

國家地震工程研究中心
NATIONAL CENTER FOR RESEARCH ON
EARTHQUAKE ENGINEERING

橋梁檢測專家系統之建置研究

張國鎮 宋裕祺 洪曉慧
劉光晏 陳俊仲 賴明俊 許家銓

報告編號：NCREE-13-047

中華民國 102 年 12 月

橋梁檢測專家系統之建置研究
Developing an Expert System for Bridge Management System

*張國鎮 **宋裕祺 ***洪曉慧
劉光晏 ***陳俊仲 *賴明俊 ****許家銓

Kuo-Chun Chang Yu-Chi Sung Hsiao-Hui Hung

Kuang-Yen Liu Chun-Chung Chen Mine-Chun Lai Chia-Chuan Hsu

- * 國家地震工程研究中心主任、國立臺灣大學土木工程學系教授
- ** 國家地震工程研究中心組長、國立台北科技大學土木工程系教授
- *** 國家地震工程研究中心副研究員
- **** 國家地震工程研究中心助理研究員

中華民國一零二年十二月
December 2013

目錄

摘要.....	4
第一章 緒論.....	5
1.1 緣起.....	6
1.2 目的.....	7
第二章 研究內容	9
2.1 專家系統	9
2.2 類神經網路輔助系統	18
第三章 系統需求分析	29
3.1 領域問題	30
3.2 系統需求	49
第四章 系統設計	53
4.1 系統架構設計	53
4.2 專家知識擷取視覺介面設計	55
4.3 法則推論引擎整合設計	56
4.4 類神經輔助專家系統分析核心設計	60
4.5 專家系統使用者操作介面設計	63
4.6 橋梁檢測資料與法則資料庫管理設計	64
第五章 成果展示	67
5.1 專家知識擷取視覺介面	68
5.2 法則推論引擎整合	70
5.3 類神經輔助專家系統分析核心	70

5.4 專家系統使用者操作介面	73
5.5 橋梁檢測資料與法則資料庫管理	74
第六章 結論與建議	75
6.1 結論.....	75
6.2 建議.....	76
參考文獻.....	77

圖目錄

圖 2.1-1 一般專家系統之組成.....	10
圖 2.1-2 各個介面的使用者(參考：葉怡成，2009).....	15
圖 2.1-3 專家系統建構流程.....	17
圖 2.2-1 類神經元模型.....	19
圖 2.2-2 訓練範例、驗證資料與測試資料(參考：葉怡成，2009).....	22
圖 2.2-3 以類神經網路為基礎的專家系統架構(參考：葉怡成，2009)	23
圖 2.2-4 主梁耐用性評估架構.....	26
圖 2.2-5 以類神經網路模擬之主梁耐用性評估架構.....	27
圖 3-1 系統開發流程.....	29
圖 3.1-1 基本檢測項與評估項之組成關係.....	42
圖 3.1-2 DER&U 檢測細項.....	43
圖 3.1-3 多重檢測項目與評估項目之組成關係.....	43
圖 3.1-4 多層評估項目之組成關係.....	44
圖 3.1-5 主梁耐用性檢測架構.....	45
圖 3.1-6 檢測項目的資訊可以交互參考應用.....	46
圖 3.1-7 評估計算介面與評估技術實作示意圖.....	49
圖 4.1-1 NCREE-BMS 檔案系統架構.....	55
圖 4.3-1 橋梁檢測評估專家系統整合 CLIPS(僅專家系統部份).....	58
圖 4.3-2 整合 CLIPS 的推論運作方式.....	58
圖 4.4-1 類神經輔助專家系統分析核心(僅類神經網路部份).....	61
圖 4.4-2 建立矩陣式知識庫.....	62
圖 4.5-1 CLIPS 交談視窗.....	64

圖 5-1 橋梁檢測專家系統系統架構.....	67
圖 5.1-1 專家知識法則管理.....	69
圖 5.1-2 專家知識擷取視覺介面.....	69
圖 5.3-1 資料分析介面#1.....	71
圖 5.3-2 資料分析介面#2.....	72
圖 5.4-1 專家系統使用者操作介面.....	73

表目錄

表 2.1-1 專家系統與一般電腦系統之比較.....	10
表 2.2-1 類神經網路與專家系統優缺比較(參考：葉怡成，2009).....	24
表 3.1-1 基本資料表項目	31
表 3.1-2 橋墩項目表	32
表 3.1-3 橋台項目表	34
表 3.1-4 大梁項目表	36
表 3.1-5 橋面板項目表	39
表 3.1-6 設施項目表	41
表 4.2-1 CLIPS 法則定義範例	56
表 4.3-1 基礎 CLIPS 語法	59
表 4.3-2 執行.NET Wrapper for CLIPS 推論	59

摘要

由於橋梁損傷評估需要仰賴專家評估，而專業人才缺乏且培養不易，對於大量橋梁檢測資料，確實需要一套能和專家評估相仿的專家系統(Expert Systems)，用以協助橋梁維護單位能快速對橋梁進行評估，結合由專家所建立的推論法則，並由橋梁檢測人員所輸入的檢測資料做為推論引擎所需要的事實(Fact)，快速取得合理的推論結果。

本研究將在 NCREE-BMS 中，擴充橋梁檢測評估專家系統模組，並結合已建立在 NCREE- BMS 中的各項橋梁資料、目視檢測項目資訊等等，建立專家系統推論所需之參數；在知識庫方面，將設計視覺化操作介面，協助知識工程師擷取專家的知識，以建立橋梁管理系統所需之推論法則，另一方面，亦整合類神經輔助分析核心，可以由已完成評估之歷史資料建立知識庫；在實務應用方面，亦提供視覺化之操作介面，協助橋梁管理單位人員與專家系統進行交談，進一步能由檢測資料推論出橋梁管理決策所需要的資訊。

關鍵詞：橋梁檢測、橋梁管理、專家系統

ABSTRACT

Since rising number of natural disasters has been the major threat to worldwide infrastructures. Civil engineers nowadays have to enhance the mitigation of hazards with the increase of structure service period. The thoughts of life cycle as new ideas come up and can help engineers to plan, design, build and maintain comprehensively for the longer service life of structures.

This study applies expert system algorithms to evaluate and rate the condition of structures. This part of bridge management system (BMS) will accomplish the design and implementation of the visual interface interacting with expert knowledge, integration engine of expert algorithms, the analysis core of Neural-aided expert system, the graphic user interface of expert system operation, and the management of database for bridge inspection data and principles. Owing to structural evaluation of bridge deteriorations needs the knowledge of experts; however, the experts are not easily trained and educated. As for large amount of data from bridge inspection work, it is needed to develop an expert system which can simulate the thinking algorithms like experts to help engineers or owners to evaluate the condition of bridge in time before the disaster happened. In general, the algorithms embedded in the BMS have to be reviewed and modified according to the back-feed information from field observation of bridges. NCREE-BMS will integrate extendable and modifiable modules to put the system developed into practical use.

Keywords: bridge inspection, bridge management system, expert system

第一章 緒論

1.1 緣起

依據交通部統計資料，我國橋梁目前約 2 萬餘座，分別由鐵路局、高公局、公路局、觀光局、營建署及各縣市政府負責管理，為整合各機關橋梁資料，並利各層級進行整體性之橋梁管理、預算分配及災害防救等業務，交通部運輸研究所於民國 88 年開發臺灣地區橋梁管理系統 (Taiwan Bridge Management System，下稱 TBMS)，並於民國 89 年建置完成，開放全國各橋梁管理機關使用，透過 TBMS 之資料儲存及資訊同步分享功能，除可有效改善各橋梁管理機關人員離職異動致資料遺失之狀況外，並可協助各橋梁管理機關即時快速的掌握橋梁狀況，達到橋梁管理之最基本要求，我國自此全面踏出橋梁管理的第一步。

TBMS 以 DERU 做為檢測與評估的基礎，此方法將橋梁結構劣化的情形，依「嚴重程度(Degree)」、「範圍(Extend)」、「對橋梁結構安全性與服務性之影響(Relevancy)」及「維修急迫性 (Urgency)」，等四個部份加以評估，其優點是作業方式簡單，缺點則是容易因為主觀的判斷，而造成評估結果的差異，欠缺客觀一致性的標準。目前本研究團隊發展中的 NCREE-BMS 即在改善此一項問題，除了改善評估的方式、項目、內容之外，亦在改良過去 DERU 過於主觀的評估問題，透過更加科學的方式，提供更完整的決策資訊給管理單位應用。

在 NCREE-BMS 新的橋梁檢測架構之下，除了強化檢測的內容之外，亦需要一個客觀，且能更精準提供管理單位應用的評估資訊。在 DERU 中使用狀況指標 (Condition Index, *CI*) 以及優選指標 (Priority Index, *PI*) 做為決策的參考因子，雖有權重的觀念，但是權重決定的方式亦欠

缺客觀。有鑑於此，國家地震工程研究中心的橋梁研究團隊將整合橋梁結構、管理、資訊等各領域學者與專家，並結合理論和實務經驗，建立一套能協助橋梁管理單位應用之專家系統，透過由專家所建立的評估法則，以及更加詳盡的橋梁評估內容，藉由專家系統之推論引擎，推論出符合實際橋梁管理應用需要的結果。

1.2 目的

一般專家系統主要由知識庫、推論引擎及使用者介面這三個最主要的部份組成，其主要目的在對於某一特定領域的問題能由使用者輸入事實內容，透過推論引擎進行推論，以對特定領域的問題作判斷、解釋及認知。

本研究使用之專家系統係屬於法則式專家系統(Rule-based Expert System)。主要應用在橋梁損傷評估，其使用之時機為橋梁進行例行性檢測後，可以透過專家系統輔助，對於橋梁損壞狀況進行評估，並期能診斷出橋梁的損傷程度與各構件的劣化情形，提供橋梁養護與維修的方向。

系統建置的方式將結合 NCREE-BMS，擴充專家系統的主要核心，包含知識庫、推論引擎及介面，其中各個部份設計目的概述如下：

(1)知識庫：本研究是屬於法則式專家系統，其知識庫是由許多與橋梁檢測相關的法則所建立，所以系統需要有一法則資料庫管理機制，協助系統管理人員或是橋梁管理單位管理與應用這些法測，且不同的管理單位，亦可以依其特定之需要增減法測，提供專家系統推論之彈性。除法則的管理之外，法則建立亦需要一套簡單的使用者介面，讓專家或是

知識工程師能快速地建立法則或維護法則的判斷條件，所以專家知識擷取視覺介面設計是屬於專家系統前置作業重要的一環。

(2)推論引擎：本研究是屬於法則式專家系統，其推論引擎則是屬於法則式推論引擎，依據使用者給的事實內容，讓推論引擎依據法則知識庫中設定的法則進行推論，由於橋梁檢測項目許多是屬於量化的量測，所以系統中將引入類神經分析工具，輔助分析部份法則判斷所需的門檻值。

(3)介面：專家系統使用者操作介面主要提供橋梁管理單位之使用者一個交談的介面，讓使用者可以輸入專家系統所需要的事實內容，由於在 NCREE-BMS 中已於定期的檢測中，建立大量的評估內容，所以使用者介面亦包含查詢介面，讓使用者挑選與過濾橋梁構件的檢測資料，並將這些檢測的結果轉換成專家系統可以推論的事實內容，並由推論引擎進行推論。

第二章 研究內容

NCREE-BMS 是目前本研究團隊發展中的橋梁管理系統，最主要的特色是建立一套新的橋梁安全評估機制，能比原本使用 DER&U 的評估方式更加完整。在 NCREE-BMS 中，提供更完整的橋梁評估項目，以彌補使用 DER&U 評估內容不夠完善的問題，並針對耐洪、耐震、劣化老舊等評估方式加以擴充，提供橋梁管理人員更加完整的橋梁評估結果。

雖然在 NCREE-BMS 建立各完整的橋梁檢測評估項目，但是對於橋梁檢測結果的評論仍需要仰賴專家協助，另一方面 NCREE-BMS 亦需要一套具一致性且更客觀的評估方式，協助橋梁管理人員進行決策，所以本研究的主要目的即在 NCREE-BMS 中進行擴充，建立一套能輔助橋梁安全評估之「專家系統」，配合 NCREE-BMS 中的各項橋梁檢測內容與檢測結果進行推論，而推論的結果可以協助管理人員進行決策之參考。

除專家系統之外，考量橋梁檢測項目大部份為量化之數值內容，且已經存在一些舊有的評估結果，所以將在 NCREE-BMS 中增加類神經輔助系統，協助處理這些評估的結果，以取得一些評估項目權重之計算。

2.1 專家系統

專家系統又稱「智慧型知識庫系統」(Intelligent Knowledge-Based System, IKBS)，其基本之組成是由一特定領域的知識庫、推論引擎及使用者操作介面組成(參考圖 2-1 所示)，專家系統與一般電腦系統的特性並不相同(參考表 2-1 所示)，其主要的應用為使用者輸入事實內容(Fact)至專家系統中，專家系統則依據特定領域之知識庫之案例或法則，針對

此一定特定領域的問題作判斷、解釋及認知。專家系統中的知識庫是屬於特定領域的案例或法則，所指的特定領域範圍可大可小，且對認知的定義亦有不同的解釋，所以專家系統的應用範圍亦有所不同。儘管知識庫的定義範圍並不一定完整明確，但基本上，當此應用系統所能處理的問題，其複雜性、對專業知識的需求、以及其執行的信度及效度足可與專家相匹敵時，我們便可稱之為專家系統。

表 2.1-1 專家系統與一般電腦系統之比較

	專家系統	一般電腦系統
功能	解決問題、解釋結果、進行判斷與決策	解決問題
處理能力	處理數字與符號	處理數字
處理問題種類	多屬準結構性或非結構性、可處理不確定的知識、使用於特定的領域	多屬結構性、處理確定的知識

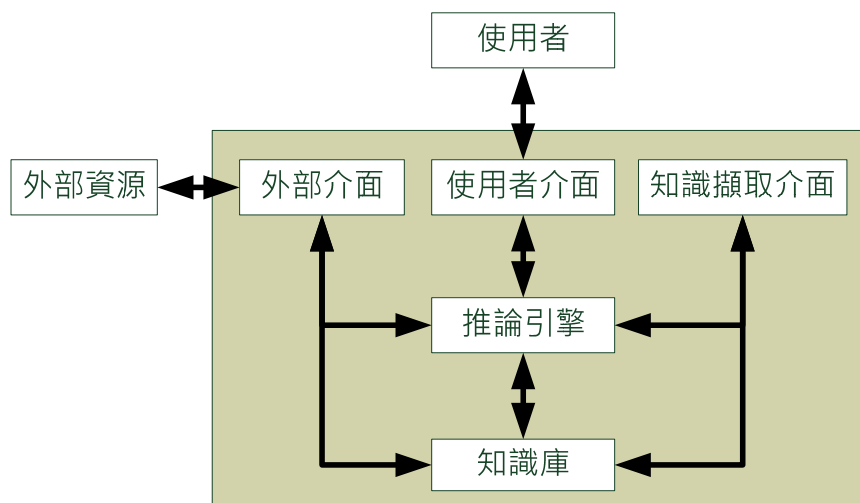


圖 2.1-1 一般專家系統之組成

一般專家系統具有以下特性：

(1)不受時間限制：人類專家的工作時間是有限的，但專家系統的運作是可以持久的，可以依據使用者的需要，隨時應用，但不受時間限制的前提是，該專家系統已經在一特定應用領域上已經驗證且有一定的信度。

(2)操作成本低：特定領域專家相當稀少且昂貴，養成與經驗移轉亦不容易，若能將專家的經驗有系統地建立成為知識庫，配合推論引擎進行推論，利用專家系統即能處理與專家相等水準的工作，所以從長遠來看，使用專家系統是相當經濟實惠的。

(3)易於傳遞及複製：專家與專家知識均是不易取得的資源，且不易傳遞與複製。在知識密集的工作環境中，由於專家知識不易傳遞，所以新進人員需要作相當多的訓練，經一段時間候，才能學習到專家一部份的經驗，而且關鍵人物的知識隨著人事變動而不能儲存，在傳遞起來亦是耗時費力。但專家系統則不同，專家的知識經過有系統的擷取與轉換成知識庫後，即能輕易地將知識傳遞或複製。

(4)具有一致性：一般領域專家在判斷決策的結果常常因時、因地、因人而有所差異，而專家系統判斷決策是依據知識庫內的案例或法則而定，同樣的事實內容輸入，則可以得到一致性的輸出。

(5)可處理費時及複雜的問題：由於專家系統具有特定領域的知識庫與推論能力，再加上電腦強大的計算能力，因此比人類專家更能勝任一些執行較費、複雜度高的工作，尤其是需要龐大計算量的問題。此外，若工作的內容重複性很高，專家系統尤其能比人類專家有更佳的表現。

(6)使用於特定領域：由於建構知識庫以及建構推理法則有一定困難

度，因此專家系統通常只能限定應用在一個特定領域。而當要處理的問題之知識牽涉較廣，或是沒有一定的處理程序時，就必須靠人類專家來處理。

參考圖 2.1-1，一般專家系統均由知識庫、推論引擎及使用者操作介面三大部份組成，以下將逐一針對各部說明，並敘述各個部份與 NCREE-BMS 專家系統模組之關係：

(一)知識庫(Knowledge-Base)：

知識是不斷地由資料、資訊深層整理後的產出，專家即是不斷從案例中累積經驗，並從這些經驗的整理中得到知識，形成專家專業的地位。知識庫即是專家系統中，存放專家知識的地方，知識庫透過專家或知識工程師，將知識有系統地表達或模組化地建立成推論引擎可以應用的案例或法則，當專家系統建立完整的知識庫後，即可以依據事實(Fact)進行推論，並解決問題。

一般知識庫中包含兩種型態：其一是知識本身，即對物質及概念作個體(Entity)的分析與描述，並確認彼此之間的關係，例如：一般橋梁是由橋跨結構(或稱橋孔結構或上部結構)、支座系統、橋墩、橋台、墩台基礎組成，而橋梁、上部結構、支座系統等等，均是對於此物質個體的描述，而其關係則為「組成」的關係；而另一型態則是人類專家所特有的經驗法則、判斷力與直覺，例如：上部結構損壞的位置及程度將造成橋梁安全危害的程度等等。

知識庫與傳統資料庫在資訊的組織、併入、執行等步驟與方法均有所不同，概括來說，知識庫所包含的是可做推論與決策的「知識」，例如上述內容中，判定構件損壞程度將造成橋梁危險程度的經驗法則；而傳統資料庫的內容則通常是未經處理過的「資料」，必須經由檢索、解

釋等過程才能實際被應用，例如由工程人員於現地進行檢測所取回的檢測內容。

在本研究中，專家系統中的知識庫是屬於法則式的知識庫，所以將由專家或知識工程師協助建立的推論法則，其知識的表達是由 If 與 Then 所建立的推論法則，例如：「If 路燈_狀態 = 傾倒 Then 橋梁_可使用性 = 暫時無法使用」。而這些法則描述方式則視使用之推論引擎而定。對於大量的檢測資料，則是以資料的型式儲存在資料庫中，在實務的應用中，則是由使用者從資料庫中進行資料的查詢與篩選，取得某一座橋梁某一次的檢測資料，並依據某一些專家所建立的知識法則進行推論，以求得此次檢測結果的判定。

(二)推論引擎(Inference Engine)：

推論引擎通常由演算法與決策策略組成，一般推論的程序是使用者先提供推論所需要的事實內容做為推論的啟始點，推論引擎依據知識庫中的法則，推論使用者提供的事實，並產生新的事實，推論引擎在進行一連串反覆遞回的過程之後，當不再有新的事實被產出後，則完成基本的推論工作。配合不同的演算法及決策策略，將搭配出不同層次的推論機制，亦適用在不同的應用與問題的求解，一般推論引擎的問題解決演算法可以區分為三個層次：

(1)一般途徑：利用盲目搜尋(Blind Search)的方式隨意尋找可能的答案，或利用啟發式搜尋(Heuristic Search)的方式，嘗試尋找最有可能的答案。

(2)控制策略：一般有前推式(Forward Chaining)、回溯式(Backward Chaining)及雙向式(Bi-directional)三種。前推式是從許多已知的條件中，

經由不斷推論的過程尋找可能的答案，利用事實逐步推出結論；回溯式則先設定可能的目標或結論，再由不斷地反向推論，尋找證明目標成立的事証是否存在，當證明目標的事証或事實存在時，表是目標結論成立。

(3)額外的推論技巧：用來處理知識庫內數個概念間的不確定性，一般使用模糊邏輯(Fuzzy Logic)或類神經網路(Neural Network)來協助推論。

一般針對專家系統要處理的領域問題之特性，選擇適用之推論引擎，本研究專家系統所要處理的問題，是以許多橋梁檢測結果為事實內容，期望由專家系統推論橋梁之安全狀況，適合採用前推式的推論方式，由許多的檢測項目內容，找到可能的結果。

(三)介面(Interface)：

介面是專家系統中資料或知識輸出入的通道，包含圖形化操作介面(Graphic User Interface)或資料存取介面(Data Access Interface)等，參考圖 2.1-1 所示，可以依據使用情況與使用者之不同分成以下三個主要部份，一般典型介面的使用情境如圖 2.1-2 所示。：

(1)知識擷取介面：設計此介面主要的目的在方便協助系統發展者進行知識的擷取，建立推論引擎支援的知識庫，此介面通常設計成圖形化介面，可以讓系統發展者可以編輯與修訂知識庫的知識，包含個體的描述與法則的定義等等。從知識庫的編輯功能之外，透過此介面亦能對專家系統進行測試、記錄，並說明系統運作的過程、狀態與結果。

(2)使用者介面：設計此介面主要的目的在提供使用者與專家系統溝通橋樑，通常設計成圖形化介面，便利使用者操作，使用者透過介面輸

入事實內容，並執行專家系統的推論引擎，以求得結果。此介面強調親和性與簡易性，避免使用者進行繁複的資料輸入。有些專家系統是採用交談的方式設計介面，透過程序的引導，讓使用者依序完成資料輸入，並完成專家系統推論的工作。

(3)外部介面：此介面亦稱為系統介面，此介面設計的目的主要提供專家系統與其它資料連結的通道，例如連接其他資料庫系統、外部檔案、輸出工具或感測器等等，均需透過此介面進行。

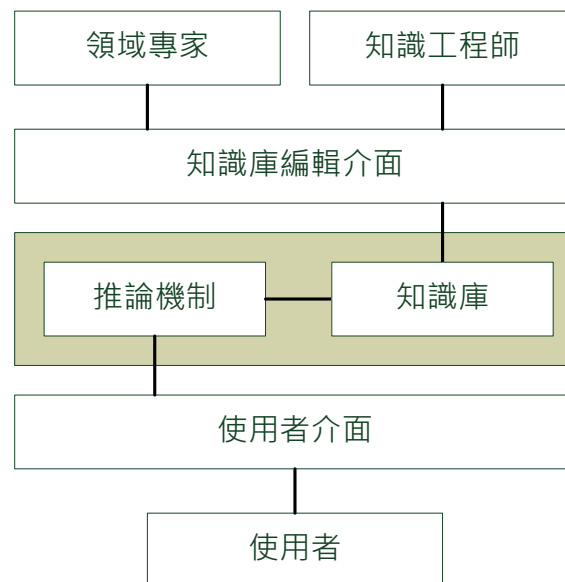


圖 2.1-2 各個介面的使用者(參考：葉怡成，2009)

在本研究中，亦包含此三個主要的介面型式，因為 NCREE-BMS 是一個 Web-based 型式的應用程式，所以知識擷取介面與使用者介面將採用 Web-based 技術設計，並以擴充模組的方式與主系統結合；其它外部介面的部份則以資料庫連結或 Web Service 連結為主，讓使用者可以篩選橋梁檢測的結果輸入至推論引擎中，讓推論引擎推論出可能的結果。

專家系統的建構必須遵循一定的程序一步步進行，一般來說，其建構的步驟可參考圖 2.1-3 所示：

(1)建立專家系統的第一步驟就是確立專家系統要處理的領域問題與應用範圍，並識別這些問題的特性與特徵，在此程序的開端，這些特徵包含用來敘述問題的個體，或用來描述結論的屬性，並用這些特性與特徵描述問題的需求(Requirements)。

(2)接著根據這些被識別出來的需求，找出相關的知識並將這些需求概念化(Conceptualization)。

(3)接著將這些概念加以重新組織與整理，形成一個有系統的知識結構(Structures)，如此便能初步形成一個知識庫。

(4)接著訂定一些涵蓋上述知識的法則(Rules)，以及推論引擎的技術、演算法的選定等等，其中法則的內容格式則須配合推論引擎支援的格式而有所不同。

(5)接著驗證這些法則是否完整地表達前述過程所要描述的知識，並且評估這些法則是否足以讓推論引擎推論出領域問題所要的結論。

(6)視需要，循環上述步驟，以調整知識庫與推論引擎的推論機制，以達專家系統之可用性。

在進行上述專家系統的建置程序時，需要特定領域專家的參與，以及知識工程師(Knowledge Engineering)或程式設計師(Programmer)的協助。其中知識工程師在專家系統的建立中通常扮演著重要的角色，一般是經由知識工程師以訪問領域專家的方式進行對話，以決定系統內之決策法則與知識，並不斷測試、修正，以開發出一個有效的專家系統。因此知識取得(Knowledge acquisition)與知識表示(Knowledge representation)的品質將是建立專家系統成敗之關鍵。

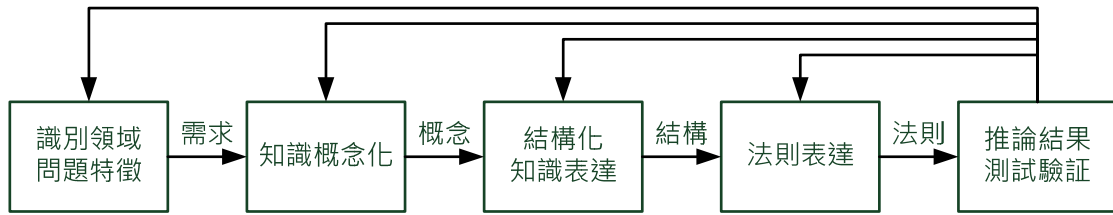


圖 2.1-3 專家系統建構流程

2.2 類神經網路輔助系統

在上節中，描述一個典型專家系統的組成與建構的程序，以本研究為主軸，是屬於一個法則式推論的專家系統，在建立法則之過程，雖然有許多橋梁安全評估領域之專家參與，但是亦不容易建構完整之法則來涵蓋所有橋梁安全檢測所需要的推論結果，從上述圖 2.1-3 可以看出，它將是一個不斷修正的循環過程，期間可能需要調整知識的表達結構或是修正推論法則等等，經過逐一地修正，以求得讓推論的結果能接近專家評估的水準。

為強化專家系統推論的能力，除了由專家與知識工程師共同建立的法則知識庫外，亦可以藉由類神經網路技術的輔助，將一些專家已完成評估的案例(或稱為範例)，經由類神經網路的分析與學習，建立以類神經為核心輔助推論的知識庫。

人工神經網路(Artificial Neural Network，縮寫 ANN)，簡稱類神經網路(Neural Network，縮寫 NN)，類神經網路仿照真實神經的網路關係與結構，建立一套數學模型，類神經網路是由許多神經元連結而成，並仿照神經網路訊息傳遞的方式進行計算(參考圖 2.2-1 所示)。

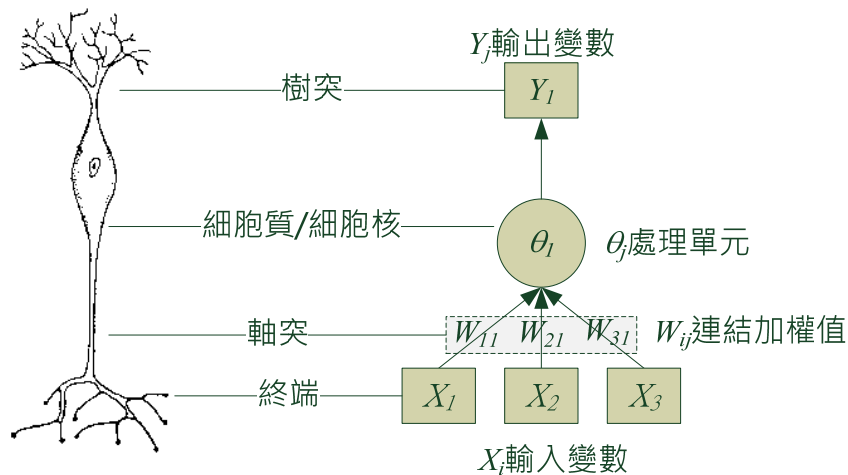


圖 2.2-1 類神經元模型

類神經網路是一個計算模型，神經元包含輸入變數(X)、輸出變數(Y)、處理單元(θ)及連結加權值(W)等等，其組成的計算公式如公式 2.2-1 所示。利用此數學模型，可以用來處理輸入和輸出間複雜的關係，或用來探索數據的模式。

$$Y_j = f(\sum_i W_{ij}X_i - \theta_j) \dots \dots \dots \text{公式 2.2-1}$$

其中：

Y_j ：模擬神經元輸出的訊號。

f ：轉換函數(Transfer function)，將處理單元輸入值加權乘積和，轉換為處理單元輸出值的數學公式。

X_i ：模擬神經元輸入的訊號。

W_{ij} ：模擬突觸強度功能的連結加權值。

θ_j ：模擬神經閾值功能的門限值。

類神經網路由「神經元」或「單元」和之間相互聯接構成，每個節點代表一種特定的輸出函數，或稱激勵函數(Activation Function)。每兩個節點間的連接都代表一個對於通過該連接信號的加權值，稱之為權重(Weight)，這相當於類神經網路的記憶，這此權重是由訓練類神經網路計算而求得，這些權重的組成又稱為矩陣式知識庫。網路的輸出則依網路的連接方式，權重值和激勵函數的不同而不同。而網路自身通常都是對自然界某種演算法或者函數的逼近，也可能是對一種邏輯策略的表達(參考：<http://zh.wikipedia.org/wiki/人工神經網路>)。

類神經網路通常是通過一個基於數學統計學類型的學習方法(Learning Method)得以求得矩陣式知識，所以類神經網路也是數學統計學方法的一種實際應用，此種方式與 2.1 節所陳述之法則式專家系統不同，專家系統利用法則知識庫的知識進行推論，所以推論的品質與法則定義的內容相關性高，但一定得到結論後，可以追蹤那些法則被觸發；但是利用類神經網路輔助推論之推論機制，並沒有明確的法則，而是由權重值和激勵函數所組成的數學模型，由輸入層輸入資料後，即可以在輸出層得到計算的結果，相當於推論的結果。

類神經網路與人類的神經系統相似，所以其擅長的部份與應用與人類相似，具有以下幾種特性：

1、平行處理的特性：

類神經網路是一個數學模型架構所組成，隨著平行處理技術成熟，且大量應用在數學分析求解，對於類神經的學習、驗證與測試，均帶來非常大的助益。

2、容錯(Fault Tolerance)特性：

類神經網路在操作上具有很高之容錯性，如果輸入資料混雜少許雜訊干擾，仍然不影響其運作之正確，即使部份的神經元失效，仍能照常運作，求得一定精準程度的解。

3、結合式記憶(Associative Memory)的特性：

又稱為內容定址記憶(Content Addressable Memory)，它可以記憶曾經訓練過的輸入樣式以及對應的理想輸出值。我們只要給予一部份的輸入資料，便可以得到全部的輸出資料，並且可以容忍一定程度的輸入錯誤，就像人類只要看到某一部份的影像，就可以回憶起全部的影像。

4、解決最佳化(Optimization)問題：

利用神經元間連結所組成的類神經網路，當隱藏層愈多時，代表神經元間的連結相對複雜，其相對處理的也是一個較無法用演算法所表達的數學模型，常用來求解較無法用演算法表達的最佳化求解問題。

5、超大型積體電路實作(VLSI Implementation)：

類神經網路是由神經元連結而成，其特性與電路元件連結的原理相似，並且在運算求解的計算與電路運作原理相似，所以合適且容易使用超大型積體電路(VLSI)來實作類神經網路，並可以直接應用在控制系統上。

要建立一個類神經網路，與建立專家系統相似，首先要選特定一個領域問題，並有大量的資料可以做為範例，讓類神經網路學習，以及驗證類神經網路學習的成果，以調整模型建構的參數(參考圖 2.2-2 所示)，完成類神經網路模型的調整後，才能供正式的測試資料使用，所以類神經網路的學習是成功應用重要的一環。

監督式學習網路是類神經網路學習的一種演算方法，一般有單層感知網路及多層感知網路之分；其中多層感知網路是在輸入層節點與輸出

層節點間多了一層或多層的隱藏層(Hidden Layer)，即輸入節點沒有直接接往輸出節點，每一個隱藏層由多個神經元組成，各層神經元的組成方式與閾值等，則需要利用演算法來調整節點與節點的加權及節點本身的偏移量等。例如倒傳遞訓練演算法(Backpropagation Training Algorithm)的基本精神，在於使輸出層之實際輸出值(Actual Output)和希望達到的期望(Desired Output)之間的平均平方差(Mean Square Error)達到最小，使整個網路的加權，儘可能朝向所希望的目標值調整。像橋梁檢測評估這類型領域問題很適合用類神經網路來輔助解決，用以處理部份法則不夠完整時，亦能求得一個合理的參考解。

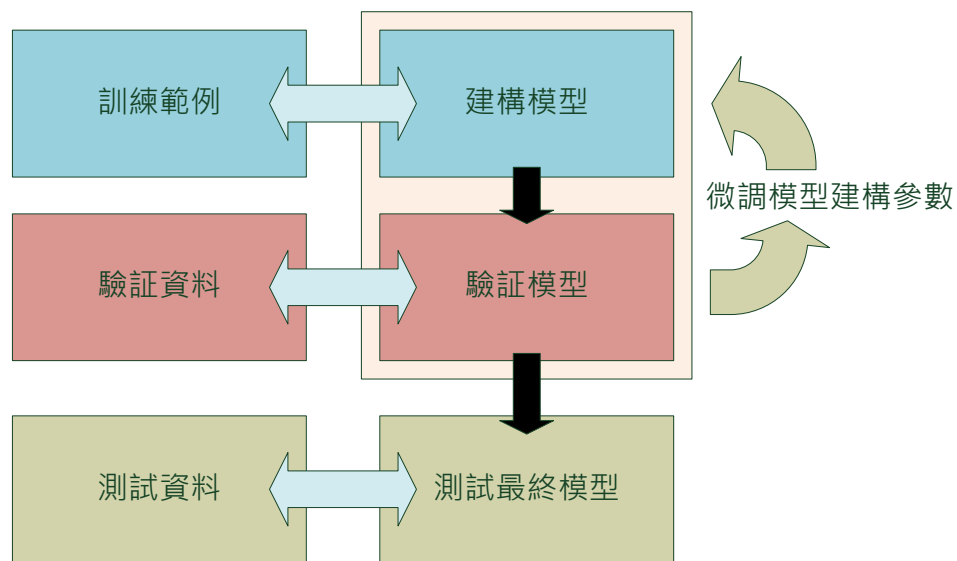


圖 2.2-2 訓練範例、驗證資料與測試資料(參考：葉怡成，2009)

類神經網路經過範例(或稱為案例)學習，可以求得一組神經網路之模型與權重等等，此為類神經網路的矩陣式知識庫(參考圖 2.2-3 所示)。此矩陣式知識庫與法則式專家系統的知識庫不同，它是由類神經網路各層

權重所建立的數值矩陣，雖然它不比法則容易理解與閱讀，但是對於一些法則不夠明確或是法則不夠完整的領域問題確是一個可行的解決方案，比較圖 2.1-2 的專家系統，可以看出知識庫建立的方式完全不同，一個是由專家與知識工程師透過對話，由知識擷取介面建立的法則知識庫；而另一個則是由範例學習而成。

在表 2.2-1 中比較專家系統與類神經網路特性之不同，可以擷取其應用時機與特性，整合在本研究中，本研究擬以法則推論為主，而以類神經網路為輔，當專家逐步建立法測的過程中，可以藉由類神經網路協助，找到一些未定義清楚的法則，或是建立知識庫的盲點，另外一些法則判斷的門檻值亦可以藉由類神經網路找到合理的參考值，以達到整合應用，相輔相成之效果。

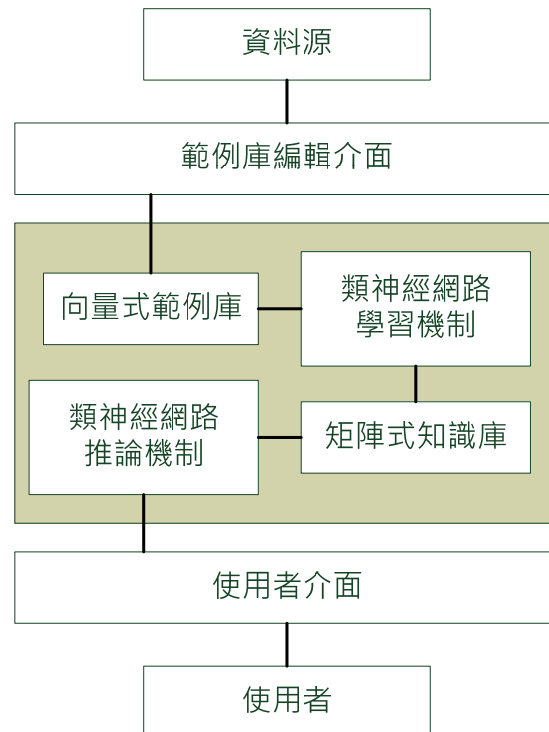


圖 2.2-3 以類神經網路為基礎的專家系統架構(參考：葉怡成，2009)

表 2.2-1 類神經網路與專家系統優缺比較(參考：葉怡成，2009)

	類神經網路	專家系統
特點	知識來源：案例(範例) 知識表現：連結加權值	知識來源：專家 知識表現：法則
優點	不一定要有專家存在 知識擷取較易 知識容錯性高 知識維護容易 感官性、直覺性問題適用 具有學習能力 與領域相依性較低 程式設計量較少 具模糊推論能力	易具解釋能力 符號邏輯推論問題適用 知識為明箱模式，易理解 只需要少量資料即可作推論
缺點	要有範例庫存在 不易具有解釋能力 符號邏輯推論問題不適用 知識為黑箱模式，難理解 需要較多的資料作推論	要有專家存在 知識擷取費時費力 知識容錯性低 知識維護困難 感官性、直覺性問題不適用 缺乏學習能力 與領域相依性較高 程式設計量較多 較不易具模糊推論能力

結合以類神經網路為輔助的專家系統，仍需要設定其應用領域，決

定應用領域之後，接著定義輸出層、輸入層及隱藏層。在法則推論專家系統中，若是法則知識庫定義不夠完善時，即使有事實內容輸入，但是不一定能推論到最後所需要的評估結果，要看在遞回的推論過程中，是否有足夠的事實不斷地被推論產生，所以有可能在推論遞回結束時，仍未求得最後的評估結論。相反的，類神經網路在定義輸入層與輸出層之後，在應用上，只要在輸入層輸入相關的事實內容，即橋梁各項的檢測內容，一定可以得到輸出層的輸出結果，因為類神經網路是經由數值運算求解，與專家系統的推論方式不同。

所以，類神經網路在應用前，決定輸出入各層的組合關係後，就需要藉由許多案例的輸入與輸出，讓類神經網路進行分析與學習，以求得各個處理單元(神經元)的閾值或權重值，建立如圖 2.2-3 所示的矩陣式知識庫。以圖 2.2-4 與圖 2.2-5 為例，此評估架構為主梁耐用性評估架構圖，耐用性的評估主要是由耐久性與耐荷性評估所組成，耐久性與耐荷性評估則分別再由許多影響因子與評估項目所組成。在架構圖的頂端是橋梁管理人員所需要得到的結果；而架構圖的底端則是工程人員於現地進行檢測後所建立的資料內容。過去專家會在此階層架構中，決定各個評估項目的權重值，並依據檢測的結果，逐步往上累計，於最上層階段即可以得到一個累計的分數。此計算過程，與類神經網路的計算方式相近，但不同的是，由專家所決定的權重各個評估項是單一的，在往上累計計算時，欠缺考量其它評估項目的影響，而類神經網路則不同，它是網路式的，所以可以將其它評估項目可能造成的影響列入計算，可以更客觀定反應不同評估項目之影響性。雖然類神經網路可以藉由學習的機制，處理各個評估項目之間可能造成交互影響的問題，但是在學習的過程需要大量的案例，而且這些案例亦需要先經由專家完成最後結果(輸出層)

的評定，所以其工程亦不小。

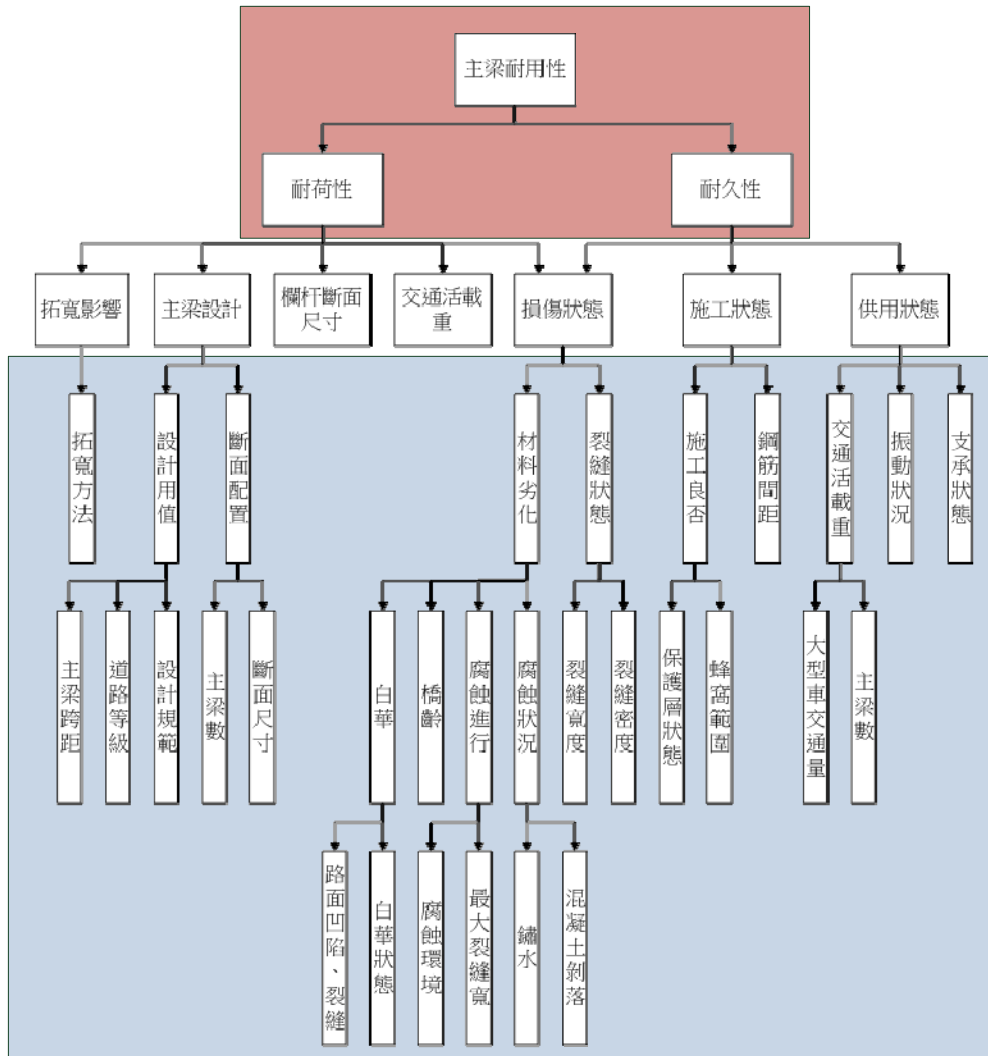


圖 2.2-4 主梁耐用性評估架構

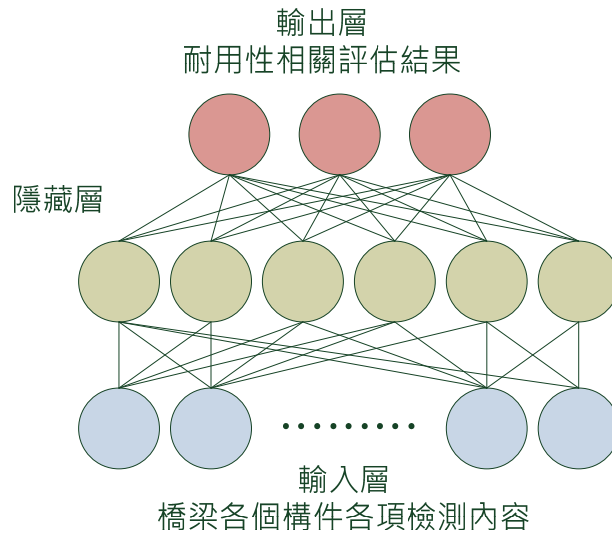


圖 2.2-5 以類神經網路模擬之主梁耐用性評估架構

第三章 系統需求分析

本研究系統開發採用一般軟體開發之標準流程，參考圖 3-1 所示，由專案規劃開始，進一步與客戶確認需求，包含系統之基礎功能及執行環境、相關軟體的平台等等，才能進一步選用合適的解決方案，進行系統設計，若系統需要視覺設計時，亦是在此階段完成視覺設計。完成系統設計後方進行下一階段之程式開發與系統測試，此兩階段往往來來回回進行多次實作、測試與修改，逐次完成系統設計之需求，並交付給客戶進行測試，並由客戶確認符合需求後上線，進入導入維護的作業階段。在需求分析與系統設計階段，客戶需要提供完整及明確之資料，以讓系統設計更趨於客戶之使用需求。本研究在開發過程中，將使用程式碼版本管理工具，以有效追蹤與修正系統開發過程中可能發生的錯誤。

圖 3-1 系統開發流程

本研究將依據 NCREE-BMS 的設計架構進行擴充，採用 Web-based 技術開發，並使用 MVC 概念進行系統分析與設計，專家系統的推論引擎擬採用 CLIPS 為主，類神經輔助計算核心亦將考量能與 CLIPS 結合之程式庫，知識庫的知識表達(個體與法則)格式將使用 CLIPS 支援之格式進行設計，使用者介面的部份以 Web-based 技術開發，使用 HTML 5 技術實作，資料介面則與 NCREE-BMS 的資料匯流結合，以取得推論所需要的橋梁檢測資料。

3.1 領域問題

本研究開發之專家系統模組，主要領域問題是為解決橋梁檢測評估之用。橋梁檢測是一個持續性且長期的工作，而且愈詳細的檢測內容，在現地執行上有一定的困難度，而專家要對這些大量檢測資料進行評估亦是一件繁重的工作。

台灣現行的橋梁管理系統是使用 DER&U 的檢測方式進行檢測與評估，此方法將橋梁結構劣化的情形，依「嚴重程度(Degree)」、「範圍(Extend)」、「對橋梁結構安全性與服務性之影響(Relevancy)」及「維修急迫性(Urgency)」，等四個部份加以評估，其優點是作業方式簡單，缺點則是容易因為主觀的判斷，而造成評估結果的差異，欠缺客觀一致性的標準，由於檢測項目本身已經不夠客觀，所以專家亦不容易從這些資料得到好的結論。

目前本研究團隊發展中的 NCREE-BMS 即在改善此一項問題，除了改善評估的方式、項目、內容之外，亦在改良過去 DER&U 過於主觀的評估問題，透過更加科學的方式，提供更完整的決策資訊給管理單位應

用。在 NCREE-BMS 中，即針對橋梁各個部份的檢測內容加以擴充，使其更為完備，而且考量耐洪能力、耐震能力、載重能力及老舊劣化情形評估之需要加以分類，以利後續進行各項評估之參考，其各項評估內容參考表 3.1-1~3.1-6 所示。

表 3.1-1 基本資料表項目

編號	名稱	屬性	類別
001	橋齡	數值	耐久
002	檢測維修頻率	數值	
003	重車比例	數值	
004	車流量(有數據-服務水準)	數值	
005	車流量(無數據-大小)	數值	
008	腐蝕環境類別(一般、海洋、其它)	文字	
010	原結構之主梁數量	數值	
011	原結構之靜不定度	數值	耐震
276	靜不定度	數值	
272	第一類活動斷層近域	文字	
273	地盤類別	文字	
274	液化可能性	數值	
275	不規則性	文字	
280	規範年代	數值	耐洪
223	攔河堰(位置、距離)	物件	
224	束縮地形(位置、距離)	物件	
225	堤防護岸沖刷崩壞(上、下游側之近或遠端)	布林	
237	丁壩(上、下游)	布林	
246	通水斷面(是否足夠)	布林	
247	流向夾角(大小)	數值	
249	漂流淤積物(多寡)	數值	
250	跌水或水躍(上、下游側)	布林	
259	河床地質(卵礫石、京層、軟岩層、沉泥層)	文字	
260	降雨量(高、中、低)	文字	

261	坡度(程度)	數值
262	位於何川彎道	布林
263	位於何川匯流處	布林
264	有無河川整治(距離)	數值
265	主河道有無變遷	布林
266	是否為辮狀河川	布林
267	有無人為採砂(距離)	數值
268	河床下降現象(程度)	數值
269	橋址位置(上、中、下游段)	文字
270	是否緊鄰山崖	布林
271	是否位於土石流潛勢區	布林

表 3.1-2 橋墩項目表

編號	名稱	屬性	類別
006	氯離子含量	數值	耐久
007	中性化程度	數值	
009	原結構之保護層狀態	文字	
049	橋墩混凝土裂縫(類型、密度、間距、寬度、位置)	物件	
050	橋墩混凝土裂縫之類型	文字	
051	橋墩混凝土裂縫之密度	數值	
052	橋墩混凝土裂縫之間距	數值	
053	橋墩混凝土裂縫之寬度	數值	
054	橋墩混凝土裂縫之位置(分構架式、懸臂式、壁式)	文字	
055	橋墩混凝土剝落	布林	
056	橋墩空洞/蜂窩	布林	
057	橋墩滲水及游離石灰、銹水流出	布林	
058	橋墩有異常聲音及振動	布林	
059	橋墩有積水、漏水	布林	
060	橋墩其它損傷	文字	
061	橋墩彎曲/變形	布林	
062	橋墩之鋼筋、鋼腱或錨碇部位外露、銹	布林	

	蝕(鋼筋同大梁)	
079	基礎混凝土裂縫(類型、密度、間距、寬度、位置)	物件
080	基礎混凝土裂縫之類型	文字
081	基礎混凝土裂縫之密度	數值
082	基礎混凝土裂縫之間距	數值
083	基礎混凝土裂縫之寬度	數值
084	基礎混凝土裂縫之位置(沉箱、樁基、直基)	文字
085	基礎侵蝕或沖刷	布林
086	基礎沉陷	布林
087	基礎混凝土剝落	布林
088	基礎空洞/蜂窩	布林
089	基礎鋼筋外露、銹蝕	布林
090	基礎滲水及游離石灰、銹水流出	布林
091	基礎有異常聲音及振動	布林
092	基礎有積水、漏水	布林
093	基礎其它損傷	文字
144	鋼橋墩之裂縫	物件
145	鋼橋墩之彎曲、變形	布林
146	鋼橋墩銲接處損傷(裂縫、損傷、油漆裂紋)	物件
147	鋼橋墩之高拉力螺栓鬆動	布林
148	鋼橋墩之高拉力螺栓欠缺	布林
149	鋼橋墩之高拉力螺栓受損	布林
150	鋼橋墩之連接板塗裝剝落	布林
151	鋼橋墩之連接板塗裝龜裂	布林
152	鋼橋墩之連接板塗裝褪色	布林
153	鋼橋墩之生銹、腐蝕	布林
154	鋼橋墩之異常聲音及振動	布林
155	鋼橋墩之積水、漏水	布林
156	鋼橋墩之塗裝剝落	布林
157	鋼橋墩之塗裝龜裂	布林
158	鋼橋墩之塗裝褪色	布林

159	鋼橋墩之其他損傷	布林	耐洪
127	橋墩/橋基保護設施(與耐洪相關性)	布林	
281	基礎(裸露)	布林	
284	材料老劣化(鋼、混凝土)	布林	
238	橋墩墩體劣化(劣化項目)	物件	
239	橋墩基礎沖刷裸露情形(程度)	數值	
240	橋墩基礎劣化(劣化項目)	物件	
241	橋墩基礎裸阻水(yes、no)	布林	
245	帽梁距水面高程是否足夠	布林	
248	墩前壅水(程度)	數值	
252	橋墩墩體形狀(平頭、尖頭、圓頭)	文字	
253	橋墩基礎形式	文字	
254	橋墩基礎形狀(平頭、尖頭、圓頭)	文字	
255	橋墩基礎貫入深度	數值	
258	深槽區有無落墩	布林	

表 3.1-3 橋台項目表

編號	名稱	屬性	類別
006	氯離子含量	數值	耐久
007	中性化程度	數值	
009	原結構之保護層狀態	文字	
049	橋墩混凝土裂縫(類型、密度、間距、寬度、位置)	物件	
050	橋墩混凝土裂縫之類型	文字	
051	橋墩混凝土裂縫之密度	數值	
052	橋墩混凝土裂縫之間距	數值	
053	橋墩混凝土裂縫之寬度	數值	
054	橋墩混凝土裂縫之位置(分構架式、懸臂式、壁式)	文字	
055	橋墩混凝土剝落	布林	
056	橋墩空洞/蜂窩	布林	
057	橋墩滲水及游離石灰、銹水流出	布林	
058	橋墩有異常聲音及振動	布林	

059	橋墩有積水、漏水	布林
060	橋墩其它損傷	布林
061	橋墩彎曲/ 變形	布林
062	橋墩之鋼筋、鋼腱或錨碇部位外露、銹蝕(鋼筋同大梁)	布林
079	基礎混凝土裂縫(類型、密度、間距、寬度、位置)	物件
080	基礎混凝土裂縫之類型	文字
081	基礎混凝土裂縫之密度	數值
082	基礎混凝土裂縫之間距	數值
083	基礎混凝土裂縫之寬度	數值
084	基礎混凝土裂縫之位置(沉箱、樁基、直基)	文字
085	基礎侵蝕或沖刷	布林
086	基礎沉陷	布林
087	基礎混凝土剝落	布林
088	基礎空洞/蜂窩	布林
089	基礎鋼筋外露、銹蝕	布林
090	基礎滲水及游離石灰、銹水流出	布林
091	基礎有異常聲音及振動	布林
092	基礎有積水、漏水	布林
093	基礎其它損傷	布林
144	鋼橋墩之裂縫	物件
145	鋼橋墩之彎曲、變形	布林
146	鋼橋墩銲接處損傷(裂縫、損傷、油漆裂紋)	物件
147	鋼橋墩之高拉力螺栓鬆動	布林
148	鋼橋墩之高拉力螺栓欠缺	布林
149	鋼橋墩之高拉力螺栓受損	布林
150	鋼橋墩之連接板塗裝剝落	布林
151	鋼橋墩之連接板塗裝龜裂	布林
152	鋼橋墩之連接板塗裝褪色	布林
153	鋼橋墩之生銹、腐蝕	布林
154	鋼橋墩之異常聲音及振動	布林

155	鋼橋墩之積水、漏水	布林		
156	鋼橋墩之塗裝剝落	布林		
157	鋼橋墩之塗裝龜裂	布林		
158	鋼橋墩之塗裝褪色	布林		
159	鋼橋墩之其他損傷	布林		
127	橋墩/橋基保護設施(與耐洪相關性)	布林		
281	基礎(裸露)	布林		
284	材料老劣化(鋼、混凝土)	布林		
238	橋墩墩體劣化(劣化項目)	文字		耐洪
239	橋墩基礎沖刷裸露情形(程度)	數值		
240	橋墩基礎劣化(劣化項目)	文字		
241	橋墩基礎裸阻水(yes、no)	布林		
245	帽梁距水面高程是否足夠	布林		
248	墩前壅水(程度)	數值		
252	橋墩墩體形狀(平頭、尖頭、圓頭)	文字		
253	橋墩基礎形式	文字		
254	橋墩基礎形狀(平頭、尖頭、圓頭)	文字		
255	橋墩基礎貫入深度	數值		
258	深槽區有無落墩	布林		

表 3.1-4 大梁項目表

編號	名稱	屬性	類別
006	氯離子含量	數值	耐久
007	中性化程度	數值	
009	原結構之保護層狀態	文字	
026	大梁混凝土裂縫(類型、密度、間距、寬度、位置)	物件	
027	大梁混凝土裂縫之類型	文字	
028	大梁混凝土裂縫之密度	數值	
029	大梁混凝土裂縫之間距	數值	
030	大梁混凝土裂縫之寬度(分 RC 及 PC 結構)	布林	
031	大梁混凝土裂縫之位置(分預力箱型	文字	

	梁、RC 大梁、預力 I 型梁)	
032	大梁混凝土剝落	布林
033	大梁空洞/蜂窩	布林
034	大梁鋼筋外露、銹蝕	布林
035	大梁滲水及游離石灰、銹水流出	布林
036	大梁有異常聲音及振動	布林
037	大梁有積水、漏水	布林
038	大梁其它損傷	布林
039	大梁彎曲/ 變形	布林
040	支承裝置損傷	布林
041	支承之螺栓損傷、欠缺、鬆動	布林
042	支承生銹及腐蝕	布林
043	支承下陷	布林
044	支承座、支承端部損傷	布林
045	支承之上部結構移動量	布林
046	支承有無異常聲音	布林
047	支承有無塵土或雜物堆積	布林
048	支承其他損傷	布林
094	橫隔梁混凝土裂縫(類型、密度、間距、寬度、位置)	物件
095	橫隔梁混凝土裂縫之類型	文字
096	橫隔梁混凝土裂縫之密度	數值
097	橫隔梁混凝土裂縫之間距	數值
098	橫隔梁混凝土裂縫之寬度	數值
099	橫隔梁混凝土裂縫之位置	文字
100	橫隔梁混凝土剝落	布林
101	橫隔梁空洞/蜂窩	布林
102	橫隔梁鋼筋外露、銹蝕	布林
103	橫隔梁滲水及游離石灰、銹水流出	布林
104	橫隔梁有異常聲音及振動	布林
105	橫隔梁有積水、漏水	布林
106	橫隔梁其它損傷	布林
107	橫隔梁彎曲/ 變形(規範之容許值)	布林
128	鋼橫梁、縱梁及托梁有無裂縫	布林

129	鋼橫梁、縱梁及托梁之彎曲、變形	布林
130	銲接處損傷(裂縫、員傷、油漆裂紋)	布林
131	鋼橫梁、縱梁及托梁之高拉力螺栓鬆動	布林
132	鋼橫梁、縱梁及托梁之高拉力螺栓欠缺	布林
133	鋼橫梁、縱梁及托梁之高拉力螺栓受損	布林
134	鋼橫梁、縱梁及托梁之連接板塗裝剝落	布林
135	鋼橫梁、縱梁及托梁之連接板塗裝龜裂	布林
136	鋼橫梁、縱梁及托梁之連接板塗裝褪色	布林
137	鋼橫梁、縱梁及托梁之生鏽、腐蝕	布林
138	鋼橫梁、縱梁及托梁之異常聲音及振動	布林
139	鋼橫梁、縱梁及托梁之積水、漏水	布林
140	鋼橫梁、縱梁及托梁之塗裝剝落	布林
141	鋼橫梁、縱梁及托梁之塗裝龜裂	布林
142	鋼橫梁、縱梁及托梁之塗裝褪色	布林
143	鋼橫梁、縱梁及托梁之其他損傷	布林
160	鋼梁之裂縫	布林
161	鋼梁之彎曲、變形	布林
162	鋼梁銲接處損傷(裂縫、員傷、油漆裂紋)	布林
163	鋼梁之高拉力螺栓鬆動	布林
164	鋼梁之高拉力螺栓欠缺	布林
165	鋼梁之高拉力螺栓受損	布林
166	鋼梁之連接板塗裝剝落	布林
167	鋼梁之連接板塗裝龜裂	布林
168	鋼梁之連接板塗裝褪色	布林
169	鋼梁之生鏽、腐蝕	布林
170	鋼梁之異常聲音及振動	布林

171	鋼梁之積水、漏水	布林	
172	鋼梁之塗裝剝落	布林	
173	鋼梁之塗裝龜裂	布林	
174	鋼梁之塗裝褪色	布林	
175	鋼梁之其他損傷	布林	
277	支承種類	文字	

表 3.1-5 橋面板項目表

編號	名稱	屬性	類別
006	氯離子含量	數值	耐久
007	中性化程度	數值	
009	原結構之保護層狀態	文字	
012	橋面板混凝土裂縫(類型、密度、間距、寬度、位置)	物件	
013	橋面板混凝土裂縫之類型	文字	
014	橋面板混凝土裂縫之密度	數值	
015	橋面板混凝土裂縫之間距	數值	
016	橋面板混凝土裂縫之寬度	數值	
017	橋面板混凝土裂縫之位置	數值	
018	橋面板混凝土剝落	布林	
019	橋面板空洞/蜂窩	布林	
020	橋面板鋼筋外露、銹蝕	布林	
021	橋面板滲水及游離石灰、銹水流出	布林	
022	橋面板有異常聲音及振動	布林	
023	橋面板有積水、漏水	布林	
024	橋面板其它損傷	布林	
025	橋面板彎曲/變形	布林	
188	緣石及人行道混凝土剝落/措裂	布林	日常使用性
189	緣石及人行道其他損傷	布林	
190	橋面平整度(直徑及深度區分)	文字	
191	橋面與欄杆、護欄有無分離情況	布林	
192	橋面板混凝土剝落	布林	
193	橋面板空洞/蜂窩	布林	

194	橋面板鋼筋外露、銹蝕	布林		
195	橋面板滲水及游離石灰、銹水流出	布林		
196	橋面板有異常聲音及振動	布林		
197	橋面板有積水、漏水	布林		
198	橋面板其它損傷	布林		
199	面層裂縫	布林		
200	面層剝離	布林		
201	面層車轍	布林		
202	面層坑洞、凹凸不平	布林		
203	面層其它損傷	布林		
178	伸縮縫之螺栓、錨碇螺栓損傷、欠缺、鬆動	布林		日常使用性
179	伸縮縫裝置損傷(變形、生銹、腐蝕)	文字		
180	伸縮縫襯墊片或端部補強構件損傷	布林		
181	伸縮縫高低差	布林		
182	伸縮縫處橋面板間距異常	布林		
183	伸縮縫處異常聲音	布林		
184	伸縮縫處漏水	布林		
185	伸縮縫間雜物堆積	布林		
186	伸縮縫其他損傷發	布林		

表 3.1-6 設施項目表

編號	名稱	屬性	類別
108	防止落橋措施之損傷	布林	耐久
109	防落設施之螺栓損傷、欠缺、鬆動	布林	
110	防落設施之異常聲音	布林	
111	防落設施之移動量	布林	
112	防落設施生鏽及腐蝕	布林	
187	護欄/欄杆之損傷	布林	日常
204	排水設施堵塞	布林	
205	排水設施損傷	布林	
206	標誌、標線損傷	布林	
207	隔音牆之防落裝置損傷	布林	
208	隔音牆之構件損傷	布林	
209	隔音牆之螺栓損傷、欠缺、鬆動	布林	
210	隔音牆之基座或錨碇部位損傷	布林	
211	隔音牆有異常聲音	布林	
212	標誌架及照明設施之構件損傷	布林	
213	標誌架及照明設施之部份螺栓發生損傷、欠缺、鬆動	布林	
214	標誌架及照明設施之搖晃振動	布林	
215	標誌架及照明設施之侵入其它設施之使用空間	布林	
216	標誌架及照明設施之基座或錨碇部位損傷	布林	
217	維修走道之構件損傷(裂縫、變形、鏽蝕、鬆動)	文字	
218	維修走道之螺栓、螺帽損傷、欠缺、鬆動	布林	
219	維修走道之錨碇部位損傷	布林	
220	維修走道之異常聲音	布林	
221	維修走道之其它損傷	布林	
222	其他設施損傷	布林	
279	減震消能	布林	耐震

上述各表格所描述的項目即為橋梁檢測項目，工程師完成橋梁檢測工作後，專家即可以由這些檢測資訊進行評估。檢測與評估的基礎型式如圖 3.1-1 所示。其中評估計算是一個評估方式，而不一定是經由數值計算，它主要是一個評估的過程，但一般是採用計算的方式完成評估。其它評估的方式還有使用權重值設定、專家判定等方式，圖 3.1-1 可以視為所有橋梁評估之基礎模型。

在 TBMS 與 NCREE-BMS 的評估方式可以視為是圖 3.1-1 模型架構的延伸，以 TBMS 為例，它使用 DER&U 檢測方式，所有 DER&U 檢測項目大部份以 21 項評估大項分類，並對各個構件進行評估，決定該構件該檢測項目的 DER&U 值，最後再整體地對橋梁判定狀況。一般 21 項評估大項是經由一些檢測細項評估匯整而成(參考圖 3.1-2 所示)，所以每一個構件的每一大項的 DER&U 評估可以使用如圖 3.1-3 的評估模型。其中各個細項檢測都有自己的 DER&U 評估，最後再計對這些細檢測項匯整成為一個大項的 DER&U 評估結果。從圖 3.1-3 即可以看出它是圖 3.1-1 評估模型的延伸。

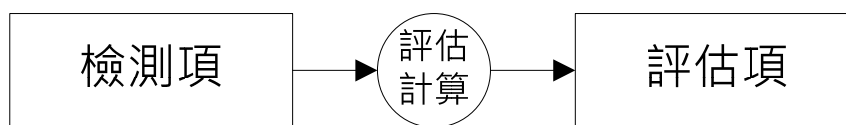


圖 3.1-1 基本檢測項與評估項之組成關係

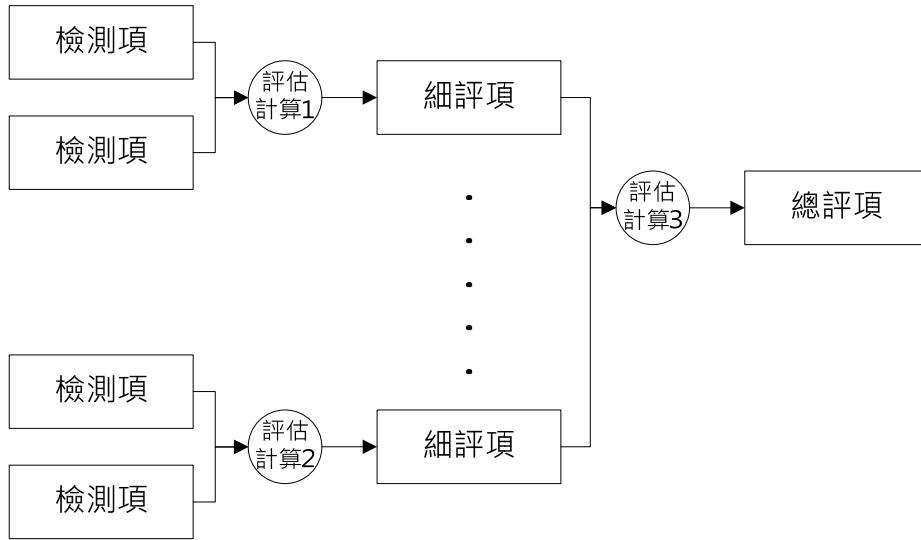


圖 3.1-4 多層評估項目之組成關係

NCREE-BMS 則是一個彈性階層的檢測架構，可以建立如 TBMS 相同的檢測評估架構，亦可以建立更加完整的評估階層架構，也可以依據使用時機提供簡單及完整多種不同版本的評估階層架構，以主梁耐用性為例，建立一個多階層的檢測架構，如圖 3.1-5 所示。

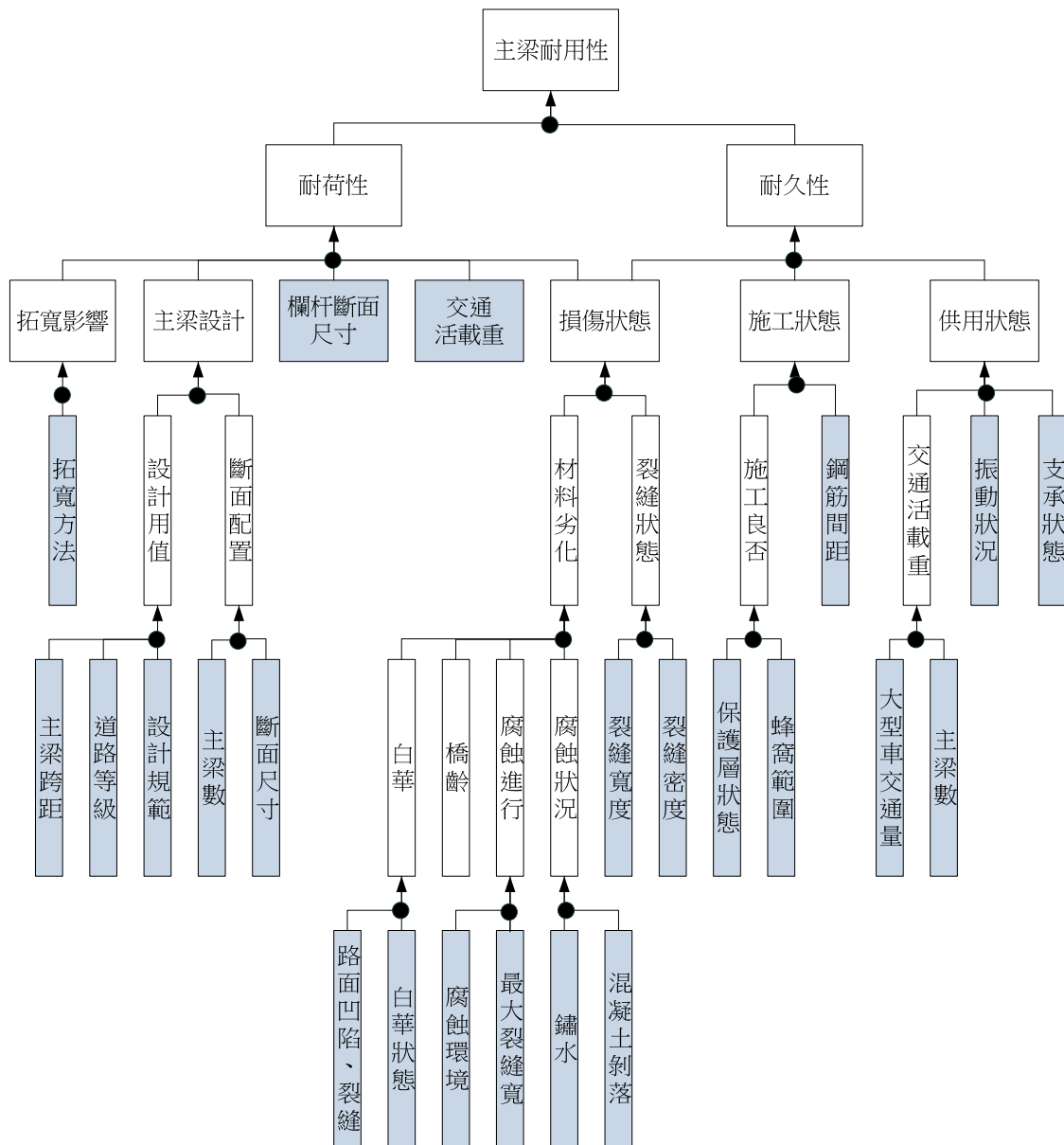


圖 3.1-5 主梁耐用性檢測架構

雖然在多層評估架構中，評估方式及過程相對較複雜，但是有許多檢測項是參考至橋梁基本資料表，並不需要過多額外輸入工作(參考圖 3.1-6 所示)。一般檢測項目均是實際狀況的描述，只需要真實反應現況

即可，不用做太繁鎖的判定。在 NCREE-BMS 的檢測項目可以支援多種檢測資料型式(參考表 3.1-7 所示)，所以工程師只要依據資料型式進行填寫，後續評估計算則可以由多種不同的評估計算方式完成橋梁評估工作。

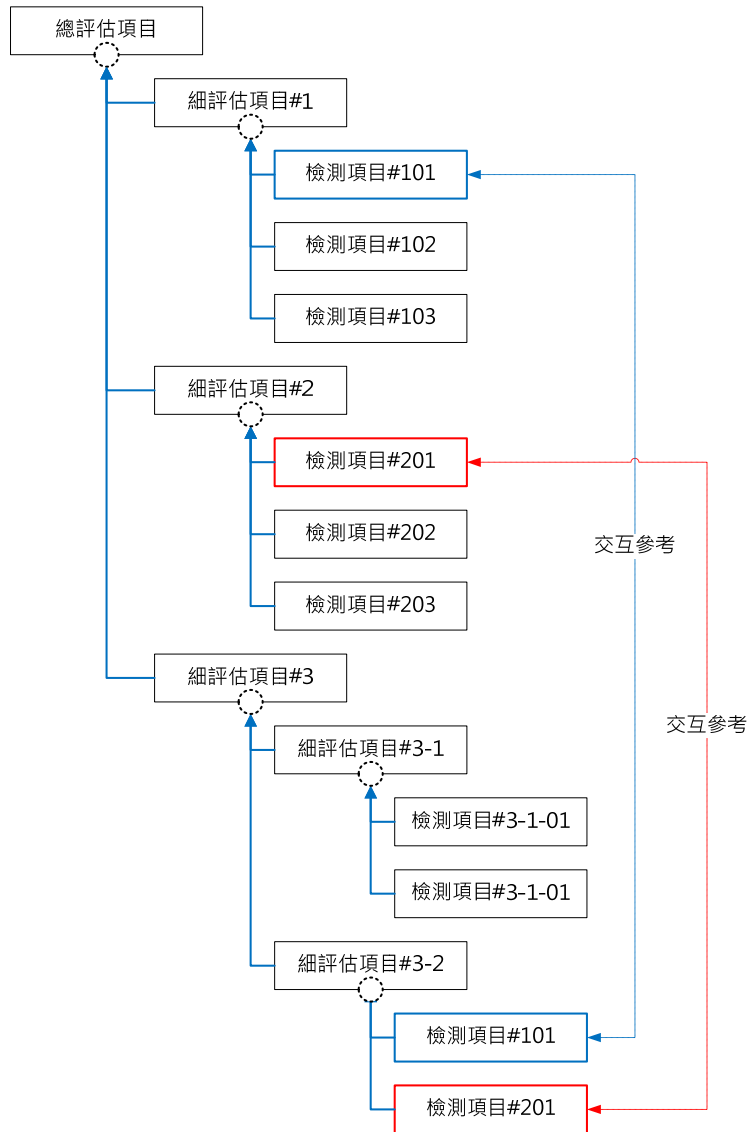


圖 3.1-6 檢測項目的資訊可以交互參考應用

表 3.1-7 檢測項目資料型式

數值型式		
資料類型	資料格式	說明
量測值	整數、實數	一般原始的檢測資料大部份為數值型式，其中若為量測值時，使用整數或實數方式儲存。 例如：橋墩之氯離子含量
N 級量值	整數	檢測項目以級距方式記錄，或是以 N 級量值的方式表達時，檢測值將以整數方式對應與記錄。 例如：橋墩之中性化程度(高、中、低、無)
資料清單	整數、實數	檢測項目為清單選項，但每一選項均可以對應至一個方便判斷或方析之數值。 例如：橋墩墩體形狀(平頭=0、尖頭=1、圓頭=2)
公式計算	整數、實數	檢測項目若是引用橋梁的基本資料，或是由其它檢測項目綜合計算而得時，可以使用公式計算的方式描述，系統亦提供一些基本的函式，可以參考至現有基本資料的欄位。 例如：橋墩基礎形式
文字型式		
資料類型	資料格式	說明
描述內容	文字	提供檢測項目可以用文字的方式描述檢測之結果，描述內容可以加入一些關鍵字方便後續應用與分析。 例如：鋼橋墩之其他損傷
資料清單	文字	同數值型式中的資料清單，但亦可以不做任何值對應，保留原清單的文字內容，容易閱讀。 例如：河床地質(卵礫石、京層、軟岩層、沉泥層)
公式計算	文字	同數值型式中的公式計算，可以處理文字相關的資訊，亦可以參考橋梁基本資料的資料欄位。 例如：地盤種類
布林型式		

資料類型	資料格式	說明
有無/是否	布林值	檢測項目以「有/無」或「是/否」表達檢測結果，可以使用此資料類型記錄。 例如：橋墩基礎裸阻水(是、否)
物件型式		
資料類型	資料格式	說明
物件類別	物件內容	當檢測記錄內容具有群組性，或檢測時同時需要描述多項內容時，可以用物件內容的方式記錄。 例如：基礎混凝土裂縫，其中裂縫內容包含「類型、密度、間距、寬度、位置」

橋梁評估的評估計算一般是直接採用權重計算方式，由專家直接依序由下往上訂定，配合檢測項目的類型，將量測值或量測內容予以數值化，以便能使用權重的方式計算，依此由下往上累計計算，以求得一個累計值，並依此累計值判定橋梁各項評估內容的嚴重程度。此方法計算過程簡單，但是要決定每一個層級的權重並不容易，當項目較多時，更是不易。此種評估方式，因為採用單純的權重計算，容易產生數值上的盲點，部份檢測項目呈現嚴重時，亦容易因為權重逐步往上累計而稀釋，無法完整讓損壞構件呈現出來。透過法則式專家系統與類神經網路的輔助，均可以減少這類現象對於整體評估的影響。

所以 NCREE-BMS 將評估計算設計為一個可以彈性擴充之程式介面，稱為「評估計算介面」；而加權計算方式是最基本的「評估計算介面」實作，相關的評估技術均可以依此「評估計算介面」進行擴充，所有的評估技術實作均可以經由設定調整或替換(參考圖 3.1-7 所示)。

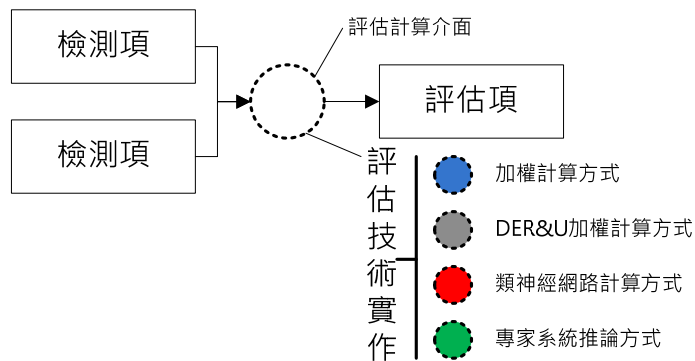


圖 3.1-7 評估計算介面與評估技術實作示意圖

3.2 系統需求

本研究研擬使用法則式專家系統，並擴充至 NCREE-BMS 中，建構 Web-based 應用方式之模組，在資訊呈現與視覺介面方面，使用 HTML 5 為主之介面設計，以因應資訊多元呈現之需求。除法則式專家系統之外，另外加入類神經網路輔助分析核心，與法則式專家系統相輔相成，以彌補法則式專家系統不足之處。

橋梁檢測評估專家系統的主要需求如下：

1、專家知識擷取視覺介面：

專家知識擷取視覺介面以 Web-based 應用程式架構為基礎，其 Server 端採用 Model-View-Controller(MVC)概念進行設計，並使用能支援此設計概念之框架(Framework)進行實作，系統 Client 端則使用 HTML 5 與 Javascript，透過 Ajax 技術與 Server 端做資料連結，並設計與實作使用者介面，協助橋梁專家及知識工程師能互動地建立橋梁安全檢測判定所需要的法則。視覺介面需整合在 NCREE-BMS 中，法則定義的項目亦需整合 NCREE-BMS 中的橋梁檢測項目，法則編輯儘量使用圖形化編輯，避免使用文字命令敘述方式呈現。

除可以透過視覺介面協助知識工程師或橋梁專家進行編輯之外，亦可以支援批次匯入的動作，匯入文字格式的評估法則，檢測定義內容之正確性，並結合視覺介面呈現並可以編輯。

2、法則推論引擎整合：

開發或整合開源穩定之法則式推論引擎，可以整合至 NCREE-BMS 中，除法則式知識推論之外，並能支援類神經輔助專家系統之法則推論機制，能由橋梁目視檢測之檢測資料進行推論，推論出各項橋梁安全指標，協助橋梁管理單位判定是否進行維護作業。

3、類神經輔助專家系統分析核心：

需以橋梁目視檢測評估為基礎，建立一類神經輔助專家系統分析核心，以橋梁目視檢測項目之檢測值為輸入層；橋梁各項評估為輸出層，例如：橋梁耐洪、橋梁耐震、橋梁劣化程度等等。類神經輔助專家系統分析核心需能彈性定義推論法則庫之輸入，並可以與 NCREE-BMS 整合。

4、專家系統使用者操作介面：

考量 Web-based 技術之用，結合 HTML 5 之介面技術，設計與實作使用者介面，協助橋梁管理人員或橋梁檢測人員可以輸入各項橋梁檢測資料，並由法則推論引擎進行推論，以圖形/圖表/表格等方式呈現推估結果。

5、橋梁檢測資料與法則資料庫管理：

需整合 NCREE-BMS 資料匯流機制，建立橋梁目視檢測資料之存取，並提供推論引擎法則管理、類神經輔助專家系統分析核心各項參數之管理。並考量研究與應用之需求，依據不同橋梁型式建立不同之法則，或依據不同構件、不同專家等，建立版本管理，以利研究與推論結果之比較。

第四章 系統設計

4.1 系統架構設計

在 NCREE-BMS 使用 ASP.NET MVC 架構開發，提供一個可以擴充的系統架構，本研究即在此架構下，擴展評估計算計算介面實作，增加專家系統法則之推論機制與類神經網路輔助分析核心，其各項擴充為：

1、**專家知識擷取視覺介面**：以 Web-based 使用者介面為基礎設計，透過視覺化操作介面，協助專家建立專家系統的推論法則，避免直接使用文字編輯的方式建立法則。

2、**法則推論引擎整合**：應用法則推論時，其輸入的內容為檢測項目的資料，這些資料已於檢測時建立在資料庫中，所以整合法則推論引擎即在於整合這些檢測的事實內容(Facts)至推論引擎中，並觸發執行推論。

3、**類神經輔助專家系統分析核心**：類神經網路亦是評估計算的一項技術，本研究實作評估計算介面，擴充類神經評估的能力。

4、**專家系統使用者操作介面**：一般專家系統是使用文字命令的方式交談，在 Web-based 應用程式則需要轉換為 Web-based 使用者介面，提供一個查詢及設計介面，讓使用者可以查詢待評估的檢測資料，以及設定評估後產出的資料的顯示方式。

5、**橋梁檢測資料與法則資料庫管理**：由於 NCREE-BMS 支援多階層式的檢測評估架構，以及可以彈性擴充與設定的評估計算介面及實作，所以需要一個管理介面，可以編輯與設定檢測與評估的關連，並管理專家系統的法則與類神經網路的數值知識庫。

上述各項功能均與 NCREE-BMS 系統整合，並以擴充模組(Plug-in

Modules)方式擴充至 NCREE-BMS 系統中。NCREE-BMS 系統檔案架構如圖 4.1-1 所示，系統使用 Microsoft ASP.NET MVC 平台建構，系統架構使用 MVC 概念設計，所以 MVC 架構中的 Model、View 及 Controller 即對應至目錄架構中的 Models、Views 及 Controllers，在 Views 中尚有一個 Shared 資料夾，放置共用介面的樣版(Template)，在網術版的 NCREE-BMS 使用較大螢幕尺寸的樣版，在行動版的 NCREE-BMS 則使用行動版本的樣版，Controllers 及 Models 則可以共用，此即使用 MVC 設計的優點，大量減少程式重複開發維護不易的問題。

在圖 4.1-1 的目錄中有一個 Area 目錄，在 Area 中的每一個目錄即為 NCREE-BMS 系統的擴充模組，主要的內建模組為 Admin，用以進行系統管理，其它 Expert System 則屬於本研究的擴充範圍，在擴充模組中亦具有自己的 MVC 架構，並不會與 NCREE-BMS 主系統的 MVC 衝突，擴充與應用上十分彈性。

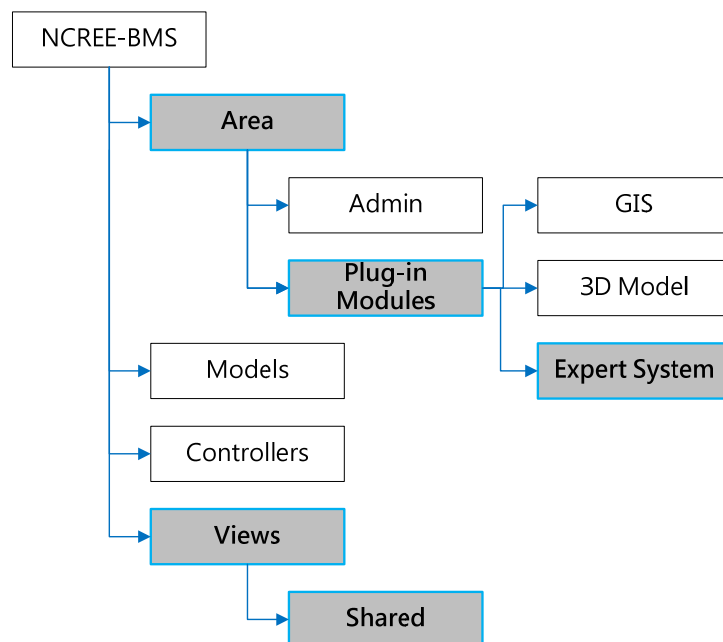


圖 4.1-1 NCREE-BMS 檔案系統架構

4.2 專家知識擷取視覺介面設計

專家知識擷取介面是建立專家系統初期最重要的一環，因為知識庫的完整性，將決定專家系統的可用性與信度，方便的知識擷取介面，有助於專家與知識工程師的操作，強調在反覆的知識建立過程中，能快速地得到推論結果的回饋，讓知識工程師能進一步地與專家對話，求得修正知識庫的方向。

CLIPS 的知識庫是採用文字檔的方式描述(參考表 4.2-1 所示)，所以知識工程師通常也是程式設計師，對於知識庫的描述與法則的撰寫較容易清楚掌握。應用 CLIPS 建立橋梁檢測專家系統，對於大量檢測項目的描述與法則的建立並不容易，尤其知識庫的各個符號將代表那一個橋梁評估項目的名稱或編號，均要事先做好完整的定義，否則當評估項目進行調整後，知識庫中的評估項目符號也要同步修正，否則易造成知識庫中具有無效的符號，造成推論不正確的問題。

CLIPS 的知識庫一般是使用純文字編輯器進行編輯，再由 CLIPS 的交談環境載入這些知識庫，再和使用者透過文字交談的方式，輸入事實進行推論，在專家系統建立初期，將會反覆不斷地修正知識庫，並執行輸入以完成一次推論的驗證，所以程序相當繁鎖且不便利。

所以「專家知識擷取視覺介面」的設計，擬採用圖形化使用者介面的技術，以圖形方式呈現知識庫的內容，包含個體的描述與法則的定義；其中個體包含各項檢測的內容，而這些內容將透過 NCREE-BMS 的資料匯流取得系統的定義(項目名稱及代碼)，並自動轉換成為 CLIPS 知識庫中

的描述，減少知識工程師的工作量，接著再由知識工程師透過圖形編輯工具，逐次地建立法則，並可以在視覺介面中立即啟動推論，以檢驗是否得到合理的推論結果。

表 4.2-1 CLIPS 法則定義範例

<code>(defrule <rule-name> [<optional comment>]</code>	
<code> <patterns>*</code>	<code>;LHS</code>
<code> =></code>	
<code> <actions>*</code>	<code>;RHS</code>
<code>)</code>	
<code>(defrule fire-emergency "An example rule"</code>	<code>;Rule header</code>
<code> (emergency (type fire))</code>	<code>;Patterns</code>
<code> =></code>	
<code> (assert (response</code>	<code>;Actions</code>
<code> (action activate-sprinkler-system)))</code>	
<code>)</code>	

在 CLIPS 中，中文可以應用於其字串(String)型態，但是其它的型態則不支援，尤其是符號型態(Symbol)，所以需要使用檢測項目的「項目編號」描述法則。檢測項目編號方式主要以檢測標的物為主，以 2 碼代表標的物，並配合 4 碼的流水號數值，例如：基本資料項目以” BR” 為開頭，橋齡項目為 BR0001；又例如：橋台項目以” AB” 為開頭，其氯離子含量檢測項目則為 AB0006 代表。若為清單資料選項時，中文字的部份可以使用字串型式，不會產出推論的問題。

4.3 法則推論引擎整合設計

本研究擬採用 CLIPS 為專家系統開發的工具，CLIPS 是一個 Public Domain 的軟體工具，專門用來建立專家系統，它提供一套類似 C 語言

的程式語法用以描述知識個體及法則，CLIPS 亦包含一個推論引擎，可以依據使用者輸入的事實內容進行推論。CLIPS 是 1985 年由 NASA-Johnson Space Center 公佈，是 NASA 用來發展人工智慧應用重要的技術之一，目前已發展至 6.3 版。

由於 CLIPS 的核心是使用 C 語言開發，可以非常容易被移植到不同的平台，目前 NCREE-BMS 是採用 .NET Framework 做為軟體平台，亦可以很容易整合 CLIPS 的推論引擎。在技術上，需要設計一個 .NET Wrapper for CLIPS，連結 CLIPS 程式庫，其中 CLIPS 亦需要重新編譯成為程式庫的形式，在 Windows 作業系統中為 dll 格式，在 Linux 作業系統中為 so 格式，如此 Web-based 橋梁檢測評估專家系統即可以使用 .NET 的技術取得 CLIPS 推論引擎支援；知識庫的部份可以使用以檔案為基礎的方式管理，或是結合資料庫進行管理；NCREE-BMS 資料服務匯流則是屬於外部介面，透過此資料介面取得推論所需要的事實內容(參考圖 4.3-1 所示)。

整合 CLIPS 的推論運作方式如圖 4.3-2 所示。使用專家知識擷取視覺介面即是建立評估法則知識庫，在使用 CLIPS 推論前，需將法則知識庫中的法則轉換成為 CLIPS 語法(參考表 4.3-1 中的 **defrule** 語法)；待推論的評估結果與輸入的檢測項目則轉換為事實樣版(參考表 4.3-1 中的 **deftemplate** 語法)；工程師檢測的資料則轉換為推論的事實(參考表 4.3-1 中的 **defacts** 語法)，匯整這些轉換的結果產生一個推論腳本檔(*.clp)，藉由 .Net Wrapper for CLIPS 整合 CLIPS 執行此推論腳本檔的推論(參考表 4.3-2 所示)。完成推論後即將結果存入資料庫，並將結果呈現在使用者介面中。若推論需要考量模糊推論機制，則可以整合 CLIPS 的擴充程式 FuzzyCLIPS，讓專家系統具有模糊推論的能力。

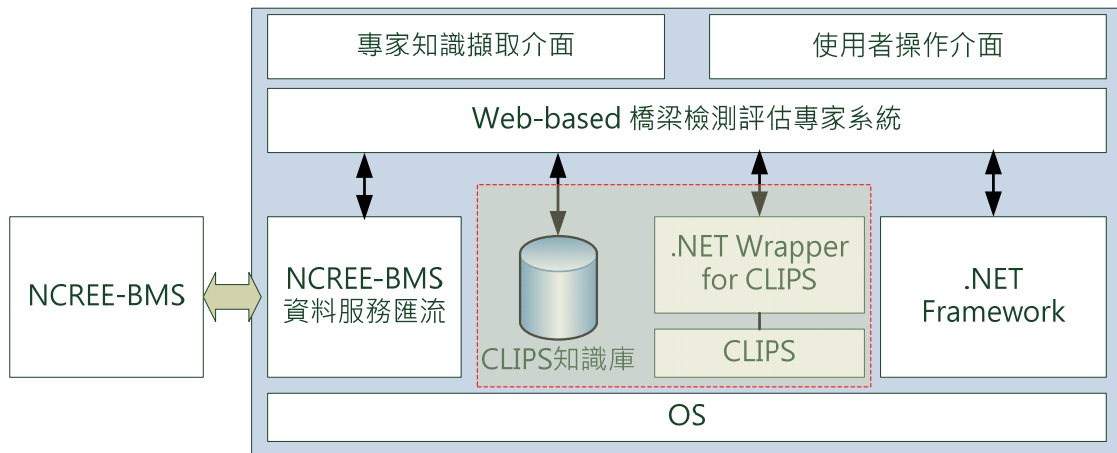


圖 4.3-1 橋梁檢測評估專家系統整合 CLIPS(僅專家系統部份)

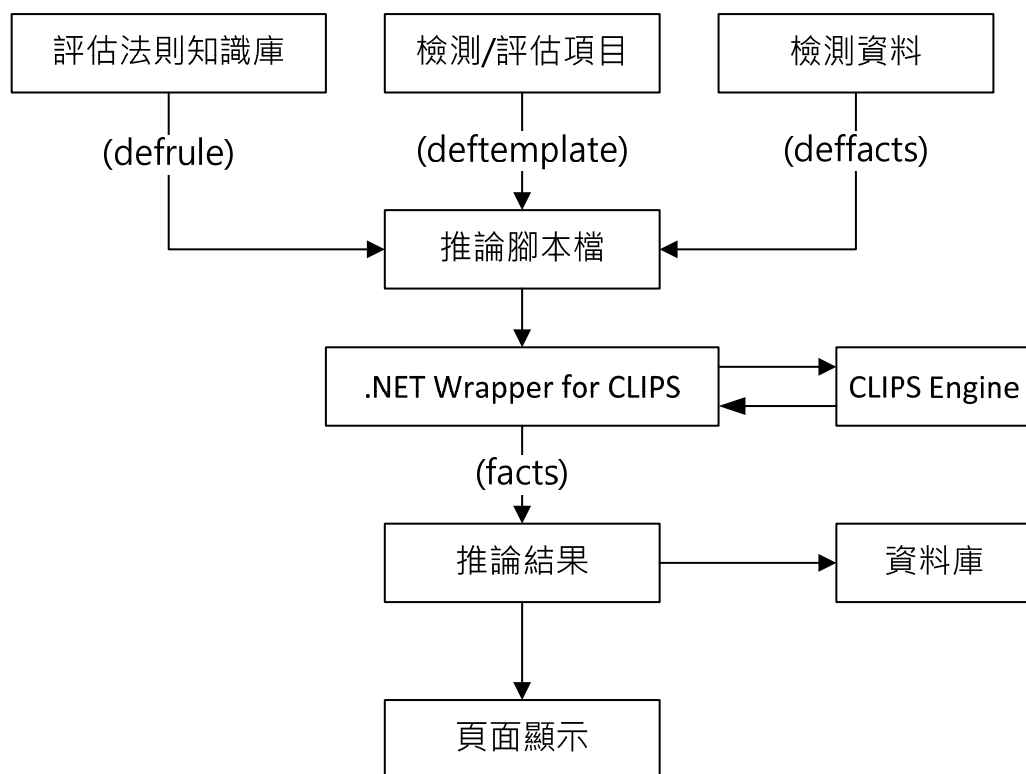


圖 4.3-2 整合 CLIPS 的推論運作方式

表 4.3-1 基礎 CLIPS 語法

<p>deftemplate 語法(定義事實樣版)</p> <pre>(deftemplate <deftemplate-name> [<comment>] <slot-definition>*) <slot-definition> ::= <single-slot-definition> <multislot-definition> <single-slot-definition> ::= (slot <slot-name> <template-attribute>*) <multislot-definition> ::= (multislot <slot-name> <template-attribute>*) <template-attribute> ::= <default-attribute> <constraint-attribute> <default-attribute> ::= (default ?DERIVE ?NONE <expression>*) (default-dynamic <expression>*)</pre>
<p>defrule 語法(定義推論法則)</p> <pre>(defrule <rule-name> [<comment>] [<declaration>] ; Rule Properties <conditional-element>* ; Left-Hand Side (LHS) => <action>*) ; Right-Hand Side (RHS)</pre>
<p>deffacts 語法(定義事實內容)</p> <pre>(deffacts (<facts>*) <facts> ::= (<template-name> <single-slot> <multislot>) <single-slot> ::= (<slot-name> <attribute>) <multislot> ::= (slot-name <attribute>*) <attribute> ::= Number String Symbol</pre>

表 4.3-2 執行.NET Wrapper for CLIPS 推論

```
using System;
using CLIPS;

namespace CLIPSCONSOLE {
    class Program {
        static void Main(string[] args) {
            // 建立CLIPS推論引擎
            IntPtr m_env = Lib._CreateEnvironment();
            // 引入推論腳本檔 Evaluation0001.clp
        }
    }
}
```

```

        Lib.__EnvLoad(m_env, "Evaluation0001.clp");
        // 重置CLIPS推論引擎
        Lib.__EnvReset(m_env);
        // 執行推論
        Lib.__EnvRun(m_env, -1);
        // 釋放 CLIPS 推論引擎
        Lib.__DestroyEnvironment(m_env);
        // 讀取推論結果
        Console.ReadLine();
    }
}
}
}

```

4.4 類神經輔助專家系統分析核心設計

類神經輔助專家系統分析核心屬於輔助系統，若已存在許多橋梁檢測評估的結果，即可以透過此分析核心，建立矩陣式的知識庫，輔助橋梁檢測評估專家系統推論。

類神經輔助專家系統分析核心主要由類神經網路分析程式庫、資料分析介面與案例讀取介面組成。其中：

(1)類神經網路分析程式庫：本研究將採用開源程式碼，且可以和CLIPS 或.NET 版本整合的類神經網路程式庫，程式庫主要的需求是能支援輸入層、輸出層與隱藏層各層之間能彈性定義，神經元的定義亦不受數量的限制，類神經網路分析運算至少要支援常用的類型，例如倒傳遞網路等等。

(2)資料分析介面：此一介面為一個圖形使用者操作介面，讓研究人員可以定義輸入層、輸出層與隱藏層各層的單元與關係，並可以設定要訓練此類神經網路的資料內容，並觸發類神經網路分析程式庫進行學習，其學習的成果亦透過此使用者介面輸出，讓研究人員可以決定下一步調整的方向。

(3)案例讀取介面：案例讀取介面是一套程式介面，類神經網路分析程式庫可以透過此程式介面大量地取得橋梁檢測的資料及評估結果，並不斷反覆地執行分析運算，達到學習的目的，以取得各個單元的權重資訊等等。由於考量與 NCREE-BMS 整合，所以此案例讀取介面是透過 NCREE-BMS 資料匯流技術讀取 NCREE-BMS 中的資料(參考圖 4.4-1 所示)。

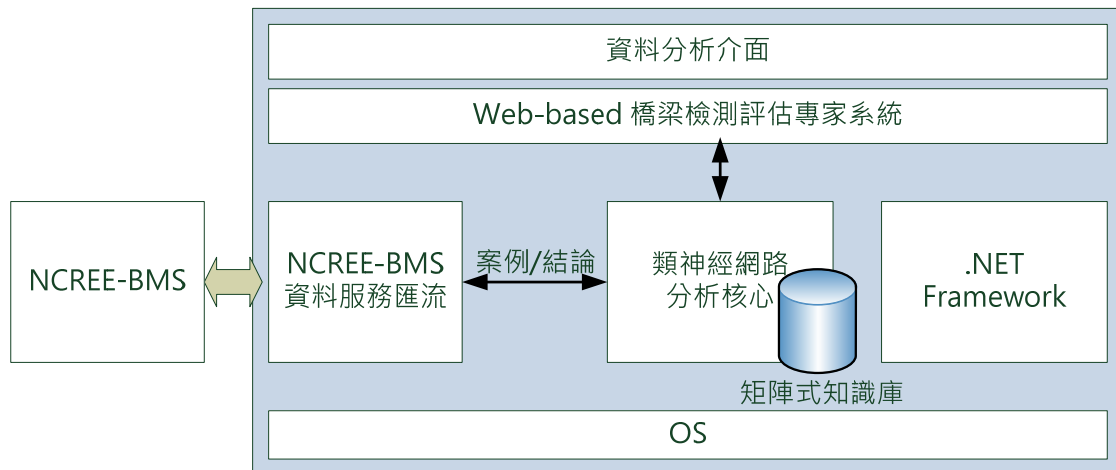


圖 4.4-1 類神經輔助專家系統分析核心(僅類神經網路部份)

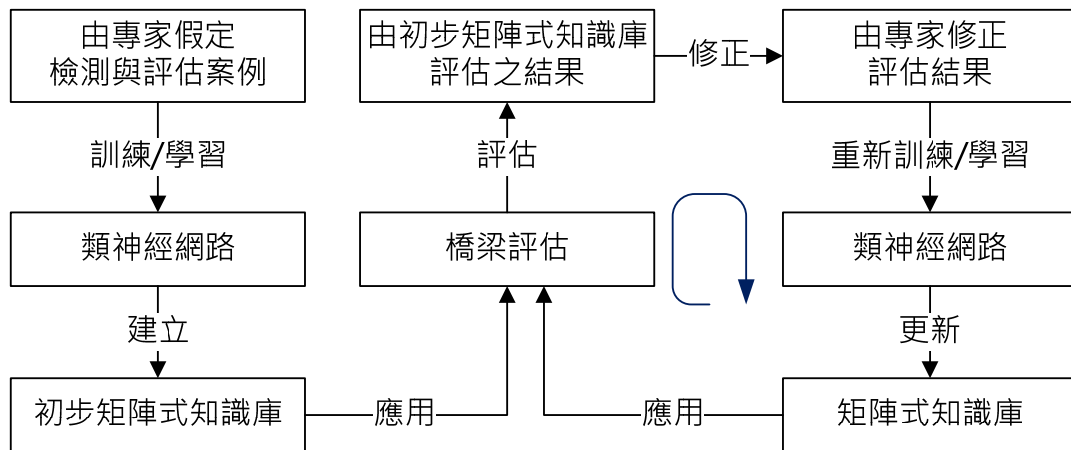


圖 4.4-2 建立矩陣式知識庫

NCREE-BMS 是一個新建立的系統，在使用初期並沒有過去的案例可以供類神經網路訓練或學習，所以系統建構初期需要一個初步的矩陣式知識庫(參考圖 4.4-2 所示)，專家先假定檢測值及評估結果，設定一些假定的案例，讓類神經網路訓練與學習，建立一個初步知識庫。知識庫建立後，即可以應用於橋梁評估，但是這些評估的結果仍需要再請專家確認或修正，並將修正後的案例讓類神經網路學習，並更新知識庫，直到評估的結果不再修正為止。雖然程序較麻煩，但不失為一個可行的方法。

在類神經網路訓練或學習方面有許多演算法，學習演算法就是一套權重調整的演算法，藉由演算法逐步地調整神經元間連結的權重，使其達到最佳的數值。本研究使用的類神經網路系統為倒傳遞類神經網路 (Back Propagation Neural Network)處理多階層式的評估架構。

倒傳遞類神經網路把輸入與輸出間的資訊映射變成一非線性最佳化的問題，並採用監督式學習(Supervised learning)，即由訓練資料中學到

或建立一個模式(Learning model)，並依此模式推測新的實例。其計算方式是採用最陡坡降法來調整參數，再經由迭代運算來求取更精確的解。

4.5 專家系統使用者操作介面設計

一般使用CLIPS所建立的專家系統，使用者是透過文字命令的方式與系統交談，並在交談過程中輸入事實內容，並由CLIPS推論引擎進行推論。在圖4.5-1所示的交談視窗中，它雖然是一個Windows視窗，但它仍是以命令的方式與專家系統交談，並不合適應用在Web-based橋梁檢測評估專家系統中。主要是因為Web-based應用程式與Windows程式的本層與架構是完全不同的，無法直接使用，所以在專家系統使用者操作介面需要重新設計，需配合NCREE-BMS的Web-based技術架構才能結合與使用。

專家系統使用者操作介面與專家知識擷取視覺介面設計相同，使用Web-based技術設計，並以HTML 5實作使用者介面，主要的差異在於介面的使用者不同。專家知識擷取視覺介面是提供給專家及知識工程師使用；而專家系統使用者操作介面則是提供給橋梁管理人員使用。工程人員執行橋梁檢測工作後，並將檢測的資料建置在NCREE-BMS系統中之後，即是透過專家系統使用者操作介面，設定要推論的資料範圍，例如某一座橋梁、某一次的檢測，並交由橋梁檢測專家系統進行推論。操作介面將採用非同步的設計概念，所以當需要執行推論的時間較長時，亦不會造成操作介面鎖死卡住的問題。

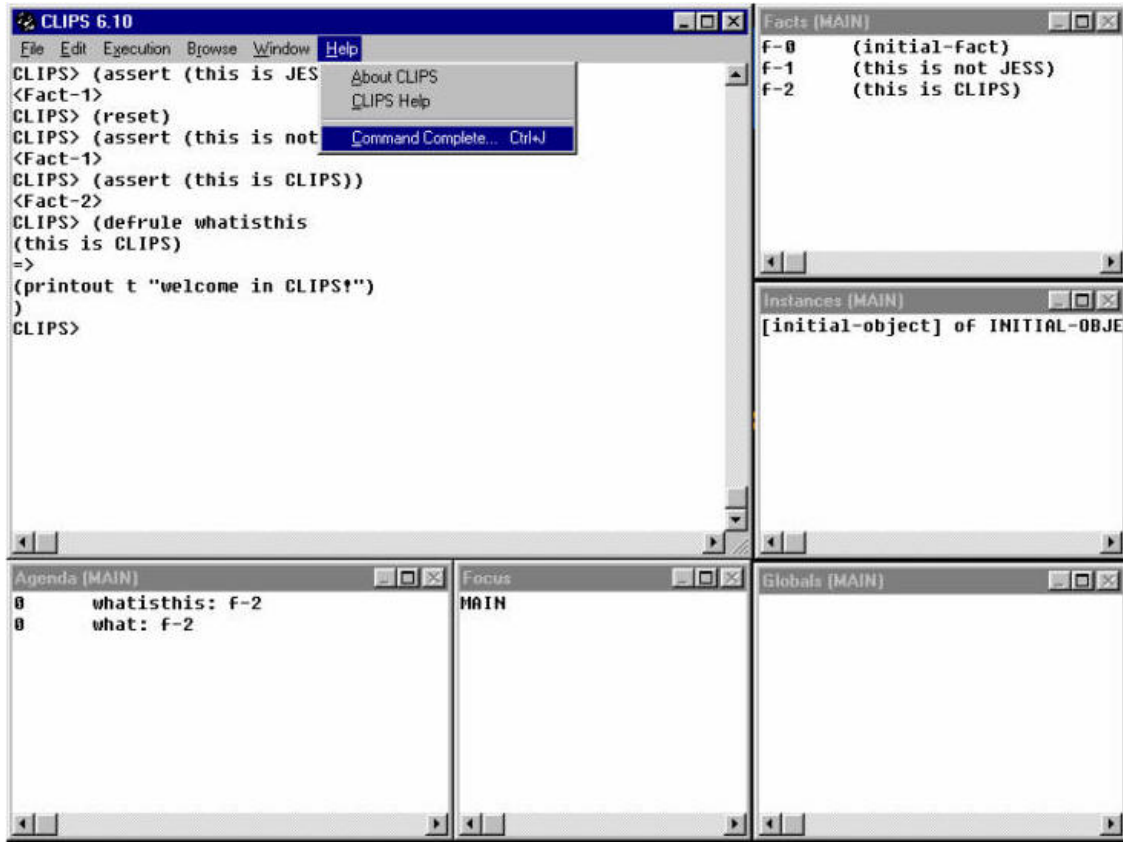


圖 4.5-1 CLIPS 交談視窗

4.6 橋梁檢測資料與法則資料庫管理設計

知識庫是專家系統運作重要的核心，要能完整將專家的知識建立置知識庫中並不容易，伴隨知識庫逐漸完整的過程，知識庫的管理將更為重要，例如：有時同領域的專家，但是對於判定的法則有不同的見解，此時若未加以管理，而將這些法則建置或混雜在同一個知識庫中，容易造成推論出錯誤的結果；又如：不同的管理單位，對於決策的輕重不一定完全相同，此時，知識庫需要配合不同的管理與應用需求，擴充不同的判斷法則，以符合實際應用之需求。

所以此部份的設計將採用類似程式設計中命名空間(Namespace)的

觀念管理知識庫，可以讓使用者在進行推論前，可以從法則資料庫中，選取合適的知識庫進行推論的工作。

法則式知識庫與矩陣式知識庫是兩種完全不同的結識型式，應用的方式也完全不同。它們反應人類的學習知識與應用知識的過程，通常知識未被有系統地歸類與整理時，就像矩陣式知識庫，是由許多案例的經驗所累積，並不一定能解譯為何，但是能給出一個接近且合適的答案；但在具有一個穩定與可靠的矩陣式知識庫後，若能再加以分析、歸納與整理後，即可以得到矩陣式知識庫中的法則，重新以法則的觀念定義知識，形成法則式知識庫。建議 NCREE-BMS 可以依據此方法應用，參考圖 4.4-2 應用流程，逐步建立矩陣式知識庫，以有效處理橋梁評估的問題，待矩陣式知識庫穩定後，再逐步建立法則知識庫，並和矩陣式知識庫相互驗證。

無論矩陣式知識庫或法則知識庫，其重點在於協助橋梁檢測評估，只要評估結果正確，並無絕對好壞之分，唯應用法則式知識庫，使用者可以掌握那些法則被觸發，可以掌握所有推論的細節，而不單純只是得到一個結果，在橋梁檢測評估後，要進行維護與補強有較高的參考價值。

第五章 成果展示

依據上述章節設計，橋梁檢測專家系統架構如圖 5-1 所示。系統為 NCREE-BMS 的擴充模組，使用與 NCREE-BMS 相同的資訊技術，採用 Web-based 應用程式架構，底層平台使用 .NET Framework，網頁使用 ASP.NET MVC 進行設計，專家系統的部份以整合 CLIPS 為主，類神經網路分析核心為輔，資訊整合透過 NCREE-BMS 資料服務匯流與 NCREE-BMS 資訊整合。

圖形化操作介面實作的部份將包含：專家知識擷取介面、使用者操作介面與資料分析介面，這些介面的實作將使用 HTML 5 技術完成。後續章節將以畫面方式展示成果。

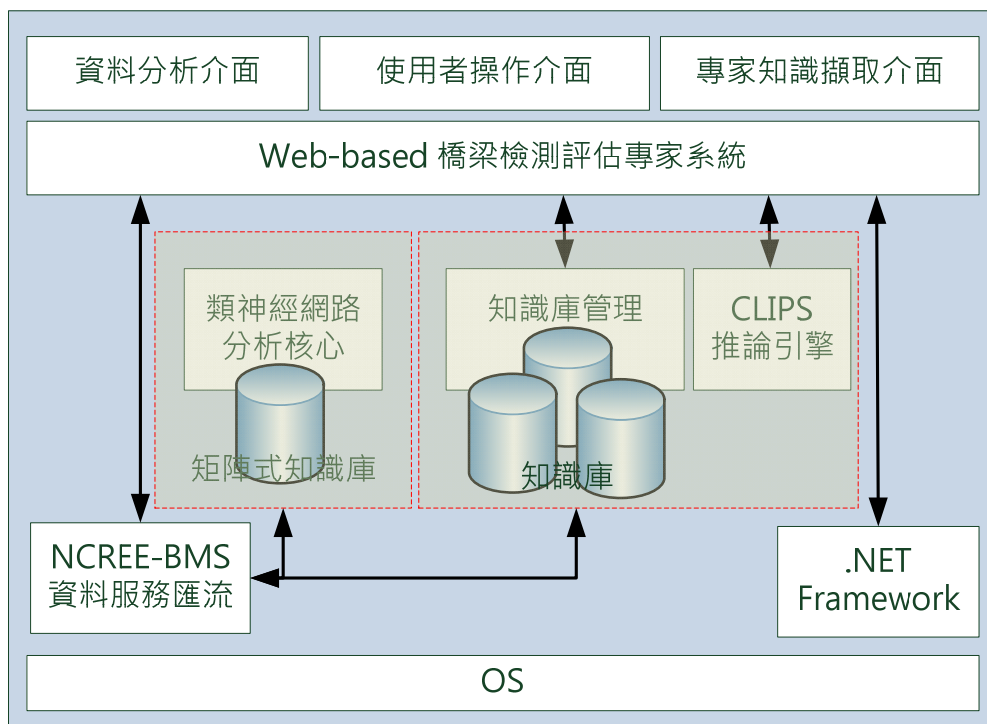


圖 5-1 橋梁檢測專家系統系統架構

5.1 專家知識擷取視覺介面

專家知識擷取視覺介面成果如圖 5.1-1 及圖 5.1-2 所示。

在圖 5.1-1 中，為一個評估法則知識庫管理介面，知識庫清單中包含個體與法則之定義，呈現方式以清單方式呈現，個體與法則均可以有組個體與多組法則之展示。

在圖 5.1-2 中，則為法則知識庫編輯頁面，編輯區中，區分為法則基本資訊，與法則內容二大區域，法則基本資訊包含法則名稱、法則專家、適用橋梁類型、適用構件類型、法則版本等等；法則內容區則是 If/Then 判斷條件之編輯區，以圖形介面操作的方式建立，各項條件之符號均與 NCREE-BMS 連結取得，所以當 NCREE-BMS 建立新的評估項目時，亦可以在此編輯頁面中取得新增的評估項目。法則內容區上半段為判斷條件部份；下半段為結論產出部份，當此法則被推論引擎觸發後，即會在 CLISP 的工作記憶體中加入新的事實，並進入下一個遞回的推論中。



圖 5.1-1 專家知識法則管理



圖 5.1-2 專家知識擷取視覺介面

5.2 法則推論引擎整合

CLIPS 推論引擎實作的成果是以程式庫的方式呈現，程式庫的應用則是透過專家知識擷取視覺介面與專家系統使用者操作介面進行操作，執行橋梁檢測推論的工作。

實際的成果包含二個部份，其一為程式庫類型的 CLIPS 程式庫，此部份會配合作業系統的特性，編譯產出適合該作業系統環境之程式庫，此程式庫為原生程式庫(Native Library)，無法直接使用，仍需要一個 Wrapper Library 進行包裝，才可以被系統使用；其二則為包裝 CLIPS 原生程式庫的 Wrapper Library，透過此包裝，讓 CLIPS 可以運作在 .NET Framework 作業環境中。

上述二個部份中的第一個部份，是由 CLIPS 官方提供的原始程式進行重新編譯即可；第二個部份則需要使用 .NET Interop Service 技術進行實作，讓 .NET 的應用程式可以呼叫 C 程式庫。

5.3 類神經輔助專家系統分析核心

類神經輔助專家系統分析核心透過資料分析介面與研究人員互動，開發成果如圖 5.3-1 與圖 5.3-2 所示。

圖 5.3-1 為矩陣式知識庫的訓練及驗證畫面，可以在編輯區中描述類神經網路之組成方式，包含輸入層、輸出層及隱藏層之定義以及層數、訓練次數、誤差值等等。另外，亦包含該神經網路其它屬性之基本資料，例如：知識庫名稱、專家姓名、版本資訊、適用之橋梁類型、適用之構件類型等等。編輯區下方為用來訓練該類神經網路之資料，可以由專家

輸入評估之參數或分數，建立基礎的訓練資料；完成學習與訓練之類神經網路，可以透過測試與驗證模式之使用者介面進行驗證，所有訓練的過程與資訊則使用圖表的方式呈現，讓專家瞭解訓練收斂的狀況，參考圖 5.3-2 所示。

The screenshot shows the NCREE-BMS web application interface. The browser address bar indicates the URL is localhost:58914/ExpertSystem/ANN/Training. The page title is "橋面板耐久性 類神經網路". The interface includes a navigation menu on the left, a search bar, and a main content area with input fields for training parameters and a table of training data.

Training Parameters:

- 知識庫: 橋面板耐久性
- 知識專家: 蔡益超
- 橋梁類型: RC橋
- 構件類型: 橋面板
- 版本: 1.0
- 隱藏層數: 1
- 訓練次數: 1000
- 誤差值: 0.01

Training Data Table:

<input type="checkbox"/>	裂縫密度	裂縫寬度	=>	裂縫狀態	驗證	動作
<input type="checkbox"/>	0	0	=>	0	0.0249	刪除
<input type="checkbox"/>	1	1	=>	1	0.8140	刪除
<input type="checkbox"/>	0.5	1	=>	0.8	0.7362	刪除
<input type="checkbox"/>	1	0.5	=>	0.6	0.5939	刪除
<input type="checkbox"/>			=>			新增

共訓練 21 次

The interface also features a neural network model diagram showing "裂縫密度" and "裂縫寬度" as input nodes, "類神經網路評估" as the central processing node, and "裂縫狀態" as the output node.

圖 5.3-1 資料分析介面#1

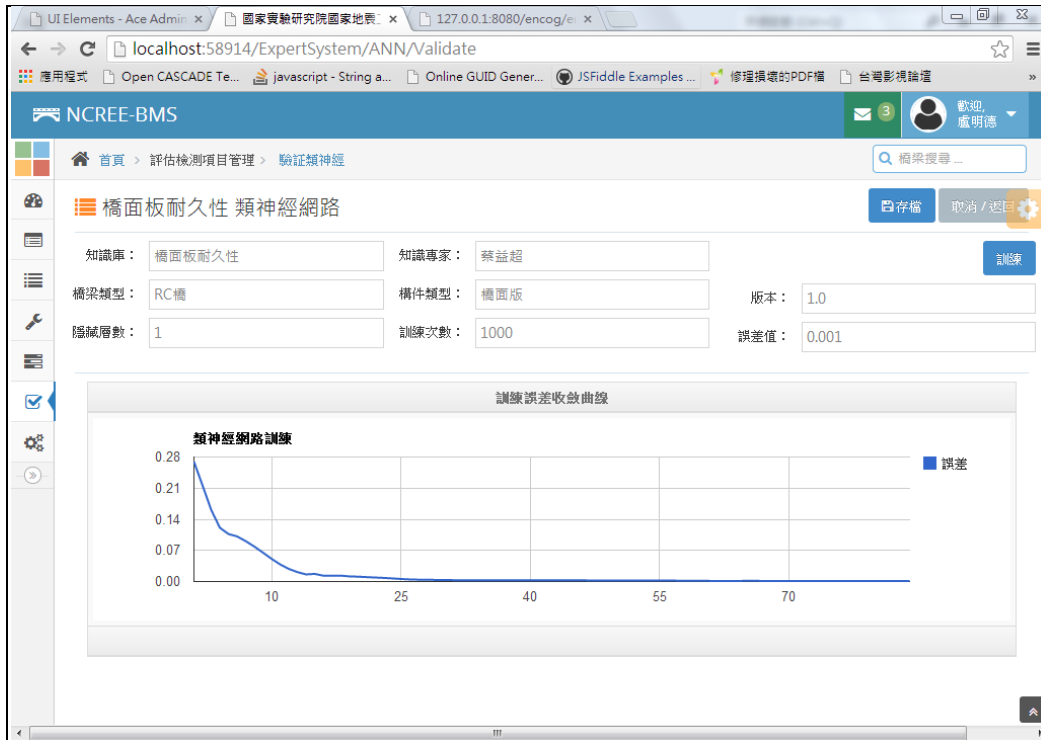


圖 5.3-2 資料分析介面#2

5.4 專家系統使用者操作介面

專家系統使用者操作介面提供橋梁管理人員操作專家系統之介面，成果如圖 5.4-1 所示。

畫面左方為推論記錄，可以透過新增方式，建立多組推論分析，其管理架構亦是以樹狀結構方式呈現。

畫面上方為編輯區，橋梁管理人員輸入橋梁檢測資料的查詢條件，用來取得由工程人員所建立的檢測資料，這些條件包含橋梁名稱、構件、檢測日期、評估項目等等；系統將依據選定的評估方式對這些檢測資料進行評估，知識庫的選取可以依不同專家、不同的管理需求或是不同版本的知識庫，用以驗證與比較不同知識庫之比較結果。推論結果除了以表格式呈現推論結果之外，亦配合圖表的方式展現，讓管理人員易於瞭解推論結果。

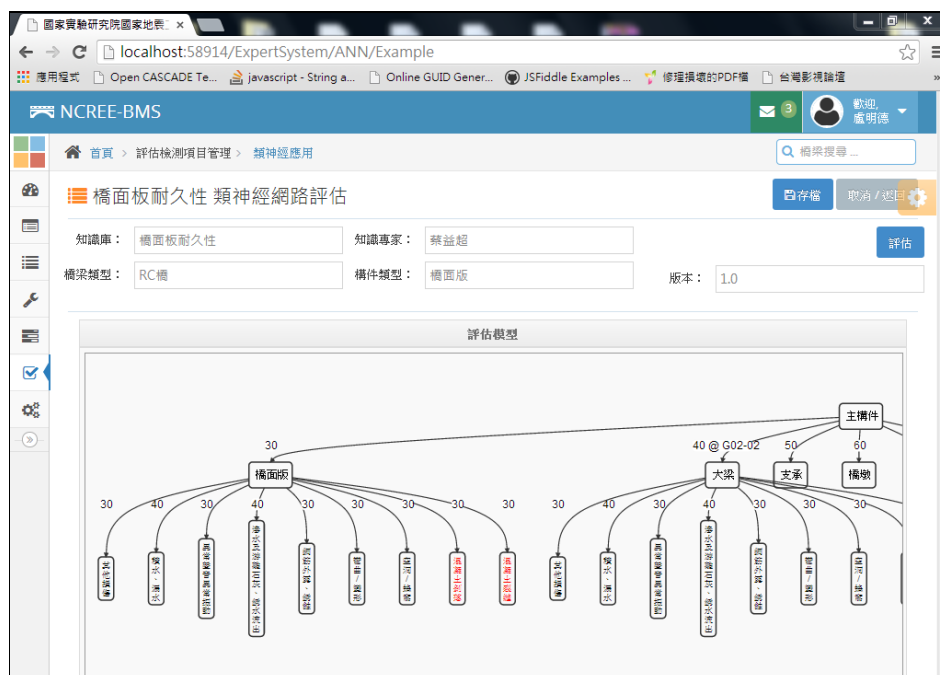


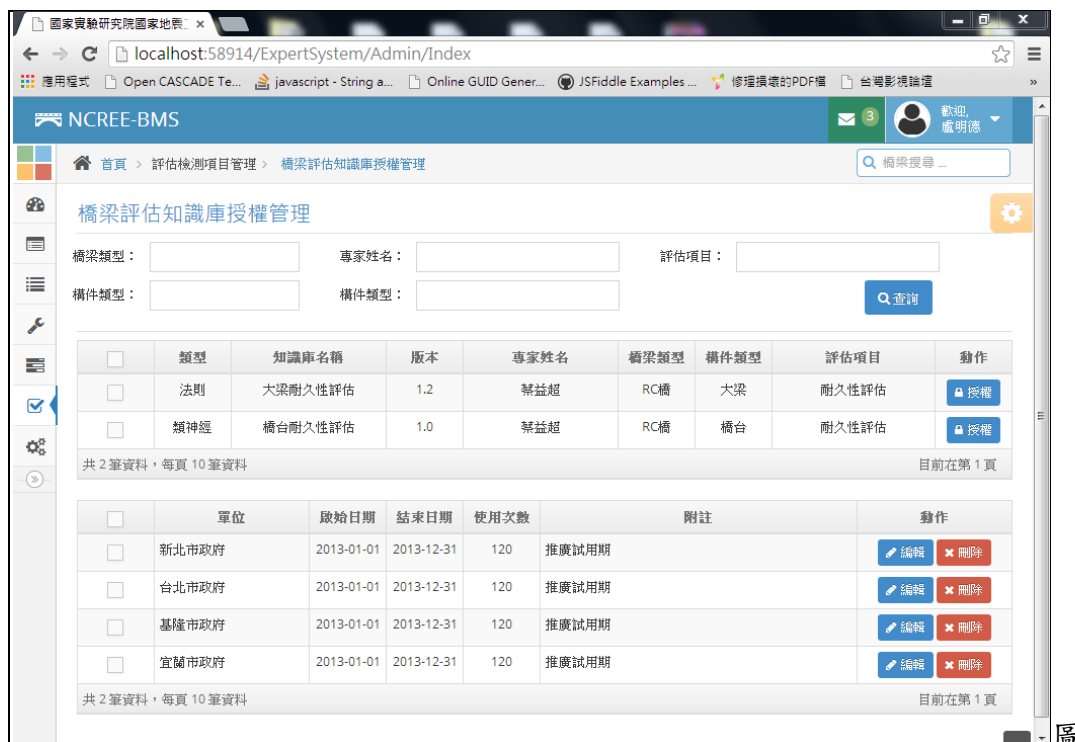
圖 5.4-1 專家系統使用者操作介面

5.5 橋梁檢測資料與法則資料庫管理

法則資料庫管理操作介面提供系統管理人員管理知識庫之介面，成果如圖 5.5-1 所示。

畫面上方為知識庫，知識庫包含法則式與矩陣式知識庫，項目內容則包含專家姓名、知識類型、知識庫名稱、知識庫版本等等，系統管理人員並不負責新增與編輯知識庫，系統管理員主要的工作為管理知識庫的授權範圍等等。

畫面下方則為授權編輯區，主要提供系統管理人員可以看到知識庫的授權情形，並可依需要增加或調整授權的應用範圍，例如某些知識庫僅能應用在某些單位，某些知識庫尚為測試階段，僅研究人員可以使用等等。



The screenshot displays the 'Bridge Evaluation Knowledge Base Authorization Management' interface. It includes search filters for bridge type, expert name, and evaluation item. Below the filters are two tables:

<input type="checkbox"/>	類型	知識庫名稱	版本	專家姓名	橋梁類型	構件類型	評估項目	動作
<input type="checkbox"/>	法則	大梁耐久性評估	1.2	韓益超	RC橋	大梁	耐久性評估	授權
<input type="checkbox"/>	類神經	橋台耐久性評估	1.0	韓益超	RC橋	橋台	耐久性評估	授權

共 2 筆資料，每頁 10 筆資料 目前在第 1 頁

<input type="checkbox"/>	單位	啟始日期	結束日期	使用次數	附註	動作
<input type="checkbox"/>	新北市政府	2013-01-01	2013-12-31	120	推廣試用期	編輯 刪除
<input type="checkbox"/>	台北市政府	2013-01-01	2013-12-31	120	推廣試用期	編輯 刪除
<input type="checkbox"/>	基隆市政府	2013-01-01	2013-12-31	120	推廣試用期	編輯 刪除
<input type="checkbox"/>	宜蘭市政府	2013-01-01	2013-12-31	120	推廣試用期	編輯 刪除

共 2 筆資料，每頁 10 筆資料 目前在第 1 頁

5.5-1 法則資料庫管理介面

第六章 結論與建議

6.1 結論

1、專家系統知識庫：

(1)以命名空間觀念管理知識庫，有助於針對不同的評估項目，選定不同的知識庫，對於不同專家所建立的知識庫亦可以有效地區分應用與比較。

(2)使用類神經網路所建立的矩陣式知識庫，與法則式知識庫相輔相成，將有助於彌補部份法則不夠完備時之應用。

2、專家系統推論引擎：

(1)CLIPS 是開發專家系統專用的工具，已廣完使用且隱定可靠，所以本研究整合以 CLIPS 為推論引擎，做為專家系統之核心。

(2)類神經網路分析核心將使用可以與 CLIPS 相容之程式庫，其學習所得之矩陣式知識庫，亦做為橋梁檢測推論之應用。

3、專家系統介面：

(1)結合 Web 技術與 HTML 5 所發展之使用介面，可以提供知識工程師與使用者操作專家系統之介面，透過圖形化操作的方式，減少過多文字命令之記憶，提高個體與法則編輯之準確性。

(2)程式介面的部份則結合 NCREE-BMS 的資料服務匯流，提供專家系統與主系統之間的連結，用以取得建構在主系統中的各構件的評估項目，用以進行法則知識庫之編輯；以及取得橋梁構件的檢測資料，用以進行橋梁耐洪、耐震、耐久等項目之評估。

6.2 建議

1、建立專家系統知識庫是一個循序遞回的過程，初期法則知識庫的法則較少，有時可能無法得到完整的評估結果，需要不斷擴充與驗證，方可以得到可信度高的評估結果。

2、要以類神經網路輔助建立矩陣式知識庫，需要學習、驗證的範例，目前 NCREE-BMS 中的橋梁檢測方式是一套有別於 DER&U 的檢測方法，目前尚無橋梁檢測之歷史記錄，所以需要花費較長時間，依據檢測項目逐一檢測，並由專家完成評估工作，並建立多筆評估資料，方可以應用類神經網路。

參考文獻

- 黃裕斌，「模糊專家系統應用於鋼筋混凝土橋梁目視檢測評估研究」，1997
- 王詠民，「橋梁檢測評估專家系統之研究」，1997
- 柯天祥，「知識庫專家系統於橋梁目視檢測之應用」，2000
- 邱郡南，「網路專家系統建置之研究—以震後橋梁快速檢測專家系統為例」，2001
- 宮本文穗，「Bridge Management System 開發と GA による最適維持管理計畫」，2000
- 劉昭復、蔡昌均、蔡定谷，「專家系統發展簡史」，1998
- 曾繁絹，「專家系統淺論」，李德竹編著，資訊科學與技術專題論輯，1995，頁 289
- 葉怡成，「類神經網路模式應用與實作」，儒林圖書公司，2009
- Beverly K. Duval and Linda Main, "Expert Systems: What is an Expert System?" Library Software Review 13, no. 1, 1994, 46
- Ralph Alberico and Mary Micco, "Expert Systems for Reference and Information Retrieval," 1990, 23-25
- Susan B. Ardis, "What is an expert system?" 1990
- Frederick Hayes-Roth, "Knowledge Systems: An Introduction," Library Hi Tech 10, no. 1-2, 1992
- Anne Morris, The Application of Expert Systems in Libraries and Information Centres, 1992, 10-11
- Joseph C. Giarratano, and Gary D. Riley , "Expert Systems: Principles and Programming", Course Technology, 1998

CLIPS 網站：<http://clipsrules.sourceforge.net/>

FuzzyCLIPS 網站：<http://en.wikipedia.org/wiki/FuzzyCLIPS>