

中 華 大 學

碩 士 論 文

題目：混凝土橋梁耐震能力評估與資料庫系統之建立

系 所 別：土木工程學系碩士班

學號姓名：M08904001 張 鉅 輝

指導教授：苟 昌 煥 博 士

中華民國 九十二 年 六 月

混凝土橋梁耐震能力評估與資料庫系統之建立

摘要

本文著重於橋梁耐震評估程式之研發，以做為橋梁詳細耐震評估之依據。本程式之發展是以交通部於 84 年所頒佈的“公路橋梁耐震設計規範”及“公路橋梁安全之詳細耐震評估”為依據，對橋梁進行耐震評估。另外本系統是以 Microsoft SQL 2000 資料庫為主，並配合 ODBC 的連結來對資料庫存及管理，而以 Visual Basic 6.0 來做為整體架構之基礎；其中橋梁在靜載重與地震力作用下構材之內力計算將由 SAP2000 分析擷取。目前台灣地區的公路橋梁數已不下萬座，所以為了更有效率減低計算過程且更具整合性的進行評估作業，發展一個耐震能力評估資料庫系統以輔助進行橋梁耐震能力評估乃刻不容緩，為達此一目的，發展橋梁耐震能力評估系統時有其迫切性。

關鍵詞：混凝土橋梁 Concrete Bridge、耐震能力評估 Seismic Resistance Evaluation、資料庫系統 Database System

論文章節目錄

第一章 序論	1
1.1 研究動機與目的	1
1.2 研究內容	2
1.3 研究方法與適用範圍	2
1.4 相關規範與文獻回顧	3
第二章 橋梁震害模式與耐震能力評估方法	6
2.1 橋梁震害模式與耐震能力評估	6
2.2 橋梁橋柱強度、韌性之耐震評估	11
2.3 橋梁橋柱強度、韌性之耐震評估流程 ...	22
2.4 橋梁支承之耐震評估	27
2.5 橋梁支承之耐震評估流程	30
2.6 橋梁落橋之耐震評估	30
2.7 橋梁落橋之耐震評估流程	32
2.8 橋梁耐震能力評定之原則與標準	32
第三章 結構分析模式之建立(系統前處理)	35
3.1 地震靜力分析	35
3.2 振動單元與基面之決定	35

3.3 分析模式之建立	36
3.4 設計地震力	38
第四章 耐震能力評估資料庫系統的建立與使用 (系統中處理、系統後處理)	41
4.1 系統規劃與建立概述	41
4.2 耐震能力評估系統使用流程	45
4.3 資料庫系統之建立與儲存機制	47
第五章 實例分析	53
5.1 台 21 線信義橋耐震能力實例分析	53
5.2 台 1 線大甲溪橋耐震能力實例分析	54
5.3 文和橋耐震能力實例分析	57
5.4 北新橋耐震能力實例分析	59
5.5 台 17 線西濱大橋耐震能力實例分析 ...	62
第六章 結論與展望	65
6.1 結論	65
6.2 展望	66
參考文獻	67

表目錄

表 2-1 結構系統特性係數 R_{code}^* 表	71
表 3-1 各類地盤水平向正規化加速反應譜係數 與週期之關係	71
表 5-1 模擬大甲溪橋橋柱柱底數據分析結果	72
表 5-2 模擬大甲溪橋落橋數據分析結果	73
表 5-3 模擬大甲溪橋支承數據分析結果	73
表 5-4 大甲溪橋橋柱數據計算分析表	74
表 5-5 大甲溪橋橋柱強度、韌性耐震能力評估表	75
表 5-6 大甲溪橋落橋破壞耐震能力評估表	75
表 5-7 大甲溪橋支承破壞耐震能力評估表(軸向)	76
表 5-8 大甲溪橋支承破壞耐震能力評估表(橫向)	76
表 5-9 台 1 線大甲溪橋綜合耐震分析表	76
表 5-10 模擬文和橋橋柱柱底數據分析結果	77
表 5-11 模擬文和橋落橋數據分析結果	77
表 5-12 模擬文和橋支承數據分析結果	78
表 5-13 文和橋橋柱數據計算分析表	78
表 5-14 文和橋橋柱強度、韌性耐震能力評估表	79
表 5-15 文和橋落橋破壞耐震能力評估表	79
表 5-16 文和橋支承破壞耐震能力評估表(軸向)	79
表 5-17 文和橋支承破壞耐震能力評估表(橫向)	79

表 5-18 文和橋綜合耐震分析結果	80
表 5-19 模擬北新橋橋柱柱底數據分析結果	81
表 5-20 模擬北新橋落橋數據分析結果	82
表 5-21 模擬北新橋支承數據分析結果	82
表 5-22 北新橋橋柱數據計算分析表	83
表 5-23 北新橋橋柱強度、韌性耐震能力評估表	84
表 5-24 北新橋落橋破壞耐震能力評估表	84
表 5-25 北新橋支承破壞耐震能力評估表(軸向)	85
表 5-26 北新橋支承破壞耐震能力評估表(橫向)	85
表 5-27 北新橋綜合耐震分析結果	85
表 5-28 模擬西濱大橋橋柱柱底數據分析結果	86
表 5-29 模擬西濱大橋落橋數據分析結果	86
表 5-30 模擬西濱大橋支承數據分析結果	86
表 5-31 西濱大橋橋柱數據計算分析表	87
表 5-32 西濱大橋橋柱強度、韌性耐震能力評估表 ...	87
表 5-33 西濱大橋落橋破壞耐震能力評估表	87
表 5-34 西濱大橋支承破壞耐震能力評估表(軸向) ...	88
表 5-35 西濱大橋支承破壞耐震能力評估表(橫向) ...	88
表 5-36 西濱大橋綜合耐震分析結果	88

圖目錄

圖 2-1 東豐大橋主梁剪力破壞	89
圖 2-2 橋柱撓曲破壞—主筋銲接失敗	89
圖 2-3 橋柱撓曲破壞—主筋伸展長度不足	90
圖 2-4 橋柱撓曲破壞—塑鉸發生在非預期區	90
圖 2-5 橋柱剪力破壞—烏溪橋橋柱剪力破壞	91
圖 2-6 橋柱剪力破壞—阪神地震橋柱剪力破壞	91
圖 2-7 橋柱撓剪破壞—龍門大橋之撓剪破壞	92
圖 2-8 橋柱撓剪破壞—阪神地震橋柱之撓剪破壞	92
圖 2-9 支承破壞	93
圖 2-10 支承座剪力破壞	93
圖 2-11 支承座承壓破壞	94
圖 2-12 埤豐橋落橋(斷層通過)	94
圖 2-13 一江橋落橋(近斷層區)	95
圖 2-14 名竹橋落橋(近斷層區)	95
圖 2-15 石圍橋落橋(近斷層區)	96
圖 2-16 石圍橋落橋(基礎傾斜)	96
圖 2-17 軸力彎矩交互影響圖	97
圖 2-18 鋼筋混凝土柱斷面	97
圖 2-19 鋼筋混凝土斷面之應力及應變圖	98
圖 2-20 橋柱破壞模式與破壞時之剪力、韌性之關係	98

圖 2-21 柱身剪力強度對柱底之剪力效應	100
圖 2-22 將結構物之力與位移關係模擬成彈塑性系統	100
圖 2-23 將結構物之力與位移關係模擬成彈塑性系統	101
圖 2-24 長週期之彈性系統與彈塑性系統的關係	101
圖 2-25 短週期之彈性系統與彈塑性系統的關係	102
圖 2-26 強度、韌性破壞耐震能力分析流程圖	103
圖 2-27 圓形柱斷面圖	104
圖 2-28 矩形柱斷面圖	104
圖 2-29 支承破壞耐震能力分析流程圖	105
圖 2-30 現場丈量之有效支承長度	106
圖 2-31 落橋破壞耐震能力分析流程圖	107
圖 2-32 台灣地震震區劃分圖	108
圖 3-1 橋梁軸向之振動單元	109
圖 3-2 橋梁橫向之振動單元	109
圖 3-3 基礎與土壤之互制效應	110
圖 3-4 沿橋梁橫向施加载重 W_i 時產生之橫向變形 U_i 及其設計地震力分布示意圖	110
圖 3-5 沿橋梁橫向施加载重 W_i 時產生之橫向變形 U_i 及其設計地震力分布示意圖	111
圖 4-1 橋梁耐震評估資料庫系統資料庫關係示意圖 ...	112
圖 4-2 橋梁基本資料表	112
圖 4-3 評估工作資料表	113

圖 4-4 橋柱數據資料表	113
圖 4-5 橋柱耐震軸向振動單元評估表	114
圖 4-6 橋柱耐震橫向振動單元評估表	114
圖 4-7 支承耐震軸向評估表	114
圖 4-8 支承耐震橫向評估表	115
圖 4-9 落橋耐震評估表	115
圖 4-10 綜合耐震分析表	115
圖 4-11 使用者介面示意圖	116
圖 4-12 新增工作	116
圖 4-13 新增工作	116
圖 4-14 新增工作－選擇評估橋梁	116
圖 4-15 新增評估橋梁	117
圖 4-16 新增評估工作資料	117
圖 4-17 給定橋柱數據資料	118
圖 4-18 輸入橋柱資料一覽表	118
圖 4-19 計算橋柱資料展示表	119
圖 4-20 執行修改橋柱資料	119
圖 4-21 修改橋柱資料面版	120
圖 4-22 設定振動單元配置	120
圖 4-23 依各振動單元給定資料	120
圖 4-24 橋柱耐震能力評估結果	121
圖 4-25 設定落橋資料	121

圖 4-26 落橋耐震能力評估結果	121
圖 4-27 設定落橋資料	122
圖 4-28 落橋耐震能力評估結果	122
圖 4-29 綜合耐震能力分析	123
圖 4-30 資料儲存	123
圖 4-31 資料查詢	123
圖 4-32 查詢功能面版	124
圖 4-33 查詢結果顯示	124
圖 4-34 列印預覽畫面	125
圖 4-35 資料庫結構示意圖	125
圖 4-36 各種鍵之關係圖	126
圖 5-1 台 21 線信義橋橋柱評估結果	126
圖 5-2 921 大地震台 21 線信義橋橋柱遭受剪力破壞 ...	127
圖 5-3 台 1 線大甲溪橋位置圖	127
圖 5-4 台 1 線大甲溪橋實貌	128
圖 5-5 台 1 線大甲溪橋實貌	128
圖 5-6 台 1 線大甲溪橋示意圖	129
圖 5-7 台 1 線大甲溪橋橋墩示意圖	129
圖 5-8 大甲溪橋 SAP2000 模擬示意圖	130
圖 5-9 文和橋位置圖	130
圖 5-10 文和橋實貌	131
圖 5-11 文和橋實貌	131

圖 5-12 文和橋示意圖	132
圖 5-13 文和橋橋墩示意圖	132
圖 5-14 文和橋 SAP2000 模擬示意圖	133
圖 5-15 北新橋位置圖	133
圖 5-16 北新橋實貌	134
圖 5-17 北新橋實貌	134
圖 5-18 北新橋示意圖	135
圖 5-19 北新橋橋墩示意圖	135
圖 5-20 北新橋 SAP2000 模擬示意圖	136
圖 5-21 西濱大橋位置圖	136
圖 5-22 西濱大橋實貌	137
圖 5-23 西濱大橋實貌	137
圖 5-24 西濱大橋示意圖	138
圖 5-25 西濱大橋橋墩示意圖	138
圖 5-26 西濱大橋 SAP2000 模擬示意圖	139

第一章 序論

1.1 研究動機與目的

近年來由於經濟快速成長，公路網不斷擴展，而橋梁為公路網上最重要的一環，因此橋梁的使用安全便是必須考慮的重點，目前台灣地區橋梁除了平常使用的耗損外，加上車輛大型化和違規超載，使得各橋梁之交通有超負荷之虞【1】，一旦遭受地震或颱風等天然災害的侵襲，造成橋梁嚴重的損壞甚至傾倒，屆時除了導致生命安全損失外，亦使得交通嚴重受阻，影響救災及災後重建之工作。為維護橋梁安全與功能，增加其使用壽命，實有需要對橋梁進行全面的耐震安全檢測、評估以進行維護補強等工作。

關於橋梁耐震評估方面，國內外均有許多學者專家做相關研究與評估準則之制訂【2-16】，其中文獻【3】、【4】、【5】、【14-16】中分別述及“公路橋梁安全檢測評估準則(草案)”及“橋梁耐震能力評估準則”，相信這些準則將對台灣各類橋梁在耐震評估方面有著極重大的貢獻，而這些準則也是本研究之依循根據。

本文採用我國“公路橋梁安全之耐震評估準則”，在橋梁安全評估的過程中，除了初步評估工作的進行外，必要時還要將每座橋梁進行詳細評估，以確保橋梁的使用安全。目前台灣地區的公路橋梁數已不下萬座，所以為了更有效率減低計算過程且更具整合性的進行評估作業，發展一個耐震能力評估資料庫系統以輔助進行橋梁耐震能力評估乃刻不容緩，為達此一目的，發展橋梁耐震能力評估之專家系統實有其迫切性。

藉由資料庫系統的規劃與開發，以研究一般工程系統的開發工作及技術，包括知識擷取、知識表示法與推理，並擴展對此領域與電腦之接觸，針對評估公路橋梁之耐震能力工作做研究開發，促使橋梁耐

震能力評估程式能更加系統化。

1.2 研究內容

本文第一章為序論，說明研究動機與目的，以及研究方法與適用範圍。第二章為橋梁震害模式與橋梁耐震能力評估方法，即本文中用來進行耐震能力評估的方法介紹，藉由橋梁震害模式分別就橋梁的橋柱強度、韌性耐震能力和支承耐震能力及落橋耐震能力三方面做詳細的探討，並建立評估的標準，主要是參照於規範。第三章為結構分析模式之建立，由於耐震能力評估必須先取得橋梁結構物在地震力之下的應力資料，同時是以現行耐震設計規範為依歸，因此本章說明進行地震靜力分析時橋梁結構模擬的注意事項，是為本系統前處理的部份。第四章耐震能力評估資料庫系統的建立與使用，根據第二章的部份，我們將評估方法按各分析流程編寫成計算機程式，以建立系統化的評估模式，其後再將所得的評估資料與結果藉由資料庫的概念建立儲存的機制，方便評估之後的查詢與瀏覽，是為本系統中處理與後處理的部份。第五章為實例分析，以實際橋梁資料進行耐震能力評估，並探討分析評估的結果。第六章為結論與建議，說明所得成果與未來耐震評估系統發展方向。

1.3 研究方法與適用範圍

橋梁耐震能力評估是決定橋梁結構物是否需要進行修護補強的主要依據，主要目的是要使橋梁能在使用年限內，經歷重大之地震後，將不可接受之損壞風險降至最低。對於公路橋梁而言，不可接受之損壞大致上是因橋梁全部或部分倒塌，導致重大之生命財產的損失，或造成主要維生運輸系統之中斷。

公路橋梁之耐震評估研究方法通常有三個基本步驟：(1)建立模擬橋梁結構物進行地震靜力分析(2)將分析出的數據進行耐震能力詳細評估(3)決定橋梁結構物是否補強及其破壞模式進行補強。在第一步驟中我們採用 SAP2000 進行模擬橋梁地震靜力分析，期與實務分析能相互結合；在第二步驟中詳細評估則依據我國現有的橋梁耐震設計規範及橋梁耐震能力評估準則，進行評估計算出各模式的崩塌地表加速度值；第三步驟中藉由第二步驟的數據與欲達到的評估標準作比較決定是否補強，並分析其破壞的模式以利後續補強工作。

本研究著重於橋梁耐震評估程式之研發，以做為橋梁詳細耐震評估之依據。本程式之發展是以交通部於 84 年所頒佈的“公路橋梁耐震設計規範”【2】及“公路橋梁安全之詳細耐震評估”【5】為依據，對橋梁進行耐震評估。另外本系統是以 Microsoft SQL 2000 資料庫為主，並配合 ODBC 的連結來對資料庫存及管理，而以 Visual Basic 6.0 來做為整體架構之基礎；其中橋梁在靜載重與地震力作用下構材之內力計算將由 SAP2000 分析擷取。

本系統適用範圍：

- (1)混凝土橋梁結構物。
- (2)適用於橋柱形狀較規則之橋梁，其平面有兩個主軸方向。
- (3)僅適用於直線橋梁，曲線橋梁不適用。

1.4 相關規範與文獻回顧

國內公路橋梁之設計規範，最早於民國 49 年 11 月交通部所頒佈的「公路橋梁工程設計規範」，但是此規範在耐震方面並沒有明確的規定，所以實際應用是以中國工程師學會於民國 43 年所建議的地震力係數為設計的準則。由於隨著對耐震知識的增加與工程技術的進

步，部分規範已不敷使用，因此交通部在民國 76 年又頒布「公路橋梁設計規範」，其耐震之部分則參照於 1980 年日本道路協會所出版的「道路橋示方書同解說—V 耐震設計編」，以震度係數法作為設計依據。之後鑑於美、日各國對耐震設計之重視與耐震相關之設計及評估規範隨著研究成果不斷更新，所以交通部委託學術界、工程界等相關單位積極檢討修正規範，因此於民國 84 年頒布「公路橋梁耐震設計規範」，首度將耐震設計規範自「公路橋梁設計規範」中獨立，且內容有大幅度之修改，摒棄過去以日本之震度設計法為基準的耐震設計法，而以美國 AASHTO 於 1992 年頒布的「公路橋梁耐震設計規範」為藍本，引進地震危害度、韌性設計與動力分析振態疊加的觀念，以滿足在小地震下不壞、中地震可修復、大地震不崩塌之需求，並以橋梁服務年限 50 年超越機率 10% 工址回歸期 475 年之地震為設計目標，同時亦考慮結構之韌性容量，以提供設計更多之選擇。921 地震後有鑑於原屬於地震一乙區之中部各縣市遭受嚴重的災情，所以於民國 89 年再度頒布「公路橋梁耐震設計規範」修正條文，將原規範地震分區之四區(地震一甲區、地震一乙區、地震二區、地震三區)改為二區(地震甲區、地震乙區)，震區水平加速度亦分別由 0.18g、0.23g、0.28g、0.33g，修正為 0.23g、0.33g。

目前國內、外已有許多學者、先進，曾經研究、發表關於橋梁耐震能力評估方面的著作。大致上可將其分成兩個範疇：1. 初步評估【3，4】2. 詳細評估【3，5，7，15-16】。初步評估法適用於評估大範圍區域之橋梁，其考慮的因素及影響層面較廣，必須先建立橋梁樣本資料，且請專家對橋梁樣本事先評估，評估過程滲入較多人為主觀之因素。因此必須要有經驗豐富且結合政治、經濟、軍事方面的專家參與，以國家、社會整體的利益為考量。詳細評估法，一次僅以一座

橋梁為評估對象，評估其耐震能力與構材之原設計供給量與新規範需求比。須根據現有橋梁的實際尺寸、材料性質、斷面配筋來進行結構耐震分析，以決定各種可能發生的破壞模式，進而作為補強的依據。詳細評估中由文獻【7，15】可知，一般分為五種評估模式，分開進行評估，其中以橋柱強度韌性、落橋破壞、支承破壞耐震能力最為耐震評估的代表。此外評估計算之工作是十分複雜，故有文獻【8】進行評估模組的編寫，可大幅減短評估的工作時間，再由資料庫進行後端儲存數據之工具。

第二章 橋梁震害模式與耐震能力評估方法

2.1 橋梁震害模式與耐震能力評估

由於大自然的力量往往為人類所無法預測，由實際震害之經驗學習修正並改進目前之設計邏輯與規範，是目前世界各先進國家最常採用之道。因此藉由探討國內外橋梁震害之原因，亦有助於建立正確的橋梁耐震評估系統，故本章先由回顧近年國內外之震害，探討橋梁震害破壞模式，以助於後節決定橋梁耐震能力評估方法之重要依據。

2.1.1 近十年來國內外重大地震概要

一、北嶺地震之地震概要

1994 年 1 月 17 日，美國加州洛杉磯西北方的北嶺地區，發生規模 6.6 的大地震，由於靠近都會區，且震源為斷層活動，因此對生命財產造成重大損失，共計有 65 人死亡 5000 多人受傷，估計財產損失在 150 億至 300 億美金之間。此次地震最大地表加速度雖高，但所幸地震延時較短，否則損失會更加慘重，但北嶺地震亦造成了 7 座橋梁倒塌及許多橋梁損壞。北嶺地震較嚴重之橋梁破壞模式包含：防落長度不足、橋柱底因混凝土牆連接而形成短柱效應、柱頂擴座而使塑鉸產生在擴座下方非圍束區、箍筋間距過大導致橋柱剪力破壞、同一橋梁柱勁度差異過大使得地震力集中在某一橋柱而產生破壞、斜交橋因防落長度不足而產生落橋破壞等。

二、阪神地震之地震概要

1995 年 1 月 17 日，日本發生規模 7.2 的大地震，此次地震中神戶地區所有公路交通系統，均遭受嚴重的損壞，於地震後日本道路協會對災區數千座橋梁進行震害調查，共有 320 座橋梁遭受破壞，其中約有 27 座嚴重破壞。阪神地震中較為嚴重之橋梁破壞模式包含：因