

コンクリートの健康寿命と防水の役割

水のコントロールの重要性

鉄筋コンクリート造の建物を長持ちさせるために



コンクリートの健康寿命と防水の役割

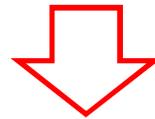
本日の主な内容

- ◎ 鉄筋コンクリート造を長持ちにさせるために
 - － 水のコントロールの重要性
 - コンクリート建築物の耐久性劣化と現象の整理
 - 劣化しやすい部位と補修CASE
- ◎ 長期中性化抑制効果の実証実験
- ◎ 防水工事における長寿命化改修
 - － 防水工事に関する長寿命化改修手法の紹介

鉄筋コンクリート造建築物の耐久性劣化

「鉄筋コンクリート造の構造体・部材の構造安全性の低下は、一般的には、鉄筋の腐食によって決定される。」

(JASS5(2015) 解説P157)



鉄筋の腐食を誘発する原因は何か？

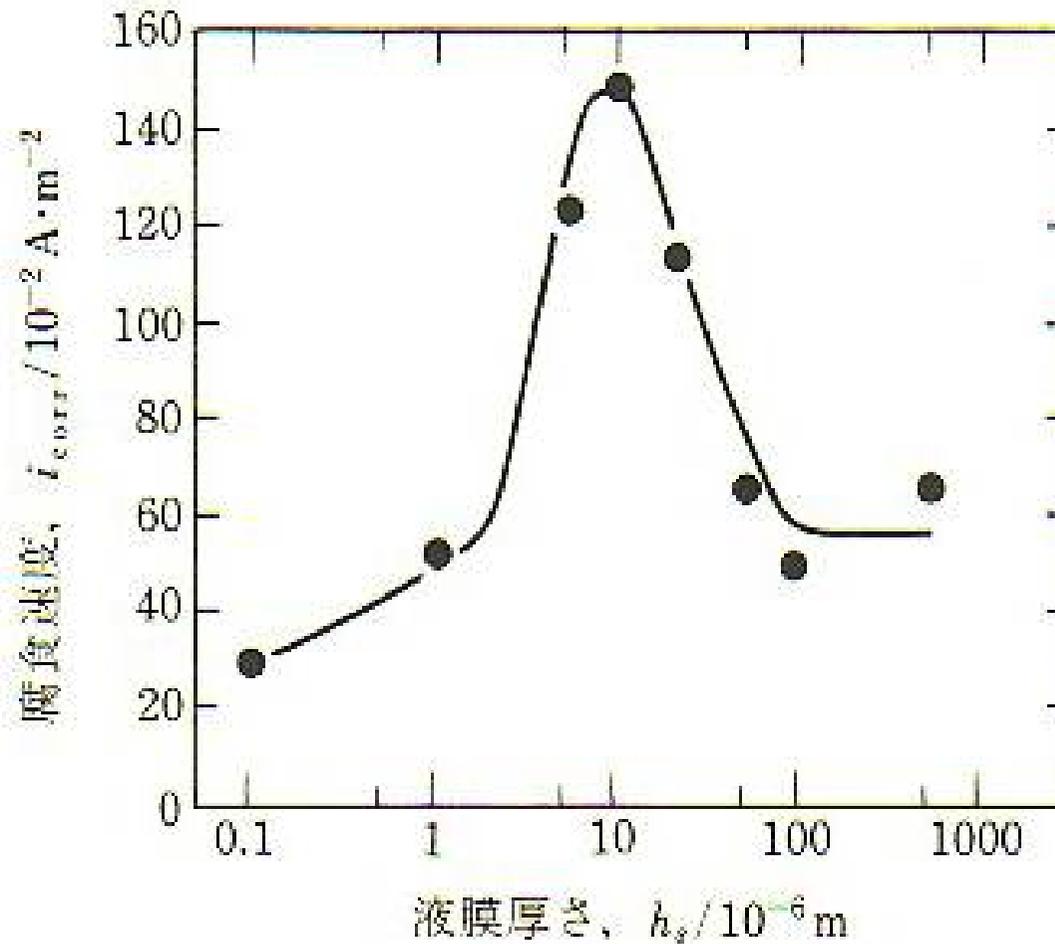


R C 躯体の耐久性に関わる主な劣化

非破壊で 確認できる劣化	劣化現象名と劣化原因	もたらされる耐久 性能低下
<p>鉄筋の腐食 ↓</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ひび割れ発生 ・錆汁 ・コンクリート剥落 ・鉄筋露出 	<p>中性化 二酸化炭素…鉄筋の不動態皮膜の破壊 →水分 & 酸素…鉄筋腐食</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄筋の質量減少 ・錆の膨張によるコンクリートの損壊、剥落
	<p>塩害 塩化物イオン…鉄筋の不動態皮膜の破壊 →水分 & 酸素…鉄筋腐食</p>	

鉄筋腐食には、**水分のコントロール**が必要

* 参考

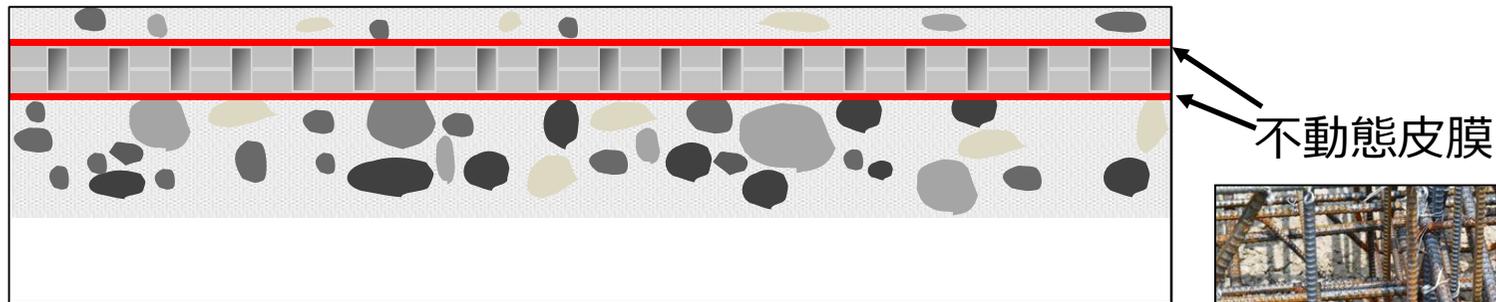


文献1)
H.Nagano,T.Doi and
M.Yamashita ;Materials
Science Forum,Vols.
289-292,127-134,1998

図 金属表面の水膜厚さと腐食速度の関係（文献1）を基に作成

* 鉄筋近傍の70%超から90%未満付近の相対湿度において、鉄筋腐食が進行しやすい環境にあることが考えられる。

鉄の不動態皮膜について



厚さ：2～6nm（ナノメートル：1mの10億分の1）
色：透明。不可視の皮膜

★一般的なコンクリート中の鉄筋

pH 12～13の高アルカリ環境下 → 鉄筋表面に酸素が化学吸着

→ **不動態皮膜形成「不動態化」**
この状態にある金属は、腐食がほぼゼロになる

★亜硝酸イオンによる不動態化

高濃度の亜硝酸イオン環境下 → 鉄筋表面に不動態皮膜が形成

鉄筋の不動態皮膜の破壊

コンクリート中の鋼材の腐食開始は鋼材周囲の
塩化物イオン【Cl⁻】／水酸化物イオン【OH⁻】
の値に依存する
(2012年制定 コンクリート標準示方書[設計編] P146)

コンクリート中の鋼材の腐食開始を不動態皮膜の破壊とした場合、
腐食開始の閾値（いきち）は、鋼材腐食のメカニズムから細孔溶液中の
塩化物イオン濃度【Cl⁻】と水酸化物イオン濃度【OH⁻】の比である



で整理される。

(2012年制定 コンクリート標準示方書[設計編] P151)

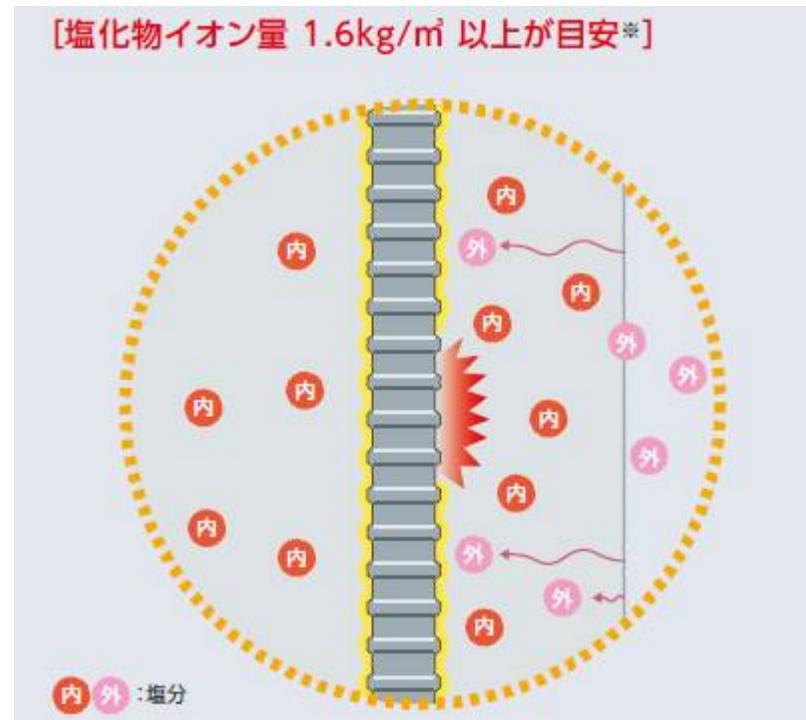
塩害
により増加

中性化
により減少

ある一定の値より大きくなると、不動態皮膜が破壊される。

鉄筋腐食の第1段階

塩害による不動態皮膜の破壊



①元々、新築当時に入っていた **塩化物（内在塩分）**

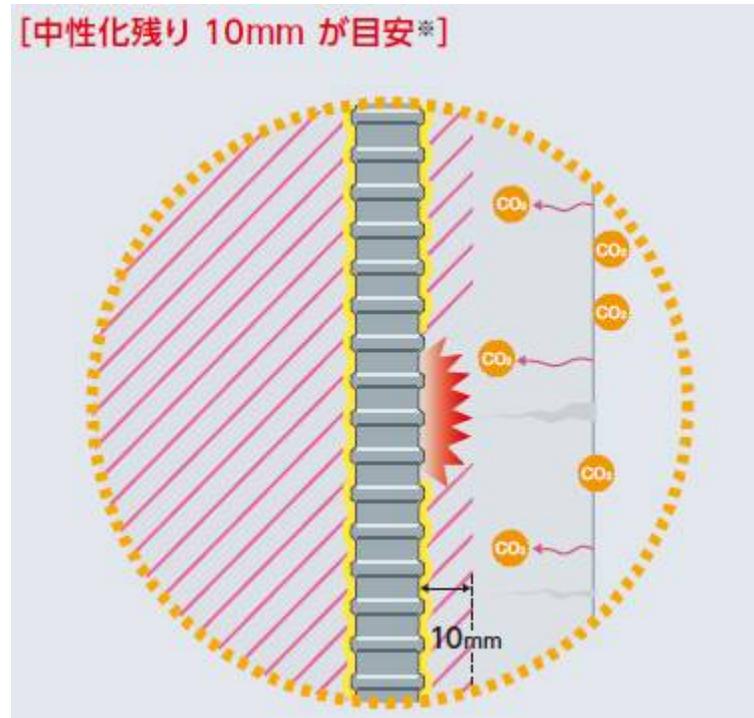
②コンクリート表面から浸透した **塩化物（外来塩分）**

塩化物イオンが鉄筋の不動態皮膜を問答無用で破壊！

塩化物イオン量 = 1.6kg/m³ が目安！

鉄筋腐食の第1段階

中性化による不動態皮膜の破壊



コンクリート表面から **二酸化炭素** が浸入して『中性化』
『鉄筋近くまで中性化が進行すると、**不動態皮膜を破壊!**』

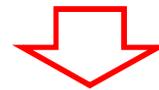
中性化残り = 10 mm が目安!

鉄筋コンクリート造建築物の耐久性設計

一般的な劣化作用を受ける構造体の計画供用期間の級

(JASS5 (2015) 本文P7)

- ①短期 計画供用期間 およそ30年
- ②標準 計画供用期間 およそ65年
- ③長期 計画供用期間 およそ100年
- ④超長期 計画供用期間 およそ200年



必要な耐久性能に応じて、

- ①二酸化炭素の浸透 「中性化」
- ②塩化物イオンの浸透 「塩害」
- ③水分・酸素の浸入

を抑制するために

- 1) **コンクリートの圧縮強度 (水セメント比)** → 浸透速度 に影響
- 2) **かぶり厚さ** → 許容量 に影響
- 3) **表面仕上材** → 浸透速度・水分 に影響

を設計しています。

劣化しやすい部位

① 保護となる仕上げが脆弱、または仕上げが無い 主なケース

- 1) コンクリート打ち放し の場合
- 2) 軒天・上裏などの部位で リシン吹き、透湿系塗装の場合

など

② かぶり厚が薄い 主なケース

- 1) 新築コンクリート打設時に鉄筋が外へハラんだ場合
- 2) 新築コンクリート打設時にコンクリートの重さで鉄筋が下がった場合
- 3) 新築コンクリート打設時に目地棒挿入で水切り溝を作った場合

など

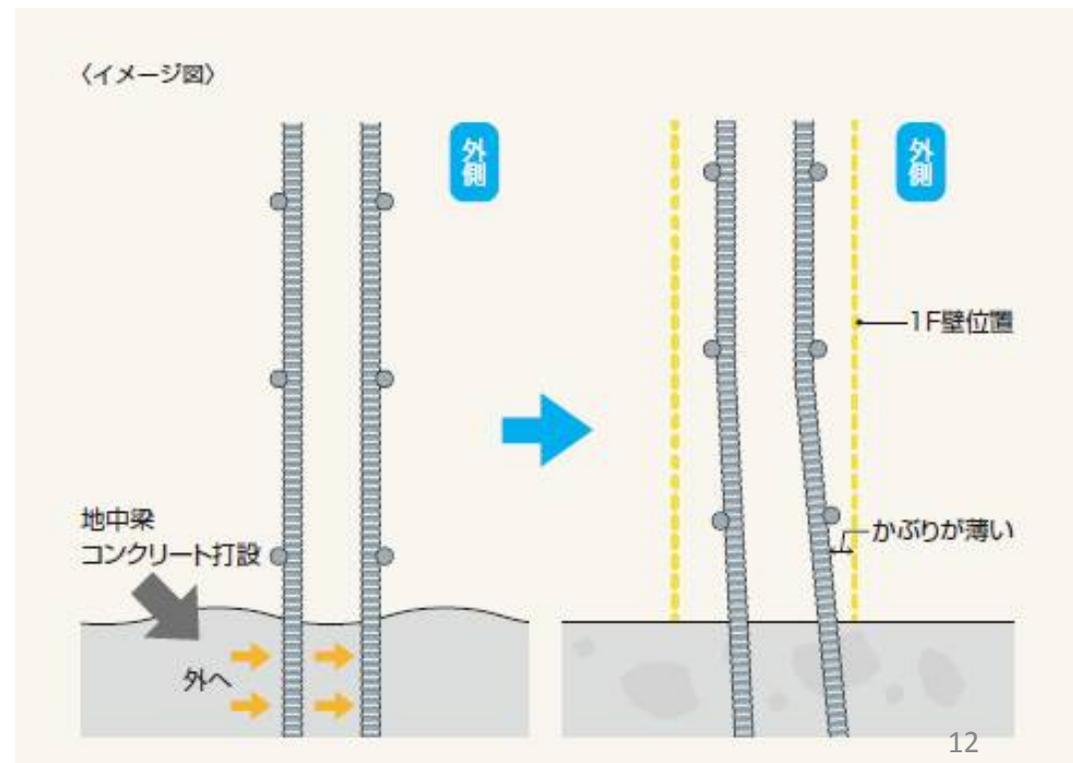
※設計段階・コンクリート打設前の段階でかぶり厚が薄いケースはあまり無い。

劣化しやすい部位

ケース① 1階壁 鉄筋のはらみによるかぶり不足 +水分



地中梁から上に延ばした鉄筋がコンクリート打設時に、外側へ押される場合あり。その場合、かぶり厚が薄くなりやすい。また、基礎部は打ち放しや軽微な塗装のケースが多く、水分の影響が大きい。

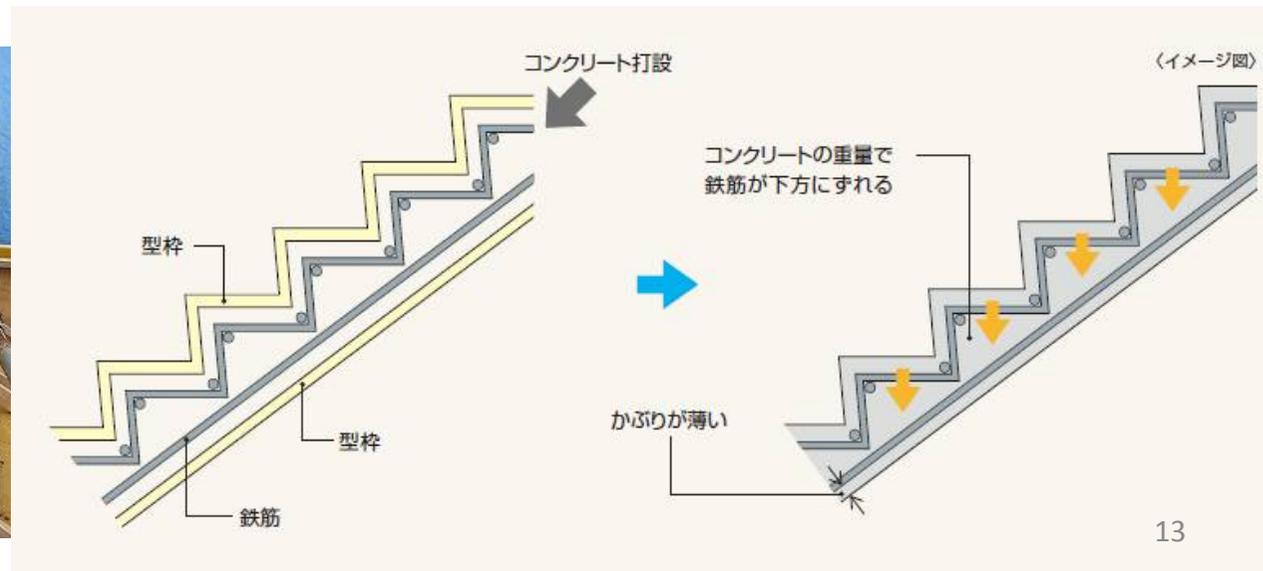


劣化しやすい部位

ケース② R C階段上裏 かぶり不足+水分



R C階段でコンクリートを打設する際は、底面・上面・側面を型枠で囲って上部から数回に分けて流し込む。施工上、スペーサーが入れにくい為、下部の鉄筋がコンクリートの重さで下方にズレやすく、かぶり厚も薄くなりやすい。また、軒天は水分がたまりやすい為、透湿性の高い仕上げ（リシン仕上げなど）が多く、他の部位より中性化しやすく水分の影響を受けやすい部位と言える。



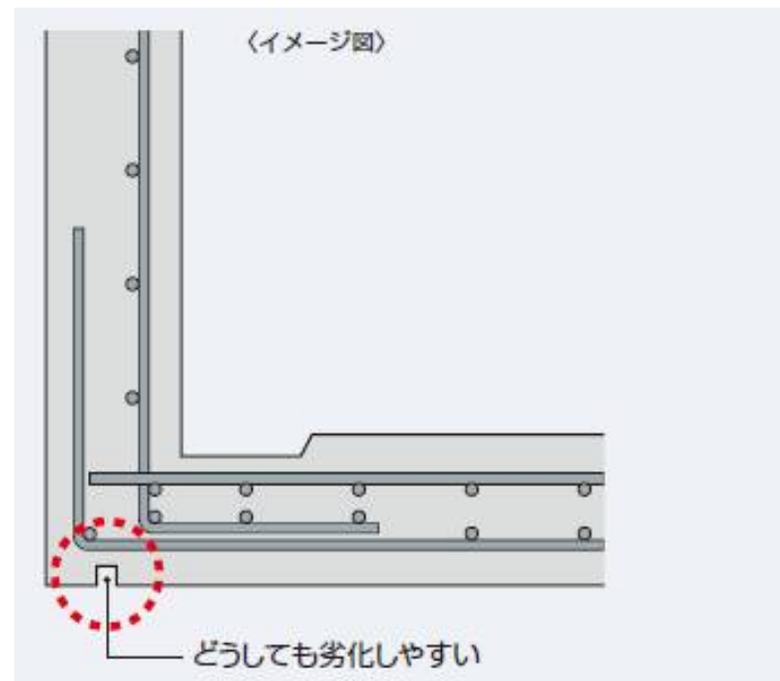
劣化しやすい部位

ケース③ 軒天 水切目地周辺 かぶり不足＋水分



軒天は水分がたまりやすい為、透湿性の高い仕上げ（リシン仕上げなど）が多く、他の部位より中性化しやすく水分の影響を受けやすい部位と言える。

更に鼻先部は伝い水を切るための水切溝がある為、かぶりが薄くなりやすく、劣化が出やすい箇所。



劣化しやすい部位

ケース④ パラペットのあご裏 無防備



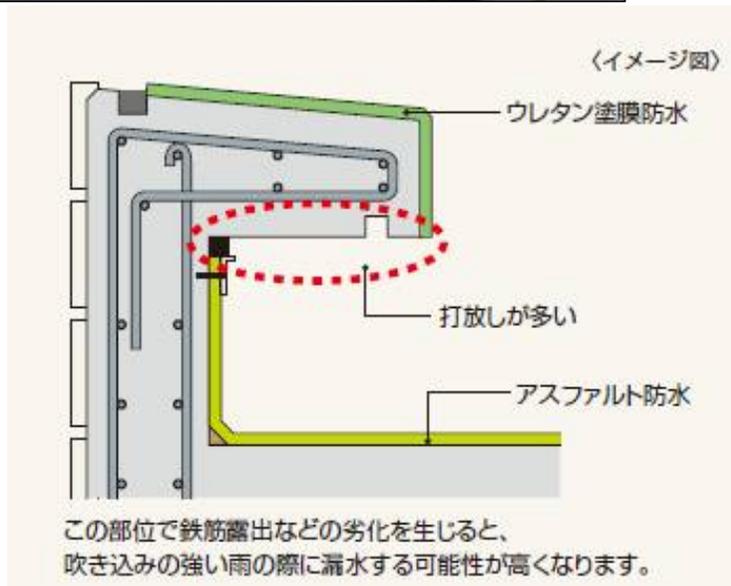
パラペットは防水の納まり上、特に重要な機能を担う箇所。

しかし、上裏部分は水分が集まりやすい箇所でもあることから、コンクリート打放しになっていることが多い部位。

寸法的にかぶり厚も薄くなりがちの為、

特に中性化による劣化が発生しやすい部位。

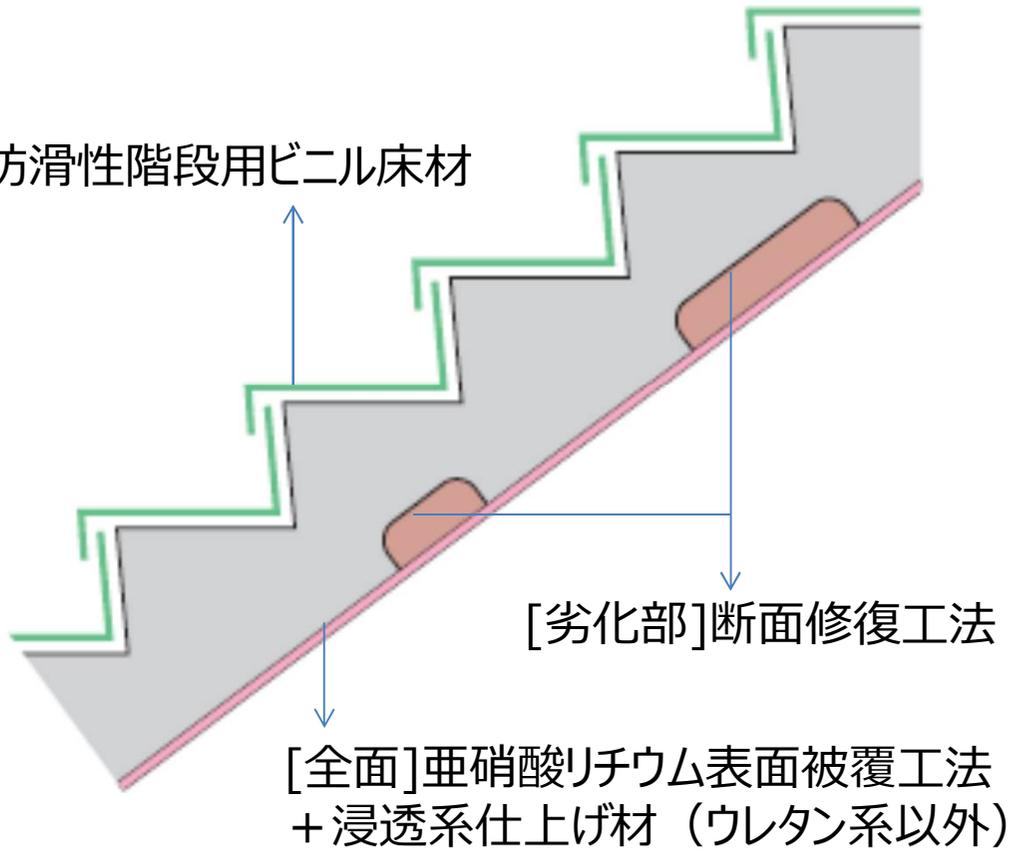
また、目地棒で水切りが作ってあると、かぶり不足となり、劣化が進行しやすくなる。



補修CASE1 : RC階段上裏

ビュージスタステップ° VPS-2仕様

防滑性階段用ビニル床材

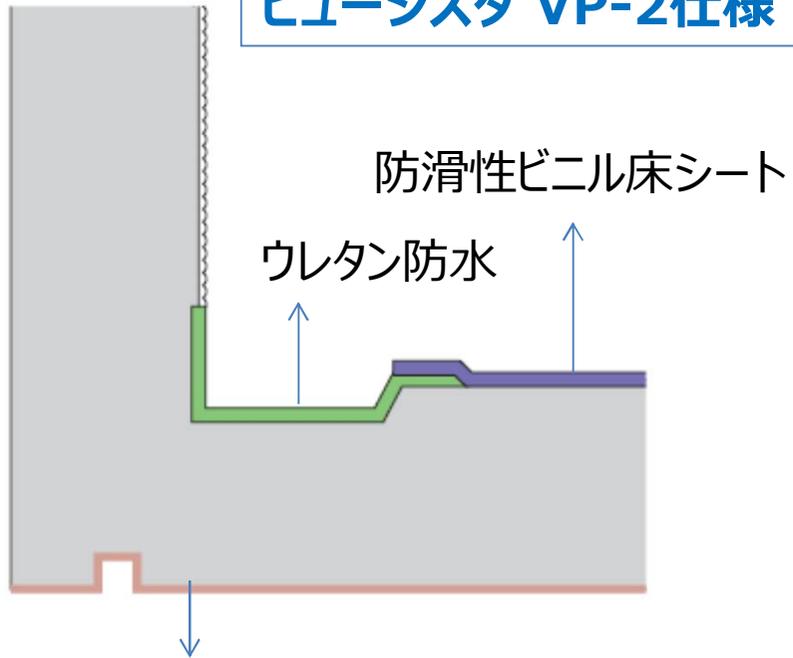


かぶり不足 + 水分



補修CASE2 : 軒天・水切目地周辺

ビュージスタ VP-2仕様



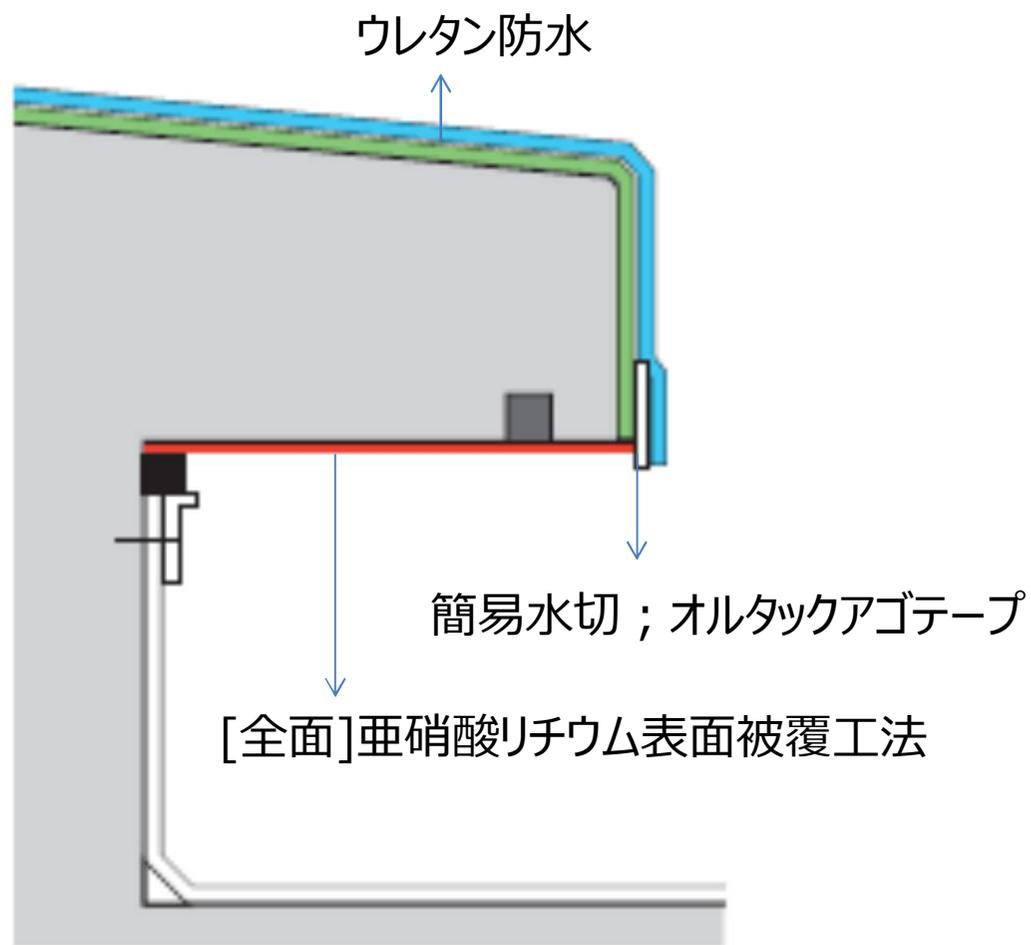
[全面]亜硝酸リチウム表面被覆工法
+ 浸透系仕上げ材 (ウレタン系以外)

* 鉄筋露出などの劣化部がある場合 : 断面修復工法



補修CASE3 :パラペットのあご裏

オルタックスカイ OSMM-3S



無防備 + 水分

◎ 長期中性化抑制効果の実証実験

亜硝酸リチウム含有モルタルの中性化抑制効果の研究

福田杉夫、柘田佳寛

; 日本建築学会大会学術講演便概集 (近畿), 2014年9月, 1319-1320

亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタルの 中性化長期抑制効果

試験内容 19年間曝露した小型試験体から試験片を切り出し、促進中性化試験を実施した。

試験体曝露場所：沖縄 辺野喜海岸から約10mの曝露試験場



実大試験体の設置状況（1996年6月）



試験体の曝露状況

（実大試験体の北側外周部に設置）

鉄筋コンクリート試験体の作成

試験体に各仕様を施工、曝露開始

曝露終了 ; 曝露期間19年

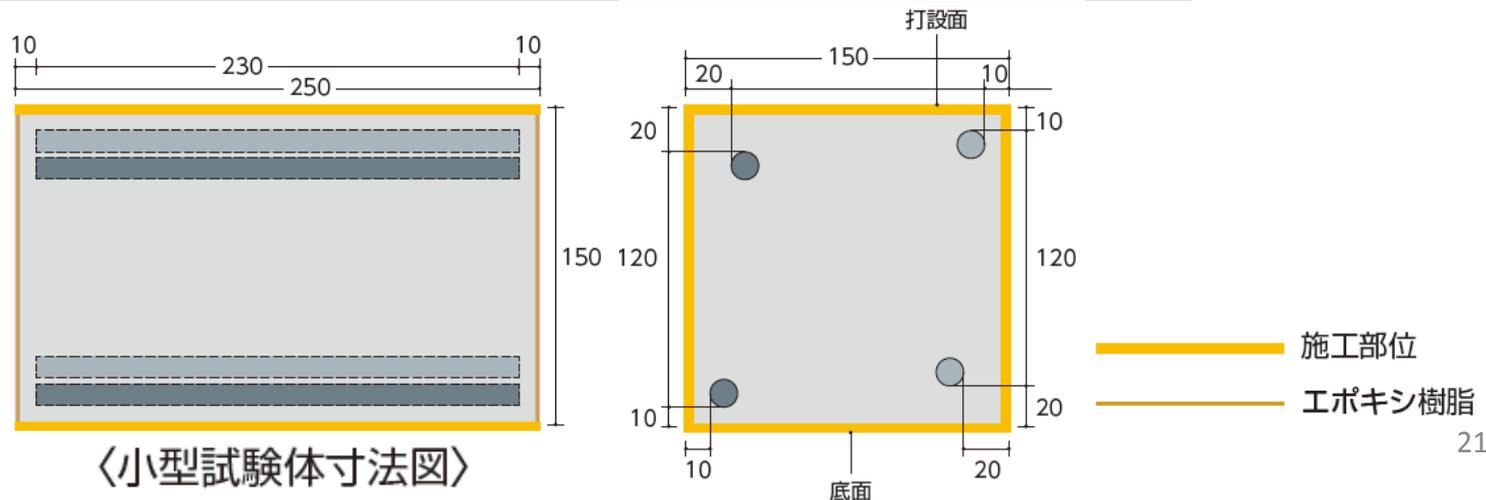
中性化深さ測定、
促進中性化試験体作成

促進中性化試験
(20℃、60%RH、CO₂ 5%)

亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタルの 中性化長期抑制効果

供試体の記号と仕様

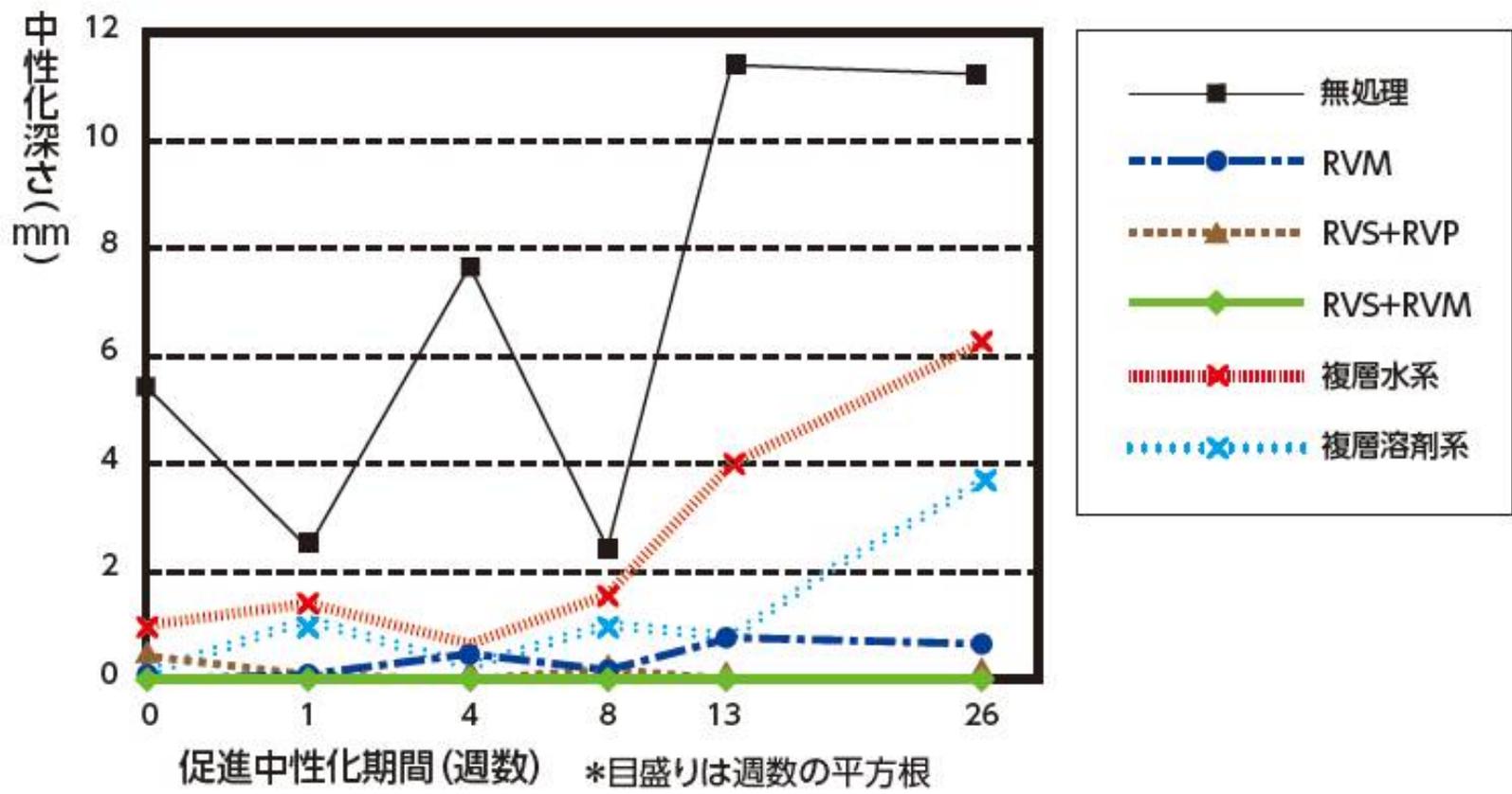
試験体記号	仕様
無処理	無処理
RVM	亜硝酸リチウム添加ポリマーセメントモルタル 5mm
RVS+RVP	亜硝酸リチウム 40%水溶液 200g/m ² + 亜硝酸リチウム添加ポリマーセメントペースト 2mm
RVS+RVM	亜硝酸リチウム 40%水溶液 200g/m ² + 亜硝酸リチウム添加ポリマーセメントモルタル 5mm
複層水系	複層仕上塗材(水系上塗材)
複層溶剤系	複層仕上塗材(溶剤系上塗材)



亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタルの 中性化長期抑制効果

試験結果

中性化深さ(mm)	平均値
無処理 19年	5.5
小型a RVM 19年	0.1
小型b RVS+RVP 19年	0.4
小型c RVS+RVM 19年	0.0



亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタルの 中性化長期抑制効果

試験結果

試験体記号	中性化速度式
無処理	$X=1.46\sqrt{t}+3.26$
RVM	$X=0.17\sqrt{t}-0.09$
RVS+RVP	—
RVS+RVM	—
複層水系	$X=0.74\sqrt{t}+1.00$
複層溶剤系	$X=0.47\sqrt{t}+0.20$

中性化速度式 $X=A\sqrt{t}-B$

X ; 曝露後に進行した中性化深さ

t ; 曝露後の促進中性化期間

A ; 中性化速度係数

B ; 沖縄曝露19年間に進行した
中性化深さ

- ◎ 沖縄の海岸沿いに曝露19年後も中性化は生じなかった。
- ◎ 曝露19年経過後の表面被覆工法は、促進中性化試験により、その後も良好な中性化抑制機能を維持していた。

◎ 防水工事における長寿命化改修

－ 防水工事に関する長寿命化改修手法の紹介

長寿命化改修とは

老朽化した建物について、物理的不具合を直し、建物の耐久性を高める事に加え、建物の機能や性能を求められている水準まで引き上げる事

長寿命化改良事業の工事内容

◆原則として実施する工事

- ①耐久性に優れた材料等への取り替え
- ②維持管理や設備更新の容易性の確保
- ③少人数指導など多様な学習内容・学習形態が可能となる教育環境の確保
- ④断熱等の省エネルギー対策

防水の役割

～変わりゆく役割

変わらない機能～

Q. 防水空間は防水のためだけのもの？

A. 防水工事と共に、屋根に様々な価値を生むことが可能。



➡ そのためには、「本質的な防水の機能」が不可欠です。

【防水の機能】 雨漏りから建物を守る。
建物の構造の劣化を防ぐ。（中性化防止等）

防水改修工事を成功させるには・・・？

- 適切な防水工法の選定
- 適切な下地処理の選定
- 適切な納まりの選定
- 適切な施工

長寿命化改修に求められる防水技術

① 高耐久性

- ・改修回数減でL C C低減

② 断熱仕様・省エネ対策

- ・機能・性能の次世代水準への引き上げ

③ メンテナンス更新の容易性

- ・メンテナンスコスト低減
- ・改修コスト低減

防水層の耐久性



アスファルト防水押えコンクリート仕上げ

標準耐用年数* 約**17年** (20~32年)



アスファルト防水露出砂付き仕上げ

標準耐用年数* 約**13年** (17~22年)



合成高分子系シート防水

標準耐用年数* 約**13年**



ウレタン塗膜防水

標準耐用年数* 約**10年**

旧建設省主体の総合技術開発プロジェクト（総プロ）が実施した「建築防水の耐久性向上技術の開発」資料より抜粋。()は弊社独自研究データによるもの。

長寿命化改修に適用できる露出防水

- ①改質アスファルト防水
- ②塩ビシート防水
- ③ウレタン塗膜防水

長寿命化改修に適用できる露出防水

①改質アスファルト防水

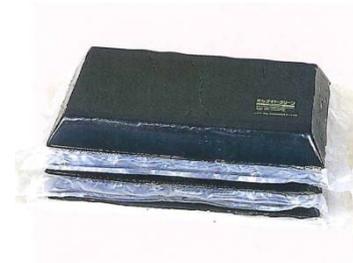
高耐久性



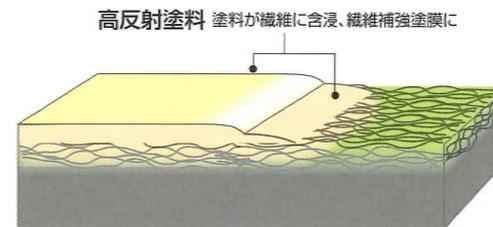
低煙・低臭貼付改質アスファルト+特殊処理面材改質ルーフィングによる「アスファルト防水熱工法」



耐久性・柔軟性を向上させた「改質アスファルト」をルーフィングおよび貼付用アスファルトに採用し、防水層全体の耐久性向上。従来、露出仕様で用いられる砂付仕上げではなく、特殊処理繊維面材に遮熱塗料を塗布することで**繊維補強塗膜**が形成され、高反射機能が長期間保持。貼付アスファルトは**低煙・低臭タイプ**の改質アスファルトで環境対応型改質アスファルト熱工法。



遮熱塗料を繊維補強し、長期間性能を維持
砂付にはないフラットな仕上りを実現



長寿命化改修に適用できる露出防水

①改質アスファルト防水

高耐久性



従来のアスファルト防水の**耐久性・柔軟性を向上させた「改質アスファルト」**を主原料とするシートで、裏面に積層したゴムアスファルトの粘着層で下地に貼り付けて施工する。様々な下地と相性が良く、火器を使わず改修工事ができる、環境対応型の防水改修工法。



長寿命化改修に適用できる露出防水

①改質アスファルト防水

高耐久性

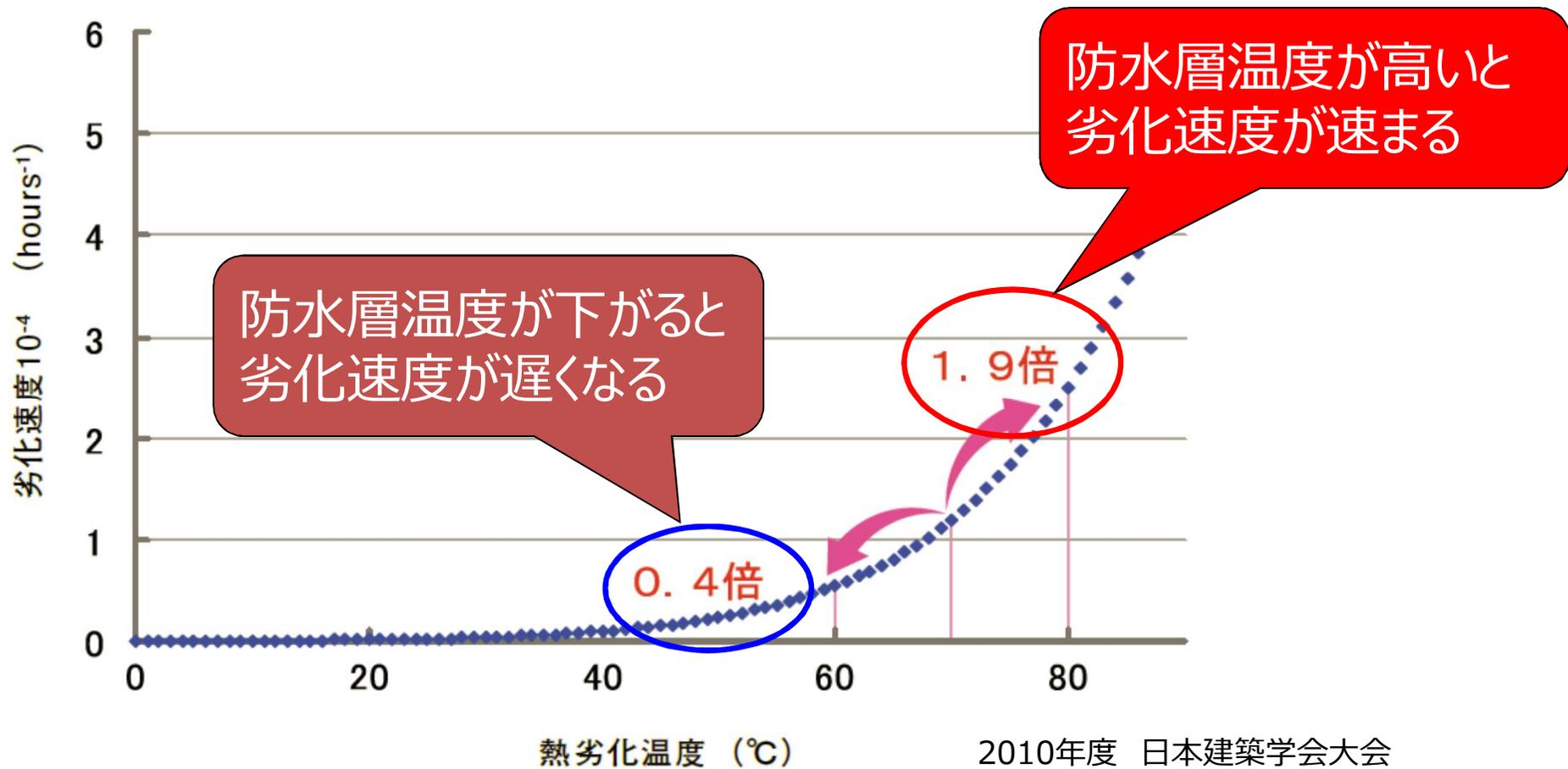
省エネ

メンテナンス

高反射率塗料 SPシリーズとの組み合わせ



防水の温度における劣化速度

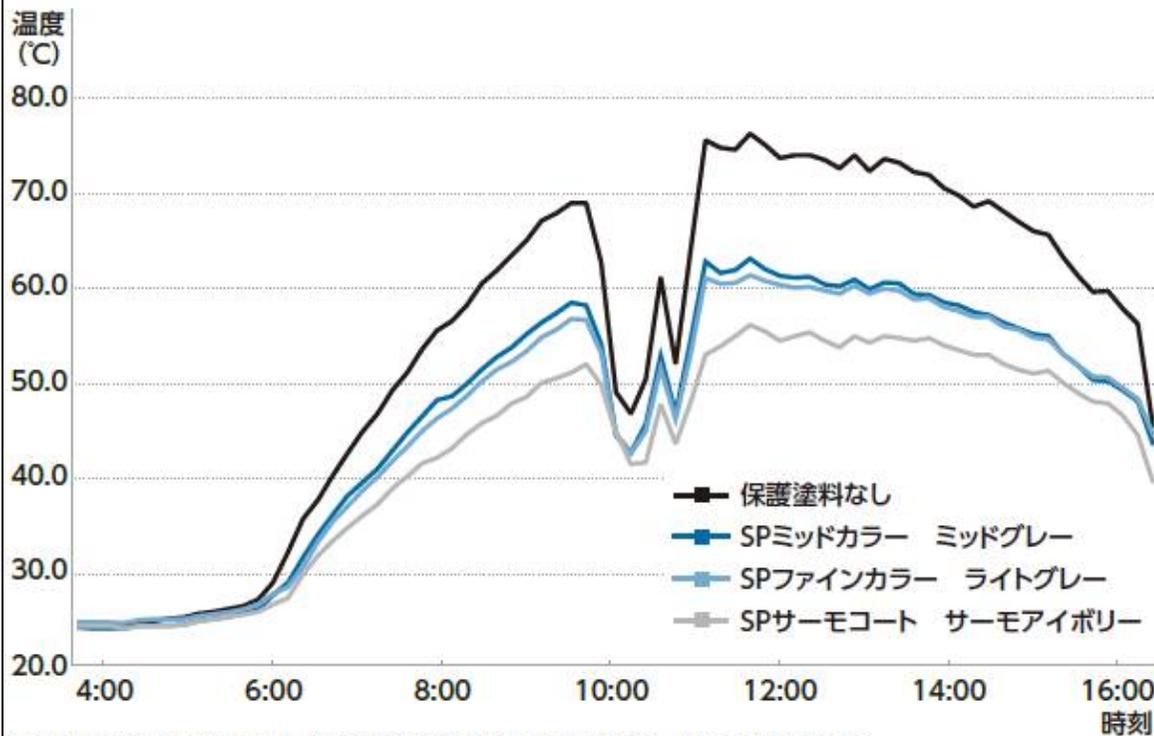


2010年度 日本建築学会大会
「防水材料の耐候性試験その27
アスファルト防水層の耐候性予測方法の提案」
より抜粋

アクリルエマルジョン系高反射保護塗料の種類

各色と反射率

SPサーモコート		日射反射率(%) 近赤外線域(780~2500nm)	SPファインカラー		日射反射率(%) 近赤外線域(780~2500nm)	SPミッドカラー		日射反射率(%) 近赤外線域(780~2500nm)
	サーモグレー TH-109	77.5		ライトグレー A-101	74.6		ミッドグレー I-103	60.4
	サーモアイポリマー TH-69	76.9		マットシルバー A-122	72.0		ミッドリーフ I-27	57.6
	サーモグリーン TH-29	75.9		ライトブラウン A-66	74.2		ミッドベージュ I-63	63.1
※各色は印刷のため、現物との差違がありますので、ご決定の際には色見本帳などをご参照ください。				ミントグリーン A-25	76.6		ミッドチェリー I-33	66.7



測定日:2014年8月20日 測定場所:当社試験場(東京都内) 最高気温:36.4℃

試験体断面図

ガムクールキャップと、断熱材ギルフォームの間に温度計を設置し、測定



試験体	Ⓐ温度℃ (午前11:30)	温度差※
保護塗料なし	77.0	—
SPミッドカラー ミッドグレー	63.0	14.0
SPファインカラー ライトグレー	61.3	15.7
SPサーモコート サーモアイポリマー	56.0	21.0

※保護塗料なしを基準とした温度差

長寿命化改修に適用できる露出防水

②塩ビシート防水

高耐久性

高耐久塩ビシート ビュートップZ



特殊配合により耐用年数30年の高耐久シートが実現。
2種類の試験でその耐候性の高さが確認されている。

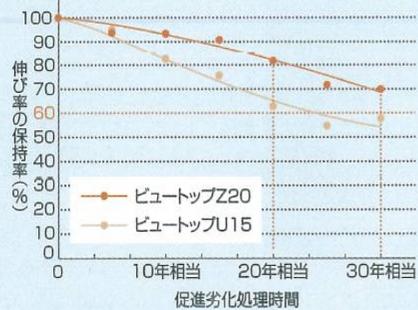
促進耐候性試験

■ 試験方法

メタルハライド式ランプ耐候性試験機を用いて、促進劣化させたシートの伸び率を測定する。



試験結果



※促進劣化試験にてシートの引張伸度初期値比:60%を耐用年数としています。

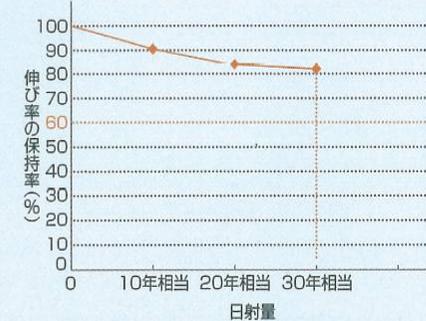
EMMAQUA試験

■ 試験方法

反射鏡により、太陽光を集光し試験体に集中照射して促進劣化させた後、シートの伸び率を測定する。



試験結果



※累積日射量から、実曝露相当年数を算出する。

※促進劣化試験にてシートの引張伸度初期値比:60%を耐用年数としています。

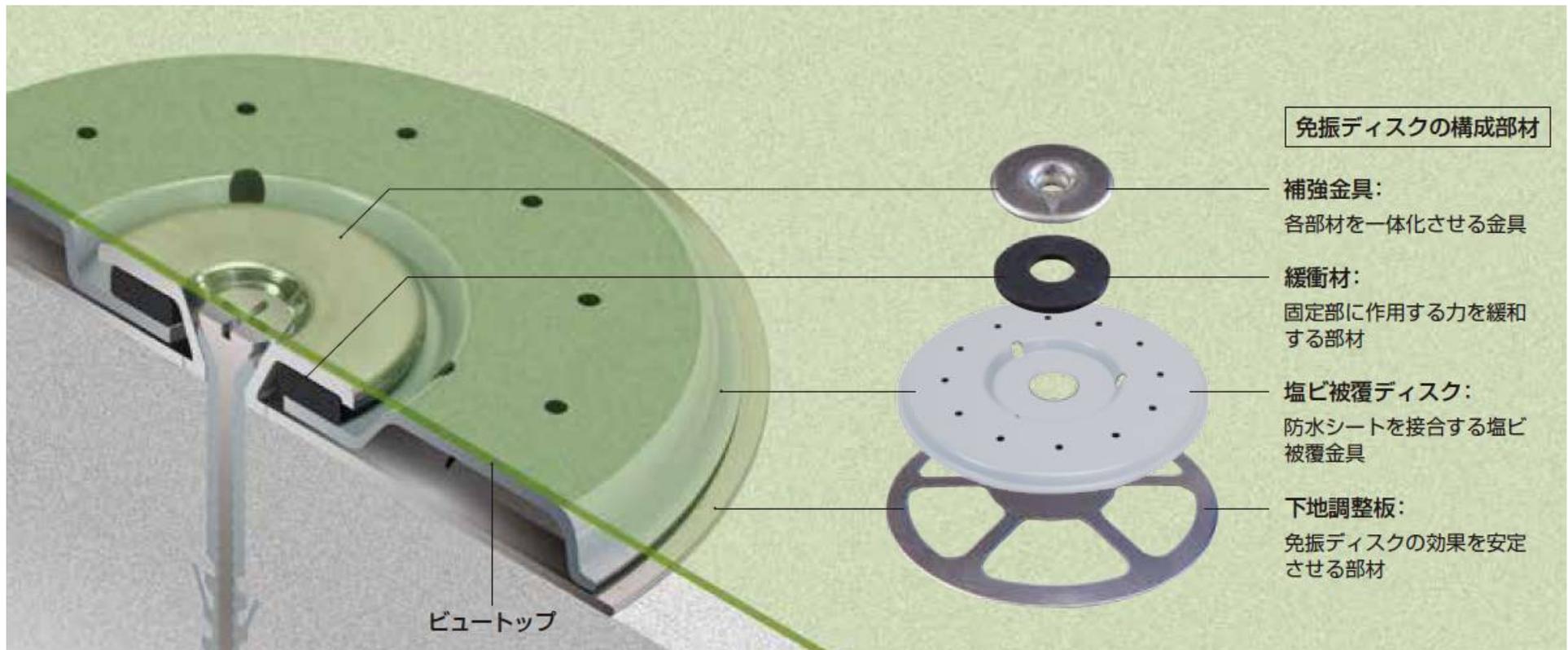
長寿命化改修に適用できる露出防水

②塩ビシート防水

高耐久性

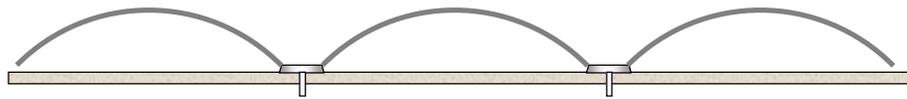
免振工法

免振機能付きディスクが風による衝撃を吸収。
「シート固定部」の長寿命化を実現。



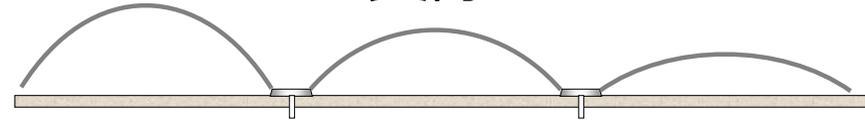
固定ディスク廻りでの負荷

従来



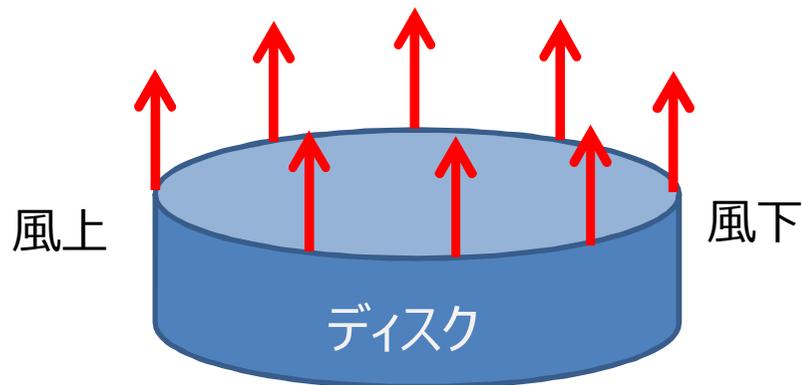
風上側と風下側の荷重は同じ

実際

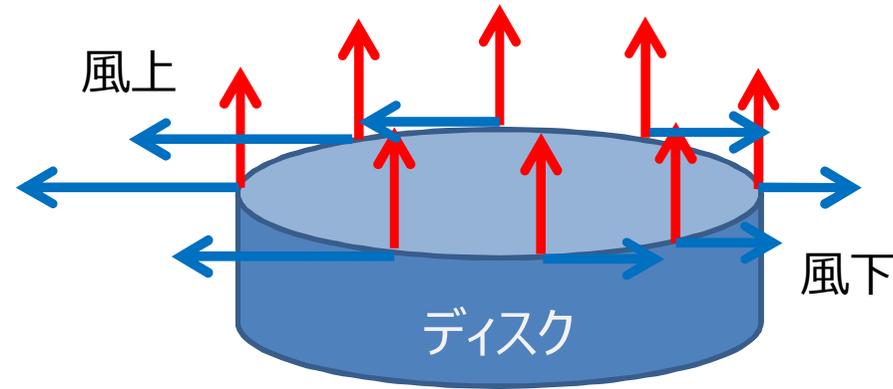


風上側と風下側の荷重は違う

固定部を見ると...



均等に荷重がかかる



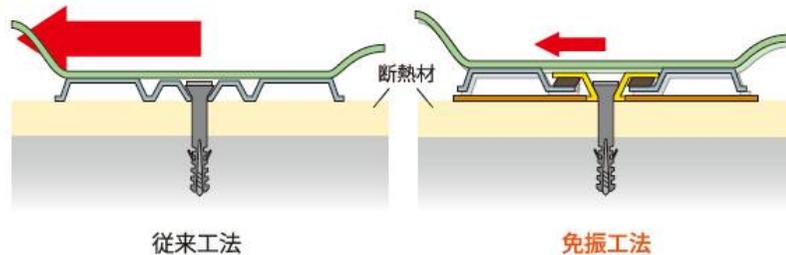
均等に荷重がかからない

長寿命化改修に適用できる露出防水

■ アンカーへの負荷を緩和

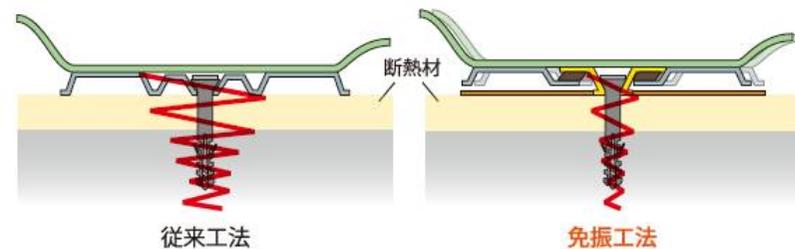
● 水平力を低減

免振工法は、従来工法と比べて固定部にかかる力（水平力）を60%程度*低減するため、アンカーへの負荷を緩和します。



● 力の変動を低減

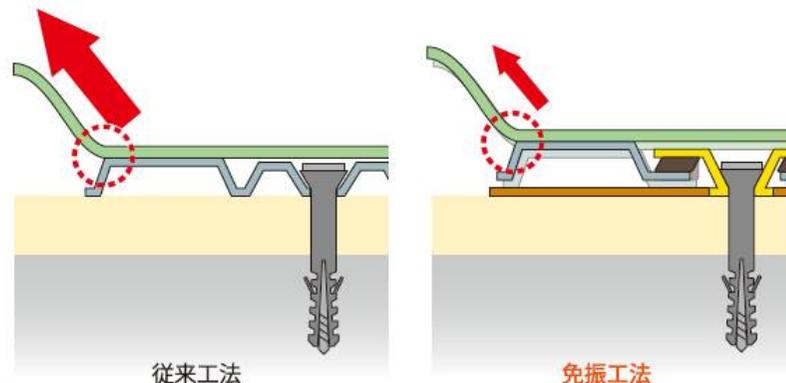
免振工法は、従来工法と比べて固定部にかかる力（水平力）の変動を20%程度*低減するため、固定部にかかる瞬間的な力を大幅に低減します。



*当社比。条件により異なります。

■ 防水シートへの負荷を緩和

強風時には防水シートとディスクの接合部に力が集中します。免振工法は、免振ディスクの緩衝効果により防水シートにかかる負荷を和らげます。



効果のまとめ

■ アンカーへの負荷を緩和

● 水平力を低減

● 力の変動を低減

■ 防水シートへの負荷を緩和

防水システムの耐久性を向上

長寿命化改修に適用できる露出防水

③ウレタン塗膜防水

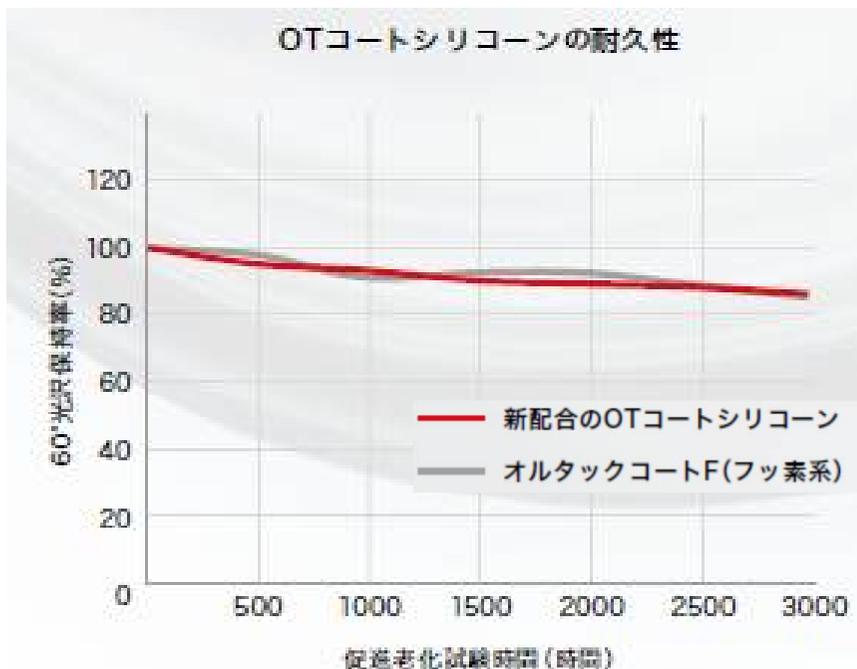
高耐久性

省エネ

メンテナンス

高耐久・高反射塗料 OTコートシリコンクール

防水層の耐久性を左右する上で、保護塗料の重要性が高いウレタン塗膜防水において、フッ素系トップコート同等の**高い耐久性を得ることが可能**。**高反射機能を付加することで防水層の表面温度を低下**させ、更なる耐久性の向上が期待できる。



■ OTコートシリコンクールの日射反射率

色名称	日射反射率(%)
	近赤外領域 (780~2500nm)
SCライトグレー	73.3
SCライトブラウン	75.0

長寿命化改修に適用できる露出防水

③ウレタン塗膜防水

高耐久性

省エネ

メンテナンス

高耐久・高反射塗料 ○Tコートシリコンクール

**ウレタン塗膜防水は
トップコートの耐久性に依存する。**



トップコート塗布直後



トップコート塗布後、
屋外 3 年暴露(静岡)



トップコートの塗り残し部分の防水層が風化した様子

長寿命化改修に求められる防水技術

②断熱仕様・省エネ対策

- ・機能・性能の次世代水準への引き上げ
- ・省エネ基準は1980年（昭和55年）に制定
- ・過去2回改正、改正のたびに必要な断熱性能が強化

省エネ基準	必要な断熱材厚み*
1980年 (旧省エネ基準)	20mm
↓	↓
1992年 (新省エネ基準)	35mm
↓	↓
1999年～ (次世代省エネ基準)	60mm

※以下条件の場合
建築物の区分：鉄筋コンクリート
部位：屋根または天井
地域区分：IV地域（関西・四国含む）
断熱種類：種類E

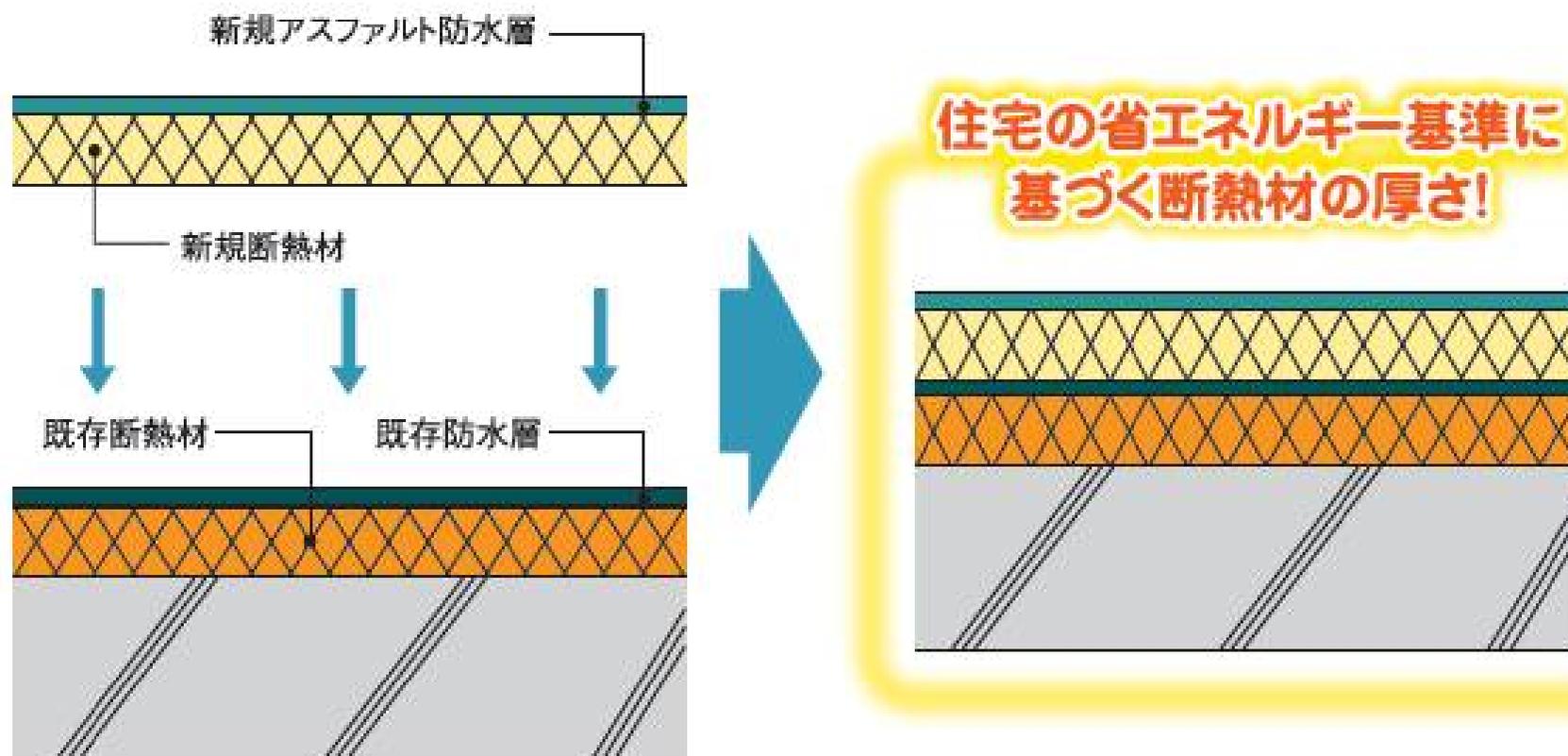


長寿命化改修に求められる防水技術

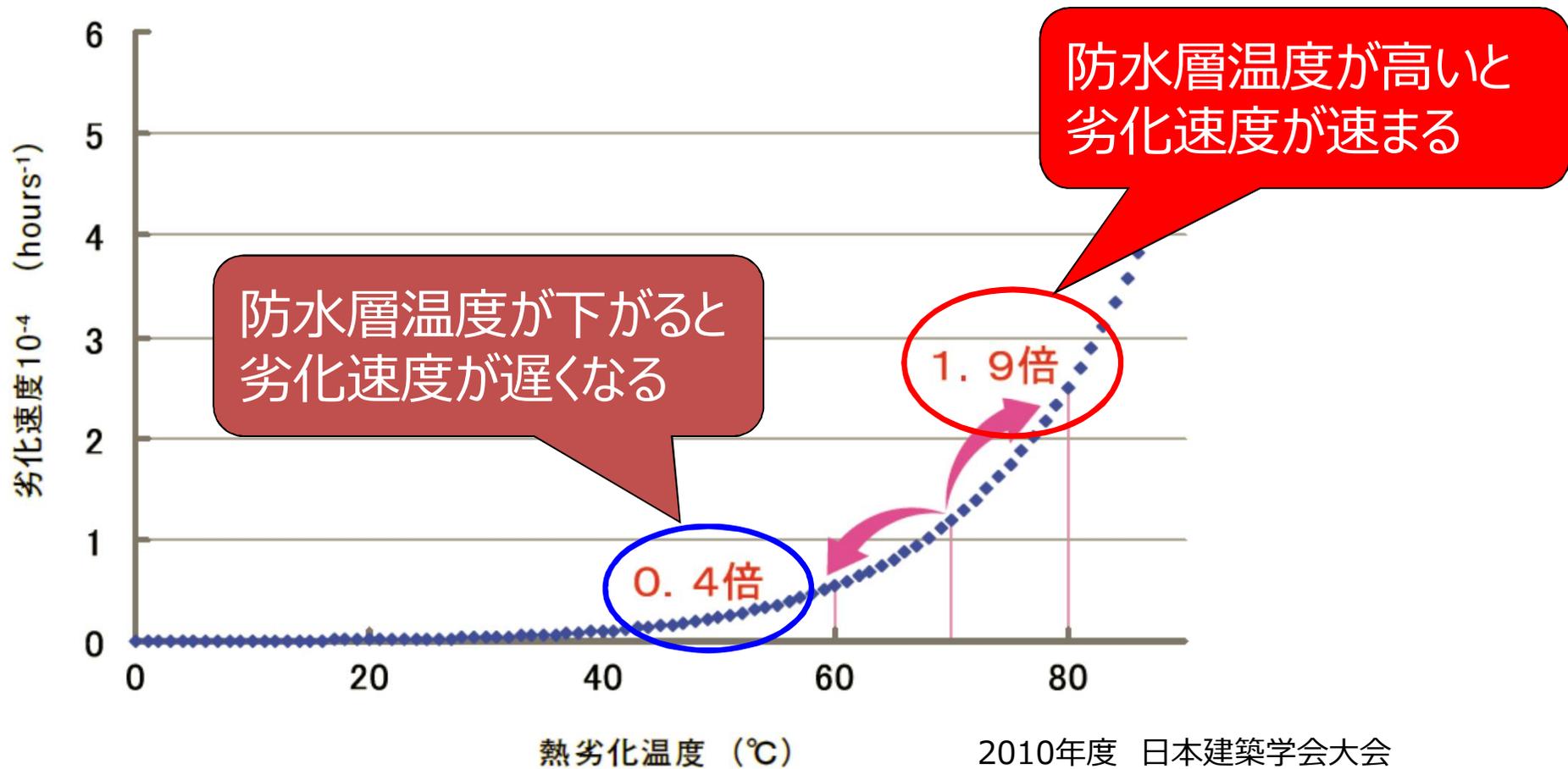
②断熱仕様・省エネ対策

・機能・性能の次世代水準への引き上げ

すでに断熱材がある屋根に、さらに断熱材を追加することでより快適な環境に。

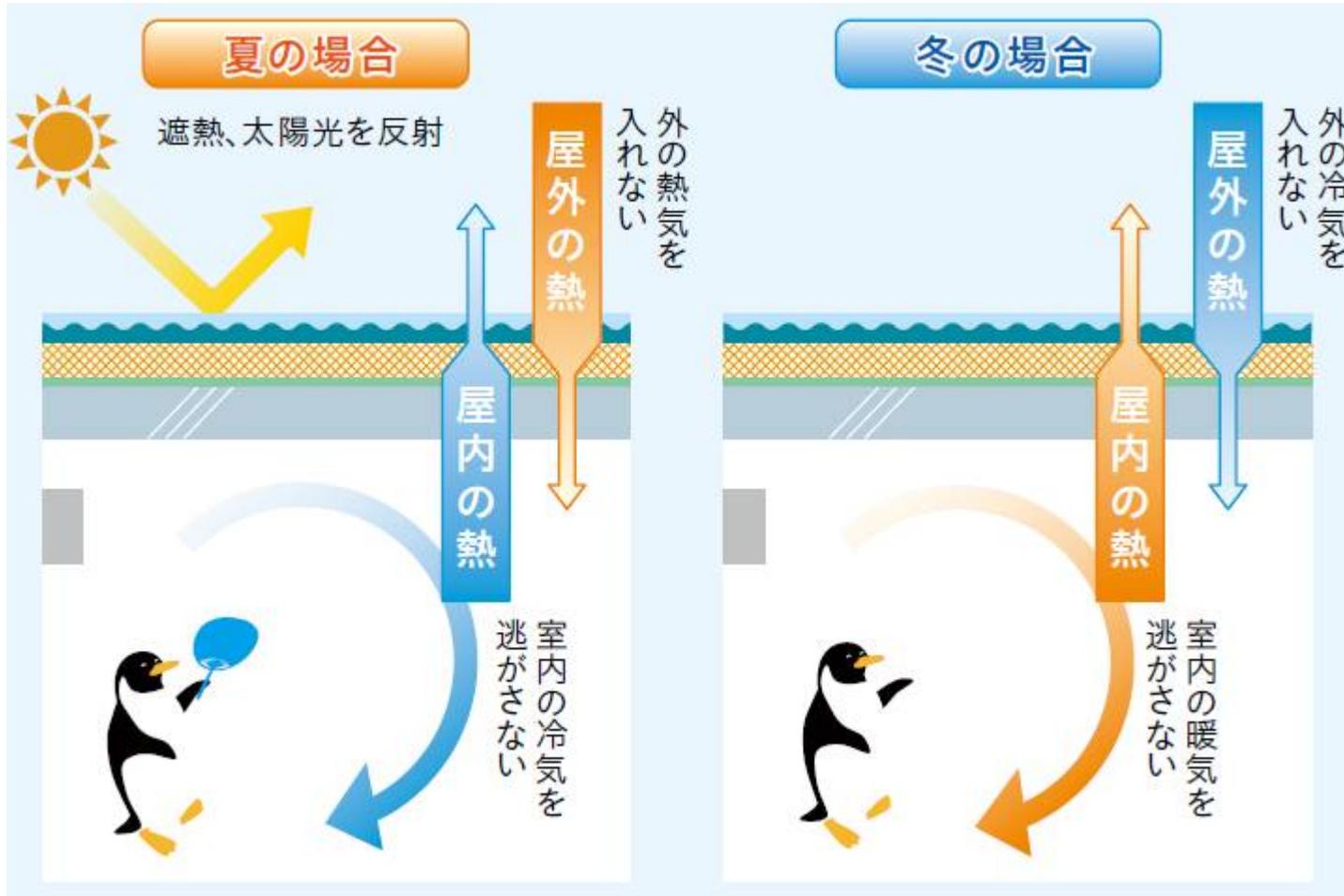


断熱工法における問題点

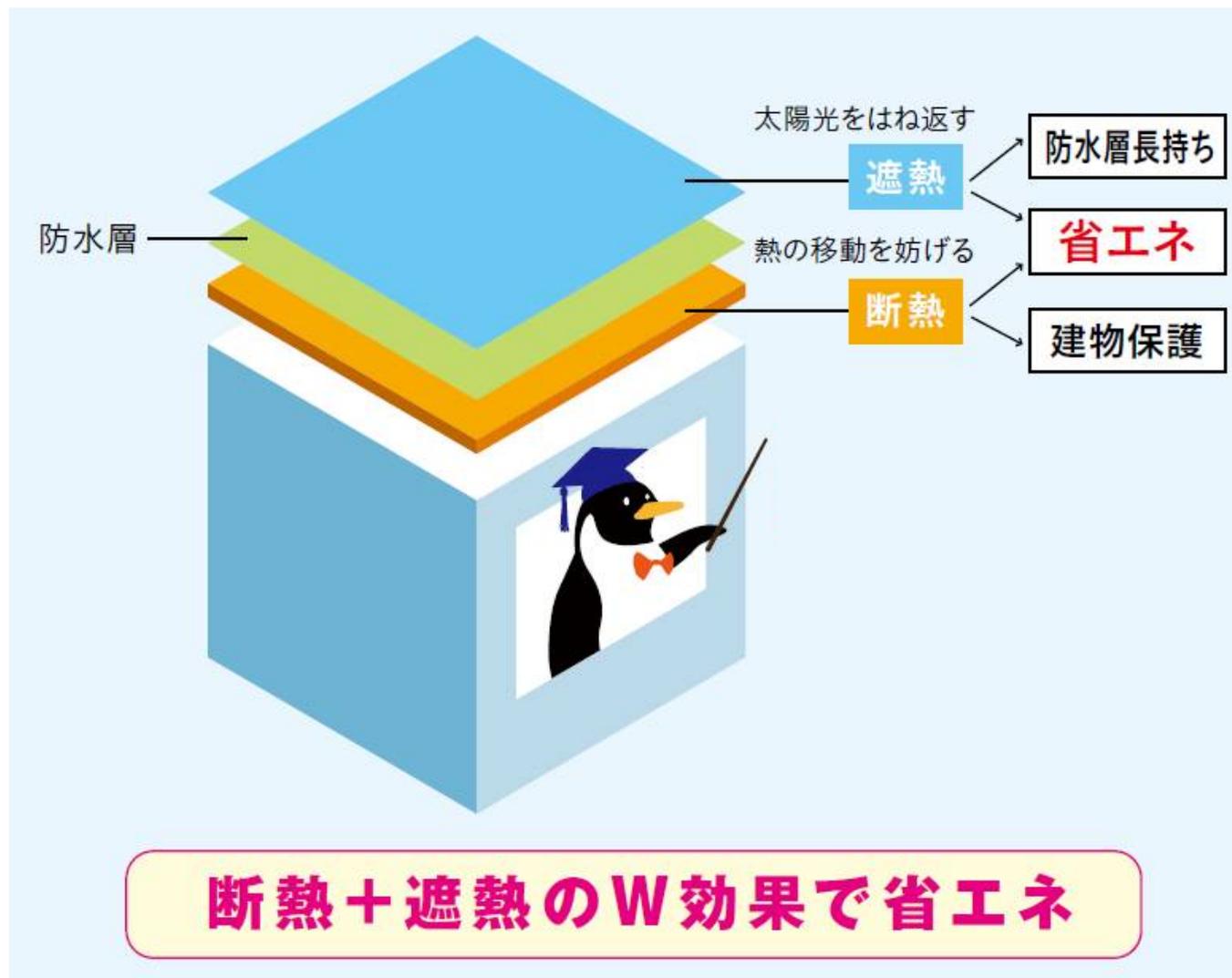


2010年度 日本建築学会大会
「防水材料の耐候性試験その27
アスファルト防水層の耐候性予測方法の提案」
より抜粋

断熱のメカニズム



断熱と高反射塗料（遮熱）の組合せ



各種防水の断熱・遮熱工法への対応可能

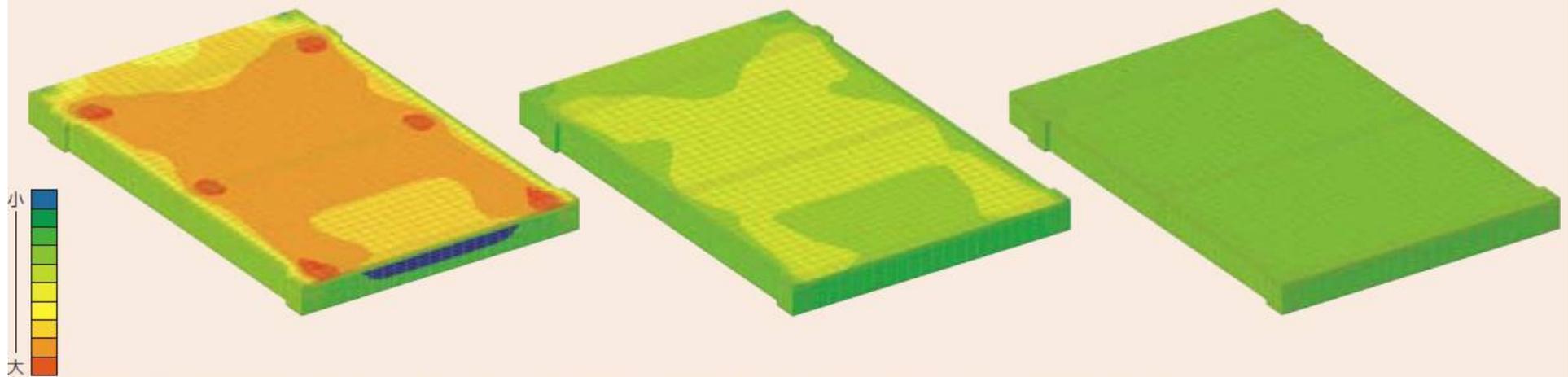
断熱と高反射塗料（遮熱）の組合せ

■屋上コンクリートの応力図

1 断熱:なし／高反射塗料:なし

2 断熱:なし／高反射塗料:有り

3 断熱:有り／高反射塗料:有り
サーモコントロール断熱



応力度合 ※上図は、応力がかかっているほど赤に近い色で、応力が小さいほど緑に近い色で表示されています。

断熱 + 高反射は建物の**長寿命化**にも繋がる

ご清聴ありがとうございました

田島ルーフィング(株) : <https://www.tajima.jp/>

<https://www.youtube.com/user/TajimaRoofing>

* 各種防水工法の施工動画がご覧になれます