

## コンクリート壁体のガス透過性 (その2)

——シポレックスに対する燻蒸剤の挙動——

新井 英夫・森 八郎

### 1. はじめに

筆者らは、前報<sup>1)</sup>で新設博物館の壁体に用いられる圧縮強度 212 kg/cm<sup>2</sup> のセメントコンクリート壁体の燻蒸ガス透過性について実験し、新設博物館等に設備する燻蒸室のセメントコンクリート壁は、圧縮強度 212 kg/cm<sup>2</sup> 程度のセメントコンクリートで厚さ 15 cm 以上が必要であることを明らかにした。

近年、収蔵庫等の内外壁にシポレックスを構造部材として用いた建造物が認められるようになった。シポレックスは、代表的な軽量気泡コンクリートで、1930年にスウェーデンで発明され、現在世界17ヶ国で生産されている。その特徴は、軽量・耐火・断熱・高精度・低収縮率等であり、プレハブ構造部材として広く利用されるようになった。これらの特性に着目して、文化財関係の建造物にも用いられるようになったものと思われる。なお、シポレックス (Siporex) という名称は、わが国での公称が高温高圧蒸気養生された軽量気泡コンクリート (Autoclaved Light-weight Concrete) の商品名であり、ALC または ALC 版等と略記されることもある。

シポレックスを構造部材とした収蔵庫で密閉燻蒸を計画するには、シポレックスが軽量気泡コンクリートであるためにシポレックスの燻蒸ガス透過性および燻蒸ガスの吸着等についての知見が必須となる。そこで筆者らは、シポレックス供試体について燻蒸剤に対する挙動、すなわち、透過性、吸着性、蒸散性を検討し、その結果に基づいて実施されたシポレックス造収蔵庫の燻蒸例について報告する。

### 2. 実験材料

#### 2.1 シポレックス試料\*

シポレックスには、厚さが 37~200 mm の 8 種類があるが、その 8 種類のなかでも供給率の 70% は、厚

\* シポレックス販売 K. K. (東京都千代田区神田司町 2-6)

表-1 シポレックスの物性

Table 1 Characteristics of Siporex

比重	絶乾 0.5	気乾 0.6	構造計算比重 0.65	
強度	圧縮強度	最低保証値 30 kg/cm <sup>2</sup> (以上)		
	曲げ強度	10~12 kg/cm <sup>2</sup>		
	剪断強度	4.5 kg/cm <sup>2</sup>		
	引張強度	5 kg/cm <sup>2</sup>		
	付着強度	20 kg/cm <sup>2</sup>		
	ヤング係数	1.75×10 <sup>4</sup> kg/cm <sup>2</sup>		
熱	熱伝導率	λ=0.097+0.00047θ 単位 Kcal/mh°C θ=°C		
	熱膨張係数	6.7×10 <sup>-4</sup>		
耐火	屋根版	30分耐火指定		
	壁版	2時間耐火指定		
	床	2時間耐火		
	耐火被覆	2時間耐火		
		(手続中)		
音	周波数 c/s	125	500	2,000
	透過損失 ab	33.5	34.0	49.5
	吸音率 %	11	14	26
		* 10 cm 厚仕上げなし		
水	乾燥収縮率	0.05% 以下		
	吸水率	20~23°/vol		
		(10 cm 立方体下部 1 cm 水中 100 日)		

表-2 セメントコンクリート供試体の配合表

Table 2 The composition of the concrete material used

原 材 料	記 号	セメントコンクリート 1 m <sup>3</sup> 当りの重量 (kg)	重量百分率(%)
早強セメント	C	310	13.1
水	W	200	8.5
細 骨 材 (砂)	S	1,071	45.4
粗 骨 材 (砂利)	G	779	33.0
	合 計	2,360	100.0
水セメント比	W/C	65%	
細 骨 材 比	S/S+G	58%	
ス ラ ン プ (ワーカビリティ)		7.0 cm	
圧 縮 強 度 (28日養生)		270 kg/cm <sup>2</sup>	

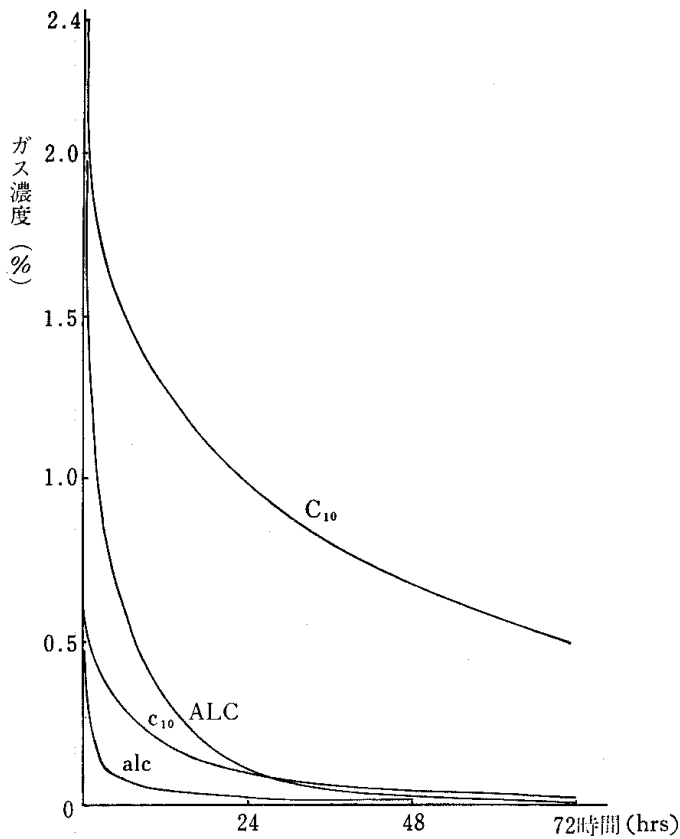


図-1 シポレックスの燻蒸ガス透過性

Fig. 1 Permeabilities of fumigant gases through Siporex test pieces

- ALC : 100 mm 厚シポレックス供試体の投薬側臭化メチル濃度
- alc : 100 mm 厚シポレックス供試体の投薬側酸化エチレン濃度
- C<sub>10</sub> : 100 mm 厚コンクリート供試体の投薬側臭化メチル濃度
- c<sub>10</sub> : 100 mm 厚コンクリート供試体の投薬側酸化エチレン濃度

さ100 mm のものであるといわれている。たとえば、二重壁構造の収蔵庫は、通常内壁に厚さ100 mm、外壁に125 mm のシポレックスで構成されている。燻蒸時に燻蒸ガスと直接接触するのは内壁であるので、今回の実験材料は、すべて厚さ100 mm のシポレックスで実施した。燻蒸ガスの透過性の実験には 300×300 mm、燻蒸ガスの吸着性と蒸散性の実験には 100×100 mm のシポレックスを試料として供試した。なお、参考までにシポレックスの物性を表-1に示した。

### 2.2 セメントコンクリート試料

燻蒸ガスのシポレックスへの吸着性を測定するとき、比較する建材として圧縮強度 270 kg/cm<sup>2</sup> のセメントコンクリート試料を作成して実験に供した。セメントコンクリートの配合およびスランプは表-2のとおりである。

## 3. 実験方法

### 3.1 燻蒸ガス透過性

前報<sup>1)</sup>と同一方法で測定し、その結果を図-1に示した。

### 3.2 燻蒸ガス吸着性および蒸散性

シポレックス試料を 0.5 m<sup>3</sup> 容の金属製の箱に入れて密封し、臭化メチル (MB) と酸化エチレン (EO) の混合

剤 (商品名エキボン, MB-EO と略す)  $100 \text{ g/m}^3$  を気化して導入し, 室温 ( $14 \sim 26^\circ\text{C}$ ) で24時間燻蒸した。

つぎに, 燻蒸ガスをブローで15分間排気した後室内に保って, 燻蒸直後, 1日, 4日, 6日後の試料中に吸着しているガス濃度を経時的に測定した。比較のために, 燻蒸後ブローで24時間連続排気した直後および室内に3日, 5日間保った試料についても測定した。

燻蒸ガスの蒸散性は, 24時間燻蒸した試料の燻蒸直後ならびに1日および2日間外気中に放置した後,  $5 \text{ l}$  容の2軸延伸ビニロンフィルム<sup>2,3)</sup> 中に密封して室温に24時間保ち, シポレックス試料から袋内に放出された燻蒸ガスを測定した。

### 3.3 分析方法

試料に吸着した燻蒸ガスの分析は, 燻蒸した試料の表面と内部から  $5 \text{ g}$  を粉碎して秤量し, これに  $20 \text{ ml}$  のエタノールを加え  $70^\circ\text{C}$  で2時間抽出して, ガスクロマトグラフで臭化メチルと酸化エチレンを定量した。ガスクロマトグラフの分析条件は, ガスクロマトグラフ 島津製作所製 GC-7A, 検出器 FID, カラム  $3 \text{ mm} \phi$   $2 \text{ m}$  ガラス製, 充填剤 DEGS 15 wt % Uniport B (80/100 mesh), カラム温度  $50^\circ\text{C}$ , 検出器温度  $70^\circ\text{C}$ , 注入口温度  $70^\circ\text{C}$ , キャリアガスは  $\text{N}_2$  を流速  $50 \text{ ml/min}$ ,  $\text{atm}$ ,  $\text{H}_2$   $50 \text{ ml/min}$ , air  $0.5 \text{ l/min}$ . で流して測定した。

シポレックス試料から蒸散した臭化メチルと酸化エチレンは, 北川式検知管で測定した。

## 4. 実験結果および考察

### 4.1 シポレックス供試体のガス透過性

厚さ  $100 \text{ mm}$  のシポレックス供試体は, 燻蒸ガス導入後1時間目からガス透過試験器の透過側に臭化メチルが検出された。とくに, 臭化メチルと酸化エチレンのガス導入側の残留ガス濃度は, 図-1の経時的測定によってきわめて単時間に低下しているのが明らかである。すなわち, 燻蒸ガス導入後3時間目の臭化メチルは, わずかに当初導入したガスの41%を保持しているにすぎない。24時間目には導入量の0.5%, 48時間目には0.05%の残留ガスが検出された。酸化エチレンの残留ガス濃度も同様の傾向を示した。したがって, シポレックス供試体の燻蒸ガス透過性は, きわめて速やかで, 燻蒸空間に加害生物の殺滅に必要なガス濃度を維持することは困難である。

比較のために, 圧縮強度  $270 \text{ kg/cm}^2$ , 厚さ  $100 \text{ mm}$  のセメントコンクリート供試体のガス

表-3 シポレックス供試体の燻蒸ガス吸着性

Table 3 Adsorptions of fumigant gases in Siporex test pieces

ガス排気時間	材 料		シポレックス				セメントコンクリート			
	経過日数	分析位置 ガス	表 面		内 部		表 面		内 部	
			MB	EO	MB	EO	MB	EO	MB	EO
15分排気	直 後		0	11.9	0.9	28.5	0	3.9	0	8.2
	1 日 目		0	0	0	4.3	0	1.5	0	3.7
	4 日 目		0	0.7	0	0.8	0	0	0	2.9
	6 日 目		0	0	0	0	0	0	0	0.8
24時間排気	直 後		0	0.9	0	4.8	0	4.9	0	6.5
	3 日 目		0	0	0	1.4	0	0	0	3.4
	5 日 目		0	0	0	0	0	0	0	2.5

単位: ppm, MB=臭化メチル, EO=酸化エチレン

供試体材料: シポレックス (圧縮強度  $30 \text{ kg/cm}^2$ ,  $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}$ ),

セメントコンクリート (圧縮強度  $270 \text{ kg/cm}^2$ ,  $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}$ )

透過性も同条件で測定して図一1に示した。この場合の臭化メチルの経時的残留ガス濃度の変化は、燻蒸ガス導入後3時間目で77%、12時間目で59%、24時間目で55%、48時間目で32%であった。シポレックスとセメントコンクリートとの間の燻蒸ガス保持性能の著しい差異は、シポレックスの圧縮強度が  $30 \text{ kg/cm}^2$  でセメントコンクリートの圧縮強度が  $270 \text{ kg/cm}^2$  であるところにその要因が存在しているのかもしれない。

#### 4.2 シポレックス供試体のガス吸着性

筆者らは、シポレックスが体積の約70%の気泡率を有するので、燻蒸剤の吸着と一度吸着した燻蒸剤が容易に蒸散し得るかどうかを懸念した。そこで、シポレックス供試体のガス吸着性を測定するために、 $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}$  のシポレックス供試体を燻蒸剤 MB-EO  $100 \text{ g/m}^3$  で24時間燻蒸した後、ブローによる15分と24時間排気した供試体について、表面と内部に吸着されている燻蒸剤をエタノールで抽出して測定し、その結果を表一3に示した。

燻蒸後15分排気したシポレックス供試体は、直後の表面で MB=0, EO=11.9 ppm, 内部では MB=0.9 ppm, EO=28.5 ppm が検出された。1日室温に放置した供試体からは、表面および内部から MB=0, EO=4.3 ppm で、4日後にはいずれも0となる。一方、燻蒸後24時間排気したシポレックス供試体は、直後の表面で MB=0, EO=0.9 ppm, 内部では MB=0, EO=4.8 ppm, 3日後には供試体内部の EO のみが 1.4 ppm 検出され、5日目にはガスの吸着は全く認められなかった。

セメントコンクリートの同形の供試体についても同条件でガス吸着性を測定し、シポレックスのそれと比較した。すなわち、燻蒸後15分排気したセメントコンクリート供試体は、直後の表面で MB=0, EO=3.9 ppm, 内部で MB=0, EO=8.2 ppm, 1日目の表面で EO のみ 1.5 ppm, 内部で EO のみ 3.7 ppm, 4日目表面で EO=0, 内部で EO=2.9 ppm, 6日目にはほぼ完全に吸着ガスが検出されなくなった。24時間排気したセメントコンクリート供試体は、直後の表面で EO のみ 4.9 ppm, 内部で 6.5 ppm, 3日目の表面で EO=0, 内部で EO=3.4 ppm, 5日目の内部のみに EO=2.5 ppm が検出された。なお、MB は、直後から表面にも内部にもガスの吸着が認められなかった。これより、セメントコンクリートがシポレックスよりやや EO の吸着量が多いという結果が得られた。これは、2種の供試体の含有水分の差に関係しているのかもしれない。しかし、2, 3 ppm のきわめて微量な差異の吸着量であるので、現実的には無視し得る量であろう。

#### 4.3 シポレックス供試体のガス蒸散性

燻蒸ガスが、シポレックスの内部に存在する約70%の気泡中にとり込まれた場合、そこから燻蒸ガスが完全に蒸散するには、著しい日数を要するのではないかという懸念がある。筆者らは、燻蒸処理したシポレックス供試体を、直後と1日および2日間外気中に置いた後、5l容の2軸延伸ビニロンフィルム袋に密封して、室温に24時間置いた後、その密閉空間に供試体から蒸散する MB および EO を測定して、ガスの蒸散性を判定することにした。

その結果は、表一4に示したが、シポレックス供試体は、燻蒸直後では MB を 80~85 ppm, EO を 0.2% (=2,000 ppm) 蒸散した。これが、シポレックス供試体からのガスの蒸散は、1日外気中に置いた場合 MB=2 ppm, EO=0.01% (100 ppm) であり、2日外気中に置いた場合には、ガスの蒸散が認められなかった。この結果から、シポレックスのガス蒸散性はきわめて

表一4 シポレックスの燻蒸ガス蒸散性  
Table 4 Volatilities of fumigant gases from Siporex test pieces

燻蒸後の日数	燻蒸剤	MB (ppm)	EO (ppm)
直 後		80~85	2,000
1 日		2	100
2 日		0	0

速やかで、ガスは燻蒸後2, 3日で完全に蒸散することが判明した。

### 5. 唐招提寺収蔵庫における燻蒸への応用

唐招提寺の新収蔵庫は、昭和44~45年に建築竣工し今日に至っている。建物の概要はつぎのとおりである。すなわち、構造は鉄骨造、規模は3階(一部4階)で1階がピロティ、建築面積が432 m<sup>2</sup>(間口36 m, 奥行12 m, 軒高8.3 m, 最高高さ11.3 m), 延床面積656 m<sup>2</sup>, 内容積約3,000 m<sup>3</sup>, 外部仕上げは、外壁がALC版(125 mm厚)横積み、目地コーキング処理、スーパーコートによる吹付け仕上げ、屋根が平城本瓦葺、下地はドリゾール普通板(50 mm厚)である。内部仕上げは、内壁がALC版(100 mm厚)、目地にスチール角パイプ(28×28×2.3 mmのOP)、バブジュラクによる吹付け仕上げである。天井はフレキシブルボード(6 mm厚)、バブレックスによる5 mm厚の吹付け仕上げである。

奈良県教育委員会文化財保存課は、唐招提寺収蔵庫の仏像彫刻の虫害対策として、同収蔵庫の燻蒸を計画した。その過程で、収蔵庫の内外壁にシボレックスを使用しているため、燻蒸仕様が通常のセメントコンクリート壁体と同様の仕様では疑問があるので、同課は文化庁美術工芸課と東京国立文化財研究所に燻蒸方法について検討を依頼した。

筆者らは、前述のようにシボレックスの燻蒸剤に対する挙動、すなわち、ガス透過性、吸着性、蒸散性について実験し検討を加えた。同時に現場における燻蒸法についても具体的に検討を加えて、唐招提寺収蔵庫の燻蒸が実施されたので、これを要約して記録に止めた。

#### 5.1 唐招提寺収蔵庫の燻蒸仕様について

筆者の一人森は、現地における燻蒸仕様について検討し、つぎのような意見を提出した。

(1) 燻蒸容積は、ガスが拡散する建物内の全容積を算出すべきである。室内だけの容積計算では、ガス濃度が低減して不足となり、所期の目的を達成できない。

(2) 本収蔵庫は、シボレックスを使用しているため、ガスが透過し一定時間、一定濃度を保持できないから、減少したガス量を絶えず補充する必要がある。したがって、全投薬量よりも、維持ガス濃度が大切である。

ムシの場合：MB 20 g/m<sup>3</sup> 以上で

{ 20°C 以上ならば24時間 } 燻蒸  
{ 20°C 以下ならば48時間 }

カビの場合：MB と EO 混合剤 60 g/m<sup>3</sup> で

{ 25°C 以上ならば24時間 } 燻蒸  
{ 25°C 以下ならば48時間 }

(3) シボレックス壁面を被覆するシートの保持が困難な作業となる。

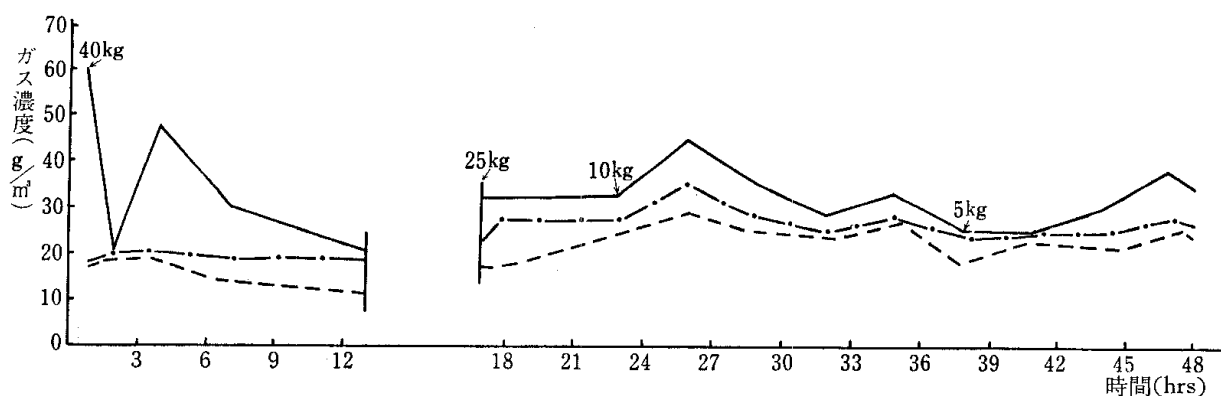
(4) 収蔵庫内が3室に区切られているが、仕切りにもシボレックスを使用しているため、仕切りの扉周囲の目貼りは無意味である。

(5) シボレックス自体は、それ程ガスを吸着しないが、収蔵庫が二重壁であるから二重壁の間のガス抜きを十分に検討する必要がある。ブローを使用し建物内外の圧力差を利用して、ガスの完全な排除に努める。とくに、天井裏のガス抜きに十分な配慮が必要であり、ガスの完全排除に数日を要する場合もあり得る。

(6) ガス漏れが予想されるから、追加補充のガスを大量に準備して、所定のガス濃度の維持を計る。

#### 5.2 唐招提寺収蔵庫燻蒸の実施

唐招提寺収蔵庫の燻蒸は、庫内の仏像彫刻の加害虫殺滅を目的としたので、燻蒸剤は臭化メ



図一2 唐招提寺収蔵庫（中央ホール、約1,600 m<sup>3</sup>）における燻蒸経過

Fig. 2 A fumigation process at the storage building (central hall, ca. 1,600 m<sup>3</sup>) of the Tōshōdaiji Temple

チルを気化して使用し、維持ガス濃度は 20 g/m<sup>3</sup> で48時間燻蒸を実施した。

シボレックスからの燻蒸ガスの漏洩防止は、収蔵庫の外壁を厚さ 0.2 mm の塩化ビニルシートで囲い込む方法を採用した。すなわち、0.2 mm の塩化ビニルシートを高さ 6 m、横 4 m に切断して接合し、極木で吊り下げ、その極木を梁と梁の間に置いた補強板（ウエスでカバーしたもの）とクサビで固定して密閉した。その他、床下通風口等は、塩化ビニルシートによる目張り、機械室や東西入口の目張りは、パテを用いる常法で密閉した。

燻蒸中は、2度にわたる突風を受けてテープが剥れるという突発事故が生じ、床下からのガス漏洩が著しく、投薬後15時間目に燻蒸を中断して、漏洩個所の密閉作業に32時間を費やした後追加投薬し、それ以後32時間の間追加投薬を続けながら、空間ガス濃度を 20 g/m<sup>3</sup> に維持した。ガス濃度を経時的に測定した1例を図一2に示した。本収蔵庫の密閉燻蒸では、当初予定した 120 kg (40 g/m<sup>3</sup>) の臭化メチルでは、空間ガス濃度 20 g/m<sup>3</sup> を維持できず、最終的には 305 kg と2.5倍の薬量を要する結果となった。

燻蒸終了後のガスの排気は、3日間にわたって実施し、残留ガスが検知できないことを確認して燻蒸作業を完了した。なお、燻蒸効果は、(財)文化財虫害研究所の燻蒸用テストサンプルにより、コクゾウの成虫・幼虫・蛹・卵が100%致死と判定された。

### 5.3 考察

シボレックス造の 3,000 m<sup>3</sup> におよぶ大規模収蔵庫の密閉作業が、きわめて困難な作業であることを如実に示した燻蒸例であった。今後、シボレックス造の建造物の燻蒸は、原則として被覆燻蒸で実施すべきであると考えられる。唐招提寺収蔵庫において、被覆燻蒸を行っていたら、床下の 1,200 m<sup>3</sup> を加えても、臭化メチルは 200 kg で十分空間ガス濃度を 20 g/m<sup>3</sup> に保持し得たであろう。さらに、シボレックスの壁体ならびに継ぎ合せ部位の密閉に要した今回の作業量は、被覆燻蒸の場合の2倍以上の労力を費したものと考えられる。唐招提寺収蔵庫における燻蒸で得た貴重な教訓を、今後の同種の燻蒸に際しての指針としたいものである。

おわりに、本研究においてガス濃度の測定等については、液化炭酸K. K. 開発部次長井上市郎氏と石木田欽也氏の協力を得、セメントコンクリートの実験試料は、ショーボンド建設中央技術研究所副参事小林滋氏に援助して頂いた。ここに深甚の謝意を表する次第である。

## 文 献

- 1) 新井英夫・森八郎：コンクリート壁体のガス透過性 (その1), 保存科学, **20**, 17—25 (1981).
- 2) 新井英夫・森八郎：文化財の長期保存法に関する研究 (第1報) 同時2軸延伸ポリビニルアルコールフィルム製袋の文化財生物劣化防止への応用, 古文化財の科学, **25**, 89—102 (1980).
- 3) 新井英夫・見城敏子・森八郎：文化財の長期保存法に関する研究 (第2報) 出土遺物等の保存へのBO-PVA フィルムの応用, 保存科学, **22**, 55—60 (1983).

The Permeability of Fumigant Gases Through Concrete Walls  
(Part 2) Behaviors of Fumigants to Siporex

Hideo ARAI and Hachiro MORI

It is essential to know the behaviors of fumigant gases to Siporex, especially the permeability, the adsorption and the volatility, when a sealed fumigation of the storage building made of Siporex is planned. Siporex is the trademark of the autoclaved light-weight concrete, and is called ALC for short. The authors experimented on the behaviors to Siporex and a sealed fumigation of 3,000 m<sup>3</sup> for the storage building made of Siporex at the Tōshōdaiji Temple was conducted. The results are summarized as follows:

- (1) The permeability of the 100 mm thick Siporex test pieces is rapid. Three hours after introduction to the test pieces, more than 50% of fumigant gases leaked through Siporex (see Fig. 1, ALC and alc curves).
- (2) After 24 hours fumigation of Siporex test pieces and the ventilation of fumigant gases for 15 minutes by blower, 0.9 ppm of methyl bromide and 12.0—28.5 ppm of ethylene oxide were detected in the test pieces. In the test pieces left in air for one day, methyl bromide could not be detected and 4.3 ppm of ethylene oxide was measured. Therefore, the adsorption of fumigant gases in Siporex is very little and fumigant gases cannot remain in Siporex for a long time (see Table 3).
- (3) Just after the fumigation, the Siporex test pieces (100×100×100mm) volatilized 80—85 ppm of methyl bromide and 2,000 ppm of ethylene oxide within the closed space of 5 liters. However, the Siporex test pieces after staying in air for one day kept only 2 ppm of methyl bromide and 100 ppm of ethylene oxide in them. Therefore, we should rather notice the lack of the gas-tight ability in Siporex.
- (4) Siporex permeates fumigant gases easily, adsorbs only a small amount of fumigant gases and volatilizes rapidly the adsorbed fumigant gases for one to two days. Therefore, the fumigation for the storage building made of Siporex should be planned by the covered fumigation method with tarpaulin in principle. When we cannot carry out the covered fumigation, we must pay attention to the sealing methods against the gas leakage and prepare for the decreasing gas concentration with the spare gas.