

論文 コンクリートの乾燥防止用各種養生剤の適用効果

榊原 泰造^{*1}・近松 竜一^{*2}・十河 茂幸^{*3}

要旨：早期に型枠を外した場合の構造体コンクリート表面の乾燥抑制対策として、各種被膜型養生剤および保水シートの性能がコンクリートの強度および耐久性に及ぼす影響について実験的に検証した。その結果、保水シートを用いた場合は暴露環境によらず封緘養生した場合とほぼ同等の乾燥抑制効果が確認された。一方、被膜型養生剤を用いた場合は水分が逸散する結果が得られ、塗布方法によっては十分な効果が得られない場合があることが判明した。また、養生剤を塗布した供試体の圧縮強度や中性化深さは供試体の水分蒸発量と高い相関があり、水分が逸散することで大きい細孔が多くなる傾向にあることが確認された。

キーワード：養生剤, 保水シート, 乾燥防止, 水分蒸発, 圧縮強度, 中性化深さ

1. はじめに

養生はコンクリート構造物に所要の性能を付与するために必要な作業の工程である。若材齢時のコンクリートは、まだ密実な硬化組織が形成されておらず表面から水分が逸散しやすい傾向にある。このため、一般には型枠の存置期間をできるだけ長くし、コンクリートの表面が直接外気にさらされないよう配慮している。しかし、型枠の存置期間は、工事の全体工程や仮設計画にも大きな影響を及ぼすことから、実際のコンクリート工事の施工では、型枠の取外しが可能な最小限の強度が発現した時点で脱枠する場合も多い。

早期に型枠を外した場合の構造体コンクリートの乾燥防止策には、散水する以外に保水シートの貼付、被膜型養生剤の散布などがある。これらはいずれも作業手間が少ない簡便な対策であるが、その効果は施工の良否に左右され、また必ずしも定量的な評価がなされていない。そこで、各種被膜養生剤および保水シートを用いた場合を対象に若材齢時における養生条件の相違がコンクリートの圧縮強度および各種耐久性に及ぼす影響について実験的に検証した。

2. 実験概要

2.1 検討要因

検討要因と水準を表-1に示す。養生材料には被膜養生剤4種類および保水シートの計5種類を使用した。比較のために封緘および気中養生した場合も検討した。型枠の脱枠材齢は1日、3日および7日、暴露環境は屋内と屋外とした。

2.2 使用材料および配合

(1) コンクリート

コンクリートの配合と品質試験結果を表-2に示す。一般的な土木構造物に用いられるコンクリートとして、高炉セメントB種を用いた呼び強度24のレディーミクストコンクリートを使用した。

表-1 検討要因および水準

検討要因	水 準
養生方法	A 水性パラフィンワックス系
	B グリコールエーテル系
	C 塩化ビニリデン系ラテックス
	D アクリル系合成樹脂
	E アクリル系保湿粘着剤(保水シート)
	気中 封緘 養生剤を適用した 供試体との比較
脱枠材齢	1日, 3日, 7日
環境条件	1 屋内: (20°C60%RH恒温恒湿室)
	2 屋外: (3月中旬より半年間暴露)

*1 (株)大林組 技術研究所 土木材料研究室材料施工グループ主任 工修 (正会員)

*2 (株)大林組 技術研究所 土木材料研究室材料施工グループ長 工修 (正会員)

*3 (株)大林組 技術研究所 副所長 工博 (正会員)

表-2 実験に使用したコンクリート (24-12-20BB) の配合および品質試験結果

水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)					スラフ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	標準養生の圧縮強度 (N/mm ²)				
		W	C	S	G	AD				3日	7日	28日	91日	182日
58.5	44.9	165	283	820	1029	3.68	10.0	5.6	10.2	12.4	22.0	37.2	46.8	48.4

【BB】: プレーン値 3800cm²/g, 密度 3.04g/cm³, 【S】: 表乾密度 2.63g/cm³, 【G】: 表乾密度 2.68g/cm³, 【AD】: AE減水剤

表-3 実験に用いた各種養生剤の標準塗布量と供試体形状毎の塗布量

銘柄	分類	比重	標準使用量	供試体毎の塗布量 ^{※1}		
				φ10×20 cm	10×10×40 cm	31.5×22.5×5.5 cm
養生剤	A 水性パラフィンワックス系	1.17	200 (ml/m ²)	16 (ml)	36 (ml)	14 (ml)
	B グリコールエーテル系	0.80	150 (g/m ²)	12 (g)	27 (g)	11 (g)
	C 塩化ビニリデン系ラテックス	1.03	300 ^{※2} (ml/m ²)	24 (ml)	54 (ml)	21 (ml)
	D アクリル系合成樹脂	0.96	120 ^{※3} (g/m ²)	10 (g)	22 (g)	9 (g)
保水シート	E アクリル系保湿粘着剤	—	—	—	—	—

※1: 表面積 (φ10cm×20cm)0.0785m², (10cm×10cm×40cm)0.18m², (31.5cm×22.5cm×5.5cm)0.07m²

※2: 5倍希釈液 ※3: 2倍希釈液

表-4 コンクリートの試験項目および試験方法

試験項目	試験方法 (準拠標準)	供試体形状 (cm)	試験水準 あたりの 供試体数
水分蒸発量試験	(参考)【ASTM C 156】Standard Test Method for Water Retention by Concrete Curing Material コンクリート打込み後の水分蒸発量を, 経時的な質量変化によって求める	31.5×22.5×5.5	2
圧縮強度試験	【JIS A 1108-1999】コンクリートの圧縮強度試験方法	φ10×20	3
促進中性化試験	材齢91日後の各供試体について, 温度30±2°C, 相対湿度50±3%, 炭酸濃度5±0.5%環境下で56日間暴露	φ10×20	3
長さ変化試験	【JIS A 1129-1-2001】モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法(ダイヤルゲージ法)	10×10×40	3
細孔径分布試験	日本コンクリート工学協会「コンクリートの試験・分析マニュアル」2000.5 5.3.7微構造/組織の分析(3)空隙率, 細孔径分布の測定方法, F-3水銀圧入法	強度試験終了後のコンクリート塊表面から2cm以内で採取	1

※促進中性化試験で使用したφ10×20供試体は, 円柱中心からの半径が50mmであり, 表面からの深さが50mm程度であるコンクリートを対象とした水分蒸発量試験の試験結果との整合を図った。

(2) 養生剤

実験に用いた各種養生剤の分類およびメーカーが推奨する標準塗布量を表-3に示す。供試体の表面積あたりの塗布量も記した。

2.3 試験方法と試験水準

コンクリートの試験方法を表-4, 試験水準を表-5に示す。供試体の脱枠は, 材齢1, 3および7日の3水準とした。なお, 水分蒸発量試験の場合は, 上記材齢にて矩形コンクリート供試体の一面のみを露出させ, 乾燥開始材齢とした。

(1) 水分蒸発量試験

平面寸法が31.5×22.5cm, 深さ5cmの皿形のプラスチック製容器に打ち込んだコンクリートについて, 打込み表面からの水分蒸発に伴う供試体の質量減少量を測定した。養生剤塗布直後の供試体質量を基準とし, 乾燥後の供試体の質量との差を露出面積で除した水分蒸発量(g/cm²), および残存質量差をフレッシュコンク

リートに含まれる単位水量の測定結果より算出される供試体の含有水分量で除した水分蒸発率(%)を求めた。

(2) 圧縮強度試験および長さ変化試験

圧縮強度試験において, 養生剤を塗布した供試体は養生剤が表面に付着した状態で, 保水シートを貼付した供試体は試験直前にシートを剥いだ状態で載荷した。長さ変化試験は, 脱枠して養生した直後の供試体の長さを初期値とし, 20°C60%RHの条件下で供試体長さを測定した。

(3) 促進中性化試験

各種養生対策を講じた供試体を材齢91日まで所定の環境下で暴露した。その後, 供試体の両端面をエポキシ樹脂により被覆し, 温度30±2°C, 相対湿度50±3%, CO₂濃度5±0.5%の環境下で56日間暴露した。中性化深さの判定は, 供試体の割裂面にフェノールフタレイン溶液を噴霧し, 供試体側面からの無変色部分の深さを測定した。

表-5 コンクリートの試験水準

脱枠 材齢 (日)	養生方法	水分蒸発量					圧縮強度					促進 中性化	長さ変化				細孔径 分布
		3d	7d	28d	91d	182d	3d	7d	28d	91d	182d		7d	28d	91d	182d	
1	封緘養生	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					○
	養生 B,C,E	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●					○
	気中養生	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●					○
3	養生 A,D		●	●	●	●		●	●	●	●	●	○	○	○	○	
	養生 B,C,E		●	●	●	●		●	●	●	●	●	○	○	○	○	
	気中養生		●	●	●	●		●	●	●	●	●	○	○	○	○	
7	養生 B,C,E			○	○	○			○	○	○	●					
	気中養生			○	○	○			○	○	○	●					

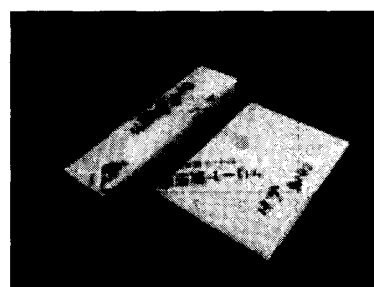
【養生後の暴露環境】 ○: 恒温恒湿室(20±2℃, 60±5%RH)のみ, ●: 恒温恒湿室または降雨の影響を受ける乾湿を伴う屋外



(a) ヘラによる塗布状況



(b) 霧吹きによる噴霧状況



(c) 保水シート貼付完了状況

写真-1 各種供試体への養生剤の塗布および保水シートの貼付状況

(4) 細孔径分布測定

材齢 91 日の圧縮強度試験後の供試体より表面から 20mm の範囲で試料採取した。水銀圧入式ポロシメータにより細孔径分布を測定し、細孔容積および平均細孔半径を算出した。

2.4 供試体の作製方法と養生剤の塗布方法

各種供試体の作製は、JISA1132-1999 に準拠し、脱枠までの期間は 20℃60%RH の恒温恒湿室に静置した。供試体はコテ仕上げした後、天端面を合板で覆い、型枠存置中にコンクリートの表面から水分が逸散しないよう配慮した。

写真-1 に養生剤の塗布状況および保水シート貼付後の供試体を示す。それぞれの養生剤は、所定材齢で脱枠した直後に、メーカーが推奨する標準塗布量を各種供試体の表面に塗布した。水分蒸発量試験用供試体では、所定量の養生剤を正確に塗布するために養生剤の付着が少ないプラスチック製のヘラを使用した。また、型枠と供試体側面のすきまから水分が蒸発するのを防ぐため、あらかじめシール剤により型枠と供試体の境界をシールした。圧縮強度、中性化

および長さ変化試験用供試体については、養生剤を霧吹きで噴霧した。霧吹きによる塗布作業は、塗布ブースの内部で行い、養生剤が気中に拡散するのを防止した。また、供試体表面に均等量の養生剤を塗布するため、霧吹き 1 押しあたりの散布量をあらかじめ測定し、養生剤の使用量と供試体の散布面積に応じて散布回数を設定した。

保水シートは、コンクリート表面が気中に露出しないよう供試体に直接貼付した。

封緘養生用供試体は、材齢 1 日で脱枠した後、ポリエチレン袋に入れて密閉した。気中養生用供試体は、養生剤を塗布した供試体と同じ暴露環境に放置した。

2.5 養生後の供試体の暴露環境

所定の材齢で脱枠し、養生剤塗布および保水シートを貼付した供試体は、20±2℃, 60±5% RH に調整した恒温恒湿室および風雨に曝され日射の影響を受ける屋外環境で 6 ヶ月暴露した。屋外環境は、東京の平野部で 3 月～8 月の期間、気温 0～35℃, 湿度 15～100% の範囲で推移した。

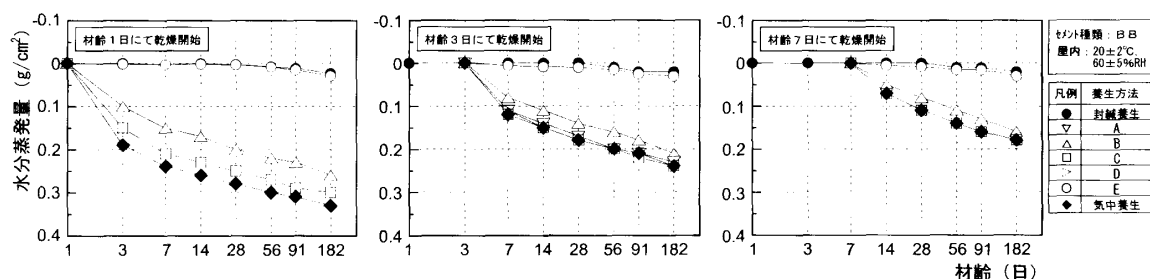


図-1 各種養生剤を用いた供試体の水分蒸発量の時系列推移（乾燥開始材齢別）

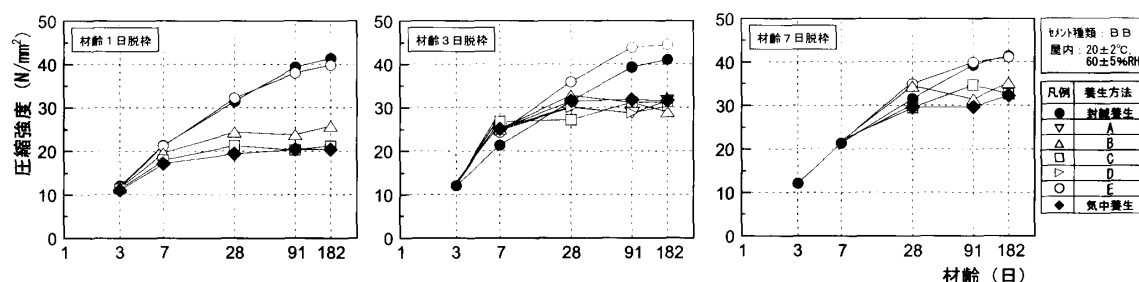


図-2 各種養生剤を用いた供試体の圧縮強度発現特性（脱枠材齢別）

3. 実験結果および考察

3.1 室内環境に暴露した場合

(1) 水分蒸発量

各種養生剤を用いた供試体の水分蒸発量の推移を、乾燥開始材齢別に図-1に示す。保水シートEを用いた場合は、封緘養生した場合と同様にほとんど水分の逸散がなく、乾燥開始材齢に係わらず優れた保湿効果を有していた。

一方、気中に供試体をさらした場合は、早期に合板を撤去するほど水分蒸発量が増大し、材齢182日の水分蒸発量は、乾燥開始材齢7日に対して、乾燥開始材齢1日では約1.8倍であった。

膜養生剤を用いた場合は、気中養生と同様に徐々に水分が逸散する結果となった。養生剤Bを用いた場合には、気中養生に対して、乾燥開始材齢1日では20%、7日では10%程度の水分抑制効果が認められたが、種類によってはほとんど効果がない場合があることも判明した。なお、この原因としては、塗布方法、重ね塗りの回数や塗布時のロスの影響などが考えられる。

(2) 圧縮強度

各種養生剤を用いた供試体の圧縮強度発現特性を脱枠材齢別に図-2に示す。

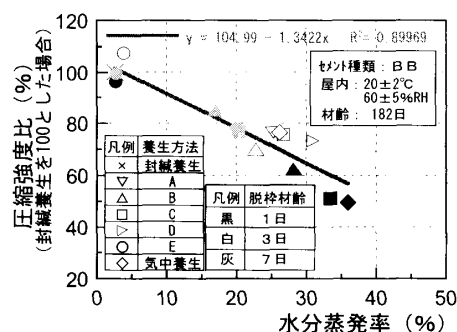


図-3 水分蒸発率と圧縮強度比の関係

保水シートEでは、脱枠材齢によらずいづれも封緘養生と同等以上の強度発現が得られた¹⁾。一方、気中養生および膜養生剤を用いた場合は水分蒸発量が大きいのほど強度発現が小さくなった。材齢1日で脱枠した場合、養生剤Bを用いることで気中養生に比べて約20%の強度が増大しているが、その他の養生剤を用いた場合は気中養生と大差なく、封緘養生した場合の50%程度にとどまる結果となった。

材齢182日における各種供試体の水分蒸発率と封緘養生に対する圧縮強度比の関係を図-3に示す。供試体の養生方法によらず水分蒸発率が高い供試体ほど圧縮強度比も小さく、両者の間には高い相関が認められた。

(3) 中性化深さ

各種供試体の促進中性化試験結果を図-4に示す。保水シートEを用いた供試体の中性化深さは、封緘養生した場合とほぼ同等であった。また、養生剤Bを用いた場合は気中養生に比べ約20%程度の抑制効果が認められた。さらに、養生剤B、Cおよび気中養生では、早期に脱枠した場合ほど中性化深さが大きく、材齢7日で脱枠した場合に対して、材齢1日で脱枠した場合の中性化深さは1.5倍以上となった。

水分蒸発率と中性化深さの関係を図-5に示す。養生条件の違いによらず、供試体の水分蒸発率とともに中性化深さも増大する結果となり、両者の間には相関が認められた。

(4) 長さ変化

各種供試体の乾燥収縮特性を図-6に示す。養生剤A～Dを用いた場合は、気中養生した場合とほぼ同等の収縮特性を示し、収縮ひずみは材齢182日で 600μ となった。一方、保水シートEを用いた場合の収縮ひずみは、同一材齢において 300μ で、約50%の低減効果が認められた。なお、上記の結果には、セメント自体の自己収縮の影響を含んでいる。

(5) 細孔径分布

材齢1日で脱枠した供試体の材齢91日における細孔径分布の測定結果を図-7に示す。

全細孔量はいずれの供試体も約 0.1ml/g 程度で大差がなかったが、平均細孔半径は養生方法による差異が認められた。保水シートEを用いた場合は、封緘養生の場合とほぼ同等で 7.2nm であるのに対し、養生剤B、Cを用いた場合は、 10.8nm 、 12.9nm 、気中養生の場合は 18.1nm であった。図-7によれば、上記した平均細孔半径が大きい場合ほど径の大きい細孔の割合が多い傾向が認められる。特に、保水シートEを用いた場合は、 10nm 以下の細孔が卓越して封緘養生の場合に近い分布を示したのに対し、養生剤Bでは、 $30\text{nm}\sim 700\text{nm}$ の径を有する細孔が卓越し気中養生の場合に近い分布を示す結果が得られた。

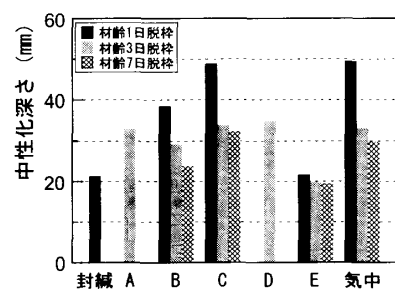


図-4 各供試体の中性化深さ

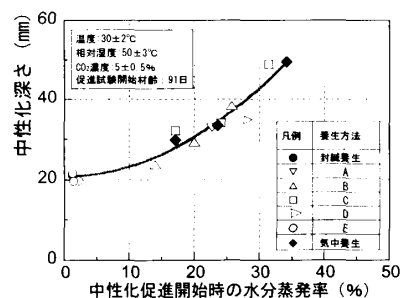


図-5 水分蒸発率と中性化深さの関係

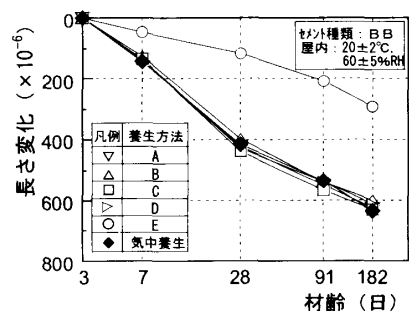


図-6 各供試体の乾燥収縮特性

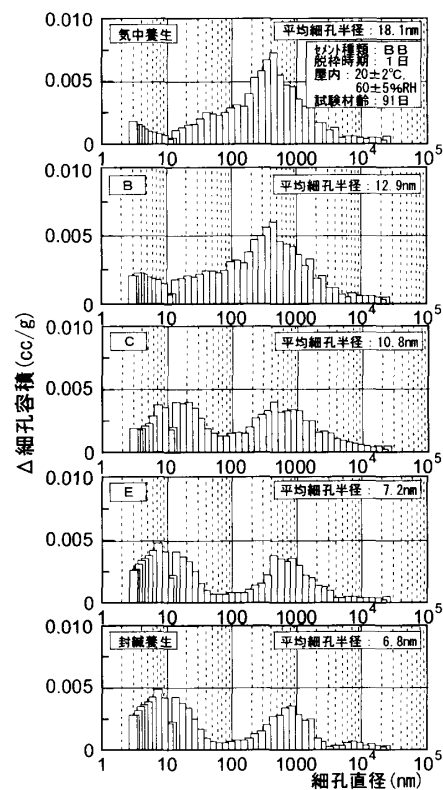
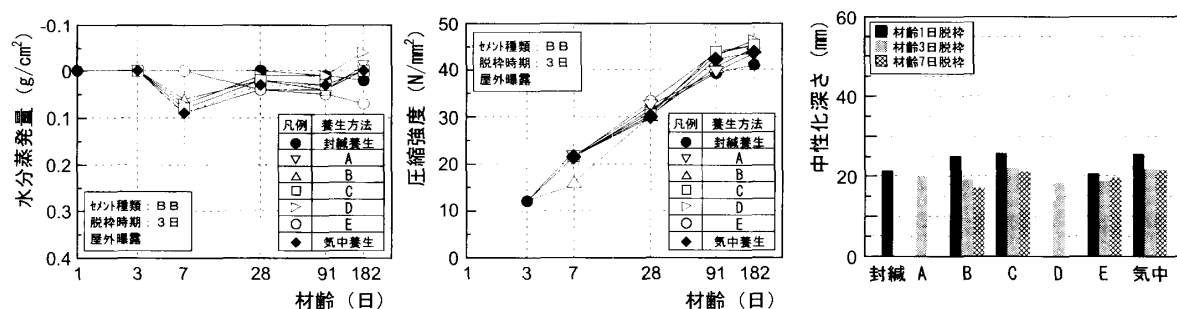


図-7 各供試体の細孔径分布



(a) 水分蒸発量の経時変化 (b) 圧縮強度発現特性 (c) 促進中性化深さ
図-8 屋外に暴露した各種供試体の水分蒸発量の推移と圧縮強度、促進中性化試験結果

3.2 屋外環境に暴露した場合

屋外環境に暴露した各種供試体の水分蒸発量の推移と圧縮強度発現特性および促進中性化試験結果の一覧を図-8に示す。

水分蒸発量に関しては、気象作用による乾湿の影響を受けており養生剤の適用効果を評価することは困難であるが、屋内の恒温恒湿下に暴露した場合に比較して経時に伴う水分蒸発量の変化は少なかった。

圧縮強度については、養生剤を塗布したいずれの供試体も、封緘養生とほぼ同等で材齢28日での圧縮強度が30N/mm²以上となった。なお、材齢182日での封緘養生と気中養生の強度差が屋内暴露環境下では約10N/mm²であるのに対し、屋外に暴露した場合は約3N/mm²と大差ない結果が得られた。

中性化深さについては、材齢3日以降の脱枠では、封緘養生および気中養生を含むいずれの養生剤についても同程度であった。

以上のように、屋外環境においては気象条件として風雨や日射の影響を受けるため、前述した屋内環境の場合とは異なり、封緘養生と気中養生の相違がほとんど生じていない。その結果、水分蒸発率の変化が小さく、圧縮強度や中性化深さに関しても各供試体間の差も小さい結果になったものと考えられる。

4. まとめ

各種被膜型養生剤および保水シートの適用がコンクリートの強度および耐久性に及ぼす影響について検証した。本実験の範囲内で得られた知見を以下に示す。

(1) コンクリート表面の乾燥防止対策として保水シートを用いた場合、暴露環境によらず封緘養生した場合とほぼ同等の乾燥抑制効果を付与することができる。

(2) 各種被膜型養生剤を供試体表面に塗布し屋内の恒温恒湿環境下に暴露した場合、これらを用いない気中養生した場合と同様に材齢の経過に伴って水分が逸散する結果となった。気中養生に対する乾燥低減割合は最大でも約20%程度と少なく、膜養生剤の種類や塗布方法によっては十分な効果が得られない場合がある。

(3) 各種養生方法を用いた場合の圧縮強度特性や中性化深さは、水分蒸発率との間に高い相関がある。また、若材齢時に乾燥の影響を受けた場合には大きな径の細孔の割合が多い傾向がある。

参考文献

- 1) 近松竜一, 近藤紀人, 中嶋智史: コンクリートの表面貼付型養生テープの開発, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.24, No.1, pp.1035-1040, 2002