



國立台灣科技大學  
營建工程系  
博士學位論文

---

台灣校舍耐震評估與補強資料庫之資料探勘

Data Mining on The Database for Seismic Assessment and  
Retrofit Data of School Buildings in Taiwan

研究 生：高偉格  
學 號：D9505501

指導教授：陳鴻銘博士

中華民國一零三年十月十四日





# 博士學位論文指導教授推薦書



D9505501

本校 建築工程系 高偉格(KAO, WEI-KO) 君

所提之論文：

台灣校舍耐震評估與補強資料庫之資料探勘

係由本人指導撰述，同意提付審查。

指導教授：陳鴻銘

指導教授 陳鴻銘

103年12月1日





# 博士學位考試委員審定書



D9505501

指導教授：陳鴻銘

本校 營建工程系 高偉格 君

所提之論文：

台灣校舍耐震評估與補強資料庫之資料探勘

經本委員會審定通過，特此證明。

學校考試委員會

委

員：

謝有賢

黃世建

李立華

謝佑明

邱建國

陳鴻銘

召集人：

謝有賢

學程主任：

黃永龍

系主任（所長）：

中華民國 103 年 12 月 1 日



# 台灣校舍耐震評估與補強資料庫之資料探勘

學 生：高偉格

指 導 教 授：陳鴻銘博士

## 中文摘要

台灣國家實驗研究院地震工程研究中心（國震中心）在九二一大地震後，與教育部合作執行「加速國中小老舊校舍及相關設備補強整建計畫」等計畫，評估全台灣的各級學校校舍之耐震能力，由於在這些計畫執行的過程中產生了大量的評估與調查資料，因此國震中心便建立了一個校舍耐震能力資料庫來收集各種相關的資料，收集了包括校舍的各種設計參數、材料強度、校舍現況及年齡、教師的評估與補強建議方案、實際補強的金額與補強方法等，資料涵蓋非常多元。此一資料庫所收集的校舍資料數量龐大，故除了當初設計的目的之外，應該還潛藏有其他類型的有用知識，但是難以由人工直接判斷取得，而資料探勘（Data Mining）就是用來分析這種數量龐大的資料，從中找出有用的潛藏知識的相關技術的統稱，本研究之目的即為利用資料探勘技術來發掘潛藏於此校舍耐震資料庫中的知識，從資料探勘的四種主要分析方法：回歸、分類、分群、關聯出發，分別探討各種方法在此資料庫中有何可能的分析方向，有哪些可能的潛藏知識，並進行分析，最後得到了三個有用且可靠度足夠的關係模型，分別為校舍資訊與耐震能力之關係模型、校舍資訊與破壞構件之關係模型以及校舍資訊與補強經費之關係模型。



# **Data Mining on The Database for Seismic Assessment and Retrofit Data of School Buildings in Taiwan**

Student: Kao, Wei-Ko

Advisor: Dr. Hung-Ming Cheng

## **ABSTRACT**

After the Jiji eqrthquake at Taiwan. Ministry of Education work together with National Center for Research on Earthquake Engineering(NCREE) on a project to improve aseismic ability of every level of schools. During the project process, lots of survey and evaluation data were collected including the geometry design parameters, strength of materials, age and status of buildings, evaluation results, retrofit plans ..etc. The collected data were stored in a database called school aseismic database. The amount of data are huge. It should contain hidden knowledge which is very hard to get just by human brain. Data Mining is a subfield of computer science. The goal of data mining is to discover patterns in an easy to understand form. The data mining technologies are artificial intelligence, machine learning, statistics and database system. The purpose of this research is using data mining technology to discover hidden knowledge from school aseismic database. Nased on four main data mining category: regression, classification, clustering and association rules. We reasearch on the characteristic of these four main category and find knowledge candidates. After the mining and analysis. Three useful and reliable model were discovered: “Model of School Building Geometry Parameter and Aseismic Ability”, “Model of School Building Geometry Parameter and Major Crack Component” and “Model of School Building Geometry Parameter and Retrofit Cost”.



# 誌謝

感謝恩師 陳鴻銘教授於研究所其間的悉心指導與諄諄教誨，使學生得以順利完成博士研究，其間恩師不只對於本人的研究方向、論文架構給予多方的建議與指導，也對學生待人處事，人生方向等給予多方的啟迪與匡正，使人獲益匪淺，受用無窮，於此謹致上最高之敬意與謝忱。

也要感謝國震中心的黃世建老師、鍾立來老師、葉勇凱博士、簡文郁博士，在校舍耐震資料庫的建置期間以及研究期間，所給予的多方協助和指導。

研究期間，感謝學長禹志、宜峰、卓彥，學弟權鍵、樸豪、在研究上之互相切磋與幫助、忠憲在研究上的協助，以及研究期間的鼓勵與陪伴。

最後要感謝我的父母、兄長多年來的支持與付出以及女友宜萱的時時督促。也感謝所有關心我的親朋好友，在博士研究期間所給予的支持、關切與鼓勵，在此致上最深的謝意。





# 目 錄

論文摘要 . . . . .	I
Abstract . . . . .	III
誌謝 . . . . .	V
目錄 . . . . .	VII
圖目錄 . . . . .	XI
表目錄 . . . . .	XIII
符號說明 . . . . .	XV
1 緒論 . . . . .	1
1.1 動機與目的 . . . . .	1
1.2 研究方法 . . . . .	3
1.3 論文架構 . . . . .	6
2 相關研究 . . . . .	7
2.1 應用關聯式資料庫於營建工程相關領域之研究 . . . . .	7
2.2 資料探勘於營建工程領域之研究 . . . . .	8
2.3 校舍耐震資料庫與資料探勘之研究 . . . . .	9
3 校舍耐震資料庫 . . . . .	13
3.1 典型校舍與非典型校舍 . . . . .	13
3.2 資料收集範圍 . . . . .	14
3.2.1 初步評估 . . . . .	15

3.2.2 詳細評估	19
3.2.3 補強設計與竣工資料	22
3.3 資料庫結構	23
4 資料探勘與探勘目標分析	25
4.1 資料前處理方法	28
4.2 資料探勘方法	30
4.2.1 迴歸方法	30
4.2.2 分類方法	39
4.2.3 分群方法	40
4.3 探勘結果驗證方法與指標	41
4.3.1 驗證方法	41
4.3.2 結果指標	42
4.4 探勘目標分析	45
5 校舍資訊與耐震能力之關係模型	49
5.1 耐震能力是否足夠與校舍設計之關係模型	50
5.1.1 資料前處理	50
5.1.2 資料探勘與結果	54
5.2 耐震指標與校舍設計之關係模型	57
5.2.1 資料前處理	58
5.2.2 資料探勘	60
5.2.3 結果與驗證	62

5.3 耐震需求比與校舍設計之關係模型 . . . . .	64
5.3.1 資料前處理 . . . . .	65
5.3.2 資料探勘 . . . . .	68
5.3.3 結果 . . . . .	73
6 校舍資訊與構件破壞情形之關係模型 . . . . .	77
6.1 資料前處理 . . . . .	77
6.2 資料探勘 . . . . .	81
6.3 結果 . . . . .	82
7 校舍資訊與補強經費之關係模型 . . . . .	85
7.1 資料前處理 . . . . .	87
7.2 資料探勘 . . . . .	92
7.3 結果 . . . . .	93
8 結論與未來展望 . . . . .	97
8.1 結論 . . . . .	97
8.2 未來展望 . . . . .	99
參考文獻 . . . . .	101
附錄一：典型校舍初步評估表 . . . . .	109
附錄二：典型校舍詳細評估表 . . . . .	111
附錄三：典型校舍補強設計表 . . . . .	117
附錄四：竣工資料上傳表 . . . . .	131



X

# 圖 目 錄

圖 3.1 典型校舍	14
圖 3.2 評估流程	16
圖 3.3 結構物容量震譜計算流程圖	20
圖 3.4 結構物性能點計算流程圖	21
圖 3.5 校舍耐震資料庫實體關係圖	23
圖 4.1 CRISP-DM 流程圖 (c)Kenneth Jensen, CC BY-SA 3.0	26
圖 4.2 主成分分析原理	29
圖 4.3 類神經網路結構圖	32
圖 4.4 GP 運算樹結構示意圖	34
圖 4.5 WGP 運算樹結構示意圖	35
圖 4.6 GP 系統之單位元素	36
圖 4.7 決策樹示意圖	38
圖 4.8 SVM 示意圖	39
圖 4.9 知識挖掘規劃	45
圖 5.1 SPSS Modeler 探勘「校舍是否需要補強」之流程設計	55
圖 5.2 SPSS Modeler 建立校舍群集之流程設計	59
圖 5.3 SPSS Modeler 建立 <i>Is</i> 關係模型之流程設計	60
圖 5.4 GLM 加 K-means 建立之 <i>Is</i> 關係模型預測值 vs 實際值	63

圖 5.5 四層 GP 運算樹形式之 CDR 關係模型 . . . . .	70
圖 5.6 四層 WGP 運算樹形式之 CDR 關係模型 . . . . .	71
圖 5.7 WGP 建立之 CDR 關係模型預測值 vs 實際值 . . . . .	71
圖 5.8 四層 WGP 運算樹形式之 $T_{adj}$ 值關係模型 . . . . .	73
圖 5.9 WGP 建立之 $T_{adj}$ 值關係模型預測值 vs 實際值 . . . . .	74
圖 6.1 構件破壞模型探勘流程 . . . . .	82
圖 7.1 補強經費模型探勘流程 . . . . .	93
圖 7.2 補強經費實際值 vs CHAID 模型預估值 . . . . .	95
圖 7.3 補強經費實際值 vs ANN 模型預估值 . . . . .	95
圖 8.1 評估流程與資料探勘模型 . . . . .	98



# 表 目 錄

表 5-1 一般工址或近斷層區域之工址設計水平譜加速度係數 . . . . .	52
表 5-2 「校舍是否需要補強」模型結果 . . . . .	55
表 5-3 校舍是否需要補強模型與 $Is$ 值之比較 . . . . .	56
表 5-4 耐震能力是否足夠類神經網路關係模型屬性重要度 . . . . .	57
表 5-5 $Is$ 關係模型之交叉驗證結果 . . . . .	62
表 5-6 $Is$ 關係模型之序列式分析結果 . . . . .	64
表 5-7 GP 系統模型 RMSE 結果 . . . . .	75
表 5-8 GP 系統屬性使用狀況 . . . . .	75
表 6-1 構件破壞模式關係模型結果 . . . . .	83
表 6-2 構件破壞模式關係模型屬性重要度 . . . . .	84
表 7-1 補強工程參考單價之計價方式 . . . . .	86
表 7-2 補強經費關係模型結果 . . . . .	93
表 7-3 補強經費關係模型結果（不分測試集） . . . . .	94
表 7-4 補強經費類神經網路關係模型屬性重要度 . . . . .	96



# 符 號 說 明

$A_f$	總樓地板面積
$A_C$	校舍破壞地表加速度
$A_D$	校舍所需承受之 475 年週期最大地震之地表加速度
$CDR$	耐震需求比
$C$	訓練模型時之懲罰值 (Cost) 參數
$\bar{C}$	WGP 決策樹中之常數端點
$C_E$	$Is$ 值轉換之 $A_C$ 等意義數值
$ClaAc$	一樓教室柱總斷面積 
$CorAc$	一樓走廊外柱總斷面積
$D\_isR$	校舍是否需要補強
$E$	基本耐震性能
$I$	用途係數
$InsAc$	一樓隔間柱總斷面積
$Is$	耐震指標
$K$	K-means 分群方法之初始群集數
$N$	資料總數
$NF$	校舍樓層數
$NI$	輸入參數的數量
$NL$	運算層的層數

$N_g$	需要最佳化的基因數量
$O$	偏移變數
$P_1$	樓層數，WGP 模型參數之一
$P_2$	鋼筋強度，WGP 模型參數之一
$P_3$	混凝土強度，WGP 模型參數之一
$P_4$	校舍長度，WGP 模型參數之一
$P_5$	校舍深度，WGP 模型參數之一
$P_6$	教室柱數量，WGP 模型參數之一
$P_7$	教室柱斷面積，WGP 模型參數之一
$P_8$	是否有走廊，WGP 模型參數之一
$P_9$	二樓樓地板面積，WGP 模型參數之一
$P_{10}$	總樓地板面積，WGP 模型參數之一
$P_{11}$	$S_{DS}$ ，校舍的震區設計水平譜加速度係數，WGP 模型參數之一
$P_{12}$	$S_{D1}$ ，一秒週期的設計譜加速度，WGP 模型參數之一
$P_{13}$	教室數量，WGP 模型參數之一
$P_{14}$	校舍建築物的跨距，WGP 模型參數之一
$R^2$	決定係數
$S_i$	第 $i$ 個輸入參數的重要度
$S_{aD}$	一般工址或近斷層區域之工址設計水平譜加速度係數
$T$	建築物基本振動週期
$T_{adj}$	$C_E$ 值修正因子

$T_0^D$	$S_{D1}/S_{DS}$
$T_{AC}$	柱等效強度
$T_{AW}$	牆等效強度
$W_{ij}$	類神經網路中第 $i$ 個輸入層單元與第 $j$ 個輸出層單元間之連結權重
$X_i$	所建構模型中第 $i$ 個輸入屬性，也可做為類神經網路中，輸入層第 $i$ 個處理單元之輸入值
$Y$	所建構模型中之輸出屬性
$Y_j$	類神經網路中輸出層第 $j$ 個處理單元之推論輸出值
$k$	 $k$ 群交叉驗證初始時，資料的分群數量
$k'$	Random subsampling 驗證方法中，隨機取樣並建立模型的次數
$net_j$	類神經網路中輸出層第 $j$ 個處理單元之集成函數
$q_1$	平面及立面對稱性，初步評估調整因子之一
$q_2$	軟弱層顯著性，初步評估調整因子之一
$q_3$	裂縫鏽蝕滲水等程度，初步評估調整因子之一
$q_4$	變形程度，初步評估調整因子之一
$q_5$	平面耐震性，初步評估調整因子之一
$q_6$	短柱嚴重性，初步評估調整因子之一
$w_i$	WGP 決策樹中，第 $i$ 條分支線上之權重
$x$	輸入屬性
$y$	輸出屬性預測值

$y_i$	第 $i$ 個輸出屬性預測值
$\hat{y}$	輸出屬性實際值
$\hat{y}_i$	第 $i$ 個輸出屬性實際值
$\alpha$	命中率的容許誤差
$\beta$	廣義線性模型中之斜率，也就是迴歸目標
$\epsilon$	SVM 訓練模型之設定參數
$\theta_j$	類神經網路中輸出層第 $j$ 個處理單元之閥值



# 第 1 章 緒論

## 1.1 動機與目的

中小學校舍是使用人數密度極高的建築，且在國家防災的規劃上，許多的學校都是災害發生時，用來收容與暫時安置災民的重要場所，因此其建築物之可靠度相當重要，應比一般建築物有更高的要求，然而一九九九年九月二十一日發生的南投集集大地震，造成台灣將近半數校舍受損，讓學校校舍耐震能力不足的隱憂浮現，根據統計，中小學遭到損壞者共計 656 所，約佔全國學校總數的五分之一，其中南投地區更是有多數的校舍半毀或全毀，所幸地震發生時間為半夜，校舍並未在使用時間，並沒有因為校舍的受損而造成學生的傷亡。

現在中小學學校校舍的耐震性不足其問題最主要在於有很大比例的校舍屋齡已經很大，建造時的建築規範對於耐震能力的要求以現今的建築法規來看已經顯的不足，二來老舊校舍也會因為長期的使用以及經過數次天災、地震的影響，而使的其可靠度下降，因此教育部國教司在集集大地震後，就開始並持續的與國家實驗研究院國家地震工程研究中心（國震中心、National Center for Research on Earthquake Engineering, NCREE）合作執行「加速國中小老舊校舍及相關設備補強整建計畫」，目的在找出所有耐震能力有疑慮的學校校舍，請專業人士來評估現有校舍建築的耐震能力，根據評估結果來判斷是否有安全疑慮需要補強，抑或是需要拆除重建，後續更執行了「加速高中職及國中小老舊校舍及相關設備補強整建計畫」，進一步拓展評估補強的範圍到更多的學校單位，這些相關的計畫在本研究則統稱為「校舍耐震能力補強計畫」。

現有結構非線性分析模擬技術之發展已經能掌握結構系統於地震力作用下之整體反應與其細部構件之行為，使的非線性分析成為評估結構耐震能力最為詳細可靠的方法，美國 FEMA-273 [1] 之規範已建議使用非線性推垮分析來評估結構物於不同程度地震力作用下之破壞形式與可靠度，然而非線性推垮分析非常的耗時且昂貴，因其分析之正確性仰賴完整且詳細的數值模型以及專業人士的操作與結

果判讀，模型的建立也同樣也是高度仰賴專業人力的耗時工作，要對全國所有校舍都進行專業的詳細評估實在是有所困難，且耗時長久，在地震威脅不會消失的情況下，要對全國所有的學校校舍都進行非線性推垮分析，實在是緩不濟急。

因此校舍耐震能力補強計畫是用三階段的篩選機制來快速的篩選出耐震能力有疑慮的校舍，針對挑選出來的校舍先詳細的評估其耐震能力並根據結果決定後續的處理，這個篩選流程的第一階段為全國中小學校校舍之普查與建檔，且同時調查校舍的基本資訊，第二階段則是初步評估，是委託各個地方的專業人士，如土木、結構技師、建築師等，到各學校透過國震中心所設計之初步評估表格，快速的推算出校舍的耐震能力參考值，藉以判斷該校舍是否有安全疑慮，如有安全疑慮則需要進入下一個階段的詳細評估流程。第三個階段是詳細評估，這個階段使用的評估方法就是非線性推垮分析，由專業人士去現地調查，建立出完整詳細且能反映現況的校舍數值模型，之後使用非線性推垮分析方法來模擬校舍受到地震力之行為，評估校舍的耐震能力，最後才根據評估結果決定校舍是否需要補強，如果需要補強，則進入到之後的補強流程，而耐震能力嚴重不足的校舍，則會建議拆除重建。

在這個計畫執行的過程中，四個不同階段的工作都會產生大量的校舍相關資料，例如初步評估會有校舍的基本結構參數：長度、深度、樓層數、梁柱之尺寸及數量、樓地板面積以及校舍現狀等等資料，詳細評估則會有更詳細的如材料強度、優先破壞的構件、性能點最小破壞地表加速度等等，後續的補強流程還會產生如補強工法、不同工法的補強量、補強經費等等，資料量龐大，因此國震中心便建置了一個校舍耐震資料庫，統一收集普查、評估到補強完成之間所產生的各種校舍資料，目前這個資料庫收集有全台灣兩萬多棟校舍的設計、評估與工程相關資料，其主要用途雖為輔助校舍耐震能力補強計畫，然而此一大量的資料，應當還有很多隱含於其中、難以由人工觀察判讀得到的隱含知識。

資料探勘 (data mining) 此一研究領域的發展是為了因應由於資料庫系統以及資料倉儲系統的發展、資料量的急遽成長以及越來越複雜的資料性質，因而越來越難從收集的資料中獲取有用的知識的情形。資料探勘的方法包括統計、人工智慧 (artificial intelligence)、機器學習 (machine learning)、模式識別 (pattern

recognition) 等，由前段敘述可以得知，校舍耐震資料庫內的資料量龐大，不只校舍數量多，收集的資料屬性也非常多樣，其中有隱含尚未為人知之知識的可能性非常高，但是難以直接由人工觀察取得，因此如果可以使用資料探勘技術，從其各種分析方法的特性出發，配合各種實務上的需求，應當可以從此資料庫中找出隱含的校舍建物知識。

然而資料探勘分析需要每筆資料都能夠用相同的形式，並且用固定數量且有限的資料屬性來描述資料實體的特性，對於建築物資料來說，不同的建築物，結構差異可能很大，沒有一個標準的形式可以只使用有限的資料屬性就描述所有的建築物，因此以往的研究均難以對大量的建築物資料進行資料探勘分析，不過校舍建築中，有很大的比例有相似的結構形式，這些校舍都為一字形，隔間為教室一間接著一間連著，外面有走廊，樓梯間、廁所通常在末端，樓層數不超過五層樓，有些校舍雖然非一字形，較為複雜可能是 L 字形或是凹字形，但是也可拆分為數個一字形形式的校舍，而由於有這些常見的形式，可以把校舍建築的資料屬性特徵化，用少量的資料屬性就可以正確的描述這種常見形式的校舍建築，資料屬性數量不會隨著建築物規模的擴大而增加，這樣的資料形式讓大量校舍建築物的資料探勘分析成為可能，而國震中心所建立的校舍耐震資料庫中收集的校舍資料即為使用這種形式來描述校舍設計參數之資料，因此本研究之研究目的即為基於校舍的建築形式以及已經收集大量校舍資料的校舍耐震資料庫，利用各種資料探勘方法來分析並尋找此一資料庫中，難以人工觀察判讀的隱含知識。

## 1.2 研究方法

本研究之研究方法可以分為三個階段，分別為分析規劃階段、資料探勘階段和結果驗證階段，分析規劃階段是本研究的第一個階段，主要的目標是分析彙整出本研究所要進行的資料探勘分析目標，也就是要將校舍耐震資料庫各種隱含知識的可能項目彙整出來，分析的依據有兩個，第一個分析依據是資料探勘方法的不同形式，Fayyad [2] 依照不同資料探勘技術之特性，分出迴歸、分類、分群、關聯四大類，而除了這四種資料探勘方法的形式及其特性外，另外一個依據就是現

有的校舍耐震資料庫中的資料以及目前的校舍耐震能以補強計畫流程。根據這些資料，大致可以將各種可能隱含在校舍耐震資料庫中之資料彙整出來，例如迴歸形式的可能取得知識包括了校舍耐震能力預測、校舍破壞模式預測、校舍補強經費預測等，分類形式的可能知識包括了校舍是否需要補強的預測，分群形式的知識則是校舍的類型歸類條件，關聯形式的可能知識則是校舍設計參數與其現狀的關連性。

第二階段則是根據假設的各種隱含知識和資料探勘規劃，實際進行資料探勘的分析和測試，這個階段的工作主要是資料探勘當中的資料前處理和挑選適合的方法建立模型，並根據模型訓練的輸出不斷的調整參數，直到模型的品質達到需求。資料前處理是資料探勘前，先行將輸入參數整理、篩選甚至轉換的過程，因為校舍耐震資料庫中的原始資料都是人工經由網路表單所輸入的，因此可能會存在有一些錯誤、不合理的資料，這些資料如果也做為模型訓練用的資料，則會影響到模型的品質，讓模型發展的方向有偏差，因此需要將這些資料過濾掉；而除了資料的過濾外，前處理還包括了資料屬性的數值轉換，例如將連續數值轉換為0 1 區間的數值，或是將數量級變化太大的數值取對數等，這些轉置的過程也會影響到產出模型的品質。

資料探勘的部分則包括了不同探勘方法的挑選，並且不同方法會有不同的訓練參數需要設定，例如分群方法當中的 K-mean 方法，雖然此一方法的設計讓整個行訓練的過程中，幾乎所有的過程都可以自動的進行並調整，但是還是有一個很重要的參數  $k$  代表初始的群集數量，是無法在 K-means 分群的方法中自動找出最佳的數值的，因此需要人工不斷調整這類參數，並配合調整前處理的過程，提升模型的品質。

最後的第三階段則是探勘結果的驗證和隱含知識的整理，模型結果的驗證主要是透過將資料分為訓練資料集和測試資料集兩群，先使用訓練資料集建立模型，然後再用測試資料集來驗證模型是否可靠，判斷的依據不同形式的資料探勘，會使用不同的驗證指標，其中迴歸形式的模型以決定係數為主要判斷依據，分類形式的模型以命中率做為主要的判斷依據。基於此一流程，本研究得到了三個有一定可靠度的校舍耐震資料庫的隱含知識，分別為：

- 校舍資訊與耐震能力之關係模型

- 校舍資訊與破壞構件之關係模型

- 校舍資訊與補強經費之關係模型

校舍耐震能力關係模型為本研究最主要的資料探勘目標，因為校舍耐震能力補強計畫當中，物理上最重要的資訊就是校舍的耐震能力，傳統上，如果要取得可靠的校舍耐震能力，需要由專業的技師來評估，其過程需要先到現場調查，根據調查的資訊建立完整的結構數值模型，並使用非線性推垮分析，其過程耗時且所費不貲，因此現在校舍耐震能力補強計畫是以分階段篩選的機制，先讓所有校舍進行一個較為簡單的初步評估，再根據初步評估的結果來決定哪些校舍的耐震能力可能比較不足夠，需要詳細的非線性分析，判斷其是否安全，接著才真的對這些校舍進行詳細的非線性分析與耐震能力評估，然而這種方法有個缺點是其初步的評估方法無法完全反映出校舍的耐震能力，可能有些校舍已經年代久遠造成耐震能力低落，卻無法在初步評估的結果中真實的反映出來，因此，如果有一個方法可以快速的得到更為可靠的評估數據，甚至可以當作詳細評估的參考，將可以大大的加速校舍耐震能力補強計畫的進行。

除了數值化的校舍耐震能力，本研究還建立一個模型，可以找出校舍受到地震力時，優先破壞的構件進行，這個資訊可以幫助對校舍進行耐震能力評估的專業技師能對目標的校舍弱點先有一些初步了解，不但可以協助詳細評估的進行，對於校舍補強設計的方式也有一定程度的幫助。

最後，由於校舍補強所需的經費龐大，因此校舍耐震能力補強計畫不可能在短期內就把所有耐震能力不足的校舍都完成補強，實務上會需要估算各個校舍補強所需的經費，排定預算，然後才知道不同預算年度能夠完成多少的校舍補強作業，因此校舍的補強經費在教育部的計畫每年度初期的規劃時，是一個非常重要的數字，傳統的經費預估方法是由過往的經驗、數據和所欲補強校舍的規模作為依據，經由公式所計算出來的，如果能夠建立一個關係模型，經由校舍的基本資料得到更為準確的補強經費推估值，那便可以大大的加速校舍耐震能力補強計畫

決策者的決策速度，提升決策品質，也可以讓計畫執行人員能更快的了解補強作業的規模。

### 1.3 論文架構

本論文共分為八章，各章內容分別介紹如下：

1. 緒論：說明本研究之動機及目的。
2. 相關研究：回顧與本研究相關之文獻。
3. 校舍耐震資料庫：介紹校舍耐震能力補強計畫之流程、校舍耐震資料庫之架構以及其所收集之資料內容。
4. 資料探勘與探勘目標分析：介紹資料探勘技術以及本研究使用到的各種演算法以及評估方法，並依據資料探勘之知識類型分析探勘目標。
5. 校舍資訊與耐震能力之關係模型：詳述本研究第一個使用資料探勘方法找到的隱含知識，校舍耐震能力與其設計參數間的關係模型。
6. 校舍資訊與構件破壞情形之關係模型：詳述使用資料探勘技術找出校舍現況、設計參屬等屬性與其遇到地震力時，可能先受力破壞構件之破壞模式的關係模型之方法與過程。
7. 校舍資訊與補強經費之關係模型：詳述使用資料探勘技術找出校舍現況、設計參數等屬性與其所需之補強經費間關係模型之方法與過程。
8. 結論與未來展望：結果探討與未來展望。

## 第 2 章 相關研究

本研究主要的目的是針對校舍耐震資料庫進行資料探勘之知識挖掘，此一資料庫中包括了針對所有受評校舍其評估所需調查收集之結構耐震相關資料，以關聯式資料庫做有效的維護與管理，並為這些資料提供條件查詢及重複取出運用的使用模式，在營建領域使用資料庫做為輔助工具已經有非常多的應用，而對使用資料探勘方法對這些資料挖掘知識之研究與應用也不在少數，近年來也有一些不同國家的校舍資料庫及其相關研究，故將與本研究相關之研究回顧整理如為三大類：應用關聯式資料庫於營建工程相關領域之研究、資料探勘於營建工程領域之研究以及校舍耐震資料庫與資料探勘之研究，以下各章節分別介紹之。

### 2.1 應用關聯式資料庫於營建工程相關領域之研究

營建工程相關之研究，有許多的研究資料室需要先經由調查、實驗等工作才能收集到，而這些資料實驗或調查所得之資料，如果數量龐大時，都會使用資料庫系統整理並儲存，在營建領域上已有多位學者建置其各自專門領域相關研究之資料庫，例如國內有張鉅輝 [3] 建置有混凝土橋梁耐震能力評估之資料庫系統；周武坤 [4] 建置有高雄都會區地下管線工程管理資料庫；侯竣棕 [5] 建置有南橫公路邊坡地工環境災害之資料庫等；蘇振綱 [6] 利用環境地質資料庫評估地理資訊系統計畫等。

國外也有許多營建工程相關的資料庫，如 Law, K. H. 等人 [7] 設計一通用於一般結構建築物之關聯式模型結構，此一模型結構可以表現一個結構建築物之各個構成元素以及其間之關係，不僅僅只有構成此一建築物基本的梁、柱、牆等，還包括內部隔間、窗戶、門等元素都可以使用此一模型結構儲存並表現相互的關係，而此模型結構也可以很容易的儲存進關聯式資料庫內，供後續之研究使用；Kim, C.-K. 與 Lee, S.-E. [8] 使用關聯式模型設計了一個稱為 MLG model 的資料庫結構，將不同構件中相同的資訊獨立出來，除了可增加資料庫儲存結構物資訊的效率，還可以將幾何設計以外之資訊也整合進資料庫。

而在營建領域相關之資料庫當中，數量最多的當屬紀錄材料、構件性質的資料庫了，如 Somo, S [9] 利用資料庫儲存大量 RC 梁之設計參數以及實驗結果，並利用這些設計參數以及不同的剪力容量計算方法計算出各梁可能的剪力容量，和實驗結果比較後找出較好之計算方法；Cuenca, E. 等人 [10] 收集了 215 根 RC 柱的基本參數，包括了鋼筋比、預力、樑斷面積與長度的比等，並且還分析這些參數與其剪力行為間的關係；Hodková 等人 [11] 則建置了名為 Envimat.cz 的線上結構建材資料庫，可以讓使用者在線上查詢各種不同建築材料的性質和對環境的影響，使用者也可以新增或編輯資料，讓資料庫內的資料品質能夠逐步提升；Lourenço 等人 [12] 則建置了一個資料庫收集了西班牙、葡萄牙和義大利境內 44 棟磚造古蹟教堂，各六個簡易耐震能力評估參考索引，這些索引的可靠性均有驗證過，使用的驗證資料是紐西蘭 2012 年 2 月 22 日的地震資料；Dat Duthinh 和 William P. Fritz [13] 先使用風洞試驗，將一個低層鋼結構的模型加上各種不同角度方向之風力，建立了一個資料庫收集試驗資料，並從中挑出鋼結構所受最大力矩的案例，和 ASCE 7-02 [14] 規範所建議之風力比較，結果設計出之結構只需要多出 3.6% 的鋼材，就可以增加對風力的抵抗能力達 30%。

## 2.2 資料探勘於營建工程領域之研究

資料探勘在營建工程領域也已經有相當多的應用，主要原因在於營建工程領域有很多非線性的問題，很適合使用資料探勘這種軟式運算的方法來解答，而其中最為被廣泛應用的當屬類神經網路了，Golafshani 等人 [15] 分析了上百根 GFRP 筋混凝土的介面連結強度，並用類神經網路和基因演算法建置出該強度與其設計參數間的關係模型，表現都非常好，也比 ACI [16] 規範的公式要來的準確；Arslan [17] 在土耳其收集了 256 棟四層或是七層樓高，符合當地耐震能力規範 TEC-2007 的 RC 建築物，挑選了 8 個關鍵屬性包括樓層數、混凝土強度、鋼筋強度、剪力牆比例、強柱弱樑形式、是否有短住等，並使用類神經網路建立了這些屬性與建築物受到側推力時的總位移量間之關係模型，接著使用 SAP 2000 所做之非線性分析結果比較；Mohammad 等人 [18] 則是探討地底隧道對地面建築物

造成的沈陷量，和使用有限元素分析方法得到的數值相比差距不大，並且提出了一個計算公式，根據公式內使用的參數也可以得知，建築物的沈陷量和隧道大小、與建築物的水平、垂直距離以及建築物的規模有相當明確的關係；Elshafey 等人 [19] 則使用類神經網路建立了一個混凝土表面裂縫間距的預測模型，並且也提出一個新的計算公式；Sarıdemir [20] 則是利用類神經網路來預測添加了砂石和高嶺土的混凝土抗壓強度；Bekir 和 Mustafa [21] 則使用類神經網路和橡膠粉混凝土其製成比例的資訊來預測其單位中和流動性；Ince [22] 則利用類神經網路來預測混凝土的斷裂參數（fracture parameter）。

除了類神經網路外，尚有許多其他的資料探勘演算法被應用在營建工程領域，例如張玉瑛 [23] 用支持向量機（Support Vector Machine, SVM）做為預測工具，其不需先提供充足的資訊範圍及預設任何的假設，且正確性不易受到資料量大小之限制，並於預測模型中納入影響經濟環境的變數，使得預測模式在經濟環境改變時，仍保有其正確性。研究結果發現，於有限的資料樣本中加入經濟環境的變數，藉由 SVM 所建立之模型，可作出與實際指數趨勢相當的預測結果，證明所採用的方法之適用性與正確性；而由於國際間匯率經常變動，仰賴進口建材的國家之供應商很可能會因為匯率的變動而蒙受巨大損失，因此 Chen 與 Lin [24] 也使用 SVM 做為工具，建立一個預測模型，可以建議供應商是否需要使用衍生性金融商品避險；Daniel 和 Moncef [25] 則將公寓大樓外殼的設計歸納為 9 個參數，並且使用基因演算法（Genetic Algorithm, GA）最佳化公寓大樓外殼的設計，藉以達到最少的能源消耗。Kaveh 等人 [26] 則是使用蟻群演算法（Ant Colony Optimization, ACO）來最佳化鋼結構的設計，盡量減少鋼材的使用但是能夠符合規範，結果在同樣條件下，使用 ACO 方法得到的設計比 GA 最佳化設計所使用的鋼材還要來的少許多。

## 2.3 校舍耐震資料庫與資料探勘之研究

近幾年也越來越多關於校舍建築物的資料收集和研究，以本研究所使用的校舍耐震資料庫來說，除本研究外尚有陳鴻銘與高偉格 [27] 利用耐震資料庫中的校

舍幾何設計參數，搭配另外一個結構構件模型資料庫，透過網頁介面就可以讓使用者快速的產生可用於非線性分析的校舍數值模型；鄭明淵等人 [28] 則結合支持向量機（SVM）以及快速混雜基因演算法（fmGA）發展一演化式支持向量機推論系統（ESIS），並使用這個系統建立典型校舍的性能目標地表加速度與校舍幾何參數間的關係模型，這些參數包括樓層數、總樓地板面積、各種牆斷面積、柱斷面積等。

除國內外，國外也有相關的研究，de Santoli 等人 [29] 建立了羅馬的學校校舍資料庫，而其主要目標在於分析現在的校舍能源效率，並研究如何補強耗能高的建築成為綠建築，減少能源的浪費；日本和台灣同處環太平洋地震帶，對於學校校舍受地震的災損分析也有相關研究，例如：SATO 和 MINAMI [30] 就針對 2001 年芸予地震對於日本廣島縣校舍所造成的損害進行了詳細的資料收集和分析。

Jafarzadeh 等人 [31] 針對建築物的補強經費預估為目標，收集了 158 棟學校校舍的補強計畫資料，收集的資料則是以能構件力補強經費預估模型為目標，收集每棟建築物影響耐震補強經費的 14 種屬性如下：

- |                 |            |
|-----------------|------------|
| • 總樓地板面積        | • 基礎形式     |
| • 樓層數           | • 結構形式     |
| • 屋齡            | • 非結構構件與設備 |
| • 載重（靜載重 + 活載重） | • 地震潛勢     |
| • 平面對稱性         | • 土壤形式     |
| • 垂直對稱性         | • 減載措施     |
| • 樓版形式          | • 耐震需求     |

這些屬性都是對於補強經費影響很高的屬性 [32]，是 Jafarzadeh 等人花了九個月的時間在伊朗逐步調查取得的，資料的可靠度非常高，而補強經費的部分

則還細分為結構補強經費（Seismic Retrofit Construction Cost, SRCC）、非結構補強經費（Non-construction Cost）和非直接經費（Indirect Cost）；Jafarzadeh 等人後續接著使用這些資料，建立了校舍的耐震能力補強經費的預測模型，分別使用了多元迴歸分析 [33] 和類神經網路 [34]，預測的目標則為補強結構經費淨值（Retrofit Net Construction Cost, RNCC）其為 Iran Construction Cost Index (ICCI) 所定義，RNCC 乘上九個調整因子後即為結構補強經費，其公式如下：

$$SRCC = RNCC \times \prod_{i=1}^9 (\text{Coefficient})_i \quad (2-1)$$

這九個調整因子包括了：間接成本、地理位置、樓層數、建築物高、機電設備更新、意外開銷、物價波動、計畫複雜度和基礎完整度，所以 RNCC 可以視為完全去除各種社會因素和不可抗力造成的經費變化，與其相關的參數就只剩下建築物結構、狀況等和結構強度直接相關的參數，非常適合做為耐震能力補強經費預測模型的預測目標，Jafarzadeh 等人所建立的校舍補強經費預估模型，表現最好的是使用類神經網路所建立的模型， $R^2$  可以達到 0.842，使用了 5 個參數，分別為總樓地板面積、樓層數、地震潛勢、土壤形式和結構形式，但是其測試集的表現較不好， $R^2$  只有 0.433；使用多元線性迴歸所建立的預測模型雖然表現較差，但其訓練集與測試集之差距較小，表現最好的一組屬性集之  $R^2$  為 0.710，使用到的屬性則為總樓地板面積、樓層數、單位面積載重、地震潛勢、土壤形式、平面對稱性、結構形式和是否有四面圍束磚牆等七個屬性，其測試集之  $R^2$  表現則與訓練集不相上下，可靠度較使用類神經網路所建立的預測模型要高。



## 第3章 校舍耐震資料庫

學校是人才培育的場所，也是緊急災難時，居民避難的主要地方，但台灣地區學校建築在每次大地震來襲時卻常常損壞非常嚴重，尤其是老舊校舍，因興建年代久遠，其設計所依據之規範較為老舊，耐震能力可能遠低於現今結構耐震安全上之要求，有鑑於此，教育部委託了國震中心執行了「加速國中小老舊校舍及相關設備補強整建計畫」及「加速高中職及國中小老舊校舍及相關設備補強整建計畫」等計畫，進行全國學校校舍之耐震能力評估與補強研究，這些計畫建立了校舍結構物的耐震能力評估補強機制及施行的流程與細節，並且已經對全國學校校舍耐震能力作了全面性的普查，篩選出耐震能力有疑慮之校舍，並儘速透過補強或拆除新建的手段來提昇校舍的耐震能力。而此計畫進行期間所產生之資料，均收集到一「校舍耐震資料庫」中，此一資料庫為國震中心為了校舍耐震能力補強作業相關計畫所設計並建置的，收集的資料包括了典型、非典型校舍，耐震能力補強計畫中不同階段的各種相關資料。



### 3.1 典型校舍與非典型校舍

我國之校舍建築有極大比例在校舍的結構形式、幾何尺寸等都有相似的結構，其平面配置多如圖 3.1 所示，這類校舍都為一字型的長形建築，教室一間接著一間排列，教室外有走廊，走廊外多有柱，且樓層數不超過五樓，這一種常見的校舍在教育部的耐震能力補強計畫中統稱為「典型校舍」，典型校舍在受到地震力作用時且造成破壞，破壞的樓層通常都在一樓，而且是沿著一字形的長邊的方向破壞。由於典型校舍通常的破壞模式為沿著校舍的長向破壞，也就是走廊的方向，因此側推分析所施加的側力也就是沿著長向施加，而長向也被稱為 X 向，另外一個方向，也就一字形較短的那一邊，則是 Y 向。

典型校舍因為其結構形式單純，只需要少量的屬性便可以完整的描述建築物的結構，不用完整詳細的記錄所有的樑柱等構件之個別尺寸、強度與位置，只需要紀錄少量的資訊就可以建立出分析用的數值模型，因屬性數量較少，其校舍資

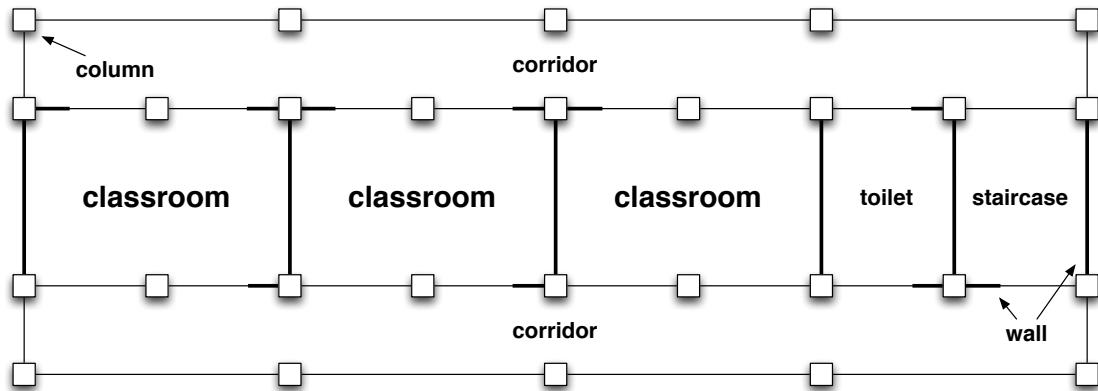


圖 3.1: 典型校舍

料很適合進行各種資料分析的研究，其數量在本國所有校舍當中所佔比例也相當高，而不符合典型校舍特性之校舍，則都歸類為非典型校舍，非典型校舍可能為形狀特殊或是結構規模較大，無法只用少量的資訊就還原出該校舍之結構的數值模型，因此評估的過程非常仰賴評估人員之專業能力，而校舍耐震資料庫對於非典型校舍則主要在記錄結構物兩個主要方向的主要構件的尺寸、分佈、數量等資訊，無法詳實的反映出其特殊的設計，也因此本研究之資料探勘均針對典型校舍進行資料挖掘。

## 3.2 資料收集範圍

校舍的耐震能力補強流程如圖 3.2 所示。可以分為四個大步驟，分別是校舍普查、初步評估、詳細評估、補強設計與施工，校舍普查主要之目的為全國所有校舍之基本資料建檔，並簡單調查一些主要的設計參數，是由國震中心主導進行，其性質類似於人口普查，是整個計畫中非常重要的基礎建設；接著第二個步驟的初步評估則是根據於校舍普查之基礎，對校舍進行初步評估 (preliminary evaluation)，其方法是基於結構物之設計及現況填寫評估表，所填寫資料再依評估公式計算出結構物耐震能力之評分等級或指數，此類方法之評估速度快，但是結果可靠度較低，主要的目的是對大量結構物之耐震能力作排序與篩選，這類型評估方法所使用之評估表與評估公式通常是使用已經收集的其他結構物資訊，用

數值統計的方法迴歸，或是根據基本的結構耐震能力供需比以及專業人士相關的經驗設計得到的，其所適用之結構物類型也有所限制，評估表並不能套用到各種類型的結構物上；接著經過初步評估後，對於耐震能力有疑慮之校舍，需要進一步進行詳細評估（detailed evaluation），此類方法為對結構物進行詳細的結構耐震分析，通常是使用結構分析程式以電腦數值模擬結構物遇到地震時的非線性行為，並根據模擬結果為依據，準確詳細的檢驗評估出結構物的耐震能力；詳細評估之後，才根據技師的專業判斷，對於耐震能力堪慮之校舍，依嚴重程度，由工程專業人員，進行結構耐震能力補強之詳細評估，倘尚符合補強之經濟效益，即進一步補強其耐震能力之設計，若不符合補強之經濟效益，則將之列為拆除重建。

詳細評估方法的可靠度較高，但是花費相當昂貴，所需要的時間也比使用評估表要來的久很多，由於中小學校舍數量龐大，若直接大量投入人力物力，可能造成大量之資源浪費，也無法快速的鎖定耐震能力不足之校舍建築，為求有效達成此一校舍耐震評估標準需求以及基於上述標準耐震評估程序之精神，國震中心才提出先經由初步評估方法進行篩選的分段式評估方法，將校舍照其結構之耐震能力排序，以縮小問題之規模，提升整體校舍耐震能力評估作業的效率。

在此過程中會產生的校舍資料最重要的為：初步評估、詳細評估、補強設計、補強工程等四組資料，以下分別介紹四組資料之背景原理及所收集的資訊。

### 3.2.1 初步評估

詳細評估的原理是分別求取結構物對於地震的需求（demand）和可以承受地震的能力（capacity），然後取其比值，也就是耐震需求比（Capacity Demant Ratio，CDR），如果耐震需求比大於 1 則表示建築物的耐震能力足夠，足以承受未來可能發生的大地震。而初步評估雖然是簡化的評估方法，但其原理也和詳細評估相同，是以求得結構物的耐震需求以及耐震能力的比值為目標，其中，耐震需求的部分，是以校舍所在地所可能發生的 475 年週期之最大地震力作為其所需能夠承受之地震。至於耐震能力是根據結構物的載重元件尺寸例如牆、柱之斷面積，以及國震中心歸納之公式所推算得到之乘載元件等效強度，求得之值即為校舍之

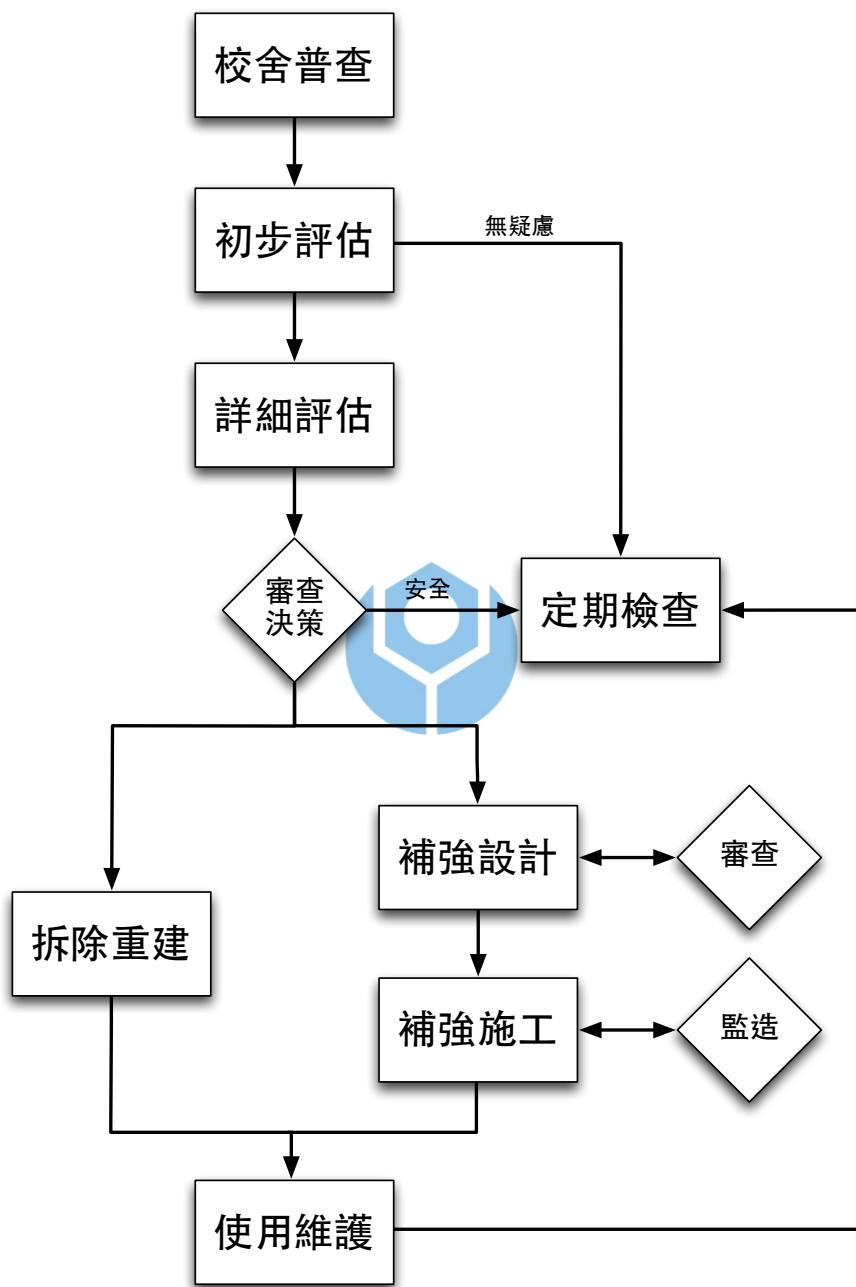


圖 3.2: 評估流程

基本耐震性能  $E$ ，其公式為：

$$E = \frac{0.354NF \times (T_{AC} \times T_{AW})}{(-1 + 6NF) \times (0.4S_{aD}) \times Af} \quad (3-1)$$

其中， $NF$  為樓層數、 $T_{AC}$  為柱等效強度、 $T_{AW}$  為牆等效強度、 $Af$  為總樓地板面積、 $S_{aD}$  為一般工址或近斷層區域之工址設計水平譜加速度係數。求得  $E$  後，還要根據校舍現況及專業人士判斷做調整，調整的方法則是使用國震中心先歸納整理出的調整因子 [35]，總共有六項：

**平面及立面對稱性 ( $q_1$ )** 參考建築耐震設計規範之規定，若結構及其側向力抵抗系統的平面幾何形狀具有凹角，超過凹角部分於兩水平方向之結構尺寸同時大於沿該方向結構總長之 15% 以上者，表示該結構具有凹角性，則耐震能力折減為 0.95 倍；若該結構具有凹角，但超過凹角部分於任一方向之結構尺寸不足沿該方向結構總長之 15%，且無其他平面及立面不規則之情況，則耐震能力不予折減；若該結構不具任何凹角，且無其他平面及立面不規則之情況，則耐震能力增加為 1.05 倍。

**軟弱層顯著性 ( $q_2$ )** 若結構物之一樓因為使用性等考量，而使得二樓以上 RC 牆或磚牆於一樓中斷，致使一樓之極限層剪力強度與勁度降低，將造成地震力作用時變形集中，以致於韌性用盡，建築物就發生軟弱層破壞。故本表格依據牆體中斷的程度折減其對應之耐震能力，若 2/3 以上牆體中斷，則耐震能力折減為 0.8 倍；若 1/3 至 2/3 之牆體中斷，則耐震能力折減為 0.9 倍；若 1/3 以下之牆體中斷，則不折減其耐震能力。

**裂縫鏽蝕滲水等程度 ( $q_3$ )** 鋼筋混凝土構材若具有裂縫，代表混凝土品質不良或強度不足；保護層不足等因素使得鋼筋鏽蝕膨脹，鋼筋鏽蝕將會降低構材之強度，鋼筋鏽蝕膨脹亦會導致混凝土剝落，並加速鋼筋鏽蝕的程度，這些因素都會影響結構物的耐震安全，故以結構物整體之裂縫鏽蝕滲水等程度作為調整項目。若稍有裂縫鏽蝕滲水等情形，則耐震能力折減為 0.95 倍；若裂縫鏽蝕滲水等情形較為嚴重，則耐震能力折減為 0.9 倍；若無，則不折減其

耐震能力。

**變形程度 (q<sub>4</sub>)** 結構體基礎若有明顯的差異沉陷，將會造成部分構材承受額外的載重，甚至造成嚴重變形，使其耐震能力降低。故若結構體有明顯的變形程度，則耐震能力折減為 0.9 倍；若無，則不折減其耐震能力。

**平面耐震性 (q<sub>5</sub>)** 典型的校舍建築多為數間並排相連，而呈現一字形的平面配置，其走廊形式為了滿足學生活動空間之要求，多將廊柱省略而成為懸臂走廊，故這類校舍結構系統之贅餘度較少。校舍之結構系統贅餘度越多，則於地震時越能發揮韌性與力量重分配的能力，將有助於減少地震時倒塌之可能性，故本研究將典型的校舍建築簡單分為三大類，一為廊外無柱或其他，其耐震能力不予調整；一為單走廊且廊外有柱或中間走廊，其結構系統無懸臂走廊之形式且贅餘度較多，故其耐震能力增加為 1.1 倍；最後一種為雙走廊且廊外有柱，其結構系統贅餘度最多，故其耐震能力增加為 1.2 倍。

**短柱嚴重性 (q<sub>6</sub>)** 一般老舊校舍之柱箍筋間距多為 20cm 至 30cm 左右，其剪力強度不高，且老舊校舍於設計時假設為純梁柱系統，並沒有考慮教室窗台及樓梯廁所等牆壁開氣窗所造成之短柱效應，然而這種短柱效應將會使得剪力容量不足之柱於地震時發生非預期之剪力破壞，導致結構韌性不足，若該校舍有過多之柱受到短柱效應之影響，將易造成校舍瞬間倒塌。故若校舍因窗台或氣窗造成短柱現象之柱根數達到全部柱根數之 50% 以上，則耐震能力折減為 0.9 倍，若不足 50% 則不予折減其耐震能力。值得注意的是，短柱嚴重性具有方向性，故評估時只需考慮評估方向之短柱比率是否超過一半即可，另一方向開窗等因素造成之短柱效應不需考慮。

最後乘上調整因子後得到之耐震指標為  $I_s$ ，其公式如下：

$$I_s = E \times \prod_{i=1}^6 q_i \quad (3-2)$$

$I_s$  是一個百分制系統，以 80 作為耐震能力堪慮之標準，若校舍調查所得之耐震指標  $I_s$  值低於 80 分，表示其耐震能力頗為不足，確有耐震疑慮，若有相

當於 475 年週期發生一次之最大地震時，將有嚴重損壞或倒塌之疑慮，應最優先進行耐震能力之補強設計與施工；耐震指標  $Is$  值介於 80 分及 100 分，表示校舍耐震性之安全係數尚不符合耐震設計規範對於此等重要性建築物之耐震需求，仍有耐震性能不足之疑慮，若有相當於 475 年週期發生一次的最大地震時，將有可能發生嚴重結構上之破壞，其耐震能力之提升列為次優先對象；耐震指標  $Is$  值高於 100 分，表示其尚無耐震能力不足之疑慮，若有相當於 475 年週期發生一次之最大地震時，應不至於發生嚴重結構上之破壞。雖然根據上述耐震指標  $Is$  低於 100 分就須接受耐震能力補強，但根據觀察校舍資料內資料，初步評估結果 90 至 100 分進行詳細評估後，絕大部分都不須進行補強，80 分以下 70 分以上也有一些進行詳細評估後也是裁定不需補強，因此雖然耐震指標  $Is$  不是最後決定補強之最後依據，但也具有相當之影響力。

### 3.2.2 詳細評估



美國針對鋼筋混凝土 (RC) 建築物之耐震能力規範 ATC-40 [36] 中，建議用來評估建築物耐震能力之方法稱為容量震譜法 (capacity spectrum method)，此一評估方法可以分為兩個部分，第一部分是進行側推分析 (pushover analysis) 取得容量震譜 (capacity spectrum)，流程如圖 3.3 所示，第二部分是根據建築物所在地的各種相關資訊和規範取得需求震譜 (demand spectrum)，接著使用容量震譜法 (capacity spectrum method) 以取得建築物性能點，根據性能點座標帶入公式計算可以得到建築物的破壞地表加速度以及耐震能力指標 (aseismic ability index)，如圖 3.4 所示。

求取容量震譜的側推分析法需要先建立建築物完整的非線性分析模型，此模型要由進行評估的專業人士根據建築物的幾何尺寸資訊來建立基本的建築物框架。接著根據建築物的材質計算建築物自身重量以及需要承載的人員和配設物件之重量，並將其附加到柱、牆等承載元件上。接著最重要的是設定建築物各構成元件如樑、柱、牆受力時的非線性行為，這些力與變形的關係多為實驗得到或是利用其他分析模擬方法得到的。至此，側推分析要用的數值模型才算建立完成。

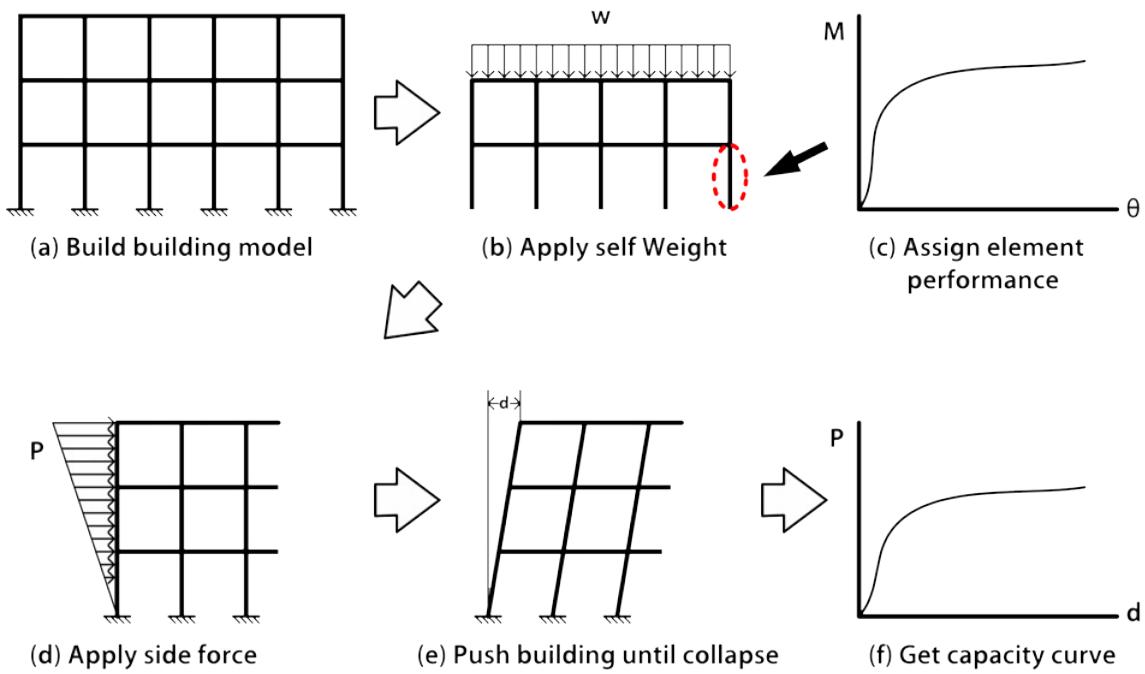


圖 3.3: 結構物容量震譜計算流程圖

而側推分析其程序是依照 FEMA-440 [37] 之建議，逐步地給結構模型施加增量的側向外力，將結構物向某一方向推動，每次增量即進行一次結構分析計算每一構件之應力與變位，之後與上一次的分析結果累加即可得到每一個構件於此受力階段之反應，並判斷構件是否破壞，例如開裂、降伏，甚至達到極限強度，之後各構件依其破壞程度更新其行為，例如改變其勁度，或者將已發生破壞的構件從結構模型中抽離，如此重複分析直到結構不穩定而崩塌為止，側推分析完成後可以得到建築物之容量震譜。

需求震譜是根據建築物環境現況，參考規範製成之地震需求頻譜。參考的環境狀況如土層種類，堅硬的土層可以讓建築物有較好的抗震能力。另外靠近斷層的建築物在地震發生時往往會因為斷層於地震時產生的反應而受到嚴重的損害，因此建築物與斷層的距離也納入參考的資料之一，稱為近斷層效應 (special effects of near-source earthquakes)，其他還需要的資料有地層資料、地震震區等，綜合這些資料並參考規範即可得到該建築物所需符合之需求震譜。

容量震譜法 (capacity spectrum method) 最後是將需求震譜以及容量震譜轉換格式後相疊，求取建築物之性能點 (performance point)，性能點之物理意義為該

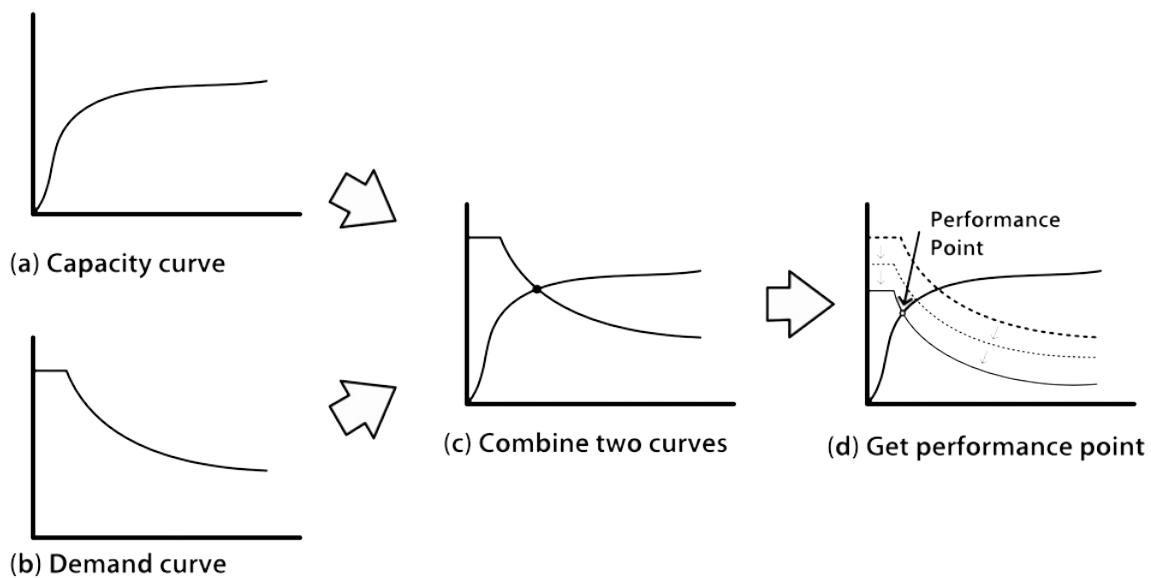


圖 3.4: 結構物性能點計算流程圖



建築物在特定水準地震下所能承受之最大變位及剪力，但是由於結構物受地震力作用進入非線性行為時，結構物的阻尼效應會產生消能的作用，因此還要視情況對需求曲線進行折減，此為一個迭帶運算的過程，可能需要不斷折減需求曲線，並進行性能點正確性的檢核，直到檢核通過，才能得到建築物真正之性能點如圖 3.4，由建築物性能點之座標帶入公式可以求得建築物的破壞地表加速度 (collapse ground acceleration,  $A_C$ )，詳細評估所使用的耐震能力值為耐震需求比 ( $CDR$ )，其定義如下：

$$CDR = \frac{A_C}{A_D} \quad (3-3)$$

$A_D$  為根據建築物所在地的並依據規範所得到的，建築物所需要能承受的 475 年週期最大地震所產生之地表加速度， $CDR$  大於 1 代表此一棟建築物能夠承受該地區 475 年一遇的最大地震。

### 3.2.3 補強設計與竣工資料

如果校舍經過詳細評估過後，負責的專業人士認為此棟校舍確實有安全疑慮，但尚可以補強，不需要拆除重建時，則該棟校舍就會進入補強設計階段，此一階段的工作也是委託專業人士執行，負責的專業人士需要依據詳細評估的結果，設計出兩種不同的補強方案，並且對不同的補強方案進行詳細的耐震能力評估，因此這個階段的資料包括兩組補強設計的資料，以及兩組補強後的耐震能力詳細評估資料。補強設計收集的資料主要為使用的補強工法以及補強量，主要收集的補強工法包括了六類：增設構件、柱補強、牆補強、樑補強、減載措施、基礎補強。

增設構件所可能增加的構件包括了剪力牆、翼牆、斜撐、柱、樑等，皆為結構物之乘載構件，其優點是可以有效且直接的增加結構物的乘載能力，缺點是增加的構件可能讓結構物的隔間變化，讓使用功能性變差。而另外一種補強方式則是在現有的構件上加強，包括了柱補強、牆補強、樑補強，這三種補強工法都是針對現有的結構元件加強，例如擴柱、鋼板貼片、複合材料貼片等，這類方法不改變節結構之基本設計，對於結構物之使用性影響較小，但仍然可能影響到建築物之採光、通風等。減載則是屬於比較消極的補強方式，藉由減少結構物的乘載重量來檢少結構物受到地震力作用而倒塌的可能性，而其措施包括了拆除樓層，通常為從上往下拆除、樓層數則是專業人士評估判斷，另一種方式則是變更用途，如果校舍結構物對於自重本身的乘載能力已經足夠，則可以考慮改變部分樓層的用途，減少其所需要乘載的載重，而減載措施相較於其它幾種補強方式，是屬於成本較低的補強方式。

補強設計階段，負責設計的專業人士會提出不同的補強方案做為校舍補強工程的參考，而後根據預算和學校單位的需求以及校舍安全性等因素綜合考量以決定補強方案，並進行補強工程，在工程完成後，國震中心還會收集相關的資料，包括補強方法、補強構件的數量、不同類型工程之花費、補強材料強度報告等，而在這些資料當中，補強工程的經費是一個非常重要的數據，因為此一資料數值是校舍補強流程當中最後一個階段才會得到的，但卻是在整個校舍補強計畫當中，初期編列預算就非常需要，影響很大的數據。

### 3.3 資料庫結構

此一校舍耐震資料庫使用的是用途非常廣泛的關連式資料庫，其實體關係圖如圖 3.5 所示，實體關係圖是在初步設計資料庫結構時所用，可以呈現關連式資料庫中各資料表間的關係，使用的呈現方式是實體關聯模型（ER model），此一資料模型是透過實體（entity）與關係（relation）兩種物件來作表示，實體是所欲儲存資料於現實中之實際物體，關係則是各實體間的關係，設計之結果可以用實體關係圖之形式表示，實體關係圖則以矩形代表實體、菱形代表關係、橢圓形代表實體的屬性。

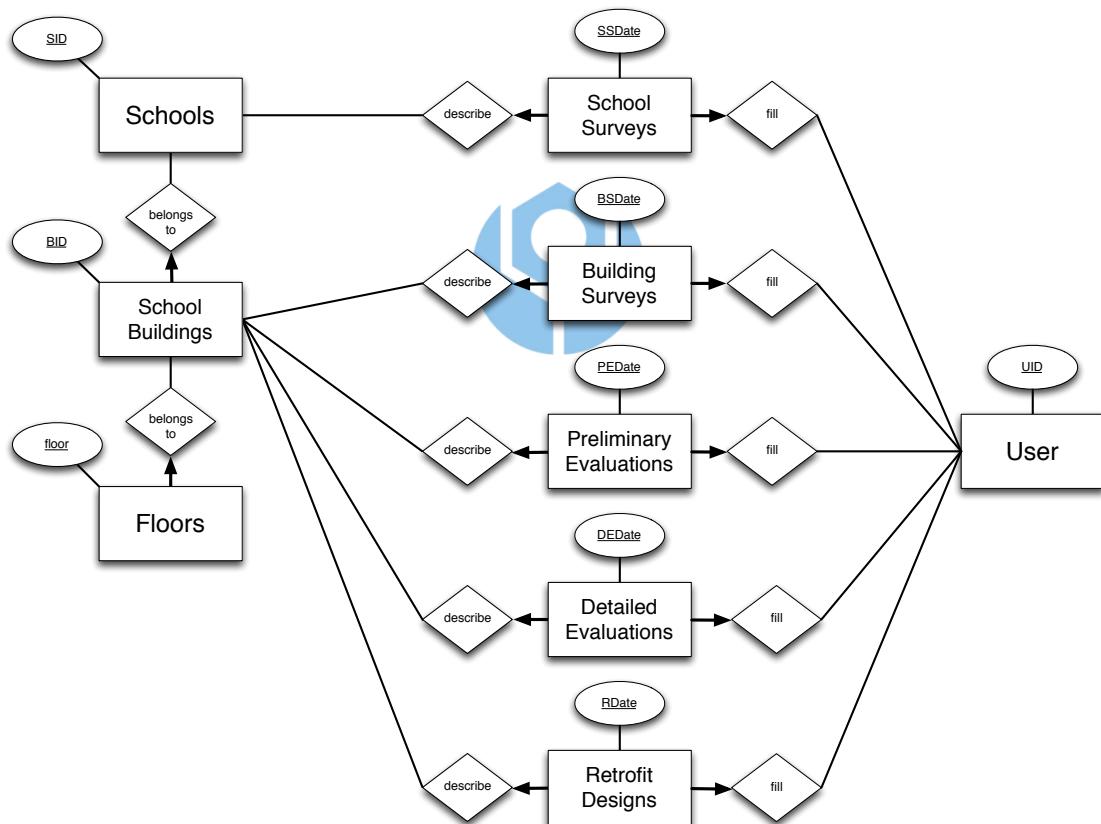


圖 3.5: 校舍耐震資料庫實體關係圖

圖 3.5 之標示採簡化之表示法，即各表格之屬性（attribute）只標示出其主鍵（primary key），校舍耐震資料庫的基礎是 School 和 School Building 兩個資料表，Schools 代表所有學校基本資料集合之實體組（entity set），構成 Schools 之每個實體（entity）均是代表某學校，資料庫系統是以紀錄了此學校的基本資料，包含學

校名稱、地址、GPS 座標等資訊為屬性，而 School Buildings 代表所有校舍集合之實體組，構成 School Buildings 之每個實體均是代表某學校之某校舍，每棟校舍是以紀錄其校舍名稱、建造年代、設計圖等資訊為屬性，因每一間學校內多有多棟校舍，故其與 Schools 間為一對多之關係，而校舍的樓層數為不定數量，故把樓層相關之資料屬性獨立出來存放在 Floors 資料表，其代表所有樓層集合之實體組，構成 Floors 之每個實體均是代表某學校某校舍之某一樓層，每層樓是以儲存該樓層之樓高、樓地板面積、教室間數這類各樓層獨有之資訊，由於每一棟校舍會有多層樓，故其與 School Buildings 為一對多之關係。

有了以上的基礎後，資料庫設計便基於圖 3.2 之流程，將不同階段的調查表、評估分為不同之資料表。圖中之 School Surveys 方塊即代表所有校舍普查集合之實體組；構成 School Surveys 之每個實體均是代表對某學校所作之某次簡普查，每次調查是以紀錄學校整體之損害狀況等調查資料為屬性代表之，由於某學校之狀況會隨時間改變，學校之調查會定期重新調查，故其與 Schools 間為一對多之關係，此假設同一日不會有兩次的調查，故其與 School Surveys 不另設獨有的 ID 為主鍵，而是採 SID（調查學校）與 SSDATE（調查日期）之組合；構成 Building Surveys 之每個實體均是代表對某學校之某校舍所作之某次校舍普查，其即以該次調查所填調查表格之資料為屬性代表之；構成 Preliminary Evaluations 之每個實體均是代表對某學校之某校舍所作之某次初步評估，其即以該次評估所填評估表格之資料為屬性代表之，表格之詳細內容則為附錄一：典型校舍初步評估表所記載之資訊；Detailed Evaluations 實體組代表詳細評估之集合，表格之詳細內容則為附錄二：典型校舍詳細評估表所記載之資訊；Retrofit Designs 實體組則是補強設計之集合，表格之詳細內容則為附錄三：典型校舍補強設計表所記載之資訊，而後續包括補強施工和竣工報告等都與 School Buildings 實體有一樣的關聯設計。這些調查表之實體組與校舍間如同 School Surveys 與 Schools 間之關係，由於每棟校舍均可能於不同時間進行不只一次，故其與 School Building 間關係為一對多關係。Users 實體組代表所有填表人之集合，系統是以紀錄某填表人之簡易資料，包括姓名、聯絡方法、職稱等為屬性代表之，因為一個填表人可能負責評估多間校舍，故 Users 與上述代表評估調查之實體組間之 fill 關係組也為一對多之關係。

## 第 4 章 資料探勘與探勘目標分析

過往在各種不同商業、工業、學術等領域都隨著產業逐步的數位化，有各種資料庫甚至資料倉儲系統的建置與資料收集，例如零售業的交易紀錄，各種學術實驗的結果記錄等等，而隨著時間推移，這些資料庫和倉儲系統收集的資料數量都成長的非常龐大，資料間的關係和複雜度也越來越複雜，這些資料除了當初建置的目的和資料的統計分析外，研究人員還開始思考更進一步的資料應用，希望能把資料中以往隱藏不可見的知識找出來，因此資料探勘（data mining）此一研究領域就因應而生。應用在資料探勘研究的演算法非常多種，包括統計、人工智慧（artificial intelligence）、機器學習（machine learning）、模式識別（pattern recognition）等，只要能夠用來在大量資料中尋找有用知識的方法，都可以作為資料探勘的演算法。

而資料探勘的結果優劣，除了演算法和欲解答問題間的契合度之外，整體資料探勘流程中，不同階段工作執行的品質也是很重要的因素，資料探勘的流程在不同領域有各種不同的規範，其中最廣為被使用的是 CRISP-DM [38] (Cross Industry Standard Process for Data Mining) 這個跨領域的資料探勘流程，其是由 SPSS 以及 NCR 兩大廠商在 1990 年開始發展的，它的流程架構如圖 4.1 [39] 所示，將一個完整的資料探勘流程分為六個步驟，分別為：

1. **定義領域問題** (Business Understanding)：CRISP-DM 所定義的資料探勘步驟第一步要將希望解答的問題瞭解並定義清楚，有清楚明確的問題定義，才能夠規劃出需要收集哪些資料，用哪種類型的資料探勘方法來挖掘知識，解答問題。
2. **定義分析資料** (Data Understanding)：有明確的問題定義之後，就能夠更深入的探討有哪些相關的資料，要解答此一問題所需要的相關資料為何，並且實際的去收集這些資料。
3. **資料前處理** (Data Preparation)：此一步驟是資料探勘流程當中，相當重要的一個步驟，對於模型的品質優劣會有相當大的影響。會需要資料前處理的原

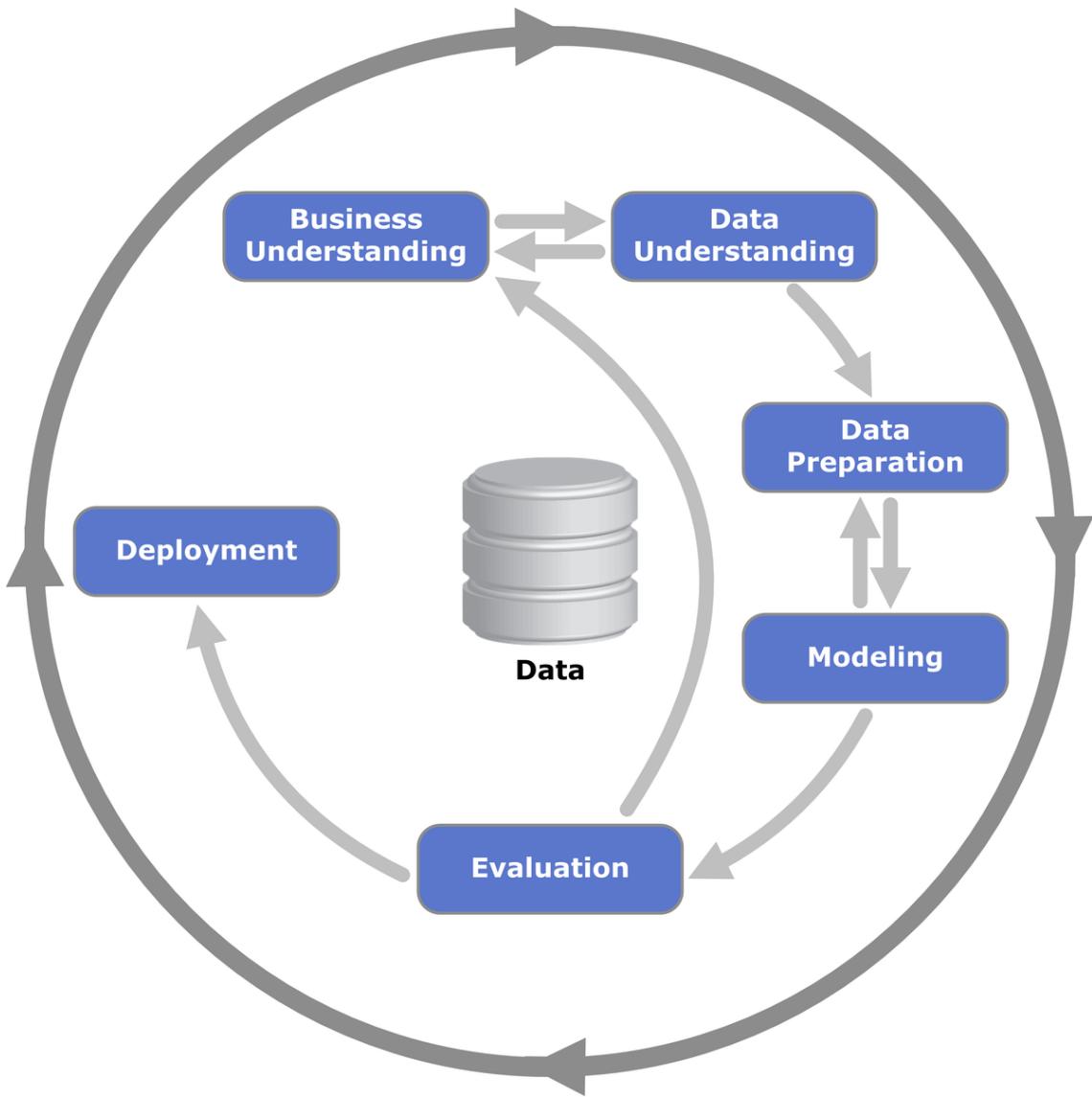


圖 4.1: CRISP-DM 流程圖 (c)Kenneth Jensen, CC BY-SA 3.0

因主要有兩個，第一個原因是由於現實世界的資料都會有很多雜訊在其中，像是人為輸入的錯誤、較為極端的離群案例資料等，因此在真正的訓練並建立模型之前，需要先把這些雜訊去除，這些雜訊在資料庫中的呈現通常為缺漏值、過大或過小的數值或是意義上不合常理的數值；另一個原因則是要將不同的輸入屬性的數值作整理，讓不同的資料探勘演算法可以更容易的根據不同屬性的特性來建立模型，這些前處理的方法包括了數值正規化、取指數對數、單位調整甚至是重新組合出新屬性，像是主成分分析法。

4. **建立模型 (Modeling)**：選擇適合該問題的資料探勘方法對前處理過的資料進行分析與模型建立，模型之建立工作包括了適合演算法的挑選以及不同演算法參數之挑選，兩者都是需要不斷嘗試並調整的工作。
5. **評估模型 (Evaluation)**：評估前兩步驟中所建立的模型品質是否符需求，並且要避免過適 (overfitting) 的現象，實務上是將資料分為訓練集與測試集兩組來驗證模型的可靠度，更為嚴謹的分析可以使用十群交叉驗證方法來處理，判斷的依據則根據不同的資料探勘方法有不同的模型品質指標，例如決定係數、線性關係、正確率等等。
6. **應用模型 (Deployment)**：將模型產出的知識實際納入應用，抑或是將探勘結果整理成完整的報告。



其中資料探勘在收集完資料後的大部分的工作，均在資料前處理以及建立模型兩個步驟，此二步驟的操作對於最後產出模型之品質有相當大的影響。而本研究之流程較 CRISP-DM 之流程稍有不同，是先基於一個現有的特定領域的校舍耐震資料庫作分析，找出校舍耐震資料庫中各種潛藏知識的可能性，定義出這些知識所能夠解決的問題，詳細分析問題的需求，之後則是照著 CRISP-DM 的流程進行，從校舍耐震資料庫中挑選出相關的資料屬性，然後接著進行資料前處理、建立模型、評估模型幾個步驟。

資料探勘技術方法繁多，Fayyad [2] 根據其處理的問題形式，將資料探勘的方法分為分類、分群、迴歸以及關聯等四種主要的問題類型。其中，分類方法處理的問題是用來判斷資料的類別，而且這些類別是已知的類別，例如將所有的校舍

資料分類成有安全疑慮和沒有安全疑慮的方法就是屬於分類問題。分群問題和分類問題有點相似，一樣是將資料分成數個群組，最主要的差異是分群問題的各個群組的特性在一開始並不清楚，分群方法是將資料根據其屬性數值為依據，分析其相似度，把相似的放在同一個群組，不同群組的特性是要在分出群組後才能夠進行分析瞭解的。迴歸問題就是要用迴歸方法來從資料的屬性中，找出特定屬性與其他屬性間的關係模型，這些屬性間的關係可能是非線性的，而且沒有解析解的關係模型，因此常見的方法是用統計的方式，從現有的資料來反向歸納出關係方程式，又或著是用像類神經網路之類的機器學習方式，透過現有的資料來讓機器學習以求出關係模型，以校舍耐震資料庫來說，校舍耐震能力指標的預測就是一種迴歸問題，校舍耐震能力指標與其校舍的設計參數間的關係就是一個非線性關係，要得到兩者之間的非線性模型就需要用到回歸問題的分析方法，迴歸問題也是最常見的資料探勘問題種類。最後一種是尋找屬性間的關聯，這種問題的主要目標在尋找不同筆資料屬性間所存在的關係，舉例來說，使用校舍耐震資料庫的資料來作關聯分析，可能可以去尋找像是：五層樓的校舍的校舍長度深度有什麼趨勢，或是民國八十到九十年之間所建校舍的校舍走廊設計是否偏好有走廊柱等。本研究在定義好所欲解答的問題後，根據問題的性質判斷，使用的資料探勘方式以迴歸為主，分類分群的方法則是為輔助。

以下分別介紹本研究所使用到的各種分析方法，除建立模型的各種訓練和學習演算法外，還包括資料前處理和驗證所使用的分析方法以及驗證指標。

## 4.1 資料前處理方法

資料前處理方法常見的目的有：找出重要性較高的屬性、凸顯資料特性、剔除特異資料點等；本研究主要的資料過濾方法為資料的合理性分析，其是根據資料特性，根據經驗與專家意見等參考依據，建立出資料合理性的判斷方法。而除了合理性分析外，尚有較為簡單的數種方法，包括：

- 輸入屬性篩選

- 子資料集挑選

輸入屬性篩選的主要目的在剔除和探勘目標不相關的資料屬性，減少資料維度，可以讓機器學習的效率更好；子資料集挑選是針對特定屬性，如果有非常不平均之分佈情形，例如一個二元指標，有很大比例的資料之值都相同，那就可以透過子資料集挑選的方法，將這一大類的資料挑出，和輸入屬性篩選一樣可以減少資料的複雜度。而除了以上的三種前處理方法外，還有主成分分析法，是透過數學統計分析求得最能夠代表資料變異的屬性。

## 主成分分析

主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA) 是常見的前處理方法，它可以用來減少資料的維度，其數學原理是將資料向量投影到不同的座標系統，將原始的資料轉換成不同座標系的向量資料，且能保持最大程度的，輸入屬性對於輸出屬性的貢獻，如圖 4.2 [40] 所示，在一個 XY 座標系統中分佈的資料點，可以透過 PCA 分析，找到兩個更能夠代表資料特性的屬性座標軸  $\sigma_{signal}^2$  和  $\sigma_{noise}^2$ 。

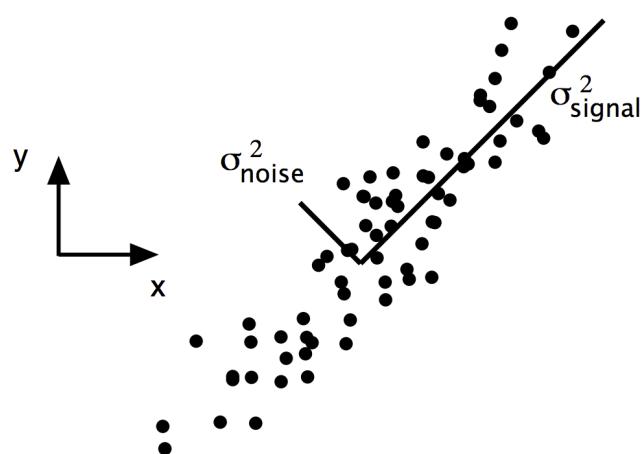


圖 4.2: 主成分分析原理

## 4.2 資料探勘方法

資料探勘的方法分為分類、分群、迴歸以及尋找關聯 [2]，其中迴歸是最常使用到的一種，本研究的主要目標皆可以歸納為迴歸類的問題，因此使用到的迴歸演算法最多，接著才是作為輔助用的分類和分群演算法。

迴歸、分類、分群三種資料探勘所建立的模型可以簡單的定義為：

$$y = f(x) \quad (4-1)$$

$f(x)$  就是透過資料探勘分析學習而得到的模型函數， $x$  代表輸入參數，輸入參數是各種已知的屬性資料，例如可以簡單透過量測得到的校舍尺寸資訊， $y$  則是代表輸出參數，也就是希望透過這個模型所得到的，比較難取得的屬性資料，例如需要經過詳細評估才能的到的校舍  $CDR$  值、或是校舍分類的類別索引。



### 4.2.1 回歸方法

#### Generalized Linear Model

廣義線性模型是由 Nelder and Wedderburn [41] 所提出，比起迴歸分析 (simple regression) 更為彈性，此模型是假設資料點的分佈有一分佈模式，且輸入參數  $x$  與輸出參數  $y$  之間的關係是由一連結函數 (Link Function) 建立，如 log function、power function 等，其定義之  $x$  與  $y$  之間之關係模型如下：

$$g(E(y)) = x\beta + O, y \sim F \quad (4-2)$$

$g(\cdot)$  是為所選的連結函數， $E(y)$  是  $y$  的期望值， $O$  是偏移 (offset) 變數， $F$  則是  $y$  的分佈模型，其是用牛頓法 (Newton-Raphson Method) 不斷的調整  $\beta$  使的  $x\beta + O$  逼近  $g(E(y))$ ，最後最接近的方程式即為  $x$  與  $y$  兩者的關係式。比起

迴歸分析，此方法還需要了解  $y$  值分佈狀況，選擇出最適合的分佈函數，並假設  $x$  與  $y$  間的鏈結函數形式，雖然越多的參數選擇代表了更多的模型不確定性，但廣義線性模型卻能夠提供比迴歸分析更廣的應用範圍，也可能得到更接近真實的關係模型。

## 類神經網路

類神經網路 (Artificial Neural Networks, ANNs)，其是希望能模擬建構出人腦內的神經網路，以處理各種複雜的問題，人類大腦是由大約千兆個神經元 (Neuron) 所構成，而每個神經元又會和其他約一萬個神經元連結，構成一個龐大且複雜的神經網路，這樣複雜的一個神經網路讓人類可以學習並了解各種事物與知識。 McCulloch and Pitts [42] 所提出的模型為後續類神經網路發展的雛形，而目前最為被廣泛使用的類神經網路結構為倒傳遞類神經網路 (Back-Propagation Network, BPN)，為一種監督式學習網路，應用十分廣泛。Werbo [43] 首先提出隱藏層及倒傳遞學習理論的概念，但在當時並未受到重視。直到 Rumelhart 及 McClelland [44] 於 1986 提出 BPN 學習演算法及通用差距學習法則 (Generalized Delta Learning Rule)，採引起學者的廣泛討論。倒傳遞演算法是將一組樣本 1/0 問題變為一個非線性最佳化的問題，其基本原理是利用最陡梯度下降法 (Gradient Steepest Descent Method) 以計算且調整網路權重，使推論輸出值與目標輸出值間的誤差最小化，得到精確的學習。因此，倒傳遞類神經網路是用於診斷與預測上，若將此模式視為輸入與輸出間的映射關係，則 BPN 演算法是一種輸入輸出的映射過程，一個標準的 BPN 類神經網路可以分為輸入層 (input layer)、隱藏層 (hidden layer)、輸出層 (output layer)，其結構如圖 4.3 [45]，分別介紹三種神經元如下：

**輸入層神經元** 用以表現網路的輸入變數，其處理單元數目依問題而定，通常相等於所使用的輸入參數，使用線性轉換函數，即  $f(x) = x$ 。

**隱藏層神經元** 用以表現輸入處理單元間的交互影響，其處理單元數目並無標準方法可決定，經常需以試驗方式決定其最佳數目，使用非線性轉換函數，網路可以不只一層隱藏層，也可以沒有隱藏層。

**輸出層神經元** 用以表現網路的輸出變數，其處理單元數目依問題而定，使用非線性轉換函數。

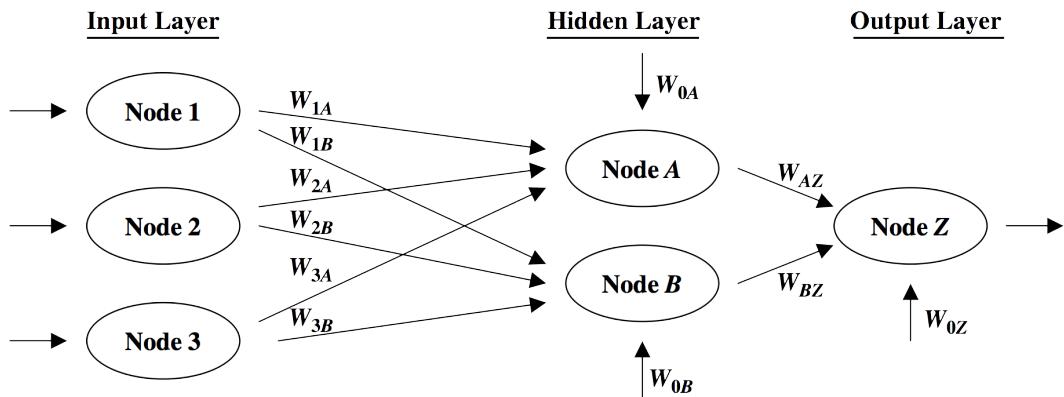


圖 4.3: 類神經網路結構圖



處理單元其輸出值及輸入值的關係式，一般可用輸入值的加權乘積和之函數來表示：

$$Y_j = f(\text{net}_j) \quad (4-3)$$

$$\text{net}_j = \sum W_{ij} X_i - \theta_j$$

其中， $Y_j$  為輸出層第  $j$  個處理單元之推論輸出值， $\text{net}_j$  為輸出層第  $j$  個處理單元之集成函數， $W_{ij}$  為第  $i$  個輸入層單元與第  $j$  個輸出層單元間之連結權重。 $X_i$  為輸入層第  $i$  個處理單元之輸入值。 $\theta_j$  為輸出層第  $j$  個處理單元之閾值， $f$  為轉換函數，是為神經元從輸入層加總轉換至輸出的一種映射規則亦是將非線性的影響導入網路中的一種設計。而轉換函數的選擇相當多，本研究採用的轉換函數為對數雙彎曲函數，如下所示：

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^x} \quad (4-4)$$

## 基因規劃

基因規劃 (Genetic Programming, GP) 是基於基因演算法 (Genetic Algorithm, GA) 發展而來，而 GA 是 1975 年由 John Holland [46] 所提出的演化求解方法，其是基於生物演化的過程為基礎，假設問題的目標可以轉換為二元的基因序列，再透過模擬生物交配、突變的進化過程，求得最佳化問題的解，和傳統的演化求解方法相比，基因演算法可以比較容易的找到全域最佳解，且其可以快速的找到足夠好的解，即使問題的複雜度很高。基因演算法的應用領域相當廣泛，在營建領域也有不少的應用，Huang...et. al. [47] 就使用 GA 預測梁模型受力後會產生破壞的位置及其嚴重性，Šešok 和 Belevic平us [48] 則使用基因演算法建立一個 truss topology 最佳化的建議系統。

基因規劃則是 1992 年由 Koza [49] 所發表的方法，它是基於發展許久的基因演算法而來，將基因演算法所要演進發展的基因序列換為樹狀結構的分析樹 (parse tree)，並藉由與基因演算法相同概念的交配、突變和篩選等機制來達成解析樹的演化，並達成最佳化目標，如果要求得一數學關係方程式，則可以使用運算樹 (operation tree) 作為欲演進的解析樹結構。運算樹是一個二元樹結構，如圖 4.4，其底層的末端點是方程樹的輸入變數或是其它常數、數值等，其餘的分支節點都是運算子 (operator)，藉由置換各個節點的輸入數值和運算子，就可以組成各種可能的數學方程式。此一方法的特色是其模型之輸出形式即為輸入  $x$  和輸出  $y$  的關係方程式，且其方程式之形式不受限於基因演算法之特性。在營建領域使用 GP 加上運算樹進行最佳化的應用少有人做，Yeh and Lien [50] 使用 GP 方法來預測混凝土強度。Tsai [51] 則使用修改過的 Weighted Genetic Programming 方法建立出 squat wall strengths 的方程式，並且還利用一些修剪公式的方法來調整得到的公式，讓公式可以更精簡，但是還保留有一定程度的可靠度。

基因規劃藉由這樣的運算樹設計，再透過基因演算法最佳化輸入參數的選擇、不同運算節點的運算子，便可以根據資料建立出一個屬性與所求目標的關係方程式。

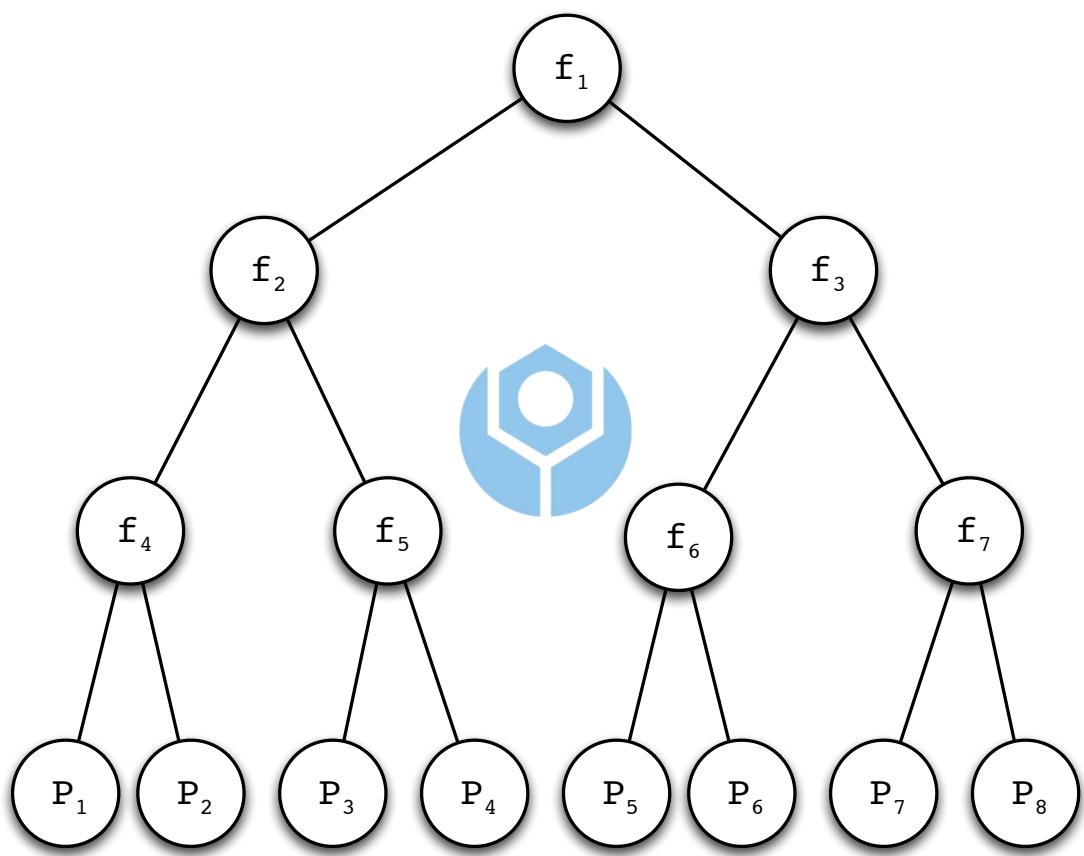


圖 4.4: GP 運算樹結構示意圖

## 加權基因規劃

加權基因規劃 (Weighted Genetic Programming, WGP) 是由 Tsai [52] 所提出，基於 GP 方法發展而來，不同之處在於其運算樹的每個節點前都加上一個權重  $w$ ，最佳化的過程除了對方程式結構和參數的選擇最佳化外，還要同時最佳化所有的權重，因此其輸出的關係方程式可能性遠大於 GP 方法，故可以處理更為複雜的問題。WGP 的運算樹結構如圖 4.5，每個運算樹都可以組成一個數學方程式，如圖 4.5 之運算樹即可組成方程式如下：

$$w_1 \left( w_3 \left( \frac{w_7 P_2}{w_8 P_6} \right) - w_4 \sin(w_9 \bar{C}) \right) + w_2 \times \cos(w_{12} c \times w_{11} P_1) \quad (4-5)$$

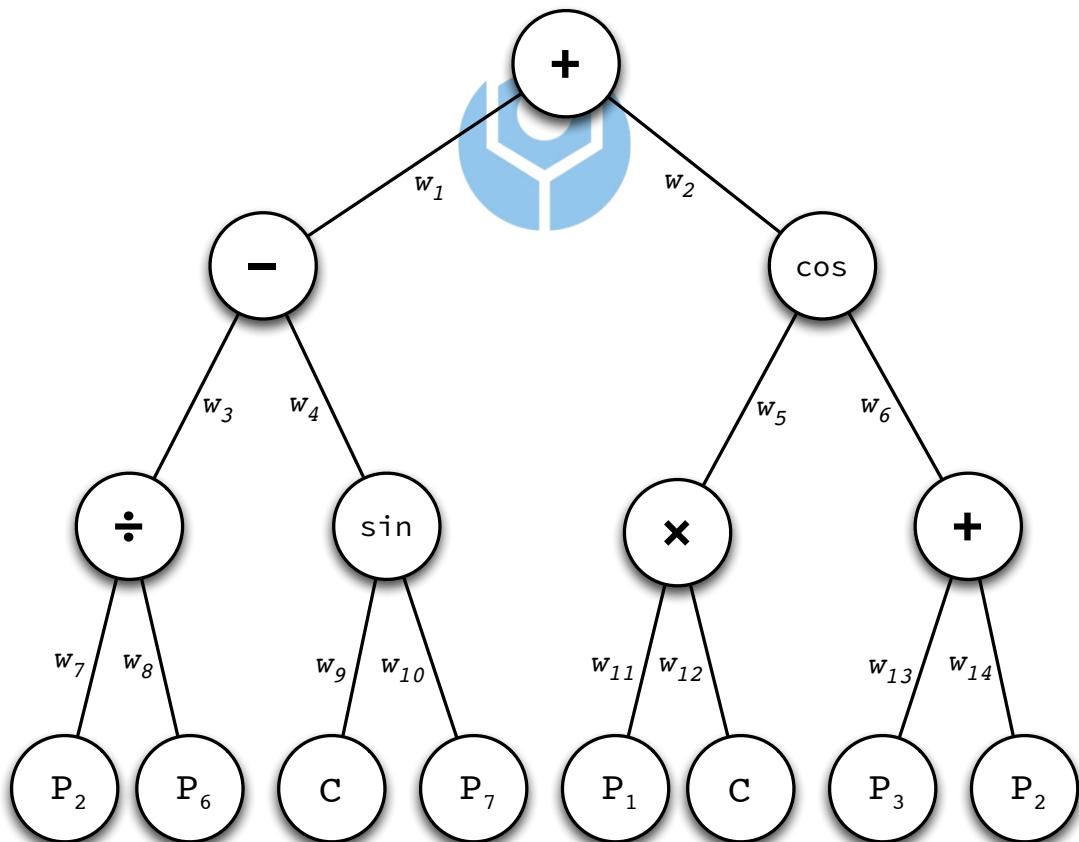


圖 4.5: WGP 運算樹結構示意圖

運算樹可以分為兩種層級，運算層全部都是運算子節點，輸入層則是輸入參數的選擇，運算層每多一層，需要最佳化的節點和權重都會以等比級數成長，運

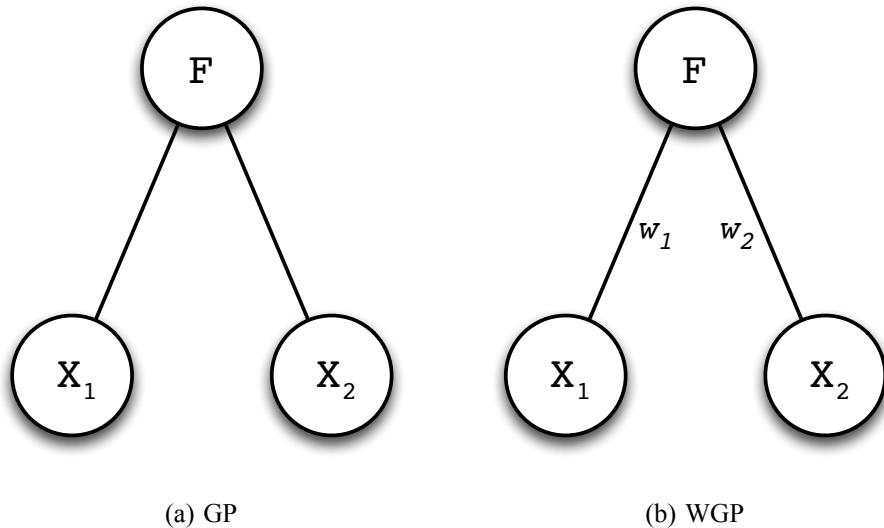


圖 4.6: GP 系統之單位元素



算層的層數也影響到最佳化結果的方程式複雜度，而輸入層則全部都是輸入節點，每層之間的每個連結都有一個權重參數，這些權重即為 WGP 方法最大的特色，這些權重可以讓運算樹組成的方程式有無限多種，也可以用以表示不同參數的重要性，因此雖然加入權重會讓最佳化更費時間，但仍然值得加上權重。

圖 4.6(b) 是一個構成 WGP 運算樹的基本單元，和圖 4.6(a) 所示的 GP 運算樹的基本單元類似，包含一個父層節點和兩個子層節點，父層的節點是運算節點  $F$ ，透過權重參數連接到兩個子層節點，子層節點可能是其它的基本單元或是輸入節點，而整個基本單元的輸出  $y$  為：

$$y = \text{one of } \begin{cases} f_1 = w_1x_1 + w_2x_2 \\ f_2 = w_1x_1 - w_2x_2 \\ f_3 = w_1x_1 \times w_2x_2 \\ f_4 = w_1x_1 \div w_2x_2 \\ f_5 = |w_1x_1|^{w_2x_2} \\ \vdots \\ f_n = \frac{1}{\sin(w_1x_1) + \cos(w_2x_2)} \end{cases} \quad (4-6)$$

運算子  $F$  可能有數種選擇，同時配合最佳化演進得來的權重和子層節點的  $x_1$ 、 $x_2$ ，便可以計算得到這個基本單元的輸出  $y$ ，而子層節點的  $x_1$  和  $x_2$  有兩種可能的來源，一是此一基本單元的子層仍為運算層，則其數值要藉由計算該基本單元而來，另一種可能是子層為末端的輸入層，則  $x_1$ 、 $x_2$  的值如下：



$$x_i = \text{one of } \{1, P_1, P_2, P_3, \dots, P_j, \dots, P_{NI}\}, \quad j = 1 \sim NI \quad (4-7)$$

其中  $NI$  為輸入參數的數量， $P_j$  為第  $j$  個輸入參數， $x_1$ 、 $x_2$  可能為輸入參數的任一個，而輸入參數也可能為常數 1。

運算樹的層數  $NL$  定義為有運算節點的層數，即運算層的層數，運算樹的層數大小會影響到需要最佳化的基因數量  $N_g$ ，其公式為：

$$N_g = 2^{NL} - 1 + 2^{NL} + 2^{NL+1} - 2 = 2^{NL+2} - 3 \quad (4-8)$$

其中運算層節點的函數選擇有  $2^{NL} - 1$  個、參數層的參數選擇有  $2^{NL}$  個、以及參數的權重  $w$  有  $2^{NL+1} - 2$  個。藉由這樣的運算樹設計，再透過 GA 最佳化輸入參數的選擇、不同運算節點的運算子和各個節點不同的權重，WGP 方法便可根據資料建立出一個屬性與所求目標的關係方程式。

## CHAID 決策樹

CHAID (Chi-squared Automatic Interaction Detector) 是由 Kass [53] 在 1980 所正式定名的建立決策樹的演算法，圖 4.7 [53] 即為一個典型的決策樹，決策樹是一個從根節點開始，然後根據數入屬性得資料以及不同分支的條件，移動到不同子節點，最後到達的節點的目標值即為此筆輸入屬性的預測值。CHAID 是利用卡方檢定來分析判斷輸入屬性的分割合併點，並根據不同輸入屬性對目標屬性的顯著性 (*p*-value) 來挑選不同節點分割所依據的輸入屬性，依此建立出決策樹的分割點，可以建構出兩個以上分支的決策樹，有別於只有兩個分支的二元樹。決策樹一般是由來做分類形式的資料探勘，無法處理數值形式的迴歸，不過如果先將目標屬性區段化，則決策樹方法也可以建立出迴歸形式、用以預測數值的迴歸樹，不過由於其模型之性質，預測之目標屬性數值會分佈在特定數個數值。

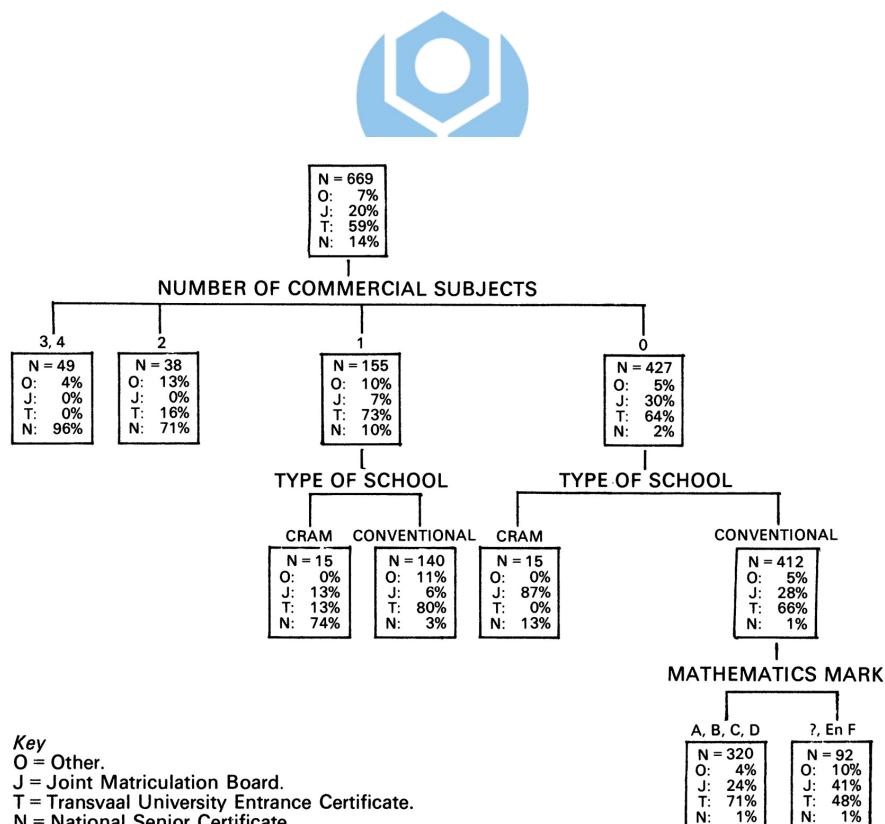


圖 4.7: 決策樹示意圖

## 4.2.2 分類方法

### 支持向量機

支持向量機 (Support Vector Machine, SVM) 最早是 BOSE [54] 等人，在 1992 年的 COLT (Computational Learning Theory) 所提出，SVM 是一個基於統計學習理論的分類方法，用來處理二元分割的問題，其原理是將原本無法線性分割的問題如圖 4.8(a) [55]，將資料點轉換到一個不同維度的空間 (kernel) 後，假設該空間存在一超平面 (hyperplane) 如圖 4.8(b)，此一超平面可以正確的將資料分開，並將尋找此一超平面的問題轉換為一最佳化問題，求解後將此一超平面轉換回原本維度的空間即可得到二元分割邊界的方程式。而除了分類問題，Harris Drucker, et. al., [56] 將此二元分割問題轉換為迴歸分析問題，故 SVM 也可以處理迴歸問題。

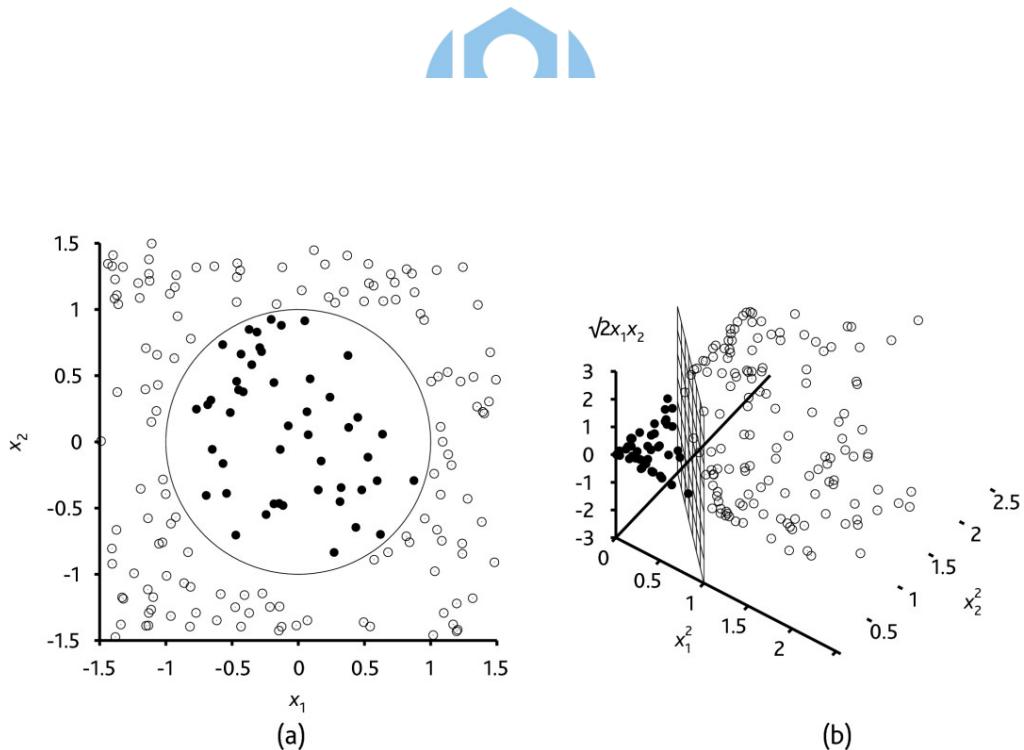


圖 4.8: SVM 示意圖

### 4.2.3 分群方法

#### K-means

K-means 是由 MacQueen [57] 所提出，也是最常被使用的分群演算法之一，屬於機器學習方法，其主要步驟為：

1. 使用者決定要將資料分為幾個群集，群集數為  $K$  。
2. 將資料隨機分到  $K$  個群組，並且計算出此時分群狀態下的每個群組的中心點。
3. 將每個資料點重新分群到新的群組，新群組的選擇方法為中心離它最近的那個群組。
4. 用新的分群狀態計算出新的群組中心點。
5. 重複步驟 3 和 4 直到每個資料點的群組都穩定不再變化。



#### 兩步分群

由於各種學術、商業研究所處理的問題資料量越來越大，分群演算法所需要的運算時間也急遽的成長，為了讓分群演算在處理大量的資料時也能有良好的效能表現，而發展出兩步分群法 (Two-Step Clustering)，其是由 Zhang 、 Ramakrishnan 與 Livny [58] 所提出，此一方法分為兩個主要步驟：第一步是先把資料依據其與相鄰資料的相似度來排序並分成數個小群集，相似度的計算則是使用 log-likelihood 函數，接著第二步再使用階層式分群方法，將這些群集慢慢組合或拆分直到達成停止條件。其特色在於運算複雜度較其他演算法來的低，例如 K-means 演算法就需要不斷的重複運算直到所有的資料歸屬都收斂不再變化為止，因此資料量成長時也不會讓運算時間成長到無法應用的程度。

## 4.3 探勘結果驗證方法與指標

### 4.3.1 驗證方法

如果只使用一組資料來訓練並建立模型，其最常可能發生的就問題是過適 (over fitting) 的狀況，過適指的是所建立的模型套用在當初訓練用的資料集上有很高的正確率，但是一旦使用現實世界其它的新資料，就會發現模型完全無法得到適當的輸出，而為了解決這個狀況，在訓練得到模型之後還要經過驗證，要驗證模型的品質或是演算法的可靠性，單靠一組資料作訓練是不夠客觀的，因此實務上會將資料集分為訓練資料集和測試資料集，只使用訓練資料集做模型的訓練和建立，然後再用測試資料集來驗證模型的品質和可靠性，如此可以確保模型中完全沒有測試資料的資訊在其中。訓練資料集和測試資料集的比例並沒有硬性的規範，原則上則是希望能盡量多訓練資料，但是測試資料也不能過少，否則驗證的結果也會不客觀，本研究則是以訓練資料集 70%~80% 和測試資料集 20%~30% 的比例做為基礎，並輔以 10 群交叉驗證或 random subsampling 方法來做模型品質的評估。

#### *k* 群交叉驗證

交叉驗證的想法是由 Seymour [?] 在 1975 年所提出，而其中，*k* 群交叉驗證 (*k*-Fold Cross Validation) 是現在很廣為被使用的模型的品質驗證方法，其作法是先將資料隨機分為 *k* 群，然後先挑出第一群資料做為測試資料集，剩餘九組資料做為訓練資料集，照此組合建立模型並計算模型的品質 (performance)，接著重複此步驟但是挑選第二群資料做為測試資料集，剩餘九組資料做為訓練資料集，一樣建立模型並計算模型品質，重複以上流程直到 *k* 組資料都被挑選為訓練資料集過，如此會得到 *k* 組模型的品質數據，取平均即可做為代表的模型品質數據，*k* 通常會用 10，此時又稱為 10 群交叉驗證。

## Random Subsampling

Random subsampling 是較好實做的驗證方法，其作法是先照設定的比例隨機挑選資料為測試資料集，剩餘資料做為訓練資料集，然後訓練並建立模型，計算模型的品質，重複此步驟  $k'$  次，會得到  $k'$  組模型的品質數據，取平均即可做為代表的模型品質數據， $k'$  的數字通常是大於 5。此方法和  $k$  群交叉驗證最主要的不同在於單筆資料可能會重複做為測試集資料，並且不會所有的資料都會做為測試集資料。

### 4.3.2 結果指標

要驗證資料探勘所取得模型的可靠度如何，有很多的指標可以使用，分別可以從不同的角度呈現出模型的優劣，而本研究使用決定係數  $R^2$  做為判斷模型優劣的主要指標，並以其他的指標來做為輔助。

#### 敏感度分析

敏感度分析並非用來判斷模型的優劣之用，而是用來判斷不同的輸入屬性，其資料的變異與輸出目標資料變異間的關係，定義為：

$$S_i = \frac{V(E(Y|X_i))}{V(Y)} \quad (4-9)$$

其中  $S_i$  是第  $i$  個輸入參數的 Sensitivity Index， $V(Y)$  是目標屬性的變異數，而  $E(Y|X_i)$  是目標屬性隨著第  $i$  個輸入參數變化的期望值， $V(E(Y|X_i))$  則是此一數值之變異數， $S_i$  的值介於 0 到 1 之間，數值越高表示輸出目標對此一輸入屬性的敏感度越高，可以認為是重要度較高的輸入屬性。

## 決定係數

決定係數 (coefficient of determination) 又稱為  $R^2$ ，其公式為：

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{res}}{SS_{tot}} = \frac{SS_{reg}}{SS_{tot}} = \frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \quad (4-10)$$

其中  $y_i$  是關係模型輸出屬性之值， $\hat{y}_i$  則是該輸出屬性之實際值， $\bar{y}$  則是所有資料的輸出屬性實際值之平均，透過此一指標可以了解輸出屬性中有多少比例的資訊是由輸入屬性的變量所產生的，也代表著關係模型的正確性，而其值恰巧為關係係數 [59]  $R$  (correlation coefficient) 的平方，透過關係係數可以了解實際的輸出屬性數值與透過關係模型得到的推估值之間的線性關係，其值之範圍為  $0 \sim 1$ ，線性關係越高表示兩者之間越接近，也代表著關係模型所建立關係之正確性。

平均絕對百分比誤差



平均絕對百分比誤差 (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) 的公式如下：

$$\text{MAPE} = \frac{\sum \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{\hat{y}_i}}{N} \times 100\% \quad (4-11)$$

其中  $N$  是資料的總數， $y_i$  是使用探勘得到的關係模型所求得的輸出屬性預測值， $\hat{y}_i$  則是該屬性的實際值，此一指標代表了模型產出結果的平均誤差，可以呈現模型的準確度，數值越低代表模型品質越好。

## 均方根誤差

均方根誤差 (Root Mean Squared Error, RMSE) 定義如下：

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{N}} \quad (4-12)$$

其中  $N$  是資料的總數， $y$  是透過資料所建立的關係模型所求得的輸出屬性預測值， $\hat{y}$  則是輸出屬性的實際值，此一指標代表了模型產出結果的平均誤差，數值越低越好，和 MAPE 相比，其差異在 MAPE 只表現了模型輸出數值的誤差平均，而 RMSE 還包含了誤差量的離散度資訊在內，MAPE 表現相同的模型，其單筆資料誤差值分布越離散，RMSE 的表現會越差，其可接受範圍則要根據輸出屬性的數量級和問題複雜度而定。

## 命中率



命中率 (hit rate) 是用來判斷關係模型的正確率的，判斷連續數值形式的模型正確率時，其定義為：

$$\text{Hit Rate} = \frac{\sum I\{(1 - \alpha)y_i \leq \hat{y}_i \leq (1 + \alpha)y_i\}}{N} \quad (4-13)$$

其中  $I\{L\} \in \{0, 1\}$ ，如果  $L$  為真，則  $I\{L\}$  為 1，反之則為 0， $y$  是透過資料所建立的關係模型所求得的輸出屬性預測值， $\hat{y}$  則是輸出屬性的實際值，而  $\alpha$  為命中率的容許誤差，且  $0 \leq \alpha \leq 1$ ，如果  $\alpha = 0.1$  則表示誤差 10% 內都算是有預測模型有預測命中，如果是判斷非連續數值形式的目標正確率時，例如布林值，其定義為：

$$\text{Hit Rate} = \frac{\sum I\{y_i = \hat{y}_i\}}{N} \quad (4-14)$$

此公式表示關係模型之目標為非連續數值形式時，要完全預測正確才會記入命中，命中率越高代表關係模型的結果越好，是一個非常直觀的模型品質指標。

## 4.4 探勘目標分析

由於本研究之目標在於使用各種不同形式之資料探勘方法，盡量的發掘校舍耐震資料庫中的隱含知識，因此研究的第一個步驟便是根據資料探勘方法的特性，以及校舍耐震資料庫當中所及的各種校舍資料，分析各種可能得到的知識，而根據四種主要的資料探勘知識形式及校舍耐震資料庫，分析可能可以從中探勘得到之知識如圖 4.9 所示。

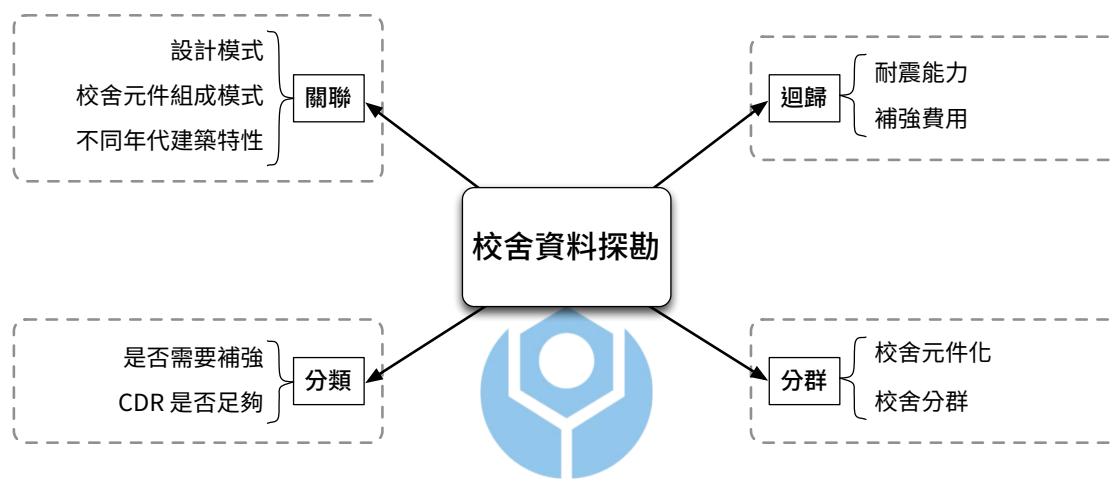


圖 4.9: 知識挖掘規劃

其中，迴歸是屬於最常見的資料探勘形式，本研究所設計之迴歸形式的探勘問題包括了初步評估的  $Is$  值、詳細評估的  $CDR$  值、補強實際所花的總工程費等，在校舍耐震補強計畫中，不同階段的階段目標數值的迴歸關係模型，這些數值都是屬於連續性的數值，其數值應該與調查所得的校舍特性之間有所關聯；分類形式的知識則是以校舍是否需要補強這個詳細評估後得到的二元指標做為探勘的目標，校舍是否需要補強是整個耐震能力補強計畫當中一個非常重要的資料，如果可以透過關係模型來得知校舍是否需要補強，應該能夠讓校舍耐震能力補強計畫前半的篩選工作更有效率的執行，而在實際進行資料探勘研究後，還設計了另外一個知識探勘目標，詳細評估後的構件破壞情形與其設計參數、現況間之關係，校舍受到地震力後的構件破壞資訊可以讓；分群形式的知識則設計有兩個，第一個是基本的校舍分群，將相近的校舍歸在同樣的群集當中，一來可以分析群集是否有顯著的特性可以探討，二來群集的資訊也可以做為其它資料探勘的參考。

輸入資訊。第二個分群的探勘目標是希望能夠將台灣典型校舍的結構，拆分成一些基礎的組成元件，例如教室、走廊、樓梯間等等，然後將不同的元件的各種可能模型，透過分群的方式找出，可能可以找到 10 種教室的形式、6 種走廊的配置等等，然後就可以將這些元件組合出台灣各種典型校舍，並且根據所挑選的元件，就可以得到一個可靠度足夠的校舍結構模型，並可以用來做一些模擬分析；最後則是關聯形式的知識，這類型的知識主要是可以呈現出不同的資料屬性間的趨勢與關係，因此設計上希望可以得到的知識包括了從校舍設計參數間找出校舍的主要模式，不同年代的校舍設計特色等。

而在這些研究初期所設計的資料探勘目標當中，本研究最後得到有可靠度足夠的模型為：

- 校舍資訊與耐震能力之關係模型
- 校舍資訊與破壞構件之關係模型
- 校舍資訊與補強經費之關係模型



另外也使用分群方法建立出校舍的分群模型，使用 K-means 演算法將校舍分為三個群集之外，還使用 Two-Step 演算法將校舍分為兩個群集，並使用其資訊輔助耐震能力關係模型的建立，可以對模型品質有些為幫助，不過改善不明顯，且也還尚未找到明確的群集特性。而校舍元件化的分析使用初步評估所調查的校舍資料，推估出校舍的長、寬、教室柱尺寸數量、是否有窗台牆等資訊做為尋找教室元件的輸入資料，並用 K-means 分群做為主要的分析演算法，雖可以得到一些教室群集的模型，但是這些群集的特性並無法明確的判斷出來，且其屬性數值的變異性過大，不同群集但是屬性值重疊的資料比例高，難以簡單的從結構形式上分辨出不同的教室群集，因此無法更進一步的根據探勘結果將這些教室群集轉換成為教室元件，並建置出教室元件的數值模型。而至於關聯形式的知識，目前的研究方法是做出各種假設來做探勘，例如不同年代的設計特色，就將校舍的建築年代做為關聯探勘中，屬性關聯式中一邊的屬性，關係式的另一邊則放入和校舍幾何設計相關的屬性，使用 SPSS Clementine 的 Apriori 演算法進行分析，不過目

前也還無法從這個資料庫中找到可靠的屬性關聯。





## 第 5 章 校舍資訊與耐震能力之關係模型

在校舍耐震資料庫中，不同階段的調查資料有不同的校舍耐震能力索引，這些資料屬性都是以數值形式來量化校舍建築物的耐震能力，有了此一數值後，可以快速找出有安全疑慮的校舍，根據耐震能力排序，甚至要推算會需要多少預算來補強多少棟校舍時，都可以使用此數值作為依據來達成，可以說是非常重要的校舍特性，然而要取得此一數值非常耗時耗力，如果有其他快速便宜的方法可以取得此一數值，那便可以大幅度的減少校舍耐震能力補強作業的所需要的時間與經費，因此本研究的第一個資料探勘目標，便是找出預測耐震能力索引的預測模型，得到此一預測模型後，便可以根據校舍的設計參數與現況作為輸入參數，快速的得到該校舍的耐震能力索引參考值。

初步評估階段資料的耐震指標 ( $I_s$ ) 是為專業人士於現場量測、調查後，使用國家地震中心的專家根據過往的實驗數據統計分析後，所設計出的一個評估表計算而得到的，為一初步的校舍耐震力評估值，較詳細評估所計算的耐震能力指標可靠度來的低，但仍是校舍補強計畫初期的篩選工作中非常重要的數值。詳細評估和補強設計階段的耐震能力指標則是耐震需求比 ( $CDR$ )，是由專業人士根據校舍的設計與實際狀況建製結構模型，並進行非線性的推垮分析所得到的，此數值與建築物之設計參數為高度非線性的關係，也是最接近校舍建築物實際耐震能力的量化指標。

而除了兩個數值量化的耐震能力索引外，本研究還將「校舍是否需要補強」 ( $D_{isR}$ ) 這個二元指標作為耐震能力來作為校舍耐震資料庫中的第三個記錄校舍耐震能力的屬性。耐震指標 ( $I_s$ )、耐震需求比 ( $CDR$ )、校舍是否需要補強 ( $D_{isR}$ ) 這三個耐震能力索引與及校舍基本設計參數間的關係模型，即為本研究所取得的第一個校舍耐震資料庫隱含知識，也是本研究所取得最直接相關於校舍設計參數與耐震能力之知識，以下便針對不同指標的預測模型的資料探勘流程與結果詳細介紹。

## 5.1 耐震能力是否足夠與校舍設計之關係模型

「校舍是否需要補強」此一指標其數值之基礎即為詳細評估的耐震能力指標  $CDR$  值， $CDR$  值超過 1 表示其耐震能力尚符合安全規範，反之，則是有安全疑慮，需要進一步補強或是拆除。而此一資料屬性則是標記各校舍是否真的需要進行耐震能力補強的三元指標，可能的數值有三個，包括了校舍無須補強、需要補牆和建議拆除，而本分析將此一三元指標轉換為一個二元指標，即耐震能力是否足夠的資訊，若耐震能力不足則需要補強或是拆除重建，此一資料也是教育部的校舍耐震能力補強計畫中，前期篩選工作的最主要目標。找到這個指標與校舍設計、現況等參數的關係模型，與  $Is$  值和  $CDR$  值關係模型一樣，此一關係模型對於校舍耐震能力補強計畫中，初期的篩選工作可以有很大的助益，也可以輔助決策者編定預算、快速的根據狀況決定不同計畫年度補強的規模等。

本模型之構想為教育部或地方政府在訂定補強計畫或編列預算時，需有管轄範圍內所有需補強校舍之數量統計，依照目前校舍耐震評估與補強之流程如圖 3.2，需等到執行完詳細評估並通過審查決策後才能得之最後校舍是否需補強或拆除，過程需耗大量時間與金錢。使用此關係模型，可於短時間內，依據資料庫之現有資料，隨時進行需補強校舍之數量與分佈之分析。

### 5.1.1 資料前處理

本資料探勘分析所使用之資料為耐震資料庫中，2013 年之已經有進行完初步評估及詳細評估之典型校舍資料，而由於資料庫中之資料均為人工輸入，人工輸入的資料很容易有單位錯誤或是格式不正確的資料，而資料的品質對於資料探勘的結果優劣影響很大，因此需要在資料前處理時把這些問題都處理過，資料前處理的最主要目標是讓處理過的資料能夠很確實的反映出分析問題所要尋找的資料特性，使用的方法包括資料過濾、屬性過濾、新屬性的生成等，本模型採用校舍資料庫中已存在之初步評估與詳細評估資料做為資料探勘輸入參數，前處理的第一個步驟為過濾不合理的資料，通常是人為疏失輸入的不合理資料，使用的過濾條件為國震中心建議的過濾條件：

- 校舍總長或總深度超過兩百公尺
- 有任意牆厚度超過五十公分
- 有任意柱的長或寬超過一百公分
- 柱間跨距超過八公尺或小於兩公尺

第二個步驟是資料屬性的挑選，由於校舍耐震資料庫當中記錄了非常詳細的調查表資料，其中有很多的屬性會有重複的物理特性藏於其中，例如校舍總樓地板面積就包含了校舍長度、校舍深度和樓層數三個資訊在其中，總柱量則包括了不同柱的尺寸和數量資訊在其中，而為了讓輸入的屬性數量能夠更精簡，則需要將部分的屬性挑選出來，盡可能的降低資料的複雜度，但是要保留校舍的特性在，挑選的原則是已有物理意義的屬性優先，避免計算的中間值，然後進量減少重複的屬性特性，但是一些較為重要之屬性還是會保留，像是校舍的長度和深度雖然已經隱含在總樓地板面積中，但是其長度和深度的資訊對於校舍的形狀仍有不可取代的重要性，因此幾乎在本研究中所有的資料探勘分析當中都仍然會挑選做為輸入參數。本模型挑選之屬性集如下：

- |            |              |
|------------|--------------|
| • $S_{aD}$ | • 裂縫鏽蝕滲水等程度  |
| • 樓層數      | • 變形程度       |
| • 二樓樓地板長   | • 短柱嚴重性      |
| • 二樓樓地板深   | • 耐震性能 $E$ 值 |
| • 一樓樓地板面積  | • 耐震指標 $Is$  |
| • 教室柱總斷面積  | • 結構系統       |
| • 柱等效強度    | • 走廊形式       |
| • 平面及立面對稱性 | • 地下樓層數      |
| • 軟弱層顯著性   |              |

最後一個步驟則是子資料集的挑選，挑選的過程可以減少資料複雜度，排除資料庫中的少數資料，並且減少屬性數量，挑選的原則是避開較能代表校舍幾何設計之資料屬性，然後逐一依據其資料之分佈判斷是否要挑出特定之子資料集，如果有相當明顯之資料分佈不均的情形，就會挑出該屬性中所佔比例最大的那群資料做為挑選之子資料集；依照此原則本資料探勘分析之子資料集挑選的條件如下：

**鋼筋混凝土建築** 76%，為最大比例的結構系統，其餘之節鈎系統包括加強磚造、磚造、木造等。

**單邊走廊且廊外無柱** 50%，為最大比例之校舍建築走廊形式。

**無地下室** 84%，大部分之校舍均無地下室。

探勘模型之屬性挑選分為輸入變數與輸出變數，本模型之輸出變數為校舍是否補強之欄位，輸入變數則是我們用來推斷輸出變數之所用變數，以下為本預測模型屬性集內之屬性介紹與選擇說明。

**一般工址或近斷層區域之工址設計水平譜加速度係數** [60] 即  $S_{aD}$ ，隨建築物基本振動週期  $T$  與工址短週期與一秒週期之設計水平譜加速度係數  $S_{DS}$  與  $S_{D1}$  而改變，如表 5-1， $S_{DS}$  與  $S_{D1}$  之值可由校舍所在位置依規範查出。此係數是因校舍位址而改變，並且其  $S_{DS}$  與  $S_{D1}$  為根據所在震區而訂定，藉由此係數可間接知道該校舍可能靠近哪些震區，本分析採用此一屬性，此一屬性同時代表著地震潛勢之資訊，設想為可能某些地區的校舍接受補強之機率較高，因此將此屬性納入屬性集。

表 5-1: 一般工址或近斷層區域之工址設計水平譜加速度係數

較短週期	短週期	中週期	長週期
$T \leq 0.2T_0^D$	$0.2T_0^D < T \leq T_0^D$	$T_0^D < T \leq 2.5T_0^D$	$2.5T_0^D < T$
$S_{aD} = S_{DS}(0.4 + 3\frac{T}{T_0^D})$	$S_{aD} = S_{DS}$	$S_{aD} = \frac{S_{D1}}{T}$	$S_{aD} = 0.4S_{DS}$

**樓層數** 校舍資料庫之校舍樓層數，可以反應校舍結構物的規模，並且校舍之樓層數會影響到地震時之受力反應，與校舍之耐震能力有某種程度上的關連，因此本分析將之納入本探勘模型之屬性集。

**二樓樓地板長、深** 二樓樓地板的尺寸與校舍結構的乘載重量息息相關，而其長寬的比例也影響了結構物的斷面形狀，對於校舍受到地震時的行為影響很大，可能會有特定某些尺寸或是某些比例之校舍其耐震能力較差，因此本研究將二樓樓地板的長和寬分為兩個屬性加入。

**一樓樓地板面積** 校舍之樓地板面積亦屬於建築形式之一環，和樓層數一起從不同角度呈現了結構物的規模，因此可視為該校舍之特有形式，本分析假設此一特性與其是否需要補強之間存有一關係，特定樓地板面積大小有其對應之耐震能力，因此某些尺寸之樓地板面積可能需要補強之校舍較多。

**教室柱總斷面積** 台灣中小學校舍其建築形式較為固定，教室柱之多寡或其尺寸亦可視為建築形式中之一環，且柱之斷面積直接反映了它所提供的乘載能力，因此本分析推測在這些校舍中，教室柱應該存有某些特定總斷面積大小之校舍其耐震能力較差，也將此屬性納入屬性集做為本探勘模型之輸入屬性。

**柱等效強度** 柱之等效強度  $T_{AC}$  其計算公式為：

$$T_{AC} = (4 + 1.8NF)ClaAc + (2.4 + 1.08NF)CorAc + 2.6InsAc \quad (5-1)$$

其中  $NF$  為樓層數， $ClaAc$  為一樓教室柱總斷面積， $CorAc$  為一樓走廊外柱總斷面積， $InsAc$  為一樓隔間柱總斷面積，其公式為根據三種類結構柱之單位斷面積極限剪力牆度計算公式 [61] 之加總，本分析將此屬性加入探勘模型之最初原因為該公式內有教室柱、走廊外柱與隔間柱於一樓的總斷面積，而此一數值和便可呈現所有結構柱之資訊。本分析經建立多組模型與各種屬性集之測試均發現該屬性對模型之預測結果有一定影響。

**平面及立面對稱性** 初步評估表中的調整因子之一，可知該屬性為影響校舍耐震能力之屬性之一，校舍是否補強其最相關的為評估完之耐震能力，因此將該欄

位加入屬性集。

**軟弱層顯著性** 初步評估表中的調整因子之一，可知軟弱層顯著性會影響結構物之耐震能力，結構物之耐震能力愈低，其接受補強的機率就愈高，因此將此屬性納入屬性集。

**裂縫鏽蝕滲水等程度** 初步評估表中的調整因子之一，可知該屬性為影響校舍耐震能力之屬性之一，是最能代表校舍現況的屬性，因此將該欄位加入屬性集。

**變形程度** 初步評估表中的調整因子之一，可知該屬性為初步評估表中結果之影響因子，可影響評估最後結果之耐震能力，因此將之加入本屬性集。

**短柱嚴重性** 初步評估表中的調整因子之一，短柱效應其影響校舍之耐震能力相較於其他影響因子相對於較大，校舍評估出來之耐震能力幾乎是校舍是否需補強之主要因素，因此該欄位更應該加入本探勘模型之屬性集。

**耐震性能** 耐震性能  $E$  值為初步評估中透過牆柱等效強度所推算得到之初步計算耐震性能，本模型之預測目標為校舍是否需補強，耐震能力的估算值非常重  
要，因此將該屬性列入本屬性集。

**耐震指標** 耐震指標  $Is$  為初步評估最後之評估值 [35]，同時包含了耐震性能以及調整因子的資訊在其中，雖然耐震指標  $Is$  不是最後決定補強之最後依據，但也具有一定之影響性，是非常重要的參數。

資料前處理完成後，得到了一組 14 個屬性，共有 2203 筆資料，其中有 785 棟校舍是在後續的詳細評估中，被技師判斷為需要補強的校舍，約佔三分之一。

### 5.1.2 資料探勘與結果

探勘模型於建立屬性集後，接著即是依挑選之屬性設定最適合該探勘方法之資料格式及資料類型。

本分析原先採用支持向量機與 CHAID 決策樹進行資料探勘之建模，選擇此二種探勘方法，主因為本分析之預測目標，是否需補強其資料類型為一個二元屬性，

只有需要補強和不需要補強兩種值，這種屬性的模型屬於分類類型的資料探勘知識，而支撑向量機和決策樹正好是非常適合這種類型知識的探勘方法，CHAID 經初步測試本分析之預測目標，其效果不錯，但支撑向量機其結果不如預期的好，因此本分析改為使用類神經網路，使用前處理完之 2203 筆資料並挑選屬性集內之欄位，將整體資料分為訓練區 70% 與測試區 30%，做為探勘模型之訓練方法，使用 SPSS Modeler [62] 建立模型，其節點之設計如圖 5.1 所示。類神經網路模型的參數設定為使用 Multilayer Preceptron (MLP) 形式之神經網路，隱藏層之設計為讓演算法尋找最佳的神經網路，其會從兩層隱藏層，各有兩個神經元節點開始慢慢拓展神經網路的大小，直到找到最適合此一問題的神經網路，停止條件則為訓練 15 分鐘後停止；CHAID 決策樹的訓練設定則為：最大決策樹深度為五層，停止條件為決策節點之資料筆數為總數之 1%。兩種不同方法所訓練得到之模型的命中率結果如表 5-2。

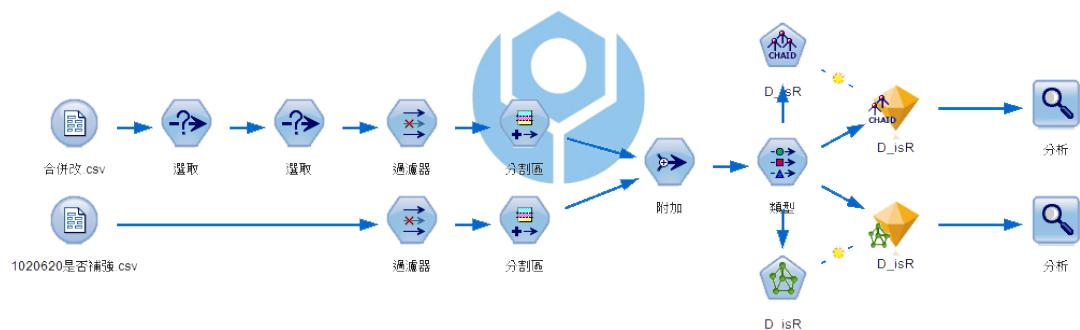


圖 5.1: SPSS Modeler 探勘「校舍是否需要補強」之流程設計

表 5-2:「校舍是否需要補強」模型結果

	ANNs		CHAID	
	Training	Testing	Training	Testing
命中率	93.03%	91.41%	91.14%	88.59%

結果得到的兩個模型其表現都非常好，均有超過 90% 的命中率，顯示此一模型能夠非常正確的透過校舍的一些現狀資訊和基本設計參數來判斷出校舍的耐震能力是否足夠，判斷是否需要補強。而由於實務上，需要補強的校舍有兩種來源，一種是經由初步評估判斷耐震能力不足後，再經由詳細評估由技師模擬，確定校

舍耐震能力不足，另一種則是雖然初步評估結果表示其耐震能力上沒有安全疑慮，但是技師現場判斷其建築物有安全疑慮，而初步評估表無法反映出來時，會以特殊案例進入詳細評估流程，而技師使用電腦進行模擬分析後，才判斷其是否需要補強。考量到有此兩種情形， $Is$  做為篩選的條件尚有其極限，因此本研究還比較  $Is$  值與本分類模型，比較看兩模型之結果與實際上有補強之校舍比例分佈。

表 5-3 將本資料探勘分析中表現較好的類神經網路所建置的模型與  $Is$  值做比較。可以發現目前的有非常高比例有補強的校舍其  $Is$  值小於 80 分，而 80 分正是校舍耐震能力補強中，需要進入詳細評估之閾值，因此可以產生兩種推論，其一是目前初步評估判校舍是否安全之條件不夠保守，以致於進入詳細評估之校舍有 98% 都是需要補強的校舍，可能有部分校舍在初步評估是高於 80 分，但是實際上其耐震能力並不足夠，在目前的補強流程下就很容易被忽略。另一種推論則是預期中可能會有部分比例的校舍根據技師現場判斷，即使  $Is$  值足夠，但是仍有安全疑慮，甚至需要補強的情形，在此一分析所使用的資料集當中，所佔的比例太過稀少，無法確實的對模型產生影響力。

本資料探勘分析的模型目前雖然有 93% 的命中率，但是實務上之使用仍有疑慮，主因是目前資料庫中，校舍耐震能力 CDR 值足夠的校舍比例太少，這個現象確實反映出初步評估的  $Is$  值有其可靠性，但也相對的讓用來訓練模型的數據分佈的不夠平均，所訓練出來的模型可能無法確實的反映出不同耐震能力校舍之特性，如要進一步增進此模型之可靠度，則還需要加強耐震能力足夠之校舍的詳細評估資料。

表 5-3: 校舍是否需要補強模型與  $Is$  值之比較

	ANNs	$Is < 80$	$Is < 90$	$Is < 100$
命中率	93.03%	98.01%	82.53%	69.99%

表 5-4 是本探勘分析類神經網路模型的參數重要度，此一模型當中，參數的重要性分佈和的模型結果一致，是耐震指標  $Is$  值和耐震性能  $E$  值，兩者之差異為調整因子，而調整因子在本分析中也有各自獨立分開做為模型的輸入參數，還

可以發現在這些調整因子當中，重要度最高的是軟弱層顯著性，除了這些屬性之外，還有兩個輸入屬性的重要性也很高，分別是柱等效強度和教室柱總斷面積，兩者都是和校舍的乘載力息息相關的輸入屬性。

表 5-4: 耐震能力是否足夠類神經網路關係模型屬性重要度

屬性	重要度
$S_{aD}$	0.038
樓層數	0.031
二樓樓地板長	0.042
二樓樓地板深	0.027
一樓樓地板面積	0.061
教室柱總斷面積	0.121
柱等效強度	0.124
平面及立面對稱性	0.022
軟弱層顯著性	0.036
裂縫鏽蝕滲水等程度	0.021
變形程度	0.022
短柱嚴重性	0.016
耐震性能 $E$ 值	0.204
耐震指標 $Is$ 值	0.235

## 5.2 耐震指標與校舍設計之關係模型

校舍耐震資料庫中的初步評估資料表的耐震索引 ( $Is$ ) 是初步評估中用來表示校舍結構物耐震能力用的屬性，初步評估是校舍耐震能力補強作業中，很重要的篩選過程，因為建築物的詳細評估所需要的金額極高，評估需要的時間也很長久，因此需要一個速度、價錢和可靠度都可以接受的評估方法，用比較短的時間找出耐震能力有疑慮的校舍，盡早處理。而地震中心所設計的初步評估表即為一個速度、價錢和可靠度都可以接受的評估方法，只要根據建築物的設計參數，像是樓層數、長度、深度、柱子尺寸以及校舍現況等，就可以快速的得到一個極具參考價值的耐震能力指標，而其計算的原理也與詳細評估的耐震需求比一樣，為耐震容量與耐震需求的比。找出  $Is$  值與校舍設計參數之間的關係模型，可以進一

步分析初步評估表中各種數據的重要性，並將結果回饋到此一初步評估表，將初步評估表調整的更為有效，負責評估的人員也可以更快速的完成此一評估表格。

### 5.2.1 資料前處理

本資料探勘分析使用的是校舍耐震資料庫中，2010 年時典型校舍已經有完成詳細評估之校舍資料，是從國震中心的校舍耐震資料庫中，將各棟校舍的  $I_s$  值與其校舍的相關資料挑出並整合在一起，資料前處理的第一步是過濾掉明顯不合理的錯誤資料，過濾的方法則是使用國震中心建議的過濾條件，大約有八百筆資料符合這組基本的過濾條件，而在初步的過濾之後，前處理的第二個步驟則是減少資料屬性的維度，主成分分析（principal component analysis, PCA）是很常使用的資料前處理方法，這個分析方法可以找出所有資料屬性中，重要度較高的屬性，它是把原始的多個資料屬性，透過向量轉換的方式，線性組合出主要的資料屬性。

校舍的分群則是基於校舍的設計模式，目標是要找出校舍建築物的幾種特定設計模式，也就是要分析校舍的幾何設計參數、柱量、牆量等等，經過不斷的測試及調整，最後找出了五個主要成分屬性：

- 走廊柱資訊
- 教室柱資訊
- 牆設計資訊
- 牆量資訊
- 柱量資訊

在前面的處理完成後，還使用分群分析將校舍分群，以幫助後續的  $I_s$  值關係模型的建立，分群的目標是將校舍依照不同的設計模式特性區分開來，將相近設計的校舍放在同一群集，分群的依據是主成分分析法所找出的五種主要校舍設計相關屬性，圖 5.2 是使用 SPSS Modeler 進行此一分群分析時的節點設計圖，分別使用的是 K-means 和 Two-Step 兩種分群演算法。

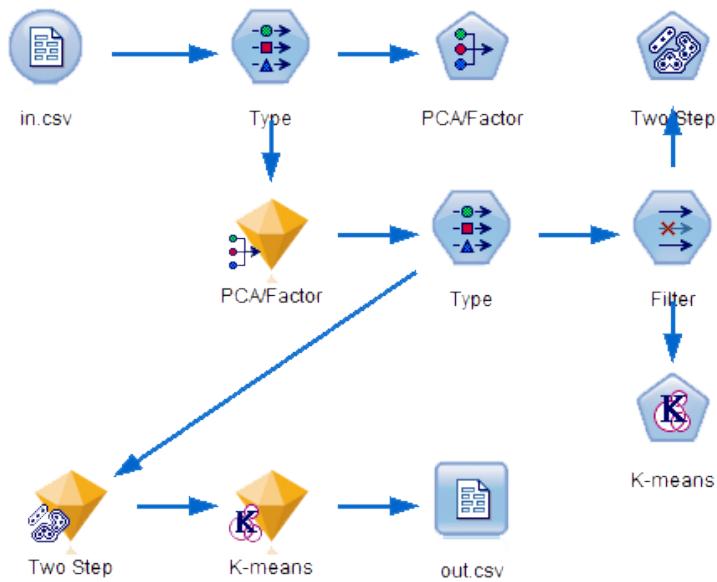


圖 5.2: SPSS Modeler 建立校舍群集之流程設計

### K-means



此一分群方法最重要的設定參數是初始的群集數  $k$ ，雖然有許多研究都在探討如何找出最佳的  $k$  值，但是目前仍沒有一個方法可以宣稱它找到  $k$  值是最佳的，唯有對該領域的專業了解以及詳細的測試才能得到最佳的  $k$  值，在本分析案例中，K-means 分群的停止條件是設定為 20 次迭代，如果  $k$  太大，那會造成分群結果無法在 20 次迭代內收斂，如果  $k$  小於 6，則分群的結果就可以在 20 次迭代內完整的收斂，每筆資料都會固定在所屬的群集內，不再變動，最後挑選的  $k$  值是 5，而根據此一參數的分群結果可以找出三個主要的校舍群集，分別的比例是 28%、56% 和 16%。

### Two-Step

Two-Step 分群有兩個優點，一是時間複雜度低，運算時間與資料數量間之關係為線性關係，第二個優點就是不需要由人工決定分群的群數，演算法即可自己根據資料狀況決定，操作人員只需給予上下限，在本分析中，上下限的設定為最少兩個群集，最多八個群集，而最後的分析結果是所有的資料都被分到兩個群集

中，分別佔了 54% 和 45%。

此資料探勘分析還用了十群交叉驗證來驗證結果的可靠度，因此資料前處理的最後一個步驟就是將整理好的資料隨機分為十組。

### 5.2.2 資料探勘

完成資料前處理，將校舍的群集分好之後，才開始建立  $I_s$  值與校舍設計參數的關係模型，本分析使用了廣義線性模型、線性迴歸和類神經網路三種分析方法，每種方法都有三種分析資料群，分別為先經過 K-means 分群的資料、先經過 Two-step 分群的資料及沒有先經過分群的資料。圖 5.3 為使用 SPSS Modeler 分析時的節點設計圖。以下分別對三種分析方法的參數設定作說明。

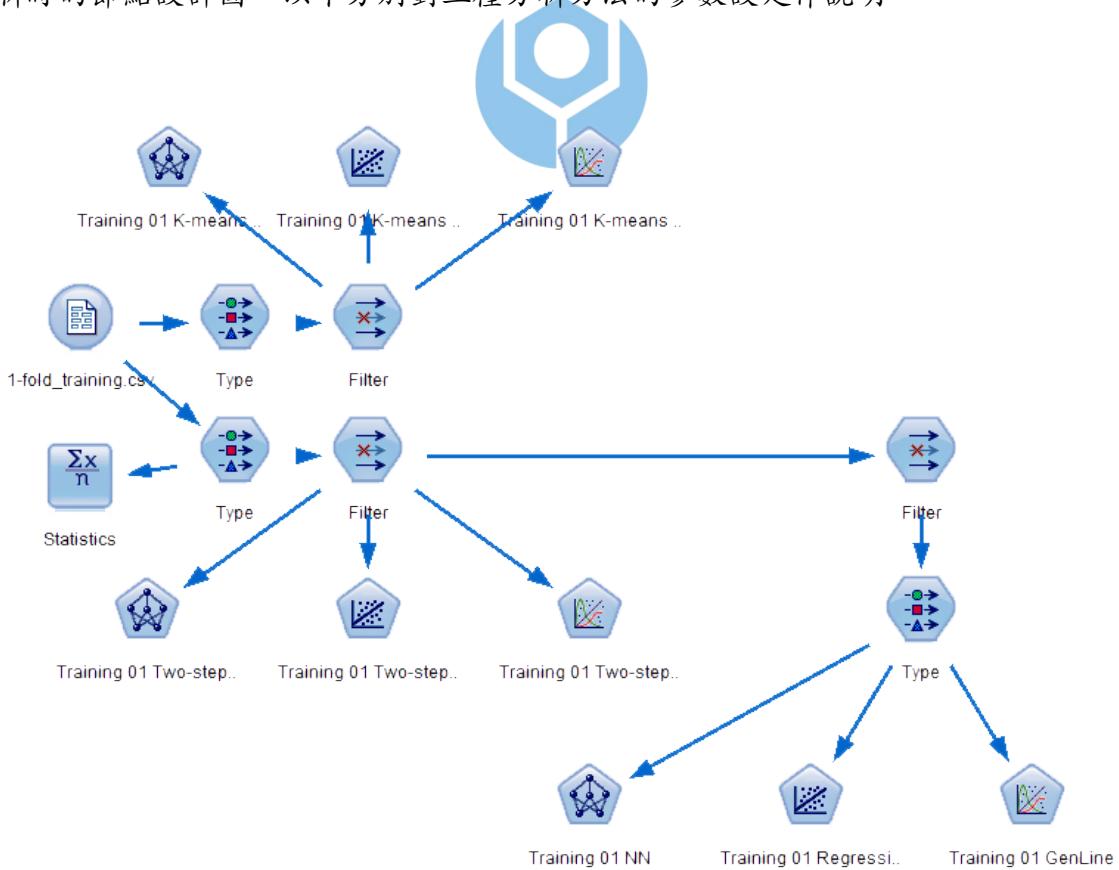


圖 5.3: SPSS Modeler 建立  $I_s$  關係模型之流程設計

## 廣義線性模型

廣義線性模型是假設在輸入參數和預測目標之間有一個可以用連結函數表達的關係，這個連結函數可能是指數函數、對數函數、Logistic 函數等，經由一些測試資料的測試，選擇使用對數函數作為連結函數，並且根據實際的資料分佈選擇了常態分布作為輸入參數的分佈函數，而關係模型的分布也選擇常態分佈，因其表現較其他分布形式較好。

## Simple Regression

線性迴歸是選擇使用最小平方根法來建立校舍建築物的設計參數與其耐震能力  $I_s$  之間的關係，這也是最常使用的迴歸方法之一。



## Artificial Neural Networks

類神經網路需要決定的參數包括隱藏層的數量、每層的神經元數量、學習率、停止條件等，除了直接設定神經網路的參數，還有一些方法可以使用，例如 dynamic、multiple 或是 prune method 可以用來調整並找出最佳的神經網路大小和結構，dynamic method 是從一個小型的神經網路開始（兩個隱藏層、每層兩個神經元），慢慢成長，並且比較成長前後的神經網路效能與結果，multiple method 則是同時產生各種不同的神經網路，並且一起訓練到達停止條件，然後在從中挑選出表現最好的一個，而 prune method 則是從一個大的類神經網路開始，慢慢的把重要度低的神經元節點拿掉。本分析最後挑選的是 exhaustive prune method，是 prune method 的一種修改形式，對於節點的篩選要求較高，是所有方法中最花時間的，但是通常也可以找到最好的結果。其他的類神經網路設定參數為：初始的神經網路為兩層隱藏層，其中一層有 30 個神經元、一層有 20 個神經元，停止條件為 250 個訓練循環，在這個設定下，exhaustive prune method 是表現最好的方法。

### 5.2.3 結果與驗證

此資料探勘分析會產生九個校舍耐震能力與校舍建築設計資訊間的關係模型，包括直接使用 GLM、線性迴歸和類神經網路的三組，混合使用 K-means 或是 Two-Step 分群的六組，要比較其優劣我們使用了線性關係  $R^2$  和 MAPE 兩個指標，其中線性關係越高表示兩者之間越接近，也代表著關係模型的正確性，而 MAPE 的是用來表示關係模型誤差之數值，由於關係模型不可能完全沒有誤差，即使有非常高的線性關係也是會有誤差，因此會使用 MAPE 作為判斷其誤差程度的參考。

表 5-5 列出了這九個關係模型使用這三個指標配合十群交叉驗證所得到的數值，表現最好的關係模型是先使用 K-means 分群再使用 GLM 所建立的，第二好的則是先使用 Two-step 分群再使用 GLM 所建立的，圖 5.4 是先使用 K-means 分群再使用 GLM 所建立模型的實際  $I_s$  值與使用模型得到的  $\hat{I}_s$  值的比較圖，資料點迴歸線的斜率非常接近 1，可以看得出來兩者之間的相關度非常高。如果單看模型的線性關係表現，類神經網路的表現比 GLM 和線性迴歸都要來的好，這也可以驗證校舍的耐震能力與其設計參數之間是一個非線性的關係，因此建議在  $I_s$  值的關係模型的挑選，可以依據應用的需求來決定，如果需要較高準確率的時候，建議使用 ANN，如果是需要降低整體的誤差，則建議使用 GLM。如果先使用分群方法將校舍資料根據設計參數分出不同群集後，再對不同群集分別探勘其耐震能力與設計參數的關係模型，結果會比沒有先分群要來的好一些，探討其原因，是因為典型校舍已經是校舍建築物的一個子集合，而此子集合的特性已經非常接近，因此再進行分群也不會有顯著的改善。

表 5-5:  $I_s$  關係模型之交叉驗證結果

	K-means ANNs	Two-step ANNs	ANNs	K-means Regression	Two-step Regression	Regression	K-means GLM	Two-Step GLM	GLM
$R^2$	0.64	0.67	0.65	0.52	0.52	0.52	0.76	0.76	0.76
MAPE	28.69%	26.64%	26.51%	46.06%	46.05%	46.05%	24.68%	24.70%	24.71%
hit_rate(0.2)	53.12%	54.29%	54.31%	40.16%	40.17%	40.21%	48.82%	48.64%	48.52%
hit_rate(0.1)	27.71%	28.72%	28.75%	21.13%	20.98%	21.09%	25.05%	25.16%	25.16%
Rank	6	4	3	9	7	8	1	2	4

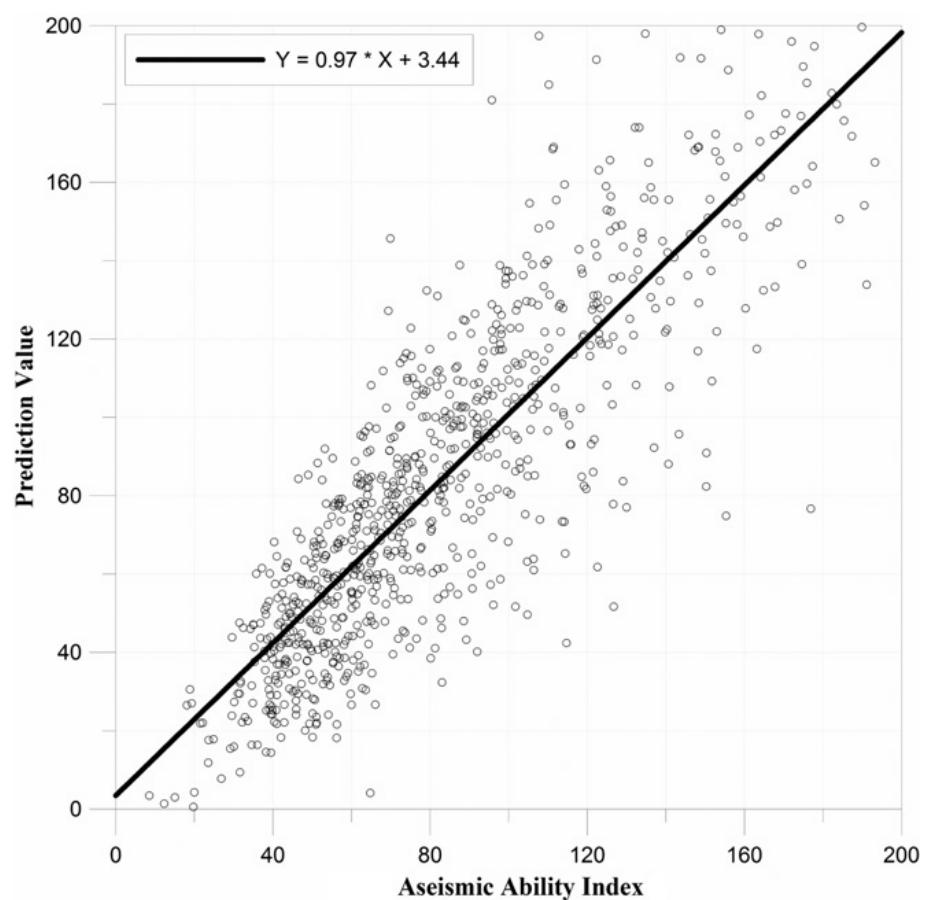


圖 5.4: GLM 加 K-means 建立之  $I_s$  關係模型預測值 vs 實際值

由於校舍補強預算和時間有限，因此其執行的優先順序就會依照評估得到的耐震能力作為參考排序，因此本分析還用此實際的應用作為另一個評量關係模型優劣的指標，此指標將所有的校舍依照其  $Is$  值排序後，照順序等分成 10 群，另外在用關係模型得到的  $\hat{Is}$  排序，一樣照順序等分為 10 群，接著比較每筆校舍所分配到的群集，如果實際所屬的群集編號和關係模型得到的群集編號一樣，則誤差(error)為 0，如果差了一號，則誤差為 1，差了兩號則誤差為 2，表 5-6 即為九組關係模型的排序誤差結果。可以發現表現最好的一組仍然為先使用 K-means 分群再用 GLM 探勘所得到的關係模型，其誤差小於 1 的資料比例為 70.8%，誤差小於 2 的資料比例則有 88.9%。

表 5-6:  $Is$  關係模型之序列式分析結果

Error	K-means ANNs	Two-step ANNs	K-means Regression	Two-step Regression	K-means Regression	K-means GLM	Two-Step GLM	GLM
0	32.8%	35.0%	33.9%	33.4%	34.1%	33.3%	35.6%	34.9%
1	36.0%	35.2%	36.5%	35.4%	34.2%	35.5%	35.2%	35.9%
2	17.5%	15.2%	16.2%	16.6%	17.1%	16.4%	18.1%	17.3%
>2	13.7%	14.6%	13.5%	14.6%	14.7%	14.8%	11.1%	11.9%
Rank	5	5	4	7	9	8	1	2

### 5.3 耐震需求比與校舍設計之關係模型

校舍耐震資料庫中，詳細評估表的耐震能力索引即為耐震需求比 (CDR)，其是用來評估校舍是否需要補強、甚至是拆除的最重要依據，此數值需要由專業人士進行完整且詳細的評估，取得非常耗時耗力，且評估需要之經費也不便宜，是一個與校舍結構材料、設計與現況等參數之間為高度非線性的關係的數值，如果能夠取得此一關係模型，對於校舍耐震能力補強計畫來說，絕對可以有很大的幫助。

### 5.3.1 資料前處理

本分析使用之資料為 2011 年時典型校舍已經有完成詳細評估之校舍資料，資料前處理的第一個步驟就是資料合理性分析，要把有問題的資料，不合理的資料都過濾掉，過濾的條件則是依照國震中心所建議的典型校舍特性的過濾條件：

- 校舍深度介於六到二十公尺之間
- 校舍跨距介於二到八公尺之間
- 每間教室至少有一個跨、兩個柱
- 是否有短住效應
- 校舍的破壞地表加速度是長向較小



接著，由於校舍資料庫中的原始資料是詳細記錄整個調查評估流程的所有資料，因此每棟校舍都會有上百個資料屬性，資料前處理的第二個步驟就是要對這些大量的資料屬性篩選與合併，依照前面所介紹的屬性挑選原則，並與國震中心之專家討論過後，過濾掉大部分的屬性，所挑選出來的屬性為：

- |                    |                         |
|--------------------|-------------------------|
| • 樓層數 ( $P_1$ )    | • 二樓樓地板面積 ( $P_9$ )     |
| • 鋼筋強度 ( $P_2$ )   | • 總樓地板面積 ( $P_{10}$ )   |
| • 混凝土強度 ( $P_3$ )  | • $S_{DS}$ ( $P_{11}$ ) |
| • 校舍長度 ( $P_4$ )   | • $S_{D1}$ ( $P_{12}$ ) |
| • 校舍深度 ( $P_5$ )   | • 走廊柱數量                 |
| • 教室柱數量 ( $P_6$ )  | • 走廊柱斷面積                |
| • 教室柱斷面積 ( $P_7$ ) | • 其它教室柱數量               |
| • 是否有走廊 ( $P_8$ )  | • 其它教室柱斷面積              |

- 是否有 RC 牆
- 是否有三面圍束磚牆
- 是否有四面圍束磚牆

其中  $S_{DS}$  是校舍的震區設計水平譜加速度係數， $S_{D1}$  則是一秒週期的設計譜加速度，都是分析校舍耐震能力時非常重要的參數。而為了能夠繼續減少資料屬性的數量，本分析接著還繼續對這些資料進行子資料集的挑選，一樣是依照前面所介紹的子資料集挑選原則，根據其屬性分布挑選出一組典型校舍子集來分析，這個挑選出來的子資料集之特性為：

**沒有走廊柱** 58%，校舍多為單邊走廊且無走廊柱，考慮到走廊柱應該對於校舍之安全性有較大之影響，因此加入此條件。

**只有一種教室柱** 69%，由於校舍多數為只有一種教室柱，且考慮將問題簡化為只有樑柱之結構體問題，因此加入此條件。

**校舍沒有 RC 牆** 92%，校舍少有 RC 牆。



**沒有四面圍束磚牆** 84%，校舍少有四面圍束磚牆。

**沒有三面圍束磚牆** 60%，以上三條件主要目的在於將問題簡化為只有樑柱之結構體問題。

根據這五個條件可以減少七個資料屬性，包括了是否有 RC 牆、是否有四面圍束磚牆、是否有三面圍束磚牆以及其它教室柱及走廊柱的斷面積和數量。到此一步驟完成的資料總共有 107 筆，每筆資料有 12 個屬性。並依照順序編為  $P_1$  到  $P_{12}$ ，另外也根據專家的建議，使用現有的資料組合出兩個新的屬性，分別是校舍的教室數量 ( $P_{13}$ ) 和校舍建築物的跨距 ( $P_{14}$ )，以下介紹各輸入屬性：

**樓層數** 建築物的樓層數直接反映了該建築物結構所需乘載的重量的規模，樓層數越高表示其結構所需要能乘載的重量越多，同時，不同樓層的建築物結構和高度均有顯著差異，其在承受相同水平側力時所產生之變形量也會有所不同，因此將其納入輸入參數。

**鋼筋強度** 鋼筋混凝土校舍結構物之鋼筋要乘載其所受到的拉力，例如校舍受力變形產生的拉力，樑乘載樓版重量時的拉力等，因此其強度直接影響了結構元件所能承受的最大拉力，間接的也影響了建築物整體的結構強度，因此將其納入輸入參數。

**混凝土強度** 鋼筋混凝土校舍結構物之混凝土要乘載其所受到的壓力，例如校舍受力變形或是乘載重量所產生的壓力等，因此其強度直接影響了結構元件所能承受的最大壓力，間接的也影響了建築物整體的結構強度，因此將其納入輸入參數。

**校舍長度、校舍深度** 校舍的長度和深度資訊可以表現出校舍的規模及結構形式，並且能夠從中推測出結構物所需乘載的重量，因此將其納入輸入參數中

**是否為雙邊走廊** 本研究已經將分析的資料集限制在沒有走廊柱的校舍範圍內，而是否有雙邊走廊則影響到校舍短向的配重方式，如果是雙邊走廊表示其配重較平均，如果是單邊走廊則其走廊側之教室柱所需要乘載的重量會較大。

**二樓樓地板面積** 由於典型校舍形式固定，每層樓之樓地板面積差異不大，因此可以使用二樓樓地板面積作為代表每層樓之樓地板面積以及其所佔地坪，此一屬性乘上樓層數即為總樓地板面積，直接反映了結構物所需乘載的重量規模，但其獨立存在時仍有其物理意義，因此仍然保留此一屬性。

**總樓地板面積** 總樓地板面積直接反映了結構物所需乘載的重量規模，是非常重要的參數，因此納入輸入屬性。

**教室柱數量、教室柱斷面積** 教室柱數量以及其斷面積可以代表校舍結構物中，乘載重量的能力，在評估結構物的耐震能力時也是非常重要的資訊，因此將此二屬性納入本分析的輸入屬性中。

**震區設計水平譜加速度係數， $S_{DS}$**  代表工址所屬震區在堅實地盤下，設計地震作用時短週期結構之 5% 阻尼譜加速度與重力加速度  $g$  之比值。是判斷結構物耐震能力是否足夠時的重要依據，因此將其納入輸入屬性中。

**一秒週期的設計譜加速度**， $S_{D1}$  代表工址所屬震區在堅實地盤下，設計地震作用與一秒週期結構之 5% 阻尼譜加速度與重力加速度  $g$  之比值。

**教室數量、跨距** 校舍的教室數量以及跨距兩個屬性是在調查時並沒有調查的資料，不過可以由其他的屬性資料中推算得到，而在跟國震中心的專家討論過後，認為可以將此兩個屬性也加入此分析的輸入屬性，因其都可以代表校舍結構物的結構資訊，教室數量代表著典型校舍的隔間情形，也包含了隔間牆的分布，而跨距則可以代表校舍結構物中柱子的平均乘載量。

前處理的最後一個步驟是資料的正規化，因為不同屬性的物理意義不一樣，其數值的數量級差異也很大，如果有一個重要參數其數量級很小，那就會增加探勘的難度，因此為了減少數量級差異造成的影響力落差，要先把參數經過正規化處理，正規化的方法很多，可以把屬性的數值調整至 0 到 1 的區間，也可以用標準差和平均值來作調整，其最重要的目標是要保留原始數值的分布，本分析則是對鋼筋強度、混凝土強度、二樓樓地板面積、總樓地板面積和教室柱斷面積除以 1000，讓這些屬性的數量級和其他屬性的數值比較接近。

完成以上所有的前處理工作後，可以得到 107 筆校舍資料，每筆資料有 14 個屬性，並分 80% 為訓練資料集、20% 為測試資料集，本分析就是針對這個資料集作分析。

### 5.3.2 資料探勘

#### Genetic Programming

雖然校舍耐震能力的資料中，最能代表校舍耐震能力的數值是  $CDR$  值，但是由於其組成成分中的  $A_D$  值的數值是根據建築物所在地而決定的，和校舍設計、建築方式有關係的參數則是  $A_C$ 。因此本分析使用資料探勘所尋找的知識為校舍設計參數與校舍破壞地表加速度  $A_C$  間的關係模型，首先是使用 GP 方法來進行資料探勘，使用 GP 分析的結果可以作為了解模型複雜度的參考，本分析使用 Matlab [63] 實做 GP 方法。運算樹的層數影響了所建構模型的複雜度，越多層

可以建構出越複雜的模型，然而卻可能會造成無法收斂、運算時間太長或是太過複雜的模型等問題，本分析先使用不同的運算樹層數來進行測試和調整，最後根據運算所需時間和模型的結果表現，選擇了 4 和 5 層運算層之運算樹層數來進行後續的資料探勘，在本分析中使用了多組不同的參數設定進行測試與探勘分析，最後的結果是使用 200 組基因、5000 次的演化，並且交配率是 0.8、突變率是 0.1，而交配函數使用的是 Scattered 函數，突變函數使用的是 Adaptive Feasible 函數，兩者都是非常通用的函數，可以處理各種不同面向的問題。表二是此分析中 GP 演算法的資料探勘結果的 RMSE(均方根誤差) 值。

RMSE 是本分析案例中最主要用來判斷模型品質的索引，定義如下：

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{N}} \quad (5-2)$$

其中  $N$  是資料的總數， $y$  是使用探勘得到的關係方程式所求得的建築物耐震能力  $A_C$  值， $\hat{y}$  則是詳細評估的非線性分析所得到的建築物  $A_C$  值，建築物的破壞地表加速度分布在 0.04 至 0.5 之間，國震中心專家則建議 RMSE 值需要低於 0.04，此模型才夠有能力用來鑑別校舍的耐震能力優劣與否，表二中的控制組則是使用 SPSS Modeler 的類神經網路所建立的模型，類神經網路的設定為使用 Exhaustive Prune 方法來發展神經網路，初始神經網路為兩層隱藏層，分別有 30 個和 20 個神經元，訓練 250 個週期，結果的 RMSE 是 0.041，非常接近目標的 0.04，本分析使用了 GP 來建立校舍的  $A_C$  值與其設計參數間的關係模型，結果的模型其品質和使用類神經網路所建立的模型非常接近，然而類神經網路所建立的模型其複雜度太高，且其機制為一黑盒子，而 GP 方法產生的模型就只是一個代表方程式的運算樹，可以非常快速的將結果拿到各種不同環境或平台中應用。

然而使用 GP 方法所建立的關係模型其表現並不好，RMSE 只能達到 0.06，而根據圖 5.5 可以發現，其實使用 GP 方法並沒有正確的建立  $A_C$  和校舍設計參數間的關係模型，主因為其只使用了三個輸入參數，且其方程式複雜度也不高，可以推斷此一個關係模型的複雜度很高，而 GP 方法並不能正確的找出這個關係。

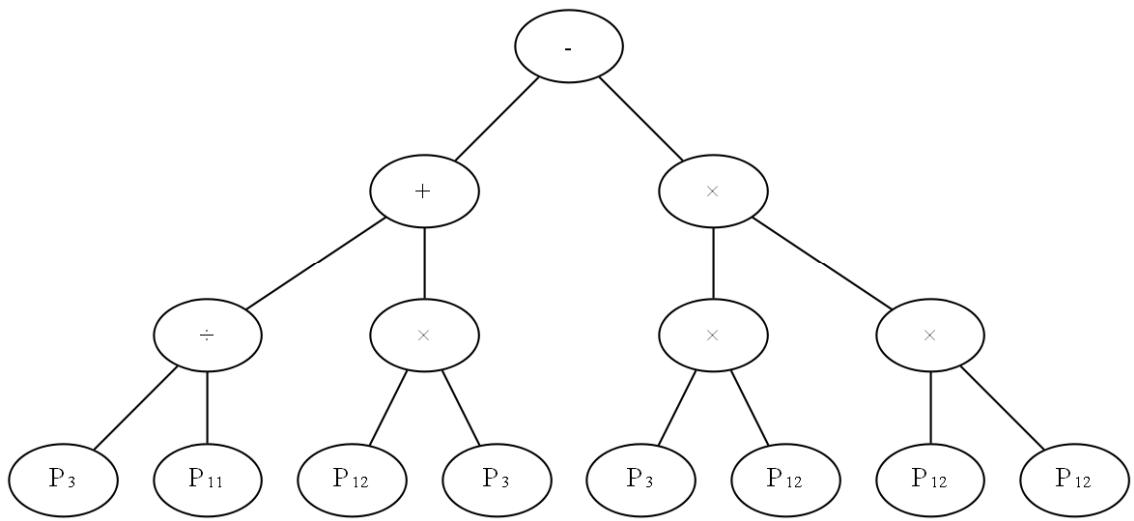


圖 5.5: 四層 GP 運算樹形式之 CDR 關係模型

$$A_C = \frac{P_3}{P_{11}} + P_3 P_{12} - P_3 P_{12}^3 \quad (5-3)$$

**Weighted Genetic Programming**

WGP 是本分析第二個使用的方法，同樣是使用 Matlab 實做，和 GP 一樣選擇了五層的運算樹，其他的基因演算的參數也都和 GP 分析中使用的一樣，200 組基因演化 5000 代，交配率是 0.8，突變率是 0.1，而唯一不一樣的參數則是權重  $w$  的範圍，設定為 +10 到 -10 間，在此設定下分析 30 次，從中挑出表現最好的一組關係模型，其 RMSE 值在表 5-7 中，圖 5.6 是此關係模型的運算樹結構，其符號定義與 GP 方法運算樹使用的一樣，唯一不同的是黑色實心點，代表的是  $f = w_1 x_1$ ，此關係模型的方程式如下：

$$A_C = (165P_{10}^{8.86P_6}P_4^{4.86} + \frac{22.5P_8 + 39.5P_{10}}{P_{10}})^{-98.6P_4P_8^{-1.3}-133P_{10}-0.05P_7^{1.38P_{10}}} \quad (5-4)$$

表 5-7 列出了 WGP 方法所建立的校舍設計參數與其最小破壞地表加速度  $A_C$  間關係模型的 RMSE 值，四層運算樹所建立之模型，其值為 0.0394，比使

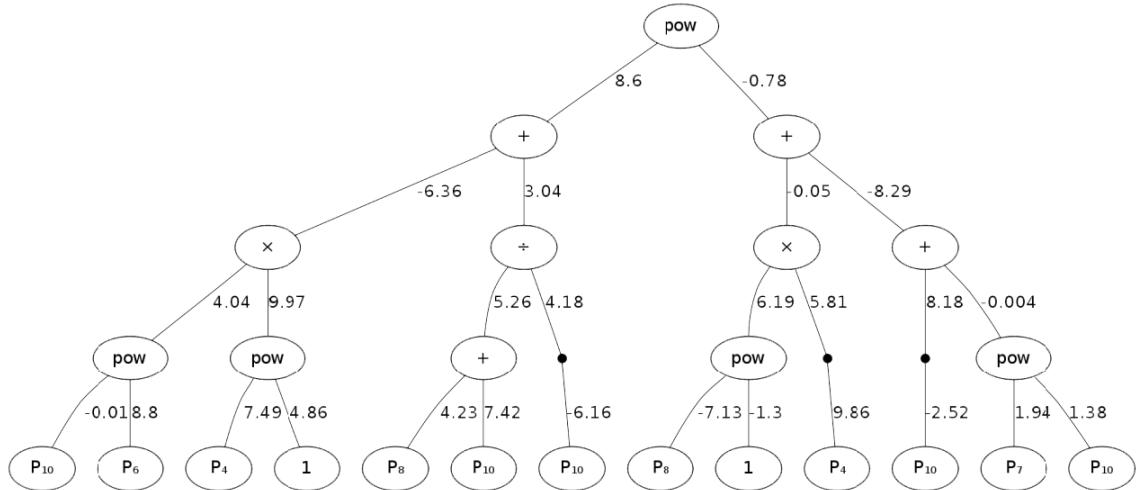


圖 5.6: 四層 WGP 運算樹形式之 CDR 關係模型

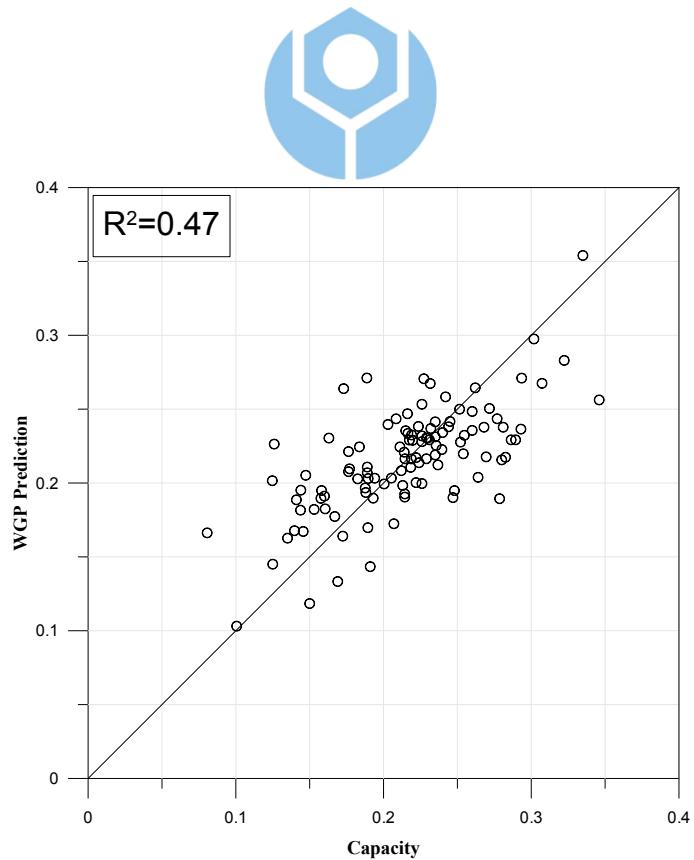


圖 5.7: WGP 建立之 CDR 關係模型預測值 vs 實際值

用類神經網路所建立的關係模型表現還要好，圖 5.7 是此模型的推估值與實際值的比較圖，可以看得出來比使用 GP 所建立的模型要來的好，而表中所列出五層之運算樹的表現雖然更好，但其訓練所需時間太長，與得到之模型品質差提升相比並不值得，且輸出之公式長度也增加很多，故並不建議使用。

## Capacity Index Formulation Tuning

CDR 是詳細評估所得到的，校舍建築物的耐震能力指標，是校舍結構所能承受的地震力和規範所規定，校舍所在位置所需要能承受的地震力的比值，CDR 大於 1 表示其耐震能力足夠，如果 CDR 等於 1 則表示耐震能力與需求相等，然而  $I_s$  值的數量級和 CDR 不一樣， $I_s$  是百分系統，100 表示耐震能力與需求相等，不過  $I_s$  內其實還有一個調整參數  $I$  為 1.25，而此時如果 CDR 是 1 則  $I_s$  是 80，這個關係可以用來將  $I_s$  值轉為  $C_E$  值，其物理意義和  $A_C$  相同。

$$C_E = f(I_s) = \frac{I_s \times Demand \times I}{80} \quad (5-5)$$

$I$  是確保  $C_E$  值能趨於保守用的係數，在國震中心的設計中，校舍的  $I$  定為常數，為 1.25， $C_E$  即為最小破壞地表加速度，不過其可靠度較詳細評估所得到的數值低，因此本研究下一個分析目標即為修正初步評估的公式，為  $C_E$  加上一個修正因子  $T_{adj}$ ，可以讓其結果更接近詳細評估所得到的最小破壞地表加速度。

$$A_C = C_E + T_{adj} \quad (5-6)$$

基於之前的結果，本分析只使用 WGP 來分析，基因演算的參數也和之前一樣，4 或 5 層的運算樹，200 個初始基因，5000 個演化週期，交配率為 0.8，突變率為 0.1，訓練出 30 組模型後，從中挑選出最好的模型，結果  $T_{adj}$  的模型為一個 4 層的運算樹，如圖 5.8。

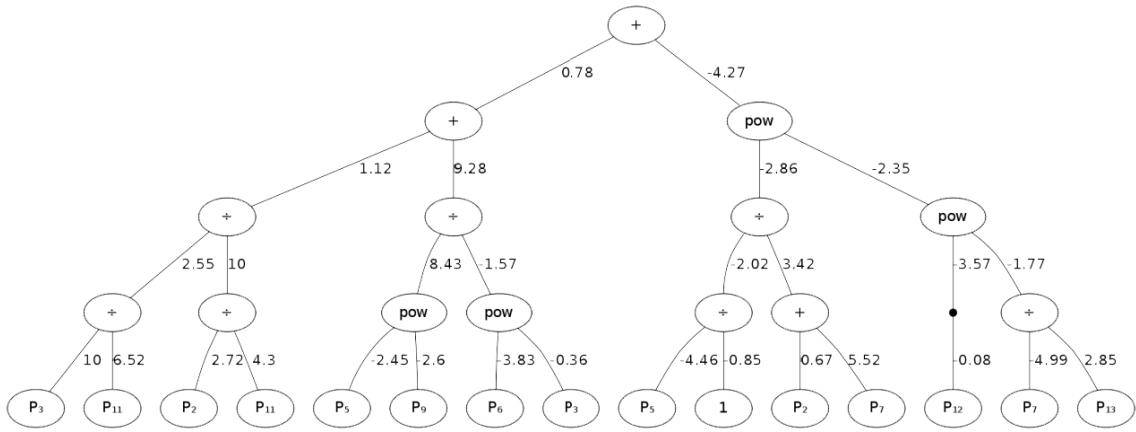


圖 5.8: 四層 WGP 運算樹形式之  $T_{adj}$  值關係模型

$$A_C = C_E + 0.54 \frac{P_3}{P_2} - 24.86 \frac{P_6^{0.36P_3}}{P_5^{2.6P_9}} - \left( 37.84 \frac{P_5}{0.67P_2 + 5.52P_7} \right) [(-0.67P_{12})^{1.23P_7/P_{13}}] \quad (5-7)$$

### 5.3.3 結果



表 5-7 顯示了國震中心初步評估  $Is$  值轉換成詳細評估  $A_C$  的等價數值  $C_E$  與校舍實際進行詳細評估所得到的最小破壞地表加速度  $A_C$  相比的 RMSE，值為 0.067，距離目標的 0.04 還有一段距離，圖 5.9 是  $C_E$  與  $A_C$  的比較圖，可以發現其趨勢相近，加上四層運算樹所建立之修正因子  $T_{adj}$  之後，RMSE 降低為 0.045，圖 13 顯示了  $C_E + T_{adj}$  和  $A_C$  的比較，可以發現其趨勢更為接近，因此可以確定修正因子確實可以將初步評估的結果調整的更好。

表 5-8 呈現了此分析中所有使用到的輸入參數，四層運算樹和五層運算數分別使用到的參數分開表示，其中：樓層數 ( $P_1$ )、總樓地板面積 ( $P_{10}$ ) 和單間教室的跨數 ( $P_{13}$ ) 並沒有被使用到，其中前兩個參數對於校舍結構的耐震能力來說非常重要，在  $Is$  的推估過程中已經有使用到，而本分析的修正因子並沒有使用到可以顯示國震中心的初步評估已經很完整正確的表現出這兩個參數所造成的影响，而單間教室跨數的資訊則可能在初步評估的過程中已經將該資訊表現在評估公式內了，因此修正因子  $T_{adj}$  的公式內並不包含它，不過此參數在前一個分析中

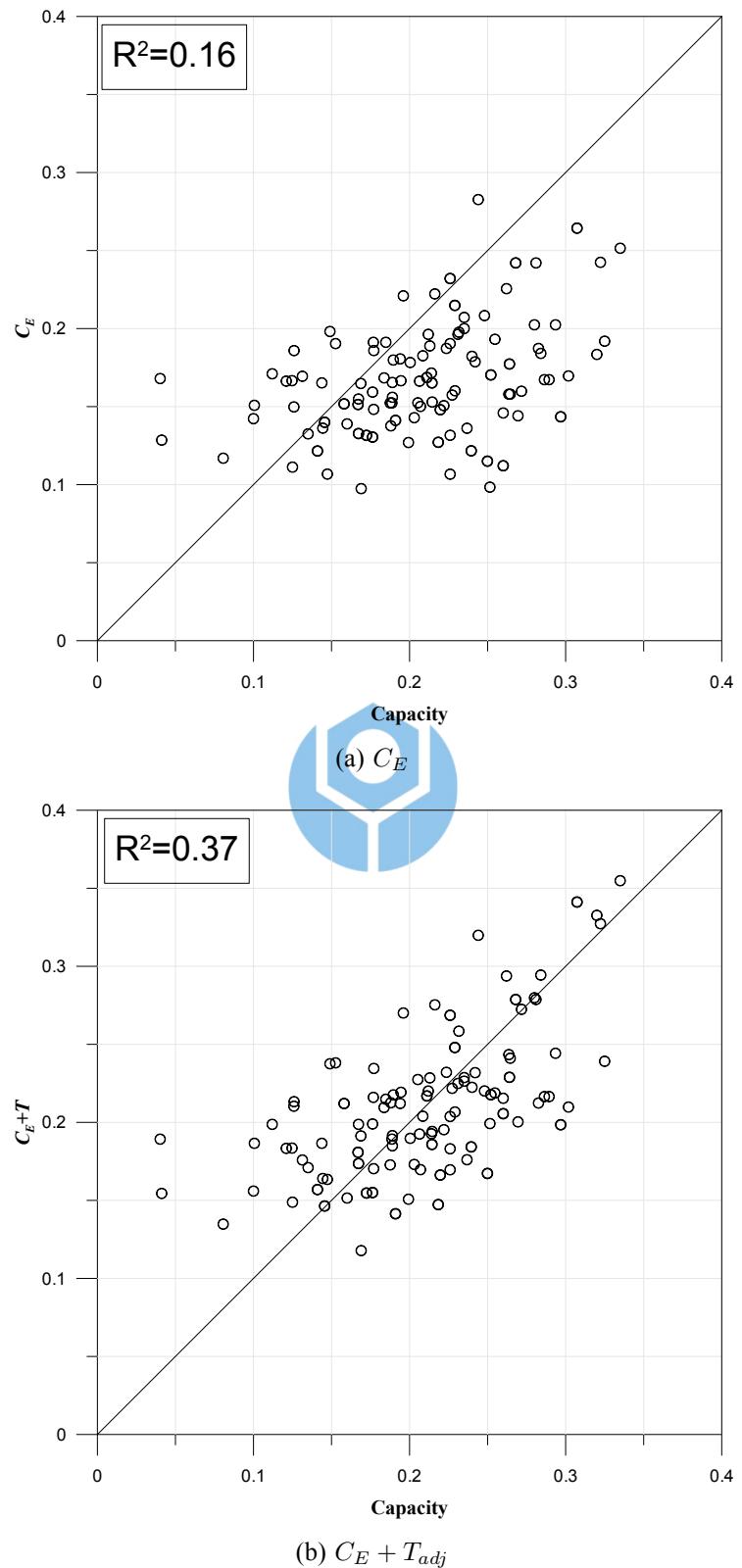


圖 5.9: WGP 建立之  $T_{adj}$  值關係模型預測值 vs 實際值

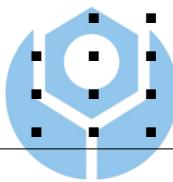
表 5-7: GP 系統模型 RMSE 結果

Layer	Direct				Tuning			
	WGP		GP		WGP		GP	
	Best	Average	Best	Average	Best	Average	Best	Average
2	0.0435	0.0531	0.0613	0.0637	0.0451	0.0467	0.0481	0.0483
3	0.0399	0.0496	0.0612	0.0638	0.0436	0.0460	0.0478	0.0483
4	0.0394	0.0475	0.0601	0.0634	0.0407	0.0448	0.0477	0.0483
5	0.0378	0.0522	n/a	n/a	0.0423	0.0471	n/a	n/a

依然有使用到，因此仍然有其重要性。

表 5-8: GP 系統屬性使用狀況

Method	Layer	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$	$P_7$	$P_8$	$P_9$	$P_{10}$	$P_{11}$	$P_{12}$	$P_{13}$	$P_{14}$
WGP	4														
	5	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■	■	■
WGP Tuning	4	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	5	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■



在校舍資訊與耐震能力之關係模型之分析中，本研究提出了基於 WGP 方法所建立的關係模型，只要透過校舍結構的基本參數就可以推估校舍的耐震能力，其前處理的工作可以分為兩個部分，第一個部分是資料的過濾與挑選，過濾與挑選的條件是基於國震中心專家的建議，第二個部分是找出不同資料屬性的重要性，第一步是先將與校舍結構無關係以及明顯不重要的資料屬性剔除，接著藉由將挑選出比例較高的校舍資料子集，逐步減少資料屬性，最後選出了 14 個資料屬性，然後基於這個子集進行資料探勘分析，相較於原來上百個資料屬性，本分析的資料前處理達成非常高效的資料壓縮，減少了非常多的資料雜訊。

WGP 最大的特色就是其產生的模型結果是使用數學方程式的形式來呈現，因此可以很簡單的就將產出的模型拿到不同的系統或平台中應用，除 WGP 外，本分析也使用了 GP 來進行分析，經過比較可以發現 WGP 方法所建立的模型的表現要比 GP 方法的好很多，可以顯示其對於複雜問題的處理能力是更為優秀的，而其 RMSE 也可以低於 0.04，比類神經網路的表現還優秀，透過預測值與實

際直的比較圖，也可以發現其趨勢都是正相關，驗證了使用挑選出的 14 個參數和 WGP 方法所建立的關係模型是可以在校舍補強工作上使用的。



# 第6章 校舍資訊與構件破壞情形之關係模型

校舍耐震評估最準確的階段為進行詳細評估作業，但進行校舍詳細評估須歷經非常多之流程如圖 3.2，花費很多時間，如能有一輔助工具在校舍詳細評估前期即可粗估校舍之可能破壞構件與其破壞模式，將有助於技師與專業人是進行作業時先有初步結果之掌握，瞭解校舍的弱點以及可能的破壞形式，便能夠針對這些重點多加檢視，提升整體之評估水準，因此本研究也對於此一知識進行探勘分析。

在校舍耐震資料庫中所記錄的校舍破壞元件的資訊，是記錄在附錄二：典型校舍詳細評估表中之資訊，記錄了校舍在詳細評估的側推分析下，首先破壞的結構元件，包括了樑、柱、窗台柱、磚牆、RC 牆等構件，並且記錄了破壞樓層以及破壞形式，如剪力破壞、撓曲破壞等。而本分析之目標則是要尋找此一資料集與校舍的基礎設計參數間之關係，由於要分析的破壞構件種類較多，難以用單一個模型建構出其多重關係，因此本分析將此問題拆成數個較為單純的問題，單獨針對不同構件是否破壞以及其破壞形式進行資料探勘分析，並將主要的正向破壞挑出作為探勘目標，分別進行了五組資料探勘分析。

## 6.1 資料前處理

本資料探勘分析所使用之資料為耐震資料庫中，2013 年有完成詳細評估之典型校舍資料，本分析之前處理分為三個階段，分別為資料合理性篩選、資料屬性的篩選以及新屬性之合成，首先，資料合理性篩選一樣依照 NCREE 所建議之規則篩選，資料屬性之挑選則分為兩個步驟，第一個步驟是挑選資料屬性，降低資料的複雜度，本分析依照前面所介紹之挑選原則，將完全無關以及有重複性質之屬性剔除，再將重要性較高之屬性挑選出，並保持屬性數量不要過多，不斷的測試調整，結果挑選之屬性如下：

- 校舍長度
- 樓層數
- 校舍深度
- 地上層樓地板總面積

- 一樓教室柱根數
- 有無四面圍束磚牆
- 一樓教室柱總斷面積
- 有無磚牆
- 475 年設計地表加速度
- 同時有三面和四面圍束磚牆
- 用途係數
- 有無 RC 牆
- X 向 1F 三面圍束磚牆斷面積
- 結構系統
- X 向 1F 磚牆總斷面積
- 走廊形式
- 校舍跨距
- 地下樓層數
- 有無三面圍束磚牆

第二個步驟則是子資料集之挑選，一樣根據前面介紹之原則來挑選，藉由此一步驟可以適當的排除少數結構形式的校舍，並同時縮減資料屬性的數量，降低資料複雜度，挑選的條件為：



**鋼筋混凝土建築** 76%，為最大比例的結構系統。

**單邊走廊且廊外無柱** 50%，為最大比例的走廊形式。

**無地下室** 84%，大部分之校舍均無地下室。

而此三個子群集挑選條件可以減少三個輸入屬性，包括了建築形式、走廊形式和有無地下室。最後還根據國震中心專家之建議，根據資料庫之資料合成出校舍跨距這個新的屬性，因此一資料並未在校舍補強工作的流程當中有紀錄，合成之公式為：

$$\frac{\text{校舍長度}}{\text{一樓教室柱根數} / 2 - 1} \quad (6-1)$$

本分析其餘所挑選之資料屬性介紹與選擇說明如下：

**校舍長度、深度** 中小學校舍中之典型校舍其建築形式較為固定且普遍存有耐震能力較弱之現象，因此本分析推測在這些典型校舍中，某些特定尺寸之校舍應與其極限強度下會破壞之構件與其破壞模式存有一定之相關性。因此本分析將此二屬性納入屬性集做為本探勘模型之輸入屬性。

**樓層數** 加入此屬性，其構想為假設這些校舍中應該有集中幾層樓之建築與其極限強度下會破壞之構件與其破壞模式存有一定之相關性。因此本分析將此屬性納入屬性集做為本探勘模型之輸入屬性。希望藉由其中隱藏之關聯性達到目標之預測。

**地上層樓地板總面積** 校舍之樓地板面積亦屬於建築形式之一環，因此可視為該校舍之特有形式，本分析假設在典型校舍中，特定樓地板面積大小有其普遍對應之耐震能力，抑或是某些尺寸之樓地板面積可能存有較高的機率需要接受補強。



**一樓教室柱根數、總斷面積** 教室柱之數量、大小間接可表現校舍樓地板面積之大小或規模，且其為結構之乘載元件因此本分析將之視為影響工程經費之因素之一，經將此屬性納入探勘模型中測試後，也確實發現此屬性對預測之正確率有一定之提升。

**475 年設計地表加速度** 由校舍所在位於查出其工址短週期設計水平譜加速度之 0.4 倍 ( $0.4S_{DS}$ )，同時也代表耐震需求，是判斷耐震能力是否足夠非常重要的屬性。

**用途係數** 此一屬性為紀錄該校舍是否作為緊急避難使用，以決定其值為 1.25 或 1.5，為反映其因重要性所需之安全係數。如該校舍當初規劃為緊急避難使用，那其當初設計強度就會比較高，用途係數除了可以反應校舍耐震能力之需求外，校舍最初在設計建造時，校舍對於耐震能力需求的差異，應該也會直接反映在校舍實際的耐震能力上，因此將之加入本屬性集內。

**X 向一樓三面圍束磚牆總斷面積、磚牆總牆量** 磚牆對校舍能提供部分耐震能力，本分析試過單獨放入三面圍束、四面圍束與同時放入三面與四面圍束磚牆，

經分別試驗不同之屬性集，建立多個不同的模型，其結果以單獨使用三面圍束磚牆總斷面積做為輸入屬性，然而四面圍束磚牆的資訊依然相當重要，因此挑選了三面圍束磚牆牆量以及總磚牆牆量兩個屬性做為輸入屬性。

**有無三面圍束磚牆** 此屬性為校舍資料庫不存在之欄位，因經測試許多屬性集與不同探勘方法發現磚牆對預測結果有一定影響力，但並不是所有校舍均有磚牆，為利用此一資訊，將資料中紀錄有無三面圍束磚牆之屬性作為依據，當該值表示該校舍有三面圍束磚牆時，此屬性值為 1，反之則為 0。

**有無四面圍束磚牆** 此屬性為校舍資料庫不存在之欄位，因經測試許多屬性集與不同探勘方法發現磚牆對預測結果有一定影響力，但並不是所有校舍均有磚牆尤其是四面圍束磚牆，為利用此一資訊，將資料中紀錄有無四面圍束磚牆之屬性作為依據，當該值表示該校舍有四面圍束磚牆時，此屬性值為 1，反之則為 0。



**有無磚牆** 此屬性為校舍資料庫不存在之欄位，因經測試許多屬性集與不同探勘方法發現磚牆對預測結果有一定影響力，但並不是所有校舍均有磚牆，因此本分析建立此一屬性單純記錄校舍是否有磚牆，如果校舍有磚牆則值為 1，反之則為 0。

**同時有無三面和四面圍束磚牆** 此屬性也為校舍資料庫不存在之欄位，因經測試許多屬性集與不同探勘方法發現磚牆對預測結果有一定影響力，且進一步測試發現校舍是否同時存有三面圍束與四面圍束磚牆對其預測結果，存有一定影響力。因此本分析變希望因此本分析為利用此一資訊總和上面所介紹之有無三面圍束磚牆及有無四面圍束磚牆之資訊合成出此一屬性，如果校舍同時有三面圍束和四面圍束磚牆，此屬性之值為 1，反之則為 0。

以上四欄位之組合即隱含校舍結構物之磚牆類型組合資訊。

**有無 RC 牆** 因經測試許多屬性集與不同探勘方法發現 RC 對預測結果有一定影響力，但並不是所有校舍均有 RC 牆，因此本分析單獨建立一屬性只記錄該校舍是否有 RC 牆，如果有 RC 牆，則值為 1，反之則為 0。

前處理完成後共有 297 筆資料，並且每筆資料有 16 個資料屬性，其中有 139 棟校舍的樑有破壞，227 棟校舍有柱破壞，228 棟校舍有窗台柱破壞，11 棟校舍有 RC 牆破壞，175 棟校舍有磚牆破壞。

## 6.2 資料探勘

由於校舍之構件種類眾多，破壞構件的種類組合也變的複雜許多，以本資料庫中有紀錄的五種構件來說，校舍不同構件破壞模式的組合就有 162 種，因此本研究把原本輸出結構複雜之模型分為數個較單純的模型來探勘，每種構件單獨探勘尋找出其破壞破壞模式與校舍基礎設計參數間之關係模型，而構件破壞模式這個屬性為集合值 (set)，輸出目標為集合值之模型，其知識的型態可以歸類到資料探勘中的分類形式，而支撑向量機在分類探勘上之表現良好，運算速度也很快，因此本分析採用此探勘方法，依據前處理完之 297 筆資料並挑選屬性集內之欄位，將整體資料分為訓練集與測試集，比例為訓練集 70%、測試集 30%，以此做為探勘此關係模型之方法，評斷模型優劣的指標則為關係模型之正確率，重複分析並調整參數到穩定，SPSS Modeler 之節點架構如圖 6.1 所示。

模型所使用的 kernel 以 RBF、Sigmoid、Linear 三種為主，均為常見的 SVM kernel，其中，RBF 之特色是它代表了不同筆資料間之相似程度，Sigmoid 則是由類神經網路領域而來的，由於其表現良好也常被使用，Linear 則是最為簡單的 kernel function，通常適用於資料分佈是用線性方程式可以分開的資料集。本資料探勘分析的五個模型當中，樑破壞形式關係模型所使用之 kernel 為 RBF kernel，參數的挑選為  $\epsilon$  為 0.1、誤差之懲罰值  $C$  為 10、 $\gamma_{RBF}$  為 0.2、收斂條件則為 0.001；柱破壞模式關係模型之 kernel 為 Sigmoid kernel，參數的挑選為  $\epsilon$  為 0.1、誤差之懲罰值  $C$  為 10、 $\gamma$  為 1、收斂條件則為 0.001；窗台柱破壞模式關係模型之 kernel 為 Linear kernel，參數的挑選為  $\epsilon$  為 0.1、誤差之懲罰值  $C$  為 2、收斂條件則為 0.001；RC 牆破壞模式關係模型之 kernel 為 RBF kernel，參數的挑選為  $\epsilon$  為 0.1、誤差之懲罰值  $C$  為 10、 $\gamma_{RBF}$  為 0.1、收斂條件則為 0.001；最後一組，磚牆之破壞模式關係模型所使用之 kernel 為 Linear kernel，參數的挑選為  $\epsilon$  為 0.1、

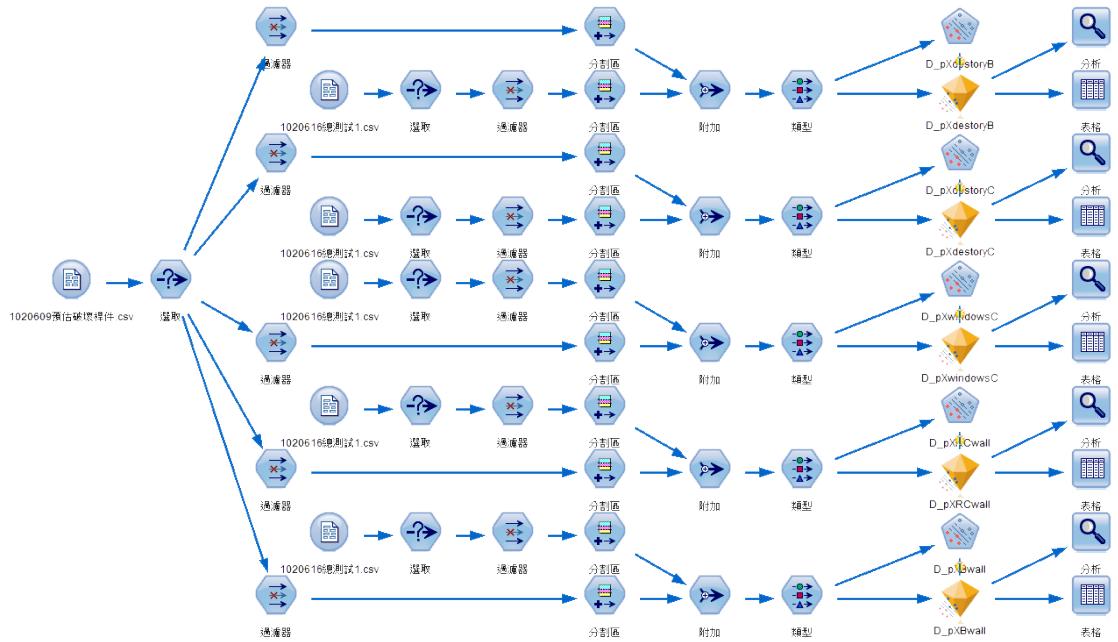


圖 6.1: 構件破壞模型探勘流程

誤差之懲罰值  $C$  為 14、收斂條件則為 0.001。



### 6.3 結果

本資料探勘使用 random subsampling 方法建立五組模型，平均之命中率如表 6-1 所示，可以發現五種構件的破壞關係模型的表現均不錯，正確率都有超過 65%，且大部分有超過 70%，甚至 80%，其中 RC 牆的部分正確率特別高，其原因是校舍中有 RC 牆的校舍比例偏低，因此關係模型在訓練時會找到校舍是否有 RC 牆和是否有 RC 牆破壞的高度關聯性，因此沒有 RC 牆的校舍都很容易就判斷為沒有 RC 牆破壞，實際上在 297 棟校舍當中，只有 39 棟校舍有 RC 牆，如果只看這 39 棟校舍，則正確率有 89.7%，且沒有 RC 牆的校舍當中，只有一棟校舍判斷錯誤。窗台柱破壞模式

表 6-2 是本資料探勘分析中，16 個輸入屬性對於不同構件破壞關係模型的重要性，可以發現在不同的模型中，各輸入屬性的重要度也不同，少部分屬性在窗台柱的破壞模式關係模型當中是完全沒有發揮影響力的，包括了校舍長度和校舍

表 6-1: 構件破壞模式關係模型結果

破壞元件	資料集	正確率
X 正向樑破壞模式	訓練集	74.91%
	測試集	55.37%
X 正向柱破壞模式	訓練集	71.70%
	測試集	72.45%
X 正向窗台柱破壞模式	訓練集	67.99%
	測試集	54.92%
X 正向 RC 牆破壞模式	訓練集	98.78%
	測試集	93.06%
X 正向磚牆破壞模式	訓練集	71.09%
	測試集	63.38%



跨距，而對於窗台柱破壞模式影響最大的屬性則是用途係數，其餘模型的輸入屬性重要性分佈則較為平均，重要性數值的分佈大約都在 0.05 到 0.08 之間，表示這些輸入屬性對於不同的構件之破壞模式，均有相當接近的影響力，而其它有特定屬性影響力較大之情形尚有兩組，包括了柱破壞模式關係模型當中，校舍深度之影響力較其它屬性要大，磚牆破壞模式關係模型中，475 年設計地表加速度和是否同時有三面圍束和四面圍束磚牆之影響力較大。

表 6-2: 構件破壞模式關係模型屬性重要度

屬性	樑	柱	窗台柱	RC 牆	磚牆
校舍長度	0.055	0.063	0	0.084	0.034
校舍深度	0.049	0.106	0.036	0.074	0.092
樓層數	0.072	0.070	0.034	0.068	0.076
地上層樓地板總面積	0.073	0.061	0.019	0.065	0.066
一樓教室柱根數	0.069	0.061	0.040	0.064	0.052
一樓教室柱總斷面積	0.071	0.061	0.036	0.063	0.057
475 年設計地表加速度	0.076	0.055	0.048	0.070	0.108
用途係數	0.065	0.061	0.597	0.065	0.056
X 向 1F 三面圍束磚牆斷面積	0.064	0.061	0.035	0.063	0.055
X 向 1F 磚牆總斷面積	0.064	0.061	0.035	0.068	0.055
校舍跨距	0.055	0.060	0	0.063	0.062
有無三面圍束磚牆	0.061	0.053	0.014	0.061	0.044
有無四面圍束磚牆	0.071	0.057	0.034	0.061	0.040
同時有三面和四面圍束磚牆	0.042	0.056	0.019	0.066	0.113
有無磚牆	0.041	0.052	0.020	0.062	0.065
有無 RC 牆	0.071	0.061	0.032	0.063	0.023

## 第 7 章 校舍資訊與補強經費之關係模型

校舍建築物的補強經費對於全國校舍的補強工作來說是非常重要的一個數值，和校舍的耐震能力並列，因其直接表示了主管機關要讓該棟校舍符合耐震安全規範所需要的コスト，教育部為了提升全國高中職及中小學校舍耐震能力，歷年來已經訂定及執行了「加速國中小老舊校舍及相關設備補強整建計畫」及「加速高中職及國中小老舊校舍及相關設備補強整建計畫」。教育部將計畫委託國震中心執行，國震中心與教育部研擬商討後，再訂出執行計畫交由各縣市政府辦理。計劃的訂定需要資料的輔助，計劃的執行也需要定期的計劃報告以掌握計劃的執行進度與效力。全國校舍總數，經目前耐震資料庫中校舍普查作業已記錄之校舍數量統計共有 24930 棟，如果考慮尚未執行校舍普查作業之校舍，其實際校舍總數將更多。面對如此大量之校舍，進行總體或縣市為單位之經費估算，需耗費大量時間與人力進行估算與統計。且依照目前「高中職及國中小校舍結構耐震能力詳細評估作業規範」[64] 規定，主管機關須等到詳細評估之承攬廠商提送期末報告書，才能得知該校舍較精確之可能補強費用。由此可知，校舍補強經費的取得也是一個非常耗時且困難的流程，要提早在校舍進入詳細評估前就推估出校舍的補強經費，以往只能透過較為簡單的經驗公式推估，

目前主管機關在提撥補強校舍的耐震能力計畫的經費時，是每個年度依據需求估算，編列該年度的固定經費，根據教育部公布九十九年九月十六日修正之國中小校舍「補強工程」之經費支用範圍及參考單價計價方式，「補強工程」費用，包含了「直接補強工程費」、「合理之間接修復費」、「工程管理費」、「補強設計及監造費」等費用支出。依公告之估價方式將校舍分為「已完成補強設計」與「尚未完成補強設計」，歸類為「已完成補強設計」之校舍，其補強工程經費依補強設計審查通過或補強設計報告之金額，教育部原則將據以如數核定補助經費。但其補強工程單價超出  $4000\text{ 元}/m^2$  者，則應經補強設計期末審查或特別審查通過並附審查意見表，始能獲教育部如數核定補助經費；否則將依單價  $4000\text{ 元}/m^2$  核定補助經費。歸類為「尚未完成補強設計」之校舍（凡未附補強設計審查意見表、未附補強設計報告重點摘要部分、或佐證資料不齊全者，皆屬尚未完成補強設

計)：其「補強工程」之參考單價計價方式依其總樓地板面積所屬級距範圍之不同，分別計算如表 7-1 [65] 所示，其中「計價面積」係由「實際面積」以無條件進位為 2 的倍數之方式轉換而成；因此計價面積為 2 的倍數且為整數。例如：實際面積  $601\text{ m}^2$ ，應轉換為計價面積  $602\text{ m}^2$ 。

表 7-1：補強工程參考單價之計價方式

建築物樓地板總面積	補強工程費用計算方式
不足 $600\text{ m}^2$	實際面積 $\times 4000\text{ 元}/\text{m}^2$
$600\text{ m}^2$ 以上，不足 $3600\text{ m}^2$	計價面積 $\times (-0.5 \times \text{計價面積} + 4300)\text{ 元}/\text{m}^2$
$3600\text{ m}^2$ 以上	實際面積 $\times 2500\text{ 元}/\text{m}^2$



此一補強工程參考計價方式的主要依據是校舍的樓地板面積，但是實際影響補強經費的因素應該不只是校舍的樓地板面積，建築物的牆柱設計、施工品質、建造年代、不足的耐震能力等，對於補強的方式應該都有很大的影響，也間接的影響到補強經費，因此用此計價方式所得到的補強費用預估值是可靠度相對不足的數字，而此一預算編列的方式，是每年編列固定額度的預算，編列的年度預算難以在事後追加，使用可靠度不足的數字作為參考，會讓編列的預算與實際需求失準，而且每年固定的預算已經會讓每個年度能夠補強的校舍數量有所限制，對於不知何時會再發生的地震威脅，絕對是希望能夠儘快將最危險的校舍找出並做出對應處置，因此校舍耐震能力補強的經費編列和分配的影響就非常大，不過實際上在編列預算時，大部分校舍可能都還沒進行詳細評估、也還沒有建議的補強方案，因此只能透過參考資料和初步評估的資料來估算，如果可以在編列預算時，就能推估每間校舍的耐震能力、補強可能需要的經費，那麼主管機關在編列和分配預算的時候就可以非常有效率的來編列，因此本研究還試著找出校舍的基礎設計參數與其補強經費間的關係模型，透過這個模型，應該可以從校舍的初步評估資料得到一個可靠度較高的補強經費推估值。

## 7.1 資料前處理

本資料探勘分析所使用之資料為耐震資料庫中，2013 年已經完成校舍補強施工之典型校舍資料，構想為建立校舍評估階段初期之已調查資料以及耐震能力補強階段後期資料間之關係模型。校舍耐震之補強工程經費須等到工程完成且承攬廠商提送竣工報告才能得知最後實際施工所花經費，因研究目標為達成前期預測之目的，所以需挑選補強施工以前之補強階段資料。校舍耐震評估與補強之流程如圖 3.2，可知進行補強施工之前尚須進行校舍普查、初步評估、詳細評估與補強設計，經了解各階段評估作業之內容與用途，校舍普查執行之人員為各大專院校之土木系學生協助執行，且其所記錄之資料也較其他各階段為少，補強設計為補強施工之上一階段，根據「高中職及國中小校舍結構耐震能力補強設計作業規範」規定，補強設計成果報告書中須編製工程預算書，因此即可於補強設計階段得知該補強工程之所需經費。為達研究之模型建置目的，本研究將採用初步評估與詳細評估（不含耐震補強方案）資料庫做為本探勘模型之輸入屬性資料。

探勘模型之目標為校舍的總補強經費，補強經費可以分為直接和間接補強經費，直接經費為工程相關之原物料、工程費用，間接經費為工程管理相關之費用，而直接經費又可以分為結構補強經費和非結構補強經費，其中直接和校舍耐震能力有相關的費用就是結構補強經費，非結構補強經費則是結構之外的工程費用，可能包括了校舍的部分翻新、外觀修繕等。而本分析使用的探勘目標挑選的是總補強經費，包括了所有直接和間接費用，有兩個原因，第一個是總經費對於主管單位來說是比較直接的數字，第二個原因是間接經費和非結構補強經費兩種費用也多和結構補強經費間有關係存在，例如間接經費通常是直接經費的固定比例，而非結構補強經費也和校舍本身的狀況有關。

前處理的第一個步驟是資料合理性分析，挑選的條件為國震中心建議之條件，在合理性分析後，第二個步驟則是輸入屬性得挑選，挑選的原則同前面所介紹，本資料探勘分析所挑選之屬性集如下：

- 一樓樓地面積
- 柱等效強度

- 軟弱層顯著性
- 裂縫鏽蝕滲水等程度
- 短柱嚴重性
- 調整因子
- 二樓樓地板面積深
- 二樓樓地板面積長
- 樓層數
- 二樓以上樓地板面積
- 一樓教室柱根數
- 一樓教室柱總斷面積
- 非結構牆
- X 正向樑破壞
- X 正向柱破壞
- X 正向窗台柱破壞
- X 正向磚牆破壞
- X 正向性能點之屋頂最大位移
- X 正向性能點之等效基本週期
- X 正向性能點之基底剪力
- 校舍耐震容量需求比
- 結構系統
- 走廊形式
- 有無地下室



相較本研究中其它之資料探勘分析，本分析所挑選之輸入屬性較多，其中大部分是詳細評估之評估結果，像是耐震需求筆、屋頂位移和不同的構件破壞情形等，其對於補強之經費多寡應該有相當高之影響力。最後一個步驟則是子資料集之挑選，挑選之原則也同前面所介紹，分析過後所使用之挑選條件為：

**鋼筋混凝土建築** 76%，為最大比例的結構系統。

**單邊走廊且廊外無柱** 50%，為最大比例的走廊形式。

**無地下室** 84%，大部分之校舍均無地下室。

**補強工程經費介於 100 至 1000 萬** 剔除極值。

經由這四個條件挑選之子群集資料，可以將輸入屬性中的建築形式、走廊形式和有無地下室三個屬性移除。以下為本預測模型資料前處理後之輸入屬性的介紹與選擇說明：

**一樓樓地面積** 依據教育部現行之補強工程計價公式如表 7-1，其經驗公式以樓地板面積為主要參數，而其可靠度雖然較差，但仍然是主管機關一個重要的參考數值，本分析所建立之模型為補強工程經費與校舍設計參數間的關係，而校舍之樓地板面積也是一個非常重要的設計參數，可以代表校舍結構之規模，校舍的載重，也隱含了校舍如果需要補強時，其工程規模大小之資訊在其中，因此本分析將此屬性拿來作為建立此關係模型之輸入屬性。

**柱等效強度** 柱之等效強度  $T_{AC}$  其計算公式為：

$$T_{AC} = (4 + 1.8NF)ClaAc + (2.4 + 1.08NF)CorAc + 2.6InsAc \quad (7-1)$$

其中  $NF$  為樓層數， $ClaAc$  為一樓教室柱總斷面積， $CorAc$  為一樓走廊外柱總斷面積， $InsAc$  為一樓隔間柱總斷面積，其公式為根據三種類結構柱之單位斷面積極限剪力牆度計算公式 [61] 之加總，本分析將此屬性加入探勘模型之最初原因為該公式內有教室柱、走廊外柱與隔間柱於一樓的總斷面積，而此一數值和，並且因補強施工其所補強之面積愈大其所花錢就愈多。本分析經建立多組模型與各種屬性集之測試均發現該屬性對模型之預測結果有一定影響。

**軟弱層顯著性** [35] 若結構物之一樓因為使用性等考量，而使得二樓以上 RC 牆或磚牆於一樓中斷，致使一樓之極限層剪力強度與勁度降低，將造成地震力作用時變形集中，以致於韌性用盡，建築物就發生軟弱層破壞。故本表格依據牆體中斷的程度折減其對應之耐震能力，若  $2/3$  以上牆體中斷，則耐震能力折減為 0.8 倍；若  $1/3$  至  $2/3$  之牆體中斷，則耐震能力折減為 0.9 倍；若  $1/3$  以下之牆體中斷，則不折減其耐震能力。依此敘述得知軟弱層顯著性會影響結構物之耐震能力，結構物之耐震能力愈低，極可能所需補強之工程花費就愈高，因此本分析將此屬性納入本屬性集。

**裂縫鏽蝕滲水等程度** [35] 此為初步評估之調整因子之一，建物若有裂縫鏽蝕滲水等情形會影響耐震能力，耐震能力愈差就有可能提升所需花費之工程經費，且此一資訊是最能夠帶表現社現況之資料，因此本分析將之納為輸入屬性。

**短柱嚴重性** [35] 此為初步評估之調整因子之一，而可知短柱現象為影響校舍耐震能力原因之一，因此將之納入輸入屬性。

**調整因子** [35] 典型校舍初步評估表之六項調整因子調查項目，其功能為對初步評估耐震能力產生增減，包括：平面及立面對稱性、軟弱層顯著性、裂縫鏽蝕滲水等程度、變形程度、平面耐震性以及短柱嚴重性，定義  $q_1$  至  $q_6$  分別代表六項調整因子，其中軟弱層顯著性、裂縫鏽蝕滲水等程度和短柱嚴重性三項調整因子因對耐震能力之影響較為直接，所以也分別被納本分析之輸入屬性，而除此六項調整因子外，還有定義一整體調整因子  $Q$  為上述六項調整因子之乘積，整體調整因子代表所有調整因子對於耐震能力的折減或增加的幅度，其物理意義為校舍的現況對於校舍耐震能力影響的程度，對於校舍耐震能力來說也是很重要的一個參數，且經測試後證實該屬性對預測之正確性有提升，因此本分析也將其納入輸入屬性。

**二樓樓地板面積深、深** 依據教育部現行之補強工程計價公式如表 7-1，其公式以樓地板面積為主要參數，又面積之算法為長乘以寬（深），因此亦可將它視為影響校舍補強工程經費的因素之一。本分析所預測之目標為實際施工之工程總經費，與計價公式所估經費有直接關聯性，因此本分析將此二屬性拿來作為本預測模型之輸入屬性。

**樓層數** 樓層數愈高其總樓地板面積愈多，其總樓地板面積愈多，依補強工程計價公式如表 7-1。其工程經費預算就可能愈多，因此樓層數亦可視為影響工程經費之影響原因之一。

**二樓以上樓地板面積** 依據教育部現行之補強工程計價公式如表 7-1，其公式以樓地板面積為主要參數，本分析所預測之目標為實際施工之工程總經費，補強工程計價公式為經費預算之計算方式，估算出來之經費預算往往與實際施工所花經費不太一樣，預算可能高於實際施工也可能低於實際施工，但因為目標都是估算工程經費，因此本分析將此屬性拿來作為本預測模型之輸入屬性。

**一樓教室柱根數、總斷面積** 由校舍教室柱之數量及斷面積可以間接得知校舍樓地

板面積之大小或規模，且柱子的數量可以間接代表校舍乘載能力的大小，因此本分析將之視為影響工程經費之因素之一，經將此屬性納入探勘模型中測試後，也確實發現此屬性對預測之正確率有一定之提升。

**非結構牆** 此屬性為記錄該校舍，有無非結構牆，並於分析時所建立模型是否有將該非結構牆模擬成其他等值桿件進入結構模型內。因有無非結構牆可能會影響校舍之耐震能力，而本分析之探勘目標包括了磚牆和 RC 牆是否破壞，因此將之加入輸入變數。

**X 正向樑破壞、X 正向柱破壞、X 正向窗台柱破壞、X 正向磚牆破壞** 此四屬性為詳細評估資料表中之記錄欄位，記錄詳評後校舍可能優先破壞的構件以及其破壞的形式，此分析中根據實際詳細評估資料中的破壞趨勢選擇了包括 X 正向樑、X 正向柱破壞、X 正向窗台柱以及 X 正向磚牆四種構件的破壞模式，區分為無破壞、剪力破壞、撓剪破壞、撓曲破壞四種破壞形式，不同之破壞形式其需補強的方式會有所不統，其所需經費也不一樣，因此本分析將之列為本模型之輸入屬性。

**X 正向性能點之屋頂最大位移** [66] 進行詳細評估時，若採用推垮分析，則該欄位則須依 X 及 Y 方向分別輸入屋頂最大位移值。本分析僅挑選採用推垮分析之校舍進行建模，因屋頂之最大位移為影響校舍耐震能力的因素之一，因此也將該屬性列入。

**X 正向性能點之等效基本週期** [67] 基本週期為結構物等效單自由度系統的動力參數（性能目標地表加速度），此單自由度系統在性能目標地表加速度的設計地震作用下，其動力反應將是已設定的性能需求，因此基本週期亦是影響耐震能力評估結果的因素之一。

**X 正向性能點之基底剪力** 基底剪力為側推分析中計算容量曲線之重要參數之一，校舍之耐震能力可能影響補強之工程經費，因此本分析嘗試將此屬性放入本模型中進行測試，其結果對模型預測之正確率有提升，因此將它保留至屬性集之中。

**校舍耐震容量需求比** [68] 校舍建築物進行耐震初步評估後，得到一耐震指標分數  $Is$ ，此耐震指標可作為是否需進入下一階段評估工作的參數，同樣地，經由專業人員完成詳細評估後，得到建築物長短向最大可抵抗之地表加速度，除以該校舍 475 年迴歸週期設計地表加速度，稱之耐震容量需求比 (Capacity Demand Ratio, CDR)，此數值若小於 1 時，則判定該棟建築須進行補強；反之，該棟建築耐震能力暫無疑慮，但仍須定期檢視。根據上述得知  $CDR$  可視為該校舍之耐震能力與正常安全值之距離，如果數值小於 1 且離 1 愈遠，代表需替該校舍提升的耐震能力愈多，所需花的經費就愈多，因此亦可視為影響補強工經費之因子。

前處理過後共有 233 筆資料，每筆資料有 21 個輸入屬性。至於探勘的目標，補強經費還可以細分為直接費用和間接費用，間接費用包括向專案管理成本之類的費用，直接費用則是和補強工程直接相關的費用，又可以分為結構補強費用和非結構補強費用，其中，和結構相關，最能夠直接反應校舍結構的耐震能力的經費數值是結構補強費用，不過考量到模型的實用性，加上資料庫內之資料也包含校舍現況等資訊，而一般的專案管理費用也是照總工程款的固定比例，應該有足夠的資訊能夠探勘出總補強經費與校舍參數間之關係模型，因此本研究所挑選的探勘目標便是總補強經費。

## 7.2 資料探勘

本分析採用類神經網路與 CHAID 決策樹進行資料探勘之建模，選擇此二種探勘方法，主因為本分析之預測目標，總工程經費為連續數值，最適合使用的探勘演算法為迴歸演算法，因此挑選其中應用範圍最廣的類神經網路做為基準，另外屬於決策樹方法分支之 CHAID 決策樹經初步測試應用於本分析之預測目標，其表現不錯，因此本分析以此二種探勘方法，使用前處理完之 235 筆資料，將整體資料採亂數選取方式分為 70% 為訓練區與 30% 為測試區，類神經網路之設定為使用 Multilayer Perceptron (MLP) 之網路形式，並讓 SPSS Modeler 自動計算隱藏層數量及各層節點數，訓練 15 分鐘，然後挑出表現最佳的一組神經網路。

CHAID 決策樹之模型設定為：最大決策樹深度為五層，停止條件為決策節點之資料筆數為總數之 1%，SPSS Modeler 之節點架構如圖 7.1 所示，模型使用 Random Subsampling 方法，建立五組模型平均之  $R^2$  與 MAPE 如表 7-2。

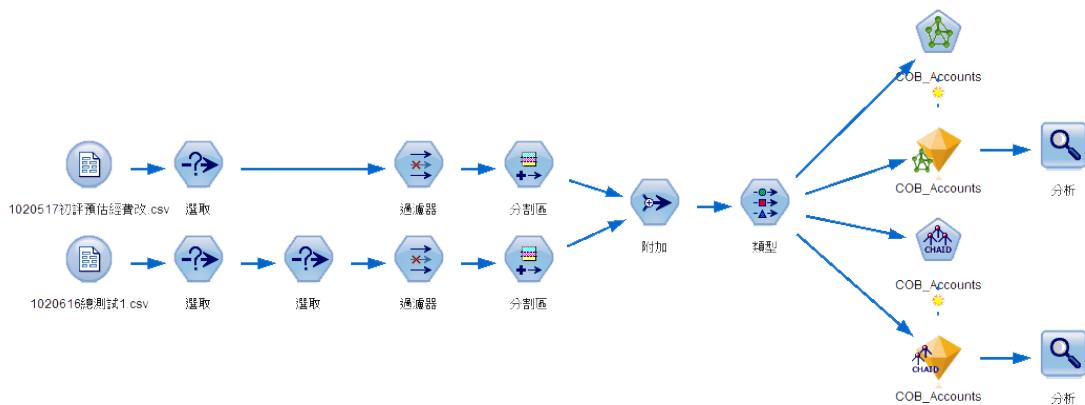


圖 7.1: 補強經費模型探勘流程

表 7-2: 補強經費關係模型結果

ANNs		CHAID	
Training	Testing	Training	Testing
$R^2$	0.618	0.585	0.656
MAPE	28.09%	27.65%	26.92%

### 7.3 結果

本資料探勘分析結果得到兩個可以從校舍基本設計資料得到其補強所需經費之關係模型，分別為使用類神經網路及 CHAID 決策樹所探勘得到，表 7-3 為此兩二模型不分測試訓練集之  $R^2$  與 MAPE，其中，第三欄之 NCREE 指使用國震中心參考計價方式所得到的補強經費。CHAID 模型之推估值與實際值之比較如圖 7.2 所示，而類神經網路模型之推估值與實際值之比較如圖 7.3 所示。兩者比較可以發現 CHAID 因為其知識形式為決策樹之特性，所得到的推估值只有數種可能性，造成其 MAPE 較高，但是其在圖 7.2 上所呈現之線性關係，表示此模型

仍保有正確之關係於模型之中，而根據圖 7.2 可以發現其誤差方向之分佈尚且平均，計算 235 棟校舍之平均誤差量僅為 11066 元，類神經網路模型之平均誤差量則為 33512 元，顯示此一模型尚可以用在大量校舍之整體補強預算評估上，然而如果要推估單棟校舍之補強經費，則建議使用類神經網路探勘所得到之模型，根據圖 7.3 可以發現其數據較為集中，只是其趨勢與  $y = \hat{y}$  之目標趨勢方向稍有不同，表示此模型有確實的呈現校舍設計參數與其補強費用間的關係趨勢，然而仍然有些影響補強經費的因素尚未被找出。最後如果將此模型與表 7-1 之公式做比較，也可以發現其表現優異許多，使用公式計算所得到的補強預算推估值與實際數字比較之  $R^2$  為 0.54，而類神經網路所建立之關係模型的  $R^2$  為 0.69，準確度確實較計價公式要高，與 Jafarzadeh [33] [34] 之研究結果相比，補強經費關係模型之  $R^2$  表現相同，然而本研究測試集之表現較好，穩定度較高。

表 7-3: 補強經費關係模型結果（不分測試集）

	ANNs	CHAID	NCREE
$R^2$	0.61	0.55	0.54
MAPE	27.93%	28.91%	32.95%

預期此一模型，對補強經費重要度較高的應該有兩個主要的因素，第一個是校舍的耐震能力，第二個是校舍的規模。表 7-4 為表現較好的類神經網路所建立之模型的各個輸入屬性之屬性重要度，其中重要度最高的屬性前三名為二樓以上樓地板面積、二樓樓地板深、一樓樓地板面積，確實的反應出目前校舍耐震能力補強預算是以樓地板面積做為估算和編列依據的情形，而校舍的樓地板面積，接著的三個屬性則為 X 正向性能點之屋頂最大位移、校舍耐震容量需求比、X 正向柱破壞，都是屬於詳細評估所得到的校舍耐震能力評估結果，顯示對於目前的補強經費，校舍實際的耐震能力也是很重要的影響因素，和預期相符合，而其餘的參數雖然重要度較低，但是還是有其貢獻，如果只留下最重要前 10 個屬性來建置模型，則模型的品質會明顯變差。

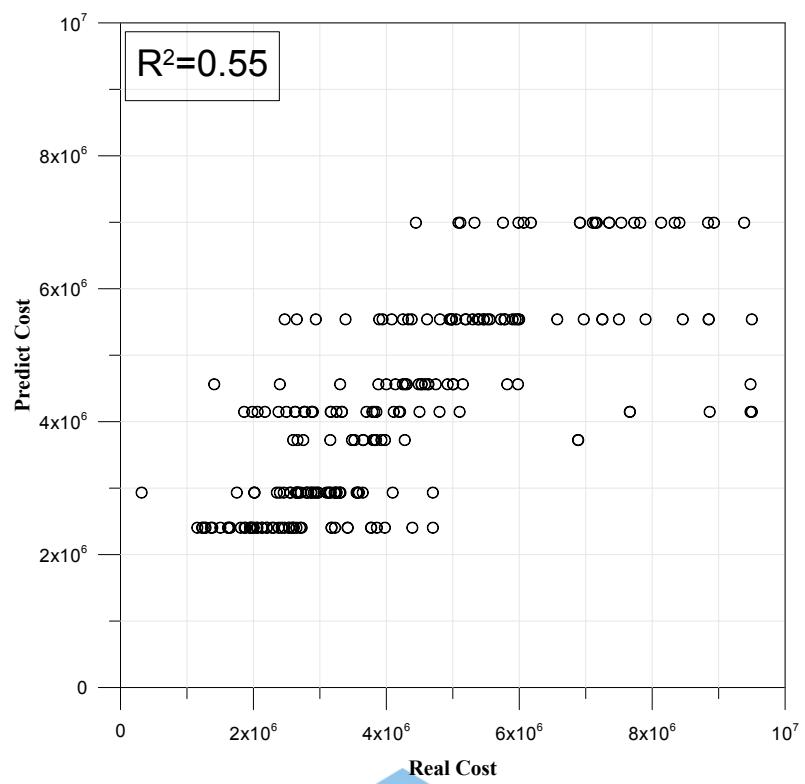


圖 7.2: 補強經費實際值 vs CHAID 模型預估值

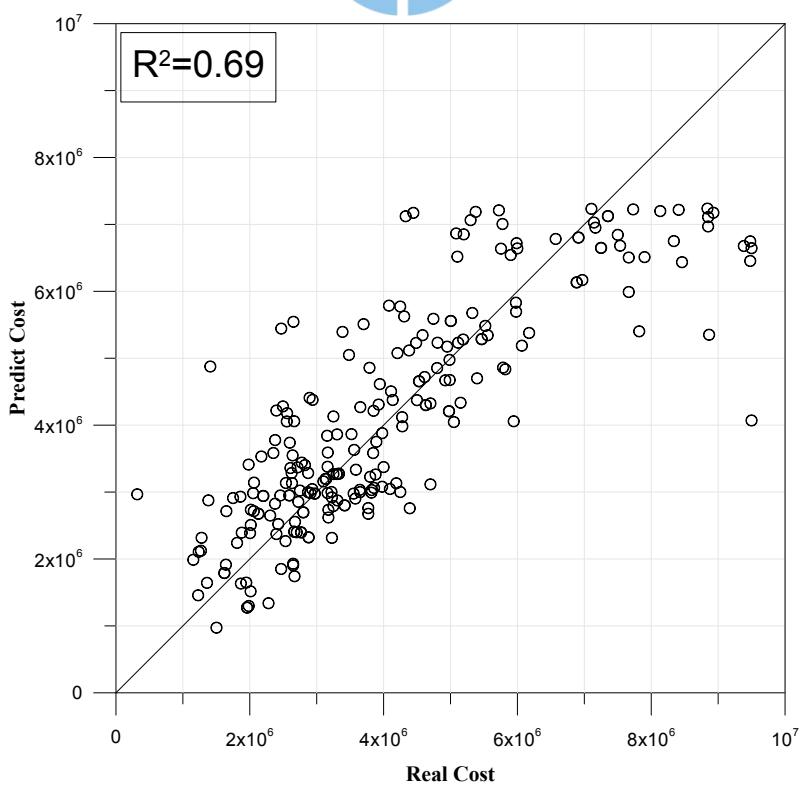


圖 7.3: 補強經費實際值 vs ANN 模型預估值

表 7-4: 補強經費類神經網路關係模型屬性重要度

屬性	重要度
一樓樓地面積	0.078
柱等效強度	0.037
軟弱層顯著性	0.038
裂縫鏽蝕滲水等程度	0.017
短柱嚴重性	0.040
調整因子	0.025
二樓樓地板面積深	0.083
二樓樓地板面積長	0.041
樓層數	0.046
二樓以上樓地板面積	0.149
一樓教室柱根數	0.026
一樓教室柱總斷面積	0.023
非結構牆	0.025
X 正向樑破壞	0.018
X 正向柱破壞	0.057
X 正向窗台柱破壞	0.023
X 正向磚牆破壞	0.028
X 正向性能點之屋頂最大位移	0.077
X 正向性能點之等效基本週期	0.047
X 正向性能點之基底剪力	0.053
校舍耐震容量需求比	0.067

# 第 8 章 結論與未來展望

## 8.1 結論

教育部所主持的「加速高中職及國中小老舊校舍及相關設備補強整建計畫」以及其相關的後續計畫，在執行上和一般的計畫一樣會受到預算的限制，但是此一計畫的預算限制直接的影響到能夠改善多少校舍的耐震能力，因此如何有效的估計校舍詳細評估、補強的預算需求，並正確的挑選出應該優先處理的校舍對於學生的生命安全關係重大，然而實際上校舍補強的正確經費是在計畫非常後期才會得到，因此在每個年度的一開始，計畫的執行人員都要透過經驗公式來推估待評估的校舍需要多少經費來評估和補強，雖然此一經驗公式也有一定程度的可靠度，但是其尚缺乏理論支持。

需要補強的校舍在得知實際的補強經費之前，會先經過初步評估、詳細評估和補強設計幾個階段的作業，然後才是實際的補強施工，本研究目前的成果也是分佈在此一程序上的不同位置，包括了初步評估的  $Is$  值關係模型、詳細評估的  $CDR$  值關係模型、詳細評估的破壞構件關係模型、以及最後的校舍補強經費關係模型，其關係如圖 8.1 所示。其中，校舍群集模型被用作其它資料探勘的資料前處理的其中一項，因此較難直接瞭解其模型品質，然而使用此一群集模型後分別建立不同得關係模型所得到的結果確實較好；而使用此一群集模型所得到的初步評估  $Is$  值與校舍基本設計參數間的關係模型，其  $R^2$  達到了 0.76；更進一步的詳細評估的  $CDR$  值與校舍基本設計參數間的關係模型，使用 WGP 方法建立出來，其 RMSE 為 0.039，也達到了國震中心專家所建議的 0.04 以下的目標；而詳細評估後的構件破壞情形的模型，也有很不錯的表現，五種構件均有 75% 以上的正確率，其中 RC 牆、磚牆和柱的關係模型更是有 80% 以上；流程最後的校舍補強經費與校舍基本設計參數間的關係模型，表現較為一般，其  $R^2$  為 0.69，然而如果考量到此模型在實務上應用之方式，則可使用平均誤差判斷模型品質，而此模型的平均誤差表現非常好，235 棟校舍之誤差僅有 11066 元，而一棟校舍平均的補強經費則高達 400 多萬，誤差約為 0.26%。

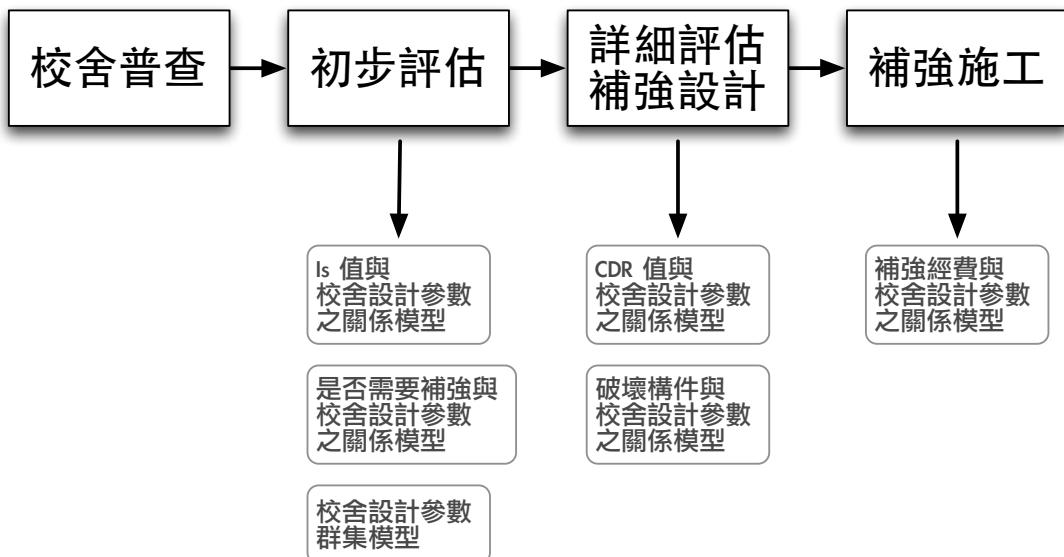


圖 8.1: 評估流程與資料探勘模型



本研究所提出數個基於校舍耐震資料庫與資料探勘方法所得到的關係模型，均有不錯的表現，而這些關係模型的目標屬性均是校舍耐震能力補強計畫的工作流程中，不同階段的產出，透過這些關係模型，可以快速的得到本來是非線性關係，不容易取得的關鍵屬性，並且保有一定程度的可靠性，這些模型雖然無法直接的取代現有的評估流程，但是其知識之內容相信可以輔助整個校舍耐震能力補強計畫的工作，例如：藉由  $Is$  值的關係模型來判斷一群校舍整體的耐震能力表現、甚至是可以直接使用補強經費得關係模型來輔助決策者，判斷要編列多少預算，並且可以同時瞭解到這些預算可以完成多少校舍的補強、這些校舍佔所有耐震能力有疑慮的校舍中的比例，甚至是反過來，根據決策者決定要補強多少棟或是多少比例的校舍，再透過關係模型計算這些校舍的總補強經費為多少，提供給決策者做參考。這些應用都可以有效的提升校舍耐震能力補強作業的效能，讓主事者更快的瞭解校舍的狀況，並且更有效的分配預算。

## 8.2 未來展望

本論文目前之主要之成果為耐震能力與補強預算相關之知識，然而本研究初期時即依照資料探勘的四種知識類型：迴歸、分類、分群、關聯分別分析設計了數個不同面像的探勘目標如圖 4.9：

**迴歸** 主要的知識為重要屬性的關係模型，且要為數值類型的屬性，例如校舍的最小破壞地表加速度、耐震能力、補強經費等。

**分類** 分類探勘類型的知識和迴歸類之知識相似，主要也是用在建立重要屬性的關係模型，其主要差異在於迴歸分析僅能對數值類型之屬性建立模型，而分類分析則僅能對資料數值為集合類之屬性建立模型，目前所設計之分析為校舍是否安全、是否需要補強的分類分析。

**分群** 分群類型之知識主要在於校舍結構之不同群集，其知識之形式與分類分析有些相似，最大之不同點在於此類模型在訓練建立時，並沒有輸出參數，而是只靠輸入參數間來判斷資料間的相似度，例如相似結構形式的校舍群集，組成校舍的結構元件的探勘等。

**關聯** 此類型之知識形式為屬性間的特殊關係，例如特定年代的校舍在設計上會有不同於其他年代的形式，而這些特色如果可以在典型校舍的設計參數上表現出來，應當可以用此種資料探勘尋找出來，而預期的目標包括了不同年代校舍之設計特色、校舍結構之設計模式等。

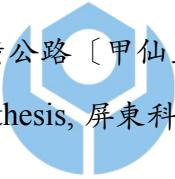
本研究目前透過資料探勘所得到之知識，均分佈在教育部的校舍耐震能力補強的流程之上，包括了分類形式的校舍是否需要補強與其設計參數之關係模型、迴歸形式的校舍耐震能力與其設計參數之關係模型以及校舍補強經費與其設計參數之關係模型、還有分群形式的校舍群集模型，其在建立耐震能力關係模型時，作為資料前處理輔助用。而第一個發展方向，就是更進一步往不同的方向進行資料探勘，例如初期規劃所設計的探勘目標，在關聯形式的知識尚沒有任何可用的成果，但是研究初期規劃的那些知識隱含於耐震資料庫中的可能性極高，而且這

類知識的發掘雖然無法直接回饋到校舍耐震補強計畫之上，但是卻可能在其它的校舍相關議題上發揮其功用。

第二個發展方向，則是可以嘗試將目前獨立分佈在耐震能力補強流程上的數個資料探勘也串接起來，由於目前資料的複雜度的關係問題，不同的資料探勘分析都是獨立進行分析，包括資料前處理的資料篩選也是根據問題的特性來調整，因此不同的模型所需要的輸入資料的屬性，雖然有很大程度是相關的屬性，但是仍有差異，也造成判斷校舍是否需要補強的的輸入資料集無法用讓  $CDR$  值關係模型的來使用， $CDR$  值關係模型的輸入資料集也無法用作補強經費關係模型的輸入之用。但是也因為不同模型的輸入資料屬性有很大的相關度，那也表示應該可以探討出一組資料屬性集，同時可以找出和初步評估的  $Is$  值、詳細評估的  $CDR$  值以及補強校舍的補強經費都能夠找出其關係模型，那麼應該可以用這組模型，在校舍建築物調查非常初始的階段，就能夠推估它的耐震能力表現如何、是否足夠，進一步到是否需要補強、補強經費多少。

最後一個發展方向，則是在 CRISP-DM 流程當中的最後一個步驟，將探勘得到的知識實際回饋到學校校舍及相關設備的補強整建計畫上，由於目前探勘得到的知識都還是以數學模型的形式存在，非專業人士難以應用，因此如果可以將這些數學模型轉化成決策支援系統，則可以讓主管機關能夠簡單的得到這些模型的輔助，在校舍長期持續的耐震能力監控上，能夠發揮探勘所得知識的效力。

## 參 考 文 獻

- [1] B. S. S. C. (US) and A. T. Council, *NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings*, vol. 1. Federal Emergency Management Agency, 1997.
- [2] U. Fayyad, G. Piatetsky-Shapiro, and P. Smyth, “From data mining to knowledge discovery in databases,” *AI magazine*, vol. 17, no. 3, p. 37, 1996.
- [3] 張鉅輝, “混凝土橋梁耐震能力評估與資料庫系統之建立,” Master’s thesis, 中華大學土木工程學系, 2003.
- [4] 周武坤, “GPS/GIS 科技應用於高雄都會區地下管線工程管理資料庫系統之建立與應用,” Master’s thesis, 屏東科技大學土木工程系, 2002.
- [5] 侯峻棕, “GPS/GIS 應用於南橫公路〔甲仙至垭口段〕邊坡地工環境災害資料庫系統之建立研究,” Master’s thesis, 屏東科技大學土木工程系, 2000.  

- [6] 蘇振綱, “地理資訊系統計畫評估方法之研究—以環境地質資料庫為例,” Master’s thesis, 國立台灣大學建築與城鄉研究所, 1993.
- [7] K. H. Law, T. Barsalou, and G. Wiederhold, “Management of complex structural engineering objects in a relational framework,” *Engineering with computers*, vol. 6, no. 2, pp. 81–92, 1990.
- [8] C.-K. Kim, S.-E. Lee, and S.-M. Hong, “A new integrated database model for the design and construction information of building structures,” in *International Conference on Information Technology in Construction*, pp. 315–324, 2000.
- [9] S. Somo and H. Hong, “Modeling error analysis of shear predicting models for rc beams,” *Structural safety*, vol. 28, no. 3, pp. 217–230, 2006.
- [10] E. Cuenca, P. Serna, and G. Plizzari, “Shear database for reinforced and prestressed beams made with fiber reinforced concrete,” in *Proceedings of the 8th International*

*Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures, FraMCoS 2013*, pp. 1089–1100, 2013.

- [11] J. Hodková, A. Lupíšek, Š. Mančík, L. Vochoc, and T. Žďára, “Envimat. cz—online database of environmental profiles of building materials and structures,” in *Environmental Software Systems. Frameworks of eEnvironment*, pp. 272–279, Springer, 2011.
- [12] P. B. Lourenço, D. V. Oliveira, J. C. Leite, J. Ingham, C. Modena, and F. da Porto, “Simplified indexes for the seismic assessment of masonry buildings: International database and validation,” *Engineering Failure Analysis*, vol. 34, pp. 585–605, 2013.
- [13] D. Duthinh and W. P. Fritz, “Nonlinear database-assisted design leads to”greener” steel buildings,” in *Structures Congress 2006: Structural Engineering and Public Safety*, pp. 1–17, ASCE, 2006.
- [14] American Society of Civil Engineers (ASCE), *Minimum design loads for buildings and other structures*. ASCE 7-02, 2002.
- [15] E. M. Golafshani, A. Rahai, and M. H. Sebt, “Artificial neural network and genetic programming for predicting the bond strength of gfrp bars in concrete,” *Materials and Structures*, pp. 1–22, 2014.
- [16] ACI Committee 440, “Guide for the design and construction of concrete reinforced with frp bars (aci 440.1 r-06),” *American Concrete Institute, Detroit, Michigan*, 2006.
- [17] M. H. Arslan, “An evaluation of effective design parameters on earthquake performance of rc buildings using neural networks,” *Engineering Structures*, vol. 32, no. 7, pp. 1888–1898, 2010.
- [18] M. Azadi, S. Pourakbar, and A. Kashfi, “Assessment of optimum settlement of structure adjacent urban tunnel by using neural network methods,” *Tunnelling and underground space technology*, vol. 37, pp. 1–9, 2013.

- [19] A. A. Elshafey, N. Dawood, H. Marzouk, and M. Haddara, “Predicting of crack spacing for concrete by using neural networks,” *Engineering Failure Analysis*, vol. 31, pp. 344–359, 2013.
- [20] M. Sarıdemir, “Prediction of compressive strength of concretes containing metakaolin and silica fume by artificial neural networks,” *Advances in Engineering Software*, vol. 40, no. 5, pp. 350–355, 2009.
- [21] İ. B. Topçu and M. Sarıdemir, “Prediction of rubberized concrete properties using artificial neural network and fuzzy logic,” *Construction and Building Materials*, vol. 22, no. 4, pp. 532–540, 2008.
- [22] R. Ince, “Prediction of fracture parameters of concrete by artificial neural networks,” *Engineering Fracture Mechanics*, vol. 71, no. 15, pp. 2143–2159, 2004.
- [23] 張玉瑛, “以支援向量機預測台灣地區營造工程物價指數之研究,” Master’s thesis, 朝陽科技大學營建工程所, 2007.
- [24] J.-H. Chen and J.-Z. Lin, “Developing an svm based risk hedging prediction model for construction material suppliers,” *Automation in Construction*, vol. 19, no. 6, pp. 702–708, 2010.
- [25] D. Tuhus-Dubrow and M. Krarti, “Genetic-algorithm based approach to optimize building envelope design for residential buildings,” *Building and Environment*, vol. 45, no. 7, pp. 1574–1581, 2010.
- [26] A. Kaveh, B. Farahmand Azar, A. Hadidi, F. Rezazadeh Sorochi, and S. Talatahari, “Performance-based seismic design of steel frames using ant colony optimization,” *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 66, no. 4, pp. 566–574, 2010.
- [27] H.-M. Chen and W.-K. Kao, “Computer-aided model generation for nonlinear structural analysis using a structural component model database,” *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 22, no. 5, pp. 312–324, 2008.

- [28] C.-S. Chen, M.-Y. Cheng, and Y.-W. Wu, “Seismic assessment of school buildings in taiwan using the evolutionary support vector machine inference system,” *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 4, pp. 4102–4110, 2012.
- [29] L. de Santoli, F. Fraticelli, F. Fornari, and C. Calice, “Energy performance assessment and a retrofit strategies in public school buildings in rome,” *Energy and Buildings*, vol. 68, pp. 196–202, 2014.
- [30] S. SATO and K. MINANI, “Damage analysis of existing public school buildings in hiroshima prefecture due to 2001 geiyo earthquake,” *The Memoirs of the Faculty of Engineering, Fukuyama University.*, vol. 28, pp. 81–91, Dec 2004.
- [31] R. Jafarzadeh, J. M. Ingham, and S. Wilkinson, “A seismic retrofit cost database for buildings having a framed structure,” *Earthquake Spectra*, 2014.
- [32] R. Jafarzadeh, *Seismic retrofit cost modelling of existing structures*. PhD thesis, The University of Auckland, 2012.
- [33] R. Jafarzadeh, S. Wilkinson, V. González, J. Ingham, and G. G. Amiri, “Predicting seismic retrofit construction cost for buildings with framed structures using multi-linear regression analysis,” *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 140, no. 3, 2013.
- [34] R. Jafarzadeh, J. Ingham, S. Wilkinson, V. González, and A. Aghakouchak, “Application of artificial neural network methodology for predicting seismic retrofit construction costs,” *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 140, no. 2, 2013.
- [35] 許丁友, 鍾立來, 廖文義, 邱建國, 簡文郁, and 周德光, “國民中小學典型校舍耐震能力初步評估法,” Tech. Rep. NCREE-03-049, 國家地震工程研究中心, Dec 2003.
- [36] Applied Technology Council (ATC), *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings*. Report No. SSC 96-01: ATC-40, 1996.

- [37] Federal Emergency Management Agency (FEMA), *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures*. FEMA-440, 2005.
- [38] C. Shearer, “The crisp-dm model: the new blueprint for data mining,” *Journal of data warehousing*, vol. 5, no. 4, pp. 13–22, 2000.
- [39] K. Jensen, “CRISP-DM Process Diagram,” Apr 2012. [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:CRISP-DM\\_Process\\_Diagram.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:CRISP-DM_Process_Diagram.png).
- [40] B. Mabey, “Pca for the uninitiated,” 2013. <http://benmabey.com/presentations/pca-tutorial/#12>.
- [41] J. A. Nelder and R. W. M. Wedderburn, “Generalized Linear Models,” *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, vol. 135, no. 3, pp. 370–384, 1972.
- [42] W. S. McCulloch and W. Pitts, “A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity,” *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, vol. 5, no. 4, pp. 115–133, 1943.
- [43] P. Werbos, *Beyond regression: New tools for prediction and analysis in the behavioral sciences*. PhD thesis, Harvard University, 1974.
- [44] D. Rummelhart, “Learning representations by back-propagating errors,” *Nature*, vol. 323, no. 9, pp. 533–536, 1986.
- [45] D. T. Larose, *Discovering knowledge in data: an introduction to data mining*. John Wiley & Sons, 2005.
- [46] J. H. Holland, *Adaptation in natural and artificial systems: An introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. U Michigan Press, 1975.
- [47] H. Minshui, L. Jie, and Z. Hong-ping, “Study on construction of objective function for damage identification using improved genetic algorithm,” in *Natural Computation, 2009. ICNC’09. Fifth International Conference on*, vol. 4, pp. 430–435, IEEE, 2009.

- [48] D. Šešok and R. Belevičius, “Global optimization of trusses with a modified genetic algorithm,” *Journal of Civil Engineering and management*, vol. 14, no. 3, pp. 147–154, 2008.
- [49] J. R. Koza, *Genetic programming: on the programming of computers by means of natural selection*, vol. 1. MIT press, 1992.
- [50] I. Yeh, L.-C. Lien, *et al.*, “Knowledge discovery of concrete material using genetic operation trees,” *Expert Systems with Applications*, vol. 36, no. 3, pp. 5807–5812, 2009.
- [51] H.-C. Tsai, “Using weighted genetic programming to program squat wall strengths and tune associated formulas,” *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 24, no. 3, pp. 526–533, 2011.
- [52] H.-C. Tsai and Y.-H. Lin, “Predicting high-strength concrete parameters using weighted genetic programming,” *Engineering with Computers*, vol. 27, no. 4, pp. 347–355, 2011.
- [53] G. V. Kass, “An exploratory technique for investigating large quantities of categorical data,” *Applied statistics*, pp. 119–127, 1980.
- [54] B. E. Boser, I. M. Guyon, and V. N. Vapnik, “A training algorithm for optimal margin classifiers,” in *Proceedings of the 5th Annual Workshop on Computational Learning Theory (COLT'92)* (D. Haussler, ed.), (Pittsburgh, PA, USA), pp. 144–152, ACM Press, Jul 1992.
- [55] T. Verplancke, S. Van Looy, D. Benoit, S. Vansteelandt, P. Depuydt, F. De Turck, and J. Decruyenaere, “Support vector machine versus logistic regression modeling for prediction of hospital mortality in critically ill patients with haematological malignancies,” *BMC Medical Informatics and Decision Making*, vol. 8, no. 1, p. 56, 2008.

- [56] H. Drucker, C. J. Burges, L. Kaufman, A. Smola, and V. Vapnik, “Support vector regression machines,” *Advances in neural information processing systems*, vol. 9, pp. 155–161, 1997.
- [57] J. MacQueen, “Some methods for classification and analysis of multivariate observations,” in *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, vol. 1, pp. 281–297, 1967.
- [58] T. Zhang, R. Ramakrishnan, and M. Livny, “Birch: an efficient data clustering method for very large databases,” in *ACM SIGMOD Record*, vol. 25, pp. 103–114, ACM, 1996.
- [59] J. Aldrich, “Correlations genuine and spurious in pearson and yule,” *Statistical Science*, pp. 364–376, 1995.
- [60] 內政部營建署編輯委員會, 建築物耐震設計規範及解說. 營建雜誌社, 2005.
- [61] 蘇耕立, “台灣中小學校舍結構耐震能力初步評估方法之探討,” Master’s thesis, 國立台灣大學土木系, Jul 2008.
- [62] IBM, “SPSS Modeler.” <http://www-01.ibm.com/software/analytics/spss/products/modeler/>.
- [63] MathWorks Inc., “Matlab.” <http://www.mathworks.com/products/matlab/>.
- [64] 國家地震工程研究中心, “高中職及國中小校舍結構耐震能力補強設計作業規範,” Oct 2013.
- [65] 國家地震工程研究中心, “國中小校舍「補強工程」之經費支用範圍及參考單價計價方式(修正版)【方案 c】,” Jun 2010.
- [66] 黃世建, 葉勇凱, 鍾立來, 簡文郁, 陳鴻銘, 趙宜峰, 周德光, 沈文成, and 高偉格, “全國中小學校舍結構耐震評估與補強資料庫建置（一）,” Tech. Rep. NCREE-08-035, 國家地震工程研究中心, Dec 2008.

- [67] 葉勇凱, 蕭輔沛, 沈文成, 楊耀昇, and 黃世建, “鋼筋混凝土建築物耐震能力詳細評估分析方法（推垮分析）,” Tech. Rep. NCREE-09-015, 國家地震工程研究中心, Jun 2009.
- [68] 葉勇凱, 趙宜峰, 陳鴻銘, 高偉格, 沈文成, 翁樸文, 鍾立來, 簡文郁, and 黃世建, “全國中小學校舍結構耐震評估與補強資料庫建置（二）,” Tech. Rep. NCREE-09-026, 國家地震工程研究中心, Dec 2009.



## 附錄一：典型校舍初步評估表

見下頁。



## 典型校舍耐震能力初步評估表

校舍基本資料									
學校名稱				評估日期					
建築物名稱				證號					
評估者				結構物 基本振動週期 (T)		建築物高度 H (m)			
學校地址						$T = 0.07^H \times 0.75$ (鋼筋混凝土造)		(sec)	
興建年代				475年設計地震		$S_{D5}$			
經緯度座標		N				$S_{D1}$			
		E				$S_{AD}$			
上傳平面配置圖		請上傳校園平面圖及相關圖說 Pic							
基本結構耐震性能調查項目									
二樓以上(含屋頂層) 各樓層樓地板面積調查		平面尺寸		樓地板面積 (Af)			樓層數		
		長 (m)	寬 (m)	計算式		面積 (m <sup>2</sup> )		地下層	地上層 (NF)
		二樓以上(含屋頂層)總樓地板面積計算 ( $Af = Af1 * NF$ )							
		地下層總樓地板面積						(m <sup>2</sup> )	
一樓柱量									
一樓柱量	柱類別	柱形式	柱尺寸 (cm) (寬*深)	斷面積 (cm <sup>2</sup> ) (Asci)	根數 (Nci)	斷面積小計 (Aci = Asci * Nci)			
	走廊外柱	第一種		0		Coraci	0	(cm <sup>2</sup> )	
		第二種		0			0	(cm <sup>2</sup> )	
		第三種		0			0	(cm <sup>2</sup> )	
	教室柱	第一種		0		Claaci	0	(cm <sup>2</sup> )	
		第二種		0			0	(cm <sup>2</sup> )	
		第三種		0			0	(cm <sup>2</sup> )	
	隔間柱	第一種		0		Insaci	0	(cm <sup>2</sup> )	
		第二種		0			0	(cm <sup>2</sup> )	
	走廊外柱總斷面積 (cm <sup>2</sup> ) $CorAc = \sum(Coraci)$		0	教室柱總斷面積 (cm <sup>2</sup> ) $ClaAc = \sum(Claaci)$		0	隔間柱總斷面積 (cm <sup>2</sup> ) $InsAc = \sum(Insaci)$		0
柱等效強度 $TAc = (4+1.8*NF)*ClaAc+(2.4+1.08*NF)*CorAc+2.6*InsAc$								(kgf)	
一樓牆量									
一樓牆量	牆種類	牆厚度(cm) (Twi)	牆長度 (cm) 計算式		長度 (Lwi)	斷面積小計 (Awi = Twi * Lwi)			
	RC牆					RCAwi	0	(cm <sup>2</sup> )	
							0	(cm <sup>2</sup> )	
							0	(cm <sup>2</sup> )	
	四面圍束磚牆					B2awi	0	(cm <sup>2</sup> )	
							0	(cm <sup>2</sup> )	
							0	(cm <sup>2</sup> )	
	三面圍束磚牆*					B1awi	0	(cm <sup>2</sup> )	
							0	(cm <sup>2</sup> )	
							0	(cm <sup>2</sup> )	
RC牆總斷面積 (cm <sup>2</sup> ) $RCAw = \sum(RCAwi)$		0	四面圍束磚牆總斷面積 (cm <sup>2</sup> ) $B2Aw = \sum(B2awi)$		0	三面圍束磚牆總斷面積 (cm <sup>2</sup> ) $B1Aw = \sum(B1awi)$		0	
牆等效強度 $TAw = 2*B1Aw+3*B2Aw+12*RCAw$								(kgf)	
基本耐震性能 E :									
$E = 0.354*NF*(TAc+TAw)/((-1+6*NF)*(0.4*SaD)*Af)$									
調整因子調查項目									
項目	說明					因子			
平面及立面對稱性	<input type="checkbox"/> 差(0.95) <input type="checkbox"/> 尚可(1.0) <input type="checkbox"/> 良(1.05)					q1 =			
軟弱層顯著性	<input type="checkbox"/> 2/3以上牆體中斷(0.8) <input type="checkbox"/> 1/3至2/3之牆體中斷(0.9) <input type="checkbox"/> 1/3以下之牆體中斷(1.0)					q2 =			
裂縫鏽蝕滲水等程度	<input type="checkbox"/> 嚴重(0.9) <input type="checkbox"/> 少許(0.95) <input type="checkbox"/> 無(1.0)					q3 =			
變形程度	<input type="checkbox"/> 嚴重(0.9) <input type="checkbox"/> 無(1.0)					q4 =			
平面耐震性	<input type="checkbox"/> 雙走廊且廊外有柱(1.2) <input type="checkbox"/> 單走廊且廊外有柱或中間走廊(1.1) <input type="checkbox"/> 廊外無柱或其他(1.0)					q5 =			
短柱嚴重性	<input type="checkbox"/> 50%以上(0.9) <input type="checkbox"/> 50%以下(1.0); 指窗台、氣窗造成之短柱現象					q6 =			
調整因子 Q :	$Q = q1 * q2 * ... * q6$								
耐震指標 Is :	Is = E * Q =			是否有疑慮 :		確有耐震疑慮			

備註 : \*三面圍束磚牆不包含台度磚牆

負責評估者簽章

## 附錄二：典型校舍詳細評估表

見下頁。



## 側推分析法-耐震詳細評估資料表(2010.07.15 更新版本)

<b>一、校舍基本資料</b>			
學校名稱		評估日期	
學校地址		評估者	
校舍名稱		興建年度	
校舍用途		基本結構系統	<input type="checkbox"/> RC 造 <input type="checkbox"/> 加強磚造.....
結構系統描述	<input type="checkbox"/> 雙邊走廊，廊外有柱 <input type="checkbox"/> 雙邊走廊，廊外無柱 <input type="checkbox"/> 單邊走廊，廊外有柱 <input type="checkbox"/> 單邊走廊，廊外無柱 <input type="checkbox"/> 中間走廊 <input type="checkbox"/> 其他		
基地概況 (如有需要，補充說明)			
<b>二、校舍結構基本資料</b>			
樓層數			
二樓以上各層樓地板面積和 (含屋頂層； $m^2$ )			
地下總樓地板面積和( $m^2$ )			
一樓柱量	走廊外柱	根數	
		柱總斷面積 ( $cm^2$ )	
	教室柱	根數	
		柱總斷面積 ( $cm^2$ )	
	隔間柱	根數	
		柱總斷面積 ( $cm^2$ )	
X 方向一樓牆量 (長向；一般為平行於沿走廊方向)		RC 牆總斷面積 ( $cm^2$ )	
		四面圍束磚牆總斷面積 ( $cm^2$ )	
		三面圍束磚牆總斷面積* ( $cm^2$ )	
Y 方向一樓牆量 (短向；一般為垂直於走廊方向)		RC 牆總斷面積 ( $cm^2$ )	
		四面圍束磚牆總斷面積 ( $cm^2$ )	
		三面圍束磚牆總斷面積* ( $cm^2$ )	
<b>三、結構物之詳細耐震能力評估</b>			
1. 參數資料			
地盤種類		<input type="checkbox"/> 第一類 <input type="checkbox"/> 第二類 <input type="checkbox"/> 第三類 <input type="checkbox"/> 台北盆地	
475 年回歸期設計地表加速度( $=0.4S_{DS}$ )(g)			
校舍用途		<input type="checkbox"/> 緊急避難 <input type="checkbox"/> 一般用途	
耐震需求(Demand, $0.4S_{DS}$ )(g)			
結構基本週期 $T_X$ (秒)	經驗值		
	動力分析值		

\*三面圍束磚牆不包含台度磚牆

結構基本週期 $T_Y$ (秒)	經驗值	
	動力分析值	
工址短週期設計水平譜加速度係數 $S_{DS}$		
工址一秒週期設計水平譜加速度係數 $S_{DI}$		
短週期與中、長週期之分界 $T_0^D$ (秒)		

### 2.樓層資料

樓層	評估用樓層 靜載重 ( $t_f$ )	評估用樓層單位 面積活載重 ( $kgf/m^2$ )	樓層距基 底高度 (m)	樓層 面積 ( $m^2$ )	評估用 混凝土強度 $f'_c$ ( $kgf/cm^2$ )	評估用 主筋強度 $f_y$ ( $kgf/cm^2$ )	評估用 箍筋強度 $f_y$ ( $kgf/cm^2$ )
RF							
5F							
4F							
3F							
2F							

### 3.結構分析模擬資料

窗台	<input type="checkbox"/> 有窗台，結構評估有模擬 <input type="checkbox"/> 有窗台，結構評估無模擬 <input type="checkbox"/> 無窗台
隔間牆	<input type="checkbox"/> 有隔間牆，結構評估有模擬 <input type="checkbox"/> 有隔間牆，結構評估無模擬 <input type="checkbox"/> 無隔間牆
非結構牆	<input type="checkbox"/> 有非結構牆，結構評估有模擬 <input type="checkbox"/> 有非結構牆，結構評估無模擬 <input type="checkbox"/> 無非結構牆

### 四、評估結果

混凝土氯離子含量試驗	<input type="checkbox"/> $> 0.3kg/m^3$ ，試驗試體數量_____個
	<input type="checkbox"/> $\leq 0.3kg/m^3$ ，試驗試體數量_____個 最高氯離子含量_____ 依 CNS3090 規定鋼筋混凝土耐久性構件最大水溶性氯離子含量不得大於 $0.3kg/m^3$ 。
混凝土中性化試驗	最大中性化深度_____cm
校舍耐震容量 (Capacity=各方向性能目標)	

地表加速度最小值)(g)	
耐震容量需求比 CDR (Capacity / Demand)	
評估結論	<input type="checkbox"/> 不需要補強(CDR>=1) <input type="checkbox"/> 需要補強(CDR<1) <input type="checkbox"/> 建議拆除，請敘明具體理由：_____

	+X 方向 (長向；一般為平行於沿走廊方向)	-X 方向 (長向；一般為平行於沿走廊方向)
性能點狀態下最嚴重之破壞樓層		
	<input type="checkbox"/> 梁有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 梁無破壞	<input type="checkbox"/> 梁有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 梁無破壞
	<input type="checkbox"/> 柱有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 柱無破壞	<input type="checkbox"/> 柱有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 柱無破壞
性能點狀態下最嚴重破壞樓層之主要破壞桿件及其破壞模式	<input type="checkbox"/> 窗台柱有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 窗台柱無破壞	<input type="checkbox"/> 窗台柱有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 窗台柱無破壞
	<input type="checkbox"/> RC 牆有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> RC 牆無破壞	<input type="checkbox"/> RC 牆有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> RC 牆無破壞
	<input type="checkbox"/> 磚牆有破壞 <input type="checkbox"/> 磚牆無破壞	<input type="checkbox"/> 磚牆有破壞 <input type="checkbox"/> 磚牆無破壞
	<input type="checkbox"/> 其他：說明	<input type="checkbox"/> 其他：說明

上傳「性能點狀態下各立面構架非線性鉸發展圖」

上傳「容量曲線及性能曲線對照圖」

性能點之屋頂最大位移 (cm)	
性能點之等效阻尼比 (%)	
性能點之等效基本週期 (秒)	

性能點之基底剪力 (kgf)				
性能點各樓層之層間變位角	5F		5F	
	4F		4F	
	3F		3F	
	2F		2F	
	1F		1F	
性能目標地表加速度 (g)				

	+Y 方向 (短向；一般為垂直於走廊方向)	-Y 方向 (短向；一般為垂直於走廊方向)
性能點狀態下最嚴重之破壞樓層		
	<input type="checkbox"/> 梁有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 梁無破壞	<input type="checkbox"/> 梁有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 梁無破壞
	<input type="checkbox"/> 柱有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 柱無破壞	<input type="checkbox"/> 柱有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 柱無破壞
性能點狀態下最嚴重破壞樓層 之主要破壞桿件 及其破壞模式	<input type="checkbox"/> 窗台柱有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 窗台柱無破壞	<input type="checkbox"/> 窗台柱有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 窗台柱無破壞
	<input type="checkbox"/> RC 牆有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> RC 牆無破壞	<input type="checkbox"/> RC 牆有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> RC 牆無破壞
	<input type="checkbox"/> 磚牆有破壞 <input type="checkbox"/> 磚牆無破壞	<input type="checkbox"/> 磚牆有破壞 <input type="checkbox"/> 磚牆無破壞
	<input type="checkbox"/> 其他：說明	<input type="checkbox"/> 其他：說明

上傳「性能點狀態下各立面構架非線性鉸發展圖」

上傳「容量曲線及性能曲線對照圖」

性能點之屋頂最大位移 (cm)		
性能點之等效阻尼比 (%)		
性能點之等效基本週期 (秒)		
性能點之基底剪力 (kgf)		
性能點各樓層之層間變位角	5F	5F
	4F	4F
	3F	3F
	2F	2F
	1F	1F
性能目標地表加速度 (g)		

### 附錄三：典型校舍補強設計表

見下頁。



## 側推分析法-補強設計資料表

<b>一、校舍基本資料</b>			
學校名稱		補強設計日期	
學校地址		補強設計者	
校舍名稱		興建年度	
校舍用途		基本結構系統	<input type="checkbox"/> RC 造 <input type="checkbox"/> 加強磚造.....
475 年回歸期設計 地表加速度 (=0.4S <sub>DS</sub> ) (g)			
<b>二、補強前校舍結構耐震能力資料 (請填附表一)</b>			
		+X 方向 (長向；一般為平行於沿走廊方向)	-X 方向 (長向；一般為平行於沿走廊方向)
性能點之屋頂最大位移 (cm)			
性能點之等效阻尼比 (%)			
性能點之等效基本週期 (秒)			
性能點之基底剪力 (kgf)			
性能點各樓層之 層間變位角	5F		
	4F		
	3F		
	2F		
	1F		
性能目標地表加速度 (g)			
		+Y 方向 (短向；一般為垂直於走廊方向)	-Y 方向 (短向；一般為垂直於走廊方向)
性能點之屋頂最大位移 (cm)			
性能點之等效阻尼比 (%)			
性能點之等效基本週期 (秒)			
性能點之基底剪力 (kgf)			
性能點各樓層之 層間變位角	5F		
	4F		
	3F		
	2F		

	1F		
性能目標地表加速度 (g)			
<b>三、結構補強方案</b>			
<b>增設構件</b>	<input type="checkbox"/> 剪力牆 (一樓增設片數_____；總增設片數_____) <input type="checkbox"/> 翼牆 (一樓增設片數_____；總增設片數_____) <input type="checkbox"/> 斜撐 (一樓增設斜撐數_____；總增設斜撐數_____) <input type="checkbox"/> 柱 (一樓增設根數_____；總增設根數_____) <input type="checkbox"/> 梁 (一樓增設根數_____；總增設根數_____) <input type="checkbox"/> 其他 _____ (一樓數量_____；總數量_____)		
<b>柱補強</b>	<input type="checkbox"/> 擴柱 (一樓柱補強根數_____；總柱補強根數_____) <input type="checkbox"/> 鋼板貼片 (一樓柱補強根數_____；總柱補強根數_____) <input type="checkbox"/> FRP 貼片 (一樓柱補強根數_____；總柱補強根數_____) <input type="checkbox"/> 其他 _____ (一樓數量_____；總數量_____)		
<b>牆補強</b>	<input type="checkbox"/> 增厚 (一樓牆補強片數_____；總牆補強片數_____) <input type="checkbox"/> RC 牆置換磚牆 (一樓牆置換片數_____；總牆置換片數_____) <input type="checkbox"/> FRP 貼片 (一樓牆補強片數_____；總牆補強片數_____) <input type="checkbox"/> 其他 _____ (一樓片數_____；總片數_____)		
<b>梁補強</b>	<input type="checkbox"/> 鋼板貼片 (一樓梁補強根數_____；總梁補強根數_____) <input type="checkbox"/> FRP 貼片 (一樓梁補強根數_____；總梁補強根數_____) <input type="checkbox"/> 其他 _____ (一樓根數_____；總根數_____)		
<b>減載措施</b>	<input type="checkbox"/> 樓層拆除 (拆除樓層數_____) <input type="checkbox"/> 用途變更 (用途變更樓層數_____) <input type="checkbox"/> 其他 _____		
<b>基礎補強</b>	<input type="checkbox"/> 獨立基腳 (尺寸：_____m * _____m；深_____m；數量_____個) <input type="checkbox"/> 聯合基腳 (_____支) <input type="checkbox"/> 其他 _____		
<b>其他補強措施</b>			
<b>上傳補強圖說</b>	一樓平面圖、正面立面圖、背面立面圖、補強細部圖、補強材料參數		
<b>四、補強後校舍結構耐震能力資料（請填附表二）</b>			
	+X 方向 (長向；一般為平行於沿走廊方向)	-X 方向 (長向；一般為平行於沿走廊方向)	

性能點之屋頂最大位移 (cm)		
性能點之等效阻尼比 (%)		
性能點之等效基本週期 (秒)		
性能點之基底剪力 (kgf)		
性能點各樓層 之層間變位角	5F	
	4F	
	3F	
	2F	
	1F	
性能目標地表加速度 (g)		
	+Y 方向 (短向；一般為垂直於走廊方向)	-Y 方向 (短向；一般為垂直於走廊方向)
性能點之屋頂最大位移 (cm)		
性能點之等效阻尼比 (%)		
性能點之等效基本週期 (秒)		
性能點之基底剪力 (kgf)		
性能點各樓層 之層間變位角	5F	
	4F	
	3F	
	2F	
	1F	
性能目標地表加速度 (g)		
<b>五、補強工程</b>		
補強後二樓以上各樓層 樓地板面積和 (含屋頂層； m <sup>2</sup> )		
地下總樓地板面積和(m <sup>2</sup> )		
預估補強工期 (月)		
結構耐震補強經費 (千元)	結構體	
	非結構體	
非結構耐震補強之修復經費 (千元)		
若拆除重建，所需經費 (千 元)		

## 補強前耐震評估表格（附表一）

<b>一、校舍基本資料</b>			
學校名稱		評估日期	
學校地址		評估者	
校舍名稱		興建年度	
校舍用途		基本結構系統	<input type="checkbox"/> RC 造 <input type="checkbox"/> 加強磚造.....
結構系統描述	<input type="checkbox"/> 雙邊走廊，廊外有柱	<input type="checkbox"/> 雙邊走廊，廊外無柱	
	<input type="checkbox"/> 單邊走廊，廊外有柱	<input type="checkbox"/> 單邊走廊，廊外無柱	
	<input type="checkbox"/> 中間走廊	<input type="checkbox"/> 其他	
基地概況 (如有需要，補充說明)			
<b>二、校舍結構基本資料</b>			
樓層數			
二樓以上各層樓地板面積和 (含屋頂層； $m^2$ )			
地下總樓地板面積和( $m^2$ )			
一樓柱量	走廊外柱	根數	
		柱總斷面積 ( $cm^2$ )	
	教室柱	根數	
		柱總斷面積 ( $cm^2$ )	
	隔間柱	根數	
		柱總斷面積 ( $cm^2$ )	
X 方向一樓牆量 (長向；一般為平行於沿走廊方向)	RC 牆總斷面積 ( $cm^2$ )		
	四面圍束磚牆總斷面積 ( $cm^2$ )		
	三面圍束磚牆總斷面積* ( $cm^2$ )		
Y 方向一樓牆量 (短向；一般為垂直於走廊方向)	RC 牆總斷面積 ( $cm^2$ )		
	四面圍束磚牆總斷面積 ( $cm^2$ )		
	三面圍束磚牆總斷面積* ( $cm^2$ )		
<b>三、結構物之詳細耐震能力評估</b>			
1. 參數資料			
地盤種類		<input type="checkbox"/> 第一類 <input type="checkbox"/> 第二類 <input type="checkbox"/> 第三類 <input type="checkbox"/> 台北盆地	
475 年回歸期設計地表加速度( $=0.4S_{DS}$ )(g)			
校舍用途		<input type="checkbox"/> 緊急避難 <input type="checkbox"/> 一般用途	
耐震需求(Demand, $0.4S_{DS}$ )(g)			
結構基本週期 $T_X$ (秒)	經驗值		
	動力分析值		

\*三面圍束磚牆不包含台度磚牆

結構基本週期 $T_Y$ (秒)	經驗值	
	動力分析值	
工址短週期設計水平譜加速度係數 $S_{DS}$		
工址一秒週期設計水平譜加速度係數 $S_{DI}$		
短週期與中、長週期之分界 $T_0^D$ (秒)		

## 2.樓層資料

樓層	評估用樓層 靜載重 ( $t_f$ )	評估用樓層單 位面積活載重 ( $kgf/m^2$ )	樓層距 基底高 度( $m$ )	樓層 面積 ( $m^2$ )	評估用 混凝土強度 $f'_c$ ( $kgf/cm^2$ )	評估用 主筋強度 $f_y$ ( $kgf/cm^2$ )	評估用 箍筋強度 $f_y$ ( $kgf/cm^2$ )
RF							
5F							
4F							
3F							
2F							

## 3.結構分析模擬資料

窗台	<input type="checkbox"/> 有窗台，結構評估有模擬 <input type="checkbox"/> 有窗台，結構評估無模擬 <input type="checkbox"/> 無窗台
隔間牆	<input type="checkbox"/> 有隔間牆，結構評估有模擬 <input type="checkbox"/> 有隔間牆，結構評估無模擬 <input type="checkbox"/> 無隔間牆
非結構牆	<input type="checkbox"/> 有非結構牆，結構評估有模擬 <input type="checkbox"/> 有非結構牆，結構評估無模擬 <input type="checkbox"/> 無非結構牆

## 四、評估結果

混凝土氯離子含量試驗	<input type="checkbox"/> $> 0.3kg/m^3$ ，試驗試體數量_____個
	<input type="checkbox"/> $\leq 0.3kg/m^3$ ，試驗試體數量_____個
	最高氯離子含量_____
	依 CNS3090 規定鋼筋混凝土耐久性構件最大水溶性氯離子含 量不得大於 $0.3kg/m^3$ 。
混凝土中性化試驗	最大中性化深度_____cm
校舍耐震容量	

(Capacity=各方向性能目標地表 加速度最小值)(g)	
耐震容量需求比 CDR (Capacity / Demand)	

	+X 方向 (長向；一般為平行於沿走廊方 向)	-X 方向 (長向；一般為平行於沿走廊方 向)
性能點狀態下最嚴重之破壞樓層		
	<input type="checkbox"/> 梁有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 梁無破壞	<input type="checkbox"/> 梁有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 梁無破壞
	<input type="checkbox"/> 柱有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 柱無破壞	<input type="checkbox"/> 柱有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 柱無破壞
性能點狀態下最嚴重破壞樓層之 主要破壞桿件 及其破壞模式	<input type="checkbox"/> 窗台柱有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 窗台柱無破壞	<input type="checkbox"/> 窗台柱有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 窗台柱無破壞
	<input type="checkbox"/> RC 牆有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> RC 牆無破壞	<input type="checkbox"/> RC 牆有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> RC 牆無破壞
	<input type="checkbox"/> 磚牆有破壞 <input type="checkbox"/> 磚牆無破壞	<input type="checkbox"/> 磚牆有破壞 <input type="checkbox"/> 磚牆無破壞
	<input type="checkbox"/> 其他：說明 <hr/>	<input type="checkbox"/> 其他：說明

上傳「性能點狀態下各立面構架非線性鉸發展圖」

上傳「容量曲線及性能曲線對照圖」

性能點之屋頂最大位移 (cm)			
性能點之等效阻尼比 (%)			
性能點之等效基本週期 (秒)			
性能點之基底剪力 (kgf)			
性能點各樓層之層間變位角	5F		5F
	4F		4F
	3F		3F
	2F		2F
	1F		1F
性能目標地表加速度 (g)			

	+Y 方向 (短向；一般為垂直於走廊方向)	-Y 方向 (短向；一般為垂直於走廊方向)
性能點狀態下最嚴重之破壞樓層		
	<input type="checkbox"/> 梁有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 梁無破壞	<input type="checkbox"/> 梁有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 梁無破壞
	<input type="checkbox"/> 柱有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 柱無破壞	<input type="checkbox"/> 柱有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 柱無破壞
性能點狀態下最嚴重破壞樓層 之主要破壞桿件 及其破壞模式	<input type="checkbox"/> 窗台柱有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 窗台柱無破壞	<input type="checkbox"/> 窗台柱有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 窗台柱無破壞
	<input type="checkbox"/> RC 牆有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> RC 牆無破壞	<input type="checkbox"/> RC 牆有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> RC 牆無破壞
	<input type="checkbox"/> 磚牆有破壞 <input type="checkbox"/> 磚牆無破壞	<input type="checkbox"/> 磚牆有破壞 <input type="checkbox"/> 磚牆無破壞
	<input type="checkbox"/> 其他：說明 <hr/>	<input type="checkbox"/> 其他：說明 <hr/>

上傳「性能點狀態下各立面構架非線性鉸發展圖」

上傳「容量曲線及性能曲線對照圖」

性能點之屋頂最大位移 (cm)		
性能點之等效阻尼比 (%)		
性能點之等效基本週期 (秒)		
性能點之基底剪力 (kgf)		
性能點各樓層之層間變位角	5F	
	4F	
	3F	
	2F	
	1F	
性能目標地表加速度 (g)		

## 補強後耐震評估表格（附表二）

一、校舍基本資料			
學校名稱		評估日期	
學校地址		評估者	
校舍名稱		興建年度	
校舍用途		基本結構系統	<input type="checkbox"/> RC 造 <input type="checkbox"/> 加強磚造.....
結構系統描述	<input type="checkbox"/> 雙邊走廊，廊外有柱 <input type="checkbox"/> 單邊走廊，廊外有柱 <input type="checkbox"/> 中間走廊	<input type="checkbox"/> 雙邊走廊，廊外無柱 <input type="checkbox"/> 單邊走廊，廊外無柱 <input type="checkbox"/> 其他	
基地概況 (如有需要，補充說明)			
二、校舍結構基本資料			
樓層數			
二樓以上各層樓地板面積和 (含屋頂層； $m^2$ )			
地下總樓地板面積和( $m^2$ )			
一樓柱量	走廊外柱	根數	
		柱總斷面積 ( $cm^2$ )	
	教室柱	根數	
		柱總斷面積 ( $cm^2$ )	
	隔間柱	根數	
		柱總斷面積 ( $cm^2$ )	
X 方向一樓牆量 (長向；一般為平行於沿走廊方向)	RC 牆總斷面積 ( $cm^2$ )		
	四面圍束磚牆總斷面積 ( $cm^2$ )		
	三面圍束磚牆總斷面積* ( $cm^2$ )		
Y 方向一樓牆量 (短向；一般為垂直於走廊方向)	RC 牆總斷面積 ( $cm^2$ )		
	四面圍束磚牆總斷面積 ( $cm^2$ )		
	三面圍束磚牆總斷面積* ( $cm^2$ )		
三、結構物之詳細耐震能力評估			
1. 參數資料			
地盤種類		<input type="checkbox"/> 第一類 <input type="checkbox"/> 第二類 <input type="checkbox"/> 第三類 <input type="checkbox"/> 台北盆地	
475 年回歸期設計地表加速度( $=0.4S_{DS}$ )(g)			
校舍用途		<input type="checkbox"/> 緊急避難 <input type="checkbox"/> 一般用途	
耐震需求(Demand, $0.4S_{DS}$ )(g)			
結構基本週期 $T_X$ (秒)	經驗值		
	動力分析值		

\*三面圍束磚牆不包含台度磚牆

結構基本週期 $T_Y$ (秒)	經驗值	
	動力分析值	
工址短週期設計水平譜加速度係數 $S_{DS}$		
工址一秒週期設計水平譜加速度係數 $S_{DI}$		
短週期與中、長週期之分界 $T_0^D$ (秒)		

### 2.樓層資料

樓層	評估用樓層 靜載重 ( $tf$ )	評估用樓層單 位面積活載重 ( $kgf/m^2$ )	樓層距 基底高 度( $m$ )	樓層 面積 ( $m^2$ )	評估用 混凝土強度 $f'_c$ ( $kgf/cm^2$ )	評估用 主筋強度 $f_y$ ( $kgf/cm^2$ )	評估用 箍筋強度 $f_y$ ( $kgf/cm^2$ )
RF							
5F							
4F							
3F							
2F							

### 3.結構分析模擬資料

窗台	<input type="checkbox"/> 有窗台，結構評估有模擬 <input type="checkbox"/> 有窗台，結構評估無模擬 <input type="checkbox"/> 無窗台
隔間牆	<input type="checkbox"/> 有隔間牆，結構評估有模擬 <input type="checkbox"/> 有隔間牆，結構評估無模擬 <input type="checkbox"/> 無隔間牆
非結構牆	<input type="checkbox"/> 有非結構牆，結構評估有模擬 <input type="checkbox"/> 有非結構牆，結構評估無模擬 <input type="checkbox"/> 無非結構牆

### 四、評估結果

校舍耐震容量 (Capacity=各方向性能目標地表 加速度最小值)(g)	
耐震容量需求比 CDR (Capacity / Demand)	
備註	

	+X 方向 (長向；一般為平行於沿走廊方向)	-X 方向 (長向；一般為平行於沿走廊方向)
性能點狀態下最嚴重之破壞樓層		
	<input type="checkbox"/> 梁有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 梁無破壞	<input type="checkbox"/> 梁有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 梁無破壞
	<input type="checkbox"/> 柱有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 柱無破壞	<input type="checkbox"/> 柱有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 柱無破壞
性能點狀態下最嚴重破壞樓層之 主要破壞桿件 及其破壞模式	<input type="checkbox"/> 窗台柱有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 窗台柱無破壞	<input type="checkbox"/> 窗台柱有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 窗台柱無破壞
	<input type="checkbox"/> RC 牆有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> RC 牆無破壞	<input type="checkbox"/> RC 牆有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> RC 牆無破壞
	<input type="checkbox"/> 磚牆有破壞 <input type="checkbox"/> 磚牆無破壞	<input type="checkbox"/> 磚牆有破壞 <input type="checkbox"/> 磚牆無破壞
	<input type="checkbox"/> 其他：說明	<input type="checkbox"/> 其他：說明

上傳「性能點狀態下各立面構架非線性鉸發展圖」

上傳「容量曲線及性能曲線對照圖」

性能點之屋頂最大位移 (cm)				
性能點之等效阻尼比 (%)				
性能點之等效基本週期 (秒)				
性能點之基底剪力 (kgf)				
性能點各樓層之層間變位角	5F		5F	
	4F		4F	
	3F		3F	
	2F		2F	
	1F		1F	

性能目標地表加速度 (g)	
---------------	--

	+Y 方向 (短向；一般為垂直於走廊方向)	-Y 方向 (短向；一般為垂直於走廊方向)
性能點狀態下最嚴重之破壞樓層		
	<input type="checkbox"/> 梁有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 梁無破壞	<input type="checkbox"/> 梁有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 梁無破壞
	<input type="checkbox"/> 柱有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 柱無破壞	<input type="checkbox"/> 柱有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 柱無破壞
性能點狀態下最嚴重破壞樓層 之主要破壞桿件 及其破壞模式	<input type="checkbox"/> 窗台柱有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 窗台柱無破壞	<input type="checkbox"/> 窗台柱有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> 窗台柱無破壞
	<input type="checkbox"/> RC 牆有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> RC 牆無破壞	<input type="checkbox"/> RC 牆有破壞 (□剪力□撓曲或撓剪 破壞) <input type="checkbox"/> RC 牆無破壞
	<input type="checkbox"/> 磚牆有破壞 <input type="checkbox"/> 磚牆無破壞	<input type="checkbox"/> 磚牆有破壞 <input type="checkbox"/> 磚牆無破壞
	<input type="checkbox"/> 其他：說明 <hr/>	<input type="checkbox"/> 其他：說明 <hr/>

上傳「性能點狀態下各立面構架非線性鉸發展圖」

上傳「容量曲線及性能曲線對照圖」

性能點之屋頂最大位移 (cm)		
性能點之等效阻尼比 (%)		
性能點之等效基本週期 (秒)		
性能點之基底剪力 (kgf)		
性能點各樓層之層間變位角	5F	
	4F	
	3F	
	2F	
	1F	
性能目標地表加速度 (g)		

## 附錄四：竣工資料上傳表

見下頁。



## 竣工資料上傳表(2010.07.15 更新版本)

- 一、竣工基本資料
- 二、竣工圖說照片材料紀錄
- 三、竣工實際數量金額

一、竣工基本資料			
學校名稱		學校地址	
校舍名稱		校舍用途	
校舍原始興建年度		契約編號	
工程主辦機關		工程監造單位	
工程施工廠商		工程設計者	
實際開工日期		實際竣工日期	
補強後二樓以上各樓層樓地板面積和(含屋頂層； $m^2$ )			
補強後地下總樓地板面積和( $m^2$ )			
發包價		決標價	
決算價(工程總經費)			

二、竣工圖說照片材料紀錄（依實際完成文件之電子檔）					
1. 竣工圖	至少包含(補強竣工之結構平面、立面圖、補強施工圖)Pdf 上傳				
2. 補強施工之照片	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 該棟建築物補強前及竣工後之 4 方位之立面全景照片(結構外觀正面、背面、側面)</li> <li>● 補強修復工程之代表照片</li> </ul>				
3. 竣工結算明細表					
4. 各項工程材料試 (檢)驗紀錄	混凝土	抗壓強度( $kgf/cm^2$ )	設計強度		
			測試強度	平均值	
				標準差	
	鋼筋	降伏強度( $kgf/cm^2$ )	設計規格		
			測試強度	平均值	
				標準差	
	鋼板	降伏強度( $kgf/cm^2$ )	設計強度		
			測試強度	平均值	
				標準差	
	其他補強 材料	請填材料名稱	設計強度		
			測試強度	平均值	
				標準差	

三、竣工實際數量金額（依實際完成文件輸入）		
工作主項	工作項目	金額
補強修復工程經費 (含保險、利稅等間接費用)	補強費用	
	修復費用	
補強工程管理費		
總工程費		

工作項目	補強工法	補強方式	單位	一樓數量	總數量	代表性尺寸		
結構補強工程	增設構件	剪力牆	片			寬x厚		
		翼牆	片			寬x厚		
		斜撐	根			型號		
		柱	根			寬x深		
		梁	根			寬x深		
		其他	個					
	柱補強	擴柱	根			寬x深		
		鋼板貼片	根			厚		
		FRP 貼片	根			厚		
		其他	個					
	牆補強	增厚	片			寬x厚		
		RC 牆置換磚牆	片			寬x厚		
		FRP 貼片	片			厚		
		其他	個					
	梁補強	鋼板貼片	根			厚		
		FRP 貼片	根			厚		
		其他	個					
	減載措施	樓層拆除	樓層數					
		用途變更	樓層數					
		其他	個					
	基礎補強	獨立基腳	個					
		聯合基腳	個					
		其他	個					
	其他補強							



## 國立臺灣科技大學博碩士論文授權書

(本授權書裝釘於紙本論文內)

本授權書所授權之論文為高偉格〔D9505501〕在國立臺灣科技大學營建工程系 103 學年度第 1 學期取得博士學位之論文。

論文題目：台灣校舍耐震評估與補強資料庫之資料探勘

指導教授：陳鴻銘

茲同意將授權人擁有著作權之上列論文全文（含摘要），非專屬、無償授權本校圖書館及國家圖書館，不限地域、時間、與次數，以紙本、微縮、光碟或其他數位化方式將上列論文重製典藏，並提供讀者基於個人非營利性質之線上檢索書目、館內閱覽、或複印。

授 權 人

高偉格

陳鴻銘

簽 章

(請親筆正楷簽名)

高偉格

陳鴻銘

備註：

1. 授權人不因本授權而喪失上述著作之著作權。
2. 本授權書請授權人簽章後，裝釘於紙本論文內。

中 華 民 國 104 年 1 月 16 日