

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

學校建築維護綜合指標之研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2211-E-002-092-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立臺灣大學土木工程學系暨研究所

計畫主持人：黃世孟

共同主持人：郭斯傑，詹添全

計畫參與人員：張智元，張圓珠

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 7 月 30 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫  成果報告  
 期中進度報告

## 學校建築維護綜合指標之研究

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫

計畫編號：NSC 92-2211-E-002-092-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

計畫主持人：黃世孟

共同主持人：郭斯傑、詹添全

計畫參與人員：張智元、張圓珠

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告  完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年  二年後可公開查詢

執行單位：國立臺灣大學土木工程學系暨研究所

中華民國 九十三年 七月 三十一日

## 摘 要

建築維護管理決策長久以來一直是公部門管理者的困擾，囿於有限的財政或預算資源，如何綜理建築物使用強度、劣化程度、法令規定、維護需求、防災耐震與未來總體發展，進而合理的評定維護修繕的順序、維護需求程度或迫切性是日前一般學校建築管理者難以面對且急切解決的問題。

本研究希望藉在文獻回顧、指標方法、相關理論與各級學校現況分析後，對選定範圍之學校進行問卷與實地田野測繪調查，藉以歸納出一般性、法令性與緊急性維護修繕的各項需求、限制與影響，再以多屬性分析層級程序法（Analytic Hierarchy Process）輔以分析現階段已研究出之相關指標成果、各維護需求與影響間之獨立性與代換性，最後以專家訪談或座談會方式，多方徵詢專業性意見，建構出『學校建築維護綜合指標』（Synthetic Maintenance Index of School Building），藉以來協助學校建築管理者、決策者或主管單位，能以較科學的方式，合理的評定出建築物維護優先順序，並於維護管理決策時能參考使用。

關鍵詞：修繕、維護、學校建築、維護綜合指標

**Abstract** : Making maintenance decisions is usually a difficult work to managers in many public affairs departments of Taiwan's government. It is also an urgent problem that how to analyze the priority in maintenance of school building reasonably under consideration to building strength, condition diagnosis, laws, requests, natural disasters and development planning.

The main purpose of this research is to provide a new approach to help decision makers, directors and managers of school or public affairs departments to evaluate the priority of school building maintenance reasonably and scientifically. After references studying, index surveying, method analyzing and school condition exploring, we plan to inquire by question form and estimate the schools that we sieve out. Thus, we induce three maintenance dimensions, which are general situation, regulations and emergency, referring to requests, limits and influences. In conclusion, a new index named **SMI**, Synthetic Maintenance Index of School Building, will be proposed through AHP method, interviewing with specialists in maintenance field and forums.

**Keywords** : Repair, Maintenance, School Building, Synthetic Maintenance Index

## 壹、前言

學校建築不僅是公共建築的主要群體之一，也是學校發展計畫下的最大基本硬體，因此在教育發展的推動上，校舍維護作業的執行在學校行政上管理的角色也越來越顯得重要。學校建築截至 2002 年度止，在全國 8223 所學校中，僅有佔總數不到 2% 的大學院校設有較具專業性的營繕單位來協助維護管理事宜。此外學校建築高齡化的問題也日益顯露，截至 2003 年止，全國之國民中小學的校齡有 81.3% 以上超過了 30 年，校齡超過 20 年以上的比率更高達 95.3% 以上，台灣地區大學院校超過 150 所，有 6 成以上的校齡都超過 20 年，校舍高齡化的現象已逐漸浮現，然而面對日益增多的維護修繕申請案件，『維護預算有限、需求無限』是現況環境不爭的現實，然而學校營繕管理人員在缺乏可供參考的優先序位評量基準的情形下，不得不以主觀性的個人判斷來認定維護申請案件的優先序位，但也因此飽受位獲維護資源者的批評壓力。

本研究主要以公有建築群體中的公立大學校舍為探討對象，藉由對學校維護行政業務人員、教育主管機關人員與學校建築維護相關的專家學者進行訪談，希望透過多面向客觀性的探討，將維護序位判定標準建構的重要性確認並突顯出來。在經過各類專家訪談與文獻回顧後，以焦點團體法 (Focus Groups) 的方式將可運用於優先序位評估的『**學校建築維護綜合指標**』 (Synthetic Maintenance Index of School Building) 架構建構出來。再以問卷量表設計與調查的方式，對於公立大學校舍維護人力資源與維護預算資源等現況進行了解，並針對初擬的 MPI 進行因子確認與權重分析的調查作業。期盼在適切運用人力與預算資源的原則下，為學校建築的維護管理優先序位，研擬出可行且較具效益的量測評估模式。

由於每間學校之校舍建築有其存在之差異性，維護的考量因子也很多，其中最主要有建築物的維護『緊急程度』、『健康程度』、『經濟程度』等三項重要評估構面；校舍群若缺乏妥善的評估，則可能導致有限資源的分配不當、公共安全危機、設備機能產生障礙、加速劣化、甚至影響學校整體發展。研究中選擇台灣地區建校最早、校舍維護規模最大的台灣大學營繕組各股主管作為焦點團體的對象，試圖釐出公立大學院校校舍維護序位指標的初步評量構面與因子，然後依調查後所建構之初步指標架構，作為問卷設計的核心內容。

## 貳、研究目的

在歷年來由於學校建築物的天災與人禍不斷，如 1983 年豐原高中的禮堂倒塌事件所造成的 27 死 3 傷，國家賠償金額高達 3000 多萬，為迄今最高金額的國賠事件。2002 年 11 月中旬，嘉義縣水上鄉柳林國小教室的天花板嚴重剝落，常有水泥塊掉下來，學童只能戴著安全帽上課，2003 年 3 月中旬桃園縣觀音鄉富林國小亦發生同樣的窘境。根據日本學校安全會統計資料顯示[1]，在昭和 43 年度內發生的學童安全事故約 50 萬件，其中有 142 件造成死亡，133 件造成殘疾，另於昭和 41 年的統計資料中也顯示中學與小學在校園的建築物內受傷的比率達四成左右。因此，校園建築的安全與維護管理息息相關，然而校園安全不是不危切，只是還未受到相關單位的重視。

長久以來，市場上無論是公部門或是私部門，對於建築物的管理態度多半是『重新建

而輕維護』，而其中除了態度上的忽視外，預算資源分配的不足也是重要因素之一[2]；大學行政管理部門在面對日益增多的校舍維護需求下，若能藉由維護綜合指標的評估，則可將有限維護預算發揮其最大的效益。然而目前國內建築物的維護序位研究未見，僅部分水壩、橋樑與路面等基礎設施的維護優先序位或危險判定等相關研究，這與國內建築物的歷史尚淺可能有關，但是在先進較具歷史的都市或國家中，例如香港與英國，維護序位這類問題可能是建築物歷史普遍較久因此較為明顯，相對的在這方面的研究就比較重視。因此國內有必要針對優先序位的評估制定一參考基準，這也是本研究的主要目的。

## 參、文獻探討

在國際上有關建築維護優先序位的文獻如 Al-Majed 於 1998 曾提出有關公共建築物維護序位的參考基準，將 23 個評估因子區分成「管理面」與「執行面」兩個構面 (dimensions) [3]，Qiping Shen 等人於 1998 年文章中提到香港政府在建築管理部門施行的 CARE (Condition, Appraisal, Repair and Examination) 定期維護管理計畫，其評量優先序位的決定因子有：生命安全保護、可居住必要性、營運保持必要性、外觀與預防不必要的服務與設備等[4]。根據英國 DES(Department of Education and Science) The Architects and Building Group of the former 的報告中顯示，維護優先序位區分成三個等級，第一級為：需要立即維護、近期立法需要、住民的健康與安全確保、預防即將發生的危險或是活動斷層帶建築；第二級為：1 年內需要預防構造與服務的加速惡化，避免在未來付出更高的維護或更新成本；第三級為：在第一、二級中，時間上可延遲超過 1 年的待修部分，建築環境的維護，例如內部裝修、圍牆等 [5]。Holem 與 Shen 在 1994 年提出該研究在英格蘭與威爾斯地區專家對於建築維護優先序位共分成六個主要的標準(criteria)，分別為：Building Status(BS), Physical Condition(PC), Importance of Usage(IU), Effects on Users(EU), Effects on Fabrics(EF) and Effect on service provision(ESP) [6]。Igal M. Shohet 於 2003 年的發表期刊中表示，將維護序位區分成個別構成要素(individual component) Pn 與整個的建築效能指標 BPI (Building Performance Indicator) 兩個量測的尺度。前者的評量準則為：機能狀況、效能、使用健康狀況與預防維護；後者的評量基準為：以 0—100 的尺度評量 10 個建築的主要分類系統，Igal M. Shohet 提出的十個建築分類系統重要序位分別為：Structure, Interior finishing, Exterior envelope, Fire protection, Water and waste water, Elevators, Electrical system, Communications, HVAC and Medical gases[7]。但由於使用 AHP 進行成對比較的项目不宜過多，因此本研究的建築系統係將所有可能系統項目區分成四大部分。Shen, Oiping 於 1997 年的研究中表示，序位建議可以採用三個標準，分別為機能狀況、使用的重要性與對使用者的影響[8]。從上述相關於建築物維護優先序位評量的文獻回顧中，不難發現有很多屬於序位評量的共同因素，且無論是單件式的評估或是整棟建築物的評估，都是可以考量的評量設計方式。

## 肆、研究方法

主要指標架構先以文獻回顧、專家訪談後討出相關因子，再以焦點團體法釐定出問卷架構，專家訪談除了與學校建築管理方面的專家學者外，另外還選擇了建校較久的公立師範大學 1 所、綜合大學 3 所、科技大學 1 所，共計 5 所的營繕單位主管人員進行訪談。針對目前校舍營繕維護的序位判定是否有相關基準、維護預算資源的規劃使用情形、系統化程度，以及其他營繕管理的機制進行深入的了解。而焦點團體法的部分，則是以建校最久的國立台灣大學營繕組為主要施行對象，由陳德誠組長帶領該組各股股長，針對本研究指標架構的草案召開會議討論，並建議相關修正的內容與方向。

本研究擬將指標以量表的方式來設計，量表有時候是用來測量一項非常明確的行為或構念，但是有時候是用來測量較為總括或一般性的事物或現象[9]。測量一個構念時，該具體化或是概化到什麼程度，也是一個非常重要的議題。在社會科學的領域裡，一般的共識是：當變項與具體明確程度之間最趨近吻合時，變項之間彼此會有最強的相關[10]。因此在指標設計時，就必須儘可能的讓評量因子明確而不抽象，最好能以量化值或使用者感受量表的設計方式來處理，以求評量因子能與評估構念趨近於吻合。綜上所論，問卷設計以專家基本資料、序位因子確認、層級/因子權重調查與維護現況調查等四個部分為主要調查重點。調查對象的選擇上，因為針對學校建築維護序位與預算使用的決策這個部分，營繕組組長除了具實際決策權外，在考量維護序位與預算使用上也比較客觀與全面性，不會因為基層職能區分而有所偏頗各自專業意見的情形產生，因此問卷調查對象設定為國內 60 所公立大學院校（包含 7 所軍事學校）營繕組組長，採全部普查方式進行問卷調查，寄出 60 份問卷，回收 58 份（回覆率達 96.6%）。

因子確認分析中的因子結構分三層，合計共 10 個群組需要分析，以 Likert Scale 作為問題的評定尺度（rating scales）。Likert Scale 主要強調單一向度性，確定所有題目都在測量同一件事情，並以正向題「非常同意」、「同意」、「不確定」、「不同意」與「非常不同意」分別以代表分數 5、4、3、2 及 1 來計分（或是 4—0 分），負向題則須注意代表分數的轉置。在量表設計規劃中當 SMI 的單一因子的總平均分數  $\geq 3$  分時，表示該評量項目為可『接受』之因子；反之，當單一因子總平均得分數  $< 3$  分時，則表示該評量項目應視為『拒絕』之因子，不宜納入原設計的指標評量表中。

維護綜合指標的設計從構念的形成、評估對象的選定與調查、決定選樣方式、問卷設計、預測與檢測外，還針對各層評量因子的權重量測，擬以 Thomas L. Saaty（匹茲堡大學教授）於 1971 年發展出來的層級分析程序法（Analytic Hierarchy Process, AHP）進行分析，進而求出本研究指標各層與各因子間的相對的權重。因子權重分析共分三層，需分析 10 個群組。權重分析擬採用 Saaty 所發展出的『層級分析程序法（Analytic Hierarchy Process; AHP）』進行分析，而分析的主要內容如下[11]：

- 1.各群組之「成偶比對矩陣」 $\Rightarrow$  各群組之「特徵向量」（意即因子權重）
- 2.各群組內之一致性比率檢測（consistency ratio; CR）；CR  $< 0.1$  時，表示一致性可被接受。

$$CR = CI \text{ (consistency index)} / RI \text{ (random index)}$$

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$$

$\lambda_{\max}$ ：成偶比對矩陣乘以特徵向量矩陣，會得到一個新的向量；這個向量的第一個數除以特徵向量的第一個數，第二個數除以特徵向量的第二個數...餘類推，將結果相加取算數平均數即可求得  $\lambda_{\max}$ 。

n：矩陣中因數的個數，即矩陣的階數（order）

3.根據 Dak Ridge National Laboratory 與 Wharton School 進行研究，評估尺度 1-9 所產生的正倒值矩陣，在不同的階數下，產生不同的 CI 值，稱為隨機指標(RI)，隨機指標表如下：

表 1 隨機指標表

階數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.58

## 伍、結果與討論

經調查與分析後，學校建築維護綜合指標由「緊急程度」、「健康程度」與「經濟程度」等三個主要次指標組成，第三層因子的李克特分數值除了經濟程度項下的「改善頻率」為 2.84 分建議予以刪除外，其餘的因子分數在 3.16~4.81（普通=3 分，同意=4 分，非常同意=5 分）之間，這些為經調查後可接受的因子，因此最底層評估因子修正為 15 個。維護序位為避免營繕人員過度主觀的判定，在因子設計時需一併考量維護申請者或是建築物管理人的感受量測值。本研究設計屬於學校建築的維護綜合指標，其架構分為三層：主要由緊急程度 UI(Urgent Index)、健康程度 CI(Condition Index)與經濟程度 EI(Economical Index)等 3 個第一層的次指標組成，第二層則由必要性程度、影響性程度、老化程度、機能程度、價量程度與績效程度等 6 個構面組成，最後底層（第三層）的施測評量因子則有 15 個，可參見表 2 所示。整體學校建築維護綜合指標的滿分為  $100 = UI + CI + EI$ ，指標分數越高，表示維護序位越高，越優先處理。

- 1.第一層：由緊急程度 UI、健康程度 CI 與經濟程度 EI 三個次指標共同組成，三個次指標的值和為 100，第一層指標量值優先處理定義為：越緊急、越不健康與越具經濟性時則越優先處理。
- 2.第二層：由必要性程度 UI-1、影響性程度 UI-2、老化程度 CI-1、機能程度 CI-2、價量程度 EI-1 與績效程度 EI-2 等六個構面共同組成。
  - (1)  $UI*100\% = UI-1 + UI-2$
  - (2)  $CI*100\% = CI-1 + CI-2$
  - (3)  $EI*100\% = EI-1 + EI-2$
 第二層指標量值優先處理定義為：必要性越高、影響性越高、老化程度越大、機能越差、價量程度越低與績效程度越好時則越優先處理。
- 3.第三層：由使用必要程度、改善必要程度、時間維持程度、個人影響程度、公共影響程度、屋齡/壽齡、外觀狀況、材料劣化程度、主體結構機能、隔間裝修機能、電氣空調監控機能、給排水衛生消防機能、改善價格比率、維護管理績效、使用績效等 15 個底層因子共同組成。

- (1)  $UI-1*100\%$  = 使用必要程度 + 改善必要程度 + 時間維持程度為
- (2)  $UI-2*100\%$  = 個人影響程度 + 公共影響程度
- (3)  $CI-1*100\%$  = 屋齡/壽齡 + 外觀狀況 + 材料劣化程
- (4)  $CI-2*100\%$  = 主體結構機能 + 隔間裝修機能 + 電氣空調監控機能 + 給排水衛生消防機能
- (5)  $EI-1*100\%$  = 改善價格比率
- (6)  $EI-2*100\%$  = 維護管理績效 + 使用績效

第三層指標量值優先處理定義為：使用必要程度越高、改善必要程度越高、可維持時間越短、個人影響越大、公共影響越大、屋齡/壽齡越高、外觀狀況越差、材料劣化程度越高、主體結構機能越差、隔間裝修機能越差、電氣空調監控機能越差、給排水衛生機能越差、改善價格比率越低、管理績效越好、使用效益越高時則越優先處理，可參見表 1。

表 2 學校建築維護綜合指標架構說明

說明：(權重分數)

主指標	第一層 (次指標)	第二層	第三層	因子值優先狀況
學校建築 維護綜合 指標 (100)	緊急程度 UI Urgent Index (68.6)	必要性程度 UI-1 (44.4)	UI-1-1 使用必要程度 (20.1)	UI-1-1▲越優先
			UI-1-2 改善必要程度 (15.5)	UI-1-2▲越優先
			UI-1-3 時間維持程度 (8.8)	UI-1-3▼越優先
		影響性程度 UI-2 (24.2)	UI-2-1 個人影響程度 (9.2)	UI-2-1▲越優先
			UI-2-2 公共影響程度 (15.0)	UI-2-2▲越優先
			老化程度 CI-1 (10.2)	CI-1-1 屋齡/壽齡 (2.0)
	CI-1-2 外觀狀況 (2.6)	CI-1-2▼越優先		
	CI-1-3 材料劣化程度 (5.6)	CI-1-3▼越優先		
	機能程度 CI-2 (11.0)	CI-2-1 主體結構機能 (5.9)		CI-2-1▼越優先
		CI-2-2 隔間裝修機能 (1.0)	CI-2-2▼越優先	
		CI-2-3 電氣空調監控機能 (2.1)	CI-2-3▼越優先	
		CI-2-4 給排水衛生消防機能 (2.0)	CI-2-4▼越優先	
	經濟程度 EI Economic al Index (10.2)	價量程度 EI-1 (4.4)	EI-1-1 改善價格比率 (4.4)	EI-1-1▼越優先
			績效程度 EI-2 (5.8)	EI-2-1 維護管理績效 (2.8)
		EI-2-2 使用績效 (3.0)		EI-2-2▲越優先

資料來源：本研究擬定

維護綜合指標的組成構面與因子，會因為評估對象的不同而產生某些程度上的差異性，但其中當然也不乏諸多共通性的原則，例如安全性、機能性或緊急性等考量層面。另外針對因子權重的部分也有著相同的情況，例如：公立學校與私立學校在各因子的重視程

度上，可能就會因為管理背景與條件的不同而產生差異。因此雖然序位評估對象皆為建築物，但因使用類型、族群背景條件的不同，將可能導致序位特性的差異，建議異質性建築群體不建議直接引用其他異質類型建築的序位評估架構、因子、權重，甚至於是量測方式。

在經專家訪談與焦點團體的探討程序後，發現除了生命安全危害、機能性、公平性、資源使用效益、使用者影響與建築物老舊程度等客觀、理性的評量因子外，校方與高層主管對校舍維護的重視程度與心態也是另一個關鍵。另一個有趣的發現是，營繕人員因維護預算資源不足而來自於使用者之壓力，也因為各校發展現況與校方管理態度的不同而有所差異，當學校發展的越快速、維護預算受到排擠就越嚴重，因此導致使用者需求無法滿足的批評壓力就越大。再者校方管理越重視教師與使用單位意見的學校，相對的也就是以客戶維護服務管理導向概念的學校，營繕單位對於校舍維護管理的壓力就較大。

學校建築維護綜合指標的建立，可協助大學院校營繕管理單位將有限資源做較具效益、合理與客觀的規劃運用。此外，相同的建築管理模式如果將尺度放大來看時，例如一個地方政府或是中央層級的部會，當其面對廣大轄下的公共建築物群體時，如何將有限的維護預算資源進行合理支用的序位分配，兼顧到財政規劃、公共安全與國家資產管理，是政府部門必須面對的一項重大挑戰，此時本研究指標的設計與評估模式可類比參考於其他建築物維護序位管理基準的設計上。

## 陸、參考文獻

- [1] 飯塚裕，建物の維持管理，鹿島出版社，第六刷，1997.
- [2] Chih-yuan Chang et al., 2004, "Agent Mechanism Applied to Processes of Small-Scale Maintenances in School Buildings", ICCCBE-X, Bauhaus- Universität Weimar, Germany.
- [3] Al-Majed, Mohammed Hassen Yousef, 1998, *Priority-rating of public building maintenance work in Saudi Arabia*, Thesis, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Saudi Arabia.
- [4] Oiping Shen, Kak-keung Lo and Qian Wang, 1998, "Priority setting in maintenance management: a method multi-attribute approach using analytic hierarchy process", *Construction Management and Economics*, 16, 693-702.
- [5] DES, 1985, *Maintenance and Renewal in Educational Buildings—Needs and Priorities*, Architects and Building Group, Department of Education & Science, London, Design Note 40.
- [6] Holmes, R. and Shen, Q., 1994, "An analysis of maintenance prioritization practice in local authorities", in the *10<sup>th</sup> ARCOM Annual Conference*, Loughborough University of Technology, Leicestershire, UK, 14-16 September 1994, pp.117-26.
- [7] Igal M. Shohet, 2003, "Building evaluation methodology for setting maintenance priorities in hospital building", *Construction Management and Economics*, 21, 681-692.
- [8] Oiping Shen, 1997, "A comparative study of priority setting methods for planned maintenance of public building", *Facilities*, Bradford: Dec 1997, Vol. 15, Iss. 12-13; pg.331.
- [9] Robert F. Devellis, 1991, *Scale Development Theory and Applications*, Stage Publications.

[10] Ajzen, I., & Fishbein, M., 1980, *Understanding attitudes and predicting behavior*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

[11] Saaty, T.L., 1990, *The Analytic Hierarchy Process-Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, RWS Publications, University of Pittsburgh.

## 柒、計畫成果自評

本研究內容完全符合原先申請的研究內容與目的，學校建築維護綜合指標 SMI 包含了「緊急程度」、「健康程度」與「經濟程度」等三個主要次指標，三個次指標分別在校舍維護管理的決策上具有一定程度的參考意義與價值。本研究也將評定校舍緊不緊急、健不健康或經不經濟的考量因子一一列出，可提供各校營繕主管或校舍管理人員作為評估建築物狀態的基準因子。在學術與應用領域上，本研究結果除了具備在學術上首建國內有關校舍維護序位指標的貢獻外，未來亦具有朝應用領域發展的價值，但由於經費、人力與時間的限制，也期待未來能將此一研究的成果再經補充調查後，彙整成文投稿於相關學術性期刊。

## 捌、附錄（無）