

石造文化財の保存に関する海外研修

西 浦 忠 輝

1. はじめに

筆者は、昭和53年4月24日から7月28日迄の約3ヶ月間に亘り、ユネスコの奨学金を得、イタリア、アメリカにて、石造文化財の保存に関する研修の機会を持つことができた。初めの2ヶ月間は、イタリアのベニスで開かれたユネスコ主催の研修会、Training Course "Preservation and Treatment of Stone" に参加し、後の1ヶ月間は、ニューヨーク大学での研修（2週間）とアメリカ国内見学である。

本稿は、ベニスでの研修会を中心に、今海外研修の内容を紹介するものである。

2. ベニスでの研修会

本研修会は、イタリア政府、イタリア国立修復研究所、ローマセンター¹⁾の協力のもとにユネスコが主催し、1978. 4. 27~6. 30の約2ヶ月間ベニスで開かれたもので、今回で第2回目（第1回目は1976年秋やはりベニスで開かれた。今後も定期的に開かれる予定）である。

この研修会の目的は、石造物の保存に関する基礎的な知識、経験を与えるというものである。従って、研修員としては若い人を対象にしてはいるが、この分野における一定の実務経験をも併せ要求している。今回参加した研修員は、イタリア（5）、アメリカ（2）、カナダ、デンマーク、フランス、インドネシア、日本、マルタ、メキシコ、ポルトガル、ソ連、韓国の12ヶ国17名で、その内女性は5名であった。イタリアからの5名中4名とアメリカからの2名は自費参加であった。年齢は、41才が最年長で40才台が2人、30才台が筆者（31才）を含めて7人、25才を最年少に20才台が8人であった。職業は、半数が Conservator で後の1/4ずつが Scientist と Restorer という位の割合であったが、これらは仕事の性質上実際には明確には分けられない。国立またはそれに準ずる公的機関に属する者が大半で、それ以外の者は4名（教員、学生、個人営業、無職）であった。

Table 1 Curriculum and timetable of the Training Course

1 st week	Mineralogy	9 : 00	
2 nd "	Geology, Stonework	}	Lecture
3 rd "	Air pollution, Heat and humidity, Deterioration	10 : 30	
			<Tea time>
4 th "	Theory of treatment, Testing and treatment in situ	11 : 00	
		}	Lecture
5 th "	Biology	12 : 30	
			<Lunch time>
6 th "	Deterioration and chemical treatment	14 : 00	Lecture (Practice in laboratory) (Practice in situ) (Field study)
7 th "	Field trip to Firenze, Bologna, (Roma)	15 : 30	
			<Tea time>
8 th "	Treatment with synthetic plastics	16 : 00	Lecture (")
9 th "	Treatment with silicones and silicates	}	
10 th "	Practice of treatment	17 : 30	



Fig. 1 Field practice (cleaning) in the Training Course

QUIZ TEST ON CLEANING, TREATMENTS, IN SITU AND LABORATORY CONTROLS OF STONES.

- 1) Main requisites of cleaning methods for carved stones are:
- 2) Cleaning is necessary when:
- 3) Main difference between organic and inorganic materials are:
- 4) The porosity of a "stucco" should be higher than the stone porosity because:
- 5) The pore-size distribution is measured by:
- 6) When it is impossible to have samples from the monument, to assess the success of stone preservative treatment, the controls are carried out on
- 7) The main principle of the mercury porosimetry is:
- 8) The most dangerous range of the solar spectrum for the organic materials, used as surface preservatives is the wave-length range between about:
- 9) The relation between the energy E and the wave-length λ of a radiation is:
- 10) The state of conservation of a material can be evaluated with sound speed measurement. Why this measurement is more important than visual inspection?
- 11) Stones have to be employed in different part of building on their physical properties. What are these properties?
- 12) What are the advantages to do a cleaning of a façade before every other work of restoration?

Fig. 2 Example of the quiz test in the Training Course



Fig. 3 Abazzia Della Misericordia (where the lectures were held)

研修カリキュラム及び時間割は Table 1 に示す通りであるが、午後は実験室での基礎的な実験や、修理現場での簡単な実習 (Fig. 1) や見学に充てられるのがほとんどであった。又、毎週末にはその週学んだ内容の理解度を調べる為のペーパーテストが行われたが、これは、今後の資料にする為ということで、結果については我々にはいっさい知らされなかった。尚、参考の為に、第4週に行われたテスト問題を掲げておく (Fig. 2)。講師は、この分野における著名な専門家で、ローマセンター副所長のトラッカ氏 (J. Toracca 伊)、ニューヨーク大学教授のルーイン氏 (S. Z. Lewin 米) をはじめ、ヘンペル氏 (K. Hempel 英)、マミラン氏 (M. Mamillan 仏)、ホス氏 (B. Vos 蘭) ら、文献等で筆者も名前だけは以前から知っていた人達であった。

講義は原則として英語で行われることになっていたが、英語の解からないイタリア人が数名居たことと、イタリアで開かれたということもあって、実際には英語、イタリア語の両方が共通語として用いられた。即ち、英語で講義が行われた場合はイタリア語に、イタリア語で行われた場合には英語に通訳された。又、フランス語で行われた場合には、両方に通訳されたのである。講義と講義の間には30分間のティータイムがあり一見優雅に思えるが、外国語での講義を1時間半聞くには担当の集中力が要求されるから、この程度の休息は (筆者には特に) 必要とされるのであった。一方、昼休みは1時間半と短かく (日本よりは長い、ベニスでは2時間半、ローマでは3時間が普通である)、この点は厳しい

時間割となっている。

講義が行われたのは CA' D'ORO (黄金の館) から CANAL GRANDE (大運河) を背に 5 分程歩いた所にある Abazia Della Misericordia という修道院跡で、イタリア政府が文化財保存の為の研究所を新しく作る為に買収した建物であるが (Fig. 3), 現在は未だ小さな実験室と会議室を備えるのみである。尚、筆者はここから10分程歩いた、ムラノ島、ブラノ島への定期船の基地である Fondamente Nuove のすぐ近くの 4 K のアパートに、カナダとデンマークから来た仲間 2 人と一緒に住んでいた。週末の夜には、研修仲間達がよくこのアパートに集まり、ワインパーティが開かれたのであった (Fig. 4, 5)。

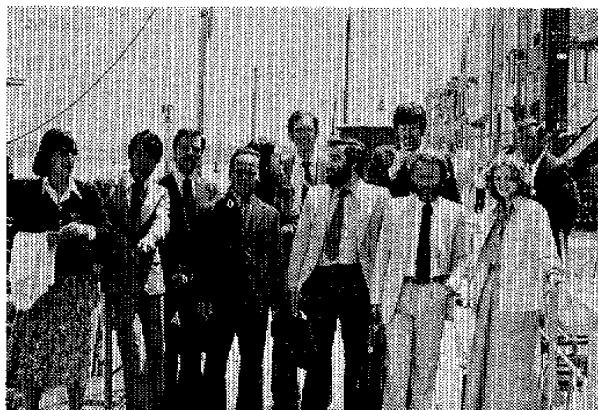


Fig. 4 Fellows in the Training Course



Fig. 5 Wine party of the fellows in Venice

3. アメリカでの研修

ベニスでの研修会終了後、筆者はもう一ヶ月の研修の為にアメリカへ向った。

ニューヨーク大学では、Department of Chemistry の S. Z. Lewin 教授の下で、水酸化バリウム・ユリア法 (後述) による劣化石の強化処置について、樹脂の調整、含浸法、走査型電子顕微鏡による効果の判定等についての理論と実際について、フィラデルフィア、ワシントンでの現場実習を通して学んだ (Fig. 6)。教授は非常に親切で礼儀正しく、又、一方、大変な自信家でもあった。

ニューヨーク滞在中のメトロポリタン博物館 (Fig. 7) 保存処理室見学の際には、Assistant

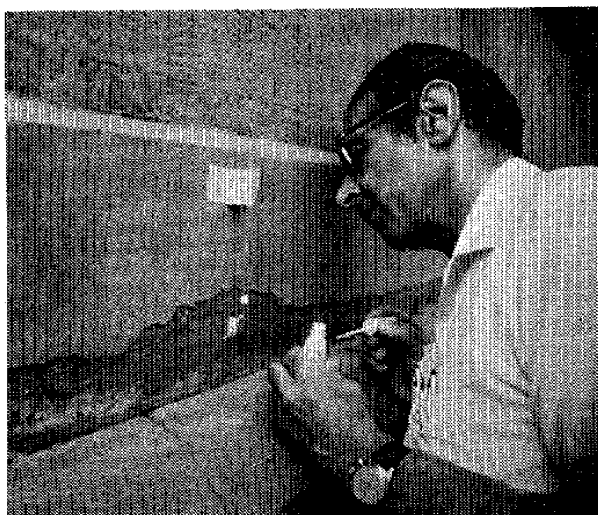


Fig. 6 Field study at Washington D. C.
(Prof. Lewin)

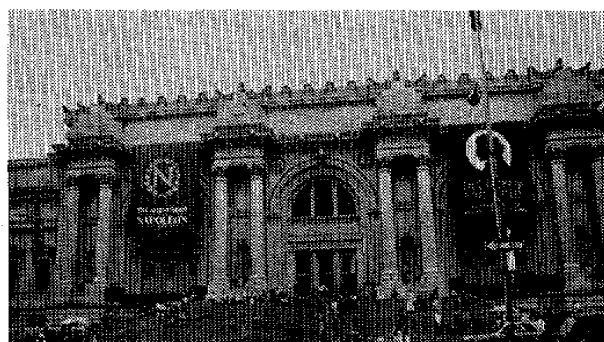


Fig. 7 Metropolitan Museum in New York

Conservator の S. Weintraub 氏と日本人 Restorer の土肥氏の御二人に大変親切にして頂き、博物館における保存修復処置の現状と様々な問題点について多くの知識を得られたことは、大変幸いであった。当博物館に限らず、アメリカ（ヨーロッパ）では漆関係の保存と修復が大きな問題の一つになっているとのことであり、これは、気象条件が異なることと、漆についての修理技術者がほとんど居ないことがその理由とされている。

ニューヨークでの研修を終えた筆者は、シカゴ、バーミリオン（サウスダコタ州）、サンフランシスコを見学した後帰国したが、バーミリオンでは、Historical Preservation Center を訪れ、建築技術者の D. F. Minnery 氏（彼もベニスの研修会に参加していた）の案内で多くの修復中あるいは修復後の石造建造物を見学することができた。

4. 石の劣化と保存処置

石の劣化と保存処置に関しては、問題が非常に広範囲かつ複雑で未解明の点が多い為、ベニスの研修会でも、講師によって必ずしも意見が一致している訳ではなかった。しかし、この意見の不一致は、ほとんどの場合実際の処置に当たりの材料、方法の選択の違いであり、基本的な問題点の認識という点では、各師ともほとんど差はないと言って良いであろう。

以下、ベニスの研修会における講義内容の最大公約数とも言えるべき、特に基本的な点について簡単に述べたいと思う。

4-1 石の寿命

石の寿命は、次の三つの因子によって決定されると言うて良いであろう。それらは、まず第一に“Type of Stone”である。元々強い石は長持ちするし、弱い石は早く劣化してしまうというごく当然のことであるが、實際上、これが最も重要な因子なのである。具体的には、その石の成分、密度（空隙率）、凝集力等である。次には“Environment”即ち、その石の置かれている、又は、置かれていた環境であって、全く同じ石でもその環境によって劣化過程が異なるのは自明であろう。特に水の影響が大で、その他、大気汚染、気象条件、生物の繁殖等がある。最後にあげられるのが“Treatment”即ち、人工的延命処置である。樹脂等を含浸して凝集力を増加させるのはその石の Type を改良することであり、覆屋を架けたり、水分を遮断したりするのは、Environment を改善することである。しかし、場合によっては、誤った Treatment によって却って寿命を縮めてしまうこともある。

4-2 石の劣化原因

先に述べた様に、問題が非常に広範囲かつ複雑であり、今なお未解明の点が多いのであるが、基本的には次の4つに分類できよう。唯、実際の劣化過程においては色々な原因が同時に、また、相関的に作用しているのが普通であるから、以下の分類はあくまでも理論上のものであることを充分承知されたい。

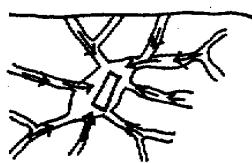
A 外的応力

特に建造物の場合に問題になるのが、機械的過負荷である。石は圧縮応力に対しては強いが、引張り応力には弱いという事を良く知っておくことが大切である。温度変化に伴う膨張収縮も外的応力の一つである。

B 内部応力

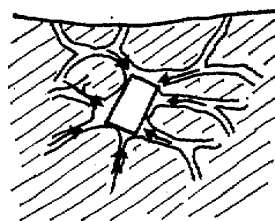
水の吸収、蒸発に伴って、石の表面層の空隙内で溶解性塩が結晶化し、その結晶が成長するに従って空隙内壁に対して働く応力である (Fig. 8)。この現象は、次に述べる侵蝕と特に深い関係にある。

C 侵 蝕



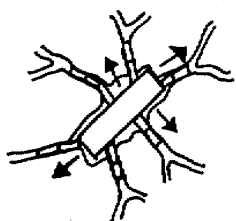
1st Step

Liquid water moves towards the crystal that keeps growing



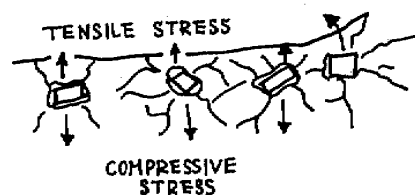
2nd Step

If the large pores are few and the small pores are many, there is still liquid in the small pores when the large ones are full of crystals



3rd Step

The crystals start pushing against the walls of the large pores until the pressure is high enough to allow their growth in the capillaries



4th Step

However near the surface the internal push of the crystals results in a dangerous tensile stress that may break the material, if it is not very strong

Fig. 8 Internal stress by the crystallization of soluble salts in a stone

空気中の炭酸ガスは水に溶けて炭酸となる。炭酸は石の成分である炭酸塩 (CaCO_3 , MgCO_3 等) を重炭酸塩に変えて溶出させ、又、ケイ酸塩の粘土化を促進する。しかし、この作用は概して遅い。

主に大気汚染により大気中に存在するイオウ酸化物は、水に溶けて硫酸となり著るしく石を侵蝕する。炭酸カルシウム (CaCO_3) が主成分の石 (石灰岩、大理石等) の場合は、硫酸の作用により生成した硫酸カルシウムが水の吸収、蒸発に伴ない溶出し、空気中の媒煙等の浮遊汚染物質を取り込みながら石表面で結晶化する。それが黒いセツコウの皮殻となって石の表面を覆うのである。この皮殻が前述の内部応力により破裂し、離脱して行くという形で、劣化は内部へと進んで行く。シリカ (SiO_2) 系の石の場合は、結合剤の役目をしている炭酸カルシウムが硫酸カルシウムとなって溶出することにより、凝集力を失う (Fig. 9)。

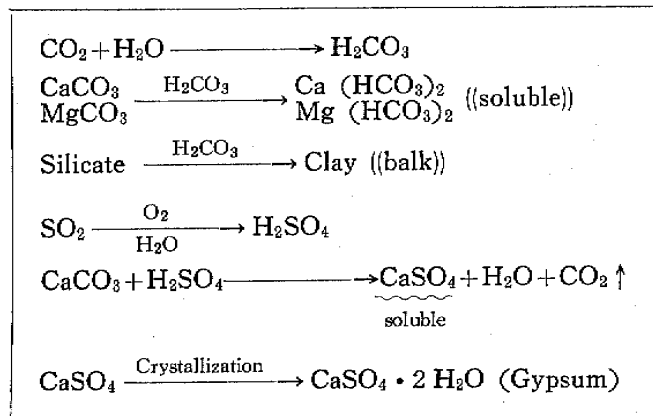


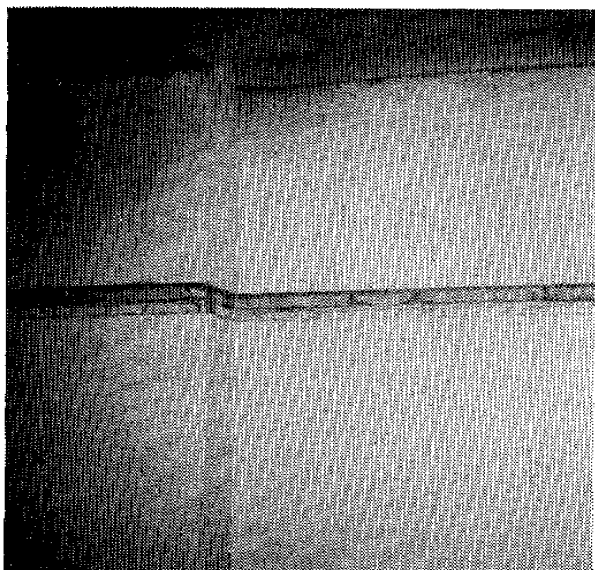
Fig. 9 Corrosion of stone

D 生 物

イオウ循環微生物 (Thiobacilli) は、硫化物を硫酸に変える性質を持っており、石の硫酸による侵蝕や内部応力による劣化を促進する。地衣類、藻類、苔類の繁殖は、表面層の凝集力を低下させる。高等植物 (草、木) の根は、石中に食い込み、機械的にその石を破壊させることがある。

4-3 保存処置

保存処置は2つに大別することができ



る。

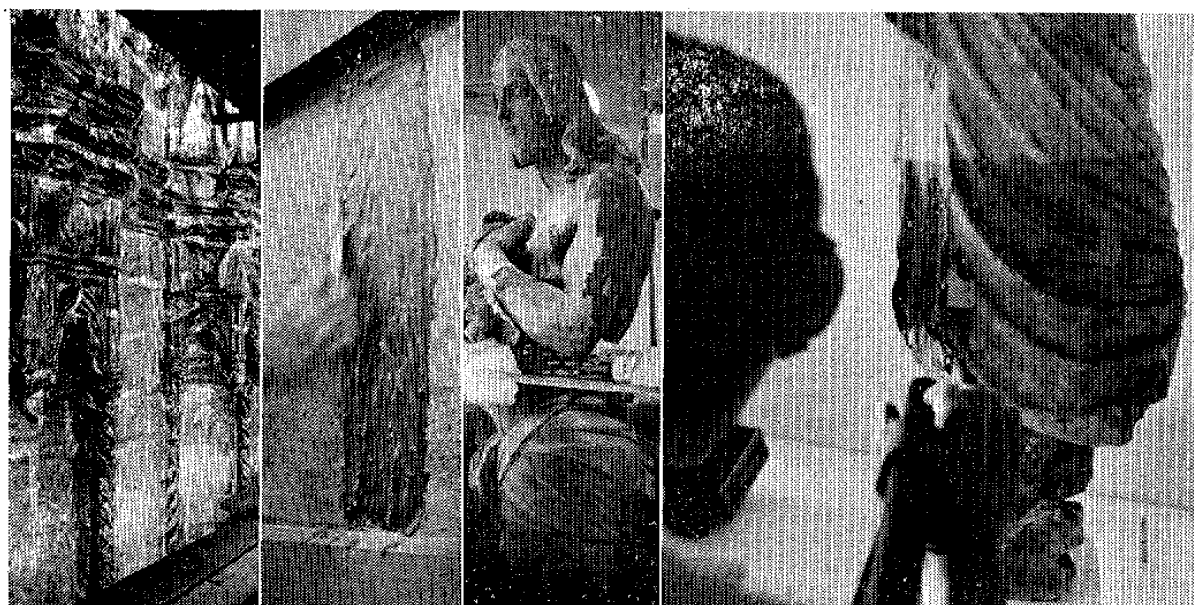
1つは、環境を改善してその石に作用している劣化促進因子を取り除くことであり、覆屋の設置、水分の遮断 (Fig. 10)、表面皮殻*の除去〈クリーニング (Table. 2, Fig. 11)〉等が、現在、実際に行われている方法である。

*4-2, C参照

Fig. 10 Interception to rising water by putting impermeable material into the wall of a stone structure

Table 2 Classification of stone cleaning

Method	Theory	Treatment
Water	Dissolving	Immersion, Spray, Pad, etc.
Chemical	Making solubility	Hydrogen fluoride, Ammonium fluoride, etc.
Mechanical	blasting	Sand blast, Air brush, etc.
Heat	burning	Laser



(Juery pad) (Chemical clay pad) (Air brush) (Laser)

Fig. 11 Cleaning treatment

もう1つは、石そのものの強化、即ち、石に凝集力を付与し崩解を食い止めるやり方である。具体的には、樹脂等を含浸してその石をかためるという方法をとるのだが、その効果は、処理する石の性質、用いる含浸材料、含浸方法によって当然異なる。現在、石の保存処置としては、この含浸強化 (Consolidation) が最も重要な問題で、含浸材料の選択が特に重要である。そこで、次に主な含浸強化用材料とその特質を挙げる。

A アクリル樹脂, エポキシ樹脂

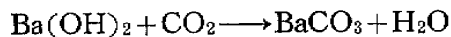
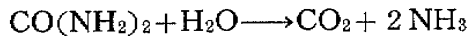
- 初期接着力が高く、硬化作用が大きい。

しかし、

- ・樹脂自体の耐久性疑問。
- ・本来石とは異質のもの。
- ・石表面部に水分不通過層を造り易い（水分の蒸発阻害→内部での結晶の成長→表面層の破壊）。

B 水酸化バリウム

水酸化バリウム自体はかなり以前から使われているが、近年、ニューヨーク大学の S. Z. Lewin 教授によって開発された水酸化バリウム・ユリア法²⁾が有名である。この方法は、ユリア ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) が水に溶けて発生する炭酸ガス (CO_2) と水酸化バリウム ($\text{Ba}(\text{OH})_2$) が反応して炭酸バリウム (BaCO_3) が生成し、



この水酸化バリウムが結晶化する段階で石の主要成分である炭酸カルシウム (CaCO_3) の結晶を接着し、その石の凝集力を回復させるというものである。尚、炭酸バリウム等のバリウム塩は極めて安定した物質である。

- 完全無機質である。従って耐久性は甚だ優秀である。
- 水分の蒸発を阻害しない。
- 石の成分と反応する。

しかし、

- ・主成分が炭酸カルシウムの石には有効であるが、シリカ系の石には余り効果がない。
- ・白化現象（炭酸バリウムの色）があるので、白色系の石にしか応用できない。

C シリコーン樹脂

含浸用シリコーン樹脂としては、アルキル（アシル）アルコキシシラン類が用いられ、メチルトリメトキシ（エトキシ）シラン³⁾、テトラエトキシシラン（エチルシリケート）、メチルフェニルジオキシシラン等が普通用いられるが、中でも、メチルトリメトキシ（エトキン）シラン（Fig. 12）が現在の所非常に良い結果を与えている⁴⁾。

- 浸透性に優れ、十分な凝集力を与える。
- 最終生成物が、シリカ、又は、アルキル（アシル）シリケートで、耐久性は抜群である。
- 石の成分と同質であり、石と反応結合する（シリカ系の石の場合）。
- 水分の蒸発を阻害しない。
- 外観（特に質感）の変化が小さい。

しかし、

- ・初期接着力、充填効果が小さい為、劣化が激しく凝集力をほとんど失っている様な石については、浸漬ならとも角、現場での塗付やスプレーでは強化し切れない（この様な場合には、アクリル樹脂やエポキシ樹脂を用いざるを得ない⁵⁾⁶⁾）。

4—4 修復処置

(1) 接 着

現状、エポキシ樹脂が最も優れているが、耐久性には当然問題がある。従って、ステンレス鋼によるダボ、カスガイ等の機械的結合の併用が有効である⁷⁾。エポキシ樹脂のメリットとして、前述シリコーン樹脂で処理した石が接着できるという点は重要である。

(2) 充填、盛付け（擬石）

擬石に要求される条件としては、含有成分（特に溶解性塩）が母石に悪影響を与えないこと

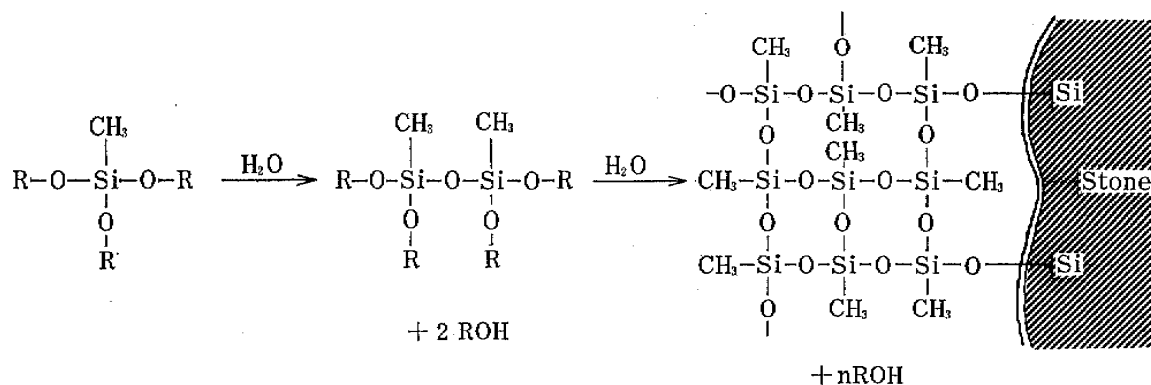


Fig. 12 Methyl Tri-methoxy (-ethoxy) Silane (R=CH₃ or C₂H₅)

が絶対に必要である。そして、母石に近い外観（色，質感）を持つことはその目的から言って当然としても，母石に良く密着し，長期間に渡って離脱しないということが，實際上，極めて重要である。何故なら，擬石の耐久性を考える時，その擬石自体の耐久性もさることながら，

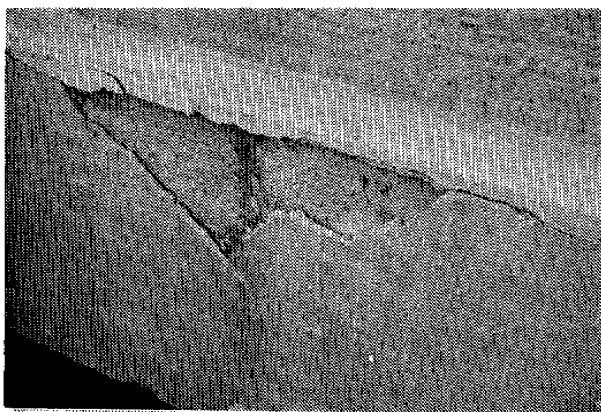


Fig. 13 Detachment of resin artificial stone (7 years since treating)

大抵の場合，母石からの離脱ということが問題となるからである (Fig. 13)。このことは，母石と擬石との空隙率（通気性）の違いによるところの，母石と擬石との境界面での溶解性塩の結晶化* によるものと考えられている。 *4-2, C参照

○セメント擬石

溶解性塩を含む為に母石に対して悪影響を与える恐れがある。又，通常の石に比して空隙率が小さい為水分の蒸発を阻害しがちである。

○樹脂擬石（アクリル樹脂・エポキシ樹脂・ポリエステル樹脂）

初期接着力，初期凝集力に優れ，盛付け，モデリングが容易である。しかし，空隙率が小さくなりがちで，水分の蒸発阻害による離脱が起き易い⁸⁾。又，紫外線による変色の問題もある。

○シリコン樹脂擬石

4-3, Cで述べたシラン類を用いる擬石は，外観，物性，成分ともに最も石に近いもので，特に空隙率が石のそれに近く，水分の蒸発を阻害することが少ない。しかし，初期接着力，初期凝集力が小さい為，充填には使えるが，盛付けには使いにくい。そこで，アクリル樹脂やエポキシ樹脂との併用，又は，それらとの共重合体⁹⁾¹⁰⁾の応用が検討されている。

5. 研修を振り返って

僅か3ヶ月間の研修で，石そのものに対する深い知識を得ることは，勿論，望むべくもないが，文化財保存という観点からの石の劣化と保存修復処置に関する基本的な問題点について，その全体像を系統的に把握できたことは確かであり，この意味から，本研修は筆者にとって極めて意義あるものであったと確信している。唯，本研修を通して得られた知識が必ずしも日本の石造文化財の保存処置にそのまますぐ応用し得るというものではなく，我国の実状に則した多くの実験，研究と広い知識，経験が必要であることは言うまでもない。その意味から，本研

修の成果を、初の海外生活での貴重な体験と共に、今後の研究にどう生かして行くかが筆者のこれからの課題と考えている。

石造文化財の保存を考える上で忘れてならないのは、保存処置技術の向上と石の劣化原因、過程の究明とは不可分の関係にあること、そして、その究明が未だ不十分である為に、保存処置が臨床的、応急的なものにとどまっているのが現状であるということである。このことは、即ち、劣化が甚だしく緊急に何らかの処置を要する場合を除いては、安易に保存処置（特に科学処置）を施すべきではないという事を意味するのである。この点を、筆者は最後に特に強調しておきたい。

文 献

- 1) 増田勝彦「ローマセンターにおける壁画修復コースに参加して」保存科学 第16号 76～82 (1977)
- 2) S. Z. Lewin & N. S. Baer「Rationale of the Barium Hydroxide-Urea treatment of decayed stone」Studies in Conservation 19, 24～35 (1974)
- 3) Anne Moncrieff「The Treatment of Deteriorating Stone with Silicone Resins : Interim Report」Studies in Conservation 21, 179～191 (1976)
- 4) 西浦忠輝「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」保存科学 第16号 17～29 (1977)
- 5) R. A. Munnikendam「A New System for the Consolidation of Fragile Stone」Studies in Conservation 18, 95～97 (1973)
- 6) T. Nishiura「Preservation Treatment of the Important “Lunette” in Scuola Grande S. Marco」The Report presented to UNESCO (1978) (non published yet)
- 7) 茂木 曙「所沢市熊野神社板碑の修復処置」保存科学 第16号 30～34 (1977)
- 8) S. Z. Lewin & A. E. Charola「Scanning Electron Microscopy in the Diagnosis of “Diseased” Stone」Scanning Electron Microscopy 1, 695～704 (1978)
- 9) 信越化学KK『シランカップリング剤』(1977)
- 10) Wacker-Chemie GMBH『Silanes for Industrial Applications』(1975)

参考文献

- ・『The Treatment of Stone』Centro Conservazione Sculture all'aperto, Bologna, (1972)
- ・『The Conservation of Stone I』Proceedings of the International Symposium, Bologna, June 19～21, 1975 (1976)
- ・T. Stambolov & J. V. Asperen「The Deterioration and Conservation of Porous Building Materials in Monuments」International Centre for the Study of the Preservation and the Restoration of Cultural Property, (1976)

Study Abroad on the Conservation of Stone Cultural Property

Tadateru NISHIURA

During about three months, from April 24th to July 28th 1978, the author studied in Italy and the United States on the conservation of stone cultural property, getting a fellowship from UNESCO.

He participated in the Training Course “Preservation and Treatment of Stone”, which was organized by UNESCO in cooperation with Italian Government, Istituto Centrale del Restauro and International Centre for Conservation, from April 27th to June 30th at Venice, Italy. Then he studied at New York University under Prof. S. Z. Lewin for

two weeks and made field studies within the US for the rest.

He obtained systematically a general idea about the basic problems on the preservation and the restoration of stone objects, although the duration of three months was quite too short to get a precise knowledge about stone materials. Therefore, it is sure that his studying abroad is very valuable to his future research for the conservation of Japanese cultural property.