床石材の故障再現試験方法と故障危険度判定方法の提案

PROPOSITION OF THE METHOD THAT EVALUATES THE REAPPEARANCE TEST AND THE RISK OF STONE TROUBLE FOR FLOOR MATERIAL

竹本喜昭 — * 1

Yoshiaki TAKEMOTO — * 1

キーワード：
石材, 故障現象, 発生危険度, 透水速度, 再現試験方法

Keywords:
Stone, A phenomenon of trouble, The risk, Water penetration speed, Method of reappearance test

The purpose of this paper is proposing the method that evaluates the risk of stone trouble for floor material. First, the water penetration speed was measured regarding floor stones of several thicknesses through four hours each. Second, I propose the method of the reappearance test that is able to reappear of stone trouble acceleratory. Finally the relations between the penetration speed and the results of the reappearance test were studied and revealed the potentiality of stone trouble.

1. はじめに

建築材料として使用される天然石材は、高級感が得られる材料として外壁、あるいは内装の壁・床などに使用される。近年は、国内の石材資源の枯渇に伴い、海外からの輸入石材の使用が増えている¹⁾²⁾。内装石材は建物のエントランスの床や壁に採用されることが多く、仕上がりの美しさとその維持が重視される。しかし、施工に先立つ事前検討においては、石材の水に対する性状を十分に把握できていないことが多く、特にバサモルを用いた湿式工法で施工した床石材では、美観を著しく損なう故障が発生し、その対処に苦慮することが少なくない。

本報告は、石材を床に施工する最も一般的な石張り工法である湿式工法を対象とし、床石材の視覚的な故障発生危険度を事前評価する方法について検討したものである。

2. 床石材の故障および本研究の目的

2.1 故障現象の実態

床石材の裏面からの水分供給に起因した視覚的な故障現象は、大きく分けて以下に示す3種類があげられる。

- (1) 濡れ色：石材裏面の水分が、石材内部を浸透し表面まで上昇することにより、写真1(1)に示すように石材表面が濡れた様な濃い色に変色したり、艶を失い曇った状態に変色する現象。汚れた水が上昇した場合は、乾燥した跡が染みとなって残る。この濡れ色故障は、特に、床暖房を使用した場合、発生することが多い。
- (2) エフロレッセンス：可溶性塩類を含んだ水分が、石材表面で乾燥することによって白い結晶を析出させる現象。析出する結晶は炭酸塩や硫酸塩が多く、石材裏面に使用したセメント成分由来する。濡れ色と同時に発生することが多く、石材の異種結晶の

界面や石目に沿って部分的に見られる。

- (3) ポップアウト：水分に溶解した可溶性塩類が、石材表面の石目や石材の結晶の間で結晶化する場合に体積膨張し、その膨張圧で石材表面や石目の弱点部が細かく鱗状に割れる現象³⁾。故障の例を写真1(2)に示す。白い部分は変色した箇所であり、白い線は石目に沿ってエフロレッセンスが発生し、さらに部分的にポップアウトしている箇所も認められる。

これらの故障は、石材の水に対する特性、厚さおよび石材裏面の水分や水蒸気の条件などによって発生状況が変化するため、事前に発生可能性を予測することは難しい。

(1) 濡れ色の発生事例

(2) 変色とポップアウトの発生事例

写真1 石材の故障事例

2.2 石材の試験方法

石材の水に対する性質は、一般には吸水率で判断される場合が多く、その試験方法はJIS A 5003「石材」に示されている。しかし、吸水率が小さい石材でも、特に床に湿式で施工した場合には故障が発生させる事例が見られるため、前述した故障の発生を評価する試験方法としては十分でない。

*1 清水建設技術研究所
(〒135-8530 江東区越中島3-4-17)

*1 Institute of Technology, Shimizu Corporation

2.3 研究の項目

床石材に生じる濡れ色、エフロレッセンスおよびポップアウトなどの故障について、JIS A 5003「石材」に明記されている品質項目に基づいて検討するのは不十分である。従って、筆者は床石材に関する以下の項目について検討を行い、石材の故障を再現した上で、故障と石材の物性の関係を明らかにし、さらに簡易な評価方法を提案することとした。

- (1) 故障再現試験方法の立案と試験の実施
- (2) 初期透水速度試験の実施
- (3) 故障発生危険度の評価方法の提案

3. 床石材の故障発生評価試験

湿式工法により床に石張りした状況を想定し、実地に確認されている故障現象を的確に再現するために、故障再現試験装置を考案・試作した。本装置を用いて各種石材の故障再現試験を試み、さらに石材の物性試験を並行して実施した。

3.1 試験用石材の種類

試験用として選択した石材は、花崗岩 4 種類、大理石 2 種類、石灰岩 2 種類の合計 8 種類である。これらの石材は、国内での施工実績が多く、比較的故障が発生しやすいものや、構成する結晶の特徴などを幅広く考慮して選択した。表 1 に試験用石材の一覧を示す。

表 1 試験用石材の一覧

No.	石種	産地	特徴
1	花崗岩 A	中国	赤紫系で結晶が細かい
2	花崗岩 B	中国	白色系で結晶が細かい 濡れ色が目立ちやすい
3	花崗岩 C	中国	黒色系 結晶がやや大きい
4	花崗岩 D	カナダ	赤色系で結晶が大きい 外壁に多く使用される
5	大理石 A	イタリア	白色系で使用実績が多い 濡れ色や変色が目立ちやすい
6	大理石 B	イタリア	白色系で石目が顕著 石目周囲から濡れ色やポップアウトが発生しやすい
7	石灰岩 A	フランス	赤系で結晶が細かい
8	石灰岩 B	ポルトガル	多孔質で、軟らかい風合い 内装壁や床に使用実績が多い

3.2 石材の基本物性

選定した石材の基本的な物性を求めるため、事前に試験を行った。結果を表 2 に示す。吸水率と圧縮強度は JIS A 5003「石材」に、曲げ強度は JIS A 5411「テラズブロック」に従った。透気量は、独自の方法で測定したものであり、寸法 150×150×厚さ 20mm で表面を本磨き、裏面を切放しとした石材を、両面の中央をそれぞれ直径 100mm 残して、他の全ての部分をエポキシ樹脂系接着剤でシールした試験体の両方向から、直径 100mm の穴をあけたゴムパッキンを挟んで通気装置に固定し、切放し面側から 0.49MPa の気圧をかけ、石材内部を通過した空気をゴムチューブを通して水槽中に逆さにした水を満たしたメスシリンダーで捕捉し、経過時間と透気量を測定した結果である。

基本物性から、試験体とした石材の特徴を以下にまとめた。

(1) 花崗岩

花崗岩 A、B の吸水率は比較的大きく、A は他の花崗岩と比較して透気量が多い。花崗岩 D は、吸水率が選択した石材の中では最も小さい。

(2) 大理石

大理石 A は吸水率が比較的小さく、圧縮強度も小さい。大理石 B は圧縮強度が大きく、吸水率、透気量も極めて大きい、これは石目が顕著な石材であり、部分的に空気や水の通り道になるためと考えられる。従って、部分的な物性のばらつきが大きい。

(3) 石灰岩

石灰岩 A は曲げ強度が大きく、透気量が極めて小さい。石灰岩 B は吸水率、透気量が大きく、圧縮強度が小さい。

以上のように、石材は結晶の種類、大きさ、石目の有無などによって様々な特徴を有し、吸水率、強度、透気量などが複雑に異なり、一元的で明確な相関性は認められない。

表 2 使用石材の基本物性値

試験体	吸水率 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	透気量 (ml/m ² ・h)
花崗岩 A	0.43	107.5	9.5	485,000
花崗岩 B	0.31	155.2	12.0	160,000
花崗岩 C	0.24	104.2	12.3	17,000
花崗岩 D	0.15	187.1	11.5	74,000
大理石 A	0.20	83.9	18.6	53,000
大理石 B	1.24	140.2	11.5	2,551,000
石灰岩 A	0.40	132.7	20.7	263
石灰岩 B	4.44	74.9	12.0	735,000

3.3 故障現象再現試験

3.3.1 故障再現試験装置の試作

故障再現試験装置の概要と寸法を図 1 に示す。この故障再現装置は、床石材の一般的な湿式工法を模したものであり、水分を含ませた珪砂に石材を載せ、故障の発生を再現するものである。また、床暖房用ヒーターを内蔵しており、珪砂の温度を上昇させることにより水分の上昇を促進し、同時に石材の内部に温度差を設けることにより、石材内部に水分を浸透しやすくし、石材の故障現象を促進的に再現させることを意図している。この故障再現装置の組み立て手順を以下に示す。

- (1) アクリル樹脂製板で作製した箱の底に厚さ 25mm の硬質発泡ポリスチレン板を敷き、その上にシート状の床暖房用ヒーターを載せた。
- (2) 5 号珪砂を 300 μ m の篩いにかけ、水道水で十分に洗浄した後、110℃の電気炉で十分に乾燥させた。
- (3) 乾燥した珪砂を十分に自然冷却した後、水もしくは水酸化カルシウム飽和水溶液を加え、十分にかけ混ぜた。
- (4) 水分を含ませた珪砂を、床暖房用ヒーターの上に厚さ 50mm で敷き詰め、表面を平滑に均した。
- (5) 石材の寸法(250mm 角)に 2 箇所切り抜いた厚さ 25mm の硬質発泡ポリスチレン板を砂の上に敷き、事前に 110℃のオーブンで十分に乾燥させて自然冷却した石材を硬質発泡ポリスチレン板の切り抜き部分にセットし、隙間をシーリング材で塞いだ。
- (6) 各石材の表面 3 箇所に、石材表面の温度測定用 CC 熱電対を

1cm 角のアルミテープで張り付けた。

図1 床石材の故障再現装置の概要・寸法 (単位:mm)

3.3.2 試験条件

床石材の故障現象は、不純物のない水分の上昇によって石材に濡れ色を生じるものと、可溶性塩類を含む水分が石材表面で乾燥し、結晶化や体積膨張によってエフロレッセンスやポップアウトを生じるものとがあり、関係する水分の違いによって発生する故障が異なる。従って、再現試験においても硅砂に混入する水分を、純水を用いて濡れ色のみを再現する方法(以下、濡れ色単独再現試験と称す)と、筆者らが過去行った石材の故障再現試験⁴⁾を参考として、水酸化カルシウム飽和水溶液を用いて濡れ色、エフロレッセンスおよびポップアウトを再現する方法(以下、複合故障再現試験)の2通りに分けた。条件の設定には、比較的故障現象の再現しやすい白色系の花崗岩Bを使用し、硅砂に混入する水分の割合、石材表面の温度、測定項目、観察項目などについて様々な条件で予備検討を行い、表3の試験条件を設定した。濡れ色単独再現試験には、表1で選択した8種類の石材を使用した。複合故障再現試験には、故障現象を再現しやすいと考えられた石材3種類と、実現場でポップアウトが発生した大理石Cを比較検討用の試験体として用いた。

表3 故障再現試験の条件

再現現象	濡れ色単独再現試験	複合故障再現試験
水分量	硅砂:水=1000g:30g	硅砂:水酸化カルシウム飽和水溶液=1000g:70g
試験体種類	花崗岩 A, B, C, D 大理石 A, B 石灰岩 A, B	花崗岩 B 大理石 A, B, C(参考)
寸法(mm)	250×250	
石厚(mm)	5, 10, 15, 20, 25	25
温度条件	・室温 20℃の恒温室内にて実施 ・ヒーターを調整し石厚によらず石材表面を約 30℃に制御	
測定項目	①色差:石材表面の9点を測定 ②目視観察:濡れ色、割れ、析出物などの有無	

3.3.3 故障再現試験方法

濡れ色単独再現試験は、石材表面の色の変化をハンディタイプの色彩色差計(ミノルタ製 CR-110)を用いて9箇所測定し、同時に目視による観察を行った。20℃の室内で試験を開始し、約20時間後にヒーターを入れ、その後約20時間後まで試験を行い、濡れ色が

観察されるか、変化のない場合は色差の値が一定となることを確認した。また、石灰岩Bは石材を透過する水蒸気が極めて多く、ヒーターを入れて4時間後に内部の硅砂を確認したところ十分に乾燥していたため、24時間で試験を打ち切った。複合故障再現試験は、より促進的に故障現象を発生させるために試験開始からヒーターを入れ、目視によって濡れ色、エフロレッセンス、ポップアウトなどの発生を7日間観察した。

3.4 物性試験の検討

3.4.1 事前試験

床石材の故障現象は、水分が裏面から表面に到達することによって発生する。従って、石材の水に対する性状を把握する方法として、JIS A 6909「建築仕上塗材」の透水試験Bを参考として、事前に石材の透水量を測定する試験を行った。試験には70×70×30(mm)の石材をそれぞれ5体ずつ用い、石材の切放し面に漏斗を逆さに置き、周囲をシーリング材で固定し、ゴムチューブを介してメスピペットを立て、水頭250mmを保持した場合の時間の経過に伴う透水量を、それぞれの石材について透水量が一定となる約400時間まで測定した。石灰岩Bは、極めて透水量が多い石材であったため、増加量が直線状となった約95時間で測定を打ち切った。結果を図2に、得られた透水量から算出した透水速度を表4に示す。

(ml/cm²)

図2 透水量の測定結果

表4 石材の透水速度

石材	経過時間 (時間)	平均透水速度 (ml/hr・m ²)	標準偏差 (ml/m ²)	変動係数 (%)
花崗岩 A	407.3	19.39	0.05	6.3
花崗岩 B	407.5	13.98	0.01	1.5
花崗岩 C	408.0	1.23	0.01	16.6
花崗岩 D	407.5	6.38	0.04	17.0
大理石 A	404.7	16.80	0.02	2.6
大理石 B	407.2	10.81	0.24	54.3
石灰岩 A	408.0	2.45	0.01	12.6
石灰岩 B	95.2	657.80	0.51	8.1

3.4.2 試験結果の検討

事前の透水試験において、得られた結果を以下に示す。

- (1) ほとんどの石材において試験開始直後の透水量が大きく、その後、透水量の増加は直線的となった。これは乾燥した石材内部において、水分を浸透させる特徴を表していると考えられる。
- (2) 石材によってばらつき方が異なり、花崗岩 B はばらつきが小さいのに対して、大理石 B は変動係数が 54.3% と極めて大きい。
- (3) 石灰岩 B は極めて透水量が大きく、他の石材の 7.9～62.6 倍となった。花崗岩 C と石灰岩 A は極めて透水量が小さくなった。花崗岩 A、B や石灰岩 A、B のように、ばらつきや透水量の大小の傾向を把握するには、ある程度の測定時間が必要である。

以上より、石材の初期透水性状の特徴が判断しやすく、測定作業が比較的安易にできることなどの理由から、4 時間までの透水量を測定し、その結果から換算した初期透水速度を求めることにした。

3.4.3 初期透水速度試験方法

試験体として用意した石材の厚さを 5mm～25mm まで 5mm ビッチで変化させ、以下の手順で試験を行った。

- (1) 各石材の切放し面(裏面)の中心に、直径 75mm の漏斗を伏せた状態で立て、周囲をシーリング材で接着した。
- (2) シーリング材の硬化後、図 3 に示すように漏斗にゴムチューブを介して 10ml のメスピペットを接続した。漏斗以外の石材の切放し面と小口面は、水分の蒸発を抑えるために 5 分間硬化型のエポキシ樹脂系接着剤でシールし、漏斗と反対側の本磨き面からのみ、水の蒸発が起こるようにした。
- (3) メスピペットに水を石材面から高さ約 25cm の位置まで入れ、測定を開始した。水は石材に浸透して減少した分を注ぎ足し、水面の位置が常に一定となるようにした。
- (4) 試験開始から石材に浸透する水の量を 10～20 分毎に測定し、4 時間後における透水量(ml)を石材の透水面積(m²)、透水時間(hr)で除して初期透水速度(ml/hr・m²)を求めた。

図3 初期透水速度試験の概要

4. 試験結果

4.1 濡れ色単独再現試験結果

濡れ色単独再現試験結果のうち、目視による観察結果を表 5 に、色差の結果について図 4 に示す。内容について以下にまとめた。

- (1) 花崗岩 C、石灰岩 A、大理石 B、石灰岩 B は床暖房を入れた状態でも、全ての石材において濡れ色は観察されなかった。
- (2) 花崗岩 D の 5～15mm は床暖房を入れた状態で色差は 5 となったが、元々石材自体の色彩が多様であり、色の变化は肉眼では

観察できなかった。なお、色差は 4～5 で肉眼によって色の变化が確認できるとされている。⁶⁾

- (3) 花崗岩 A は室温では色の变化は観察されなかったが、床暖房を入れた直後から濡れ色の発生が確認された。
- (4) 花崗岩 B は、室温で 5mm と 10mm に濡れ色が発生し、15mm も 15 時間程度で濡れ色が発生し、徐々に全体に広がっていった。20mm と 25mm は、室温では濡れ色は発生しなかったが、床暖房を入れた場合、短時間で濡れ色が認められた。
- (5) 大理石 A は、室温において 15mm と 20mm に短時間で濡れ色が発生した。5mm と 10mm は試験開始直後に部分的に濡れ色が発生したが徐々に薄くなり、目視では色の变化は確認できなかった。床暖房を入れた後は全ての石材において濡れ色が発生し、色差が 7～9 で安定した。

以上より、この再現試験方法では石材の種類、厚さによって濡れ色の発生状況を変えることができた。さらに、各試験において 20 時間後に床暖房を入れた際に、色差が急激に上昇したことから、床暖房による濡れ色の促進効果が確認できた。従って、この試験方法は、濡れ色の再現試験方法として有効であるといえる。

表 5 濡れ色単独再現試験結果(目視観察)

石材	5mm		10mm		15mm		20mm		25mm	
	室	暖	室	暖	室	暖	室	暖	室	暖
花崗岩 A	○	×	△	×	○	×	△	×	○	×
花崗岩 B	×	×	×	×	×	×	○	×	○	×
花崗岩 C	△	△	△	△	○	○	○	○	○	○
花崗岩 D	○	△	○	△	○	△	○	○	○	△
大理石 A	○	×	○	×	×	×	×	×	○	×
大理石 B	△	○	○	○	△	○	△	○	△	○
石灰岩 A	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
石灰岩 B	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

※室：床暖房を入れない室温での状態、暖：床暖房を入れた状態

※○：濡れ色なし、△：色差 4 程度で目視では判断できない濡れ色、

※×：肉眼で明らかに判断できる濡れ色

図4 濡れ色単独再現試験結果(色差)

4.2 複合故障再現試験結果

試験によって確認された石材表面の濡れ色、エフロレッセンスおよびポップアウトの結果を表 6、および写真 2 に示し、各石材の状況を以下にまとめて示す。

- (1) 花崗岩 B は、石材全面が濡れ色に変色し、写真 2 (1) のように結晶の間にエフロレッセンスが部分的に発生した。
- (2) 大理石 A は、濡れ色が顕著であり、濡れ色単独再現試験と比較すると色差が極めて大きくなった。
- (3) 大理石 B は、濡れ色、エフロレッセンスおよびポップアウトは観察されなかった。石目が多い石材を試験体として選択したが、この試験体に関しては、石目から十分な水分が上昇しなかったためと考えられる。
- (4) 参考として試験を行った大理石 C は、濡れ色は認められなかったが、写真 2 (2) に示したように、石目にエフロレッセンスとポップアウトが観察された。この現象は、実現場で問題となったポップアウトとほぼ同様の状態であった。

以上より、複合故障再現試験によって確認された故障現象は、実現場で問題となった状況をよく再現しており、複合的な故障を再現する方法として有効な試験方法であることが確認された。

表 6 経過時間と表面観察結果

試験体	4 日間経過後
花崗岩 B	濡れ色が発生、結晶の間にエフロレッセンスが発生
大理石 A	顕著な濡れ色が発生
大理石 B	変化なし
大理石 C	石目にエフロレッセンスとポップアウトが発生

濡れ色・エフロレッセンスの発生状況

エフロレッセンス・ポップアウトの発生状況

(1) 花崗岩 B

(2) 大理石 C

写真 2 故障再現試験結果

4.3 透水速度試験結果

各石材における厚さ別の時間経過と透水量の関係を図 5 に示す。また、試験結果から初期透水速度を求めて類似の特徴を持つ 4 つのグループに分類し、グループ別の石厚と初期透水速度の関係を図 6 に示す。以下に、得られた結果をまとめた。

(1) グループ A：花崗岩 C、石灰岩 A

花崗岩 C と石灰岩 A は、初期透水速度は $20(\text{ml}/\text{hr}\cdot\text{m}^2)$ 未満であり、石厚の影響がなかった。

(2) グループ B：花崗岩 A、花崗岩 B、大理石 A

花崗岩 A、B は、時間の経過とともに透水量は増加し、石材の厚さが厚くなるにしたがって透水量が多くなる傾向となった。大理石 A は、5～20mm での初期透水速度は $60\sim70(\text{ml}/\text{hr}\cdot\text{m}^2)$ 程度でほぼ同じであり、25mm は初期透水速度が約 $120(\text{ml}/\text{hr}\cdot\text{m}^2)$ となった。

これは、石材の特性によるばらつきか、石厚と石材自体の特性かは現時点では判断がつかなかった。

(3) グループ C：花崗岩 D、大理石 B

花崗岩 D の石厚 5mm と、大理石 B の石厚 15mm は、他の厚さの試験体と比較して極端に透水量が多くなった。大理石 B は石目が顕著であり、表 4 に示したように、試験体によってばらつきが大きく、他の部分では水をほとんど通さないことから、貫通した石目に水が浸透した可能性が考えられる。花崗岩 D も結晶の隙間がやや大きいため、貫通した隙間があったと推察される。

(4) グループ D：石灰岩 B

石灰岩 B は他の石材と比較して、10 倍以上の透水量となり、短時間で石材の裏面に水が到達した。石厚とともに透水量がほぼ増加する傾向となった。

以上より、初期透水速度で得られた試験結果は、それぞれの石材の水に対する性状を分類することができ、試験方法として有効であることが確認された。

図 5 経過時間と石厚・透水量の関係

図 6 グループ毎の初期透水速度

5. 故障発生危険度の評価に関する検討

5.1 濡れ色発生危険度について

初期透水速度と濡れ色単独再現試験結果の関係を、図7にまとめた。この図では、濡れ色の発生状況によって、故障発生危険度を3つの範囲に分けた。以下、それぞれの範囲についてまとめた。

(1) 範囲(A)：全ての石厚で初期透水速度 $25(\text{ml/hr}\cdot\text{m}^2)$ 未満

グループAとグループCの石目以外の部分が構成する範囲(A)に位置する石材は、水をほとんど通さないため、石材の厚さや石材裏面の条件によらず濡れ色の発生危険度は極めて小さい。

(2) 範囲(B)：10mmの初期透水速度 $25(\text{ml/hr}\cdot\text{m}^2)$ から25mmの $20\sim 80(\text{ml/hr}\cdot\text{m}^2)$

範囲(A)と範囲(C)に囲まれるこの範囲は、現段階ではデータがないが、初期透水速度と濡れ色単独再現試験もしくは複合故障再現試験を行い、総合的な評価によって故障危険度判定が可能と考える。

(3) 範囲(C)：5mmの初期透水速度 $25\sim 75(\text{ml/hr}\cdot\text{m}^2)$ から25mmの初期透水速度 $85\sim 120(\text{ml/hr}\cdot\text{m}^2)$

グループBが構成する範囲(B)の石材は、濡れ色の発生危険度が高い。ただし、同じ透水速度でも床暖房を入れない状態では濡れ色が発生しない石材があり、この範囲の中でも濡れ色の発生危険度は石材の性状と条件によって分けられると考えられる。また、グループCの石材で、石目や結晶の隙間があり、この範囲に入っている石材の部分に関しても、部分的に故障発生危険度が高く、石目に沿った濡れ色やエフロレッセンスおよびポップアウトを発生させる可能性があると考えられる。

(4) 範囲(D)：初期透水速度 $200(\text{ml/hr}\cdot\text{m}^2)$ 以上

石灰岩Bのような石材は、透水速度が極めて大きい、濡れ色の発生危険度は低い。これは、この範囲の石材は組織が粗いものがほとんどであるため、透気量が極めて大きいことから水蒸気の蒸発も活発となるため、通常の使用では濡れ色の故障は発生しにくいと推察される。また、床材として使用した場合、石材表面からの吸水による汚れの付着も考えられる。

図7 濡れ色現象の発生と初期透水速度の関係

5.2 エフロレッセンス・ポップアウトの発生危険度について

エフロレッセンスやポップアウトは、石材表面に水分が上昇することによって発生する現象であるため、図7で示す範囲(A)の石材は発生危険度が低い。範囲(C)の石材は、濡れ色の発生に伴って、エフロレッセンスやポップアウトの可能性が考えられる。また、グループCの石材は、複合故障再現試験結果に見られたように、濡れ色を発生させずに石目にポップアウトやエフロレッセンスを発生させることがあることから、初期透水速度試験と複合故障再現試験を複合して判断する必要がある。範囲(D)に属する石灰岩Bは、濡れ色の発生危険度は低いが、エフロレッセンスのような可溶性塩類が徐々に石材内部を上昇した場合、少しずつ初期透水速度が減少し、範囲(C)に入る可能性も考えられる。範囲(B)の石材は、現段階ではデータがないため、複合故障再現試験方法を慎重に行い、結果を確認する必要がある。

6. 再現試験方法と評価方法の提案

床石材の故障発生危険度を事前に評価する方法として、濡れ色単独故障再現試験もしくは複合故障再現試験を行い、初期透水速度を測定し、得られた結果を総合的に評価する方法が良いと考える。

本研究において、以下のことを明らかにし、故障再現試験方法と故障危険度判定方法を提案した。

- (1) 故障再現試験によって、濡れ色、エフロレッセンス、ポップアウトが再現できる試験方法を考案した。
- (2) 石材の4時間までの初期透水速度の特徴を把握し、グループA～グループDの4つのグループに分け、水に対する透水性の特徴を把握した。
- (3) 初期透水速度と濡れ色再現試験の結果によって、故障発生危険度を範囲(A)～範囲(D)の4つの範囲に分類した。
- (4) 床石材の故障発生危険度を評価する方法として、初期透水速度試験と故障再現試験を行い、総合的に判定する方法を提案した。

7. おわりに

本研究では、石材の故障再現試験と初期透水速度によって故障発生危険度を評価できることを示したが、現段階では同じ初期透水速度でも、条件によって濡れ色単独再現試験の結果が異なる場合がある。これは、石材裏面からの水分の供給量や、石材の透気量による石材表面からの水分の蒸発などによるバランスによって、濡れ色の発生位置が石材の内部に留まっている場合があるためと考えられる。さらに正確な濡れ色の発生危険度を評価するためには、初期透水速度、透気量、水分の供給量のバランスを的確に把握する必要があると考える。また、今後は石材の水に対する特性と、石材裏面の水分条件に応じた故障防止構法を考案し、確実な床石材の故障防止につなげていきたい。

[参考文献]

- 1) 施工：総集「石工事完全マニュアル」No.345, pp.46-49, 1994.7
- 2) 建築知識：特集 素材、仕上げ、工法、デザインまるごと「石」辞典, No.514, 1999.9
- 3) 武井吉一、中山貴：石と建築・材料と工法, 鹿島出版会, pp.87-91, 1992.10
- 4) 竹本喜昭、小野正：石材の故障防止に関する研究（その1.故障再現試験方法）, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1013-1014, 1999.9
- 5) 須賀長市著：耐候光と色彩<改訂版>, スカ試験機株式会社発行, pp.226-238, 1988.2

[2004年4月20日原稿受理 2004年7月29日採用決定]