論文　樹脂混合モルタル目地によるタイルの剥落防止性に関する研究

堀　淳一[*1]・棚橋　泰士[*1]・河辺　伸二[*2]・山森　高大[*3]

要旨：タイルの剥落低減に関して，目地材においての樹脂種類(アクリル系，酢酸ビニル系)と樹脂量に着目し剥落抵抗性の実験を実施した。材料としての評価をせん断引張実験，引張実験で実施し，目地材としての評価を押し込み載荷実験で実施した。その結果，酢酸ビニル系樹脂と比較し，アクリル系樹脂のエネルギーが大きくなる傾向がみられた。アクリル系樹脂を使用したものは柔軟性を有し，樹脂量が多いほど最大変位時の残存荷重が大きくなり，剥落抵抗性がみられた。しかし，酢酸ビニル系樹脂を使用したものは樹脂量が多くなるほど最大変位時の残存荷重が小さくなり，両者は相反する傾向であることが確認された。

キーワード：目地，樹脂，モルタル

1. はじめに

タイルは建築の仕上げ材として多く用いられ，美装性やメンテナンス性に優れた建築材料である。タイルはコンクリート下地やモルタル下地に張付けモルタルや有機系弾性接着剤で張り付けられ，目地部は目地モルタルで詰められる。目地モルタルはタイル裏面に雨水が浸入するのを防ぐ効果がある。さらに，目地モルタルが密実に充填されることで，温度変化等によりタイルの接着界面に発生するディファレンシャル･ムーブメントを緩和し，タイルの剥離を防ぐ効果がある。

一方，モルタル系目地材料は動きのある箇所ではひび割れが発生する可能性がある。そのような場合には，弾性を有する樹脂目地を使用すると良いと考える。

タイル仕上げに用いられる目地材についての研究は，工藤，西山の研究 [1) 2)]や河辺，小笠原，網本による深目地の研究 [3)]が報告されているが，目地材による剥落低減に関する研究報告は少ない。

筆者らはタイル目地によるタイルの剥落低減に関する研究 [4)]を行い，タイルの面外方向への押抜き試験を行った。その結果，既存目地材に樹脂を P/C50%混入したものは，押し抜き時の変位が大きくなっても荷重の残存が見られることから，タイルの剥落防止性が確認された。

そこで本研究では，樹脂種類と量による剥落防止性の実験的評価を行う。(1)押し込み載荷実験 [5)]により，コンクリート基板にタイルを張付けた状態で，実験材料を目地に使用し評価を行う。(2)せん断引張実験，及び引張実験により実験材料の評価を行う。

表-1 実験材料の組成

番号	供試体名	樹脂種類	樹脂割合(%)	粉体量	樹脂固形分量	W/C(%)
1	ブランク	－	0	100	－	46.5
2	①-25	アクリル系樹脂	25	100	11.8	50.1
3	①-50	アクリル系樹脂	50	100	23.5	45.2
4	①-75	アクリル系樹脂	75	100	35.3	63.1
5	①-100	アクリル系樹脂	100	100	47.0	84.1
6	②-25	酢酸ビニル系樹脂	25	100	11.8	47.3
7	②-50	酢酸ビニル系樹脂	50	100	23.5	62.8
8	②-75	酢酸ビニル系樹脂	75	100	35.3	94.2
9	②-100	酢酸ビニル系樹脂	100	100	47.0	125.7

2. 実験材料

本研究では，**表-1** に示す樹脂種類と樹脂量の異なる実験材料を目地材として検討する。樹脂は特性の異なるアクリル系樹脂(Tg-21℃)と酢酸ビニル系樹脂(Tg+9℃)の 2 種類とした。

粉体量はポルトランドセメント(47)，珪砂(51)，添加物(2)の割合である。樹脂固形分は樹脂中に含まれる揮発分

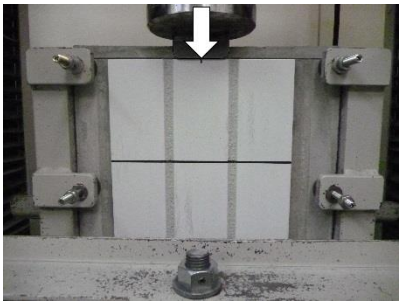

写真-1 押し込み載荷実験

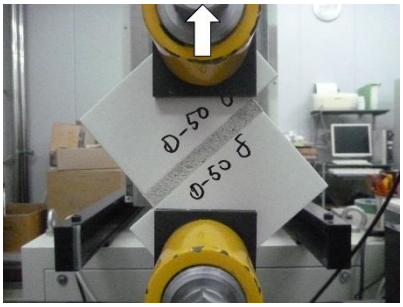

写真-2 せん断引張実験

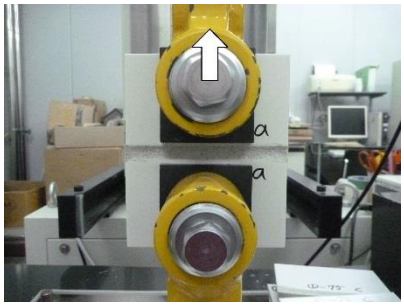

写真-3 引張実験

*1 菊水化学工業㈱　技術開発本部　(正会員)
*2 名古屋工業大学大学院　教授・工博　(正会員)
*3 名古屋工業大学　建築・デザイン工学科

を除いた割合で求められる。樹脂割合は P/C(樹脂固形分量/ポルトランドセメント)により求められる。

3. 実験概要

3.1 実験方法

(1) 押し込み載荷実験

実験状況を**写真-1** に示す。寸法 300×300mm×厚さ 60mm のコンクリート平板を基板とし，タイル張付けモルタルを用いて二丁掛けタイルを 3 枚長手方向に沿って並列に張り付けた。目地の幅は 10mm とし，タイル張付けモルタルを 7 日間養生した後，実験材料を充填し 28 日間養生したものを供試体とした。実験条件は標準状態と温冷繰返し試験後の 2 条件としそれぞれ n=3 とした。

実験は 3 枚組のタイルのうち中心のタイルに上方から面内方向へ試験力を加えた。試験速度は 1mm/min で行い変位が 5mm に達するか，荷重が 0.1kN 以下になった場合に実験終了とした。精密万能試験機(100kN)を使用し，荷重と変位で評価を行った。なお，本来ならば載荷するタイル自体の移動量を測定するのが良いと考えるが，本実験の対象材料は柔らかい目地材である。目地材の変位はタイル張付けモルタルとタイルの接着による変位に比べ非常に大きい。そのため，今回の実験においては，変位を載荷板の移動量で評価した。

(2) せん断引張実験

実験状況を**写真-2** に示す。タイルは小口タイルを使用した。小口タイルを 2 枚長手方向に沿って 10mm の幅を開けて並べ，さらに長手方向に 20mm ずらし固定した。そのタイル 2 枚の間(寸法 88×10mm×厚さ 9mm)に実験材料を充填し，28 日間養生したものを供試体とした。実験条件は標準状態と温冷繰返し試験後の 2 条件としそれぞれ n=3 とした。

実験は下側のタイルを固定し，上側のタイルを上方へ引張試験力を加えた。試験速度は 3mm/min で行い変位が 10mm に達するか，荷重が 10N 以下になった場合に実験終了とした。精密万能試験機(10kN)を使用し，荷重と変位で評価を行った。なお，変位は載荷板の移動量で評価した。

(3) 引張実験

実験状況を**写真-3** に示す。タイルは小口タイルを使用した。小口タイル 2 枚を長手方向に沿って 10mm の幅を開けて並べ固定した。そのタイル 2 枚の間(寸法 108×10mm×厚さ 9mm)に実験材料を充填し，28 日間養生したものを供試体とした。実験条件は標準状態と温冷繰返し試験後の 2 条件としそれぞれ n=3 とした。実験はせん断引

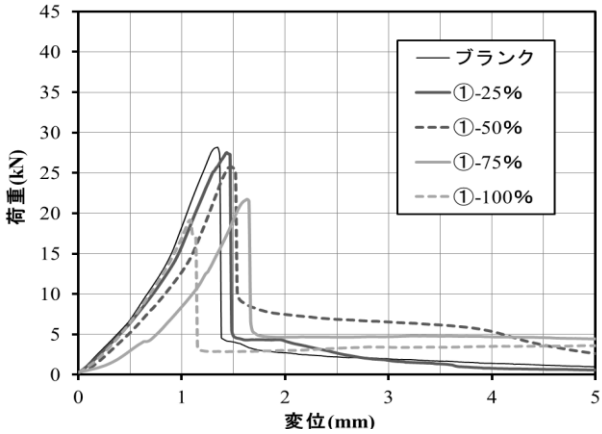

図-1 押し込み載荷実験-標準①

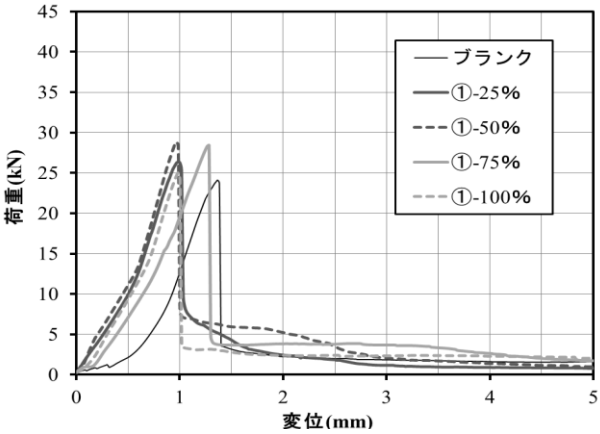

図-3 押し込み載荷実験-温冷①

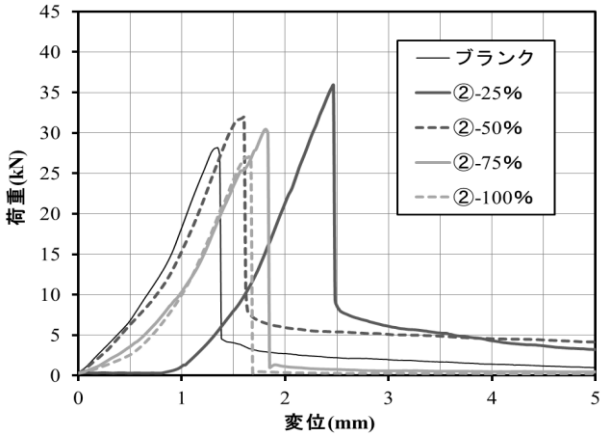

図-2 押し込み載荷実験-標準②

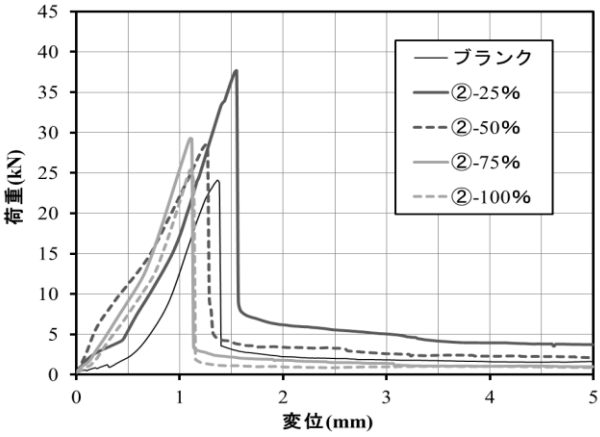

図-4 押し込み載荷実験-温冷②

張実験と同様に行った。

3.2 実験条件

(1)標準養生

JIS A 6916：2014 の 7.11.1(試験体)[6]に従って，実験材料を充填し，材齢 28 日まで気中養生した。

(2)温冷繰返し試験

JIS A 6909：2014 の 7.11(温冷繰返し試験)[7]に準じて，試験を行った。試験の手順を以下に示す。標準養生後の供試体を，水温 20±2℃の水中に 18 時間浸漬を行い，直ちに-20±3℃の恒温槽で 3 時間冷却をした後，70±3℃の恒温槽で 3 時間加熱を行う。この 24 時間を 1 サイクルとしたものを 20 サイクル行った後，3 日間気中養生を行った。

4. 実験結果と考察

4.1 押し込み載荷実験

標準状態の実験結果を**図-1** および**図-2** に，温冷繰返し試験後の実験結果を**図-3** および**図-4** に示す。グラフに用いている値は n=3 行った中で最大荷重後の残存荷重が平均に近い値を用いている。

実験時の荷重-変位の推移と供試体の状態を**図-5** に示す。押し込み載荷実験ではタイルに荷重を加えると，タイル張付けモルタルが破断するまで，急激な荷重の上昇がみられる。荷重がタイル張付けモルタルの付着強度を超え破断すると急激に荷重が低下する。その後，目地材の保持力による残存荷重がみられる。

アクリル系樹脂の場合，樹脂の割合が多くなるほど，変位に対する荷重の減少量が少なくなる傾向がみられた。この要因は，アクリル系樹脂の Tg が-21℃と非常に低く，柔らかい目地材となり，破壊モードが目地材の凝集破壊となった。試験後の一例を**写真-4** の丸印に示す。つまり，タイル張付けモルタルの付着強度の低下後も目地材の凝集破断によるエネルギーに起因する残存荷重が得られたと考えられる。

それに対し，酢酸ビニル系樹脂の場合は，樹脂量が少ないほど，残存荷重が大きくなる傾向がみられた。この要因は，酢酸ビニル系樹脂の Tg が+9℃と前述のアクリル系樹脂と比較して高く，硬い目地材となり，さらに破壊モードがタイルと目地材の界面破断となった。試験後の一例を**写真-5** の丸印に示す。目地材の凝集破断によるエネルギーが得られなかったと考えられる。

また，最大荷重に着目すると，アクリル系樹脂より酢酸ビニル系樹脂の荷重が大きくなる傾向がみられた。最大荷重後のエネルギーを**図-7** に示す。エネルギーは**図-6** に示すような最大荷重から 2mm 変位するまでの荷重-変位曲線に囲まれた面積とし，荷重×変位で求めた。なお，単位は kN・mm とした。張付けモルタルの破壊による強度を求めるものではなく，最大荷重後の目地材によるエネルギーを示すものである。

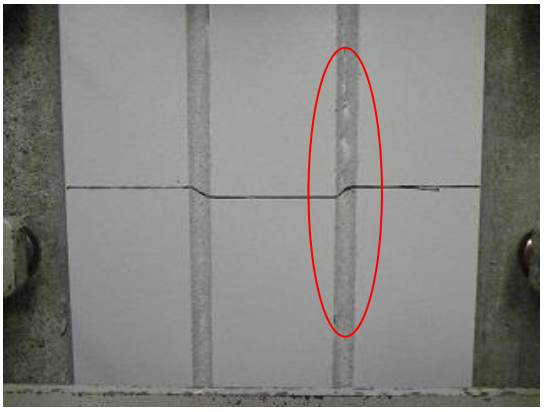

写真-4 供試体①-100 押し込み載荷実験後(標準)

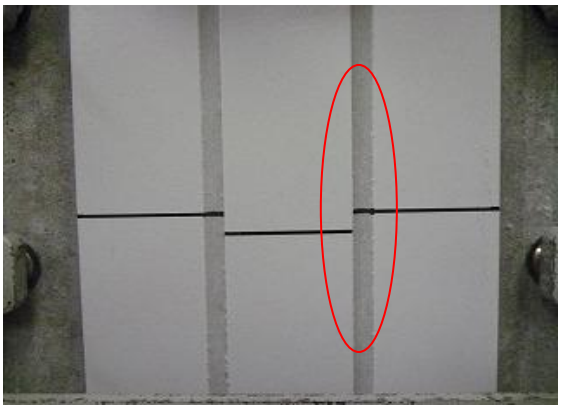

写真-5 供試体②-50 押し込み載荷実験後(標準)

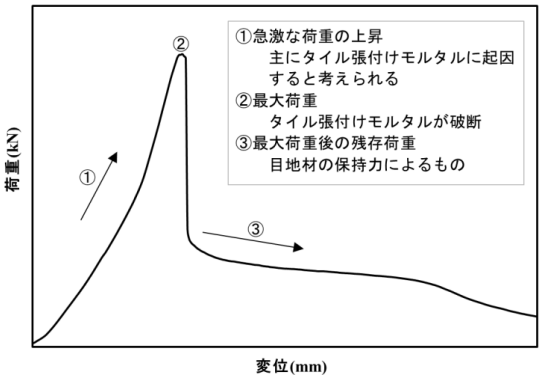

図-5 実験時の荷重-変位曲線の推移

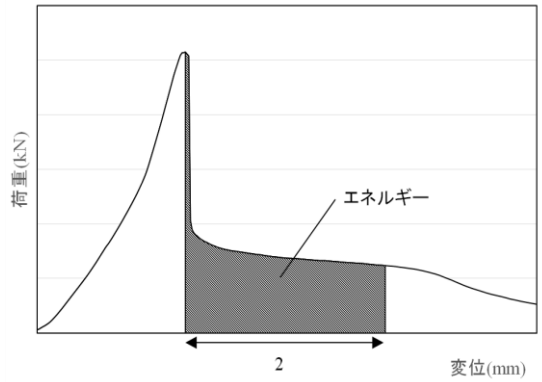

図-6 押し込み載荷実験における荷重-変位曲線

実験条件に着目すると，温冷繰返し試験後のエネルギーは標準状態より小さい傾向がみられた。

アクリル系樹脂の場合，樹脂量 50%以上のものがブランクよりエネルギーが大きくなり，剥落防止性がみられた。樹脂量 50%時のエネルギーが最大となった。また，樹脂量の増加に伴い，目地材の凝集破壊によるエネルギーが得られ，最大変位時の残存荷重が大きくなる傾向がみられた。温冷繰返し試験後の実験において，最大荷重が低下する傾向がみられた。これは，タイル張付けモルタルの強度低下に起因するものと考えられる。

酢酸ビニル系樹脂の場合，樹脂量が多くなるにつれて最大荷重時の変位と，最大変位時の残存荷重が小さくなる傾向が見られた。これはタイルと目地材の界面破断が要因である。かつ，樹脂量の増加により目地材が柔らかくなった為と考えられる。今回の実験では，25%，50%のものがブランクよりエネルギーが大きくなり剥落防止性がみられた。温冷繰返し試験後の実験において，標準状態と比較して最大荷重時の変位は小さくなった。これは，タイル張付けモルタルの強度低下に起因するものと考えられる。

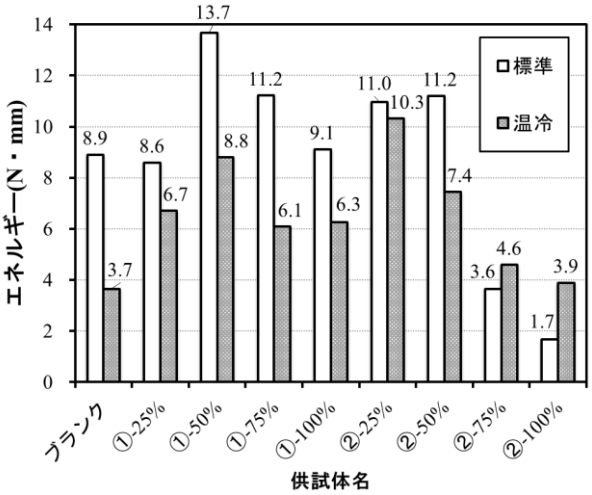

図-7 押し込み載荷実験のエネルギー

4.2 せん断引張実験

標準状態の実験結果を**図-8** および**図-9** に，温冷繰返し試験後の実験結果を**図-10** に示す。グラフに用いている値は n=3 行った中で最大荷重が平均に近いグラフを用いている。試験後の一例を**写真-6** および**写真-7** の丸印に示す。

ブランクはタイル側面と目地材との密着性が得られなかった為，脱型時に全て界面破断した。

アクリル系樹脂と酢酸ビニル系樹脂の荷重-変位曲線を比べると，アクリル系樹脂は緩やかな荷重上昇と最大荷重後も緩やかな荷重減少がみられるのに対し，酢酸ビニル系樹脂は急激な荷重上昇と最大荷重後の急激な荷重減少がみられる。

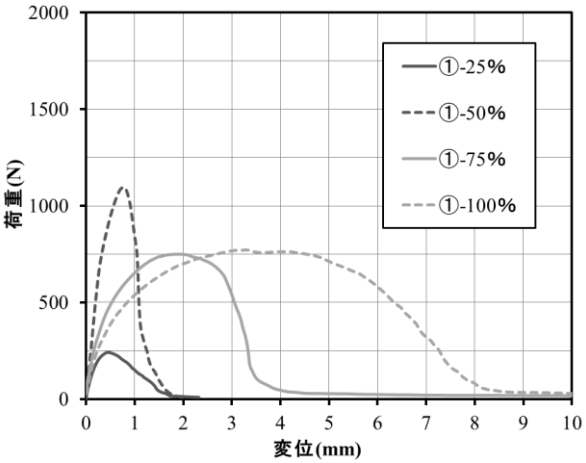

図-8 せん断引張実験-標準①

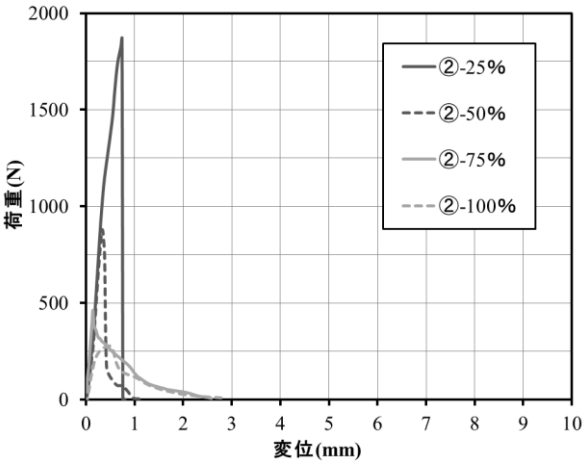

図-9 せん断引張実験-標準②

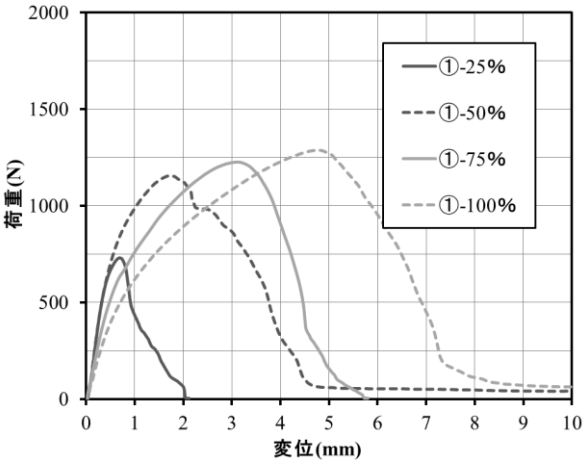

図-10 せん断引張実験-温冷①

アクリル系樹脂の場合，樹脂量の増加に伴い最大荷重時の変位が大きくなり，変位に対する残存荷重も大きくなった。温冷繰返し試験後の実験も同様の傾向がみられ，最大荷重が標準状態よりも大きくなった。

酢酸ビニル系樹脂の場合，樹脂量の増加に伴い最大荷重が小さくなった。また温冷繰返し試験後の実験は，全ての供試体で温冷繰返し試験中にタイルと目地材の界面で破断が発生し，実験を行うことが出来なかった。これ

は温度変化や吸水によるムーブメントの影響と考えられ，酢酸ビニル系樹脂に柔軟性がみられなかったことに起因すると考えられる。

エネルギーを図-11 に示す。このエネルギーはタイルと目地材の接着によるエネルギー及び目地材内部の凝集破壊によるエネルギーを併せて評価している。図-12 に示すような実験開始から実験終了までの荷重-変位曲線に囲まれた面積とした。なお，単位は N・mm とし，変位の最大値は 10mm とした。

樹脂の種類で比較すると酢酸ビニル系樹脂と比べ，アクリル系樹脂のエネルギーが大きくなる傾向がみられた。

実験条件に着目すると，アクリル系樹脂の場合は温冷繰返し試験後のエネルギーが大きくなる傾向がみられた。

アクリル系樹脂の場合は，樹脂量が多くなるにつれエネルギーが大きくなる傾向がみられ，特に樹脂量 50%以上のエネルギーが大きくなった。

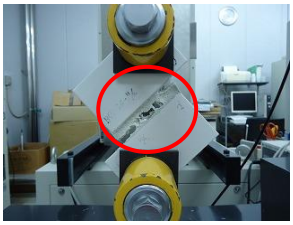

写真-6 供試体①-75
せん断引張実験後（温冷）

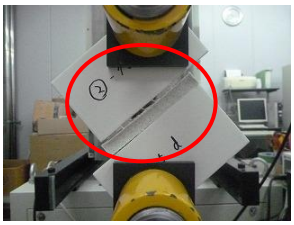

写真-7 供試体②-75
せん断引張実験後（温冷）

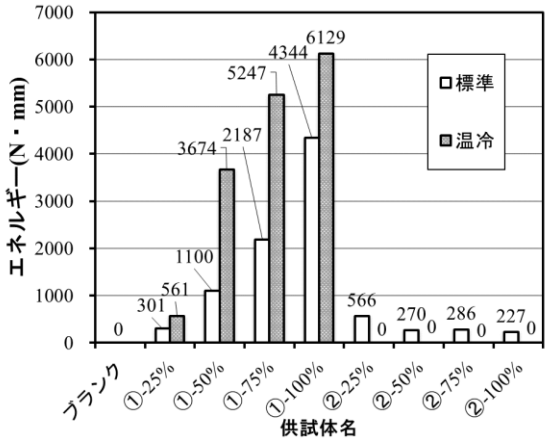

図-11 せん断引張実験のエネルギー

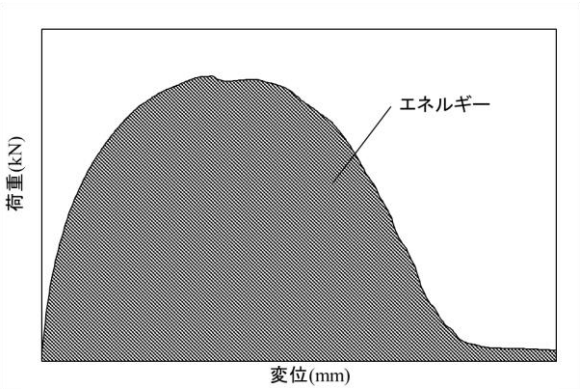

図-12 せん断引張実験における荷重-変位曲線

酢酸ビニル系樹脂はわずかなエネルギーしかみられず，樹脂量が少ないほどエネルギーが大きい傾向がみられた。

これらの要因は押し込み載荷実験と同様に，樹脂の Tg による影響と破壊モードの違いによる影響が考えられる。

4.3 引張実験

標準状態の実験結果を図-13 および図-14 に，温冷繰返し試験後の実験結果を図-15 に示す。グラフに用いている値は n=3 行った中で最大荷重が平均に近いグラフを

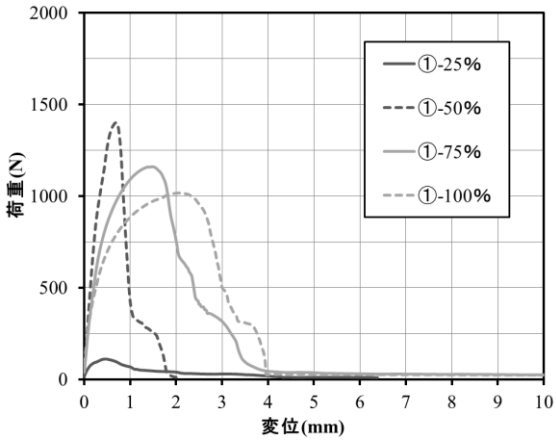

図-13 引張実験-標準①

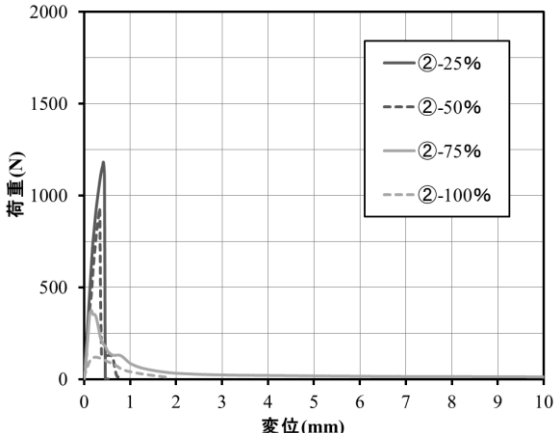

図-14 引張実験-標準②

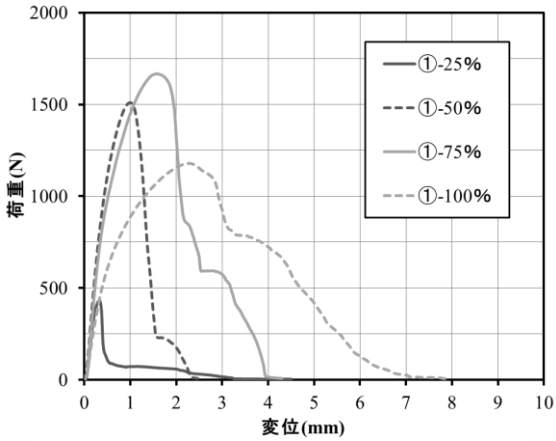

図-15 引張実験-温冷①

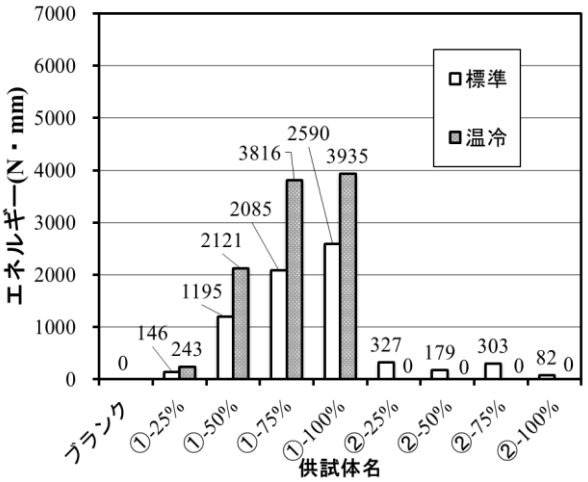

図-16 引張実験のエネルギー

用いている。試験後の一例を**写真-8** および**写真-9** の丸印に示す。

ブランクはタイル側面と目地材との密着性が得られなかった為，脱型時に全て界面破断した。アクリル系樹脂と酢酸ビニル系樹脂の荷重-変位曲線を比べると，アクリル系樹脂は緩やかな荷重上昇と最大荷重後も緩やかな荷重減少がみられるのに対し，酢酸ビニル系樹脂は急激な荷重上昇と最大荷重後の急激な荷重減少がみられる。ここから，酢酸ビニル系樹脂と比べアクリル系樹脂の方が変位に対して残存荷重が大きく，柔軟性の高い目地材となっていることが分かる。アクリル系樹脂の場合，樹脂量の増加に伴い最大荷重時の変位が大きくなり，変位に対する残存荷重も大きくなった。温冷繰返し試験後の実験も同様の傾向がみられ，最大荷重が標準状態よりも大きくなった。酢酸ビニル系樹脂の場合，樹脂量の増加に伴い最大荷重が小さくなった。また温冷繰返し試験後の実験は，全ての供試体で温冷繰返し試験中にタイルと目地材の界面で破断が発生し，実験を行うことが出来なかった。これは温度変化や吸水によるムーブメントの影響と考えられ，酢酸ビニル系樹脂に柔軟性がみられなかったことに起因すると考えられる。

エネルギーを**図-16** に示す。このエネルギーはタイルと目地材の接着によるエネルギー及び目地材内部の凝集破壊によるエネルギーを併せて評価している。**図-12** に示したような実験開始から実験終了までの荷重-変位曲線に囲まれた面積とし，荷重×変位で求められる。なお，単位は N・mm とし，変位の最大値は 10mm とした。

樹脂の種類で比較すると酢酸ビニル系樹脂と比べ，アクリル系樹脂のエネルギーが大きくなる傾向がみられた。

実験条件に着目すると，アクリル系樹脂の場合は温冷繰返し試験後のエネルギーが大きくなる傾向がみられた。

アクリル系樹脂の場合は，樹脂量が多くなるにつれエネルギーが大きくなる傾向がみられ，特に樹脂量 50%以上のエネルギーが大きくなった。

酢酸ビニル系樹脂は僅かなエネルギーしかみられず，樹脂量が少ないほどエネルギーが大きい傾向がみられた。

これらの要因は押し込み載荷実験と同様に樹脂の Tg による影響と破壊モードの違いによる影響が考えられる。

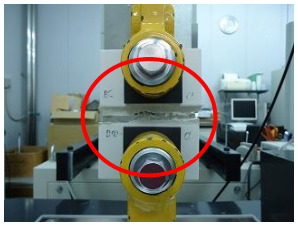

写真-8 供試体①-50 引張実験後（温冷）

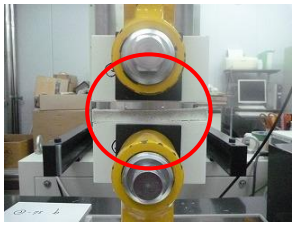

写真-9 供試体②-75 引張実験後（温冷）

5. 結論

1) アクリル系樹脂を使用した場合は柔軟性を有し，酢酸ビニル系樹脂を使用した場合は，アクリル系樹脂を使用した場合より柔軟性がなかった。
2) アクリル系樹脂は樹脂量が増えるとエネルギーが大きくなる傾向となり，破壊モードが目地材の凝集破壊となった。P/C50%以上で剥落防止性がみられた。
3) 酢酸ビニル系樹脂は樹脂量が減るとエネルギーが大きくなる傾向となり，破壊モードが界面破断となった。P/C25%，P/C50%で剥落防止性がみられた。

参考文献

1) 工藤靖一，西山光昭：目地に起因する強度低下について その 1．実験計画・結果，日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)，pp.1033-1034，2002 年 8 月
2) 工藤靖一，西山光昭：目地に起因する強度低下について その 2．考察・まとめ，日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)，pp.1033-1034，2002 年 8 月
3) 河辺伸二，小笠原和博，網本浩二：FEM によるタイルの応力解析について(深目地施工時のタイルの剥離の危険性)，日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)，pp.213-214，1992 年 8 月
4) 棚橋泰士，堀淳一，河辺伸二：樹脂を混合したタイル目地によるタイルの剥落低減に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，No.1，pp.580-585，2014
5) 室田昌彦，佐々木友幸，吉成拓也：外壁タイル張り工法の剥離・剥落抵抗性評価のための簡易な試験方法の検討，日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)，pp.1037-1040，2012
6) JIS A 6916：2014：建築用下地調整塗材，7.11 曲げ強さ試験，7.11.1 試験体
7) JIS A 6909：2014：建築用仕上塗材，7.11 温冷繰返し試験