

技 術 資 料

CS－21

成分・改質効果に関する品質試験

けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針（案）・JSCE-K572 関連

Version 1.2



目次

1. CS-21とは	2
2. CS-21の特徴	3
3. CS-21の品質	4
3.1 CS-21の成分・改質効果に関する試験結果	4
3.2 JSCE-K572 けい酸塩系表面含浸材の試験方法（案）	5
3.2.1 試験概要	5
3.2.2 試料概要	6
3.2.3 1) 反応性確認試験の結果	7
3.2.4 2) 乾燥固形分率試験の結果	8
3.2.5 3) 種類判定試験の結果	8
3.2.6 4) 含浸深さ試験の結果	10
3.2.7 5) 外観観察試験の結果	11
3.2.8 6) 透水量試験の結果	12
3.2.9 7) 吸水率試験の結果	13
3.2.10 8) 加圧透水性試験の結果	14
3.2.11 9) 中性化に対する抵抗性試験の結果	16
3.2.12 10) 塩化物イオンの浸透に対する抵抗性試験の結果	17
3.2.13 11) スケーリングに対する抵抗性試験の結果	18
3.2.14 12) ひび割れ透水性試験の結果	20
3.3 曝露試験（中性化・塩害）	22
3.4 すり減りに対する抵抗性試験	24
3.5 採取コアによる加圧透水性試験	26
3.6 長さ変化率試験	27
3.7 促進中性化処理したセメントペースト試験体による種類判定試験	28
3.8 施工効果確認試験（表層透気試験）	29
4. CS-21の安全性	34

1. CS-21とは

CS-21は、写真1・表1に示す液体材料をコンクリート表面から塗布または散布、あるいは注入し、浸透させることで、コンクリートの躯体防水・表面保護・打継ぎ部処理、ひび割れ補修、止水などを行う材料である。



写真1 CS-21 (5kgポリ缶)

表1 CS-21の物性

項目	CS-21
外観	無色透明液体
主成分	けい酸ナトリウム
比重(密度 g/cm ³)	1.24~1.28
pH値	11.3~12.3
乾燥固形分率(%)	31.5~33.5
粘度 (mPa・s)	5.0~15.0

土木学会の「けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針(案)」では、けい酸塩系表面含浸材を図1のように分類しており、CS-21は、反応型けい酸塩系表面含浸材に該当する。

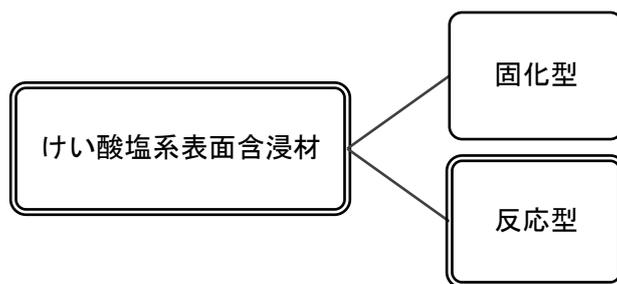


図1 けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針(案)における種類

本資料では、CS-21シリーズ製品：CS-21の概要を紹介する。

2. CS-21の特徴

CS-21は、図2・写真2～4に示すように、硬化したコンクリート表面に塗布し浸透(含浸)させることで、乾燥固化物(未反応成分)、およびコンクリート中のカルシウム成分等と反応し生成される安定した反応物(CSH系結晶)により、微細ひび割れ等の空隙を充填する。

浸透後に未反応のまま残った主成分は、乾燥固化後も水分の供給により溶解し安定した反応物(CSH系結晶)を生成して、施工後新たに発生する微細ひび割れ等の空隙を充填する。

これらの反応により、ひび割れ深部を含む表層部の空隙を緻密化して、水や各種劣化因子の侵入(鋼材腐食)を長期にわたり抑制する。

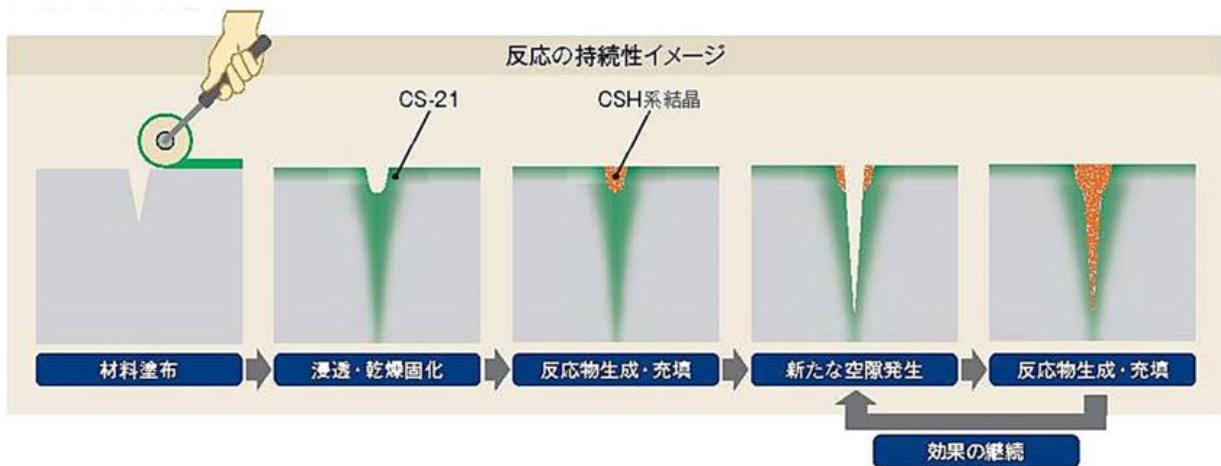


図2 CS-21概要図



写真2 下向き塗布



写真3 横向き塗布



写真4 上向き塗布

CS-21の特徴

- 空隙の充填率を高めるため、高濃度の材料を希釈せず原液のまま使用
- コンクリート構造物(駐車場・屋上・地下・水槽等)の躯体防水が可能
- 開発1993年、施工実績の追跡調査により15年以上の効果持続性が確認済

3. CS-21の品質

3.1 CS-21の成分・改質効果に関する試験結果

CS-21の成分・改質効果に関する試験結果を表2に示す。

表2 CS-21の成分・改質効果に関する試験結果

試験方法	試験項目	試験結果
JSCE-K572 けい酸塩系 表面含浸材 の試験方法 (案)	1) 反応性確認試験	反応性あり
	2) 乾燥固形分率試験	31.9%
	3) 種類判定試験	反応型けい酸塩系表面含浸材
	4) 含浸深さ試験	1.8mm
	5) 外観観察試験	外観変化なし
	6) 透水性試験	透水比 61% (抑制率 39%)
	7) 吸水率試験	吸水比 78% (抑制率 22%)
	8) 加圧透水性試験	水の浸透深さ比 75% (抑制率 25%)
	9) 中性化に対する抵抗性試験	中性化深さ比 67% (抑制率 33%)
	10) 塩化物イオンの浸透に対する抵抗性試験	塩化物イオン浸透深さ比 89% (抑制率 11%)
	11) スケーリングに対する抵抗性試験	質量損失比 50% (抑制率 50%)
	12) ひび割れ透水性試験	ひび割れ透水量比 1% (抑制率 99%)
曝露試験	中性化に対する抵抗性試験	中性化深さ比 44% (抑制率 56%)
	塩化物イオンの浸透に対する抵抗性試験	塩化物イオンの拡散係数比 42% (抑制率 58%)
すり減りに対する抵抗性試験	摩耗輪：研磨紙	摩耗量比 57% (抑制率 43%)
	摩耗輪：H22	摩耗量比 80% (抑制率 20%)
採取コアによる加圧透水性試験		水の浸透深さ比 20% (抑制率 80%)
長さ変化率試験		収縮ひずみを約 10%低減
施工効果確認試験 (表層透気試験)	事例①：新設 水槽	透気係数比 24% (抑制率 76%)
	事例②：新設 橋梁	透気係数比 36% (抑制率 64%)
	事例③：既設 橋梁	透気係数比 27% (抑制率 73%)
	事例④：既設 橋梁	透気係数比 53% (抑制率 47%)

試験の結果、CS-21は、

- 微細空隙を充填する成分（乾燥固形分）を多く含む『反応型けい酸塩系表面含浸材』であること
- 施工後の外観変化はなく、塗布後もコンクリートを直接目視可能なこと
- コンクリート表面から塗布し浸透させることで、ひび割れ等の空隙を含む表層部を緻密化し、凍害・塩害・中性化・水の浸透に対する抵抗性向上させる性能（鋼材腐食の要因となる水や酸素などの浸透を抑制する性能）を有すること、その効果はコンクリートの材齢（新設・既設）を問わず発揮されることが確認された。

3.2 JSCE-K572 けい酸塩系表面含浸材の試験方法（案）

3.2.1 試験概要

CS-21の反応性・浸透性、および塗布による表面保護（劣化抑制）効果を確認するため、表3に示す土木学会規準試験：JSCE-K572 けい酸塩系表面含浸材の試験方法（案）を、鹿児島大学【1）～7）、9）・10）・建材試験センター【8）・11）】・岡山大学【12）】にて実施した。

表3 試験概要

試験名	試験規格*	試験体の種類**
1) 反応性確認試験	6.1	セメントペースト試験体
2) 乾燥固形分率試験	6.2	—
3) 種類判定試験	6.3	セメントペースト試験体
4) 含浸深さ試験	6.5	Type I
5) 外観観察試験	6.4	
6) 透水性試験	6.6	
7) 吸水率試験	6.7	
8) 加圧透水性試験	6.12	Type II
9) 中性化に対する抵抗性試験	6.8	Type I
10) 塩化物イオン浸透に対する抵抗性試験	6.9	
11) スケーリングに対する抵抗性試験	6.10	
12) ひび割れ透水性試験	6.11	Type II

* 試験規格は、JSCE-K572 の適用箇条を示す。 ** 試験体 Type を図3に示す

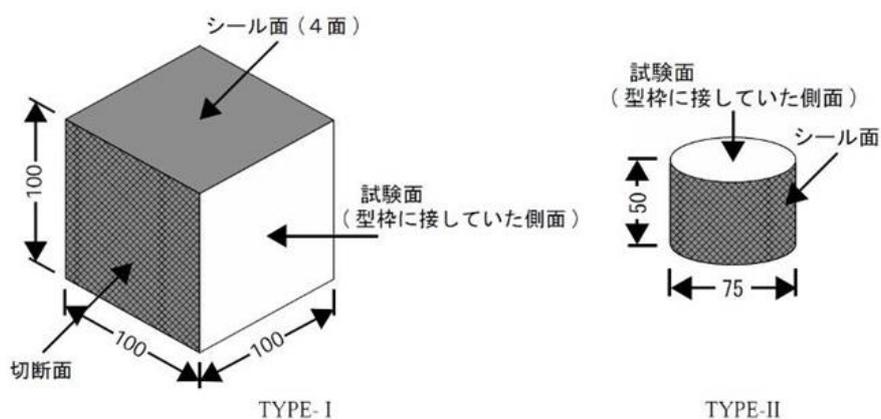


図3 試験体（Type I・II）概要図

3.2.2 試料概要

試験に使用したセメントペースト試験体に関する事項を表4に、基板（試験体 Type I・II）に関する事項を表5に、塗布材（CS-21）の概要および施工仕様に関する事項を表6に示す。

表4 セメントペースト試験体に関する事項

セメント種類	普通ポルトランドセメント
水セメント比	50%
形状	セメントペースト円柱供試体（Φ50mm×h100mm）を、粉碎あるいは乾式で切り出し、目開き4.75mmのふるいを通して、2.36mmのふるいに留まるセメントペースト片

表5 基板に関する事項

基板の種類	モルタル基板
セメント種類	普通ポルトランドセメント
水セメント比	55%
砂セメント比	3
準拠規格	JSCE-F505

表6 塗布材の概要および施工仕様

名称	CS-21
主成分	けい酸ナトリウム
塗布前のモルタル基板の含水率	約6%（散水後、指触乾燥確認後に塗布）
塗布方法	刷毛塗り
塗布回数	2回
塗り重ね間隔	2時間（塗布材乾燥後の湿潤散水を含む）
塗布量	300g/m ² （150g/m ² ×2回）
塗布量中の乾燥固形分量	95.7g/m ² （乾燥固形分率31.9%）
含浸後の養生方法	温度20±2℃ 相対湿度80%以上14日間、その後、相対湿度60%±5%14日間

3.2.3 1) 反応性確認試験の結果

(1) 試験概要

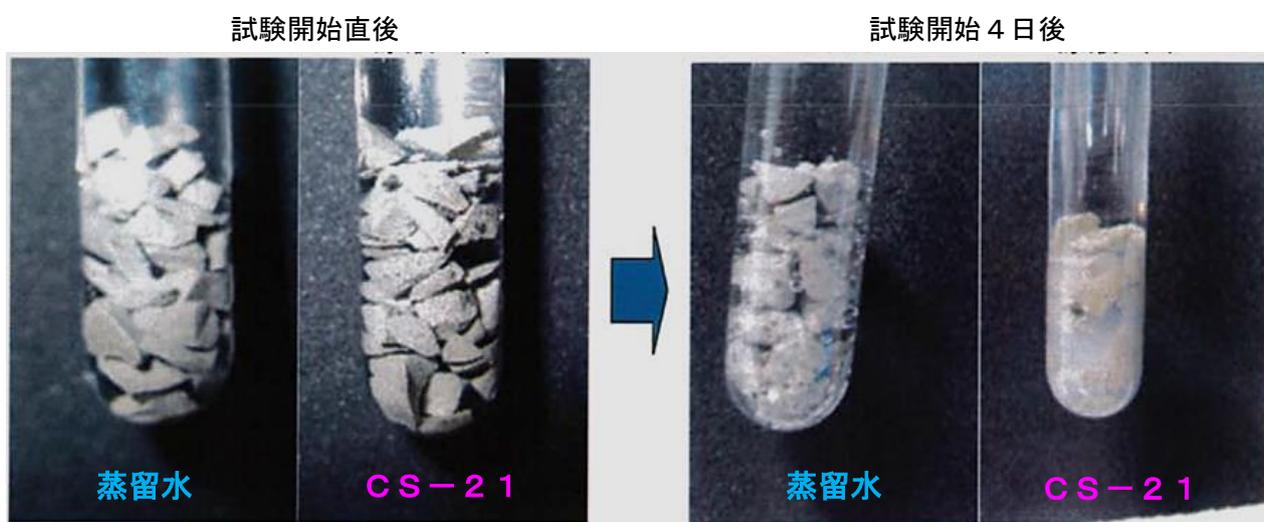
セメントペースト試験体と、CS-21、比較用の蒸留水をそれぞれ試験管内に投入し、その後、セメントペーストから溶出する水酸化カルシウムとCS-21との反応による白濁が確認されるまで目視観察を行う。

観察の結果、白濁が確認された場合には、「反応性あり」と判定し、けい酸塩系表面含浸材に該当する材料と判定する。白濁が確認できない場合には、「反応性なし」と判定し、けい酸塩系表面含浸材には該当しない材料と判定する。

(2) 試験結果

反応性確認試験の結果を写真5に示す。

試験の結果、比較用の蒸留水では変化が見られないが、CS-21は試験開始から4日後時点で明確な白濁が確認され、「反応性あり【けい酸塩系表面含浸材に該当】」と判定された。



3.2.4 2) 乾燥固形分率試験の結果

(1) 試験概要

CS-21を投入した容器を、デシケーター（温度 $105 \pm 5^\circ\text{C}$ ）内に入れ、乾燥させ、液体（CS-21）中に含まれる乾燥固形分量を測定し、その割合を求める。

(2) 試験結果

乾燥固形分率試験の結果を表7に示す。

試験の結果、CS-21の乾燥固形分率は31.9%であった。

表7 乾燥固形分率試験の結果

材料名	乾燥固形分率 (%)
CS-21	31.9

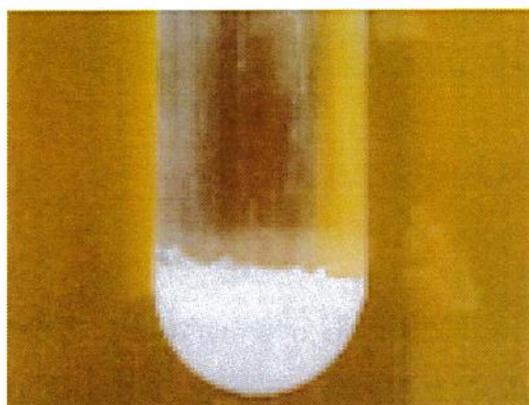
3.2.5 3) 種類判定試験の結果

(1) 試験概要

乾燥固形分率試験で得られたCS-21の乾燥固化物を粉碎し、目開き 2.36mmのふるいを通過し、1.0mmのふるいに留まるものを試料とする。

写真6に示すように、乾燥固化物の溶解処理として、試料と蒸留水を試験管内に投入し、72時間静置後にろ過し、ろ液（CS-21の乾燥固化物の溶解液）を採取する。

試験開始直後



試験開始72時間後



写真6 乾燥固化物の溶解処理状況

次に、採取したろ液と比較用の蒸留水を、反応性確認試験と同様の手順で作製したセメントペースト試験体と、それぞれ試験管内に投入し、その後、反応による白濁が確認されるまで目視観察を行う。

観察の結果、白濁が確認された場合には、「反応性あり」と判定し、『反応型けい酸塩系表面含浸材』*に該当する材料とする。白濁が確認できない場合には、「反応性なし」と判定し、『固化型けい酸塩系表面含浸材』**とする。

* 反応型けい酸塩系表面含浸材

浸透（含浸）の初期段階で主成分の一部が水酸化カルシウムと反応した後、残りの主成分（未反応成分）が乾燥にもなって可溶性の固化物となって空隙を充填するとともに、未反応成分が、水酸化カルシウムとの反応を繰り返すことにより、長期的に空隙を充填することを期待した材料。

** 固化型けい酸塩系表面含浸材

浸透（含浸）の初期段階で主成分の一部が水酸化カルシウムと反応した後、残りの主成分が乾燥にもなって難溶性の固化物となって空隙を充填することを主として期待した材料。

(2) 試験結果

種類判定試験の結果を写真7に示す。

試験の結果、比較用の蒸留水では変化が見られないが、CS-21は試験開始から3日後時点で白濁が確認され、「反応性あり【反応型けい酸塩系表面含浸材】」と判定された。

この結果から、CS-21は、コンクリートに浸透後も、水分の供給下において、反応が持続し、反応物生成による継続的な空隙充填性を有することが確認された。

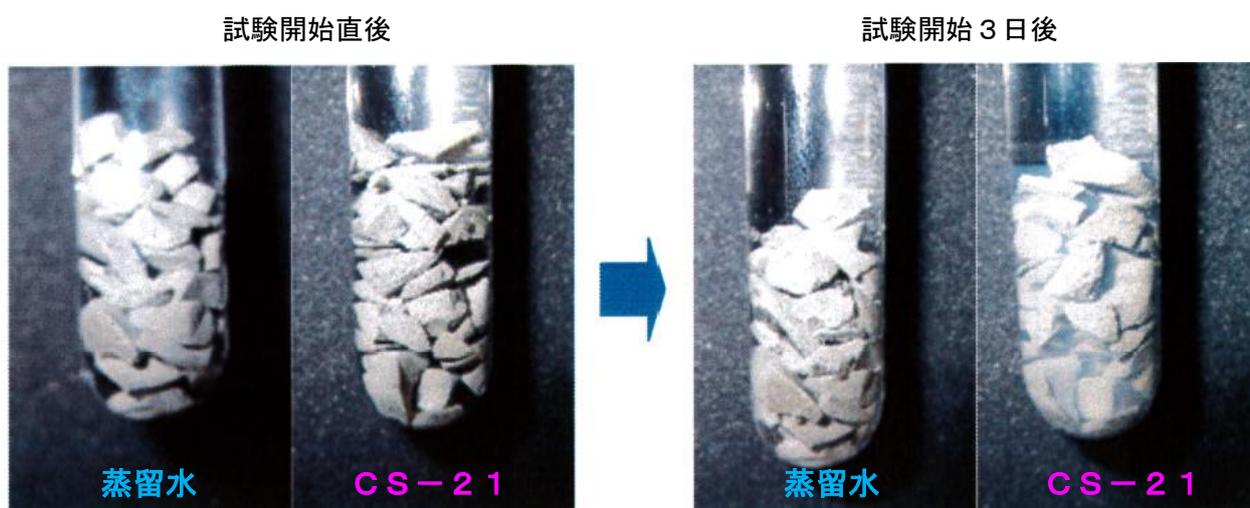


写真7 種類判定試験（ろ液の反応性確認）

3.2.6 4) 含浸深さ試験の結果

(1) 試験概要

土木学会規準試験：JSCE-K572 けい酸塩系表面含浸材の試験方法（案）に準拠し、作製した試験体（type I：100mm角・モルタル）の試験面（型枠に接していた面）に、CS-21を塗布する。

28日間の気中養生後、試験面の3箇所から、マイクロドリルまたはマイクロワインダー等を用いて、表面からおよそ2mmの深さごとに粉体試料を採取し、これらを純粋と混合して得られた液体試料に含有されるアルカリ金属イオンをイオンクロマト等の分析機器によって測定する。

測定結果から、CS-21に含まれるアルカリ金属イオン（ナトリウムイオン）量が、無塗布（原状試験体）と比較し、30%以上増加した範囲を含浸深さとする。

(2) 試験結果

含浸深さ試験の結果を表8、図4に示す。

試験の結果、CS-21の含浸深さは1.8mmであった。

表8 含浸深さ試験の結果

技術名	浸透（含浸）深さ測定結果（mm）
CS-21	1.8

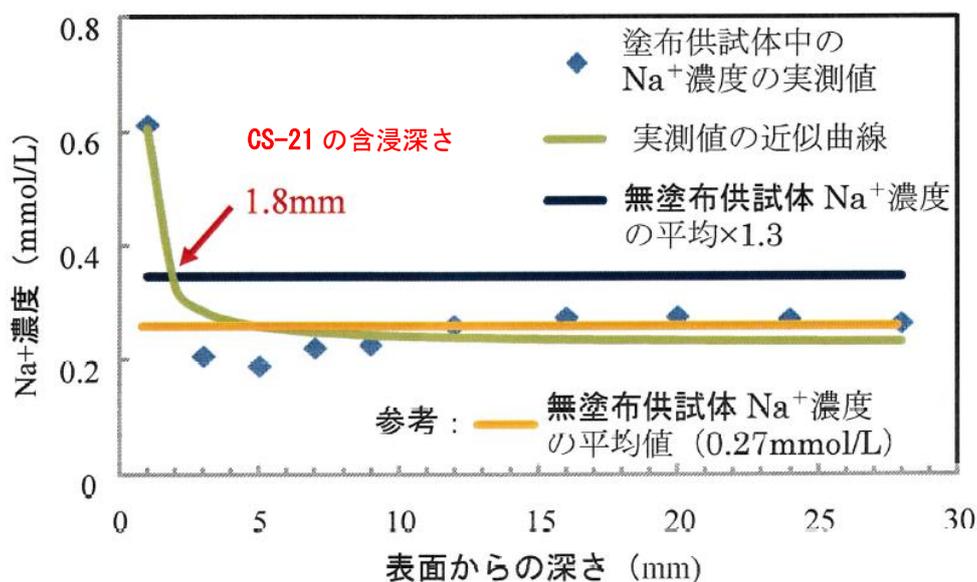


図4 含浸深さ測定結果グラフ

3.2.7 5) 外観観察試験の結果

(1) 試験概要

試験体 (type I : 100mm角・モルタル) の試験面 (型枠に接していた面) に、CS-21 を塗布し、28 日間の気中養生後に、外観変化の有無について目視で確認を行う。

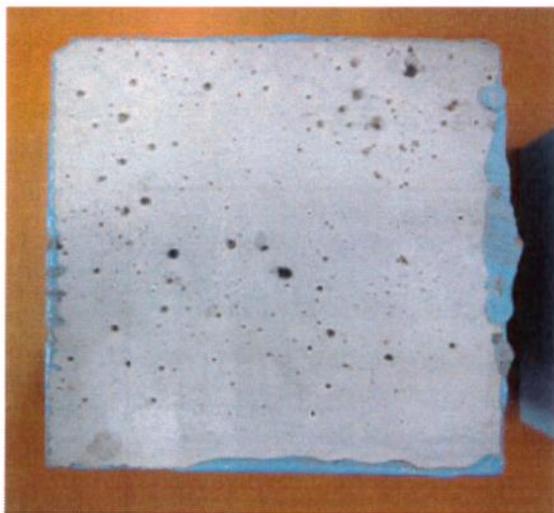
(2) 試験結果

外観観察試験の結果を写真8に示す。

観察の結果、CS-21 と、無塗布 (原状試験体) の外観に大きな差は見られず、外観の変化は確認されなかった。

この結果から、CS-21 の塗布・浸透後もコンクリートの外観変化はなく、点検等の際に、塗布後もコンクリートを直接目視可能なことが確認された。

無塗布 (原状試験体)



CS-21 塗布 (塗布 28 日後)

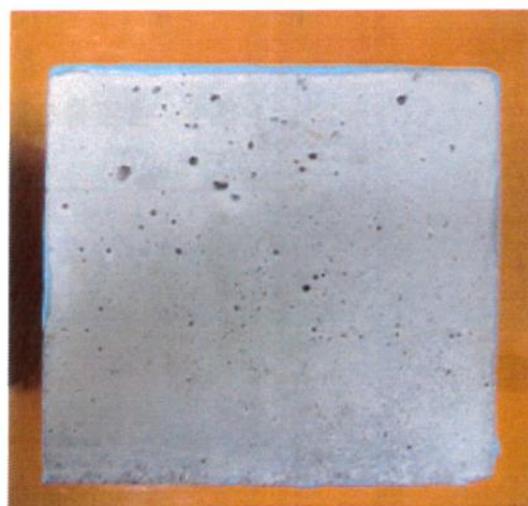


写真8 外観観察試験結果

3.2.8 6) 透水量試験の結果

(1) 試験概要

試験体（type I : 100mm角・モルタル）の試験面（型枠に接していた面、1面）に、CS-21を塗布する。無塗布（原状試験体）は別途作製する。

28日間の気中養生後、JIS A 6909 の 7.13（透水試験B法）に準じて、図5に示すように、試験面に透水試験器具を止め付けて、透水量試験を行う。なお、試験水が蒸発しないよう、パラフィン等をたらして試験する。

試験開始時から7日後の水頭の高さを読み取り、試験開始時の高さとの差から、透水量を算出し、無塗布（原状試験体）と比較する。

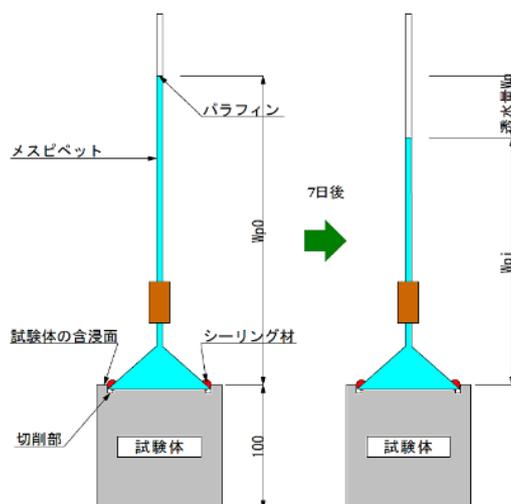


図5 透水試験器具と透水量試験の例

(2) 試験結果

透水量試験の結果を表9に示す。

試験の結果、CS-21を塗布・浸透させた試験体の透水量は40.5mlであり、無塗布66.2mlに対し、透水比61%（抑制率39%）であった。

この結果から、CS-21は、コンクリート表面から塗布することで、水の浸透に対する抵抗性を向上させることが確認された。

表9 透水量試験の結果

試験体種類	透水量 (ml)	透水比 (%)	抑制率 (%)
無塗布（原状試験体）	66.2	—	—
CS-21	40.5	61	39

3.2.9 7) 吸水率試験の結果

(1) 試験概要

試験体（type I : 100mm角・モルタル）の試験面（型枠に接していた面、2面）に、CS-21を塗布する。無塗布（原状試験体）は別途作製する。

28日間の気中養生後、試験体の質量を測定し、図6に示すように、試験面が側面となるよう、水中に浸漬する。試験開始7日後に、試験体を取り出し、湿布を用いて表面の水分を除去した後、質量を測定する。

試験開始前と試験後の質量から吸水率を求め、無塗布（原状試験体）と比較する。

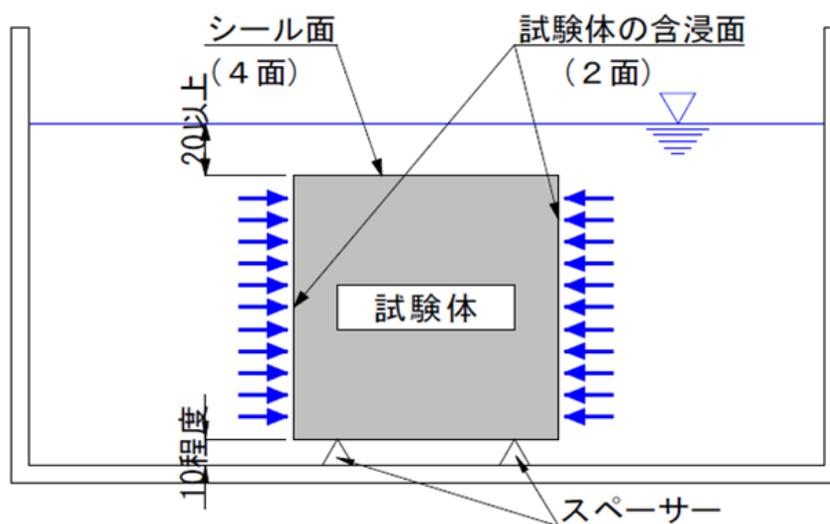


図6 試験容器と吸水率試験の例

(2) 試験結果

吸水率試験の結果を表10に示す。

試験の結果、CS-21を塗布・浸透させた試験体の吸水率は0.84%であり、無塗布1.08%に対し、吸水比78%（抑制率22%）であった。

この結果から、CS-21は、コンクリート表面から塗布することで、水の浸透に対する抵抗性を向上させることが確認された。

表10 吸水率試験の結果

試験体種類	吸水率 (%)	吸水比 (%)	抑制率 (%)
無塗布（原状試験体）	1.08	—	—
CS-21	0.84	78	22

3.2.10 8) 加圧透水性試験の結果

(1) 試験概要

試験体 (type II : $\Phi 75\text{mm} \times h 50\text{mm}$) の試験面 (型枠に接していた面) に、CS-21 を塗布する。無塗布 (原状試験体) は別途作製する。

28 日間の気中養生後、図 7・8 に示すように、試験装置に試験体を取り付け、容器に水を注入し、窒素ガスを用いて加圧 ($0.5\text{MPa} \cdot 48$ 時間) する。

加圧完了後、試験体を取り出し、試験面を 2 分割するように割裂して、割裂面の水の浸透深さを測定する。

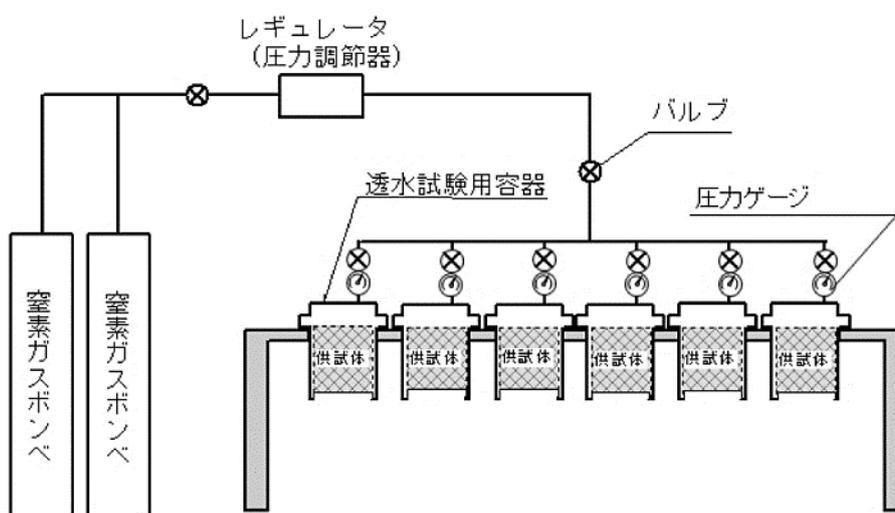


図 7 加圧透水試験装置の例

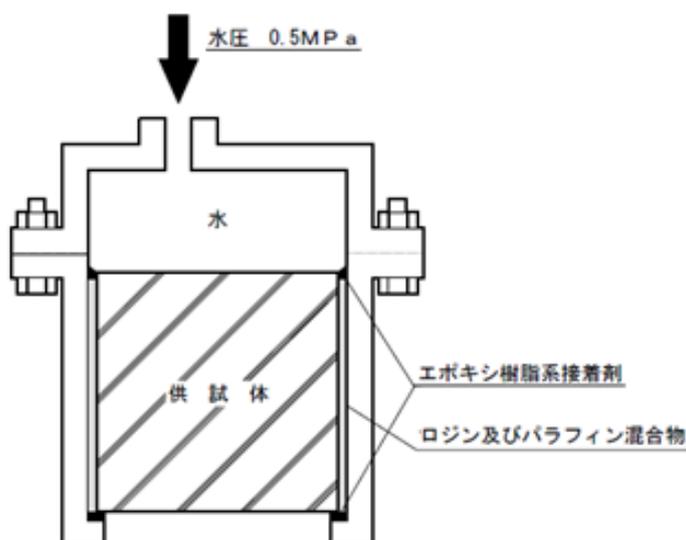


図 8 加圧透水性試験の概要図

3.2.11 9) 中性化に対する抵抗性試験の結果

(1) 試験概要

試験体 (type I : 100mm角・モルタル) の試験面 (型枠に接していた面、1面) に、CS-21を塗布する。無塗布 (原状試験体) は、CS-21塗布面に対向する型枠に接していた面とする。

28日間の気中養生後、JIS A1153に準拠し、二酸化炭素濃度 $5 \pm 0.2\%$ の条件下で、28日間の促進中性化を行う。促進中性化完了後、図9に示すように、試験面を2分割するように割裂して、割裂面の中性化深さ、CS-21塗布面側と無塗布側をそれぞれ測定し比較する。

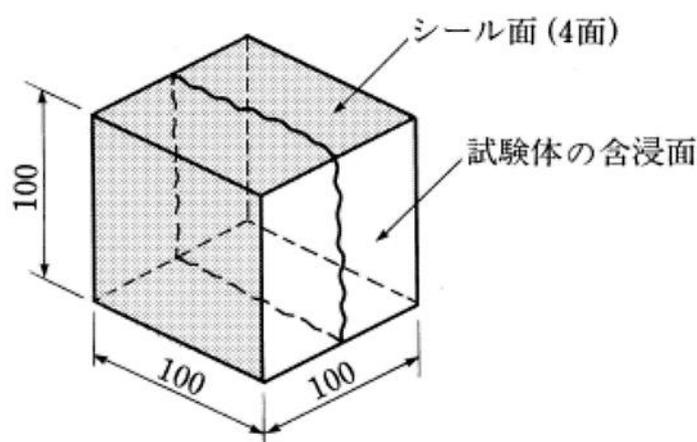


図9 試験面を2分割する割裂の例

(2) 試験結果

中性化に対する抵抗性試験の結果を表12に示す。

試験の結果、CS-21を塗布・浸透させた試験体の中性化深さは4.7mmであり、無塗布7.0mmに対し、中性化深さ比67% (抑制率33%)であった。

この結果から、CS-21は、コンクリート表面から塗布することで、中性化に対する抵抗性を向上させることが確認された。

表12 中性化に対する抵抗性試験の結果

試験体種類	中性化深さ (mm)	中性化深さ比 (%)	抑制率 (%)
無塗布 (原状試験体)	7.0	—	—
CS-21	4.7	67	33

3.2.12 10) 塩化物イオンの浸透に対する抵抗性試験の結果

(1) 試験概要

試験体 (type I : 100mm角・モルタル) の試験面 (型枠に接していた面、1面) に、CS-21を塗布する。無塗布 (原状試験体) は、CS-21塗布面に対向する型枠に接していた面とする。

28日間の気中養生後、試験面が側面となるよう、塩水 (濃度 $3 \pm 0.3\%$ の塩化ナトリウム水溶液) 中に浸漬する。試験開始63日後に、試験体を取り出し、試験面を2分割するように割裂して、割裂面の塩化物イオン浸透深さ、CS-21塗布面側と無塗布側をそれぞれ測定し比較する。

(2) 試験結果

塩化物イオンの浸透に対する抵抗性試験の結果を表13・図10に示す。

試験の結果、CS-21を塗布・浸透させた試験体の塩化物イオン浸透深さは14.9mmであり、無塗布16.7mmに対し、塩化物イオン浸透深さ比89% (抑制率11%) であった。

この結果から、CS-21は、コンクリート表面から塗布することで、塩化物イオンの浸透に対する抵抗性を向上させることが確認された。

表13 塩化物イオンの浸透に対する抵抗性試験の結果

試験体種類	塩化物イオン 浸透深さ (mm)	塩化物イオン 浸透深さ比 (%)	抑制率 (%)
無塗布 (原状試験体)	16.7	—	—
CS-21	14.9	89	11

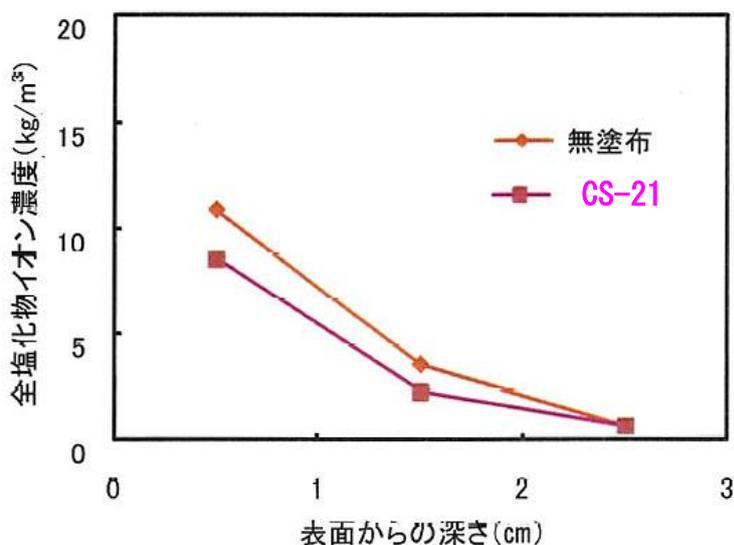


図10 全塩化物イオン濃度測定結果グラフ

3.2.13 11) スケーリングに対する抵抗性試験の結果

(1) 試験概要

試験体 (type I : 100mm角・モルタル) の試験面 (型枠に接していた面、1面) に、CS-21を塗布する。無塗布 (原状試験体) は別途作製する。

28日間の気中養生後、図11に示すように、試験体の一部を塩水 (濃度 $3 \pm 0.3\%$ の塩化ナトリウム水溶液) 中に浸漬し、所定の凍結融解サイクル*で試験体表面にスケーリングを生じさせ、試験面より剥離したスケーリング片の質量 (スケーリング量) を測定する。

* $20^{\circ}\text{C} \rightarrow -20^{\circ}\text{C}$ [4時間]、 -20°C 保持 [3時間]、 $-20^{\circ}\text{C} \rightarrow 20^{\circ}\text{C}$ [4時間]、 20°C 保持 [1時間] の計 12 時間を 1 サイクルとし、60 サイクルまで繰り返す。

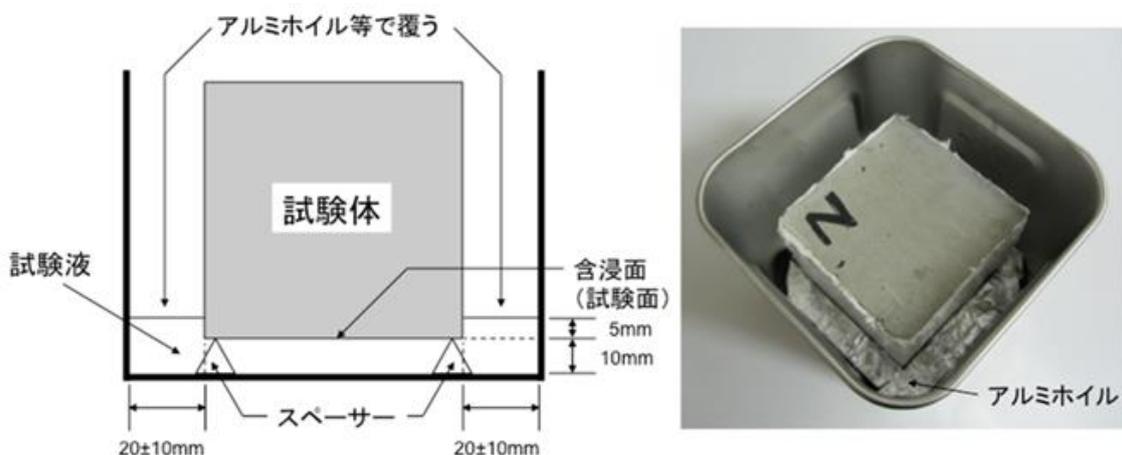


図 11 試験容器とスケーリングに対する抵抗性試験の例

(2) 試験結果

スケーリングに対する抵抗性試験の結果を表14および写真11に示す。

試験の結果、CS-21を塗布・浸透させた試験体の平均累計スケーリング量は 169.22 g/m^2 であり、無塗布 341.48 g/m^2 に対し、質量損失比 50% (抑制率 50%) であった。

この結果から、CS-21は、コンクリート表面から塗布することで、スケーリングに対する抵抗性を向上させることが確認された。

表 14 スケーリングに対する抵抗性試験の結果

試験体種類	平均累計スケーリング量 (g/m^2)	質量損失比 (%)	抑制率 (%)
無塗布 (原状試験体)	341.48	—	—
CS-21	169.22	50	50

無塗布（原状試験体）

CS-21

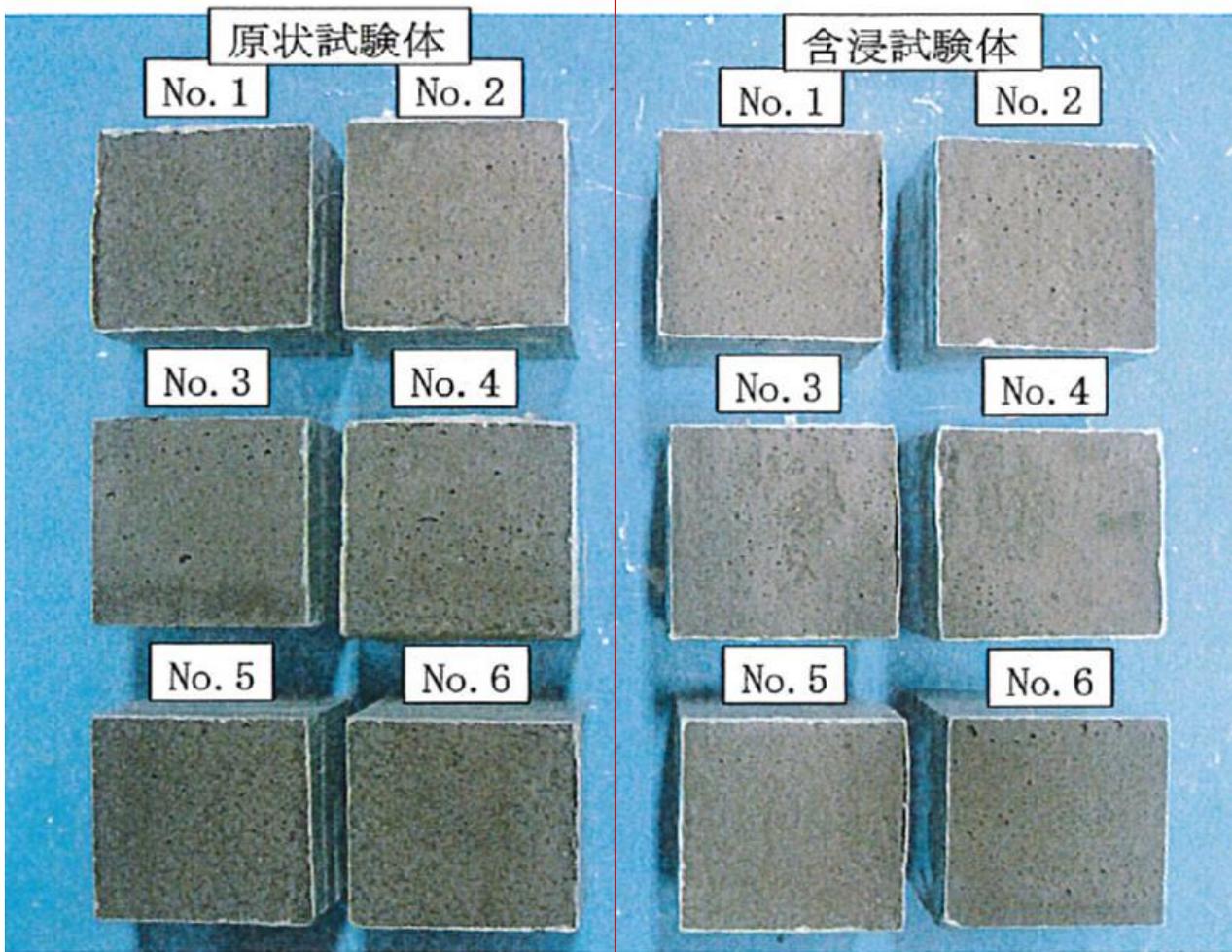


写真11 スケーリングに対する抵抗性、60サイクル後の試験体状況

3.2.14 12) ひび割れ透水性試験の結果

(1) 試験概要

試験体 (type II : $\Phi 75\text{mm} \times h 50\text{mm}$ ・幅 0.2mm以下の貫通ひび割れを導入したモルタル) を試験装置 (図 12・13) に取り付け、初期のひび割れ透水量を測定する。

その後、水の流出面に、CS-21 を塗布する。

28 日間の気中養生後に、CS-21 を塗布した面の反対側が加圧面となるよう試験装置に取り付け、14 日間試験を実施し、14 日目の 1 日間のひび割れ透水量を、初期のひび割れ透水量 (無塗布 [原状試験体]) のひび割れ透水量と比較する。

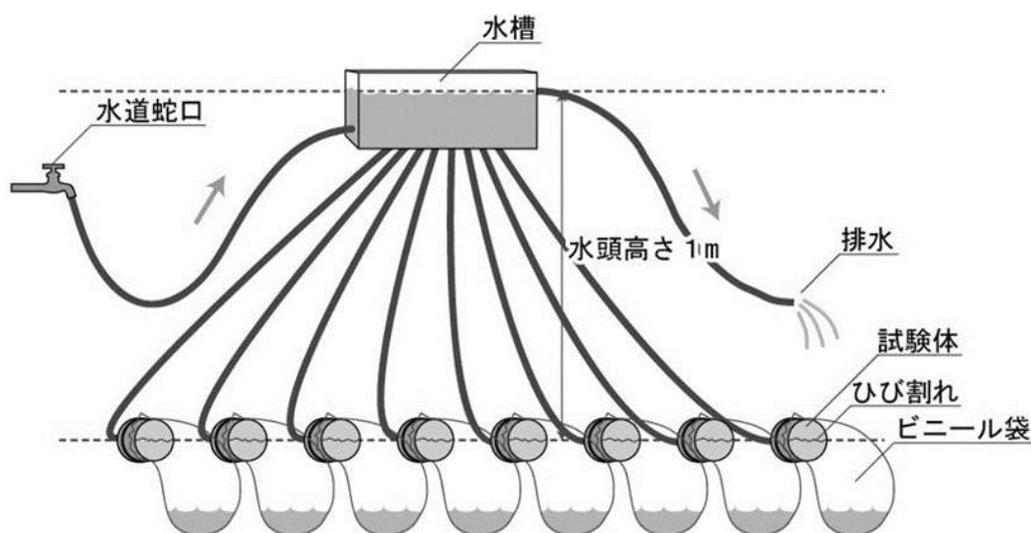


図 12 ひび割れ透水性試験装置の概要図

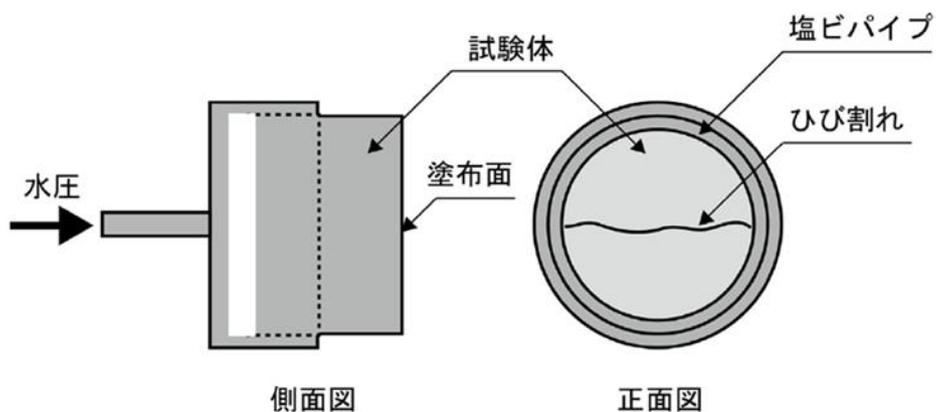


図 13 ひび割れ透水性試験装置の概要図、試験体加圧部

(2) 試験結果

ひび割れ透水性試験の結果を表 15 および写真 12 に示す。

試験の結果、CS-21 を塗布・浸透させた試験体のひび割れ透水量は 17.3 g/day であり、無塗布 1,888.4 g/day に対し、ひび割れ透水量比 1% (抑制率 99%) であった。

この結果から、CS-21 は、コンクリート表面から塗布することで、ひび割れ部に浸透して空隙を充填し、ひび割れのない健全部に比べ、劣化因子の侵入し易いひび割れ部の耐久性を向上させることが確認された。

表 15 ひび割れ透水性試験の結果

試験体種類	透水量 (g/day)	ひび割れ透水比 (%)	抑制率 (%)
無塗布 (原状試験体)	1,888.4	—	—
CS-21	17.3	1	99%

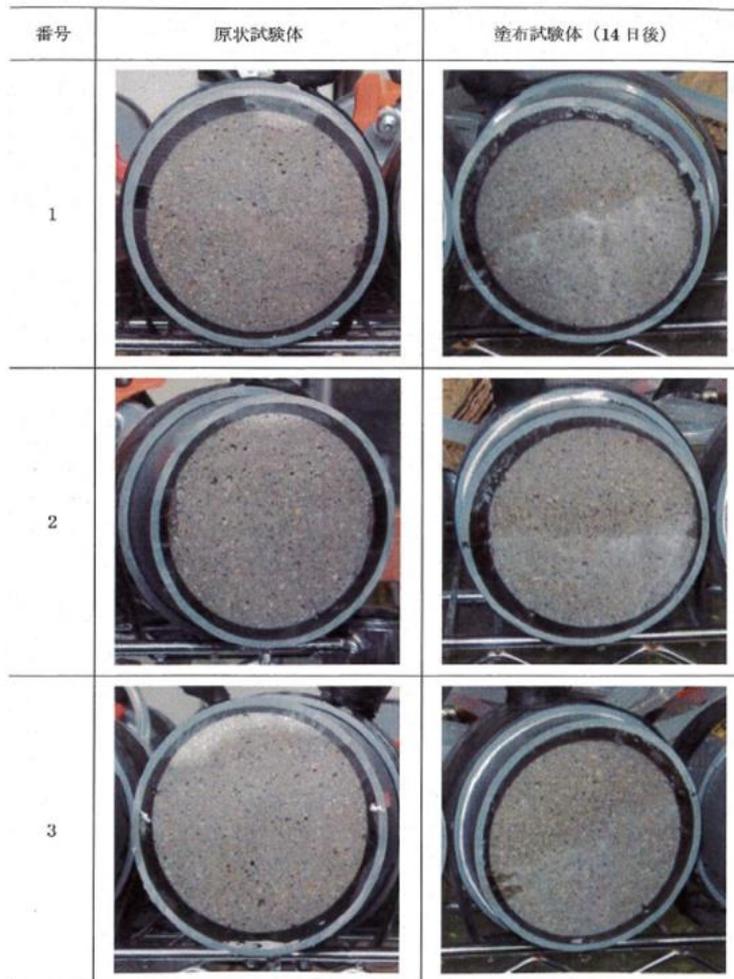


写真 12 ひび割れ透水性試験完了状況

3.3 曝露試験（中性化・塩害）

(1) 試験概要

CS-21の表面保護（劣化抑制）効果を確認するため、試験体による曝露試験を、鹿児島大学にて実施した。

(2) 試験体概要

試験に使用したコンクリート試験体に関する事項を表16・図14に、塗布材（CS-21）の概要および施工仕様に関する事項を表17に示す。

表16 コンクリート試験体に関する事項

セメント種類	普通ポルトランドセメント
水セメント比	50%（単位水量 166kg/m ³ ・セメント量 332kg/m ³ ）
細骨材比	45%
形状	100mm×100mm×400mm 試験面：4面（両端の被覆部を除く全面）
曝露条件	中性化：pH4程度の火山性酸性雨環境下、2年間 塩害：海洋環境・干満帯、1年間

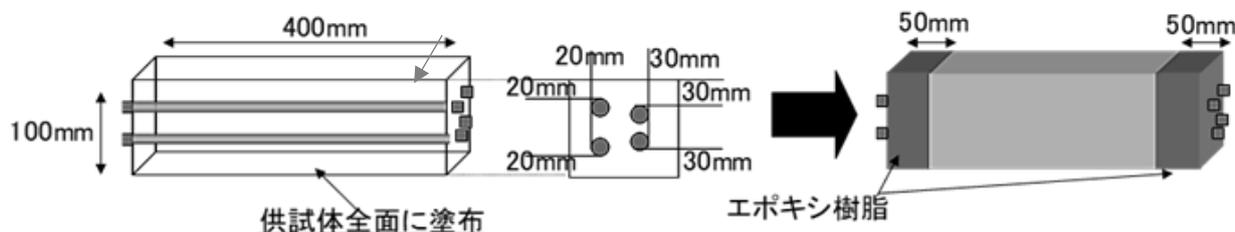


図14 試験体概要図

表17 塗布材の概要および施工仕様

名称	CS-21
主成分	けい酸ナトリウム
塗布面の含水率（塗布前）	約6.0%
塗布方法	刷毛塗り
塗布回数	2回
塗布量	合計 300 g/m ² （150 g/m ² ×2回）
準拠規格	JSCE-K572

(3) 試験結果

曝露試験のうち、中性化についての結果を図15・表18に、塩害についての結果を図16・表19に示す。

試験の結果、CS-21を塗布・浸透させた試験体の中性化深さは0.66mmであり、無塗布1.50mmに対し、中性化深さ比44%（抑制率56%）であった。

* 土木学会：けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針（案） P143 資料 図-2.2.29 各種表面含浸材の無塗布試験体に対する中性化深さ比（酸性雨環境下に2年間曝露）参照：図中の材料種類 Na-1=CS-21

また、塩化物イオンの拡散係数は0.67 cm²/年であり、無塗布：1.61 cm²/年に対し拡散係数比42%（抑制率58%）であった。

** 土木学会：けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針（案） P166 資料 図-2.4.6 無塗布および各種表面含浸材の塩化物イオンの見掛けの拡散係数 参照：図中の材料種類 Na-1=CS-21

この結果から、CS-21は、コンクリート表面から塗布することで、中性化および塩化物イオンの浸透に対する抵抗性を向上させることが確認された。

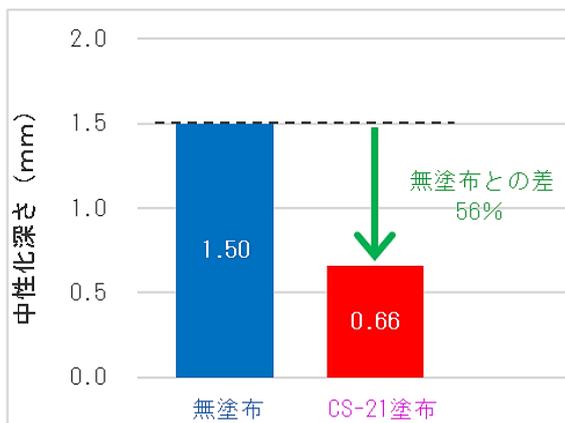


図15 中性化深さ測定結果グラフ

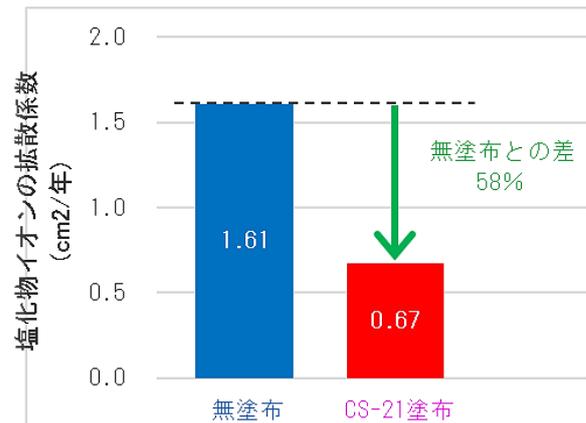


図16 曝露試験により得られた塩化物イオンの見掛けの拡散係数 グラフ

表18 曝露試験（中性化）の結果

試験体種類	中性化深さ (mm)	中性化深さ比 (%)	抑制率 (%)
無塗布（原状試験体）	1.50	—	—
CS-21	0.66	44.0	56.0

表19 曝露試験（塩害）の結果

試験体種類	塩化物イオンの拡散係数 (cm ² /年)	無塗布との比 (%)	抑制率 (%)
無塗布（原状試験体）	1.61	—	—
CS-21	0.67	41.6	58.4

3.4 すり減りに対する抵抗性試験

(1) 試験概要

CS-21 塗布によるすり減りに対する抵抗性を確認するため、摩耗試験を建材試験センターにて実施した。

(2) 試験体概要

試験に使用したモルタル試験体に関する事項を表20に、塗布材（CS-21）の概要および施工仕様に関する事項を表21に、試験条件を表22に示す。

表 20 モルタル試験体に関する事項

セメント種類	普通ポルトランドセメント
水セメント比	55%
砂セメント	3
形状	Φ100mm×10mm 試験面：切断面（Φ100mmの1面）
準拠規格	JSCE-F505

表 21 塗布材の概要および施工仕様

名称	CS-21
主成分	けい酸ナトリウム
塗布前のモルタル基板の含水率	約6.0%
塗布方法	刷毛塗り
塗布回数	2回
塗布量	合計 300 g/m ² （150 g/m ² ×2回）
準拠規格	JSCE-K572

表 22 試験条件

項目	条件
試験荷重	1000 g
回転数	1000 回転
摩耗輪	研磨紙、H22（100 回転毎に交換）
準拠規格	JIS A 1453 建築材料および建築構成部分の摩耗試験方法－研磨紙法による摩耗試験

(3) 試験概要

試験装置に、無塗布とCS-21を塗布した試験体をそれぞれ取り付け、JIS A 1453 建築材料および建築構成部分の摩耗試験方法－研磨紙法による摩耗試験を実施し、試験体の質量減少量（摩耗量）の測定結果を無塗布と比較する。

試験装置の例を写真13に示す。



写真13 摩耗試験装置の例

(4) 試験結果

摩耗試験の結果を図17・18、表23に示す。

試験の結果*、CS-21を塗布・浸透させたモルタル試験体は、摩耗量：「研磨紙」0.43g・「H22」4.08gであり、無塗布の摩耗量：「研磨紙」0.75g・「H22」5.10gに対し、摩耗量比：「研磨紙」57%（抑制率43%）・「H22」80%（抑制率20%）であった。

* 土木学会：けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針（案） P170 資料 図-2.5.5 モルタル基板の質量減少量 参照：図中の材料種類Na-1=CS-21

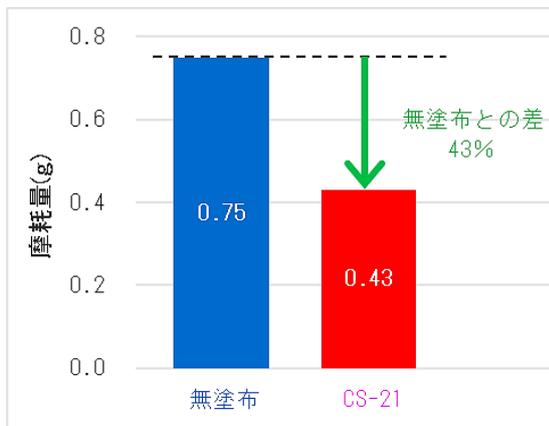


図17 モルタル試験体 (W/C=55%)
研磨紙による摩耗試験結果グラフ

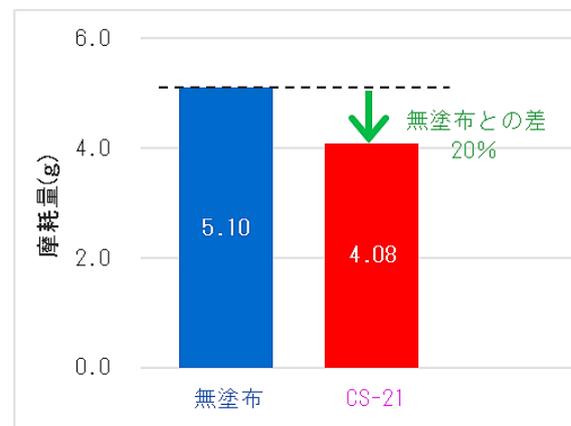


図18 モルタル試験体 (W/C=55%)
H22による摩耗試験結果グラフ

表23 摩耗試験の結果

摩耗輪の種類	摩耗量 (g)		無塗布との比 (%)	抑制率 (%)
	無塗布	CS-21		
研磨紙	0.75	0.43	57.3	42.7
H22	5.10	4.08	80.0	20.0

3.5 採取コアによる加圧透水性試験

(1) 試験概要

CS-21の水の浸透に対する抵抗性を確認するため、採取コアによる加圧透水性試験を、鹿児島大学にて実施した。

実コンクリート構造物の無塗布箇所およびCS-21塗布28日後箇所よりΦ100mmの円柱コアを採取。採取した円柱コアを試験体とし、JSCE-K572 加圧透水性試験に準じて、圧力：0.5MPa・期間：48時間の透水試験を実施。加圧完了後、円柱コア試験体の試験面（加圧面）を2分割するように割裂して、割裂面の水の浸透深さを測定した。

(2) 試験結果

試験の結果*を図19・表24に示す。

試験の結果、CS-21を塗布・浸透させた試験体の水の浸透深さは0.66mmであり、無塗布3.38mmに対し、水の浸透深さ比20%（抑制率80%）であった。

* 土木学会：けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針（案） P168 資料 図-2.5.3 加圧透水性試験による無塗布試験体に対する水の浸透深さ比 参照：図中の材料種類 Na-1=CS-21

この結果から、CS-21は、コンクリート表面から塗布することで、水の浸透に対する抵抗性を向上させることが確認された。

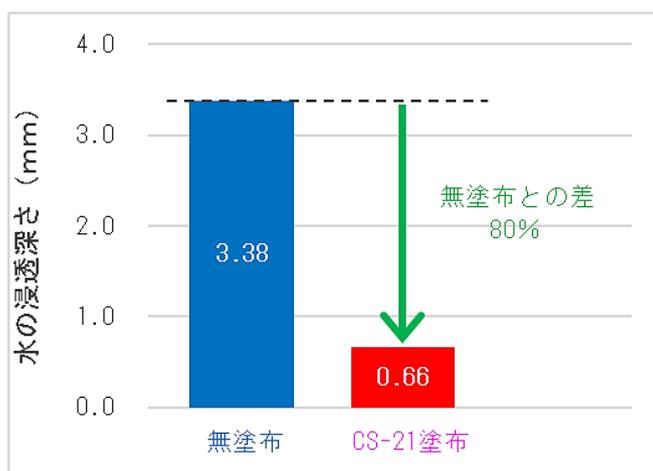


図19 水の浸透深さ測定結果グラフ

表24 加圧透水性試験の結果

試験体種類	水の浸透深さ (mm)	水の浸透深さ比 (%)	抑制率 (%)
無塗布	3.38	—	—
CS-21	0.66	19.5	80.5

3.6 長さ変化率試験

(1) 試験概要

CS-21 塗布による乾燥収縮への影響を確認するため、長さ変化率試験を鹿児島大学にて実施した。

(2) 試験手順

JSCE-K572 の配合および養生条件に準拠し、測定用チップを有する試験体：40×40×160mm【図20】を作製。

材齢 28 日時点で、試験体半数の全面（6面）にCS-21 を塗布し、残りの半数を無塗布試験体とする。

両試験体を温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $60\% \pm 5\%$ 環境下に静置し、JIS A1129 モルタル及びコンクリートの長さ変化測定方法に準拠して、材齢 28 日を初期値として、長さを 91 日間測定し、長さ変化（収縮ひずみ）を無塗布と比較する。

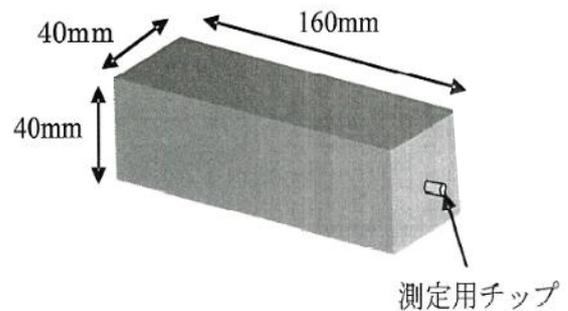


図 20 長さ変化率試験、試験体概要図

(3) 試験結果

長さ変化率試験の結果を図 21 に示す。

試験の結果、CS-21 を塗布・浸透させた試験体の収縮ひずみ（グラフ赤色：塗布）は、91 日経過時点で、無塗布に比べ、約 10%抑制される結果が得られた。

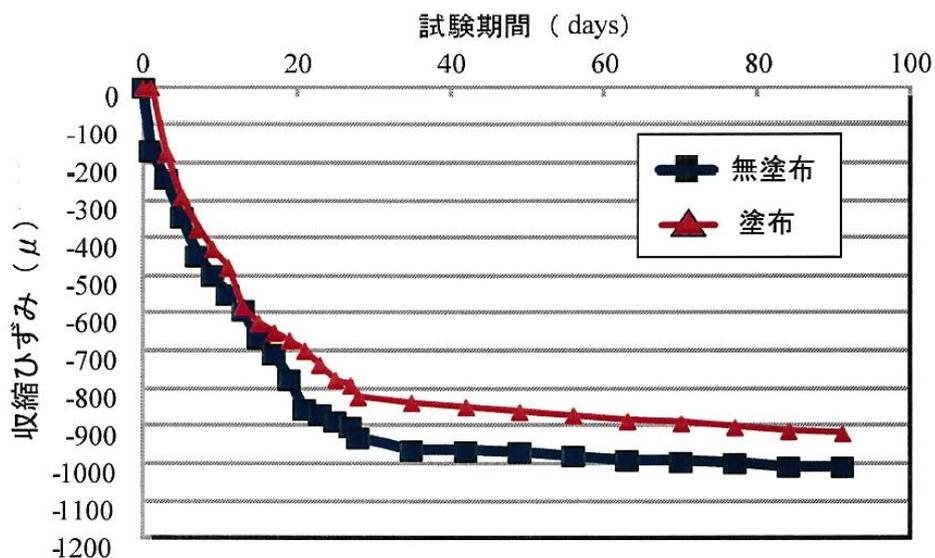


図 21 長さ変化率試験結果グラフ

3.7 促進中性化処理したセメントペースト試験体による種類判定試験

JSCE-K572 種類判定試験のセメントペースト試験体を促進中性化処理（二酸化炭素濃度 5%、28 日間）したものを使用し、種類判定試験（ろ液と比較用の純水による反応性確認試験）を実施した。

促進中性化処理したセメントペースト試験体の中性化確認状況を写真 14 に、種類判定試験の結果を写真 15 に示す。

試験の結果、比較用の純水では変化が見られないが、CS-21 では試験開始から 28 日後時点で白濁が確認され、促進中性化処理したセメントペースト試験体に対しても「反応性あり」と判定された。

この結果から、CS-21 は、新設コンクリートに塗布・浸透から経年後に表層部が中性化した段階や、表層部の中性化した既設コンクリートに塗布・浸透後も、水分の供給下において、反応が持続し、反応物生成による継続的な空隙充填性を有することが確認された。

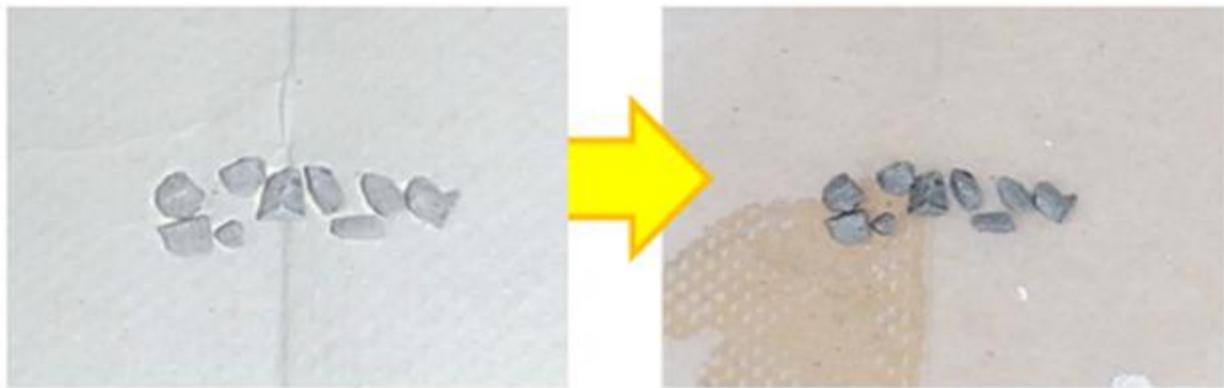


写真 14 促進中性化処理試験体のフェノールフタレイン噴霧前（左）と後（右）

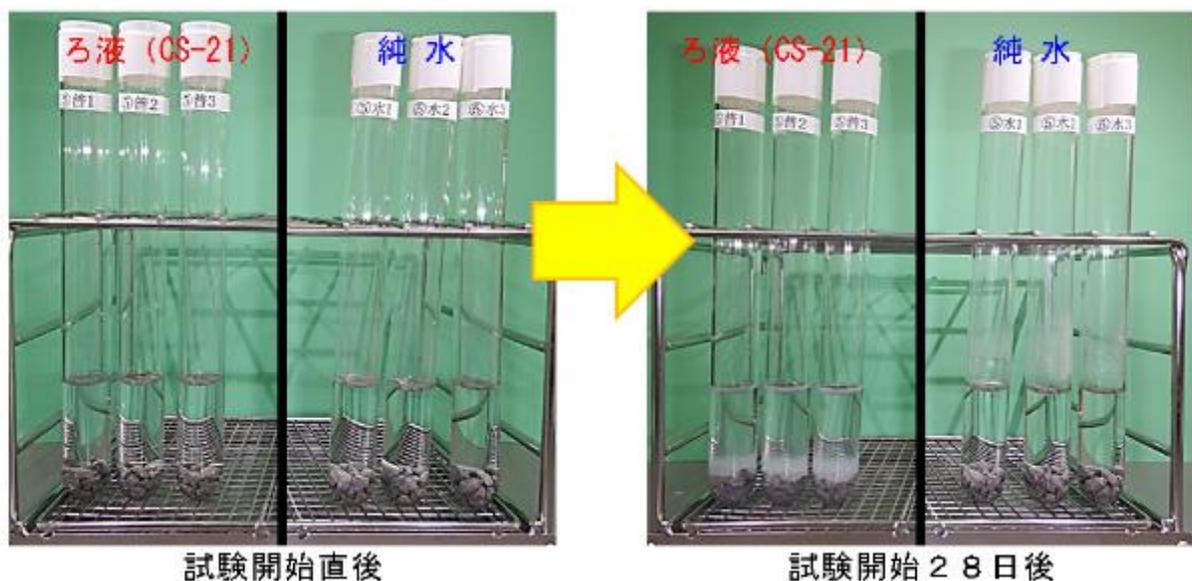


写真 15 促進中性化処理セメントペーストによる種類判定試験（ろ液の反応性確認）

3.8 施工効果確認試験（表層透気試験）

3.8.1 試験概要

実構造物におけるCS-21の表面保護（劣化抑制）効果を確認するため、コンクリート構造物において、CS-21塗布前と塗布後に、同一箇所での表層透気試験を実施した。

(1) 試験装置概要

表層透気試験*は、透気試験機を用いてコンクリート表層部の透気係数を測定し、表層部の緻密化による改質効果を判定することを目的とした試験である。

透気試験機は、図22に示すように、コンクリート表面に接触する部品（チャンバーセル）が二重構造となっており、横方向からの空気の取り込みの影響を外側のチャンバーで除外することで、内側のチャンバーが深さ方向のみの透気性を測定できる仕組みのものを使用する。

CS-21の施工効果確認試験では、上記条件を満たすパーマ・ツール（エフティーエス社・写真16）を使用。

*土木学会：けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針（案）P206～ 参考資料編 7.2.4 表層透気試験参照

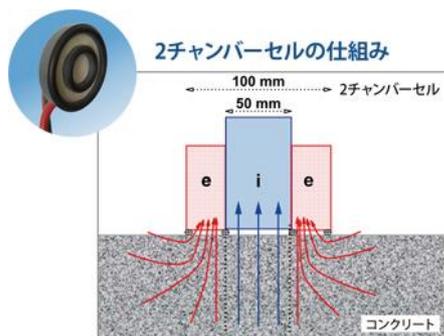


図22 二重構造チャンバーセルの仕組み



写真16 透気試験機：パーマ・ツール測定状況

(2) 試験手順

①透気係数測定（1回目／施工前：CS-21塗布前）

CS-21の塗布範囲より測定箇所を選定。表面を清掃後、透気係数を測定し、測定箇所をマーキング

②CS-21塗布

1回目／施工前：CS-21塗布前の測定後、CS-21を塗布

③透気係数測定（2回目／施工後：CS-21塗布・養生後）

CS-21塗布・養生後、CS-21を塗布したマーキング箇所（1回目／施工前：CS-21塗布前の測定と同一箇所）の透気係数を測定

(3) 試験結果まとめ

事例①～④の結果から、CS-21は、コンクリート表面から塗布することで、表層部を緻密化し、物質移動抵抗性を向上させ、鋼材腐食の要因となる水や酸素などの劣化因子の侵入を抑制（耐久性が向上）すること、その効果は、コンクリートの材齢（新設・既設）を問わず発揮されることが確認された。

3.8.2 事例① 新設 配水池（外周壁内面）

(1) 試験概要

①測定箇所

供用開始後には浸水する配水池外周壁内面の階段踊り場付近より選定。

②CS-21塗布の仕様

CSⅡ工法（塗布量 300 g/m² [150 g/m² × 2 回]）

③測定時期

CS-21塗布前、およびCS-21塗布後、配水池として供用が開始され、塗布後1年・2年・3年経過後に、一時的に水位を下げ、CS-21塗布前の測定箇所と同一箇所の透気係数を測定【写真17】



写真17 透気係数測定状況

(2) 試験結果

表層透気試験の結果を図23・表25に示す。

試験の結果、CS-21塗布後の透気係数（×10⁻¹⁶m²）は、塗布1年後：0.464、塗布2年後：0.460、塗布3年後：0.420であり、塗布前：1.719に対し、73~76%抑制する結果となった。

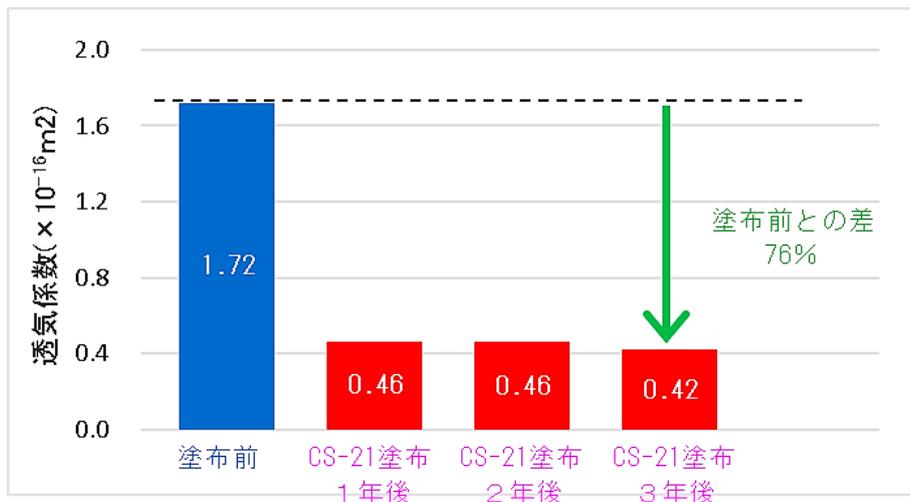


図23 透気係数測定結果グラフ

表25 表層透気試験の結果

透気係数 k T (×10 ⁻¹⁶ m ²)				透気係数比* (%)	抑制率 (%)
塗布前	塗布1年後	塗布2年後	塗布3年後		
1.719	0.464	0.460	0.420	24.4	75.6

*透気係数比：塗布前の透気係数に対する塗布3年後の透気係数の比率（塗布3年後÷塗布前）

3.8.3 事例② 新設 橋梁（床版上面）

(1) 試験概要

①測定箇所

新設橋梁の床版上面より選定。

②CS-21 塗布

CSI工法（塗布量 200 g/m² × 1 回）

③測定時期

CS-21 塗布前、およびCS-21 塗布から28日後に、CS-21 塗布前の測定箇所と同一箇所の透気係数を測定【写真18】

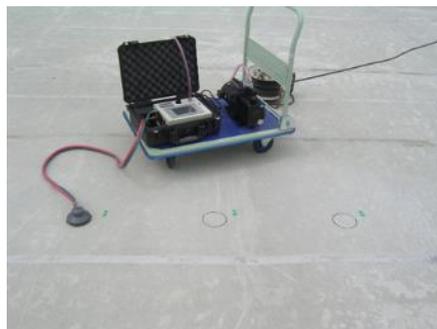


写真18 透気係数測定状況

(2) 試験結果

表層透気試験の結果を図24・表26に示す。

試験の結果、CS-21 塗布後の透気係数（ $\times 10^{-16}m^2$ ）は、塗布28日後：0.15であり、塗布前：0.42に対し、64%抑制する結果となった。

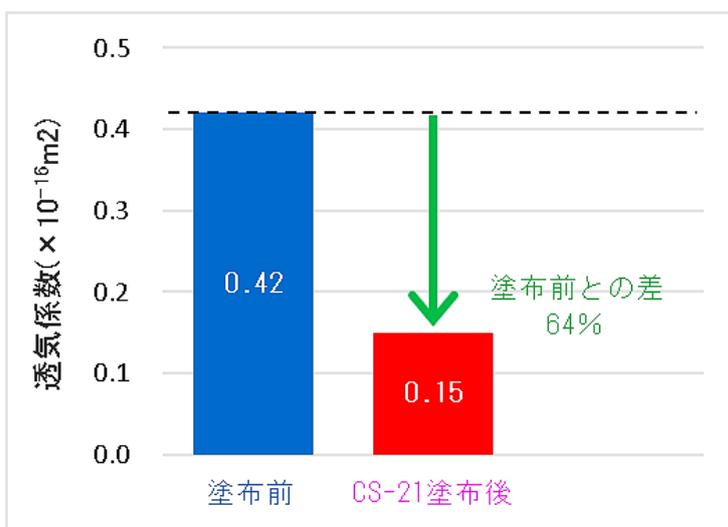


図24 透気係数測定結果グラフ

表26 表層透気試験の結果

透気係数 k_T ($\times 10^{-16}m^2$)		透気係数比* (%)	抑制率 (%)
塗布前	塗布28日後		
0.42	0.15	35.7	64.3

* 透気係数比：塗布前の透気係数に対する塗布28日後の透気係数の比率（塗布28日後÷塗布前）

3.8.4 事例③ 既設 橋梁（床版上面：コンクリート舗装）

(1) 試験概要

①測定箇所

竣工から25年経過した既設橋梁の床版上面（コンクリート舗装面）より測定箇所を選定。

②CS-21塗布

CS II工法（塗布量 300 g/m² [150 g/m² × 2 回]）

③測定時期

CS-21塗布前、およびCS-21塗布から約1ヶ月後（34日後）に、CS-21塗布前の測定箇所と同一箇所の透気係数を測定【写真19】



写真 19 透気係数測定状況

(2) 試験結果

表層透気試験の結果を図25・表27に示す。

試験の結果、CS-21塗布後の透気係数（ $\times 10^{-16} \text{m}^2$ ）は、塗布から約1ヶ月後：1.90であり、塗布前：7.17に対し、74%抑制する結果となった。

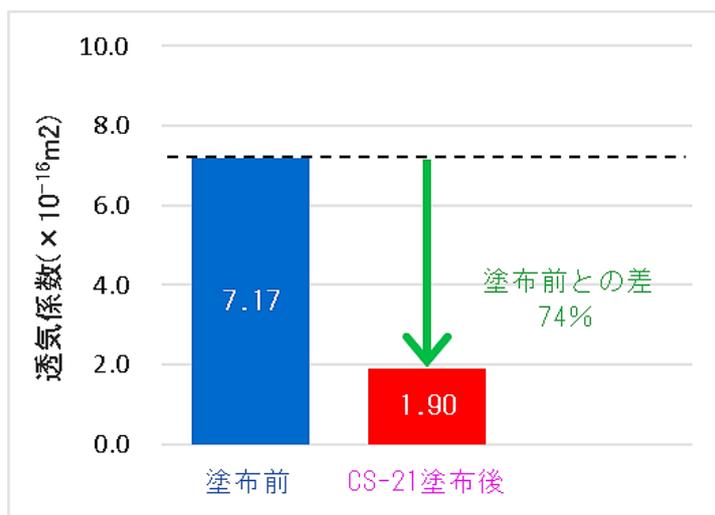


図 25 透気係数測定結果グラフ

表 27 表層透気試験の結果

透気係数 k_T ($\times 10^{-16} \text{m}^2$)		透気係数比* (%)	抑制率 (%)
塗布前	塗布1ヶ月後		
7.17	1.90	26.5	73.5

* 透気係数比：塗布前の透気係数に対する塗布1ヶ月後の透気係数の比率（塗布1ヶ月後÷塗布前）

3.8.5 事例④ 既設 橋梁（床版下面・桁・橋台）

(1) 試験概要

①測定箇所

竣工から80年以上経過した橋梁の床版下面・桁側面・橋台側面より測定箇所を選定。

②CS-21塗布

CSⅡ工法（塗布量 300 g/m² [150 g/m² × 2 回]）

③測定時期

CS-21塗布前、およびCS-21塗布から約2週間後（16日後）に、CS-21塗布前の測定箇所と同一箇所の透気係数を測定【写真20】



写真20 透気係数測定状況

(2) 試験結果

表層透気試験の結果を図26・表28に示す。

試験の結果、CS-21塗布後の透気係数（ $\times 10^{-16}m^2$ ）は、塗布から約2週間後：0.93であり、塗布前：1.76に対し、47%抑制する結果となった。

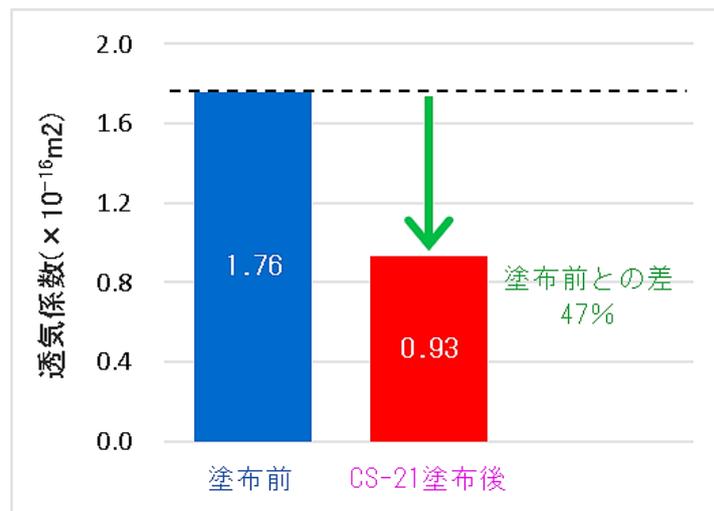


図26 透気係数測定結果グラフ

表28 表層透気試験の結果

透気係数 k_T ($\times 10^{-16}m^2$)		透気係数比* (%)	抑制率 (%)
塗布前	塗布2週間後		
1.76	0.93	52.8	47.2

*透気係数比：塗布前の透気係数に対する塗布2週間後の透気係数の比率（塗布2週間後÷塗布前）

