

美術史研究者のための保存環境学講座 その(2)

《キーワード》 衝撃 振動 輸送 火災 消火剤 地震

三 浦 定 俊

(独立行政法人文化財研究所 東京文化財研究所)

一. はじめに

文化財の保存環境とは、文化財を傷める要因に従ってその周囲の環境を整理したもので、要因として (a) 温度・湿度、(b) 光、(c) 空気環境、(d) 生物、(e) 衝撃・振動、(f) 火災、(g) 地震、(h) 盗難・人的破壊に分けることができる。この内、日常の環境下で起きる文化財の被害に係る (a) から (d) までの要因については「その(1)」で述べたので、ここでは (e) から (g) について述べることにする。

二. 衝撃と振動

二. 一 輸送過程の解析

衝撃と振動は資料の輸送に伴って起きると考えて良い。そこで資料の輸送中にどのような作業が行われて、そこでどんな危険が予想

されるか考えてみると、表1のようになる。表1では輸送を単純化して考えているが、外国への輸送にあたっては車や航空機など複数の交通機関を使うので、表1にあげた作業が繰り返し行われる。また飛行場での積み込みや受け渡しでは通関に時間がかかり、受け渡しが長くなる場合も考えられる。

表1にあげた危険によって予想される被害は、落下による衝撃で起きる資料のひび割れなどの破壊、急激な温湿度変化や低すぎる湿度で木製品や絵画に起きる亀裂・剥落、あるいは逆に高い湿度が続くことによって発生するカビ、車両の揺れによって資料がこすられてできる傷みなど様々である。

表1. 輸送過程と予想される危険

輸送過程	内容	時間	危険の内容
積み込み	受け渡し	短時間	落下による衝撃
運搬	移動	長時間	急激な温湿度変化、高湿度、低湿度、振動
積み卸し	受け渡し	短時間	落下による衝撃

二・二 衝撃

衝撃に対する対策を立てるためには、まず次の三点を知る必要がある。(一) 起こりうる衝撃の大きさ、(二) 資料の壊れ易さ、(三) 梱包に用いるクッションの衝撃吸収能力である。それぞれの項目について個別に述べていく。

(一) 起こりうる衝撃の大きさ

どのような場合に資料が衝撃を受けるか考えると、もつとも可能性があるのは積み込みや積み卸しの際に、資料が作業者の手やリフトから落下することである。その時にどのくらいの高さから落ちる可能性があるかは、輸送分野で表2のように荷物の重さに従って統計的な値が求められていて、これから起こりうる衝撃の大きさを評価することができる。すなわち高い位置から落ちるほど、ぶつかったときの速度が大きいから衝撃は大きくなる。ただし力は重さにも関係するから、軽い資料にくらべて、資料が重いほど受ける力は大きくなる。

表2. 荷渡し中に予想される落下高さ

荷物の重さ (kg)	荷役形式	落下高さ (cm)
0~9	1人で投げる	105
10~22	1人で運ぶ	90
23~110	2人で運ぶ	75
111~225	軽量用の運搬機械	60
226~450	中型用の運搬機械	45
450以上	重量用の運搬機械	30

(General American Research Division, 1972)

(二) 資料の壊れ易さ

実際の文化財を壊して強度を知らざるわけには行かないが、この点についても輸送分野でいろいろな工業製品について許される衝撃の大きさ(許容衝撃値)が求められているので、それを参考に文化財の輸送を考えることができる(表3)。なお参考までに述べると、人間は4~6Gの力が数秒以上続くと視覚障害や意識障害を起こすといわれている。

表3. 工業製品の許容衝撃値

分類	許容衝撃値 (G)	品名
きわめて壊れやすい	15~24	ミサイル誘導システム、精密電子実験器具
大変壊れやすい	25~39	科学機器類、X線装置
壊れやすい	40~59	コンピュータ端末、電動タイプライター、電子機器類
ある程度壊れやすい	60~84	ステレオ装置、テレビ、フロッピーディスクドライブ
ある程度頑丈	85~110	大半の測定器械類、家具
頑丈	110以上	台鋸、ミシン、動力機械類

(Gは地球の重力加速度,980cm/sec²)

(参考) 洗濯機 20~40、鶏卵 45~85、魔法瓶 70~90、ビール瓶 130~170

(三) 梱包材料の衝撃吸収力

梱包ケースの内壁にポリウレタン等が衝撃吸収材として用いられる。衝撃吸収能力に関係する要素は、材料の柔らかさと厚さである。まず柔らかいものほど衝撃をゆっくり受けとめるので、資料にかかる力は小さくなるが、それだけ厚みが必要となり梱包ケースが大きくなるから、あまり柔らかすぎると材料は不相当である。ただしここで言う硬い、柔らかいは資料の重さにも関係している。資料が重くなるほど硬いクッションでもへこみやすいので、衝撃力を柔らかく受けとめてくれるが、クッションの硬さにくらべて軽すぎる資料では資料があたつてもへこまないから、資料の受ける衝撃力は大きくなる。

厚いものほど重い資料を受けとめることができるが、これもやはり厚すぎると梱包ケースが大きくなるし、逆に薄すぎると厚みが足らずに資料が壁にぶつかって大きな衝撃を受けることになる。そこでクッションの硬さが同じなら資料の単位面積あたりの重量に対応した適切な厚みが存在する。単位面積あたりの重量と述べたのは、資料の重量が同じでも資料の重さを受けるクッションの面積が大きくなるほどクッションにかかる力が分散されるからである。

工業用製品の梱包ケースに入れるクッションは、製品の重さに応じてその硬さ・柔らかさと厚さを選んで、受ける力が許容衝撃値以下になるように設計されている。文化財でもそのような考え方を参考にすることができる。

二・三 振動

輸送機関による振動は揺れの大きさ(振幅)が一番問題であるが、それ以外にもどのくらいの周期で揺れているかも考慮しなければならない。それは地震の揺れが家屋の一番揺れやすい周期(固有周期)に一致したときに、家屋の倒壊が起きることを考えればわかりやすい。この現象を共振、周期を固有周期、その時の振動数を固有振動数と呼ぶ。このことから(一)輸送機関に特有な揺れの振幅と振動数、(二)文化財の固有振動数の二点を知る必要がある。

(一)の輸送機関の揺れについては表4のような報告がある。(二)の文化財の固有振動数については、カンヴァスをはった絵画についてしらべた値が10〜50Hzであったという報告があり、これを根拠にすると自動車による輸送の振動が絵画の固有振動数に一致し、しかも振幅が大きいので、他の交通機関よりもトラックによる輸送中に被害が起きる可能性が大きいと考えられる。

表4. 輸送機関に特有な振動数

船舶	10-100Hz (小)
航空機	100Hz以上 (大)
自動車	10-20Hz (大) (進行方向よりも上下、左右方向の振動が大きい)
鉄道	1-100Hz (小)

(1Hzは1秒間に1サイクルの振動)

三、火 災

火災は昔から文化財に被害を起すもっとも大きい要因のひとつで、対策の大原則は「消火より防火」である。この点をふまえた上で、各種の消火方法について述べる。

火が燃えるためには、まず燃えるものと酸素が必要であり、さらに周囲の気温が低すぎると火がつかない（燃焼反応が起きない）から熱も必要である。そこで消火方法は大きく分けて次の四種類に分類できる。

- (一) 酸素濃度を下げる
 - (二) 燃料濃度を下げる
 - (三) 温度を下げる（熱を奪う）
 - (四) 燃焼反応を抑える
- (一) の消火方法の例は炭酸ガスなど燃えないガスを吹き込むことにより酸素濃度を下げる方法で、(二) は例えば、たき火で薪を取り除く方法、(三) は水による消火、(四) はハロン消火剤による消火をあげることができる。

三、一 消火設備と消火剤

消火設備とそこに用いられる消火剤は、消防法で表5のように定義されている。水系消火設備は一般に良く用いられている消火設備で、木材、紙、繊維などの普通の可燃物の火災の消火に適している。水系消火設備の中の水噴霧消火設備は、圧力をかけた水を噴霧ヘッドより微細な粒子にして拡散放射して消火する設備で、ガス状およ

び液状の引火性物質や変圧器、油遮断器などの油入り電気機器の消火に適し、火災の抑制、延焼の防止、出火予防に有効である。泡消火設備は、泡消火薬剤を水に混入して泡を発生させ、泡の累積効果による空気遮断と泡膜に含まれる水の冷却効果によって消火を行うものである。泡は立体物でもその表面に粘着するので、駐車場の自動車、飛行機格納庫、危険物貯蔵タンクなどの消火に用いられる。

ガス系消火設備の中の粉末消火設備は、重炭酸ナトリウムや重炭酸カリウムなどの粉末消火剤を放出し、引火性液体の火災のように急速に拡大する表面火災の消火に有効である。ハロゲン化物消火設備は、ハロン1301などハロゲン化物や代替ハロンであるハロゲン化炭化水素（ハイドロフルオロカーボン）などを放出して、空気の供給遮断、燃焼室中の酸素濃度の希釈、ハロゲン元素の燃焼不活性化作用によって消火を行う。不活性化が

表5. 消火設備と消火剤

	消 火 設 備	消 火 剤
水系消火設備	消火栓消火設備（屋内、屋外）	水
	スプリンクラー消火設備	水
	水噴霧消火設備	水
	泡消火設備	水
ガス系消火設備	粉末消火設備	粉末+ガス
	ハロゲン化物消火設備	ハロゲン化物（ハロゲン化炭化水素物を含む）
	不活性ガス消火設備	二酸化炭素、イナートガス

ス消火設備は、二酸化炭素や窒素やアルゴンなどのイナート（不活性）ガスの放出により酸素濃度を燃焼範囲以下にして消火する。

水系消火設備の代わりにガス系消火設備を用いる理由は、金属火災、油火災、電気火災、ガス火災のように水で消せない火災を消す場合と、水を使用すると二次的な損害が大きくなるので代わりに使用する場合の両者がある。博物館、美術館などは後者の代表的な例であり、ハロゲン化物消火設備や不活性ガス消火設備が主に使用されている。しかし紙や木材などセルロース類の火災は表面の火は消えても、内部がまだくすぶっていて、鎮火後に再度発火することがあるので、対象物の内部まで温度を下げるのできる水系消火設備の方が確実に消火できる。そのため火災が発生したときは早期に発見し、水が使用できる場合は小火の内に水で確実に消火する方が望ましいと言える。

三・二 ハロン消火剤とその代替消火剤

ハロゲン化物消火剤の中のハロン消火剤は、現在オゾン層破壊物質として特別な場合をのぞいて、生産と消費が禁止されている。化学組成は炭素とフッ素の化合物で臭素を含んでいて、その代表的なものにはハロン1301 (CF_3Br) (プロモトリフルオロメタン) である。その特長は火災を消すために必要な濃度（消炎濃度）が3.4%と、炭酸ガスや窒素などの不活性ガスにくらべておよそ10分の1と大変小さい。また毒性も低く、プラスチックなどを傷めず、消火後の残差物もない、液化して貯蔵可能なのでボンベ室が小さくて済む上に長期間においても変質しないときわめて優れた性質を持っている。しか

しオゾン層破壊物質として一九九四年から世界で生産と消費が停止されて、現在ではハロンバンクの下で貯蔵・管理されているものを特別に許可された場合のみに限って使用している。

ハロン消火剤の代替物として、ハロゲン化炭化水素消火剤とイナートガス（不活性ガス）消火剤の二種類がある。ハロゲン化炭化水素消火剤は炭素、フッ素、水素の化合物で、オゾン層破壊物質として作用する臭素を含んでいないために、オゾン層破壊係数（ODP）が小さい。トリフルオロメタン HFC23 （化学式 CHF_3 ）（商品名 FE13 、消火設備名 NF1300 ）やヘプタフルオロパン HFC227ea （化学式 $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{CF}_3$ ）（商品名 EM200 ）が代表的なものである。

イナートガス消火剤は窒素、アルゴン、二酸化炭素を用いた消火剤の、IG-100（ N_2 100%）（商品名 NN100 ）、IG-541（ N_2 52%、 Ar 40%、 CO_2 8%の混合ガス）（商品名イナージェン）、IG-55（ N_2 50%、 Ar 50%の混合ガス）（商品名アルゴナイト）などがその例である。大気中にもともと存在しているガスを使用するので、環境に優しい消火剤といえることができる。しかしハロゲン化物消火剤にくらべて消炎濃度がずっと大きい上に、貯蔵容器も大きくなってボンベ室が大きくなる欠点がある。特に窒素は沸点が -195.6°C であるために液化して貯蔵できないので、大きなボンベを用いざるを得ない。また一定の量を超えると高圧ガス保安法の規制を受ける。

三・三 文化財施設における留意点

特別に許可された場合をのぞいて、ハロン消火剤が使用できなくなったために、施設の状態に応じて消火設備を選択しなければなら

なくなった。その際の留意点としては前に述べたように貯蔵施設が大きくなるという他に、不活性ガス消火設備を用いるときはガスが吹き出したときに室内の圧力が高くなるので、そのための避圧口を設けなければならぬことや配管の長さに制限があることなどがある。またハロン1301を使用しない場合は、展示室などは原則として水系消火設備を使用することと定められていて、不活性ガス消火設備を使用するには管轄の消防署から個別に認定を受ける必要がある。いずれにせよ消火設備の選択については管轄の消防署と打合せが必要である。また博物館や美術館の資料の材質は木や紙が多いが、不活性ガス消火剤はそれらの材質の消火が本来は不得意であることを忘れてはならない。そのため、消火より防火、もし火が出ても早期発見、早期消火が何よりも重要である。

四. 地 震

四. 一 地震による被害

兵庫県南部地震においては、博物館や美術館で展示・収蔵資料が収蔵棚、展示ケースの転倒、移動等によって損壊し、社寺や民家では地震の揺れやそれに伴う建物の損壊によって著しい被害を受けた。震災後の文化庁調書や各種調査報告、館報に記載された事例を解析した結果によると、被害は、地震によって直接文化財が影響を受けた場合（一次的被災）と、間接的に被害を被った場合（二次的被災）とに分けられた。前者は文化財が転倒、落下などとして被害を受けた場合であり、後者は地震によって起きた火災や冠水によって

被災した場合である（表6）。

一次的被災について建物内のどこで被害が多かったのか調べると、文書館では下の階より、地震による揺れが大きかった上の階で被害が多かったが、博物館などでは必ずしもそのような傾向は見られなかった。その理由は、文書はどれも同じ形態で収納されるのに対して、博物館資料は絵画、彫刻、工芸、考古とその

資料の多様性から様々な形態で収納されているからと考えられる。つまり地震による被害の多少は揺れのわずかな大小より、展示・収蔵の形態によるところが大きい。そのことは収蔵庫と展示室で被害の程度にほとんど差がなかった事実とも関係する。

単純に考えれば収蔵庫では資料は丁寧に梱包され、展示室ではむき出しであるから、地震による被害は展示室の方が多そうである。しかし展示室では安定の悪い彫刻などは観客に対する安全を考えて十分な固定をしているので、かえって地震に対しても安全であることが多い。反面、収蔵庫は学芸員など限られた人しか出入りしないために、一時的に（といいつつも実際は長期間）むき出しのまま仮置きすることがしばしばある。典型的な例が、彫刻など立体展示物に生じた被害で、その半数以上が意外にも収蔵庫内で起きた。また

表6. 地震による美術工芸品の被害の分類

(1) 一次的被災
a. 移動（滑り）による被害
b. 転倒（傾き）による被害
c. 落下による被害
d. 揺れによる被害
(2) 二次的被災
a. 火災による被害
b. 冠水による被害

マップケースに鍵をかけていなかったために引き出しが飛び出してバランスを崩して倒れた例や、収蔵庫の棚の上に何段も重ねて資料を積み上げていたために、収納箱が滑り落ちた例など、安全より取り扱いの便利さを優先していたために起きた被害が多い。これに対して、壊れやすい土器や陶磁器であっても保存箱に収納してあった作品はそのほとんどが、たとえ箱が落下した場合でも無事であったことが報告されている。このことから作業や収納の効率、見栄えの良さだけを考えた展示収蔵方法を見直し、日頃から安全へ配慮することで地震の被害は軽減できると考えられる。

展示ケースや棚の転倒も目立ったが、奥行きが狭かったり、ケースの背面に大理石を張り付けたりして、元々安定が悪かったケースが転倒している。改善の方法としてケース自体を安定の良いものにする、あるいは並んだ棚同士を連結して倒れにくくすることが考えられる。展示ケースや収蔵棚を床面に固定した方がよいかどうかは、被害を解析した限りでは判断を付けにくい。すなわち展示ケースが壁面に固定していたために倒れなかった例もあれば、展示ケースが地震の揺れに従って自由に動いたために倒れなかった例もあるからである。しかし開館中に地震が発生して、展示ケースが横滑りしたり飛び跳ねたりすれば、観客に危害を及ぼす恐れがあるので、免震対策を施していない展示ケースや棚は、原則的に床や壁に固定しておく方が望ましいと思われる。

四・二 耐震対策

展示収納機器の耐震対策は表7のように分類できる。この他、展

示台に砂袋を入れて重心を下げ転倒を防ぐこと、棚に施錠すること、資料が倒れても互いによつからないうしろに余裕を持って並べること、保存箱に収納することなどは昔から経験的に行われてきたことで、伝統的な展示収蔵方法を改めて見直すことも大切である。

表7. 展示・収納機器の耐震対策

(1) 機器・材料類		
	【資料周辺用具等】	【展示ケース、収納棚等】
a. 転倒防止	免震装置、支持棒、低重心台	免震装置、抽出の施錠
b. 落下防止	吊り金具（フック、S環等）	木製棚板、飛び出し止め、照明器具固定
c. 破損防止	緩衝材、保存箱	合わせガラス、飛散防止フィルム、エアバッグ
(2) 作品の固定		
a. 可逆的方法	ナイロン糸、ワイヤー、ピン等	
b. 非可逆的方法	ワックス、粘着マット	

兵庫県南部地震による被害を調査した中で収蔵庫内の網戸（ラック）にS字状の吊り金具（S環）で掛けられていた絵画が落下して被害を受けた例が目立った。当時広く用いられていたS環の太さは直径4mm程度であるが、その引張り強度は40kgf前後で静止荷重には耐えられても地震時の衝撃力に対しては充分ではない。また同じ太さであってもS環の強度は形によって大きな違いがあり、内径が小さく、引張り力が金属にまっすぐかかるような形のS環なら5mmの太さで十分な強度があることが、その後の試験によって明らかになった。

また兵庫県南部地震では揺れにより絵画が少なくとも上下に3cm程度飛び上がったと推定され、掛かりが浅いとS環に強度があってもはずれる危険がある。上下に揺れても作品がS環から飛び出さない掛かりの深さが必要で、バネやゴムのストッパーがついたS環を使用することも一案である。ただし掛かりをあまり深くしたり複雑な形状にすると、S環への取り付け取り外しが不便になり、かえって使用しにくく結局は用いなくなるので、日頃の取り扱いを考えて安全と取り扱い易さの両方を備えたものを館に応じて選択すべきである。

この他、絵画をつり下げるために用いられているスチールワイヤーの引張強度はワイヤー本体ではなく繋ぎの部分で決まるために、全体の引張強度は25kgf程度しかない。ワイヤー留め金具をゆるめればワイヤーの長さを調節でき、急に引っ張ると金具がワイヤーを噛んで抜けないようにしたフックも展示に用いられているが、強い力が急に掛かると、ほとんどのワイヤーが留め具の部分で切断されて

しまう。現在は改良された留め具も市販されているが、ワイヤーの強度を過信することは禁物である。

陶磁器や土器など底面が小さく不安定な資料の展示には、透明なナイロンの釣り糸が支えとしてよく用いられている。しかしナイロン糸の引張り強度は数kgf程度しかなく、それを超える重量の作品の支持をナイロン糸に頼ることは危険である。たとえば少し大きめの土器の重さは5kgf以上あり、衝撃力が加わるとナイロン糸は簡単に切れてしまう危険性があるので、ナイロン糸の替わりにやわらかいプラスチックチューブに通したワイヤーを用いる。

近年、ワックス、粘着マットなど展示物に直接塗布したり付着して固定させる固着剤も陶磁器などに対して使用されている。性能面から見ると、小さな青銅像なら圧着後逆さまにしても落ちないほど固着力は大きく、地震の揺れに対するワックスや粘着マットの有効性は高いが、反面、固着力が強いために、引きはがすときに作品の表面が剥離することがある。また土器など多孔質の物の場合、剥離後も完全に除去できないため表面に残った固着剤に埃などが付着して汚くなり、使用可能な資料は限られる。地震に対する配慮だけでなく、文化財への長期的な影響も考えて固着剤は使用すべきである。

四・三 免震装置

免震装置は、建物全体を対象にする建物免震、特定の階層のみを対象にした床免震、特定の展示ケースまたは展示ケースの中の展示台等のみを対象にする機器免震の三種類に分類され、収納展示ケー

スには機器免震が用いられる。

免震装置には揺れを小さくする減衰力と位置を元に戻す復元力が必要である。そのために文化財用の機器免震装置では、ローラー、ベアリング、コイルバネ、ダンパー（オイルなどの粘性流体、空気、ガス）、摩擦板等を用い、これらを組み合わせて用いることもある。また前後左右の揺れを制御する二次元免震と、上下方向の揺れにも対応する三次元免震があるが、三次元免震は装置が複雑で厚みが大きくなる欠点があるのであまり一般的ではない。

免震装置の導入に当たっては、次のような点を承知しておく必要がある。まず免震装置は、超高層ビルのような長周期の揺れを想定して設計されていないので、高層階では期待されるような免震性能は保証されない。免震台は前後左右に揺れるので、機器の周囲に20cm程度のゆとりを必要とする。また大きさにより異なるがケース自体の重量も含めれば、免震独立展示ケースの場合、一般に一平方メートルあたり三百kg以上の床の耐荷重が必要である。さらに大きな免震ケースは移動が困難なので、将来の展示配置も見越しておく必要がある。

(注) 前回の「表2材質に応じた温湿度条件」で温度を「フィルムについては、黒白フィルム15℃」と記したが、JIS K 7641(ISO 5466)のアーカイバル保存の最高許容温度が21℃となっているので訂正しておく。カラーフィルムは表2の通り2℃である。

三浦定俊（みうら・さだとし）

一九四八年 鹿児島県生れ

一九七一年 東京大学工学部卒業

一九七三年 東京芸術大学大学院修士課程修了

独立行政法人文化財研究所東京文化財研究所保存科学部部长

東京芸術大学大学院教授

(専門) 保存科学