

コンクリート壁体のガス透過性（その1）

新井 英夫・森 八郎

1. はじめに

わが国の博物館、美術館、資料館等の文化財を保存・展示あるいは修復する施設が、各県のみならず市、町、区にまで普及しつつある。日本博物館協会のここ数年間の集計では、毎年50館前後の博物館等が開館しているということである。これら博物館等の設計の際には、必ず燻蒸設備が計画されているが、開館前に調査すると、燻蒸設備として不可欠な気密性に欠け、危険で使用できない設備がほとんどといっても過言ではない。この主たる原因は、設計・施工者が燻蒸法に関する知識がないままに、単なる倉庫と同一レベルで設計し、給排気装置なども空調設備の場合と同様に施工しているためである。

筆者らは、開館前に燻蒸設備の相談をうけると、その依頼に応じて調査を実施してきた。燻蒸剤は、毒ガスであり、館内に漏洩すれば、きわめて危険であるから、気密性について厳重な漏洩テストを実施してきたし、今後も依頼を受ければ、いつでも実施する用意がある。これらの調査結果に基いた燻蒸設備設置上の留意点については、別に報告した¹⁾。

博物館等で設置する燻蒸設備には2種類ある。すなわち、多くは内容積1～3m³の減圧釜(vacuum chamber)を中心に設計された減圧燻蒸装置と、50～100m³の容積の燻蒸室である。前者は、減圧釜の中で燻蒸処理が行なわれる所以、パッキング、バルブや計器の接続等特に不備がなければ、ガス漏洩の危険はない。問題は後者の燻蒸室である。燻蒸室の設計上要求されるセメントコンクリート壁体の必要条件が、まだ実験的に裏付けられていない。筆者らは、セメントコンクリート壁体のガス透過性について検討し、2、3の知見を得たので、ここに報告することにした。

表-1 セメントコンクリート供試体の配合表

Table-1 The composition of the concrete materials used.

原 材 料	記 号	セメントコンクリート1m ³ 当り の重量(kg)	重量百分率 (%)
早強セメント	C	326	14.0
水	W	199	8.5
細骨材(砂)	S	755	32.5
粗骨材(砂利)	G	1,044	45.0
	合 計	2,324	100.0
水セメント比	W/C	61%	
細骨材比	S/S+G	42%	
スランプ(ワーカビリティ)		18cm	
圧縮強度(28日養生)		212kg/m ²	

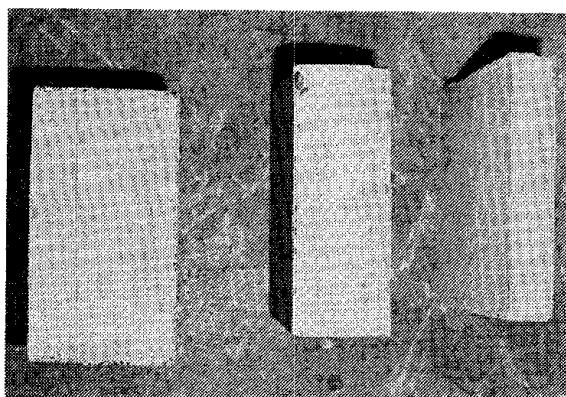


図-1 3種類の厚さのセメントコンクリート供試体

Fig. 1 Test pieces with three kinds of thickness.

お、厚さ50mmの試料のみは、割れるおそれがあるので中央部に普通鉄線(#10)を入れて補強した。

2-2 塗装試料

コンクリート壁体は、場合によって亀裂を生じ、燐蒸ガス漏洩の原因となっているのがしばしば認められる。また、壁体と扉等の取り付け部位から、よく燐蒸ガスの漏洩がある。このような場合の壁体のガス漏洩防止対策も、あらかじめ考慮しておかなければならない。従来は、耐酸耐アルカリ塗料を塗布しているが、今回はこれらの塗料の選択も含めて、どのような処置をすれば壁体のガス漏洩を防止できるかについて検討することにした。

そのためのセメントコンクリート供試体として、厚さ50mmのものに人工的に亀裂を入れたものを作成した(図-2)。これに3種の塗装材で人工亀裂面に塗装を施し、ガス遮断性を比較することにした。すなわち、試料1は、溶剤型のエポキシ系ライニング材(1)による塗装、試料2は、非溶剤型のエポキシ系ライニング材(2)による塗装、試料3は、コンクリート供試体表面に断熱層として現場発泡ウレタンならびに耐火モルタル、難燃性エポキシエマルジョン塗料を塗布した耐火モルタルライニング材仕上げ塗装の3種の塗膜を供試した(図-3)。これら3種のライニング材の塗装仕様は、表-2, 3, 4に示した。

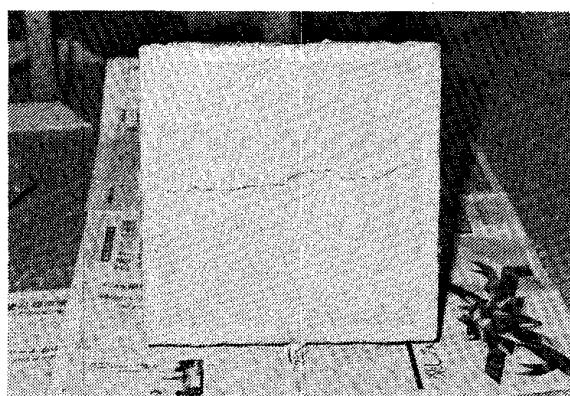


図-2 人工的に亀裂を入れたセメントコンクリート供試体

Fig. 2 50mm thick concrete test pieces with artificial cracks.

2. 実験試料

2-1 セメントコンクリート試料

コンクリート壁体のガス透過性を実験するため、300×300mm、厚さ50mm, 100mm, 150mmのセメントコンクリート供試体(図-1)を表-1の配合で作成した。このときの試料は、博物館等建設時と同等程度の配合とし、セメントコンクリートの圧縮強度も一般の鉄筋コンクリート造建造物の壁体の圧縮強度(180kg/cm²)を目安とした。すなわち、供試したセメントコンクリート供試体は、脱型後28日間養生したときの圧縮強度が212kg/cm²であった。な

お、厚さ50mmの試料のみは、割れるおそれがあるので中央部に普通鉄線(#10)を入れて補強した。

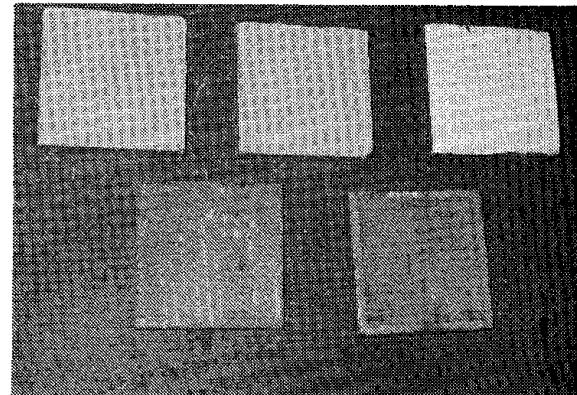


図-3 塗装試料

上段左から亀裂を入れ塗装した試料1, 2, 3
下段左から亀裂塗装なし、亀裂入り塗装なし

Fig. 3 Painted test pieces (the upper part).

表-2 エポキシ系ライニング材(1)*による塗装
Table-2 The painting process by the solvent type epoxy coating.

塗装工程	使用材料	作業内容	標準使用量(g/m ²)
素地調整		コンクリート表面の研磨	
下塗り	エポキシ系プライマー	刷毛による塗布または吹き付け処理	100
シール	エポキシ系シール材	亀裂の断面をVカットした後充填処理	必要量
パテ処理	エポキシ系パテ材	コンクリート表面の2, 3mmの小孔をパテ付け処理	400
中塗り	エポキシ系ライニング材(1)*	刷毛による塗布または吹き付け処理	220
中塗り	同上	同上	220
上塗り	同上	同上	200

* 溶剤型

表-3 エポキシ系ライニング材(2)*による塗装
Table-3 The painting process by the nonsolvent type epoxy coating.

塗装工程	使用材料	作業内容	標準使用量(g/m ²)
素地調整		コンクリート表面の研磨	
下塗り	エポキシ系プライマー	刷毛による塗布または吹き付け処理	100
シール	エポキシ系シール材	亀裂の断面をVカットした後充填処理	必要量
パテ処理	エポキシ系パテ材	コンクリート表面の2, 3mmの小孔をパテ付け処理	400
中塗り	エポキシ系ライニング材(2)*	刷毛による塗布または吹き付け処理	250
中塗り	同上	同上	250
上塗り	同上	同上	220

* 非溶剤型

表-4 耐火モルタルライニング材による塗装
Table-4 The painting process by the fireproof mortar coating.

塗装工程	使用材料	作業内容	標準使用量(g/m ²)
素地調整		コンクリート表面の研磨	
断熱層	現場発泡ウレタン	特殊ガンによる吹き付け処理	500
モルタル塗り	耐火モルタル	モルタルガンによる吹き付け処理	1,000
中塗り	難燃性エポキシエマルジョン塗料	刷毛による塗布または吹き付け処理	200
上塗り	同上	同上	200

3. ガス透過性の実験方法

3-1 コンクリート壁体のガス透過試験装置と試料装着方法

3種の厚さのセメントコンクリート供試体を、両側から一定容積の片面の開いた鉄製容器

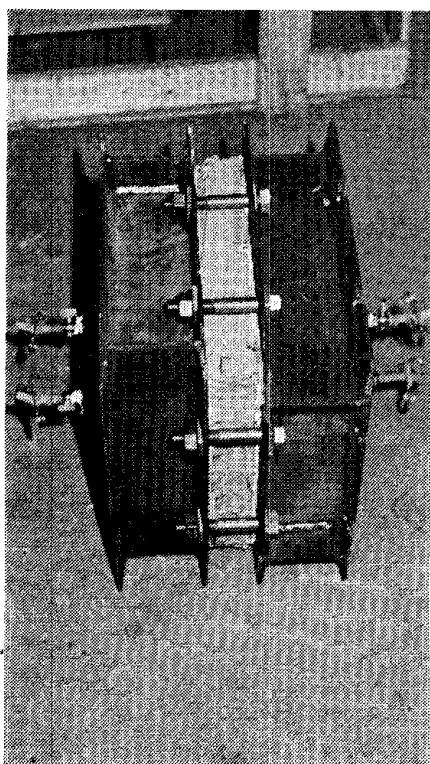


図-4 ガス透過試験装置に供試体の装着

Fig. 4 The fumigant gas permeation test apparatus set with a concrete test piece.

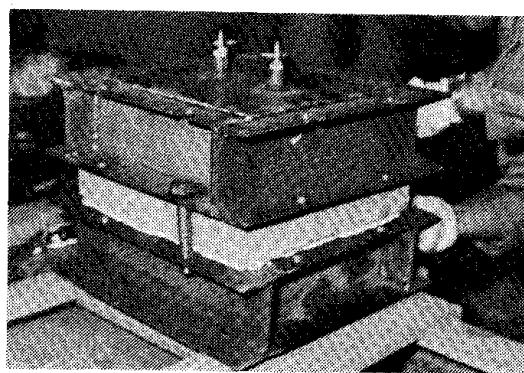


図-5 ガス透過試験装置の周囲の各面をボルトで固定
Fig. 5 Two steel containers fixed with bolts.

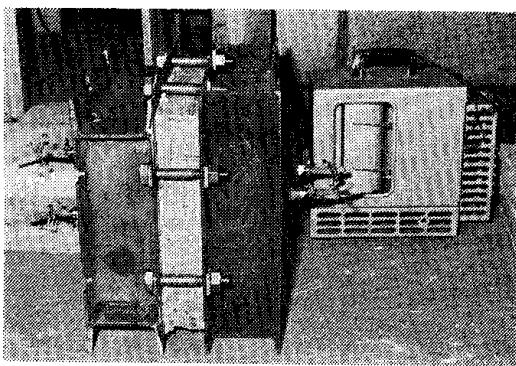


図-6 ガス透過試験の開始
Fig. 6 A scene of permeation tests.

(内容積6.8 l) で挟んで密封し、片側に燻蒸剤の一定量を投薬し、反対側の気中のガス濃度を測定してガス透過性を検討した。換言すれば、鉄製容器の中央にセメントコンクリート供試体が、フィルターのように挿入された状態となる(図-4)。

鉄製容器のセメントコンクリート供試体と接する反対側には、燻蒸剤の投薬ならびにガス濃度測定のためのサンプリング用コックを2個ずつ取り付けた。セメントコンクリート供試体を両側から挟んだ後、周囲の各面をそれぞれ2個のボルトで密着固定した(図-5)。

セメントコンクリート供試体表面とガス透過性試験装置接触面との間からのガス漏洩ならびにセメントコンクリート供試体側面からのガス漏洩を考慮し、特殊液状合成ゴムを使用した。これは、セメントコンクリート表面との接着性に優れかつ弾力性があるので、凹凸のあるセメントコンクリート供試体表面と鉄製容器の密着に有効であった。さらに、鉄製容器とセメントコンクリート供試体を接着するとき、接触面はシリコン樹脂ボンドで接着した。セメントコンクリート供試体をガス透過試験装置に装着して実験中の状態を図-6に示した。

3-2 ガス透過試験方法

ガス透過性の実験は、セメントコンクリート供試体をガス透過試験装置に装着後、一方の側に気化した燻蒸ガスの一定量を投薬して室内に保ち、投薬後1, 3, 24, 48, 72時間毎にガス透過試験装置の投薬側と透過側の気体を採集して、臭化メチルと酸化エチレンの濃度をガスクロマトグラフで測定した。

燻蒸剤は、ガス透過試験装置の鉄製容器の空間が6.8 lであるので、ここに気化した臭化メチルと酸化エチレンの混合剤(エキボン、以後MB-E Oと略記する)を200ml投薬した。これは、MB-E Oによる燻蒸時の投薬量100g/m³を目安とした。このときの空気中の臭化メチルおよび酸化エチレンの濃度は、0°C, 1気圧での理論値として、臭化メチル2.03%, 酸化エ

チレン0.71%となる。

分析条件は、ガスクロマトグラフ 島津製作所製GC-5A, 検出器 TCD, カラム $3\text{ mm } \phi \text{ } 2\text{ m}$, 充填剤 $\beta\beta'$ -oxydipropionitrile/celite-22 (40/60mesh), カラム温度 60°C , 検出器温度 80°C , 注入口温度 80°C , キャリアガスはヘリウムを流速 50 ml/min で流し, 電流値 120 mA で測定した。

3-3 ガス透過試験装置の漏洩試験

ガス透過試験装置の鉄製容器からのガス漏洩は、セメントコンクリート供試体の縁面に金属板をあて、これを特殊液状合成ゴムで固定した上にガス透過試験器の鉄製容器を固定してガス漏洩試験を実施した。

4. 実験結果および考察

4-1 ガス透過試験器の漏洩試験

ガス透過試験器に投薬したMB-E0は、経時に臭化メチルと酸化エチレンを測定して図-7に示した。すなわち、臭化メチルは、投薬後10時間で投薬量の約23.5%が減少したが、以後72時間まで投薬量の75%を保ち、大きな変動がなかった。臭化メチルの23~25%の減少は、金属表面と接着面からの浸出もしくは容器内面への吸着によるものであろう。酸化エチレンは、投薬後10時間で投薬量の約34.8%が減少し、24時間後に投薬量の57%を保持していた。

4-2 セメントコンクリート供試体のガス透過性

(1) 厚さ50mmのとき

50mm厚のセメントコンクリート供試体は、投薬後1時間目からガス透過試験器の透過側に臭化メチルと酸化エチレンが検出された。臭化メチルは、投薬後24時間目に投薬量の6.93%, 48時間目に11.4%が透過側で測定された。酸化エチレンは、投薬後24時間目で投薬量の1.79%が透過側で測定された。この結果より、一般建築物に用いている圧縮強度 180 kg/cm^2 程度のセメントコンクリート壁体の厚さが50mmであれば、燐蒸剤とくに現在よく用いられている臭化メチルは、壁体を透過することが判明した。

さらに、セメントコンクリート壁体は、燐蒸剤を予想以上に吸着することが判明した。図-7から、50mm厚のセメントコンクリート供試体のとき、臭化メチルは、投薬後24時間目で、投薬量の45%を投薬側の鉄製容器空間に保持していた。したがって、55%の臭化メチルは損失となる。臭化メチル損失の内訳は、セメントコンクリートを透過した約11%，投薬側の鉄製容器内壁に吸着した約25%および残り19%であるので、セメントコンクリート供試体に吸着され

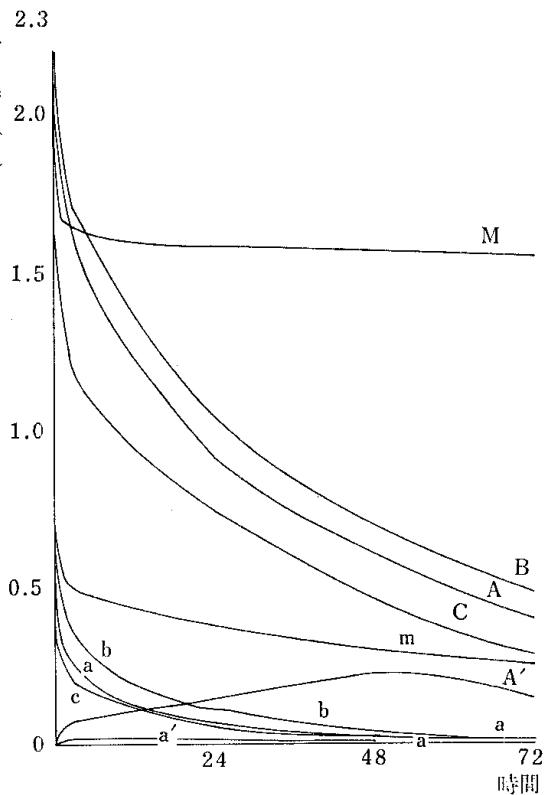


図-7 コンクリート供試体の燐蒸ガス透過性

Fig. 7 Permeabilities of fumigant gases through concrete test pieces.

M: 投薬側内面が金属のときの臭化メチル濃度

m: " 酸化エチレン濃度

A: 50mm厚コンクリート供試体の投薬側臭化メチル濃度

a: " 投薬側酸化エチレン濃度

A': 透過側臭化メチル濃度

a': 透過側酸化エチレン濃度

B: 100mm厚コンクリート供試体の投薬側臭化メチル濃度

b: " 酸化エチレン濃度

C: 150mm厚コンクリート供試体の投薬側臭化メチル濃度

c: " 酸化エチレン濃度

た臭化メチルは、投薬量の19%ということになる。

(2) 厚さ100mm のとき

100mm 厚のセメントコンクリート供試体は、投薬後24時間経過したときに、透過側で臭化メチルが投薬量の0.09%，48時間目に0.64%を検出した。しかし、酸化エチレンは、検出されなかった。セメントコンクリート供試体の厚さが、50mm から 100mm になると、臭化メチルの透過性は著しく減少し、50mm 厚の透過量の約1/100に減少することが認められた。投薬後24時間目の投薬側容器空間のガス濃度は、投薬量の臭化メチルが47.5%，酸化エチレンが15.7%であった。したがって、臭化メチルは28.5%，酸化エチレンは40.8%がセメントコンクリート供試体に吸着したことを示した。

(3) 厚さ150mm のとき

150mm 厚のセメントコンクリート供試体は、投薬後72時間経過しても、透過側で臭化メチル、酸化エチレンのいずれも検出できなかった。しかしながら、投薬した臭化メチルと酸化エチレンの投薬側空間の濃度は、投薬後24時間目で臭化メチルが45.6%，酸化エチレンが15.8%であった。金属空間での臭化メチルと酸化エチレンの24時間後のガス濃度が、それぞれ76.1%，56.5%であったから、臭化メチルは30.5%，酸化エチレンは40.7%が、セメントコンクリート供試体に吸着されたことになる。

4-3 塗装試料のガス透過性

人工的に亀裂を入れた50mm 厚のセメントコンクリート供試体を対照とし、これに溶剤型のエポキシ系ライニング材(1)で塗装した試料1と非溶剤型のエポキシ系ライニング材(2)で塗装した試料2の3種類の供試体について、ガス透過性を測定して塗装材のガス遮断性を比較検討し、その結果を図-8に示した。

(1)対照とした亀裂入り供試体は、亀裂のない50mm 厚供試体と同様なガス濃度の減少傾向を投薬側で示し、透過側に漏洩した臭化メチルの量も同程度の投薬量の8.59%という値を示した。これは、亀裂が一部分で止どまっているためであろう。

(2)溶剤型のエポキシ系ライニング材(1)で亀裂面に普通塗り塗装をした供試体は、対照および亀裂の入らない50mm 厚供試体よりややガス遮断性を示したが、投薬側の臭化メチルは対照とほぼ同じ傾向の曲線を画いて減少した。これに対して酸化エチレンは、投薬側によく保持されていた。臭化メチルは、透過側に投薬量の約6.81%漏洩したので、本実験に供試した溶剤型のエポキシ系ライニング材(1)による普通塗り塗装では、亀裂の入ったセ

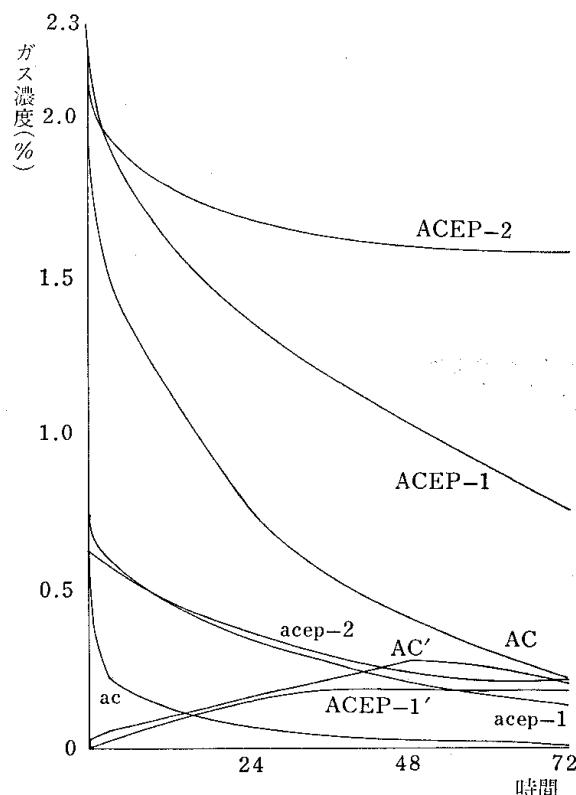


図-8 亀裂を塗装したコンクリート供試体の燃蒸ガス透過性（人工的に亀裂を入れた50mm厚コンクリート供試体を使用）

Fig. 8 Permeabilities of fumigant gases through concrete test pieces painted on the artificial cracks.

AC : 表面無処理の供試体、投薬側臭化メチル濃度

ac : " 投薬側酸化エチレン濃度

AC' : " 透過側臭化メチル濃度

ACEP-1 : 溶剤型のエポキシ系ライニング材(1)による塗装試料の投薬側臭化メチル濃度

acep-1 : " 投薬側酸化エチレン濃度

ACEP-1' : " 透過側臭化メチル濃度

ACEP-2 : 非溶剤型のエポキシ系ライニング材(2)による塗装試料の投薬側臭化メチル濃度

acep-2 : " 投薬側酸化エチレン濃度

メントコンクリート供試体のガス漏洩を遮断するには不十分である。

(3) 非溶剤型のエポキシ系ライニング材(2)で亀裂面を塗装した試料2は、ガス遮断性が著しく向上した。すなわち、透過側では投薬後72時間経過してもガスの漏洩は認められなかった。投薬側の臭化メチルのガス濃度は、図一7、8を比較すると、ガス透過試験器の漏洩試験に用いた金属容器内の空間に保持されたガス濃度より高い値を示した。したがって、セメントコンクリート壁体の燻蒸ガス漏洩は、非溶剤型のエポキシ系ライニング材(2)による厚塗り塗装によって遮断できることが判明した。

5. 要 約

博物館、資料館等が、燻蒸設備とくに燻蒸室を設置するとき、セメントコンクリート壁体の燻蒸ガス透過性を念頭に置いて設計施工する必要がある。各種のセメントコンクリート供試体に対する燻蒸ガスの挙動を実験し、つぎのような結果を得た。

(1) セメントコンクリート表面に金属板を貼りつけて、ガス透過試験装置のガス漏洩試験を実施したとき、臭化メチルは、投薬後10時間目に投薬量の約76.5%が測定され、以後72時間目まで大きな変動がなかった。これより、投薬した臭化メチルの23~25%は、接着面からの浸出と内部壁面への吸着によるものと考えられた。

(2) 50mm厚のセメントコンクリート供試体は、臭化メチルと酸化エチレン混合剤を100g/m³投薬すると、投薬直後から漏洩し、24時間目には臭化メチルが投薬量の6.98%，酸化エチレンが1.96%透過側に漏洩した。

(3) 100mm厚のセメントコンクリート供試体は、(1)と同条件で投薬後24時間目のとき臭化メチルのみが投薬量の0.09%透過側に漏洩した。

(4) 150mm厚のセメントコンクリート供試体では、同条件で投薬後72時間目でも漏洩ガスは検知できなかった。

(5) 50mm厚のセメントコンクリート供試体に人工的に亀裂を入れた後、2種類のエポキシ系ライニング材を塗布した塗装試料について、ガス透過性を測定した。これより、溶剤型のエポキシ系ライニング材(1)による普通塗り塗装では、燻蒸ガスを遮断する気密性は得られないが、非溶剤型のエポキシ系ライニング材(2)による厚塗り塗装では、ガス遮断性が著しく向上し、金属容器に匹敵する気密性を示した。

6. おわりに

コンクリート壁体からの燻蒸ガス漏洩は、かねてから気懸りであった。今回の実験によつて、燻蒸室建設時のコンクリート壁体に必要な厚さが明らかとなり、亀裂の生じたコンクリート壁体のガス漏洩防止およびコンクリート壁体のガス吸着による損失を防ぐための対策を得ることができた。

最後に、本研究において、セメントコンクリートの実験試料については、ショーボンド建設K.K. 中央技術研究所副参事小林滋氏ならびに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木村広氏の全面的協力を得たことを明記して深甚の謝意を表します。

文 献

- 1) 新井英夫：博物館等の燻蒸設備について（その1），文化財の虫菌害，創刊号：P. 22 (1981. 1)

The Permeability of Fumigant Gases Through Concrete Walls (Part 1)

Hideo ARAI and Hachiro MORI

Almost all museums and folklore museums in Japan have some simple fumigation equipment, such as a fumigator with a vacuum chamber or a fumigation room. Fumigation rooms, however, are being designed and constructed without the benefit of any standards or other data. In order to test and verify the gastightness of concrete walls against fumigants, the authors conducted tests on the permeability of gases through concrete with the following results.

1. Concrete Test Materials

Table-1 shows the composition of the concrete materials used. In short, the authors prepared concrete test pieces having the same compressive strength (180kg/cm^2) as concrete walls in ordinary buildings. In size, each test piece measured $300\text{mm} \times 300\text{mm}$ in length and width, but each had a different thickness; that is, either 50mm, 100mm, or 150mm (see Fig. 1).

Cracks were artificially produced in the 50mm thick concrete test piece and then covered with two kinds of epoxy coating (see Table-2, 3) in order to test the permeability of gases through them as well.

2. Method Used to Test Gas Permeability

Gas permeability was tested using a fumigant gas permeation test apparatus. This apparatus consisted of two steel containers of fixed volume bolted together with a test piece sandwiched in between. A 100g/m^3 mixture of methyl bromide and ethylene oxide (Ekibon) was then added to a steel container on one side, and the gas concentration in the other container was measured at various intervals to see how much, if any, gas had permeated through the concrete (see Fig. 6). The concentration of gas in the first container was also measured, and the fumigant gases inside the sealed container were checked for possible changes. All tests were conducted at room temperature, and gas concentrations were measured with a Gas Chromatograph GC-5A type made by Shimadzu Co.

3. Test Results

3.1 Steel plates were fixed to the exposed surfaces of concrete in order to test the gas permeation test apparatus for gas leaks. 10 hours after gas was introduced into the apparatus, about 76.5% of the initial volume of methyl bromide was measured inside. 72 hours later no further major change was discovered (see Fig. 7, M curve), so the authors concluded that the apparatus did not leak, but that 23-25% of the methyl bromide had adhered to the inner sides of the apparatus.

3.2 The 50mm thick concrete test piece started to leak immediately after gas was introduced, and 24 hours later 6.98% of the initial volume of methyl bromide and 1.96% of the initial ethylene oxide had escaped through the concrete (see Fig. 7, curves A' and a').

3.3 Twenty-four hours after introducing gas to the 100mm thick test piece, only 0.09% of the original volume of methyl bromide had leaked through.

3.4 On the 150mm thick test piece no gas leakage was detected even 72 hours after gas was first introduced.

3.5 In the case where epoxy coating(solvent type) was applied, some methyl bromide leakage was discovered (see Fig. 8, ACEP-1' curve). In the case where epoxy coating (nonsolvent type) was applied, a much improved ability to block fumigant gases was observed. It was comparable to the gastightness of the steel containers (see Fig. 8, curves ACEP-2 and acep-2).