

◇ 報 告 ◇

塗布型高機能養生剤「クリーンセイバー[®]」の性能評価Evaluation of the Performance of Clean Saver,
a High-performance Coating-type Curing Agent丸 田 浩*, 長 塩 靖 祐*,
竹 下 永 造*MARUTA, Hiroshi*; NAGASHIO, Yasuhiro*;
TAKESHITA, Eizo*

要 旨

コンクリートの所要の品質を確保するため、養生は重要な工程であるが、建設工事の条件によっては、適切に行うことが難しい場合がある。そのような場合には、塗布型の養生剤が適用される事例もある。本報では、新規に開発した塗布型の高機能養生剤「クリーンセイバー[®]」において、従来の養生方法との比較による強度特性や耐久性に関する性能評価を行った。また、それを塗布した場合の表面美観性についても検討も行った。その結果、クリーンセイバーを塗布した場合は、長期的な水分逸散抑制効果を有し、強度向上、乾燥収縮抑制、表層品質の向上に寄与できることが確認された。また、コンクリート製品を長期的にストックした場合に発生するカビを低減することで、表面美観性の低下を抑制できることについても明らかとなった。

キーワード : 養生剤, 水分逸散, 圧縮強度, 乾燥収縮, 表層品質, 表面美観性

ABSTRACT

Curing is an essential process for achieving the required quality of concrete; however, it may be challenging to achieve proper curing under certain conditions on a construction site. In such cases, there are instances where coating-type curing agents are employed as an alternative curing method. In this study, a performance evaluation was conducted on a newly developed coating-type high-performance curing agent, "Clean Saver", with respect to strength characteristics and durability, through comparative analysis with the conventional method using moisture-retaining curing tapes. The results demonstrated that the application of Clean Saver provided a sustained and effective suppression of moisture evaporation, thereby contributing to enhanced strength development, reduced drying shrinkage, and improved surface quality. Moreover, it was revealed that the application of Clean Saver mitigated the deterioration of surface appearance through the inhibition of mold growth.

Keywords : *Curing agent, Moisture evaporation, Compressive strength, Drying shrinkage, Surface quality, Surface appearance*

1. はじめに

コンクリート構造物は、所要の強度、ひび割れ抵抗性、劣化に対する抵抗性、表面美観性などの品質を確保する必要がある。それらの品質を確保するためには、適切な養生を行い、コンクリート打込み後、十分な湿潤状態を保つことが重要である。初期材齢のコンクリートは、密実な硬化組織が形成されていないことから、表面から水分が逸散しやすい傾向にあり、コンクリートの品質に大きな影響を与える。そのため、土木学会「コンクリート標準示方書施工編」¹⁾や日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事 2022」²⁾では、湿潤状態を保つ期間が定められている。建設工事において、一般的には型枠存置期間を定めて湿潤状態を確保している。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ため、実際のコンクリート工事の施工において、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がある。さらに、部材の種類や施工条件、環境条件などの様々な制約により十分な湿潤状態の確保が難しい場合もある。以上のような場合には、シート・フィルム被覆³⁾や塗布型の養生剤⁴⁾が適用される場合がある。このうち、塗布型の養生剤は、養生期間終了後の撤去作業がないため、省力化・生産性向上が期待できる材料として注目されている。近年の少子高齢化により、労働人口の減少が深刻化す

る中で、このような材料が増加することが想定される。

他方で、i-Constructionの推進から、コンクリート構造物のプレキャスト化が進展することが予想される。プレキャスト製品において、製造効率化の観点から、屋外に長期的にストックする場合には、乾燥収縮によるひび割れだけでなく、カビの発生による表面美観性の低下が懸念される。その場合には、コンクリートの性能に影響を及ぼす可能性は低いが、見栄えの観点から除去して出荷されることとなり、余計な工程が増えることとなる。また、現場コンクリートにおいても、中性化が進行し、風通しが悪い、湿度が高い、日当たりが悪いなどの条件が揃えば、カビが発生する可能性がある。そのため、カビ発生を抑制する手法が望まれている。

このような背景から、著者らは塗布型の高機能養生剤「クリーンセイバー®」を開発した。クリーンセイバーは、水分逸散を抑制する効果に加え、塗布した箇所のカビの発生を抑制する効果を付与している。

本報では、クリーンセイバーを塗布した場合の耐久性評価において、従来技術であるシート・フィルム被覆に分類される保水養生テープとの比較検討を行った。さらに、クリーンセイバーを塗布したコンクリートのカビ発生の抑制効果についても実環境下における評価を実施した。

2. クリーンセイバーの概要および特長

クリーンセイバーは、主成分がポリオキシアルキレンアルキルエーテルであり、従来の膜養生剤と異なり、コンクリートに塗布した場合に内部へ浸透し、表面に造膜しない養生剤である。そのため、**Fig. 1**に示すように時間が経過すれば塗布による色むらなどが生じることや膜が剥がれて本来の養生効果が発揮できなくなる可能性が低い。また、クリーンセイバーは、親水性を高めることにより、水分を保持したコンクリートにおいても浸透性を向上することができ、水分逸散抑制をより効果的に発揮できる設計としている。**Fig. 2**は、従来の養生剤およびクリーンセイバーの塗布後の浸透性を測定した結果である。クリーンセイバーの浸透深さは、従来の養生剤の1.7倍程度大きいことが確認される。次に、**Fig. 3**には、表面張力を測定した結果を示す。クリーンセイバーの表面張力は、従来の養生剤よりも親水性を高めたことにより大きくなるものの、超純水よりも小さくなっていることが確認される。このことから、クリーンセイバーを塗布した場合には、コンクリート中の自由水の駆動による収縮圧力を緩和させることが期待できる。



Fig.1 Condition after Clean Saver application
(クリーンセイバー塗布後の状況)

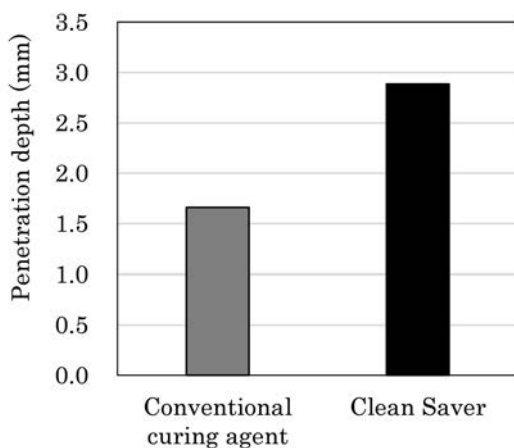


Fig.2 penetration depth of curing agent
(養生剤の含浸深さ)

3. 試験概要

3.1 コンクリート配合

Table 1にコンクリート配合を示す。セメントには早強ポルトランドセメント（記号：HC，密度： 3.16g/cm^3 ），細骨材には砂（記号：S1，密度： 2.58g/cm^3 ），砕砂（記号：S2，密度： 2.65g/cm^3 ），粗骨材には碎石（記号：G，密度： 2.66g/cm^3 ），化学混和剤にはAE減水剤（記号：Ad）を使用した。なお、スランプは $12 \pm 2.5\text{cm}$ ，空気量は $4.5 \pm 1.5\%$ となるよう調整した。

3.2 試験水準

試験水準は、脱型後の養生条件として、気中養生（PL），保水養生テープの貼付け期間を材齢7日および材齢28日とした場合（CT7およびCT28）と、クリーンセイバーを 200g/m^2 塗布し、その後気中養生した場合（CA）の4水準とした。なお、保水養生テープおよびクリーンセイバーの施工は、供試体全面に対して行った。

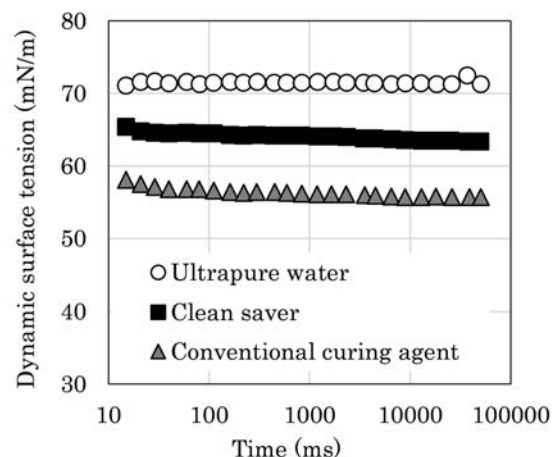


Fig.3 Dynamic surface tension
(動的表面張力)

Table 1 Mix proportion of concrete (コンクリートの配合)

Design strength (N/mm ²)	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	Unit weight (kg/m ³)					
					W	HC	S1	S2	G	Ad
30	12	4.5	48	47.5	170	355	575	254	939	3.20

3.3 試験項目および試験方法

各試験に用いた供試体は，打設翌日に脱型し，保水養生テープおよび養生剤を施工し，所定の材齢まで温度 20℃，相対湿度 60%環境下に保管した．圧縮強度試験は，JIS A 1108 に準じて，供試体寸法をφ100×200mm とし，材齢 1，7，28，91，182 日で実施した．乾燥収縮試験は，JIS A 1129（第 2 部：コンタクトゲージ法）に準じて，供試体寸法を 100×100×400mm とし，材齢 182 日まで長さ変化および質量変化を測定した．なお，供試体は水中養生を行わず，各養生を行った後，基準値を測定して試験に供した．表層透気試験は，トレント法にて測定を行い，供試体寸法を 150×150×50mm とし，材齢 7，28，91，182 日で実施し，算出した透気係数にて評価を行った．透水試験は，JSCE-K 571 に準じて，供試体寸法を 100×100×400mm とし，材齢 7，28，91，182 日で実施し，各々の材齢で 7 日間の透水量を測定した．中性化試験は，JIS A 1153 に準じて，供試体寸法を 100×100×400mm とし，CO₂ 濃度 5%，相対湿度 60%の環境下にて促進材齢 4，8，13，26 週間保管し，割裂面にフェノールフタレイン溶液を噴霧して，呈色反応を示さなかった範囲を中性化深さとして測定した．表面美観性の評価は，試験水準 PL，CA の 2 水準とし，供試体寸法を 300×300×60mm とし，養生剤を塗布後に実環境に暴露をして行った．暴露は，材齢 17 ヶ月まで栃木県にあるプレキャスト製品会社の敷地内で行い，その後材齢 21 ヶ月まで千葉県佐倉市にて行った．

4. 実験結果

4.1 圧縮強度

Fig. 4 に圧縮強度試験結果を示す．保水養生テープおよびクリーンセイバーを施工した水準の圧縮強度は，材齢初期から長期にかけて，PL よりも 10～15%程度の増進傾向が確認された．また，それらの水準毎の圧縮強度は，ほぼ同程度であった．

4.2 乾燥収縮

Fig. 5 に長さ変化を，Fig. 6 に質量変化率を示す．

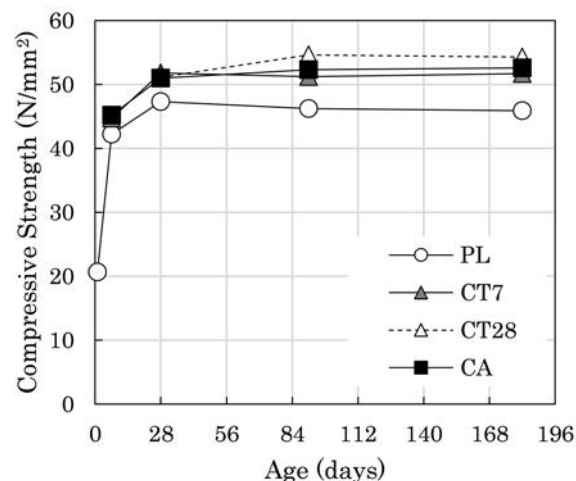


Fig.4 Compressive Strength (圧縮強度)

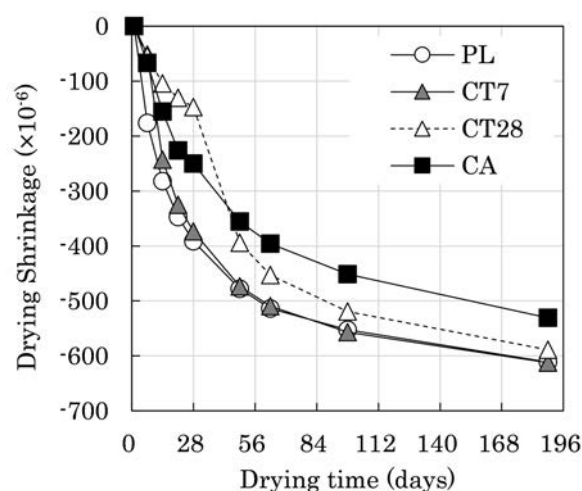


Fig.5 Drying shrinkage (乾燥収縮)

CT7 および CT28 の長さ変化は，貼付けている期間は非常に小さくなるが，剥がした以降に急激に大きくなり，その後も徐々に大きくなることが確認された．その結果，乾燥材齢 182 日における長さ変化は，PL と比べ，CT7 では同程度，CT28 も若干小さくなる程度であった．一方で，CA の長さ変化は，乾燥材齢初期から長期にかけて PL よりも小さくなり，182 日では CT28 よりも小さくなった．これらの傾向は，質量変化率でも同様の結果であり，保水養生テープを貼

付けている期間は非常に小さくなるが、剥がした以降は急激に大きくなった。CAの質量変化率は、初期から長期にかけてPLよりも小さくなり、材齢56日以降の傾きがCT28よりも小さくなった。このことから、クリーンセイバーを塗布した場合には、長期的に水分逸散を抑制する効果が確認された。

次に、Fig. 7 に長さ変化と質量変化率の関係を示す。いずれの水準も質量の減少に伴い、長さ変化が大きくなっている。CT7、CT28やCAの初期に養生を行った水準では、PLと比べ、同一の長さ変化に対して質量変化率が小さいことが確認された。水分逸散は、大きな細孔から順次起こり、小さい細孔へ進む。ここで、既往の研究⁵⁾において、収縮にそれほど影響を及ぼさない粗大な細孔が多い場合には、乾燥初期の水分逸散が大きくなることが報告されている。このことから、本検討の保水養生テープおよびクリーンセイバーを施工した水準においては、その養生効果により、細孔径が小さくなり、乾燥初期の水分逸散を抑制したと推察される。また、CT28とCAを比較すると、質量変化率が同じ場合において、CAの長さ変化はCT28よりも小さくなっている。これは、前述したとおり、クリーンセイバーには表面張力を小さくする作用が働くため、その結果として引張応力が低減された効果であると考えられる。このことから、クリーンセイバーを塗布した場合には、初期から長期にかけて水分逸散を抑制し、乾燥収縮を低減する効果が期待できる。

4.3 透気係数および透水量

Fig. 8 に表層透気試験により算出した透気係数を示す。CT7およびCT28の透気係数は、全ての材齢において、貼付け期間が長いほど小さくなる傾向を示し、PLよりも小さくなった。CAの透気係数は、材齢28日以降の材齢において、本試験水準で最も小さくなり、材齢182日でPLよりも60%程度小さくなった。

次に、Fig. 9 には透水試験結果を示す。材齢7日における透水量は、全ての水準で同程度の結果となった。材齢91日以降の透水量は、水準毎に差が認められ、 $PL > CT7 > CT28 > CA$ の順で大きくなった。CT7、CT28の透水量は、PLと比べ、材齢182日の時点でそれぞれ20%、45%程度小さくなった。CAの透水量は、他の水準のような材齢の進行による増加が少なく、材齢182日の時点でPLよりも70%程度小さくなった。このことから、クリーンセイバーを塗布した場合には、長期的に水の浸透を抑制する効果が示唆さ

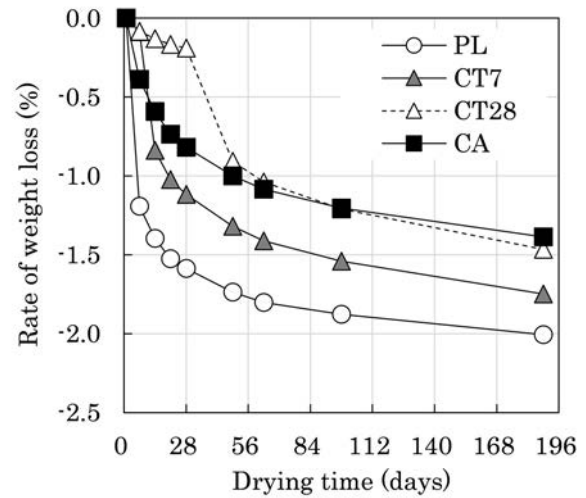


Fig. 6 Rate of weight loss (質量変化率)

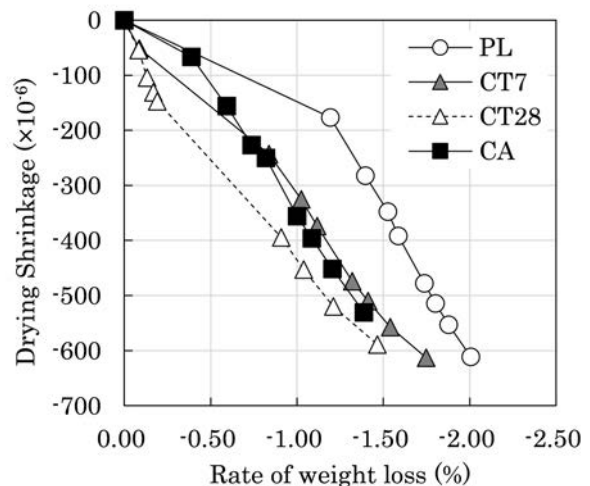


Fig. 7 Rate of weight loss (長さ変化率と質量変化率の関係)

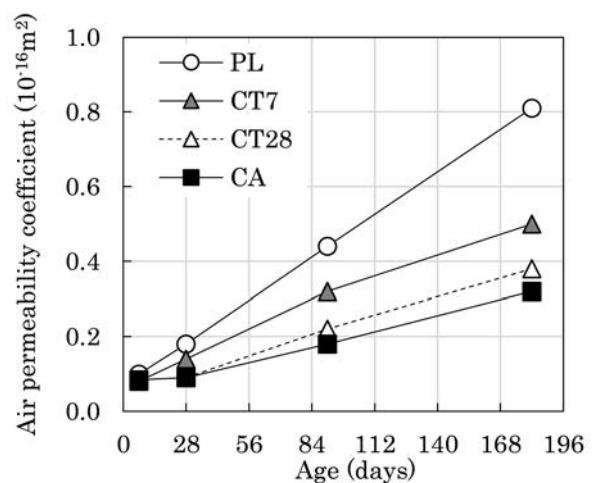


Fig. 8 Change in air permeability coefficient (透気係数の経時変化)

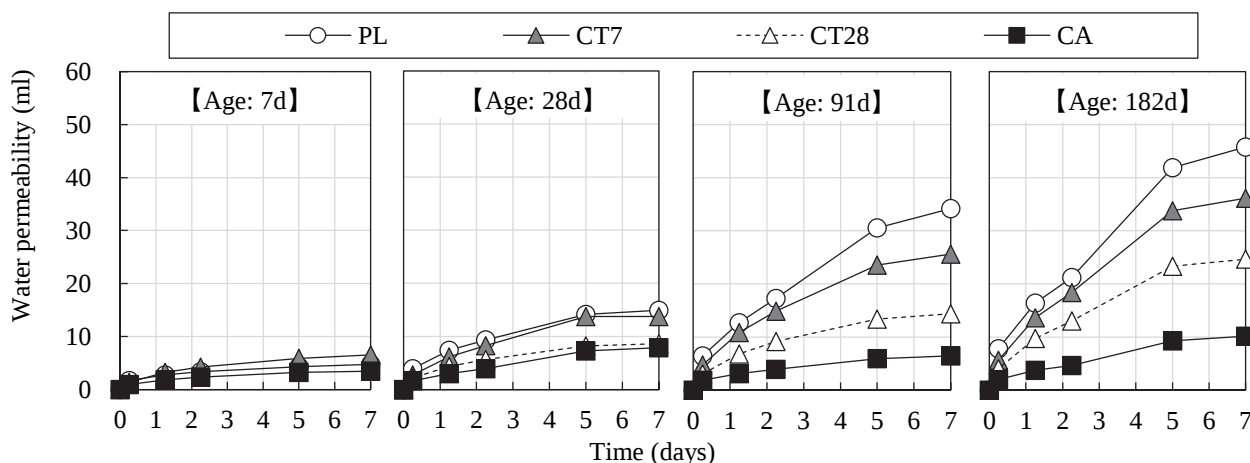


Fig.9 Change in water permeability
(透水量の経時変化)

れた。

コンクリートの表層部分の品質は、乾燥の影響によって内部コンクリートの品質とは異なり、大きな細孔が残りやすい⁶⁾と報告されている。このことから、クリーンセイバーを塗布した場合には、水分逸散を抑制するため、乾燥による影響を低減する養生効果に加え、表層部の細孔を緻密化することで品質の向上に期待できる。

4.4 中性化深さ

Fig. 10 に中性化深さを示す。なお、図中には、水準毎に切片を0とした近似線を引き、その式(傾き: 中性化速度係数)と併せて示した。CA の中性化深さは、材齢4週の時点ではPL よりも小さく、CT7 およびCT28 よりも若干大きくなったものの、材齢8週以

降ではPL およびCT7 よりも小さく、CT28 と同程度となった。その結果、CA の中性化速度係数は、CT28 と同程度となり、PL よりも45%程度小さくなった。クリーンセイバーを塗布した場合に長期的に中性化深さが小さくなったのは、前述した水分逸散の抑制、表層品質の向上によるものと考えられる。

4.5 表面美観性

Table 2 に暴露した供試体の表面部の状況を示す。材齢17ヶ月までは、PL およびCA の両者において、カビの発生は確認されなかった。材齢21ヶ月では、PL にはカビの発生が認められたものの、CA には確認されなかった。このことから、クリーンセイバーを塗布することにより、カビの発生を低減できることから、表面美観性の低下を抑制する効果があることが明らかとなった。

5. まとめ

本報では、プレキャスト製品を対象とし、クリーンセイバーを塗布した場合の耐久性評価において、従来技術である保水養生テープとの比較検討を行った。さらに、クリーンセイバーを塗布したコンクリートのカビ発生抑制効果についても実環境にて検討を加えた。本試験で得られた知見を以下に示す。

- (1) クリーンセイバーを塗布した場合の圧縮強度は、保水養生テープを用いた場合と同程度であり、材齢初期から長期にかけて、気中養生した場合よりも10~15%程度の増進傾向が確認された。

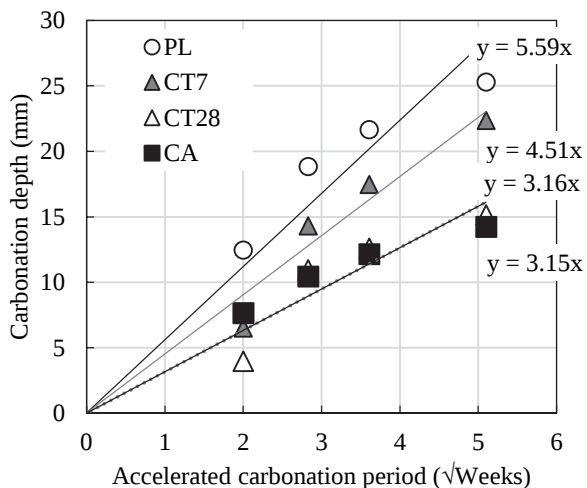
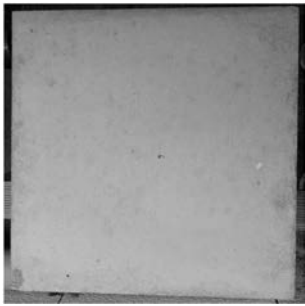
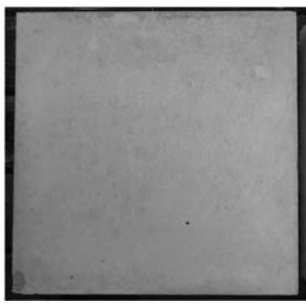
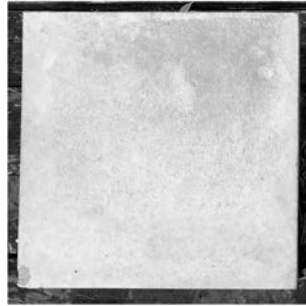
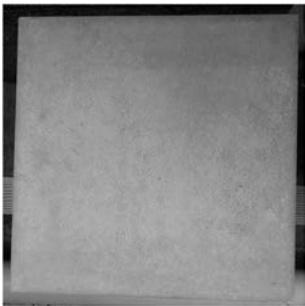
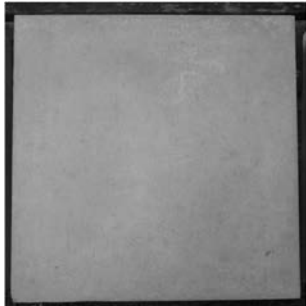
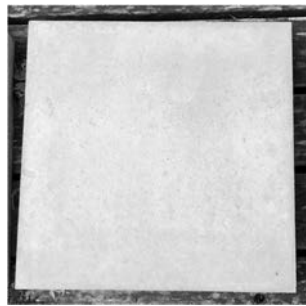


Fig.10 Carbonation depth
(中性化深さ)

Table 2 Change in mold growth conditions (カビ発生状況の経時変化)

Sample	0 month	17 month	21 month
PL			
CA			

- (2) クリーンセイバーを塗布した場合の長さ変化および質量変化率は，初期から長期にかけて小さくなり，材齢 182 日の時点では保水養生テープを用いた場合よりも小さくなった。
- (3) クリーンセイバーを塗布した場合の透気係数および透水量は，保水養生テープを用いた場合よりも小さくなる傾向が確認された。
- (4) クリーンセイバーを塗布した場合の中性化深さは，気中養生した場合よりも抑制し，保水養生テープを 28 日間貼付けた場合と同程度であった。
- (5) クリーンセイバーを塗布した場合には，カビ発生による表面美観性の低下を抑制する効果が確認された。

参考文献

- 1) 土木学会．2023 年制定 コンクリート標準示方書〔施工編〕．2023, p. 126-128.
- 2) 日本建築学会．建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事．2022, p. 325-333.
- 3) 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集．2002, 24, p. 1035-1040.
- 4) 丸田 浩, 長塩靖祐, 菅 彰ほか．新規塗布型養生剤を用いたコンクリートの水分逸散性に関する検討．土木学会年次学術講演会講演概要集．2022, 77, eV-547.
- 5) 郭度連, 國府勝郎, 宇治公隆ほか．コンクリートの乾燥収縮に及ぼす水セメント比および養生条件の影響．コンクリート工学年次論文集．2003, 25(1), p. 743-748.
- 6) 湯浅 昇, 笠井芳夫, 松井 勇．乾燥を受けたコンクリートの表層から内部にわたる含水率，細孔構造の不均質性．日本建築学会構造系論文集．1998, (509), p. 9-16.