

斜壁を有する建物外壁仕上げの都市部施工量実態調査と 下地含水条件を変えた透明樹脂保護試験体の環境要因による劣化影響の検討

DB20232 富田 滯

1. はじめに

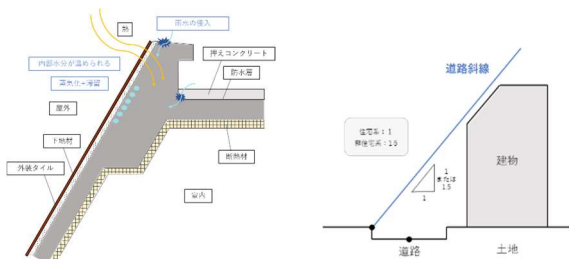
日本では、数多くの建物の外壁にタイルやモルタル仕上げが使用されてきた。しかし、当該仕上げ材は環境変化に伴い、本体及び下地の劣化に伴う両者の接着強度が低下することで、剥離・剥落を生じることがある。一方国内では、道路や隣地の日当たりを守るための日影規制により建物上部を斜壁とし、建築基準法上の規則を満たす方法がよく採用されており、斜壁部における外壁仕上げ材の劣化・剥離が問題となる建物は数多く存在するといえる。一般に、斜壁は雨水の滞留時間が長さや、日照によるムーブメントの違いから垂直壁に比べて劣化しやすいとされ、施工建物で竣工後 10 年未満に不具合を生じるケースも存在している。本研究では、都市部における実建物での斜壁割合とその材料特性を実態調査し現存する斜壁が抱えるリスクを検討するとともに、下地含水条件を変えることで、環境要因による透明塗膜への劣化影響を検討する。

2. 川崎市における斜壁を有する建物の都市部施工量実態調査 2.1 調査目的と調査方法

垂直壁と比べ劣化しやすいとされる斜壁について実態調査することで斜壁の仕上げ及び施工の重要性を示すことを目的とする。本調査は、川崎市幸区の約 34.5ha を対象に現地及び航空写真により一軒ずつ判定を行った。対象エリアは図 2 の通りで、A、B の 2 エリアに区分けした。土地の選定理由は、人口密度の高い都市で築年数の経った建物が密集しており、構造種別の多様度が生じている可能性があると思定したためである。調査方法は、対象エリアにおける住宅・非住宅の件数を調査した上で、それぞれの斜壁件数の割合を算出



a) 仕上げ材にタイルを用いた斜壁の劣化事例



b) 斜壁の劣化のメカニズム c) 道路斜線規制のかかり方

図 1 斜壁概要図

表 1 施工量実態調査の調査要因と水準

要因	水準
年月	2023 年 5 月～2023 年 6 月
人口・建物数	神奈川県川崎市幸区南幸町
法規制の種類	全 13 種の用途地域
住宅・非住宅の分類	住宅（一戸建・長屋建・共用住宅）または 非住宅（事務所・店舗・工場及び作業所・倉庫・学校の校舎・病院・診療所・その他）
斜壁件数	北側斜線制限、道路斜線制限、隣地斜線制限
仕上げ材の種類	タイル、モルタル・コンクリート、 セメント系パネル、屋根材と同素材、その他、計 5 種

表 2 下地含水条件を変えた屋外暴露試験の実験要因と水準

要因	水準
暴露環境	屋外 45° 壁（埼玉県東松山市）
暴露年数	（2022 年夏より開始）
タイル種類	黒・白の 2 色
下地版種類	コンクリート (C0)、サンドモルタル 10 mm、30 mm (TS10) (TS30)
裏面防水層による種別	Lv1、Lv2、Lv3

表 3 施工量実態調査の調査項目

項目	目的	方法
用途地域	用途地域による斜壁件数の違いを調べるため	自治体の公開する都市計画図より判定
人口・建物数	街の特徴を把握するため	自治体の公開するオープンデータより
法規制の種類	どのような理由で斜壁となったかを把握するため	法令集及び参考文献をもとに調べる
住宅・非住宅の分類	住宅・非住宅における斜壁の割合を比較するため	現地及び衛星写真による目視での判断
斜壁件数	斜壁件数の実態を調査するため	現地及び衛星写真による目視での判断
仕上げ材の種類	使用されている仕上げ材の実態を調査するため	現地及び衛星写真による目視での判断

表 4 使用コンクリート及び骨材の種類

コンクリートの種類	記号	粗骨材	細骨材
普通コンクリート	普通	砕石、各種スラグ粗骨材、再生粗骨材 H、砂利	砕砂、各種スラグ細骨材、再生細骨材 H、砂
軽量コンクリート	軽量 1 種	人口軽量骨材	砕砂、各種スラグ細骨材、砂
	軽量 2 種		人工軽量細骨材、人口軽量細骨材に一部砕砂・高炉スラグ細骨材・砂を混入したもの

表 5 タイル表面に塗布の塗材の種類

塗り仕様	下塗り材	回数	中塗り材	回数	上塗り材	回数
水系アクリル仕様 (艶有) AW	水性 JK シーラー	1 回	JK セライダー	2 回	水性 JK トップ (艶有)	2 回
溶剤系ウレタン仕様 (艶有) US	JK シーラー	1 回	JK セライダー-U	3 回	JK トップ (艶有)	2 回
水系ウレタン仕様 (艶有) UW	JK クリアプライマー-W	1 回	JK クリアファイバー-W	3 回	JK クリアトップ W (艶有)	2 回
溶剤系アクリル仕様 (半艶) AS	JK シーラー	1 回	JK セライダー	2 回	JK トップ (半艶)	2 回

表 6 測定項目

項目	目的	方法
表面温度	タイルの色による熱の影響	塗り仕様 AW の 9 種類の試験体について、一つの版につき 4 か所（黒白/上下）30 分おきに表面温度を測定する
版内温度	サンドモルタルによる熱の影響	30 分おきにロガーで版内温度を測定する
外気温度・湿度・紫外線量	紫外線による影響	30 分おきに温度、湿度、紫外線量それぞれ測定する
版内水分量	水による影響	一つの試験体につき 4 か所、すべての版で測定する
天端水分量	水による影響	すべての版で天端の水分量を測定する
版の重さ	水による影響	版の重さをつづつ測定する

する。さらに、斜壁の仕上げ材や対象エリアの用途地域の把握、この地区における人口についても調査を行うものとする。調査要因とその水準については表 1 に示す。また、本調査は表 2 で示した 6 項目について調査し、評価を行うものとする。

2.2 用途地域・人口

図 3a) は、1955 年～2020 年における川崎市の人口推移である。2020 年現在の人口は全国 6 位の 153.8 万人である。市の平均人口 14 万人と比較しても人口の多さがわかる。人口密度が全国 13 位の都市であることから建物密集しており斜線制限のかかりやすく斜壁の多い地域であると想定した。図 3b) に用途地域を示す。A エリアは商業地域、B エリアは第二種準住居地域である。また、新築住宅着工統計及び建築着工統計を累積したデータに、人口数の割合を割り当てることで現在の川崎市の建物総数に関する想定を行った。(図 3c))

2.3 住宅・非住宅分類及び斜壁軒数

34.5ha に対する斜壁の実態調査では、斜壁件数のほか、住宅・非住宅ごとの件数調査、仕上げ材による分類を行った。図 4 に調査地域の建物用途ごとに塗分けをした図を示す。図 4a) は、住宅・非住宅の塗分けであり、非住宅建物は広い道路に面した場所に多く、第二種準住居地域では戸建て住宅が密集するため住宅件数が増えることがわかる。図 4b) には、斜壁箇所を示す。斜壁は建物の規模にかかわらず存在し、道路斜線制限の影響から道路に面した場所に存在しやすいことがわかる。写真 1 には実際に発見した斜壁を示す。図 5 に実態調査の結果を示す。図 5a) は、用途地域別に住宅・非住宅の件数をグラフ化したもので商業地域の B エリアと比べ、第二種住居地域である A エリアでは非常に住宅数が多いことがわかる。図 5b) から用途地域による違いが見られる。特に住宅数の多い A エリアは、全体の約 90% が住宅用途である。また、1ha あたりの斜壁件数は、対象地域全体において住宅はおよそ 31.39 棟、非住宅では、5.54 棟と算出された。図 5c) は、斜壁をもつ建物件数をグラフ化したもので、計 82 の斜壁を有する建築物を確認した。商業地域である B エリアは、非住宅の斜壁件数が多く、建物の総数の多い A エリアよりも多くの斜壁が確認された。そのため、建物の総数に対する斜壁建物の割合を示した図 5d) からは用途地域による結果の違いが表れた。戸建て住宅等により建物の総数の多い A エリアの斜壁割合は 3% と低く、商業地域である B エリアでは住宅・非住宅ともに高い割合であった。また、全体で見ると今回調査した 1274 棟のうちの 82 棟、つまり 6.4% が斜壁であるという結果を得た。この結果と着工統計の累積を用い、現在の日本全体での建築面積から、斜壁建物の建築面積を想定したものが図 5e) である。ある特定の用途地域ではあったものの実態調査結果の割合を踏まえ、全体の 6.4% の建物が斜壁をもつという想定の中では、全国で約 10000 万㎡の延床建築の建物が、剥離・剥落対策への留意が必要になるといえる。

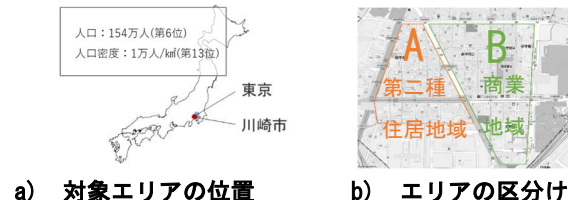


図 2 斜壁軒数の実態調査の対象エリア

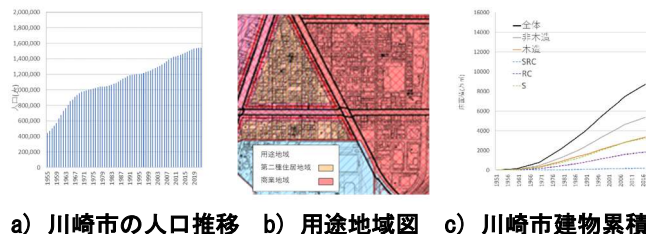


図 3 用途地域図と人口・建物総数

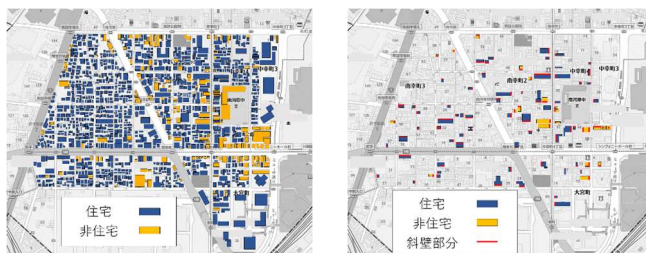


図 4 地図上の住宅・非住宅分類及び斜壁建物箇所の分布

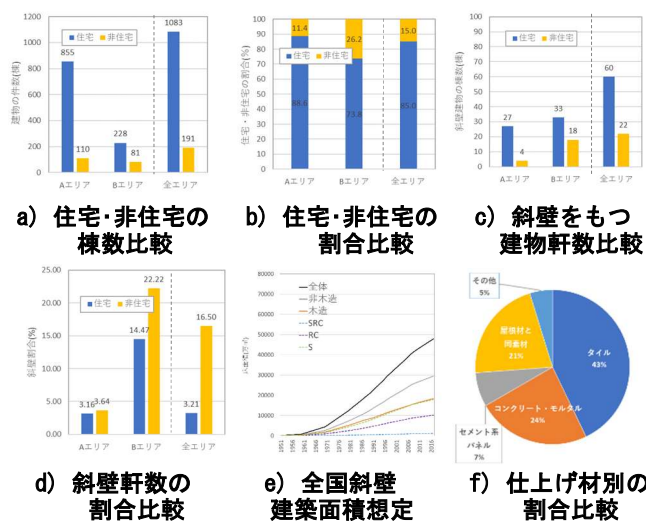


図 5 対象地域の実建築物における斜壁実態の比較

2.4 仕上げ材による分類

仕上げ材を、タイル、コンクリート・モルタル、セメント系パネル、屋根材と同素材、その他の 5 種類に分類した。タイルは、下地版が斜壁であることにより剥離剥落を生じやすい可能性があり、コンクリート・モルタルも同様に含水状態や紫外線量の違いから斜壁であることによる影響が大きいと想定した。図 5f) より、斜壁であることで劣化に影響が大きいと想定していたタイルが最も軒数が多く、次いでモルタル・コンクリートの軒数が高くなっている。この結果から、現存する斜壁におけるタイルの割合は大きいことがいえる。

3. 透明樹脂保護試験体の環境要因による劣化影響の検討

3.1 屋外暴露試験の使用材料及び実験概要

使用コンクリートについて表 3 に示す。下地には、普通ポルトランドセメントを用いた。下地の形状は、暴露時に試験体に最大量の雨水を染み込ませるため 45 度の角度とし(図 6a)b)、環境に対する影響を想定して下地及び仕上げの条件を変えた複数の試験体を作成した。熱の影響を検討するため、タイルの色は、熱影響の少ない白、熱影響の大きい黒の 2 種類とした(図 6c))。下地版は、熱、水の影響を検討するため、標準仕様のコンクリート下地、蓄熱・含水影響が大きいとされるサンドモルタル下地(10mm と 30mm)の計 3 種とした(図 6d))。さらに、水による影響を検討するため、下地版の天端・底面に防水層を設け水による影響を 3 レベルで想定した(図 6e))。天端を保護したレベル 1 は、雨水の侵入が少なく、通気もしやすいと想定した。両方に防水層のないレベル 2 は、雨水の侵入はあるが下方向に抜けやすいと想定した。底面を保護したレベル 3 は、雨水が侵入しやすく、抜けにくいと想定した。さらに、塗膜の種類を計 4 種(表 4)とし、塗材による影響も調査対象として計 42 種類の試験体(表 7)を作成した。写真 3 に実際の暴露位置を示す。これらを暴露し、表 6 に示す 6 項目について、季節ごとにデータを取り同日の試験体ごとの変化、同試験体での時系列による変化を比較していくことで劣化の要因を評価する。写真 2 には測定方法を示す。

3.2 外気温度・湿度・紫外線量の測定結果

図 7 に外気温度と湿度、図 8 に紫外線量のグラフを示す。暴露環境である埼玉県東松山市は、夏日の最高温度が 35 度を超える一方で真冬日には、最低温度が 5 度を下回り、1 年を通して寒暖差の大きい環境で、測定日の天候によって左右されるが、冬季は積雪がなく乾燥しやすい地域である。90 度(垂直壁)の紫外線量は、冬季には一定の紫外線を受けるが、南中高度が高く真上方向から紫外線を受ける夏季には、ほとんど影響を受けていない。しかし、45 度(斜壁)では、1 年を通し紫外線量は高く、冬季にのみ紫外線量が高くなる垂直壁と比較すると、たしかに紫外線が大きいといえる。また、45 度における紫外線量の最大値は、季節により変わることはなく天候に依存しており、晴天時には 4000~5000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ に達する。

3.3 表面温度と版内温度からわかる試験体への影響

図 9 に表面温度の比較を示す。両日とも温度が高い順に、TS⑩黒>コンクリート黒>TS⑩白>コンクリート白となっている。このことから、試験体の表面温度は熱吸収率の高いタイルの色、サンドモルタルの保温性に影響されていることがいえる。図 10 に版内温度の比較を示す。版内温度の高さは、表面温度とは逆転しており、サンドモルタルを含む試験体の方が温度が低く、サンドモルタルが試験体表面から受ける熱を断熱する効果により下地内部の温度が保温されていることがわかる。このことから、サンドモルタルの効果により、下

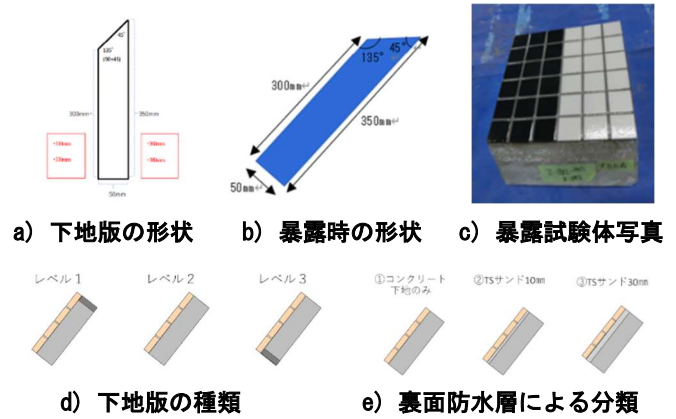


図 6 暴露試験体の形状と種別



写真 2 熱量・水分量の測定方法

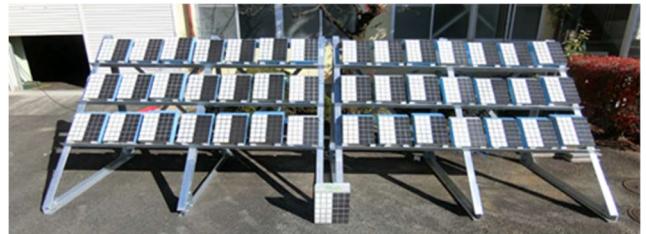
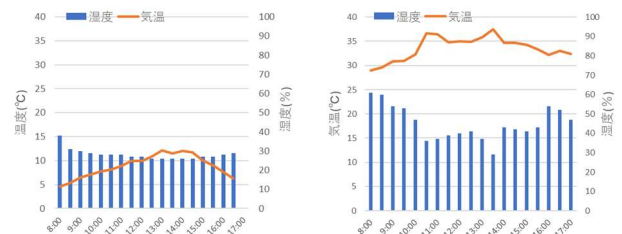
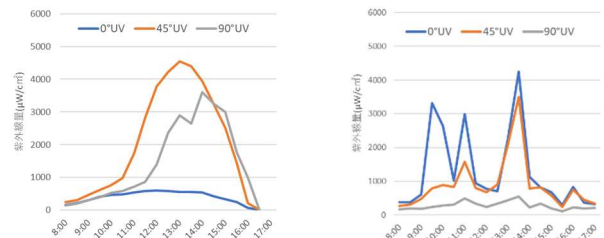


写真 3 暴露試験体一覧



a) 2022 年 12 月 23 日 (冬) b) 2023 年 7 月 20 日 (夏)

図 7 外気温度・湿度の観測記録



a) 2022 年 12 月 23 日 (冬) b) 2023 年 7 月 20 日 (夏)

図 8 紫外線量の観測記録

地内部には保温効果が発揮されるものの、タイル表面つまり塗膜付近には熱だまりを発生させているといえる。

3.4 内部水分量と版の重さからわかる試験体への影響

図 11 に試験体の重量の初期からの増減を示す。レベル 2、レベル 3、レベル 1 の順に水分量が重くなっている。このこ

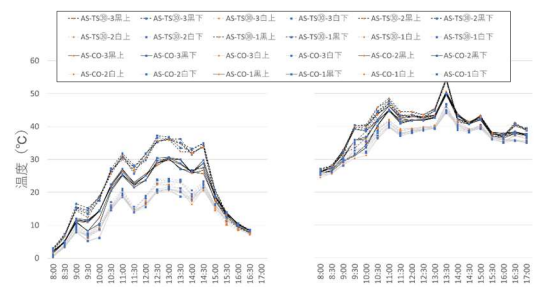
とから、通気のための孔は必要であるものの、レベル2で下部からも水が浸入するように一度下地内部へ入った水は抜けにくくなることもあるため、塗膜劣化やひび割れ、施工不良により劣化の促進の要因となる可能性がある。図12に試験体の重量の初期からの増減を下地版の種類ごとに示す。TS⑩、TS⑩、コンクリート下地の順に水分量が重くなっている。このことから、サンドモルタルにはたしかに保水性があり、サンドモルタル層が深くなるにつれその保水性能は大きくなることはいえる。暴露1年時点では、どの仕様の試験体でも初期よりも水分量は減っているが、試験体の割れ及び塗膜の白化を確認している青森試験体では重量がかなり増えていることから、今後何らかの影響により内部の水分量が増える可能性があり、塗膜の劣化とともに観察していく必要がある。図13に、水系アクリル仕様における内部水分量の変化を示す。版の重量と同様に、コンクリートのみの下地材よりもサンドモルタルを有した試験体の方が高くなった。現時点ではレベルごとの大きな違いは表れていないが、どの試験体においても冬季に内部水分量が少なくなり、春季から夏季にかけて増加、秋季より再び減少していく傾向がみられる。

4. 結論

- 1) 斜壁件数、割合は、用途地域の特性が見られ、対象地区の全建物調査における斜壁割合は6.4%であり、調査対象の商業地域では全体の22%の建築物が斜壁を有する。
- 2) 斜壁における仕上げ材の種類は、タイルの割合が高く全体の43%を占める。
- 3) 斜壁に付着するタイル等の仕上材への各種剥離・剥落保護対策は経過観察状態にあり、保護対策で安全性を高めた場合、故障率を評価できる可能性がある。
- 4) 斜壁内部への含水影響により仕上材の剥離・剥落が生じる仕組みの解明は、構工法的な長期的安全対策に繋がる可能性がある。
- 5) 斜壁は1年を通し垂直壁よりも紫外線の影響を受ける。
- 6) サンドモルタルの影響により、下地内部には保温効果が発揮されるものの、タイル表面つまり塗膜付近には熱だまりを発生させているといえる。
- 7) サンドモルタルを用いた試験体では、版の重量、内部水分量ともに水分量が高くなる。

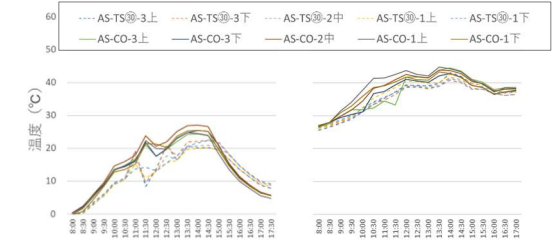
参考文献

1) 田村雅紀、繊維入り透明保護塗膜の経年劣化メカニズムの解析、活路開拓調査事業資料、2023.3
2) 佐藤、田村ら、過去・現在・将来の建設ストックによるカルシウムカーボネートコンクリート(CCC)原料の発生量推計、日本建築学会関東支部報告集、2023.3
3) Tomita M, Tamura M, Research on the Actual Condition of Buildings with Diagonal Walls due to Diagonal Regulations, Korea & Japan BMC Symposium, 2023.08
4) 富田澤、田村雅紀、斜線制限により斜壁を有する建築物の外壁仕上げ劣化想定を踏まえた都市部施工量実態調査建築学会関東支部、2024.3



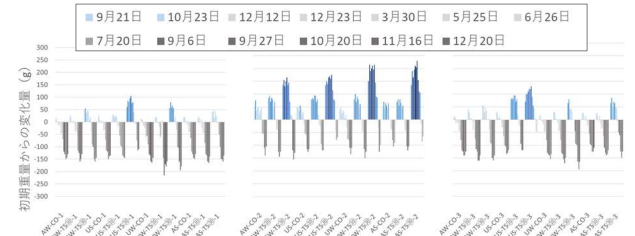
a) 2022年12月23日 b) 2023年7月20日

図9 タイル色、下地版による表面温度比較



a) 2022年12月23日 b) 2023年7月20日

図10 タイル色、下地版による版内温度比較



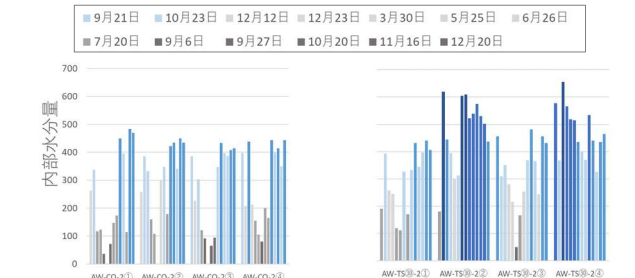
a) レベル1 b) レベル2 c) レベル3

図11 レベル別の版の重量（初期からの増減）



a) コンクリートのみ b) TS⑩ c) TS⑩

図12 下地版別の版の重量（初期からの増減）



a) コンクリート b) TS⑩

図13 下地版別の版の重量（初期からの増減）

謝辞

本研究は、日本樹脂施工協同組合活路開拓調査における共同研究の一部であり、末綱龍太氏、片山方人氏、山本仁氏をはじめとする関係各位より多大な助力を賜り感謝致します。