



# 橋梁生命週期 防災管理系統 建置技術 研發現況與探討

宋裕祺／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 組長

陳俊仲／國家地震工程研究中心 副研究員

許家銓／國家地震工程研究中心 助理研究員

周光武／國家地震工程研究中心 副研究員

洪曉慧／國家地震工程研究中心 研究員

張國鎮／國立台灣大學土木工程系 教授

## 前言

橋梁連結各公路與鐵路等交通運輸網路，確保橋梁結構安全使其長期具備正常服務使用功能，對於社會經濟活動相當重要，尤其在政府透過推動經濟建設的同時，持續提升大眾生活品質更應保障人民生命財產安全，讓各項公共工程維持使用性與服務安全。本文闡述橋梁生命週期防災管理系統建置技術研發現況並探討持續性的研究課題，訂定研發目標為整合橋梁結構生命週期各階段所需技術，以建構有效且完整之橋梁防災安全管理服務平台。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。目前 TBMS 係以 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，但由於不同檢測人員之判斷結果可能產生較大差異，必須仰賴更客觀且較具一致性的標準或作業

規範協助<sup>[1]</sup>。規劃、設計、施工、維護與拆除為橋梁生命週期五個階段，其中維護營運階段為期最長，尤其對於台灣橋梁而言，因地理位置屬於發生地震、風災與水災等多種天然災害頻繁的地區，橋梁服務期間受到諸多因素影響和威脅，對於橋梁防災的管理更為重要。近幾年，如何強化防災管理已成為橋梁管理單位相當重視的課題之一，目的在延長橋梁使用年限並有效發揮橋梁服務功能，減少橋梁結構受天然災害和老劣化因素影響損壞造成生命財產損失意外。以生命週期之觀點，應用新思維與新技術導入橋梁評估檢測與管理工作，已深受各先進國家的重視，均積極投入相關研究與開發資源，在此趨勢下，鑑於台灣橋梁已逐漸邁入高齡化，對於各橋梁構件結構服務能力隨時間之變化，更應加強研究瞭解與掌握。本研發目的在建置一套符合實務現況使用的橋梁生命週期防災管理系統，市場目標為輔助國內橋梁管理及維護相關單位，使其瞭解橋梁構件劣化趨勢，包括耐久能力、耐震能力與耐洪能力等因素，同時對於構件劣化改善提供有效的因應對策、管理建議與具體執行做法。

由於橋梁存在許多不同的型式和類別，如何有效進行橋梁管理業務持續面臨許多困難和挑戰，藉由 TBMS 內部資料庫儲存橋梁資訊，可協助各橋梁管理機關具有掌握橋梁基本狀況之工具，滿足橋梁管理工作最基本要

求，也具體開啟了台灣橋梁管理業務，但針對不同橋梁管理單位和特殊橋梁型式等，仍需力求客製化以及適用性。此外隨著區域經濟發展交通路網開發，相應於各式天然災害頻率與規模有擴大之趨勢，相關工程研究學理亦與日俱進，新橋和舊橋基於不同興建年代，因此採用的設計規範並不同，對於設計標準亦有不同，加上跨河橋梁水害問題，目前對橋梁長期冲刷現象仍缺乏真正有效具體之因應措施。而在執行防災作業上，必要時必須封閉橋梁通行，以避免用路人受到可能之橋梁災害，但直接影響了交通便利性，如何藉由發展可靠防災管理方法與制度，並進行適當且即時的應變作業處理，已是非常重要的且必須面對解決的議題。橋梁維護管理預算礙於政府財政同樣面臨許多困窘的情況，僅以有限之預算進行橋梁養護維修作業，如何將資源最大化，亦是橋梁安全與養護工作相當大的挑戰。

本研究長期重點為改進橋梁耐震評估與補強技術、研發橋梁新工法與新技術、提昇橋梁耐震技術，增進既有橋梁與新建橋梁之耐震性能與壽命，達到橋梁結構永續發展之目標。本文針對團隊在橋梁生命週期防災管理系統建置研發現況進行說明，包括系統架構和系統各分工模組，同時探討相關應用規劃和技術發展方向，配合整體研發目標之方向，未來將持續針對橋梁結構因應震前準備、震時應變、震後復建之需求，強化耐震減災工法之研發與應用，發展震災模擬與風險評估、監測預警與快速診斷、災害應變與災後復原等技術，且因應複合型災害，從單一災害防治走向多重災害研究。藉由相關技術規劃與研發現況說明，期待有機會將研發技術成果效益擴大，長期將整合橋梁結構生命週期各階段所需技術，建構務實有效之橋梁防災安全管理服務平台，優先輔助國內各橋梁管理養護單位，提昇橋梁防災管理效益。

## 研發架構<sup>[15]</sup>

本研究以建置橋梁生命週期防災管理系統為目標，最主要的特色是融入橋梁全生命週期的管理概念，建立一套具創新的橋梁防災安全管理與評估機制。研發系統暫以 NCREE-BMS 命名，遵循交通部頒之最新橋梁檢測與補強規範內容，提供更完整的橋梁評估項目，以記錄完整的檢測資料為主，減少檢測人員主觀的評分方

式，提高橋梁實際損壞狀況資訊之完整度，讓專家能精準地協助橋管人員進行判斷。除此之外，由於台灣地處多天然災害發生之地區，其中震災與洪災直接造成橋梁的為害甚劇，環境等因素造成橋梁構件老舊劣化的情形，亦是重要的危害因素之一，所以針對耐洪、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。一般橋梁管理主要以公路橋梁為主，所以資料項目大部份配合公路橋梁之結構型式進行資料管理，其檢測與評估亦是以此類型為主，所以若將此檢測與評估系統應用在不同應用類型的橋梁或不同結構類型的橋梁時，則常有不適用之情形。為能使橋梁管理系統更具彈性，本研究將建立一個較為彈性擴充的方式，可以針對特殊應用類型或結構類型的橋梁進行擴充，除了建立基本資料之外，其相關的檢測與評估項目亦可以對應擴充，以更符合橋梁管理應用之需求。

目前各橋梁管理單位使用 TBMS 時，仍以橋梁基本資料查詢，以及針對橋梁檢測維修紀錄進行資訊管理與統計分析功能為主，因此相關研究單位均戮力於強化橋梁管理系統對耐洪能力、耐震能力、載重能力及老舊劣化情形之掌握。有鑑於此，本研究規劃整合橋梁結構、管理、資訊等各領域學者與專家，並結合理論和實務經驗，強化與落實橋梁管理系統對橋梁耐洪能力、耐震能力、載重能力及老舊劣化情形之評估技術，因此研提系統規劃做為後續持續應用研究發展之基礎。系統研發分工上可區分針對長期性的檢測維護作業及老劣化資訊紀錄和評估功能，短期性則是針對橋梁工址地震事件和洪水事件進行災害警示功能，本研究透過應用思維，為簡化並修訂橋梁現場檢測項目架構，故對於橋梁檢測作業項目與評估工作架構，對檢測者與評估者之角色進行明確的分工，將檢測與評估進行系統性區隔與邏輯的分工，提高執行上的可行性，並具技術創新性。

## 系統特色

NCREE-BMS 包含之橋梁檢測資料庫，其目的不僅在於更新與突破現有橋梁管理系統之管理機制，更希望結合資訊技術能讓橋梁管理更為便利與有效，以達到落實橋梁安全管理之目的。考量長期研究與後續應用規劃需要，建置之系統具備以下特色<sup>[2,3]</sup>：

1. 系統模組化擴充設計：為避免系統封閉不易擴充之問題，藉由資訊技術應用，提高系統擴充與應用之

靈活度，以達到應用單位對於耐洪能力、耐震能力、載重能力及老舊劣化評估模組可以彈性擴充之目的，並考量橋梁管理系統未來雲端佈署之可能性，提供資訊匯流之程式介面，可以供其他應用系統存取資料，進一步協助使用者進行分析與管理之應用。基於此特色，系統建置結合了地震與洪水災害離災模組，當地震或洪水發生時，可即時於系統提供必要之資訊提供離災警示及先期應變作業評估功能。

2. 行動資訊連結技術整合：行動裝置已普及，研發系統時均持續考量如何應用行動技術於橋梁檢測工作，以達到便利檢測資料建立之目的，現階段已初步完成平板系統行動化表單模式介面，持續配合資訊科技技術開發，未來有機會將進一步結合無人載具或遠距非接觸式橋梁檢測輔助工具等新式行動化硬體設備。
3. 空間資訊擴充技術整合：完整的空間資訊亦是橋梁安全管理重要的一環，包含二維甚至三維之構件模型，均是強化橋梁安全評估的重要資訊，系統已考量相關資訊的管理方式與擴充介面，以利後續擴充應用。
4. 規範檢測項目及劣化樣態資料庫整合：考量橋梁檢測成果應符合交通部頒規，故於研發階段即參照交通部 104 年「公路鋼筋混凝土結構橋梁之檢測及補強規範」及 97 年「公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範」所規定橋梁檢測作業需完成之檢測項目，將各檢測項目、表格參數及相關子表和圖說，建置於研發之系統資料庫，除方便電子化表單建置外，亦簡化橋梁檢測作業人員於現場查閱紙本資料之作業時間，並確保經由 NCREE-BMS 檢測模組完成之檢測報表能完整符合規範要求。

### 基本架構

NCREE-BMS 依據不同的管理與應用方式，區分為網路層級、專案層級與構件層級。構件層級是其它層級應用的基礎，屬

於橋梁管理系統的基礎功能，包含橋梁構件管理與圖形管理。系統研發階段，經訪談部分第一線橋梁檢測工程師，通常進行現地作業時，檢測人員通常習慣於紙本及平立示意圖說，直接標記橋梁損壞狀況，此記錄與評估方式未來規劃結合行動裝置或具輔助性的硬體工具，藉由構件模型顯示技術，除將目視檢測資料直接建檔之外，亦可以構件模型整合，將更有利於專家對於損壞狀況的判讀。而在系統規劃方面，使用關聯式資料庫一直是實現橋梁構件管理的主要方式，除了橋梁構件化的屬性資料之外，時間序列管理亦是重要的一環，欠缺時間序列管理，就不易反應出構件損壞及維修歷史狀況及計算構件的維護成本。除構件資料模型之資料庫建構外，研發的系統朝向服務導向架構設計，在資料層面提供完整網路服務應用程式介面，建構成 NCREE-BMS 資料匯流的整合概念（參考圖 1 所示）。透過 NCREE-BMS 資料匯流提供之服務程式介面，NCREE-BMS 主系統可與耐震能力評估模組、耐洪能力評估模組、載重能力評估模組、老舊劣化評估模組等應用系統整合，透過此服務整合方式，系統與其他擴充功能系統的設計將更有彈性，可以使用系統擴充的方式建置在一起，也可個別建置，保有個別系統可以獨立維護之彈性，減少日後可能需大幅調整系統架構之成本。和多數橋梁管理系統類似，NCREE-BMS 依功能區分研發架構規劃多個不同模組，包括橋梁基本資料、檢測紀錄、專家系統、離災警示、維護管理、成本效益、系統設定及資料交換等模組，目前部分模組已進入現地作業試辦階段，協助橋梁

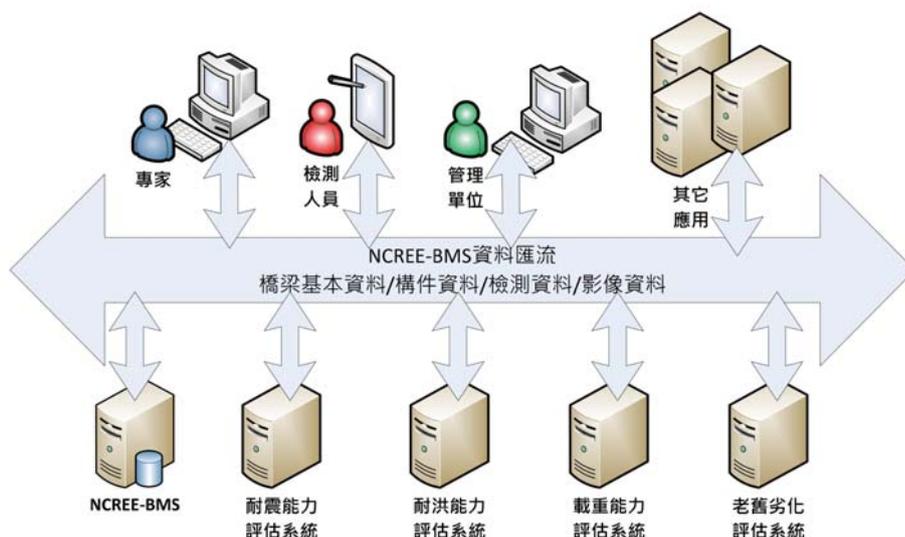


圖 1 NCREE-BMS 資料匯流概念

檢測工程師於現場以高效率模式詳實紀錄檢測成果，並可藉由系統客製化服務，輔助相關橋梁管理單位進行防災管理業務，系統模組研發現況於後節進行說明。

## 系統模組研發現況

### 橋梁檢測紀錄模組

一般而言，橋梁檢測人員在現地可透過手動編輯和量測輔助工具，如結構裂縫影像識別模組，詳實標記構件劣化樣態，並拍攝照片以標記檢測之構件，方便後續進行評估與瀏覽。NCREE-BMS 系統研發架構特色之一，即嘗試建立專業之分工作業模式（參考圖 2 示意），由橋梁檢測團隊依循部頒規範及管養單位制定之作業手冊，完成符合評估需求之橋梁檢測紀錄，並將檢測紀錄上傳至後端管理系統資料庫後，再由系統協助完

成檢測成果評估自動化報表，可節省橋梁檢測作業人員在現地進行評估所需之時間，降低現場作業風險，並透過後端標準化之評估資料庫以及專家決策系統，提高檢測成果之客觀性。

檢測模組之主要目的，為輔助橋梁檢測工程師於現場以高效率模式詳實紀錄檢測成果，其檢測相片張數及系統處理工序以通用為原則，力求以短時間及高效可靠的方式完成檢測成果檢視及報表紀錄，使檢測成果得以詳實完整的紀錄，NCREE-BMS 系統之檢測模組資料處理程序流程如圖 3。由專業檢測技術人員，參照橋梁結構構件圖說編號及方位定義，以目視方式於現場進行構件劣化標記，現場需以拍照方式記錄結構劣化樣態，取得分批對應不同構件及位置資訊之劣化樣態與其它紀錄照片後，即上傳至 NCREE-BMS 檢測模組資料庫或暫



圖 2 檢測與評估專業分工作業模式（本研究研提）



圖 3 應用 NCREE-BMS 檢測模組之資料處理程序

存於輔助工具資料儲存空間，接續由專業評估研究人員上線或取得儲存資料，進行各構件劣化樣態評估填列，由於 NCREE-BMS 檢測模組內建資料庫，係以交通部最新頒之公路橋梁結構檢測與補強規範為資料架構，因此也確保填列完成之檢測紀錄，均能完整符合規範精神與其定義之檢測項次描述和分級，完成填列後 NCREE-BMS 可自動化產生檢測報告項次報表，並由各構件檢測紀錄報表，可具體且清楚掌握經目視檢測作業，所紀錄的各構件位置、劣化樣態、程度及備註資訊，對後續檢測成果評估工作有非常大的幫助。

### 橋梁耐震評估模組

為符合 NCREE-BMS 初期研究應用需求，本研究主要參考以新北市為應用例發展的一套區域型的地震災害損失推估系統 (NTPC Earthquake Disaster Assessment System, NTPC-EDAS)，連結並持續擴充構成橋梁耐震評估模組。同時考量國家地震工程研究中心所發展的台灣地震損失評估系統 (Taiwan Earthquake Loss Estimation System, TELES)，已建立台灣本土化的分析模式及參數值，使得在地震災害的潛勢分析，及評估工程結構物的害狀況機率時，能更精確的得到其分析模式及參數值。目前已經可推估模擬在地震作用下的地表振動強度、土壤液化機率與永久位移值、一般建築物與公路橋梁的損害狀況機率和數量、人員傷亡程度和數值、一般建築物

與公路橋梁的直接經濟損失等。TELES 大致可分為地震災害潛勢分析、工程結構物損害評估、地震引致二次災害評估和社會經濟損失評估等四部分或四個主要模組。每一模組依評估的對象和內容的差異，又可細分為若干個次模組。其中在工程結構物損害評估的模組中，即包含橋梁損害狀況之分析，TELES 在橋梁耐震評估方面是採用橋梁易損性曲線，推估橋梁損壞之機率。TELES 之研究與發展著重在實用為導向，主要目的之一是提供標準且一致的地震災害損失評估方法，提供震災境況模擬、震災早期評估及地震風險評估這三個主要的應用方向，TELES 軟體除以單機作業模式運作之外，亦可以由「台灣地震損失模擬資訊網 (TSSD)」檢索地震模擬及災損推估之成果，或由「地震災情資訊上傳系統 (EDIUS)」瞭解震後各地方災情模擬與災情回報。耐震能力評估資訊連結模組即在整合上述地震災損推估的成果，並以橋梁主要內容，透過資料連結介面，接收由推估系統所推估之橋梁災損結果。

NTPC-EDAS 和 TELES 的災損推估架構並不相同，NTPC-EDAS 採用 Campbell's form 的衰減率公式推估 PGA 值，並以 500 m 為單位，將新北市區分為 8,000 多個網格，逐一進行建築物與橋梁等重要結構物的災損推估，其分析流程可參考圖 4 所示。在橋梁災害損失之推估方面，NTPC-EDAS 亦是採用橋梁易損性曲線之概念，推估橋梁損壞之機率。TELES 與 NTPC-EDAS 雖

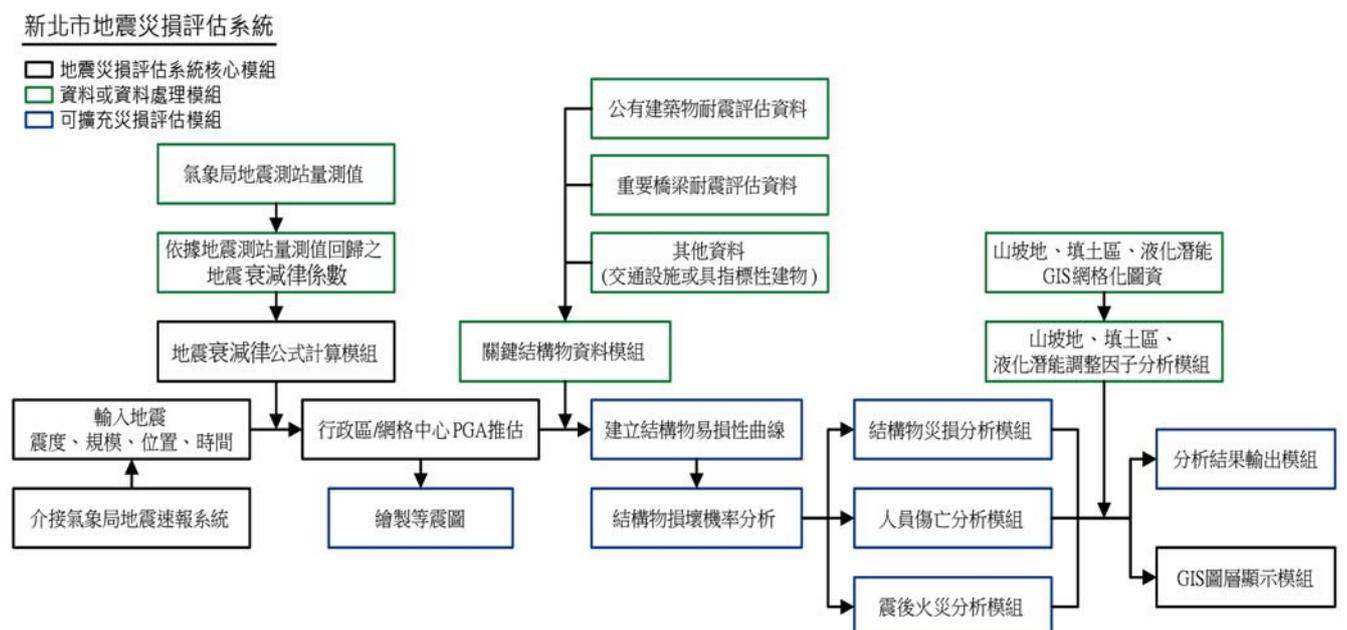


圖 4 NCREE-BMS 應用 NTPC-EDAS 之耐震評估分析流程

然均採用易損性曲線進行橋梁損壞機率之推估，但由於模擬地震之學理並不相同，其推估結果均可以應用於 NCREE-BMS 中，提供橋管人員比較參考。所以在橋梁耐震評估應用方面，NCREE-BMS 將採用開放式架構，設計資料傳遞介面，提供 TELES 或 NTPC-EDAS 之類的地震災損評估系統，透過此資料傳遞介面與 NCREE-BMS 連結，協助分析列管於 NCREE-BMS 中所有橋梁的損壞機率，並透過資訊儀表板的呈現方式，協助橋管人員可以於震前或震後，進行橋梁維護決策之參考。此外，NCREE-BMS 亦將整合中央氣象局的地震速報資料，於震後提供各地區的 PGA 及震度之結果，透過警戒值之設定，提醒橋管人員可以針對較有安全疑慮之地區，加派人力進行震後之橋檢工作。

### 橋梁耐洪評估模組

台灣夏天颱風發生的機率頻繁，其所帶來的大量豪雨往往造成河川水位暴漲，或是河道沖刷，對橋梁所造成的損壞，有時比地震更為嚴重。台灣颱風洪水研究中心 (Taiwan Typhoon and Flood Research Institute, TTFRI) 致力於颱風與洪水相關的研究，發展出定量降雨預報、水文模擬等等，對於橋梁的安全管理非常重要。應用 TTFRI 已建立台灣集水區降雨量預測，以及重要河流的沖刷評估與水位變化預測等資訊，NCREE-BMS 將擴充資料連結介面，將 NCREE-BMS 系統與洪水水位預報、集水區降雨量預報自動化連結，能定時取得這些預測的水位資訊，並可與橋梁管理系統中的橋梁基本資料與警戒資料連結，當預測水位已達橋梁設定的警戒值或行動值時，除了結合資訊儀表板顯示之外，亦可以支援透過手機簡訊等方式，提醒橋梁管理單位之作業人員作緊急應變之應用。除了結合洪水水位預測之外，若要更進一步瞭解與掌握洪水沖刷造成局部沖刷深度影響，可以 Melville and Coleman 計算方法及 CSU (Colorado State University) 計算方法，去計算當洪水沖刷時，對橋墩所造成的局部沖刷深度影響，進而了解基礎裸露的情況，並且由計算分析結果，判讀橋梁的安全性，適時予以維護。

政府橋梁管理相關單位對於基礎裸露嚴重的橋梁積極地進行橋梁檢測及維修補強的工作，但由於人力及經費等資源均有限，需妥善運用現有的有限資源，以使橋

梁進行維護工作效益達到最高，因此本模組所提供的洪水水位預測資訊除了提供汛期警戒判斷之外，亦可以評估基礎沖刷裸露的程度的損壞程度，以利在進行橋梁耐洪補強優選排序，透過優選排序的評估結果，清楚地了解到橋梁的嚴重損壞程度，便於對基礎裸露嚴重的橋梁先進行維護及修補。目前 TTFRI 每日共提供四次（每六小時發送一次）未來三天橋梁河水位的高程預測及河水水位所造成之沖刷深度。資訊應用的方式是由橋管單位視橋梁之重要性，設定水位高程或是沖刷深度之警戒行動值，並藉由系統定期接收資料的過程中，進行所有橋梁警戒判斷，若達行動值時，可以透過系統郵件或是簡訊進行通知，協助橋管單位即早進行準備，以減少災害發生之機率。

### 鋼筋混凝土橋梁老劣化評估模組

由於台灣四周環海，屬於亞熱帶海島型氣候，夏季多雨，長年受海風影響，而橋梁為台灣地區用來連接河流兩岸之重要交通工程設施。一般而言，鋼筋混凝土結構物經由適當的規劃、設計、施工及確保混凝土保護層品質，即便處於惡劣環境條件下，鋼筋將能有效地被混凝土保護而免於腐蝕。近幾年來，國內外鋼筋混凝土構造物受到環境因素侵蝕，發生構件劣化甚至破壞之事件頻傳。國外方面，如美國普遍發現橋梁之橋面版劣化問題、歐洲發現沿海之結構物亦有嚴重之鋼筋腐蝕問題；國內方面，如廣為人知的海砂屋及澎湖跨海大橋，由於氯離子侵入混凝土內部引起混凝土開裂及保護層剝離的交互作用，導致鋼筋發生嚴重腐蝕等。事實上，這些構造物大多未達其設計使用年限前即需進行維修或補強，不但浪費社會的資源，也造成民眾使用上的不便。

混凝土劣化現象大致上包含中性化、鹽害、鹼質與粒料反應、凍害等現象，由於台灣地狹人稠，近幾十年工廠林立，隨著垃圾處理之問題衍生，垃圾焚化爐變得隨處可見，因此易發生具侵蝕因子之酸雨；且在部分人口密集區，汽機車排放超量的二氧化碳，更易使混凝土中性化加速及具有侵蝕因子侵入混凝土內部，進而與混凝土內部所提供鋼筋鈍性保護膜隨之減弱，發生鋼筋腐蝕、保護層脹裂等負面影響，進一步降低結構的安全性及使用機能。作者等人於先前之研究以混凝土中性化及鹽害為研究主軸，探討混凝土劣化模式對鋼筋混凝土橋

梁之時變衰退特性。在中性化方面，以既有鋼筋混凝土橋梁之中性化深度實測值建立以網格為基準之混凝土中性化深度預估模型；並且參考蘇進國（2008）及王傳輝（2005）之研究成果，探討中性化過程導致鋼筋混凝土橋梁內部鋼筋腐蝕，建立中性化混凝土鋼筋銹蝕模型，觀察中性化混凝土內部鋼筋銹蝕之時變特性。而在鹽害方面，則依據大氣腐蝕劣化因子年報試驗結果，以非線性回歸方法求得鋼筋混凝土橋梁於不同位置之飛來鹽量預測值；並參酌邱建國研究團隊之研究成果（莊育泰，2012；蕭輔沛等人，2012），建立鹽害對鋼筋混凝土橋梁之鋼筋腐蝕預測模型，觀察鋼筋腐蝕之時變特性。透過鋼筋混凝土橋梁之中性化深度及氯離子含量之驗證，並以結構生命週期為延伸，為鋼筋混凝土橋梁受中性化及鹽害之劣化過程建立其所需之耐震能力維修與補強費用分析。為了瞭解台灣各地環境對混凝土橋梁鋼筋腐蝕之影響，作者等人將劣化橋梁分析模式以網格化台灣地區劣化環境資料為基準，建立台灣鋼筋混凝土橋梁鋼筋腐蝕危害度地圖。橋梁鋼筋腐蝕危害度地圖之建立係以鋼筋混凝土橋梁強度衰減特性為依據，而橋梁強度之衰減主要係起因於鋼筋混凝土有效斷面積減少，本研究依據表 1 之模型參數，在鋼筋重量損失率為 5% 及 35% 的情況下，對台灣地區各網格進行鋼筋混凝土橋梁鋼筋有效斷面積損失率進行分析 [4,5,8,12]。

表 1 分析模型資訊

混凝土抗壓強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	鋼筋降伏強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	箍筋降伏強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	鋼筋 號數	鋼筋 支數
350	4200	2800	#10	46
保護層厚度 (mm)	水灰比	氯離子起始濃度 (kg/m <sup>3</sup> )	箍筋 號數	
50	0.55	0.3	#5	



圖 5 鋼筋斷面積損失率 5% (鹽害)

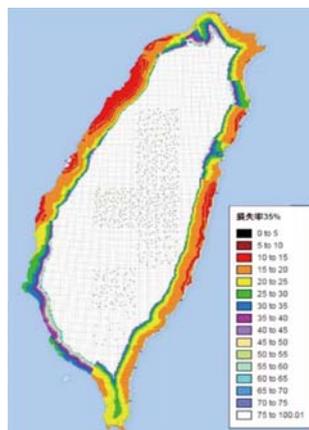


圖 6 鋼筋斷面積損失率 35% (鹽害)

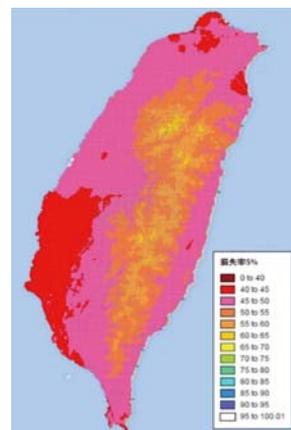


圖 7 鋼筋斷面積損失率 5% (中性化)

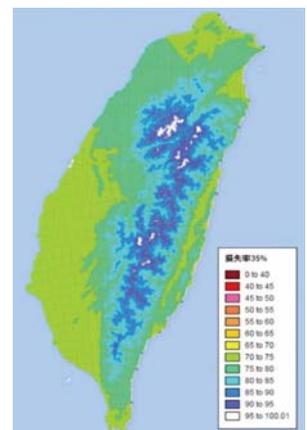


圖 8 鋼筋斷面積損失率 35% (中性化)

由圖 5 至圖 6 觀察出在中部沿海、新竹一帶及花蓮縣受到鹽害影響最為嚴重，次要嚴重地區為台北、基隆及台東，而台南高雄則為較為低，此現象與全臺氯鹽沉積速率有關。中性化災損現象較不嚴重，由圖 7 至圖 8 可觀察出，受到中性化影響較顯著的地區為中南部（台南、高雄）及北部都會區，中南部地區因有較多石化工業區以致空氣中二氧化碳濃度較高，二氧化碳較易入侵混凝土內部；台北都會區則因人口密集，汽機車使用涵蓋率較高，周邊則有桃園煉油廠，在此雙重效應作下，導致這兩區域之中性化現象發生機率較高。透過危害地圖可明確瞭解，依據不同劣化模式的情形，特定地區的危害災損程度較高，為了明確考慮該處之危害損失資訊，將危害地圖進行單一網格詳細的劣化資訊評估，透過保護層厚度、使用年期及鋼筋斷面積損失率等參數，探討不同的設計需求或是評估預測結構劣化之發展 [11]。

### 應用案例與相關技術探討

為提高研發系統工程實務應用性，本研發持續與相關顧問工程公司和橋梁管理單位密切合作，目前已可針對相關橋梁檢測及生命週期防災管理業務提供客製化之技術服務。其中 NCREE-BMS 檢測紀錄模組，透過系統部分客製化擴充需求，曾實際應用於台 86 線 24 號橋梁橋梁震後特別檢測工作，圖 9 為現地特別檢測作業執行記錄之相片，如前所述由專業檢測人員進行檢測紀錄，相片紀錄相關檢測劣化資訊及位置，並將相關照片將上傳至系統，圖 10 為 NCREE-BMS 檢測紀錄模組系統畫面，評估人員可由系統畫面，直接進行檢測紀錄評估作業，填列之檢測劣化樣態紀錄對應之 DERU 值，係由

系統輔助確認，無須另外查詢紙本文件，並可確保依循最新之部頒規範完成檢測作業，檢測成果可自動化輸出為檢測紀錄報表，作為報告附件。

經由檢測應用案例除驗證實務上可在遵循最新交通部頒橋梁結構檢測與補強規範條件下，以研發之檢測模組完整詳實紀錄檢測成果，並於時效內完成高品質之橋梁檢測工作，同時也顯示 NCREE-BMS 系統之客製化彈性，始能因應當時現地作業得到大量檢測資訊彙整工作時效需求，配合調整系統資料庫部分架構及擴充功能，

以短時間及高效可靠的方式完成特別檢測成果檢視及報表紀錄，圖 11 為檢測模組紀錄資料列表和相關查詢功能，圖 12 則為系統自動化輸出之表單格式，可做為後續研究工作資料應用之重要參考資料。

關於耐震評估模組、耐洪評估模組及老劣化評估模組部分，目前研發系統均以特定區域條件完成初步測試階段，技術上需配合現地橋梁試辦作業，持續蒐集資訊並予以回饋。圖 13 為 NCREE-BMS 耐震評估資訊及演算模式說明，前述提及 NCREE-BMS 具有資料

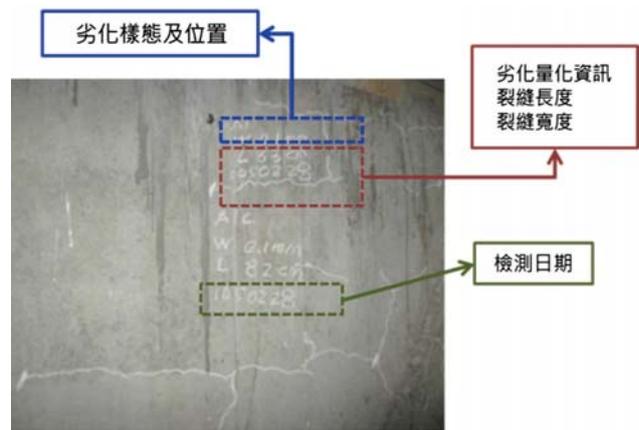


圖 9 應用案例 — 震後特別檢測現地作業及相片紀錄



圖 10 NCREE-BMS 橋梁檢測紀錄模組畫面

#	條件編號	位置	標記	裡別	評級	檢測時間	檢測人員
1	0131	0131-01-04	3	2	2		譚中心
2	0131	0131-01-07	3	6	1		譚中心
3	0131	0131-01-07	3	8	4		譚中心
4	0131	0131-01-07	3	2	0		譚中心
5	0131	0131-01-07	3	1	1		譚中心
6	0131	0131-01-07	3	3	0		譚中心
7	0131	0131-01-06	3	3	3		譚中心
8	0131	0131-01-06	3	7	3		譚中心
9	0131	0131-01-06	3	1	1		譚中心
10	0131	0131-01-06	3	3	2		譚中心
11	0131	0131-01-06	3	1	0		譚中心

評估結果			
條件: G151, 項次: TR 主要構件(次梁)			
相片	劣化標態	#	劣化程度
	混凝土裂縫	D	PC結構物裂縫寬度小於0.1mm, 且間隔大於50cm
		E	0-10%
		F	PC結構物裂縫寬度小於0.1mm, 且間隔大於50cm
		U	
備註	劣化標態: 裂縫, 裂縫長度: 50cm, 裂縫寬度: 0.1mm		

圖 11 NCREE-BMS 橋梁檢測紀錄模組資料

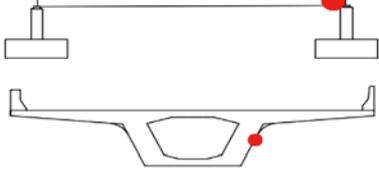
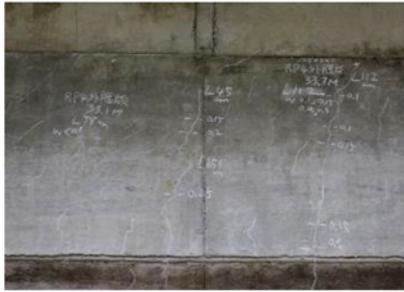
構件	G3S5	檢測日期	105.03.02	
項次	G3S5-5-OWR	IMG_2027#CL112W030.JPG		
				
劣化樣態	檢測結果			值
主要構件(大梁)	D	PC 結構物裂縫寬度大於 0.2mm(含)，且間隔於小 50cm		4
	E	10% ~ 30%		2
	R	PC 結構物裂縫寬度大於 0.2mm(含)，且間隔於小 50cm		4
	U			4
備註	劣化樣態: 裂縫, 裂縫長度: 112cm, 裂縫寬度: 0.3mm			

圖 12 NCREE-BMS 橋梁檢測紀錄模組自動化輸出表單

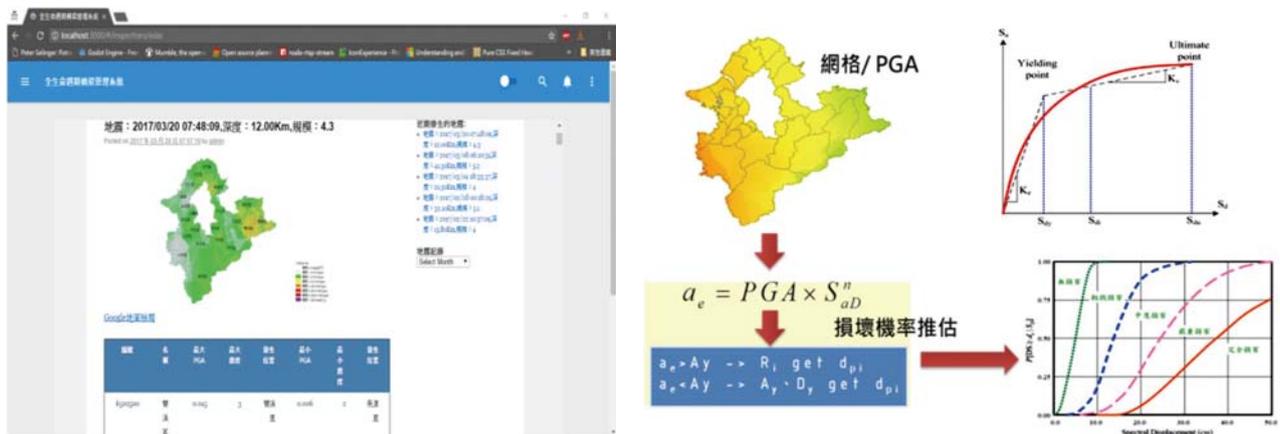


圖 13 NCREE-BMS 耐震評估資訊及演算模式

匯流之設計概念，屬於一種 Web Service 技術，使用 RESTful API 的設計概念，使用者端可以透過此資料匯流向 NCREE-BMS 請求讀取資料，或者向 NCREE-BMS 送入資料，此考量將提供較彈性的整合方式，讓系統可以整合不同的地震災損推估系統，目前系統所連結之地震災害損失推估系統可以取得推估過程中所需要的橋梁基本資料、易損性曲線資料、橋梁耐震評估資料等等，地震災害損失推估系統並依據這些相關的數據進行分析，並利用與取得資料相同的技術，將分析的結果分佈至系統中。為避免地震災害損失推估系統因配合此運作機制而造成程式之修改，地震災害損失推估系統與 NCREE-BMS 之間亦可以透過檔案交換的方式完成橋梁損害評估的分析工作。橋梁損壞機

率的分析時機可以區分為震前與震後，震前主要應用於動員規劃之應用；而震後則是立即協助重點區域搶救之決策。震前的應用，將由橋管機關依據需要，藉由 NCREE-BMS 系統作業，向地震災害損失推估系統提出模擬之請求；震後的應用，則是依據中央氣象局之速報資訊，當接收到此資訊的那一刻後，地震災害損失推估系統立即觸發評估作業需求。

圖 14 為耐洪評估資訊系統畫面，耐洪能力評估資訊連結模組類似於耐震能力評估模組，目前已可藉由 TTFRI 建置和研究之即時雨量、河川水位站及分析特定流域之橋梁冲刷深度資訊，進行資訊連結展示，後續可依管理單位需求擇定適當橋梁進行耐洪評估和離災警示功能。換言之，耐洪能力評估資訊連結模組需

要與外部系統連結整合，但和耐震能力評估資訊連結模組的運作方式不同。耐震能力評估模組所連結的資訊是由外部分析軟體透過資料匯流介面匯入，由中央氣象局的速報系統觸發，經分析後透過 RESTful API 連結 NCREE-BMS 傳回；而耐洪能力評估模組方面，則是由 NCREE-BMS 透過排程方式，定時向 TTFRI 的資料中心取得資料更新。由於其發佈的資料屬於原始資料型式，所以耐洪能力評估資訊連結模組需要透過中介軟體 (Middleware) 進行資料轉換與整理，再透過資料匯流和系統進行連結。

圖 15 為橋梁老化評估資訊模組畫面，老舊劣化評估分析模式已於前述說明，主要採用回歸公式計算方式進行構件劣化的預測推估，後續研發目標將採用預測的結果求得殘餘使用年限，以及性能指標變化的曲線，再由系統從過去適用之維修工法資料庫中，選擇與比較不同維修工法所產生之維護經費，橋管人員即可以參考相關的建議進行橋梁維護之工作。此未來

擴充模組包含回歸公式分析、殘餘使用年限推估、維護工法資料庫、各種工法成本估算等。

此外，為能支援彈性建立橋梁結構資料、檢測資料、評估資料等等，技術上將採用樹狀與階層的方式描述，以表達橋梁結構的組成關係、檢測與評估項目的組成關係，完整描述所需要的資料結構，後續之擴充模組可利用匯入的方式，解析客製化的樹狀與階層資訊，產生資料庫所需要的 Schema、相關的物件類別 (Class) 源代碼、操作介面的程式碼等等，經過編譯後並佈署到系統中，即可以讓系統增加相關的擴充功能，達到多類型橋梁資料建立與檢測模組分析功能 [10]。

### 結論

本研究針對建構之橋梁防災管理系統技術架構，包括檢測紀錄、耐震評估、耐洪評估以及鋼筋混凝土橋梁老劣化評估等模組進行說明，並由案例說明檢測模組應用概況和成果，並探討後續技術研發規劃，期待持續整

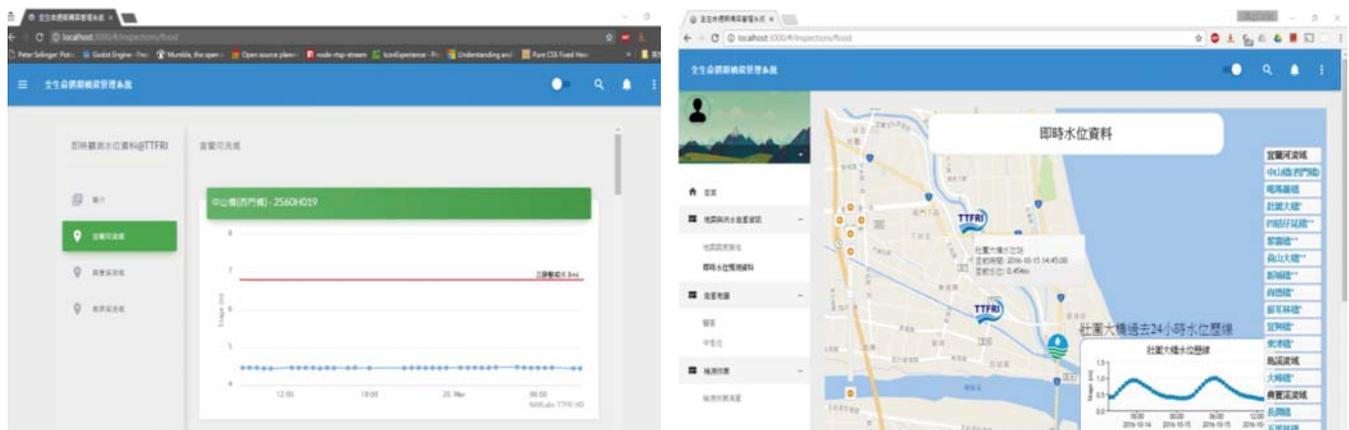


圖 14 NCREE-BMS 耐洪評估資訊系統畫面 (資料來源：TTFRI)

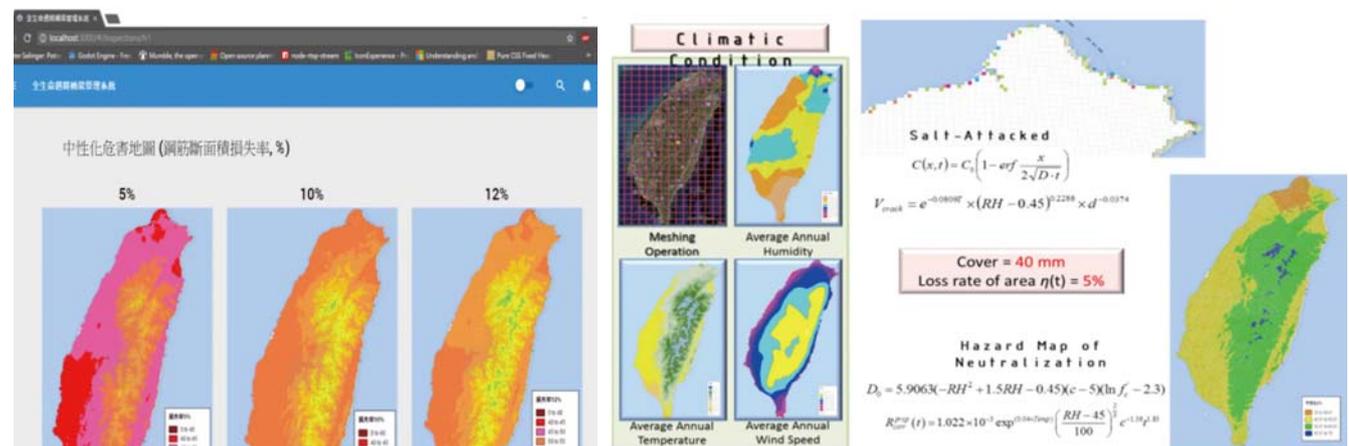


圖 15 NCREE-BMS 老劣化評估資訊及演算模式

合橋梁結構生命週期各階段所需技術，建構有效且完整之橋梁防災安全管理服務平台為目標。橋梁防災管理系統建置部分涉及廣泛的技術領域，屬於實務應用型的服務平台，建置之模組需持續測試開發及應用試辦改善，以劣化評估模組部分為例，期藉由長期橋梁檢測紀錄，進行劣化評估模式之驗證與修正，同時橋梁防災管理系統，亦須納入橋梁監測系統提供之橋梁結構安全資訊，以滿足全方面橋梁防災管理業務之需求。

### 參考文獻

1. 「臺灣地區橋梁管理系統」，交通部運輸研究所，參考網址：<http://tbms.iot.gov.tw/bms2/>
2. Paul D. Thompson, "A NEW BRIDGE MANAGEMENT SYSTEM FOR ONTARIO", Brian Kerr, ITX Stanley Ltd., Canada.
3. Reed M. Ellis, Paul D. Thompson, Rene Gagnon, Guy Richard, "Design and Implementation of a New Bridge Management System for the Ministry of Transport of Québec", Stantec Consulting Ltd.
4. Weyers, R. E. "Service life model for concrete structures in chloride laden environments", ACI Materials Journal, 95(4):445-453, 1998.
5. 牛荻濤，「混凝土結構耐久性與壽命預測」，科學出版社，2003。
6. 王傳輝，「台灣地區鋼筋混凝土橋中性化效應之耐久性評估」，碩士學位論文，國立台北科技大學，臺北，臺灣，2005年1月。
7. 趙坤茂，「數位內容新世紀」2006年第三季季刊，台灣大學資訊工程研究所，2006。
8. 龔永健，「受震後新築混凝土現地檢測技術評估與案例探討」，碩士學位論文，中原大學，桃園，臺灣，2007年7月。
9. 蘇進國，「模糊遺傳算法在橋梁耐震性能設計之應用與耐震維修補強生命週期成本最小化之研究」，博士學位論文，國立台北科技大學，臺北，臺灣，2008年6月。
10. 何岳峰、黃濬彥、謝孟勳，「應用 HTML 5 及版本控制技術提昇 Web-based 營建資訊管理系統使用效率之研究」，2010 營建管理研討會，2010。
11. Y.C. Sung and C.K. Su (2011), "Time-dependent seismic fragility curves on optimal retrofitting of neutralised reinforced concrete bridges", Structure and Infrastructure Engineering, Vol. 7, No. 10, October 2011, 797-805.
12. 莊育泰，「劣化 RC 牆生命週期耐震能力研究」，碩士學位論文，國立臺灣科技大學，臺北，臺灣，2012。
13. 涂豐鈞，「考慮劣化與震損影響之 RC 校舍耐震能力評估研究」，碩士學位論文，國立臺灣科技大學，臺北，臺灣，2012。
14. 蕭輔沛、邱建國、涂豐鈞，「考慮劣化與震損影響之 RC 校舍耐震能評估研究」，國家地震工程研究中心，NCRE-12-018，2012年12月。
15. 張國鎮、宋裕祺、陳俊仲、許家銓、李政寬，「橋梁結構安全與養護管理檢測技術研發與應用」，中華技術，第111期，第42-53頁，2016年7月。

**苗栗縣蓮台山  
妙音淨苑  
加勁擋土牆工程**

**臺中市崩場地水土保持修復工程**  
安全為主，兼顧景觀生態崩場地修復

**臺中市清水區崩場地處理工程**  
榮獲 2013-2014年度優良農建工程獎  
(治山防災類-甲等)

**安全 經濟  
生態 減碳**

**盟鑫工業股份有限公司**  
Gold-Joint Industry Co., Ltd.  
435 台中市梧棲區(中港加工出口區)  
經三路33號  
電話: 04-26595926  
傳真: 04-26595925  
網址: [www.gold-joint.com](http://www.gold-joint.com)  
信箱: [sales@goldjoint.com.tw](mailto:sales@goldjoint.com.tw)

**愛地球·加把勁**