

タイル剥落防止のための「ウェブフォーム工法」の性能評価

水 上 卓 也 小 川 晴 果

三 谷 一 房 福 田 一 夫
(大阪本店 生産技術部)

Evaluation of “Webform Method” for Prevention of Spalling of Tiles

Takuya Mizukami Haruka Ogawa

Hitofusa Mitani Kazuo Fukuda

Abstract

After building construction, separation and spalling of tiles becomes a problem. As a preventive measure, we developed the “Webform Method” to effectively prevent the spalling of tiles. This method provides a locking mechanism between the back of a tile and the concrete surface, by the casting of monolithic polymer cement soaked into non-woven fabrics. In addition to preventing the spalling of tiles, this method is expected to alleviate stress concentration on the contact layer and to prevent concrete from damages such as carbonation by the casting of monolithic polymer cement. Therefore, we confirmed the advantages of this method through performance tests.

概 要

建築物の外壁でタイル張り仕上げの剥離・剥落の危険性が問題となっている。その防止策として、予めコンクリート躯体の表面にポリマーセメントを含浸コーティングした繊維シートを打込み、タイル裏面にメカニカルキーを付与することで、確実な剥落防止性が期待できる「ウェブフォーム工法」を開発した。本報では、タイルの剥落防止性に加え、躯体表面に埋込んだポリマーセメント層による接着界面の応力集中の緩和や、劣化因子の侵入を防ぐ躯体の表面保護効果など、本工法に期待されるメリットについて性能試験を行った。

1. はじめに

建築物の外壁の仕上げ材として広く使用されているタイルは、表面から受ける日射や雨により温度や含水率の変化を繰り返すことで、付着劣化を生じ、剥離・剥落といった人命に関わる第三者災害の危険性を抱えていることから、その防止策が研究されている。この付着劣化現象は、主として躯体コンクリートと下地モルタルの界面で起こり易いため、大林組ではこの界面剥離が発生しても剥落させない技術として、大林組標準工法である「ループボンド・タフバインダー工法」や、立体繊維シートを用いた「インターネット工法」、「ベースネット工法」を開発している^{1), 2)}。しかし、近年、これらのタイル剥落防止工法に対しても更なるコストダウン・工期の短縮が求められてきている。そこで、予め型枠に特殊な加工を施した繊維シート（以下ウェブフォーム）を取付け、コンクリート表面に繊維シート状のタイル下地を形成し、この繊維シート面にタイルを直張りする「ウェブフォーム工法」を開発した。この工法は、原則下地モルタルは施工しないことから、左官下地工事に要する工期、コストが削減されるとともに剥離界面（下地モルタルとタイル張付けモルタル）の減少による剥落安全性の向上が期待できる。本報では、タイルの剥落防止効果に加えて、

コンクリート面に埋込んだウェブフォームにより、モルタルとの接着界面への応力集中を緩和する効果や、二酸化炭素などの劣化因子の侵入を防ぐといった躯体表面の保護効果について、本工法に期待されるメリットを各種性能試験により検証を行った。

2. ウェブフォーム工法の概要

2.1 ウェブフォームの概要

ウェブフォームは、Photo 1 および Fig.1 に示すようにスパンボンド基布にビニロン繊維をニードルパンチ加工した繊維シートの片面に、アクリル系ポリマーセメントを含浸コーティングした特殊繊維シートである。Table 1 にウェブフォームの仕様を示す。

2.2 ウェブフォーム工法の施工手順

Fig.2 に示すようにウェブフォームを、タッカーなどを用いて合板型枠に取付けて建込み、コンクリートを打設する。脱型後はポリマーセメント含浸コーティング面がコンクリート躯体に埋込まれ、ビニロン繊維面がタイル下地層となる。この下地層にタイル直張りを行うことで、タイル張付けモルタルとコンクリート躯体がビニロン繊維で連結され、タイル張り層に浮きが生じて剥落を防

止することができる。

3. ウェブフォーム工法の性能評価試験

3.1 試験の目的

性能評価試験では、ウェブフォーム工法の経年劣化に対するタイルの接着耐久性や面外変形に対するタイルの剥落防止効果について検証を行った。加えて、乾燥収縮などにより下地コンクリートに発生するひび割れに対する追従性、下地コンクリートと一体化したウェブフォームのポリマーセメント層の躯体表面の保護効果といった本工法に期待されるメリットについて検証を行った。Table 2 に試験項目を示す。

3.2 試験の計画

3.2.1 使用材料

(1) **下地コンクリート** 本試験で使用したコンクリートの調合を Table 3 に示す。下地コンクリートの形状および養生期間は、それぞれの試験項目によって異なるため、個々に説明する。

(2) **ウェブフォーム** 型枠に打ち込むための繊維材料としてウェブフォームを用いた。

(3) **吸水調整材** 吸水調整材は、日本建築仕上学会規格 M-101 「セメントモルタル塗り用吸水調整材の品質基準」に適合するエチレン酢酸ビニル共重合樹脂系エマルジョン (EVA 系ポリマーディスパージョン) を使用した。

(4) **タイル張付け材料** タイル張付けモルタルは、JIS A 6916 「建築用下地調整塗材」に規定する「試験用タイル張付け用モルタルの品質」に適合する既調合ポリマーセメントモルタルを用いた。

(5) **磁器質タイル** タイルは、JIS A 5209 「陶磁器

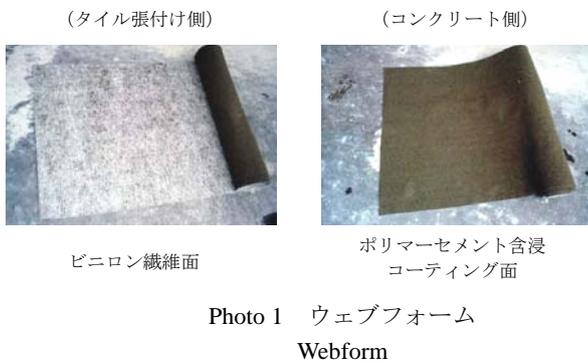


Photo 1 ウェブフォーム Webform



Fig.1 ウェブフォームの断面構成
Cross Section of Webform

Table 1 ウェブフォームの仕様
Specification of Webform

材質	アクリル樹脂系ポリマーセメント含浸ビニロン繊維不織布
目付	575g/m ²
見掛け厚み	3.0mm
荷姿	18m ² /巻 幅0.6m×長さ30m

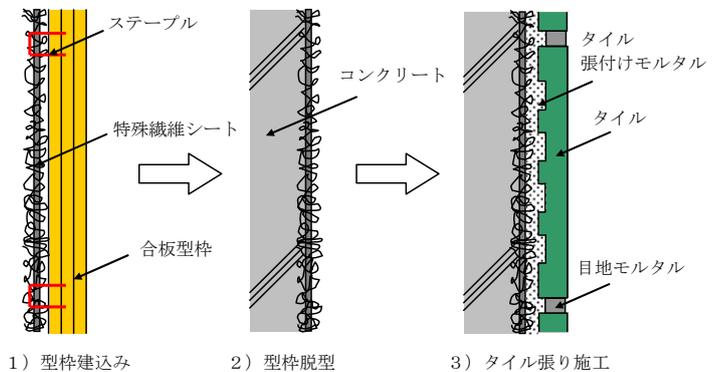


Fig.2 ウェブフォーム工法の概要
Outline of Webform Method

Table 2 試験項目および方法
Test Items and Method

試験項目	試験方法 (関連規格)
接着耐久性	熱冷繰返し抵抗性試験 (日本建築仕上学会規格M-101)
タイル剥落防止性	押抜きせん断試験 (日本道路公団規格JHS-424)
ひび割れ追従性	拘束型枠を用いたひび割れ追従性試験 (JIS A 1151)
中性化に対する抵抗性	促進中性化試験 (JIS A 1153)

Table 3 コンクリートの調合
Mix Proportion of Concrete

設計基準強度 (N/mm ²)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					材齢28日 圧縮強度 (N/mm ²)
			水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤	
27	54.2	43.6	167	308	786	1053	3.08	36.1

Table 4 試験体の仕様
Specification of Specimens

工法名称	ウェブフォーム工法	在来直張り工法
下地処理	ウェブフォーム	コンクリート素地+ カップサンダー掛け
吸水調整材	なし	EVA系ポリマーディスページョン5倍希釈液
張付け材	既調合モルタル	
タイル	磁器質50二丁モザイクタイル	
目地材	既調合目地モルタル	

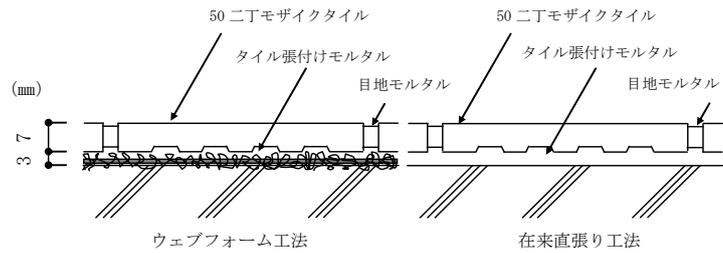


Fig.3 試験体の断面構成
Cross Section of Specimens



Photo 2 赤外線ランプ照射状況
Irradiation of Infrared Lamp



Photo 3 散水状況
Sprinkling Water



Photo 4 接着強度試験状況
Situation of Adhesive Durability Test

質タイル」に適合する 50 二丁モザイクタイルユニットを用いた。

(6) **タイル目地材** タイル目地材は、既調合タイル用目地材を用いた。

3.2.2 試験体の仕様 本試験では、ウェブフォーム工法と、比較対象として在来のコンクリート素地面へタイルを直張りする工法（以下在来直張り工法と略称）の2つの仕様について試験体を作製した。なお、コンクリート素地面については、タイル張付けモルタルを施工する前に、下地処理としてカップサンダーによりコンクリート表面の目粗し処理を行った後に、水洗いを行い、表面に付着した粉塵を除去した。Table 4 に試験体の仕様を、Fig.3 にそれぞれの試験体の断面構成を示す。

3.2.3 接着耐久性に関する試験

(1) **試験体の作製** 試験体の形状は、300×300×厚さ 60 mm とした。コンクリート打設後、温度 20±5℃の室内で、7 日間養生した後に型枠を脱型し、室内で 21 日間の気中養生を行った。その後、磁器質 50 二丁モザイクタイルを張付けた後、さらに温度 20±5℃の環境下にて 28 日間養生した。

(2) 試験方法

a) 熱冷繰返し抵抗性試験

試験は、大林組独自の外壁耐久性試験装置を用いて、Photo 2 および Photo 3 に示すように試験体表面に赤外線ランプを 50 分間照射し（試験体の表面の最高温度は約 70℃）、その後 10 分間散水することを 1 サイクルとして

300 サイクル、600 サイクルまで繰り返した。

b) 接着強度試験

接着強度試験は、初期値、300 サイクル終了後および 600 サイクル終了後の試験体に対して、打診検査により浮きの有無を確認した後、それぞれコンクリート下表面に達するまで目地部をカッティングし、50 二丁モザイクタイル用の鋼製アタッチメントを貼り付け、Photo 4 に示す日本建築仕上学会認定接着力試験機により行った。試験は 1 体あたり 3 箇所とした。

3.2.4 タイル剥落防止性に関する試験

(1) **試験体の作製** 試験体の形状は、500×400×厚さ 100 mm とし、コンクリート打設後、温度 20±5℃の室内で、7 日間養生した後に型枠を脱型し、さらに室内で 21 日間の気中養生を行った。なお、予め試験体の中央部をφ100 mmの形状でコンクリート用コアカッターによりコアカットした。コアカット方向は裏面（タイル張付け面の反対面）より 95 mm±0.5 mmの深さとした。磁器質 50 二丁モザイクタイルを張付けた後、温度 20±2℃、相対湿度 65%の環境下にて 14 日間養生した。

(2) **試験の方法** 試験は、日本道路公団規格 JHS-424 「はく落防止の押抜き試験方法」に準じて、Fig.4 に示すように試験体をスパン 450 mm で H 鋼上にガタがないようにセットし、コア中央部に対して鉛直かつ均等に荷重をかけた。荷重は初期ピーク値まで 1 mm/min の速度で、その後は荷重速度を 5 mm/min とし、試験を行った。

なお、タイルが剥落した時点で試験終了とし、最大 50

mmの変位までの剥落防止性能を確認した。また、試験体数は2体ずつとした。

3.2.5 乾燥収縮ひび割れに対する追従性に関する試験

(1) 試験体の作製 JISA 1151「拘束されたコンクリートの乾燥収縮ひび割れ試験方法」に準じて作製したコンクリート試験体にひび割れが早期に発生するように、Fig.5に示すように中央部に塩ビ管(φ10×100mm)を配した。この型枠にコンクリートを打設し、材齢1日で型枠を脱型した後、直ちにタイル張り施工を行った。

(2) 試験方法 タイル施工の翌日にひずみゲージを下地コンクリート面に2箇所、中央のタイル表面に1箇所貼付け、それぞれのひずみの経時変化を測定した。なお、試験体の乾燥条件は温度20±2℃、相対湿度60±5%とし、試験体数は2体ずつとした。

3.2.6 耐中性化に関する試験

(1) 試験体の作製 試験体の形状は、100×100×400mmとした。コンクリート打設7日後に脱型し、温度20±5℃の室内で21日間養生した。その後、型枠両側面を除く四面をエポキシ樹脂で被覆した。試験面である側面以外からの中性化の進行は樹脂被覆で抑えた。なお、

本試験では躯体表面の保護効果を確認するため、タイル張りを行わず、ウェブフォーム面とコンクリート素地面について比較検討を行った。

(2) 試験方法 試験は、JISA 1153「コンクリートの促進中性化試験方法」に準拠し、温度20±2℃、相対湿度60±5%、二酸化炭素濃度5±0.2%の中性化試験槽にて行った。中性化深さの測定は、1、4、8、13および26週経過後の計5回行った。Fig.6に示した位置で試験体を順次割裂した。その後、測定面に対してJIS K 8001の4.4(指示薬)に規定するフェノールフタレイン溶液を噴霧器で液が滴らない程度に噴霧した。

中性化深さは、コンクリート素地面(ウェブフォーム面)から試薬の噴霧によって赤紫色に呈色した部分までの距離を0.5mmの単位で測定した。Photo 5に示すように中性化深さを10箇所測定し、その平均値を中性化深さとして算出した。

3.3 試験の結果および考察

3.3.1 接着耐久性に関する試験結果 試験結果をTable 5に示す。また、Fig.7に熱冷繰返し後の接着強度

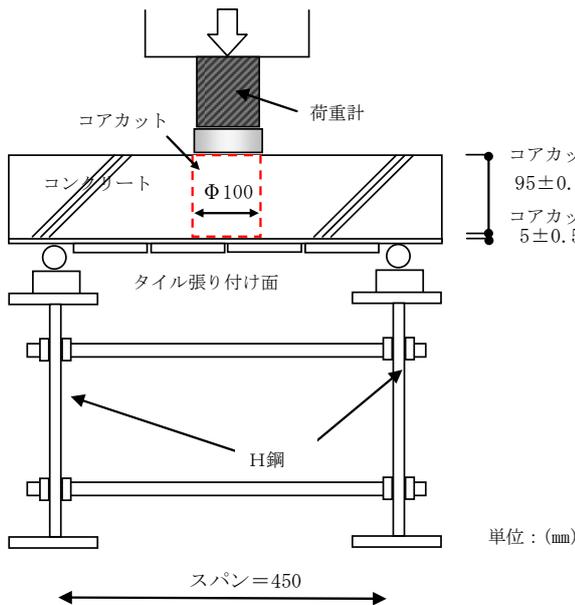


Fig. 4 押抜きせん断試験

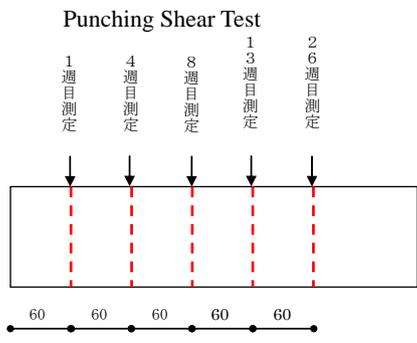


Fig.6 試験体の割裂手順
Process of splitting Specimen

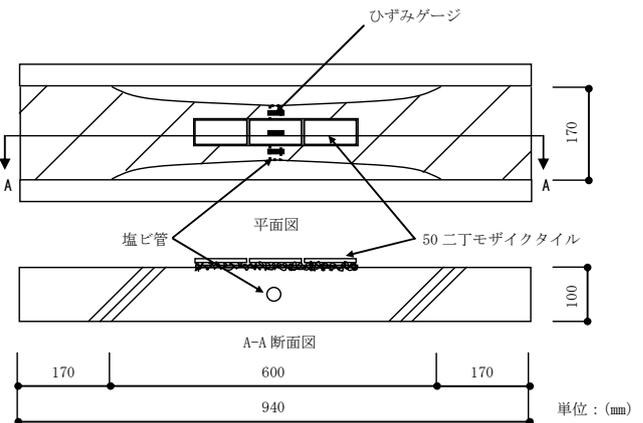


Fig.5 拘束による乾燥収縮ひび割れ試験体
Specimen of Drying Shrinkage

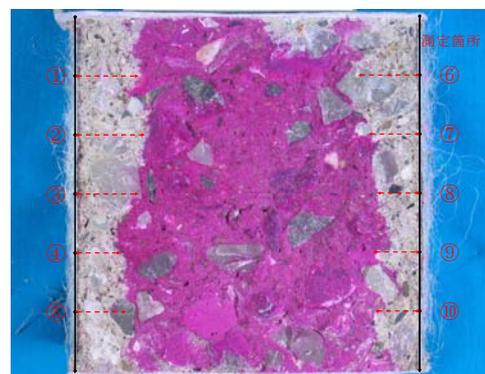


Photo 5 中性化深さ測定位置
(ウェブフォーム打込み面の例)
Points of Measuring Depth of Carbonation

の経時変化を示す。接着強度は、いずれの試験体も 0.4 N/mm² 以上であった。ウェブフォーム工法では、在来直張り工法と比べて、接着強度は低くなった。

破壊状態については、ウェブフォーム工法では、全ての試験体において Photo 6 に示すような、タイル裏面とウェブフォームの繊維層とのタイルの面外方向への連結効果が確認された。一方、在来直張り工法では、初期値では下地コンクリートの凝集破断であったが、熱冷繰返し 300 サイクル、600 サイクル経過後の試験体では、タイル裏あしと張付けモルタル層での界面破断が見られた。

3.3.2 タイル剥落防止性に関する試験結果 押抜きせん断試験の荷重と面外方向への押抜き深さの関係を Fig.8 に示す。在来直張り工法の試験体の場合、荷重はピーク後に急激に低下し、変位 10 mm でタイルが剥落した。一方、ウェブフォーム工法の試験体では、ピーク経過後も荷重はゆるやかに低下し、変位 40 mm でタイルが剥落した。タイルが剥落するまでの間、Photo 7 および 8 に示すように、ウェブフォーム工法の試験体ではタイル面が面

外方向へ押出されてもウェブフォーム層内の繊維がタイルと連結した状態を保持しており、タイルの剥落防止性能を確認した。

3.3.3 乾燥収縮ひび割れに対する追従性に関する試験結果 各試験体の中央部に貼付けたひずみゲージの経時変化について、タイル表面ひずみと下地コンクリート表面ひずみの関係を Fig.9 に示す。

タイル直張り工法では、乾燥収縮によって発生する応力集中に伴って、下地コンクリート表面のひずみが増加するとともにタイル表面のひずみも増加し、コンクリートのひび割れ発生と同時にタイルにもひび割れが発生した。一方、ウェブフォーム工法では、下地コンクリート表面のひずみが増加してもタイル表面のひずみは抑制されていた。また、ウェブフォーム工法では下地コンクリートに最大 0.2 mm 程度のひび割れが発生してもタイル表面にひび割れは発生しなかった。これは下地コンクリートの乾燥収縮により発生したひずみをウェブフォームのポリマーセメント層が吸収し、タイルに発生するひずみ

Table 5 接着強度試験結果
Result of Adhesive Durability

下地処理	熱冷繰返し (サイクル)	接着強度 (N/mm ²)	破断位置の割合* (%)
ウェブフォーム打込み	0 (初期値)	1.03	C15, M72, M/T13
	300	1.29	C13, M87
	600	1.09	C3, M97
コンクリート素地 (カップサンダー掛け + 吸水調整材塗布)	0 (初期値)	2.25	C100
	300	2.33	C5, M77, M/T18
	600	2.24	C57, M27, M/T17

注) * C: 下地コンクリート, M: タイル張付けモルタル, 又はウェブフォーム繊維層, T: タイル, /: 界面



Photo 6 ウェブフォームの破断状況
Fracture Condition of Webform



Photo 7 押抜き試験状況
Situation of Punching Shear Test

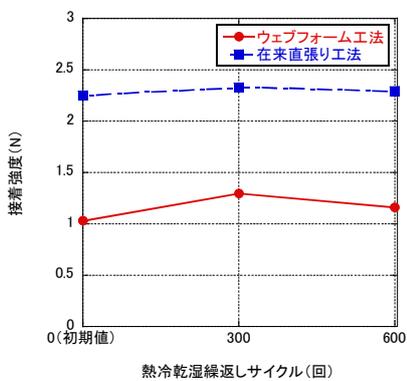


Fig.7 接着強度の経時変化
Deterioration of Adhesive Durability

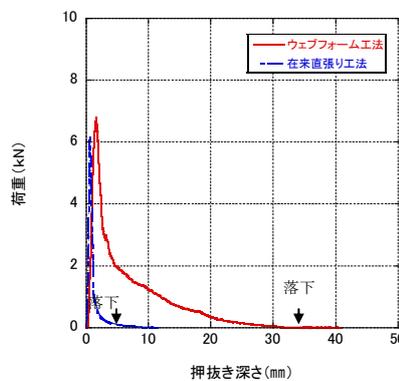


Fig.8 押抜きせん断試験結果
Result of Punching Shear Test



Photo 8 面外変形に対する剥落防止効果
Prevention from Spalling Tile with
Out-of-plane Deformation

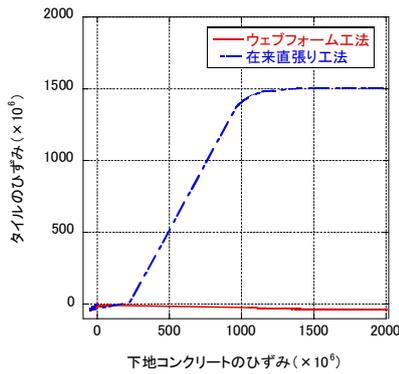


Fig.9 下地コンクリートひずみと
タイルのひずみの関係
Relationship between Concrete Strain
and Tile Strain

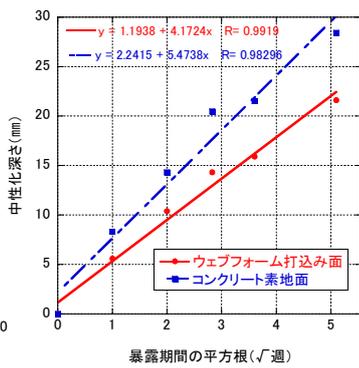


Fig.10 中性化深さの経時変化
Deterioration of Depth of Carbonation

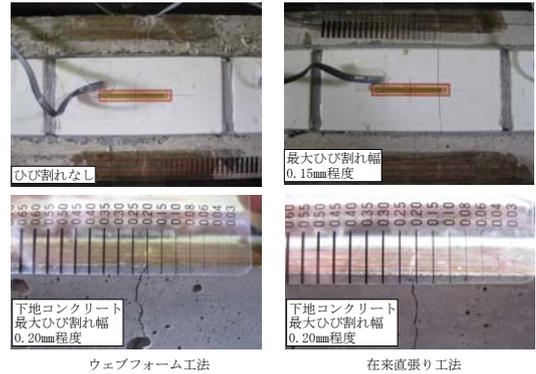


Photo 9 試験体のひび割れ状況
Situation of Crack on Specimens

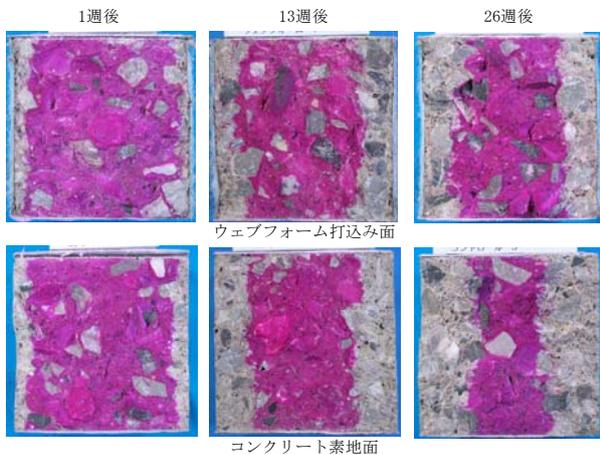


Photo 10 中性化深さの経時変化
Deterioration of Depth of Carbonation

を緩和したためと考えられる。以上より、ウェブフォーム工法は、コンクリートのひび割れ挙動に由来するタイルのひずみをウェブフォーム層により緩和できることを確認した。

3.3.4 耐中性化に関する試験結果 中性化深さの経時変化を Fig.10 および Photo 10 に示す。なお、回帰式は、最も一般的な中性化速度式である下式を用いた。

$$Y = A \times \sqrt{t}$$

ここで、Y は中性化深さ (mm)、t は暴露期間 (週)、A は中性化速度係数 (mm/√週) を表す。それぞれの試験体における試験期間の平方根と平均中性化試験深さの関係は、ほぼ線形的な関係であった。中性化促進試験 26 週経過後の中性化深さはコンクリート素地面で 28.4 mm、ウェブフォーム打込み面で 21.6 mm であった。この中性化促進試験条件において、ウェブフォーム打込み面は、コンクリート素地面と比べて中性化深さの進行速度を 24% 低減した。本工法の躯体表面は、打ち込んだウェブフォームの繊維シートの片面に含浸コーティングしたアクリ

ル系ポリマーセメント層によって被覆されており、このポリマーセメント層が二酸化炭素の侵入を妨げることで、中性化を抑制していると考えられる。

4. まとめ

本報では、新たに開発したタイル剥落防止工法「ウェブフォーム工法」に期待されるメリットを各種性能試験により検証した。以下にその結果をまとめる。

1) 熱冷繰返し抵抗性試験後もタイル接着強度の低下は見られず、良好な接着耐久性を有している。また、在来直張り工法と比べて接着強度は低いが、破断時にタイル裏面とウェブフォームの繊維層との連結効果が認められる。

2) 押抜きせん断試験のような面外変形に対しても、タイルとウェブフォームの繊維層の連結効果によるタイルの剥落防止効果を有している。

3) 下地コンクリートに最大 0.2 mm 程度の乾燥収縮ひび割れが発生しても、タイル表面にひび割れは発生せず、下地コンクリートのひび割れ挙動に由来するタイルのひずみをウェブフォーム層により緩和できることを確認した。

4) 中性化促進 26 週間経過後において、コンクリート素地面と比べて、中性化深さの進行速度を 24% 程度低減できることから、下地コンクリートの中性化抑制効果が期待される。

今後は、大林組の高品質のタイル剥落防止工法として、現場での実用化を推進する。

参考文献

- 1) 林好正他：外壁タイル張り施工法の開発に関する研究 (その 3)，大林組技術研究所報，No. 31，1985
- 2) 三谷一房他：湿式外装仕上げにおける剥落防止技術の開発，大林組技術研究所報，No. 57，1998