

外装陶磁器質タイル張りの故障分析

熊谷敏男
(技術研究所)

§ 1. はじめに

建物の外装仕上材の地震時の剥落事故が社会的問題として注目され始めたのは、宮城県沖地震(昭和53年6月)以降からである。地震時の外装仕上材の被害については、宮城県沖地震および日本海中部地震(昭和58年5月)の際の調査により実態把握がなされてきている^{1)~3)}。また、実大規模の実験的検討も幾つかなされてきている^{4)~7)}。これらの知見等により、非構造部材の耐震設計指針⁸⁾や外壁タイル張りの耐震診断と安全対策指針⁹⁾等が取りまとめられ、活用されてきている。

一方、地震時以外に起こる剥離(浮上がり)故障や剥落事故も、同様に問題視されてきている¹⁰⁾。市街地の商業ビルの外装仕上材として多く用いられている物の一つに、陶磁器質タイル張りがある。陶磁器質タイル張り仕上げは、地震などの外力がなくても経年により、剥離故障や剥落事故が生じ易いといわれている外装仕上材の一つである。陶磁器質タイルもしくはタイル張り層が剥落すると、建物外壁近傍の歩道を通行する不特定の歩行者に危害を及ぼす危険が極めて大きく、人的災害防止上重要な問題となっている。

地震時以外に生じる剥離故障や剥落事故は、昭和40年代前半のそれ¹¹⁾に比べれば、その後の構・工法の改善により減少傾向にあるが、まだ未解決の問題も残されている。

建物の壁体等に張付けられたタイルに剥離が生じる原因としては、一次劣化要因(施工時のタイルの接着性を悪くする因子)、二次劣化要因(経年によりタイルの接着を劣化させる因子)とが考えられる。これらの因子を特性要因図にまとめて示すと、図-1および図-2のとおりである。

一次劣化要因の因子として実験や研究に取上げられている主な因子としては、タイルの裏足形状、張付モルタルのオープンタイムおよび混和剤の種類、張付工法の種類等である^{12)~16)}。二次劣化要因に関する検討としては、

タイル張り壁を屋外に暴露して経年によるタイルの剥離や接着強度の変化を追跡しているもの^{17)~20)}、または実在建物のタイル張り外壁の故障調査により実態把握を行っているもの²¹⁾²²⁾等がある。しかし、後者についてはデータの数が少なく、かつ原因の推定が定性的な把握にとどまっているものが多い。

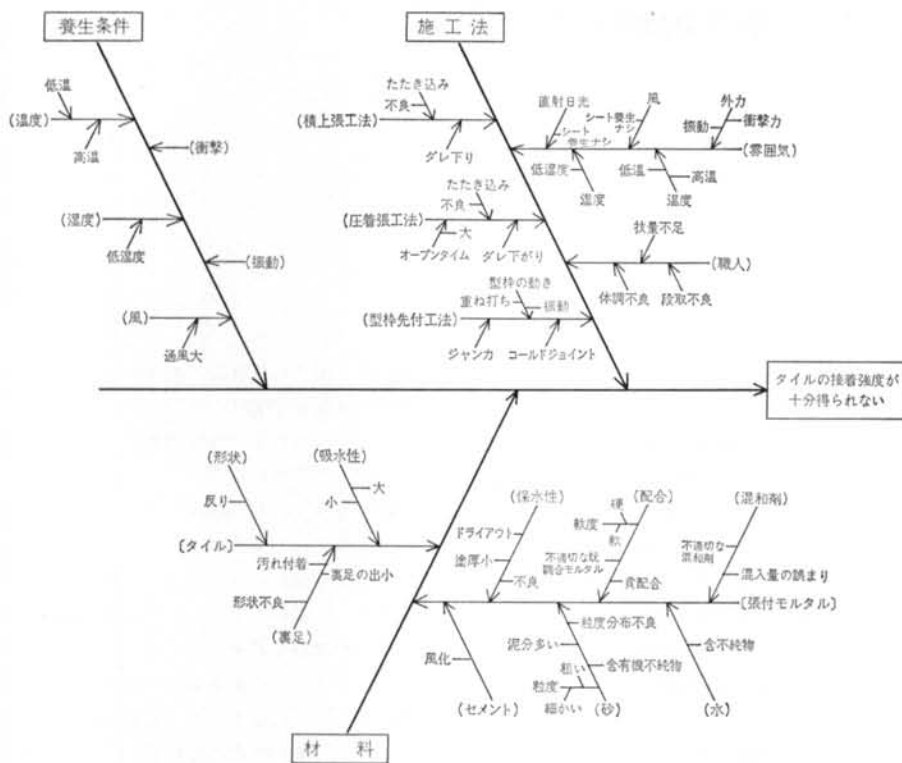
劣化促進力の主なものとしては、日射による温度変化によってタイルと張付モルタルとの接着界面に応力が生じ、接着劣化が進むと考えられている²³⁾²⁴⁾。これらの検証実験として、タイルの表面側より熱を照射し温度を上げ、自然冷却もしくは散水による急速冷却等の温度履歴を与えてタイルの接着性状の変化をとらえている^{25)~27)}。

本報告は、市街地の建物の外装仕上材の中でその使用頻度が高く、かつ剥落による人的災害危険度の大きい陶磁器質タイル張りの手張工法と型枠先付工法に関して、実際の建物の外壁に張付けられたタイル張り仕上げの剥落事故および剥離故障事例の分析を行ない、劣化要因の影響度等を検討したものである。

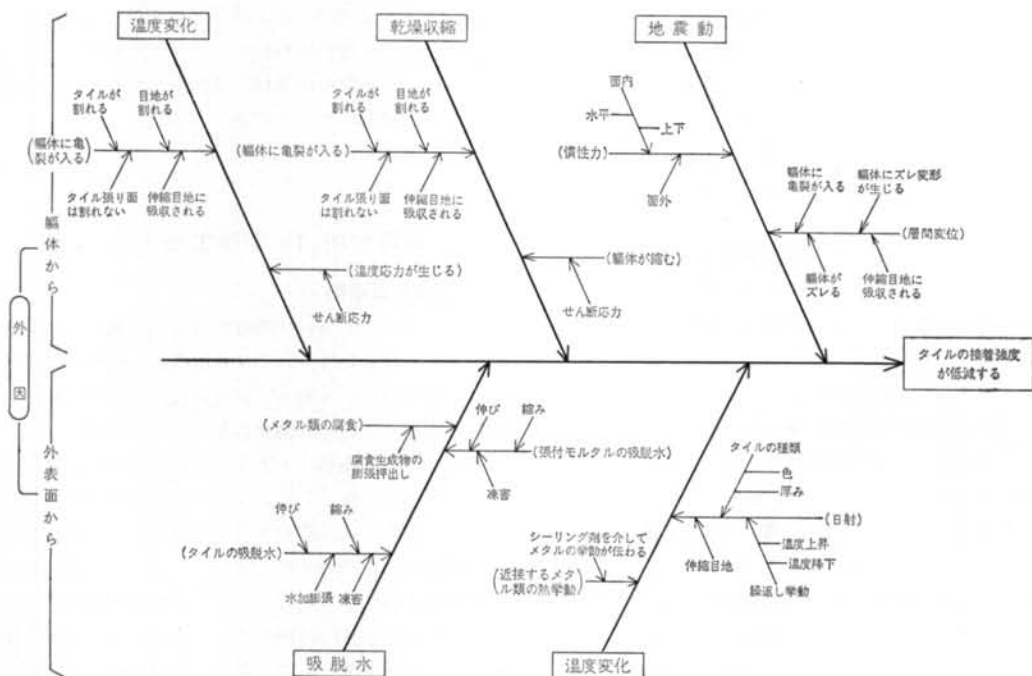
§ 2. 故障分析-1: 手張工法

2.1 調査対象建物

手張工法による外壁の陶磁器質タイル張りの故障分析の対象とした建物は、以下に示す条件を満足する81件である。故障分析の対象とした建物は、原則として故障調査報告書ならびに建物図面が整っている鉄筋コンクリート造および鉄骨鉄筋コンクリート造の建物で、地域的には日本全国を対象としている。また、建物の建設(竣工)が第2次世界大戦(昭和20年)以降で、かつ故障確認時期が昭和50年以降のものに限定した。さらに、故障調査報告書の具備すべき内容としては、建物所在地、竣工年月、故障調査年月、建物の構造、外壁躯体の形態、使用タイル、張付工法、故障の種類、剥離状況(浮上がり率および剥離箇所)が明確になっており、参考として接着



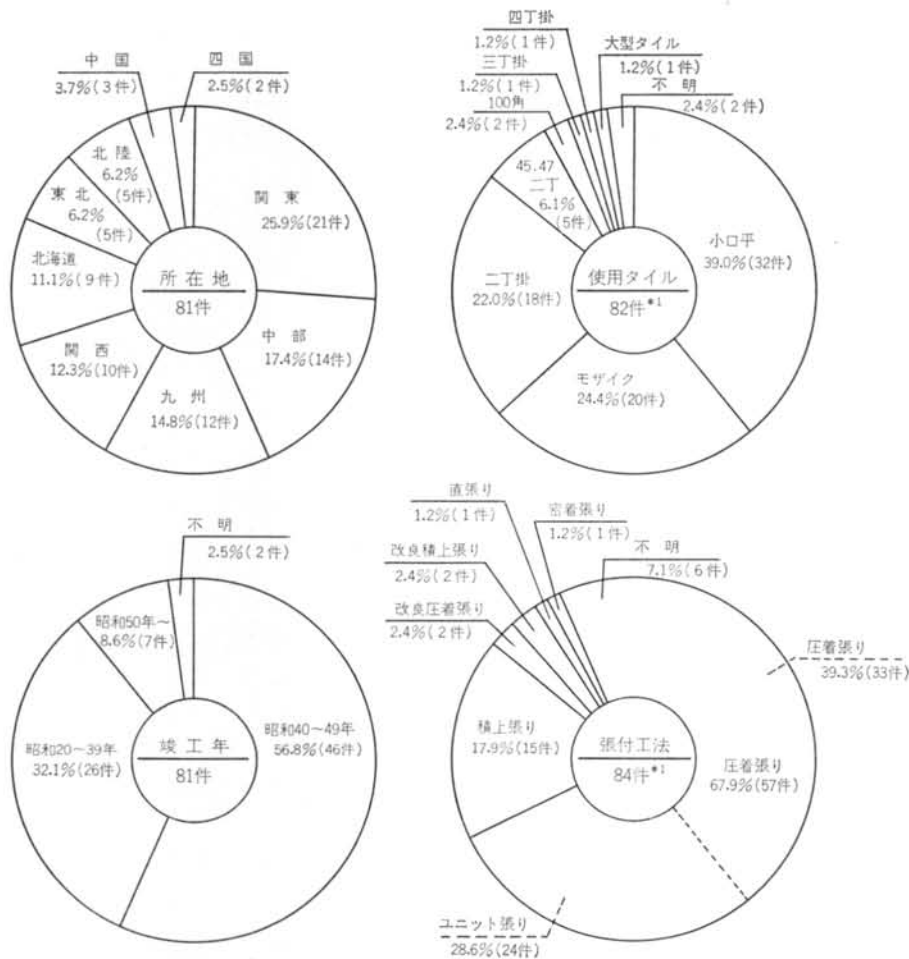
図一 1 一次劣化要因（施工時のタイルの接着を劣化させる因子）



図一 2 二次劣化要因（経年によりタイルの接着を劣化させる因子）

| 建 物 名 | | HD | AR | KH | HF | DH | HM | T J |
|----------------------------------|----------------------------|---|---|---|---|--|-----------------------------------|---|
| 所 在 地 | | 東京 | 東京 | 東京 | 東京 | 東京 | 東京 | 東京 |
| 竣 工 年 月 | | 昭和46年 | 昭和51年11月 | 昭和46年2月 | 昭和36年 | 昭和40年 | 昭和53年9月 | 昭和46年12月 |
| 調 査 (故 障) 年 月 | | 昭和56年12月 | 昭和56年12月 | 昭和56年10月 | 昭和56年10月 | 昭和56年8月 | 昭和56年9月 | 昭和56年6月 |
| 経 過 年 月 | | 10年 | 5年 | 11年 | 20年 | 16年 | 3年 | 9.5年 |
| 建 物 の 構 造 | | SRC造, 8階 | SRC造, 7階 | SRC造, 6階 | R C造, 8階 | SRC造, 8階 | R C造, 4階 | SRC造, 14階 |
| 使 用 タ イ ル | | 小口平 (珪質, 筋糸) | 2丁掛 (珪質) | 小口平 | 2丁掛 | 2丁掛 | 2丁掛 (珪質, 筋糸) | モザイク (珪質, 筋糸, 45°) |
| 張 付 工 法 | | 圧着張工法 | 不明 | 圧着張工法 | 圧着張工法 | 圧着張工法 | 圧着張工法 | 直張工法 (MC, SBR混入) |
| 故 障 の 形 態 | 剥 落 | 南面: 水平打 継部 ○ 東南角: 窓枠 下(熱挙動) タイルの剥落 | — | ○ 1~2階ステ ンレス見切の 上 9.5m (熱挙動) | — | — | 南面: 窓まわ り, 平部 ○ (6~7m) | 故障なし |
| | ハラミ | — | — | — | — | ○ | | |
| | 浮上がり | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | |
| | 亀 裂 そ の 他 | ○ | — | — | — | — | | |
| タ イ ル 張 り 面 と 浮 上 が り 率 (%) | 東 | ○ 12.4 + 4.3 = 16.7% | ○ — — | ○ | ○ | ○ 19.7% | ○ 0% | ○ |
| | 南 | ○ 1.8 + 23.4 = 25.2% | — | ○ | ○ | ○ 26.4 | ○ 0 | ○ |
| | 西 | — | ○ 3.9 + 7.8 = 11.7% | ○ | ○ | ○ 19.1 | ○ 6~7m ² 剥離 (一部分のみ) | — |
| | 北 | — | ○ 0.2 + 2.5 = 2.7% | ○ | ○ | ○ 4.2 | ○ 0 | ○ |
| | 平 均 | | | | | 17.4% | | |
| 故 障 箇 所 | 平 部 | ○ 南面 ○ 南面 ○ 南面 | ○ 南面 ○ 南面 | ○ | | ○ | ○ | |
| | 窓まわり | ○ 東面 ○ 東面 | ○ — | | | ○ △ ○ | ○ V ○ | |
| | 笠 木 | — | — | | | — | — | |
| | ボ ー ド ま わ り そ の 他 | ○ 水平打継部 | — | | | | | |
| 軀 体 の 形 態 | (大 壁) | ○ 南面 | — | | — | — | — | ○ |
| | 窓 | ○ 東面 (単窓) | ○ (連窓) | | ○ (単窓) | ○ (単窓) | ○ (単窓) | — |
| | ス ワ ン ド レ ル | — | — | | — | — | — | — |
| | そ の 他 | — | — | | — | — | — | — |
| 剥 離 箇 所 | タ イ ル - モ ル タ ル 間 | ○ 東V南 | ○ | | | ○ | ○ (モルタルが付 着した状態) | |
| | モ ル タ ル - コ ン ク リ ー ト 間 | ○ | △ ○ | | | ○ | — | |
| 接 着 強 度 (kg/cm ²) | 目 地 切 | — | — | $\bar{x}=9.4$ $\hat{\sigma}=1.84$ n=2 | $\bar{x}=2.6$ $\hat{\sigma}=1.29$ n=5 | — | — | $\bar{x}=19.7$ $\hat{\sigma}=3.46$ (毎分1ヶ月) n=5 |
| | 目 地 込 | — | — | $\bar{x}=16.3$ $\hat{\sigma}=1.63$ n=2 | $\bar{x}=10.0$ $\hat{\sigma}=2.47$ n=5 | — | — | |
| 事 故 原 因 | | (タイルの浮き) 平部: 亀裂の挙動, 窓枠の熱挙動 窓まわり: シーリン グの破断, 雨水の 侵入 | 窓まわり: 窓枠の挙 動, シーリング の破断, 雨水の 侵入 平部: 日射の影響 | | | 窓まわり: 窓枠の挙 動, シーリング の破断, 雨水の 侵入 | 横貫配合モルタル (1:10)の使用 | |

表-1 外装タイル張りの故障調査結果



* 1) 同一建物で2種類以上のタイルもしくは張付工法が用いられているため81件より増えている

図-3 故障発生建物の所在地、竣工年、使用タイルおよび張付工法の比率

強度、故障原因等が記されているものとした。なお、この種の故障調査報告書は、一般に調査担当者が異なるため調査結果に差異を生じることがあるが、ヒヤリングによって相互の調整を行なった。

故障調査報告書より各建物ごとに整理した結果の一部を示すと、表-1のとおりである。

故障分析の対象とした故障発生建物の所在地、竣工年、使用タイルおよび張付工法の比率を示すと、図-3のとおりである。

所在地については関東が約25%を占め、中部、九州、関西および北海道が各々10～20%に、また東北、北陸、中国および四国が10%以下になっている。これらの比率は地域による故障率とは直接関係がなく、建物のストック量に関係しているように思われる。

竣工年で見ると、高度経済成長期の昭和40年代のものが約60%、第2次世界大戦後の復興期の昭和20～30年代のものが約30%、低経済成長期の昭和50年代のものが約10%になっている。これから分かるように、低経済成長期のものに比べ、高度経済成長期のものに故障が多いように思われる。

使用タイルについては小口平タイルが約40%、モザイクタイルおよび二丁掛タイルが各々20～25%になっている。これらの比率は所在地と同様にタイルの使用量に関係しており、故障率とはあまり関係ないと考えられる。

張付工法に関しては圧着張工法が約70%と圧倒的に多く、積上張工法が約20%に、その他の工法は数パーセント以下になっている。これらの比率は、タイル張り工法の時代的変遷と関連があるといえる²⁾。積上張工法と圧

着張工法とは、昭和35年頃を境にして後者の工法が前者の工法に取って代わっているが、積上張工法はその後も10年位はある程度使われていたとの結果になっている。

2.2 故障の傾向

(1) タイル張り外壁面に生じる故障の形態

今回の調査対象物件中の故障の形態と、その発生比率は表一2に示すとおりである。

建物の持主や管理者等がタイル張りの故障を認知する顕在現象としては、浮上りが最も多く約95%、次に亀裂が約45%、剝落が約35%となっており、はらみや白華は10%以下になっている。これらは、タイル張り外壁に生じる故障の発生比率をある程度表わしていると考えられる。

首都圏に建つタイル、レンガ、石張り仕上げの建物を目視により調べた結果²⁹⁾によると、調査対象建物の約80%近くの建物に何らかの故障が確認されている。また、東京都の都心部の建物のうち、目視観察で劣化が著しいと認められる62件の外壁がタイルで張られた建物の故障の内訳は、表一3に示すとおりである²⁹⁾。この調査結果と本調査結果(表一2)とを対比させると、白華におい

| 全調査建物数(A) (件) | 故障の発生件数(B) (件) | | | | |
|--|----------------|-----|--------------|------|-----|
| | 剝落 | はらみ | 剝離 (浮上がり) | 亀裂 | 白華 |
| 81 | 28 | 7 | 78 | 35 | 5 |
| 全調査建物数に対する故障発生比率 $\frac{A}{B} \times 100$ (%) | 34.6 | 8.6 | 96.3 | 43.2 | 6.2 |

表一2 故障の形態とその発生比率

| 故障のモード | 東京都心62件 ^{*1)} | 全国81件 ^{*2)} |
|----------|------------------------|----------------------|
| 浮き | — ^{*3)} | 96.3 |
| 亀裂 | 41.9 | 43.2 |
| 剝落 | 38.7 | 34.6 |
| はらみ | — | 8.6 |
| 白華 | 25.8 | 6.2 |
| 汚れ | 30.6 | — ^{*3)} |
| シーリングの欠陥 | 22.6 | — |
| 目地の欠陥 | 6.5 | — |
| 変色 | 6.5 | — |

*1) 千代田区：17棟、港区：15棟、渋谷区：14棟、中央区、新宿区：7棟、品川区：2棟²⁹⁾

*2) 地域分布は図一3による(この値は表一2より引用)

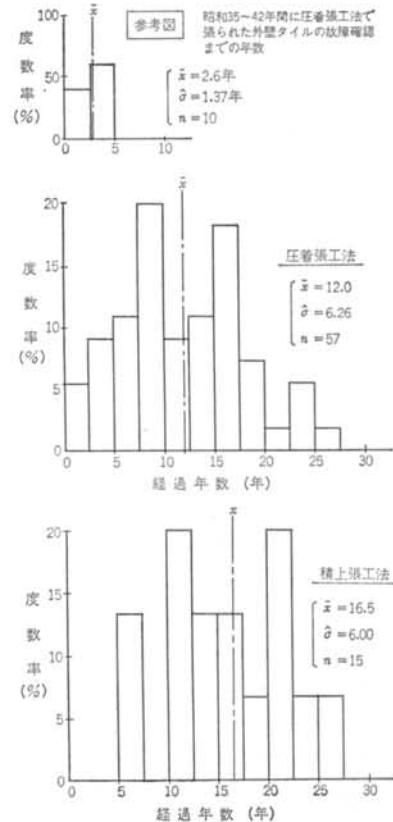
*3) 調査の記録にない項目

表一3 タイル張り壁面に発生した故障の比率

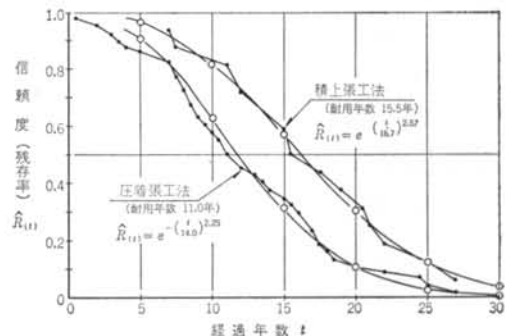
ては差異が認められるが、亀裂と剝落との比率ではほぼよく似た値になっている。これらのことから、目視調査で著しい劣化が認められる建物では、浮上りが生じている確率がかなり高いと推定される。

(2) 故障確認までの経過年数

今回の調査建物の故障の確認は、外壁タイルのはらみや剝落などの故障が顕在化して初めて認知されている。それゆえ、確認時点以前よりタイルの浮上りが進行し



図一4 外壁タイルの故障確認までの経過年数の分布



図一5 タイル張り工法の信頼度

ていたことになる。

故障確認までの経過年数を張付工法別（圧着張工法および積上張工法）にヒストグラムで示すと、図-4のとおりである。算術平均では圧着張工法が12.0年、積上張工法が16.5年となっており、後者の方が約5年ほど故障が確認されるまでの期間が長くなっている。また、タイル張り工法の信頼度（ \hat{R}_{ti} ：平均ランク法による信頼度）を示すと図-5のとおりであり、耐用年数（信頼度が50%になる年数）は圧着張工法で11.0年、積上張工法で15.5年となっており、積上張工法の方が約5年近く耐用年数が長くなっている。

東京オリンピック前後（昭和35～45年）において、圧着張工法で張られたタイルの故障確認までの年数は、図-4の参考図¹¹⁾に示すように平均で2.6年になっている。今回の調査結果と比較すると、東京オリンピック後の工法の改善（主としてタイルの裏足の確保、張付モルタルのオープンタイムの管理など）により、圧着張工法の故障確認までの年数は4～5倍長くなっており、タイル張り層の接着耐久性が増してきているといえる。

(3) 剝離箇所の割合

剝離（浮上がり）および剝落を生じたタイル張り層の剝離箇所の割合を、他の調査結果とともに示すと表-4のとおりである。これによると、タイルと張付モルタルとの界面での剝れが圧倒的に多く、65～90%になっており、次に躯体コンクリートと下地モルタルとの界面での剝れが10～30%になっている。一方、下地モルタルと張付モルタルとの界面での剝れは極めて少なく、数パーセント程度になっている。

タイル張りの接着系において剝離の生じる箇所は、施工時に接着が十分得られにくい箇所（一次劣化要因）およびウェザリング等の外因によって劣化の生じ易い箇所

| 剝離箇所 調査事例 | 躯体コンクリートと下地モルタルとの界面 (%) | 下地モルタルと張付モルタルとの界面 (%) | 張付モルタルとタイルとの界面 (%) |
|----------------------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------|
| 地震時以外の故障・事故 ¹¹⁾ | 26 | 0 | 74 |
| 地震時以外の故障・事故（官庁建物） ²⁹⁾ | 17 | 0 | 83 |
| 地震時以外の故障・事故（本調査） | 32 | 5 | 63 |
| 地震故障・事故（宮城県沖地震） ¹⁾²⁾ | 20 | 0 | 80 |
| 地震故障・事故（日本海中部地震） ³⁾ | 10 | 0 | 90 |

表-4 剝離（浮上がり）故障および剝落事故が生じたタイル張り層の剝離箇所の比率

（二次劣化要因）の双方が加算された形で現われると考えられる。

表-4のデータに示すように、タイル張りの剝離箇所としてはタイルと張付モルタルとの界面で生じるものが圧倒的に多く、この界面での接着性状の改善がタイル張りの耐久性の向上を図るうえで重要であるといえる。

2.3 タイルの剝離に影響する要因

タイルと張付モルタルとの界面に生じる剝離がどのような要因によって影響されているかについて、2.1の故障建物のデータを用いて重回帰分析（数量化I類、変数減増法）で検討を行なった。説明変数および従属変数は次に示すとおりである。

- ・説明変数：①所在地（変数値）
- ②経過年数（変数値）
- ③建物の構造（変数値）
- ④外壁の形態（変数値）
- ⑤方位（変数値）
- ⑥タイルの種類（変数値）
- ⑦タイルの裏足（変数値）
- ⑧張付工法（変数値）

- ・従属変数：タイルの剝離率（変数値）

説明変数のうち、変数データの内訳は表-5に示すとおりである。説明変数としては、この他に“タイルの色”“伸縮目地の有無”“施工の条件”等も加えて分析すべきであったが、これらの変数の記述が故障調査報告書の中で不明確であったため省略した。

重回帰分析に用いたデータは、81件の建物の中で従属変数および説明変数の各データが明確な48件の建物の139データとした。入力データの一部を表-6に示す。

重回帰分析は、次の6ステップで行なった。

Step 1: 全データ（139→134データ）

Step 2: 下地モルタル部のみで剝離が生じているデータを削除（134→129データ）

Step 3: タイル部での剝離より下地モルタル部での剝離が大なるデータを削除（110→105データ）

Step 4: Step 3のデータのうちカテゴリー毎のデータ数の少ないデータを削除（100→95データ）

Step 5: 圧着張工法で下地モルタル部のみでの剝離データを削除（98→90データ）

Step 6: 積上張工法で下地モルタル部のみでの剝離データを削除（27→27データ）

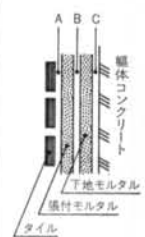
なお、各ステップにおいて出力データのうち残差（実測値と推定値との差）が25%以上のものを削除して、再度計算している。その際のデータ数の変化は、上記の

| x_1 : 所在地 | x_2 : 建物の構造 | x_3 : 外壁の形態 | x_4 : 方位 | x_5 : タイルの種類 | x_6 : 裏足の良否 | x_7 : 張付工法 |
|-------------|---------------|---------------|------------|----------------|---------------|--------------|
| 1.北海道 | 1.RC造 | 1.メクラ壁 | 1.東 | 1.モザイクタイル | 1.良 | 1.圧着張工法 |
| 2.〔東北〕北陸 | 2.SRC造 | 2.単窓壁 | 2.南 | 2.45二丁 | 2.不良 | 2.積上張工法 |
| 3.〔関東〕中部 | | 3.連窓壁 | 3.西 | 3.小口平 | | 3.改良積上張工法 |
| 4.〔関中〕西国 | | 4.スパンドレル | 4.北 | 4.100角 | | 4.改良圧着張工法 |
| 5.九州 | | | | 5.二丁掛 | | 5.直張工法 |
| | | | | 6.三丁掛 | | |
| | | | | 7.大型タイル | | |

表一5 手張工法における説明変数(カテゴリーデータ)の内訳

| 建物名 | 所在地 (x_1) | 経過 年数 (x_2) | 建物の 構造 (x_3) | 外壁の 形態 (x_4) | 方位 (x_5) | タイル 種類 (x_6) | 裏足の 良否 (x_7) | 張付 工法 (x_8) | 浮上がり率(y)(%) (記号については下図参照) | | |
|-----|------------------|------------------------------|------------------------|------------------------|------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------------|--|
| | | | | | | | | | A | A+B+C | B+C |
| | | | | | | | | | HD | 3 3 | 10.0 10.0 |
| AR | 3 3 | 5.0 5.0 | 2 2 | 4 4 | 3 4 | 5 5 | 1 1 | 1 1 | 3.9 0.2 | | 7.8 2.5 |
| DH | 3 3 3 3 | 16.0 16.0 16.0 16.0 | 2 2 2 2 | 2 2 2 2 | 1 2 3 4 | 5 5 5 5 | 1 1 1 1 | 1 1 1 1 | | 19.7 26.4 19.1 4.2 | |
| AE | 3 3 3 3 | 11.0 11.0 11.0 11.0 | 2 2 2 2 | 2 2 2 2 | 1 2 3 4 | 2 2 2 2 | 1 1 1 1 | 1 1 1 1 | 16.4 14.0 13.2 9.1 | | |
| KI | 3 3 3 | 38.0 38.0 38.0 | 2 2 2 | 2 2 2 | 1 2 4 | 5 5 5 | 1 1 1 | 2 2 2 | | | 30.9 (Cのみ) 30.9 (Cのみ) 18.2 (Cのみ) |
| IB | 3 3 | 2.0 2.0 | 1 1 | 2 3 | 1 4 | 3 3 | 1 1 | 1 1 | 4.2 4.8 | | |
| KB | 3 3 | 71.5 71.5 | 1 1 | 2 2 | 1 2 | 5 5 | 1 1 | 2 2 | 9.2 9.8 | | |
| NM | 3 3 | 7.0 7.0 | 1 1 | 4 2 | 1 2 | 5 5 | 2 2 | 1 1 | 25.0 15.0 | | |
| AS | 3 3 | 0.5 0.5 | 1 1 | 1 1 | 2 4 | 3 3 | 2 2 | 1 1 | 85.0 5.0 | | |
| IB | 3 3 3 3 | 15.5 15.5 15.5 15.5 | 2 2 2 2 | 1 2 2 1 | 1 2 3 4 | 3 3 3 3 | 2 2 2 2 | 1 1 1 1 | 33.5 45.3 42.3 27.3 | | |

(注) 界面の位置と記号



表一6 重回帰分析の入力データ(手張工法)

Step 1~Step 6 の () 内に示すとおりである。

重回帰分析の結果の要約は表一7に、また得られた重回帰式は表一8に示すとおりである。また、説明変数のカテゴリースコアを示すと図一6のとおりであり、Step

2のインプットデータを用いて要因効果の推定を行なうと図一7のとおりである。

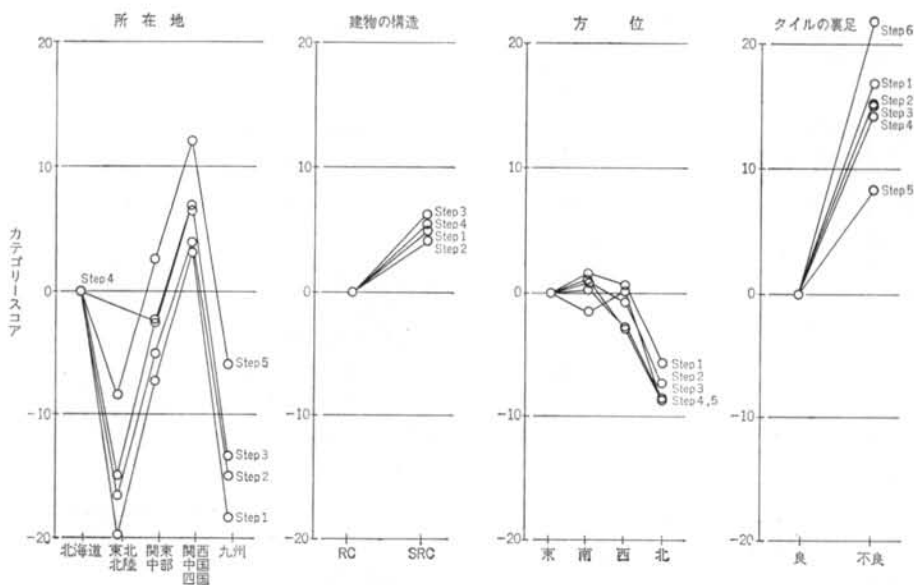
各ステップ毎に説明変数の重回帰式に取り上げられる順序は多少異なっているが、偏相関係数や固有技術等も

| Step | 入力データの条件 | 所在地 | 経過年数 | 建物の構造 | 外壁の形態 | 方位 | タイルの種類 | タイルの裏足 | 張付工法 | 寄与率 |
|------|--|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|-----------------|-------|
| 1 | 全データ 139データ 順位 F_0 値 偏相関係数 (残差の大きいデータ削除:139-5=134) | ③ 5.030 0.398 | 0.123 0.27 | ④ 3.501 0.189 | 0.344 -0.063 | ⑤ 2.365 0.240 | ② 8.945 0.697 | ① 30.803 0.462 | 0.847 -0.080 | 0.656 |
| 2 | 下地モルタル部での浮きを 削除 139-5=134 (残差の大きいデータ削除:134-5=129) | ② 4.032 0.347 | 0.041 -0.018 | ④ 2.879 0.156 | 0.495 -0.080 | ③ 2.883 0.262 | 0.672 0.061 | ① 25.793 0.424 | 0.382 -0.013 | 0.421 |
| 3 | タイル部での浮きより下地 モルタル部での浮きの大な もの削除 134-24=110 (残差の大きいデータ削除:110-5=105) | ③ 3.689 0.378 | 0.078 0.025 | ② 5.006 0.212 | 0.313 -0.073 | ④ 2.575 0.282 | 1.402 0.177 | ① 21.790 0.441 | 0.234 0.044 | 0.444 |
| 4 | Step 3 のデータのうち、 カテゴリ毎のデータの少 ないもの削除 110-10=100 (残差の大きいデータ削除:100-5=95) | ② 3.645 0.281 | 0.135 0.039 | ③ 3.278 0.194 | 0.211 -0.049 | ④ 2.511 0.282 | 1.575 0.216 | ① 16.911 0.407 | 0.235 0.050 | 0.381 |
| 5 | 圧着張工法 (残差の大きいデータ削除:98-8=90) | ② 4.605 0.433 | ③ 3.232 0.204 | 1.550 -0.136 | 0.645 -0.069 | ④ 2.825 0.311 | 0.137 -0.001 | ① 5.998 0.268 | - | 0.443 |
| 6 | 積上張工法 (残差の大きいデータ削除:27-0=27) | ② 0.360 0.113 | ③ 2.993 -0.366 | 0.000 -0.002 | ② 3.860 0.596 | 1.528 0.411 | 0.227 -0.007 | ① 7.502 0.562 | - | 0.627 |

表一七 手張工法の浮上がり率に関する重回帰分析結果

| Step | 重回帰式 |
|------|---|
| 1 | $Y = 17.60 + (0.00x_{11} - 19.79x_{12} - 7.28x_{13} + 3.16x_{14} - 18.33x_{15}) + (0.00x_{21} + 4.90x_{22}) + (0.00x_{31} + 1.58x_{32} + 0.61x_{33} - 5.71x_{34})$ <p>所在地: 北海道 東北・北陸 関東・中部 関西・中国・四国 九州 RC SRC 東 南 西 北</p> $+ (0.00x_{61} + 3.09x_{62} - 4.00x_{63} - 3.42x_{64} - 2.67x_{65} + 77.25x_{66} + 4.41x_{67}) + (0.00x_{71} + 16.83x_{72})$ <p>タイルの種類: モザイク 45二丁 小口平 100角 二丁掛 三丁掛 大型タイル タイルの裏足: 良 不良</p> |
| 2 | $Y = 16.24 + (0.00x_{11} - 16.60x_{12} - 5.13x_{13} + 3.94x_{14} - 14.96x_{15}) + (0.00x_{21} + 4.14x_{22}) + (0.00x_{31} + 0.80x_{32} - 0.74x_{33} - 7.30x_{34}) + (0.00x_{61} + 15.32x_{62})$ <p>所在地: 北海道 東北・北陸 関東・中部 関西・中国・四国 九州 RC SRC 東 南 西 北 タイルの裏足: 良 不良</p> |
| 3 | $Y = 13.73 + (0.00x_{11} - 14.93x_{12} - 2.58x_{13} + 6.87x_{14} - 13.33x_{15}) + (0.00x_{21} + 6.27x_{22}) + (0.00x_{31} + 0.27x_{32} - 2.81x_{33} - 8.48x_{34}) + (0.00x_{71} + 15.17x_{72})$ <p>所在地: 北海道 東北・北陸 関東・中部 関西・中国・四国 九州 RC SRC 東 南 西 北 タイルの裏足: 良 不良</p> |
| 4 | $Y = 14.30 + (0.00x_{11} - 2.34x_{12} + 6.58x_{14}) + (0.00x_{21} + 5.48x_{22}) + (0.00x_{31} + 1.06x_{32} - 2.97x_{33} - 8.68x_{34}) + (0.00x_{71} + 14.29x_{72})$ <p>所在地: 北海道 関東・中部 関西・中国・四国 RC SRC 東 南 西 北 タイルの裏足: 良 不良</p> |
| 5 | $Y = 6.69 + (0.00x_{11} - 8.49x_{12} + 2.60x_{13} + 12.07x_{14} - 5.94x_{15}) + 0.467x_2 + (0.00x_{31} - 1.55x_{32} + 0.13x_{33} - 8.65x_{34}) + (0.00x_{71} + 8.31x_{72})$ <p>所在地: 北海道 東北・北陸 関東・中部 関西・中国・四国 九州 経過年数: 東 南 西 北 タイルの裏足: 良 不良</p> |
| 6 | $Y = 24.50 - 0.875x_2 + (0.00x_{41} + 10.61x_{42} + 10.90x_{43} + 24.51x_{44}) + (0.00x_{71} + 21.76x_{72})$ <p>外壁の形態: メクラ 単窓 違窓 スノンドレル タイルの裏足: 良 不良</p> |

表一八 手張工法の浮上がり率に関する重回帰式



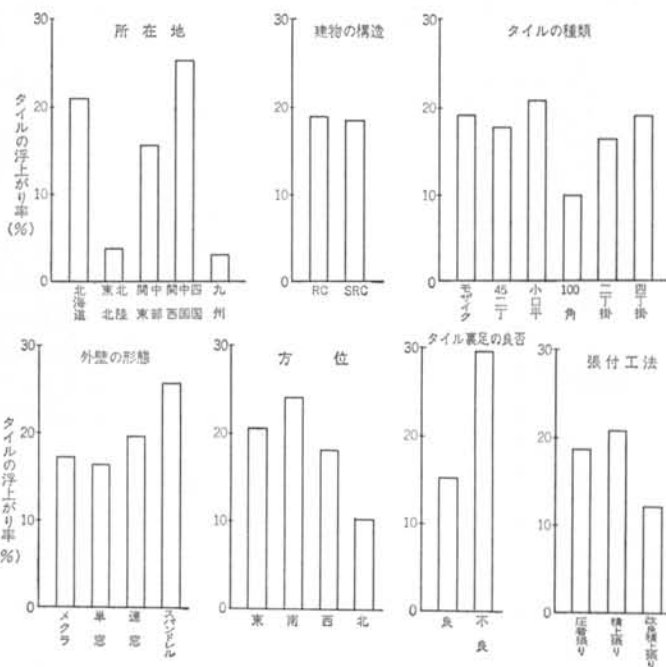
図一六 手張工法の各要因のカテゴリースコア

加味して判断すると、タイルの剝離に関しては“タイルの裏足の良否”の要因の効果が最も大きく、次に“方位”の要因が効いているといえる。

“タイルの裏足の良否”と“方位”の要因が効いているということは、日射によって生じる繰返し応力がタイルの浮上り率の主原因と推定できる。“タイルの裏足の良否”の効果としては、図一七に示すように裏足の不良のものは、良いものに比べ浮上り率が約倍になっている。タイルの裏足は、日射による繰返し応力（タイルと張付モルタルとの接着界面には主としてせん断応力が働くと考えられている²³⁾²⁴⁾）に抵抗するものと考えられる。

また、“方位”についても図一七に示すように、日射をほとんど受けにくい北面の浮上り率が、日射を受ける東面、南面および西面に比べて約半分になっており“タイルの裏足の良否”の考察と同じような考え方ができる。しかしながら、日射を受ける東面、南面および西面の間の差は明確とはなっていない。

タイルの浮上りを防ぐためには、接着に有効に働く裏足を選定し、タイルと張付モルタルとの接着強度を確保してやるのが重要なポイントといえる。



図一七 手張工法における要因効果の推定

2.4 故障の発生形態

タイル張り層に生じる浮上りや剝落等の故障の発生形態を図一八に示す4つとし、矢印のように故障が進んで行くものとする。2.1の故障建物のデータを用いてこの過程に当てはめると、表一九に示すとおりである。

図-8に示すように、剝落に至る過程としては亀裂から進行するものと、浮上りから進行するものとが認められ、それらの比率は前者が約45%、後者が約55%になっている。図-9の亀裂から進行するものとして示したものの中には、浮上りから進行したものも含んでいる。それゆえ、タイル張りの浮上りや剝落故障について

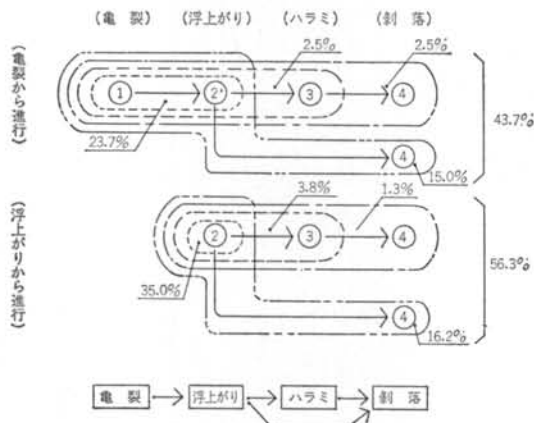


図-8 故障の進行過程とその発生割合

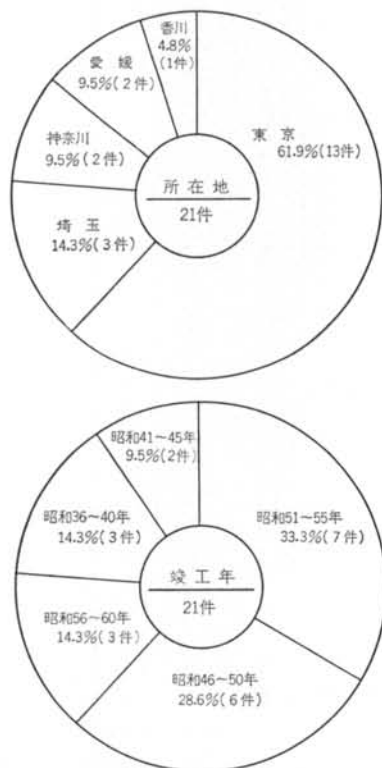


図-9 先付工法で施工された外装タイル張りの故障発生建物の所在地、竣工年の比率

ては亀裂に伴って生じるものの比率は少なくなり、浮上りから進行するものの比率がさらに多くなる。このことは、日射等による繰返し応力によって、タイル張りの接着の弱い箇所から接着が切れて浮上りて行く現象を裏付けていると推定される。

§ 3. 故障分析-2: 型枠先付工法

3.1 型枠先付工法の背景

昭和40年代中頃より普及してきたタイル型枠先付工法は、昭和51年に陶磁器質タイル張り工法近代化研究委員会が作成した同工法の設計施工指針³⁰⁾により、技術的基礎がほぼ確立されたといえる。現在までのところ、型枠先付工法によるタイルの剝離故障や剝落事故の報告はあまり見られないが、発生した幾つかの故障・事故例から剝離および剝落の原因を整理すると、次のようにいえる。

型枠先付工法で施工されたタイルの剝離故障や剝落事故は、躯体コンクリートの施工不良箇所である豆板部およびコールドジョイント部に発生している。これらの欠陥箇所は通常、建物の工事中や竣工前の検査により手直しされるケースが多い。検査に見落としが生じた場合には竣工後剝落事故等により確認され問題となるが、その故障発生率は手張工法に比べて極めて低いといわれている。

某建物(表-9, No10のMYビル)の外装に、型枠先付工法で施工された大型ブリックタイルの剝落事故およびかなりの面積に及ぶ剝離故障が発生した。本剝落事故および剝離故障が当該ビルだけの現象なのか、同種のタイルを用いた建物で同様の剝離故障が生じているかどうか、また剝離故障が生じているとすると、それは主に何

| 故障の形態 | 件数(件) | 比率(%) |
|------------------|-------|-------|
| 亀裂 ① | 0 | 0 |
| 浮上り ② | 28 | 35.0 |
| ハラミ ③ | 0 | 0 |
| 剝落 ④ | 0 | 0 |
| 亀裂 浮上り ① + ② | 19 | 23.7 |
| ① + ② + ③ | 2 | 2.5 |
| ① + ② + ③ + ④ | 2 | 2.5 |
| ① + ② + ④ | 12 | 15.0 |
| 浮上り ハラミ ② + ③ | 3 | 3.8 |
| ② + ③ + ④ | 1 | 1.3 |
| ② + ④ | 13 | 16.2 |
| 合計 | 80*1) | 100.0 |

*1): 故障なしの1現場を除く

表-9 故障の発生形態とその比率

に起因して生じているのか等を検討するために、大型ブリックタイルを用いて型枠先付工法で施工された建物の剝離故障に関する実態調査を行なった。

3.2 調査対象建物

外壁の型枠先付工法による陶磁器質タイル張りの調査対象建物は21件であり、その一部は表-10に示すとおりである。故障分析の対象とした建物は§ 2の手張工法の場合とほぼ同様な条件としたが、異なる点は次に示すとおりである。

(イ)建物の竣工は昭和35年以降のものとした。

(ロ)建物の所在地は関東および四国とした。

これらの建物の所在地および竣工年は、図-9に示す

説明変数 従属変数

| 建物名 | 経年 | 方位 | タイルの形状 | タイルの幅 | タイルの材質 | タイルの色 | ガムテープ使用の有無 | 浮上がり率 (%) |
|---------|----|------|--------|-------|--------|------------|------------|-----------|
| | | | | | | | | |
| 1. K S | 22 | 東西南北 | 横長 | 215 | 磁器 | 濃茶 | 有 | 95 |
| | | | | | | | | 95 |
| | | | | | | | | 95 |
| | | | | | | | | 95 |
| 2. G | 21 | 東西南 | 横長 | 140 | 磁器 | 濃茶褐色 | 無 | 50 |
| | | | | | | | | 50 |
| | | | | | | | | 60 |
| 3. K K | 20 | 東南北 | 横長 | 145 | 磁器 | 茶 | 無 | 100 |
| 4. S K | 18 | 東西南北 | 横長 | 145 | 磁器 | 茶 | 有 | 30 |
| | | | | | | | | 35 |
| | | | | | | | | 25 |
| | | | | | | | | 10 |
| 5. K T | 16 | 東西南 | 横長 | 155 | 磁器 | 濃茶褐色 | 無 | 75 |
| 6. S H | 12 | 東西南 | 横長 | 125 | 磁器 | こげ茶, 茶, 薄茶 | 無 | 2.5 |
| | | | | | | | | 2.5 |
| | | | | | | | | 2.5 |
| 7. T G | 11 | 東西南 | 横長 | 120 | 磁器 | レンガ色 | 有 | 10 |
| | | | | | | | | 2.5 |
| | | | | | | | | 10 |
| 8. S K | 11 | 東西南 | 正方形 | 200 | 磁器 | 白 | 無 | 65 |
| | | | | | | | | 65 |
| | | | | | | | | 55 |
| 9. Y K | 10 | 東西南 | 横長 | 125 | 磁器 | 赤茶 | 有 | 7.5 |
| | | | | | | | | 7.5 |
| | | | | | | | | 7.5 |
| 10. M Y | 9 | 東西南 | 横長 | 154 | 磁器 | 薄茶色 | 有 | 60 |
| | | | | | | | | 50 |
| | | | | | | | | 50 |
| | | | | | | | | 45 |

表-10 型枠先付大型ブリックタイルの調査対象建物および浮上がり故障調査結果(重回帰分析の入力データ)

とおりである。

使用されているタイルの寸法・形状は建物ごとに異なっているが、基本形状は図-10に示すように横長(例外として2件のみ正方形)の嚙込み式で、かつリブ状の裏足が1~2本付いたものである。

3.3 故障の傾向

型枠先付工法で施工された大型ブリックタイルの浮上がり率と経過年数との関係は、図-11に示すとおりである。タイルの浮上がり率は、経年とともにほぼ指数函数的に増加しているといえる。

浮上がり故障の他に、タイルにはかなりの比率で割れ(亀裂)故障が確認された。しかし、調査対象としている大型ブリックタイルはタイルに浮上がりや割れが生じても、図-10に示したようにリブ状の裏足があるため地震時以外に剝落を生じる危険性は少ないが(リブ状の裏足のないタイルも一部用いられており、この場合は剝落

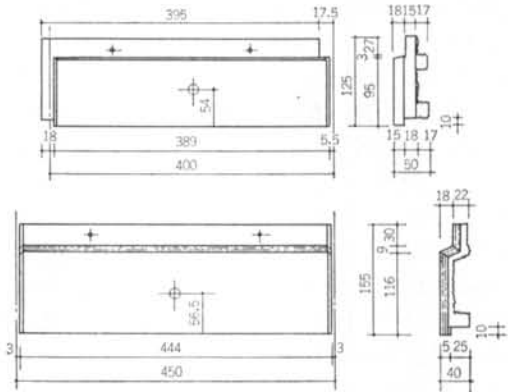
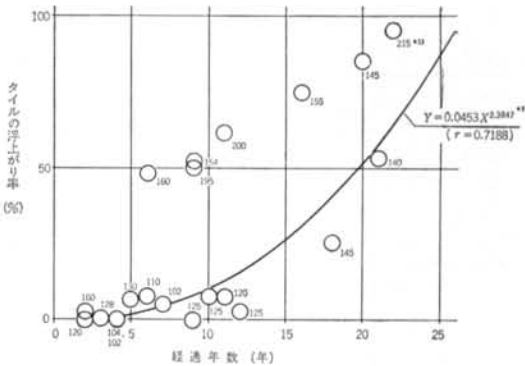


図-10 大型ブリックタイルの形状



*1): 図中の数字はタイルの幅(mm)を示す。
*2): 浮上がり率ゼロは0.1%として計算した。

図-11 経過年数と浮上がり率との関係

の危険性が大きい)、地震時に層間変形を受けると剥落の危険性は大きいといえる。

3.4 タイルの剥離に影響する要因

タイルの剥離がどのような要因によって影響されているかについて、手張工法と同様に重回帰分析(数量化I類, 変数減増法)で検討を行なった。説明変数および従属変数は次に示すとおりである。

- ・説明変数: ①経過年数(変量値)
- ②方位(変数値)
- ③タイルの幅^{注1)}(変量値)
- ④タイルの材質(変数値)
- ⑤タイルの色(変数値)
- ⑥ガムテープ使用の有無^{注2)}(変数値)

・従属変数: タイルの剥離率(変量値)

説明変数のうち、変数データの内訳は表-11に示すとおりである。説明変数の中にタイルの裏足の程度の要因を加えて分析を行なうべきであるが、裏足の確認ができないものもあったため分析に加えることが出来なかった。しかし、今回調査対象とした大型ブリックタイルは、基本的には図-10に示すように1~2本の裏足をもつもので、ほぼ同じ裏足形状と考えられる。また、大型ブリックタイルを用いた建物の構造は一般的に大規模のSRC造が多く、外壁の形態はメクラ壁状のものが大部分であった。

重回帰分析の入力データは表-10に示す6説明変数、61データであり、出力データ打出し後、残差の大きいデータを削除し、再度重回帰分析を行なった。その結果を示すと表-12のとおりである。これによると、タイルの浮上りに影響する要因としては“タイルの幅”の効果が特に大きく、次に“タイルの材質”“経過年数”“タイルの色”“ガムテープ使用の有無”が効いているといえる。手張工法で効果ありとされた“方位”が取上げられ

| x_2 : 方位 | x_4 : タイルの材質 | x_5 : タイルの色 | x_6 : ガムテープ使用の有無 |
|---------------|-------------------|------------------|-----------------------|
| 1. 東 | 1. 磁器質 | 1. 白 | 1. 無 |
| 2. 西 | 2. 磁器質 | 2. 薄茶 | 2. 有 |
| 3. 南 | | 3. 茶 | |
| 4. 北 | | 4. 濃茶 | |

表-11 型枠先付工法における説明変数(カテゴリーデータ)の内訳

- 注1) タイルの裏足の方向に直角方向のタイルの幅
 注2) タイルを型枠に取付けた後、目地部よりコンクリートのモルタル分の流出を防ぐために目地部に貼付けたガムテープの有無

なかった理由は不明であるが、浮上り率の算術平均では東面が34.9%、南面が32.4%、西面が26.7%、北面が23.2%になっている。

重回帰式として示すと次のとおりである。

$$\begin{aligned}
 & \text{タイルの浮上り率(\%)} \quad \text{経年(年)} \quad \text{タイル幅(mm)} \\
 & Y = -57.57 \quad +1.554x_1 \quad +0.436x_3 \\
 & \quad \quad \quad \text{タイルの材質} \\
 & \quad \quad \quad + (0.00x_{41}, 17.30x_{42}) \\
 & \quad \quad \quad \text{磁器} \quad \quad \quad \text{磁器} \\
 & \quad \quad \quad \text{タイルの色} \\
 & \quad \quad \quad + (0.00x_{51}, 4.88x_{52}, -8.12x_{53}, 18.65x_{54}) \\
 & \quad \quad \quad \text{白} \quad \text{薄茶} \quad \text{茶} \quad \text{濃茶} \\
 & \quad \quad \quad \text{ガムテープ使用の有無} \\
 & \quad \quad \quad + (0.00x_{61}, 10.16x_{62}) \\
 & \quad \quad \quad \text{無} \quad \quad \quad \text{有}
 \end{aligned}$$

Step 1 のインプットデータを用いて要因効果の推定を行なうと、図-11~13のとおりである。効果の大きい要因の順に要因の効果を記すと、次に示すとおりである。

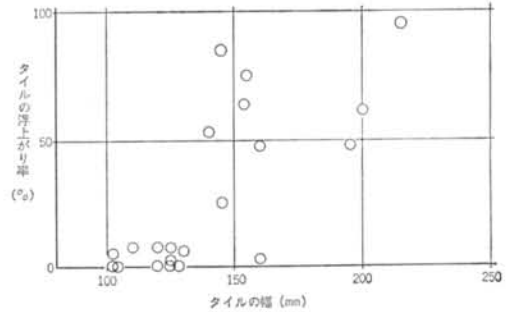


図-12 タイルの幅とタイルの浮上り率との関係

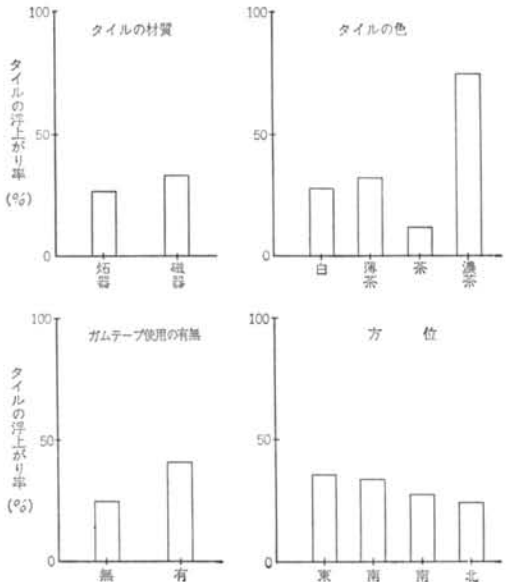


図-13 型枠先付工法における要因効果の推定

| 入力データの条件 | 経年 | 方位 | タイルの幅 | タイルの材質 | タイルの色 | ガムテープ使用の有無 | 寄与率 |
|---|---------------------|----------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------|
| 全データ 61データ 順位 (残差の大きいデータ F_0 値 削除: 61-1=60) 偏相関係数 | ② 7.597 0.471 | 0.547 0.097 | ① 24.754 0.591 | ③ 7.269 0.378 | ④ 4.898 0.469 | ⑤ 3.448 0.261 | 0.816 |

表-12 型枠先付工法の浮上がり率に関する重回帰分析結果

(1)タイルの幅: 図-12に示すように, タイルの幅が小さいほどタイルが浮上がりにくくなっている。これは, リブ状の裏足の間隔が小さくなるほど浮上がりにくくなることを示しており, § 2.の結論と同様に, タイルの裏足が浮上がり防止上有効であることを示しているといえる。

(2)タイルの材質: 磁器質タイルに比べ炔器質タイルの方が浮上がりにくい結果になっている。これは, 他の条件が同一であれば炔器質タイルの方が吸水性があるためコンクリートとの接着が良くなるため, また熱伝導率が小さく温度変化に対して緩慢である点などで有利になるためと思われる。

(3)経過年数: 図-11に示すように, 経年とともにタイルの浮上がりが大となっている。これは, 主として日射による熱応力の繰返しにより浮上がりが徐々に進むものと推定される。

(4)タイルの色: 一般にはタイルの色が濃くなるにつれて日射の吸収率が大きくなり, タイル自体の温度が上昇し易くなる。本分析の結果では, 茶, 薄茶, 白, 濃茶の順で浮上がりが大になっており, 必ずしも適切な結果(日射吸収率と比例していないところもある)にはなっていない。

(5)ガムテープ使用の有無: ガムテープは, タイルの縦目地からコンクリートが漏れないようにするために目張りしているものである。ガムテープ有の方がタイルが浮上がり易くなっている。これは, ガムテープ部ではコンクリートとタイルとの間の接着が切れているため, 繰返し挙動を受けるとその部分より浮上がりが進展し易いためと考えられる。

§ 4. まとめ

本論では, 手張工法および型枠先付工法で施工された外装の陶磁器質タイル張りに生じる剝離故障の分析を行った。その結果, 次のようなことが分かった。

A. 手張工法

(1)故障の発生程度: 外装タイル張りに何らかの故障が認められるものは, 全体の80%程度である。また, 外観

上劣化が著しいと判断されるタイル張りでは, 浮上がり故障が生じている確率が高いといえる。タイル張りの故障を認知する現象としては, 浮上がりが95%, 亀裂が40~45%, 剝落が35~40%, 白華が10%程度になっている。

(2)故障確認までの経過年数: 外装タイル張りの故障確認までの張付工法別の経過年数および耐用年数は, 次に示すとおりである。

故障確認までの経過年数 耐用年数
(算術平均) (モード)

圧着張工法 12.0年 7.5~10年 11.0年

積上張工法 16.5年 10~12.5年 15.5年

圧着張工法と積上張工法の故障確認までの経過年数の算術平均および耐用年数は, 約5年近い差になっている。

(3)浮上がりに影響する要因: 外装タイル張りの浮上がりに影響する要因として“タイルの裏足”“方位”が効いており, タイルの裏足の不良のもの, 方位では東面, 南面, 西面に張られたタイルに浮上がり故障が多くなっている。これらの結果は, タイルの浮上がりに対して日射による繰返し応力が影響していると考えられる。

(4)剝離箇所の割合: 外装タイル張りの浮上がりおよび剝落故障の剝離箇所は, 張付モルタルとタイルとの界面が65~90%と最も多く, 次に下地コンクリートと下地モルタルとの界面が10~30%であり, 下地モルタルと張付モルタルとの界面は少なく, 数パーセント以下になっている。

B. 型枠先付工法

型枠先付工法で施工された外装タイル張りは, 手張工法の浮上がり故障と比べると極めて少ないといえるが, タイルの裏足が少ない大型ブリックタイルでは浮上がり故障が発生しており, この原因も日射による繰返し応力によるものと考えられる。また, 大型ブリックタイルにはかなりの割れの発生が見られるが, リブ状の裏足の効果により剝落事故の発生は少なくなっている。

以上で記したように, 本論ではタイル張りの剝離の主たる原因が日射に伴う温度変化による繰返し応力であると推定した。そこで, 今後は外壁に張られたタイルの日射による温度性状を測定し, タイルと張付モルタルもしくはコンクリートとの界面に生じる応力を検討する必要

がある。また、これらの成果をもとに熱照射による促進劣化試験によりタイルの接着性状の劣化程度を検討し、本論の結論との照合を行なう必要がある。

謝辞 本研究の遂行に当たり、故障調査報告書を提供していただいた日本電信電話株式会社武蔵野電気通信研究所建築技術室 佐藤紀男建築保全課長、(社)全国タイル業協会

飯嶋守所長、当社本・支店の建築技術部・課の諸氏、また本研究に対してご指導、ご助言をいただいた当社技術研究所 丸一俊雄副所長、さらに実態調査やデータ解析等に協力していただいた当社技術研究所 島中太、門田雅臣(現特ネクネット)、山崎康博(現明和地所特)等に感謝の意を表します。

＜参考文献＞

- 1) 建築業協会宮城県沖地震調査団：“宮城県沖地震被害状況調査報告書” 建築業協会（昭和53年9月）
- 2) 建築物とその周辺の防災対策調査委員会：“建築物とその周辺の防災対策調査（地震時における外装材の落下対策調査）報告書” 建設省住宅局（昭和56年3月）
- 3) 熊谷敏男：“日本海中部地震（1983年）における外装仕上材の被害状況” 建築防災（1984年1月）
- 4) 馬場明生、伊藤弘：“地震時における外装仕上材料・工法の安全性に関する実大実験、その1～4” 日本建築学会関東支部研究報告集（昭和52年，55年）
- 5) 伊藤弘、坂本功ほか：“鉄骨造実大6層建物による非構造部材の耐震実験、その1～10” 日本建築学会大会学術講演梗概集（昭和60年，61年）
- 6) 篠 効ほか：“外装壁タイルの変形追従性に関する実験的研究（その1，2）” 同上（昭和60年，61年）
- 7) 熊谷敏男ほか：“陶磁器質タイル張り壁の耐震性の実験的検討” 同上（昭和61年）
- 8) 非構造部材の耐震安全性に関する委員会：“非構造部材の耐震設計指針” 日本建築学会（1985年）
- 9) 外壁耐震改修委員会：“外壁タイル張りの耐震診断と安全対策指針” 日本建築防災協会（昭和60年2月）
- 10) 田辺昭次：“なぜ多い外装材の剥落事故，設計・施工も築後への配慮欠く” 日経アーキテクチュア 1982年1月18日号
- 11) 丸一俊雄：“接着工法における建築仕上材料の剥離防止に関する研究” 清水建設研究報告 第5号（1971年5月）
- 12) 勝畑安雄ほか：“外装陶磁器質小口タイルの圧着張りによる接着強さ試験” 日本建築学会大会学術講演梗概集（昭和44年）
- 13) 今泉勝吉ほか：“大型コンクリート版を利用した陶磁器質タイルの接着強さ試験” 日本建築学会関東支部第40回学術研究発表会梗概集（昭和44年）
- 14) 富岡博治ほか：“外壁タイル直張り工法の接着特性” 日本建築学会大会学術講演梗概集（昭和58年）
- 15) 大岡督尚ほか：“外壁タイルの剥離防止に関する研究” 同上（昭和59年）
- 16) 鈴木修ほか：“タイル直張り工法の研究” 同上（昭和61年）
- 17) 三浦寛ほか：“陶磁器質タイルの圧着工法に関する実験的研究（下地コンクリートに亀裂が生じた場合のタイルの浮き）” 同上（昭和46年）
- 18) 三浦寛ほか：“PC版に先付けされたタイルの長期接着強度” 同上（昭和54年）
- 19) 伊藤哲也ほか：“陶磁器質タイル型枠先付工法に関する研究（その5）付着強度の3年までの試験” 同上（昭和60年）
- 20) 林好正ほか：“外装用陶磁器質タイル張り工法に関する研究（その4）タイル直張り仕上層の引張接着強度の経時変化” 同上（昭和58年）
- 21) 国原安彦ほか：“外装タイル張り仕上げの劣化実態調査，非構造部材の耐久性(5)” 同上（昭和58年）
- 22) 逸見義男：“外部に施工されたタイルの実態調査” 同上（昭和58年）
- 23) 吉川一三：“熱応力によるタイル張り壁体のタイルの変形と応力” 同上（昭和52年）
- 24) 吉川一三：“タイル-モルタル接着複合体に発生する熱応力（その1，2）” 同上（昭和59年，60年）
- 25) 佐藤明ほか：“タイル型枠先付工法におけるタイルの付着性状に関する研究（その2）温度応力によるタイルの拘束ひずみ” 同上（昭和51年）
- 26) 林好正ほか：“立体網目状構造の不織布を用いた繊維補強による外装タイル張り施工（その2）外装タイル張り仕上げの熱冷繰返しによる疲労実験” 同上（昭和61年）
- 27) 吉川一三ほか：“大型半磁器質タイルを先付けしたPCa板の耐久性” 同上（昭和61年）
- 28) 今泉勝吉：“目視による外壁タイル張りの劣化の実態調査” 建築防災（1982年10月）
- 29) 望月秀敏ほか：“官庁営繕工事における事故例とその原因” 施工（1975年3月）
- 30) 陶磁器質タイル張り工法近代化研究委員会：“陶磁器質タイル型枠先付工法設計・施工指針”（昭和51年）