

アンカーピンによるタイル剥落防止工法での タイル仕上層保持条件に関する検討

○堀 謙太*¹ 橋高 義典*² 兼松 学*³ 國枝 陽一郎*⁴
堀 竹市*¹ 佐々木 聡*¹ 八木沢 康衛*¹ 天田 裕之*¹

1. はじめに

外壁タイル仕上げの剥落は人的な被害をもたらすため大きな問題となる。老朽化した外壁タイル面に関して、12条点検などでその剥落の危険性を検査することになっているが、タイル仕上げの浮き・剥離などが見られた場合には、安全性の高い剥落防止対策が求められる。

一般的な剥落防止工法は、タイル仕上層の表面を被覆し、本来のタイル仕上げの特徴である外観を損なってしまうというデメリットがあった。そのような欠点を無くし、本来のタイル仕上げの外観を維持するために考えられたのが、本報で対象としているアンカー工法である。

この工法では、個々のタイルを連結している目地に着目し、面外の変形に対して目地が十分な耐力を有する前提で、部分的なアンカーの施工のみでタイル仕上層全体の剥落を防止するものである。ただし、この場合においても、タイル下地層がコンクリート下地から完全に浮いている場合、アンカーを施工した1枚のタイル周辺の目地の耐力によりタイル仕上層の変形・剥落に抵抗するため、外力に対して、目地の強度はどの程度必要か、その強度はどのように評価するか、さらにどの程度の面積割合でアンカーを施工すれば良いかについて十分検討する必要がある。

本報ではアンカー工法に関し、その安全性を確保するための条件について明らかにすることを目的として検討した結果を報告する。

2. タイル仕上層の保持力に関する検討

2.1. タイル仕上層の保持機構

タイル仕上層の構成を図1と想定し、健全時からタイル剥離の発生、アンカー工法による補修後の状態までの保持機構については図2に示す。

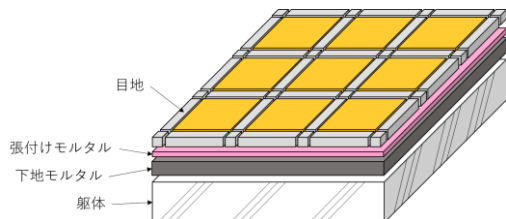


図1 タイル仕上層の構成概要

- i)健全時:タイル、モルタル、躯体がそれぞれ健全に付着しており、均一に面外荷重に対して抵抗している状態。タイル仕上層の耐力はモルタルの付着強度に近い値を示すと考えられる。
- ii)タイル剥離発生時:ディファレンシャルムーブメント等が原因で一部のタイルに剥離が発生し、健全な部分のモルタル付着を目地が伝達する形で面外荷重に対して抵抗している状態。剥離しなかった場合でも周辺の健全部に応力が集中することで剥離部分が拡大し、最終的に大面積での剥離発生も考えられる。
- iii)補修時:アンカーピンを躯体に打ち込み、その引抜き抵抗力で面外荷重に抵抗している状態。周辺部分に剥離が発生している場合には、目地のせん断抵抗を介して面外荷重を分担することで周辺部分も含め剥落リスクを低減している。最終的に図3に示す形でアンカーピンを打ち込まれたタイルに対して剥離した周辺タイルが目地を介して支えられると考えられる。

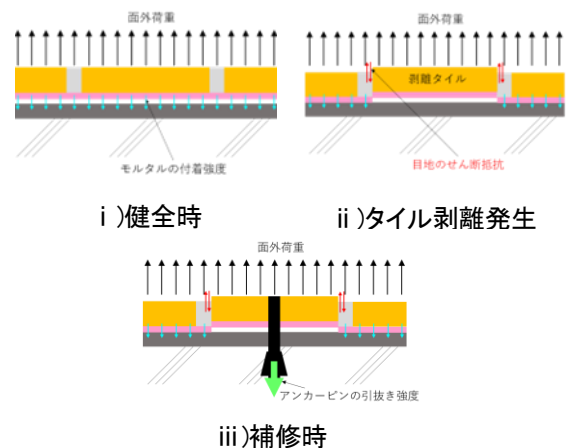


図2 タイル仕上層の状態ごとの保持機構

保持力の算定方法については以下に示す。保持状態については、最も劣化が進行した場合を想定して図3として考える。ここで算定された保持力と3.想定される外力と目標性能で算定される面外荷重を合わせて考えることによって必要となるアンカー本数の検討ができる。

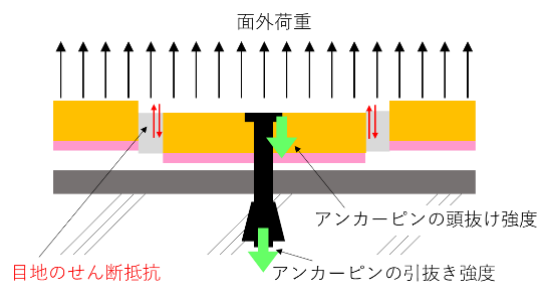
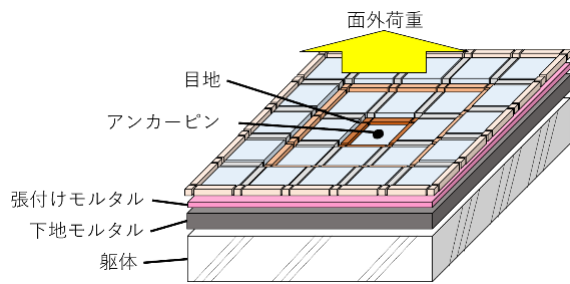


図3 タイル仕上層がアンカーピンのみで抵抗する場合の保持機構

2.2.アンカーピンにおける最大耐力の算定

アンカーピンは、タイル、モルタルを貫通して躯体に打ち込まれる。そのためモルタル部に破面が生じた場合、先端部は躯体に、頭部はタイルと接した状態で両者が離れようとする力に抵抗する。特に面外方向に対して、前者をアンカーピンの引抜き抵抗、後者を頭抜け抵抗と呼び、各試験において得られる実測値からアンカーピンにおける最大耐力 f_{pin} は式(1)により計算する。

$$f_{pin} = \text{Min}(f_{pin-t}, f_{pin-head}) \dots\dots(1)$$

f_{pin} : アンカーピンの面外方向における最大耐力(N)

f_{pin-t} : アンカーピンの引抜き強度(N)

$f_{pin-head}$: アンカーピンの頭抜け強度(N)

本工法で使用する専用アンカーピンは、注入口付アンカーピンの品質・性能基準(2013年3月改訂)に規定される引抜き試験の判定基準1,500Nを上回っている。

2.3.目地における最大耐力の算定

目地は、アンカーピンで固定されたタイルの面外抵抗力を周辺タイルに伝達する役割があり、図4に示される形で目地自身にはせん断力として荷重が入力される。図3の左図に示されるように目地の周長は固定されたタイルから近いほど短くなり、その分単位長さあたりの荷重も増大する。そのため破壊が発生する場合には、最も周長の短い固定タイルを囲む目地モルタルで起きると考えられるため、目地における最大耐力は式(2)により計算する。なお式(2)における目地部の単位長さあたりのせん断強さの値は、目地試験の結果から算定した値を用いる事とした。

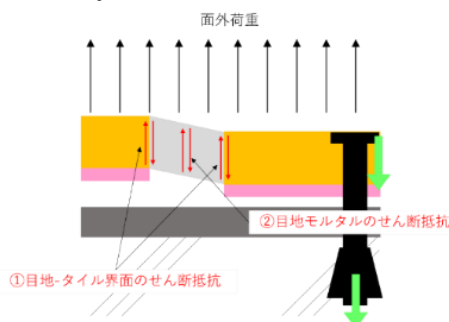


図4 目地部のせん断抵抗概要

この場合、実際の目地厚さよりも厚い状態で試験を行うことで値が大きく算定される可能性もあるため、面外荷重等の検討については余裕度を考慮する。

$$f_{joint} = q \times L \dots\dots(2)$$

$$q = \text{Min}(q_{joint-tile}, q_{mortar}) \dots\dots(3)$$

$$q_{joint-tile} = \tau_{joint-tile} \times d_{joint} \dots\dots(4)$$

$$q_{mortar} = \tau_{mortar} \times d_{joint} \dots\dots(5)$$

f_{joint} : 目地部のせん断最大耐力(N)

q : 目地部の単位長さあたりのせん断強さ(N/mm)

$q_{joint-tile}$: 目地-タイル界面の単位長さあたりのせん断強さ(N/mm)

q_{mortar} : 目地モルタルの単位長さあたりのせん断強さ(N/mm)

$\tau_{joint-tile}$: 目地-タイル界面のせん断強度(N/mm²)

τ_{mortar} : 目地モルタルのせん断強度(N/mm²)

d_{joint} : 目地モルタル厚さ(mm)

L : タイル1枚の目地部の外周長さ(mm)

50角タイルによるタイル仕上げとして試算する。

$$L = 45 \text{ mm} \times 4 = 180 \text{ mm}$$

$$d_{joint} = 5 \text{ mm} \text{ (裏足を考慮しない場合に相当)}$$

$$\tau_{joint-tile} = 0.4 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{mortar} = 0.8 \text{ N/mm}^2$$

$$q_{joint-tile} = \tau_{joint-tile} \times d_{joint} = 0.4 \times 5 = 2.0 \text{ N/mm}$$

$$q_{mortar} = \tau_{mortar} \times d_{joint} = 0.8 \times 5 = 4.0 \text{ N/mm}$$

$$q = \text{Min}(q_{joint-tile}, q_{mortar}) = 2.0 \text{ N/mm}$$

$$f_{joint} = q \times L = 2.0 \times 180 = 360 \text{ N}$$

2.4.タイル仕上層の保持力の算定

アンカーピンと目地のうちどちらかに破壊が生じた場合、タイル仕上層の一部または全体が剥離・剥落を生じるとしてタイル仕上層の保持力 F は式(6)により計算する。

$$F = \text{Min}(f_{pin}, f_{joint}) \dots\dots(6)$$

F : タイル仕上層の保持力(N)

2.2.アンカーピンにおける最大耐力の算定と2.3.目地における最大耐力の算定の結果から360Nとなる。

3. 想定される外力と目標性能

3.1.法令上の要求性能

外壁仕上面に加わる外力は、何らかの力学機構により構造躯体(柱、梁、壁)に伝達することによりその状態を維持している。その外力は、面内方向力と面外方向力に分けて考えられる。面内方向力(面内荷重)は、主に仕上材と下地の自重によるもので常時作用している。

面外方向力(面外荷重)は、主に風あるいは地震により生ずる外力で都度作用する。外壁仕上は、面内荷重に対して脱落しないのは自明であり、面外荷重に対しては脱落しないことが法令(建築基準法施行令第 39 条、告示昭和 46 年第 109 号)で求められている。

3.2.面内荷重

タイルを用いた外壁仕上工法における面内荷重の大きさは、タイルとモルタルなどの接着剤と目地材の合計質量に重力加速度を乗じたものとなる。

$$F_v = \sum m \times G \quad \dots\dots(7)$$

F_v : 単位面積あたりの面内荷重(N/m²)

$\sum m$: 単位面積あたりのタイル仕上面総質量(kg/m²)

G : 重力加速度(9.8m/s²)

タイル仕上(接着層含む)の比重を 2.2、総厚さを 30 mm と想定し、試算すると以下の通りとなる。

$$\sum m = 2.2 \times 10^3 \times 30 / 1,000 = 66 \text{ kg/m}^2$$

$$F_v = \sum m \times G = 66 \times 9.8 \approx 646.8 \text{ N/m}^2$$

3.3.面外荷重

面外荷重は、風圧によるものと地震によるものがある。

3.3.1.風圧による面外荷重の検討

風圧による面外荷重は、法令(建築基準法施行令第 82 条の 4、告示平成 12 年第 1458 号)で建築物の高さ・形状、地域等を考慮して定めることとなっている。具体的には、基準風速 V_0 、地表面粗度区分から求める平均速度圧 q に建築物の部位ごとのピーク風力係数を乗じたものとなる。

$$W = q \times C_f \quad \dots\dots(8)$$

$$q = 0.6E_r^2 \times V_0^2 \quad \dots\dots(9)$$

$$E_r = 1.7(H/Z_G)^\alpha \quad \dots\dots(10)$$

W : 風圧力(N/m²)

q : 平均速度圧(N/m²)

C_f : ピーク風力係数

E_r : 建築物の高さ方向の平均風速分布を表す係数(N/m²)

V_0 : 地域ごとの基準風速(m/s)

H : 建築物の高さ(m)

Z_G, α : 地表面粗度区分に応じた数値

最も厳しい条件として鹿児島市を想定した基準風速 40m/s の地域で高さ 60m の建築物の場合、

$$E_r = 1.7(H/Z_G)^\alpha = 1.7 \times (60/550)^{0.27} \approx 0.935$$

$$q = 0.6E_r^2 \times V_0^2 = 0.6 \times 1.47^2 \times 40^2 \approx 848.3 \text{ N/m}^2$$

ピーク風力係数 C_f は、負圧のみを考える。直方体建築物の場合、隅角部が最大負圧となり、高さ 60m を超える部位は $C_f = -3.0$ となることから下記の通りとなる。

$$\text{【隅角部】} W = q \times C_f = 848.3 \times (-3.0) \approx -2,544.9 \text{ N/m}^2$$

耐風圧力は、本アンカー工法がコンクリート躯体に対するアンカーピンの引抜耐力 1,500N 以上を基準としていることから、隅角部の最大負圧に対して試算すると 2,544.9/1,500 \approx 1.7 となり、1 m² 当たりのアンカーピン必要本数は 2 本となる。

3.3.2.地震による面外荷重の検討

地震による面外荷重は、地震時の建物振動により生じるが、その大きさは建築物の地震応答特性により決定する。したがって、建築物ごとに求めなければならないが、都度検討外力を算出することは現実的でない。そこで極めて安全側の設定となるが屋上設置物などの設計方法を参考とし、水平外力を 1G とする。なお、対象建築物の構造設計図書を参考し、別途設定しても良い。

$${}_eF_h = \sum m \times G \quad \dots\dots(11)$$

${}_eF_h$: 単位面積あたりの地震時面外荷重(N/m²)

$\sum m$: 単位面積あたりのタイル仕上面総質量(kg/m²)

G : 重力加速度(9.8m/s²)

タイル仕上(接着層含む)の比重を 2.2、総厚さを 50 mm と想定し、試算すると以下の通りとなる。

$$\sum m = 2.2 \times 10^3 \times 50 / 1,000 = 110 \text{ Kg/m}^2$$

$${}_eF_h = \sum m \times 1G = 110 \times 9.8 \approx 1,078.0 \text{ N/m}^2$$

アンカーピン、目地モルタルの設計に用いる面外方向の外力は、上記の強風時と地震時それぞれの荷重を比較して大きい値を用いれば良いので、今回の場合は風圧力に対して面外荷重の検討をすれば良い。

4. 荷重伝達機構

本アンカー工法は、浮きタイルに加わる荷重が目地モルタルを介してアンカーピンで固定されたタイル(以下、固定タイル)まで流れたのち、アンカーピンを介して躯体に伝達するものである。固定タイルとアンカーピン間、アンカーピンと躯体間の応力伝達経路はシンプル

であるが、浮きタイルから固定タイルまでの荷重伝達経路は複雑である。しかしこの工法では、目地モルタルが健全であることを前提していることから、固定タイル周辺の目地モルタルに流れる荷重を想定し、目地モルタルの圧縮強度と比較することにより安全性が確認出来ることとなる。そこで面内荷重の流れと伝達機構を考察する。

4.1.面内荷重時

面内荷重の応力伝達機構の詳細な検討は、図5に示すような50角タイルの補修面状態(1㎡当たりアンカーピン9本)で検討する。図中、着色したものが固定タイルを示している。目地モルタルとタイル間は、せん断力(面内、面外)と面内圧縮力のみを伝達出来るものとする。したがって、中央部の固定タイル(オレンジ色)は、破線で囲われた範囲の荷重を負担することになる。

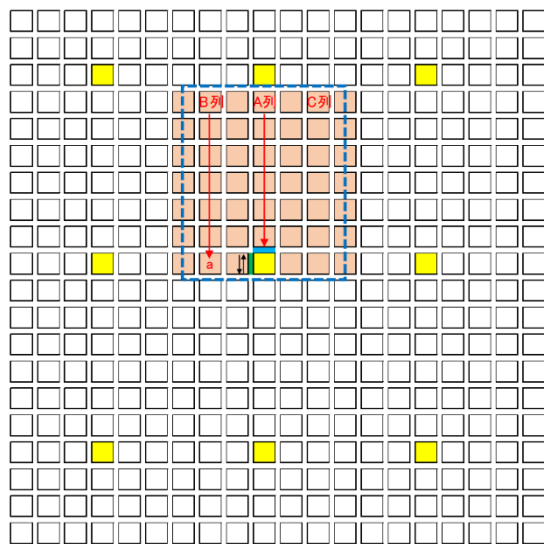


図5 アンカーピンによる面内荷重負担概要

負担範囲中、固定タイル直上の浮きタイル荷重は直下の目地モルタルの面内圧縮抵抗により固定タイルに伝達されるものとする(A列)。したがって、上部タイルの累加荷重(この場合、50角タイル6枚分)に対して青色で表示した目地モルタルの圧縮強度が上回れば良いこととなる。両サイドの浮きタイル(B、C列)は、aタイルまでA列と同様に荷重が流れ、Aタイルと固定タイル間の目地部せん断(面内せん断)により最終伝達されるものとする。したがって、緑色で表示した目地モルタルのせん断耐力と目地モルタルータイル界面の面内せん断耐力が、B列の累加荷重(この場合50角タイル21枚分)を上回れば良いこととなる。

単位面積あたりの面内荷重は、タイル仕上(接着層含む)の比重を2.2、総厚さを本工法の最大適用範囲50mmと想定し、補修面B列の累加荷重は50角タイル21枚分(目地を含む)として試算すると以下の通りとなる。

$$\begin{aligned} \Sigma m &= 2.2 \times 10^3 \times 50 / 1,000 = 110 \text{kg/m}^2 \\ 110 \times (0.05 \times 0.05 \times 21) \times 9.8 &\approx 56.6 \text{N} \end{aligned}$$

目地部の単位長さあたりのせん断強さを2.0N/mmとし、既存がタイル仕上層を想定した場合、鉛直荷重を負担する目地長さ(図5の緑色部分)は45mmなので、目地部のせん断最大耐力は以下の通りとなる。

$$f_{\text{joint}} = q \times L = 2.0 \times 45 = 90 \text{N}$$

累加荷重56.6Nと比較すると約1.6倍の余裕度がある。また、一般的に目地モルタルの圧縮強度は充分に大きいので青色部分の検討は省略して問題ない。

5. まとめ

3.2.面内荷重から、想定されるタイル仕上層の単位面積あたりの面内荷重 F_v は646.8N/㎡なので、2.4.タイル仕上層の保持力の算定の結果から保持面積 A は $360/646.8 \approx 0.56 \text{ m}^2$ となる。本工法は、基本的に1㎡あたりアンカーピン9本の施工なので、ピン1本が負担する面積から余裕度を計算すると以下の通りとなる。

$$\begin{aligned} A_{9\text{pin}} &= 1/9 \approx 0.11 \text{m}^2 \\ S_{9\text{pin}} &= A/A_{9\text{pin}} = 0.56/0.11 \approx 5.09 \end{aligned}$$

また、3.3.1.風圧による面外荷重の検討から、最も荷重が厳しくなる隅角部に生じる最大負圧は2,544.9N/㎡なので、2.4.タイル仕上層の保持力の算定の結果から想定される保持面積は $A = 360/2,544.9 \approx 0.14 \text{ m}^2$ となる。この場合、余裕度に余裕がないことが想定されることから1㎡あたりアンカーピン16本の施工として計算すると以下の通りとなる。

$$\begin{aligned} A_{16\text{pin}} &= 1/16 \approx 0.06 \text{m}^2 \\ S_{16\text{pin}} &= A/A_{16\text{pin}} = 0.14/0.06 \approx 2.33 \end{aligned}$$

以上の結果から、本工法は目地が十分に健全な状態であれば約2~5倍程度の余裕度を見越した補修として設定できることが確認できた。また、4.荷重伝達機構の結果から、単位面積あたりの面内荷重と目地部のせん断最大耐力を比較しても約1.6倍の余裕度が確認できたことから、施工前の試験結果から評価基準を満たしている場合、面内方向力と面外方向力による剥離・剥落のリスクは小さいと考えられる。

今後も継続的に実測結果のデータを蓄積し、耐久性や評価方法の検討を進めていく予定である。

*1 全国ビルリフォーム工事業協同組合
*2 東京都立大学 名誉教授
*3 東京理科大学 教授
*4 東京都立大学 准教授