

石造文化財の修復処置に関する研究〔I〕

樹脂強化処理石材の耐久性

西 浦 忠 輝

1. はじめに

劣化し脆弱化した石造文化財を固定強化する為には、樹脂による含浸処理が最も効果的であるが、処理された石の耐久性は、当然、含浸された樹脂により異なる。また、一般に石の耐久性は、その吸水性と深い関係にあるといわれている。従って、樹脂強化処理石材に更に防水性を付与することによって、耐久性をより向上させることができると考えられる。

そこで本研究では、樹脂強化処理石材の耐久性について、用いた樹脂による差を明きらかにすると共に、防水性付与によりどのような効果が生ずるかについて検討した。研究方法として、まず、樹脂による石に対する防水性付与効果およびその耐久性について、基材にスレート板を用いるモデル実験により検討し、次に、樹脂による劣化脆弱化した石の固定強化力およびその耐久性について、石粉を用いるモデル実験により検討し、最後に、これらモデル実験の結果を踏まえて、実際の劣化石による実験により、樹脂強化処理石材の耐久性について総合的に検討した。

2. 樹脂処理による防水効果〔スレート板によるモデル実験〕

2-1 材 料

樹脂自体の防水性付与効果およびその耐久性を試験する為には、用いる基材が完全無機質であり、材質が均一で耐久性に優れ、かつ、吸水性に富むものでなくてはならない。そこで、本

表一 防水性試験に用いた樹脂

商品名(メーカー)	略号*	種 別	成 分 等
エチルシリケート40 (日本コロコート)	[ES]	エチルシリケート	エチルオルソシリケートの四量体
バインダー AC-1 (日本コロコート)	[AC]	エチルシリケート系バインダー (有効シリカ分10%)	エチルシリケートの加水分解物の イソプロパノール溶液
バインダー HAS-1 (日本コロコート)	[HAS]	エチルシリケート系バインダー (有効シリカ分20%)	エチルシリケートの加水分解物の イソプロパノール溶液
バインダー SS-101 (日本コロコート)	[SS]	変性エチルシリケート系バインダー (有効シリカ分28%)	変性エチルシリケートの加水分解物の トルエン溶液
オルガテックス PS-41 (松本製薬工業)	[PS]	チタン有機化合物	ジヒドロキシステアリルチタネートの 5% イソプロパノール溶液
TLF-2005 (デュボン)	[TLF]	チタン有機化合物	ポリヒドロキシチタニウムステア レートの4% キシレン溶液
ポロン MF-40 (信越化学工業)	[MF]	シリコン系エマルジョン型撥水剤	メチルシリコンオイルエマルジョン
KC-89 (信越化学工業)	[KC]	シリコン系溶剤型撥水剤	メチルシリコンワニス のトルエン溶液
X-40-254C (信越化学工業試作品)	[X-40]	変性シリコン系溶剤型撥水剤	変性メチルシリコンワニスの2% トルエン溶液
X-51-2501 (信越化学工業試作品)	[X-51]	変性シリコン系溶剤型撥水剤	変性メチルシリコンワニスの2% トルエン溶液
リカレジン ST-001 (新日本理化)	[ST]	常温硬化型アクリル樹脂	メチルメタクリレートのモノマー ポリマー混合体

* 略号は本報告での略号

実験では、石綿スレートフレキシブル板(4mm厚)を石に替るモデル基材として用いた。
本実験に用いた樹脂は、表-1に示す11種である。

2-2 試験方法

スレート板を7×7cmにカットし、RH50%のデシケーター中にて一定期間調湿した後、

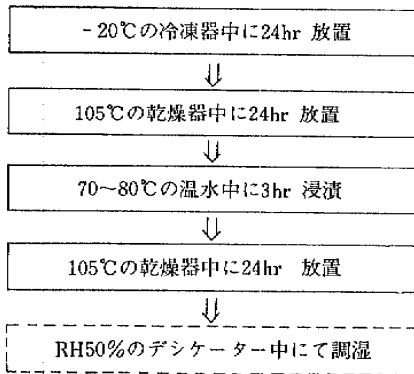


図-1 劣化促進処理

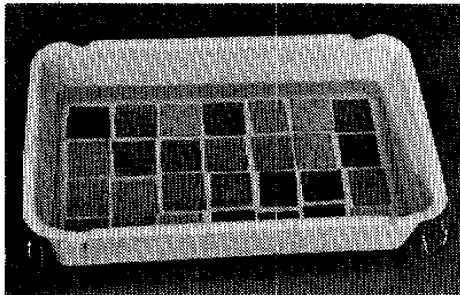


図-2 水中浸漬(吸水率の測定)

刷毛にて、スレート板に樹脂が充分浸透するまで塗付し、風乾後、更にもう一度塗付した。切断面は吸水性が大きいので、特に念入りに塗付した。

塗付後、溶剤臭が消える迄常温にて2日以上風乾してから、重量を測定した後、常温水中に浸漬して、10分後、1時間後、4時間後、1日後、2日後の重量を測定した。

浸漬2日後までの測定が終了したら、防水効果の耐久性を調べる為に、すぐに図-1に示す劣化促進処理を施し、再び同じ様に、重量測定後常温水中に浸漬して、一定時間後の重量を測定した。

尚、水中浸漬の状態を図-2に示す。

2-3 試験結果

測定結果を表-2に示す。表-2から明らかなように〔AC〕、〔HAS〕、〔PS〕では防水効果はほとんどなく、〔ST〕・〔ES〕混合、〔ST〕・〔PS〕混合でも防水効果は小さい。〔ES〕、〔ES〕・〔PS〕混合、〔ES〕・〔TLF〕混合の場合、常態ではかなりの防水効果があるが、劣化促進処理後ではその効果が大幅に低下する。また、〔ST〕では浸漬後4時間後まではかなりの防水効果を示すが、1日後になると大幅に低下する。防水効果に優れ、その効果が劣化促進処理によって低下しにくい、即ち、耐久性も良好であるものとして、〔TLF〕、〔MF〕、〔KC〕、

表-2 樹脂塗付スレート板の吸水率

樹脂	吸水率* (%)					樹脂	吸水率* (%)				
	10分後	1時間後	4時間後	1日後	2日後		10分後	1時間後	4時間後	1日後	2日後
〔ES〕	0.5 (6.1)	0.9 (8.6)	1.5 (9.5)	4.1 (9.9)	7.0 (10.3)	〔MF〕	0 (0.2)	0.2 (0.3)	0.8 (0.8)	2.6 (3.2)	3.5 (4.6)
〔AC〕	4.3 (—)	7.1 (—)	8.7 (9.5)	9.4 (9.9)	9.5 (10.3)	〔KC〕	1.8 (0.5)	3.5 (0.8)	4.7 (1.1)	5.9 (2.2)	6.3 (2.8)
〔HAS〕	3.5 (—)	6.9 (—)	8.9 (9.7)	9.5 (10.3)	9.6 (10.6)	〔X-40〕	0.6 (0.7)	0.8 (1.2)	1.6 (1.7)	3.2 (3.5)	4.9 (4.8)
〔SS〕	1.5 (—)	3.5 (—)	4.0 (4.2)	6.9 (7.3)	8.6 (8.8)	〔X-51〕	0.6 (0.6)	0.8 (1.1)	1.2 (1.4)	3.0 (3.1)	4.2 (4.4)
〔PS〕	4.0 (3.3)	7.8 (7.4)	9.1 (9.5)	9.5 (10.0)	10.1 (10.3)	〔ST〕	0.6 (0.6)	1.2 (1.2)	3.5 (3.6)	9.5 (10.5)	9.5 (10.5)
〔TLF〕	0.9 (1.2)	1.4 (2.0)	1.8 (3.3)	5.0 (6.6)	8.2 (8.3)	〔ST〕・〔ES〕	2.0 (3.6)	4.9 (8.4)	9.3 (10.7)	10.5 (11.2)	10.7 (11.4)
〔ES〕・〔PS〕	0.4 (3.4)	0.8 (6.6)	0.8 (9.1)	2.0 (10.1)	5.2 (10.1)	〔ST〕・〔PS〕	1.3 (1.7)	3.1 (4.8)	7.6 (10.1)	9.5 (10.5)	9.8 (11.0)
〔ES〕・〔TLF〕	0.5 (3.4)	0.9 (7.6)	1.0 (9.0)	3.5 (9.7)	7.3 (9.9)	無処理	6.8 (7.1)	10.1 (10.2)	10.3 (10.8)	10.5 (10.8)	10.5 (10.8)

* 吸水量(重量)÷浸漬前の重量×100 ()内は劣化促進処理後

〔X-40〕, 〔X-51〕が残る。

これらについて、吸水率と浸漬時間との関係を図-3に示す。

2-4 考 察

吸水率測定による防水効果試験により、〔TLF〕, 〔KC〕, 〔MF〕, 〔X-40〕, 〔X-51〕が良好であるとの結果を得たが、この他に文化財修理に用いる樹脂の具備すべき条件として、

- (i) 色の変化、艶の変化を起こさないこと。
- (ii) 石の呼吸、即ち、空気、水蒸気等の出入りを止めないこと。
- (iii) 常温にて硬化し、十分な性能を発揮すること。
- (iv) 二次的生成物質により基材を傷めないこと。

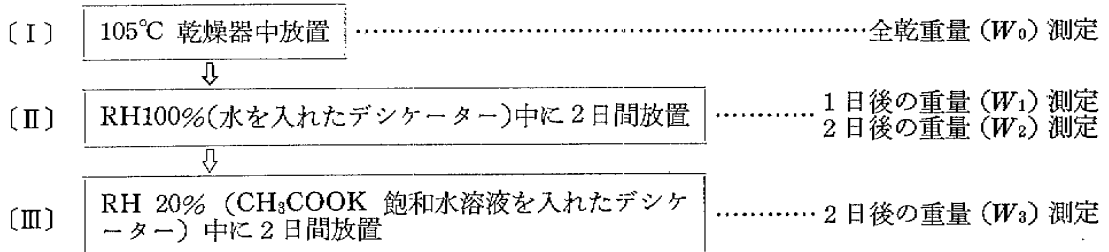
が重要である。

そこでこの点から上記五種について検討を加えると、まず(i)については、ステアリルチタネートの溶剤タイプである〔TLF〕と、シリコンワニス of 溶剤タイプである〔KC〕, 〔X-40〕, 〔X-51〕は全く問題ないが、シリコンオイルのエマルジョンタイプである〔MF〕では処理材の表面に艶のある膜を形成するので文化財向きとはいえない。次に(ii)の処理材の呼吸を止めないという点については、チタン系、シリコン系樹脂の秀れた特徴であり問題はないと思われるが、一応確認試験として吸脱湿試験を行なった。

◎ 吸脱湿試験

材 料：(2-2) と同様のもの

試験法：



〔II〕における吸湿率 $\frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100(R_1)$, $\frac{W_2 - W_0}{W_0} \times 100(R_2)$

〔III〕における残存湿分 $\frac{W_3 - W_0}{W_0} \times 100(R_3)$ 〔III〕による脱湿率 $\frac{R_2 - R_3}{R_2} \times 100$

試験結果を表-3に示す。表-3から明らかなように、樹脂塗付により基成(スレート板)の吸脱湿性を阻害するということはほとんどない。つまり、処理材の呼吸を止める心配はないと言える。

次に、(iii)の常温にて硬化し十分な性能を発揮するという点から考察すると、〔KC〕に問題がある。表-2から明らかな様に〔KC〕の場合劣化促進処理後の方が逆に防水効果が上昇しており極めて優秀な結果が出ているが、この理由は劣化促進処理過程での高温加熱処理にあると

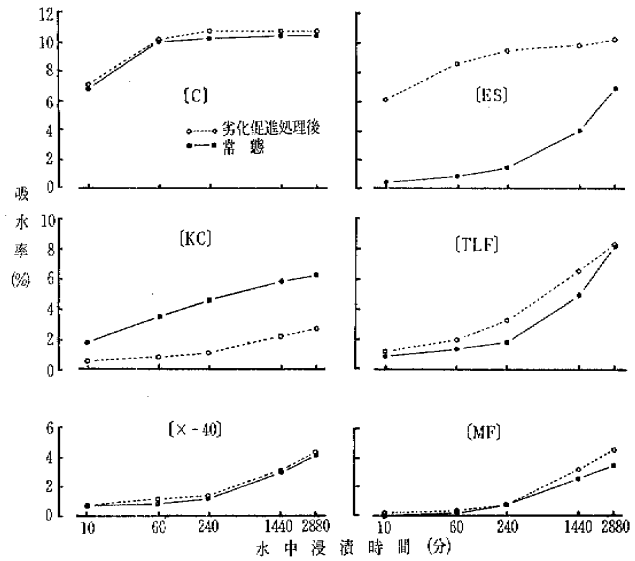


図-3 水中浸漬時間と吸水率との関係

表—3 樹脂塗付スレート板の吸脱湿性

樹脂	R ₁	R ₂	R ₃	$\frac{R_2-R_3}{R_2} \times 100$
[TLF]	2.0	2.5	1.1	56
[MF]	1.9	2.4	1.3	47
[KC]	1.5	2.2	1.3	42
[X-40]	2.0	2.8	1.5	46
[X-51]	2.0	2.9	1.6	45
[AC]	2.1	2.9	1.4	52
[HAS]	2.1	2.9	1.4	52
[SS]	2.0	2.8	1.4	50
[C]	2.1	2.6	1.4	46

思われる。〔KC〕の成分はメチルシリコンワニスであり、高温焼付によって初めて完全に硬化し優秀な防水効果を発揮するタイプの樹脂である。この点、常温で完全に硬化するチタニウム系の〔TLF〕や変性シリコンワニスとは異っている。勿論、常温乾燥の場合でもかなりの効果はあるが、〔X-40〕、〔X-51〕、〔TLF〕と比較した場合、浸漬4時間後の吸水率をとってみると、〔KC〕が4.7%であるのに対して〔X-40〕、〔X-51〕、〔TLF〕では1.2~1.8%であり、相当見劣りする。文化財修理の場合、磨崖仏等屋外の場合には特に、

常温乾燥が条件であり高温焼付処理というようなことは普通考えられないので、この点からは余り適当でないと判断される。

次に(iv)の二次的生成物質により基材を傷めないという点については、Si、Tiが主成分であり、Cl、S等を含まないシリコン系、チタン系のこれら樹脂は全く問題ない。

以上のことより、文化財修理という観点から見て、〔X-40〕、〔X-51〕、〔TLF〕が、秀れた防水性付与効果のある樹脂と判断される。

3. 樹脂による劣化石の固定〔石粉によるモデル実験〕

3-1 材 料

石粉は大分県熊野磨崖仏の下部から実験用に採取した凝灰岩を砕き、更に、乳鉢で細かい粒状から粉状(24メッシュ通過)にしたものを用いた。

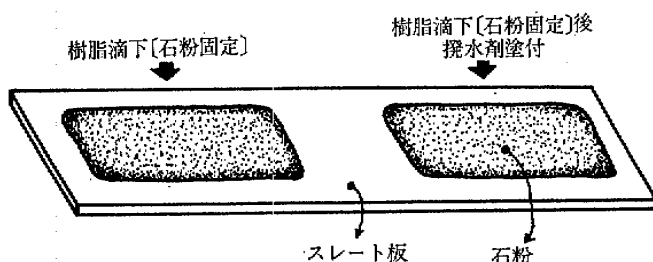
樹脂は次に示す6種を単独あるいは混合液として用いた。

- ・エチルシリケート40〔ES〕
- ・バインダー AC-1〔AC〕
- ・バインダー HAS-1〔HAS〕
- ・バインダー SS-101〔SS〕
- ・リカレジン ST-001〔ST〕
- ・オルガチット P〔P〕……テトライソプロピルチタネートの5%プロパノール溶液

3-2 試験方法

3-2-1 ウェザリング試験

図-4に示すように、約7×35 cmのスレート板に広さ約5×10 cm、高さ約3 mm 状に石粉を置き、上部からピペットで樹脂を滴下し、十分に浸透させる。常温にて風乾し充分硬化してから一方には撥水剤を塗付し、再び風乾して、完全に硬化し溶剤臭が消えてから、ウェザリング処理し状態の変化を観察した。



図—4 ウェザリング試験片

尚、石粉固定用含浸樹脂としては、〔AC〕、〔HAS〕、〔SS〕、〔ST〕の四種、撥水剤としては〔X-40〕を用いた。

○ウェザーメーター (図-5)

東洋理化学工業製 サンシャインタイプ〔WE-SUN-HC〕

○ ウェザリング条件

処理時間：220 時間（ほぼ屋外暴露 1 年間に相当）

スプレイ：60 分間に 12 分間スプレイ（日本の標準降雨量に対応）

乾球温度：45°C

湿球温度：39°C

3-2-2 劣化促進試験

図-6 に示すように、スレート板上に石粉を直径約 5 cm 高さ約 5 mm 状に乗せ、上部からピペットにて樹脂を滴下し、十分に浸透させる。常温にて風乾し、完全に硬化して溶剤臭が消えてから、劣化促進処理（3-3-2、表-5）を施し、状態の変化を観察した。

尚、用いた樹脂は〔AC〕、〔HAS〕、〔SS〕、〔ST〕、〔ST〕+〔ES〕混合溶液、〔ST〕+〔P〕混合溶液の 6 種である。

3-2-3 屋外曝露試験

ウェザリング試験と同じ形の試験片を、東京国立文化財研究所別館屋上に設置（51.8）した曝露台（図-7）に取り付けて屋外曝露し、経時変化を観察する。

現在、曝露を開始した所であり、未だ結果は出ていない。

3-3 試験結果

3-3-1 ウェザリング試験

試験結果を表-4 および図-8~15 に示す。尚、表および図中、〔—〕・〔X-40〕は、樹脂含浸後〔X-40〕塗付を意味している。

また、図-8~15 では左側がウェザリング処理前、右側が処理後である。

ウェザリングに対する石粉固定の耐久性という点では、明らかに〔SS〕が秀れている。〔AC〕の場合には、台板との接着性が悪いが、撥水剤塗付によって相当改良されている。〔HAS〕、

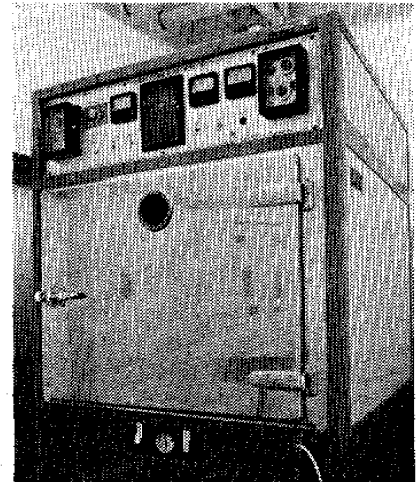


図-5 ウェザーメーター

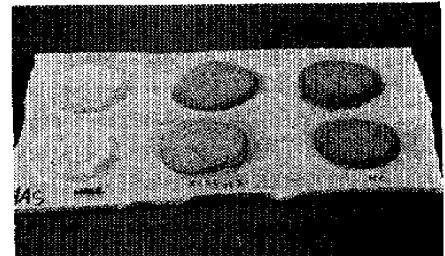


図-6 劣化促進試験片

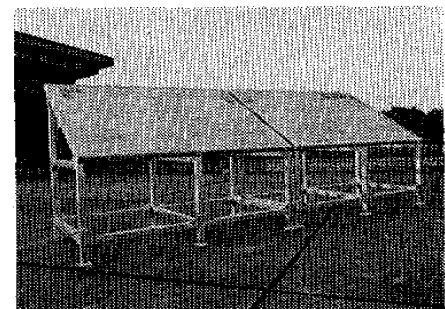


図-7 東京国立文化財研究所屋上に設置された曝露台

表-4 ウェザリング処理による状態変化

樹脂処理	状態変化
〔AC〕	スレート板との界面から完全に離脱
〔AC〕・〔X-40〕	クラックが生じた部分から浮き上がるような状態で剥れ上がり、一部剥落
〔HAS〕	樹脂処理時に石粉層から溢れ出て、スレート板上で固まった樹脂塊の部分が完全に白化、石粉部も全体的にやや白っぽくなる。クラックの入った部分から噴火口状にスレート板との界面から剥れ上がり、一部剥落
〔HAS〕・〔X-40〕	〔HAS〕とほとんど差はないが、剥れ上がり剥落の程度は若干ましである
〔SS〕	やや暗色化、クラック剥れ等全くなし
〔SS〕・〔X-40〕	やや暗色化、クラック剥れ等全くなし
〔ST〕	スレート板との界面ではなく石粉層での層状剥離による剥落
〔ST〕・〔X-40〕	〔ST〕とほとんど同じ状態

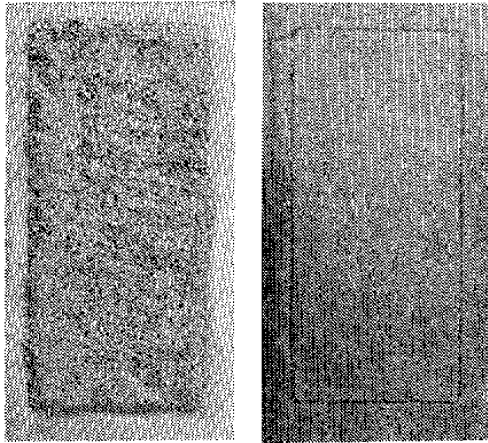


図-8 [AC]

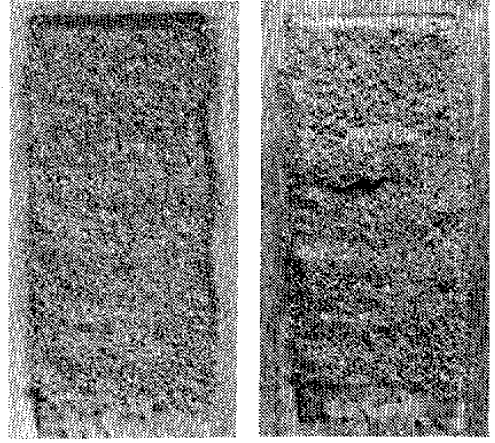


図-9 [AC]・[X-40]

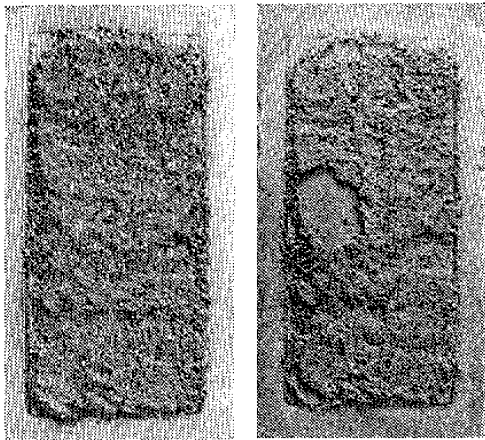


図-10 [HAS]

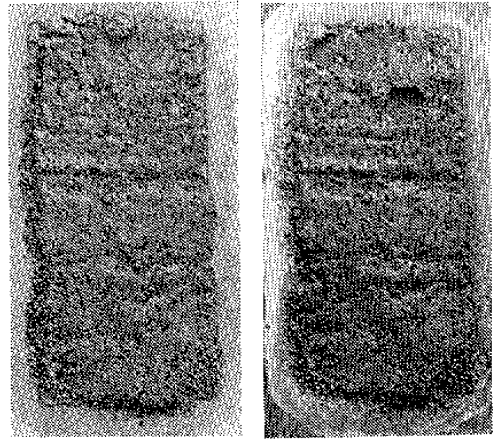


図-11 [HAS]・[X-40]

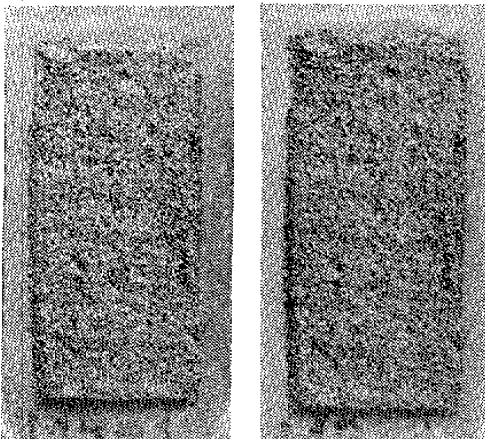


図-12 [SS]

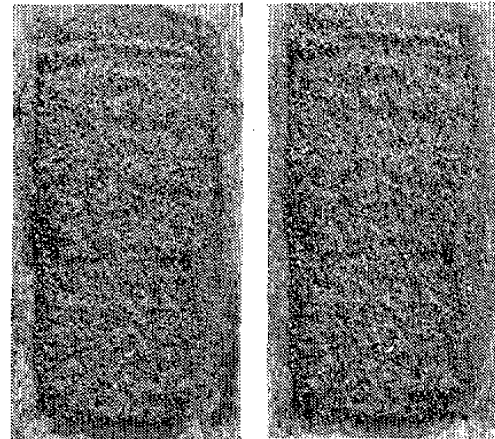


図-13 [SS]・[X-40]

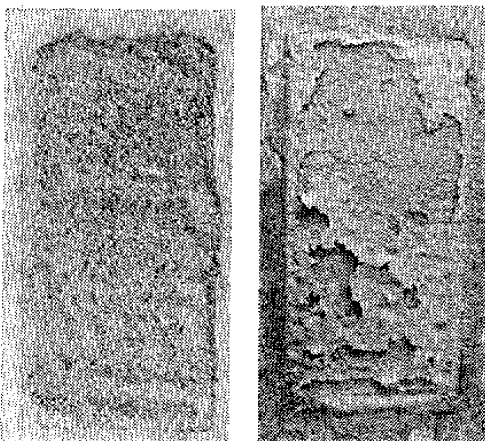


図-14 [ST]

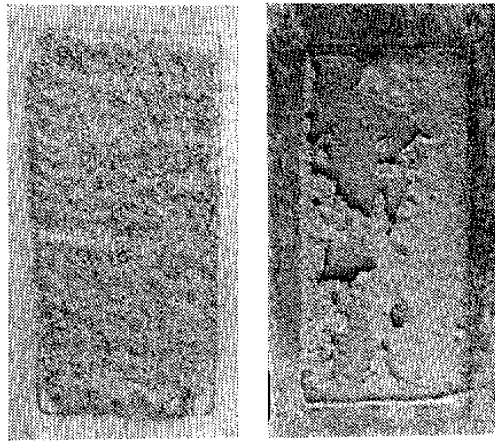


図-15 [ST]・[X-40]

〔ST〕の場合には撥水剤の効果はそれ程ない。〔ST〕では石粉層の層間剝離が起きる。

3-3-2 劣化促進試験

試験結果を表-5に示す。尚、表中◎は良好な状態を、↓は新たな変化なしを意味している。表-5から明らかなように、本劣化処理に対する耐久性では〔SS〕が極めて良好であり、次いで〔AC〕もかなり良好である。〔AC〕の場合、石粉固定という点では〔SS〕と同程度の耐久性を有しているが、台板（スレート板）との接着性が劣る。これは樹脂濃度が低いことと平均分子量が小さいことによると思われる。それに対して平均分子量の大きい〔HAS〕では、接着性は良好であるがクラックが生じ易く、それが原因で耐久性が大幅に低下する。

3-4 考 察

一旦砕き粉々にした石をもう一度樹脂で固め、劣化を促進させてその耐久性を調べるという本モデル実験は、実際の修理の場合には形を保っているものを強化するのだということを考えると極めて厳しい条件での試験である。従ってウェザリング試験の結果220時間（屋外曝露一年相当）で剝落したからといって、その樹脂で実際に石造品を修理した場合、その固定強化効果が一年持たないという事を意味しないのは勿論である。

さて、ウェザリング試験、劣化促進試験から〔SS〕が極めて優秀であり、それに次いで〔AC〕が良好、〔HAS〕はクラックが問題であるとの結果を得た訳であるが、〔SS〕の優秀なのは別格として、〔AC〕、〔HAS〕について考えてみると、〔AC〕の場合、石粉の固定という点では極めて良好であるが、スレート板との接着性が劣っているというのが問題であった。しかし、この点は形を保っているものに含浸して強化するという場合には実際上問題にならないのではないと思われる。また、〔HAS〕の場合、クラックが生じ易くその為に大幅に耐久性が低下するのが欠点であるが、これも粒状、粉状のものを固めるのではなく、形を保ったものを含浸強化するという場合にも同じ様にクラックが生じ易いかどうかはわからず、クラックさえ生じなければ良好な耐久性を示すことから考え、一概に〔SS〕、〔AC〕に比して大きく劣るとは言い切れない面もある。

〔ST〕、〔ST〕+〔P〕、〔ST〕+〔ES〕の場合には、エチルシリケート系三種に比して明らかに固定力、耐久性は劣る。

文化財修理に用いる樹脂の具備すべき条件としては〔2-4-1〕で述べた(i)~(iv)が当然要求されるが、〔ST〕、〔ST〕+〔P〕、〔ST〕+〔ES〕の場合、基材の呼吸を止めてしまい、艶の発生、色の変化もあって不適である。この点、〔AC〕では全く問題なく、〔SS〕ではやや暗色化する傾向にあり、〔HAS〕では逆にやや白っぽくなる傾向にあるが、実際上はそれ程問題にならないと思われる。

4. 劣化した石の樹脂による強化〔磨崖仏の石による実験〕

4-1 材 料

石は大分県熊野磨崖仏の下部から実験用に採取した凝灰岩を用いた。

樹脂は、含浸強化用として〔AC〕、〔HAS〕、〔SS〕、〔ST〕、撥水剤として〔X-40〕、〔TLF〕を用いた。

4-2 試験方法

試験片は次の9種、各3片、合計27片とした。

- | | |
|---------------------|--------------------|
| ○〔AC〕 含浸後、〔X-40〕塗付 | ○〔AC〕 含浸後、〔TLF〕塗付 |
| ○〔HAS〕 含浸後、〔X-40〕塗付 | ○〔HAS〕 含浸後、〔TLF〕塗付 |
| ○〔SS〕 含浸後、〔X-40〕塗付 | ○〔SS〕 含浸後、〔TLF〕塗付 |

- 〔ST〕 含浸後,〔X-40〕 塗付
- 〔ST〕 含浸後,〔TLF〕 塗付
- 無処理〔C〕

石はハンマーで5~7cm角に割って試験用基材としたが、大きさ、劣化度合にバラツキがあったので出来るだけそれらが各種で平均になるように配分した。

樹脂含浸は刷毛にて行い、充分含浸する迄4~5回塗付した。溶剤臭が消える迄風乾した後、撥水剤を刷毛塗り(2回塗り)した。そして更に一週間風乾して、



図-16 石試験片

完全に硬化してから、図-17に示す劣化促進処理を施し、状態変化を調べると同時に吸水率の測定を行った。

4-3 試験結果

4-3-1 劣化促進処理による状態変化

図-17に示した④~⑩のどの段階で、どの様な状態変化が起きたかを表-6に示す。

4-3-2 吸水率試験

測定結果を表-7および図-18~19に示す。尚、表-7中()内は劣化処理後の吸水率を示す。

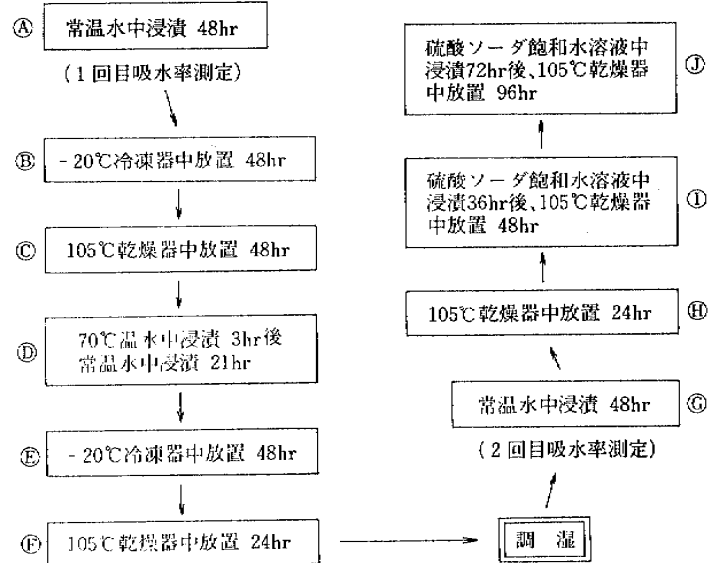


図-17 劣化促進処理

表-6 劣化促進処理による樹脂強化石の状態変化

種類	段階	状態変化	※		
無処理〔C〕	④	水中浸漬と同時に吸水に伴う水圧により、表面の極く弱い部分が粉状に崩れ落ちる			
	⑥	全体的に表面が脆くなる			
	⑧	水中浸漬と同時に水圧により、表面がボロボロ崩れ落ちる			
	⑩	硫酸ソーダ水溶液中で全体的に崩れ落ちる〔完全破壊〕			
〔AC〕・〔X-40〕	④~⑥	変化なし	○		
	⑩	表面の極く弱い部分が指圧により若干崩れる傾向あるも、良い状態			
	〔AC〕・〔TLF〕	④~⑥		変化なし	△
		⑧		表面の極く弱い部分が指圧により若干崩れる	
⑩		全体的に若干脆くなる			
〔HAS〕・〔X-40〕	④	表面の弱い部分が指圧により崩れる。クラックの発生見られる	△		
	⑥	色がやや白っぽくなる。表面の弱い部分が指圧により若干崩れる			
	⑩	樹脂浸透層が層状に剝れる様な状態で全体的にクラックが入り、表面5mm位まで指圧により崩れ落ちる			
〔HAS〕・〔TLF〕	④~⑥	変化なし	×		
	⑧	色がやや白っぽくなる。表面の弱い部分が指圧により若干崩れる			
	⑩	全体的にクラックが入り、指圧により容易にバラバラに破壊する。〔完全破壊〕			

{SS}・{X-40} {SS}・{TLF}	④~⑩	やや暗色化の傾向あるも、その他の変化全くなく、極めて良い状態	◎
{ST}・{X-40}	④~⑩ ⑫ ⑬ ⑭	変化なし 樹脂浸透層の膜状剥離が僅かに見られる 表面の極く弱い部分が、指圧によりポロポロ崩れる 樹脂浸透層の膜状剥離があり、その部分を中心に指圧によりポロポロ崩れる	△
{ST}・{TLF}	④~⑩ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮	変化なし 表面の弱い部分が指圧によりポロポロ崩れ落ちる、樹脂浸透層の膜状の剥れが部分的に見られる 水中浸漬時の水圧により表面の極く弱い部分が崩れ落ちる 全体的にやや脆くなる 指圧により容易にバラバラに破壊する〔完全破壊〕	×

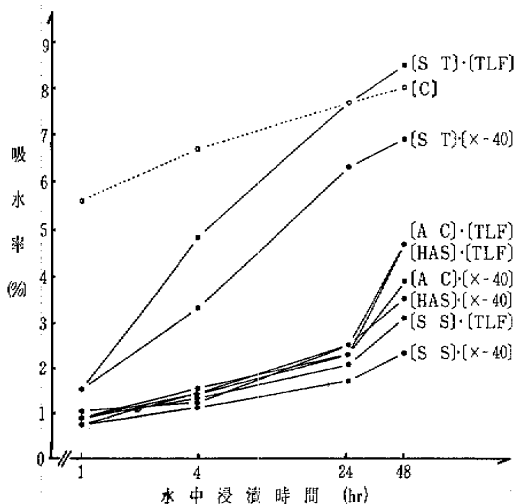
※ ◎優 ○良 △可 ×不可

表一7 樹脂強化処理石の吸水率

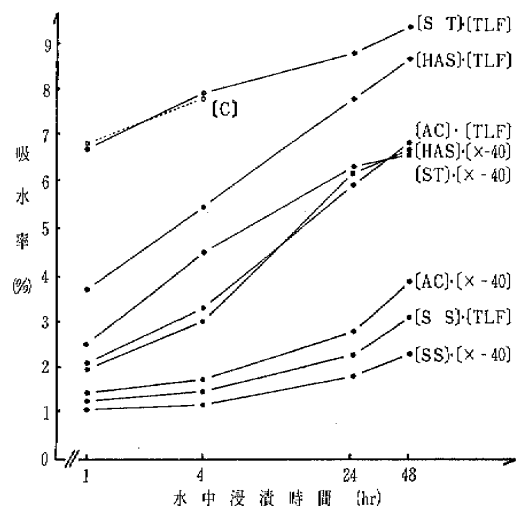
樹 脂	吸 水 率 (%) ^{*1}			
	1時間後	4時間後	1日後	2日後
無処理〔C〕	5.6 (6.7)	6.7 (7.8)	7.7 (—) ^{*2}	8.0 (—) ^{*2}
{AC}・{X-40}	0.9 (1.4)	1.5 (1.7)	2.3 (2.8)	3.9 (3.9)
{AC}・{TLF}	0.8 (2.1)	1.4 (3.3)	2.3 (5.9)	4.7 (7.1)
{HAS}・{X-40}	0.9 (1.9)	1.4 (3.0)	2.5 (6.2)	4.0 (7.0)
{HAS}・{TLF}	1.0 (3.7)	1.2 (5.4)	2.5 (7.8)	4.7 (8.7)
{SS}・{X-40}	0.8 (1.0)	1.1 (1.1)	1.7 (1.8)	2.3 (2.3)
{SS}・{TLF}	0.9 (1.2)	1.3 (1.4)	2.1 (2.3)	3.1 (3.1)
{ST}・{X-40}	1.5 (2.5)	3.3 (4.5)	6.3 (6.3)	6.9 (6.9)
{ST}・{TLF}	1.5 (6.6)	4.8 (7.9)	7.7 (7.8)	8.5 (9.4)

*1 吸水量(重量)÷浸漬前の重量×100

*2 測定不能



図一18 樹脂強化処理石の吸水率と浸漬時間との関係 (常態)



図一19 樹脂強化処理石の吸水率と浸漬時間との関係 (劣化促進処理後)

4-4 考 察

本試験での劣化促進処理は非常に厳しいもので、無処理の石では完全に融けるように破壊してしまっただけでなく、その中で〔SS〕・〔X-40〕, 〔SS〕・〔TLF〕は極めて優秀な耐久性を示し、また、〔AC〕・〔X-40〕も良好な耐久性を示した。

図-19と表-6を比較対照してみると、その石の吸水性と耐久性とが、極めて深い関係にあることが判る。即ち、吸水性の大きいもの程劣化し易く、吸水性の小さいもの程劣化しにくいということであり、当然の結果と言えよう。

さて、吸水性の少ないもの程劣化しにくいというのであれば、耐久性を与える為には、その石に高い防水性を与え、その防水性自体に耐久力を持たせれば良い事になる。そこで、図-18と図-19を見比べてみると、処理した当初の防水性は、〔ST〕・〔X-40〕, 〔ST〕・〔TLF〕を除いては、皆それ程差なく良好であるのに対して、劣化促進処理により大きな差がついて来る。この差が石自体の耐久性を左右する訳だが、それではこの差は何に依るのであろうか。図-19を見れば明らかな様に、この差は撥水剤〔X-40〕, 〔TLF〕の違いに依るものでなく、強化用含浸樹脂の違いによるものである。つまり、脆弱化し易い石を良く強化、固定し、クラック、崩れ等を起こさずに、撥水剤塗付により表面層に付与された防水層を永く保持する事が、その石の防水性に耐久力を与えることになるわけである。この事は、(2-3)の試験結果より〔X-40〕, 〔TLF〕の撥水性自体は耐久性が秀れているのだから、撥水剤浸透層が破壊されない限りは防水力がそれ程低下しないはずであることからわかる。

5. 総 括

(2)のスレート板によるモデル実験で、表面塗付による防水剤の防水効果とその防水剤そのものの防水性の耐久力を調べた結果、シリコン系撥水剤〔X-40〕, 〔X-51〕, チタン系撥水剤〔TLF〕が防水性およびその耐久性共に優秀であり、エチルシリケート系バインダー、アクリル樹脂等の強化用樹脂には防水性が余りないことが判った。

(3)の石粉によるモデル実験で、石の固定強化力およびその耐久性を調べた結果、強化用樹脂としてはエチルシリケート系バインダー〔SS〕, 〔AC〕, 〔HAS〕が有効で中でも〔SS〕が最も優秀であり、表面に撥水剤を塗付することによって耐久性が更に上昇することが判った。

以上の結果と、実際の磨崖仏の下部から採取した凝灰岩で行なった実験(4)から、

- (i) 吸水性と劣化速度とはほぼ比例関係にあり、吸水性が大きい程劣化が起こり易く、劣化する程吸水性が増し、更に劣化が進むという関係(図-20)にある。

従って

- (ii) 劣化を防止する為には、吸水を阻止する撥水剤の塗付が重要である。

しかし、

- (iii) 耐久性に秀れた撥水剤も石自体の劣化による撥水剤浸透層の物理的破壊により容易に防水性を失う。

だから

- (iv) 撥水剤塗付により防水性を保てるかどうかも結局は固定強化用樹脂の耐久性の優劣に帰する。

ことが判った。

そして、最も耐久性の優秀な固定強化用樹脂は、変性エチルシリケート系バインダー SS-101

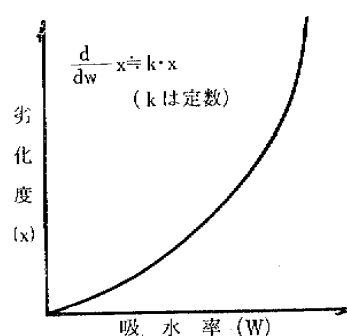


図-20 吸水率と劣化度との関係

であるとの結果を得た。SS-101 で含浸強化し、更に、シリコン系撥水剤 X-40-254C または X-51-2501 を塗付するのが、現状、最も良い処方と考えられる。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、種々適切な御指導御助言を賜った樋口清治室長に深く感謝致します。

参 考 文 献

- ・ 中島功ほか『けい素樹脂』日刊工業新聞社 1970年
- ・ 日本材料試験協会編『材料試験便覧』丸善 1957年
- ・ 西村公朝「仏像彫刻の構造的欠陥とその修理について」古文化財の科学 第19号 1975年
- ・ 大谷磨崖仏修理委員会編『大谷磨崖仏保存修理報告書』1965年
- ・ 松本製薬(株)研究部編『チタン有機化合物の化学とその利用』1972年
- ・ 石綿スレート協会編『技術部会論文集』1976年
- ・ 松尾新一郎監訳『風化その理論と実態』(株)ラテイス 1972年
- ・ K. LAL GAURI 「Improved Impregnation Technique for the Preservation of Stone Statuary」 NATURE Vol. 228 1970年
- ・ K. HEMPEL 「An Improved Method for the Vacuum Impregnation of Stone」 Studies in Conservation, Vol. 21 1976年
- ・ R. V. Sneyers & P. J. de Henau 「The Conservation of Stone」 The Conservation of Cultural Property, UNESCO 1968年

Studies on Restoration Treatment of Stone Objects (I): Durability of Stone Treated with Synthetic Resin

Tadateru NISHIURA

Synthetic resin impregnation is the most effective for stabilizing and consolidating stone that has deteriorated and has become fragile. The present study examines the durability of stone consolidated with synthetic resin treatment: that is, how long the resin-impregnated stone can maintain its state in regard to the difference of the kinds of the resin used and to whether they are waterproof or not. As preliminary tests we made an "experiment with a slate plate model" about the result of imparting waterproof quality, and an "experiment with a pulverized stone model" about the stabilizing and consolidating effect. Based upon the results of these experiments as well as of an experiment on pieces of tuff taken from near by "Magai-butsum" (rock-cliff relief statue), the following facts have been made known.

1) Water absorption and the speed of deterioration are proportionate. Deterioration occurs quickly when water absorption is high; advanced deterioration causes increase of water absorption, which in turn accelerates deterioration.

2) In order to preclude deterioration, therefore, it is important to coat the stone with water-repellent agent after treating it with synthetic resin.

3) However, the water-repellent substance, how excellent it may be in durability, easily loses its waterproof quality due to physical destruction of the repellent-impregnated surface caused by deterioration of the stone itself.

4) Whether or not the repellent can impart the stone with waterproof quality, therefore, depends ultimately upon the durability of the stabilizing and consolidating

synthetic resin.

5) Modified ethyl-silicate binder (SS-101) is by far superior than any others as a stabilizing and consolidating resin. As the matter stands now, the best method of stabilizing and consolidating a deteriorated frail stone is to impregnate it with the binder(SS-101) and subsequently coat it with a silicone repellent.