

報告 外壁剥落防止工法の水平加力実験における性能評価

沼田 誠史*1・後藤 康明*2・張 英豪*3・山辺 智典*4

要旨:本研究では、劣化したタイル仕上げ外壁等に適用する外壁剥落防止工法の地震時における剥落防止性能の検証を目的に、各種外壁剥落防止工法を施した RC 耐震壁に、地震力を模擬した正負繰り返しの加力実験を行い、各種外壁剥落防止工法の性能を検証した。その結果、アンカーピンニング部分エポキシ樹脂注入工法は、強制変形に対する剥落防止性能を発揮できなかったことに対し、外壁複合改修構工法はいずれも剥落防止性能を示した。その中でも、アクリルゴム系を用いた外壁複合改修構工法は、優れたひび割れ追従性を示しながら剥落防止性能を発揮した。

キーワード: 外壁剥落, 外壁複合改修構工法, 地震, 水平加力実験, アクリルゴム

1. はじめに

近年、東海地震、東南海・南海地震、首都圏直下地震など大地震の切迫性が指摘される中、耐震改修促進法も改定され、多くの既存建築物の耐震化が進められている。耐震改修工事を行う際、構造部材の補強工事を行うのは当然のことであるが、耐震改修促進法の解説書にも記される様に¹⁾、建築物の耐震化は構造部材のみならず、非構造部材の耐震化も重要視しなければならない。特に、剥落事故に繋がりがやすい建築物外壁材は、地震時においても剥落を起こさないことが強く求められている。

タイル外壁等の剥落を防止する改修工法として、外壁浮き部分に樹脂注入を行うアンカーピンニング樹脂注入工法やアンカーピン及びネットを併用する外壁複合改修構工法（以下、ピンネット工法と略称）が用いられているが、これら工法は、日常時の剥落防止に対し有効であることは確認されているものの、地震などの強制変形に対する剥落防止性能に対し明瞭化されていないのが現状である。

本研究では、外壁剥落防止工法の地震時における性能評価を目的に、各種剥落防止工法を施した RC 耐震壁の

水平加力実験を行う。

2. 試験概要

2.1 試験体の種類

表 - 1 には試験体概要を、図 - 1 には試験体分類別の断面仕様を示す。

試験体は、ピンネット工法としてバインダーにアクリルゴムを用いたものを 2 種 (PP, VK), 同じくバインダーにポリマーセメントモルタルを用いたものを 2 種 (CN, CB), 一般的なタイル外壁改修工法としてアンカーピンニング部分エポキシ樹脂注入工法を施したものを 1 種 (PN), 剥落防止無対策であるコントロールを 1 種 (NB) の合計 6 種類とした。

2.2 試験体の作製

試験体に供する RC 耐震壁は、RC 中層建築物 1 階耐震壁にタイル仕上げを施したものを想定し、1/3 縮小スケールで作製した。タイル及び剥落防止材は原寸である。

図 - 2 には試験体の形状及び配筋概要を、表 - 2 には

表 - 1 試験体概要

試験体名称	試験体分類	改修工法種類	外装仕様						
			タイル	下地調整材	外装剥落防止仕様			仕上げ	
					アンカーピン	ネット	バインダー		
PP	アクリルゴム系 ピンネット工法	外壁複合改修構工法 (ピンネット工法)	45二丁 タイル	下地調整塗材C-2 (塗厚:2mm)	φ6mm 機械式固定ピンA	ポリプロピレン製 ネット	アクリルゴム	アクリルゴム系 仕上塗材	
ビニロン製 ネット									
VK	セメント系 ピンネット工法				φ6mm 機械式固定ピンB	ビニロン製 ネット	1材形ポリマーセ メントモルタル		複層仕上塗材E
CN						立体的繊維布	2材形ポリマーセ メントモルタル		
CB	アンカーピンニング 部分エポキシ樹脂注入工法	アンカーピンニング 部分エポキシ樹脂注入工法	—	φ4mm 全粘'ビ'ン'球'粘'固定	—	—	—		
PN	無対策 (コントロール)	なし	—	—	—	—	—		
NB	—	—	—	—	—	—	—		

*1 (株)コンステック 補修技術本部 (正会員)

*2 北海道大学院教授 工学研究科空間性能システム専攻 工博 (正会員)

*3 (株)コンステック 補修技術本部

*4 (株)コンステック 補修技術本部

鉄筋の力学的性質を、表 - 3 には各試験体のコンクリート圧縮強度を示す。

構造体となる RC 耐震壁は、壁のせん断破壊が先行するように設計した。まず、図 - 2 に示す様に配筋を施した後、 $F_c=18$ のコンクリートを平打ちで打設した。その後、コンクリートが所定の強度を発現するまで養生し、試験体に応力が生じないように治具を用い正立させた。

タイルの施工は、実構造物に近いように、タイル貼付け面を RC 試験体の型枠面（剥離剤処理面）とし、手張りにより行った。その際、下地は、型枠精度が良いことや品質管理の面から、JASS15 を参照し既調合セメントモルタル塗りを適用し、使用タイルは、45 二丁タイル（磁器質・施釉のユニットタイル）を用いた。また、手張りによるタイル施工は、オープンタイムの管理等、施工誤差をなくすために、JASS19 に規定されているマスク張りを採用し、既調合の張付けモルタルで張り付けた。タイル張り付け後は、目地モルタルを用いて目地を作製した。

剥落防止工法の施工は、表 - 1 に示した材料を用い、各工法の施工要領に準じて行った。各ピンネット工法は、アンカーを縦横 500 ピッチとなるよう 1 試験体当たり 12 本とし施工し、アクリルゴム系ピンネット工法は、バインダー及び仕上げ層にアクリルゴム塗料を用い、セメント系ピンネット工法は、バインダーにポリマーセメントモルタルを、仕上げ層に JIS A 6909 に規定される複層仕上げ塗材 E に該当する材料を用いて施工した。また、アンカーピンニング部分エポキシ樹脂注入工法は、改修工事共通仕様書に基づき、 $\phi 4$ mm の全ネジピンを 1m^2 当たり 16 本となるように割り付け施工した。

2.3 試験装置及び加力方法

図 - 3 には加力装置を、図 - 4 には加力プログラムを示す。

加力方法は、試験体を加力フレームに設置し、下梁スタブを PC 鋼棒によって加力フレームに固定した上で、壁頂部に取り付けた加力用鋼製梁を介して、柱の長期軸力に相当する $0.2F_cA_c \times 2$ (A_c は柱 1 本の断面積) の定軸力を導入後、壁高さの 2 倍の位置に地震力を模擬した正負繰返水平変位漸増加力を加えた。

加力プログラムは、層間変形角：R が 1/1000（壁頂点変位 $\delta = 1.2$ mm）となる様に正負で 1 回加力した後、1/500（2.4 mm）、1/250（4.8 mm）、1/125（9.6 mm）を正負 2 回ずつ繰り返して、最後は 1/75（16 mm）を 1 回の計 8 サイクルとした。

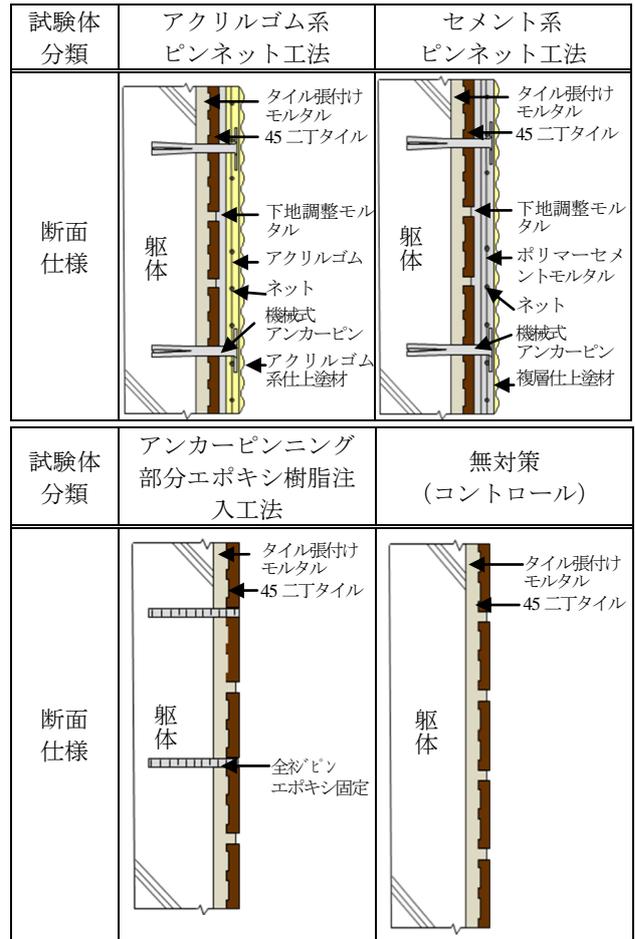


図 - 1 試験体分類別の断面仕様

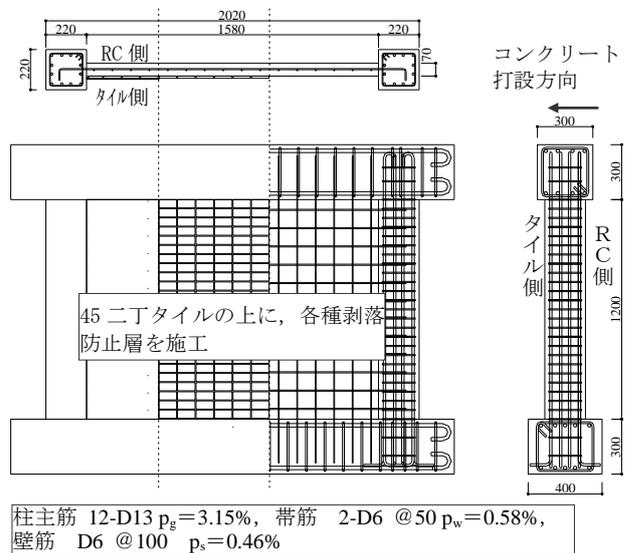


図 - 2 試験体の形状及び配筋概要

表 - 2 鉄筋の力学的性能

鉄筋	鋼種	降伏強度 (N/mm ²)	降伏歪み (10 ⁻⁶)	ヤング係数 (kN/mm ²)	伸び率 (%)
主筋D13	SD345	408.3	2263	180	14.7
壁帯筋D6	SD295A	318.9*	3859*	172	13.5

※：0.2 オフセット法

表 - 3 各試験体のコンクリート圧縮強度

試験体	PP	VK	CN	CB	PN	NB
コンクリート圧縮強度 (N/mm ²)	22.0	21.9	22.1	23.5	23.6	21.2

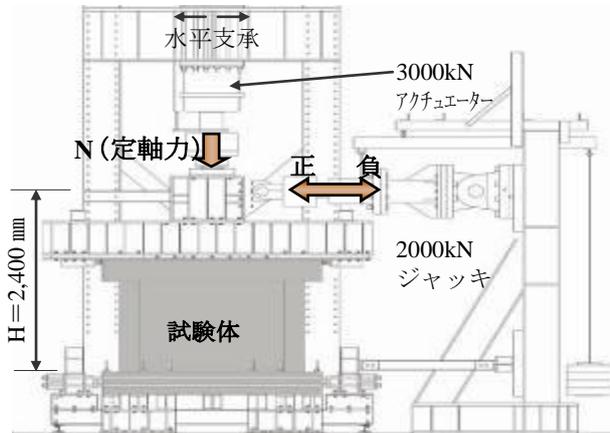


図-3 加力装置の概要

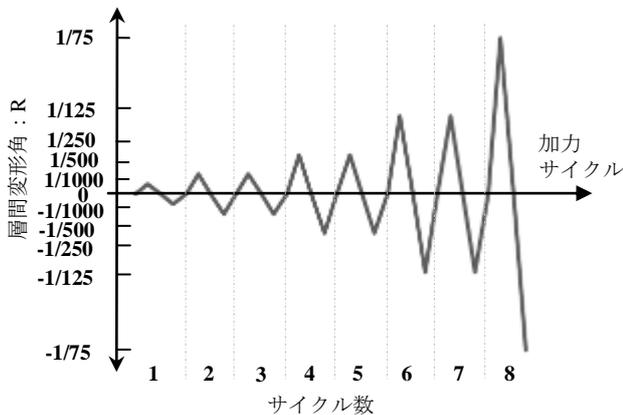


図-4 加力プログラム

2.4 測定項目及び測定方法

加力中は、常時 RC 側・タイル側両面のひび割れ発生状況及びコンクリートの圧壊・剥落状況を目視にて観察し、各サイクル目標部材変形角の 1/2 及びピーク時には、クラックスケールによる主要なひび割れ幅の測定及び打診と目視によるタイル剥離・剥落状況の確認を行った。ここで、剥離の定義を剥落及び浮きを含めた総称とし、剥落の定義をタイルがコンクリートから脱落したものとした。また、加力試験後は、剥落防止層を切開し、内部の破壊状況やアンカーピンの状況を確認した。

3. 試験結果及び考察

3.1 試験体破壊性状

図 - 5 には荷重と層間変形角の関係を、図 - 6 には各種試験体の水平加力実験終了後の破壊状況を示す。

ここで、剥離率、剥落率及びひび割れ率の定義を、既往の研究^{2) 3)}に倣い、タイル 1 枚当たりの面積を 1 メッシュとし、剥離、剥落及びひび割れが発生したメッシュ

数を総メッシュ数で除した値とする。また、剥離とは剥落及び浮きを含めた総称を表すこととする。

PP (アクリルゴム系ピンネット工法)

R=1/1200 において、RC 側の壁せん断ひび割れが発生した。R=1/500 において、タイルの剥離が発生し層間変形角の増大に伴い漸増した。最終サイクル R=1/75 においての破壊性状は、RC 側では、柱にせん断ひび割れが発生すると共に、中央部や壁際部のコンクリートが剥落した。タイル側では、タイルの押し出しによる剥落防止層のはらみが、タイル側中央部に現れたが、剥落防止層のひび割れ及びタイル剥落は発生しなかった。

VK (アクリルゴム系ピンネット工法)

R=1/3000 において、RC 側の壁せん断ひび割れが発生した。R=1/500 において、タイルの剥離が発生し、層間変形角の増大に伴い漸増した。最終サイクル R=1/75 においての破壊性状は、RC 側では、せん断破壊によるコンクリートの剥落が生じた。タイル側では、タイルの押し出しにより剥落防止層のはらみが生じたが、剥落防止層のひび割れ及びタイル剥落は発生しなかった。

CN (セメント系ピンネット工法)

R=1/3000 において、RC 側の壁せん断ひび割れが発生した。R=1/500 において、タイルの剥離が発生し、その後、層間変形角の増大に伴って漸増した。R=1/250 において、タイル側の剥落防止層にひび割れが発生し、層間変形角の増大に伴い複数のひび割れの発生及びせん断ひび割れへの発展が見られた。R=1/125 において、柱脚コンクリートの圧壊の兆候が現れた。最終サイクル R=1/75 においての破壊性状は、RC 側では、せん断ひび割れが大きく拡幅し、中央部附近のコンクリートが剥落した。タイル側では、タイルの押し出しによる剥落防止層の膨らみが見られ、剥落防止層のひび割れは少ないものの、最大ひび割れ幅は 4 mm に達した。しかしながら、タイル剥落は発生しなかった。

CB (セメント系ピンネット工法)

R=1/3000 において、RC 側の壁せん断ひび割れが発生した。R=1/1000 において、タイルの剥離が確認され、層間変形角の増大に伴って迅速に拡大した。R=1/250 において、タイル側の剥落防止層にせん断ひび割れが確認され、その後水平ひび割れも発生した。最終サイクル R=1/75 においての破壊性状は、RC 側では、壁の中央にせん断破壊及びコンクリート剥落が確認された。タイル側では、タイル側のほぼ全面に剥離が生じ、剥落防止層に水平及び垂直ひび割れが多く発生した。しかしながら、タイル剥落は発生しなかった。

PN (アンカーピンニング部分エポキシ樹脂注入工法)

R=1/3000～1/2000 において、RC 及びタイル面にせん

断ひび割れが発生し、層間変形角の増大に伴い漸増した。 $R=1/1000$ において、タイルの剥離が生じた。 $R=1/125$ において、ひび割れの最大幅は、タイル側では 2 mm, RC 側では 1.3 mm となり、タイル剥離率は 63.8% となった。最終サイクル $R=1/75$ における破壊性状は、RC 側では、壁のせん断破壊によりコンクリートが剥落した。タイル側では、タイル剥落 20.1% を生じ、タイルの剥離率は 98.5% となった。

NB (コントロール)

$R=1/2000$ において、RC 及びタイル両面にせん断ひび割れが発生した。 $R=1/500$ において、タイルの剥離が確認され、層間変形角の増大に伴い漸増した。 $R=1/125$ において、ひび割れの最大幅は、タイル側では 2.5 mm, RC 側では 1.3 mm に拡大した。また、この時のタイル剥離率は 55.5% となり、2 枚の剥落が確認された。最終サイクル $R=1/75$ における破壊性状は、柱頭のせん断ひび割れ及び圧縮側柱のコンクリート圧壊が確認され、RC 側では、コンクリート剥落が生じ、タイル側では 40.9% に至るタイル剥落が生じた。

3.2 タイルの剥離及び剥落

図 - 7 には、タイル剥離率とサイクル数の関係を試験体種類別に示す。

PP, VK, CN, PN 及び NB のタイル剥離は、試験体の種類に関係なく、 $R=1/500$ までは 6% 以内に留まり、 $R=1/250$ 処女サイクルから、層間変形角の増大に伴い漸増する。CB のタイル剥離は、他の試験体のタイル剥離率傾向とは異なり、 $R=1/500$ から比較的早い段階で剥離が拡大した。これは、剥離箇所がタイルと張付けモルタルから剥離した結果、剥落防止層 (モルタル) でタイル及び目地部を一体化させてしまうことで、変形を逃がすことができず、タイルが層状に剥離すると考えられる。

各試験体のタイル剥離率は、一部の例外を除き、同様の傾向を示すことから、剥落防止工法は、タイルの剥離抑制効果はないと推測する。

図 - 8 には、タイル剥落率とサイクル数の関係を試験体種類別に示す。

NB のタイル剥落は、 $R=1/125$ において剥落率 0.5% とわずかながら発生し、 $R=1/75$ において 40.9% となった。PN のタイル剥落は、 $R=1/75$ においてタイルのせり出しや欠けが多く見られるものの 20.1% となった。ピンネット工法を施した PP, VK, CN 及び CB のタイル剥落は、いずれの試験体においても、試験終了まで発生せず、ピンネット工法による剥落防止効果が確認された。

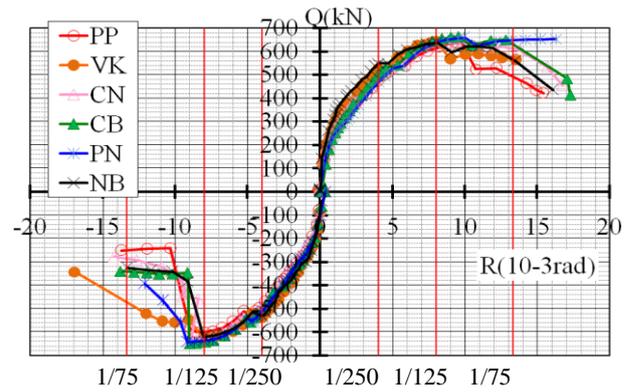


図 - 5 荷重と層間変形角の関係 (包絡線)

試験体	タイル側	RC 側
PP		
VK		
CN		
CB		
PN		
NB		

図 - 6 各種試験体の破壊状況 (終了時)

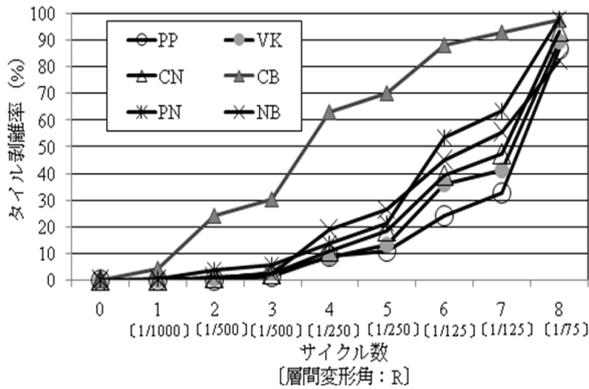


図 - 7 タイル剥離率とサイクル数の関係

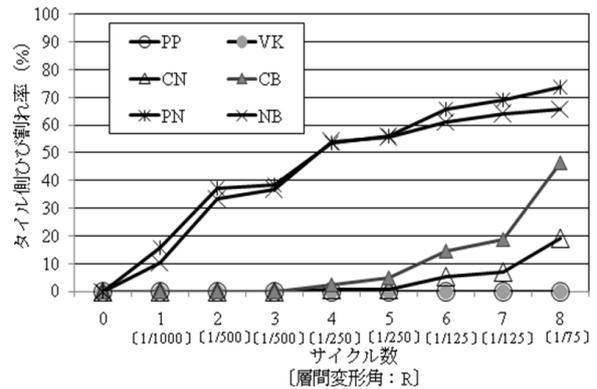


図 - 9 タイル側ひび割れ率とサイクル数の関係

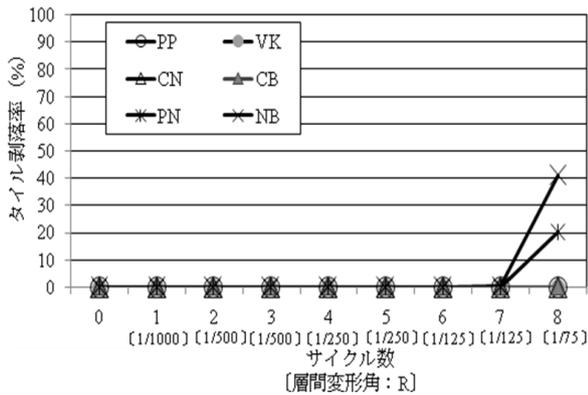


図 - 8 タイル剥離率とサイクル数の関係

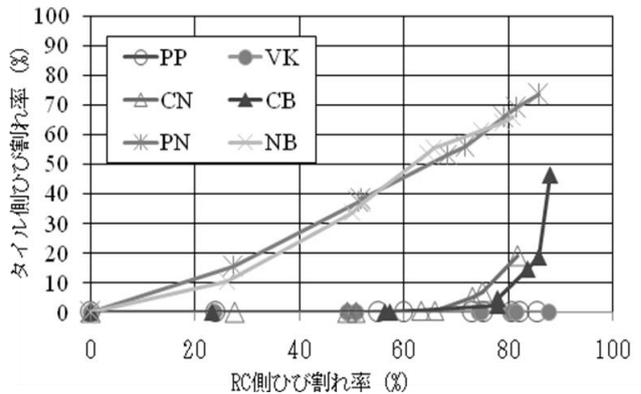


図 - 10 タイル側ひび割れ率とRC側ひび割れ率の関係

3.3 試験体のひび割れ

図 - 9 には、タイル側ひび割れ率とサイクル数の関係を試験体種類別に示す。

NB 及び PN のタイル側ひび割れは、 $R=1/3000 \sim 1/2000$ において初期発生し、層間変形角の増大に伴い漸増する。但し、タイル側ひび割れが飽和状態に近くなった $R=1/125$ を境に増加率は緩やかとなり、 $R=1/75$ において、70%程度のひび割れ率を示す。CN 及び CB のタイル側ひび割れは、 $R=1/250$ において発生し、 $R=1/75$ に急激な増加傾向を示す。CN 及び CB の $R=1/75$ におけるひび割れ率は 19%及び 46%となり、両者とも剥落防止層を貫通するひび割れを生じるが、剥落防止層のネット破断は生じていなかった。PP 及び VK は、良好なひび割れ追従性を示し、加力試験終了まで剥落防止層のひび割れを発生しなかった。

図 - 10 には、タイル側ひび割れ率と RC 側ひび割れ率の関係を試験体種類別に示す。

NB 及び PN のタイル側ひび割れ率は、RC 側ひび割れ率の増加にほぼ比例し増加する。CN 及び CB では、RC 側ひび割れ率が 70%近くになるとタイル側の剥落防止層にもひび割れが発生し、その後、急激な増加傾向を示す。PP 及び VK は、RC 側の大部分でひび割れが発生しても剥落防止層が良好なひび割れ追従性を示し、加力試

験終了に至るまでひび割れは発生しない。

3.4 剥落防止工法の評価

図 - 11 に、各試験体の評価を示す。ここで、試験体の評価項目を $R=1/75$ におけるタイル側のタイル剥落、剥離及びひび割れ率の他、タイル初剥落、初剥離及びタイル側の初ひび割れ発生層間変形角とした。

各試験体のタイル剥落、剥離及びタイル側のひび割れ状況は、PP と VK、CN と CB 及び PN と NB 別にそれぞれ似通った傾向を示す。

PP 及び VK は、タイル初剥離が $R=1/500$ 時に発生し、最終的なタイル剥離は 90%程度と、タイル剥離の抑制は期待できない。しかしながら、タイル側の剥落及びひび割れの発生は見られず、外壁剥落防止工法として優れた性能を有していることが確認できた。CN 及び CB は、90%以上のタイル剥離を生じ、 $R=1/250$ において初期ひび割れを発生した。しかしながら、タイルの剥落は生じず、剥落防止性能を有していることが確認できた。PN は、初剥離及びタイル側初ひび割れともに PP、VK、CN 及び NB より小さい層間変形角で生じ、無対策の NB とほぼ同様なタイル剥落傾向を示すことから、強制変形を受けた際に剥落防止性能を発揮できないと推察できる。

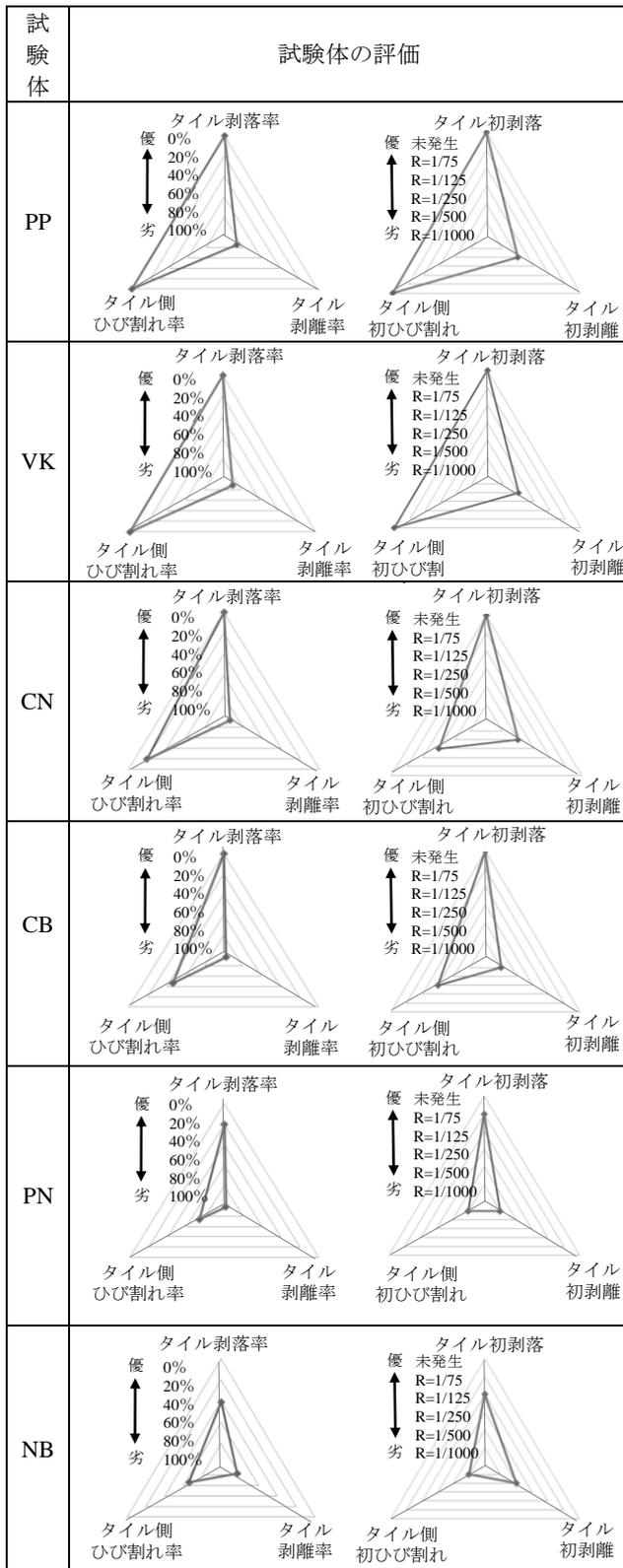


図 - 11 各試験体の総合評価

4. まとめ

タイル仕上げRC耐震壁の外壁剥落防止工法の性能評価を行う目的で、試験体を用いた正負繰返加力実験を行い、下記の知見を得た。

(1) 強制変形を受けた際のタイル剥離状況は、いずれ

の試験体においても、層間変形角 1/75 において 80%以上の剥離率を示す。また、各種剥落防止工法は、タイルの剥離抑制効果を有さない。

(2) 強制変形を受けた際のタイル剥落状況は、コントロール及びアンカーピンニング部分エポキシ樹脂注入工法を施した試験体がタイル剥落を生じるのに対し、ピンネット工法を施した試験体はアクリルゴム系及びセメント系の種類に関わらず、タイル剥落を生じない。

(3) 強制変形を受けた際のタイル側ひび割れ状況は、コントロール及びアンカーピンニング部分エポキシ樹脂注入工法を施した試験体が最も高いひび割れ率を示し、次いでセメント系ピンネット工法を施した試験体となる。また、アクリルゴム系ピンネット工法を施した試験体はひび割れを発生しない。

(4) アクリルゴム系ピンネット工法は、使用材料の種類に関わらず、優れた剥落防止及びひび割れ追従性能を示す。セメント系ピンネット工法は、使用材料の種類に関わらず、ひび割れ追従性は劣るものの剥落防止性能を有する。アンカーピンニング部分エポキシ樹脂注入工法は、強制変形に対する剥落防止性能は期待できない。

以上のことから、地震などの強制変形を受けた際の外壁剥落防止工法としてピンネット工法は有効な手段であり、ひび割れ追従性能による躯体コンクリートの保護を考慮すると、アクリルゴム系ピンネット工法が優れた性能を示す。

謝辞

本実験の実施においてご協力頂いた三菱化学産資株式会社に感謝致します。

参考文献

- 1) 国土交通省住宅局建築指導課：改正 建築物の耐震改修の促進に関する法律・同施工令等の解説、ぎょうせい、pp.4、2006.2
- 2) 小川晴果ほか：タイル剥落防止工法の耐震実験、日本建築学会技術報告集、Vol.14、pp.31-36、2001.12
- 3) 建設省住宅局建築指導課：外壁タイル張りの耐震診断と安全対策指針・同解説、財団法人日本建築防災協会、pp.131-139、1988.