

湿式外装仕上げにおける剥落防止技術の開発

—— インターネット工法 ——

三 谷 一 房 林 好 正
川 地 武 中 根 淳

Development of Measures to Prevent Falling-off of Exterior Finishing by Wet Method

—— New Three-dimensional Knitted Fabric "Inter-Net" ——

Hitofusa Mitani Yoshimasa Hayashi
Takeshi Kawachi Sunao Nakane

Abstract

To prevent cement mortar or ceramic tile from falling off the exterior walls of buildings, it is important to increase the bond strength at the interface among materials of dissimilar nature composing the finish. Considering of the influence of construction methods or the environment, however, it is very difficult to prevent perfectly the loss of bond by the bond strength only. We proposed, a new application method utilizing a three-dimensional knitted fabric with loop pile fibers in two sides, and anchor pins. The method is based on two approaches of: 1) bonding by mechanical connection utilizing the fabric and 2) providing a fail-safe function by anchor pins. The three-dimensional knitted fabric and anchor pins prevent falling-off of the finishing layer, even if bonding is lost at the interface. This paper describes experiments on specimens assuming actual specification.

概 要

セメントモルタル塗りやタイル張りのような湿式仕上げにおける剥落防止対策は、主として異種材料の界面における接着強度を増強することが重要であると考えられてきた。しかしながら現状の施工技術や施工環境によるばらつきを考慮すると接着強度のみで剥離を完全に防止することは不可能である。そこで表裏にループパイルを持つ立体繊維材料とアンカーピンを利用した剥落防止技術の開発を行った。仕上げ層の剥落防止に対する本技術の基本的な考え方は、1) 立体繊維材料による面内・面外方向の機械的な接着、2) アンカーピンによるフェイルセーフ(fail-safe)機構である。すなわち仕上げ層の各界面に剥離が発生したとしても、立体繊維材料あるいはアンカーピンの連結効果により仕上げ層の剥落を防止することが可能となる。本報告では、実際の適用を考慮した各試験体を作製し仕上げ層の剥落防止性能を確認した。

1. はじめに

建築物を構成するビルディングエレメントにおいて、外壁は特に外的劣化要因による激しいアタックを受けるものの一つであり、その劣化防止対策は重要な課題である。このため外装仕上げは「美観」のみならず「躯体保護」という二つの機能を有し、建築物の耐久性能にも強く影響を及ぼすと考えられる。

近年、地球環境保全の観点からも建物の長寿命化が求められ、外装仕上げに対しても耐用年数の長い材料が好まれる傾向にある。陶磁器質タイルはその典型的なものであり、仕上げ層の耐用年数は鉄筋コンクリート躯体に要求されるそれとほぼ同等の可能性を有している。

ところが外壁にセメントモルタル塗りや陶磁器質タイル張りのような湿式工法による仕上げを施した場合、その剥離・剥落によって人命に与える危険性が非常に高い

ことが極めて重大な問題となっている。さらに先の兵庫県南部地震によって非構造部材に対してもその耐震性が厳しく問われており、剥離・剥落に対する安全性が再度見直されている。

特にタイル張り仕上げにおいては、施工法の改善・開発、タイル裏足の適正化、伸縮目地の配置など様々な対策が講じられ、タイル陶片自体の剥離は減少した。しかし外壁タイル施工面積の約97%が、施工技術や施工環境に影響を受け易い後張り工法で施工されるため、未だ剥離事故を完全に防止するには至っていない。

そこで湿式工法による外装仕上げにおける剥落防止技術の開発を目的として、表裏にループパイルを持つ立体繊維材料(インターネット)およびアンカーピンを利用した「インターネット工法」の開発を行った。インターネット工法は、新築・改修工事や現場・工場張りなど様々なケースにも適応できる。

2. 剥落防止技術の概要

2.1 剥離に関連する外力の発生原因

実際の建物において湿式仕上げ層の剥離は、コンクリート躯体と仕上げ層間あるいは仕上げ層内の各界面で局部的に見ることができる。剥離の発生は、各層相互間に生じる異なる挙動(ディファレンシャルムーブメント)が引き起こす内部応力と接着強度との均衡関係が主要因である²⁾。

Table 1に剥離発生に関連するムーブメントの分類を示す。外壁を構成する異種材料間の界面に生じる剥離は、Fig. 1に示すようにサーマルムーブメントおよびモイスタチャームーブメントが主な原因である。

2.2 剥落防止技術の現状

2.2.1 接着強度の問題点 すでに、2.1節で述べた剥離原因より、湿式仕上げの各層相互間の接着強度を高めることはその剥離防止に有効な手段であると考えられる。例えば馬場ら³⁾は、タイル仕上げにおける引張接着強度と剥離率との実験的な関係を層間変形角をパラメータとして示しているが、この中で接着強度が20kgf/cm²以上であれば層間変形角1/200でも剥離しないと報告している。しかしタイル工事を取り巻く現状の施工技術や施工環境による変動要因を考えると、特に後張り工法でこの接着強度を得るのは不可能である。

2.2.2 剥落防止技術の分類 Table 2はタイル後張り仕上げにおける代表的な剥落防止技術をその考え方に基いて定性的に評価を試みたものである。工法によって、剥落防止に対する基本的な考え方および剥落防止の対象となる界面の位置が異なっているが、傾向としては「機械的な接着」に主眼が置かれている。

そこで筆者らは、立体繊維材料とアンカーピンを利用した仕上げ層の剥落防止性に着眼し、工法提案(インターネット工法)を行い、その剥落防止性能を評価した。

Table 1 剥離に関連するムーブメントの分類
Classification of Movement Causing Loss of Bond

発生原因	影響	作用状態
外部起因の荷重 ・建物自重、積載荷重 ・過剰荷重	変形小 変形大	連続的・長期間 連続的・断続的
物理的变化 ・温度変化 ・含水率の変化 ・凍結、塩の結晶化	膨張・収縮 膨張・収縮 膨張	連続的・周期的 連続的・周期的 断続的・周期的
化学的变化 ・腐食 ・硫酸塩による腐食 ・炭酸化	膨張 膨張 収縮	連続的 連続的 連続的
地盤のムーブメント ・不同沈下 ・地震	沈下 沈下・振動	連続的 断続的

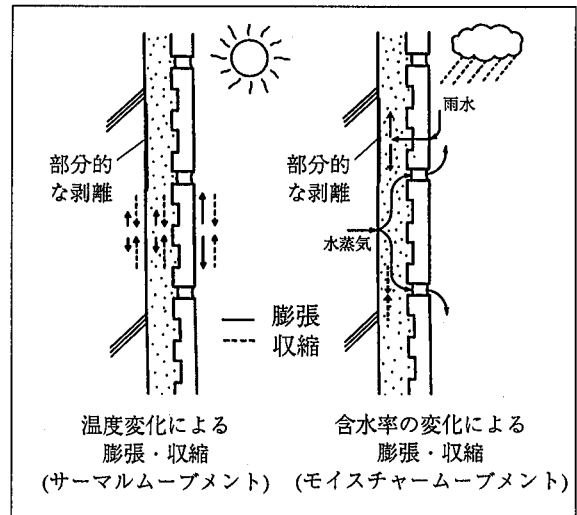


Fig. 1 剥離の主な原因
Principal Causes Responsible for Loss of Bond

Table 2 タイル後張り仕上げにおける剥落防止の考え方
Concept of Measures to Prevent Falling-off of Ceramic Wall Tiling

工法の種類	剥落防止に対する考え方				剥落防止の対象となる界面
	施工信頼性の向上**	機械的な接着	発生応力の低減	フェイルセーフ機構	
MCR*	—	○	—	—	コンクリート/下地モルタル
下地吹付け	○	—	—	—	コンクリート/下地モルタル
立体繊維材料張り	—	○	—	○	下地モルタル/張付けモルタル***
高圧水洗による下地処理	—	○	—	—	コンクリート/下地モルタル
有機系接着剤張り	—	—	○	—	コンクリート/タイル, 下地モルタル/タイル

○：主たる目的 —：目的対象ではない

*：コンクリート躯体表面に円筒状の凹凸を設ける工法

**：こて圧不足、材料品質のばらつき等による施工誤差の改善

***：アンカーピン併用の場合は、コンクリートと下地モルタルの界面も対象となる

3. インターネット工法の概要

3.1 工法の概要

インターネット工法は、タイル張りに代表される湿式仕上げの剥落事故の防止を目的としたものである。

タイル後張り仕上げの場合、一般的にはFig. 2に示す様に面精度確保のために不陸調整されたコンクリート面に立体繊維材料(インターネット)を前面ループパイルが露出するようにポリマーセメントモルタルで張り付け、1週間程度養生した後、その上にタイル張りを行う。なおタイル張り施工前に、インターネット層とコンクリート躯体を専用のアンカーピンで緊結する。

本工法の主な剥落防止機構は、以下の通りである。

- 1) 局所的な界面剥離が生じて、インターネットによる面内方向の連結効果により剥落を防止する。
- 2) インターネット両面に立毛したループパイルによる面外方向の連結効果により剥落を防止する。
- 3) 万が一全面的な界面剥離が生じたとしても、フェイルセーフ(fail-safe)機構としてアンカーピンの連結効果により剥落を防止する。

3.2 使用材料の概要

3.2.1 インターネット Photo 1にインターネットの外観を、Table 3にその性質を示す。基本的には、基布の表裏にループパイルを有することを特徴とする編物であり、トリコット機で連続繊維を前後左右に絡ませながら、たて編みで製造される。

材質はポリプロピレンやナイロン等、耐アルカリ性を有し伸びの大きい繊維が使用される。ループパイルの高さは約2.5mmである。

3.2.2 張付け材料 基本的にはポリマーセメントモルタルを使用する。Table 4に「JIS A 6916 仕上塗材用下地調整材」に準じて試験した基礎的性質を示す。

3.2.3 アンカーピン Table 5にアンカーピンの材質および形状を示す。標準的には、1次アンカー(打ち込み式)と2次アンカー(スクリューネジおよび特殊フランジ)から構成される。Table 6に各アンカーの耐力を示す。

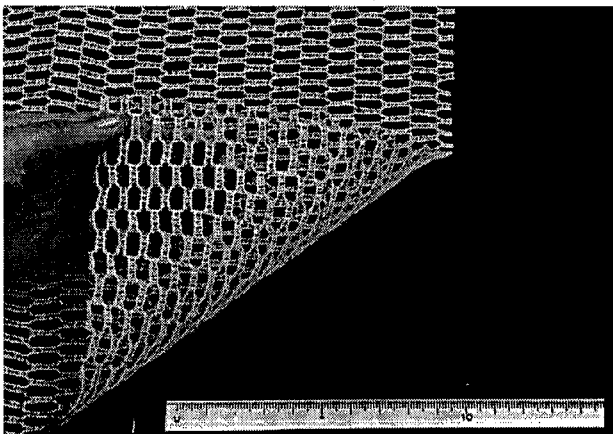


Photo 1 インターネットの外観
Appearance of "Inter-Net"

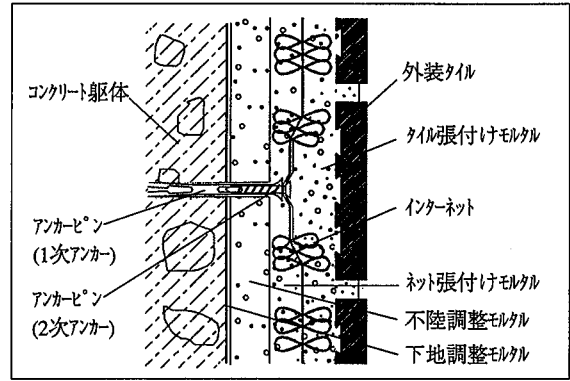


Fig. 2 タイル後張り仕上げの断面構成
Basic Cross Section of the Proposed Method

Table 3 インターネットの性質
Properties of "Inter-Net"

ネットの用途	方向	引張強さ* (kgf/5cm)	伸び率* (%)	引裂強さ** (kgf)	破裂強さ*** (kgf)	重量 (g/m ²)	太さ (Td)
新築用	タテ	35.1	45.7	4.8	22.6	119	200
	ヨコ	11.1	66.4	4.5			
改修用	タテ	55.6	57.7	12.1	60.7	175	200
	ヨコ	54.4	35.8	13.6			
PCa用	タテ	31.2	61.0	5.9	21.7	141	280
	ヨコ	11.7	58.2	4.2			
FRP用	タテ	32.3	43.5	4.5	22	128	280
	ヨコ	11.1	69.1	4.2			

* JIS L1018 カットストリップ法, ** JIS L 1018 シンクメソッド法, *** JIS L1018 B法

Table 4 ポリマーセメントモルタルの性質
Properties of Polymer Cement Mortar

性質	材齢(日)	アクリル系ホリマー	SBR系ホリマー
曲げ強度(kgf/cm ²)	28	63.7	66.9
圧縮強度(kgf/cm ²)	28	305.5	316.8
付着強度(kgf/cm ²)	28	17.9	24.6
長さ変化(%)	28	-0.09	-0.09
耐ひび割れ性	7	ひび割れなし	ひび割れなし
吸水量(g)	8	1.26	1.24

Table 5 アンカーピンの材質および寸法
Quality and Size of Anchor Pin

名称	材質	寸法(mm)
1次アンカー	SUS304	φ6×50,70,100
2次アンカー	スクリューネジ	SUS410 φ4×30
	特殊フランジ	SUS304 φ30×t0.5

Table 6 アンカーピンの耐力
Strength of Anchor Pin

試験項目	耐力	備考
1次アンカーのコンクリート躯体に対する引抜き耐力	171kgf (破壊荷重)	コンクリートの圧縮強度221kgf/cm ² ピンの埋込み長さ20mm
2次アンカーの仕上げ層に対する引抜き耐力	566kgf (破壊荷重)	下地モルタルの厚さ25mm モルタルの圧縮強度512kgf/cm ²
1次アンカーの許容せん断耐力	短期: 100kgf 長期: 66kgf	弾性範囲の限界を 短期許容耐力とする

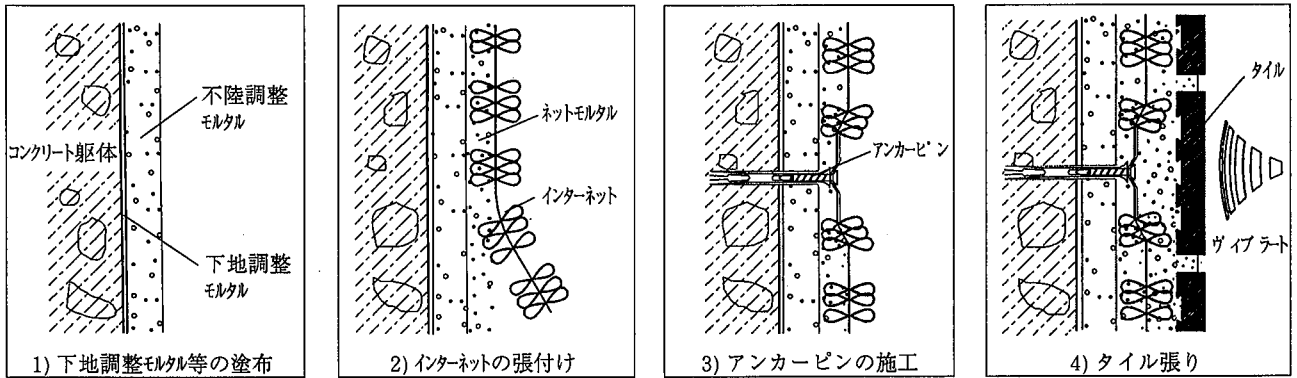


Fig. 3 インターネット工法による施工方法
Execution Procedure Utilizing "Inter-Net"

3.3 施工方法

タイル後張り仕上げの場合、インターネット工法の施工方法の概要はFig. 3の通りである。

1) 適切な下地処理(サンダー処理やプライマー等)を施したコンクリート躯体面に下地調整モルタルを2mm程度吹き付け施工し、2日以上養生した後、必要に応じ不陸調整モルタルを吹き付け施工する。

2) さらに2日以上養生した後、ネットモルタルを3mm程度こて塗りし、フレッシュな状態のうちにインターネットを張付ける。インターネットの上からもモルタルを塗布し、ループパイルの目が露出する様にモルタルをはねる。

3) モルタルが硬化した後、4本/m²を標準として専用のアンカーピンを打ち込む。なおコンクリートに対する埋め込み深さは20mm以上とする。

4) モルタルを7日以上養生した後、タイル張りは改良マスク張りあるいは改良圧着張りで行い、振動工具(ヴィブラート)を使用する。

4. 実用化のための性能試験

4.1 タイル後張り工法の場合

4.1.1 インターネットによる剥落防止に関する検討

(1) 目的 新築および改修時のタイル後張り、即ちモルタル下地とタイル張付けモルタルの界面にインターネット(以下、ネットという)が介在した場合を想定し、接着挙動の確認を目的として実験を行った。

(2) 実験概要 寸法300×300×50mmのモルタル平板(水セメント比65%、砂セメント比2.0)を下地として、ネット張り施工を行いモルタル仕上げとした試験体を作製し、7日間気中養生(20±2℃、60%R.H.)した。その後試験体を、水中(室温)に16時間全面浸漬した後80℃の乾燥機中で8時間乾燥することを1サイクルとして10サイクル繰返した後、引張接着強度試験を行い接着強度を求めた。なお試験体個数は9個とした。

下地モルタルの表面仕上げは新築時を想定したモルタル仕上げ、また改修時を想定した塗材(JIS A 6909)仕上げE(トップコート:アクリル樹脂エナメル)・RE(トップコート:ウレタン樹脂エナメル)、および陶磁器質タイル(JIS A 5209、45二丁施釉タイル)仕上げとした。

Table 7 引張接着強度試験の結果
Results of Bond Strength Test

下地の種類	サイクル数	接着強度の 平均値 (kgf/cm ²)	標準偏差 (kgf/cm ²)	主な破断位置
モルタル	0	23.4	3.93	下地モルタルの凝集
	10	18.4	3.46	ネット界面
E	0	10.6	1.83	Eの凝集
	10	13.0	2.71	下地モルタル/E界面
RE	0	24.2	2.29	REの凝集
	10	22.2	1.89	REの凝集
タイル	0	5.1	1.00	タイル裏足
	10	22.8	4.18	ネット界面

(3) 実験結果 Table 7に各試験体の接着強度を示す。試験体によって破断位置は異なるが、接着強度はいずれもモルタルの接着強度の基準値である4kgf/cm²を満たしていた。冷熱・乾湿繰返し後も接着強度は大きく低下することなく、ネット界面においても良好な接着耐久性を確認することができた。

Fig. 4にネット界面で破断した場合の引張応力と変位の関係の代表例を示す。荷重の増大に伴って、まずネットの基布部分で接着破壊(これを一次破断と呼ぶ)を生じる。この時Photo 2に示す様に、面外方向のループパイルは両側のモルタルと連結している。その後変位の増加に伴い、ループパイルの破断や基布から引抜けを生じつつも、その連結効果のみである程度の応力を保持する現象が認められ、最大でおおよそ5~7kgf/cm²(これを二次破断と呼ぶ)を示した。

二次破断時において、モルタル界面では6~7mmの変位を生じているが、強度はモルタルの接着強度の基準値(4kgf/cm²)を満足している。剥落防止性能を界面の接着強度のみで評価するのではなく、界面の過大な変形に対する追従性を考慮し評価することによって、ネットの剥落防止効果を定量的に確認することができた。

4.1.2 アンカーピンによる剥落防止に関する検討

(1) 目的 アンカーピンはコンクリート下地と仕上げ層との界面で完全に剥離した状態で機能する。

ここでは建物高さ30m、仕上げ層の厚み50mm(比重2.0)、水平震度1.0、鉛直震度0.5を設定し、アンカーピンによる剥落防止効果を検討する。

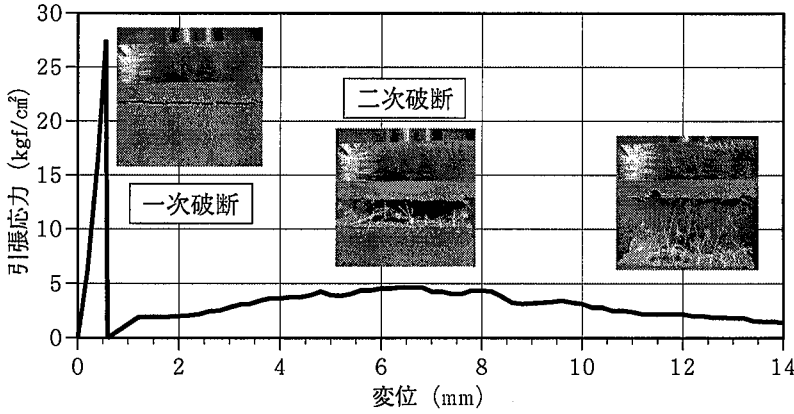


Fig. 4 引張応力と変位の関係
Relationship between Tensile Stress and Displacement

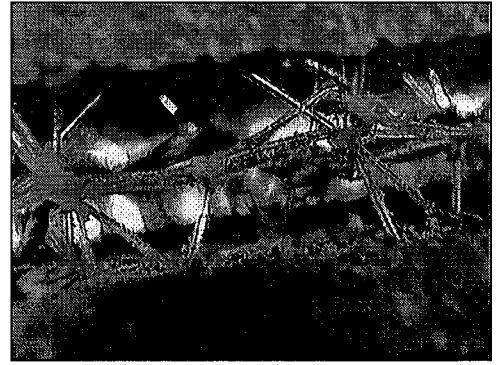


Photo 2 破壊界面部分の拡大
Magnification of Interface

(2) コンクリートに対する引抜き耐力 コンクリート中に定着されたメカニカルアンカーボルトの引抜き耐力 T_a に関する既往の算定式⁴⁾を適用すると、設計基準強度 $F_c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ 、1次アンカーの埋め込み深さ $l = 2.0 \text{ cm}$ の場合、 $T_a = 177.6 \text{ kgf}$ となる。この値は実験から得られた Table 6 に示す耐力とほぼ一致している。一方、考慮すべき最大外力は風圧力 $P = 140 \text{ kgf/m}^2$ であるから1次アンカーを4本/ m^2 打込むとすると、35kgf/本の外力を負担することになる。したがって、1次アンカーのコンクリートに対する引抜き耐力は十分な安全性を確保することができると考えられる。

(3) 仕上げ層に対する引抜き耐力 2次アンカーの仕上げ層に対する引抜き耐力はTable 6の実験結果より566kgf/本である。考慮すべき最大外力は先と同様に風圧力 $P = 140 \text{ kgf/m}^2$ であるから、アンカーピンを4本/ m^2 打込むとすると35kgf/本の外力を負担することになり、2次アンカーの仕上げ層に対する引抜き耐力は十分な安全性を確保することができると考えられる。

(4) せん断耐力 アンカーピンのせん断耐力に関し考慮すべき最大外力は鉛直地震力+仕上げ層の自重=150 kgf/ m^2 である。アンカーピンを4本/ m^2 打ち込むとすると、37.5kgf/本の外力を負担することになる。1次アンカーの許容せん断耐力はTable 6より、短期100kgf/本、長期66kgf/本であることから、アンカーピンは十分な安全性を確保することができると考えられる。

4.2 その他の工法の場合

4.2.1 タイル先付けPC工法に関する検討

(1) 目的 タイル張り工法のなかでタイル先付PC工法がタイルの剥落を防止する上で最も好ましいとされている。この工法では一般的にコンクリート面をそのまま目地仕上げとするため目地材は用いられないが、意匠上目地に色を付ける場合は、敷モルタル工法が用いられる。敷モルタル工法では後張り工法と同様に敷モルタルとコンクリートとの界面での剥離が懸念されている。

そこでFig. 5に示す様に、界面にネットを介させた場合の接着性能の把握を目的として実験を行った。

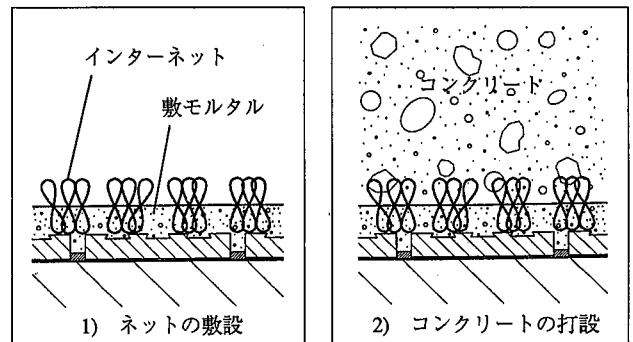


Fig. 5 ネットを介させたPC版の製造方法
Manufacturing Precast Concrete Panel installed "Inter-Net"

Table 8 引張接着強度試験の結果
Results of Bond Strength Test

冷熱乾湿 サイクル数	普通モルタル (kgf/cm ²)		ポリマーセメントモルタル (kgf/cm ²)	
	ネット無	ネット有	ネット無	ネット有
0	23.5	29.0	35.6	30.0
	モルタル/コンクリート界面	インターネット (6.5)	コンクリート凝集	インターネット (6.3)
100	27.1	18.8	36.0	22.2
	モルタル/コンクリート界面	インターネット (6.8)	コンクリート凝集	インターネット (6.1)
200	20.6	22.9	34.0	25.7
	モルタル/コンクリート界面	インターネット (5.8)	コンクリート凝集	インターネット (5.9)

注) 上段：一次破断強度の平均値 下段：破断位置、カッコ内は二次破断強度の平均値

(2) 実験概要 型枠面に直接敷モルタルを5mmの厚さで流し込み、フレッシュな状態のうちにネットを敷設し、翌日まで気中養生した後、厚さ100mmの軽量1種コンクリートを打設して試験体を作製した。敷モルタルは、普通モルタル(水セメント比50%、砂セメント比2.0)およびセルフレベリング性の高いアクリル系ポリマーセメントモルタル(水セメント比50%、砂セメント比2.0、ポリマーセメント比5.0%)の2種類とした。

試験体は材齢4週まで気中養生した後、15分間散水(室温)し、その後105分間赤外線ランプを照射(モルタル表面の最高温度80℃)することを1サイクルとする冷熱・乾湿繰返し試験に供した。引張接着強度試験は0、100および200サイクル終了時に行った。なお試験体個数は各3個とした。

(3) 実験結果 Table 8に各試験体の接着強度および破断位置を示す。ネットが介在しない場合、普通モルタルではいずれも界面の接着破壊であったが、ポリマーセメントモルタルではコンクリートの凝集破壊を示し接着強度は著しく向上した。またサイクル数の増加に伴う強度低下は、今回の実験ではあまり認められなかった。

ネットを介在させた場合は、必ずしも界面の接着強度は増大するとは言えず、その特徴は破断位置がすべてネット面であり、二次破断(平均値で6.2kgf/cm²)を生じることであった。ネットの役割は、界面の接着強度の増強であることよりも、効果的な界面破断による剥落防止機能であると言える。

4.2.2 保護モルタル被覆工法に関する検討

(1) 目的 耐震改修において、RC構造部材にエポキシ樹脂を含浸させながら炭素繊維シート等を巻き付けFRP補強層を形成する耐震補強工法が注目されている。施工後、FRPの保護や意匠的な理由から、20mm厚程度の保護モルタルやタイル張りが施されることがあるが、FRPの硬化後では、界面での接着一体化が問題となる。

そこでFRPとモルタルとの界面にネットを介在させ、その接着性能の把握を目的として引張接着強度試験を行った⁵⁾。

(2) 実験概要 試験体の作製は、コンクリート平板(300×300×60mm)を下地として、所定の施工要領に準じFRPの施工を行い、追いかけて増粘したエポキシ樹脂を1mm程度塗り付けネット張りを行った。その後1週間養生し、普通モルタル(水セメント比40%, 砂セメント比2.0)あるいはアクリル系ポリマーセメントモルタル(水セメント比40%, 砂セメント比2.0, ポリマーセメント比5.0%)を厚さ10mm塗り付け、28日間気中養生した後、試験体を4.2.1項で述べた冷熱・乾湿繰返し試験に供した。なお比較用として界面に3号珪砂を散布(1.0kg/m²)した場合とFRP単味の試験体も作製した。

引張接着強度試験は0および200サイクル終了時に実施した。なお試験体個数は各3個とした。

(3) 実験結果 Fig. 6に引張接着強度を示す。FRP単味の場合は冷熱・乾湿繰返し前に既に剥離を生じていた。また珪砂散布では当初、9.8kgf/cm²の強度を得たが、冷熱・乾湿繰返しより界面で完全に剥離を生じた。

ネットを介在させた場合、冷熱・乾湿繰返しによって最大接着強度は低下したが、ループパイルによる連結効果が認められ二次破断を呈し、ネットによる剥落防止効果を確認することができた。またポリマーセメントモルタルを用いることによって、冷熱・乾湿繰返し後の一次破断強度が普通モルタルに比べ増大している。

5. おわりに

湿式外装仕上げにおける剥落防止技術の開発を目指し、立体繊維材料およびアンカーピンを利用した工法提案(インターネット工法)を行った。実際の適用を考慮

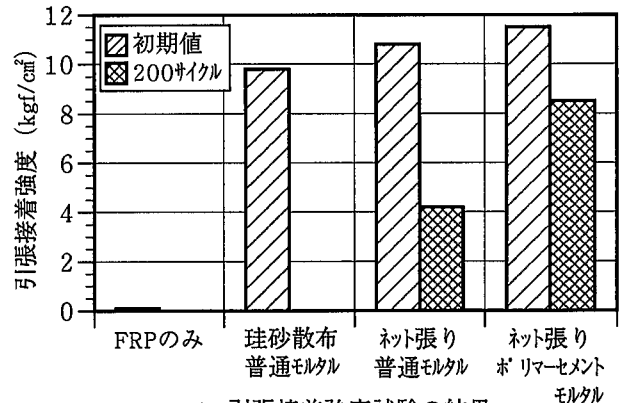


Fig. 6 引張接着強度試験の結果
Results of Bond Strength Test

し、タイル後張り工法、タイル先付けPC工法および保護モルタル被覆工法を想定した性能試験を行った結果、ネットあるいはアンカーピンによる剥落防止効果を確認することができた。

現在、インターネット工法は実施に際する具体的課題の検討段階にあり、特に改修工事では既存下地に対する評価が問題化している。なお外壁改修については、仕上げ材の制限はあるものの外壁複合改修構工法の一つとして建設省より技術評価⁶⁾を得ており、また建築工事監理指針(建設大臣官房官庁営繕部監修)では、タイル剥落防止工法の一つとして紹介されている⁷⁾。

謝辞

開発の実施に際し貴重な助言および多大なる御協力を頂いた(株)ショックベトン・ジャパン、武田薬品工業(株)、ダイセル化学工業(株)、東洋紡績(株)、日本セメント(株)の関係諸氏に対し、改めて感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 建築・設備維持保全推進協会編：建築仕上診断技術者(非構造), P.116, (1994)
- 2) Hayashi, Y et al. : Technique of Application of Fiber Materials to Exterior Ceramic Wall Tiling, Durability of Building Materials and Component 6, Japan, Vol.1, E&Spon, P.13~22, (1992)
- 3) 馬場, 他：地震時における外装仕上げ材料・工法の安全性に関する実大実験, セメントコンクリート, No.376, (1978)
- 4) 日本建築学会編：各種合成構造設計指針・同解説, P.202~205, (1992)
- 5) 三谷, 他：CFRP層に対する保護モルタルの接着安定性に関する基礎的実験, 日本建築学会学術講演梗概集, P.399~400, (1997)
- 6) (株)大林組, 他：外壁複合改修構工法(インターネットカバー工法)建技評第96104号, (1997)
- 7) 建設大臣官房官庁営繕部監修：建築工事監理指針平成9年版(下巻), P.89, (1998)