論文　防水性に着目したタイル目地のひび割れ補修に関する研究

堀　淳一[*1]・棚橋　泰士[*1]・河辺　伸二[*2]・嘉戸　裕之[*3]

要旨：タイル目地のひび割れ補修に関して，防水性の観点から有効な補修材を検討した。なお，補修は既存のタイル目地を残した塗り代が少ない状態で行った。透水試験は JIS A 6909 を参考にした方法と JIS A 6916 を参考にした方法を比較した。その結果 JIS A 6916 を参考にした方法を用いることで，目地材の吸水や含水を除いた透水量の評価が可能となった。この方法を用いてひび割れを有するタイル目地の補修材を検討したところ，ひび割れ幅が 0.3mm や 0.5mm のときは，ひび割れの奥まで充填できる粒度の細かいモルタル系の補修材が有効であった。

キーワード：透水試験，タイル目地，補修，　ひび割れ

1. はじめに

タイルはマンションやオフィスビルなど多くの建築物の外装仕上げ材として用いられ，他の外装仕上げ材と比べ美装性，躯体保護性，メンテナンス性に優れた建築材料である。しかし，外的挙動や経年劣化等によってひび割れが発生すると，構造物の耐久性や防水性を低下させる原因となる。

ひび割れが躯体に達している場合や漏水を伴う場合は，エポキシ樹脂注入工法又はUカットシール材充填工法にてひび割れを改修し，タイル部分張替え工法又はタイル張替え工法[1)]が行われている。また，目地部分のひび割れのみの軽微なものについては目地改修工法として既存目地を取り除いて再度目地材を充填する方法がとられている。これに対し吉成・名知[2)]らは新築時のタイル張りに特殊不織布を使用し，水密性向上効果を検証している。本多・長谷川[3)]らは浸透性吸水防水材のひび割れに対する補修効果を検証している。しかし，タイル面の改修時に防水性向上を目的とした目地補修工法は少ない。

そこで本研究では，タイル目地にひび割れが生じている場合，既存タイルの意匠を生かしつつ，かつ既存タイル目地を残すことを前提に，塗り代の少ない目地部を補修できる防水性向上を目的とした補修材を検討する。

本研究では**表－1** に示す 5 種類の補修材の防水性を透水試験により評価する。試験は 5 種類の補修材及び補修を施さない試験体を加えた 6 水準で行う。供試体は各水準 2 個とする。試験は「モルタル基板の透水試験」と「タイル目地の透水試験」を行う。

2. 試験概要

2.1 モルタル基板の透水試験

透水傾向を確認するために試験面寸法 100×100×厚さ

表－1　タイル目地用補修材と組成

番号	補修材／組成（重量%）
1	タイル目地用モルタル(モルタル系)／ ポルトランドセメント(45)，珪砂(50)，添加剤(5)
2	珪酸質系浸透性塗布防水材(モルタル系)／ ポルトランドセメント(35)，珪砂(55)，添加剤(10)
3	無機質浸透性防水材(モルタル系)／ ポルトランドセメント(55)，珪砂(15)，その他(30)
4	浸透性吸水防水材(溶剤タイプ)／ シラン系オリゴマー混合溶液(100)
5	浸透性吸水防止材(水系タイプ)／ シラン系オリゴマー溶液(60)，水(40)

表－2　モルタル基板の作製条件

基板種類	基板の作製条件
標準基板	温度 23℃，湿度 50%の条件で 28 日以上養生した 1:3 モルタル基板。 標準基板については，以下「St」と表記する。
温冷繰り返し後の基板	St を 23℃の水中に 18 時間浸漬した後，直ちに-20℃の恒温槽中で 3 時間冷却し，次いで 50℃の恒温槽で 3 時間加温した。この 24 時間 1 サイクルの温冷繰り返しを 20 回繰り返した基板。 温冷繰り返し後の基板については，以下「h/c」と表記する。
温冷繰り返し後に 中性化試験を行った基板	h/c を中性化試験として，CO_2濃度 5%の気中に 1 ヶ月間静置した基板。 温冷繰り返し後に中性化試験を行った基板については，以下「h/c+中」と表記する。

*1 菊水化学工業㈱　技術開発本部
*2 名古屋工業大学大学院　教授・工博
*3 名古屋工業大学

10mm の 1:3 モルタル基板（調合，質量比ポルトランドセメント 1，細骨材 3，水 0.5）を作製した。基板の作製条件は**表－2** の 3 水準とした。

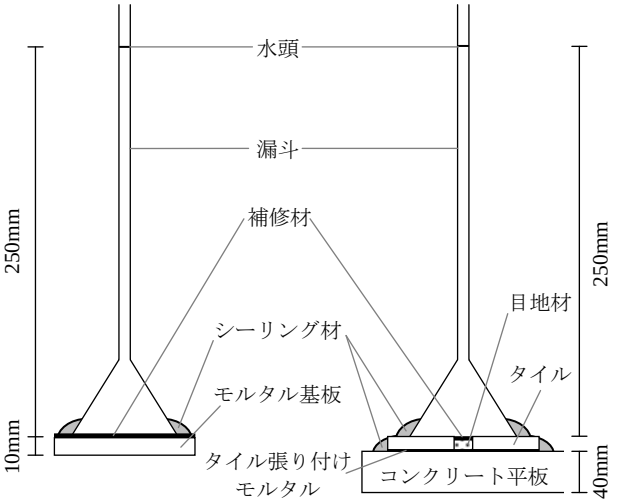
この 3 水準の基板の試験面に補修材を施し透水試験を行った。透水試験は，JIS A 6909 透水試験 B 法と JIS A 6916 透水試験を参考に，透水試験(1)と透水試験(2)を行なった。試験の様子を**図－1** に示す。

2.2 タイル目地の透水試験

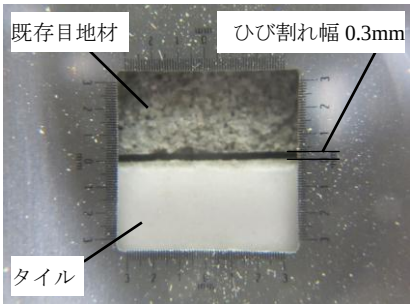
ひび割れが発生した目地部の防水性を確認するため以下の試験を行った。

試験面寸法 145×145×厚さ 40mm のコンクリート平板にタイル張付けモルタルで 50 角タイル 4 つを張り付け，目地部を目地材で埋め既存目地とした。既存目地は，タイル目地用モルタルと 1:3 モルタルの 2 種類とした。模擬のひび割れはタイルを張り付けた試験体をタイル目地にあわせて割裂し，再度突き合わせひび割れ幅を制御した。

なお，透水試験はひび割れの無い試験体，ひび割れ幅 0.3mm の試験体，ひび割れ幅 0.5mm の試験体の 3 水準とした。ひび割れ幅は，「高圧下でのひび割れ漏水実験結果のまとめ」[4] より，漏水がきわめて多くなるとされる 0.3mm のひび割れ幅を選定した。さらに 0.3mm より幅広い 0.5mm のひび割れ幅を選定することにより，漏水の影響を厳しく評価した。**写真－1** にひび割れ幅が 0.3mm の例を示す。



図－1　試験模式図　　**図－2　試験模式図**



写真－1　ひび割れ幅の制御(0.3mm)

その後，ひび割れを制御した既存目地材の上に補修材を施し透水試験を行った。試験の様子を**図－2** に示す。

3. モルタル基板の透水試験

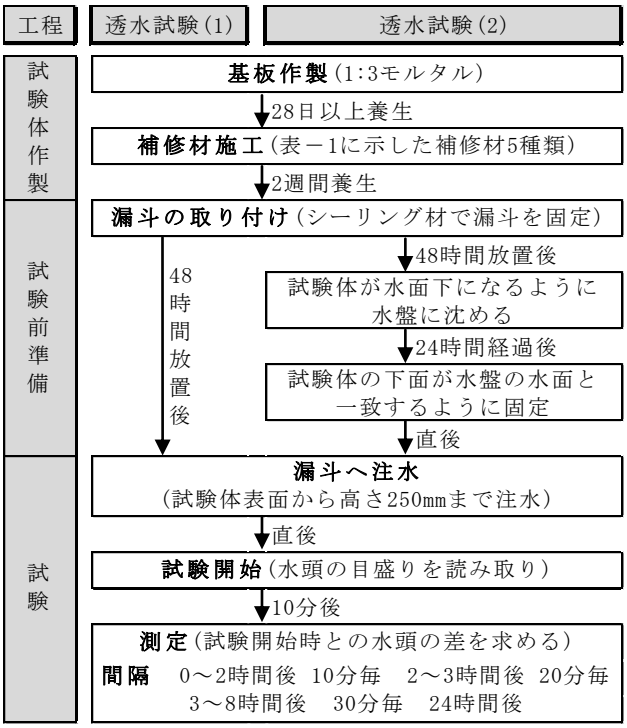
3.1 試験方法

3.1.1 透水試験(1)

透水試験(1)は JIS A 6909 の中の透水試験 B 法[5]を参考にした。試験の流れを**図－3** に示す。補修材を施した試験体に，**図－1** に示すようにシーリング材で漏斗を取り付け，48 時間以上放置した後，23±2℃の水を試験体の表面から高さ約 250mm まで入れ，試験開始時から測定時の水頭の差を求めた。初めの 2 時間は 10 分毎に水頭を測定し，2 時間後以降は 20 分毎とし，3 時間後以降は 30 分毎とした。試験開始から 8 時間後，24 時間後までの透水量を測定し終了した。1 時間当たりの透水量は，24 時間の総透水量を時間で除したものとした。

3.1.2 透水試験(2)

透水試験(2)は JIS A 6916 の中の透水試験[6]を参考にした。試験の流れを**図－3** に示す。補修材を施した試験体に，**図－1** に示すようにシーリング材で漏斗を取り付け，48 時間以上放置した後，試験体が水面下になるように水盤に沈めた。水盤に沈めてから 24 時間経過後，試験体の下面が水盤の水面と一致するように固定した。20℃±2℃の水を漏斗に試験体の表面から高さ約 250mm まで入れ，試開始時から測定時の水頭の差を求めた。測定間隔は透水試験(1)と同じとした。1 時間当たりの透水量は，24 時間の総透水量を時間で除したものとした。



図－3　実験の流れ

3.2 試験結果

3.2.1 透水試験(1)

図－4 に各補修材における 1 時間あたりの透水量を示す。補修材番号は**表－1** に示した番号であり，補修材番号 0 番は補修を施していない基板を示す。

基板の比較より，St の透水量が，他の 2 種類の基板と比べ多い傾向が見られる。

St の透水試験では，補修を施していない基板と浸透性吸水防止材（水系タイプ）の透水量がそれぞれ 5.92ml，6.32ml であり，ともに透水量が多かった。

その他の補修材はタイル目地用モルタル 0.92ml，珪酸質系浸透性塗布防水材 0.77ml，無機質浸透性防水材 1.06ml，浸透性吸水防止材（溶剤タイプ）1.51ml となり，相対的に高い防水効果が得られた。

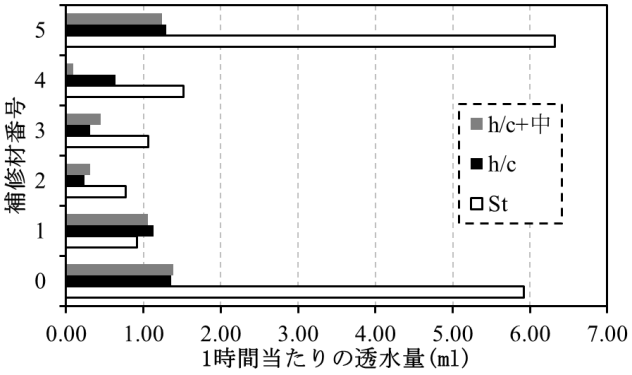
図－5 にタイル目地用モルタルで補修した基板の 24 時間後までの総透水量を示し，**表－3** に回帰曲線とその相関関係を示す。尚，各水準 2 個ずつ試験を行っており，「St-1」「St-2」のように通し番号を「-1」「-2」と表記した。

高い防水性がみられる基板でも，測定開始から数時間は透水量が多く徐々に一定水量に変化していくため，弓状の変化となっている。回帰曲線は複雑な計算となっているものの，高い相関関係が得られた。

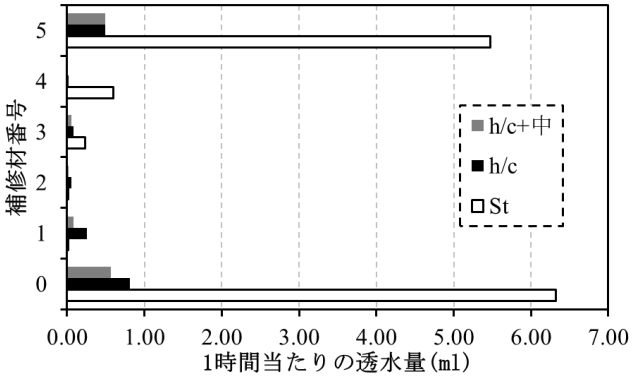
3.2.2 透水試験(2)

図－6 に各補修材における 1 時間あたりの透水量を示す。

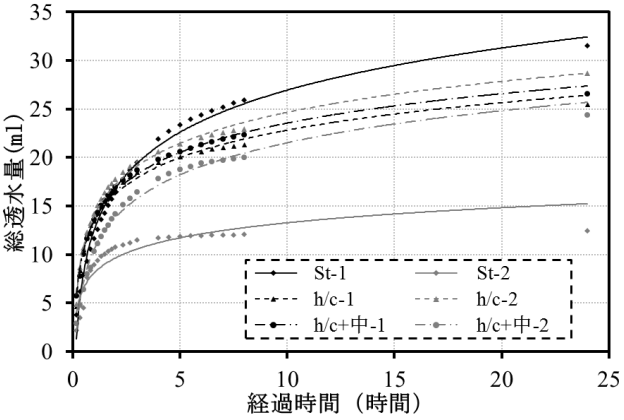
基板の比較より，St 基板の透水量が他の 2 種類の基板と比べ多い傾向が見られる。



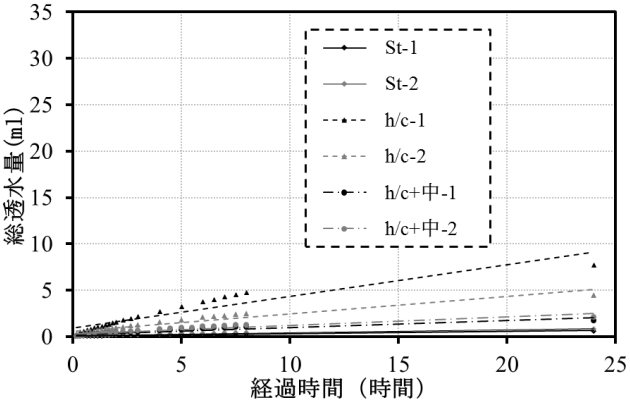
図－4　1 時間当たりの透水量：透水試験(1)



図－6　1 時間当たりの透水量：透水試験(2)



図－5　総透水量（タイル目地用モルタル）



図－7　総透水量（タイル目地用モルタル）

表－3　透水試験(1)の相関関係

試験体	回帰曲線	相関係数(R^2)
St-1	y = 6.26ln(x) + 12.55	0.99
St-2	y = 2.24ln(x) + 8.12	0.83
h/c-1	y = 4.08ln(x) + 13.43	0.99
h/c-2	y = 4.60ln(x) + 14.07	0.99
h/c+中-1	y = 4.37ln(x) + 13.50	0.99
h/c +中-2	y = 4.77ln(x) + 10.56	0.99

表－4　透水試験(2)の相関関係

試験体	回帰直線	相関係数(R^2)
St-1	y = 0.03x + 0.06	0.94
St-2	y = 0.03x + 0.11	0.93
h/c-1	y = 0.34x + 0.97	0.88
h/c-2	y = 0.19x + 0.56	0.91
h/c+中-1	y = 0.07x + 0.26	0.86
h/c +中-2	y = 0.09x + 0.28	0.86

St 基板の透水試験では補修を施していない基板と浸透性吸水防止材（水系タイプ）の透水量はそれぞれ 6.32ml，5.47ml で透水試験(1)の結果と比べても差はほとんどみられなかった。

その他の補修材は，タイル目地用モルタル 0.02ml，珪酸質系浸透性塗布防水材 0.01ml，無機質浸透性防水材 0.23ml，浸透性吸水防止材（溶剤タイプ）0.60ml となり，相対的に高い防水効果が得られた。

図－7 に 24 時間後までの総透水量を示し，**表－4** に回帰直線とその相関関係を示す。透水試験(2)は，JIS A 6916 透水試験を参考にし，24 時間水盤に沈めた後の状態で行ったため，透水量は一定の増加傾向を示しており回帰直線は高い相関性を示した。

3.3 考察

モルタルの劣化条件として定めた温冷繰り返しや中性化後の試験体において，本研究の範囲内では透水量の減少が見られた。その要因として，温冷繰り返しで基板が十分に劣化せず，水和反応により基板が緻密化された可能性が考えられる。しかし，本研究では検証まで至らず今後の課題とする。

透水試験(1)では初期に透水量が多く，徐々に一定水量へと変化していく傾向が見られた。それに対し，透水試験(2)では予め基板を吸水，含水させていたため透水量は経過時間に正比例し増加した。このことから，透水試験(1)の基板は乾燥していたため，初期に基板が吸水と含水することにより，初期の透水量が多くなったと考えられる。

ここで建築物内部への漏水の影響は，初期における基板の吸水と含水ではなく，一定水量の透水であると考えられる。そこで透水試験(2)を参考とし，タイル目地の透水試験を実施することとした。

4. タイル目地の透水試験

4.1 試験方法

タイル目地の透水試験は JIS A 6916 の中の透水試験[6)]を参考にした。試験の流れを**図－8** に示す。補修材を目地部に施した試験体に，**図－2** に示すようにシーリング材で漏斗を取り付け，48 時間以上放置した。

タイル目地の透水試験では基板を水盤に沈めることが出来なかったため，23±2℃の水を漏斗に試験体の表面から高さ約 250mm まで入れてから 24 時間経過させた。その後，再度 23±2℃の水を漏斗に試験体の表面から高さ約 250mm まで入れ，測定時の水頭の差を求めた。測定間隔は 8 時間後まで 1 時間ごとに測定し，24 時間後も測定した。1 時間当たりの透水量は，24 時間の総透水量を時間で除したものとした。

4.2 試験結果

図－9 に各試験体の 1 時間あたりの透水量を示す。**図－9** で 1 時間当たりの透水量が 1.5ml を示しているものは，透水量が非常に多く測定不能となったものを示す。ひび割れ無しの試験体は n=4 とした。補修材番号は**表－1** に示した番号であり，補修材番号 0 番は補修を施していない試験体を示す。なお，図中では既存タイル目地材について「タイル目地用モルタル」を「目地モル」，「1:3 モルタル」を「1:3 モル」と表記する。

ひび割れの無い試験体では全ての試験体で高い防水性が得られた。ひび割れを有する試験体では，補修を施していない試験体，浸透性吸水防止材（溶剤タイプ，水系タイプ）を施した試験体は防水効果が得られなかった。既存目地が 1:3 モルタルでモルタル系補修材を使用した試験体の 1 時間当たりの透水量は以下の通りとなった。タイル目地用モルタルでひび割れ幅 0.3mm の場合に 0.31ml，0.5mm の場合に 0.11ml であった。珪酸質系浸透性塗布防水材でひび割れ幅 0.3mm の場合に 0.43ml，0.5mm の場合に 0.02ml であった。無機質浸透性防水材でひび割れ幅 0.3mm の場合に 1.41ml，0.5mm の場合に 0.04ml であった。

モルタル系の補修材は高い防水効果が見られた。しかし，ひび割れ幅 0.3mm の時に透水量が多く，ひび割れ幅 0.5mm の時に透水量が少なくなる傾向が，珪酸質系浸透

図－8 タイル目地の透水試験の流れ

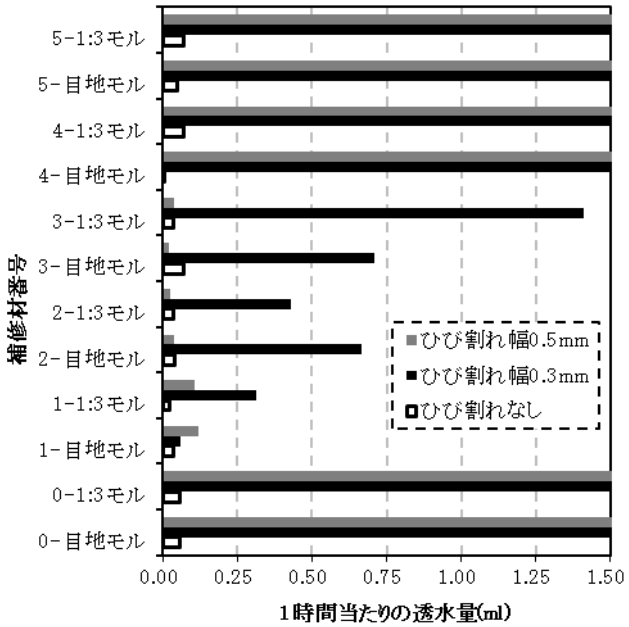
性塗布防水材と無機質浸透性防水材で顕著にみられた。

図－10 に 24 時間後までのタイル目地用モルタルの総透水量を示し，**表－5** に回帰直線と相関関係を示す。透水量は経過時間に正比例し増加しており，高い相関関係を示した。

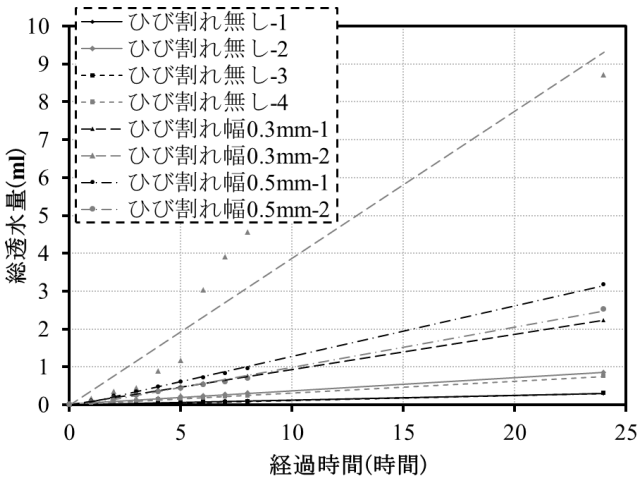
4.3 考察

モルタル系補修材がひび割れ幅によって結果にばらつきが出た要因を推察するため，補修材の充填量と粒度割合を求めた。

補修材の充填量は試験後の基板を再度割裂し，ひび割れ部の断面確認から補修材の塗膜厚さを求めた。**図－11** に示すように，ひび割れ幅が大きいと膜厚が厚くなる傾向が見られた。**図－9** の透水試験結果と比較すると，ひび割れ幅が 0.3mm の場合には最低膜厚が透水量に影響すると考えられる。



図－9　1 時間当たりの透水量



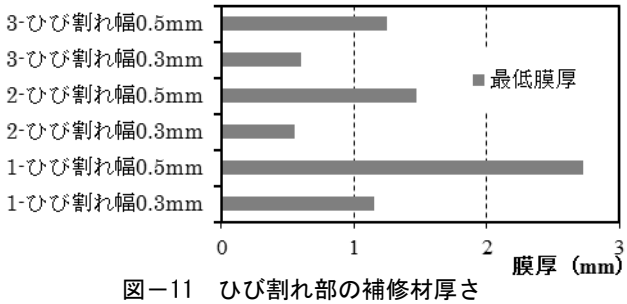
図－10　総透水量（タイル目地用モルタル）

粒度割合は**図－12** に示すように，タイル目地用モルタルは 0.25mm 以下の粒度のものが全体量の 90.7%であったのに対し，珪酸質系浸透性塗布防水材と無機質浸透性防水材の粒度は 73.6%と 68.3%であった。

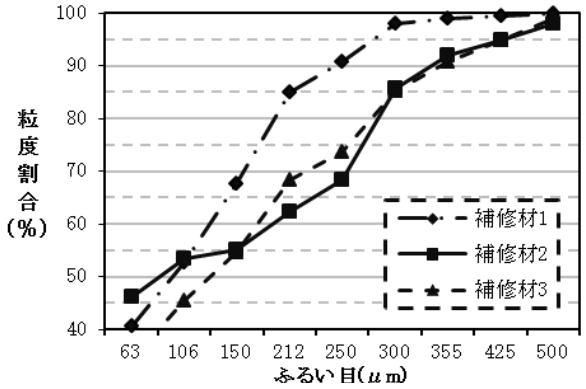
以上 2 つの検証より，ひび割れ幅 0.3mm の場合に透水量が多くなった要因として，ひび割れの奥までモルタルが入り込みにくい状況があったことで防水効果に差が出たと考えられる。

表－5　タイル目地用モルタルの相関関係

試験体	回帰直線	相関係数(R^2)
ひび割れ無し-1	y = 0.01x - 0.29	0.99
ひび割れ無し-2	y = 0.03x - 0.81	1.00
ひび割れ無し-3	y = 0.01x - 0.32	0.99
ひび割れ無し-4	y = 0.03x - 0.74	1.00
ひび割れ幅 0.3mm-1	y = 0.09x - 2.22	1.00
ひび割れ幅 0.3mm-2	y = 0.39x - 9.35	0.91
ひび割れ幅 0.5mm-1	y = 0.13x - 3.25	1.00
ひび割れ幅 0.5mm-2	y = 0.11x - 2.63	1.00



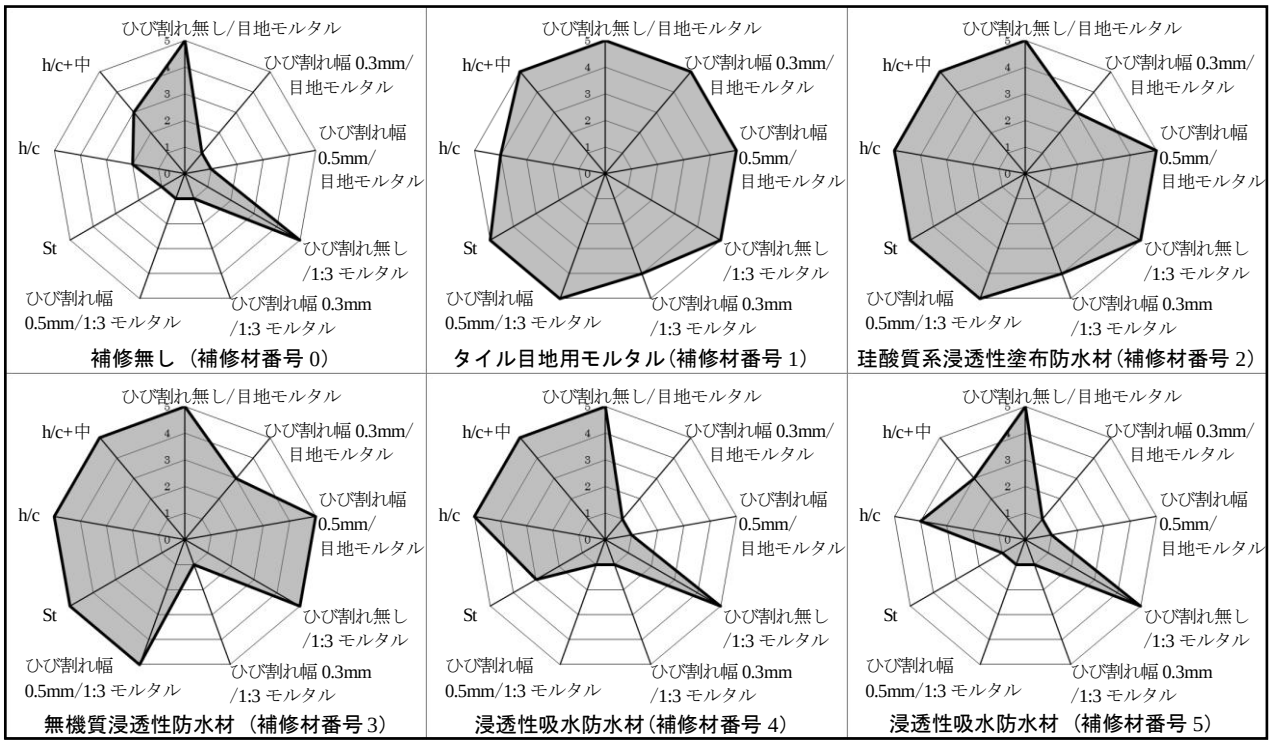
図－11　ひび割れ部の補修材厚さ



図－12　補修材 1～3 の粒度割合

表－6　1 時間当たりの透水量の点数化

1 時間当たりの透水量(ml)	点
0 以上 0.25 未満	5
0.25 以上 0.50 未満	4
0.50 以上 0.75 未満	3
0.75 以上 1.00 未満	2
1.00 以上	1



図－12　補修材の評価

ひび割れを有する試験体で浸透性吸水防止材に防水効果が見られなかったのは，浸透性吸水防止材が膜を形成し防水するタイプの材料ではなく基板に含浸し撥水する機構の材料であるため，ひび割れの充填ができなかったことが要因と考えられる。

タイル目地の透水量とモルタル基板の 1 時間当りの透水量を，**表－6** に示す基準で点数化して評価し，補修材ごとにまとめたレーダーチャートを**図－12** に示す。

実際の建築物のひび割れは，ひび割れ幅の大きい箇所も小さい箇所もある。そのため今回の試験の範囲内で有効な補修材は, 0.3mm の小さなひび割れから 0.5mm の大きなひび割れまで安定した防水性の得られるタイル目地用モルタルである。

5. まとめ

本研究により，以下の結果が得られた。

1） モルタル基板の透水試験から，モルタル基板は初期に吸水，含水し，その後 1 時間当りの透水量は一定水量に近づく。ここから吸水，含水の多いモルタル系の材料について透水試験を行う場合は JIS A 6916 を参考にした方法を用いることで，経時での透水量が一定となり安定した透水量の評価が可能となる。

2） タイル目地の透水試験から，0.3mm，0.5mm のひび割れに対してモルタル系の材料で補修することで防水性向上が見られた。ここから目地のひび割れに有効な補修材はひび割れの奥まで充填できる粒度の細かいモルタル系の補修材である。

今後の課題

既往研究[7]では漏水に対しての許容ひび割れ幅として 0.03~0.15mm のひび割れ幅が挙げられている。これに対し，本研究のようにひび割れに補修材を施す場合はひび割れ幅によって補修材の充填の程度が変化し防水性能に影響することが考えられるので，補修材による許容ひび割れ幅を求める必要がある。

参考文献

1) 財団法人建築保全センター：建築改修工事管理指針（上巻），財団法人建築保全センター，2010
2) 吉成拓也，名知博司 他 4 名：特殊不織布打込みタイル張り工法の開発，日本建築仕上学会学術講演会研究発表論文集 pp.191-194，2005
3) 本多千絵美，長谷川哲也 他 2 名：浸透性吸水防止材のひび割れ補修効果比較試験，日本建築学会学術講演梗概集（九州）pp.1227-1228，2007.8
4) 社団法人日本コンクリート工学協会：コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針 2009，社団法人日本コンクリート工学協会 p.85 参考表-4.2.3 高圧下でのひび割れ漏水実験のまとめ，2009
5) JIS A 6909：建築用仕上塗材, 7.12 透水試験 B 法, 2012
6) JIS A 6916：建築用下地調整材，7.15 透水試験，2012
7) 社団法人日本コンクリート工学協会：コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針 2009，社団法人日本コンクリート工学協会 p.85 参考表-4.2.4 既往の研究におけるひび割れ幅と漏水の関係，2009