

# 土木研究所資料

## コンクリート表面保護工の

## 施工環境と耐久性に関する研究

—浸透性コンクリート保護材の性能持続性の検証と

性能評価方法の提案—

平成23年1月

独立行政法人土木研究所  
材料地盤研究グループ（新材料）

Copyright © (2010) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

# コンクリート表面保護工の施工環境と 耐久性に関する研究

## —浸透性コンクリート保護材の性能持続性と 性能評価方法の提案—

独立行政法人土木研究所 材料地盤研究グループ (新材料) 上席研究員 西崎 到  
同 総括主任研究員 守屋 進

### 要旨：

コンクリート構造物の塩害、アルカリ骨材反応、中性化、凍結融解などの早期劣化を防ぐため、コンクリート表層を改質して炭酸ガスや塩化物イオンなどの劣化因子が、コンクリート内部に浸透することを抑制することが期待されている浸透性コンクリート保護材について、その耐久性と性能評価方法を検討した結果を取りまとめたものである。

キーワード：コンクリート構造物、耐久性、浸透性保護材、塩害、中性化



## はじめに

コンクリートの早期劣化には、塩害やアルカリ骨材反応、凍結融解、中性化などがある。また、かぶりの薄いコンクリート壁高欄などでは、自動車排気ガスなどに起因する中性化や酸性雨による劣化が顕在化してきている。このうちコンクリート構造物に致命的な損傷を与える恐れのある塩害やアルカリ骨材反応などの対策は一応確立されている。コンクリートの早期劣化は、いずれも表面からの劣化因子の浸透あるいは拡散に大きく支配されており、コンクリート表層部の性質に大きく依存していると考えられる。良好な施工がなされなかった場合、その対策が直ちに実施できない場合などに比較的安価で簡便に出来る補助対策が求められている。

近年、安価で容易に施工できる補助対策として、シラン系やシリコン系のコンクリートへの浸透性に優れた塗布材が開発されてきた。これらは、コンクリート表層を改質して、コンクリートを保護する機能を有することから、浸透性コンクリート保護材と呼ばれている。浸透性コンクリート保護材は、比較的安価で、容易に施工でき、再施工性も優れていることからコンクリート構造物の耐久性向上の補助対策に使用出来る材料として注目されてきた。

しかしながら、浸透性コンクリート保護材については、その現場施工管理方法と性能評価方法が確立されておらず。また、その長期の性能評価に関する研究報告も少ない。そこで、浸透性コンクリート保護材の現場施工管理方法と性能評価方法の確立、並びに屋外暴露による性能持続性を明らかにすることを目的として、材料メーカーと浸透性コンクリート保護材研究会を組織して、浸透性コンクリート保護材を塗布したコンクリート試験体で、現場施工管理方法と性能評価方法に関する検討、および屋外暴露試験でその長期耐久性試験を実施した。本報告書は、室内試験および5年間の屋外暴露試験結果をとりまとめ、浸透性コンクリート保護材の塗布判別方法（案）と浸透性コンクリート保護材の性能評価試験方法（案）および浸透性コンクリート保護材の性能基準（案）を提案するものである。

平成 23 年 1 月

## 浸透性コンクリート保護材研究会 名簿

	守屋 進	独立行政法人土木研究所材料地盤研究グループ（新材料）
主査	石川一郎	アトムクス株式会社
委員	豊岡幸太郎	旭化成ワッカーシリコン株式会社
	徳田雅一	日本ペイント株式会社
	高橋定明	中国塗料株式会社
	高橋浩二	大日本塗料株式会社
	中野 正	関西ペイント販売株式会社
	三橋尚志	ダイキン工業株式会社
	水谷真也	大同塗料株式会社

### 途中交代委員

	叶 健児	住友精化株式会社
	竹田英幸	同上
	三村俊幸	旭化成ワッカーシリコン株式会社
	伊丹康雄	ダイキン工業株式会社
	福田晃之	同上

# 目 次

はじめに

I. 研究目的	1
II. 研究概要	2
1. 研究の経緯	2
1. 1 研究項目	3
1. 2 供試材料の整理	5
2. 浸透性コンクリート保護材	6
3. 用語の定義	9
III. 浸透性コンクリート保護材の性能評価試験	11
1. 第1次性能評価試験	11
1. 1 供試材料	11
1. 2 試験体の作製方法	13
1. 3 室内試験方法	15
1. 4 室内試験結果	26
1. 5 暴露試験方法	60
1. 6 暴露試験結果	72
2. 第2次性能評価試験	186
2. 1 供試材料	186
2. 2 試験体の作製方法	187
2. 3 室内試験方法	191
2. 4 室内試験結果	195
2. 5 暴露試験方法	225
2. 6 暴露試験結果	228
IV. 浸透性コンクリート保護材の現場施工管理方法の検討	273
1. 第1次施工管理方法の検討	273
1. 1 現場施工管理方法の検査方法と種類	273
1. 2 現場透水試験	274
2. 第2次施工管理方法の検討	277
2. 1 施工管理方法の探索検討	277
2. 2 小型試験体による室内試験	280
2. 3 大型試験体での試験	291
2. 4 水分測定における測定時間の検討	299
2. 5 浸透性コンクリート保護材の劣化程度の把握方法の検討	300
2. 6 現場施工管理方法の検討のまとめ	306

3.	浸透性コンクリート保護材の塗布判別方法（案）	307
3.1	目的	307
3.2	適用範囲	307
3.3	検査	307
3.4	測定方法	307
3.5	判別	307
V.	浸透性コンクリート保護材の性能評価方法の検討	308
1.	性能評価方法の概要	308
1.1	研究目的	308
1.2	研究内容	308
1.3	第1次性能評価試験	309
1.4	第2次性能評価試験	316
1.5	浸透性コンクリート保護材の性能評価試験方法の概要	324
2.	浸透性コンクリート保護材の性能基準の検討	325
2.1	塩化物イオン量による性能基準値	325
2.2	質量変化による性能基準値	326
2.3	浸透性コンクリート保護材の性能基準（案）	327
2.4	浸透性コンクリート保護材の性能判定方法	328

おわりに

#### 付属資料

付属資料-1	浸透性コンクリート保護材の性能評価試験方法（案）	付属-1
付属資料-2	浸透性コンクリート保護材の性能基準（案）	付属-2 2
付属資料-3	浸透性コンクリート保護材の塗布判別方法（案）	付属-2 6
付属資料-4	論文等の成果の公表	付属-2 9

#### 付録

付録-1	第1次室内試験データ	付録-1
付録-2	第1次暴露試験データ	付録-2 8
付録-3	第2次室内試験データ	付録-9 6
付録-4	第2次暴露試験データ	付録-1 2 2





## IV. 浸透性コンクリート保護材の現場施工管理方法の検討

### 1. 第1次施工管理方法の検討

#### 1. 1 現場施工管理方法の検査方法と種類

保護材は、コンクリート表面に塗膜を形成しないことや形成しても表面近傍のため外観を変状させることが少ない。再補修の時期判断や適用した箇所について、適切に処理されたと判断する試験方法がないため、外観・仕上がり状態および要求された性能が確保されているか否かを適切な方法で確認する必要がある。このようなことから、簡便、迅速、安価でかつ非破壊で現場での出来形管理方法を確立することを目的として調査を行なった。表－IV.1.1に調査検討した検査方法を列挙し、現状で適用できる管理方法を種類別に表－IV.1.2に示した。なお、この調査は平成17年度までの内容である。

表－IV.1.1 現場施工時の状態を確認する適用性試験の一例

試験方法			検討結果	
施工時	使用量の確認	空缶検査	実施可能	
官能評価	撥水性の観察	散水による目視観察	経時で撥水しなくなる材料もあるため、塗布初期ならば実施可能	
		電気抵抗値測定	測定値にバラツキがあるため、データの収集が必要	
機器等での測定	表面電気抵抗	誘電率測定	専用の測定機器の開発が必要	
		内部撥水性	撥水層の深さ測定	コア抜きが可能であれば、実施可能
		透水性	ロート法	専用の測定器具の開発が必要
	表面水分測定	散水等による表面付近の水分量の測定	水分計の測定値にバラツキがあるが、種類によっては、可能性ある	
		中性子水分計による測定	機器が大型化するため不可能	
	水分注入	強制的に表面から水分を注入し、抵抗圧力等を測定	低圧注入治具等の精度等の検証が必要。また、透水量と圧力の関係が不明	
	表面温度測定	散水等により赤外線カメラ等で表面温度の変化を測定	赤外線カメラや画像処理が必要。塗布の有無での画像が不明確	

使用量確認はすでに空缶検査が行われている。撥水性の観察は散水による目視観察も可能である。機器等での測定では、データ収集や専用の測定機器の開発が必要となるため実施可能なものは少ない。その中で比較的簡便に測定出来る透水性について検討を行うことにした。また、水分計を利用した表面水分測定も可能性があることが判明した。

表－Ⅳ.1.2 適用可能な出来形管理方法の例

項 目		管理方法	内 容	保護材	
				シリコーン類	その他の類
非破壊	外 観	目視	設計された外観状態	○	○
	透水性	現場透水量試験	基準値内の透水量	○	○
破 壊	浸透深さ	コアの採取	撥水または着色域	○	○

## 1. 2 現場透水試験

### 1. 2. 1 試験方法

保護材の多くは吸水防止性を示し、またこれまでの暴露結果から各劣化要因が吸水防止性の高い材料ほど透水量が少ないことから、実構造物で簡便に透水量を測定する方法について検討を行った。これまで実構造物での透水量を簡便に測定する方法として Karsten Tube (RILEM Test Method No. 11.4) による測定が報告されている。

しかし、緻密なコンクリートでは短時間で明確な透水量を確認しづらいことや、Karsten Tube の固着が容易でないことなどから、新たに試験装置を考案した。装置は、アクリル樹脂製の円形（内径φ80 mm，厚さ20 mm）および角形（内側100 mm×100 mm，厚さ20 mm）の注水部とその上部に透水量測定のパイプをシリコーンゴムチューブを介して取付け、短時間で器具に注水できるようにした。コンクリート面に固定は、水漏れがなくしかも、測定終了後の取外し作業が容易なシリコーンゴムを採用した。写真－Ⅳ.1.1 に現場透水試験器具の試験状況を示す。

表－Ⅳ.1.3 に実構造物への試験結果から装置を固定する材料とその作業性などについて示した。無塗布コンクリートのような吸水性があり、透水量が多いコンクリートの場合に、角形の注水部の装置では、注水直後からの気泡が上側に溜まりやすく、円形の注水部の方が気泡を抜きやすく扱いやすい。

一方、コンクリートへの測定器具の固定は、作業性では、テープが優れていたが、コンクリート表面の凸凹に対して追従性が低く漏水が起りやすかった。従来から市販されているエポキシ系粘着剤やシリコーン系シーラントでは測定中の漏水がおこりにくいという利点があるものの、材料硬化に時間を要したり、測定終了後の取外し作業に問題があった。最も良好であったものは2液の付加型シリコーンゴムで、エポキシ系接着剤のような短時間硬化に加え、テープ類と同様に測定後の離型性も良好であった。しかし、ふっ素系の保護材を塗布した面への接着性が劣るなどの問題点も残った。塗布した保護材の種類や作業可能時間など条件に応じた接着材料の検討が今後の課題である。



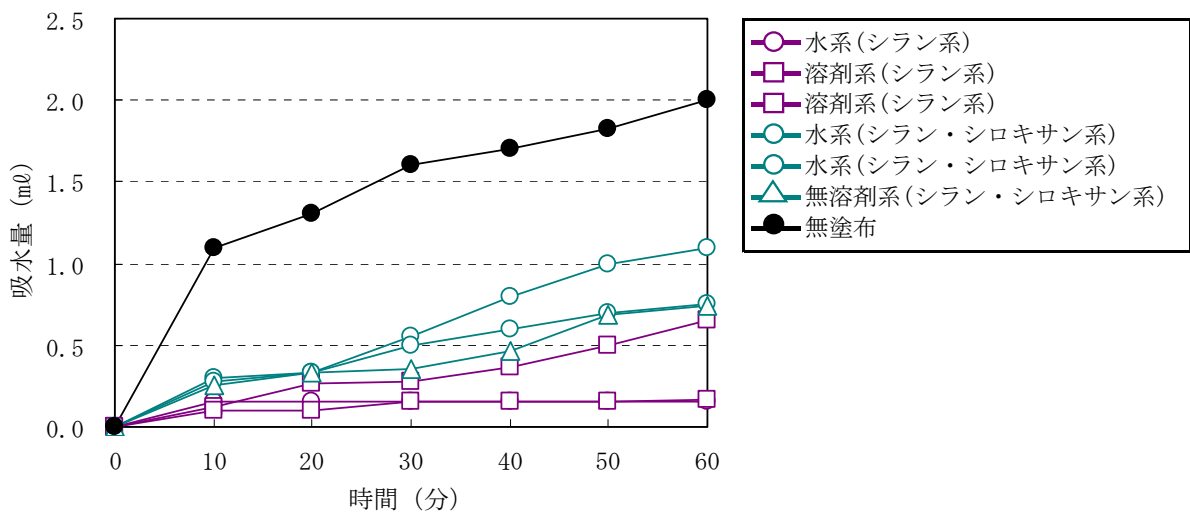
写真－Ⅳ.1.1 現場透水試験器具の試験状況

表－Ⅳ.1.3 現場透水試験器具の固定に使用した材料

接着材料	硬化性 貼付性	接着性	漏 水	器具の取外し
エポキシ樹脂接着剤	短時間	良好	無	機械的に除去が必要
シリコーンシーラント (1液)	長時間			一部電動工具での 除去が必要
付加型シリコーンゴム (2液)	短時間	保護材の種類に より接着しない		すべて除去が可能
アクリル系粘着テープ	短時間	良好	接着面の凸凹（起 伏）により漏水	一部電動工具での 除去が必要
ブチルゴム系粘着テープ				

### 1. 2. 2 試験結果

今回の検討に使用した保護材をコンクリート面に塗布し、前述の円形装置および付加型シリコーンゴムを用い、コンクリート面の吸水性を測定した。その結果を図－Ⅳ.1.1に示す。測定は60分間行ったところ、各保護材で吸水量の差が認められ、無塗布に比べ10～50%の吸水量を示した。



図－IV.1.1 実構造物での吸水量の測定

### 1. 2. 3 まとめ

検査方法と種類の調査、現場透水試験の実施より以下のことが明らかになった。

- ①現場透水試験の装置の形状は、角形より円形の方が注水時の気泡を抜きやすい。装置の固定には2液の付加形シリコンゴムが良好であったが、保護材の種類や作業可能時間などによってはより最適な材料が必要である。また、測定箇所、バラツキ等を考慮すると測定点数を増やす必要がある。
- ②塗布量管理としては空缶検査が可能である。撥水性の観察は散水による目視観察が可能である。機器等での測定では、データ収集や専用の測定機器の開発が必要となるため実施可能なものは少ないが、透水試験以外に水分計を利用した表面水分測定も可能性があることが判明した。

## 2. 第2次施工管理方法の検討

浸透性コンクリート保護材（以下、保護材とする）は無色透明で、コンクリートに塗布しても塗膜を形成しないことや形成してもコンクリート表面の外観変化が少ない。保護材は外観や膜厚測定等によって検査できる塗装工法と異なり、適切に塗布されたかを判断する検査方法がない。また、土木研究所資料第4085号（平成21年1月）には、浸透性コンクリート保護材を適用した箇所の検査の方法例として、外観観察、透水測定、フェノールフタレイン溶液散布や浸透深さ測定等が記されているが、いずれの方法も検査や測定に時間や労力がかかり、塗布したかを判断しにくい状況にある。

そこで、塗布後も外観上変化がないコンクリート表面を適切に検査・判断でき、且つ簡便に取り扱える検査方法について検討した。検討は、保護材の特性である浸透性、撥水性と簡便性や測定器のコスト等を考慮して、いろいろ予備検討した結果、表面水分計が適用の可能性が高いことが分かった。以下の検討は、撥水性を有するシラン系、シラン・シロキサン系、シロキサン系、その他の類を主体に行い、撥水性のないケイ酸塩系も一部の試験で検討に加えた。

### 2. 1 施工管理方法の探索検討

現場での保護材の品質管理に適用可能な測定器の探索や各種保護材への適用範囲等を検討するために小型試験体による探索検討を行った。

#### 2. 1. 1 試験方法

##### (1) 表面水分計

表面水分計は紙、木材、コンクリート、ゴム等の水分を測定する目的で約100年前に開発され、比較的安い価格で市販されている。表面水分計は図-IV.2.1に示すように簡単な回路構成で、電気抵抗 $R$ と静電容量 $C$ の並列回路からなる。その回路の中で測定対象物は、絶縁体または半導体とみなされ、測定対象物に含まれる水分量により電気抵抗と静電容量が変化することを利用したものである。水分と抵抗または静電容量の関係は測定対象物の種類によって異なるため、木材用、紙用、モルタル用などによって、機種を選択する必要がある。（測定対象物によって水分計の内部抵抗や電圧が異なる。）（誘電率；水=80、乾燥木材=2）

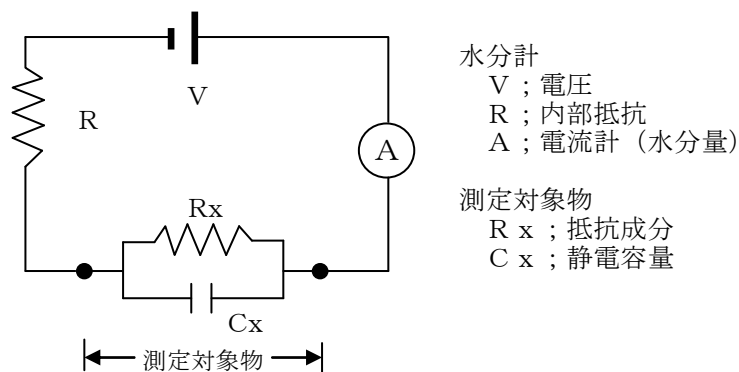


図-IV.2.1 表面水分計の回路図

(2) 表面水分計による測定方法

表面水分計の測定原理および予備検討結果に基づき、図-IV.2.2に示すように保護材が塗布されたコンクリート表面と無塗布コンクリート表面に散水し、拭き取りした後の水分量を測定する方法で以下の検討を行った。

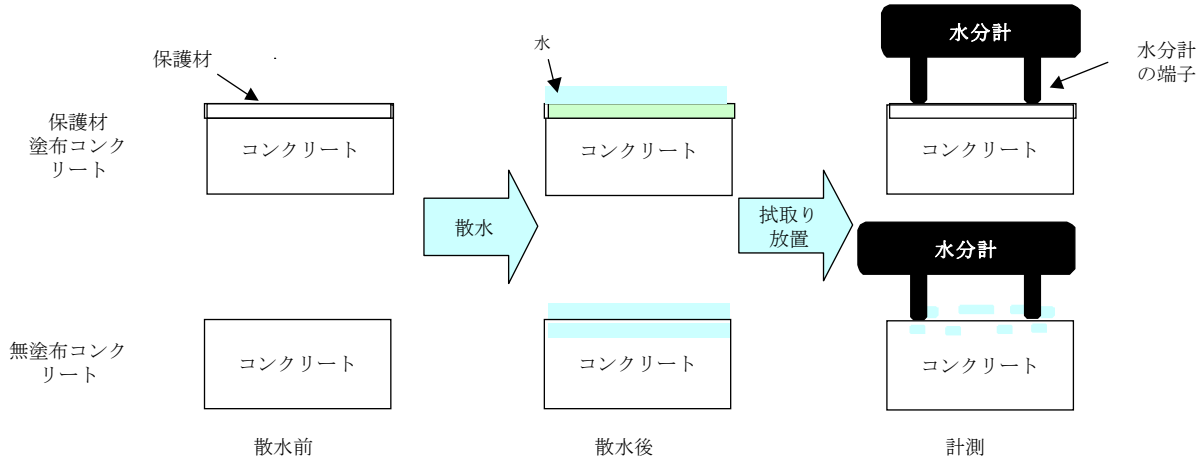


図-IV.2.2 測定方法の概要

(3) 試験に供したコンクリート材料

表-IV.2.1に示すように、試験に供したコンクリートは、水/セメント比が約55%、細骨材率が約46%のポルトランドセメントを使用した一般的な土木構造物に適用されるコンクリートを用い試験した。

表-IV.2.1 試験に供したコンクリート材料

材料 W ; 上水、C ; ポルトランドセメント、S ; 陸砂/山砂=3/1、G ; 碎石、Ad ; AE減水材

粗骨材最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	水セメント比 (%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (Kg/m <sup>3</sup> )				
					W	C	S	G	Ad
20	12.5±2.5	54.5	4.5±1.5	46.4	169	310	825	977	4.03

(4) 試験に供した保護材

表-IV.2.2に示す組成分類や溶媒が異なる保護材を下述のそれぞれの試験内容に応じて供した。検討は撥水性を有するシラン、シラン・シロキサン、その他の類を主体に行い、撥水性のないケイ酸塩系も一部の試験で検討に加えた。

表-IV.2.2 試験に供した浸透性コンクリート保護材

No.	系統	中分類
1	水系	シラン系
7	溶剤系	
10	水系	シラン・シロキサン系
14	無溶剤系	
20	溶剤系	その他の類
21	無塗布	
K	水系	ケイ酸塩系

## 2. 1. 2 試験結果

(2) 表面水分計による測定方法で測定できるかを予備的に調べるために市販の水分計を用い測定した。使用した水分計の概要を表-IV.2.3 に示す。適用した保護材は表-IV.2.4 に示す。結果を表-IV.2.5 に示す。

表-IV.2.3 水分計の概要

メーカー	用途	機器番号	表示形式	測定電極	表示目盛範囲	測定水分範囲
A	木材用	A 1	アナログ	針電極	0～10	3～30
		A 2	デジタル	金網電極	0～10	15～30

表-IV.2.4 予備試験結果

機器番号	保護材の概要			散水前	散水直後	拭取り後の経過時間における水分計の測定目盛の値		
	No.	系統	中分類			1分	3分	5分
A 1	1	水系	シラン	0	8.0	0	0	0
	7	溶剤系		0	8.0	0	0	0
	10	水系	シラン・シロキサソ	0	8.0	0	0	0
	14	無溶剤系		0	8.0	0.1	0	0
	20	溶剤系	その他の類	0	8.0	0.2	0	0
	21	無塗布		0	8.0	2.0	1.5	0.5
	K	水系	ケイ酸塩系	0	8.0	1.0	2.0	0.5
A 2	1	水系	シラン	0	6.0	0	0	0
	7	溶剤系		0	5.0	0	0	0
	10	水系	シラン・シロキサソ	0	5.0	0	0	0
	14	無溶剤系		0	5.0	0	0	0
	20	溶剤系	その他の類	0	5.0	0	0	0
	21	無塗布		0	8.0	0	0	0
	K	水系	ケイ酸塩系	0	7.0	0	0	0

備考) ・目盛値の数字が大きいほど測定表面が湿潤している状態  
 ・目盛値の測定下限値以下を0として表示した。

測定機種や保護材の種類等によって拭取り後の経過時間における測定値(目盛の値)が異なる。拭取り後の経過時間毎の測定値において、機種A2は無塗布コンクリートおよび保護材の種類による差異が認められないが、機種A1については撥水性を有する保護材と無塗布コンクリートや撥水性のないケイ酸塩系との差異が認められた。従って、測定方法や水分計の機種や保護材の種類等を更に検討することによって、保護材を塗布したコンクリート面の簡便な管理方法が見つけられる可能性があることが分かった。



## 2. 2 小型試験体による室内試験

### 2. 2. 1 試験方法

試験方法は2. 1 (2) の表面水分計による測定方法に準じて行った。

### 2. 2. 2 試験結果

水分計の種類、試験体や測定部位のばらつき、測定条件、保護材の種類、保護材の塗布量について試験した。

#### (1) 水分計の機器による試験結果

予備試験結果から水分計の機器による影響を調べる目的で、シラン系保護材と無塗布コンクリートについて、測定モードや電極が異なる2メーカー5種類の市販の水分計について試験した結果を表-IV.2.5に示す。

表-IV.2.5(1) 水分計の機器による試験結果

計測過程 および 測定条件	保護材		水分計		
			メーカー	A社	
	No.	概要	形式	A 1	A 2
			測定モード		
		電極	針式	針式	
散水前	7	シラン(溶剤系)	拭取り後の 経過時間	0~0	0~0
	21	無塗布		0~0	0~0
散水 10秒 ↓ 拭取り ↓ 放置20秒	7	シラン(溶剤系)	1分	0, 0, 0	0, 0, 0
			3分	0, 0, 0	0, 0, 0
			5分	0, 0, 0	0, 0, 0
	21	無塗布	1分	3~4	0, 0, 0
			3分	1.5, 1.5, 2.0	0, 0, 0
			5分	1.5, 1.5, 1.5	0, 0, 0
水スプレー 15秒 ↓ 拭取り ↓ 放置45秒	7	シラン(溶剤系)	1分	未試験	未試験
			3分		
			5分		
	21	無塗布	1分		
			3分		
			5分		

備考) ・Lは測定下限値以下で、Hは測定上限値で、どちらも数値表示不能

- ・数値が大きいほど抵抗が小さい=表面が湿っている
- ・計測は3点測定した。
- ・散水の方法は家庭用霧吹きで行った。

表－IV.2.5(2) 水分計の機器による試験結果

計測過程 および 測定条件	保護材		水分計			
			B社			
	No.	概要	B 1		B 2	B 3
			K		TG	Mo
		針式	金網式	金網式	ゴム式	
散水前	7	シラン(溶剤系)	9.2～10.2	12.2～13.2	10～10	0～0
	21	無塗布	9.5～11.5	9.5～10.3	12～14	0～0
散水 10秒 ↓ 拭取り ↓ 放置20秒	7	シラン(溶剤系)	9.6, 10.3, 10.5	未試験	11, 12, 12	L, L, L
			10.6, 11.7, 13.2		10.5, 11.0, 11.5	L, L, L
			9.8, 10.1, 10.9		9.5, 10.5, 11.0	L, L, L
	21	無塗布	12.2, 12.5, 14.4		18, 22, 25	2.0, 2.0, 2.5
			11.7, 12.9, 14.6		13.0, 13.2, 13.5	L, L, L
			9.1, 12.5, 13.3		12.5, 12.5, 14.0	L, L, L
水スプレー 15秒 ↓ 拭取り ↓ 放置45秒	7	シラン(溶剤系)	13.4, 13.4, 13.6	未試験	L, L, L	
			12.8, 12.9, 13.0		L, L, L	
			11.7, 12.4, 12.6		L, L, L	
	21	無塗布コンクリート	H, H, H		4.0, 4.5, 4.5	
			25.3, 25.7, 25.8		2.0, 2.0, 2.5	
			16.7, 18.1, 19.0		2.0, 2.0, L	

備考) ・Lは測定下限値以下で、Hは測定上限値で、どちらも数値表示不能

- ・数値が大きいほど抵抗が小さい＝表面が湿っている
- ・計測は3点測定した。
- ・散水の方法は家庭用霧吹きで行った。

散水前の乾燥状態での測定値および散水し拭取り後の放置条件による湿潤状態での測定値から、無塗布コンクリートと保護材塗布コンクリートの測定値に差異が認められる機器はA 1とB 3であり、その他の機器は測定値に明確な差異が認められないことが確認された。従って、適切な機器を選定することによって保護材を塗布したコンクリートと無塗布コンクリートを区別できることが分かった。

なお、B 3の測定可能な水分量は1～15%で、1%以下はL表示となり、15%以上は「H」表示となる。電極については針式に比べ金網式(メッシュ)やゴム式の方が測定箇所面に接触するため、測定しやすく、また取り扱いも容易であった。

(2) 試験体や測定部位によるばらつきについての試験結果

無塗布コンクリートおよび保護材の試験体や測定部位のばらつきを調べる目的で、水分計B 3で試験した結果を表－IV.2.6、表－IV.2.7および図－IV.2.3(1)、(2)、図－IV.2.4、図－IV.2.5に示す。

表－Ⅳ.2.6 無塗布コンクリートの試験結果

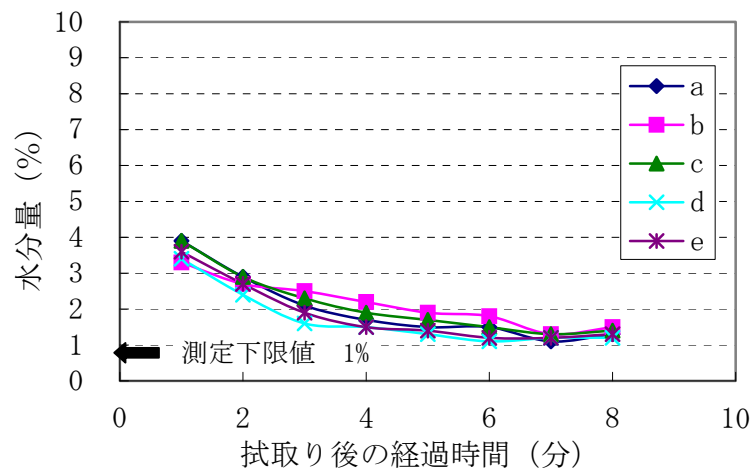
試験体の概要		測定 部位	水分量 (%)							
No.			拭取り後の経過時間 (分)							
			1	2	3	4	5	6	7	8
無塗布	21-1	a	3.9	2.9	2.1	1.7	1.5	1.5	1.1	1.3
		b	3.3	2.7	2.5	2.2	1.9	1.8	1.3	1.5
		c	3.9	2.9	2.3	1.9	1.7	1.5	1.3	1.4
		d	3.4	2.4	1.6	1.5	1.3	1.1	1.2	1.2
		e	3.6	2.7	1.9	1.5	1.4	1.2	1.2	1.3
	21-2	a	3.6	2.9	2.4	1.5	1.5	1.4	1.2	1.2
		b	3.8	3.1	2.9	2.5	2.2	1.9	1.4	1.3
		c	3.5	2.6	2.0	1.7	1.4	1.2	1.1	1.1
		d	3.5	2.9	2.1	1.7	1.4	1.3	1.1	1.2
		e	3.9	3.1	2.4	1.9	1.5	1.3	1.3	1.0
	21-3	a	8.7	7.6	7.1	6.9	6.8	6.2	6.5	6.4
		b	6.1	5.6	5.8	4.8	5.1	4.2	4.6	4.8
		c	6.0	5.2	5.1	5.0	5.1	4.6	5.0	4.7
		d	8.5	7.6	7.3	6.6	6.8	6.6	6.2	6.3
		e	5.1	5.0	4.7	4.1	4.2	4.1	4.0	4.1
	21-4	a	6.1	6.0	6.2	6.5	5.7	5.9	6.3	5.1
		b	5.9	5.4	5.7	5.2	5.5	5.1	4.9	4.8
		c	9.9	9.2	7.2	8.9	8.1	8.2	8.2	7.7
		d	7.7	7.7	7.9	6.5	5.6	6.7	6.2	5.2
		e	5.8	5.7	6.6	5.4	5.7	4.9	4.5	4.9

備考) ・番号21-1や1-1や711の1~4は繰返し番号 ・a~eは1枚の試験片での測定部位の違い  
 ・散水(霧吹き)15秒し湿潤状態で30秒放置し、ウェス拭取り後に経時測定

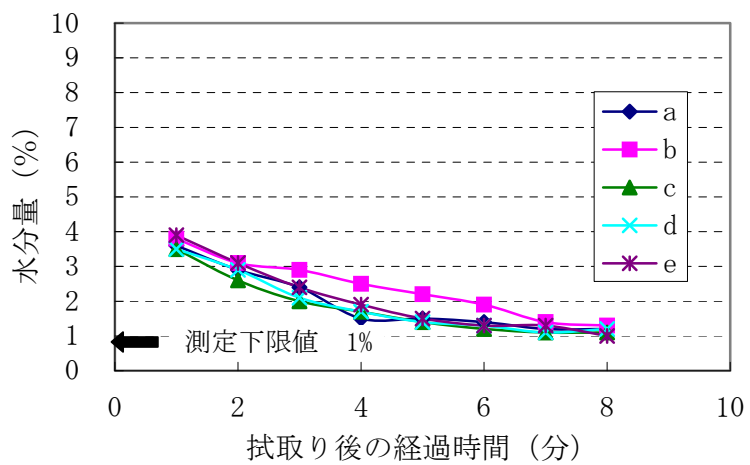
表－Ⅳ.2.7 保護材塗布コンクリートの試験結果

試験体の概要			測定 部位	水分量 (%)							
保護材		No.		拭取り後の経過時間 (分)							
系統	中分類			1	2	3	4	5	6	7	8
水性系	シラン系	1-1	a	2.7	2.5	1.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
			b	3.3	3.2	1.9	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
			c	3.7	3.7	2.8	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
			d	3.4	3.4	2.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
			e	3.9	3.9	2.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
		1-2	a	3.6	2.2	1.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
			b	4.3	3.2	1.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
			c	4.7	4.4	2.7	1.8	0.2	0.2	0.2	0.2
			d	4.4	3.4	2.1	1.3	0.2	0.2	0.2	0.2
			e	4.6	4.6	2.0	1.1	0.2	0.2	0.2	0.2
溶剤系	シラン系	7-1	a	2.8	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
			b	3.2	2.8	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
			c	3.8	3.2	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
			d	3.2	3.1	1.5	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
			e	3.7	3.4	1.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
		7-2	a	3.2	3.2	2.8	1.1	0.2	0.2	0.2	0.2
			b	2.8	3.2	3.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
			c	3.7	4.3	3.9	3.5	1.0	0.2	0.2	0.2
			d	4.3	4.5	4.3	3.4	1.0	0.2	0.2	0.2
			e	4.1	4.6	4.2	3.4	1.0	0.2	0.2	0.2

備考) ・1%未満は測定下限値でL表示となるが、図示のため、ここでは0.2と記述する。  
 ・No21-1や1-1や7-1の1~4は繰返し番号 ・a~eは1枚の試験片での測定部位の違い  
 ・散水(霧吹き)15秒し湿潤状態で30秒放置し、ウェス拭取り後に経時測定

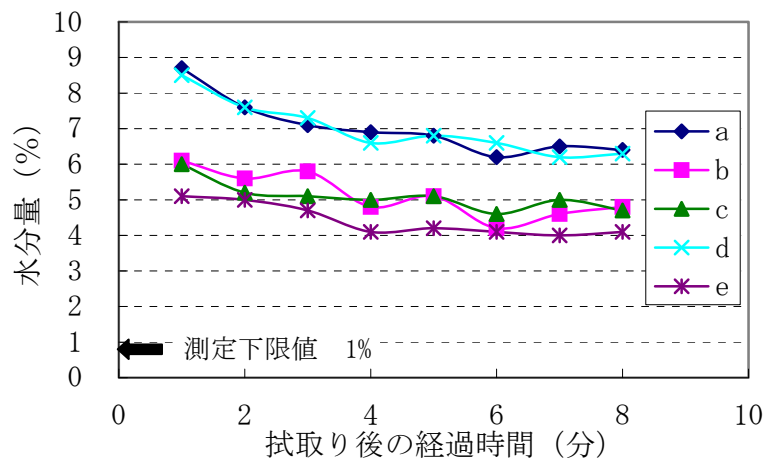


a) 試験体番号 21-1

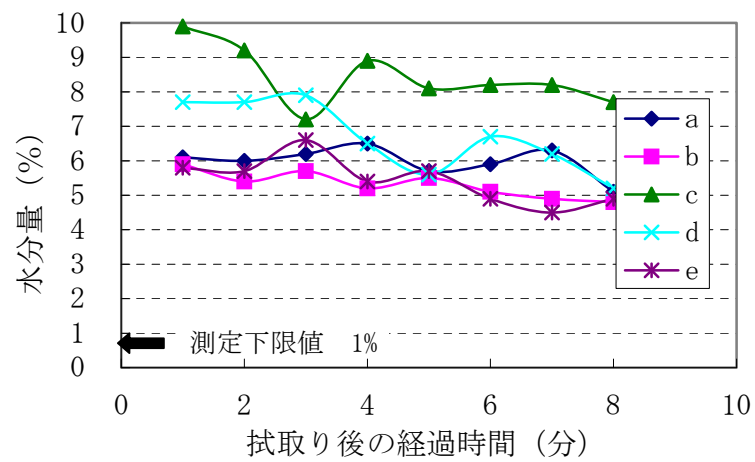


b) 試験体番号 21-2

図-IV.2.3(1) 無塗布コンクリート試験体の測定部位による拭取り後の水分量



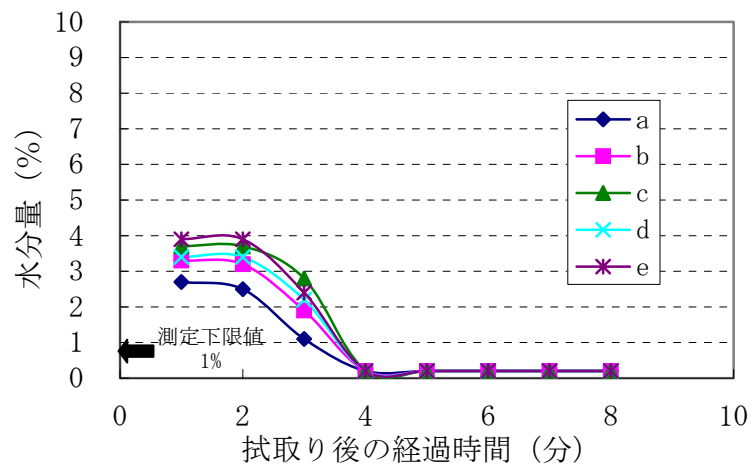
c) 試験体番号 21-3



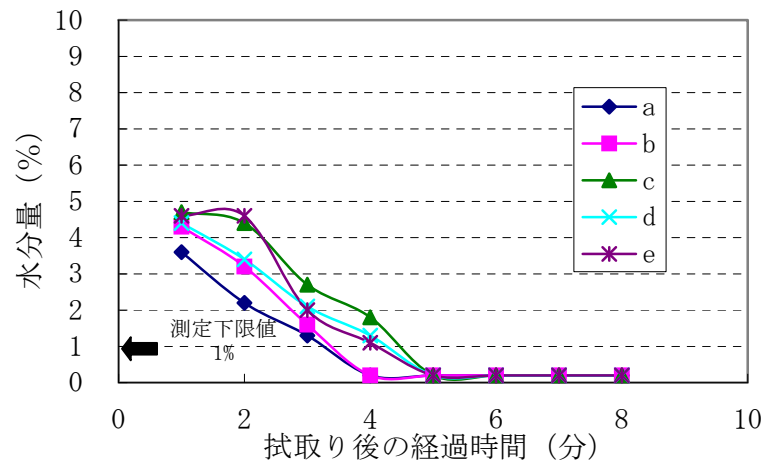
d) 試験体番号 21-4

図-IV.2.3(2) 無塗布コンクリート試験体の測定部位による拭取り後の水分量

無塗布コンクリートは、いずれの試験体および測定部位でも拭取り8分後の水分量においては、水分計B3の測定下限値（1%）以上であった。また、試験体や測定部位によって、拭取り後の水分量のばらつきが大きかった。

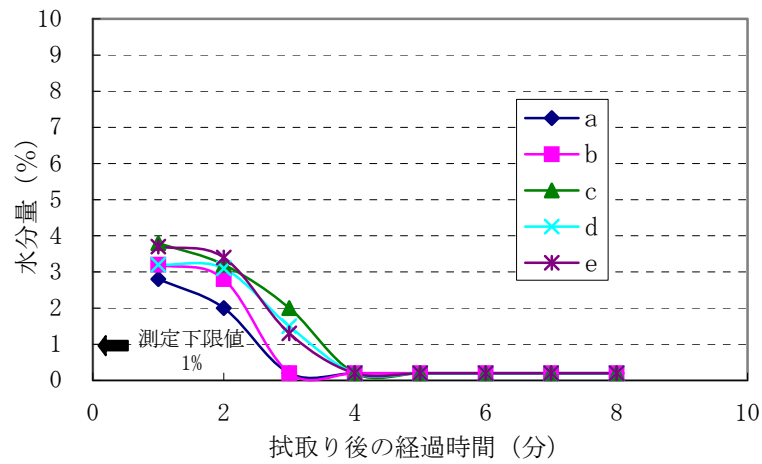


a) 試験体番号 1-1

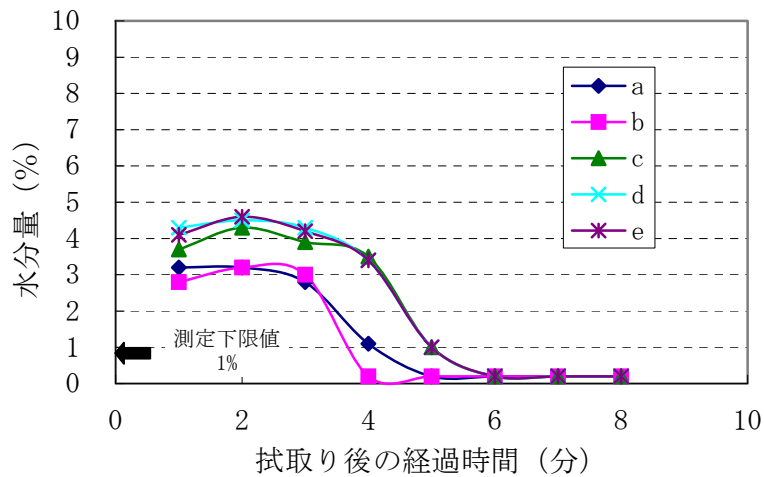


b) 試験体番号 1-2

図-IV.2.4 シラン（水系）保護材試験体の測定部位による拭取り後の水分量



a) 試験体番号 7-1



b) 試験体番号 7-2

図-IV.2.5 シラン（溶剤系）保護材試験体の測定部位による拭取り後の水分量

保護材を塗布したコンクリートは、分類や水系および溶剤系の系統に関係なく、いずれの試験体および測定部位においても拭取り5分後以上の水分量は、水分計B3の測定下限値（1%）以下であった。また、試験体や測定部位による拭取り後の水分量のばらつきは無塗布コンクリートに比べ少なかった。

従って、試験体や測定部位によって多少のばらつきはあるものの、保護材を塗布したコンクリートと無塗布コンクリートとの拭取り後の経過時間による水分量を測定することによって、保護材が塗布されたか否かの判断が可能であると考えられる。また、水分量の測定は拭き取り後10分以内で済むことも確認された。

(3) 測定条件による試験結果

散水や散水方法や散水後の放置時間や拭取りからの経過時間等の影響を調べる目的で、水分計 B 3 で試験した。表-IV.2.8 に示す要因と水準を示す。

表-IV.2.8 測定条件についての要因と水準

要因	水準
散水方法	スプレー、はけ
散水時間	15秒、45秒
散水から拭取りまでの時間	15秒、45秒
拭取り方法	ウェス拭き
拭取りから計測までの時間	1分
水分計	B 3

要因水準によるそれぞれの試験結果を表-IV.2.9 表-IV.2.10 および図-IV.2.6、図-IV.2.7 に示す。

表-IV.2.9 散水方法と散水時間による試験結果

試験体		散水条件		水分量 (%)							
No.	概要	方法	時間 (秒)	拭取り後の経過時間 (分)							
				1	2	3	4	5	6	7	8
7S15	シラン (溶剤系)	霧吹き	15	5.1	4.2	3.9	2.5	1.5	0.2	0.2	0.2
7B15		はけ		4.0	3.9	3.8	2.0	1.2	0.2	0.2	0.2
7S45		霧吹き	45	6.0	5.1	4.0	2.6	1.3	0.2	0.2	0.2
21S15	無塗布	霧吹き	15	6.8	5.4	5.0	5.0	4.9	4.0	3.7	2.2
21S45			45	8.9	6.5	6.0	5.5	5.2	4.3	4.0	3.1

備考) 散水から拭取りまでの時間は45秒で試験

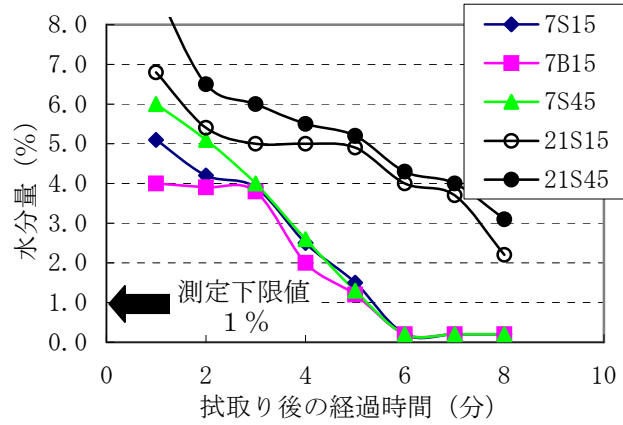
試験体番号はグラフの凡例の番号と同じ

表-IV.2.10 拭取りまでの時間による試験結果

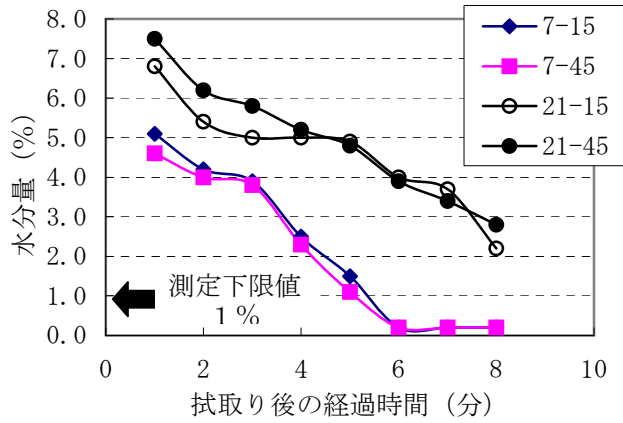
試験体		散水から拭取りまでの時間 (秒)	水分量 (%)							
No.	概要		拭取り後の経過時間 (分)							
		1	2	3	4	5	6	7	8	
7-15	シラン (溶剤系)	15	5.1	4.2	3.9	2.5	1.5	0.2	0.2	0.2
7-45		45	4.6	4.0	3.8	2.3	1.1	0.2	0.2	0.2
21-15	無塗布	15	6.8	5.4	5.0	5.0	4.9	4.0	3.7	2.2
21-45		45	7.5	6.2	5.8	5.2	4.8	3.9	3.4	2.8

備考) 散水はスプレーで散水時間は15秒で試験





図－Ⅳ. 2. 6 散水方法と散水時間による影響



図－Ⅳ. 2. 7 拭取りまでの時間による影響

保護材を塗布したコンクリートおよび無塗布コンクリートとも、散水方法や散水時間や散水からの拭取り時間による差異は少ないことが分かった。また、保護材を塗布したコンクリートと無塗布コンクリートとの拭取り経過時間後の水分量を測定することによって、保護材が塗布されたか否かの判断が可能であることが確認できた。

(4) 保護材の種類による試験結果

保護材の種類による影響を調べる目的で、表-IV.2.2に示す組成の異なる保護材について、水分計B3で試験した結果を表-IV.2.11および図-IV.2.8に示す。

表-IV.2.11 保護材の種類による拭取り後の水分量

試験体の概要		No.	拭取り後の経過時間 (分) の水分量 (%)				
系統	中分類		1	3	5	7	9
水系	シラン系	1	3.1	3.1	0.2	0.2	0.2
溶剤系	シラン系	7	3.4	2.9	1.1	0.2	0.2
水系	シラン・シロキサン系	10	3.9	2.9	2.1	0.2	0.2
無溶剤系	シラン・シロキサン系	14	2.8	2.5	1.1	0.2	0.2
溶剤系	その他の類	20	4.2	3.1	1.8	0.2	0.2
無塗布 1		21-1	5.8	4.8	2.8	2.5	2.3
無塗布 2		21-2	7.3	5.2	3.6	2.8	2.8
水系	ケイ酸塩系	K	6.5	4.2	3.2	2.6	2.4

備考) 1%未満は測定下限値でL表示となるが、図示のため、ここでは0.2と記述する。  
1、2は繰返し

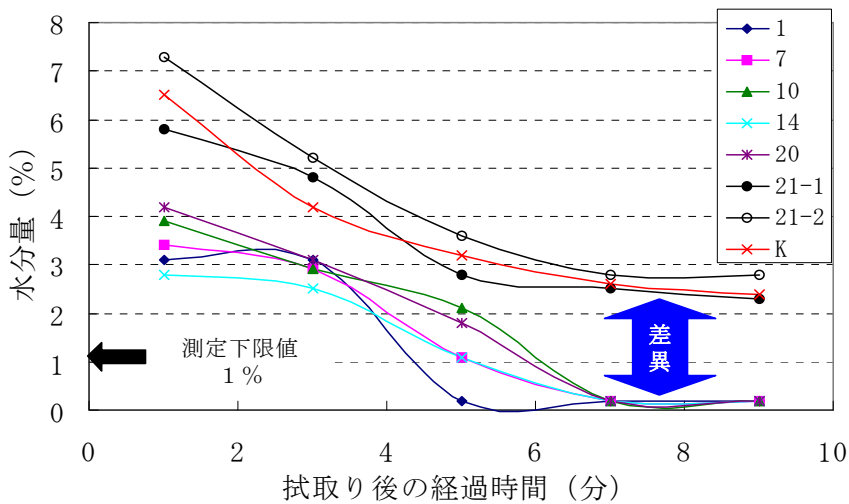


図-IV.2.8 保護材の種類による拭取り後の水分量

いずれの試験体も拭取りした後の時間経過とともに、水分量が減少していき、その水分量の減少傾向は試験体によって異なる。ケイ酸質系保護材を除く、シラン系、シラン・シロキサン系、シラン・シロキサン・ふっ素系の保護材は、溶剤系、水系、無溶剤系に関わらず、無塗布コンクリートおよびケイ酸塩系保護材に比べ、水分量の減少速度が速く、約6分後には水分計の測定下限値以下（1%未満）となった。一方、無塗布コンクリートおよびケイ酸塩系保護材は、9分後でも2から3%であった。

このことから、水分計B3を用いることによって、表面撥水性があるシラン系、シラン・シロキサン系、シラン・シロキサン・ふっ素系の保護材と無塗布コンクリートを区別でき、保護材の塗布の有無を判断できることが確認できた。

(5) 保護材の塗布量による試験結果

保護材の塗布量による影響を調べる目的で、表-IV.2.2に示すシラン系 No. 7 の塗布量を変えた試験体について、水分計 B 3 で試験した結果を図-IV.2.9に示す

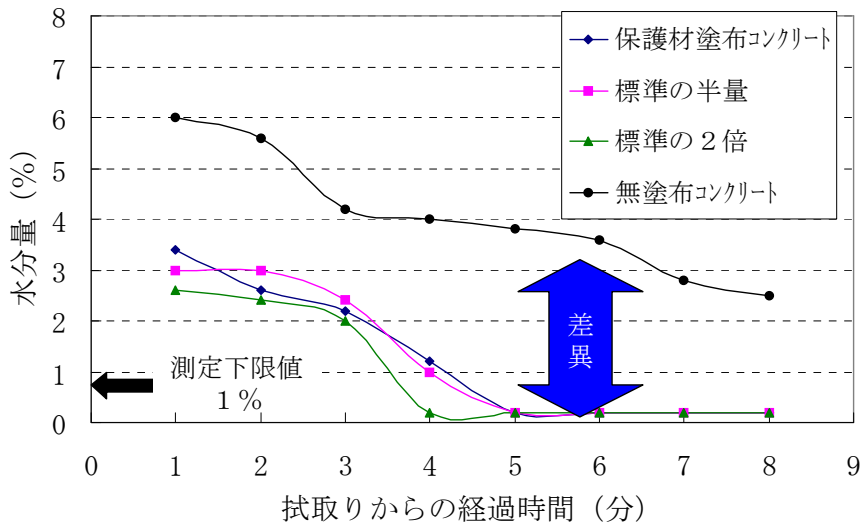


図-IV.2.9 保護材の塗付量による影響

標準塗布量、標準塗布量の半量および2倍量の塗布による差異は大きくなく、水分量の測定では塗布量の差異を判断できない。しかし、標準塗布量の半量であっても、無塗布コンクリートとの差異が明らかで保護材塗布の有無を判断できた。換言すると保護材の塗布量の多少を水分計で判断することはできないことが明らかとなった。

### 2.3 大型試験体での試験

水分計が種々の環境下にあるコンクリート構造物に適用できるかを把握する目的で、(独)土木研究所つくばに数年以上暴露されている大型試験体を用い、コンクリート構造物の種類や部位および測定気象条件（天候、温湿度）等について検討した。

#### 2.3.1 試験方法

##### (1) 供試した大型試験体と保護材および水分計

供試した大型試験体の外観を図-IV.2.10 に示す。また保護材塗布する前のコンクリート表面を図-IV.2.11 に示す。

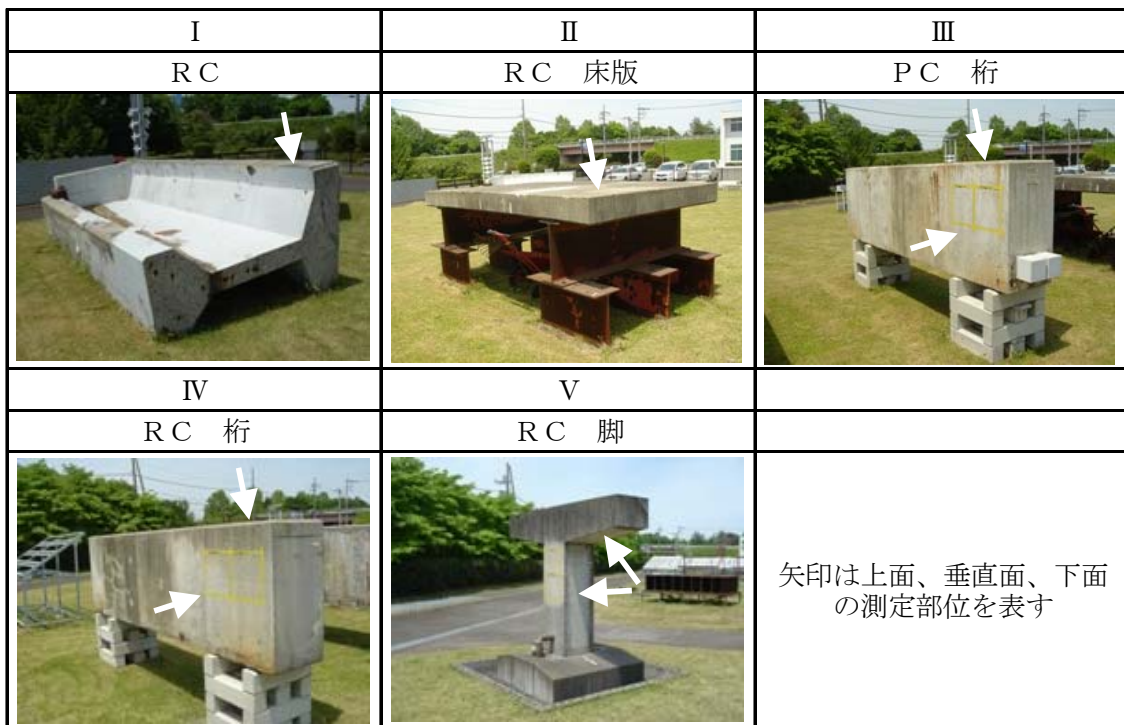


図-IV.2.10 供試した大型試験体

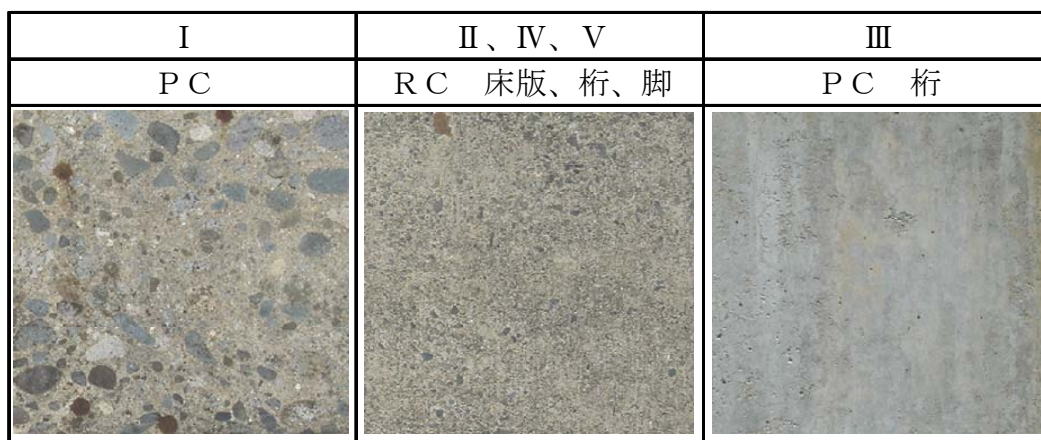


図-IV.2.11 供試した大型試験体の表面状態

(2) 供試した水分計と保護材および測定方法

測定に用いた水分計はB3の改良型であるB4を用いた。その外観を図-IV.2.12に示す。供試した保護材を表-IV.2.12に示す。



図-IV.2.12 使用した水分計B4

表-IV.2.12 供試した保護材

No.	系統	中分類
1	水系	シラン
3		
5		
7	溶剤系	
8	水系	シロキサン
9	水系	シラン・シロキサン
13	溶剤系	
14	無溶剤系	
18	溶剤系	その他 (シラン・ふっ素)
21	無塗布コンクリート	
K	水系	ケイ酸塩系

測定方法は図-IV.2.13の条件で行った。その測定状況を図-IV.2.14に示す。

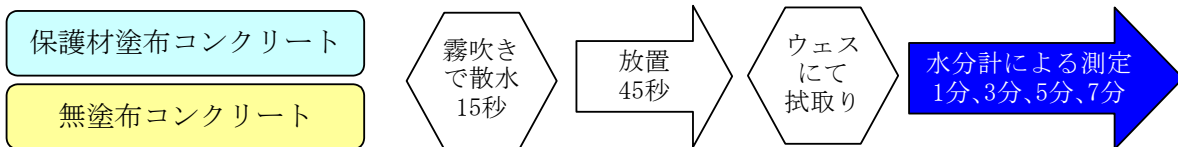


図-IV.2.13 測定方法



図-IV.2.14 測定状況

### 2. 3. 2 大型試験体による試験結果

施工現場での影響を調べるために大型試験体を用い、保護材塗布から測定までの乾燥時間、構造物やコンクリートの種類や部位について試験した。その結果および前述 2. 2 の小型試験体の結果を踏まえ、水分計測定における適正測定時間について検討した。

#### (1) 乾燥期間や測定時の天候による影響

大型試験体に保護材を塗布し乾燥 4 日経過後の晴れの日に測定した結果を表 IV. 2. 13 に示す。

表 IV. 2. 13 乾燥 4 日後の測定結果

大型試験体			測定 No.	保護材			拭取り後の経過時間 (分) の水分量 (%)			
No.	種類	測定位置		No.	系統	中分類	1	3	5	7
I	RC	上面	I-1	1	水系	シラン	1.0	0.2	0.2	0.2
			I-7	7	溶剤系		1.0	0.2	0.2	0.2
			I-21	21	無塗布コンクリート	2.7	2.3	1.5	1.1	
II	RC床版	上面	II-1	1	水系	シラン	1.2	0.2	0.2	0.2
			II-7	7	溶剤系		1.1	0.2	0.2	0.2
			II-21	21	無塗布コンクリート	2.8	2.9	2.3	1.0	
		上面 断面修復面	II #-1	1	水系	シラン	1.3	0.2	0.2	0.2
			II #-7	7	溶剤系		1.2	0.2	0.2	0.2
			II #-21	21	無塗布コンクリート	4.7	4.4	3.2	3.0	
III	PC 桁	垂直面	III-1	1	水系	シラン	1.2	0.2	0.2	0.2
			III-7	7	溶剤系		1.5	0.2	0.2	0.2
			III-21	21	無塗布コンクリート	3.4	2.1	1.1	0.2	
		上面	III-1	1	水系	シラン	1.1	0.2	0.2	0.2
			III-7	7	溶剤系		1.2	0.2	0.2	0.2
			III-21	21	無塗布コンクリート	3.1	2.7	1.7	1.1	
IV	RC 桁	垂直面	IV-1	1	水系	シラン	1.6	0.2	0.2	0.2
			IV-7	7	溶剤系		1.4	0.2	0.2	0.2
			IV-21	21	無塗布コンクリート	3.5	3.9	1.4	1.2	
		上面	IV-1	1	水系	シラン	1.0	0.2	0.2	0.2
			IV-7	7	溶剤系		1.1	0.2	0.2	0.2
			IV-21	21	無塗布コンクリート	2.8	1.6	1.2	0.2	
V	PC 脚	垂直面	V-1	1	水系	シラン	1.2	0.2	0.2	0.2
			V-7	7	溶剤系		1.3	0.2	0.2	0.2
			V-21	21	無塗布コンクリート	3.8	3.2	1.5	1.4	
		下面	V-1	1	水系	シラン	1.1	0.2	0.2	0.2
			V-7	7	溶剤系		1.2	0.2	0.2	0.2
			V-21	21	無塗布コンクリート	4.3	3.0	1.9	1.4	

備考) 1%以下は測定下限値でL表示となりすが、図示のため、ここでは0.2と記述する。

測定時は晴れで温度湿度は以下のとおりある。

上面 (日なた) : 35℃、20%RH

垂直面 (日かげ) : 29℃、45%RH

大型試験体に保護材を塗布し乾燥4日経過後の曇りの日に測定した結果を表-IV.2.14に示す。

表-IV.2.14 乾燥4日後の測定結果

大型試験体			測定 No.	保護材			拭取り後の経過時間(分)の水分量(%)			
No.	種類	測定位置		No.	系統	中分類	1	3	5	7
I	RC	上面	I-1	1	水系	シラン	1.0	0.2	0.2	0.2
			I-7	7	溶剤系		1.0	0.2	0.2	0.2
			I-21	21	無塗布コンクリート	2.7	2.3	1.5	1.1	
II	RC床版	上面	II-1	1	水系	シラン	1.2	0.2	0.2	0.2
			II-7	7	溶剤系		1.1	0.2	0.2	0.2
			II-21	21	無塗布コンクリート	2.8	2.9	2.3	1.0	
		上面 断面修復面	II#-1	1	水系	シラン	1.3	0.2	0.2	0.2
			II#-7	7	溶剤系		1.2	0.2	0.2	0.2
			II#-21	21	無塗布コンクリート	4.7	4.4	3.2	3.0	
III	PC桁	垂直面	III-1	1	水系	シラン	1.2	0.2	0.2	0.2
			III-7	7	溶剤系		1.5	0.2	0.2	0.2
			III-21	21	無塗布コンクリート	3.4	2.1	1.1	0.2	
		上面	III-1	1	水系	シラン	1.1	0.2	0.2	0.2
			III-7	7	溶剤系		1.2	0.2	0.2	0.2
			III-21	21	無塗布コンクリート	3.1	2.7	1.7	1.1	
IV	RC桁	垂直面	IV-1	1	水系	シラン	1.6	0.2	0.2	0.2
			IV-7	7	溶剤系		1.4	0.2	0.2	0.2
			IV-21	21	無塗布コンクリート	3.5	3.9	1.4	1.2	
		上面	IV-1	1	水系	シラン	1.0	0.2	0.2	0.2
			IV-7	7	溶剤系		1.1	0.2	0.2	0.2
			IV-21	21	無塗布コンクリート	2.8	1.6	1.2	0.2	
V	PC脚	垂直面	V-1	1	水系	シラン	1.2	0.2	0.2	0.2
			V-7	7	溶剤系		1.3	0.2	0.2	0.2
			V-21	21	無塗布コンクリート	3.8	3.2	1.5	1.4	
		下面	V-1	1	水系	シラン	1.1	0.2	0.2	0.2
			V-7	7	溶剤系		1.2	0.2	0.2	0.2
			V-21	21	無塗布コンクリート	4.3	3.0	1.9	1.4	

備考) 1%以下は測定下限値でL表示となり、図示のため、ここでは0.2と記述する。

測定時は晴れて温度湿度は以下のとおりある。上面(日なた): 35℃、20%RH 垂直面(日かげ): 29℃、45%

保護材塗布し4日乾燥したコンクリートとの水分量は、日なた・日かげや晴れ・曇りの測定条件、およびコンクリートの種類、測定位置が異なるいずれの大型試験体においても、無塗布コンクリートに比べ各経過時間における水分量が少ないことが確認された。

大型試験体に保護材を塗布し乾燥1日経過後の晴れの日に測定した結果を表-IV.2.15に示す。

表-IV.2.15 乾燥1日後の測定結果

大型試験体			測定 No.	保護材			拭取り後の経過時間(分)の水分量(%)			
No.	種類	測定位置		No.	系統	中分類	1	3	5	7
IV	RC桁	垂直面	IV-1	1	水系	シラン	2.8	2.2	0.2	0.2
			IV-7	7	溶剤系		1.3	0.2	0.2	0.2
			IV-21	21	無塗布コンクリート	3.3	1.4	1.4	0.2	
		上面	IV-1	1	水系	シラン	2.2	1.4	1.0	0.2
			IV-7	7	溶剤系		1.1	0.2	0.2	0.2
			IV-21	21	無塗布コンクリート	3.1	1.5	1.2	0.2	

備考) 1%以下は測定下限値でL表示となり、図示のため、ここでは0.2と記述する。

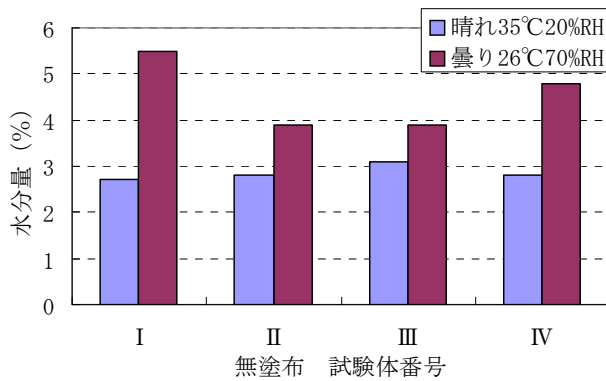
測定時は晴れて温度湿度は以下のとおりある。

上面(日なた): 43℃、17%RH

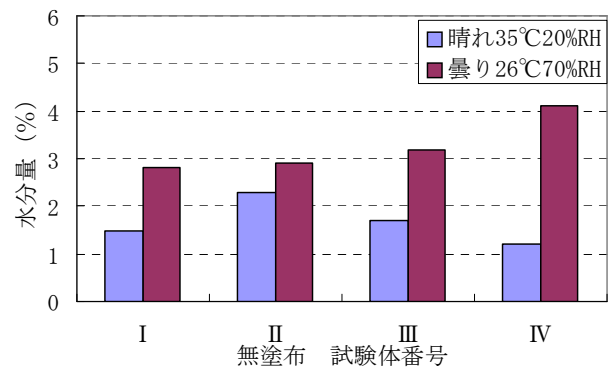
垂直面(日かげ): 28℃、38%RH

保護材を塗布し1日乾燥したコンクリートとの水分量は、日なた・日かげの測定条件、およびコンクリートの種類、測定位置が異なるいずれの大型試験体においても、無塗布コンクリートに比べ各経過時間における水分量が少ないことが確認された。

表-IV.2.13 と表-IV.2.14 から測定時の気象条件による影響を把握するために図示したものを以下に示す。各大型試験体の上面および垂直面の無塗布コンクリートの拭取り1分後、5分後の水分量を図-IV.2.15、図-IV.2.16に示す。

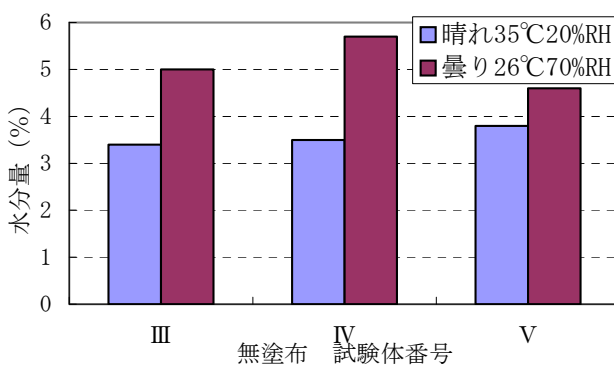


a) 1分後の水分量

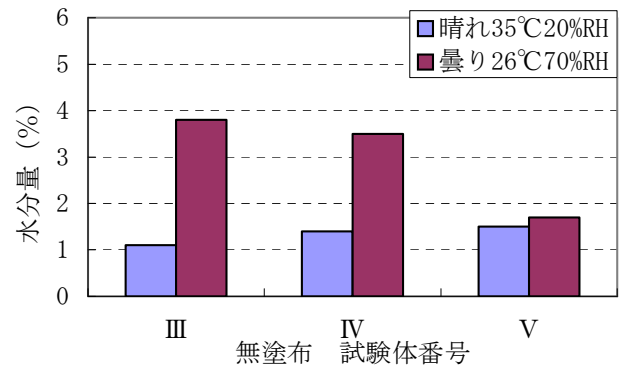


b) 5分後の水分量

図-IV.2.15 測定時の温湿度による影響 (上面 無塗布コンクリートの場合)



a) 1分後の水分量

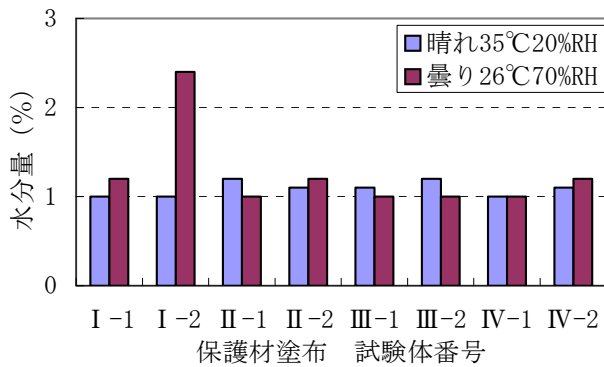


b) 5分後の水分量

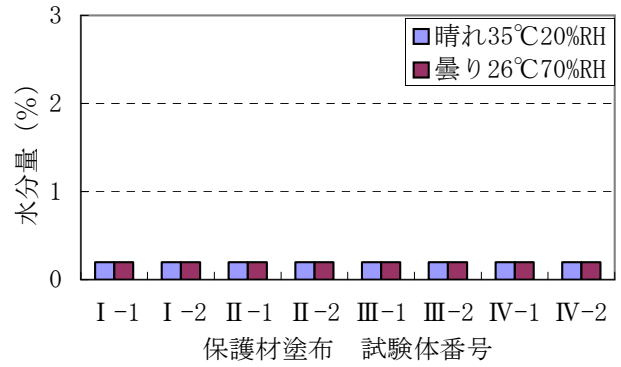
図-IV.2.16 測定時の温湿度による影響 (垂直面 無塗布コンクリートの場合)



各大型試験体の上面および垂直面の保護材を塗布したコンクリートの場合の拭取り 1 分後、5 分後の水分量を図－IV.2.17、図－IV.2.18 に示す。

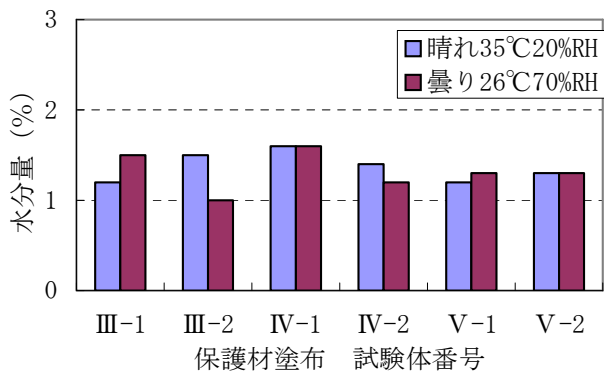


a) 1 分後の水分量

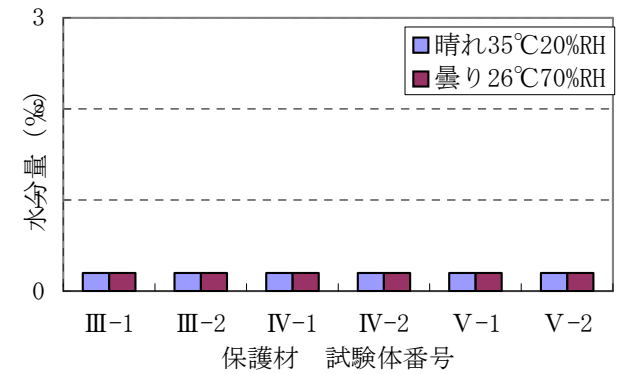


b) 5 分後の水分量

図－IV.2.17 測定時の温湿度による影響（上面 保護材塗布の場合）



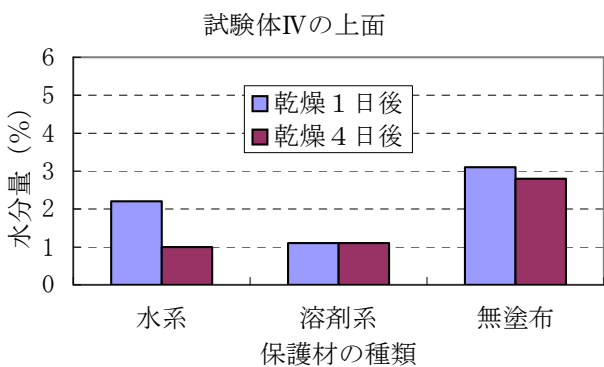
a) 1 分後の水分量



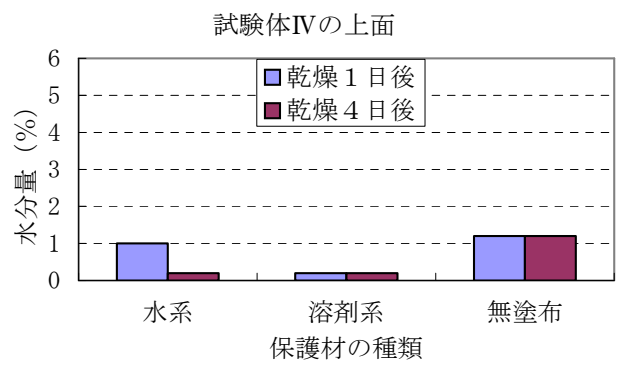
b) 5 分後の水分量

図－IV.2.18 測定時の温湿度による影響（垂直面 保護材塗布の場合）

試験体IVの上面および垂直面の保護材塗布後の測定までの乾燥日数による拭取り 1 分後、5 分後の水分量を図－IV.2.19、図－IV.2.20 に示す。

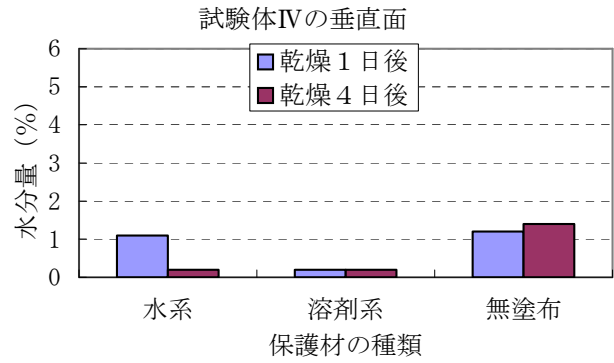
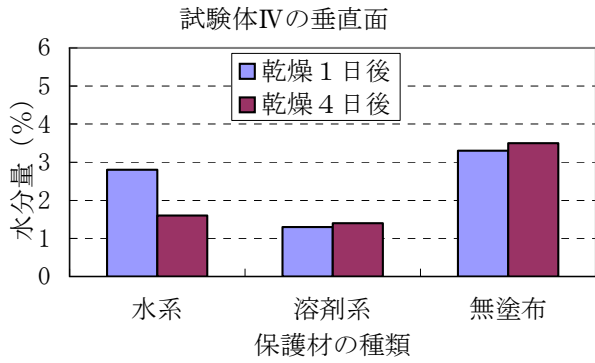


a) 1 分後の水分量



b) 5 分後の水分量

図－IV.2.19 測定までの乾燥日数による影響（上面の場合）



a) 1 日後の水分量

b) 5 日後の水分量

図-IV.2.20 測定までの乾燥日数による影響（垂直面の場合）

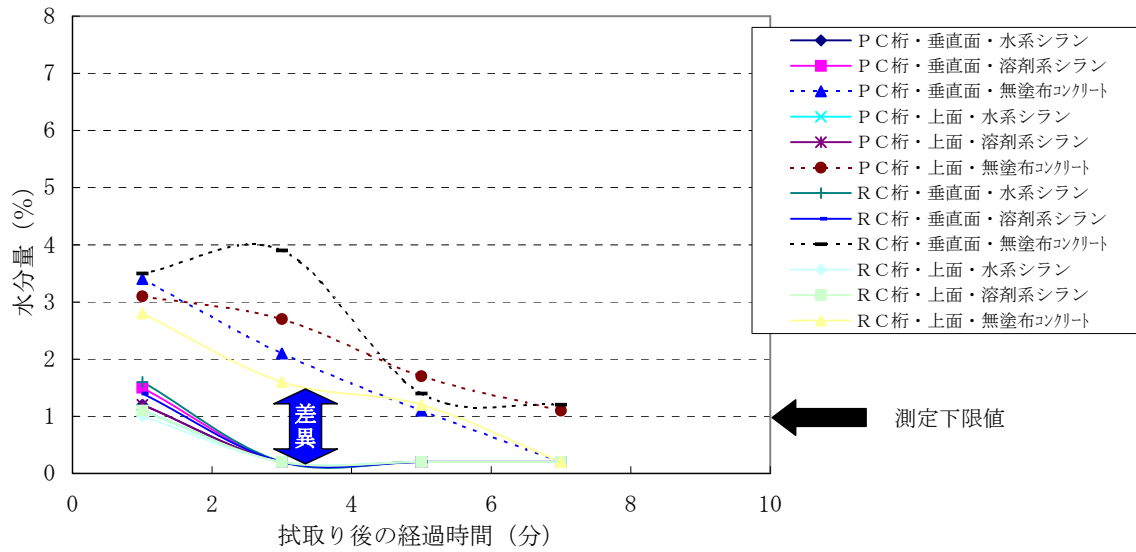
塗布1日経過後と4日経過後の温湿度が異なるため明確ではないが、保護材を塗布し水分測定までの乾燥時間による影響はいずれの保護材においても少ないことが確認された。また、拭取り5分後の測定で無塗布コンクリートと保護材塗布コンクリートを判別できることが確認された。

(2) 構造物、コンクリートの種類および部位による影響

大型試験体の構造物、コンクリートの種類および部位による拭取り3分後、5分後の水分量の測定結果を表-IV.2.16に示す。コンクリート桁におけるコンクリート種類と部位と保護材種類による水分量の経時変化を図-IV.2.21に示す。

表-IV.2.16 構造物、コンクリートの種類、部位による水分量

測定時の 気象条件	試験体の概要			拭取り3分後の水分量 (%)						
				RC			PC			
	保護材			桁		脚		床板		桁
No.	系統	中分類	上面	垂直面	垂直面	下面	上面	上面	垂直面	
晴れ 29~35℃ 20~45%RH	1	水系	シラン	1以下	1以下	1以下	1以下	1以下	1以下	1以下
	7	溶剤系		1以下	1以下	1以下	1以下	1以下	1以下	1以下
	無塗布コンクリート			1.6	3.9	3.2	3	2.9	2.7	2.1
曇り 24~26℃ 70~80%RH	1	水系	シラン	1以下	1以下	1以下	1以下	1以下	1以下	1以下
	7	溶剤系		1以下	1以下	1以下	1以下	1以下	1以下	1以下
	無塗布コンクリート			3.9	5.2	3.0	5.2	3.2	2.8	3.7
測定時の 気象条件	試験体の概要			拭取り5分後の水分量 (%)						
				RC			PC			
	保護材			桁		脚		床板		桁
No.	系統	中分類	上面	垂直面	垂直面	下面	上面	上面	垂直面	
晴れ 29~35℃ 20~45%RH	1	水系	シラン	1以下	1以下	1以下	1以下	1以下	1以下	1以下
	7	溶剤系		1以下	1以下	1以下	1以下	1以下	1以下	1以下
	無塗布コンクリート			1.2	1.4	1.5	1.9	2.3	1.7	1.1
曇り 24~26℃ 70~80%RH	1	水系	シラン	1以下	1以下	1以下	1以下	1以下	1以下	1以下
	7	溶剤系		1以下	1以下	1以下	1以下	1以下	1以下	1以下
	無塗布コンクリート			4.1	3.5	1.7	3.1	2.9	3.2	3.8

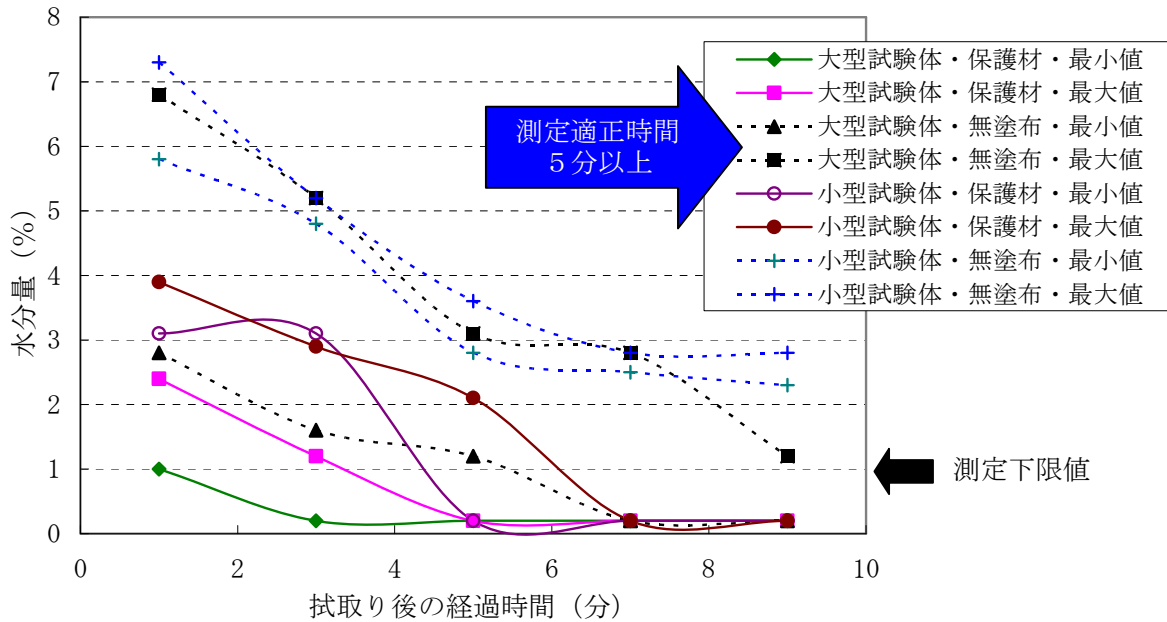


図－IV. 2. 21 コンクリート桁の部位と保護材種類による水分量の経時変化

構造物やコンクリートの種類および部位に関わらず、水分量によって保護材を塗布したコンクリートと無塗布コンクリートを判断できることが確認された。また、比較的気温が高く、低湿度から高湿度においても保護材を塗布したコンクリートと無塗布コンクリートを判断できることが確認された。

## 2. 4 水分測定における測定時間の検討

水分計測定に際して、いろいろな気象環境条件や構造物種類や部位および保護材種類等における最適な測定時間を明らかにするために、前述の室内で測定した試験体のデータと屋外で測定した大型試験体の測定データの最小値と最大値をプロットしたものを図－IV.2.22 に示す。



図－IV.2.22 適正な測定時間

気象環境条件や構造物種類や部位および保護材種類等の最大、最小の測定データから、保護材塗布コンクリートは無塗布コンクリートに比べ、拭き取り後の水分量の低下が早いことが確認された。また、屋外で測定された大型試験体は屋内で測定された小型試験体に比べ、拭き取り後の水分量の低下が早いことが確認された。

このことから、拭き取り後からの測定時間は5分以上8分以内が最適と考える。

## 2. 5 浸透性コンクリート保護材の劣化程度の把握方法の検討

水分計で保護材の劣化程度を把握することが可能かを判断する目的で、浸透性コンクリート保護材が塗布され、つくば暴露場で7年間暴露した試験体および7年間暴露した大型試験体および2年間暴露した第2回試験体を用い検討した。

### 2. 5. 1 試験方法

供試した水分計および測定方法等は2. 3. 1の試験方法に準じて試験した。

### 2. 5. 2 暴露された試験体の試験結果

いろいろな場所で暴露された小型試験体および大型試験体の測定結果を以下に示す。

#### (1) 暴露された小型試験体の計測結果

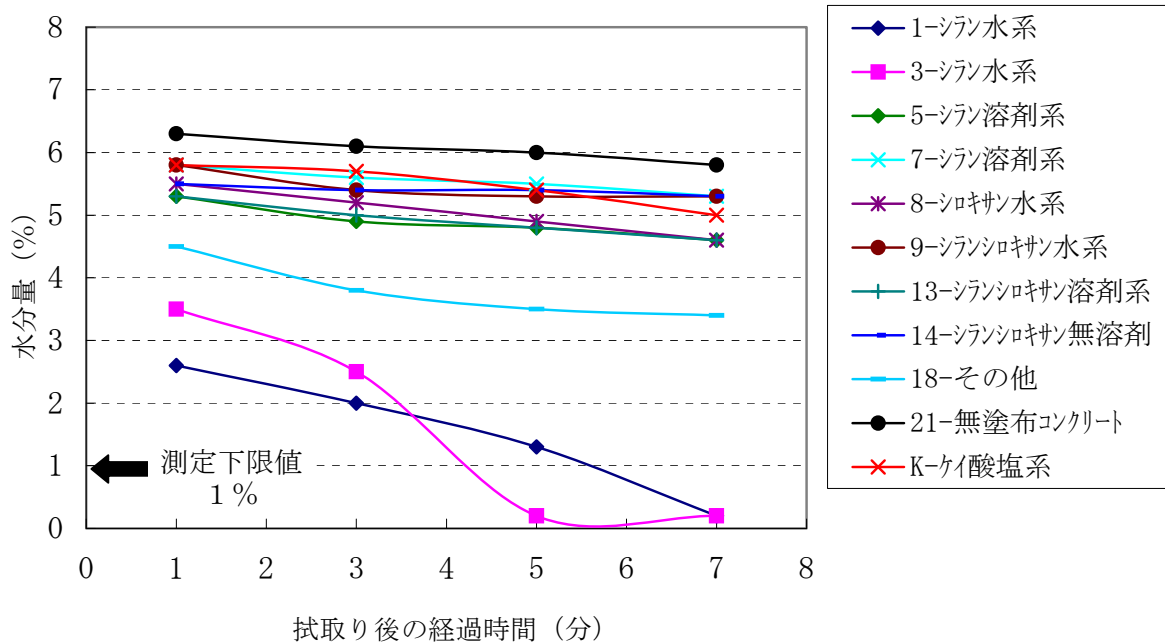
つくばにて7年間暴露された保護材塗布した試験体の拭取り後の水分量を表-IV. 2. 17、図-IV. 2. 23に示す。代表的な試験体の表面状態を写真-IV. 2. 1に示す。



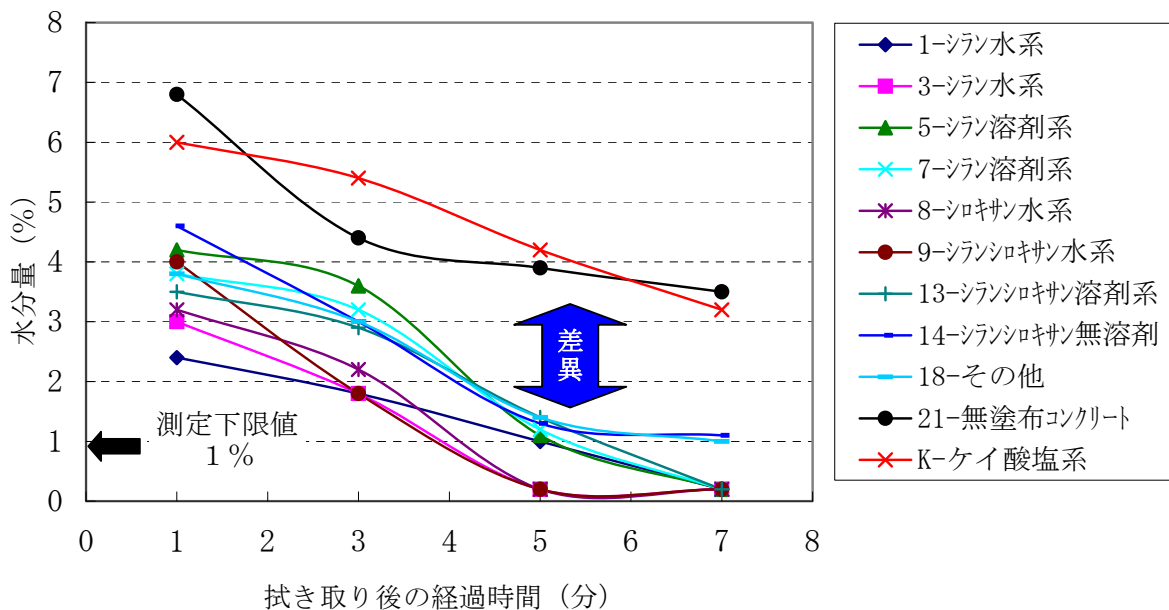
写真-IV. 2. 1 つくば暴露7年の試験体体外観

表-IV. 2. 17 つくば暴露7年の試験体の水分量

試験体の概要			表面の藻や汚れのある状態での測定				藻や汚れを除去した状態での測定				
			藻の発生	拭き取り後経過時間(分)の水分量(%)							
No.	系統	中分類		1	3	5	7	1	3	5	7
1	水系	シラン	なし	2.6	2.0	1.3	0.2	2.4	1.8	1.0	0.2
3			なし	3.5	2.5	0.2	0.2	3.0	1.8	0.2	0.2
5	溶剤系		あり	5.3	4.9	4.8	4.6	4.2	3.6	1.1	0.2
7			あり	5.8	5.6	5.5	5.3	3.8	3.2	1.2	0.2
8	水系	シロキサソ	あり	5.5	5.2	4.9	4.6	3.2	2.2	0.2	0.2
9	水系	シランシロキサソ	あり	5.8	5.4	5.3	5.3	4.0	1.8	0.2	0.2
13	溶剤系		あり	5.3	5.0	4.8	4.6	3.5	2.9	1.4	0.2
14	無溶剤		あり	5.5	5.4	5.4	5.3	4.6	3.0	1.3	1.1
18	水系	その他(シランふっ素)	あり	4.5	3.8	3.5	3.4	3.8	3.0	1.4	1.0
21	無塗布		あり	6.3	6.1	6.0	5.8	6.8	4.4	3.9	3.5
K	水系	ケイ酸塩系	あり	5.8	5.7	5.4	5.0	6.0	5.4	4.2	3.2



a) 藻や汚れがある場合



b) 藻や汚れを除去した状態

図-IV.2.23 つくば7年暴露試験体の水分量の経時変化

表-IV.2.17 に示すように、つくばにて7年間暴露した試験体には藻が発生しているものと発生していないものがあった。藻や汚れのある状態では7年間暴露した保護材を塗布したコンクリートは水分量の低下が少なく、無塗布コンクリートと判別することができず、塗布面への藻の付着か塗布面の劣化が原因かは定かでなかった。これを明らかにするために、藻や汚れをサンドペーパーで除去し、散布、拭き取り後の水分量を測定した結果を図-IV.2.23に示す。藻や汚れを除去した保護材は無塗布コンクリートと拭き取り後の水分量

に差異が認められ、水分量が大きく低下することが確認された。従って、つくば暴露7年の保護材は表面撥水性が保持されていることが確認された。

つくばで3年間暴露した第2次試験体の水分量を図-IV.2.24に示す。いずれの試験体も藻の発生や大きな汚れもないため、ウェスで埃を拭き取り測定した結果、保護材を塗布したいずれの試験体も経時によって水分量が低下し、また無塗布コンクリートとの差異が明らかであった。このことより、つくば暴露3年では保護材の表面撥水性が保持されていることが確認された。

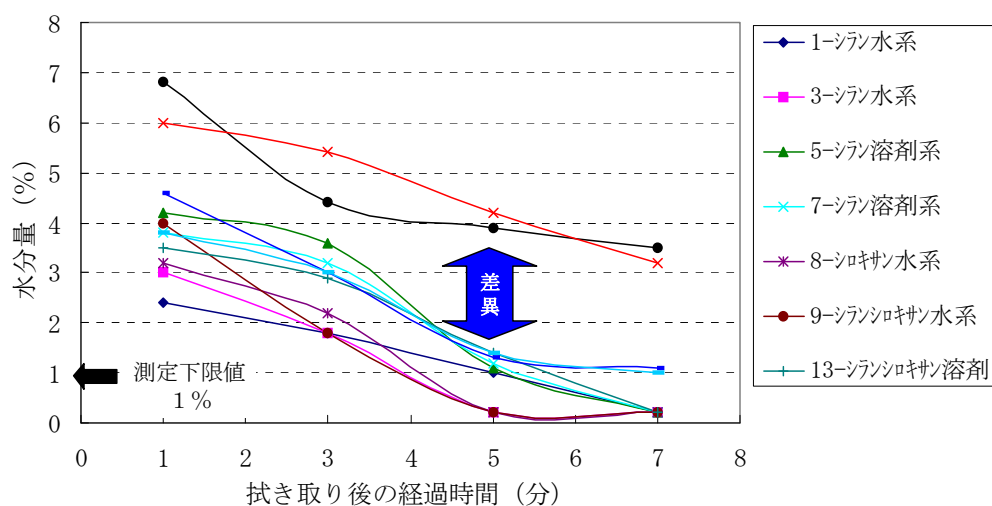


図-IV.2.24 つくば3年暴露第2回試験体の水分量の経時変化

このように、つくば暴露3年、7年では保護材を塗付したコンクリートの表面撥水性があることが水分量の測定から確認され、また無塗布コンクリートと差異が確認された。

(2) 暴露された大型試験体の計測結果

つくばにて7年間暴露した保護材塗布した大型試験体の外観写真を写真-IV.2.2に示す。拭取り後の水分量を表-IV.2.18、図-IV.2.24に示す。

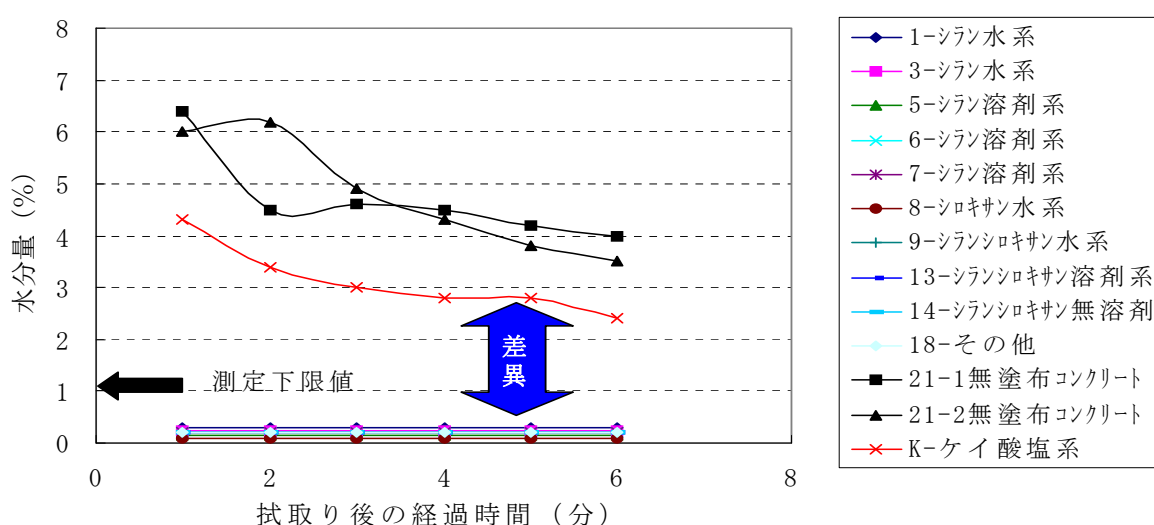


写真-IV.2.2 つくば暴露7年の大型試験体の外観

表－IV.2.18 つくば暴露7年の大型試験体の水分量

試験体の概要			拭き取り後経過時間 (分) の水分量 (%)					
No.	系統	中分類	1	2	3	4	5	6
1	水系	シラン	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
3			0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
5			0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
7	溶剤系		0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
8	水系	シロキサン	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
9	水系	シランシロキサン	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
13	溶剤系		0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
14	無溶剤		0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
18	水系	その他 (シランふっ素)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
21n1	無塗布コンクリート	1	6.4	4.5	4.6	4.5	4.2	4.0
21n2	無塗布コンクリート	2	6.0	6.2	4.9	4.3	3.8	3.5
K	水系	ケイ酸塩系	4.3	3.4	3.0	2.8	2.8	2.4

備考) 21-1、21-2は無塗布コンクリート面の繰返しを表す



図－IV.2.25 つくば7年暴露大型試験体の水分量の経時変化

水分量の測定位置は、藻や汚れの付着は認められない大型試験体の垂直面（矢印部位）で測定した。無塗布コンクリートと保護材を塗布したコンクリートでは拭き取り後の水分量に大きな差があり、暴露7年経過した保護材の塗布の有無と判断することができた。しかし、いずれの保護材塗布コンクリートとも拭き取り1分後においても水分計の下限値（1%未満）未満であったことから、保護材が劣化しているものかを判断することができなかった。

表－IV.2.17の暴露7年の試験体、図－IV.2.24の暴露3年の試験体および図－IV.2.25の大型試験体暴露7年の結果から、保護材の暴露による劣化程度を水分計によって把握できるかを明らかにすることはできなかった。

(3) 暴露した試験体のまとめ

上述(1)、(2)から、他の暴露環境での試験体の水分量を測定することによって、暴露環境や暴露期間による保護材の劣化程度を把握できる可能性があるため、各暴露場所の代表的な試験体の水分量を測定した結果を表－IV.2.19、表－IV.2.20および図－IV.2.24、図－IV.2.26に示す。



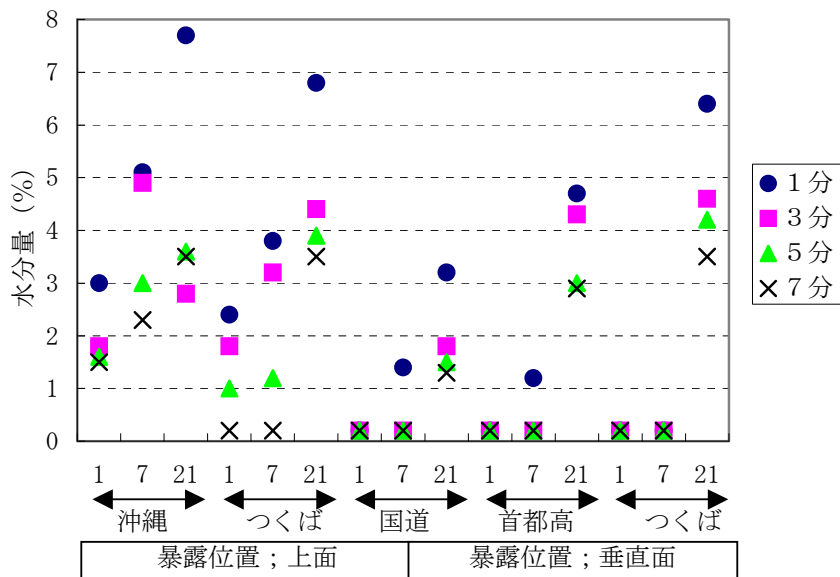
表－Ⅳ.2.19 第1次試験体の暴露7年の水分量

試験体の概要						拭き取り後経過時間(分)の水分量(%)					
暴露場所	サイズ	暴露位置	No.	系統	中分類	1	3	5	7		
沖縄	小型試験体	上面	1	水系	シラン	3.0	1.8	1.6	1.5		
			7	溶剤系		5.1	4.9	3.0	2.3		
			21	無塗布		7.7	2.8	3.6	3.5		
東京(国道側)		垂直面	1	1	水系	シラン	0.2	0.2	0.2	0.2	
				7	溶剤系		1.4	0.2	0.2	0.2	
				21	無塗布		3.2	1.8	1.5	1.3	
東京(首都高側)			垂直面	1	1	水系	シラン	0.2	0.2	0.2	0.2
					7	溶剤系		1.2	0.2	0.2	0.2
					21	無塗布		4.7	4.3	3.0	2.9
つくば		上面		1	1	水系	シラン	2.4	1.8	1.0	0.2
					7	溶剤系		3.8	3.2	1.2	0.2
					21	無塗布		6.8	4.4	3.9	3.5
	大型試験体	垂直面	1	1	水系	シラン	0.2	0.2	0.2	0.2	
				7	溶剤系		0.2	0.2	0.2	0.2	
				21	無塗布コンクリート		6.4	4.6	4.2	3.5	

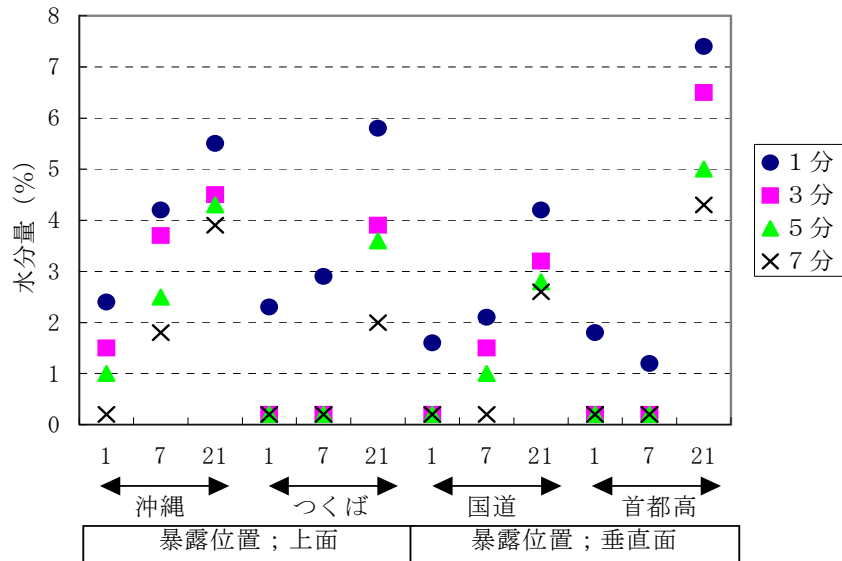
備考) つくば小型試験体は藻を除去した後の値

表－Ⅳ.2.20 第2次試験体の暴露4年の水分量

試験体の概要						拭き取り後経過時間(分)の水分量(%)					
暴露場所	サイズ	暴露位置	No.	系統	中分類	1	3	5	7		
沖縄	小型試験体	上面	1	水系	シラン	2.4	1.5	1.0	0.2		
			7	溶剤系		4.2	3.7	2.5	1.8		
			21	無塗布		5.5	4.5	4.3	3.9		
東京(国道側)		垂直面	1	1	水系	シラン	1.6	0.2	0.2	0.2	
				7	溶剤系		2.1	1.5	0.2	0.2	
				21	無塗布		4.2	3.2	2.8	2.6	
東京(首都高側)			垂直面	1	1	水系	シラン	1.8	0.2	0.2	0.2
					7	溶剤系		1.2	0.2	0.2	0.2
					21	無塗布		7.4	6.5	5.0	4.3
つくば		上面		1	1	水系	シラン	2.3	0.2	0.2	0.2
					7	溶剤系		2.9	0.2	0.2	0.2
					21	無塗布		5.8	3.9	3.6	2.0



図－Ⅳ.2.26 第1次試験体 暴露7年の結果

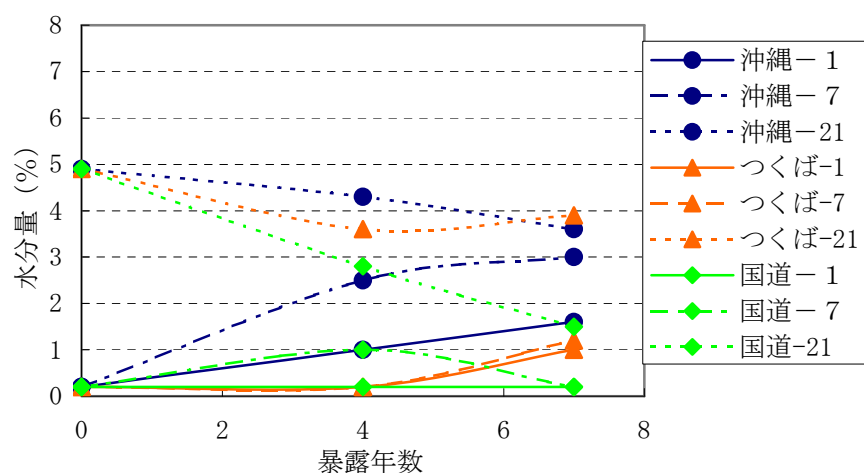


図－IV.2.27 第2次試験体 暴露4年の結果

各暴露場所での第1次試験体、第2次試験体の散水、拭き取り5分後の水分量を暴露年数で図示したものを図－IV.2.27に示す。

暴露された第1次試験、第2次試験の保護材（No. 1, 7）の水分量は散水、拭き取り後の経過時間とともに小さくなる。また暴露場所、暴露位置、保護材の種類によって異なる。

保護材塗布したコンクリート（No. 1, 7）は無塗布コンクリート（No. 21）に比べ水分量は小さく、保護材は暴露年数とともに大きくなる傾向がある。また環境が厳しい沖縄はつくばや国道（東京）に比べ保護材の水分量が大きくなり、その傾向は保護材の種類（No. 1, 7）によって異なる。



図－IV.2.28 第1次・2次試験体による水分量の経年変化

図－IV.2.28に示すように、暴露場所や暴露位置や暴露年数および保護材の種類によって水分量が異なることが確認された。このことから、水分量を測定することによって保護材の劣化程度をある程度把握できるそうである。

## 2. 6 現場施工管理方法の検討のまとめ

目視で塗布されているか判断できない保護材の施工管理方法について検討した結果、以下のことが確認できた。

- ① 1 から 10% の水分測定範囲の水分計を用いることで、構造物に塗布された保護材の塗布の有無を簡便に判別できる。
- ② 保護材塗布の判別は、塗布した面と無塗布面の両方の散水・拭取り後の表面の水分量を測定することで可能である。
- ③ シラン系、シラン・シロキサン系、シラン・シロキサン・ふっ素系の撥水性を有する保護材であれば、溶剤系、無溶剤系、水系のいずれにも適用できる。撥水性のないケイ酸塩系（アルカリシリケート）には適用できない。
- ④ 判別するための水分計よる測定値は、コンクリートの種類、構造物の部位および気象条件等によって影響を受ける。
- ⑤ 暴露した保護材は暴露場所、暴露位置、暴露期間、保護材の種類によって、散水、引き取り後の水分量が異なる。
- ⑥ 水分計によって暴露した保護材の劣化程度をある程度把握できることが明らかになったが、更に検討を重ねて明確にする必要があると考える。

以上の結果に基づいて、試験体および構造物で適用できる測定方法や条件等のデータを把握できた。

これらのことから、コンクリート構造物に塗布された保護材の有無が判断できる浸透性コンクリート保護材の塗布判別方法（案）を提案した。

付属資料－３．

浸透性コンクリート保護材の塗布判別方法（案）



## 浸透性コンクリート保護材の塗布判別方法(案)

### 1. 目的

この塗布判別方法(案)は、目視では塗布されているか分からない浸透性コンクリート保護材の塗布の有無を判別することを目的とする。

#### 【解説】

- ①無色透明の材料で、コンクリートに塗布しても膜を形成しない浸透性コンクリート保護材や膜を形成してもコンクリート表面の外観変化が殆どない浸透性コンクリート保護材の塗布の有無を簡便に判別するための方法である。
- ②この塗布判別方法(案)は、土木構造物の部位やコンクリート種類に因らず、浸透性コンクリート保護材の塗布した土木構造物に適用できる。
- ③この塗布判別方法(案)は、浸透性コンクリート保護材の塗り残しは判別できるが、塗布量の大小の判別はできない。

### 2. 適用範囲

この塗布判別方法は、シラン系、シラン・シロキサン系、シラン・シロキサン・ふっ素系の浸透性コンクリート保護材を塗布したコンクリート面に適用するものである。

#### 【解説】

- ①シラン系、シラン・シロキサン系、シラン・シロキサン・ふっ素系の撥水性を有する浸透性コンクリート保護材であれば、溶剤系、無溶剤系、水系のいずれの浸透性コンクリート保護材にも適用できる。
- ②撥水性のないケイ酸塩系（アルカリシリケート系）などには適用できない。

### 3. 検査

浸透性コンクリート保護材を塗布したコンクリート面の検査は、所要性能を有する測定器を用いて行う。また検査のロットは少なくとも約 50 m<sup>2</sup>～100 m<sup>2</sup>ごとに行う。

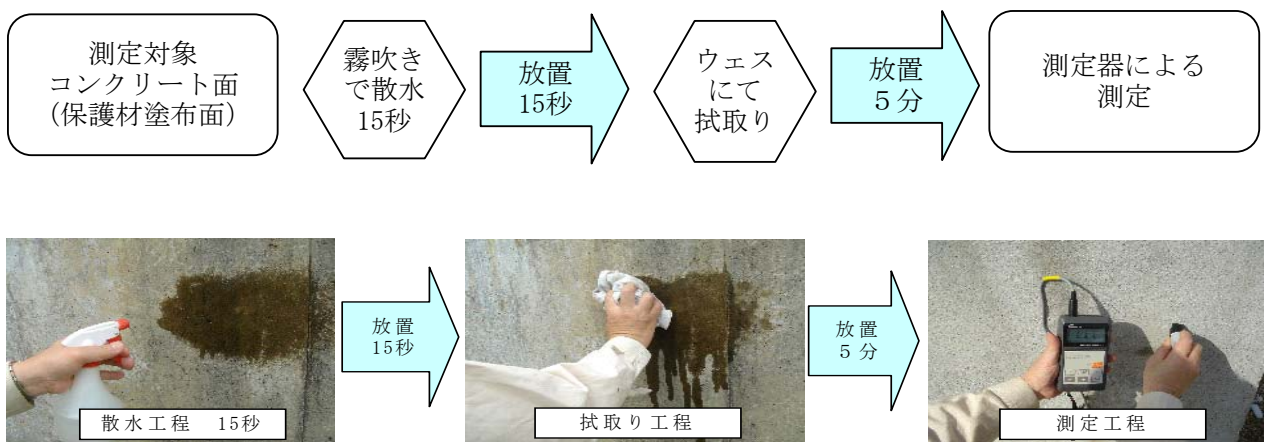
#### 【解説】

- ①検査に用いる測定器は水分量 1～10%程度の測定範囲の専用機種が望ましい。
- ②水分計の電極は測定面を傷つけにくく、接触面が大きいゴム電極が望ましい。
- ③検査は浸透性コンクリート保護材を塗布した後、2日以上30日以内で行う。
- ④1ロットの大きさは約 50～100 m<sup>2</sup>とする。（概ね 180 石油缶の塗布面積程度）
- ⑤1ロット当たりの測定数は5点以上が望ましい。
- ⑥各点の測定は1回とするが、判定ができない場合は判定ができるまで複数回行う。

#### 4. 測定方法

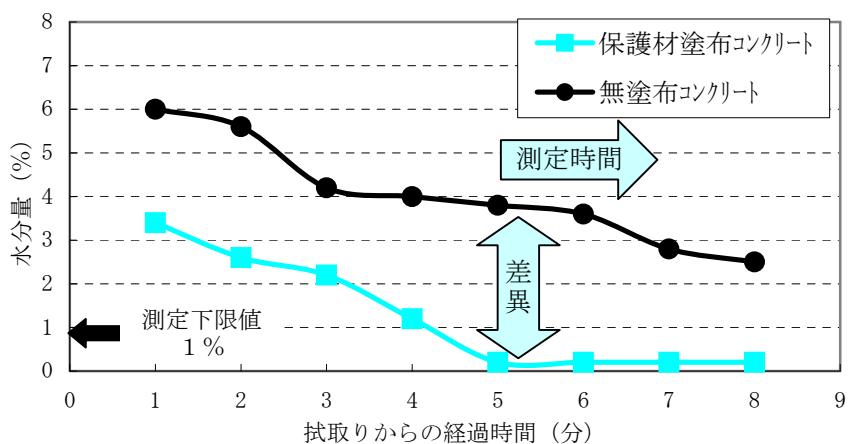
浸透性コンクリート保護材を塗布したコンクリート面に散水し、その後拭取り、5分後に測定器で水分量を測定する。

- ③ 散水は浸透性コンクリート保護材を塗布した面に霧吹き等を用いで15秒程度行う。
- ④ 拭取りは散水後15秒程度経過した後に、水滴が無い状態までにウェスを用いてすばやく行う。
- ⑤ 水分計による測定は拭取りしたのち、5分後に行い、測定値を記録する。
- ⑥ 測定値は測定時の気象条件（天候、風、温湿度、日当たりの有無等）によって影響されるので、気象条件を記録することが望ましい。



付属図解－1 測定手順

拭取りした後の経過時間による測定結果例を付属図解－2に示す。



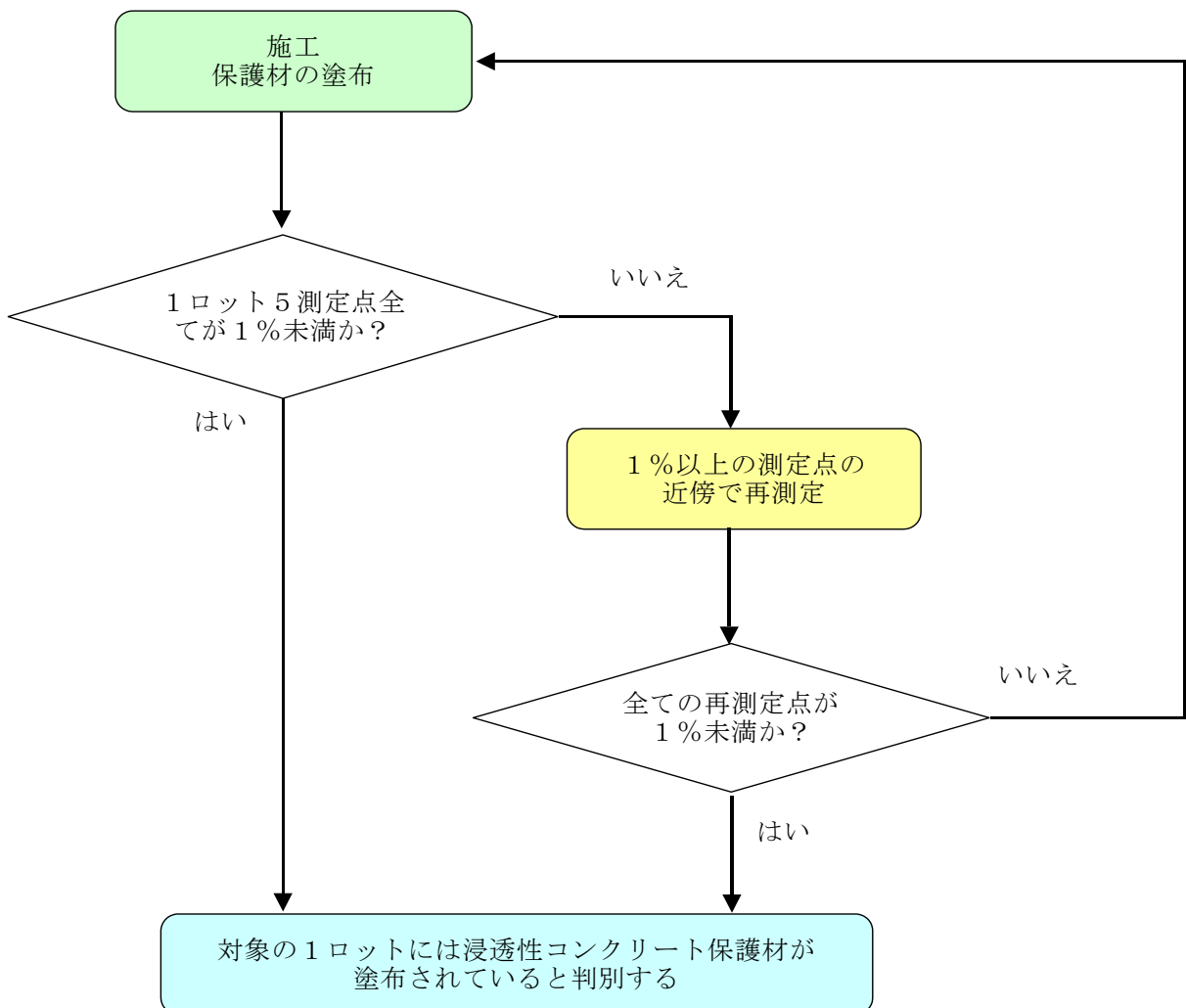
付属図解－2 測定結果の例

## 5. 判別

判別は所定の検査、測定方法で行い、拭取りしたのち5分後の測定器の値が測定下限値（1%）未満の場合に浸透性コンクリート保護材が塗布されていると判別する。

### 【解説】

- ①判別は測定点ごとに行い、1ロット5点の全ての測定点が測定下限値（1%）未満であった場合は、その検査ロット対象部は浸透性コンクリート保護材が塗布されていると判断する。
- ②1ロット5点の測定点のうち、ひとつの測定点でも測定下限値（1%）以上であった場合は、測定下限値以上の測定点の近傍を新たな測定点として選択し、再度測定を行う。
- ③再測定の結果、全ての測定点で測定下限値（1%）未満であった場合は、その検査ロット対象部は浸透性コンクリート保護材が塗布されていると判断する。
- ④再測定において測定下限値（1%）以上であった場合は、その検査ロット対象部は浸透性コンクリート保護材が塗布されていないと判断する。
- ⑤浸透性コンクリート保護材が塗布されてないと判断された検査対象箇所は再塗布する。



付属図解－3 判別のフロー