引張応力が発生する可能性がある（これを内部拘束応力という）。また、水和反応によって発熱したコンクリートが冷え、さらに乾燥が進むことによって収縮を起こし、その収縮が外部に拘束されることによっても引張応力が発生する（これを外部拘束応力という）。こういった引張応力を低減するためにも、適度な保温養生を行いコンクリートの温度を緩やかに降下させ、かつ断面内の温度差を少なくする必要がある。

(2) 保湿効果および保水効果

コンクリートは若材齢時に水分が不足すると十分な水和反応が行われず、所定の強度が発現しないことがある。また、(1)で述べた乾燥による外部拘束応力を低減するためにも、養生によってコンクリート表面部を十分な湿潤状態に保つ必要がある。

(3) 養生の施工性および表面の仕上がり具合

コンクリートの養生は、養生面での作業が可能となりしだいできるだけ速やかに開始する必要がある。そのためにも、運搬や敷設のしやすさといった養生の施工性が重要となってくる。また表面の仕上がり具合は、健全な施工・養生が行われたかどうかの一つの判断基準となる。

(4) コスト

コンクリート構造物の施工では、対象となる構造物に応じた養生を行うことが必要である。そのなかで、効果的かつ効率の良い養生方法をいかに低コストで行うかについても努力を払う必要がある。

3. 養生材・養生方法の種類

今回検討の対象とするコンクリート床版は部材厚が 30 ~ 50 cm 程度と薄い。そのため、水和反応による発熱のピークは材齢 1 日程度である。そして、材齢 5 日程度で外気温に落ち着くため、養生期間も 3 ~ 5 日程度と短期間である場合が多い。そのため、若材齢時における十分な養生が特に重

要となってくる。

今回の実験では、コンクリート床版の保温・保湿を目的とした養生において最も使用されることが多いシート系養生材を対象とした（第 1 表、第 1 図）。そしてそのなかからの組合せで、第 2 表に示す 6 種類の養生方法について検討することとした。そのなかで、今回は特に気泡シートを用いた養生に着目し、養生を実施することとした。気泡シートは通常は梱包用の緩衝材として用いられるものであり、間に空気泡が封入されている。これまでにコンクリート床版の養生材として用いられた事例はほとんどみられないが、空気泡による保温作用と転用に耐えられる十分な強度があるため、コンクリートの保温養生材として十分な効果が見込めると考えた。養生マットを用いた養生はコンクリート床版の養生として最も一般的に用いられる養生方法である。また、養生を行わなかった場合の養生と、主にマスコンクリートの養生として用いられる養生を比較用として実施した。

4. 養生の効果に関する室内実験の概要

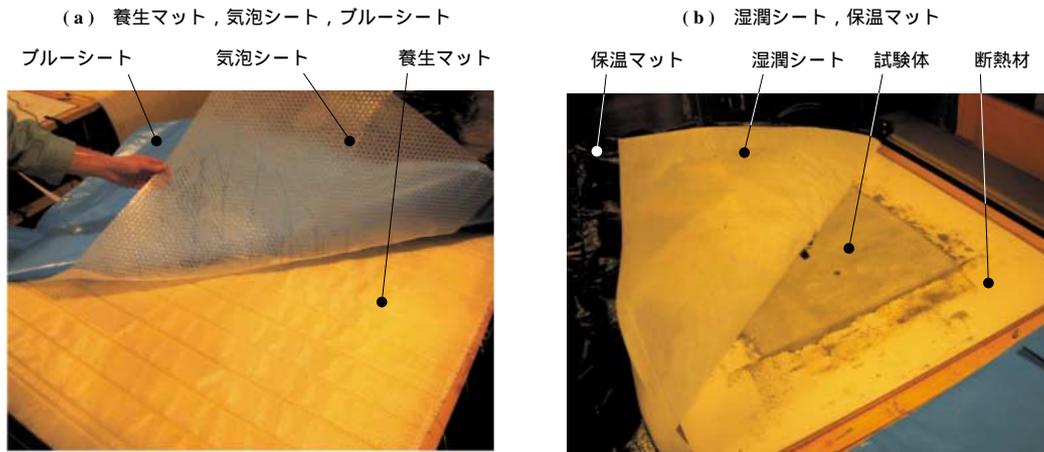
本実験ではコンクリート床版における各種養生方法の効果を把握することを目的に、コンクリート床版を模擬した試験体（以下、試験体）を第 2 表に示した養生方法によって作成した。そして、コンクリート打込み時からの試験体内部の温度および養生材とコンクリート間の湿度を計測し、2 章で述べた評価項目に従い各養生方法を評価したものである。

実験条件を第 3 表に示す。実験は外気の変動の影響をできるだけ少なくするため、温湿度一定の恒温室で行うこととした。養生期間はコンクリート打込み時から試験体内部の温度が室温とほぼ同様となるまでの 5 日間とした。試験体はコンクリート床版を模擬するため、合板製の外枠の内側面を断熱材で囲った型枠によって作成し、計測中は型枠を取り付けたままとした（第 2 図、第 3 図）。また、上面の養生はコンクリート打込み時から 6 時間後に開始した。コンクリートは、設計基準強度 $\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$ 、粗骨材の最大寸法 $G_{max} = 20 \text{ mm}$ 、スランプ $10 \pm 2.5 \text{ cm}$ 、空気量 $4.5 \pm 1.5\%$ の早強コンクリートとした（第 4 表）。

養生の効果を評価するための計測項目は温度と湿度とし、温度は熱電対、湿度は湿度センサを用い 15 分間隔で自動計測を行った。計測位置を第 4 図に示す。試験体内部の温度計測位置は、上面から 50 mm（以下、上段）、厚さ方向の中央（以下、中段）、下面から 50 mm（以下、下段）の位置とし、養生材とコンクリート間および室内では温度と湿

第1表 養生材
Table 1 Curing material

養生材 (略称)	材質 (「」内は正式名称)	通常の主な用途
養生マット	ポリプロピレンクロス, ウレタンフォーム, ポリエチレンクロスの3層構造	コンクリートの保温・湿潤養生
ブルーシート	ポリエチレンシート	防風対策, 防水対策, 水分蒸発防止
気泡シート	ポリエチレン製重梱包用3層シート「エアーマットTC40」	重梱包用緩衝材
湿潤シート	吸水加工アクリル繊維「湿潤養生シート」	コンクリートの湿潤養生 (高い保水性能)
保温マット	アルミラミネートポリエチレン封入グラスウール「保温養生マット」	コンクリートの保温養生 (高い保温性能)



第1図 養生材
Fig. 1 Curing material

第2表 養生方法
Table 2 Curing method

略称	養生方法
養生	養生無し
養生	養生マット
養生	養生マット+ブルーシート
養生	気泡シート+ブルーシート
養生	養生マット+気泡シート+ブルーシート
養生	湿潤シート+保温マット

(注) 1: 養生材の敷設順序はコンクリート面に近い順に左側から示す.
2: 養生は示した養生材の2層構造で「Q マット」という養生システムである.

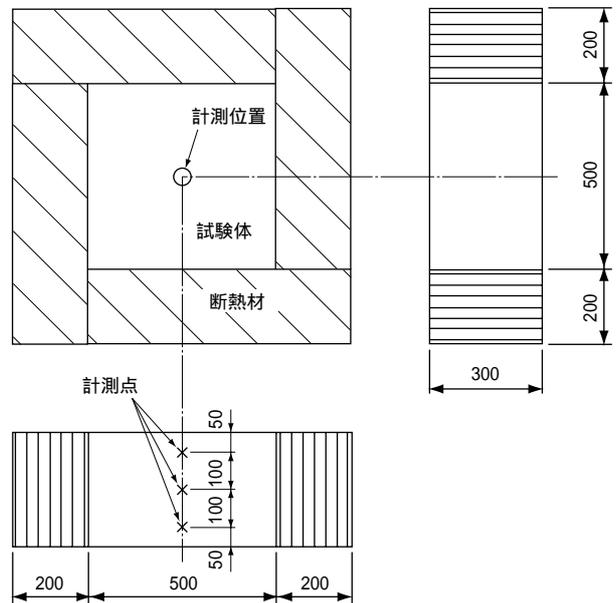
第3表 実験条件
Table 3 Experimental conditions

実験場所	恒温室	
環境温度	15 一定	
環境湿度	65%一定	
養生条件	養生開始時期	コンクリート打込みから6時間後
	散水時期	コンクリート打込みから1日程度経過時点 で、試験体表面全体に水が行き渡る程度 の量(約0.25l)を試験体表面に直接散布.
	養生期間	5日間

度の両方を計測した. 加えて, コンクリート表面の乾燥具合を目視によって確認することとした.

5. 実験結果と考察

2章で述べた評価項目に従って, 今回の実験における計



第2図 試験体形状 (単位: mm)
Fig. 2 Shape of test piece (unit: mm)

測結果を評価検討する.

(1) 保温効果

1) 温度上昇勾配と最高温度

特に冬季施工の場合には, 低温による強度発現の遅れを防止するためにも, 適度な保温によって最高温度



第3図 試験体型枠
Fig. 3 Molds of test piece

を上げることも必要である。

第5図に試験体上段におけるコンクリート温度の計測結果を、第5表に各養生方法での最高温度とそのときの材齢を示す。第5図より、養生を開始してから温度上昇が緩やかになるまでの温度上昇勾配は、どの養生方法においてもほとんど差はみられなかった。最高温度は養生が最も高く、次いで養生となっている。養生は最高温度にはほとんど差はみられなかった。養生はほかの養生に比べ大幅に温度は低い。

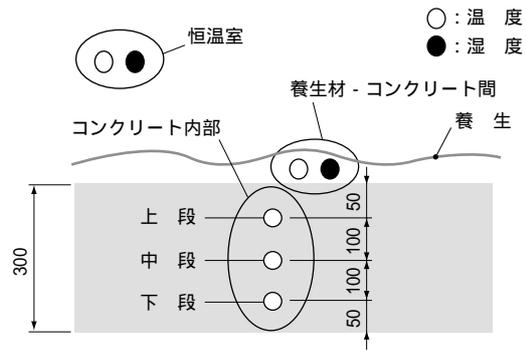
2) 温度下降勾配

最高温度からの温度下降勾配を緩やかにすることで、若材齢時に発生する引張応力を低減することができる。

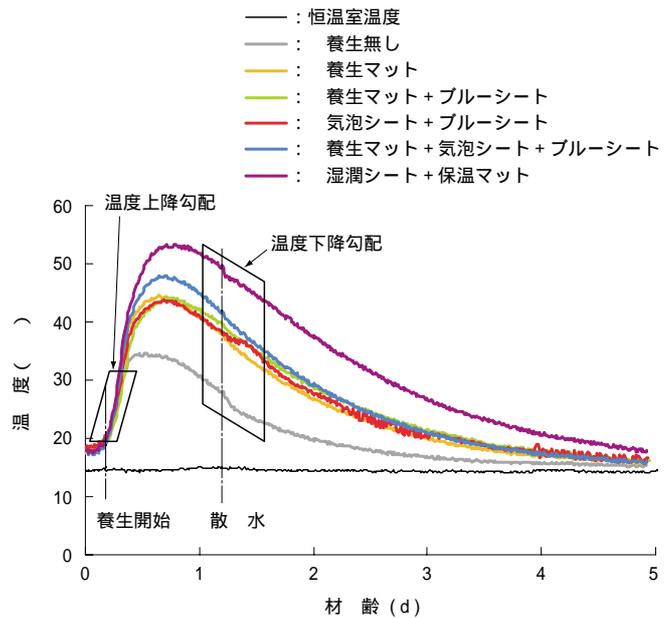
第6図に各種養生方法における上段・中段・下段位置での温度下降勾配を示す。温度下降勾配が最もきつくなるコンクリート温度がピークを過ぎた材齢1日から1.5日での結果を示す。養生の値が上段、中段で最も小さい値(13.4, 13.8 /d)となっており、下段においても13.6 /dと2番目に小さい値となっている。

3) 床版断面内の温度勾配

床版断面内の温度勾配を小さくすることで内部拘束応力が低減され、発生する引張応力も低減されることになる。第7図に各養生方法の最高温度時の断面内温



第4図 計測位置 (単位: mm)
Fig. 4 Measurement position (unit: mm)



第5図 温度計測結果 (上段)
Fig. 5 Results of temperature measurement (upper layer)

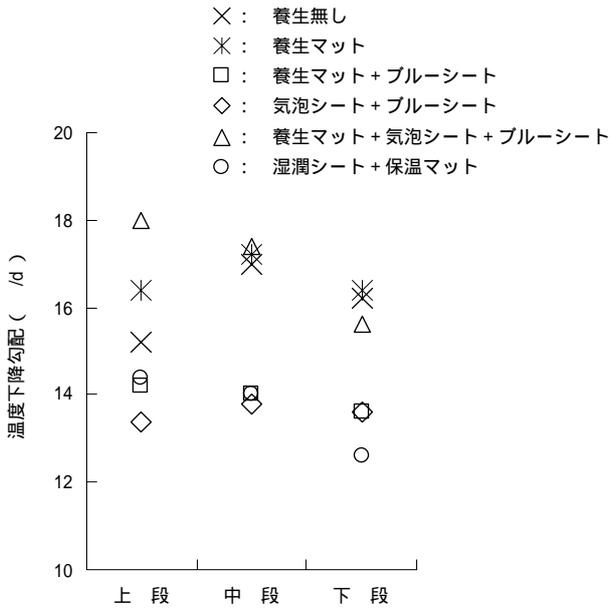
第5表 最高温度
Table 5 Maximum temperature

養生方法	最高温度時 材齢 (h)	最高温度 ()
養生無し	12.5	34.5
養生マット	15.5	44.5
養生マット+ブルーシート	17.0	44.1
気泡シート+ブルーシート	17.0	43.8
養生マット+気泡シート+ブルーシート	17.0	48.0
湿潤シート+保温マット	17.0	53.3

第4表 コンクリート配合表
Table 4 Table of mixture proportions for concrete

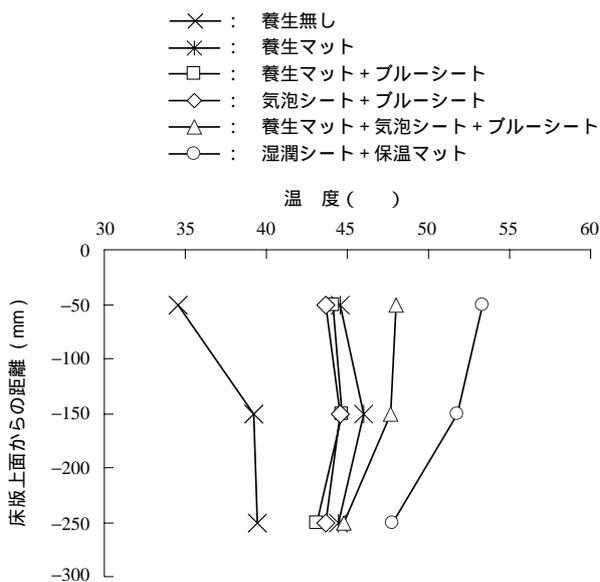
粗骨材 最大寸法 (mm)	目 標 スランブ (cm)	水セメント 比 W/C (%)	空気量 (%)	粗骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
					水 W	セメント C	細骨材		粗骨材 G	混和材 Ad
							S ₁	S ₂		
20	10 ± 2.5	44.1	4.5 ± 1.5	43.0	160	363	567	188	1 030	3.09

(注) セメント: 早強ポルトランドセメント
細骨材: 粗目砂 (相模川水系産): 細目砂 (千葉県市原市万田野産) = 3:1 (体積比)
粗骨材: 砕石 (神奈川県津久井郡城山町小倉産)
混和材: 高性能 AE 減水剤 (フローリック SF500S)

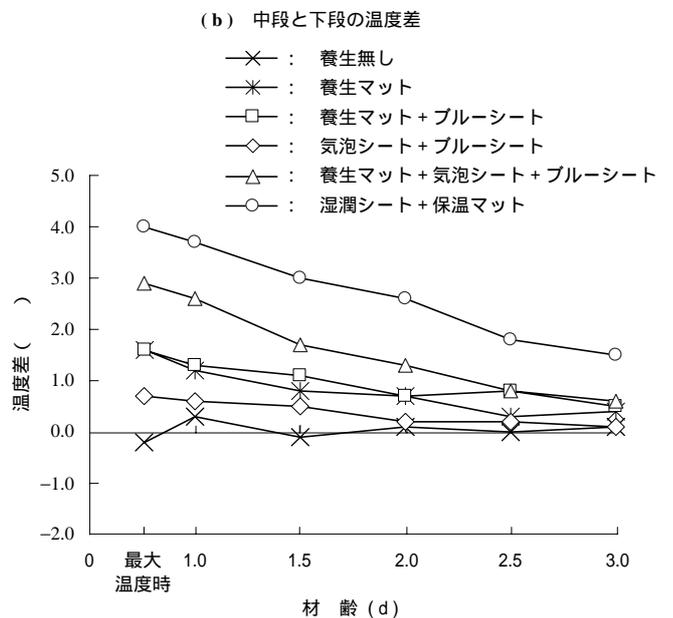
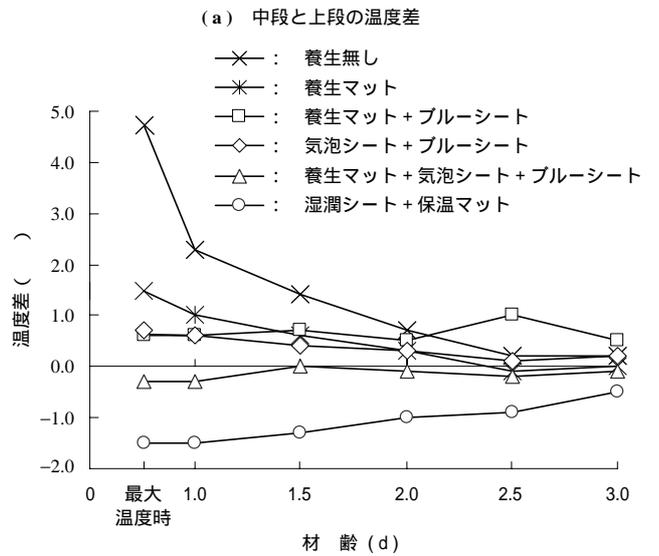


第 6 図 温度下降勾配 (材齢 1.0 ~ 1.5 日)
Fig. 6 Temperature downward gradient (1.0 to 1.5 day)

度勾配を示し、第 8 図には第 7 図の断面内の温度勾配を各材齢における温度差として示す。中段と上段の温度差が最も小さいものは 養生の 0.3、中段と下段の温度差が最も小さいものは 養生の 0.2 であった。しかし、養生は中段と下段の温度差が 2.9、養生は中段と上段の温度差が 4.7 と大きくなっており、全断面としてみると温度差は大きい。また 養生も、中段と上段の温度差が 1.5、中段と下段の温度差が 4.0 と温度差は大きい。その点 養生は中段と上段の温度差、中段と下段の温度差ともに最大温度



第 7 図 断面内温度勾配
Fig. 7 Temperature gradient in cross section



第 8 図 断面内温度差
Fig. 8 Temperature differential in section

時で 0.7 と小さな値となっており、試験体全断面での温度勾配が最も小さい。これは 養生の気泡シートが熱伝導率の小さい空気層から成り立っているため、適度な保温効果となっていると考えられる。

以上のことから、養生を行わなかった場合には、コンクリート表面に対する外気温の影響は大きく、また水分の気化熱によっても急速に熱が失われることが確認された。このことから、養生の保温効果を高めるためには、外気の影響を遮断するとともに、気化熱による熱の損失を低減することが重要となってくる。

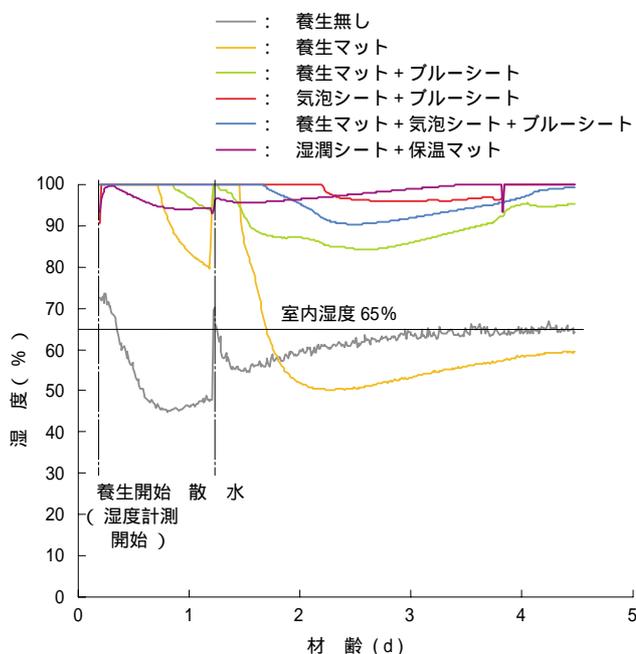
(2) 保湿効果および保水効果

1) 養生中の養生材とコンクリート間の湿度

養生材とコンクリート間を湿潤状態に保ちコンクリ

ート表面の乾燥を防ぐことで、コンクリートの強度を増進し密実なコンクリートとすることができる。

第9図に各養生方法での養生材とコンクリート間の湿度計測結果を示す。養生材とコンクリート間の湿度が低下する時期は養生方法によって異なっているが、湿度低下の原因はコンクリート表面からの水分の蒸発もしくは養生材が水分を吸収、発散することによる。上面に防水性のシート（今回の実験ではブルーシートもしくは保温マット）を敷いている場合は、いったん養生マットや湿潤シートに吸水された水分が、時間が経つにつれてコンクリート面に戻っていくことによって、再び湿度が高くなる。それに比べて、上面に防水性のシートを敷いていない場合（養生マットのみもしくは無養生）は、コンクリートの水和発熱に伴って水



第9図 湿度計測結果
Fig. 9 Results of humidity measurement

分が気化することによって、養生材とコンクリート間の湿度が急速に低下し、その後外気の湿度に漸近するようになる。養生では50%、養生では85%、養生では90%までいったん低下する。これは、養生マットが直接コンクリート表面に接していることで、水分を養生マットが吸収することによる。低下する湿度の違いは、養生マットの上に敷いている養生材の違いによる。養生では湿潤シートが急速に水分を吸収することで湿度の低下はすぐに起こるが、湿潤シートの保水効果が高いため、湿度は95%までしか低下しない。また養生は常に100%近い湿度を保っている。これは、気泡シートが水分を吸収することなく、また水分の蒸発するすき間もほとんどないためである。

2) コンクリート表面の湿潤状態

第6表に散水直前の材齢1.2日における目視によるコンクリート表面の観察結果を、第10図～第12図にそのときの試験体の状況を示す。第6表によると、養生マットにより直接コンクリート表面を被覆した養生（、、養生）においては、コンクリート表面はほぼ乾燥した状態となっていた（第10図）。そのなかでも養生マットの上に防水性のシートを敷いてあるもの（、養生）は、シートによって水蒸気が凝結され、養生マット上面のポリプロピレンクロス上に水がたまった状態となっていた（第11図）。養生は水分が湿潤シートによって保水され、コンクリート表面がやや湿った状態となっていた。養生では、気泡シートによって水分の蒸発が防がれ、コンクリート表面は全面湛水養生に近い状態となっていた（第12図）。

(3) 養生の施工性および表面の仕上がり具合

養生材のなかで、養生マットや湿潤シートといった

第6表 試験体の状態（目視確認）
Table 6 Conditions of test pieces (confirmation by observation)

養生方法	試験体の状態（材齢1.2日（散水前））		
	コンクリート表面	マット表面（コンクリート側）	マット・ブルーシート間
養生無し	乾燥		
養生マット	乾燥	やや湿り	乾燥（マット表面）
養生マット+ブルーシート	乾燥	ほとんど湿っていない	濡れ（水滴）
気泡シート+ブルーシート	濡れ（湛水）	濡れ（水滴）	乾燥
養生マット+気泡シート+ブルーシート	乾燥	コンクリート-養生マット間： 湿り 養生マット-気泡シート間： 濡れ（水滴）	気泡シート-ブルーシート間： 乾燥
湿潤シート+保温マット	やや湿り	コンクリート-湿潤シート間： 湿り	湿潤シート保温-養生マット間： 濡れ（水滴）

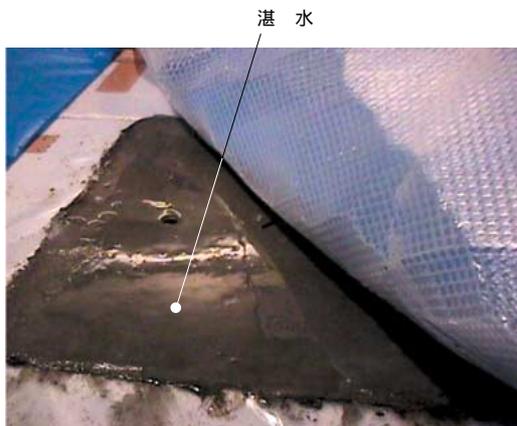
（注）順序（右へ行くほど湿潤）：乾燥 ほとんど湿っていない やや湿り 湿り 濡れ



第 10 図 コンクリート表面の状態 (養生)
Fig. 10 Condition of concrete surface (curing)



第 11 図 養生マットの状態 (養生)
Fig. 11 Condition of curing mat (curing)



第 12 図 コンクリート表面の状態 (養生)
Fig. 12 Condition of concrete surface (curing)

吸水性のシートは、散水後は水を吸って重くなるため、運搬や敷設に労を要することもある。しかし気泡シートは吸水せずかつ軽量であるため、運搬は楽である。ただし、軽量であるため強風時には風をはらんで取扱いにくい場合も考えられる。保温マットはグラスウールを特殊フィルムで密閉したマットのため厚さが 50 mm 程度

もあり、短期間で転用を繰返す床版の養生においては施工性が良いとはいえない。

養生マットは縫い目による色むらが付きやすいが、気泡シートと湿潤シートはコンクリート面に当たる側が均質な面になっているため、色むらは付きにくい。ただし、どの養生材を用いたとしても、養生材敷設の際によれた状態になっていると色むらが付きやすいので注意が必要である。

(4) コスト

第 7 表に今回実験に使用した各種養生方法の材料費でのコスト比を示す。の養生マットによる養生のコストを 1.0 とした場合のコスト比で示している。養生が材料費としては最も低コストで行うことができる。養生にかかわるコストを広くとらえれば、材料費以外に養生材の運搬や敷設に掛かる荷役、転用回数などもコストに含まれてくるが、今回の試算には含めていない。

6. 養生方法の評価のまとめ

今回の検討では、室内実験によって 6 種類の養生方法の効果についての実験的な評価を試みた。その結果について以下にまとめる。

「養生無し」

コンクリート打込み後に何も養生を行わなかった場合、表面からの水分の蒸発による乾燥が激しく、このときの気化熱によってコンクリート表面の温度も急速に失われる。このことから、上面の作業が行える程度になったら、できるだけ速やかに上面の養生を行う必要があるといえる。

「養生マット」養生

養生マットのみの養生でも保温効果があることは確認された。しかし、散水前の材齢 1 日程度ですでにコンクリート表面は乾燥した状態であり、養生マットとコンクリート間の湿度は、散水後 7 時間から 12 時間

第 7 表 コスト比較
Table 7 Comparison of costs

養生方法	コスト比
養生無し	
養生マット	1.0
養生マット+ブルーシート	1.2 (1+0.2)
気泡シート+ブルーシート	0.4 (0.2+0.2)
養生マット+気泡シート+ブルーシート	1.4 (1.0+0.2+0.2)
湿潤シート+保温マット	5.0 (2.0+3.0)

程度の間で室内湿度を下回るまで急速に低下した。以上のことから、養生マットのみで養生を行う場合は、養生期間中の散水回数を多く取り（1日に最低3回）、十分な量の散水を行う必要がある。また、可能であれば養生マットの上に水分の逸散防止用のシートを敷設する方がよい。

「養生マット+ブルーシート」養生

本養生では、保温効果については養生マットのみの養生と同程度であった。散水後の養生マットとコンクリート間の湿度の低下は85%までであったが、散水前の材齢1日程度でコンクリート表面は乾燥した状態であった。以上のことから、本養生を行う場合は、養生開始前後で十分な散水（養生マット全体が十分に濡れる程度）を行い、養生中に適宜散水を行うよう心がけるのがよい。

「気泡シート+ブルーシート」養生

気泡シートによる養生は、今回検討した養生方法のなかでは断面内の温度勾配を最も小さくできる保温効果が認められた。また、保湿効果・保水効果も大きく、水分が蒸発することなく湛水状態でコンクリート表面にとどまっていた。このことから、養生開始時からの散水の回数を大幅に減らすことができると考える。ちなみに本実験ではコンクリート表面に若干むらはではじめていたが、材齢5日時点でも十分な湿潤状態であった。ただし、本養生での気泡シートは、水分を吸水するのではなく蒸発を防ぐことに効果がある。このため、コンクリート面に大きな傾斜がある場合などには水分が流れてしまう可能性があるため注意が必要である。本養生はコストの面でも最も安価に行うことができる。また、保温効果をさらに高めるための対策としては、気泡シートを重ねて使用することが有効と考える。

「養生マット+気泡シート+ブルーシート」養生

本養生では十分な保温効果が認められた。また、散水後の養生マットとコンクリート間の湿度の低下は90%までであった。しかし、散水前の材齢1日程度でのコンクリート表面はほとんど湿っていない状態であった。以上のことから、この養生を行う場合は、養生開始前後で十分な散水（養生マット全体が十分に濡れる程度）を行っておくことによって、保温保湿効果の十分にある養生となると考える。ただし、今回のよう

に下面が合板の型枠であった場合、下面の温度勾配が大きくなってしまいう傾向にあった。そこで、下面をヒータなどで温める場合に効果的な養生方法であるといえる。もしくは、養生マットと気泡シートの敷設順序を逆にして、養生の保水効果・保湿効果を期待することも考えられる。

「湿潤シート+保温マット」養生

本養生ではコンクリートの中段よりも上面の方がさらに高い温度になるほどの大きな保温効果が得られた。しかし、版厚の薄いコンクリート床版の養生においては、これは過剰な養生といえる。また、養生方法のコストも高いため、本養生がシステムとしてコンクリート床版の養生に適するとはいい難い。

7. 結 言

養生方法をパラメータとした今回の室内実験によって、コンクリート床版における各種養生方法の基本的な特性について把握することができた。今後の課題としては、外部環境の変動が養生に与える影響の把握、養生が施工時に発生する温度応力に与える影響の検討、の二つが挙げられる。そこで現在は引き続いて、室内と実橋における計測実験および解析的検討を行っているところである。その結果については別の機会に報告したいと考える。

参 考 文 献

- (1) 社団法人土木学会：コンクリート標準示方書〔施工編〕2002年制定版 2002年3月 pp.122 - 125
- (2) マスコンクリートの温度応力研究委員会：マスコンクリートの温度応力研究委員会報告書 社団法人日本コンクリート工学協会 1985年11月 pp.3 - 16
- (3) 村上祐治, 杉山 律, 小林貞之, 三浦信隆：コンクリートの養生材の効果に関する基礎実験 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集 V-362 1998年10月 pp.724 - 725
- (4) 佐藤正俊, 上田 稔, 新見勝之, 鈴木 誠：逆解析手法を用いたコンクリートの養生条件の違いによる熱伝達係数と日射吸収率の評価 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集 V-369 1998年10月 pp.738 - 739