

論文 コンクリート用養生剤の性能評価方法と品質基準のための検討

坂井 春菜*1・井出 朋孝*2・小島 正朗*3・濱崎 仁*4

要旨：コンクリート用養生剤の水分保持性の評価方法として 2022 年に JASS 5 T-407 が提案され、湿潤養生の代替となる目安が示された。しかし、硬化後のコンクリートの品質・性能との関係は明らかでなく、所要のコンクリートの性能を確保するための養生剤の品質基準についても検討が必要である。本研究では、養生剤の性能評価方法の提案と品質基準の検討を目的とし、JASS 5 T-407 における試験条件について実験的に確認し、試験条件の提案を行った。また、これらの試験方法による水分逸散率と硬化後の強度、中性化抵抗性等との関係について確認し、品質基準を決定するための考え方とその例について示した。

キーワード：コンクリート用養生剤、水分逸散率、性能評価、品質基準、強度、表層品質、中性化

1. はじめに

コンクリートの養生は、所定のコンクリートの品質・性能を得るために極めて重要であり、セメントの種類に応じて打込み後の養生の期間が定められている。近年、適用が拡大している環境配慮型コンクリートなどは、初期の強度発現が緩やかなため、この期間の養生が品質に大きく影響することが知られている。一方、コンクリートの散水期間を長くすると工事工程上の制約となる側面があるため、散水養生に代わる養生剤を活用した養生が期待されている。

2022 年の日本建築学会 JASS 5 の改定では、8.2 湿潤養生の a 項に、新たに「JASS 5 T-407（コンクリート養生剤の水分逸散抑制効果試験方法）によって効果が確認された養生剤の散布」による湿潤養生が規定された。JASS 5 T-407 は、ASTM C156¹⁾を参考に試験条件などが見直され、水分逸散率（養生のない試験体の水分逸散量に対する養生を行った試験体の水分逸散量の比）で評価することとされている。また、JASS 5 の解説には、養生剤未使用に対する水分逸散率 15%以下を目安として湿潤養生に代わると考えてよい、との記載がある。しかしながら、これは豊福らの研究²⁾などの研究例を参考にしたものであり、JASS 5 T-407 の試験条件に基づいたものではなく、強度や中性化抵抗性などの硬化後のコンクリートの品質・性能と関係づけて決定されたものではない。また、近年市販されている養生剤には、初期のプラスチック収縮ひび割れの抑制や、コテならしの補助を目的とするものも多く、水分逸散を抑制する性能については確認されていないのが現状である。

本研究は、硬化後のコンクリートの品質・性能に基づく、養生効果を適切に評価できる養生剤の性能評価方法

及び品質基準の検討を目的としている。本論文では、JASS 5 T-407 の試験方法の改良のための提案と養生剤の品質基準を検討するための評価の考え方について述べる。

2. 養生剤の性能評価方法の検討

2.1 検討内容

前述の通り、JASS 5 T-407 は、ASTM C156 が参考にされているが、詳細な試験条件には違いがある。表-1 に JASS 5 T-407 と ASTM C156 の試験条件の比較を示す。

また、これまでの研究は、JASS 5 T-407 の制定以前に行われた研究事例が多く、試験方法も ASTM C156 が適用されている。そのため本節では、試験条件が水分逸散に及ぼす影響について調べ、適切な養生剤の性能評価方法についての検討を行った。

表-1 JASS 5 T-407 と ASTM C156 の試験条件の比較

試験条件	JASS 5 T-407-2022			ASTM C156-20		
品質基準	水分逸散率 15%以下			72 時間後の水分逸散量 550g/m ² 以下		
調査	C(セメント)	S(砂)	W(水)	C	S	W
	1	2.3	0.4	1	2.5	0.4
材料	普通	標準砂	水道水	普通	標準砂	
	JIS R 5210	JIS R 5201		ASTM C150 type1	ASTM C778	
試験期間	7 日間			72 時間 (3 日間)		
温湿度	20±3°C/60±5%Rh			23±2°C/50±10%Rh		
風速	規定なし			規定なし		
試験体	各 3 体以上			3 体以上		
型枠	表面積 12,000mm ² 以上, H20-40 mm			表面積 12,000mm ² 以上, H19 mm 以上		
シーリング方法	試験体側面からの水分蒸発を防ぐよう処理すること。					
形状	規定なし			円形,長方形(W:L=1:1~2)		

*1 芝浦工業大学建築学部建築学科（学生会員）

*2 長谷工コーポレーション技術研究所・修（工）（正会員）

*3 竹中工務店技術研究所・博（工）（正会員）

*4 芝浦工業大学建築学部 教授・博（工）（正会員）

2.2 実験概要

JASS 5 T-407 の試験条件が水分逸散率に及ぼす影響について確認するため、実験の要因を、(1)調合 (砂セメント比)、(2)型枠深さ、(3)風速、(4)シーリング方法 (型枠の側面からの水分逸散を抑制する方法) の4つとした。

2.3 使用材料

試験に使用したモルタルの材料は、普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm³)、セメント強さ試験用標準砂(密度 2.46g/cm³)、水(水道水)を使用した。特に記載のない場合、調合は S/C=2.3, W/C=0.4 とし、型枠はプラスチック容器(内寸 W×D×H=81×177×32mm)を使用した。養生剤は、2種類(No.1: 非イオン系界面活性剤, No.2: 合成樹脂系)を使用した。養生剤の塗布量は、メーカーの標準量とし、No.1 が 200g/m²、No.2 が 170g/m²とした。

2.4 実験手順および実験の要因と水準

実験手順については JASS 5 T-407 に準拠し、要因(1)～(4)が水分逸散に及ぼす影響を調べた。無塗布、養生剤 No.1, No.2 の2種類で比較を行った。

(1) 調合 (S/C)

S/C を 1.7, 2.0, 2.3 とし、W/C は 0.4 で一定とした。いずれも JIS R 5201 によりモルタルフローを確認した。

(2) 型枠深さ

型枠深さを 19, 32, 65mm とし、容器の内寸は 124×87×19mm, 177×81×32mm, 114×114×65mm のものを使用した。それぞれの面積/周長の値は 26～29mm である。

(3) 風速

風速は無風、微風、および日本国内の日平均風速の平均 (3.3m/s) を考慮して、試験水準を 0, 1.5m/s (±0.15m/s), 3.5m/s (±0.1m/s) とした。

風速の制御は、大型の扇風機で水平に風を生じさせ、風速計で計測しながら扇風機からの距離により調整した。

(4) シーリング方法

モルタルが収縮することにより型枠と供試体の隙間から水分が蒸発すると考えられるため、モルタルと型枠の界面のシーリング方法を以下の4通りとして比較した。

方法 A 型枠の上端まで打込む。

方法 B 型枠の上端から 2mm 程度下げ打ち込む。

方法 C ブチルゴム製の止水テープを型枠の周囲に取り付けテープ上端 2mm 程下げてコテで均す。

方法 D 型枠上端までモルタルを打込み、ブリーディング消失後に型枠に沿わせながら周囲を 5mm 程度削り弾性接着剤で隙間を埋める。

表-2 シーリング方法

方法B	方法C	方法D
		

2.5 実験結果および考察

(1) 調合 (S/C)

調合 (S/C) による水分逸散量と水分逸散率の比較を図-1 および図-4 に示す。S/C が小さいほど水分逸散量が増加する傾向にあったが、水分逸散率には顕著な差は表れなかった。そのため、当初の調合条件である S/C=2.3 を変える必要がないと判断した。

(2) 型枠深さ

型枠深さによる水分逸散量と水分逸散率の比較を図-2 および図-5 に示す。型枠深さが深いほど水分逸散量は増加したが、水分逸散率はその深さでも差が現れなかったため、当初の型枠深さ 20～40mm で良いと判断した。

(3) 風速

風速の違いによる水分逸散量と水分逸散率の比較を図-3 および図-6 に、風速と水分逸散量の関係を図-7 に示す。無塗布時は風速が大きくなるほど水分逸散量が増加する一方、塗布時では無塗布時と比較して、風速が大きくなっても水分逸散量が増加しない傾向が確認される。そのため、相対評価となる水分逸散率は、風速が大きいほど小さくなる。

無風の場合でも水分逸散量 1500g/m² 程度は水分が逸散し、水分逸散量 1500g/m² 以上の範囲は風の影響によるものと推測される。本実験の結果からは、僅かな風でも水分逸散量に大きく影響しており、養生剤は風に対してより効果を発揮していることが分かる。

実際に屋外の施工現場では、日常的に風が吹いており、この影響については考慮しておく必要がある。図-7 に示すように、水分逸散量は風速に対して対数関数的に増加しており、養生剤の有無によってその傾向が異なっている。しかし、JASS 5 T-407 に規定される試験環境については、温湿度は規定されているものの風速に関する規定はなく、ASTM C156 も同様である。前述の豊福らによる研究²⁾では、試験時の環境として恒温恒湿槽内で実験が実施されたことを確認しており、槽内では風が循環していたことが予想される。JASS 5 の解説における湿潤養生と同等とした水分逸散率の目安は、このデータが参考にされており、これらの品質の目安についても改めて検討する必要があると思われる。また、品質基準を検討する場合、無風の条件による水分逸散率とあわせ、現場での実用的な性能を考慮し、一定の風速条件での水分逸散率についても評価するとよいと考えられる。

(4) シーリング方法

図-8 にシーリング方法による水分逸散率の比較を示す。JASS 5 T-407 では、シーリング方法について具体的な方法は示されていない。

シーリング方法による違いを見ると、全体的に方法 C、方法 D のシーリング方法の場合に水分逸散率が小さく

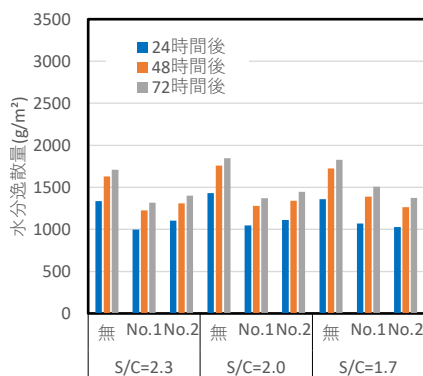


図-1 割合による水分逸散量の比較

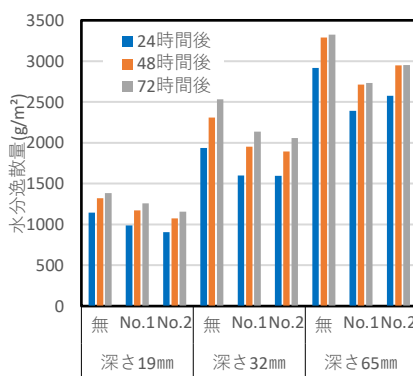


図-2 型枠深さによる水分逸散量の比較

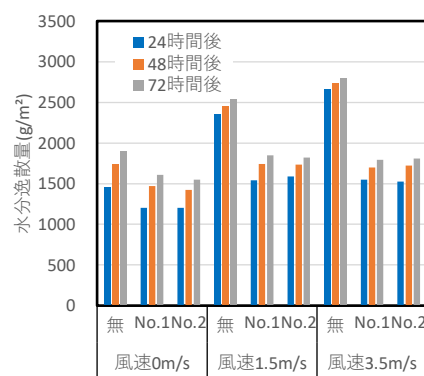


図-3 風速による水分逸散量の比較

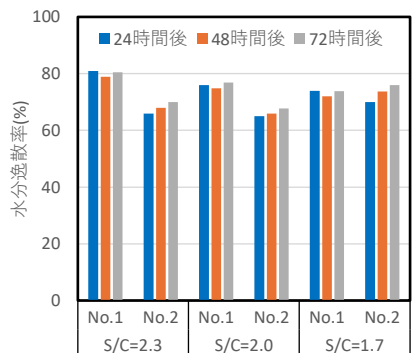


図-4 割合による水分逸散率の比較

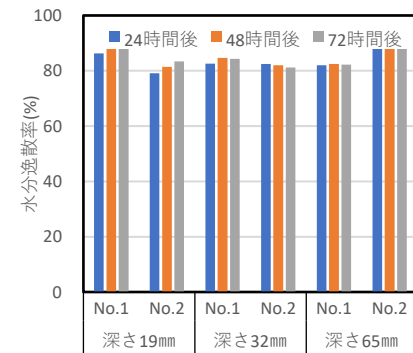


図-5 型枠深さによる水分逸散率の比較

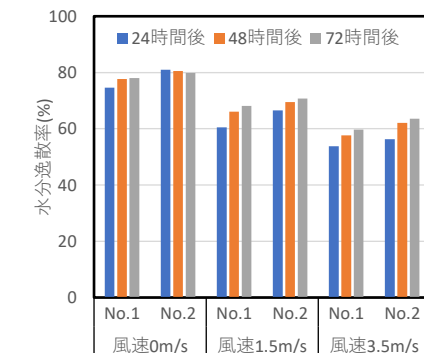


図-6 風速による水分逸散率の比較

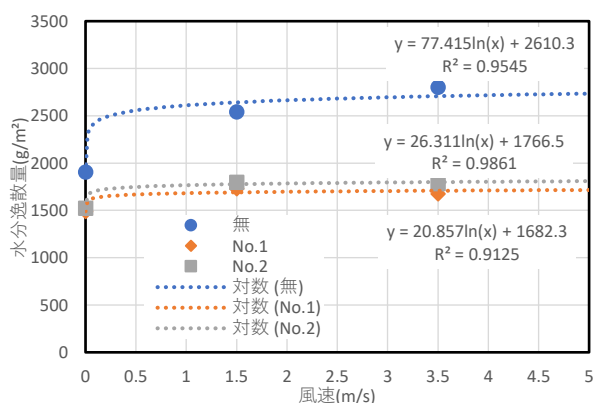


図-7 風速と水分逸散量の関係

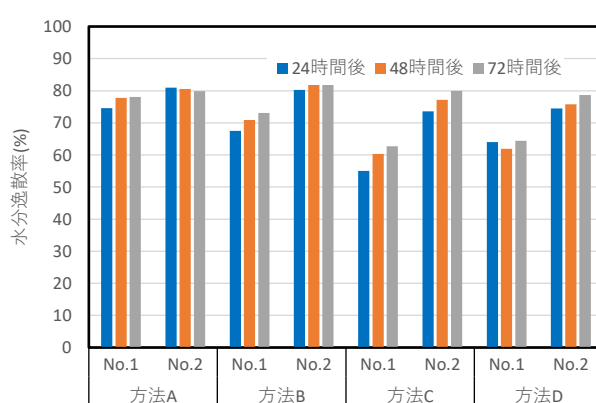


図-8 シーリング方法による水分逸散率の比較

なっている。また、No.1 の養生剤にその影響が顕著であった。また、シーリング処理をしていない方法 A と方法 B を比較した時、方法 B は、ブリーディング水が表面張力により型枠に沿ってせり上がるため材齢が進んでもモルタルの隙間に流れ込む水分があったことで方法 A とは異なる結果となったと考えられる。

方法 C の水分逸散率が最も小さくなったが、止水テープの厚みが 5mm 程度あるため、試験面積が小さくなり、シーリング処理がない場合に対して試験面積に対する水分量が多くなったことで水分逸散率が小さくなったことも考えられる。いずれにしても型枠側面からの水分逸散の影響を受けやすく、止水テープあるいは弾性接着剤等によるシーリング処理が必要であると考えられる。

2.6 養生剤の性能評価方法に関するまとめ

JASS 5 T-407 の試験条件が水分逸散量に及ぼす影響に

ついて実験を行い、以下のような知見を得た。

- (1) S/C による影響は小さく、水分逸散率と水分逸散量に顕著な差は現れなかったため、当初の割合 S/C=2.3 で良いと判断した。
- (2) 型枠の深さを深くすることで水分逸散量は大きくなるが、水分逸散率は型枠深さによる違いは少なかった。そのため、当初の型枠深さ 20~40mm で良いと判断した。
- (3) 風速が大きくなるにつれて無塗布時の水分逸散量が対数的に増加していくのに対し、養生剤を使用した場合には水分逸散量の変化が小さく、養生剤は風が吹いている条件下でより効果を発揮することが分かった。養生剤の品質基準を考える場合には、無風の条件とあわせて、一定の風速条件での評価を行うことで、風の影響を考慮することが望まし

い。

- (4) モルタルの収縮により型枠の側面から水分が逸散していることから、型枠とモルタルの間に止水テープや弾性接着剤によるシーリング処理を施すことが有効である。

3. 養生剤の諸品質の評価試験方法の検討

3.1 検討概要

養生剤が硬化後のモルタルの諸品質に及ぼす影響および水分逸散率との関係を把握し、品質基準を検討するための評価の考え方について検討した。硬化後の品質は、表-2 に示す強度発現性、表層品質、中性化抵抗性について確認した。

3.2 使用材料・試験手順

モルタルの使用材料は、2.3 に示した試験方法の検討と同様とし、養生剤による養生は前章の No.1, No.2 に加えて No.3 (合成樹脂系) を使用した。養生剤の塗布量は、メーカーの標準量とし、No.1 が 200g/m², No.2 が 170g/m², No.3 が 200g/m³ とした。比較用とした湿潤養生の供試体は、濡らしたウエスで覆った後ラップをし、水分が逸散しない状態とした。

実験における試験項目と試験方法を表-3 に示す。水分逸散率の試験は、原則として JASS 5 T-407 に従った。

型枠は、水分逸散率試験および表層品質の試験については、W×D×H=81×177×32mm のプラスチック容器を使用し、それ以外の試験項目は W×D×H=40×160×40 の鋼製型枠および圧縮強度試験用に φ50×100mm の円柱型枠を使用した。また、シーリング処理は行わず、モルタルを型枠の上端まで打込み、コテで均した後、ブリーディングが終了した時点で養生剤を塗布した。

試験は、温度 20±3℃、相対湿度 60±5%Rh の恒温恒湿室内で実施し、風速は 0 であることを確認した。各試

験は、試験体数を 3 体とした。

3.3 実験結果および考察

3.3.1 水分逸散率試験

水分逸散率試験の結果を図-9 に示す。

湿潤養生の水分逸散率は 2.5% で水分はほとんど逸散していなかった。本試験で使用した養生剤を塗布した試験体はいずれも水分逸散率が 70～90% の範囲にあった。試験結果のばらつきは、7 日時点の水分逸散率の変動係数が、養生剤無しが 1.7%、湿潤養生が 15.7%、養生剤 No.1 が 4.5%、養生剤 No.2 が 5.3%、養生剤 No.3 が 1.0% であった。湿潤養生試験体は、水分逸散率が小さいため相対的に変動係数は大きくなっているが、他の試験体については、個々の試験体間のばらつきは小さいことが分かる。

3.3.2 モルタルの品質評価試験

(1) 圧縮強度

圧縮強度試験の結果を図-10 に示す。

本試験では無塗布時の φ50mm 供試体の圧縮強度が 49.1 N/mm² と湿潤養生 (76.5N/mm²) と比較して小さい。また、角柱供試体でも同様の傾向である。養生剤を施した試験体の圧縮強度は、無養生と湿潤養生の間にあり、養生剤による効果が確認されるものの、湿潤養生より 15～25N/mm² 程度小さい値となった。

圧縮強度が大きく低下した理由としては、モルタル用の小型の試験体であり養生の影響を受けやすいこと、養生中に打込み面より水分が逸散したことにより水和反応に必要な水分が不足したことに加えて、モルタルの収縮により型枠面と供試体側面に隙間が生じ、側面からの水分も逸散したことなどが考えられる。また、塗布面積も小さいために養生剤を均一に塗布するのが難しく、塗布状態が不均一だった可能性がある。これらの影響を防ぐためには、平板状の供試体からコアを採取することな

表-3 性能評価の試験項目と試験方法

性能	試験項目		試験方法	測定材齢
水分逸散率	水分逸散量抑制試験		JASS 5 T-407 に準拠。塗布後 30 分後から計測を開始した。	1～7 日
強度発現性	曲げ強度試験		JIS R 5201 準拠。塗布面を下にして加力。	1, 4 週
	圧縮強度試験	角柱供試体	JIS R 5201 準拠。曲げ試験後の折片について、塗布面を側面にして加力。	
		円柱供試体	JIS A 1108 準拠。塗布面を上面として加力。	
表層品質	引っかき傷試験		引っかき傷試験機により 0.5, 1.0 kg の圧力で傷をつけ、その傷幅をクラックスケールで測定。	4 週
	エコーチップ試験		リープ硬さ試験機で 2 cm おきに 12 点測定。測定結果は、JIS A 1154 (反発度試験) に準じて処理。	
	直接引張試験		JASS 5 T-407 で使用した試験体の塗布面に 5 mm の切り込みを入れて 45×95mm の治具を取り付け、建研式引張試験機で測定。	
中性化	中性化促進試験		JIS A 1153 準拠。W/C=40, 60% の試験体で測定。養生剤については除去せず試験を行った。	1, 4 週

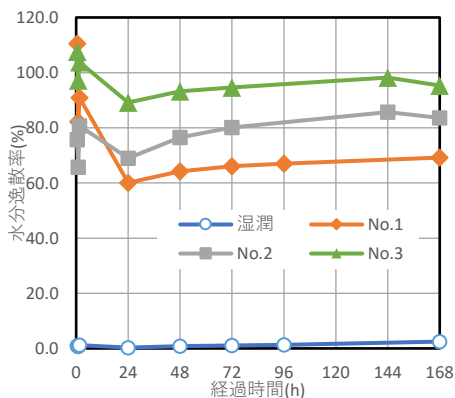


図-9 水分逸散率試験結果

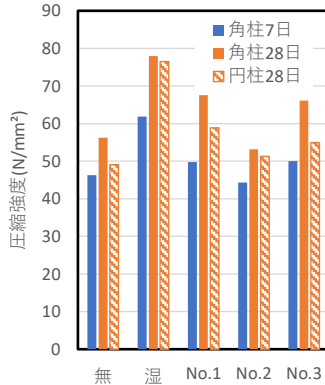


図-10 圧縮強度試験結果

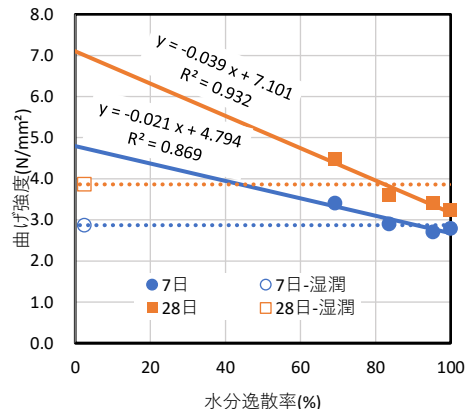


図-11 水分逸散率と曲げ強度の関係

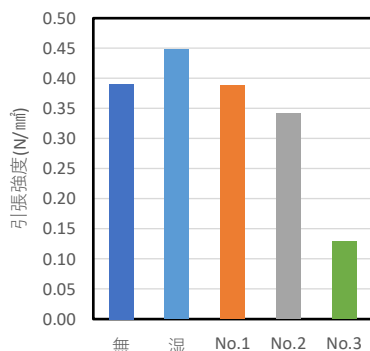


図-12 直接引張試験結果

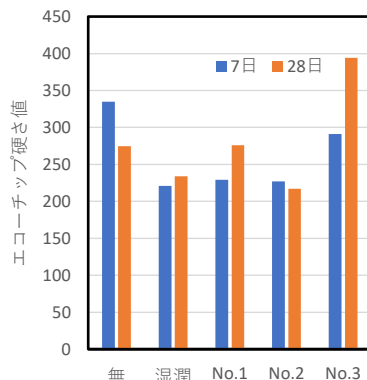


図-13 エコーチップ試験結果

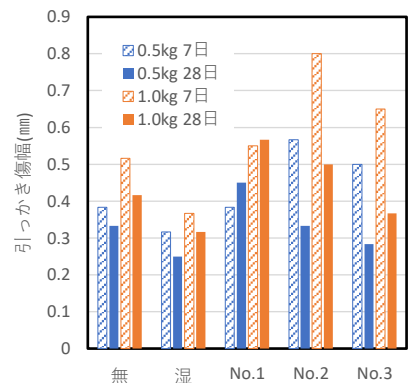


図-14 ひっかき傷試験結果

どが考えられる。

(2) 曲げ強度

豊福らの研究²⁾によると、水分逸散量は曲げ強度に良い相関性があるため養生効果を確認する試験項目として適していると言われている。図-11 に水分逸散率と曲げ強度の関係を示す。

材齢 7 日、28 日ともに水分逸散率と曲げ強度の間には強い相関関係が確認された。この関係によると、水分逸散率が 80% 程度で湿潤養生と同程度の曲げ強度が得られることになる。

また、養生剤を塗布した方が湿潤養生より曲げ強度が大きいものもあるが、本試験では塗布面を下にして試験を行っているため、塗布面から水分が逸散することで表面に収縮力が働き、曲げ試験時の引張力をキャンセルしていることなども考えられる。

(3) 直接引張試験

直接引張試験の結果を図-12 に示す。

引張強度は、湿潤養生が最も大きく、養生剤を塗布した場合には、無塗布と同程度もしくは極端に小さくなる。この理由としては、表層部に脆弱層が生じ、その結果引張強度が低下したことが考えられる。

(4) エコーチップ硬度による測定

エコーチップ試験の結果を図-13 に示す。

三谷らの研究³⁾によると、エコーチップ硬さ値は強度

が大きいほど大きい値となり、ごく表層の強度に影響を受けるとされている。また、表面が含水状態の影響を受けるとされている。今回の結果は、無塗布の硬さ値が大きく、湿潤養生が小さいことから、エコーチップは測定面が乾燥していることの影響を大きく受けており、エコーチップ試験と水分逸散率との関係で表層部の品質を評価することは難しいと考えられる。

(4) ひっかき傷試験

ひっかき傷試験の結果を図-14 に示す。

無塗布に比べ養生剤を塗布した場合のひっかき傷幅が大きくなった。養生剤の表層品質に着目した望月らの研究⁴⁾では、ひっかき傷試験においてコンクリート表面に脆弱層が確認されている。本試験でも同様に養生剤の樹脂系の成分とモルタルがごく表層で混じり一体化することで脆弱層が形成されたと考えられる。ひっかき傷幅のみで表層部の品質を評価することはできないが、養生剤によって形成される脆弱層の有無を確認するためにひっかき傷幅を指標とすることなどが考えられる。

(5) 促進中性化試験

促進中性化試験の結果を図-15 に示す。

養生剤を塗布した試験体の中性化深さは、無塗布と湿潤養生の間にある。No.3 の W/C=60% の試験体において中性化深さが 4 週目より 1 週目の方が大きい、他の試験結果と同様に極表層部に脆弱層が存在し、塗材が生

じていたことが考えられる。

図-16 に水分逸散率と中性化深さ（材齢 4 週，W/C=40%，60%）の関係を示す。水分逸散率と中性化深さには相関関係が確認された。無塗布時と養生剤塗布時の値で直線回帰し，中性化深さが湿潤養生と同等となる時の水分逸散率を求めた。その結果，W/C=40%では水分逸散率約 45%，W/C=60%では水分逸散率約 70%の時に湿潤養生と同等の中性化抵抗性が確保できることとなる。また，所要の中性化抵抗性が明らかであれば，このような考え方を適用することにより，養生剤に求められる品質基準を定めることが可能となると考えられる。

4. 結論

本試験では JASS 5 T-407 の試験条件が水分逸散に及ぼす影響について調べた。また，養生剤の品質基準を検討するための硬化後の品質・性能との関係について検討した。本研究で得られた主な知見を以下に示す。

- (1) JASS 5 T-407 の試験条件の検討結果に基づき，試験方法の留意事項について 2.6 にまとめて示した。
- (2) 圧縮強度は，養生剤による効果は確認されるものの，湿潤養生と比較して強度が著しく小さい値となった。水分の逸散に加えて，型枠とモルタルの隙間からの水分の逸散の影響等も考えられる。
- (3) 養生剤の種類によっては湿潤養生より曲げ強度が大きくなる場合もあった。曲げ強度と水分逸散率の相関関係を示し，水分逸散率が 80%程度で湿潤養生と同等の曲げ強度が得られる可能性を示した。
- (4) 表層品質の試験項目として，直接引張試験，エコーチップ試験，ひっかき試験を行った。それぞれの試験結果について水分逸散率との相関性が明らかではないが，養生剤による脆弱層の有無の確認には適用が可能であると考えられる。
- (5) 促進中性化試験結果と水分逸散率の間には相関関係が確認されたことから，湿潤養生と同等の中性化深さを得るために必要な水分逸散率を求めた。このような考え方から，所要の性能が明らかであれば，養生剤の品質基準を規定することが可能であると考えられる。

謝辞

本研究の実施に当たっては，（一社）日本建設業連合会建築生産委員会施工部会諸氏の協力を得た。また，竹本油脂（株），（株）ニューテック，アオイ化学工業（株）各社の協力を得た。記して，ここに謝意を表す。

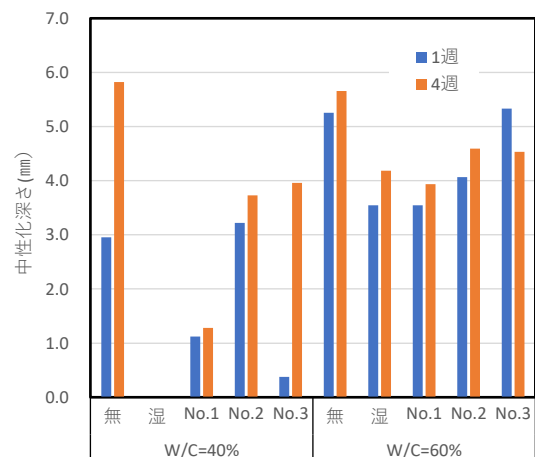


図-15 促進中性化試験結果

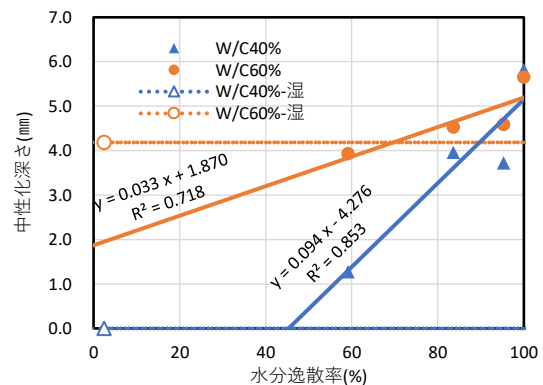


図-16 水分逸散率と中性化深さの関係

参考文献

- 1) American Society for Testing and Materials : ASTM C156-20 Standard Test Method for Water Loss [from a Mortar Specimen] Through Liquid Membrane-Forming Curing Compounds for Concrete, 2020
- 2) 豊福俊泰，潮先正博：コンクリート構造物の初期ひび割れの発生予測とこれに対応した膜養生剤の開発，コンクリート工学，Vol. 44，No. 4，pp.33-42，2006. 4
- 3) 三谷和裕，金森誠治，野中英：エコーチップを用いたコンクリートの圧縮強度推定試験方法の提案，熊谷組技術研究報告，第 76 号，2017.12
- 4) 望月昭宏，澤本武博，樋口正典：養生方法の違いがコンクリートの表層品質に及ぼす影響，ものづくり大学紀要，第 4 号，pp.39-44，2013