

密集書架的抗震防災工作

Earthquake-resistance in Compact Shelving

陳格理

Ko-Li Chen

東海大學建築系副教授

Associate professor, Department of Architecture,
Tunghai University

【摘要】

近年來國內一些大型的圖書館因為館藏和設備的增加，原有的藏書空間不敷使用，遂有替換或增購密集書架的作法以解決急迫的空間問題。有鑑於在 1999 年的大地震中，國內有些圖書館的密集書架出現了出軌或傾斜的狀況，而造成安全上的顧慮。本文特別對國內和日本過去密集書架的狀況作一說明並分析各種抗震設施的優缺點，其中以底部的「防傾斜裝置」和「架頂聯桿」最為重要，「頂板」和「交叉斜撐」為輔助性的抗震設施。此外，研究者並提出一些注意事項，供館方在選擇密集書架時的參考。

【Abstract】

There is a trend that more libraries want to set the compact shelving to solve the problems of space needs for collection, but some damage occurred in the compact shelving there in the past earthquakes. The main purpose of this article is to analyze the effectiveness of earthquake-resistance in compact shelving in library. Besides to analyze the factors and results of damage in compact shelving; author also discussed the merits and shortcomings in the facilities of earthquake-resistance in compact shelving. Author positively recommend the library authority to take the advantage of the spreaders, sway bracing, top bracing and anti-tilted facilities in the bottom of the frame to prevent them from the damage in earthquake. Author also offers some suggestions in the choice of the facilities of earthquake-resistance in library.

關鍵字：圖書館建築、密集書架、抗震設施

Keywords: Library Building, Earthquake-resistance, Compact Shelving

壹、前言

國內一些興建於十幾年前的學校圖書館，由於館藏和新設備的增加，既有的館舍空間呈現不敷使用的情形。在欠缺遷館、改建或擴建計劃之下，很多圖書館預備在館內增設密集書架以暫時解決紙本資料日益增加的存放和使用問題。在既有的館舍中設置密集書架，除了樓板的承載性必須符合每平方公尺 950 公斤的結構安全外，地震的安全性也必須注意到。在 1999 年的 921 和 1022 二次大地震中，有幾所圖書館的密集書架遭到一些損害，為避免在地震時再發生相類似的狀況，有必要將密集書架和地震的關係提出來說明。

貳、密集書架

密集書架 (Compact Shelving) 是廿世紀初由瑞士人 Hans Ingold 所設計的，經歷了近一個世紀的發展和演變，密集書架的使用愈來愈廣泛，時至今日已有二種不同的形式。一種是以金屬製成的活動書架，其特徵是書架的軸向 (縱向) 和軌道方向是相垂直的。另一種是由木料製成，書架的軸向和軌道方向是平行的，國內許多圖書館的視聽室都用它來存放視聽資料。

密集書架最主要而明顯的特點是節省藏書空間。它將前後書架緊密的放置在一起，再藉軌道來移動書架，節省了書架前後的走道空間，使得在有限的空間內可以放置較多的書籍資料。由於書架間的密集靠攏，也使它成為一個可以妥善保護書籍的所在；此外，它亦增加了使用與管理上的方便性。

密集書架亦有一些缺點。首先是費用太高，除非有較寬裕的預算，否則不容易將密集書架的各項設施 (如照明和控制設施) 完全具備。其次是書架的安全性，其中包括了對一般使用和地震時的安全顧慮。由於技術上的改良，密集書架已由早先的機械式改為電動式操作，使用者只要依照步驟來操作安全性是很高的。然而密集書架在地震時的安全性 (對書也對人) 始終難以完全掌握，大地震來臨時，它們仍然很容易受到傷害。

參、地震和災況

在 921 大地震中，全國有四所圖書館的密集書架受到影響。中正大學圖書館位在 1

樓，彰化師大圖書館位在 2 樓和國立台中圖書館位在地下室的密集書架都發生書架移位和輪子出軌的情形（圖一），台大圖書館位在 2 樓的密集書架則發生側傾的情形。雖然受損並不嚴重，但也有相當的警示作用。由於密集書架在構造和設置上的特殊性，使得它在地震時的反應有異於一般的書架，特別是脫軌現象。日本在過去十多年間，歷次的大地震都曾對圖書館的密集書架產生相當大的破壞，他們的經驗很值得我們參考。

密集書架對地震的三種震動狀況（方向）都有很明顯的反應，其中以上下震動最為特殊。1995 年日本的阪神大地震，規模 7.2，上下震動的加速度達 833gal，比我們的 921 大地震還大。地震的上下振動，會使密集書架底部的輪子脫出軌道。阪神大地震中，由於地震力實在太大，雖然在軌道旁裝有防傾倒的設施，仍然難以消弭地震的破壞力。（註 1）

當地震力的水平震動方向和書架軌道的方向相同時，書架承受的影響較大。如果書架本身並未利用電動或機械裝置加以鎖住（如剎車裝置），書架則會因就著此一方向的搖晃力在軌道上滑動，藉著輪子與軌道間的摩擦而消化掉地震力的影響，至多也只會出現書架間輕微的碰撞而已，有時連書都不會掉下來。在日本，書架的滑行距離最長曾有 12 公分。（註 2）掉落在軌道上的書籍，不但會被移動的書車壓到，也會影響到書架的移動性。此外，書架亦會在載重不均衡的情形下出現一些變形。當地震力的震動方向和軌道方向垂直時（即書架的縱向），書架本身若在結構上不夠完善（如缺少或有不適當的斜撐裝置）、荷重不均勻或車底與軌道間缺少防傾斜裝置，則很容易造成書架的側傾，嚴重時還會出現車輪脫落和出軌的情形。（註 3）

肆、密集書架的抗震措施

防傾斜裝置是密集書架在抗震上最重要的措施，就是要防止書架的傾倒和扭曲。造成密集書架傾倒扭曲的原因主要有以下四種：地震、書架的高度超過其架基（Carriage）寬度的 4 倍、書架的荷重不均勻、以及攀爬書架等，而抗震是防傾倒工作中最重要的項目。密集書架的抗震措施可分成主要和次要二部分。次要的部分以抗變形為主，這和一般金屬書架的抗震措施類似。

一、主要的抗震措施

（一）書架底部的抗傾斜裝置

書架底部的抗傾斜裝置是密集書架所特有的，這種裝置依各廠商的設計而有不同。基本上，它有二個部分，一個是在軌道底板內側裝設與軌道同高的 T 型鋼片，其長度與軌道相同。另一部分是將基架底端的 C 型鋼片放在軌道上 T 型鋼片的下方（圖二）。藉著這樣的關係，使得書架在遭遇外力時，不會立刻的翹起來而造成輪子的脫軌。這種裝置一般只裝在密集書架靠外側的軌道上，國內的密集

書架較少有這種裝置。美國加州因為地震頻繁，使得這項裝置成為法規要求下的必備構件。（註 4）

（二）架頂的抗傾斜裝置

這種裝置是由日本發展出來的，其形式和一般書架的架頂聯桿十分相似。它是在書架兩側立桿的頂端（非頂板上），各設有二個三角形的托匣，匣內有二個轉輪（或承軸），轉輪間可容一個圓管通過（圖三）。利用匣內轉輪和圓管的關係，使書架可以平穩的在軌道上滑動。當地震來臨時，因藉著轉輪和圓管之間的摩擦力可以吸收地震對書架的部分衝擊；再利用書架在軌道上的滑行，逐步消除地震力的影響。在阪神大地震中，這種裝置發揮了相當好的功效。

關於這種類似架頂聯桿的裝置，有一件值得注意的事。因為工程專家相信如將架頂聯桿的端點固定在牆上，可以更有效的藉著聯桿與建築結構體的結合來分散地震力對書架的衝擊。1989 年加州的 Loma Prieta 大地震，在某醫院中曾出現密集書架上聯桿靠牆的部份遭受到嚴重的傷害，使得聯桿和書架扭曲在一起。這個出乎意料的結果，使得加州衛生當局後來規定在醫院中，存放資料（病例和書籍）的密集書架不可將架頂聯桿的端點固定在牆上。（註 5）

二、次要的抗震措施

（一）重視書架的頂板

由於對書架在承載、移動和安全上的重視，密集書架多採用傳統的框架式架身，和立柱緊密接合的頂板可將書架整體的連接而更形穩固。

（二）裝設交叉斜撐

交叉斜撐是防止密集書架受地震縱向力而變形的主要設施。（註 6）對交叉斜撐的裝置細節必須多加注意，避免因小地方的疏忽（如接頭的位置和接合方式）而在地震時出現嚴重的問題。

三、注意事項

雖然密集書架的廠商都曾對其產品做各種抗震性的測試，其測試的嚴苛性終究不如真實地震狀況來得確實，很多廠商也是根據地震後的損害情形去修改他們的產品（圖四）。在籌劃密集書架的抗震補強措施時，有一些值得注意的事項：

（一）書架安全鎖的使用性

書架廠商為了重視使用者在書架走道上的安全性，防止他人擅自移動書架或關閉走道而傷害到使用者，常會在書架上安裝控制書車移動的鎖（或剎車），特別是在電動或機械移動的書架上。當有人在使用走道時，兩旁的書車即被固定（鎖在軌道上），但在使用後人們有的忘了打開鎖，以致在沒有人使用（或閉館）時，書架亦保持著鎖住的狀態。地震後發現，沒有被鎖住（固定）的書架會

因受力而在軌道上順勢滑行，藉車輪的摩擦力而抵消掉地震力的衝擊，書架和書籍都少有受損。但是，被鎖住的書架在小地震時，尚可藉著剎車和架頂橫桿的作用而穩定不動；但在較大的地震時，書架無法有效的消弭外力，以致輕者常因車身的晃動而使書籍掉落，重者則在剎車被破壞後使書架傾斜，架頂聯桿也遭到破壞。（註 7）

（二）車軌的型態

在美國，密集書架的廠商會將頭尾二列書架放在有凹槽的導向軌上，其車輪為凸狀面（圖五）；其他書架的車輪和車軌均為平滑面。他們認為這樣的安排有助於保持書架滑行的安全性。（註 8）日本在震災後的調查卻發現，使用表面完全平滑（無溝槽）的車輪和軌道的書架，當遭受到側向地震力時，車輪會輕微的在軌道上側移，避免脫軌的意外，保障了書架的安全。（註 9）

（三）其他事項

- 1.美國加州的法規規定，密集書架的高度如超過架基寬度（二支立桿間距）的 4 倍時即應加裝架頂聯桿。當書架高度超過 6 倍的架基寬度時，此一聯桿的抗震效用便受到影響，而不再被視為防傾斜的裝置。（註 10）
- 2.密集書架如要裝設架頂聯桿，書架頂板和天花板之間至少得留出 13 公分的空間。
- 3.密集書架的每一列中不應有太多的書架單元，以免因書架荷重的不均而在受力時產生扭曲變形及落書的情形。此外，書架的兩側均應留有適當的安全通道，以協助人們的逃生和救援行動。
- 4.日本和美國的專家皆認為在非地震區，密集書架可裝設一種防傾斜（抗震）設施。但在地震區中，密集書架至少應有二種以上的抗震（傾斜）裝置，如此才能確保書架、書籍和人員的安全。（註 11）

伍、結語

國內圖書館的密集書架在地震所出現的損害，主要源自於書架上書籍資料的放置不當，造成單元書架的負荷不均勻。載書較多的書架在地震時較不容易上下振動，也就不易造成移位和出軌的情形。書架構件的接合如不盡理想，地震時就容易發生傾斜的現象，嚴重時即使書架上裝了交叉斜撐也沒有用。因此，不論是新的或舊的密集書架，在抗震防災的問題上，均勻的放書（資料）是首要的工作（圖六）；實驗證明書架底層的空置，對書架的抗震能力有明顯的負面影響。（註 12）對既有（舊）的密集書架而言，架身的抗震補強工作有二個重點：

一、加強橫桿的作用

許多密集書架除了在頂板下方和架基底部之外，均未裝置橫桿（spreaders）。橫桿是在未加裝交叉斜撐時一種方便易行的補救措施，它可減少書架在受地震縱向力時呈平行四邊形式的變形。由於密集書架並不常像一般金屬書架在錨定地面後會因受力而呈縱向的變形，因此常忽略了橫桿的重要性。除架頂和底部外，架身上應另加一支以上的橫桿。

二、加強架身整體的強固性

將書架二端的側封板和頂板彼此接合，並固定在書架的立柱和橫桿上，有效的運用書架的整體性一起做好抗震的工作。

在購置新的密集書架時，在財力上如果許可，宜依序安排下列三項抗震設施：

一、架基底部的抗傾斜（出軌）裝置

近些年來，很多國外廠商均已將此一抗震措施列為書架必備的安全構件。

二、架身的交叉斜撐

交叉斜撐是防止書架在縱向上傾斜和變形的主要設施，值得注意的有以下幾點：

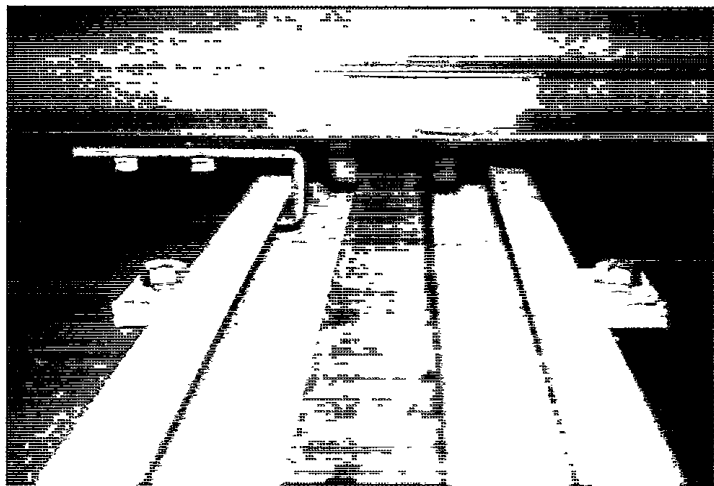
- （一）斜撐和立柱間應充分的固定，不可用勾掛或插入的方式。（註 13）
- （二）交叉斜撐的設置不必每個書架單元皆有，可間隔著設置。
- （三）一個書架單元上如能在上下分置二個交叉斜撐，其功效會比較單一的大型交叉斜撐更為理想。（註 14）
- （四）交叉斜撐和橫桿並用其效果亦十分理想。

三、架頂聯桿

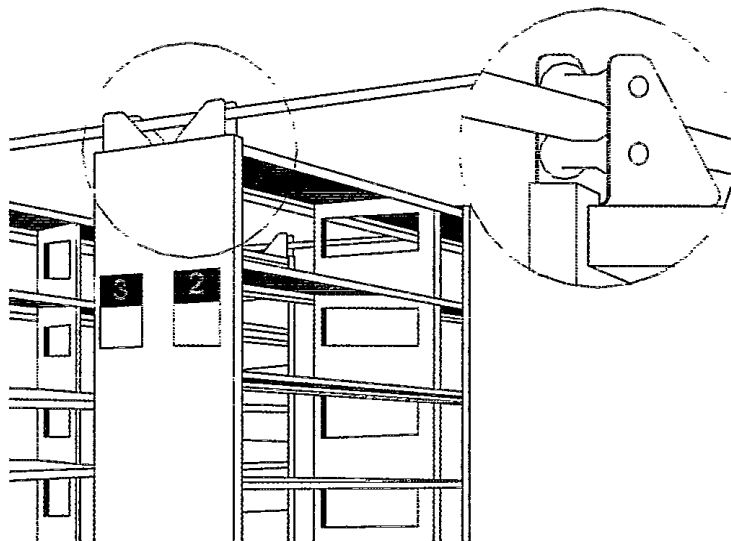
如果經費充裕，它是很好的抗震防災設施。惟須注意施工時的精確性（聯桿不可有曲折）及維護工作。



圖一 密集書架的出軌
(國立台中圖書館)

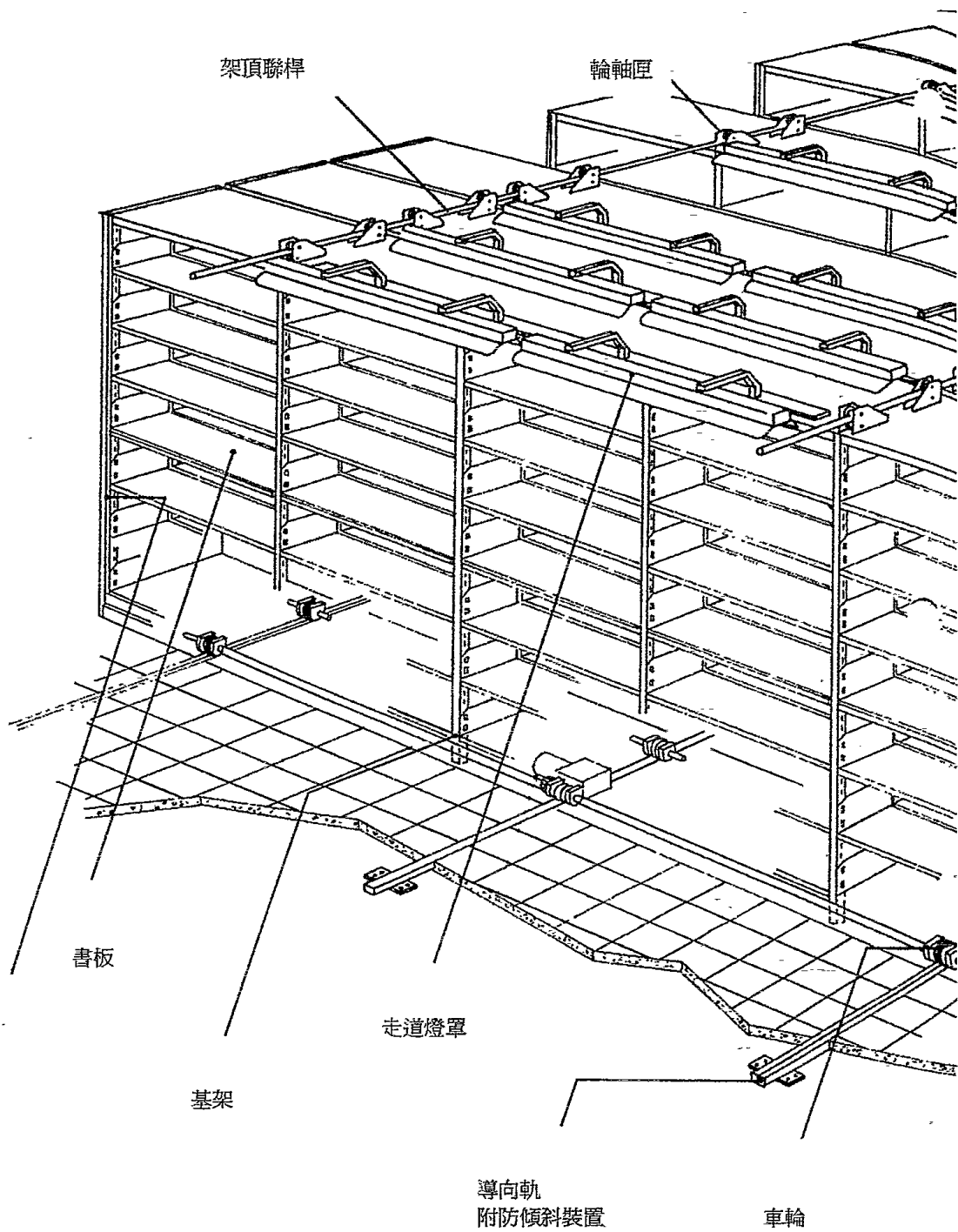


圖二 成大圖書館地下二樓密集書架之軌道



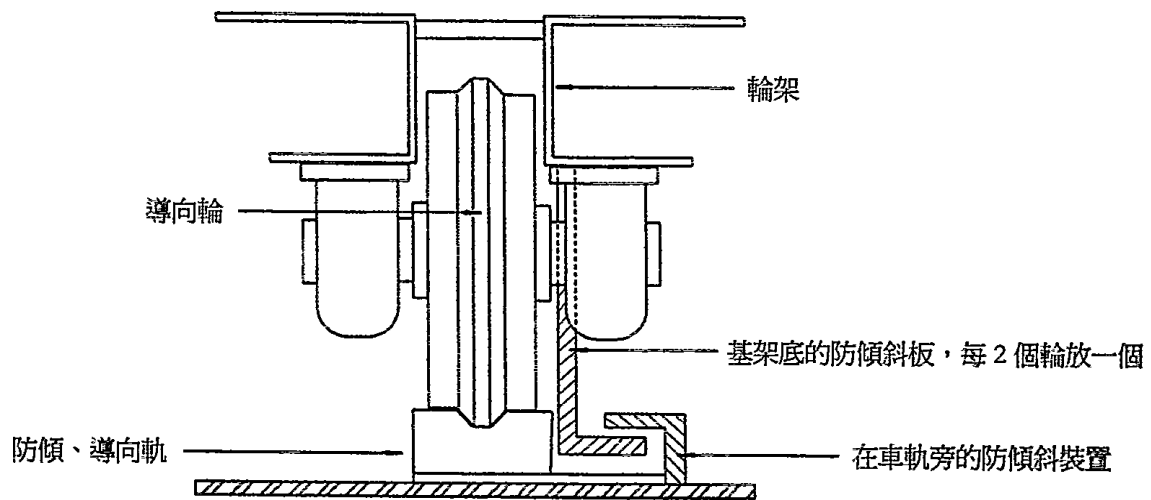
圖三 密集書架的架頂聯桿與輪軸

資料來源：G.Novak, "Movable Compact Shelving Systems," Library Technology Report (Sept/Oct, 1999) : 699.



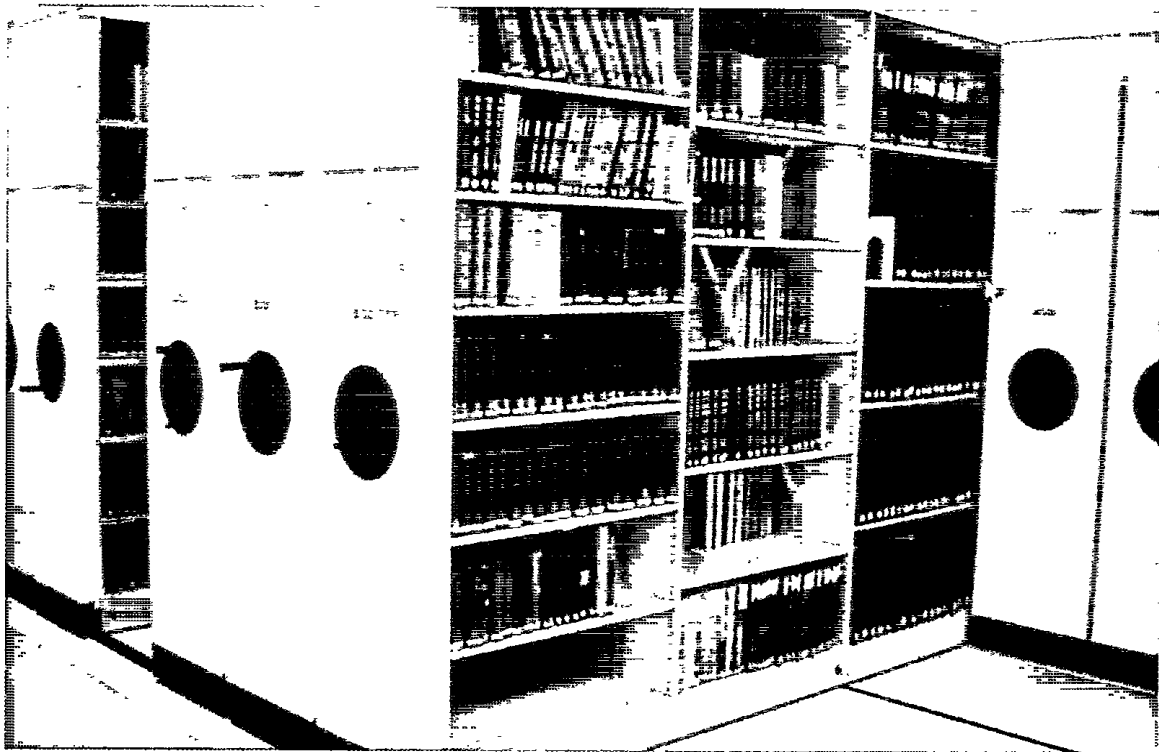
圖四 密集書架的架頂聯桿及架底防傾斜裝置

資料來源：G.Novak, "Movable Compact Shelving Systems," Library Technology Report (Sept/Oct, 1999) : 596.



圖五 密集書架底部抗傾斜裝置

資料來源：G.Novak, "Movable Compact Shelving Systems," Library Technology Report (Sept/Oct, 1999) : 460.



圖六 台大圖書館二樓密集書架（有交叉斜撐）

附註

- 註 1： 原義和，「圖書館書架的受損情形及今後的對策」，圖書館雜誌（日文），89 卷 11 期（民 84 年 11 月）：9-10。
- 註 2： JLA 設施委員會，「阪神淡路大地震中圖書館受災情形調查報告」，圖書館雜誌（日文），89 卷 6 期（民國 84 年 6 月）：444。
- 註 3： G.Flagg, "Libraries jolted by L. A. earthquake," American Libraries (March, 1994) : 216.
- 註 4： G.Novak, "Movable Compact Shelving Systems," Library Technology Report (Sept/Oct, 1999) : 699.
- 註 5： 同註 3，P.670
- 註 6： J.Shelton, Seismic Safety Standards for Library Shelving. (Sacramento, Ca : California State Library Foundation, 1990) , 40.
- 註 7： 同註 1，頁 912。
- 註 8： 同註 4，頁 611。
- 註 9： 同註 1，頁 911。
- 註 10： 同註 4，頁 660。
- 註 11： 同註 4，頁 664；註 1，頁 913。
- 註 12： 王昭然，「台灣地區圖書館自立式書架耐震補強特性」（碩士論文，成大建築研究所，民 92 年 1 月），111。
- 註 13： 同註 12，頁 51。
- 註 14： K.Matcalf, P. Leighton, D. Weker, Planning Academic & Research Library Buildings. 3rd. ed. (American Library Association, Chicago, 1999) , 156.