

令和2年度建築基準整備促進事業

M8 仕上塗材の性能評価に基づくRC造劣化対策の評価方法基準等の合理化に関する検討

事業主体：芝浦工業大学

（一社）建築研究振興協会

日本建築仕上材工業会

共同研究：（国研）建築研究所

事業の概要 _ 背景・目的

事業の背景・目的:

現行の品確法に基づく評価方法基準および長期優良住宅の認定基準では、RC造の劣化対策として、躯体の最小かぶり厚さが規定されている。

「外壁の屋外に面する部位におけるタイル張、モルタル塗、外断熱工法による仕上げその他これらと同等以上の性能を有する処理が施されている場合」には、屋外側の部分の最小かぶり厚さを1cm減じることができるが、仕上塗材等の外装仕上材についても適用範囲を広げることで、認定基準の合理化を図る。

本事業では、建築用仕上塗材等の定量的な中性化抵抗性の評価方法を提案し、また、これを用いた中性化抵抗性に関する評価基準について提案を行い、長期優良住宅の認定基準の合理化のための検討を行う。

事業の概要 _ 開発目標・期待する成果

長期優良住宅認定基準における水セメント比とかぶり厚さの基準

部 位			最小かぶり厚さ	
			W/C:45%以下	W/C:50%以下
直接土に接しない部分	耐力壁以外の壁又は床	屋内	2cm	3cm
		屋外	3cm	4cm → -1 cm
	耐力壁、柱又ははり	屋内	3cm	4cm
		屋外	4cm	5cm → -1 cm
直接土に接する部分	壁、柱、床、はり又は基礎の立上り部分	4cm	5cm	
	基礎(立上がり・捨てコン除く)	6cm	7cm	

注 外壁の屋外に面する部位にタイル貼り、モルタル塗り、外断熱工法による仕上げその他これらと同等以上の性能を有する処理が施されている場合にあっては、屋外側の部分に限り、最小かぶり厚さを1cm減ずることができる。

これまで、「これらと同等以上の性能を有する処理」について、明確な評価方法や評価基準がなかったため、これを明確化し、耐久性上有効な仕上材に関する評価方法および評価基準を提案する。

事業の概要 _ 検討体制

有識者委員会名簿：

主査	小山 明男(明治大学工学部建築学科 教授)
委員	兼松 学(東京理科大学理工学部建築学科 教授)
//	鹿毛 忠継(建築研究所材料研究グループ長)
//	松沢 晃一(建築研究所材料研究グループ 主任研究員)
//	中田 清史(建築研究所材料研究グループ 研究員)
//	三島 直生(国土技術政策総合研究所 建築研究部 室長)
//	土屋 直子(国土技術政策総合研究所 建築研究部 主任研究官)
事業者	濱崎 仁(芝浦工業大学建築学部建築学科 教授)
//	古賀 純子(芝浦工業大学建築学部建築学科 教授)
//	本橋 健司(建築研究振興協会 会長)
//	彦坂 信之(建築研究振興協会 調査診断部長)
//	船木 哲紀(建築研究振興協会 試験部長)
//	井上 照郷(日本建築仕上材工業会 専務理事)
//	田村 昌隆(日本建築仕上材工業会 理事)
//	越中谷 光太郎(日本建築仕上材工業会 事務局次長)
//	則竹 慎也(日本建築仕上材工業会 技術委員)

事業の概要 _ 実施内容

事業の内容：(公募対象事業説明資料より)

- (イ) 実験の実施：仕上塗材等を施したコンクリート供試体を用いて、促進中性化試験、屋外・屋内・準屋外曝露試験を実施し、中性化深さ等を測定する。
- (ロ) 既往の知見(仕上塗材自体の中性化抑制効果に関する値)と、上記(イ)で得た中性化深さ等の指標の関係から、基準値を検討する。

事業の実施項目：

上記に対して、以下の3点について実験、調査等を実施する。

- ① コンクリートの促進中性化試験、曝露試験等の実施
- ② 外装仕上材の二酸化炭素透過度の試験方法の提案と実施
- ③ 材料劣化を考慮した耐久性上有効な仕上材の評価基準の提案

事業の概要 実施スケジュール

実施項目	R2(2020)										R3(2021)	
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	
有識者委員会				●				●			●	
促進中性化試験	● 13W			● 26W							● 52W	
中性化暴露試験												● 1Y
二酸化炭素透過度測定												
仕上材促進耐候性試験					試験体製作		促進劣化			測定		
仕上材屋外暴露試験										試験体製作		試験体設置
評価基準の検討									←			→
報告書作成										←		→

実験概要 _ 実験の対象とした外装仕上材

No.	種類	仕様
比較用	仕上げ無し	W/C = 65%
①	薄塗材E	標準的な塗付け量
②	防水形薄塗材E	標準的な塗付け量
③	複層塗材E	標準的な塗付け量
④	複層塗材E	③の主材層の基層部分を省略
⑤	防水形複層塗材E	標準的な塗付け量
⑥	防水形複層塗材E	⑤の主材層の基層部分を省略
⑦	防水形複層塗材E	⑤の主材層の基層部分の塗付け量の1/2を省略
⑧	防水形複層塗材E	⑤の上塗材を省略
⑨	マスチックA	標準的な塗付け量
⑩	マスチックAE	標準的な塗付け量
⑪	厚塗材E	標準的な塗付け量
⑫	つや有合成樹脂エマルションペイント(GP)	標準的な塗付け量
⑬	可とう形改修塗材E	主材層の塗付け量800g/m ²
⑭	可とう形改修塗材E	主材層の塗付け量300g/m ²
⑮	塗膜防水材	標準的な塗付け量
⑯	複層塗材CE	標準的な塗付け量
⑰	厚塗材C	標準的な塗付け量

実験概要 _ 促進中性化試験

- 外装仕上材の中性化抑制効果を評価するため、各種外装仕上材を施したコンクリートについて、試験期間52週までの促進中性化試験を実施し、中性化抑制効果の目安を得る。
- 屋外（雨掛かりあり、雨掛かり無し）、屋内環境等において、暴露試験を実施し、実環境での長期的な評価を行う。これらの試験は、建築研究所と共同で実施する。



仕上げ無し



複層塗材E

促進中性化試験状況

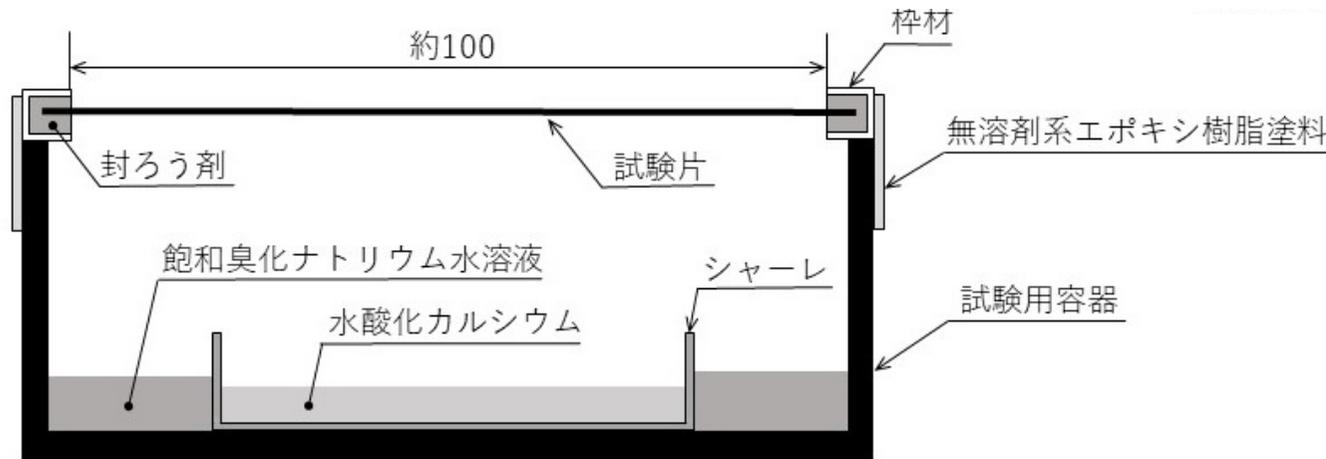


屋外暴露試験体の設置状況

実験概要 二酸化炭素透過度の試験方法

試験手順(提案内容):

- ① 約100mm角の試験用容器内に水酸化カルシウムと飽和臭化ナトリウム水溶液を入れ、試験片(ろ紙に試験対象を施工したもの)でふたをし密閉する。
- ② ①の容器をCO₂濃度5%、20°C・60%RHの促進中性化試験槽内に、所定の期間(3水準・最大7日間)静置する。
- ③ ②の終了後容器内から水酸化カルシウムを取り出し、中和滴定により試験片を透過したCO₂によって反応した炭酸カルシウムの量を求める。
- ④ 3水準の静置期間の結果から、単位時間・単位面積あたりのCO₂の透過量を直線回帰により求め、二酸化炭素透過度(mol/m²・24h)を求める。



二酸化炭素透過度測定用試験体

実験概要 二酸化炭素透過度測定用試験体



実験概要 _ 促進劣化後の二酸化炭素透過度

二酸化炭素透過度に対する劣化の影響を評価するため、促進劣化後の二酸化炭素透過度を測定

測定対象の仕上材と紫外線照射時間

No.	仕上材種類	照射時間の水準
①	薄塗材E	300時間、600時間、1200時間
③	複層塗材E	600時間、1200時間、2500時間
⑫	つや有合成樹脂エマルションペイント(GP)	480時間、600時間、1200時間、2500時間

JISで求められている耐候性

仕上材種類	試験方法・時間	
すべての外装仕上塗材	キセノン・300時間 *1	
複層塗材E	耐候形1種	キセノン・2500時間 *1
	耐候形2種	キセノン・1200時間 *1
	耐候形3種	キセノン・600時間 *1
つや有合成樹脂エマルションペイント	キセノン・480時間 *2	

*1: JIS A 6909 (建築用仕上塗材)

*2: JIS K 5660 (つや有合成樹脂エマルションペイント)



キセノン
ウェザメーター

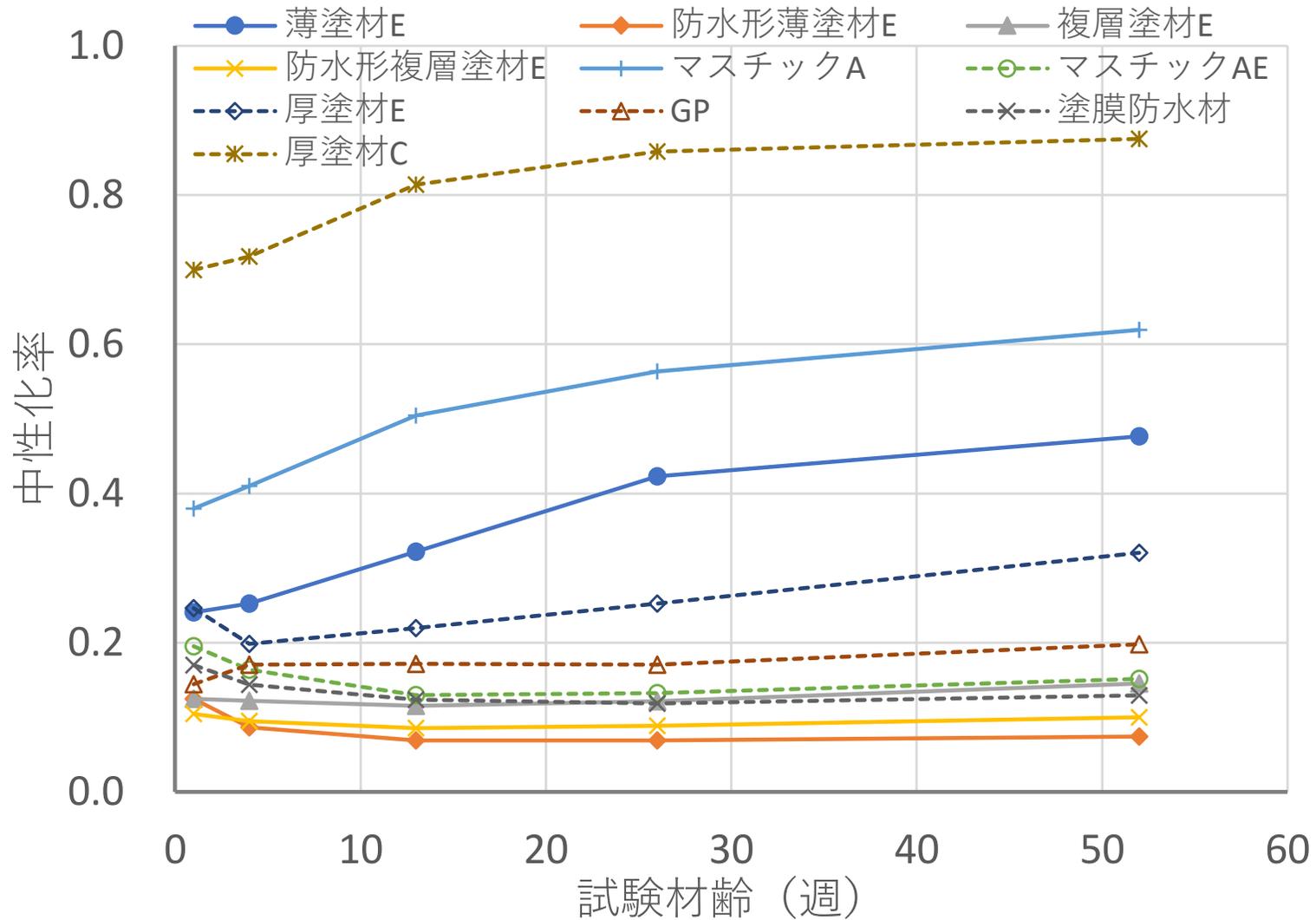
実験結果 _ 促進中性化試験

中性化速度係数および中性化率(試験期間52週)

No.	仕上材種類・仕様	中性化速度係数 (mm/v週)	中性化率
比較用	仕上げ無し(W/C=65%)	4.04	
①	薄塗材E	1.93	0.48
②	防水形薄塗材E	0.30	0.07
③	複層塗材E	0.59	0.15
④	複層塗材E(主材基層なし)	0.56	0.14
⑤	防水形複層塗材E	0.40	0.10
⑥	防水形複層塗材E(主材基層なし)	1.02	0.25
⑦	防水形複層塗材E(主材基層1/2)	0.42	0.10
⑧	防水形複層塗材E(上塗材なし)	0.45	0.11
⑨	マスチックA	2.50	0.62
⑩	マスチックAE	0.61	0.15
⑪	厚塗材E	1.29	0.32
⑫	つや有合成樹脂エマルションペイント(GP)	0.80	0.20
⑬	可とう形改修塗材E(主材800g/m ²)	0.53	0.13
⑭	可とう形改修塗材E(主材300g/m ²)	0.71	0.17
⑮	塗膜防水材	0.52	0.13
⑯	複層塗材CE	0.40	0.10
⑰	厚塗材C	3.54	0.88

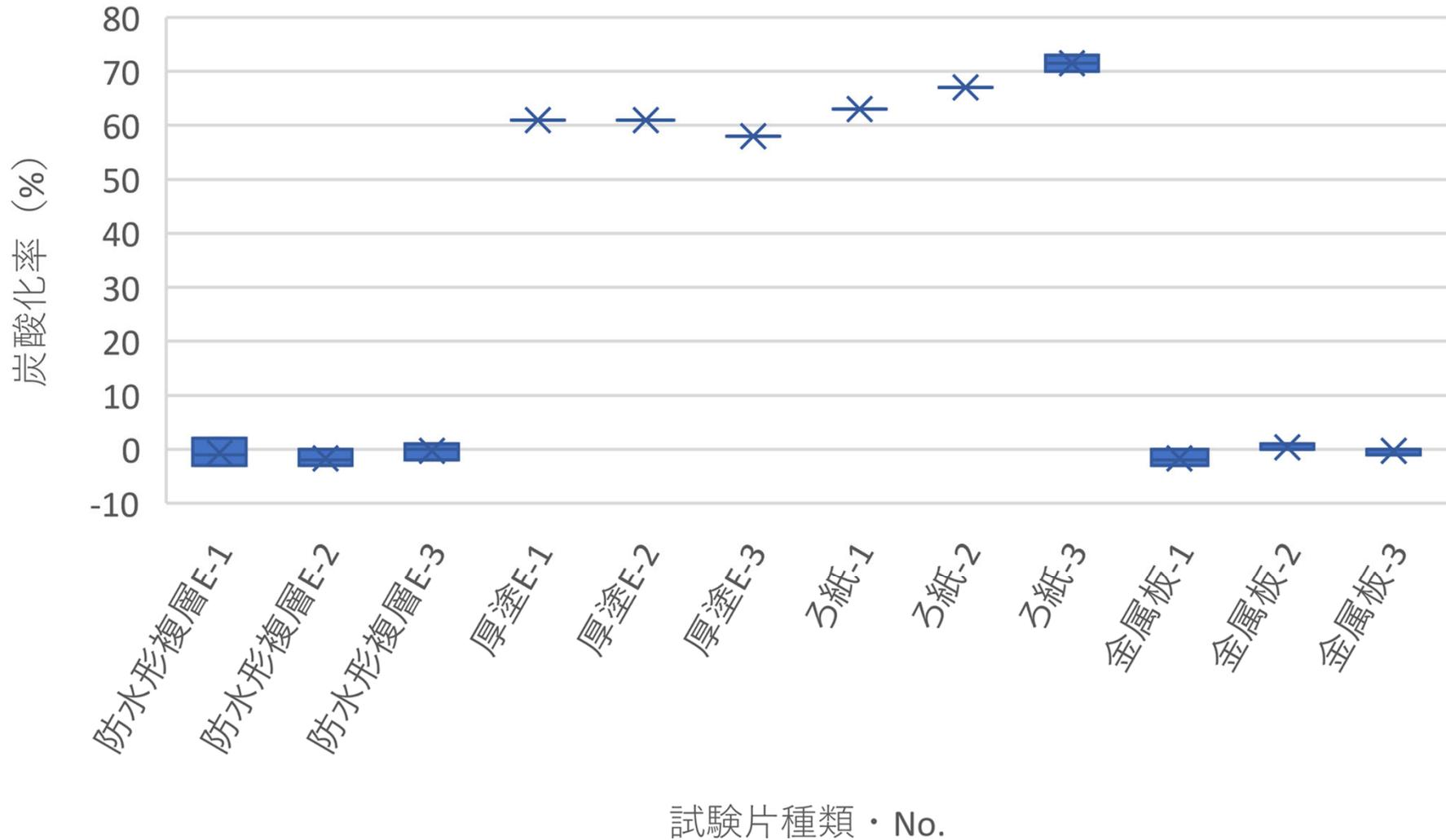
中性化率: 仕上げ有りの試験体と仕上げ無しの試験体の中性化速度係数の比

実験結果 _ 促進中性化試験



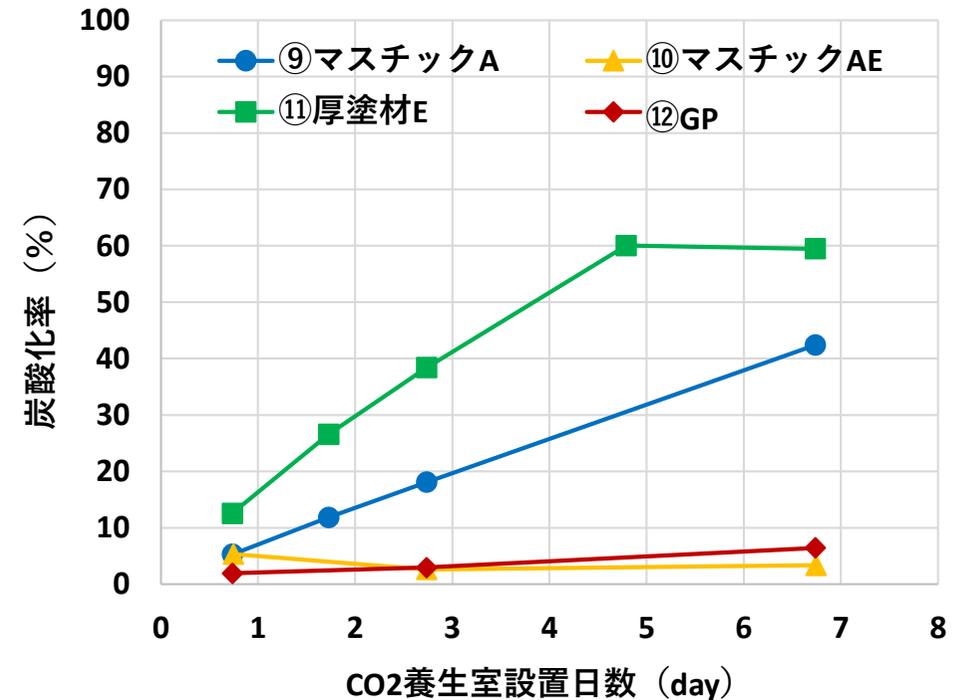
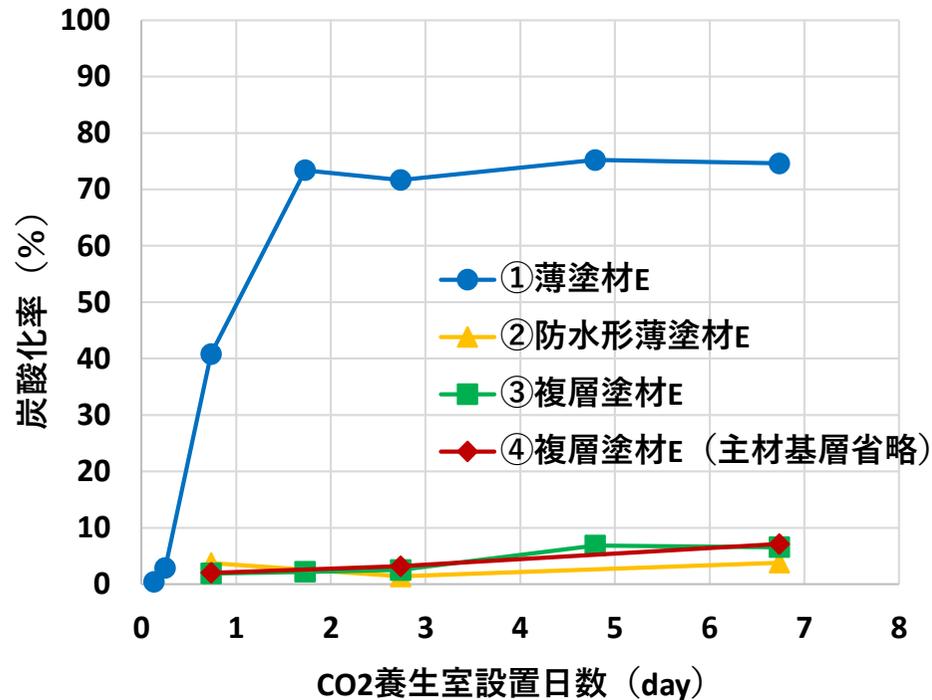
中性化率の経時変化

実験結果 二酸化炭素透過度の測定精度



炭酸化率の測定結果のばらつき

実験結果 _ 各種仕上材の二酸化炭素透過度



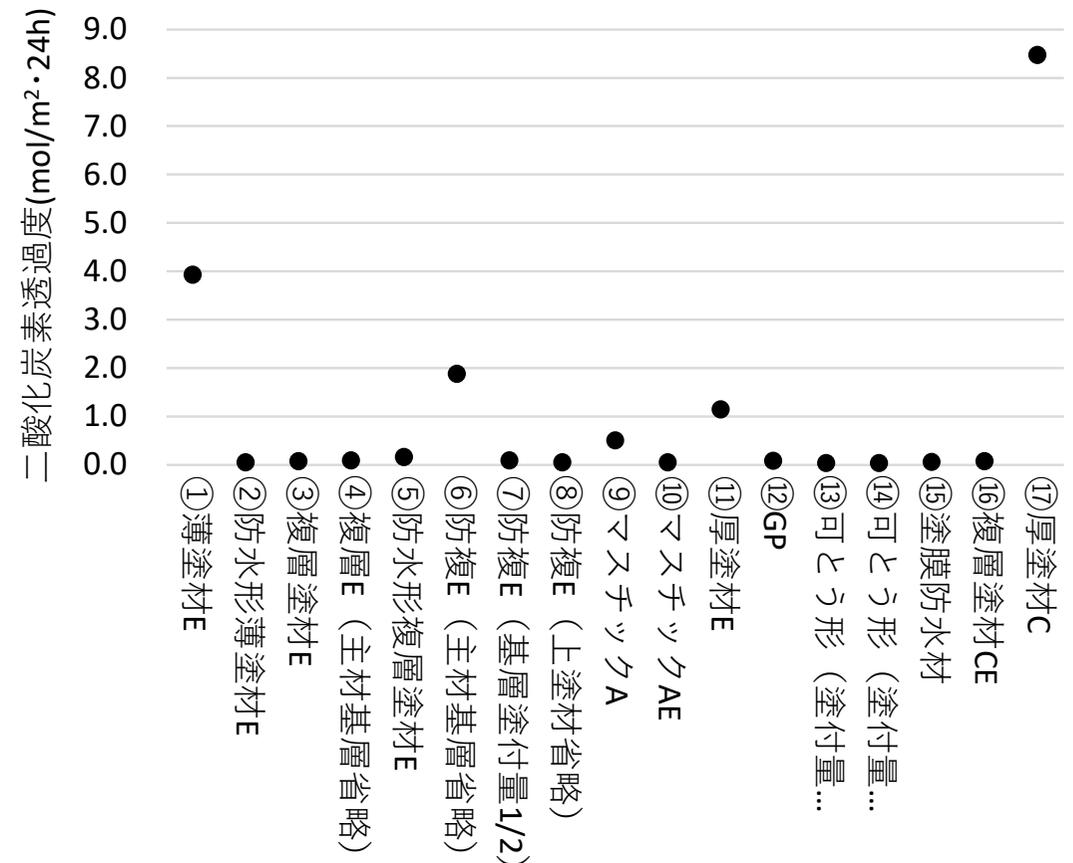
炭酸化率の測定例

炭酸化率の直線部分の傾きを直線回帰によって求め、その値から二酸化炭素透過度 ($\text{mol}/\text{m}^2 \cdot 24\text{h}$) を計算する。

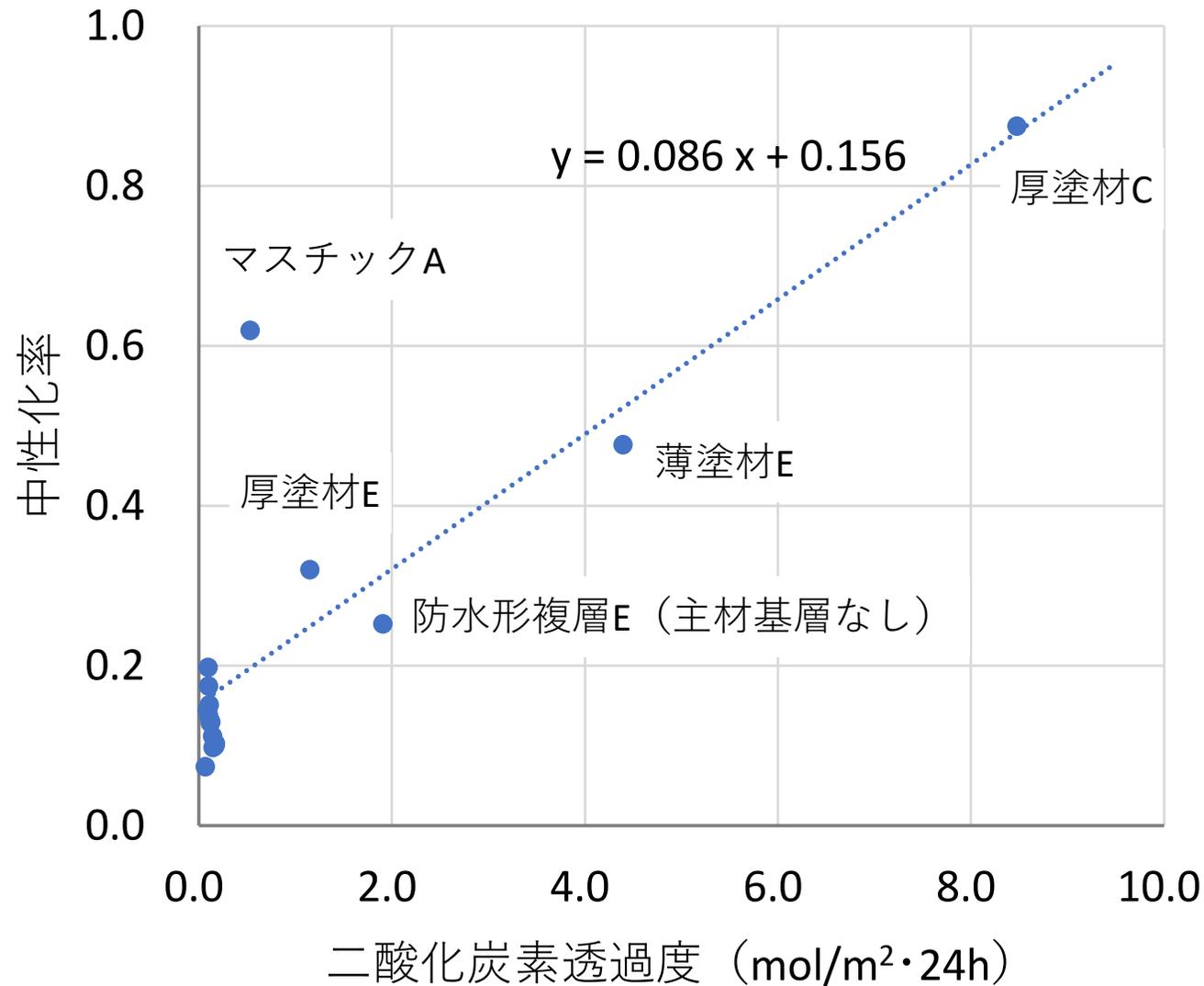
実験結果 各種仕上材の二酸化炭素透過度

各種仕上材の二酸化炭素透過度の計算結果

仕上材種類・仕様	二酸化炭素透過度 (mol/(m ² ・24h))
①薄塗材E	3.93
②防水形薄塗材E	0.05
③複層塗材E	0.08
④複層E(主材基層省略)	0.09
⑤防水形複層塗材E	0.16
⑥防複E(主材基層省略)	1.88
⑦防複E(基層塗付量1/2)	0.09
⑧防複E(上塗材省略)	0.05
⑨マスチックA	0.50
⑩マスチックAE	0.05
⑪厚塗材E	1.15
⑫GP	0.08
⑬可とう形(塗付量800g/m ²)	0.04
⑭可とう形(塗付量300g/m ²)	0.03
⑮塗膜防水材	0.06
⑯複層塗材CE	0.07
⑰厚塗材C	8.48



実験結果 二酸化炭素透過度と中性化率の関係



二酸化炭素透過度と中性化率の関係

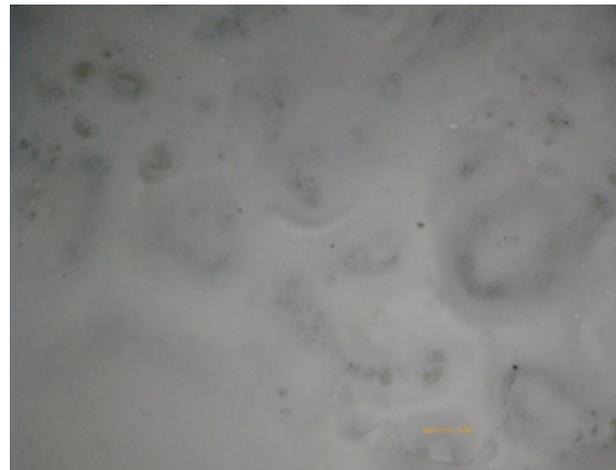
実験結果 _ 促進劣化による変化

促進劣化後の二酸化炭素透過度および光沢度

仕上材種類	測定項目	促進劣化時間(時間)					
		0	300	480	600	1200	2500
薄塗材E	二酸化炭素透過度 (mol/m ² ・24h)	5.43	5.14	—	5.47	5.04	—
複層塗材E		0.088	—	—	0.065	0.090	0.082
GP (つや有り合成樹脂 エマルジョンペイント)		0.094	—	0.050	0.064	0.301	0.049
	60° 光沢度	—	—	54.7	52.9	56.3	18.8



薄塗E・300時間
(割れの発生)



複層E・2500時間
(特に問題無し)



GP・2500時間
(割れ無し・光沢度低下)

検討結果 _ 既往研究を踏まえた評価基準の検討

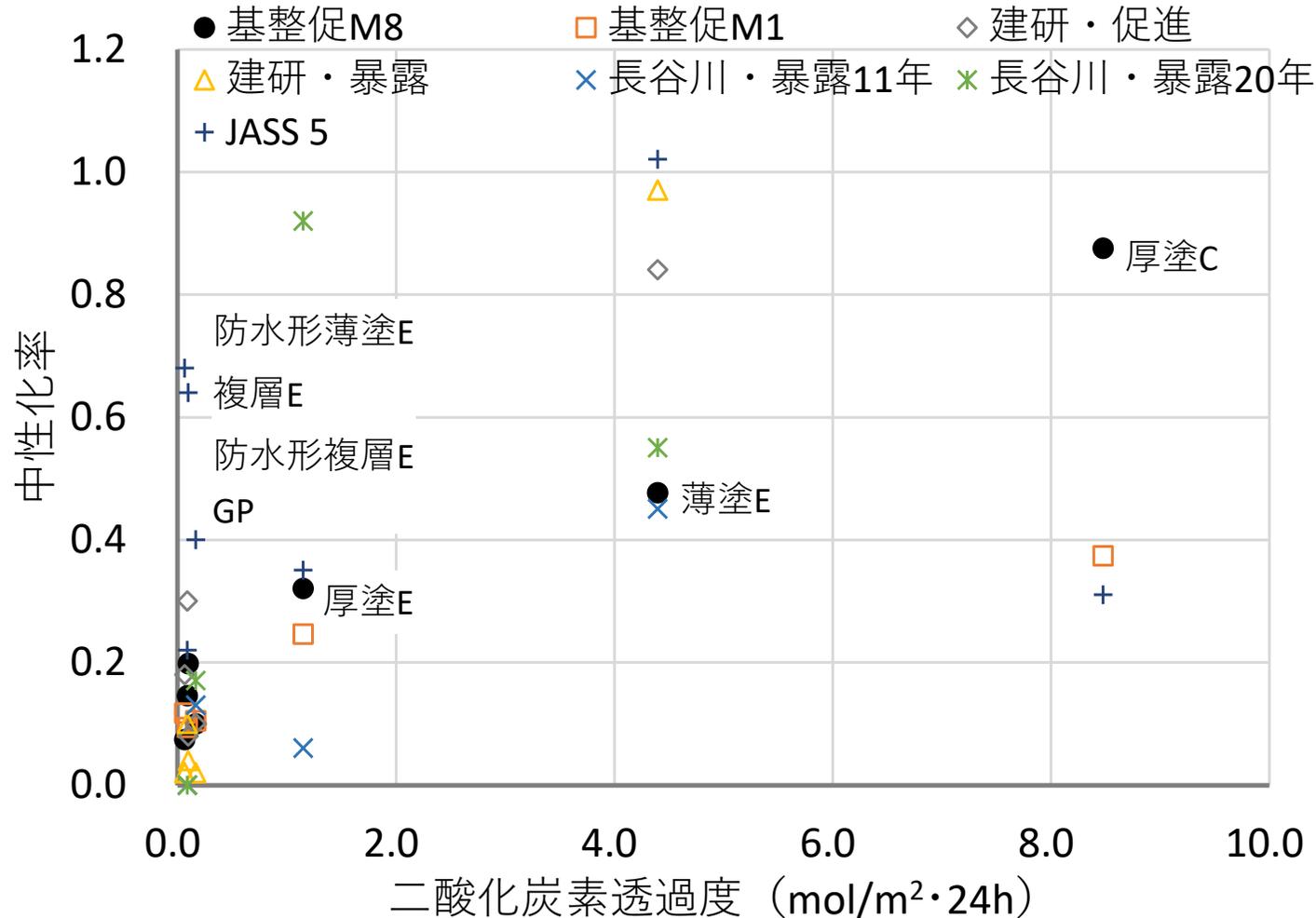
既往の研究による各種仕上げ材の中性化率

既往研究	基整促 M8	基整促 M1* ¹	建研・ 促進* ²	建研・ 暴露* ²	長谷川・ 暴露11年* ³	長谷川・ 暴露20年* ⁴	JASS 5* ⁵
区分・評価期間等	促進 52週	促進 13週	促進 52週	屋外暴露 10年	屋外暴露 11年	屋外暴露 20年	実態調査 1970～ 2004
薄塗材E	0.48	—	0.84	0.97	0.45	0.55	1.02
防水形薄塗材E	0.07	0.12	0.18	0.02	—	—	0.68
複層塗材E	0.15	0.09	0.30	0.10	0.00	0.00	0.22
防水形複層塗材E	0.10	0.11	0.10	0.02	0.13	0.17	0.40
厚塗材E	0.32	0.25	—	—	0.06	0.92	0.35
GP	0.20	—	0.08	0.04	—	—	0.64
厚塗材C	0.88	0.37	—	—	—	—	0.31

参考文献等

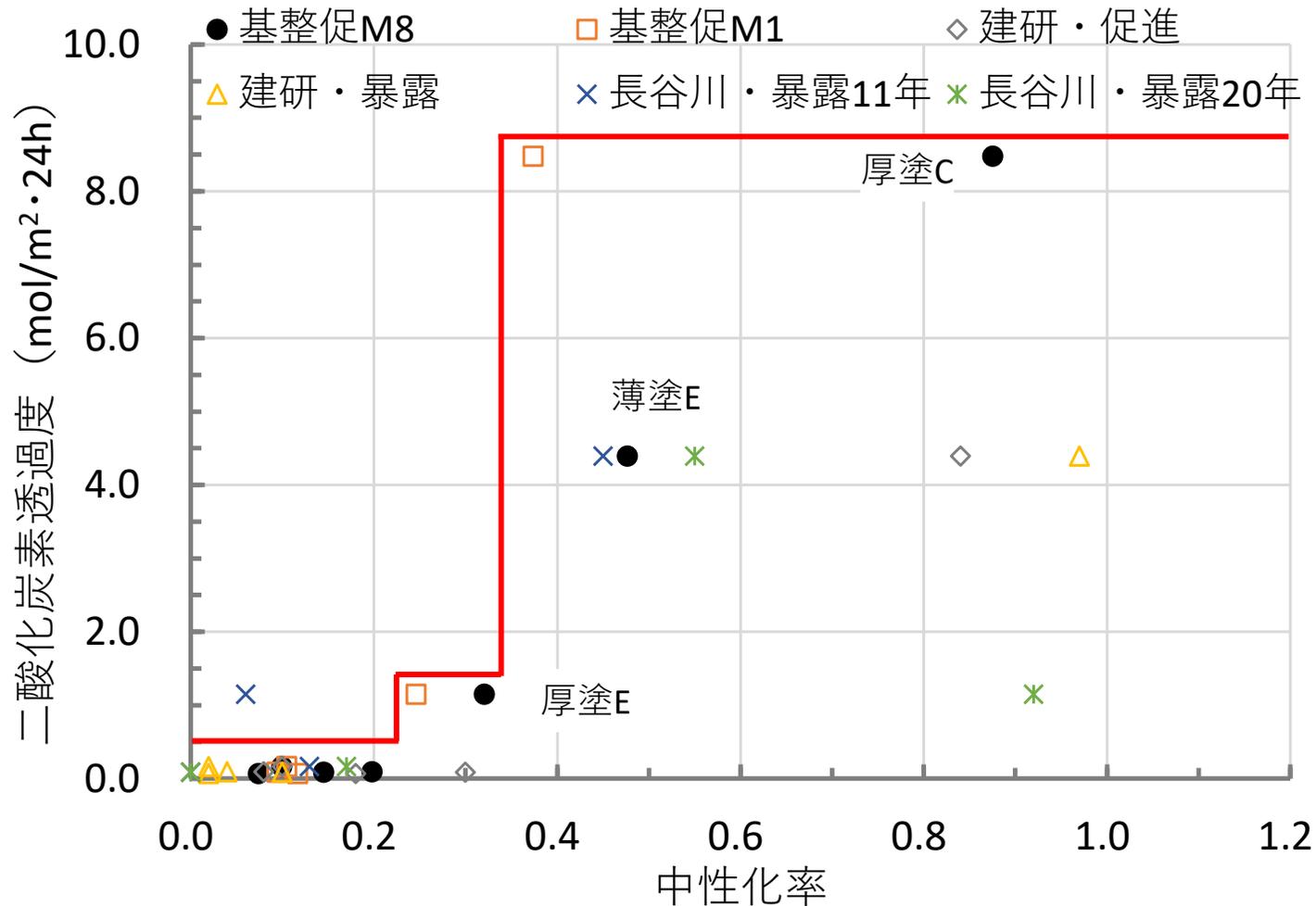
- *1 梶田ほか: 仕上材によるコンクリートの中性化抑制効果に関する基礎的検討(その1～その8), AIJ大会梗概集, 2011,2012
- *2 曾我ほか: 各種仕上材を施したコンクリートの10年間の暴露試験結果, AIJ大会梗概集, 2020
- *3 長谷川ほか: モデル建物の11年屋外暴露試験結果に基づく表面仕上材の鉄筋腐食抑制効果に関する研究, AIJ構造系論文集, No.560, 2002
- *4 長谷川ほか: モデル建物の20年屋外暴露試験に基づく仕上材の劣化状況・中性化および鉄筋腐食抑制効果, AIJ構造系論文集, No.733, 2017
- *5 日本建築学会: 建築工事標準仕様書 鉄筋コンクリート工事 JASS 5, 2018(長瀬ほか: 躯体コンクリートの中性化抑制に寄与する各種仕上げ材の評価 その1～その13, AIJ梗概集, 2007,2008が引用されている)

検討結果 _ 既往研究を踏まえた評価基準の検討



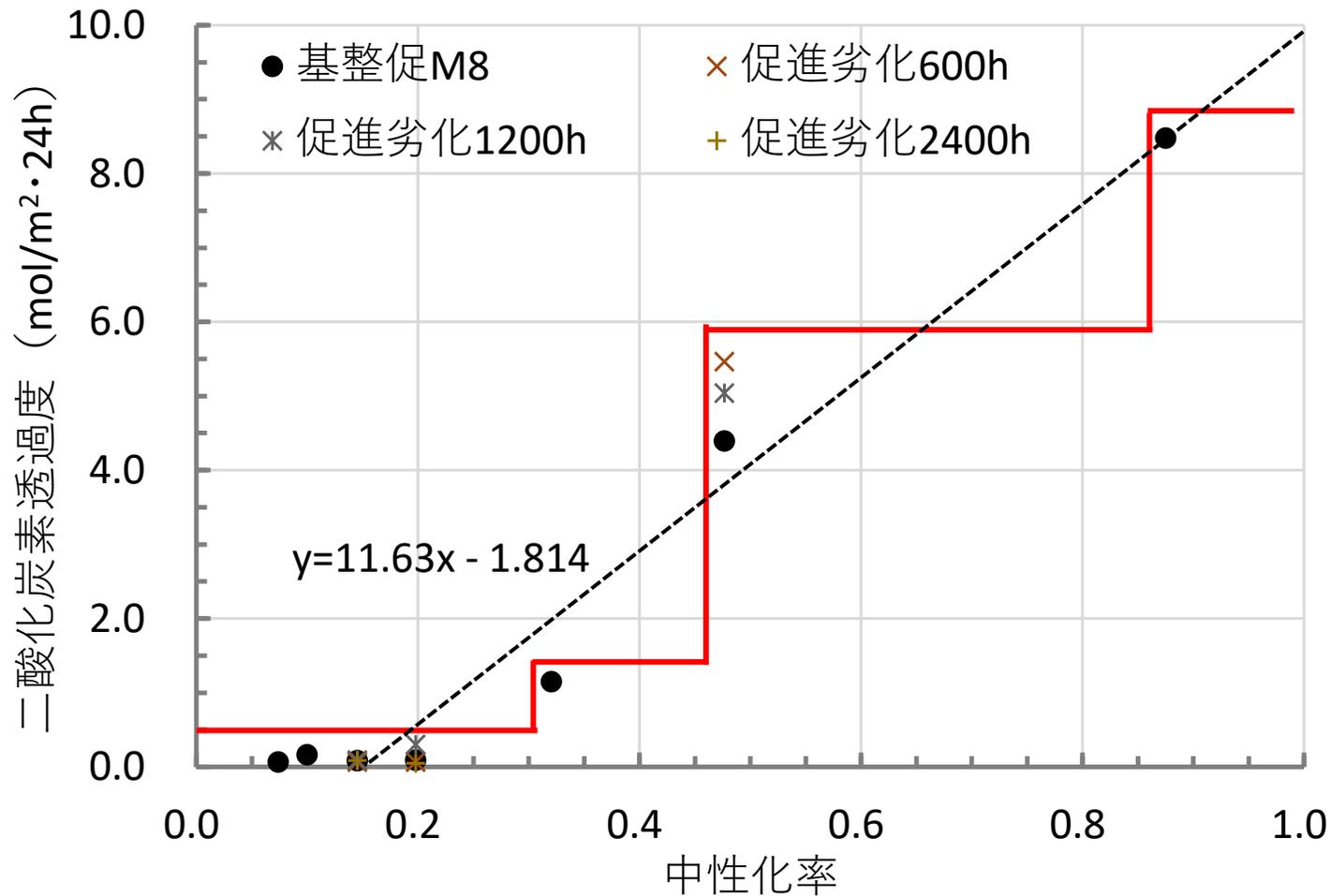
既往研究を含めた二酸化炭素透過度と中性化率の関係

検討結果 _劣化を考慮した評価基準の検討



中性化率と二酸化炭素透過度の関係
(促進試験および暴露試験による値)

検討結果 _劣化を考慮した評価基準の検討



中性化率と二酸化炭素透過度の関係
(基整促M8、促進劣化後の試験結果含む)

検討成果 _評価方法の提案

本事業で検討した外装仕上材の二酸化炭素透過度の試験方法については、

JIS A 6909 (建築用仕上塗材) 附属書A (規定)
建築用仕上塗材の二酸化炭素透過度試験方法

として提案し、現在JIS改正原案として審議が行われている。

JIS A 6909 附属書A(規定) 建築用仕上塗材の二酸化炭素透過度試験方法(構成)

- 1 一般
- 2 概要
- 3 試験室及び養生室の状態
- 4 試料の調整及び試験片
- 5 試験用容器
- 6 二酸化炭素透過度試験のための試験用装置及び二酸化炭素
- 7 水酸化カルシウムの含量測定方法
- 8 試験体
- 9 操作
- 10 試験結果の記録

検討成果 _評価基準の提案

本事業の検討結果を踏まえ、長期優良住宅認定基準等(劣化対策)においてかぶり厚さをの緩和することのできる外装仕上材として、下記を提案した。

対象となる外装仕上材:

- JIS A 6909に規定される建築用仕上塗材の中の外装薄塗材、外装厚塗材、および複層塗材、JIS A 6021に規定される外壁用塗膜防水材料、並びに公共住宅事業者等連絡協議会の編集した「公共住宅建設工事 機材の品質・性能基準」に規定されるマスチック塗材。
- 上記の対象となる外装仕上材のうち、次の2点をいずれも満足するものとする。
 - ・ JIS A 6909の改正案に新たに提案されている附属書A(規定)建築用仕上塗材の二酸化炭素透過度試験方法により求めた二酸化炭素透過度が一定の値(概ね 0.5 ± 0.1 [mol/m²・24h]程度を想定)以下であること。
 - ・ 日本建築学会「建築工事標準仕様書 JASS 23 吹付け工事」、「建築工事標準仕様書 JASS 8 防水工事」、「建築工事標準仕様書 JASS 15 左官工事」、国土交通省大臣官房官庁営繕部監修「公共建築工事標準仕様書」、または公共住宅事業者等連絡協議会編集「公共住宅建設工事共通仕様書」に規定されるマスチック塗材における仕様に適合すること。

成果の公表

本事業の検討内容は、2021年度日本建築学会大会（東海）に論文投稿をおこなった。

建築用外装仕上材の中性化抑制効果の評価方法および評価基準に関する研究

- その1 建築用仕上塗材の二酸化炭素透過度試験
- その2 促進耐候性試験後の建築用仕上塗材の二酸化炭素透過度
- その3 促進中性化試験結果および二酸化炭素透過度との関係
- その4 中性化抑制効果に関する評価基準の検討

まとめ

本事業においては、長期優良住宅の認定基準等における、劣化対策を合理化するための方策として、外装仕上材の中性化抑制効果の評価方法および評価基準を検討し、以下のような成果を得た。

- 外装仕上材の二酸化炭素透過度の試験方法を提案した。この試験方法は、改正JIS A 6909として反映される見込みである。
- かぶり厚さを1cm低減するための外装仕上材の評価基準として、二酸化炭素透過度が 0.5 ± 0.1 [mol/m²·24h]程度以下であること等を提案した。
- 上記の内容を、品確法、長期優良住宅促進法の告示の技術解説等として示すことによつて、劣化対策に関する認定基準等の合理化が図られるものと考ええる。

ご静聴有り難うございました