

美術館・博物館におけるアンモニア抑制工法の開発

三 谷 一 房 岩 波 洋 久保田 孝 幸
(本社 エンジニアリング本部)

大 林 千 英 堀 長 生 川 地 武
(本社 エンジニアリング本部)

Development of an Discharged Ammonia Vapor Influence-cidal Construction Method for Museums and Art Galleries

Hitofusa Mitani Hiroshi Iwanami Takayuki Kubota
Chie Obayashi Nagao Hori Takeshi Kawachi

Abstract

It has been said recently that various gases, especially ammonia, emitted by concrete and interior finishing materials in museums and art galleries have a deleterious effect on works of art such as pictures and craft objects. An emitted ammonia vapor influence-cidal construction method has been developed for such buildings that creates an ammonia-free space and thus preserves cultural properties from deterioration by ammonia vapor. First, we investigated indoor air quality in some of these buildings just after construction, and carried out an experiment to determine the quantity of ammonia vapor emitted by mortar specimens. Second, we measured the quantity of ammonia vapor emitted by concrete specimens coated with an ammonia adsorbant paper. The results showed that the paper effectively controls ammonia vapor emission. Furthermore, the method was applied to a museum under construction, and its effectiveness was verified.

概 要

近年、美術館・博物館等のコンクリート躯体や内装材から発生する各種有害ガス状物質、特にアンモニアによる室内空気質の悪化が問題視されており、絵画・美術工芸品等の文化財の変質・劣化に与える影響が少なからずあると言われている。

そこでアンモニアフリーの室内空間を創造し、文化財の変質・劣化を防止するアンモニア抑制工法の開発を行った。基礎的調査として、竣工前後の美術館等の室内空気質の実態把握を行うとともに、モルタル・コンクリート供試体によるアンモニア発生量について定量的実験を行った。次いで、特殊な吸着シートをコンクリート供試体表面に張り付けた場合のアンモニア除去の効果について実験し、シート張り付け後はアンモニアの発生を完全に抑制することを確認した。また某美術館現場における施工実験から、吸着シートの効果および施工性について検討し、その有効性を確認した。

1. はじめに

近年、美術館・博物館のコンクリート躯体や内装材から発生する各種有害ガス状物質による室内空気質の悪化が問題視されており、絵画や美術工芸品等の文化財の変質・劣化に与える影響が少なからずあると言われている。今日、最も問題とされている物質は、コンクリートから発生するアンモニアおよび合板に用いられる接着剤から発生するホルムアルデヒドであるが、特に美術品に悪影響を及ぼすアンモニアへの対策は急務とされている。文化庁では、国指定の重要文化財や海外からの貴重な芸術作品を展示・収蔵する美術館等に対し、アンモニア濃度を数十 ppb 以下に抑えるよう指導している。

通常、建物の竣工後、美術館・博物館としての開館ま

では6ヵ月から12ヵ月にもわたるコンクリートの乾燥期間を置き、室内の換気・除湿を強制的に行うのが一般的であるが、工期の延長等により十分な乾燥期間を確保することが難しいのが現状である。また開館後は、空調設備に取付けられた吸着フィルターによってアンモニア等の有害物質を除去するという方法が試みられているが、アンモニアを低濃度のレベルまで抑えることは難しく、根本的な解決には至っていない。

そこで、美術館・博物館の室内空気中に存在する有害物質を除去し、特にアンモニアフリーの室内空間を創造することによって、絵画や美術工芸品等の文化財の変質・劣化を防止するとともに、建物竣工後から開館までの期間短縮が可能となるアンモニア抑制工法（ダヴィンチ工法）の開発を行った。

2. 空気汚染による文化財の劣化

コンクリートから発生するアンモニア等のアルカリ成分に関しては、文化財の劣化を促進させるとして、近年多方面で問題視されている。しかしながら文化財を構成する材料は表-1に示す様に多種多様であるため、汚染物質が個々の構成材料に及ぼす影響も複雑にならざるを得ない。なお、各種有害ガス状物質が文化財に与える主な影響は表-2の通りである。

空気汚染物質の濃度が低いほど、文化財に及ぼす影響は少ないと考えられるが、個々の汚染物質が対象とする文化財に対し、どの程度の濃度まで許容され得るかについては、ほとんどわかっていないのが現状である。

3. 美術館等におけるアンモニア濃度の実態調査

3.1 調査の目的

竣工時の美術館等における室内空気質の実態の把握を目的として、アンモニアについて定量的調査を行った。

3.2 調査対象となる建築物の概要

A~Eの5箇所の美術館、博物館および美術倉庫を対象に、竣工・引き渡し前後に調査を実施した。

A美術館およびB美術倉庫はS造(外壁はPC版あるいはGRC版)であり、C美術館、D博物館およびE美術館はRC造である。いずれの建築物も1992年以降に竣工しており、調査は1992年から1994年に実施した。

3.3 調査方法

調査は、各美術館・博物館の展示室、展示ケース(ビルトイン型)および収蔵庫を対象に実施した。竣工時以降は空調稼働状況下で、竣工時以前は目張り等により室内の気密性をできるだけ高めて実施した。

従来より、美術館等の空気質を調査・評価するための手法は、東京国立文化財研究所等で熱心な研究が行われているが、公定法はいまだ確立されていないため、アンモニアの測定は表-3に示す方法により行った。

なお、アンモニアは空気中では硫酸や硝酸と反応して一部アンモニウム塩を形成することが知られているが、本測定値は、吸収液中に取り込まれたアンモニウムイオンがすべてガス状のアンモニアと仮定して表示した。

また、本法によるアンモニアの検出下限は20ppbであり、検出下限未満の場合は10ppbと表現した。

3.4 調査結果

3.4.1 アンモニア濃度 調査結果を図-1に示す。近隣外気のアンモニア濃度は、検出下限未満~20ppbであった。建物中のアンモニア濃度は、検出下限未満~120ppbであり、竣工時以前の収蔵庫で高い値を示している場合が多かった。

美術館等におけるアンモニアの発生源はモルタルやコンクリート等のセメント系建材と言われており、既に鈴木らによって定性的には確認されている。しかし、実際の美術館において、アンモニアを測定・検出した例は少

表-1 文化財の構成材料

主な文化財(屋内)		主たる構成材料
絵画類	壁画	紙, 土, 繊維, 顔料, 染料
	障壁画	木, 紙, 繊維, 顔料
	日本画	木, 紙, 繊維(絹), 顔料(膠)
	油彩画	木, 繊維(麻), 顔料, 油
	板絵	木, 紙, 顔料
彫刻類	浮世絵	紙, 顔料, 染料
彫刻類	木彫(各種装飾, 仏神造)	木, 金属, 繊維(麻), 漆, 顔料
	乾漆	木, 繊維(麻), 漆, 顔料
	金銅仏	金属, 合金, 鍍金
	石像	石
	塑像	土, 繊維(麻), 顔料
工芸品類	仏神具(鐘, 鏡, 文房具)	木, 金属, 麻, 漆, 顔料
	刀剣, 武器(刀身, 箆, 弓矢)	木, 金属, 繊維(絹, 麻), 漆, 顔料
	家具, 調度品, 装飾品	木, 金属, 総繊維(絹, 麻, 綿)
	衣類, 服飾品	漆繊維(絹, 麻, 綿), 顔料, 染料
	書籍, 古文書	漆繊維(絹, 麻, 綿), 染料

表-2 各種有害ガス状物質が文化財に与える影響

汚染物質	文化財に対する主な影響	発生源
アンモニア	金属(銀, 銅): 変色 油彩画: 油の劣化, ニスの白濁化 繊維: 変退色	建材, 工場 汚濁河川 人
ホルムアルデヒド	金属: さび, 腐食 有機質材料: 劣化	合板
有機酸	金属: さび, 腐食 有機質材料: 劣化	木材
二酸化硫黄	金属(鉄, 銅): さび, 腐食, 変色 石灰石, 大理石: 溶解, 劣化 文化財全般: 変質, 劣化	自動車, 工場
二酸化窒素	金属: さび, 腐食, 変色 紙, 皮, 染織品: 変退色, 劣化 その他の有機質材料: 劣化	自動車 工場 燃焼器具
硫化水素	金属(銀): さび, 腐食 顔料: 変退色 その他の有機質材料: 変退色, 劣化	工場 温泉 汚濁河川
オゾン	金属: 腐食 ゴム: 劣化(ひびわれ) 染料など有機質材料: 酸化, 変退色, 劣化	電気機器
二酸化炭素	染料, 顔料: 変退色	人, 燃焼器具

表-3 測定方法の概要

概要	対象空気中のアンモニアを通気により吸収液に吸収させ、吸収液中の濃度をインドフェノール法で測定し、気中濃度に換算する。
吸収液	導電率0.1mS/m以下の純水
吸収液量	250ml(市瀬式ガス洗浄びん)
通気量	1ℓ/min×24時間(エアポンプ)

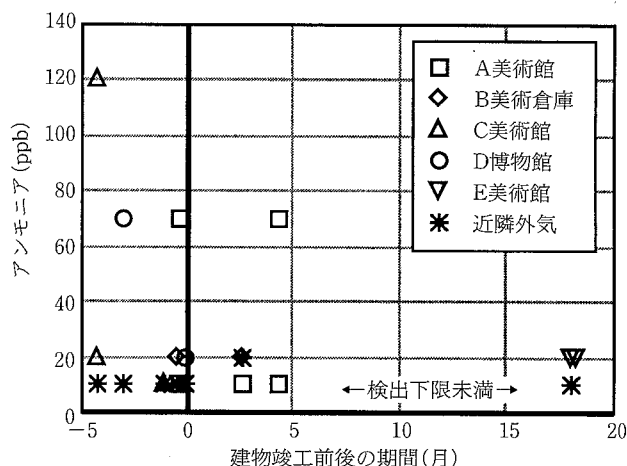


図-1 美術館等室内のアンモニア濃度

なく²⁾、今回竣工前後の美術館、博物館で70~120 ppbのアンモニアを検出したことは意義深いものと考えている。

3.4.2 変色試験紙法との相関 参考として、アンモニア濃度と変色試験紙法の測定データとの関係を図-2に示す。変色試験紙法³⁾とは、美術館等で現在広く行われている空気質把握法であり、変色試験紙(pH指示薬+グリセリン)を空気中に一昼夜暴露し、その色の変化により対象空气中に存在する酸性および塩基性物質の量を推定する方法である。

しかし変色試験紙法の色変化は、酸性および塩基性物質の相対的なバランスの結果であるため、今回の実験結果を見る限り、必ずしもアンモニア濃度と相関関係があるとは認められなかった。

4. アンモニア発生量の定量的把握

4.1 実験の目的

アンモニアの発生源および発生量の定量的把握を目的として、モルタル供試体を作製し基礎的実験を行った。

4.2 実験の概要

4.2.1 供試体の作製

(1) 使用材料 セメントは普通ポルトランドセメントを使用し、骨材は山砂および山砂の一部を黒土で置換

したものを用いた。練り混ぜ水は水道水を用いた。なお化学混和剤の影響を確認する目的で、一般的に使用されているリグニンスルホン酸系のAE減水剤を用い、練り混ぜ水の一部とした。各調合を表-4に示す。

(2) 供試体の成型および養生 モルタルの練り混ぜはJIS R 5201「セメントの物理試験方法」に準じて行い、供試体寸法は全て10 cm×10 cm×40 cm(4 l)とした。成型後、室内で養生を行い翌日脱型した。

4.2.2 アンモニアの定量分析 脱型後、各試験体を図-3のように、空気流量を1 l/minとしたチャンバー(容積28 l)内に設置し、チャンバーに対する換気回数を2.5回/時間とした。なお、実験室内の温湿度環境を、22~25°C、50~65% R.H.に制御した。

発生したアンモニアは、導電率0.1 mS/m以下の純水250 mlに全量吸収させ、定期的(1回/3~4日)にインドフェノール法でアンモニア濃度を測定した。

4.3 実験結果

実験結果を図-4に示す。アンモニアの発生は、材齢5日前後でピークに達し、その後漸減している。化学混和剤(リグニンスルホン酸系)混入の影響は認められない。一方、黒土の混入により3倍近いアンモニアが発生している。

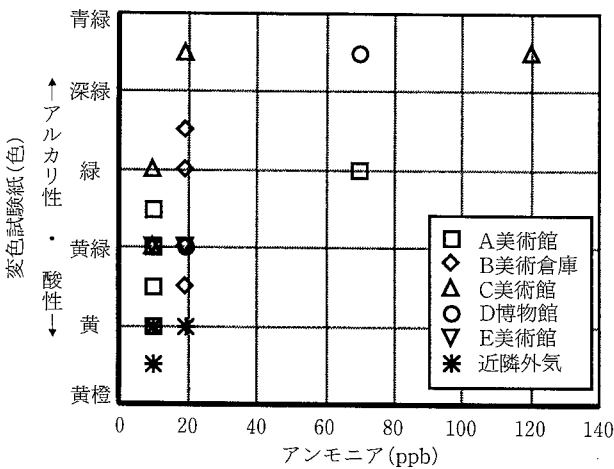


図-2 変色試験紙法との相関

表-4 モルタルの調合

調合	水セメント比 (%)	骨材セメント比 (by wt.)	減水剤添加率* (%)	黒土の置換率** (%)
No.1	50	3	0	0
No.2			0.2	0
No.3			0	0.3

*セメント重量に対する割合
**骨材(山砂+黒土)の内割り重量

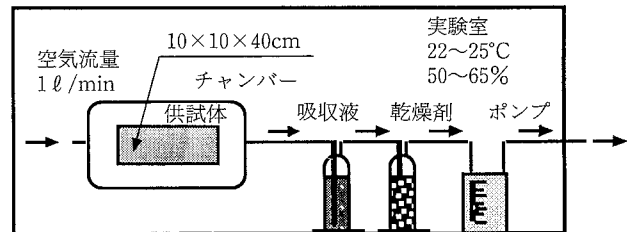


図-3 装置の概要

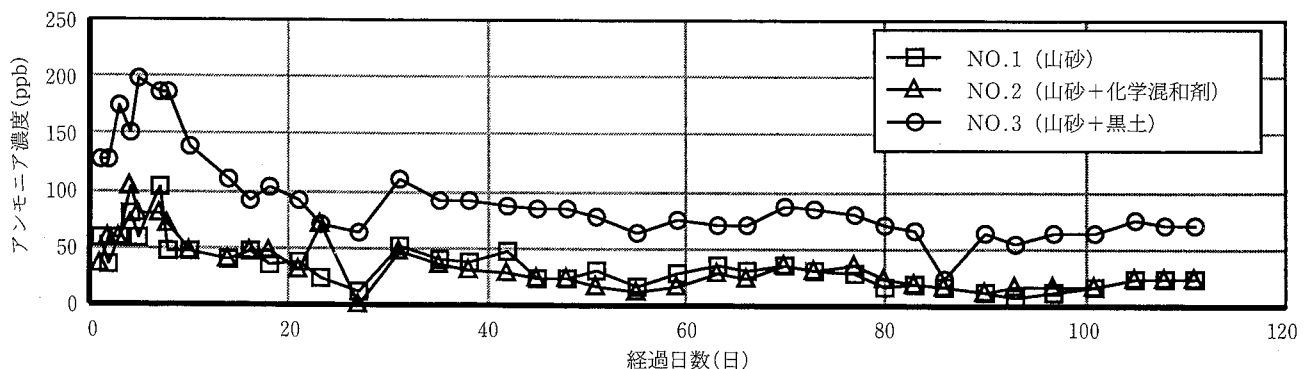


図-4 チャンバー内のアンモニア濃度

チャンパー内のアンモニア濃度は、ピークでは黒土未混入時に 100 ppb、黒土混入時には 200 ppb に達し、100 日経過時では、それぞれ 20 ppb、70 ppb であった。

発生したアンモニアの積算量は、100日経過時、供試体 1 ℓ 換算で、黒土未混入時に 0.8 mg/ℓ、黒土混入時には 2.2 mg/ℓ に達した。

今回の実験から、アンモニアの発生機構を解明することは困難であるが、個々の材料に対する定性的な分析結果から、セメント中の有機物（アミン系の粉砕助剤）および骨材表面の有機物（アミド態窒素およびアミノ糖態窒素を有する）がアルカリ雰囲気中で加水分解し、アンモニアを発生させるものと考えられる。

5. アンモニア吸着シートの効果

5.1 実験の目的

コンクリートから発生するアンモニアの除去方法を確立するために、特殊なアンモニア吸着シートをコンクリート供試体の表面に施し、吸着シートによるアンモニア除去の効果について検討を行った。

5.2 実験の概要

5.2.1 供試体の作製

(1) コンクリート供試体 セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。また粗骨材は碎石、細骨材は山砂を用いた。練り混ぜ水は水道水を用いた。化学混和剤としてはリグニンスルホン酸系の AE 減水剤を用い、練り混ぜ水の一部とした。調合を表-5 に示す。

コンクリート供試体の寸法は全て 10 cm×10 cm×40 cm (体積 4 ℓ、表面積 0.18 m²) とした。成型後は、室内で養生を行い翌日脱型し、各供試体を所定のチャンパー内に静置した。

なお、コンクリートの性質を表-6 に示す。

(2) アンモニア吸着シートの張り付け コンクリート供試体の乾燥による多量の水分の放出およびアンモニアの発生が一段落した時期（材齢15日）に、コンクリート供試体表面に添着 ACF（繊維状活性炭）シートおよび化学吸着剤シートの 2 種類のアンモニア吸着シートを張り付けた。表-7 に吸着シートの種類と張り付け方法を示す。

5.2.2 アンモニアの定量分析 実験に用いた装置およびアンモニアの定量分析の方法は4.2.2と同様である。なお、供試体体積、供試体表面積、チャンパー容積および換気回数等のスケール比を実建物の場合にできるだけ近づけたことから、チャンパー内のアンモニア濃度は、実際の美術館内のアンモニア濃度をオーダー的には模擬できたと考えている。

5.3 実験結果

実験結果を図-5、図-6 および図-7 に示す。

図-5 に示されるように、水分放出量は材齢初期において 4~8 g/ℓ・日と最も高く、その後1週間ほど急激に減少し、さらに漸減を続け、吸着シートの貼付、不貼付にかかわらず、50日以降は 0.2 g/ℓ・日程度となった。

表-5 コンクリートの調合

W/C (%)	S/C (%)	空気量 (%)	水	セメント	細骨材	粗骨材	AE 減水剤
						大 小	
55	44	4	166	304	807	307 715	0.76

(kg/m³)

表-6 コンクリートの性質

スランブ (cm)	単位容積重量 (kg/ℓ)	見掛けの空気量 (%)	4 週見掛け比重	4 週圧縮強度 (kgf/cm ²)
12	2.39	1.45	2.42	457

表-7 吸着シートの種類と張り付け方法

供試体	吸着シートの種類	張り付け方法
No.1	添着 ACF シート	両面テープ
No.2	添着 ACF シート	SBR 系接着剤
No.3	化学吸着剤シート	両面テープ
No.4	化学吸着剤シート	SBR 系接着剤
No.5	コントロール	—

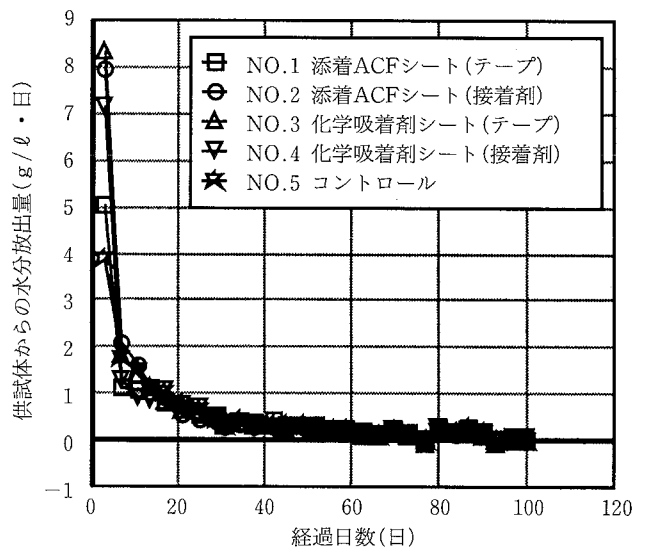


図-5 コンクリート供試体からの水分放出量

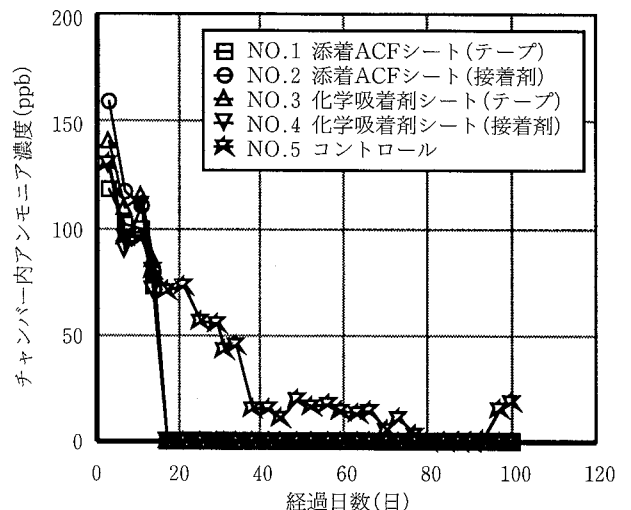


図-6 チャンパー内のアンモニア濃度

No.1~No.5の結果比較から、吸着シート貼付による水分放出抑制は、生じていないものとする。

また図-6からわかるように、アンモニアの発生によるチャンパー内のアンモニア濃度は、材齢初期において120~160 ppbであった。コントロールの場合、供試体からのアンモニアの発生量はその後急激に減少し、そのため材齢40日ではチャンパー内のアンモニア濃度は15 ppb程度まで低下した。また、その後も細かい変動はあるもののアンモニア濃度は漸減する傾向にあった。

図-7において、発生したアンモニアの積算量は、コントロールの場合、材齢80日経過時、供試体1ℓ換算で0.8 mg/ℓに達した。

材齢15日に吸着シートを貼付したNo.1~No.4の供試体では、貼付直前にチャンパー濃度80 ppb程度に及ぶ量のアンモニアが発生していたが、貼付後にはその発生量は検出限界以下まで低下した。この傾向は、その後も引き続き継続した。

吸着シート貼付以降に発生したアンモニアの積算量は、コントロールの場合で、15~100日経過期間に供試体1ℓ換算で0.45 mg/ℓに達した。したがって、この期間に吸着シートが吸着・除去したアンモニア量を計算すると、シートの単位面積換算でおよそ10 mg/m²となる。

6. 某美術館現場における施工実験

6.1 実験の目的

5.3で示した様に、コンクリート供試体の表面に直接吸着シートを張り付けることでアンモニアの発生をかなり抑制できることがわかった。そこで某美術館展示室への適用にあたり、実施段階におけるアンモニア吸着効果およびシート張りの施工性について検討した。

6.2 試験施工の概要

図-8に示すような2箇所の地下ピット内を対象に試験施工を行った。まずピット内の貫通部分を目張り等により処理し、内部の気密性をできるだけ高めた。次いで一方の地下ピットには、天井面（鋼製デッキプレート）を除いた内側の5面（コンクリート）に、SBRラテックス系接着剤を塗布しアンモニア吸着シート（化学吸着剤シート）を張り付けた。他方の地下ピットは比較のためシートは貼付せず、目張り処理のみとした。写真-1に、試験施工の様子を示す。

シートの施工方法については施工性を確認するため、突き付け張りとは重ね張りの両方で施工した。

6.3 調査項目および方法

6.3.1 変色試験紙法による調査 実験期間中3回、地下ピット内に24時間変色試験紙を暴露させ、色の変化を観察しpHを推定する。

6.3.2 空気サンプリング法による調査 図-9に空気サンプリング法の概略図を示す。サンプリングは2箇所の地下ピットの空気および近隣の外気について行った。サンプリング条件としては、導電率0.1 mS/m以下の純水250 mlに、空気1 ℓ/minを3時間吸収させた。

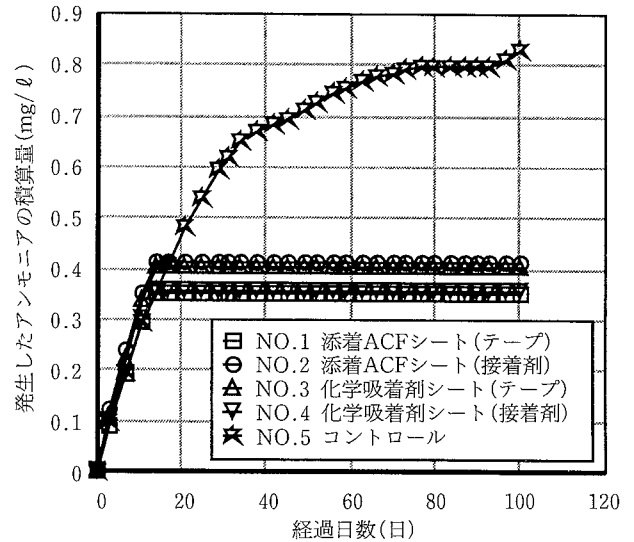


図-7 発生したアンモニアの積算量

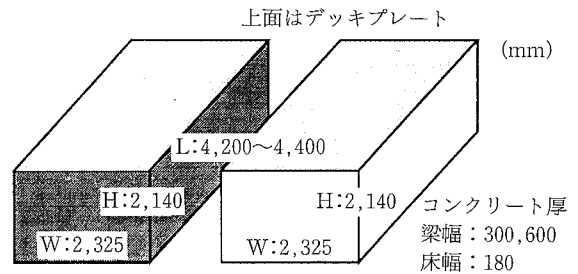


図-8 試験施工場所の概略図

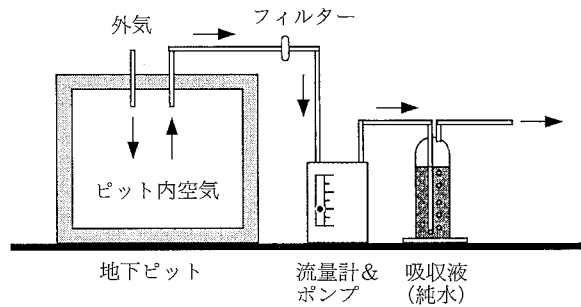


図-9 空気サンプリング法の概略図

アンモニアの定量は前述と同様、インドフェノール法によって行い、気中濃度に換算した。なお同時に、吸収液のpH、導電率、Mアルカリ度およびP酸度についても分析を行った。

6.3.3 その他の調査 その他、基礎的データの確認として、以下の項目についても調査を行った。

- ① コンクリートの物性
- ② ピット内の温・湿度
- ③ 実験前後の吸着シートの外観観察

6.4 実験結果

6.4.1 施工方法の評価 試験施工の様子を写真-1に示す。ケレンによる下地処理後のコンクリート表面に対し、接着剤のローラー塗り、アンモニア吸着シートの

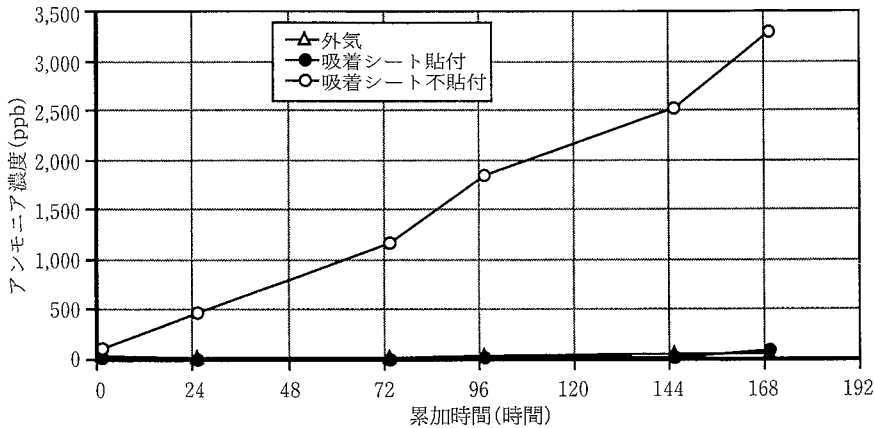


図-10 アンモニア濃度の経時変化

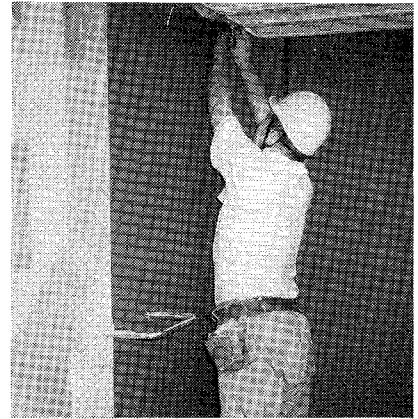


写真-1 試験施工の様子

張り付けを実施した。突き付け張り、重ね張りの両工法で試験施工を実施したが、いずれの工法においても良好な施工が可能であることを確認した。

6.4.2 変色試験紙法の調査結果 吸着シート不貼付のピット内の空気環境は強アルカリ性域 (pH9.5~10.5) にあったが、吸着シートを貼付したピット内の空気環境は中性域 (pH 6.5~7.5) にあり、pH 環境としては非常に良好な状況にあると推察された。

6.4.3 空気サンプリング法の調査結果 (図-10参照)

(1) 近隣外気 近隣外気の測定値は、全般的には使用した純水 (コントロール) とほぼ同程度であった。アンモニア濃度は 20~50 ppb 程度であり、一般外気中の濃度 20 ppb 未満に比べ、少し高い値が検出された。これは工事の影響と考えられる。

(2) 吸着シート貼付ピット 測定値は、全般的にはコントロールとほぼ同程度であった。アンモニア濃度は 20 ppb から 90 ppb へと漸増しているが、気密性の高いピット内としては低濃度に抑制されている。通常の換気量 (換気回数 2~3 回/時間程度) の空間を想定すれば数十分の一の室内濃度が期待できる。なおアンモニア濃度を高める主因としては、天井面の鋼製デッキプレート周りからのアンモニアの侵入が考えられる。全体としては、通常の換気量が期待できれば良好な空気質が維持できるものと推定される。

(3) 吸着シート不貼付ピット pH はコントロールに比べアルカリ側に移行しており、その傾向は時間の経過とともに増大した。また M アルカリ度の傾向も同様であった。この要因は図-10からもわかるように、コンクリートによるアンモニアの発生のためである。分析結果から計算されるピット空気中のアンモニア濃度は最大で 3,300 ppb と非常に高かった。

6.4.4 その他の調査結果

(1) コンクリートの物性 ピット内のコンクリートの水分量は実験開始時に 6~7% であった。また調合および基礎物性について確認した。

(2) ピット内の温湿度 両ピット内とも、18~19°C、85~95% RH と安定していた。

(3) シートの外観観察 実験後、吸着シートの剝離やかびの発生は認められなかった。

7. まとめ

一連の実験・調査の結果をまとめると以下の様になる。

① 竣工時前後の美術館等において空気質の実態調査を行った結果、70~120 ppb のアンモニアを検出した。

② コンクリート供試体から発生するアンモニア濃度の経時変化を定量的に把握した。初期材齢では 120~160 ppb の濃度を検出したが、40日後には 15 ppb 程度まで低下した。なお材齢80日経過時までには、アンモニアの積算量はコンクリート 1 l 換算で 0.8 l/mg であった。

③ アンモニア吸着シートを直接コンクリート表面に張り、コンクリートによるアンモニアの発生が抑制できることを確認し、某美術館展示室に適用した。

今後は美術館・博物館の計画段階から客先、行政、設計事務所に対して、コンクリートからのアンモニアによる文化財の変質・劣化を防止すると共に、建物竣工時から開館までの期間の大幅な短縮を可能とする「ダヴィンチ工法」のメリットを広く強調し、設計仕様として標準化を図っていく所存である。

謝 辞

研究開発を行うにあたり、貴重な助言を頂いた東京国立文化財研究所の三浦氏、佐野氏、材料の御提供を頂いた武田薬品工業(株)の迎田氏、大阪ガス(株)の前田氏、試験施工に御協力頂いた(株)内外テクノスの我妻氏に対し、改めて感謝の意を表します。

参考文献

- 鈴木, 他: 打ちたてコンクリートから発生するアルカリ物質の除去, 日本建築学会大会学術講演梗概集, p. 327~328, (1985)
- 岩波, 他: 美術館の空気中に存在する酸性および塩基性成分の定量法に関する一考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集, p. 663~664, (1993)
- 佐野, 他: 「アルカリ因子」についての再考, 保存科学, No. 30, p. 31~43, (1991)