

國立臺灣歷史博物館庫房文物之防震保護設計策略

許美雲^{***} 丘世馨^{**} 管倖生^{*}

^{*}國立雲林科技大學設計學研究所

^{**}國立臺灣歷史博物館典藏組

摘要

預防勝於治療，臺灣位於環太平洋地震帶，地震至今仍無法預測，博物館如何預防地震風險並降低災害呢？本研究以國立臺灣歷史博物館為例，透過風險評估探討基地地震發生的機率與強度、地震對庫房文物的風險威脅與損害程度，並針對典藏人員進行焦點訪談，分析現行防震保護措施及過去地震經驗。結果顯示：庫房文物保存櫃體位移導致文物傾倒、掉落、互相碰撞，是地震風險造成文物損壞的主要因素。據此，本研究提出典藏櫃體及儲位設備、大型文物保存方式、文物保護包裝三大面項之防震保護設計策略，並以臺史博庫房文物地震災害經歷及力學原理驗證。驗證結果：可因應五級（含）以下地震，但須針對大型文物全面檢視重心與加固方法。本研究建構的方法與程序，可作為各類型風險管理的實踐模式，可降低國家寶藏損害機率。

關鍵詞：博物館、典藏庫房、風險評估、預防性保護、設計策略

I. 緒論

1.1 研究背景、動機

博物館典藏庫房文物之災害類型可分為天然和人為因素，且兩者常互為因果，而更加深文物損害的嚴重程度。這些災害造成的損失，不只是作品或文物本身，還包括在文化、藝術價值與博物館專業形象等無形的損害。

在臺灣，九二一地震災區的歷史建築與文物大量損壞、臺灣史前文化博物館因火災造成珍貴的民族學文物損壞、臺北市立美術館國際借展作品水損等，各類天然或人為災害造成許多文化資產因而遺失或損壞。其中，由於臺灣位於環太平洋地震帶，地震發生頻繁又缺乏精確的預測系統，使得文物保護的預防性計畫，更應謹慎為之。

國立臺灣歷史博物館（以下簡稱臺史博）是臺灣第一座專門以臺灣歷史及常民生活記憶為主題的典藏、研究、展示與教育機構。由於筆者主管典藏部門，為確保國家文化資產能被妥善保存，期能應用風險管理的方法，建構預防性文物保護工作之理論與實踐的模式，應用於博物館其他風險類型的預防與處置決策，降低文物因風險造成損害之機率和嚴重程度。

1.2 研究目的

本研究選擇以震災風險為研究範圍，應用風險管理及預防

性文物保護理論，探討臺史博庫房基地地震發生的機率與強度、地震對典藏文物的風險威脅與損害程度，據此發展博物館庫房文物之防震保護設計策略。

本研究旨在建構博物館典藏庫房文物之風險管理模式，其研究方法與結果可延伸為個案其他風險類型之預防性文物保護措施的實踐模式。

II. 文獻探討

2.1 風險理論與程序

風險 (Risk)，拉丁文原文rescio，意旨古代斐尼基人貿易商船在經過海難後所剩的船比海盜船多者，並預估將有多少進口貨品能安全運抵港口的機會。風險在不同領域各有不同的定義，在本文裡的風險：係指典藏品及文物損害或損失的機率或威脅 (probability or threat)。

澳洲暨紐西蘭風險管理標準 (Australian/New Zealand Standard on Risk Management) 將「風險管理」定義：「對於風險確認、分析、評估、處理和監督的任務，以管理政策、程序和手法做系統性的應用」。意即風險識別、分析、和評估的整個過程。風險評估，可以幫助建立藏品最佳保存的優先事項與整體保存計畫。簡言之，風險管理 (Risk Management)，是一個管理過程，包括對風險的定義、測量、評估和發展因應風險的策略 (AS/NZS 4360: 2004)。

^{***} 國立臺灣歷史博物館典藏組

風險管理的目的，是將可避免的風險、成本及損失極小化。理想的風險管理，依據風險評估程序，進行風險識別、預測機率與強度、風險處理順序與控制。評估結果，可提供決策者和執行部門規劃排定優先次序，可以優先處理引發最大損失及發生機率最高的事件，其次再處理風險相對較低的事件，並希望以最少的資源，化解最大的危機。

不過，實務上因為風險與發生機率通常不一致，所以難以決定處理順序。兩者之比重，做出最合適的決策過程，將牽涉機會成本 (opportunity cost) 的現實考量。故而，風險管理的決策，除了風險預測、評估及處置之外，同時也必須面對如何運用有效資源的難題。

博物館典藏環境所在之氣候、基地、建築、庫房、櫃體儲位、支撐與保護包裝、運輸與設施、專業人員、不同的典藏制度與作業流程等，都是影響風險對文物損害的重要因子。更有甚者，公立博物館係為文化資產保存機構，具有公眾性。故而，所保存的典藏文物遭受損害，所失去的不只是文物的物質本身，還包括文物的文化價值與博物館典藏管理專業形象，涵蓋的面向包括物質性、文化性、社會性三大層面 (圖1)。

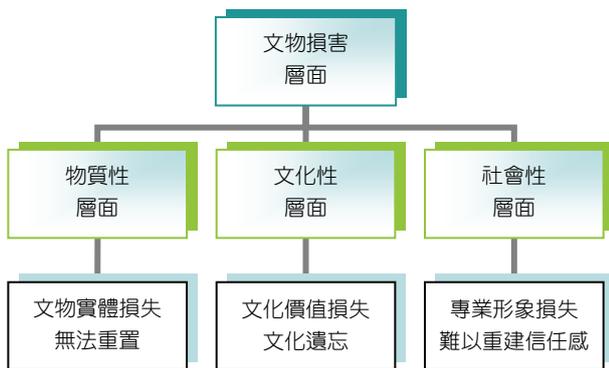


圖1 博物館典藏文物損害影響層面圖 (本研究整理)

2.2 風險管理應用於預防性文物保護之研究情形

1990年代博物館學者，開始運用風險管理對風險評估、處理與監督作為預防性文物保護的工具。其中，以Robert Waller最具代表性，自1994年開始研究並發表以風險管理探討預防性文物保護的相關論述，其研究結果成為博物館風險管理研究之基礎 (Waller, 1994, 1995, 2003)。其方法，被廣泛應用在加拿大和其他國家的典藏風險評估，幫助決策者預測藏品保存的定量識別和減少危害。其研究公式如下：

$$\text{Risk} = \text{Likelihood} \times \text{Consequence} (R=L \times C)$$

風險=風險發生可能性 x 風險影響之衝擊或後果。

Stefan Michalski (Michalski, 2004, 2007) 將風險評估應用於博物館典藏庫房文物保護，其使用簡單的排列順序尺度，作為風險評估有形和無形數據的基礎。有形的數據包括：博物館基地地址、建築、典藏庫房空間、櫃體儲位、文物保護的支撐方法和包裝方式；無形的數據則來自於博物館工作人員的訪談和活動、博物館的歷史記錄和環境監測等訊息記錄。

2.3 臺灣博物館典藏之風險類型

過去許多預防性文物保護學者都曾提出：為了使文物所處的環境的改善，我們可以透過風險管理，審視過去造成的損害的證據，藉以預估未來的損害程度。這種過程是根據過去的因果關係及預測的重複性來制定優先次序，並規劃和實施改進的可能性。

希臘民俗藝術博物館木質庫房文物根據上述研究方法，將風險來源歸納為10類：物理力 (physical forces)、犯罪或破壞 (Criminals and vandals、fire)、水 (water)、蟲 (pests)、污染物 (contaminants)、紫外光 (UV-light)、溫度與相對濕度 (Incorrect temperature, incorrect relative humidity)、分解 (dissociation)、戰爭 (war)。並根據每類風險來源發生的可能性分為：罕見 (rare)、零星 (sporadic) 和恆定 (constant) 3種頻率。並透過這些風險類型、發生頻率的組合情形，歸納了21個「特定風險」，並且根據每個特定風險情節 (scenario)，預測與評估其可能的損害程度，稱之為「風險威脅強度 (Magnitude of Risk)」。又，每個「特定風險」情節，所必須考慮的因素包括：威脅來源及其可能引發的連鎖事件、減緩或增強風險威脅強度的因子、可能造成的影響和損失。最後，應用風險威脅強度之計算公式：威脅力 (源) 發生頻率 (A)、個別文物損失的價值 (B)、以及整體典藏損失的價值 (C)，三項尺度的數值系統之總值，排出優先次序，進行決策，制定並落實執行「風險管理計畫書」 (Sperantza, et.al. 2009)。

但是，事實上每個國家的地理環境和天候並不相同，博物館之間的區域和現實條件均各有差異。在臺灣，除了上述歸納的風險類別外，頻繁的地震活動是博物館必須特別關注的風險項目。

綜合國際間現有研究結果及臺灣的特殊狀況，本研究歸納為12大類，並區分為天然與人為因素 (如表1)。

但是，從許多博物館文物災害事件發現，許多天災造成重大損失的主因，不是天災本身，而是缺乏或不當的預防性防護或人為疏失。

故而，每個博物館都應該依據自身的組織定位、防災資源、



典藏文物材質與器形特性、庫房建築與內部空間、作業動線、櫃體設備、儲位規畫、文物保護包裝方式、典藏管理制度、典藏人力配置等實務上的條件，規劃預防性文物保護功能之風險管理計畫，作為博物館典藏風險預防與控制之策略和執行依據。

表1 臺灣的博物館典藏風險類型表 (本研究整理)

	風險類型	代碼
1	天然 地震 (Earthquake)	E
2	因素 水災 (water)	W
3	紫外線光害 (UV-light)	UV
4	蟲害 (pests)	P
5	分離、分解 (dissociation)	DISS
6/7	溫度和相對濕度 (Incorrect temperature, incorrect relative humidity)	T&RH
8	人為 火災 (fire)	F
9	因素 物理力 (physical forces) 不良的支撐方式、不良的保護措施等	PF
10	偷竊罪犯和文物破壞者 (Criminals and vandals)	CR
11	戰爭、掠奪 (war)	W
12	污染物 (contaminants)	CO

2.4 防傾倒原理應用於文物保護之防震評估

過去博物館災害的實際案例顯示，建築物受損、櫃架傾倒、導致文物掉落或互相碰撞，是造成文物損害的重要因素。故而，防止櫃架傾倒、適切的儲位規劃、文物和文物之間妥善的緩衝隔離，都是非常重要的預防工作。從力學的原理來看，不論博物館的建築與陳列櫃的結構如何，文物在地震時會傾倒的原因為其「傾倒力矩 (M_O)」(Overturning moment) 大於其「抵抗力矩 (M_R)」(Resisting moment)。因此，可透過增加文物的抵抗力矩、降低其傾倒力矩，作為文物防震與否之評估。

根據牛頓運動定律，「傾倒力矩」是由文物質量、重心、底座大小以及地震時的加速度計算得來。假設文物的質量為 m (g)，文物重心 G 至底座距離為 h (cm)，地震時的加速度為 a (cm/sec²)，其傾倒力矩 $M_O = Fh = mah$ 。「抵抗力矩」的計算亦同，假設文物質量為 m (g)，底座寬度為 b (若底座為長方形指其寬度；底座為圓形則指其直徑)，地球的重力加速度為 g (cm/sec²)，則抵抗力矩 $M_R = mgb/2$ 。

國內文保學者余敦平曾經提出以力學原理進行文物保存儲位規劃的建議，他認為這是減少文物因地震受損的最有效方法。其研究結果係為：當 $M_O > M_R$ 時，文物會傾倒，造成直接傷害；而傾倒的文物滾動，可能撞擊其他文物，造成進一步的間接傷害。由於文物的重心 G 及底座寬度 b 值固定不變。因此，文物防震的重點在於如何降低文物的重心，亦即減少 h 值，以降低傾倒力矩；以及增大其陳列台底部寬度，亦即增加 b 值，以加大抵抗力矩 (余敦平, 2002)。

不過，防止傾倒只是其中一種原理和方法，仍必須要搭配預防性文物保護措施，才能降低震災風險造成的災害程度。

III. 研究方法

本研究應用風險管理、預防性文物保護之理論，以地震災害為研究範圍，近行臺史博庫房文物之地震災害的預防性保護設計策略。研究方法與步驟：

第一階段，文件 (歷史資料) 分析、焦點團體。從歷史資料與典藏文件檔案，探討解個案庫房建築、內部空間、作業動線、櫃體設備、儲位規畫、文物保護包裝方式，及相關的典藏制度、典藏人力配置等現況。再者，運用焦點團體會議，根據專業人員之經驗歸納出庫房文物之震災風險項目，焦點團體的組成包括個案典藏部門主管、庫房管理者、藏品管理者、文物保護修護人員。

第二階段，應用風險管理程序，並透過地震統計資料分析、焦點團體會議討論並歸納出地震風險的項目、機率、強度及其影響度與衝擊，進而發展出因應風險的處置方案。

第三階段，依據震災風險處置方案，從庫房空間之櫃架、文物外包裝及內包裝、儲存方式三大面向作為保護設計策略。最後，以地震風險的機率和強度，進行驗證其效益，並提出結論及建議。

IV. 臺史博庫房文物之震災風險評估

4.1 臺史博現況描述

臺史博籌建基地原為臺糖甘蔗田，經1998年臺灣省文化處提出「臺灣省立歷史博物館籌建計畫書」，並決定博物館位址選定臺南市安南區和順寮農場，面積約20.1公頃。從臺灣開發歷史演進歷程觀之，臺南歷經荷、西、明鄭、清朝、日治以來，均是全臺政治、經濟、文化的中心，清領臺灣並於臺南設置府城，有「一府·二鹿·三艋舺」之稱。依據內政部統計現存史蹟等文化資產數最多者，亦以臺南居於首位；此外，本館基地所在位置為古臺江內海邊緣，16至17世紀是世界多元文化薈萃之地，足資強調臺灣歷史精神，發揮歷史教育之目標，亦特別具有歷史意義。

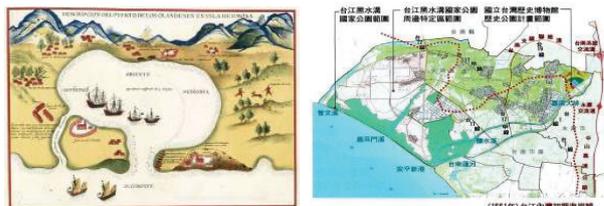


圖2 臺史博基地之今昔對照圖

臺史博藏品特色，係以「臺灣涉外關係史」、「臺灣族群互動史」、「臺灣現代化發展史」等3大主題為研究典藏的核心基礎。包括16至19世紀早期臺灣古地圖、善本書以及日治時期相關臺灣紀錄片等，均為海內外所罕見。同時，蒐藏臺灣人民在這片土地的生活軌跡及記憶之文獻與器物，呈現臺灣歷史變遷，同時足以描繪不同族群的生活樣貌之物質證據，包含百工器具、生活服飾、飲食用具、交通運輸、衛生醫療、宗教禮俗、商業財產、政治社教等範圍，爰材質呈多樣化，包括紙質、木質、陶瓷、織品、金屬、石質、塑膠與複合材質等類型。

截至2013年9月止，典藏文物共7萬餘件，所展現的藏品特色，時間之縱深遠及17世紀早期臺灣史，對象遍及臺灣的多元族群，範圍不僅關注社會菁英，更聚焦庶民生活，類型包括文獻史料及器物，定位為「全體臺灣人的博物館」。

為了保存多元材質、量體、內容屬性之臺灣歷史文物，於2007年完成建築，總面積為825坪，內部空間分為庫房、作業空間、修護室。庫房為480坪，是依據藏品材質及其對環境溫濕度之不同需求，劃分為石質（重型）庫房、複合材質庫房、織品庫房、紙質庫房、木質庫房。各自獨立且設有24小時空調、低紫外線光源、溫濕度、門禁安全防護、火災感測等監控系統設備；作業空間266坪，包括運輸出入口（車道）、文物整理裝卸平臺、藏品登錄及流通作業區、檢疫暫存室、冷凍除蟲庫、大型電梯、庫房前室及攝影室共8大作業區；修護室約79坪，修護室設置於庫房旁，利於藏品取用及進行修護等作業。

2008年6月完成典藏櫃體設計及安裝。典藏櫃架設計包括藏品管理人、文物修護人員、庫房管理員，根據庫房空間現況，針對作業流程流暢性、文物保存安全性、文物儲存量擴增性等需求。並根據藏品材質、器形、重量、尺寸等屬性，設計不同型式櫃架，完成需求書後，委託專業建築師執行設計及監造。櫃體主要分為移動式和固定式、櫃位又可分為抽屜式與開架式，另外，為利織品可攤平存放則另外設計大型網框式典藏櫃。

同年，開始規劃將暫存於外租庫房的5萬多件藏品持續搬遷回館，進行表面除塵、掛牌標示、尺寸丈量、重量秤量、檔案照拍攝、狀況檢視與記錄、制作保護措施、規劃儲位與上架保存等9個工項之入庫前置作業程序後，在人力不足的情況下，會先就珍貴及脆弱文物加強保護包裝，其餘文物暫以簡易的保護措施先行上架保存，並預計逐年增購防傾落桿及加強文物保護包裝等預防性保護措施。

4.2 風險評估：地震風險項目及高危險文物類型

透過典藏人員焦點團體會議，歸納臺史博地震風險項目及地震造成庫房文物受損因素，可分為直接因素與間接因素。

1. 直接因素：源自文物受震導致文物實體結構碎裂、或因文物自櫃架滑落所造成的損壞。直接因素，常會使得易碎文物造成不可修護的文物材質類型包括：陶瓷、泥塑、玻璃、玉石器、骨器等。
2. 間接因素：肇因於建築物倒塌造成文物完全被覆蓋、建築物部份損壞、典藏櫃倒塌、燈具掉落、斷電造成的空調失靈導致溫度與相對濕度失控、電線走火造成火災災害及其消防滅火時造成文物水損、典藏櫃內文物擦撞等。間接因素，造成損壞文物類型及嚴重程度較為複雜與嚴重。

再者，不可重置性之文物類型的保存維護，是博物館文物保護的重要標的。例如，電影膠卷、黑膠唱片、玻璃底片、相片等文物的損壞，因為文物時代久遠、稀有、及其材質特殊，即使修護後，但也無法完全恢復原貌。又如，古西文書和古地圖，遭受水損後，即使乾燥與攤平後，內書頁與手工彩繪頁，亦無法完全復原。本研究歸納臺史博之風險項目及高影響度的文物類型如表2：

臺史博地震風險項目 (Risk)	高影響度之文物類型
五級地震	
R1 文物受震導致文物實體結構碎裂	1. 易碎不易修護：陶瓷、泥塑、玻璃、玉石器、骨器。 2. 稀有不可重置：電影膠卷、黑膠唱片、玻璃底片、相片、古西文書、古地圖等文物損壞，因其時代久遠、稀有、材質特殊，即使修護後，但也無法完全恢復原貌。
R2 文物自櫃架滑落，造成文物損壞	
R3 典藏櫃內文物擦撞	
R4 庫房設施如燈具掉落，損壞文物	
R5 典藏櫃倒塌壓損文物	
六級地震	
R6 斷電造成的空調失靈，導致溫度與相對濕度失控	
R7 因地震導致電線走火，引發火災及消防滅火時造成文物水損	
七級地震	
R8 建築物部份損壞，壓損文物	
R9 肇因於建築物倒塌，文物完全被覆蓋	

(本研究整理)

4.3 風險預測：發生地震的機率與強度

臺灣位處環太平洋地震帶上，地震發生的次數頻繁，且經常有強烈地震發生。依據中央氣象局自1991-2006年共16年的觀測資料顯示，臺灣地區平均每年約發生18,500次地震，其中有1,000次為有感地震。

地震發生次數最多的是在1999年，主要是受到921地震之影響，該年共計發生了49,919次地震，其中有有感地震達3,228



次之多。自1901-2010年共110年以來，五級以上之災害性地震共計104次，平均近1年即發生災害性地震1次（交通部中央氣象局統計資料, 2012）。臺灣5級以上強度之地震風險機率如表3：

表3 1900-2011年臺史博基地附近之災害性地震風險頻率表

震級/年度	5 級		6 級		7 級以上		總計
	次數/百分比	次/10年	次數/百分比	次/10年	次數/百分比	次/10年	
1901-1910	4	28%	5	36%	5	36%	14
1911-1920	1	14%	5	72%	1	14%	7
1921-1930	7	50%	5	36%	2	14%	14
1931-1940	4	40%	3	30%	3	30%	10
1941-1950	2	29%	4	57%	1	14%	7
1951-1960	1	8%	5	38%	7	54%	13
1961-1970	1	12%	5	63%	2	25%	8
1971-1980	0	0%	2	67%	1	33%	3
1981-1990	0	0%	5	100%	1	0%	5
1991-2000	6	50%	5	42%	1	8%	12
2001-2010	1	10%	7	70%	2	20%	10
總計	27		51		26		104

(本研究整理)

然而，地震災害對博物館文物損害的影響，不只是物質層次的損失，還包括文化價值的遺失、博物館專業名譽損失、博物館支持者信任度的降低等。

故而，本研究之地震災害影響度，以是否可修護、是否可重置及是否可恢復信任感等指標，以3分法計算，分析其影響度及後果，如表4：

表4 地震風險的影響度、衝擊或後果

影響度 (I)	文物價值損失	文化價值損失	名譽損失 (專業度與信任度)
大 (3)	無法修護	不可重置	不認同其為專業的文物捐贈者不再信任與支持
中 (2)	部份修護	可替代	認同，但期待提升預防性文物保護措施改善缺失
小 (1)	完全修護	可以重置	完全認同，認為預防性文物保護措施已完備

(本研究整理)

根據上述風險評估，R2與R3指數落在4，主要落在影響度中級、發生機率中級的區域，如表5。又，這類藏品數量最多，其影響度亦將提高，風險發生時，文物損壞數量相對提高。故而，完備保護措施，是降低風險造成損害重要的工作。

表5 臺史博典藏地震風險分佈圖

影響度 (I) 衝擊或後果	風險 (R) 分佈		
大 (3)			R8、R9
中 (2)		R2、R3	R5
小 (1)	R7	R6	R4、R1
發生機率 (L)	高 (3)	中 (2)	低 (1)

(本研究整理)

綜合風險項目、風險發生的可能、災害的影響度進行風險處置的等級排序，必須優先處置的是5級地震風險帶來的文物自櫃架滑落、文物互相碰撞造成的文物破損，風險處理級數如表6。

表6 風險處理級數表

臺史博地震風險項目 (R)	可能性 (L)	影響度 (I)	處理級數 (R=L*I)
5 級 R1 文物受震導致文物實體結構碎裂	1	1	1
R2 文物自櫃架滑落，造成文物損壞	2	2	4
R3 典藏櫃內文物擦撞	2	2	4
R4 庫房設施如燈具掉落，損壞文物	2	1	2
R5 典藏櫃倒塌壓損文物	1	2	2
6 級 R6 斷電造成的空調失靈，導致溫度與相對濕度失控	1	2	2
R7 因地震導致電線走火，引發火災及消防滅火時造成文物水損	1	3	3
7 級 R8 建築物部份損壞，壓損文物	1	3	3
R9 肇因於建築物倒塌，文物完全被覆蓋	1	3	3

(本研究整理)

根據表6資料顯示，處理級數4以上(含)落在5及地震之「R2文物自櫃架滑落，造成文物損壞」、「R3典藏櫃內文物擦撞」風險項目上。

據此，本研究提出合宜的文物保護包裝材料與設計、文物與文物之間的緩衝隔離保護、文物與櫃體之間的儲存關係、儲位規劃，係為避免風險或降低風險損害最重要的工作。故而，風險處置策略，可朝向加強櫃體及儲位之安全設計、文物保護之內外包裝設計兩大面向發展。

V. 臺史博庫房文物防震保護設計策略

根據上述風險評估結果所導論的風險處置策略，以加強櫃體及儲位安全設計、文物保護之內外包裝設計兩大保護設計面向發展。

一般而言，庫房文物的保護設計，可從建築體、櫃體與文物保護包裝三層次分層保護。第一層保護，庫房建築結構可耐7級強震；第二層保護，藏品存放於結構完整的金屬櫃架，櫃體固定於牆面或地面，並加裝防傾落設施，抽屜式櫃體應設有暗鎖以防止地震發生時彈出；第三層保護，除了文物本身的內包裝及外包裝設計，也要考慮文物與文物間、文物與櫃體間的緩衝設計。

5.1 加強典藏櫃體及儲位之安全設計

典藏櫃體設計及文物儲位規劃之前，必須對所藏文物基本

特性有所了解，舉凡文物材質為何、外型尺寸及重量、整體結構的優劣、未來典藏保存方式及文物外包裝的樣式尺寸。掌握這些基礎資訊才能設計出具安全防護且符合文物需求的櫃架。

臺史博庫房文物保存，在儲位安全設計方面，因已確切掌握各藏品特性與資料，進而選擇以文物材質作為空間分類方式，將不同材質的文物分類規劃於不同的空間，這樣的規劃考量可避免不同材質文物，在地震發生時因互相碰撞摩擦而產生破碎、擠壓、堆疊問題。典藏櫃架的設計會因應文物不同特性而產生，但無論櫃體的樣式變異如何大，致使地震來臨櫃架不倒塌的原則是：所有櫃體均需固定在牆面或地面，每一櫃體之間必須互相扣鎖固定，不得使之落單，櫃體底面積越大越能抵抗地震能量。目前，典藏機構針對文物櫃體形式可略分為，開放式櫃架、固定型抽屜櫃、移動式抽屜櫃等數種：

1. 開放式櫃架 (圖3)：專為體積大、高重量之文物所設計，該類文物因無法以手直接放置於櫃架上，需搭配棧板輔以大型機具上架。因此，該櫃架設計採完全開放、自由隔間讓空間多些彈性。文物存放於此種類型櫃架的加強保護方式，必須將文物固定於棧板，而棧板與櫃架也必須有所固定，最後再加裝防傾落桿防止文物摔落 (圖4)。



圖3 開放式櫃架



圖4 加裝防傾落桿

2. 固定型抽屜櫃 (圖5、6)：每櫃均為單一個體，設計用鎖片將各櫃體鎖扣再一起防止傾倒，每層抽屜均附暗鎖可避免抽屜滑脫。抽屜上方開放空間搭配有防傾落桿。



圖5 固定型抽屜櫃



圖6 加裝防傾落桿

移動式抽屜櫃 (圖7)：此櫃體型同固定型抽屜櫃，差異在於可以手搖操作轉動盤使整座櫃子移動，該類型櫃架於轉盤設有煞車閘，可使停止中的櫃子不受外力搖晃而在軌道上滑動 (圖8)。該類典藏櫃於每次使用完畢後應全數靠攏並集結於同一方，此舉除可減少灰塵堆積於櫃內，同時也增加了櫃體底面積可達防震緩衝之效。



圖7 移動式抽屜櫃

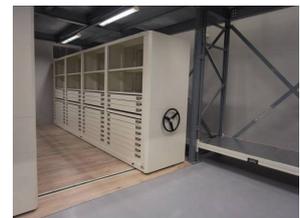


圖8 在移動轉盤加裝煞車閘

5.2 降低儲置重心以防止文物傾倒

文物在保存環境中會傾倒，是因為「傾倒力矩 (M0)」(Overturning moment) 大於其「抵抗力矩 (MR)」(Resisting moment)。由於本館缺乏5至6級地震之經驗，又無法以文物進行耐震實驗，本研究以文物防震原理，進行力學原理的質量計算，進行大型文物防震措施之耐震程度。並依據試算結果，探討現行的預防性保護設計，是否可以承受六級地震所帶來的衝擊。以下，以中型易碎文物及大型文物各舉其例試算之：

1. 案例1 (中小型文物)：NMTH2006.008.0069西拉雅族卓猴社祭祀用陶壺 (以下簡稱陶壺)。目前的保存方式，則以保護盒完整包覆存放在較低的櫃架中，櫃架均有固定於牆面或地板。其尺寸為14*14*19cm、重量為1.9kg、底座直徑為10.5cm。



圖9 NMTH2006.008.0069西拉雅族卓猴社祭祀用陶壺

2. 案例2 (大型文物)：NMTH2003.013.0001-2台中梧棲浩天宮千里眼與順風耳泥塑神像 (以下簡稱千里眼、順風耳)。目前的保存方式，訂製專用的木製保護箱及加固的保護措施。千里眼的尺寸為112*86.5*207cm、重量為245.5kg、底座直徑為64*62*9cm；順風耳的尺寸為



112*86*206.5cm、重量為230kg、底座直徑為64*63*9cm。



圖10 台中梧棲浩天宮千里眼與順風耳泥塑神像

依據中央氣象局之定義，六級地震之加速度為250-400 gal，亦即0.25-0.4g，可作為估算傾倒力矩之依據。依據力矩原理，力矩=力×力臂，故而，抵抗力矩 = 重量 × 0.5 底座寬度 (因假設重量作用於對稱中心線，故力臂為0.5底座寬度)。

陶壺抵抗力矩 = $1.9 \text{ Kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times (0.5 \times 0.105 \text{ m}) = 0.98 \text{ N.m}$ ($\text{Kg} \times \text{m/s}^2 = \text{N}$; N 為力的單位“牛頓”)。

千里眼抵抗力矩 = $245 \text{ Kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times (0.5 \times 0.64 \text{ m}) = 768.32 \text{ N.m}$

順風耳抵抗力矩 = $230 \text{ Kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times (0.5 \times 0.64 \text{ m}) = 721.28 \text{ N.m}$ 。

又，傾倒力矩=質量×地震加速度×重心高度，不規則物件重心位置需要估算，而材質相同之物件重心位置和形心位置相同。

陶壺之形心位置估算約在高9cm之中心點處，千里眼和順風耳形心則約在高103cm之中心點處。地震六級所受到之加速度為250-400 gals，亦即0.25-0.4 g， $g=9.8 \text{ m/s}^2$ (g 為重力加速度)，故加速度 $0.25 \times 9.8 = 2.45 \text{ m/s}^2$ - $0.4 \times 9.8 = 3.92 \text{ m/s}^2$ 之間的地震計算於六級地震；陶壺傾倒力矩 = $1.9 \text{ Kg} \times 2.45 \text{ m/s}^2 \times 0.09 \text{ m} = 0.42 \text{ N.m}$ (最小) 或 = $1.9 \text{ Kg} \times 3.92 \text{ m/s}^2 \times 0.09 \text{ m} = 0.67 \text{ N.m}$ (最大)。

很顯然的，陶壺傾倒力矩恆小於上述之陶壺抵抗力矩，故不會傾倒。當陶壺傾倒力矩等於抵抗力矩0.98 N.m時，陶壺會傾倒，即七級地震 ($0.98 \text{ N.m} = 1.9 \text{ Kg} \times a \text{ m/s}^2 \times 0.09 \text{ m}$ 解得 $a = 573.10 \text{ m/s}^2$ 。 $573.10 \text{ m/s}^2 \div 9.8 \text{ m/s}^2 = 0.58 \text{ g}$ 或 580gals，等於七級地震)。

千里眼傾倒力矩 = $245 \text{ Kg} \times 2.45 \text{ m/s}^2 \times 1.03 \text{ m} =$

618.26 N.m (最小) 或 = $245 \text{ Kg} \times 3.92 \text{ m/s}^2 \times 1.03 \text{ m} = 989.22 \text{ N.m}$ (最大)。順風耳傾倒力矩 = $230 \text{ Kg} \times 2.45 \text{ m/s}^2 \times 1.03 \text{ m} = 580.40 \text{ N.m}$ (最小) 或 = $230 \text{ Kg} \times 3.92 \text{ m/s}^2 \times 1.03 \text{ m} = 928.65 \text{ N.m}$ (最大)。

綜上案例驗算結果顯示：案例1，陶壺。在六級地震發生時，其傾倒力矩 (M0) 永遠小於抵抗力矩 (MR)，因此沒有傾倒之虞，但是當地震達到七級且加速度超過580gal或0.58g時，就有傾倒損壞的可能，應加強保護措施以防範未燃；案例2，泥塑千里眼與順風耳神像。六級地震發生，能使其傾倒毀壞。應該將保護箱體與牆面或櫃體固定，並在四周加上緩衝材料，以降低損害程度。

由於，不同材質的文物有不同的耐撞程度。依據力學原理來說，當單位面積的受力大於文物的降伏強度 (yielding stress) 時，文物會開始產生永久變形，因此，設法降低單位面積的衝擊力就可以增加文物的安全性。在質量為m的文物傾倒後受到撞擊力F的作用過程中，若撞擊時間為 Δt ，速度則是從v降到0，其間的關係式為 $F \Delta t = m \Delta v$ ，很顯然的，利用增加撞擊時間 Δt 來減低撞擊力F是可行之道。增加撞擊時間 Δt 最簡易的方法，是以適當彈性係數 (Elasticity coefficient) 的材料來做文物的保護包裝，以減低撞擊力F的作用。

此外，也可以利用適當阻尼係數 (Damping coefficient) 材料來作包裝，若阻尼係數為c，瞬間衝擊速度為v，則阻尼材料對撞擊力的吸收量為 $F_a = cv$ ，那麼，檯面作用在文物的衝擊力將僅剩下 $F_r = F - F_a$ ，對文物的傷害將相對減少。

又，因彈性係數和阻尼係數都是材料的基本特性，所以，依據文物需求來選擇適當的保護包裝材料與緩衝材料，也是非常重要的事。

5.3 加強文物保護安全包裝設計

文物保護措施，為預防性文物保存中最具經濟效益的方式，其不僅減少人員持拿實體文物的頻率，降低藏品損壞的風險；還能提供微環境保護，可有效隔離外在環境的昆蟲、黴菌、光線及污染性氣體對於文物造成的危害；再者是能夠提供足夠的緩衝能量對抗地震所造成的災害。

臺灣歷史文物的類型多元、材質、器型與量體差異性甚大，故而必須針對每件文物的材質、特性、方便未來應用或持拿情況，量身設計其包裝材料及保護製作。文物保護包裝的技術主要以「保存材料的選擇」、「包裝技術的選用」兩個面向搭配設計。

保存材料：可分為典藏包裝與緩衝 (減震) 材料。典藏包裝材，其會直接接觸文物且會長時間伴隨文物典藏，因此，

選擇潔淨無污染、能抗磨蝕或無酸性，及不含有害化學物質的材料，才能減緩文物酸化避免加速老化，進而提供保護作用。雖然該材料能有效減緩劣化機制與達到緩衝效果，但必須視文物材質、特性作選用，否則不僅無法達到保護之效，可能還有反效果。例如：含有鹼性儲存物的無酸卡紙板，雖能中和紙質文物中的酸性物質或是空氣中的酸性氣體，但卻會對含有蛋白質成份的羊毛、蠶絲織品文物、皮革文物有所影響。因此，選擇原則為：1. 材質的化學穩定性高、2. 必須通過材料測試機構或藏品保存機構的耐久性測試、3. 確認其結構堅韌優良且剛性符合文物的特性、4. 製作材質單純極少添加物質，且使用高品質原生材料而非回收材料者。

緩衝（減震）材：主要功能為承受震動及緩衝濕氣，產品樣式多，以塑料或泡棉呈現。由於每種塑料或泡棉產品能提供不同的緩衝質量，因此正確地使用各種類型的泡棉組合足以達到緩衝減震功效，這些材料的選用同樣要注意的有：僅能使用高純度的聚乙烯（PE, polyethylene）、聚丙烯（PP, polypropylene）或聚酯材（Polyether），惟須特別注意不能使用含有氯的聚氯乙烯（PVC, Polyvinylchloride）塑膠產品。

除了上述保存材料的選定，另外還必須搭配包裝技術，才能真正提供吸震緩衝效果，包裝技術的設計大致又可分為紙質類、器物類、織品類、大型文物四大類分類思考，但每件文物在製作保護措施前，仍得進一步從長期保存、取用時的安全性及便利性綜合評估後再進行設計與製作。

1. 紙質類文物保護包裝設計

紙質類文物可分從平面型及立體型兩方面討論。照片、地圖、明信片、地契等平面紙張文物，其特性為紙張單薄易於衝擊時受到磨損與產生摺痕，因此針對此狀況加強設計方式為選擇比文物堅韌的紙材作為文物的第一層保護。以實際案例來看，選用聚酯片與無酸檔案夾紙封邊黏合成「L」型保護夾作為第一層保護（圖11），該保護套既可使他人觀視文物的內容且防塵防濕，又能安全持拿結構脆弱的紙質文物，照片文物則可以照片專用護角固定於中性紙板上（圖12）。經第一層防護後可將多件文物同時放入合適尺寸的保護盒（圖13），最後連同保護盒平放於附有暗鎖的抽屜內。該設計法可防止地震時，平面紙質文物互相推擠而磨擦摺損。

書籍類立體紙質文物，其特性因具有一定重量及厚度，地震發生時容易互相碰撞擠壓而產生封皮受損、書頁皺褶等情況。有鑑於此類文物特性，包裝設計方式主要以保護材包覆為主，待所有文物逐一包裝後才放入抽屜中收藏。此

類型使用的保護措施則以無酸檔案夾紙製作書的保護套，稱之為「四折翼保護盒」（圖14、15），或是以硬質的無酸卡紙版製作「貝殼式書盒（Clamshell Box）」（圖16）。



圖11 平面紙質文物包裝設計 -L型保護夾



圖12 照片類文物固定保護方式



圖13 將數件文物裝入合適尺寸的保護盒

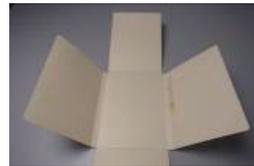


圖14 書籍類四折翼保護盒 (攤開)



圖15 書籍類四折翼保護盒 (合起)



圖16 貝殼式書盒 (Clamshell Box)

2. 器物類藏品保護包裝設計

器物類保護盒的設計，主要著重在防止人為持拿不當碰撞或是地震發生的重力加速度等外力衝擊所造成藏品受損。因此，以外包裝盒搭配緩衝材料的保護措施形式可以有效地降低撞擊力量的傷害，其中又以無酸瓦楞紙板製作保護盒（圖17、18、19）。聚乙烯泡棉所製作的緩衝材料樣式，運用在典藏庫房中最为常見。無酸瓦楞紙板加工容易，質量輕且結構強度優良，同時無酸特性使其適合運用在文物保護工作；聚乙烯泡棉的閉孔式結構（圖20），可提供外力



撞擊時極佳的緩衝性能；另外，若再有藏品表面層脆弱的問題時，可使用無酸薄紙或TYVEK材料來進行緩衝材料的包覆，避免緩衝材料的表面摩擦力過大造成藏品表面的損傷。



圖17 無酸瓦楞紙板製作保護盒外部



圖18 內部聚乙烯泡棉與無酸薄紙緩衝



圖19 搭配側開式可安全平移取出文物

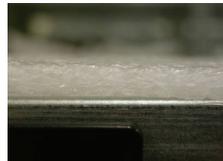


圖20 聚乙烯泡棉閉孔性結構緩衝性佳

3. 織品類藏品保護包裝設計

織品文物同樣有平面及立體之分，該類物件質地柔軟、形式多樣化，故其保護包裝設計必須量身訂做。以大型衣物類型為例，物件原使用方式是穿著於人體之上。因此，必須依照衣物的尺寸製作內襯將織物上下片分離緩衝。再者，必須攤平存放於保護盒（圖21）。至於小型的帽飾文物，因多有立體刺繡或裝飾技法不適用平躺保存，則可應用聚乙烯泡塊包覆柔軟無酸薄紙製作頭型支撐物，以免立體的形狀凹摺，再以無酸紙製作隔塵套以供文物溫濕度的緩衝，最後在裝載於保護盒中（圖22）。



圖21 大型衣物需攤平與製作內襯

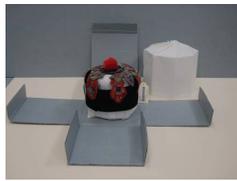


圖22 小型的帽飾文物保護設計

小型平面織品的保護設計，主要以攤平裝盒為主，以臺灣早期幼兒圍嘴為例，先以無酸檔案夾紙製作淺托盤，將文物放入托盤，並以表面細致柔軟聚乙烯泡棉製作固定裝置，避免文物在盤內滑移產生折損狀況。最後，可單一或多件裝載於保護盒增加防震緩衝效果（圖23）。



圖23 淺托盤加裝固定裝置收藏平面文物

4. 大型物件保護包裝設計

以雅美族的達悟船為例，其為木質文物，除了怕溫溼度波動與蟲害之外，該文物在地震的防護上應注意周邊櫃體、設備及文物因地震掉落的可能性風險，其儲位規畫應盡量排除周邊環境的危險因子，為了降低重心也以平放地面為原則，典藏櫃架的設計以既能保存又方便移動支撐架方式設計；文物保護設計則選擇無酸性質的緩衝材料，隔離櫃架與文物的接觸面，除了加固保存亦能便於安全運輸。

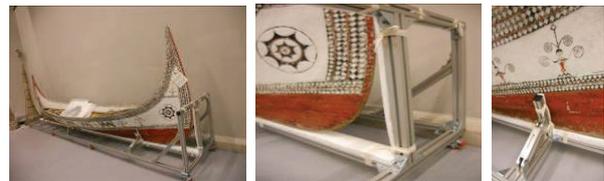


圖24、25、26 降低重心保存，以無酸緩衝材隔離文物與櫃架

另外，再以材質易碎且重心高易傾倒的泥塑神像為例。與人等身的泥塑神像，因年代久遠，材質相對容易因碰撞而受損。在典藏櫃架設計，著重在對抗外力的衝擊，因此，櫃體必須固定於牆面或地面，地震時才不會滑動。文物的保護設計則加強脆弱處之加固與保護，並減少移動。



圖27、28 降低重心保存，脆弱處以緩衝材料包裝保護和互相隔離

VI. 結論與建議

根據過去的研究結果顯示，預防性的地震風險評估，得以了解基地的地震發生機率與強度，掌握風險發生的可能性，並可依據風險可能帶來的威脅，在有限的資源和人力的條件下，發展庫房文物防震風險管理計畫。

本研究結果亦然，根據風險評估、預測所提出之風險管理

決策，應用在震災預防性文物保護設計之結論與建議如下所述：

1. 典藏庫房保存櫃架設計：櫃體與架體的設計，必須透過典藏主管、修護人員、藏品管理人、庫房管理人、櫃體設計師組成規劃團隊，依據庫房空間環境、文物材質屬性、器型、重量、體積等條件，才能確保櫃架設備的實用性和安全性，每座櫃體則須依據安全需求，設計防傾落的安全裝置。
2. 儲位規劃設計：文物必須依據材質分類保存，分為紙質、木質、金屬材質、泥塑陶瓷、織品、複合材質、影音等。個材質再依據文物屬性、器型、重量、體積等條件，規劃儲位，大型文物的儲位規劃首重在降低重心。
3. 文物保護包裝設計：透過適當的文物保護包裝設計，包含「保存材料」、「包裝技術」兩個面向可作為防震保護設計的最後一道防線，尤其是緩衝材料所提供的緩衝性能，能降低地震所產生的位移所帶來撞擊。

綜上，博物館庫房文物防震保護設計三大策略，足可降低震災風險所帶來的文物損害。除此，典藏人員的專業訓練和對文物的態度、典藏工作倫理與守則、嚴謹的典藏制度，都是影響文物是否得以安全保存的重要基礎。

臺史博自2008年文物搬遷入庫啟用，依據中央氣象局公告之地震統計，2008年至2013年9月止，6級至7級(含)共12次、5級至6級(含)共123次、4級至5級(含)共886次，庫房文物並無因地震而傾倒或受損之情形。但是，由於這段期間6級以上的災害型地震分布不是落在基地附近的斷層帶。故而，關於庫房文物目前的設施和保護策略是否能因應6級以上強震，則待後續研究，進行地震情境實測模擬。

又，由於目前典藏庫房文物的保存，仍有因為人力和經費不足的困境，而僅能暫以簡易保護包裝方式，暫行上架儲存。雖然，依據本研究之評估及試算結果，如果能依據上述原則完備保護措施，係為低風險狀態，但是部分暫以簡易保護措施及上架保存的文物，仍有損壞之疑慮。建議爭取經費和人力，盡速完成，以免災害發生時無以為濟。

預防重於治療，嚴謹的預防性文物防震保護措施，可讓文物免於或降低地震災害帶來的損失。如果文物因風險造成損毀，對於國家文物保存機構而言，不只是文物的物質面的損失，更難以估計的是其文化價值、博物館專業形象的損失。

其具體效益包括：在物質層面能實質地降低風險對文物造成的損害；從文化層面可持續保有文化價值減少文化遺忘；在社會責任方面，則能保有國家博物館的專業形象。

參考文獻

- 余敦平，2002，文物防震措施，文物保護手冊，台北：文建會，頁36-39。
- 交通部中央氣象局，臺灣地震頻率統計：<http://www.cwb.gov.tw/V7/knowledge/encyclopedia/eq054.htm> (瀏覽日期2012/1/16、2013/10/20)
- 臺灣省立歷史博物館籌備處，「臺灣省立歷史博物館籌建計畫書」，1998.07，未出版。
- AS/NZS 4360: 2004, Jointly published by Standards Australia International Ltd, Risk Management Guidelines, Companion to AS/NZS: 2004, Standards Australia/Standards New Zealand, Originated as HB-142-1999 and HB-143-1999, Jointly revised and redesignated as HB-436-2004.
- Sperantza, Ch., Papadimitriou, M., and Pournou, A., 2009, Risk management: a case study of the wooden collection held in storage at the Folk Art Museum of Athens, Proceedings International Conference on Wooden Cultural Heritage: Evaluation of Deterioration and Management of Change, Hamburg/Germany; October 7-10.
- Michalski, S., 2004, Care and Preservation of Collections, Running a Museum: A practical handbook, P, Boylan, International Council of Museums & UNESCO, pp. 51-90.
- Michalski, S., 2007, Preventive conservation: reducing risks to collections, Handouts of the ICCROM course Sibiu, June-July 2007.
- Waller, R., 1994, Roy, A., and Smith, P., Conservation Risk Assessment: A Strategy for Managing Resources for Preventive Conservation, ed., Preventive Conservation: Practice, Theory and Research, London: International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works (1994), pp. 12-16.
- Waller, R., 1995, Risk management applied to preventive conservation, Storage of natural history collections: a preventive conservation approach.
- Waller, R., 2003, Cultural property risk analysis model: development and application to preventive conservation at the Canadian Museum of Nature, Canadian Museum of Nature.

Received 1 October 2013

Accepted 29 November 2013



APPLYING RISK ASSESSMENT TO THE DESIGN STRATEGY OF EARTHQUAKE-PREVENTIVE CONSERVATION: A CASE STUDY WITH THE NATIONAL MUSEUM OF TAIWAN HISTORY

Mei-Yun Hsu*, Shih-Hsin Chiu** and Shing-Sheng Guan*

*Graduate School of Design
National Yunlin University of Science and Technology
Yunlin, Taiwan 64002, R. O. C.

**Collection Division
National Museum of Taiwan History
Tainan, Taiwan 70946, R. O. C.

ABSTRACT

“Prevention is better than cure.” As the saying puts, to prevent the risk and minimize the possible damages from earthquake are one of the top priorities for museums based on the land in the seismic zones. Taking the National Museum of Taiwan History (NMTH) - one of the many museums located in the circum-Pacific belt - as example, this study discusses the probability and intensity of earthquake in the museum site in Taiwan, and how that might cause damages to the museum collections, through a series of risk assessment measures. This study also takes focused interviews of the museum staffs to analyze the current earthquake prevention measures and the reactions to the past earthquakes. The result of this research shows that the damages caused by earthquakes are from the falling and toppling over of the objects, as well as the collision between objects due to the shifting of collection cabinets. On the above account, this study proposes a warehouse design strategy for earthquake-preventive conservation in museums, covering the three aspects of storage devices, the positioning of large objects, and the packaging of small items. This proposal is expected to provide as the risk management objectives, and is examined by both the mechanic principles and the earthquake experiences in the NMTH, and has been proven as a sufficient practice of risk management in museums, as well as decreased the probability of relics damage.

Keywords : museum, collection storeroom, risk management, preventive conservation, design strategy