

內政部建築研究所專題研究計畫成果報告

研究案：建築物地震災害防制研究計畫

研究案編號：MOIS882019

計畫名稱：國外建築物震害經驗、教訓及防災應用研究

執行時間：民國 87 年 8 月 1 日至民國 88 年 6 月 30 日

國外建築物震害經驗、教訓及 防災應用研究

計畫主持人： 丁育群

共同主持人： 施明祥 余志鵬

內政部建築研究所

中華民國八十八年六月

國外建築物震害經驗、教訓及防災 應用研究

丁育群¹ 施明祥² 余志鵬³

摘 要

美日兩國經過近年幾次都會地區強震災難後(1995 Kobe, 1994 Northridge, 1989 Loma Prieta), 在耐震、防震與災難危機處理上都有很多的省思與經驗。前車之鑑可以攻錯, 由各國地震災害研究相關之政府機構、學術研究單位對幾次造成重大災情的震災現場所作的勘災報告、震害研究以及救災措施檢討中, 吾人可以吸取寶貴經驗與教訓, 在防範災害於未然與救災體系之建立上避免前人之錯誤甚至找到更好的解決途徑。本研究針對國外(美日為主)大地震之震害經驗與防災因應對策, 進行系統之資料蒐集、彙整與研究分析。並將收集到之國外建築物震災防治的經驗與教訓等相關資訊, 以中文摘要方式呈現, 以茲應用於研究特定結構物之地震災害與其它相關研究主題上。

本研究首先依各種主要結構系統種類針對震害經驗、防災準備及震後救災措施等主題(包括政府應變措施及損壞修復計劃等), 進行文獻資料之蒐集與研究。接著是將這些國外都會區強震經驗中有關建築物防災、救災之措施中, 與台灣地區地文、人文特性相似可茲應用者, 加以整理、歸納、進行主要內容摘要, 期能達到防災應用研究本土化之目標。進而在未來台灣地區發生類似都會區強震時, 能因國外近年來慘痛之強震經驗所學習之教訓之適當應用, 而將地震損害及社會成本之損失降到最低。

¹ 內政部建築研究所副所長

² 高雄第一科技大學助理教授

³ 朝陽科技大學助理教授

On Experiences And Lessons Learned From Foreign Catastrophic Earthquakes And Their Applications To Seismic Hazard Mitigation

Abstract

After experiencing the recent strong earthquakes, 1995 Kobe, 1994 Northridge, 1989 Loma Prieta, in the major metropolitan areas, the United States and Japan had learned valuable lessons with respect to seismic resistant, seismic mitigation and disaster management. This work is to investigate their experiences in seismic hazard mitigation with systematic information collections and analyses. It is intended to apply the corresponding experiences and learned lessons to specific structures and related subjects based on the geological and social characteristics of Taiwan so as to fulfill the goal of applying foreign seismic experiences to domestic issues. In addition, brief summaries for certain important reports and papers are prepared in Chinese to provide to readers a better way to understand the related topics of earthquake engineering.

The study was carried out first by investigating the corresponding research articles categorized into pre-earthquake preparedness/seismic mitigation and post-earthquake responding with respect to major structural systems. The lessons and experiences learned from the recent catastrophic earthquakes is then compared with and proposed to be implemented into current domestic policies and specifications. With proper application of such learned lessons and experiences, it is expected to be able to minimize seismic hazard and loss of social cost as a potential catastrophic earthquake hits.

目錄

中文摘要	I
英文摘要	II
目錄	III
表目錄	V
壹、緒論	1
一、緣起與背景	1
二、方法與步驟	2
三、研究目標	2
貳、研究內容	4
一、內容簡述	4
二、國內外相關研究概況	4
三、資料來源	6
四、資料摘要	9
參、研究發現	22
一、建築物震害	22
1、鋼筋混凝土結構(含鋼骨鋼筋混凝土)	23
2、鋼結構	25
3、傳統木造結構	26
4、採基礎隔震之建築物	26
5、一般結構之其他破壞	27
二、橋樑結構與運輸系統震害	27
三、其他特殊結構及公共建築物	29

四、重要維生線設施及震後火災	30
五、防災體系	31
肆、國外經驗歸納與建議	36
一、一般建築物	36
二、橋樑結構	40
三、維生線設施	44
四、其他重要設施	45
五、震後火災	46
六、震後救災行動	47
七、國外震害經驗與我國情況比較	47
伍、結論與未來研究方向之建議	52
重要參考文獻	57
附件一：國內報告摘要	59
附件二：國外網站資料摘要	99
附件三：期末報告之專家學者意見	142

表目錄

表一：列舉資料主要來源	10
表二：列舉國內資料主要來源及資料內容簡介	11
表三：列舉國外資料來源主要網站	14
表三(a)：主要網站地震工程相關電子檔案明細(EERI)	14
表三(b)：主要網站地震工程相關電子檔案明細(EQE)	15
表三(c)：主要網站地震工程相關電子檔案明細(USGS)	15
表三(d)：主要網站地震工程相關電子檔案明細(NISEE/EERC)	16
表三(e)：主要網站地震工程相關電子檔案明細(LLNL)	16
表三(f)：主要網站地震工程相關電子檔案明細(FEMA)	17
表三(g)：主要網站地震工程相關電子檔案明細(MCEER & FHWA)	18
表四：NIST 與地震工程相關之研究報告	19

壹、緒論

一、緣起與背景

過去幾十年間，全世界發生許多次的強烈地震，這些地震只要是發生在都會區附近，便造成許多建築物、橋樑及其他設施之損壞，甚至倒塌。科學家及工程師藉著觀察及研究結構物在地震發生時之行為，來瞭解結構物之耐震行為，並學習到抗震之經驗。再以此發展出新的觀念與技術，來改善結構之耐震行為，進而在未來發生強烈地震時，能因從前所獲得之經驗與教訓使得傷亡及社會成本損失減至最少。

美國西岸以及日本是公認之全世界強震活動最頻繁地區，也是地震研究和抗震技術最先進的地區。一般也認為由於這些地區（尤以日本）的建築物皆依據最新的耐震規範並以最新的耐震技術建造或是依抗震概念修護補強，當強震侵襲時，這些都會區的損害程度應不至於太大。然而 1994 年北嶺以及 1995 年阪神地震卻仍然造成兩個都會區嚴重的破壞，不僅造成社會經濟鉅大的損失，更直接與間接造成大阪地區超過 5600 人死亡之災難。不過，另一方面，這兩次強震也使得美日最新的耐震技術和抗震概念面臨實際的考驗，給予人們更多的經驗，提供未來抗震，防震措施更具體依據的準則。

根據美國 USGS 於 1994 年發表之全球強震次數統計顯示；自 1900 年以來，發生規模 $M = 6.0 \sim 6.9$ 之地震機率全球每年約是 120 次。若以一年發生 $M = 6.0 \sim 6.9$ 之地震次數來看，1989 年是 79 次，1993 年是 141 次。這些數字顯示，阪神($M=6.9$)和北嶺($M=6.7$)地震的發生機率並非不尋常的。換言之，任何位於強震帶的都會區都應準備面臨如阪神和北嶺地震一般或更嚴重的地震侵襲。

台灣與美、日同屬位於環太平洋地震帶上之強震地區，雖然發生強震之機率並不若日本與加州一般，但以國內過去災情之統計數字與台灣所居之地理環境而言，台灣遭受強震侵襲之可能性

與其潛在之災害程度，實不可輕忽。尤其是 1998 年嘉義瑞里地震 (M=6.2) 的發生，更明確指出台灣部分近斷層地區因應發生強烈地震之準備工作的重要性。

二、方法與步驟

台灣在防震研究上向來緊密追隨美國及日本的相關經驗，隨著近十年來幾次重要之都會區地震相繼發生，許多重要研究成果及新的防震觀念及措施也陸續被提出與接受。同時，由於網際網路逐漸普及，徹底改變當今資訊傳遞及流通的模式。針對這些現況，本研究分為三個階段進行：

(1) 首先蒐集國內外相關地震研究機構發表有關建築物震害、防災計劃、災害防治應用文獻資料與報告。

(2) 其次進行歸納並整理相關之強地動資料特性、震害經驗、教訓及防災應用研究等資料。並依各種震害之因應結構計劃、防災準備工作、震後救災程序(主要以政府應變措施及修復計劃為主)，摘要主要具代表性之研究成果。

(3) 最後，針對國內現況提出國外經驗中有關震災教訓與防災應用措施，可供國內學習及引用者，做為國外相關經驗本土化之參考。

三、研究目標

將國外地震經驗落實本土化重要步驟之一，便是要能將國外已發表之重要文獻研究結果以中文方式整理歸納出來，使得讀者能輕易地參考相關資訊。此外，美日在過去地震災害的教訓中，相當明確的一個經驗便是體認到發展與地震震害相關的資料庫與提供大眾相關簡介資訊的重要性。因為此類之資料庫將是地震災害發生前能否有效提出防治措施、地震發生時能否有效因應處理緊急危難、以及地震發生後能否有效復健社區修護損壞的基本依據；而教育大眾做好防震準備的工作有賴於震災與防災資訊的普及化。是以本研究目的之一亦是廣泛蒐集美日在建築物震害經驗

及災後救援等方面之研究結果，將之應用於本國震害防治措施上，除可提供其他相關結構物防震、救災防災研究之參考，相互交流地震工程資訊的來源，並藉重要及具代表性資料摘要的方式，提供電子資訊於大眾，期盼達到簡介地震工程及防災教育之效果。

貳、研究內容

一、內容簡述

本研究探討之震害主題以(1)歸納建築物所受震害及其因應對策，(2)整理國外震災防治與災後救災上相關之經驗與措施為主。收集之震害種類中，主要項目包括；RC 結構、SRC 結構、鋼結構、傳統磚造、木造結構，及重要之特殊結構等之震害；亦包括其他結構採隔震裝置之建築物及因土壤液化而破壞者。在震災防治與災後救災項目上，則以各級政府單位在地震發生前後所扮演角色及其應變與復舊措施為主。

二、國內外相關研究概況

國內相關於上述兩大災難地震之震害研究，最早以國家地震中心在 1994 年及 1995 年針對該二次地震主導之震災訪查報告書(NCEER-94-001 及 NCEER-95-001)最為完整與詳盡。這些報告中有關建築物震害描述及探討皆有明確之分析與結論可供國內相關研究參考(如現行規範中將垂直方向加速度考慮其中之建議等)。至於震害之防治及因應對策之研究，國內研究單位及研討會這幾年間也陸續發表相關報告，較具代表性者包括；國家地震研究中心、內政部建築研究所、臺灣營建研究中心、中華民國建築學會、中華顧問工程司等。至於國外相關於上述兩大災難地震之震害研究，經過這三、四年之研究後，已有數量相當可觀之震害研究報告及文獻發表。其中，部分相關之震害防治經驗亦已獲相關政府部門或研究單位重視與採納，可預期未來將有進一步之改善策略提出與相關可行性評估研究進行。

美國在地震災害防治工作上，主要是由聯邦政府下四個相關機構組成的 National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP)主導。這四個機構包括居主導地位的聯邦緊急管理署 FEMA (Federal Emergency Management Agent)，以及國家標準局

NIST (National Institute for Standards and Technology), 國家科學基金會 NSF (National Science Foundation), 美國國家地理測量局 USGS (The United States Geological Survey) 各機構分別扮演其所分派的角色, 致力地震相關資料之蒐集、分析、歸納及出版報告, 贊助各學術研究機構從事地震工程相關研究, 其最終目的乃在將最新之相關研究及資訊應用於未來震災防治的工作上。

除了上述 NEHRP 相關機構持續在震害防治上有具體之研究成果發表外, 其它地震研究相關之專業組織、學術單位、法規研究部門及公司, 也陸續針對災難性地震之震害防治提出研究成果說明, 進而擬定因應對策或建議。在法規研究部門方面較重要的包括 BSSC, ICBO, BOCA 等, 在學術研究單位以 MCEER, EERI, NISEE/EERC, CERI 為主, 在專業組織上較重要者包括 ASCE, ATC, SEAOC, PEER, NIBS 等, 在專業工程公司方面有 EQE International, J. Martin & Associates 等。這些單位除了發表技術報告、準則或規範外, 通常也利用網路多媒體提供相關之研究訊息與技術資訊。

日本在地震災害防治上之努力, 並不下於美國, 但由於日文之普及性不若英文, 本研究人員於計劃執行期間對以日文撰寫之研究報告之蒐集與歸納遭遇不少瓶頸。所幸美日雙方之研究報告之間其內容流通性與一致性相當高。因此, 本研究人員藉國內相關研究、英文版報告以及網站資訊, 仍可歸納出日本研究單位所發表之研究成果。此點可由各相關報告之參考文獻中得到印證。一般而言, 日本建築學會、東京大學、日本國土地理院、日本道路公團等單位是幾個主要日本本土資訊來源之機構。

除了美日強震經驗外, 由於台北都會區地震之盆地特性與墨西哥等若干地區之地震相近, 以及同屬環太平洋地震帶之菲律賓等地區, 皆可能有可供參考之重要震害經驗。因此, 過去發生在墨西哥、亞美尼亞、菲律賓及其他地區之重要地震, 在資料收集階段皆納入本研究蒐集範圍內。

三、資料來源

本研究之資料蒐集種類分為文獻、書面報告以及網際網路資源。而其來源分為；(1)國內外主要地震研究機構之書面技術報告，(2)相關領域之文獻，主要是各大期刊、論文發表會及專門著作，(3)網路相關研究資源之蒐集與整理。本研究所蒐集之資料其主要來源之地震研究機構，如表一所列。茲就資料收集情形，報告、論文之出版與發表現況，以及網路電子資料之狀況，在本節中簡單說明。

1、美國資料出版狀況

美國政府機構及地震研究相關之專業組織、學術單位與法規研究部門及公司在世界各地發生重大或具有特殊意義的震災時，均會進行勘災工作以及研究討論，並出版其結果，在質與量方面均為相關資料的主要來源。在此分別以發表單位為分類，概述其資料發表情形，希有助於收集者更快地搜尋資料。

- (1) FEMA 政府機構：聯邦緊急管理署之網站提供電子化災難處理相關資料及文獻，並不定期刊登線上復原救災工作簡訊。
- (2) NIST 政府機構：提供一系列有關建物及火害研究報告全文供網路下載，以及完整之線上檢索服務。
- (3) NSF 政府機構：提供線上查詢 NSF 所有贊助之研究計劃，以及相關研究網站介紹和超連結。
- (4) USGS 政府機構：主要提供有關大地、地質方面各種資訊、查詢服務及線上課程，以及相關研究網站介紹和超連接。同時包含一系列震災防治、震前準備之電子文章。
- (5) LLNL 政府機構：提供美國能源局各類天然災害防治研究之線上查詢，包括精簡之電子版報告摘要或全文。
- (6) MCEER(NCEER) 學術研究單位：定期刊物為每月出版的” Information Service News”，不定期刊物為” Technique Reports”以及” Proceedings”（以上刊物於國家地震工程研

究中心皆有館藏)。以及相關研究網站介紹和超連結。

- (7) EERI 學術研究單位：定期刊物有” Earthquake Spectra “(每季)及”Newsletters”。不定期之刊物有” Earthquake Reconnaissance report” (以上刊物於國家地震工程研究中心皆有館藏)。其網站同時提供電子版之主要地震勘災報告，目前可瀏覽自 1995 年世界各地主要地震之勘災檔案。
- (8) SSRP , UCSD 學術研究單位：不定期出版” Technique Reports”。(國家地震工程研究中心有館藏。)
- (9) EERC 學術研究單位：美國加州大學柏克萊分校地震工程研究中心刊物分定期與不定期兩種。凡遇世界各有重大震災發生後便有勘災報告出刊，其刊物主要內容性質為勘災報告、震害研究等，對於防災準備以及救災體系之討論文章則較少出現。
- (10) NISEE/EERC 學術研究單位：定期每月出版” Abstract Journal on Earthquake Engineering” (國家地震工程研究中心有館藏)。其網站提供 EERC 報告檢索服務及一系列電子版之地震工程教材與震害照片網路圖書館。
- (11) PEER(EERC) 專業組織：不定期出版”Technique Reports”。(以上刊物於國家地震工程研究中心皆有館藏。)
- (12) ASCE 專業組織：每月出版期刊” Structural Engineering” 以及” Structural Engineering”。
- (13) ATC 專業組織：不定期出版” Technique Reports”以及” Proceedings” (以上刊物於國家地震工程研究中心皆有館藏)。並提供線上 ATC 報告及出版品摘要及電子檔案。
- (14) SEAOC 專業組織：提供線上加州結構工程學會技術報告及出版品摘要，以及相關研究網站介紹和超連結。
- (15) IAEE 專業組織：每月定期出版” Earthquake Engineering & Structural Dynamics”，並有不定期出版之” Regulations for Seismic Design , A World List - 1996。(以上刊物於國家地震工程研究中心皆有館藏。)
- (16) EQE International 專業工程公司：提供著名地震及颶風災難報告，不定期出版”Disaster Reports”，電子版報告同時

可經由線上直接下載。

- (17) John Martin and Associates 專業工程公司：提供主要地震完整之影像照片供下載及電子版震災相關報告。

2、日本資料出版狀況

日本國內的地震工程研究水準並不亞於美國，但是由於其以日文方式呈現，無論在書面資料或網路資源方面，對於報告及研究成果的判讀都造成不便。因此本研究收集到直接來自日本的資料數量極微，但是由於日本資料對美國而言具有重要參考價值，是以本研究亦間接收集到一些日本資料。部份國內可借閱之日本報告及提供英日文雙語網站資訊之日本單位如下。

- (1) JSCE 專業組織：定期出版之” Structural Engineering & Earthquake Engineering” (biannual)。(國家地震工程研究中心有館藏。)
- (2) 東京大學地震研究所 學術研究單位：提供日本地震相關介紹及相關網站資料，為一相當完整之線上連接站。
- (3) 地科與防災研究中心(NIED) 學術研究單位：提供一系列有關日本地震震害防治相關介紹及相關網站資料。
- (4) 財團法人鐵道總合技術研究院(RTRI) 學術研究單位：提供有關日本橋樑耐震研究與其他地震相關研究摘要，具有相當完整之線上檢索服務。

3、其他國家(含國內)資料出版狀況

除了美日兩國以外，相當多國家在震災方面亦有專門機構定期及不定期地發表震災方面的報告與研究文章。茲列舉部份國內可借閱之文獻及其單位：

- (1) EAEE 專業組織：每季定期出版” European Earthquake Engineering “。(國家地震工程研究中心有館藏。)
- (2) Cal. Tech. Inst. 學術研究單位：不定期出版”Technique Reports”。

- (3) ENZNSEE 專業組織：每季定期出版” European Earthquake Engineering “。(國家地震工程研究中心有館藏。)
- (4) 中華民國建築學會 專業組織：不定期之勘災報告及文獻。
- (5) 國科會(NSC)學術 研究單位：不定期之”防災研究計畫報告”。
- (6) 臺灣大學地震工程研究中心(EERC) 學術研究單位：不定期之”Technique Reports”。
- (7) 國家地震工程研究中心(NCREE) 學術研究單位：不定期之 ” Technique Reports”以及 ” Proceedings”。

本研究期間所收集之相關震災報告或資訊，歸納如表二至表四。表二所列为部份國內可收集到之地震相關報告全文及其概要之內容簡介與收藏單位，表三所列为經整理後重要國外地震網站上(NIST 除外)主要之地震相關電子報告及資訊，表四為 NIST 網站上與地震工程相關之電子報告明細。

四、資料摘要

本研究所收集之文獻及電子資料繁雜，有一定比例之資料經過過濾後並無明顯可茲運用之處，至於部份較具明顯主題、或者極富參考性之文獻。在整理歸納過程中，已同時將其主要內容作成摘要，具有提供使用者簡潔參考之價值。本研究完成之重要資料摘要可分為兩類；第一類為國內重要具代表性文獻之重點摘要，第二類為國外文獻具重要或特點之資料的重點摘要。屬前者之類型請參見附件一；後者當中，屬報告全文之資料其重點整理後分別撰寫於期末報告書中，而屬網路資料者其摘要型式請參見附件二，該類資料之網址亦彙整於前節表三中。

表一：列舉資料主要來源

單位代碼	全稱	單位性質
FEMA	<i>Federal Emergency Management Agency</i>	政府機關
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>	政府機關
NSF	<i>National Science Foundation</i>	政府機關
USGS	<i>U.S. Geological Survey</i>	政府機關
LLNL	<i>Lawrence Livermore National Laboratory</i>	政府機關
EERI	<i>Earthquake Engineering Research Institute</i>	學術研究單位
EERC	<i>Earthquake Engineering Research Center, University of California at Berkeley</i>	學術研究單位
NISEE	<i>National Information Service for Earthquake Engineering</i>	學術研究單位
MCEER	<i>Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research</i>	學術研究單位
SSRP, UCSD	<i>Structural System Research Project, University of California, San Diego</i>	學術研究單位
ASCE	<i>American Society of Civil Engineering</i>	專業組織
ATC	<i>Applied Technology Council</i>	專業組織
SEAOC	<i>Structural Engineers Association of California</i>	專業組織
PEER	<i>Pacific Earthquake Engineering Research Center</i>	專業組織
IAEE	<i>International Association for Earthquake Engineering</i>	專業組織
EQE	<i>EQE International</i>	顧問公司
JSCE	<i>Japanese Society for Civil Engineering</i>	專業組織
EAAE	<i>European Association for Earthquake Engineering</i>	專業組織
NZNSSE	<i>New Zealand National Society for Earthquake Engineering</i>	專業組織
Engineering Structures	<i>Engineering Structures</i>	期刊
ESS	<i>Electronic Journals</i>	電子期刊
NSC, Taiwan	大型防災科技研究計畫辦公室	學術研究單位
NCREE	國家地震工程研究中心	學術研究單位
EERC	國立臺灣大學地震工程研究中心	學術研究單位
營建研究院	營建研究院	專業組織

臺灣省政府	臺灣省政府	政府機關
東京都立大學	東京都立大學工學部	學術研究單位
日本建築學會	日本建築學會	專業組織
中華民國建築學會	中華民國建築學會	專業組織

表二：列舉國內資料主要來源及資料內容簡介

資料編號	篇名	地震名稱	地震時間	報告種類	文獻種類	資料來源	報告單位	報告編號	資料型式	地震特性	一般結構	RC建築	鋼結構建築	SRC建築	磚造木造建築	橋樑結構	特殊結構	震前準備	震後防治	災後反應及措施	其他災害描述	備註	摘要資訊
6	Preliminary Report On The Principal Geotechnical Aspects Of The October 17, 1989 Loma Prieta Earthquake	Loma Prieta Earthquake	1989/10/17	勘災報告	建築物震害文獻	國家地震工程研究中心	EERC	UBC/EERC-90/05 APRIL 1990	報告全文	+	+	+			+	+	+				土壤液化,地質學角度之災害		
7	Performance Of Tall Buildings During The 1985 Mexico Earthquakes	Mexico Earthquake	1985	震災研究報告	建築物震害文獻	國家地震工程研究中心	EERC	UBC/EERC-92/17 DECEMBER 1992	報告全文	+		+	+								高樓結構		
8	Seismonological And Engineering Aspects Of The 1995 HYOGOKEN-NANBU (KOBE) Earthquake	Hyogoken-Nanbu (Kobe)	1995	震災研究報告	建築物震害文獻	國家地震工程研究中心	EERC	UBC/EERC-95/10 NOVEMBER 1995	報告全文	+	+	+	+		+	+					包含地表之災害		
9	Earthquake Engineering Research At Berkeley - 1992	無特定地震		震災研究報告	建築物震害文獻	國家地震工程研究中心	EERC	UBC/EERC-92/13 October 1992	論文全文	+	+	+	+			+	+		+		論文集,防災技術研究文獻		
10	Soil Conditions And Earthquake Hazard Mitigation In The Marina District Of San Francisco	Loma Prieta	1989/10/17	勘災報告	防災準備文獻	國家地震工程研究中心	EERC	UBC/EERC-90/08 MAY 1990	報告全文	+									+		關於土壤及基礎狀況描述以及災害防治之調查與研究		
11	嘉義瑞里地震勘災初步報告	嘉義瑞里地震	87/7/17/12時51分	勘災報告	建築物震害文獻	國家地震工程研究中心	國家地震工程研究中心	NCREE-98-004	報告全文	+		+				+	+				道路,地理地質,邊坡擋土牆破壞,學校建築物,民間建築物	結語	
13	美國加州1998年Loma Prieta強震之經驗與教訓	Loma Prieta	1989/10/17		綜合文獻	交通部科技顧問室	美國太平洋煤氣及電力公司	MOC-STAO-R E4501	論文全文	+						+	+	+	+		交通設施災害,救災系統之檢討與未來對策建議	交通工程地震防災研討會論文集	
15	唐山地震之經驗與教訓	唐山地震	1976/7/28		綜合文獻	交通部科技顧問室		MOC-STAO-R E4501	論文全文	+						+	+	+	+		地震預測,交通設施災害,救災系統之檢討與未來對策建議	交通工程地震防災研討會論文集	
16	各國強震的經驗與教訓:亞美尼亞,智利,菲律賓,舊金山	亞美尼亞,智利,菲律賓,舊金山			綜合文獻	交通部科技顧問室		MOC-STAO-R E4501	論文全文	+						+	+	+	+		地震預測,救災系統之檢討與未來對策建議	交通工程地震防災研討會論文集	

60	Geotechnical Reconnaissance Of The Effects Of The January 17,1995, Hyogoken-Nanyu Earthquake , Japan	Hyogoken-Nanbu Earthquake	1995/1/17/5時 46分	勘災報告	建築物震害文獻	國家地震工程研究中心	EERC	Ucb/Eerc-95/01 August 1995	報告全文	+	+	+		+		+	+			+	水壩、碼頭之災害	結語	Lifeline Systems
61	Philippines Earthquake Reconnaissance Report	Philippines Earthquake	1990/7/16/4時 26分	勘災報告	建築物震害文獻	國家地震工程研究中心	EERI	Supplement A To Volume 7 October 1991	報告全文	+	+	+				+	+			+	山區、水力發電廠、美術館	結語	通訊系統

表三：列舉國外資料來源主要網站(NIST 見表四)

表三(a)：主要網站地震工程相關電子檔案明細(EERI)

EERI		http://www.eeri.org/Reconn/Reconnaissance.html	
資料來源	資料種類	資料名稱(中文)	資料名稱(原文)
	勘災報告	1995 年 9 月墨西哥地震	The September 14, 1995 Ometepec, Mexico Earthquake
	勘災報告	1995 年 10 月土耳其地震	The Dinar, Turkey Earthquake of October 1, 1995
中文摘要	勘災報告	1995 年 10 月墨西哥地震	The October 9, 1995 Magnitude 7.6 Manzanillo, Mexico Earthquake
	勘災報告	1995 年 10 月墨西哥地震	Geological Aspects of the Oct. 9, 1995, Manzanillo, Mexico Earthquake
	勘災報告	1995 年 11 月埃及(中東)地震	The Aqaba Earthquake of November 22, 1995
	勘災報告	1995 年阪神地震災後報告	Kobe Eight Months After : Images of the "Interim City"
	勘災報告	1996 年 02 月伊朗地震	The February 17, 1996 Irian Jaya Earthquake and Tsunami
	勘災報告	1996 年 02 月中國大陸雲南地震	Reconnaissance Team Returns from Lijiang Earthquake
	勘災報告	1996 年 03 月厄瓜多爾地震	The March 28, 1996 Ecuador Earthquake
	勘災報告	1996 年 11 月秘魯地震	The Nazca, Peru, Earthquake of November 12, 1996 Investigation
	勘災報告	1997 年 01 月中國大陸新疆地震	The January 21, 1997, Jiashi, China Earthquake
	勘災報告	1997 年 02 月伊朗地震	A Summary Report on the Bojnoord (Northeast Iran) Earthquake of February 4, 1997
	勘災報告	1997 年 03 月伊朗地震	The March 2, 1997, Ardebil Earthquake in Northwest Iran
	勘災報告	1997 年 05 月印度地震	Some Observations on Engineering Aspects of the Jabalpur Earthquake of 22 May, 1997
中文摘要	勘災報告	1997 年 05 月伊朗地震	The Ardekul, Iran, Earthquake of May 10, 1997
中文摘要	勘災報告	1997 年 07 月委內瑞拉地震	The July 9, 1997, Cariaco, Eastern Venezuela Earthquake

中文摘要	勘災報告	1997 年 09-10 月義大利地震	The Umbria-Marche, Italy, Earthquakes of 1997
	勘災報告	1998 年 05 月玻利維亞地震	Bolivian Earthquakes of May 22-23, 1998: A Summary Report
	勘災報告	1998 年 06 月土耳其地震	The Adana-Ceyhan, Turkey Earthquake of June 27, 1998
	勘災報告	1998 年 08 月厄瓜多爾地震	The Bahía de Caráquez, Ecuador Earthquake of August 4, 1998
	勘災報告	1999 年 01 月哥倫比亞地震	The Quindío, Colombia, Earthquake of January 25, 1999

表三(b)：主要網站地震工程相關電子檔案明細(EQE)

EQE			
http://www.eqe.com/publications/disaster.html			
資料來源	資料種類	資料名稱(中文)	資料名稱(原文)
	綜合報告	1995 年 10 月墨西哥地震	The October 9,1995 Manzanillo,Mexico Earthquake
中文摘要	綜合報告	1995 年 01 月阪神地震	The January 17, 1995 Kobe Earthquake
中文摘要	綜合報告	1994 年 01 月加州北嶺地震	The January 17 , 1994 Northridge , CA Earthquake
	綜合報告	1992 年 06 月加州 Landers 地震	The Landers and Big Bear Earthquakes of June 28,1992
中文摘要	綜合報告	1991 年 04 月哥斯大黎加地震	The April 22,1991 Valle de la Estrella Costa Rica Earthquake
	綜合報告	1989 年 10 月加州 Loma Prieta 地震	The October 17,1989 Loma Prieta Earthquake
	綜合報告	1992 年 04 月荷蘭地震	The Roermond, Netherlands, Earthquake of 13 April 1992
	綜合報告	住家防震準備指南	The EQE Earthquake Home Preparedness Guide

表三(c)：主要網站地震工程相關電子檔案明細(USGS)

USGS			
http://water.usgs.gov/public/wid/index-hazards.html			
資料來源	資料種類	資料名稱(中文)	資料名稱(原文)
	短篇文章		Averting Surprises in the Pacific Northwest
中文摘要	短篇文章	建造更安全之結構	Building Safer Structures
	短篇文章		Hazard maps help save lives and property
	短篇文章		The Los Angeles Dam Story
	短篇文章		Pay a Little Now, or a Lot Later
	短篇文章		Quake Forecasting-An Emerging Capability
中文摘要	短篇文章	以更完善之設計準則減少震災死亡	Saving Lives Through Better Design Standards

	短篇文章		Seismic Maps Foster Landmark Legislation
	短篇文章		Southern Californians Cope with Earthquakes
中文摘要	短篇文章	加速震災處理復救工作進行	Speeding Earthquake Disaster Relief
	短篇文章		When Will the Next Great Quake Strike Northern California?
USGS	http://geohazards.cr.usgs.gov/northridge/		
中文摘要	專題報告	USGS 對住宅區地震之應變措施-北嶺地震	USGS Response to an Urban Earthquake Northridge

表三(d)：主要網站地震工程相關電子檔案明細(NISEE/EERC)

NISEE / EERC		http://www.eerc.berkeley.edu/lessons/index.html	
資料來源	資料種類	資料名稱(中文)	資料名稱(原文)
中文總結摘要	系列文獻	地震工程一般課程	General Lessons in Earthquake Engineering
中文總結摘要	系列文獻	1995 年阪神地震	Kobe Japan Earthquake January 17, 1995
中文總結摘要	系列文獻	1994 年北嶺地震	Northridge California Earthquake January 17, 1994
中文總結摘要	系列文獻	1989 年 Loma Prieta 地震	Loma Prieta California Earthquake October 17, 1989
	簡介		Historical Depictions of the 1755 Lisbon Earthquake
	簡介		Long Beach California Earthquake March 10, 1933
	簡介		Montana Earthquakes October, 1935
	簡介		The Great Tokyo Earthquake of 1923

表三(e)：主要網站地震工程相關電子檔案明細(LLNL)

LLNL		http://www-ep.es.llnl.gov/www-ep/esd/seismic/seismic.html	
資料來源	資料種類	資料名稱(原文)	附記

	專題報告	Predicting ground motion due to large earthquakes	含電子摘要之相關報告
	專題報告	3-d simulations of magnitude 7.1 scenario earthquakes along the Hayward fault.	
	專題報告	Regional seismic monitoring: Middle East and North Africa	
	專題報告	Seismic research as a cooperative confidence- and security-building measure	
	專題報告	An Earthquake Alert System (EAS) feasibility study	
	專題報告	Earthquake early warning research using real-time signal processing	
	專題報告	University of California, Campus Laboratory Collaboration program, Advanced Earthquake Hazards Project annual report, January 31, 1998	
	專題報告	Strong ground motion synthesis along the Sanyi-Tungshih-Puli seismic zone using Empirical Green's functions	
	專題報告	Seismic Arrival Detection Using The Wavelet Transform	

表三(f)：主要網站地震工程相關電子檔案明細(FEMA)

FEMA	http://www.fema.gov/mit/eqmit.htm		
資料來源	資料種類	資料名稱(原文)	附記
	短篇摘要	Avoiding Earthquake Damage: A Checklist for Homeowners	防震準備之宣導 文章或準則
	短篇摘要	Guidebook for Developing a School Earthquake Safety Program	
	短篇摘要	Nonstructural Earthquake Hazards in Schools	
	短篇摘要	Earthquake Preparedness	
	短篇摘要	Seismic Safety of Buildings	
FEMA	專題報告系列	Report on Costs and Benefits of Natural Hazard Mitigation	

<p>1. <i>Seismic Retrofitting to Protect Lifelines: The City of Memphis, Tennessee, Memphis Light, Gas, and Water Division</i></p> <p>2. <i>Reinforcement of Highway Bridges: Caltrans</i></p> <p>3. <i>Critical Facility Mitigation: Olive View Medical Center in California and FEMA's Seismic Hazard Mitigation Program for Hospitals</i></p> <p>4. <i>Seismic Retrofitting of Non-Structural Elements: Lighting in the Los Angeles Unified School District</i></p> <p>5. <i>Regulation of Unreinforced Masonry Buildings: Earthquake Hazard Reduction Ordinance in Los Angeles, California</i></p> <p>6. <i>Building Codes: A Simulation of the Northridge Earthquake in Los Angeles, California</i></p> <p>7. <i>Seismic Retrofitting of Buildings: University of California at Santa Barbara</i></p> <p>8. <i>Seismic Retrofitting to Avoid Business Disruption: Anheuser-Busch, Los Angeles, California</i></p>	<p>2,3,6 附中文摘要</p>
--	--------------------

表三(g)：主要網站地震工程相關電子檔案明細(MCEER & FHWA)

MCEER	http://mceer.buffalo.edu/sp_pubs/kobereport/response.pdf		
	專題報告	NCEER Response to the Kobe Earthquake of January 17, 1995	初勘報告
MCEER	http://mceer.buffalo.edu/resacom/index.html		
	專題報告摘要	NCEER Research Accomplishments 1986-1994	歷年學術研究
	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Seismic Response of Unreinforced Masonry Buildings</i> 2. <i>Evaluation and Retrofit of Lightly Reinforced Concrete Buildings</i> 3. <i>IDARC: Computer Program for Inelastic Damage Analysis of Reinforced Concrete Structures</i> 4. <i>Protective Systems for Buildings: Application of Spherical Sliding Isolation Systems</i> 5. <i>Research and Development of Active Control Systems</i> 6. <i>Application of Fluid Viscous Dampers to Earthquake Resistant Design</i> 7. <i>Earthquake Site Response and Seismic Code Provisions</i> 8. <i>Earthquake Performance and Simulation of San Francisco's Auxiliary Water Supply System Crude Oil Transmission Study</i> 9. <i>Energy Based Seismic Design and Evaluation Procedures for Reinforced Concrete Bridge Columns</i> 		含電子摘要之報告
FHWA	http://www.tfhr.gov/pubrds/summer94/p94su26.htm		
	專題報告	美國 FHWA 針對北嶺地震橋樑耐震設計經驗之專題報告	PUBLIC ROADS On-Line (Summer 1994): The Northridge Earthquake: Progress Made, Lessons learned in Seismic-Resistant bridge Design
			中文摘要

表四：NIST 與地震工程相關之研究報告

NIST Building Publications Online - 與地震工程相關之研究報告

NIST	http://flame.cfr.nist.gov/bfrlpubs/				
資料來源	資料種類	檔案名稱	資料名稱(原文)	檔案大小	作者
BFRL	研究報告	b94050.pdf	NIST research program on the seismic resistance of partially-grouted masonry shear walls.	5365k	Arturo E.Schultz
BFRL	研究報告	b94051.pdf	Performance of HUD-Affiliated properties during the January 17, 1994 Northridge earthquake, NIST	4735k	Diana Todd et al.,
BFRL	研究報告	b94060.pdf	1994 Northridge earthquake performance of structures, lifelines, and fire protection systems.	23982k	Diana Todd et al.,
BFRL	研究報告	b94067.pdf	Beam-to column connections for precast concrete moment-resisting frames	388k	Geraldine Cheok et al.,
BFRL	研究報告	b94068.pdf	Seismic resistance of vertical joints in precast shear walls	299k	Arturo E. Schultz et al.,
BFRL	研究報告	b94074.pdf	Seismic behavior of a six-story precast office building	382k	Arturo E. Schultz et al.,
BFRL	研究報告	b94075.pdf	Sensors and techniques for structural monitoring	170k	R.D. Marshall et al.,
BFRL	研究報告	b95009.pdf	Comparison of the seismic provisions of model building codes and standards to the 1991 NEHRP recommended provisions	3733k	Melvyn Green
BFRL	研究報告	b95012.pdf	Computer representations of design standards and building codes: U.S. perspective	1393k	S J Fenves et al.,
BFRL	研究報告	b95053.pdf	Inelastic response of the Cypress Viaduct to the Loma Prieta earthquake	872k	Sashi K. Kunnath
BFRL	研究報告	b95056.pdf	Literature review on seismic performance of building cladding systems	13605k	
BFRL	研究報告	b95071.pdf	Performance of federal buildings in the January 17, 1994 Northridge earthquake	11247k	Diana Todd et al.,
BFRL	研究報告	b95076.pdf	Performance of hybrid moment-resisting precast beam-column concrete connections subjected to cyclic	2013k	Willian C. Stone et al.,

			beam-column concrete connections subjected to cyclic loading		
BFRL	研究報告	b95079.pdf	Post-earthquake fire and lifelines workshop: long beach California January 30-31,1995 proceedings	138k	Riley M. Chung et al.,
BFRL	研究報告	b95084.pdf	Recommended performance-based criteria for the design of manufactured home foundation systems to resist wind and seismic loads	3604k	Richard D. Marshall et al.,
BFRL	研究報告	b95092.pdf	Strengthening methodology for lightly reinforced concrete frames: Recommended design guidelines for strengthening with infill walls	2676k	Long T. Phan et al.,
BFRL	研究報告	b95096.pdf	A survey of still moment-resisting frame buildings affected by the 1994 northridge earthquake	8995k	Nabih F.G Youssef et al.,
BFRL	研究報告	b96002. pdf	The January 17, 1995 Hyogoken-Nanbu (Kobe) Earthquake.	73734k	
BFRL	研究報告	b96013. pdf	Preliminary processing of the Lotung LSST Data .	1820k	Steven D. Glaser et al.,
BFRL	研究報告	b96090. pdf	Estimation of system damping at the Lotung site by application of system identification.	5830k	Steven D. Glaser et al.,
BFRL	研究報告	b96093. pdf	Test requirements for base isolation.	519k	H.W. Shenton et al.,
BFRL	研究報告	b96124.pdf	A modified optimal algorithm for active structural control.	898k	Fahim Sadek et al.,
BFRL	研究報告	b96132.pdf	State of the art report on seismic design requirements for nonstructural building components.	3951k	Long T. Phan et al.,
BFRL	研究報告	b96133.pdf	A method of estimating the parameters of tuned mass dampers for seismic applications.	1583k	Andrew W. Taylor et al.,
BFRL	研究報告	b96134.pdf	Simplified design procedure for hybrid precast concrete connections.	2462k	Geraldine S. Cheok et al.,
BFRL	研究報告	b96135.pdf	Single and multiple tuned liquid column dampers for seismic applications.	1464k	Fahim Sadek et al.,
BFRL	研究報告	b96152.pdf	Summary of NIST activities related to the January 17 ,1994 Northridge California earthquake	644k	Riley M. Chung et al.,

BFRL	研究報告	b97029.pdf	Failure analysis of welded steel moment frames damaged in the Northridge earthquake	21157k	Eric J. Kaufmann et al.,
BFRL	研究報告	b97050.pdf	Passive energy dissipation devices for seismic applications	4179k	Fahim Sadek et al.,
BFRL	研究報告	b97051.pdf	Semi-active control algorithms for structures with variable dampers	2775k	Fahim Sadek et al.,
BFRL	研究報告	b97058.pdf	A hybrid reinforced precast frame for seismic regions	1385k	Geraldine S. Cheok et al.,
BFRL	研究報告	b97112.pdf	Northridge earthquake :lifeline performance and post-earthquake response	42259k	Anshel J.Schiff
BFRL	研究報告	b97118.pdf	Cumulative seismic damage of reinforced concrete bridge piers	10501k	Andrew W. Taylor et al.,
BFRL	研究報告	b98010.pdf	Variable dampers for semi-active control of flexible structures	996k	Fahim Sadek et al.,
BFRL	研究報告	b98015.pdf	Single-and multiple-tuned liquid column dampers for seismic applications	1688k	Fahim Sadek et al.,
BFRL	研究報告	b98030.pdf	A connection model for the seismic analysis of welded steel moment frames	887k	John L. Gross
BFRL	研究報告	b98050.pdf	Lifelines and control of post earthquake fires	654k	Richard N. Wright

參、研究發現

台灣潛在發生都會區強震之重要地區，主要是台北盆地及嘉南平原地區。台北盆地之震害主要肇因於其盆地特性，使得具特定自然頻率範圍之結構物在地震侵襲時（主要源自宜蘭花蓮外海之板殼運動），會因經歷較顯著之動力反應放大效應，而遭受更高程度之損壞機率。另一方面，嘉南平原之地震則是由於該地區斷層錯動所引起。以地震發生機制而言，台北盆地之地震類似於墨西哥市及菲律賓之地震。而嘉南地區之地震，則較接近於日本及美國加州所發生之淺斷層地震型態。

台灣地區常見之建築物型態，在分類上與美、日、墨西哥等強震地區相近。主要是鋼筋混凝土結構、鋼結構、傳統老舊木、磚、土造建築等。在數量上，一般建築物仍以鋼筋混凝土建築物為主，鋼結構建築則主要應用於較高層建築、商業建築及廠房等。都會區老舊社區內，則仍散佈為數不少之日式木造及傳統磚造建築物。另一方面，近幾次都會區地震皆發生顯著之震後火災，此二次震害實為造成這些地震嚴重損失之重要原因。因此，如何能將震後火災所造成之損失降至最低，也是地震教訓中重要的課題。

本研究針對所收集到之震害資料依建築物、交通設施、維生線設施、震後火災及防災救災體系等項目，以阪神及北嶺地震經驗為主逐節說明及討論。

一、建築物震害

1968年 Tokachi-Oki 地震及 1971年 San Fernando 地震後，日本及美國之鋼筋混凝土結構設計規範中，有關剪力強度之規定相繼有重要的修訂，嚴格限制剪力鋼筋及箍筋間距之要求。此外，日本經歷 1978年 Miyagiken-Oki 地震後，更於 1981年之建築法規中引入所謂二階段設計法(two phase design procedure)。此二階段

設計概念，在第一階段仍沿用傳統容許應力設計法，而第二階段則是評估結構之強度及韌性需求，在強震作用下是否仍然足夠。

綜觀 1994 及 1995 年兩次都會區地震中建築物之抗震表現，可清楚地發現主要發生嚴重破壞之結構，大都是 1971 年以前建造的。而美國 1971 年及日本 1981 年以後所完成之建築物，雖極少有嚴重破壞者，仍可觀察到一些非預期之破壞模式。這些發現顯示，繼續改進設計規範及採取相關補救措施仍有許多研究空間。

有關北嶺及阪神地震中，建築物之震害描述及耐震設計研究等議題，國內出版之文獻如臺灣營建研究中心出版之"由阪神地震探討臺灣地區建築結構耐震設計"[3]，中華民國建築學會編印之"日本阪神地震勘災訪問報告"[4]，國家地震研究中心出版之北嶺及阪神訪查報告書[1,2]等皆有相當深入之探討。茲將建築物常見震害種類分為四項，簡單條列或說明於下列小節，並請參考附件一之 C1.3, C2.1, C2.2, C3 及附件二之 EERI、EQE 與 NISEE 系列之相關摘要內容。

1、鋼筋混凝土結構(含鋼骨鋼筋混凝土)

鋼筋混凝土結構主要之震害類型可分為下列幾項；

(1) 軟層及弱層破壞(soft and weak stories)

此類破壞主要發生在樓層高度大之一樓(軟層)及建築物之中間樓層(弱層)，前者是因樓層勁度不足引起，後者是因樓層強度不足引起。這些破壞一般肇因於抗震構架系統，為配合結構物特殊之建築配置與用途所做的幾何改變。值得一提的是，在阪神地震中許多鋼筋混凝土建築物發生此類破壞。

(2) 鋼筋混凝土剪力牆破壞

北嶺地震中，具剪力牆之建築物相對於不具剪力牆者遭受較輕微之震害。而在阪神地震中，則可發現部分剪力牆建築物其剪力牆嚴重受損。不過，這些建築物皆屬小型之低層建築物。大型

及中高層鋼筋混凝土建築物並無此現象。

(3) 柱之剪力破壞

由於 1971 年規範對剪力鋼筋及箍筋間距嚴格之要求。在北嶺及阪神地震中，可清楚觀察到後 1971 年之鋼筋混凝土結構，其柱受剪力破壞之情形有很大的改善(日本後 1981 年鋼筋混凝土結構受到柱剪力破壞之情形更少)。以新規範設計之柱，仍有遭受嚴重破壞者，但破壞的案例皆屬多層建築物中長度相對很短之柱桿件。另一方面，樑柱之設計必須考慮強樑弱柱之效應，並儘量避免此種勁度配置。通常強樑弱柱效應在與鄰近建築物發生碰撞時將更加顯著。除此之外，在舊設計之鋼筋混凝土建築物震害中，亦常見到樑柱接頭破壞的情形。此類破壞在新規範設計之鋼筋混凝土建築物仍可見到(但較少發現)，唯新鋼筋混凝土建築之此類破壞，皆伴隨鄰柱之剪力破壞發生。

(4) 鋼骨鋼筋混凝土結構之破壞情形

鋼骨鋼筋混凝土結構在 1970 年以前即已被廣泛採用。主要原因是因為 1923 年關東大地震時，鋼骨鋼筋混凝土結構之抗震表現較其他型式結構系統為佳。但在阪神地震及近幾次日本其他地震中，鋼骨鋼筋混凝土結構之表現卻不理想。歷次地震中，鋼骨鋼筋混凝土結構皆被觀察到相當多之破壞情形。其中較嚴重之破壞分別為；

- (a) 建築物上部樓層使用鋼筋混凝土結構系統，下部樓層使用鋼骨鋼筋混凝土結構系統時，由於樓層勁度在中間連接樓層有顯著之改變(鋼骨鋼筋混凝土樓層之勁度較鋼筋混凝土樓层高)，導至大部分破壞集中發生於緊接著鋼骨鋼筋混凝土結構系統之鋼筋混凝土樓層。
- (b) 日本舊設計規則並未規定鋼骨鋼筋混凝土建築之鋼骨柱必須延伸至地下樓層。因此，許多鋼骨鋼筋混凝土建築僅錨定於地面層。1987 年以後設計規則規定鋼骨鋼筋混凝土

土建築必須使用埋入式底板(embedment type baseplate)與基礎結構連接之設計(即以地下樓層為轉換層),鋼骨鋼筋混凝土結構系統之抗震表現因此大幅改善。

- (c) 早期日本慣用之腹型組合金鋼其抗震性相當差,導至相當普遍之結構破壞。臺灣所慣用之充腹型鋼抗震表現較佳,所引起之斷面損害壞情形較少。

(5) 非結構體引起之短柱效應

建築物內之隔間牆為採光需要,牆壁上半部大都為窗戶或開孔,倘牆壁下半部兩端皆與柱緊密接合,而隔間牆具不可忽略之勁度,柱之有效長度將減小(僅鄰開孔區域之長度)。柱長度減小使得側向勁度增加但強度不變,地震力作用下,柱因其(相對)較大剪力而破壞的機率大增。此短柱效應之影響早以為人所知,但是由於施工細節有意或無意之忽略,此類破壞仍是每次強震下皆可觀察到之現象。

2、鋼結構

一般而言,鋼結構建築被認為具較佳之韌性而有較佳之抗震行為。但在北嶺地震中最令人感到意外的一項震害是抗彎矩構架(Moment-Resisting Frame)樑柱接頭之脆性破壞。這項發現使美國 FEMA 在這項議題上擇成 SEAOC, ATC, CUREE 等單位(簡稱 SAC),負責執行二階段之研究方案。旨在降低鋼構結構之震害,其階段任務分別為第一階段有效檢驗及修正焊接鋼構之缺陷,並於第二階段徹底研究及瞭解鋼構接頭和鋼構系統之行為。有關鋼結構破壞原因可參閱參考文獻[3]收錄陳生金教授所撰"地震下建築物常見之破壞型態",文中有相當詳細之鋼結構建築破壞型態解說。

- (1) 老舊及低層輕型鋼或冷軋鋼建築之接頭破壞。
- (2) 斜撐破壞。

- (3) 柱挫屈及續接處斷裂。
- (4) 中高度抗彎矩構架之預製樑柱接頭焊接破裂。
- (5) 高層建築之樑柱焊接破裂、巨型鋼柱斷裂。
- (6) 細長建築物因過度側位移所造成之柱底板破壞及螺栓抽出破壞。
- (7) 柱基腳破壞。
- (8) 帷幕外牆之破壞。

3、傳統木造結構

在阪神地震中，傳統木造結構損害程度嚴重，許多完全倒塌。主要是因此類日式傳統建築不具適當之抗橫力系統，加以木造結構本身有腐爛之虞，且屋瓦造成過大之質量集中於結構頂部。因此，地震力作用下木造建築物極易傾覆甚至倒塌。部分較新建木造結構輔以斜撐設計來抵抗地震力或颱風，其抗震能力稍增，但結構損壞程度仍相當嚴重。木造建築震後之另一隱憂是極易引起火災而造成嚴重之二次震害。

4、採基礎隔震之建築物

北嶺和阪神地震中，可觀察到採用基礎隔震之建築在水平方向上之加速度確實降低很多，使得相對其他建築物之結構與非結構損害都減小很多。尤其阪神地震中，兩棟受測建築物所在地址測得之地動明顯週期非常接近隔震系統之自然週期，而建築物之隔震效果極佳。臺灣營建研究中心出版之"由阪神地震探討臺灣地區建築結構耐震設計"與"由阪神地震探討橋樑耐震工程之發展方向"中，兩篇研討會論文[美日大地震中隔震建築的反應，蔡相全]及[橋樑使用隔震、消能系統國內發展方向之探討，黃震興、張國鎮]對美日基礎隔震建築之發展歷史，及北嶺與阪神地震中隔震建築之表現，有相當詳細之討論及本土應用之建議。

5、一般結構之其他破壞

除了上述各結構類型典型之震害外，一般房屋結構常見之破壞主因尚包括下列三項；

- (1) 因鄰屋互撞引起：肇因於不相連之相鄰結構間隔不足時，當結構之樓高不同，樓地板與鄰屋柱發生碰撞時，此項破壞更加顯著。
- (2) 因基礎破壞引起：當土壤破壞或基礎過大變形時所引起之結構系統破壞。
- (3) 偏心扭矩產生之破壞：不規則結構系統配置、不規則建築用途及不適當之非結構系統配置皆可能引起此類破壞。

二、橋樑結構與運輸系統震害

橋樑是道路交通運輸系統中不可或缺的構造物，但若是在地震中產生了災害，除了可能造成生命財產的損失外，更可能因交通中斷阻礙了救災與復原工作的進行。北嶺和阪神地震中，可觀察到大部份的橋樑與運輸系統並未造成傷亡事故，但仍有少數完全損毀以及為數不少之橋樑遭受局部損壞。兩大地震後，國內有關橋樑耐震研究中，臺灣營建研究中心出版之"由阪神地震探討橋樑耐震工程之發展方向"[5]提供相當完整之橋樑震害資訊與包括補強措施之改善意見。另外，中華顧問工程司[6]、中華民國建築學會[4]及國家地震研究中心[1,2]對橋樑震害之形成與因應建議皆有相當程度的探討。針對北嶺及阪神地震中，橋樑結構與運輸系統之震害經驗可參考上述文獻，並請參考附件一之 C1.4, C2.4, C3 及附件二之 EQE-3, FEMA-2, FHWA 等相關摘要內容。

一般而言，可歸納北嶺及阪神橋樑損壞原因於如下；

北嶺地震：北嶺地震後，美國 FHWA(Federal Highway Administration)針對北嶺地區約 2000 座橋樑(其中 6 座全毀，4 座嚴重破壞無法正常運作，次要及非結構損壞者分佈亦相當普遍)之觀察，歸納橋樑損壞肇因下列因素

- (1) 橋墩因承載之土壤破壞造成橋墩體及引道板(approaching

slab)之破壞。

- (2) 橋樑因承墊破壞或承座長度不足所引起之橋結構破壞或落橋。
- (3) 橋柱因過大之剪力或撓曲變形而破壞(此類破壞通常肇因於 RC 柱之圍束效應不佳及不良之鋼筋搭接及錨定)。
- (4) 基腳因過大之剪力或撓曲變形而破壞(此類破壞通常發生在 RC 基腳無適當之腳頂鋼筋，基腳基樁之接頭設計不良或設計之承載容量不足所致)。
- (5) 土壤液化及超載土體變形所引起之地表破裂。

阪神地震：阪神地震公路及橋樑損壞種類可歸納為三類；

- (1) 肇因於支承破壞之上部結構損壞

此類損壞可分為二種情形；(a)是由於承墊破壞所引發橋樑倒塌及(b)是由於部分結構破壞引起應力重新分配，導致承墊受到過大應力而破壞。

- (2) 下部結構損壞

此類混凝土下部結構之破壞主要發生於 1970 年以前設計之橋樑，其破壞原因是；舊規範對鋼筋搭接以及剪力鋼筋之要求不夠嚴格，鋼結構下部結構損壞則多為鉸接變形或局部挫屈。

- (3) 由於土壤液化、截面偏斜及特殊裝置引起之損壞。

除了上述有關支承及柱之破壞情形，其他可觀察到之間接損壞包括土壤液化引起之基礎破壞乃至結構破壞，彎曲及斜面等不規則幾何截面形狀之不利影響，以及特殊之設計保護接頭裝置(special connections associated with protective systems)所引起之損壞。

另一方面，部份國外報告[20-22]所提供之相關震害經驗補充說明如下；FHWA 歸結美國西部歷次地震橋樑結構之震害，做成下列心得，供以後研究之參考：

- (1)較新建橋樑以新規範設計者，大致上耐震表現很好，給予 1971 及 1981 年後，規範所作較大幅修正方向及正面之肯定。
- (2)以各種方式補強之橋樑連接伸縮區域，橋柱塑性破壞區域，基礎加勁等，皆表現出相當程度之抗震能力改善，雖然現階段之技術無法達到絕對之防震保證。對於急需以補強技術改善抗震能力之橋樑而言，補強措施為有效之手段。
- (3)北嶺地震是引起人們再度重視垂直地震分量之強震*。
- (4)防震準備確實大幅降低地震發生後之二次震害(Secondary Hazard)之損失。加州是美國地震最嚴重之地區。因此，加州運輸局(Caltrans)在震前已有初步發展之救災編組，重要物資備用存量等措施。雖然地震發生時，仍可發現相當多待加強之缺失，但是另一方面也可發現由於這些初步之救災、防災措施已可有效降低整體震害之嚴重程度。

而有關阪神地震中鐵路及捷運系統損壞，可發現區域內四條鐵路幹線及二條捷運系統皆遭受嚴重損壞。高架路線之損壞遠比路堤路線部分來得嚴重，主要是因為混凝土柱之圍束鋼筋無法提供足夠之剪力強度來抵抗橫向力。此外，高出預期之地表加速度，亦可能是造成幹線受損範圍非常廣之原因(橋臺長度不足)，所幸地震發生時間是清晨 5 點 46 分，否則因高架系統損毀倒塌所造成之傷亡將非常可怕。

三、其他特殊結構及公共建築物

阪神地震中港口設施損壞之情形：港口地區多為鬆質砂土所填之海埔新生地，因此土壤液化之潛能與災害非常明顯。大阪港口在地震發生時，由於土壤液化之損壞嚴重，整個港口停擺，嚴重造成日本進出口貨運之經濟利益損失。除了普遍分佈之土壤液化現象，可觀察到之損壞現象包括極大之永久沉陷量(30cm to

* 雖然垂直分量之影響在相關研究領域上仍有許多分歧之看法。但北嶺、阪神地震後三、四年之密集討論及文獻研究上可看出這個議題使得各國設計規範之參數在重新檢討後，有更進步可取之處

50cm)導致堤岸嚴重損毀，差異沉陷亦造成碼頭起重結構完全損毀等，並請參考附件二之 EQE-2 與 EQE-3。

醫院建築能否在震後正常運作是震災救援非常重要的因素，北嶺地震及阪神地震中，並無因醫院倒塌所造成之災難，但醫院之結構與非結構損壞仍相當普遍。洛杉磯之市立醫院(Olive View Hospital)的震災防治計劃是一個極佳之成功例子。也由於這個成功防治的個案，FEMA 成立專案推廣醫院之震災防治工作。這個專案 Seismic Hazard Mitigation Program for Hospital (SHMPH)之相關簡介，請參考附件二之 FEMA-3。

機場與核能電廠的相關資料蒐集不易。由阪神地震之經驗來看，機場主要之破壞在控制塔臺發生輕微結構損壞與非結構(如玻璃及設備)損害，因此，確保強震中機場控制塔臺之結構與設備安全，也是震害防治須注意事項。另外，此次資料收集並未發現有關核能電廠震害之文獻，關於探討核能電廠耐震設計之文獻，期刊 Nuclear Engineering and Design 近五年之出版品則可發現一些文獻，由於與本研究主題較無直接關係，不在此贅述。

四、重要維生線設施及震後火災

維生線是社會大眾基本維生之公共工程，包括通信、電力、瓦斯、油料、給水、廢水處理乃至運輸系統。由各勘災報告及震災研究文獻所歸納之破壞情況如下，並請參考附件一之 C4 及附件二之 EQE-3 中相關資料。

1、北嶺地震維生線破壞情況：

- (1) 供水系統停擺：肇因於分佈相當廣之輸水系統損壞(多由地表破裂與建築物損壞所造成)。
- (2) 修復供水及瓦斯管線設備之過程耗時，完成復原工作之成本相當高。
- (3) 瓦斯管線設備之破壞中，韌性(塑膠)管線較老舊(鐵)管抗震性佳。此外，瓦斯管線設備之破裂亦引起多起火災。

- (4) 由於北嶺地區有數個獨立之供電系統來源，單一電力系統全毀之影響較有限。因此，震後電力系統之恢復(相對於其他地震時)相當快速。
- (5) 數個電力中繼站因基礎破壞而破壞。

2、阪神地震維生線破壞情況：

- (1) 供水系統：阪神地震中，蓄水設施由於其設計要求頗高，無明顯震害發生，僅零星因土壤液化所引起之設施及局部結構體損壞。但供水系統真正的問題，是震後之水源不足或輸送管道不能正常運作，所以至少有 100 處以上之震後火災，根本無法尋找到附近水源來撲救。
- (2) 瓦斯系統：瓦斯管線設備在震後火災扮演相當重要之角色。由於大部分地區之電力與瓦斯系統間並不互相協調。因此，復電與修復漏氣之動作常無法同時兼顧，導致相當多之震後引爆事件。
- (3) 電力系統：除了電力系統之輸送結構與設施所遭受之損害。明顯之電力相關損害為(a)電線桿倒塌引起之電力管線設備損壞，(b)恢復供電引起之火災。

五、防災體系

台灣處於地震帶上，所幸發生大地震的頻率不若美國加州以及日本，但是也正因如此，建築以及公共工程結構的耐震能力、耐震規範以及震災緊急應變措施等，至今尚未面臨真正的考驗。除了加快耐震技術的研究、耐震規範的修正、結構以及設備的耐震能力之評估與補強工作之外，震災發生後的救災體系之建立也是刻不容緩的工作。

從過去幾年的大震災之中，美日兩國累積了很多地震救經驗，在救災體系上、組織動員上都有值得我們借鏡的地方，因此在此節錄兩國的重要措施，以供參考。有關美日兩國在北嶺及阪神地震中之救災體系運作狀況，請參考附件一之 C1.5, C2.5[林樹柱

等，北嶺地震中美國政府之防災與救災體系]及[游顯德及張景森，阪神大地震之救災與復建]兩篇摘要。另外，內政部建築研究所研究計劃成果報告[許茂雄，建築物耐震評估及補強實施制度之探討]，文中對美、日、中國大陸以及我國現行地震防災制度、相關組織及法規制定現況等有深入的探討。這些文獻及研究報告可供震災後之防災應用中，相關復舊工程及法令制定之依據。另外，附件二之 USGS-2, USGS-4, FEMA-1, EQE-3 等相關資料摘要對北嶺及阪神地震中，美日之地震震災資料庫在救災工作上之應用理念及改進意見有概況之介紹與說明。中國大陸方面的資料雖然收集不易，但是由附錄一 C7 關於唐山地震一文中提到在唐山大地震中的救災行動及動員狀況，仍有值得我們借鏡之處，在此作介紹。

1、美國政府的防災與救災體系

美國之救難系統，上至中央政府下至地方政府動員，以有效減低地震所帶來之災害。其救災工作的重點在搶救災區、災情控制、防止二次災害以及社會之秩序的迅速恢復。1994 年洛杉磯北嶺地震收集到最多的相關資訊，因此在此以這次的救災行動為範本介紹。在組織上，美國政府緊急事件之應變系統大致可以分為三個層次：(1)聯邦急難管理署(FEMA)，受美國總統指揮，負責動員全國各地調集人員參與救災工作。FEMA 將補助地方政府修復學校、公共建築、水電及瓦斯等所需經費，一切經費的申請以由專業工程師在現場錄影、拍照、估價，以及修復後或拆除工作完成後之記錄為依據；(2)州政府層級，包括州政府急難服務辦公室以及加州運輸局(CALTRANS)，負責公路系統的搶修工作，所需經費則來自聯邦 FHWA 及加州政府。本次 CALTRANS 之反應速度及處理方式，非常值得我們注意，詳見由國家地震工程研究中心出版之「1994 年元月 17 日美國洛杉磯北嶺地震震災訪查報告書」[1]；(3)地方政府層級，透過無線電及電話動員人員，負責建築物災情檢查、鑑定工作。動員之人員包括：市政府所屬工程師、建築檢查人員、LA 區域之專業工程師(P.E.)、結構工程師(S.E.)。其工作程序如下：

- 首先檢查市政府本身及公務機關，確定安全無虞可以使用後，人員即開始由市政府派遣至各災區檢查。
- 檢查人員兩人一組，通常一個為建築檢查員（ Building Inspector ），一個為工程師（ Engineer ）。
- 檢查時利用快速檢查表(Rapid Screening Inspection Form)判斷該建築物之狀況，並區分為三級於明顯處貼標示，紅色表示危險，禁止進入；黃色表示受損，限制進入(屋主、住戶或官方人員)；綠色表示已檢查無明顯結構危險。
- 餘震達 4 級以上則已檢查過之建築物需重新派員檢查。

2、日本的防災與救災體系

1995 年阪神地震對日本的耐震工程規範以及防、救災體系造成極嚴峻的考驗，由本次救災行動以及事後檢討的文獻中可以發現，有下列工作是規劃救災體系時必須考慮的：避難、安定人心、援救受傷者、防止二次災害、確保災民當時生活、金融、教育及其他等八項目。關於日本政府及民間組織在本次震災中相關於上述八項工作的實施，在中華民國建築學會出版之文獻「1995 年 1 月 17 日日本阪神大地震勘災訪問報告-救災與復建」[4]中有非常詳盡的報導。

3、中國大陸於唐山地震中之救災行動動員狀況

1976 年唐山地震為本世紀造成最大災情的天然災害，本次地震造成 24 萬餘人死亡，公路、鐵路及通信設備完全損毀，在此情況之下卻能迅速動員，對於災難擴大之防止有極大的貢獻。是以在本次地震中，救災組織與動員方式有很多值得借鏡的地方。對於唐山地震救災行動之實施，在附錄一『唐山地震之經驗與教訓』一文有詳細的介紹。在此僅節錄關於組織與動員方面報導。

關於震前防震措施方面，著重以下幾項工作：

- 1.1 地震預測工作：由歷史上關強震的記載以及地動監測記錄研判各地區可能發生地震的規模，並據以制訂建築物之抗

震能力。但是由於本活動開始於 1976 年邢台地震後，時值文化大革命末期，由於設備簡陋、缺乏科學依據，並沒有預測到唐山大地震之發生。

1.2 地震預防工作：國務院已知數年內華北將有大地震發生，所以乃飭令中央單位及有關部隊及地方政府部署抗震工作。其工作主要包括：建立各級防震抗震領導機構和辦事機構、進行防震抗震宣傳教育、建築物檢查，鑒定和加固。其中建築物檢查，鑒定和加固方面的工作包括：制定建築物抗震鑒定標準、進行建築普查鑒定、重要建築物加固、民房加固等工作。

1.3 部署應急準備：天津市分別於 1975 年 2 月及 1976 年 5 月兩次部署應急準備，其內容為：制定人員疏散方案、安排治安、食品、用水、帳篷等物資準備；組織應急醫療隊伍、群眾性搶救隊伍、儲備醫療器材及藥品、制定救護任務和震傷救治訓練、選定臨時醫院地點；對交通運輸建立道橋排險搶修專業隊伍、郵電通訊及房屋搶修專業隊伍與治安消防隊伍；防震抗震領導小組均有軍方領參與，必要時動用軍方應急通訊設備，並調動部隊參與搶險救急行動。

關於救災組織方面，唐山地震發生日六時召開緊急會議，決定實施國家級救災，主要部署為：

- (1) 於北京建立中央救災指揮部，由國務院副總理會同北京軍區司令組成領導小組。
- (2) 組織以解放軍為主體的救災隊伍。
- (3) 專業搶救隊伍，調動煤炭部、鐵道部、電力部、郵電部及其他中央建設專業部門支援搶修和恢復重建。
- (4) 各省市醫療支援。

4、我國防救災體系之現況

目前我國防災救災運作體系的依據，是民國 83 年行政院頒佈

之「災害防救方案」。該方案依我國行政體制設立中央、省(市)、縣(市)、鄉(鎮市區)四級之防災會報，有災害發生之虞或災害發生時，設立對應之四層級災害防救(處理)中心，且各參與防救中心編組之單位亦同時於單位內部成立緊急應變小組，執行各項防災應變措施。目前行政院頒佈之「災害防救方案」仍屬草案階段，未經立法程序通過。至於其他相關地震應急法規或是既有建築物耐震的診斷與改修制度及法令，更是完全付之闕如。與日本及美國相較之下，我國實有迎頭趕上之必要。

此外，目前由國家防災型計劃辦公室主導的地震災害潛勢研究如 Haz-Taiwan 之建立，以及地理資訊系統於震災後救災支援之研究正如火如荼展開，對於救災資訊之快速建立與傳遞有積極的意義(Haz-Taiwan 引自 HAZUS，是一套經標準化可預測區域內或局部地區震害損失之軟體，相關參考資訊可瀏覽 NIBS 網站)，國內 Haz-Taiwan 資料庫建置計劃目前已完成第一階段之初始假設資料之建立，並進行決策系統試車階段，預計兩年後(2001 年)將完成臺北市及嘉義市示範區之完整震災管理系統資料庫建置計劃。

另一方面，此類資料庫如 HAZUS 之應用實例可參考 FEMA 之網路文章"Report on Costs and Benefits of Natural Hazard Mitigation; Building Codes : A Simulation of the Northridge Earthquake in Los Angeles, California"(附件二之 FEMA-1)。然震災發生後，如何快速動員相關研究人員、工程師、以及消防、醫療人員等，有賴救災體系之建立與訓練，在這一方面，美日等國的經驗提供我們很好的學習教材。

肆、結論與建議

由震災資料的收集及判讀過程中，吾人可以從中發現有些問題是一再，同時也是到處發生的，這些前人痛苦的經驗正是地震，或者說是自然給予我們的警告：人類對大自然的了解仍如滄海之一粟。但是另一方面自然也利用這個機會教育我們，哪些地方我們做對了，而哪些問題尚未被發覺。

本研究的目的除了蒐集國內外相關震災文獻，並作成摘要以供研究學者及工程師參考之外，另一個重要的使命便是從中歸納震害型式。計畫執行者的經驗或嫌不足，因此本章並不試圖對問題作太多的主觀判斷，主要在對研讀文獻心得做一報告。

本章首先為對一般建築物、橋樑結構、維生線設施、其他重要設施的震害情形及地震工程研究單位與學者提出的意見作成整理，最後在震後火災及震後救災行動方面提出心得報告。

一、一般建築物

由歷史上的大震災經驗中，了解其結構物的破壞模式，可以作為檢討耐震設計規範之不足、分析方法之正確性與細部設計改良之依據。美日兩國為公認地震頻率高且耐震規範比較完善的國家，但是在近幾年強震中，仍然造成為數頗多的建築物震害。由震災調查報告中可以看出，依照最新耐震規範設計的建築物之損壞數量比較少，而高樓層結構的表現也都不錯。但是也有許多依照最新耐震規範設計的建築物損壞，其原因多為：實際地震力大於規範所訂設計地震力、細部設計不適當以及施工不良(如鋼結構銲接不確實)等。茲就歸納所得之建築物損壞模式與原因分項說明如下；

建築物損壞模式與原因：

- "不符新耐震設計法"為結構物損壞之主要原因。依結構材

料不同，可歸納不同的主因：(1)木構造之破壞主要發生於老舊、傳統日式建築斜撐不完全者；(2)RC 構造大都是脆性短柱破壞、上下剛性不均勻造成之破壞、結構之不規則而引起之扭力破壞，甚至導致整層倒塌者；(3)鋼結構主要的破壞在於斜撐之斷裂，而焊接斷裂者也相當多。

- 阪神大地震災害中，建築物部分主要之破壞，包括十層樓左右結構由中間層斷折損壞；以及結構剛性豎向分配上由於上下層剛性突然改變，所引起之不良效應。

- 壹樓作為停車場或店面用途者，在地面層全毀。柱頭破壞之細部顯示箍筋間距過大，且箍筋尺寸相對於主筋顯得弱小。而年代較新建築物，雖壹樓柱已剪斷，但主筋仍未斷裂，顯示主筋有足夠的強度，而無緊密箍筋時，仍無法抵抗強震的搖晃。

- 由於早期建築耐震設計規範規定地震力的豎向分配是依照高度考量各層之震度，而 1981 年以後規範開始採用層剪斷係數設計法(日本)，因此頂層或中層之層剪力不足之情形十分可能。美國 UBC 規範考量地震橫力為倒三角形分佈(基本振態為主)，外加屋頂橫力，以增加考量較高頻振態的影響，然而日本規範中並未考量外加的屋頂橫力，而以隨高度增加的震度概括設計之，且在舊規範中，地震總橫力較現行規範要求小，因此相對於屋頂所設計之橫力，可能就會小於此次地震的反應。

- 鄰棟間間隙空間若不足，強震時很容易造成碰撞而損及其它結構體，伸縮縫若寬度不足也容易造成損壞。

- 結構桿件配置不當或開口不良:平面不規則或立面不規則結構最容易發生損壞，若牆之設計位置不當，常容易造成過大變形及能量集中，引起局部位置之元件損壞。

- 細部設計不良:強柱弱樑設計為耐震之基本原則，然而窗台若未與柱隔離，容易形成強樑短柱，造成嚴重損害，發生柱端的塑性鉸。建築物整層發生崩塌常常是因柱箍筋的崩離造成柱主筋

挫屈，導致整根柱的破壞，而柱箍筋的崩離，可能是箍筋間距太大，或繫筋不足或 135° 度彎鉤製作不確實所致。

- 構造物位在震央區內，由於地盤加速度很大，超過地震法規設計範圍。垂直方向地表加速度 PGA 較法規超出甚多，在震央區內承載較大荷重之柱、橋墩及承重牆等均因垂直震動之壓縮，加速柱之側向崩潰。

- 日本建築物並不興建地下室，因此地面層之柱子的固定與否並不明確，柱腳的束制不足，可能造成一樓，柱之反曲點變化位置，使得一樓柱之抗彎強度不足。

- 非結構牆造成偏心扭矩，如同台灣的店面，其向街面的開放、背街面的封閉或鄰棟間的隔牆，都是造成偏心的原因。

- 震後發現甚多之巨型箱型鋼柱斷裂，此類鋼柱板厚達 55mm，斷裂模式為拉斷，其位置大約可分為三大類：(1)上下柱對接處之銲道附近，(2)靠近斜撐之位置，(3)續接處約 30 公分處。

- 續接處斷裂：因為銲接不良，造成瑕疵，形成尖銳之裂縫，在軸張力下產生脆性斷裂，而若其原設計為半滲透銲續接，縱使銲接品質良好，半滲透銲所形成之天然裂縫，已足以使柱產生脆性斷裂。

- 斜撐與柱相接處之斷裂：斜撐與柱相接處柱內須銲上連續板(continuity plate)，否則斜撐引致之力量將足以將柱板撕裂，因此柱內若無連續板或該連續板與柱板間之銲接不良，皆足以造成鋼柱斷裂。

- 柱續接處上方約 30cm 處的斷裂，一般在續接處上的 30 公分處柱內有一塊橫隔板，以束制鋼柱，使鋼柱不致因續接之過大銲量而產生變形，因此該類斷裂極可能因橫隔板銲接不良而導致破斷。

- 有關鋼骨建築之錨定破壞，震後部分鋼骨建築旁之木構造

已毀，而鋼骨建築外觀上幾未受損，但其錨錠螺栓被拉起約 10cm，判斷其原因可能該建築過於細長，致地震下變位過大，甚至產生 P 效應，引致甚高之傾覆力矩。

新耐震設計規範的適用性在最近幾次大震災中獲得證實，其中有幾項是值得強調的：

- 新耐震設計法：以日本而言，1981 年修訂的新耐震設計法可以說是唯一的耐震法規(日本)，1980 年間乃至 1995 年之地震證實，此設計法大幅提昇建築物之抗震能力，此設計法之所以成功，乃是因除了注重水平力的安全強度檢討，更加強水平方向韌性需求(ductility demand)之檢討。

- 具剪力牆的新建築物較少發生倒塌現象，而國內不喜使用剪力牆的觀念也許要重檢討；國內開放空間的建築物，其樓地版面可以獲得獎勵，可是卻有造成軟層之虞的缺點，在歷次震害中有很多是因為軟層效應造成，故「開放空間鼓勵辦法」是否要做適當修訂，必需再加以檢討。

- 耐震規範中的設計地震力仍有待進一步檢討。六十年代普遍認為地震發生時之最大振動加速度不至於超過 0.5g。隨著強震記錄器逐漸普及，愈來愈多實際在震央地區所測得之地表加速度紀錄明白指出 0.5g 的推測事實上可能太小了。依近幾次規模 7 左右地震在距震央 10~15 英哩處所測得之地表加速度值幾乎皆輕易超過 0.5g 且有超過 1g 者。

- 由阪神地震以及北嶺地震均可發現，在考慮經濟性下，對近活斷層區域的設計地震力有不足的現象，UBC 1997 中對於近活斷層的設計地震力有提高 10-50%的規定。國內檢討設計地震反應譜時，若能將工址與活斷層的距離亦納入考慮，或可避免類似問題。

- 建築設計規範是我們抗震作戰的第一線。規範依據我們測得地震之地表加速度反應之狀況，提供結構物設計所需抵抗之地

震力的程度。近年來，設計規範逐漸細分各種不同特性土層上，地震振動之強度大小，因此，新建之現代建築通常在近年的地震中安全存活下來。

- 儘管現代最新的耐震規範大幅提升建築物抗震能力，但是這樣的耐震需求通常只有在已遭受或歷史上曾遭受中至大地震的區域才獲得重視。但事實上，我們不斷看到許多被認為強震發生機率不大之中震區卻遭受到接近強震程度地震之侵襲。因此，將更完善的耐震規範推廣至大部分的地震地區(不僅強震區而已)，應是不可避免的趨勢。

二、橋樑結構

橋樑在平時為重要的交通動脈，在地震發生後尤其是救災行動成功與否的關鍵。然而由於橋樑耐震設計規範的訂立經過多次的修正，現存的橋樑新舊並存，在多次大震災中仍可見到此等結構嚴重受損，因此可見橋樑結構耐震能力評估與補強的迫切需要性(見蔡益超教授在"由阪神地震探討國內橋樑耐震工程之發展方向"[5]一書中的文章「橋樑耐震能力評估與補強國內發展方向之探討」)。由 1994 年洛杉磯北嶺地震橋樑受損情況的觀察，垂直地震力以及落橋等問題開始引起學者的重視。新的問題在新的震災中被發現與重視，震災提供很好的學習教材，或許，以下由文獻中節錄的橋樑震害現象可以找到尚未被發現的問題。

1、文獻報告中常見的橋樑震害現象以及原因之探討：

- 多座 20~30 年前建造的橋樑受損，皆因當時設計地震力偏小 (約 0.06g)，而垂直地震力則未規定。

- 外懸鉸接樑之結構特性：橋樑外懸長度的懸殊差異，常使得橋樑受地震橫力時，產生扭轉擺動及側向位移不一的現象，導致各橋墩構架受力不均。

- 支承長度及防止落橋措施：支承長度不足常造成落橋的主

因。橋柱在地震時產生變形或損害，使得支承移動，支承長度不足，造成橋樑崩落。

- 橋柱因過大之剪力或撓曲變形而破壞(此類破壞通常肇因於 RC 柱之圍束效應不佳及不良之鋼筋搭接及錨定)。

- 橋柱剪力強度不足：阪神地震中多處橋柱之損壞位置為主筋斷筋點，此乃因從斷筋點以上之箍筋量減少，但是橋柱所承受的剪力延伸至橋柱並沒有太大的變化，所以在此發生撓剪裂縫。

- 垂直地震力之效應大：垂直地震力引起的橋台位移傾斜、橋柱的頂部最外緣混凝土爆裂箍筋拉斷及主筋挫屈現象。

- 橋墩不平行，形成跨距不一致的現象。橋跨度不一、橋柱配置不規則，在地震中扭轉轉效應加大，造成橋柱扭曲剪刀破壞。

- 橋樑縱向坡度過大，整座橋樑有往降坡方向移動之趨勢。

- 橋墩高度不一，動力現象複雜，短橋柱之受力有低估的現象。

- 橋墩因承載之土壤破壞造成橋墩體及引道板(approaching slab)之破壞。

- 基腳因過大之剪力或撓曲變形而破壞(此類破壞通常發生在 RC 基腳無適當之腳頂鋼筋，基腳基樁之接頭設計不良或設計之承載容量不足所致)。

- 土壤液化及超載土體變形所引起之地表破裂。

2、改進措施：

每次顯著地震造成損失後，吾人最大之目標是吸取教訓，將來類似地震再度來臨時，已發生過之錯誤不再重現，新的教訓之代價也要能減至最低。對 FHWA 而言，北嶺地震之震害結果顯示目前之耐震設計研究確在正確的途徑上。基本上，新規範設計之

橋樑安然通過地震考驗，而舊橋之補強措施亦能發揮功效。事實上倘若加州運輸局(Caltrans)能有更充裕之時間執行他們的補強計劃，那麼北嶺地震發生時，此進行之補強計畫相信將大幅減少橋樑受損程度。

有些人認為結構耐震之觀念應是達到”完全防震”即無震害之境界。但不幸地，耐震設計與補強之工作較像是項無止境的藝術工作非有一定答案之科學定理。雖然現今我們已有相當程度之技術與知識改善我們結構抗震能力，研究上繼續努力才能讓吾人未來遭遇地震時，能以最有效的耐震技術(而非完全之防震技術)遭受最少的社會經濟損失。在此，我們對於現存及興建中的橋樑補強與新建橋樑歸納出以下建議：

- 以各種方式補強之橋樑連接伸縮區域，橋柱塑性破壞區域，基礎加勁等，皆表現出相當程度之抗震能力改善，雖然現階段之技術無法達到絕對之防震保證。對於急需以補強技術改善抗震能力之橋樑而言，補強措施為有效之手段。Caltrans 之補強經驗指出，補強之成本平均為更新費用之 22.7%。(不過上述之百分比數據並未考慮下列三個現實狀況。第一是 Caltrans 橋樑補強計劃之經驗中，可發現部分大型、困難度較高以及昂貴的補強技術將顯著提高補強措施之成本。第二點是地震中損毀之橋樑，由於地方經驗以及交通網之需求，通常更新整建之新橋必需在非常短之期限內建造完畢，這樣急迫之工期，將顯著增加新建措施之成本。最後一點，值得重視的現象是，每逢天災發生後，在很短的時間由於大量的整建修繕工程需求，使得因此災後環境下之勞力與建材成本將大幅提高，導致更新橋樑之經費更加龐大)。因此，以適當之補強方式加強重要之橋樑結構，才能將其邊際效益發揮至最大。

- 發展適當之”探傷”研究，雖然許多遭受嚴重震害之結構皆受到詳細之檢視與探討，也提供相當多之震害經驗與知識。但是廣大遭受次要震害之結構應能提供許多有用的資訊做為耐震設計與補強之參考。

- 對橋座不足之橋樑以鋼索束制(cable restrainer)或增加座寬。但需同時評估此舉對柱及基礎之影響。

- 對位於強震區內強度不足之基腳，應予以適當延伸或擴張。利用改良土壤之技術減少土壤破壞及土壤液化之潛能。

- 橋樑建設時應慎選橋址，以修復迅速容易之形式為主，同時亦應建立完整迅速之聯絡通訊網，以便災後能迅速、有效地展開救災動員工作。在設計施工時應要考慮如何防止落橋，垂直地震力的考量應再進行檢討，材料之韌性亦對橋樑有著重大的影響，故需對橋樑韌性設計方法及施工方式再作檢討。

- 在技術研究方面蒐集強震資料，研訂台灣地區各種地層之設計加速度反應譜及地表加速度，以作為決定橋樑設計地震之依據；隔震元件、阻尼器等新技術應用於橋樑之適用性，分析與設計方法之研擬。

- 垂直向地震荷重之考慮。

- 橋柱之圍束鋼筋必須足夠。

- 避免柱之軸向鋼筋搭接在可能之塑性鉸區域(即柱、帽樑接頭及柱基腳接合區)。

- 適當應用防震系統(如隔震裝置)，減小桿件之耐震能力需求。

- 減少橋樑伸縮接頭。橋樑構架間之接合處常成為抗震之弱點，除了可以預力鋼腱之鉸束制改善此鉸接點之抗震性外，可僅量設計不具接頭之結構，並可降低維護成本。

- 儘可能以連續跨取代簡支跨，如此可減少因伸縮接頭造成鄰跨分離之破壞伴隨之優點亦包括節省伸縮接頭維護之費用。

- 橋支承墊之設計需考慮橫向或側向地震力(including out-of-plane motion)並確認縱向之容許位移量是否足夠。

- 基腳設計需承受所有可能由柱傳至之彎矩及剪力。不允許塑性鉸在基腳產生。

三、維生線設施

維生線設施通常相當容易遭受人為與自然因素的破壞，但在平時，這些系統因為運作正常，其重要性也常被社會大眾忽略。但是一旦這些系統遭到破壞影響到正常社會功能，甚至配合天災造成間接災難時，這些災難(特別是震後火災)所造成之死亡與損失都是非常可怕甚至超過天災(如地震、颱風)本身之直接損壞。

1、北嶺地震維生線設施震害所歸納之改進措施如下；

(1) 瓦斯管線之破裂容易引起震後火災，都會區內老舊不具韌性之管線應加以規劃更新時程。

(2) 震後水源的供應相當重要，若無穩定足夠之水源，在發生震後火災或因應災後緊急需求，將造成相當大之危險。此外，供水系統之修復相當耗時，震後若主要管線設備損壞，對於復救工作影響甚鉅。因此，有計劃更新老舊管線設備以減小震後管線設備損毀機率外。同時，規劃震災後可茲應用之第二水源，亦是相當重要之準備工作。

2、阪神地震維生線設施震害所歸納之改進措施如下：

(1) 供水系統：如同北嶺地震經驗，除規劃震災後可茲應用之第二水源。另一潛在之問題是，震後之水質處理是否合乎飲用標準，此項資料相當欠缺，但亦需加以注意以免間接造成瘟疫流行。

(2) 瓦斯系統：為了防止瓦斯漏氣引起之火災，瓦斯管線系統可以下列方式減少災害；(a)建立完整之電子瓦斯管線地圖，(b)智慧型可自動斷線瓦斯表及(c)地震震災監控系統(屬整體救援體系及措施)。

(3) 電力系統：(參見下節及國家地震中心簡訊摘要)

(4) 電信系統：電信系統在震後若能保持正常或勘用，對於復救工作以及災害現場之緊急應變有相當大之幫助。因此發射電信訊號之結構體及改備皆應有足夠之抗震能力。否則一旦結構體或改備損壞，救災工作僅能靠相關單位有限數量之無限電器材，其救難效率無法提高。

(5) 醫護系統：醫院正常運作需要有足夠水源。因此，除了確保醫院結構抗震表現良好外、醫院應有妥善之震後供水計劃。

四、其他重要設施

大地震除了造成了建築及橋樑結構的直接震害之外，對於維生線、重要設施(如電力設備)的損傷亦不容忽視。除了主結構的震害外，非結構材料之損害嚴重，諸如：電力系統(主要為變電設備)、電線杆的傾斜、自動販賣機的傾倒等。國家地震工程中心於今年(民國 88 年)3 月簡訊中，對於電力設施在北嶺、阪神以及嘉義瑞里地震中的損壞情形有概觀性的描述。

由電力設備震害情形可以窺知其他設備震害之原因，設備的震害原因不外：設備固定(錨定)不良以及設備本身耐震能力不足。其實許多非結構物的耐震性能只要設計者稍加注意，均可有效的加強其抗震能力，例如有危險性的工廠設備及核能設備等，因為其危險性而有比一般設備更謹慎的耐震設計，在近幾年的震災中未見相關的報導，可參考中華民國建築學會編姚昭智著"日本阪神大地震勘災訪問報告-非結構材之震害"及本報告附件一之 C2.3 摘要。

就震害損失金額的分佈而言，非結構材及設備的損壞通常佔大部份，而其影響層面也是廣泛的，因此對於非結構材及設備的耐震設計規範與新耐震技術如設備基礎的隔震與支承措施有更進一步研究的必要。

五、震後火災

1、北嶺地震震後火災情況及相關經驗：

(1) 加強瓦斯管線設施之保護及審慎之復電計劃：此舉可大幅減低震後火災之發生機率與損害程度。

(2) 復電計劃若規劃不當，復電時將引起火災。事實上，大部份之震後火災皆由復電所引發。發展適當之監控系統，配合自動切斷裝置可大量減少火災發生之事件。

(3) 改善緊急事故通訊及報案方式。震後電信管線設備與其他維生線設施一樣可能已遭受破壞。因此除了少數緊急救難單位能以無線電通訊外，大部分人皆無法提供也無法獲知火災以及其他震災之資訊。發展適當震後通訊系統，確保通訊基地或中繼站震後勘用，也是有效防治震後火災之重要環節。

(4) 有效預測震後火災損失。震後火災無法避免，但有效之震後因應措施可將災害損失降至最低。發展預測火災損失之方法，可於地震發生時，預估火災之擴散範圍與趨勢，協助救災行動做出正確有效之因應行動。

2、阪神地震震後火災情況及相關經驗：

(1) 防火巷等被動防火措施在阪神震後火災具相當作用，阻止火勢蔓延。

(2) 日本建築慣用防火玻璃材料，亦能有效防止減低火勢之蔓延。

(3) 開發替代水源之重要。震後主要供水系統可能完全停擺，配合天然溪、洲、公園水源及人工造景水源，使得都市內有多項緊急時可茲利用之替代水源，以便供消防使用，這些替代水源同時也要具有耐震防漏之能力，方能在震後仍能保持水位或水量。

(4) 發展震後火災預測損失之方法，可提供震後救火決策應變時有利之參考依據。

六、震後救災行動

當毀滅性地震發生時，救難人員最重要的第一步動作便是要決定那個區域需要救難、是什麼樣的災難、如何到達該地區以及災難可能之嚴重程度。這些決定因素在災後能否適時、正確地達成，對成千上萬的災民以及社會成本的負擔都有非常重要的影響。換言之，救災行動之基本要求為迅速掌握並控制災情，以及防止二次災害、受傷者的援救、防止傳染病、火災救助、避難措施、人員疏散以及救難人員物資之運輸。防止二次災害之發生有賴專業人員的組織與平時的訓練，專業工程師評估建築物安全性之能力必須有計畫的訓練，並且掌握。

除此之外，為了確保救災工作能順利進行，震後交通設施必須能保持(最小限度)之暢通程度。因此，對於重要的公共交通路線除了耐震設計要求要高於一般建築結構之外，對於橋樑等重要結構於大地震中可能的損壞情況也要有所掌握，以期在救災行動時，快速決定救災路線，或者及早進行耐震補強工作。

在防災救災制度及法規方面，由許茂雄教授針對建築物耐震評估及補強實施制度之研究[8]，我國在防災組織、防救災法規及勘救災動員相關制度上仍屬草創階段，根據國外現有之制度及經驗，下列幾項應可做為今後台灣地區制度建立之參考：

(1) 目前災害防救中心設在消防署，是屬於一種臨時性的任務組織，不像日本在中央政府組織中的國土廳之下設有"防災局";或是美國聯邦緊急事務管理總署(FEMA)，皆是一種常設之事務性機構，統籌全國的防災工作。因此，行政院公佈之防災體系中的"中央災害防救中心"，應為一常設性之機構，以統籌防災事務、推展防災政策。同時，政府每年應持續投入高額預算，供此防救災中心從事各項研究與準備工作。

(2) 有關地震災害的預防與救災，日本、美國及中國大陸皆有防救災的制度與法令。特別是中國大陸在 1995 年公佈破壞性地震

應急條例」，條文中明訂重大地震發生前後，由中央到地方的應急機構、應急方案及任務等。並由直屬國務院的"國家地震局"主管全國防震減災的工作，地方尚設有"省(市)地震局" 而台灣地區目前並無主管地震相關事項的專門單位，但由中央氣象局負責地震安全的社會教育宣導工作。

(3) 阪神地震、加州北嶺地震、唐山地震皆給日本、美國、大陸地區人民帶來極大的經驗和教訓。台灣地區自民國 53 年白河地震後並沒有都會區大地震再發生，降低了社會大眾與施政者對地震災害的警戒心。綜觀日本、美國及中國大陸從中央政府到地方政府皆設有職掌地震安全的防救災單位，救災組織及指揮系統十分確實並經常舉辦實兵演練訓練。我國應審慎反省台灣地區防災組織及勘救災動員相關制度上之不足與缺失，儘速頒訂防救災相關規定與釐定各單位權責，建立完整之震害防災救災體系。

七、國外震害經驗與我國情況比較

我國已有三十多年時間未在大都會地區發生大地震，建築物耐震設計規範在其間經歷多次修訂，但是沒有接受過地震的考驗，這是值得慶幸的事。民國八十七年七月十七日發生的嘉義瑞里地震再度喚醒人們對台灣位處地震帶的事實之關注，活斷層貫穿中央山脈，以及花蓮東部外海經常性的淺層地震說明了台灣仍有發生大地震的可能性。

建築物耐震能力依規範而定，設計地震力是否足夠、細部設計是否確實符合設計假設均有待證實，而其最經濟有效的方法便是由國外震害報告吸取經驗。再者關於震前防災、震後救災以及災後復建的措施與行動為公認我國抗震防災政策中急需建立者，國外在這方面的經驗適可取法，避免錯誤。

由於我國建築、公共工程結構與美日兩國相似，且耐震規定之發展也與其類似，在這些地區發生的震災也可能會發生在台灣

地區，這是本研究所收集的資料以這兩個地區為主的原因。以下僅對與我國現況相關性強或特別需要強調的震害提出說明，其他一般性的問題，仍應參考前節內容或者文獻資料。

1 建築物震害

- 1.1 軟層與弱層破壞(soft and weak stories)問題：阪神地震中許多鋼筋混凝土結構發生在一樓(軟層)及中間層(弱層)的破壞現象，我國常以第一層樓面為商店用途，乃至醫院建築於中間層挑高並安置開刀房重機械，這些都可能發生類似問題。
- 1.2 細部設計或施工不良導致柱之剪力破壞：由於新耐震規範強調韌性設計，可依結構之假設韌性容量減低設計地震力。但是國內施工水準普遍不確實，剪力筋間距太大或未按規定彎鉤，無法達到要求之韌性，此等破壞為我國極可能發生的。
- 1.3 非結構體造成短柱效應：早期校舍限於經費分階段施工是常見的情形，新舊建築交接常造成局部破壞。此外隔間牆未確實做好隔離，短柱效應明顯，這個問題在去年嘉義瑞里地震後已獲得學者廣泛的注意。
- 1.4 鋼結構銲接不良，造成脆性破壞：國立鋼結構銲接檢驗技術仍不成熟，銲接品質不確定，極可能有類似破壞情形。
- 1.5 國內不愛剪力牆，造成軟層現象。但在美日近幾年地震中發現，具剪力牆的新建築物較少發生倒塌現象，關於剪力牆的觀念有再檢討的必要。
- 1.6 偏心扭矩產生之破壞：國內建築常有因裝潢而任意拆牆壁甚至承重牆或加蓋等情形，造成不預期的過大偏心扭矩。這類建築之破壞在 1995 年阪神地震中的例子不少，應該注意法規限制。
- 1.7 美國 1971 年及日本 1981 年以後依新耐震規範建造的建築在 1994 年及 1995 年的地震中仍可見一些非預期之破壞模

式，可見與該兩個規模類似的台灣規範仍有許多研究空間。

- 1.8 應用基礎隔震技術之建築在美日兩國大地震中有良好的表現，我國在這方面的研究亦有蓬勃發展，除了加強隔震元件之開發外，法規與設計示範均應及早訂立。
- 1.9 國內許多建築並不興建地下室，與日本建築相似，容易因地面柱子的固定不明確，柱腳的束制不足，使得一樓柱的抗彎強度不足。
- 1.10 阪神地震及北嶺地震均可發現，近斷層區域的設計地震力有不足的現象，而瑞里地震亦顯示相同的結果，若能將工址與活斷層的距離納入考慮，應可更符合實際載重。

2 橋樑結構與運輸系統震害

- 2.1 橋樑因承墊破壞或承座長度不足所引起之結構破壞或落橋
89年 Loma Prieta 地震之後 Caltrans 即著手補強境內橋樑，其補強重點是加強防落橋裝置。國內橋樑多數橋樑建於 1990 年以前，並未注意到此現象，新的橋樑在施工時由於精度不足，甚且於施拉預力時即有大幅偏差甚至扯裂防落橋裝置者。
- 2.2 橋柱因過大之剪力或撓曲變形而破壞 95 年阪神地震中多處橋柱的破壞主因為柱端剪力筋不足或不確實，因而造成剪力破壞。另日本由於計算橋柱彎矩時基準線錯誤，而低估彎矩在柱底撓曲破壞或在主筋斷筋處產生撓曲及剪力破壞。由於我國橋樑結構多以日本設計為範本，對於這些橋樑的耐震能力評估應及早開始。
- 2.3 土壤液化問題見於各國震災報告之中，目前國內亦已著手評估重要都會區的土壤液化潛能問題。
- 2.4 橋注補強效果在 1994 年北嶺地震後獲得證實，交通部曾委託國內研究單位對國內主要橋樑進行初步耐震能力評估。加速對問題橋樑的詳細評估與必要時的補強是刻不容緩的工作。

2.5 受損的橋樑多為 20 到 30 年前建造的，此乃因當時設計地震力不足之故。台灣主要道路橋樑已逐步改建，但其他地區仍有多處老舊橋樑。

3 其他特殊結構及公共建築物

3.1 港口設施多在鬆質砂土上，因此其土壤液化之潛能與災害非常嚴重。

3.2 醫院建築能否在震後正常運作是震災救援行動非常重要的因素，北嶺及阪神地震中並未有醫院倒塌，但醫院之結構與非結構損壞仍相當普遍。對於國內醫院建築的耐震能力評估為重要任務。

3.3 由 1976 年唐山地震震後救災報告中發現，公路與鐵路易在地震中受損，造成救災行動的障礙。反之，空運方面則因跑道受損情形少，所以空運是救災行動前期的主要支柱。

4 重要維生線及震後火災

4.1 台灣都會區老舊社區內仍散佈木造建築，應注意震後火災問題，及早著手規劃消防部署以及震後消防水源等。

4.2 電力設備在美日兩國大地震中受創嚴重，我國電力設備與美日系統類似，在去年瑞里地震中已經見到可觀災情。台灣電力公司已委託國家地震工程研究中心評估變電設施之耐震能力。由於電力為重要之維生設施，電力設施之耐震規範的訂立與評估為重要的工作。

伍、結論與未來研究方向之建議

世界各主要地震地區在過去的強震中，雖然社會付出重大的代價，但我們也從中學習到更多結構在地震作用下的反應，使得人類在耐震設計上的知識愈來愈充實。利用這些知識與持續不斷的研究，結構物抗震的能力日益提高，在未來強震侵襲時，它們的損壞程度將有效地被降到最低。

由北嶺地震中我們得到最重要的經驗便是證實了採用耐震補強及降低危害度方案能有效地保障生命財產安全。震區內許多在震前已適當補強其建築物之大公司，其因經濟活動中斷之損失可降到最低。同時，在北嶺及阪神地震中，由於部份結構型態之建築物不論新舊與否皆遭受到一定程度之震害，是否需引用更高標準之極限設計規定，在法規研究部門也引起廣泛之討論。其目的乃在於提高建築物震後繼續安全使用之機會，以避免震害縮短及中斷經濟活動之情形發生。

建築設計規範是我們對抗震害的第一防線。規範依據我們測得地震地表加速度反應之狀況，提供結構物設計抵抗之地震力的程度。為了要能補捉到災難地震對結構物的真實影響，我們需要有耐心且正確地判斷及選擇設置紀錄儀器的地點，等待那不定時來臨的災難地震。透過這樣長期守候與實際災害損失的付出，未來的建築法規將建造更安全的建築與橋樑。

近年來，透過對地動特性更深入之瞭解，設計規範逐漸細分各種不同特性土層上，地震振動之強度大小，因此，新建之現代建築通常在近年的地震中安全存活下來。儘管現代最新的耐震規範大幅提升建築物抗震能力，但是這樣的耐震需求通常只有在已遭受或歷史上曾遭受中至大地震的區域才獲得重視。但事實上，我們不斷看到許多被認為強震發生機率不大之中震區卻遭受到接近強震程度地震之侵襲。因此，將更完善的耐震規範推廣至大部分

的地震地區(不僅強震區而已)，應是不可避免的趨勢。

強震後如能迅速取得震災資訊，通常可大幅降低震後二次震害之損失，而最常用之震災資訊便是震度圖，地震發生後，若能很快獲得各地區搖憾之震度大小，對於救難中心在統籌支配救災人員時，將有相當大之幫助。更重要的是加速了整個救災支援到達災區的時效。北嶺地震發生時是 USGS 第一個在地震發生後，立刻決定出大致之震度圖，並馬上以電子式震度資料提供給救災單位使用。這樣的電子式資訊可以很輕易地透過震區網路(藉衛星或無線電)傳遞到每個救災單位及編組的手上，它更大的優點是可以隨時修正更新最新的震災資訊，在更具完整性的震災地理資訊系統發展及建構完成之前，這個震區網路的構架，使得震災救援更有效率、相對降低了許多因未能及時制止的二次震害所造成的損失。此外，利用地理資訊系統建立完整的震災資料庫，協助震後有效率的評估震災嚴重程度，作出正確快速的救災決策，並配合震區網路系統將最新與正確的災區資訊提供給緊急救難人員及研究人員，同時，全面檢討維生線之安全性與耐震能力，以適當之方式補強更新。這些發展中的新技術與觀念，將決定未來強震發生在都市城鄉時，二次震災損失的嚴重程度。

國內外關於震災方面的研究以及調查報告數量之豐，是事先所無法估計的，本計畫執行過程中收集到的地震事件很多，包含：1989 美國 Loma Prieta 1994 Northridge 1995 日本阪神地震、1995 墨西哥、近幾次伊朗地震、羅馬尼亞地震、1997 委內瑞拉地震、1999 哥倫比亞地震、...等等。但是本報告的內容仍舊以最近的 1994 年洛杉磯北嶺地震以及 1995 年日本阪神地震為主，其主要原因有：首先，這兩次地震分別造成美國及日本最大的地震災害，調查報告以及研究文獻最多；其次，美日兩國為公認地震工程研究先進國家，而我國地震工程研究以及耐震設計規範與其具有相似性，參考價值最高；最後，這兩次地震正好反應兩國最新耐震規範的合適性，而較早發生的地震之經驗與教訓已經反應於歷年來逐漸修訂改進之耐震規範當中。

美日以外各國之地震其實或多或少能給予我們啟示，如印度、中東地區之震害顯示當地耐震規定之執行不確實，中國大陸唐山地震震害經驗應能提供磚石造結構重要之震災資料，又義大利在保護古蹟及防震上有特別的心思等。吸取國外經驗的同時，我們瞭解到將這些經驗落實的重要性，也感受到發展適合國情之改善措施實不容易。隨著新的研究成果逐漸累積，文獻會越來越多，尤其是電子媒體資訊的更新與傳播速率，更是日新月異。希望，本研究之歸納工作與粗淺之蒐集心得能提供資訊使用者一條參考捷徑。至於相關之文獻來源與中文摘要內容，除提供建研所網站外，並將與本研究人員相關之研究成果以超連結在網路上供各界人士瀏覽。

建議未來研究方向

根據本研究期末報告專家學者所提供之內容修正意見(請參考附件三)，本研究計劃已於相關之章節中加以說明及補充部分資料。然仍有部分類型資訊或主題，在有限時間內無法完成。茲在此將執行過程中之相關經驗簡單說明，並建議為本研究相關之未來研究方向。

(一) 有關阪神地震之復救工作方面，本研究已有概括之介紹，但是有關從都市防災面檢討都市更新與耐震補強在阪神地區之困難等並無資料，建議可列為未來研究方向。

(二) 本研究收集國外震害經驗之主題，主要著重於工程技術、火災問題及救災機制方面。關於人文問題(政治性、社會性、生活性、心理性等)及補強及重建技術及法規等之相關資訊並未加以蒐集，建議可列為未來相關研究主題。

(三) 關於中國大陸唐山地震之震害經驗收集工作上，本研究在救災機制稍有收獲。但有關唐山地震中大量磚石造建築之震害資料仍無法順利獲得，建議此主題可列為未來研究主題。目前，有關唐山地震之震害資料，國內較完善之來源包括交通部顧問室

之 ” 唐山地震之經驗與教訓 ” [9]，另高等教育出版社亦有出版數本中國大陸震害相關書籍，但其內容多為概括性之簡介，無深入之工程技術探討，此外，網路上亦有相當數量之相關資訊。一般而言，使用者可進入中國教育和科研計算機網(CERNET，網址 <http://www.edu.cn>)及中國科技信息研究所(<http://chinainfo.gov.cn>)以關鍵字查詢。其地震相關網站相當具有參考價值，唯內容多以社會大眾之地震工程教育及震害照片之介紹為主，而針對唐山地震之工程技術性文獻，則相當有限。目前網路上較佳之震災相關資訊網站，包括中國水利水電科學研究院(北京)、河北、山東、遼寧及上海地震局，濟南市地震辦公室，中國地震學會，中國地震局等，上述及更多之相關網站可由 CERNET 搜尋或由中國地震信息網 <http://210.72.96.1> 連接。

誌謝

震災相關資料散見於全國學術研究機構及相關部會單位，但是以"在最短時間內儘量不遺漏一份報告或一筆電子資訊"的態度進行這項收集工作，的確相當困難。在此誠摯感謝高雄第一科技大學盧煉元教授與內政部建築研究所謝舜傑博士提供寶貴的意見與資料，以及建築研究所鄒本駒先生與陶其駿先生在研究行政工作上的支援與協助。

重要參考文獻

1. 1994年元月17日美國洛杉磯北嶺地震震災訪查報告書，國家地震工程研究中心，1994。
2. 日本阪神淡路地震引起阪神大震災之訪查與探討，國家地震工程研究中心，1995。
3. 由阪神地震探討臺灣地區建築結構耐震設計，內政部建築研究所主辦日本阪神大地震建築災害研討會，臺灣營建研究中心，1996。
4. 1995年1月17日日本阪神大地震勘災訪問報告，中華民國建築學會。
5. 由阪神地震探討橋樑耐震工程之發展方向研討會，臺灣營建研究中心，1996。
6. 從阪神震害探討台灣地區交通設施地震防災研討會，中華顧問工程司。
7. 嘉義瑞里地震勘災初步報告，國家地震工程研究中心，1998。
8. 建築物耐震評估及補強實施制度之探討，內政部建築研究所研究計劃(MOIS 871007)，許茂雄教授等。
9. 唐山地震之經驗與教訓，交通部科技顧問室。
10. 各國強震的經驗與教訓：亞美尼亞，智利，菲律賓，舊金山，交通部科技顧問室。
11. 台灣交通工程防震措施概況與改進，交通部科技顧問室。
12. 1995年1月17日日本阪神大地震勘災訪問報告，內政部建築研究所。
13. 1995年6月25日宜蘭南澳地震--台北縣三峽鎮震災勘災報告，國家地震工程研究中心。
14. 台北都會區承受八級大地震災害與應變措施研究，國立台灣科技大學。
15. 嘉義瑞理地震建築災害調查報告書，內政部建築研究所。
16. 1993年7月12日日本北海道西南方地震-震災勘察報告，國家地震工程研究中心。
17. 臺灣省推展防震應變巡迴宣導講資料，臺灣省政府。
18. 1995年1月17日日本兵庫縣南部地震震災勘察報告，國科會&地震研究中心。
19. 1989年Loma Prieta強震之經驗與教訓，美國太平洋煤氣及電力公司，交通部科技顧問室。
20. 1994 Northridge Earthquake, Performance of Structures, Lifelines, and Fire

Protection Systems, NIST, 1994.

21. The January 17, 1995 Hyogoken-Nanbu (Kobe) Earthquake, Performance of Structures, Lifelines, and Fire Protection Systems, NIST, 1995.
22. The Northridge Earthquake, Progress made, Lessons Learned in Seismic-Resistant Bridge Design, FHWA, on-line document, 1995.
23. *Reducing Earthquake Losses Throughout The United States* series, USGS.
24. *Disaster Issues* series, EQE Summary Reports, EQE International.
25. *Reconnaissance Reports* series, EERI Summary Reports, EERI.
26. *Reports On Costs And Benefits Of Natural Hazard Mitigation* series, FEMA.
27. *Selected Papers in Earthquake Engineering* series, NISEE/EERC.
28. Geotechnical Reconnaissance Of The Effects Of The January 17,1995, Hyogoken-Nanyu Earthquake , JAPAN, EERC, 1995.
29. Preliminary Report on the Principal Geotechnical Aspects of the October 17, 1989 Loma Prieta Earthquake, EERC, 1989.
30. Preliminary Report on the Seismological and Engineering Aspects of the January 17, 1994 Northridge Earthquake, EERC, 1994.
31. Preliminary Report on the Seismological and Engineering Aspects of the October 17, 1989 Santa Cruz (Loma Prieta) Earthquake, EERC, 1989.
32. Seismological and Engineering Aspects of the 1995 Hyogoken-Nanbu (KOBE) Earthquake, EERC, 1995.
33. Soil Conditions and Earthquake Hazard Mitigation in the Marina District of San Francisco, EERC.
34. Performance Of Steel Bridges During The 1995 Hyogoken-Nanbu (Kobe, Japan) Earthquake-A North American Perspective, NCREE, Taiwan.
35. Nuclear Engineering And Design, Elsevier Electronic Subscription on-line Database, EES, 1999.

附件一：國內報告摘要

- 1 報告名稱：1994年1月17日美國洛杉磯北嶺地震震災訪查報告書 60
出版單位：國家地震工程研究中心
 - 1.1 地震概述與測報作業 劉玉龍 呂佩玲
 - 1.2 大地工程相關之震害 陳正興 陳慧慈
 - 1.3 建築物震害 許茂雄 王亭復
 - 1.4 橋樑震害討論 張荻薇 方文志 陳國隆
 - 1.5 美國政府之防災與救災體系 林樹柱等
- 2 報告名稱：1995年1月17日日本阪神大地震勘災訪問報告 72
出版單位：中華民國建築學會 編印
 - 2.1 中低層建築物之震害 林炳昌 郭呈旭
 - 2.2 鋼結構之震害 陳生金
 - 2.3 非結構材之震害 姚昭智
 - 2.4 交通設施之震害 廖慶隆
 - 2.5 救災與復建 游顯德 張景森
 - 2.6 結論與建議 廖慧明 戴忠
- 3 報告名稱：從阪神震災害探討台灣地區交通設施地震防災研討會 85
出版單位：中華顧問工程司
題目：阪神地震強地動特及對結構尤其對橋樑的損害
- 4 報告名稱：國家地震工程中心簡訊 1999.3 88
出版單位：國家地震工程研究中心
題目：電力系統與地震災害
- 5 報告名稱：建築物耐震評估及補強實施制度之探討(MOIS 871007) 91
出版單位：內政部建築研究所
計劃主持人：許茂雄教授
- 6 報告名稱：交通工程地震防災研討會論文集(1991) 95
出版單位：交通部科技顧問室
題目：唐山地震之經驗與教訓

附錄 C1

報告名稱：1994 年 1 月 17 日美國洛杉磯北嶺地震震災訪查報告書

出版單位：國家地震工程研究中心

- | | | | | |
|-----|--------------|------|-----|-----|
| 1.1 | 地震概述與測報作業 | 劉玉龍 | 呂佩玲 | |
| 1.2 | 大地工程相關之震害 | 陳正興 | 陳慧慈 | |
| 1.3 | 建築物震害 | 許茂雄 | 王亭復 | |
| 1.4 | 橋樑震害討論 | 張荻薇 | 方文志 | 陳國隆 |
| 1.5 | 美國政府之防災與救災體系 | 林樹柱等 | | |

報告名稱：1994 年 1 月 17 日美國洛杉磯北嶺地震震災訪查報告書

出版單位：國家地震工程研究中心

題 目：地震概述與測報作業

作 者：劉玉龍 呂佩玲

摘要：

1994 年 1 月 17 日南加州洛杉磯地區在北嶺地震侵襲下，造成許多人員傷亡，財物損失以百億美元計，堪稱美國史上損失最嚴重之震災。尤其這次地震摧毀了幾條重要的道路橋樑，使該地區的交通系統幾近癱瘓，在此情況下，唯有依靠完善的救災體系，配合地震測報單位提供詳實之地震資訊(震央位置、各地震度等)，指揮調度救災人員、設備，有效的發揮其功能；另透過新聞媒體把相關之地震消息告知民眾，以免謠言四起引發恐慌，並提醒民眾各項防護要點，讓民眾有適當的應對措施，減少不要的災情。

綜合全文內文章可分為以下部份：

- 1 . 地震測報作業：美國加州受到 San Andreas 斷層的影響，常有災害性地震發生，因此美國地質調查所 (United States Geological Survey, USGS) 在加州地區設立了密集的地震資訊網，北加州的地震資訊網中心站設在 Menlo Park；南加州地震網則與加州理工學院 (California Institute of Technology, Caltech) 的地震資訊網合併，中心站設於該學院校區內。南加州之地震資訊網計有三百多站，信號自動傳輸至中心站，利用電腦判讀分析即時處理地震資料且與相關單位連線，傳送地震資訊。加州理工學院還備有簡報室，供新聞媒體採訪之用，利用幾個螢幕顯示各項地震資料，讓民眾可以獲得更詳實的資訊。
- 2 . 北嶺地震概述：洛杉磯北嶺地震發生於 1994 年 1 月 17 日，當地時間清晨四時三十分，深度大約 14 公里，而加州大學柏克萊地震中心 (University of California at Berkeley) 分析定出規模 (moment magnitude, M_w) 6.7。在 1 月 17 日初步分析所得斷層面之資料中，UC Berkeley 依據其 TERRAScope 地震資訊網及數位地震資訊網 (Berkeley Digital Seismic Network, BDSN) 之資料與餘震分佈情形，推斷北嶺地震屬逆衝斷層，斷層走向約為西偏北 10° ，斷層面向南傾斜約 45° 。在地震影響下，在某些地區或結構物產生相當大的加速加，其震央附近部份強震站之自由場最大加速度值顯示在沖積層上大約有 0.35 至 0.47g 之最大加速度，以及 0.30 至 0.59g 之最大垂直加速度，至於洛杉磯盆地之自由場運動，因距震央較遠，最大加速度值均較

小，平原地區水平加速度約在 0.2 至 0.4g 而垂直方向的加速度則在 0.07 至 0.22g 左右。

重要結論:

本篇報導對於地震災害之檢討下列有數點是值得探索：

- 地震發生後應變對策：有關地震工程研究單位參與小組約五十人，針對地質、地震、結構工程等方面蒐集更詳細資料作為耐震工程之依規。
- 地震央源量測：在震央區安裝可攜式地震儀，設立餘震監測網，以確實掌握地震活動全貌。
- 安定人心：由勘察報告及透過簡報室各項資料圖表，經媒體告知民眾，建立民眾對地震災害的認知。
- 地質構造與結構物型態：對於地震災害危害度的降底有賴於地質與結構物構造在觀測資料的蒐集，對工程設計上有莫大的重要性。
- 政府單位:努力推動”都會區強地動觀測計畫”，其蒐集地震資料，增加觀測點，提供工程界參考，作為工程建設安全考量。

報告名稱：1994年1月17日美國洛杉磯北嶺地震震災訪查報告書

出版單位：國家地震工程研究中心

題 目：大地工程相關之震害

作 者：陳正興 陳慧慈

摘要：

1994年1月17日北嶺地震震憾了整個洛杉磯區域，所造成與大地工程相關之災害包括地表裂縫、土壤液化、山崩、落石、壩堤邊坡滑動及維生線斷裂等問題，造成嚴重對外交通受阻，但有些災區尚未開發或低密度邊緣區域，並未造成重大災害。就目前所收集之資料及報導作整理，使國內各界大略了解此次地震之效應及相關災害。

綜合全文內容可分為以下部份：

1. 加州柏克萊大學地震工程研究中心調查報告：關於北嶺地震所造成地質方面的災害，調查報告所示的地質災害分佈圖，主要災害分述於后顯示此次地震所造成之地質災害比起結構物之損壞情況可謂非常輕微，主要與洛杉磯地區之地質條件有關，所收集之地質資料對此次地震之效應作一初步探討。
2. 地盤振動與地質災害：根據地質震害的調查報告，顯示在地震中所造成之地質災害比起結構物之損壞情況可謂非常輕微，但是大部份建築物及橋樑之損壞都是由劇烈振動所造成，並非是由地盤或基礎破壞所引起。
3. 土壤液化之檢討：此地震所引起之土壤液化主要發生於 Hwy128 與 I5 間之水源地區，雖未達全面液化，但值得注意的是此地區曾經在 1971 年地震時亦發生土壤液化現象，造成地盤下陷、裂縫及噴砂管湧等現象，根據 1971 年 San Fernando 地震之研究分析，該沖積層在地表加速度達 0.30 0.35g 即會發生液化，因此本次地震時再度發生液化是可預估的。
4. 地工結構物之耐震性：此地震發生後，勘災調查工作人員勘察了距震央附近幾座填土石區，其中一座土堤嚴重受損破壞外，其餘均沒有受損或僅發生輕微裂縫，並沒有造成安全上顧慮。

重要結論：

文章中對於大地工程相關之震害探討中，有下列數點值得參考：

- 研究單位：加州大學柏克萊校區之地震工程研究中心（EERC）動員師生作全面的調查，已出版勘災報告（EERC REPORT 94/01）有相當詳細調查結果。
- 地質構造：在震央附近鄰近地區之土層大部份均屬硬土層，且地下水位相當低，因此在地震發生時，雖有相當大的地表運動，但所引起地質災害可謂相當輕微，並無重大之地質災害，但地盤變位所引致之輸水管及瓦斯管線之破裂仍造成局部地區之缺水及火災，為地震後之主要災害之一。
- 地震災害區：由洛杉磯地區之地質圖所示為第四紀沖積土層所覆蓋之兩大盆地，山區均為更新世或更早之沈積岩及基岩，此次地震發生災害之地區大部份均在盆地內或狹谷間。
- 建議防災計畫整體架構：研訂全方面規劃管理建築民生維生線及管線設施，由此地震得知除了結構物破壞另一項也造成大災害的是維生線斷裂問題，所以訂立適當的法則、依使用特殊條件、用途、規模與需求，作有效準則可降低災害危害度。

報告名稱：1994 年元月 17 日美國洛杉磯北嶺地震震災訪查報告

出版單位：國家地震工程研究中心

題 目：建築物震害

作 者：許茂雄 王亭復

摘要:

在震央附近查看主要建築之震害情況可分為以下幾部份：

- (1) 洛杉磯建築物震害之調查與分級
- (2) 訪查建築物之震害介紹

洛杉磯建築物震害之調查與分級

依洛杉磯市政府的規定，當震記錄的規模達 4.5 時，就要執行建築震後快速檢查，其檢查結果分為二級，於門口張貼告示不撕毀：

- (1) 綠色：建築物沒有顯著的危險，可請私人工程師進一步分析
- (2) 黃色：本棟建物已遭嚴重損害，未市府建管局許可不准進入
- (3) 紅色：本棟建物已傾毀或有倒塌危險，不得進入或逗留

本次震區內北嶺地區之住宅經驗查結果大部份為黃色告示，少部份為綠色告示及部份之紅色告示。表示檢查小組的尺度相當保守。

訪查建築物之震害介紹

訪查建築物之震害介紹其中包括:Kaiser Hospital 北嶺加州大學(Cal State Univ., Northridge)及其附近住家、Northridge Department Center、Northridge Meadows Apartment、Van Nuys Blvd、Van Nuys 市政中心、Tilt Up 廠房建物、Hollywood Blvd 補強建築物。

在此規模雖只有 6.6 級之地震，但由於沈積達 100~500 公尺厚，其放大效應甚為明顯，以致波達地表面時其最加速度達 1.82g(H)、1.18(V)，嚴重破壞的原因為如下：

1. 1971 年以前之建築物，尚無抗震設計法規可以遵循
2. 構造物位在震央區內，由於地盤加速度很大，超過加州地震法規設計範圍

3. 垂直方向 PGA 較法規超出甚多
4. 在震央區內承載較大之柱、橋墩及承重牆等均因垂直震動之壓縮產生側潰。

重要結論:

過去國內技術規則，僅規定建築物所承之最小橫力不得低於 $V=ZKCIW$ ，對於垂直地震力並無任何規定，一旦所發生的地震其地表加速度很大時，建築技術規則對類似地區的垂直地震力可能要有一適當規定，其 K 值 0.67 必需再加以討論，此項針對垂直地震力之修正，在新頒技術規則中已加以考慮。

這次震害中發現具剪力牆的新築物較少發生倒塌現象，而國內不愛剪力的觀念也許要重檢討；國內開放空間的建築物，其樓地版面可以獲得獎勵，可以卻造成軟層的缺點，在本次震害也有很多是因為軟層造成，故「開放空間鼓勵辦法」是否要做適當修訂，必需再加以檢討。

報告名稱 1994 年元月 17 日美國洛杉磯北嶺地震震災訪查報告

出版單位：國家地震工程研究中心

題 目：橋樑震害討論

作 者：張荻薇 方文志 陳國隆

摘要：

橋樑是道路交通運輸系統中不可或缺的構造物，但若是在地震所產生的災害，除了可能造成生命財產的損失外，更可能因交通中斷阻礙了救災與復原工作的進行，在北嶺地震之震央附近及洛城北郊，有十條高速公路因橋樑在地震中嚴重受創，甚至崩塌，而致交通中斷。其中最令人矚目的是，號稱全美交通流量最大的 I10 州際高速公路，在洛杉磯西側近郊因兩處橋樑崩塌而封閉。

綜合全文內容可分為以下部份：

1. 橋樑震害概要：洛杉磯的高速公路網，在這次地震中大多數安然無恙，但在震央附近及洛城北郊，有十條高速公路因橋樑在地震中嚴重受創，甚至崩塌，而致交通中斷。其中最令人矚目的是，號稱全美甚至全世界最大交通流量的 I10 州際高速公路，在洛杉磯西側近郊因兩處橋樑崩塌而封閉；貫穿加州之南北大動脈 I5 州際高速公路，亦在震央北方約 20 公里附或因本身橋樑崩落，或因交叉跨越其上的 14 號加州高速公路崩塌而致交通中斷。在震央附近的 118 號加州高公路加州高公路亦有數座橋樑因橋柱破壞或橋面塌陷而封閉。
2. 橋樑震害原因初步探討：此次地震受損的橋樑大多興建於 20~30 年前，當時的設計規範，對於地震力之考量及抗震構造細節之規定尚未周全，以致造成如此嚴重的災害。
3. 台灣地區橋樑現況之檢討與建議：分成台灣地區橋樑耐震設計現況、設計施工方面、技術研究方面。

其中受到震害之橋樑及損害程度分述如下：

- I5/118 號公路北西連絡道：橋台有位移傾斜現象，其與引道擋土牆分離，而橋墩產生了嚴重的剪力裂縫，混凝土保護層剝落，足以了解橋墩在地震中受了甚大之軸向力。
- 118 號公路 Bull Canyon 渠道橋：其橋柱的頂部最外緣混凝土爆裂箍筋拉斷及

主筋挫屈現象，更因過大之垂直方向地震動而產生極大之軸向壓力，使得橋柱螺旋箍筋拉斷，驟失束制能力，橋柱主筋因而挫屈，混凝土爆裂之重損害。

- 118 號公路，Mission-Gothic 穿越道：該公路之南側橋及北側橋為開其下之兩條穿越道路，橋墩並不平行，形成跨距不一致的現象。由橋樑的破壞情形推斷，兩橋皆跨度不一、橋柱配置不規則，在地震中扭轉轉效應加大，造成橋柱扭曲剪刀破壞。
- I4/T5 號公路南行高架橋：由橋樑之結構型式、路線線形及破現象推論，此次地震中整座橋樑往降坡方移動。
- I5/I4 公路北連絡道：其破壞原因為北連絡道高架建於谷地形，橋墩高差甚大。
- I5,Gavin 狹谷高架橋：此段橋樑可區分為三個單元，中央單元為一跨兩橋墩採預力混凝土結構，在地震時橋樑橫向有產生大位移，兩側橋樑有兩個跨度但僅 1 橋墩，且橋面斜角甚大，因此在橋面內有扭轉擺動情形發，斜橋面之銳角受創崩落。
- I10,Fairfax-Washington 穿越道：橋柱所承受的最大加速度為 1.00g(V)及 1.83g(H)故其除了受到甚大的剪力外，更受到了極大之垂直加速度所引起過大之垂直壓力，使得箍筋拉斷、失去束制能力，進而使主筋產生對稱之挫屈，混凝土壓碎之現象。
- I10,La Cienga-Venics 穿越道：橋樑在此次地震中，大多數的橋柱頂部都產生了混凝土壓碎、主筋挫屈的現，12 吋間之環箍筋不是被拉斷就是搭接處被拉開。

橋樑震害原因之探討：

由於受到震害的橋樑大多興建於 20~30 年前，當時的設計規範，對於地震力之考量及抗震構造細節之規定等尚未周全。以下為依勘查震害之橋址地形、結構形式、構造細節及損害現象所初步判定之震害原因：

- 設計地震力偏小：由於受到震害的橋樑皆是建於 20~30 年前，當時之設計水平地震力偏小(約 0.06g)，而垂直地震力則未規定。但根據此次地震記錄，在自由場之大地表加速度為 1.82g(H)、1.18g(V)。
- 垂直地震力之效應大：此次地震發生於陸地，在震源附近所測得之垂直地表加速度相當大，最大者達 1.18g。超大的上下震動，對橋柱所增加的軸向力，是造成許多橋柱破壞的原因。

- 斜橋之動力效應：地震波方向的不確定性，常使橋受比預期更大的地震力。斜橋在平面上的不對稱性，容易產生扭轉擺動，使得某些橋柱受力大增。
- 橋台的鄰跨效應：地震時容易產生位移、傾斜。橋台支承能力的改變，將使鄰跨橋墩受到比預期更大的地震力。
- 不規則地形效應：狹谷等不規則地形，地震時之地表運動程度將隨位置的不同而有很大的變化，橋樑在此地時構築不僅有著因高度懸殊，而使結構之動力行為複雜。
- 區域性之場址效應：受災之中區因土層結構或盆地效應等區域性之場址效應，使得地表運動加劇。
- 外懸鉸接樑之結構特性：橋樑外懸長度的懸殊差異，常使得橋樑受地震橫力時，產生扭轉擺動及側向位移不一的現象，導致各橋墩構架受力不均。
- 支承長度及防止落橋措施：支承長度不足常造成落橋的主因。橋柱在地震時產生變形或損害，使得支承移動，支承長度不足，造成橋樑崩落。
- 橋柱箍筋的重要性：由於受到震害的橋柱是採用 11~14 的粗大主筋及 4~5 的細小箍筋，雖符合規定，但是否相稱，需再探討。

台灣地區橋樑現況之檢討：

- 台灣地區橋樑耐震設計現況：防止落橋規定支承長度應依橋樑跨度、橋墩高度至少為 50 公分以上，如高速公路。

重要結論：

由此次的訪查之結果，可作為往後在修改地橋樑方面之耐震規範及施工規範之參考如下：

1. 橋樑建設時應慎選橋址，以修復迅速容易之形式為主，同時亦應建立完整迅速之聯絡通訊網，以便災後能迅速、有效地展救災動員工作。在設計施工時應要考慮如何防止落橋，垂直地震力的考量應再作檢討，材料之韌性亦對橋樑有著重大的影響，故需對橋樑韌性設計方法及施工方式再作檢討。
2. 在技術究方面蒐集強震資料，研訂台灣地區各種地層之設計加速度反應譜及地表加速度，以作為決定橋樑設計地震之依據；隔震元件、阻尼器等新技術應用於橋樑之適用性，分析與設計方法之研擬。

報告名稱：1994 年元月 17 日美國洛杉磯北嶺地震震災訪查報告書

出版單位：國家地震工程研究中心

題目：美國政府之防災與救災體系

作者：林樹柱等

摘要：

美國政府對於緊急事件之應變系統大致可以分為三個層次，分述如下：

- 聯邦急難管理署：其全名為 Federal Emergency Management Agency，簡稱 FEMA，受美國總統指揮。美國總統宣佈某地為災區時，FEMA 即展開動員全國各地調集人員參與救災工作。
- 州政府層級：包括了州政府之急難服務辦公室(Office of Emergency Services)、加州交通局(Caltrans)。
- 地方政府層級：洛杉磯市和邵政府均設有緊急事件處理中心(Emergency Operation Center)

FEMA 經費之運用對象包括地方政府及一般受災人民，補助的大要如下：

- 地方政府：FEMA 將補助地方政府修復學校、其他公共建築、水、電、瓦斯等公用設施，捷運系統、地方道路及清除廢棄物等所需之經費。地方政府可以先行展開工作，其開支再向 FEMA 申請給付，申請補助款之程序為向 FEMA 遞入災損調查報告 (Damage Survey Report, DSR)，由專業工程師至現場錄影、拍照、估價、俟修復後或拆除工作完成後再錄影、拍照完成必要之紀錄，以向 FEMA 請款。
- 一般受災人民：災難救助中心通常借用學校之禮堂或體育館由 FEMA 負責設立，其內由各相關單位設立攤位，分別受理各項救災事務。
- 對於受損之公路系統其搶修工作完全由加州交通局負責，經費則分別來自聯邦 FHWA 及加州政府。在此值得我們特別注意與借鏡的為 CALTRANS 對此次災變之反應速度與處理方式。
 - ◆ 修復災損道路之設計在震災當天展開，並將在拆除工作結束時完成，且同時公開招標，並預期一年內修復所有公路。
 - ◆ 發佈緊急行政命令宣佈加州原有之招標程序及法規暫停適用，為期六個月，此一緊急命令授權加州交通局指名邀請數家合格包商來參與四項主要修復工程，採 Cost-plus 方式，得標者不得再標下一個工程，這樣約可節省一半的作業時間，平常完成同樣規模的招標發包程及施工約需二年。

地方政府層級：以本次地震例在發生地震後，L.A. 市政府立即透過無線電及電話動員屬人員，參與救災工作。本次地震有關建築物之災情檢查、鑑定係由洛市建築及安全部 (Dept. of Building and Safety) 負責，該部除動員市政府所屬之工程師，建築檢查員 (Inspector) 外，並透過技師協會動員 L.A. 區域之專業工程 (P.E.) 及結構工程師 (S.E.)，兩天內動員了 1000 個工程師和檢查員來檢查受損建物。其程序如下：

- 首先檢查市政府本身及公務機關，確定安全無虞可以使用後，人員即開始由市政府派遣至各災區檢查。
- 檢查人員兩人一組，通常一個為建築檢查員 (Building Inspector)，一個為工程師 (Engineer)。
- 檢查時利用快速檢查表 (Rapid Screening Inspection Form) 判斷該建築物之狀況，並區分為三級於明顯處貼標示，紅色表示危險，禁止進入；黃色表示受損，限制進入 (屋主、住戶或官方人員)；綠色表示已檢查無明顯結構危險。
- 餘震達 4 級以上則已檢查過之建築物需重新派員檢查。

基本上美國無論是聯邦、州或地方政府都有處理緊急事件的組織與標準作業程序 (SOP)，以及受過訓練人員，因此本次雖然災情嚴重，但美國政府應變迅速，對於交通與電訊之搶修、水電瓦斯之恢復、災民之安置及建物之檢查均能有效處理，使得整個災區情況立即受到控制，秩序迅速恢復而使地震災害之影響儘量降低。

結論與建議：

台灣處於地震帶之交界上，應儘快建立如美國之救難系統，上至中央政府下至地方政府以有效減低地震所帶來之災害，在有災害發生時皆以最快之速度搶救災區，使得受災區的災情能儘快受到控制，以防止二次災害，使其社會之秩序能迅速的恢復。對於我國震災防救災體系應予有效組織化，平時應規劃防救災作業，儲備救災人員，並輪迴各區施予各項震災救災訓練及防震演習，使真正地震發生時可動員互相支援

附錄 C2

報告名稱：1995 年 1 月 17 日日本阪神大地震勘災訪問報告

出版單位： 中華民國建築學會 編印

- | | | | |
|-----|-----------|------|-----|
| 2.1 | 中低層建築物之震害 | 林炳昌 | 郭呈旭 |
| 2.2 | 鋼結構之震害 | 陳生金 | |
| 2.3 | 非結構材之震害 | 姚昭智 | |
| 2.4 | 交通設施之震害 | 廖慶隆 | |
| 2.5 | 救災與復建 | 游顯德 | 張景森 |
| 2.6 | 結論與建議 | 廖慧明、 | 戴忠 |

報告名稱： 1995 年 1 月 17 日日本阪神大地震勘災訪問報告

出版單位： 中華民國建築學會 編印

題 目： 中低層建築物之震害

作 者： 林炳昌 郭呈旭

摘要：

本文探討日本阪神大地震中低層建築物之震害。震災對人民生命、建築、交通、水電公共設施的嚴重破壞，其中中低層建築物損害頗為嚴重，一般住宅為低層的輕鋼架及老舊的建築結構，而年代較新者毀壞較少。在中層建築物中鋼筋混凝土構造也有不少損壞，但大多數年代老舊建築物，其破壞模式仍有些值得我們引為借鏡，而少數建築物乃依據日本 1981 年新規範設計，此次地震中依舊有所損壞！

依據調查的結果，中低層建築物破壞模式可分列如下：

1. 壹樓破壞:壹樓大多作為停車場或店面用途者居多，在地面層全毀，柱頭破壞之細部，顯示箍筋間距頗大，且箍筋尺寸相對於主筋顯得弱小。而年代較新建建築物，雖壹樓柱已剪斷，但主筋仍未斷裂，顯示有足夠的強度(主筋)，而無緊密箍筋時，仍無法抵抗強震的搖晃。
2. 中間層破壞:早期日本建築物雖有耐震考慮，但祇是依照高度考量各層之震度而已，而 1981 年以後規範開始採用層剪斷係數設計法，因此頂層或中層之層剪力不足十分可能。UBC 規範考量地震橫力為倒三角形分佈(基本振態為主)，外加屋頂橫力，以增加考量較高頻振態的影響，然而日本規範中並未考量外加的屋頂橫力，而以隨高度增加的震度概括設計之，且在舊規範中，地震總橫力較現行規範要求小，因此相對於屋頂所設計之橫力，可能就會小於此次地震的反應。
3. 鄰棟影響:鄰棟間間隙空間若不足，強震時很容易造成碰撞而損及其它結構體，伸縮縫若寬度不足也容易造成損壞。
4. 結構桿件配置不當或開口不良:平面不規則或立面不規則結構最容易發生損壞，若牆之設計位置不當，常容易吸收能量造成損壞。
5. 細部設計不良:強柱弱樑設計為耐震之基本原則，然而窗台若未與柱隔離，容易形成強樑短柱，造成嚴重損害，發生柱端的塑性鉸。建築物整層發生崩塌常常是因柱箍筋的崩離造成柱主筋挫屈，導致整根柱的破壞，而柱箍筋的崩離，

可能是箍筋間距太大，或繫筋不足或 135° 度彎鉤製作不確實所致。

重要結論:

建築物破壞的因素有很多，但從各方面的資料顯示，下列一些原因造成的損壞值得作參考:

- 日本早期建築物雖有耐震考慮，但只考量隨高度增加的各層樓震度而已。層剪斷力係數的採用始於 1981 年修法，故頂層或中間層之層剪力不足十分可能。
- 日本建築物並不興建地下室，因此地面層之柱子的固定與否並不明確，柱腳的束制不足，可能造成一樓，柱之反曲點變化位置，使得一樓柱之抗彎強度不足。
- 非結構牆造成偏心扭矩，如同台灣的店面，其向街面的開放，背街面的封閉或鄰棟間的隔牆，都是造成偏心的原因。
- 一樓作為停車場，產生顯著的剛性降低，日本舊時建築顯然未曾注意此問題。而單跨構造之靜不定數較少，也容易造成損害。

報告名稱：1995 年 1 月 17 日日本阪神大地震勘災訪問報告

出版單位：中華民國建築學會

題目： 鋼結構之震害

作者： 陳生金

摘要：

日本鋼骨結構使用非常普遍，建築物有甚大百分比採用鋼骨結構，而若以樓層數而言，鋼結構最多之樓為 3 樓建築，可見日本之鋼骨建已普及至中低樓層，此次震災中有甚多中低樓層之鋼骨建築破壞，其破壞的主因為樑柱接頭斷裂、斜撐桿件斷裂(部分採用鋼板斜撐)、鋼柱續接處斷裂等。

亦有鋼骨建築旁之木構造已毀，而鋼骨建築外觀上幾未受損，但其錨錠螺栓被拉起約 10cm，判斷其原因可能該建築過於細長，致地震下變位過大，甚至產生 P 效應，引致甚高之傾覆力矩，亦可能已被拉斷，修護後即可再使用。

震後發現甚多之巨型箱型鋼柱斷裂，此類鋼柱板厚達 55mm，斷裂模式為拉斷，其位置大約可分為三大類：

- 於上下柱對接處之銲道附近
- 於靠近斜撐之位置
- 於續接處約 30 公分處

雖然巨大柱軸張力為破斷之主因，但因此破斷面甚為平整、無塑性變形之跡象，應屬於脆性斷裂，由作者推測，以上三種破壞模式可能原因為：

- 續接處斷裂：因為銲接不良，造成瑕疵，形成尖銳之裂縫，在軸張力下產生脆性斷裂，而若其原設計為半滲透銲續接，縱使銲接品質良好，半滲透銲所形成之天然裂縫，已足以使柱產生脆性斷裂。
- 斜撐與柱相接處之斷裂：斜撐與柱相接處柱內須銲上連續板(continuity plate)，否則斜撐引致之力量將足以將柱板撕裂，因此柱內若無連續板或該連續板與柱板間之銲接不良，皆足以造成鋼柱斷裂。
- 柱續接處上方的 30cm 處斷裂，一般在續接處上的 30 公分處柱內有一塊橫隔板，以束制鋼柱，使鋼柱不致因續接之過大銲量而產生變形，因此該類

斷裂極可能因橫隔板銲接不良而導致破斷。

作者對於其修復方式有所建議。因為外面補銲時無法達成全滲透銲之功能，其銲道品質可能會遺留甚多易於造成脆性斷裂之槽口(notch)，原作者建議之方法為於破斷面上封一塊鋼板即可，而此鋼板之主要目的為不使該裂縫外露，而另二向銲 rib 時，於破壞附近留 rat hole，再將其鋼板磨平，以減少槽口之發生。

報告名稱：1995 年 1 月 17 日日本阪神大地震勘災訪問報告

出版單位：中華民國建築學會

題目：非結構材之震害

作者：姚昭智

摘要：

阪神震災中，除了主結構的震害外，非結構材料之損害嚴重，諸如：電線杆的傾斜、自動販賣機的傾倒。

電線杆的傾斜的原因有

- 一般磚或水泥磚砌成的圍牆倒塌
- 砂漿層裂開
- 液化現象的傾斜

由破壞的殘跡可以看得出並未使用鋼筋加強抗震能力。

許多辦公室的輕鋼架天花板似乎大都能保持相當不錯的狀況，比較天花板的支撐方式，可見到他們採用了懸吊桿的構造方式，可能是能夠保障其整體安全性的原因。

金融機構的資料並未在地震中遭到破壞，其原因為電腦主機的硬體設計採用分散式的 CPU 設計，而且放置的高架樓板亦採用了特殊的隔震設計。

結論

其實許多非結構物的耐震性能只要設計者稍加注意，均可有效的加強其抗震能力，諸如之前所提到的輕鋼架天花板、電線桿、圍牆和販賣機的傾倒等；非結構物的災後調查工作應在最短的時間內進行，否則災區復健工作經常便是非結構物之修護，以致破壞的現場很快被整修完成，而無法看出破壞的狀態而學習如何改善；其他如玻璃帷幕或高架樓板之耐震行為，國內需做進一步之研究，以確保國人的安全。

報告名稱： 1995 年 1 月 17 日日本阪神大地震勘訪問報告

出版單位： 中華民國建築學會 編印

篇 名： 交通設施之震害

作 者： 廖慶隆

摘要：

此次大地震，主要發生於大阪灣海岸至六甲山麓間之狹長沈積層帶，沿海岸平行方向產生所謂直下型地震，對此走廊沿線交通設施及交通結構毀損甚多，導致震災發生四十餘天後，交通方面仍然無法貫通。而路運部份，通過神戶市之大動脈阪神高速公路(高架式)，傾斜開裂之情形，數量不但多且受損範圍涵括達三十公里長左右之走廊。大眾運輸，政府單位也另開闢新路線，以疏解大阪神戶走廊間之交通。而日本東西交通大動脈之新幹線、高速公路及港灣設施之破壞中斷，對日本關西地區之經濟造成相當大之打擊。而往後之救災、復舊、補強等各項緊急措施，均需早日恢復交通運輸功能。由於阪神高速公路之倒塌、西宮大橋之破壞以及地下鐵車站崩塌，在在顯示日本有關土木結構耐震設計之基準必須重予檢討。

綜合全文內容其破壞狀況可細分如下：

● 大眾運輸系統：

1. 新幹線：山陽新幹線新大阪至姬路間武庫川附近之公路高架橋掉落，以至新幹線受損；另於西宮市上大市新幹線與阪急鐵相交處，由於支柱斷裂，導致其上之鐵路破壞。
2. 阪急私鐵：阪急電鐵之伊丹站塌陷，除車站結構受損外，也導致在站上之電聯車一併受損。
3. 神戶電鐵：係繞著六甲山後行駛之私鐵，毀損部位為與阪神電鐵交會之新開地大開站。
4. 阪神高速公路：最大的破壞在神戶東灘區的 630 公尺長之倒塌。高架橋之毀損在此次地震中，彼彼皆是，尤其高速公路，因此高架橋之設計規範應特別予於檢討。

● 一般平面道路系統：

由於軟弱地層受震時之液化現象，亦使路面道路受損，建築物全塌至路面，

以及拆除危險建時機具所需之工地，影響路面交通甚大。

● **港埠設施:**

碼頭設施大多由填土而成，其液化現象相當明顯，尤其是人工填築而成之PORT 島，噴砂現象相當明顯，路面鋪面大量受損，幾乎所有碼頭結構都有龜裂拱起現象。

重要結論:

- I. 對交通設施來說，其毀壞應可分交通機能受損、危害運具安全以及危害乘客安全等三類，有危害乘客安全之虞時，應立即處理。
- II. 一般來說地下工程破壞最為嚴重，其次是地面，然後是地上結構，高架橋中心鑄鐵作成之支柱，有剪斷現象(與柱向垂直斷裂)，值得特別注意。
- III. 填海所造成之人工島，液化現象非常嚴重，建議國內在此軟弱地層，應考慮特殊之施工法，如打樁等。
- IV. 此震災大部份被毀在地震第一波時，即第一震動強度相當大，因此無所謂避難時間，避難演習並未發生作用，因此努力的方向為延長倒塌時間，也就是加強韌性設計。
- V. 設有免震設施之結構則幾乎沒有破壞；新建之地下街及地下鐵大多完好，主要以舊結構之損壞較多，其主要原因有規範新舊不同，與當年預算較緊。

報告名稱： 1995 年 1 月 17 日日本阪神大地震勘災訪問報告

出版單位： 中華民國建築學會編印

題目： 救災與復建

作者： 游顯德 張景森

摘要：

1995 年阪神大地震對阪神及日本國內造成的直接及間接損失甚鉅，經估計總損失高達 40 兆日元，莫怪乎災後全國自天皇以下無不動員，促進救災與復建工作。本文除了摘錄各項媒體報導之救災與復建日誌之外，並針對日本東京大學生產研究所岡田恆男教授所提出(刊載於日本學術振興會學術月報 1994.12 中之”建築物之地震對策”)的地震中及地震後之諸項對策，逐一探討當時的執行情況。關於”建築物之震前防災對策”、”防災須知”以及”地震備知”等題目，亦在本文中有節錄說明。

綜合全文內容，文章可分為以下部份：

1. 震災後之救災及復建實況：記錄自 1995 年 1 月 17 日起到 2 月 17 日，一個月內由地震發生到救災行動、災民安置、公共事業與維生線設施的修復情況。並針對：避難、安定人心、援救受傷者、防止二次災害、確保災民當時生活、金融、教育及其他等八項目，整理在這個月內採取的措施，可供政府制訂救災體系參考。災後重要公共維生線設施如電力、瓦斯、電話與自來水等的復建情況，以圖表說明，可為國人借鏡。
2. 阪神大震災復建計畫之構思：摘錄”阪神大震災全記錄”(每日新聞社出版 1995.3)越澤明所著—由關東大地震與戰災之經驗而談—文章。可供制訂震災後復建計畫參考。
3. 建築物之震前防災對策：(摘自岡田恆男所著”建築物之地震對策”)
4. 防災須知：(AERA NO.5 2/5 號)
5. 地震備知—99 個 CHECK POINT (“週刊朝日 3/15 號刊”)

重要結論：

文章中對於當地政府及民間機構的救災行動所做的觀察，有以下幾點結論，值得作為參考：

- 避難：政府以區公所、學校、體育館以及其他臨時房屋安置約 32 萬受災難民。

- 安定人心(防止惡宣傳)：震後人心惶惶，應統一震災資訊，發佈”希望新聞”以鼓舞災民，避免暗面謠言之產生。
- 治安：災區治安甚為重要，尤應防止偷竊盜匪事件。成立”自警團”(類似守望相助組織)，維護治安。
- 物價安定措施：災區易發生民生物資價格暴漲現象，應該以公會或政府制裁力量抑制其發生。
- 援救受傷者：災民之醫療為重要救災工作之一環，由於避難所集居多人，且加上環境惡化(水源)，所以傳染病之預防很重要。此外，災民精神方面的復健亦為重要工作。醫界對於此發出三個建議：(1)確保災區之醫療資訊;(2)加快救護速度;(3)加強醫療建築之耐震能力。
- 防止二次災害：火災、海嘯以及餘震為大地震後常見的二次災害原因，應該注意。災後除速將災民安置到安全地區外，政府及建築師義工應對受災建築進行”禍害度判定”，明確判定受災建築之受損等級。本次地震將受損等級分為”禁止使用”(住宅外)、“危險”(住宅)、“要注意”以及”調查濟”等，並以紅、黃、綠標誌明顯張貼，以防再使用受損建物，造成二次災害。為了能有效執行本項工作，災前便應組織並訓練建築師義工。
- 確保災民當時生活：由於倉促逃難，一般災民沒有足夠的生活條件，衣服、飲食之來源以及臨時避難場所政府必須事前有應變計畫。
- 交通復建亦為救災重點，如此才能確保救濟物資之運送。
- 金融：捐款、燒毀貨幣的處理。
- 教育：學校建築之復建與臨時上課場所之安排。
- 復建計畫：災後的復建為重大課題，應該參考前人經驗，例如日本關東大地震以及戰後復建之經驗，從中學習。而由本次震災經驗，更可擬訂出復建計畫中的新防災計畫，減少下一次震災損失。
- 擬定震前防災對策：如(1)受震害與耐震設計;(2)既存建築物之耐震診斷與補強;(3)地震災害之預測;(4)二次災害之防止(火災與餘震防止、義工組織與訓練、損壞判定指針)。
- 出版與宣導”防災須知”與”地震備知”等資料。

報告名稱：1995年1月17日日本阪神大地震勘災訪問報告

出版單位：中華民國建築學會

題目： 結論與建議

作者： 廖慧明、戴忠

摘要：

- 日本方面在這次大地震的對策可分為二個階段：震前對策、震中和震後對策。
- 最後的結論可分為幾個部份：直下型之地震力、新耐震設計法、耐震診斷與補強、建築結構、土木結構。

在震前對策方面可分為

- 推測地震
- 營造對地震安全的市鎮
- 預測震害
- 防災訓練

震前對策方面雖然完善，但是在推測地震方面幾乎是完全失敗，主要原因在於：日本的地震研究雖然進步，但卻對垂直的震動太過低估，而造成這次的災害。

震中及震後對策可分為

- 避難
- 避免恐慌
- 救護受傷者
- 防止二次災害
- 確保當地居民之生活
- 市鎮復興

日本對地震工程耐震規可分為三個階段

- 1971 年以前之法規(震度法)

這個階段之設計法只針對**地震強度探討**，並不像其他兩個階段有討論結構之韌性問題，所以結構之倒塌相當嚴重。

- 1971~1981(震度修正法)

- 1981 年以後(新耐震設計法)

新耐震設計法有作大地震之極限狀態時層剪力檢討，可說對這一次地震之抗震相當成功。

其他方面，由於此次地震屬於巨大之直下型地震，造成依照日本法規設計或是無設計方法設計之傳統木構造建築，**瞬時倒塌、造成火災之二次災害**。

依岡田教授所指出如果耐震指標 I_s 可以提高的話，自然其倒塌率可以降很多，在 1968 及 1978 年主要震害部分其 I_s 都是小於 0.6，其損害率約 10%，而耐震指標 I_s 在 0.6 以上者，其受損率較低，顯然的耐震補強可以提高其 I_s 值而降低損害率。

對於此次地震之特徵與破壞情況分述如下：

- 直下型之地震力：此次地震之特徵，乃直下型地震，發生在人口密度高之都市直下方(震源離表土只有 20KM)。
- 新耐震設計法：1981 年修訂的新耐震設計法可以說是唯一的耐震法規，此設計法之所以成功，乃從過去的只注重水平力的安全的強度檢討，加強水平方向韌性(Ductility)之檢討。
- 各種結構之破壞原因，初步推論"不符新耐震設計法"為其主因：木構造之破壞主要發生於老舊、傳統日式斜撐不完全者；RC 構造壞大都是脆性短柱破壞、上下剛性不均勻造成之破壞、結構之不規則而引起之扭力破壞而整層倒塌者引起相當多的關注；鋼結構主要的破壞在於斜撐之斷裂，而焊接斷裂者也相當多。
- 建築結構：阪神大地震災中，建築物部分主要之破壞，在十樓左右結由中間層斷折損壞；而結構的剛性分配上，因上下層剛性度突然改變引起的結構 Whip Action。

結論

這次阪神大震災發生時避難多的難民多達 30 萬，但阪神地區難民很有秩序，守法共同渡過此難關；在震災所引起之維生線之破壞，交通運輸之不通、停電、停水、電信不通等維生線，在 24 小時內能夠動用整個日本的工程力，在最短時間緊急復舊、應急復舊及恆久復舊手段回復維生線之使用。

日本這次阪神震災之後，立即著手防止災害擴大，並投入很多時間去吸取經驗，以備將來大地震時，降低死傷與財產之損失之態度，是我們必須學習的。

附錄 C3

報告主題：從阪神震災害探討台灣地區交通設施地震防災研討會

主辦單位：中華顧問工程司

1995年1月17日上午5時46分，於日本阪神發生了一規模7.2級(日本規模)的強烈地震，造成神戶、大阪、京都地區的嚴重災害，其中以神戶地區之鐵、公路等對外交通的受損最為嚴重，而自來水、瓦斯、電力、電話等民生日常必需亦受到嚴重的破壞，同時地震亦引起了數百起的火災事件；在建築物方面受到震災的有民宅、大樓、醫院、車站及百貨商場等倒塌或嚴重受損，造成整個都市的系統機能完全陷入癱瘓。在一瞬間現代化的都市，幾乎變成廢墟，在阪神大地震中一共造成近五千五百人死亡、三萬五千人受傷、八萬二千棟全倒，六萬五千棟半倒，七千五百棟燒毀，財物損失在美金1000億以上。

交通部辦此研討會的目的在於，因為台灣位於菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊的交界地帶，島上斷層眾多且地震頻繁。因近年來國內經濟快速成長而都市人口密度甚高，加上六年國建所構築的大型公共設施逐漸完成，更顯得地震防災的重要性；日本之工程技術及防震技術雖傲世全球，但卻在阪神大地震中造成慘重的災害，值得我們再深思。

在這次研討會中，聘請到日本京都大學教授到場指導，並與國內專家及相關機代表舉辦座談會，彼此了解地震對於橋樑、土木結構、基礎、港灣等所造成的破壞情形以及日後發生地震時的應變措施，以減少國內在地震發生時的災害。討論的題目包括：

1. Characteristics of Hanshin Earthquake and Damages on Structures -Bridges in particular-, by Dr. Eiichi Watanabe, Professor of Civil Engineering, Kyoto University
阪神地震強地動特及對結構尤其對橋樑的損害
2. 1995 Hanshin-Awaji Great Earthquake Damages on Ports, Harbors and Industrial Facilities, by Dr. Masanari Tominaga, President, Kawatetsu Engineering Ltd.
1995年阪神大地震對機場、港灣以及工業設備的損害
3. Hanshin Earthquake Disaster; Geotechnical Aspect Damages to Foundations, Underground Structures, Lifelines, by Dr. Yuzo Ohnishi, Professor of Civil Engineering, Kyoto University.
阪神地區災害-- 對大地工程基礎、地下結構、維生線設施的損害

報告主題：從阪神震災害探討台灣地區交通設施地震防災研討會

主辦單位：中華顧問工程司

題目： Characteristics of Hanshin Earthquake and Damages on Structures -Bridges in particular-, *by Dr. Eiichi Watanabe, Professor of Civil Engineering, Kyoto University*

阪神地震強地動特及對結構尤其對橋樑的損害

作者： Eiichi Watanabe and Kunitomo Sugiura

摘要：

發生於 1995 年 1 月 17 日早上 5:46 的阪神地震，估計其震源正好位於 Awajishhima 島下方，此地震的發生源於 Awajishhima 島與阪神下方活斷層的一連串之運動。本次地震規模 7.2，造成此地區史無前例的損害。本次震災傳出最大災情的地區有一特性，即其非常接近活斷層，並且和活斷層相平行。

地震發生後的幾小時內，傷亡人數可能會快速地增加。因為快速的處理，工程師很快地防止了可能由受創結構所造成的二次傷害，例如，他們安裝了數百個臨時支柱，以防止上部結構掉落到地面上。其次他們辛勤地恢復了受創的設備，以使他們恢復了原有的功能。

在最新提出的公路規範中提出了以下幾個新的觀念：

1. 決定合理的設計地震力以考慮損害之效應。震災發生後結構的角色與功能應該兼顧到社會與經濟狀況。
2. 建立評估結構之可撓性與強度的方法。
3. 多使用動力反應分析方法以評估結構的耐震能力。
4. 使用結構控制方法如：被動控制與基礎隔震技術。
5. 使用有足夠之可變形性與強度的支承系統。
6. 發展防止落橋事件的監測儀器與對策。
7. 考慮液化與基礎移動的對策。

8. 提高整體結構的耐震能力。

此外，在結構設計時可能可以採用以下細部方針：

1. 中度地震下結構不應降伏。
2. 結構須有足夠的極限強度以及韌性以抵抗大地震。
3. 結構在本次記錄到的最大地震作用之下，應以非線性動力分析證明不會倒塌。
4. 施工階段應注意不可切斷鋼筋及不良焊接。
5. 隔震橡膠墊比鋼墊好。

當然，結構應該有足夠的強度以抵抗如本次地震的擾動，但是該注意的是，基於經濟理由，使每個結構元件都有那麼高的強度是不可行的。此外，這麼做在理論上也是不合理的。

附錄 C4

報告名稱：國家地震工程中心簡訊 1999.3

出版單位：國家地震工程研究中心

題 目：電力系統與地震災害

作 者：

摘要：

電力系統為攸關民眾生活的重要維生線(lifeline)，如何加強電力系統的耐震能力，減少設備在地震中損壞、縮短搶修時程，並進而降低大地震後之二次傷害，為地震工程研究的重要課題。1994年及1995年1月17日美、日兩國分別歷經一次大地震侵襲，兩次震災均造成電力系統相當程度的損壞，幸而應變能力的提升，均能很快地恢復供電。我國電力系統與美、日之電力系統有相似之處，可以由他們的經驗了解，我國電力系統可能在震害受到的損壞，以及應該採取的預防措施。

電力設施損壞狀況

- **美國北嶺地震** 北嶺地震在該區造成損害，乃因其持續的時間長達 30 秒之久引起。損壞的電力設備，主要為輸電變電損壞，尤其是 500kV 及 230kV 且含有大型瓷套管 (porcelain bushing) 的高壓設備，包括：變壓器 (transformers)、live-tank 型式之斷路器 (circuit breakers)、隔離開關 (disconnect switches)、電流電壓合成變比器 (current-voltage transformers)、比壓器 (potential transformers) 以及陷波器 (wave traps) 等。
- **日本阪神地震** 發生於 1995 年 1 月 17 日之日本阪神地震，芮氏規模為 7.2 級。由於為淺層地震，各變電所或設施所測得之地表加速度值，均超過 1980 年頒布的電力系統耐震設計標準，電力系統遭受嚴重創傷，關西電力會社損失的金額高達 2,300 億日元之鉅。本次電力設備主要受損情況為：土壤液化所造成變壓器傾斜，以及設備、管線之傾倒；變壓器、dead-tank 型式之氣體絕緣斷路器 (gas-insulated circuit breakers)、油斷路器 (bulk-oil circuit breakers)、避雷器 (lightning arresters)、配電線路等。其中以 5 個 275kV、1 個 187kV、以及 4 個 77kV 變電所的變壓器發生瓷套管損壞，造成的斷電問題最為嚴重。
- **嘉義瑞里地震** 民國 87 年 7 月 14 日的嘉義地震 (規模 6.2) 造成的電力設備

損壞狀況：4 組 345kV500MVA 變壓器共 17 支瓷套管分別發生漏油、法蘭 (flanges)與瓷體間移位 3mm 到 14mm。損失金額達 3,400 萬新台幣。

由幾次地震造成電力設施損壞情況可以歸納，變壓器容易在地震中損壞。變壓設備的耐震能力以及其保護措施如固定及隔震措施，乃至設施設計地震力均有待檢討與改進。由北嶺地震中變壓器的主要受損狀況可以窺之端倪：

- 套管：瓷套管破裂、移位、溢漏，套管固定座損壞。
- 變壓器錨定：焊道或螺栓損壞。
- 散熱器：硬管及接頭破裂，絕緣油溢漏。
- 避雷器：支架損壞，瓷套管破裂，固定座損壞。

其中第一、二項同時亦為阪神地震中變壓器的主要損壞形式。

國內外電力系統耐震設計規範

- **美國** 美國對電力系統耐震設計之重視始於 1971 年加州 San Fernando 大地震(規模 6.6 級)之後，由 IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)所主導訂定變電所設備之耐震設計實務：IEEEP693, Recommended Practices for Seismic Design of Substations(目前為 1997 年版)。IEEE 認為，電力設備之耐震設計必須充分考慮各種不同設備之特性與需要，分別依：

- 危險性 電力設備容易受地震損害的程度
- 緊要性 維持變電所運轉時對某一設備的依賴程度
- 可替性 依地震分區及耐震需求不同，所規劃之電力設備高、中、低耐震能力等級

研擬其耐震需求。至於究竟應該採用高、中、低哪一耐震能力等級？IEEE 建議根據以下六點加以考慮：(1)工址之預期地震規模；(2)該變電所對於事業單位完整供電能力之緊要性；(3)某一設備損壞後執行更換之費時性；(4)安全性考量；(5)某一設備故障時能否逕自加以忽略而繼續維持系供電；(6)電力系統受地震侵襲時之整體可靠度。

- **日本** 日本國會於 1976 年通過「大規模地震對策特別措置法」，由社團法人日本電氣協會以產、官、學界共同組成「電氣技術基準調查委員會」，

根據日本之地理條件與客觀環境，制定電力設備之各項耐震法規。1980年日本電氣協會公佈「變電所電氣設備耐震對策指針 JEAG5003-1980」耐震設計手冊，詳細規定變電所地盤、基礎之分析評估、電力設備之動力模型與設計程序，乃至耐震設計之試驗驗證等。其中對於戶外變電所之一般設備，其設計地震力規定為振幅 0.3g 之水平加速度及 3 個正弦波形；變壓器之設計地震力則提高為 0.5g。由於阪神地震規模之大，造成電力設備嚴重之損壞，明白顯示設計規範之不足，所以日本政府已要求重新檢討修訂。

我國電力系統現況與相關研究課題

我國電力系統大致與美、日兩國相同，對於電力系統之一般性能、製造與試驗之要求均依美國的 IEEE 標準、ANSI SG-6、NEMA C37 等相關標準，或是日本最新修正的標準。台電於民國 70 年左右將其一般零件、組件之設計地震力由 0.12g 提高到 0.3g，但是合成後之設備耐震性並未考慮。

目前台灣變電所可以大分為戶外式及屋內式變電所兩種，屋內式變電所之各種供電設備設計已更為密實耐具整合性，全部採用無瓷套管之 SF₆ 氣體絕緣型式。國家地震工程研究中心有鑑於國內電力設備之特性，擬定下列幾項優先研究項目：(1)屋內式變電所建築結構之耐震評估；(2)含瓷套管之一般電力設備之隔、減震；(3)近斷層工址之耐震設計及既有設施之耐震評估；(4)輸電鐵塔之耐震評估與補強；(5)管線設備之隔、減震；(6)電力傳輸系統之地震危害分析。

結論與建議

台灣電力系統之耐震能力至今不曾經歷真正嚴苛的考驗，由美、日兩國經可知，設計規範經常並不足以確保電力系統真實的耐震能力，尚應隨時加以檢討修訂。電力設備除應分析其地震危害度，評估可能造成的損害並擬定對策外，針對耐震性修改設計、錨定或採用可以之隔震、補強措施也有其必要性。

附錄 C5

報告名稱：建築物耐震評估及補強實施制度之探討(MOIS 871007)

出版單位：內政部建築研究所

計劃主持人：許茂雄教授

摘要：

本研究計劃蒐集有關台灣、日本、美國、中國大陸等地之抗震制度與補強技術資料，進而提出建議，供作我國制訂既有建築物耐震診斷、補強制度與規範的參考。研究內容共分三部份：第一部份本制度規章方面的探討；第二部份為耐震診斷、耐震補強技術方面的探討；第三部份為針對國內現況之建議。

各國地震防災相關制度的比較與檢討

目前台灣地區有關防救災運作體系的總指導綱領，是民國 83 年行政院頒佈之「災害防救方案」。該方案的目標是健全災害防救的法令及體系，強化災害預防及相關的措施，有效執行災害搶救及善後處理。並加強災害教育之宣導以提升全民災害的應變能力，以減輕災害損失，達到保障全民生命財產安全。該方案依我國行政體制設立中央、省(市)、縣(市)、鄉(鎮市區)四級之防災會報，有災害發生之虞或災害發生時，設立對應之四層級災害防救(處理)中心，且各參與防救中心編組之單位亦同時於單位內部成立緊急應變小組，執行各項防災應變措施。行政院公佈之「災害防救方案」與日本 1961 年公佈實行的「災害對策基本法」，在防救災的基本精神以及組織架構上(日本分為三個層級)大體相同(附表一)。如防災主體，日本稱為「防災會議」，台灣稱為「防災會報」；指揮中心，日本稱為「災害對策本部」，台灣稱為「災害防救中心」。

在各種天然災害中，地震災害之發生常在完全無法預警狀態下，且預測最為困難、時間極為短暫，但造成之生命、財產損失卻極為嚴重，因此在地震帶之國家，除了一般性之天然災害防救制度外，對於地震災害都訂有特別之防救災法規及組織體系。附表二為台灣地區與日本、美國、中國大陸在地震防救災制度上之比較，內容包括(1)防救災基本法規(2)地展防救災法規(3)建築物耐震診斷與補強法規(4)耐震診斷與補強相關技術規範。由表二可以看出日本的所有法令和規章最為完整，而法令制定時機與法令之間的順序脈絡亦十分明確，特別是 1971 年公佈「大都市震災對策推進要綱」後，東京都緊接著制定了「東京都震災預防條例」；1978 年公佈了「大規模地震對策特別措置法」後，為了防備東海地區可能發生大地震，建設省在 1979 年接著有「東海地震的地震防災對策強化地域基本計

劃」；而 1995 年 1 月發生了阪神大地震，當年 12 月內閣總理馬上公佈「建築耐震改修促進法」。由此可見日本對於地震災害防備的重視與高度的行政效率。

反觀我們台灣地區的防救災制度，遲至民國 83 年行政院公佈了「災害防救方案」才初見端倪，而且此方案仍屬草案階段，未經立法程序通過。至於其他相關地震應急法規或是既有建築物耐震的診斷與改修制度及法令，更是完全付之闕如。

結論與建議

儘管目前人類沒有能力防止地震的發生，但是只要能在平時建立起良好的防災制度，即使地震發生，災害損失仍可減少到最低的限度。為了實現此目標，政府實刻不容緩地必須儘速規劃一套完備的地震防災制度，來規範地震發生前、後的準備與救災工作的推動。

綜合國外之制度，下列幾項應可做為今後台灣地區制度建立上之參考：

(一)行政院公佈之防災體系中的"中央災害防救中心"，應為一常設性之機構，以統籌防災事務、推展防災政策。目前災害防救中心設在消防署，是屬於一種臨時性的任務組織，不像日本在中央政府組織中的國土廳之下設有"防災局"；或是美國聯邦緊急事務管理總署(FEMA)，皆是一種常設之事務性機構，統籌全國的防災工作。每年並且投入高額預算，從事各項研究與準備工作。

(二)有關地震災害的預防與救災，日本、美國及中國大陸皆有防救災的制度與法令。特別是中國大陸在 1995 年公佈破壞性地震應急條例，條文中明訂重大地震發生前後，由中央到地方的應急機構、應急方案及任務等。並由直屬國務院的"國家地震局"主管全國防震減災的工作，地方尚設有"省(市)地震局"而台灣地區目前並無主管地震相關事項的專門單位，但由中央氣象局負責地震安全的社會教育宣導工作。

(三)內政部目前實施中的"建築技術規則"只針對新建建築物的結構設計須符合耐震能力的規定標準，對於既有建築物缺乏耐震診斷與耐震補強的制度與標準。而中國大陸在 1990 年成立「全國建築物鑑定與加固標準技術委員會」統一制定各類建築物的抗震鑑定與抗震加固的技術規範。日本 1995 年公佈的「建築耐震改修促進法」更成為日本改進既有建築物耐震安全相關規定的基本母法。

(四)日本、美國及中國大陸從中央政府到地方政府皆設有職掌地震安全的防救災單位，救災組織及指揮系統十分確實並經常舉辦實兵演練訓練。阪神地震、加州北嶺地震、唐山地震皆給日本、美國、大陸地區人民帶來極大的經驗和教訓。台灣地區自民國 53 年白河地震後並沒有大地震再發生，降低了社會大眾與施政者對地震災害的警戒心。

附表一 日本與台灣地區防救基本法比較

日本 災害對策基本法(1961)					台灣地區 災害防救方案(1994)						
行政層級	防災主體	防災計劃	救災指揮中心	相關業務單位	行政層級	防災主體	防災計劃	救災指揮中心	相關業務單位		
國 (中央)	中央防災會議	防災基本計劃	非常災害對策本部	指定行政機關 指定公共機關 防災業務計劃	中央	中央防災會報	防災基本計劃	中央災害防救中心(中央災害處理中心)	部會及指定行政機關、公共事業	防災業務計劃	緊急應變小組
					省(市)	省(市)防災會計劃	地區防災計劃	省(市)災害防救中心(災害處理中心)	局處及指定行政機關、公共事業	防災業務計劃	緊急應變小組
縣 (都道府)	都道府縣防災會議	地域防災計劃	都道府縣災害對策本部	指定地域 都道府縣防災計劃	縣(市)	縣(市)防災會報	地區防災計劃	縣(市)災害防救中心	防災業務計劃		
									業務單位緊急應變小組		
市町村	市町村防災會議	地域防災計劃	市町村災害對策本部	指定地域 市町村防災計劃	鄉(鎮市區)	鄉(鎮市區)防災會報	地區防災計劃	鄉(鎮市區)災害防救中心	防災業務計劃		
									業務單位緊急應變小組		

(摘錄自：建築物耐震評估及補強實施制度之探討，許茂雄等)

附表二 各國防止地震災害相關法令及對策比較表

		台灣地區	日本	美國	中國大陸
1	防災基本法規	· 1994 災害防救法(草案)	· 1961 災害對策基本法 · 1963 中央防災基本計劃	· FEMA 防救災制度(聯邦應變救災計劃)	—
2	地震防救災法規	無	· 1971 大都市震災對策推進要綱 · 1971 東京都震災預防條例 · 1978 大規模地震對策特別措置法 · 1979 東海地震的地震防災對策強化地域基本計劃	· 1981 減輕國家地震災害綱要 · 1989 災害性地震反應計劃	· 1995 破壞性地震應急條例
3	建築物耐震診斷與補強法規	無	· 1995 建築物耐震改修促進法	—	· 1990 成立「全國建築物鑑定與加固標準技術委員會」
4	耐震診斷與補強相關技術規範	無	· 既存 RC 造建築物耐震診斷基準及改修設計指針 · 既存鋼骨造建築物耐震診斷基準及改修設計指針 · 建築設備地震對策指針	· 診斷 ATC-2-74、ATC-14 · 補強 ATC-28、ATC-31-92、ATC-40-96、SAC-95.01~09、ASC-96.01~03	· 建築抗震鑑定標準 · 混凝土結構加固技術規範 · 古建築木結構維護與加固技術規範 · 建築抗震加固技術規範

(摘錄自：建築物耐震評估及補強實施制度之探討，許茂雄等)

附錄 C6

報告名稱： 交通工程地震防災研討會

出版單位： 交通部科技顧問室，中華民國八十年六月

題目： 唐山地震之經驗與教訓

作者： 鄧大量

摘要：

本文探討 1976 年唐山地震之地質背景，其發震經過。震災對人民生命、建築、交通、廠礦、水電公共設施的嚴重破壞。在一突如其來的災變而使社會全部癱患的情形下，人們如何迅速組織搶救、搶險、搶修、搶通卒至使社會復原。

(1) 災情要攬

1976 年 8 月 24 日凌晨發生於河北省唐山市規模 7.8 級的大地震當稱為本世紀造成災情最為慘重的自然災害，其災區面積約與台灣一樣大，導致 24 萬餘人死亡，1 千 5 百萬平方公尺公產房屋損毀，530 萬間民房倒塌。全市供水、供電、通訊、交通等維生線全部破壞，醫院及醫療設施全部破壞。由於各項對外交通設施全數受損，影響救災行甚鉅。

2 地理、地質、地震

唐山位於華北平原東北部，北倚東西行燕山山脈，南臨渤海海灣。為建於統新世紀近期鬆軟沉積物上的城市，其沉積厚度由零到 2000 公尺不等。地下為東北-西南走向的河北平原大斷裂帶。由過去歷史關於大地震的記載中，唐山市雖然沒有八級以上地震的記錄，但是華北地區自西元 1000 年以來有一次 8.5 級地震，五次 8 級地震，十二次 7 到 7.9 級地震，六十餘 6 到 6.9 級地震。可見北京-天津-唐山地區為地震活躍的地區，發生 7.8 級地震自不是完全無跡可尋的。

唐山地震發生於 1976 年 7 月 28 日凌晨 3:43 分，震央 118.2°E，39.4°N。震源深度 11 公里，由餘震顯示，該區為一條 50 公里寬，140 公里長的橢圓形破裂帶。由於當晚又發生 7.1 級的餘震，致使主震時遭受破壞的建築物澈底坍塌。震度、烈度遠遠高於預估值，是造成災情如此嚴重的主因。

3 防震措施

3.1 地震預測工作： 雖自 1966 年邢台地震後，已經意識到華北地區可能發生大規模地震，但是由於設備簡陋、缺乏科學依據，並沒有預測到本次

地震之發生。

- 3.2 地震預防工作：由於邢台、河間、渤海與海城地震相繼發生，國務院已知數年內華北將有大地震發生，所以乃飭令中央單位及有關部隊及地方政府部署抗震工作。這工作對於日後唐山大震之減災與搶救工作發生了很大的效果。其工作主要包括下列工作：建立各級防震抗震領導機構和辦事機構、進行防震抗震宣傳教育、建築物檢查，鑒定和加固。其中建築物檢查，鑒定和加固方面的工作包括：制定建築物抗震鑒定標準、進行建築普查鑒定、重要建築物加固、民房加固等工作。
- 3.3 部署應急準備：天津市分別於 1975 年 2 月及 1976 年 5 月兩次部署應急準備，其內容為：制定人員疏散方案、安排治安、食品、用水、帳篷等物資準備；組織應急醫療隊伍、群眾性搶救隊伍、儲備醫療器材及藥品、制定救護任務和震傷救治訓練、選定臨時醫院地點；對交通運輸建立道橋排險搶修專業隊伍、郵電通訊及房屋搶修專業隊伍與治安消防隊伍；防震抗震領導小組均有軍方領參與，必要時動用軍方應急通訊設備，並調動部隊參與搶險救急行動。

4 震後災醫應急行動

- 4.1.1 自救互救 唐山市計有約 57 萬人被壓埋，其中大約有 45 萬人是災區人民通過自救互救脫險的。而震後半小時內救出者成活率高達 99% 以上，是以及時自救互救是震後減少人員傷亡最有效方法。
- 4.1.2 防止次生災害 水庫開閘放水、處理油庫損壞、緊急處理易燃氣體、緊急處置進行中火車、工廠安全停車。

5 救災組織與指揮

唐山地震發生日六時召開緊急會議，決定實施國家級救災，主要部署為：

- 5.1 於北京建立中央救災指揮部，由國務院副總理會同北京軍區司令組成領導小組。
- 5.2 組統以解放軍為主體的救災隊伍。
- 5.3 專業搶救隊伍，調動煤炭部、鐵道部、電力部、郵電部及其他中央建設專業部門支援搶修和恢復重建。
- 5.4 各省市醫療支援。

6 救災工作執行

救災工作上可分為以下幾項工作：

- 6.1 搶救 搶救受傷及在瓦礫下受困民眾。
- 6.2 通信 所有通信中斷，及時架設臨時通信，對搶救、運傷、補給等指揮調度發生關鍵性作用。

- 6.3 空運 導航指揮設備嚴重破壞，但是跑道及機場道路完好，因而帶傷搶救設備，短期內恢復起降，對於救災工作起了特殊作用。
- 6.4 公路 快速恢復橋樑。
- 6.5 鐵路 鐵路震壞達 403 公里長，緊急調度專業人員及地方部隊搶修。
- 6.6 運輸 與公路、鐵路搶修同時，為救災最緊急且繁重的搶運工作。

7 醫療與防疫

唐山一震，傷者達 70 餘萬，重傷 16 萬，死亡 24 萬。唐山一帶成立近 300 醫療隊，投入醫療人員約 2 萬人，作及時救治工作。由於數量太大，及決定傷員外轉到各省醫院救治。8 月 3 日成立防疫領導小組，自各省市調防疫人員 1200 人，展開防疫滅病工作，其中防疫關鍵措施包括：清屍掩埋、研究屍體與病源水源關係、研究屍體對植物與蚊蟲孳生影響、加強震區公共衛生。

8 復原

臨時群眾生活安置建造臨時簡易房屋、恢復治安，嚴懲罪犯，管制交通、開展防火活動、重建計劃。該計劃延綿十年，重建新唐山於郊區，於 1979 年下半年度開工，1984 年 6 月底總竣工面積 354 萬坪。

主要結論：

本文主要敘述內容為 1976 年七月廿八日唐山地震中重要公共建設、維生線、民房等之受災狀況，以及唐山地震的歷史性、教災組織與行動之重要記事。關於依結構型態分類的受損描述則較少見，由於唐山地震發生時間正值文化大革命政治黑暗時期，相關的資料如依受損結構分類的報告收集不易。現今中國大陸正逐步開放，建議仍應成立專案計劃，收集大陸地區重大地震勘災報告，以為擬訂救災、防災制度之參考。

唐山地震損失之主要原因在於未能做好震前的基本研究，因而未能估算出唐山一帶發生近八級地震的可能性，在建築耐震規範上以六級為準，明顯低估了地震之潛能。如果能有比較完整的研究，正確估算出該地區可能的地震強度，提高建築抗震規範、降低建築密度，則本次震災規模必定降低，居民死傷率也會減少。

在本次震害經驗中，有些地方是值得學習的：

1. 救災組織，迅速動員，統籌指揮以及全國全力以赴參與行動。
2. 震後治安之維復。

反之值得借鏡的經驗是：

1. 重建速度緩慢，國家及人民受到很大的損失。
2. 由於國家經濟力薄弱，不得不降低應有的建築抗震標準，這一點在多數中國大陸受地震威脅的地方都是一個很大的隱憂。提高建築抗震標準為優先要完成的工作。
3. 地震帶上的城市必需充份做到對地震設防，這包括地震觀測網之建立；地震、地質及地震工程上的研究；防震建築規範之確立、更新及嚴格執行；對民眾教育，建立震後緊急救災、搶救、以至於重建組統的預先籌劃。

附件二：國外網站資料摘要

7	網站名稱：USGS	100
7.1	USGS Reducing Earthquake Losses Throughout the United States	
7.1.1	以更完善之設計準則減少震災死亡	
7.1.2	加速震災處理復救工作進行	
7.1.3	建造更安全之結構	
7.2	USGS 對住宅區地震之應變措施-北嶺地震	
8	網站名稱：NISEE	108
	NISEE 摘選地震工程電子論文系列	
9	網站名稱：FHWA	112
	美國 FHWA 針對北嶺地震橋樑耐震設計經驗之專題報告	
10	網站名稱：FEMA	116
	Report on Costs and Benefits of Natural Hazard Mitigation	
10.1	建築規範：模擬洛杉磯北嶺地震	
10.2	公路橋樑補強：加州運輸局	
10.3	重要設施震害防治實例：加州與聯邦急難管理署之醫院震災防治計劃	
11	網站名稱：EQE	123
11.1	北嶺地震摘錄報告	
11.2	哥斯大黎加 Valle de la Estrella 地震摘錄報告	
11.3	阪神地震摘錄報告	
12	網站名稱：EERI	134
12.1	EERI 1995 墨西哥 Manzanillo 地震勘災報告	
12.2	EERI 1997 伊朗東部 Ardekel 地震勘災報告	
12.3	EERI 1997 年委內瑞拉 Cariaco 地震勘災報告	
12.4	EERI 1997 年義大利安布里亞(Umbria-Marche)地震勘災報告	

附錄 E7

網站名稱：USGS



- 7.1 USGS Reducing Earthquake Losses Throughout the United States
 - 7.1.1 以更完善之設計準則減少震災死亡
 - 7.1.2 加速震災處理復救工作進行
 - 7.1.3 建造更安全之結構
- 7.2 USGS 對住宅區地震之應變措施-北嶺地震

編號: USGS-1

文獻報告中文名稱 以更完善之設計準則減少震災死亡

英文名稱 USGS Reducing Earthquake Losses Throughout the United States : Saving Lives Through Better Design Standards

資料來源 USGS, USA

原始資料型態 網路電子檔案

頁數/檔案大小 14k

網頁位址 <http://quake.wr.usgs.gov/QUAKES/FactSheets/BetterDesign/>

原始資料日期 1997 年 10 月 04 日

中文摘要日期 1999 年 02 月 02 日

原始資料內容摘要	<p>過去 25 年間，地震所造成之振盪特性已逐漸完整地刻劃出來。今天，我們很清楚地瞭解近震源地震遠比中、遠距地震造成顯著之地表振動，也開始明瞭軟層土質地區之振動威力通常勝過堅硬岩盤地區。藉由對這些地震之物理特性更深入的認識，耐震設計之規範不斷改善，也使得建築物成功抗震之機率愈來愈高。</p> <p>在 1971 年以前，六十年代普遍認為地震發生時之最大振動加速度不至於超過 0.5g。隨著強震記錄器逐漸普及，愈來愈多實際在震央地區所測得之地表加速度紀錄明白指出 1/2g 的推測事實上可能太小了。依近幾次規模 7 左右地震在距震央 10~15 英哩處所測得之地表加速度值幾乎皆輕易超過 1/2g 且有超過 1g 者。</p> <p>雖然，很早以前人們便發覺到位於軟質土層之結構物受到地震損壞之程度似乎比位於硬質土層者要來得大。但在六十年代以前，並沒有實測到地震在不同之地質型態下之振動效應(放大效應)。近年來，愈來愈多實測之地表加速度紀錄指出地震波在通過軟層土壤後，其放大效應較大且可能相當明顯(與震源位置及地震機制有關)。</p> <p>建築設計規範是我們抗震作戰的第一線。規範依據我們測得地震地表加速度反應之狀況，提供結構物設計抵抗之地震力的程度。近年來，設計規範逐漸細分各種不同特性土層上，地震振動之強度大小，因此，新建之現代建築通常在近年的地震中安全存活下來。</p> <p>儘管現代最新的耐震規範大幅提升建築物抗震能力，但是這樣的耐震需求通常只有在已遭受或歷史上曾遭受中至大地震的區域才獲得重視。但事實上，我們不斷看到許多被認為強震發生機率不大之中震區卻遭受到接近強震程度地震之侵襲。因此，將更完善的耐震規範推廣至大部分的地震地區(不僅強震區而已)，應是不可避免的趨勢。</p>
----------	--

--	--

編號: USGS-2

文獻報告中文名稱 加速震災處理復救工作進行

英文名稱 USGS Reducing Earthquake Losses Throughout the United States : Speeding Earthquake Disaster Relief

資料來源 USGS, USA

原始資料型態 網路電子檔案

頁數/檔案大小 14k

網頁位址 <http://quake.wr.usgs.gov/QUAKES/FactSheets/Mitigation/>

原始資料日期 1997 年 10 月 04 日

中文摘要日期 1999 年 02 月 02 日

原始資料內容摘要

經過近幾次數十億美元震災損失之地震後，有效的救災復舊計劃方式逐漸發展成熟。而這項新技術主要是快速有效的利用已建立的震區網路地震資訊(如震度圖)。過去幾年間，震央地區所得之震度網圖提供相當多有用的震災資訊，供研究人員從事地震相關研究。由近兩次(1989 Loma Prieta，1994 北嶺)大地震之震度網圖之資訊，研究人員亦發展由這些網圖資源所發出之相關震災復救資訊能很快速地且有效地應用到類似的情境下。

當毀滅性地震發生時，救難人員最重要的第一步動作便是要決定那個區域需要救難、什麼樣的災難、如何到達以及災難可能之嚴重程度。這些決定因素在災後能否適時、正確地達成，對成千上萬的災民以及社會成本的負擔都有非常重要的影響。

最常用之震災資訊便是震度圖，地震發生後，若能很快獲得各地區搖憾之震度大小，對於救難中心在統籌支配救災人員時，將有相當大之幫助。更重要的是加速了整個救災支援到達災區的時效。北嶺地震發生時是 USGS 第一個在地震發生後，立刻決定出大致之震度圖，並馬上以電子式震度資料提供給救災單位使用。這樣的電子式資訊可以很輕易地透過震區網路(藉衛星或無線電)傳遞到每個救災單位及編組的手上，它更大的優點是可以隨時修正更新最新的震災資訊，在更具完整性的震災地理資訊系統發展及建構完成之前，這個震區網路的構架，使得震災救援更有效率、相對降低了許多因未能及時制止的二次震害所造成的損失。

震區網路系統最好的例子，可舉 1989 年 Loma Prieta 地震時，USGS 之震區網路在一次規模 4.7 之餘震中，成功地以無線電警震央 50 英哩外的救災隊伍，在 25 秒的緩衝時間內，安全撤離已損毀之高架橋。

--	--

編號: USGS-3

文獻報告中文名稱 建造更安全之結構

英文名稱 USGS Reducing Earthquake Losses Throughout the United States : Building Safer Structures

資料來源 USGS, USA

原始資料型態 網路電子檔案

頁數/檔案大小 14k

網頁位址 <http://quake.wr.usgs.gov/QUAKES/FactSheets/SaferStructures>

原始資料日期 1997 年 10 月 04 日

中文摘要日期 1999 年 02 月 02 日

原始資料內容摘要	<p>在美國，過去的強震經驗中，許多的橋樑、建築物嚴重損壞甚至倒塌，雖然社會付出重大的代價，但我們也從中學習到更多結構在地震作用下的反應，使得人類在耐震設計上的知識愈來愈充實。利用這些知識與持續不斷的研究，結構物抗震的能力日益提高，在未來強震侵襲時，它們的損壞程度將有效地被降到最低。</p> <p>設計建造大型的結構物始終是一項很大的挑戰。當這個挑戰是落在震央地區時，其艱難程度更是加倍。建築法規所扮演的角色是抗震防線的第一關。藉由結構在地震作用下所測得之反應，特別是那些受損壞或破壞的結構所紀錄到的地震反應，建築法規裏的規定條文，可加以修訂使其更符合耐震之實際需要。為了要能補捉到災難地震對結構物的真實影響，需要有耐心且正確地判斷及選擇設置紀錄儀器的地點，等待那不定時來臨的災難地震。透過這樣長期守候與實際災害損失的付出，未來的建築法規將建造更安全的建築與橋樑。</p>
----------	---

編號: USGS-4

文獻報告中文名稱 USGS 對住宅區地震之應變措施-北嶺地震

英文名稱 USGS Response to an Urban Earthquake - Northridge

資料來源 USGS, USA

原始資料型態 網路電子檔案

頁數/檔案大小 5.1MB

網頁位址 <http://geohazards.cr.usgs.gov/northridge/>

原始資料日期 1997 年 10 月 04 日

中文摘要日期 1999 年 02 月 02 日

原始資料內容摘要	<p>本文獻總結摘要如下：</p> <p>1. 直接命中現代化城市</p> <p>1994 年北嶺地震發生地區屬於具現代耐震設計能力之區域，雖然致命之災難不多，但所造成之直接經濟損失卻相當高(約 200 億美元)。這個地震嚴格檢驗了建築法規、耐震技術與災後緊急應變等措施。也肯定了部分由以前震害教訓所學習之經驗。同時也暴露出一些潛在缺失和過去經驗未預期之強震震害。震央地區為 San Fernando Valley，此區域大部分之建築在強震下皆保持完好，但仍有少數結構在明顯之設計或施工不良情況下，遭到嚴重震害。例如：鋼結構理論上是抗震性之建築，卻發生裂縫。鋼筋混凝土柱之設計未達預期之強度，而發生壓碎破壞。大部分的公路結構抗震表現良好，卻有七座橋樑在 6 個地點倒塌，約 170 座橋樑遭受不同程度之損害。</p> <p>北嶺地震事件顯示一個中等規模的地震在其震央附近可造成強烈之震度，導致嚴重之震害，這些新的發現使得科學家、工程師、政府官員都必需重新思考城鄉地區建築與公共結構物之設計標準。</p> <p>2. USGS 在震後反應中所扮演之角色與工作</p> <p>USGS 憑藉其多年在美國國內以及國際間之災難處理經驗，在本次北嶺地震發生後之處理與應對速度相當快速也很有效率。這點可由地震後，加州之 USGS 辦公室立刻成為各政府單位、大學、工程及大地機構獲取第一手資料之來源加以驗證。USGS 之所以能扮演成功這個角色，主要歸功於兩點；(一)是完整的地理資訊系統(GIS)與資訊管理資料庫之建立，使得電子化之地圖與各種相關資料可迅速經由網際網路傳給 USGS 之研究人員；(二)是 USGS 和其南加州地震研究中心(SCEC)以及當地相互合作之研究單位在地震區域內所設立之密集監視系統，使得地震發生之後，不論是震源或是地表運動以及建築物反應之資料，都在幾個小時內便經 USGS 獲得，並加以處理而傳至各地。USGS 所提供之完整震後資訊更成為各級政府決策過程中之基本資料庫。</p>
----------	--

3. 地震成因與影響

北嶺地震肇因於 San Fernando Valley 下先前未知之一盲斷層，錯動深度由地表下深度 17.5 公里處延伸到 5 公里處，相當幸運的是斷層錯動方向指向該區人煙稀少之北方山區，而非人口聚集之北嶺市區。北嶺地震發生之區域與 1971 年 San Fernando 地震相似，但造成之損害型態卻因斷層錯動特性及方向之不同而有差異。

本地震斷層錯動時間與面積大約是 8 秒鐘涵蓋了地面下 430 平方公里之區域，此與過去普遍認為地震同時發生於數點而以一震源表示之觀念有所出入。由於此地震係由盲斷層錯動引發，地質學家持續以現代高解析度之顯像科技研究南加州地區地層下之斷層與皺摺 (LARSE, Los Angeles Region Seismic Experiments)，這項研究預期能有效地將南加州地區內可能引發地震之板塊架構加以確認。有關南加州之斷層活動資訊已有系統地建立電子化資料庫中，這項資料庫可隨時經由網際網路 (www) 提供電子地圖與量化資訊，可有效協助使用者判斷斷層滑動比率及災害指標。

4. 評估地表反應

一般而言，愈接近震央地區之區域所遭受之震害會愈大，但由於局部地質與地形條件，局部地區亦可能發生嚴重之災害。這些遭受嚴重損壞之局部區域同時也是未來地震發生時，潛在發生嚴重災害之地區。因此，USGS 在洛杉磯地區依據地質特性發展所謂地震搖憾指數 (或現地反應因數) (Earthquake-Shaking Indicators or Site Response Factors)，同時利用餘震來預測局部地區之強震反應因數。此外，更利用剪力波速與現場反應特性之關係，建立一套協助推測反應因數之方法。這些研究顯示易遭震害區 (Damage-Prone) 能有效地加以定義與評估，做為未來強震侵襲時震害防制的量測之依據。

北嶺地震中，最引人注意的地表加速度紀錄發生在震央南方之 Tarzana，所測得之水平加速度達 1.78g，垂直加速度 1.2g。如此巨大之加速度係因量測點 (小山丘) 之局部放大效應，反應出目前以最大地表加速度圖來決定耐震設計之設計值，在局部地區將嚴重低估地震反應。北嶺地震中亦可觀察到部分地區之土壤放大效應還大於 NEHRP 規範中之非線性土壤反應值。因此，為確保未來震害防制，規範中之放大因素應依據北嶺地震中實際經驗值加以修正。

5. 地表破壞與邊坡滑動

本地震所引起地表破壞範圍可達距震央 90 公里處，這些破壞所提供之震害評估資訊是光靠研究斷層特性所無法獲得的。地震中，San Fernando Valley 分佈相當廣之地表破壞肇因於地表未達 10 公尺之地下水位與細料沉泥質共同作用，這項關係可以加以利用來研究該區域內地表破壞潛能。

北嶺地震之研究指出，位於所謂地表破壞區域之結構所受震害程度 3 倍於非地表破壞區域者，而地表破壞區域內基礎損害之比例更是達 6 倍之多，且造成 2 倍以上之修理費用。發生最多地表破壞之區域多為未加處理之填土

區，而 1971 年損害之 Van Norman 其填土區在整治後，安全通過北嶺地震考驗。

本地震所造成之邊坡滑動區域相當大(超過 10000 平方公里之區域範圍) 邊坡滑動不僅摧毀建築物、維生線設施、阻擾溪流，更產生泥塵導致瘟疫。USGS 研發邊坡滑動之敏感區域圖(Landslide Susceptibility Map)，此圖可推廣應用於未來不同地點所發生不同規模之地震。

6. 探討建築物與公路損壞

雖然大部分設計良好之結構物在地震中皆有令人滿意之抗震表現，在震央附近卻也有幾起非預期之結構破壞。這些現象包括超過 100 棟鋼構架建築遭受接頭脆性破裂；因此 SAC 目前正進行新的鋼結構建築規範修訂。另外，70 座公路橋樑損壞之現象，指出 1971 年地震後修正之新規範，仍使得部分結構受到明顯的震害。因此，未來之結構設計應考慮遭受比北嶺地震發生前更強地震之侵襲。

南加大醫院是第一個反應出基礎隔震裝置在強震中作用的建築物，這個基礎隔震設備證明能有效地將地震能量適當地消散掉。不過由於建築物之震央距離為 35 公里，僅能假設所受振盪為中度，且在部分更接近震央地點所測得之位移量超過此隔震裝置之設計位移量範圍。

Olive View Hospital 是著名的 1971 年 San Fernando 地震中倒塌之醫院，重建後之醫院一般相信它的耐震設計標準可毫無疑問地渡過類似 1971 之地震。北嶺地震中，該醫院抗震表現很好，並拯救此地震中相當多之生命，但新的設計也使得該建築物之基本振動頻率相當接近地震之內涵，導致未來更大地震發生時，有共振現象產生之虞。此外，非結構損壞在震後也迫使醫院疏散人員，反應出改善內部設計抵抗未來地震之需要。

Van Nuys 之假期飯店在 1971 年地震僅受輕微損害，但在 1994 年卻遭受嚴重結構損壞。所測得北嶺地震之反應超過 San Fernando 地震與 UBC 規範之設計譜。

SR14/15 交流道兩座橋樑之倒塌是本次地震最觸目驚心之災難現場，該地區之反應譜最大振幅，很明顯地大於設計譜規定值 3 到 4 倍之多。

針對超過 250 筆地表加速度紀錄之研究，發現地震中之最大地表加速度普遍超過預測值，不論水平或垂直方向，許多測站之測值皆超過 1g。此外，不論是近震源或較遠距離所測得之地表運動皆顯示出相當之高能脈波型式地動。中至高層鋼結構建築依較小設計地表力設計之建築受此類型脈波地動作用下，相當易受震害。一般而言，本地震水平與垂直分量比例和以往之地震相似，雖強度稍大，但非不尋常之程度。基本上針對北嶺地震之搖憾強度，建築物需有高於目前規定之強度與韌性需求，才能達到無震損之要求。

所測得反應譜之大小顯然大於 UBC 設計譜中有關岩盤與硬質土層之規定。尤其部分位於軟質地層之測站所測得之不尋常地表加速度(1.18g、1.78g)暗示未來需考慮特殊之設計來抵抗如此高之地表加速度。

USGS 發展一套新的震度預測系統(Tagging Intensity)，用來分析不同居住程度住宅結構之受震害度。洛杉磯市對未加勁磚造建築之補強計劃，是最早之震害準備工作成功的例子。1982 年以來數千棟補強之未加強磚造建

築大部分皆成功通過北嶺地震之強震之考驗。即使遭損壞的建築，也未如預期以為會完全倒塌。這個例子與其他北嶺地震發生前便開始之震害防制工作，闡釋了適當之災害防治工作可有效降低震害損失之理念。

7. 更新震害評估資訊

利用北嶺地震所提供之新震災資訊與對盲斷層存在之了解，USGS 為南加州地區建立一套新的震害圖(Seismic Hazard Map)。對於鄰近 San Andrea 與 San Jacinto 斷層之 San Bernardino 地區而言，考慮盲斷層使得鄰近斷層區域之震害度增加 15%。北嶺地震前後由於考慮盲斷層，使得洛杉磯地區之震害圖所對應之最大加速度增加 38%到 45%。

由 Potrero Canyon 地區之地質調查顯示盲斷層發生錯動所引起之地震，其規模大致上是 6.5 到 7 之間，而其發生機率可由該地區盲斷層過去幾千年之活動資料加以推測。因此藉由對該地區盲斷層活動之研究，可有效預測未來該類地震發生之機率。

USGS 發展一套新的方法來預測未來地震發生時振盪之程度。此新的預測方法將可推測南加州地區 3600 平方公里範圍內發生地震之機率與其假設之強震資料。利用此人工強震資料之例子配合 1971 年震毀之洛杉磯壩來說明，該壩於 1971 年損毀後，重新以假設三倍於 1971 年地震之強度設計。在歷經北嶺地震測試後，該壩僅受到輕微之位移與表面裂縫。這個例子啟示我們對於非常重要之結構物應以比現在所認定之強震更強之振盪標準來設計。

8. 資訊連絡管道

USGS 之任務之一是有效地將研究相關之新發現以電子媒體向外傳播。這項工作已藉著網際網路普及性輕易地達成，其優點是可以生動活潑之多媒體方式將最新之震災資訊研究成果傳遞給廣大有興趣之資訊使用者。

USGS 和加州理工學院也完成了南加州地區地震紀錄與預報系統之改進措施。這套紀錄與通報系統目前可於震後數分鐘內便預估出震災之延伸範圍與損壞程度，使得政府與私人機構加速了震後反應之速度。北嶺地震發生後不久，震度圖(Shaking Intensity Map)很快地便被決定出來，並藉此震度圖(第一次)用以協助災後救援工作之進行。地震紀錄系統在地震發生時，亦產生相當程度之預警作用，這些預警系統可能提供了強震波到達前關鍵數秒鐘給予社會大眾或任何救難組織。

USGS 合作開發之南加州地區全球衛星定位系統(GPS)亦可用來持續量測地殼微小之位移量做為盲斷層應力累積之指標。

最後，USGS 除了發表科學性之文章外，亦著手印製許多特殊文獻來傳播北嶺地震相關研究之發現，包括雜誌，短文與一本有關南加州地震安全之個人手冊，部分產品亦同時以網際網路形式供網路使用者參考。

9. 建立耐震安全之策略與計劃(略)

附錄 E8 *Selected Papers in Earthquake Engineering*

編號: NISEE

文獻中文名稱 NISEE 摘選地震工程電子論文系列

英文名稱 Selected Papers In Earthquake Engineering

資料來源 NISEE/EERC, University of California at Berkeley, USA

原始資料型態 網路電子檔案

頁數/檔案大小 (略)

網頁位址 <http://www.eerc.berkeley.edu/lessons/index.html>

原始資料日期 _____ 年 月 日

中文摘要日期 1999 年 04 月 10 日

原始資料內容摘要

美國國家地震工程資訊中心(NISEE)除提供 EERC 論文報告之查詢服務外，其網站亦提供相當具教學功能之「摘選地震工程論文之電子資訊」，這些由 EERC 文獻所提供特地為網路教學所摘選之文章，不僅精簡且在 NISEE 設計下將地震工程上大部分相關之工程主題皆加以介紹。

摘選論文系統依地震名稱共分為九個單元(截至 1999 年 4 月)如表一所示。其中資料完整之項目分別為(1)地震工程一般課程(2)1995 阪神地震(3)1994 北嶺以及(4)1989 Loma Prieta 地震。其他有關 1755、1923、1933、1935 年之地震皆為簡介式之文章。針對上述(1)~(4)項目歸納簡介如后：

編號	文獻名稱
1	General Lessons in Earthquake Engineering
2	Kobe Japan Earthquake January 17, 1995
3	Northridge California Earthquake January 17, 1994
4	Loma Prieta California Earthquake October 17, 1989
5	Historical Depictions of the 1755 Lisbon Earthquake
6	The Great Tokyo Earthquake of 1923
7	Long Beach California Earthquake March 10, 1933
8	Montana Earthquakes October, 1935
9	Colombia, January 25, 1999: Behavior of Low-Rise Reinforced Concrete Buildings

(1) 地震工程一般課程

本主題文章以介紹地震工程為主，由地震成因、地震災害乃至結構設計因應策略皆有明確的探討。目前該系列收錄文章如表二所示：

編號	文獻名稱	作者
1.1	Introduction to Earthquake Engineering	V. V. Bertero
1.2	Observations on Reinforced Concrete Buildings During Earthquakes	J. P. Moehle, S. A. Mahin
1.3	Beam-Column Joints Tested for Reinforced Concrete Highway Structures	Laura Lowes
1.4	Characterization of Earthquake Ground Motion for Severity and Damage Potential	J. P. Singh
1.5	Base Isolation: Origins and Development	James M. Kelly
1.6	A Framework for Performance-Based Earthquake Resistive Design	Ronald O. Hamburger
1.7	Strength Reduction Factors in Performance-Based Design	Eduardo Miranda
1.8	Energy Concepts and Damage Indices	Amador Teran-Gilmore
1.9	The Nature of Ground Motion and Its Effect on Buildings	Christopher Arnold
1.10	Earthquake Vertical Motions and Design Time Histories	J. P. Singh

本主題以 1.1 文章，由著名教授 V. V. Bertero 所提供之“地震工程概論”為入門課程。文中以 120 張各種震害之照片，有系統地將耐震設計原則由基礎結構、上部結構、非結構桿件乃至整個結構系統，做完整的說明與闡釋。第二類有組織之文章則為 1.2 及 1.3 文章，主題為觀察地震時之鋼筋混凝土建築物之表現及鋼筋混凝土橋樑之樑柱接頭試驗，這二篇文章將鋼筋混凝土建築之設計原則、典型震害種類、需要特別留意之施工細節以及樑柱接頭之韌性行為，做了非常簡捷的說明。第三類 1.4 文章則是簡介地震運動之量化與震害之關係。並針對結構系統各元件在抗震中之表現及作用，做了明確的說明。第四類 1.5 文章「基礎隔震：起源與發展」，則是將隔震概念之緣起與應用做了很精簡的介紹。第五類文章 1.6~1.9 則為一系列關於新的耐震設計觀念的文章，文中介紹以抗震表現(Performance-based)為依據之耐震設計準則之概念與應用，並強調傳統耐震設計規範僅依單一變數(即地表加速度)設計概念無法有效合理地達到抗震設計之要求，應適當將頻率內涵與地震歷時長度等能將地震特性及能量合理表示之變數加以考慮(1.9)。最後 1.10「垂直地震與設計歷時紀錄」則是歸納了近震源地震與垂直分量之關係，並說明近源地震之設計歷時紀錄中頻率內涵之長週期部分應適當修正以合理顯示震源之距離效應和地質條件。

(2)1995 年阪神地震

本主題文章介紹 1995 年阪神地震之震害情況及美日耐震規範之比較。目前共有八篇文獻如表三所示：

編號	文獻名稱	作者
2.1	Seismic Engineering Codes in Japan	A. S. Whittaker, et al.
2.2	Damage to Engineered Buildings	A. S. Whittaker, et al.
2.3	Implications for Seismic Design and Engineering in the U.S.	A. S. Whittaker, et al.
2.4	Kobe Geotech Report	N. Sitar, et al.
2.5	Geoscience and Geotechnical Aspects	P. Somerville
2.6	Traditional Japanese Wooden Houses	S. Tobriner, et al.
2.7	Response of Base Isolated Buildings	P. Clark

2.1 文章「日本建築耐震法規之發展」，將日本耐震設計之發展歷史與屢次震害經驗之年代關係做了很精簡之介紹。並將日本典型各種結構系統在歷次規範修訂中之重大改變加以說明，是一份非常簡短但內容充實之文章。對於想初窺日本耐震規則之入門者，有很大之幫助。2.2 文章「結構震害分佈」，中將阪神地震中，鋼筋混凝土結構及鋼結構建築之各種破壞模式歸納整理並對可能之原因加以說明。2.3 文章「阪神地震對美國建築物耐震設計之暗示」，比較現行日本與美國加州對 RC 及 Steel 一般建築物之規範地震設計強度，可發現日本地震規範比加州規範所要求之耐震設計強度明顯增加很多。由於日本地震與美西之地震在機制及特性上有相當多相似之處，在阪神地震仍造成極重大震害之情況下，美國之耐震設計有必要加以省思與探討。2.4 文章「大阪大地工程勘災報告」，是一份相當詳盡之大地工程地震震害報告。文中共有八個章節除第一章介紹及第八章結論外分別探討(1)地動特性及地表反應，(2)土壤液化之影響，(3)土壤改良之成效，(4)壩與堤防之抗震表現，(5)維生線設施之抗震表現，(6)邊坡、擋土設施及填土區之震害。另 2.5 文章亦補充說明阪神地震之大地及地球科學方面之災害成因探討。2.6 及 2.7 文章分別介紹日本傳統木造建築之嚴重震害，及地震過程中使用隔震基礎大幅降低兩棟建築物之受震反應的實例。

(3)1994 年北嶺地震

本主題文章共四篇，如表四所示。完整介紹了北嶺地震中公路橋樑震害之情形(3.1 及 3.2)及 USGS 在北嶺地震中所扮演之角色(3.3)，同時歸納了目前尋找北嶺地震相關資訊的各種管道(3.4)。

編號	文獻名稱	作者
3.1	Lessons from Steel Buildings Damaged by the Northridge Earthquake	S. A. Mahin

3.2	Highway Bridges	Earthquake Spectra
3.3	USGS Response to an Urban Earthquake: Northridge	USGS
3.4	Finding the Results of Northridge Earthquake Research	C. D. James

文章 3.1 是有關北嶺地震中，廣泛發現之鋼結構焊接頭脆性破壞現象，說明 FEMA 委託 SAC 所執行之「減低抗彎鋼構架震害」計劃之執行目標及狀況。文章 3.2 則相當完整的評判了洛杉磯地區公路橋樑之耐震設計、施工及補強背景及北嶺地震後所觀測之橋樑受損狀況。本文之結構分為三個單元；第一單元回顧耐震規模背景及過去震害補強經驗等，第二單元詳細敘述全毀橋樑之結構件與損毀情形，第三單元說明重建橋樑之設計理念及興建成本等資訊。此文章所描敘之震害經驗及處理程序與 FHWA 之短篇橋樑報告及 FEMA 之震害防治短文相互配合可提供北嶺地震後，美國加州及聯邦政府在橋樑震害防治上的處理方式相當完整的一個輪廓。文章 3.3 詳細說明了 USGS 在北嶺地震發生前、中、後，在降低震害計劃中所扮演的角色。全文包括(1)NEHRP 各單位之職責介紹，(2)震後協助復救、重建及震害防制，(3)地震成因及震災現況之研究，(4)震災經驗傳遞及本次震害教訓等四部分。文中以相當淺顯之文句，闡釋各項主題之內容，並輔以相當多之註釋方塊說明專有名詞及教訓課程(lessons learned)。是一份相當適合當作震災防治課程之輔助教材。

(4)1989 年 Loma Prieta 地震

本主題文章共四篇如表五所示。相較於前面三個主題，此部分之文章內容可供參考之處較少。一方面是資料以簡介為主，另一方面乃是資料日期已相對過時，但仍可做為地震工程課程之參考資料的一部分。

編號	文獻名稱	作者
4.1	Key Geotechnical Aspects of the 1989 Loma Prieta Earthquake	J. Stewart
4.2	Initial Observations of the Damage to the San Francisco Bay Bridge	A. Astaneh
4.3	Preliminary Observations of Concrete Freeway Structures	J. P. Moehle
4.4	Housing Repair and Reconstruction After Loma Prieta	M. C. Comerio

文章 4.1 簡介該地震之地動及地質特性。文章 4.2 及 4.3 簡介震後 Cypress 橋樑倒塌之情況及其他混凝土公路橋樑普遍之震害狀況。文章 4.4 則較完整地介紹了震後一般建築物修復之狀況，包括州及地方政府之措施，整建修理所需之費用，

對經濟之影響以及本震害之經驗教訓等。

附錄 E9

編號: FHWA-1

文獻報告中文名稱 美國 FHWA 針對北嶺地震橋樑耐震設計經驗之專題報告
英文名稱 FHWA Public Roads Report for Northridge Earthquake

資料來源 Federal Highway Administration, USA

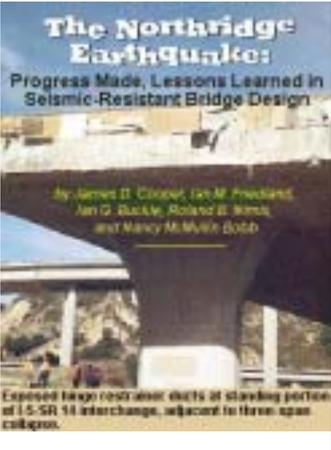
原始資料型態 網路電子檔案

頁數/檔案大小 287k

網頁位址 <http://www.tfhrc.gov/pubrds/summer94/p94su26.html>

原始資料日期 199 年 01 月 09 日

中文摘要日期 1999 年 02 月 02 日

	<p>原始資料主要相關目錄(或單元)</p> <p>Conclusions : FHWA and the Challenge of Natural Hazard Mitigation</p> <p>Mitigating Against Earthquakes</p> <p>Case Study: The Northridge Earthquake</p> <p>Lessons Learned from Earthquake Engineering Research</p> <p>Conclusion : Past Research Has Paid Off, Continued Effort Is Needed</p>
--	---

原始資料內容摘要	<p>美國 FHWA 針對北嶺地震橋樑耐震設計經驗之短篇報告重點節錄</p> <p>公路系統包含許多組成元件，包括鋪面、邊坡、路堤，擋土牆等。這些元件中最易遭受損害之部分則為橋樑結構。由過去震害經驗中，改善橋樑耐震能力可有兩個方法。第一個方法需時較久但相當經濟，藉由累積之運輸結構受震反應之知識、設計準則可日新月異更加有效。隨著老舊橋樑遭淘汰改建，第二個方法則是積極地對現有重要幹線橋樑及可能遭受顯著地震損壞之橋樑加以評估，補強其抗震能力。</p> <p>耐震補強是近二十年興起之觀念，主要之概念是自 1971 年 San Fernando 等地震後，吾人發現未嚴重損毀之橋樑(建築物亦同)，可能會因本身強度減少而在往後之類似地震中遭受極大之破壞，如此將造成社會成本及人員生命安全相當大之威脅。但是由於補強之成本通常相當高，且外觀未顯著損壞之橋樑其弱點不易明確決定，加以補強後結構物之抗震行為並非十分清楚，因此第二個方法之待研究課題相當多，也相當具挑戰性。</p>
----------	--

因此，目前各國之作法皆是同時進行上述兩種方式，並在其中尋求一平衡點。對於重要性高之連絡網以積極防制未來潛在震害之方式做適當之補強工作。同時，不斷提昇各種耐震技術及結構抗震能力之研究，另一方面則是藉新材料、新科技之應用及對大地條件之更完整認識，以更可靠及符合實際需要之耐震設計規則施加在更新建造之橋樑及新建橋樑。

美國自 1964 年阿拉斯加 8.1 規模之強烈地震後，幾次較嚴重震害之地震分別為 1971 年 San Fernando 地震規模 6.4，1987 年 Whittier 地震規模 5.9，1989 年 Loma Prieta 地震規模 7.1，1994 年北嶺地震規模 6.7。若依地震大小來看，北嶺地震及上述 6 至 7 規模地震屬於所謂中至強地震。然這些“中至強”度地震卻已能造成相當大之震害及損失。當然一個地震所造成之震害嚴重程度與其發生之斷層機制、地質條件、結構之設計考量及發生之時間與震災地點之社會活動特性皆有關係。因此，每次顯著地震造成損失後，吾人最大之目標是吸取教訓，將來類似地震再度來臨時，已發生過之錯誤不再重現，新的教訓之代價也要能減至最低。FHWA 在北嶺地震發生後，對北嶺地區約 2000 座橋樑(其中 6 座全毀，4 座嚴重破壞無法正常運作，次要及非結構損壞者分佈亦相當普遍)之觀察，做成下列心得，供以後研究之參考：

- (1) 目前幾次西岸地震，便可明顯觀察到較老舊橋樑中，其設計若為不平常之幾何形狀及具較大程度橋面傾斜者，會遭受到較大之動力放大作用，而導致相當程度之損毀。
- (2) 較新建橋樑以新規範設計者，大致上耐震表現很好，給予 1971 及 1981 年後，規範較大幅修正方向及正面之肯定。
- (3) 以各種方式補強之橋樑連接伸縮區域，橋柱塑性破壞區域，基礎加勁等，皆表現出相當程度之抗震能力改善，雖然現階段之技術無法達到絕對之防震保證。對於急需以補強技術改善抗震能力之橋樑而言，補強措施為有效之手段。
- (4) 北嶺地震是首先引起人們再度重視垂直地震分量之顯著地震(註：雖然垂直分量之影響在相關研究領域上仍有許多分歧之看法。但北嶺、阪神地震後三、四年之密集討論及文獻研究上可看出這個議題使得各國設計規範之參數在重新檢討後，應有更進步可取之處)。
- (5) 防震準備確實大幅降低地震發生後之二次震害(Secondary Hazard)之損失。加州是美國地震最嚴重之地區。因此，加州運輸局(Caltran)在震前已有初步發展之救災編組，重要物資備用存量等措施。雖然地震發生時，仍可發現相當多待加強之缺失，但是另一方面也可發現由於這些初步之救災、防災措施已可有效降低整體震害之嚴重程度。

上述之觀察心得，進而反映出下列之相關建議

- (1) 發展適當之“探傷”研究，雖然許多遭受嚴重震害之結構皆受到詳細之檢視與探討，也提供相當多之震害經驗與知識。但是廣大遭受次要震害之結構應能提供許多有用的資訊做為耐震設計與補強之參考。
- (2) 評估漸變(Flared)斷面橋柱設計。少數 1981 年以前設計之橋柱未能達到預期之耐震表現，此類橋柱多為橋面至橋柱上部具漸變幾何形狀之柱，應加以探討。
- (3) 垂直向地震荷重之考慮。

- (4) 研發隔震及消能減震技術。
- (5) 減少橋樑伸縮接頭。橋樑構架間之接合處常成為抗震之弱點，除了可以預力鋼腱之絞束制改善此絞接點之抗震性外，可僅量設計不具接頭之結構，並可降低維護成本。

- (6) 補強工作需做全盤考量，避免局部改善措施。
地震侵襲時，結構之最弱點將成為破壞之最前線，補強工作應在補強局部損毀元件後，考慮鄰近元件是否有明顯弱點成為下一個震害之犧牲對象。例如：將損傷之柱補強同時需考慮其鄰接之上部結構及基礎是否成為下一個弱環。

- (7) 震前訓練及探傷教育
中至強震侵襲時結構震害之情況相當難避免，震後快速有效之診斷及處理措施，通常可將二次震害減至更低。因此，相關之政府、民間機構應在震前充分訓練專業救難、勘災人員，使得萬一不幸之震災發生時，震後救難及處理工作能順利進行。如同建築物震災診斷一樣，橋樑震害診斷人員亦應在平時有計劃地給予組織、訓練。

綜觀歷次地震所提供之經驗及教訓。吾人了解要設計建造或補強一座橋樑使其成為”完全防震”，在現實環境下是無法達成的。但是依據歷次震害的經驗教訓，吾人亦能發展出基本耐震設計原則，在確實遵守這些規則時，橋樑之抗震表現將能有效改善。這些原則落實之具體表現，則是耐震設計規範之有效修訂與確實遵守。由於橋樑典型之破壞有下列幾項：FHWA 針對這些觀察對現存及新建之橋樑達成若干建議。

橋樑損壞肇因

- (1) 橋墩因承載之土壤破壞造成橋墩體及引道板(Approaching Slab)之破壞
- (2) 橋樑因承墊破壞或承座長度不足所引起之橋結構破壞或落橋。
- (3) 橋柱因過大之剪力或撓曲變形而破壞(此類破通常肇因於 RC 柱之圍束效應不佳及不良之鋼筋搭接及錨定)。
- (4) 基腳因過大之剪力或撓曲變形而破壞(此類破壞通常發生在 RC 基腳無適當之腳頂鋼筋，基腳基樁之接頭設計不良或設計之承載容量不足所致)。
- (5) 土壤液化及超載土體變形所引起之地表破裂。

針對新建橋樑之設計建議

- (1) 引道板加以鋼筋由正彎矩區與橋墩體連接。如此可提供連續性並減少橋墩後方、下方土壤崩塌後所造成之影響。
- (2) 儘可能以連續跨取代簡支跨，如此可減少因伸縮接頭造成鄰跨分離之破壞伴隨之優點亦包括節省伸縮接頭維護之費用。
- (3) 提供足夠之橋座尺寸，避免落橋破壞。
- (4) 橋墊之設計需考慮橫向或側向地震力(including out-of-plane motion)並確認縱向之容許位移量是否足夠(maximum anticipated displacement)。
- (5) 橋柱之圍束鋼筋必需足夠。
- (6) 避免柱之軸向鋼筋搭接在可能之塑性鉸區域(即柱、帽樑接頭及柱基腳接合區)。

- (7) 基腳設計需承受所有可能由柱傳至之彎矩及剪力。不允許塑性鉸在基腳產生。
- (8) 適當應用防震系統(如隔震裝置)，減小桿件之耐震能力需求。
- (9) 利用改良土壤之技術減少土壤破壞及土壤液化之潛能。

針對現存橋樑(興建中橋樑)之補強建議

- (1) 評估與分類需補強橋樑。依受損害度及社會經濟影響性等因素來決定補強依據及優先次序。
- (2) 對橋座不足之橋樑以鋼索束制(cable restrainer)或增加座寬。需評估對柱及基礎之影響。
- (3) 已損壞及高潛在受害之橋墊予以更換。
- (4) 減少伸縮接頭。以鋼索束制或澆置連續跨度之橋面板等方式。
- (5) 對強震區內缺乏足夠柱圍束作用之柱，施以塑性鉸區域之鋼板補強。需評估此舉對其他元件之影響。
- (6) 對位於強震區內強度不足之基腳，應予以適當延伸或擴張。
- (7) 對施以鋼板補強之柱，其上方帽樑需同時補強，以抵抗因柱及施拉預力所提升之外力。
- (8) 對短而高勁度之橋柱，以適當之隔震裝置加以改善該柱之受力狀態。
- (9) 利用改良土壤之技術減少土壤破壞及土壤液化之潛能。

結語：以往研究之果實已有收成，持續努力研究依舊需要

對 FHWA 而言，北嶺地震之震害結果顯示目前之耐震設計研究確在正確的途徑上。基本上，新規範設計之橋樑安然通過地震考驗，而舊橋之補強措施亦能發揮功效。事實上倘若加州運輸局(Caltrans)能有更充裕之時間執行他們的補強計劃，那麼地震發生時，此進行之補強計畫相信將大幅減少橋樑受損程度。

有些人認為結構耐震之觀念應是達到“完全防震”即無震害之境界。但不幸地，耐震設計與補強之工作較像是項無止境的藝術工作非有一定答案之科學定理。雖然現今我們已有相當程度之技術與知識改善我們結構抗震能力，研究上繼續努力才能讓吾人未來遭遇地震時，能以最有效的耐震技術(而非完全之防震技術)遭受最少的社會經濟損失。

附錄 E10

網站名稱：FEMA

Report on Costs and Benefits of Natural Hazard Mitigation

10.1 建築規範：模擬洛杉磯北嶺地震

10.2 公路橋樑補強：加州運輸局

10.3 重要設施震害防治實例：加州與聯邦急難管理署之醫院震災防治計劃



編號: FEMA-1

文獻報告中文名稱 建築規範：模擬洛杉磯北嶺地震

英文名稱 Report on Costs and Benefits of Natural Hazard Mitigation; Building Codes : A Simulation of the Northridge Earthquake in Los Angeles, California

資料來源 FEMA, USA

原始資料型態 網路電子檔案

頁數/檔案大小 14k

網頁位址 http://www.fema.gov/mit/cb_bldg.htm/

原始資料日期 1997 年 月 日

中文摘要日期 1999 年 03 月 12 日

原始資料內容摘要

震災防制最重要的工具之一便是建築法規。減低震害的策略是將防制災害所需之設計標準賦予在現代的建築規範中。而法規應確保建築物在它成本效益最大的建造時刻，受到所需的加勁措施。防制措施的功效可由 FEMA 委託國家建築研究院(NIBS)最近所發展的一套決策支援工具加以闡釋。這個工具稱為 HAZUS，是一套經標準化可預測區域內或局部地區震害損失之軟體。這套方法可由地方、州乃至特定區域政府機構加以規劃、模擬震害損失以減低震害風險及緊急救援和危機處理之準備工作。HAZUS 同時是 FEMA 評估全(美)國震災損失風險的基礎工具。HAZUS 之架構是以地理資訊系統為主的電子計算機程式，由一群含地球科學、工程師、建築師、經濟學者、危機處理專家、社會學家以及軟體設計師所組成之災損專家團所發展出來的。本摘要之研究計劃運用 HAZUS 利用三種不同假設之情境來模擬 1994 年北嶺地震所造成之災害損失。每個情境之變數是洛杉磯地區建築物建造時所使用之建築法規型態。這些情境模擬產生損壞估計，並以直接經濟損失(direct economic losses)表示之。情境一：所有結構物皆以高耐震設計標準計此情境下，洛杉磯地區所有建築物皆以現行耐震設計標準建造。情境二：基線情境(Baseline Scenario)此情境下，將儘可能模擬洛杉磯地區建築物實際建造時所使用之當時耐震標準。情境三：所有結構物皆無耐震設計考量此情境下，洛杉磯地區建築物建造時皆不以耐震標準建造。上述三個情境所預測之經濟損失表示在下表中。雖然 HAZUS 可用來預測區域經濟之長期效應(long-term effect)，但這些間接損失之數據未包含在此表內。洛杉磯地區在三種假設情境下之直接經濟損失模擬(北嶺地震事件) 上表顯示當類似北嶺地震之事件發生在洛

杉基地區時以高耐震標準之情境損失較(真實)的情境損失低 113 億美元。更較完全無耐震設計標準之假設下，少 284 億美元之損失。

情境	經濟損失(十億美元)			
	建築物損失	建築物內容損失	收入損失	合計
1.高耐震標準	10.2	3.9	2.5	16.6
2.真實情境	15.8	4.8	7.3	27.9
3.無耐震標準	24.9	5.7	14.4	45.0

雖然上表之數據並沒有考慮較高耐震標準之建築有較高之建造成本，但這些數據顯然比當北嶺地震發生在洛杉磯市鬧區時要來得低。

[註]：本摘要說明以 HAZUS 模擬洛杉磯受北嶺地震震害之實例。摘要目的則是介紹 HAZUS 在震害防制工作上之應用，透過此震災管理資訊系統之運作，可在最短時間內模擬各種假設之震災情境，進而推斷最可能之震災情境，提供救援體中極重要之系決策過程資訊。

目前 HAZUS 發展相當完備，我國在防災型國家辦公室主導下，由營建署支助一系列 HAZ-TAIWAN 研究計劃，亦是以 HAZUS 為架構，配合本國地文、人文特性，發展我國之震災防治地理資訊系統資料庫。

編號: FEMA-2

文獻報告中文名稱 公路橋樑補強：加州運輸局

英文名稱 Report on Costs and Benefits of Natural Hazard Mitigation;
Reinforcement of Highway Bridges : Caltrans

資料來源 FEMA, USA

原始資料型態 網路電子檔案

頁數/檔案大小 14k

網頁位址 http://www.fema.gov/mit/cb_rfrc.htm/

原始資料日期 1997 年 月 日

中文摘要日期 1999 年 03 月 12 日

原始資料內容摘要

在許多高震害地區，政府單位為了減低重要的公共工程建築物受震害之危害度，都以補強方式來提昇這些建築物之抗震能力。加州運輸局(Caltrans)在補強措施方面之研究與執行績效，向來在耐震研究上有相當不錯的成果。Caltrans 之補強計劃最早始於 1971 年 San Fernando 地震發生後。這個計劃以州本身之預算加上部分聯邦政府在補強項目上之補助款，將補強工作分為數個階段執行。最初階段包括以鋼索束制 1262 座主要幹線橋樑，這個項目之經費超過 5 千 4 百萬美元，並已於 1989 年完成。1989 年 Loma Prieta 地震後，共 1039 座橋樑被認定為需加強措施之結構，總計預算是七億六千玖百萬美元。而在 1994 年北嶺地震後，又有 1157 座橋樑診斷為需補強措施之結構，預估經費為十億零五千萬美元。截至 1997 年元月止，已有 1305 座橋樑完成補強措施，另外 923 座橋樑仍在施工中。下一個階段之補強項目，則為診斷及補強地方性橋樑及收費橋樑。Caltrans 之補強經驗指出，一般尺寸之橋樑平均需補強之面積為 26175 平方英尺，而每平方英尺的補強費為美金 31.71 元，與一座全新橋樑之造價相比，新建費用通常為每平方英尺美金 90 至 120 元之間，這個費用並不包括將損毀橋樑拆除之費用，一般而言為每平方英尺美金 30 元左右。以上述之經驗數據計算，可知更新建一座損毀橋樑之造價為美金 135/平方英尺，換言之，補強之成本平均為更新費用之 22.7%。不過上述之百分比數據並未考慮下列三個現實狀況。第一是 Caltrans 橋樑補強計劃之經驗中，可發現部分大型、困難度較高以及昂貴的補強技術將顯著提高補強措施之成本。第二點是地震中損毀之橋樑，由於地方經驗以及交通網之需求，通常更新整建之新橋必需在非常短之期限內建造完畢，這樣急迫之工期，將顯著增加新建措施之成本。最後一點，值得重視的現象是，每逢天災發生後，

在很短的時間由於大量的整建修繕工程需求，使得因此災後環境下之勞力與建材成本將大幅提高，導致更新橋樑之經費更加龐大。這一個現象在 Andrew 颶風以及北嶺地震後皆可清楚地看到。在經過更新與補強措施的成本比較後，我們可發現補強措施是合乎經濟效益的。事實上，上述的分析尚未將補強措施之另一項重大好處考慮進來。也就是主要交通幹線在災後若能保持後暢通，那麼地方經濟受到震災之影響將大幅降低。道理很簡單，若運輸管道不通，貨物無法流通，人們無法到達上班地點，那麼災後之經濟復原便無法馬上進行。因此補強措施事實上提拱了地方經濟更大的震災防制保障。本摘要之研究說明了公路橋樑耐震補強之成本效益佳。在北嶺地震中，許多橋樑有顯著之損壞。不過，Caltrans 所補強之橋樑中幾乎沒有損壞或僅輕微損壞，反之所有遭受明顯震害之橋樑清一色皆為尚未補強之橋樑。

編號: FEMA-3

文獻報告中文名稱 重要設施震害防治實例:

加州與聯邦急難管理署之醫院震災防治計劃

英文名稱 Report on Costs and Benefits of Natural Hazard Mitigation;
Critical Facility Mitigation : Olive View Medical Center in California and FEMA's Seismic Hazard Mitigation Program for Hospitals

資料來源 FEMA, USA
原始資料型態 網路電子檔案
頁數/檔案大小 14k
網頁位址 http://www.fema.gov/mit/cb_crit.htm/

原始資料日期 1997 年 月 日
中文摘要日期 1999 年 04 月 14 日

原始資料內容摘要

近年來政府與民間逐漸了解到減少重要設施(如醫院)受天然災害危害的重要性。洛杉磯之市立醫院(Olive View Hospital)的震災防治計劃是一個極佳之例子。這個具有 850 床位的醫療中心最早在 1970 年 11 月以當時 2 千 3 百 50 萬美金之造價完工使用,當時之設計是依據 1965 年洛杉磯之建築規範(註:美國主要之防震規範定是在 1973 年以後才逐年修訂完成的)。

1971 年 San Fernando 地震中,這座新建醫院幾近完全摧毀,造成三人當場死亡、醫院人員儀器必須完全撤離之慘狀。當這座市立醫院 1988 年重新整建完成時,它是依當時新的耐震規範,要求醫院在強震後仍能維持運作之極限狀態設計,總建造費用是 1988 年時之 4 千 8 百萬美元。

這個新的耐震規範在 1994 年北嶺地震的嚴格考驗下,使得此醫院僅遭受 6 百 60 萬美元之損壞,約合 11% 之造價(註 1988 年之 4 千 8 百萬約為 1996 年之 6 千萬)。除此之外,由於醫院在北嶺地震中所受損壞皆為可補修者,因此,震後醫院能保持正常運作,不僅持續提供該區之醫療服務,更使震後復舊及救難措施能順利完成。

這個例子說明了醫院震災防治工作在高震害地區的價值。也由於這個成功防治的個案,FEMA 成立專案推廣醫院之震災防治工作。這個專案 Seismic Hazard Mitigation Program for Hospital (SHMPH) 經費來源由聯邦與非聯邦政府合資之方

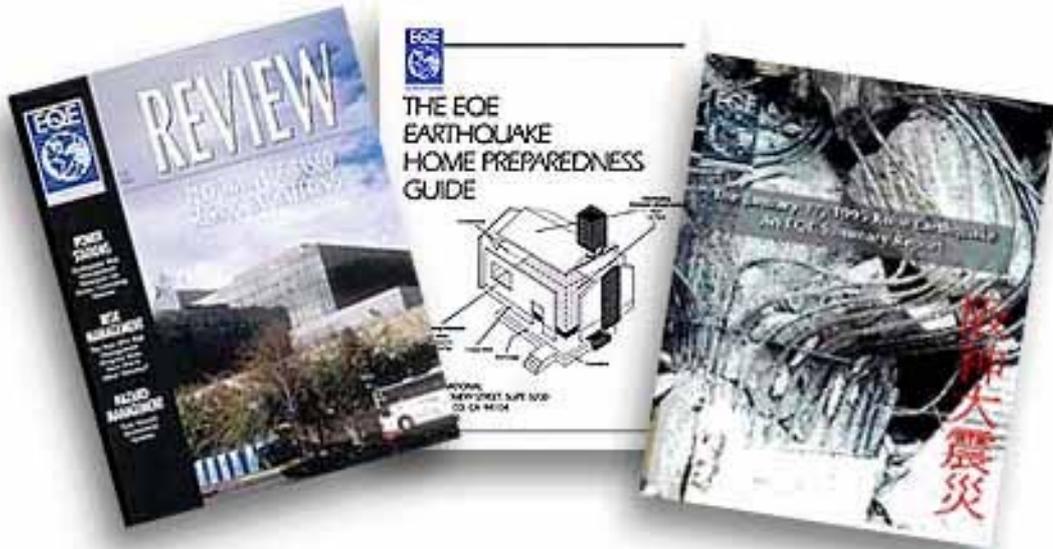
式募集。所針對的對象是 1973 年以前設計，在北嶺地震中遭受結構體損壞之醫院，預計可將對象醫院昇級至震後仍可作用或損壞受到控制之標準。其目標是希望地震發生後，醫院可立即正常運作，並可協助救難，且由於 SHMPH 之昇級效果可避免醫院在地震中摧毀花更多之經費更新建造。

SHMPH 提供之經費數目是為了昇級整棟建築而不只是已受損之結構元件而已。在北嶺地震震央附近之三個郡大約有 22 間醫療中心有資格接受 SHMPH 專案之補助，總計防治計劃之經費大約是 15 年共 20 億美元。

附錄 E11

網站名稱：EQE

- 11.1 北嶺地震摘錄報告
- 11.2 哥斯大黎加 Valle de la Estrella 地震摘錄報告
- 11.3 阪神地震摘錄報告



編號: EQE-1

文獻報告中文名稱 EQE 北嶺地震摘錄報告

英文名稱 EQE Summary Report For Northridge Earthquake, 1994

資料來源 EQE International, USA

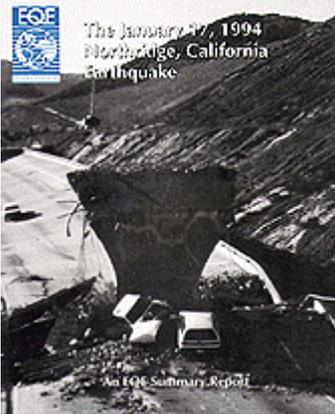
原始資料型態 網路電子檔案

頁數/檔案大小 936k

網頁位址 <http://www.eqe.com/publications/northridge/northridge.html>

原始資料日期 1995 年 11 月 26 日

中文摘要日期 1998 年 12 月 05 日

	<p>原始資料主要相關目錄(或單元)</p> <ul style="list-style-type: none">Executive SummaryGeology and SeismologyCommercial StructuresIndustrial FacilitiesElectric Power FacilitiesTransportationOther LifelinesResidential BuildingsFire Following Earthquake
--	---

原始資料內容摘要	<p>一、簡介</p> <p>美國西岸時間 1994 年 1 月 17 日清晨四點三十一分,北加州 San Fernando Valley 發生規模 $M_w=6.7$ 之地震,主震發生後之數週內,上千個規模四至五間之餘震陸續侵襲此區域。本地震共造成 57 人死亡,逾 1500 人重傷。總計 12500 結構發生中度至重度震害,區域內之公路橋樑亦嚴重受挫,造成十一座連外橋樑關閉。</p> <p>主要震害由結構振動引起,但亦有部份災害由地表破裂及震後火災所引起。此區域屬強震地區,大部份建築物皆被認為具合理之耐震能力。因此,建築物全毀之比例非常小,而最嚴重之損壞區域集中在距震央 16 公里以內之區域。由於地震發生在假日之清晨時間,使得此次震害造成之人員傷亡降至最低。</p> <p>自 1971 年以來,加州三次嚴重地震(1971 San Fernando, 1989 Loma Prieta, 1994 Northridge)中,此次是繼 1906 年舊金山大地震以來造成最大損害之地震,並與 1992 年 Andrew 颱風並列美國史上財務損失最大之天災。</p> <p>二、震害種類</p> <p>北嶺地震所呈現之結構損害模式包括軟層破壞,同時不少混凝土建築物及停車結構都嚴重受損。雖然許多鋼結構建築物遭受散佈及明顯之損害,高</p>
----------	---

層及大部分鋼結構建築物皆有良好之耐震表現。此外，為數可觀之混凝土立板辦公室建築物(Tilt-up)亦遭到嚴重損害。

三、修復方案與規則修改

本次地震最重要的經驗便是證實了採用耐震補強及降低危害度方案能有效地保障生命財產安全。震區內許多在震前已適當補強其建築物之大公司，其因經濟活動中斷之損失可降到最低。

由於部份結構型態之建築物不論新舊與否皆遭受到一定程度之震害，是否需引用更高標準之極限設計規定，亦在法規研究部門引起廣泛之討論。其目的乃在於提高建築物震後繼續安全使用之機會，以避免震害縮短及中斷經濟活動之情形發生。

四、結論

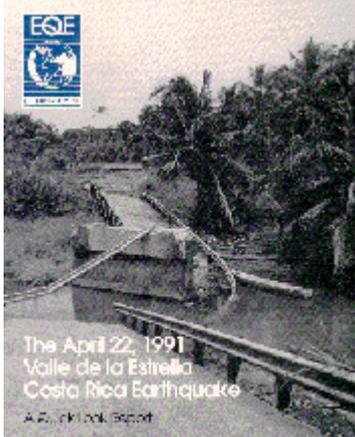
每一次地震侵襲總會提供人們更多的抗震經驗。雖然北嶺地震中，部份鋼結構之脆性破壞行為確實出乎意料。但基本上，此地震在其他方面並未提供顯著之新經驗，因為大部份被認為抗震性佳之建築物的確在地震中表現良好。未來主要的挑戰將是在於如何說服業主、建築業者、政府官員，願以更多的經費來發展抗震能力更佳之建築物，此舉終將使得投資更加節省成本與務實，因為修復嚴重震害之成本將是先前預防該震害所費之數倍。另一方面，發展現存老舊及受損建築物之修復方案，勢必帶來安全與經濟上之收益，應為未來研究之趨勢。

編號: EQE-2

文獻報告中文名稱 EQE 哥斯大黎加 Valle de la Estrella 地震摘錄報告
英文名稱 EQE A Quick Look Report For The April 22, 1991 Valle de la Estrella Costa Rica Earthquake

資料來源 EQE International, USA
原始資料型態 網路電子檔案
頁數/檔案大小 549k
網頁位址 <http://www.eqe.com/publications/Costa Rica/costaric.html>

原始資料日期 1995 年 01 月 16 日
中文摘要日期 1999 年 01 月 05 日

	<p>原始資料主要相關目錄(或單元)</p> <ul style="list-style-type: none">IntroductionSeismicityLifelinesIndustryBuilding StructuresConclusions
--	---

原始資料內容摘要	<p>本摘錄取材 EQE International 之震後勘災報告，此報告摘要由 MCEER、EERI、Caltran、DOE、LLNL、EPRI 所共同組成之現勘隊伍花 15 天在震後之哥斯大黎加及巴拿馬勘查後所作報告，全文網址為： http://www.eqe.com/publications/Costa Rico</p> <p>一、簡介</p> <p>本地震發生時間為(當地時間)下午 3:57 年規模 7.4。主要受震區域為哥斯大黎加東部及巴拉馬。沿著加勒比海岸及山脈之 20000 平方公里區域皆遭受到中度至強烈損壞。損壞最嚴重區域包括富庶的沿海農業區及重要工商港口，對哥斯大黎加之經濟造成相當大之衝擊。</p> <p>本次地震主要震害地區除了兩中型城市(Limon, Changuinola)，人口 10 萬與 30 萬外，大部份皆是人口不集中之區域。地震造成之哥斯大黎加之直接損失包括約 47 人死亡，200 人受傷，7500 人無家可歸。大約 2000 棟房屋損毀(大多是小型木造住宅及商業建築)。巴拿馬方面亦至少有 30 餘人死亡，主要是皆因房屋倒塌所致。除了有少數大型建築結構物嚴重損毀外，此</p>
----------	---

地震造成相當嚴重之維生線系統震害，特別是該地區許多美軍依當時美國公路耐震設計規範標準(AASHTO)所建造之公路橋樑，皆受到相當程度之震害。此點提供不少相關之震害教訓。

二、結論

本地震重大之影響便是對震區內主要之道路、橋樑、鐵路及港口造成重大之損壞。其主要原因有二：(1)建造於軟質土壤上，(2)依現行美國 AASHTO 之中震區強度設計無法滿足抵抗該強震之需要。本次地震最主要之教訓是橋樑之損壞需要相當長時間去重建，間接造成很大之社會成本損失，對於重要之維生線設施，現行(1991 年美國)建築法規通常對軟質土壤之規定缺乏足夠之設計要求。其他較重要之震害經驗，如土壤效應，重點摘要如下：沿海及低窪地區土壤液化所造成之土層破壞，是導致本地震嚴重震害之主要因素。土層破壞造成橋樑倒塌使主要道路無法通行，間接造成主要農產品香蕉無法外銷之嚴重損失。縱觀 1990 年前後三次強烈地震 1989 年 Loma Prieta 地震、1990 年菲律賓地震及本地震。皆由土壤液化引起大部分之重大震害，而世界各地之主要人口及工業密集區，似乎絕大部份亦是液化發生之潛在地區，顯示此土壤液化災害之問題不容忽視。

編號: EQE-3

文獻報告中文名稱 EQE 阪神地震摘錄報告

英文名稱 EQE Summary Report For Kobe Earthquake, 1995

資料來源 EQE International, USA

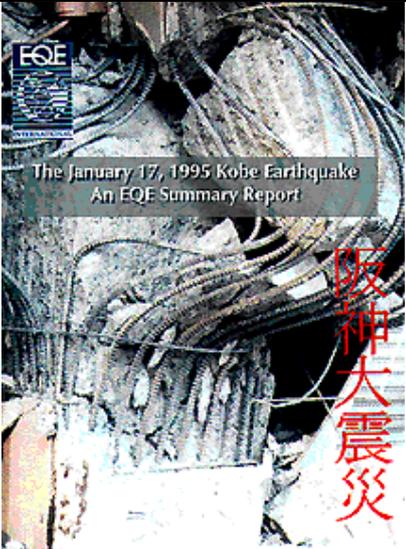
原始資料型態 網路電子檔案

頁數/檔案大小 4.74MB

網頁位址 <http://www.eqe.com/publications/Kobe/Kobe.html>

原始資料日期 1995 年 11 月 26 日

中文摘要日期 1999 年 03 月 25 日

	<p>原始資料主要相關目錄(或單元)</p> <ul style="list-style-type: none">ForewordExecutive SummaryIntroductionEarth Science AspectsBuildingsIndustrial FacilitiesTransportationPortsOther LifelinesFire Following EarthquakeEconomic ImpactSocietal ImpactConclusions
--	---

原始資料內容摘要	<p>阪神地震示範了一個現代工業化的城市可能遭受的地震損害，這些損害大部分都是可預期的，且應可加以預防的。同時希望這個災難可驅策業主繼續並增加他們以更好的耐震措施保護他們的財產。</p> <p>過去 20 年間，研究人員發展了預測大地震後社會所可能遭受損失的方法，阪神地震的發生也驗證了這些方法的適用性。這個延續 20 秒的地震造成超過 5500 人死亡、社會經濟損失之額度大於許多國家之淨生產毛額。而現代城市中許多被認為能安全抗震之公共建設與城鄉建築在地震中被摧毀了。這份報告在阪神地震中所得之結論雖是以日本及美國之觀點所推論，但相信這些結論大部分也一樣可適用在全世界除美、日以外的地區。</p> <p>阪神地震中所觀察到之震害，除極少數新的經驗外，大部份都是在以往之地震經驗中已重覆出現過的。這些新的震害經驗中，有些是發生在新建的鋼筋混凝土和鋼結構建築上。這些新建建築原先是被認為可安全通過地震</p>
----------	---

之考驗，在地震中卻遭到嚴重破壞的結果顯示，以目前的耐震規則未達到建築抗震的效果，且仍有缺失及不盡合乎實際之情形。

日本及美西皆有很長之強震發生歷史，由這些強震歷史，我們通常劃分出不同之強震發生機率于地震地區內之局部區域。好比，我們知道強震發生在西雅圖或奧瑞崗之機率低於洛杉磯。同樣的，大阪發生強震之機率不如東京地區來得高，但是，95 年的強震卻發生在大阪而非東京。因此，以機率來預測強震之發生，雖然有其參考價值，但是往往和自然之結果大異其趣，阪神地震之發生強調了強震可能發生之次要地區或所謂次震害區，這些地區一樣需要受到和最強震區相同之震前準備耐震要求以及震後防治工作。

地表運動

和北嶺地震一樣，阪神地震發生時，許多震央地區之觀測站皆記錄到近源地表運動，顯示該地區之震度是典型的中至強震度。比較這些地表運動之特性，可發現北嶺、阪神乃至近幾個相當規模之地震都具有頗相似的強度。造成阪神地震相當嚴重震害的主要原因，是因阪神地震正好發生在人口密集的都會區下方。

過去我們以有限的地表運動記錄規範了強震可能引起之地表運動大小。這些規定值顯然只有近幾次地震近源記錄值之一半左右，顯示對於震央地區現有之規範地震力低估了約 2 倍甚至更多。

建築物表現

基本上，阪神地區和北嶺地區之耐震規定較之於其他非強震區之規定來得高，日本規範主要是在 1981 年有主要之改善，美國 UBC 規範則自 1973 以後(San Fernando 後)逐次改善耐震規定。若比較現存日本規範與 UBC 規定，日本之設計地震力大小較大些，當然較之於其他地震國家及地區可能高出更多。

鋼筋混凝土建築

阪神地震中，1981 年以前設計之 RC 建築表現非常不理想，1981 年以後者雖有較佳之耐震表現，仍有分佈極廣之輕微損壞，而損壞愈少的建築幾乎都有足夠強度之剪力牆，此現象凸顯剪力牆之抗震功能。

鋼結構建築

如同在大部分地震中，鋼結構之耐震表現整體而言優於其他任何建築，但仍有一些嚴重破壞值得進一步研究。主要之鋼構震害發生在 1981 年以前之鋼構建築，但仍有一些新式建築(包括高層建築)遭受嚴重損壞。事實上，如果阪神地震之振動時間再延長幾秒鐘，這些破壞建築可能會因而倒塌。由這些觀察所得之教訓是新式建築所使用之改良工法等，雖有其特定之目的與優點，但是有關這些新建築之耐震設計及分析卻可能不夠嚴謹。因此，有時唯有全尺寸之試驗方能驗證此類新式建築之抗震性，可惜的是，地震似乎是唯一的全尺寸試驗來源。一般而言，以節省成本為目的的新式建築，其抗震安全性有著較大之問號。

另一有關鋼構建築之教訓是對於那些無明顯外傷之鋼構建築，如何在

很短之時間內找出其震損之所在相當不容易。此外，如果地震之歷時再長一些，部分特定型式之鋼構(包括高層建築)有可能會遭受倒塌類之震害。

建築耐震表現之標準

大部分之業主並不了解當強震來臨時建築法規並無法保證建築物合理之抗震表現，因為，現有之法規其目的是確保建築物在如北嶺、阪神地震來臨時，能不倒塌即可。事實上，這麼大的地震侵襲時，建築物應已嚴重損壞，只要不倒塌便符合規範之預期，工程師雖然了解這樣的設計概念，卻無法在設計階段將此訊息傳達給業主，或者有時因成本之因素故意不讓業者知道。在加州學校、醫院、警察局以及緊急應變之建築物需要以較高之耐震標準設計，而一般建築則由業主決定其額外所需之設計標準。因此，若只根據最基本之耐震規範，一個價值很高之商業大樓其設計標準與一個低價值之農場建築相同。

在大阪很多商業建築內之非結構部分遭受 50% 以上之損壞，而這些建築以結構安全之角度來看是合乎安全的，因為結構體並無任何重要損壞，這樣的建築物合乎規範之要求，卻未能達到業主之期望。結構工程師應能對業主做更良好的溝通，讓業主知道他們建築設計之極限。有關這點，大阪之工程師似乎相當成功，因為許多的建築以高於規範之要求設計，而且它們在地震中確實表現良好。

軟層土壤及填土上之建築

大阪大部分之新建築都是建築在非常軟之新沉積層上或人工新生地上。絕大部分嚴重之商業與工業建築及公共建設破壞，都發生在軟層土壤及新生地上，這樣之教訓，在許多地震中已重覆發生。可是由於日本地狹人稠，因此日本現代化之城市全部都建築在這類耐震而言最爛之土地上。對日本而言，想辦法改善土壤來抵抗地震是他們最重要的課程。這些改良及新式方法雖有理論基礎，卻無實際之測試實驗(直到阪神地震為止)，而這個測試結果相當昂貴，但也很寶貴。

大部分建造在樁基礎上之新式建築，其抗震皆很好，通常也無明顯之結構或建築損壞。無基樁之老舊建築通常抗震表現極差，許多建築因差異沉陷，嚴重傾斜。地下管線設備由於土壤沉陷與側向擴張遭到很嚴重之損害，由於水及瓦斯管線嚴重缺乏，震後經濟活動之復甦相當緩慢。

港口地區之工業受到嚴重之影響，主要是因為地面側向擴張以及擋土牆和填土之破壞，碼頭沿岸之堤岸及擋土牆大部分都破壞，而土壤沉陷將建築物與鄰接結構拉開來，這類之破壞模式可預期在日本其他地區及全世界相關地區會同樣發生。

港口

大阪港由於嚴重之土壤液化及土壤永久變形，近百分之九十遭到摧毀，也造成 187 條人命和幾乎所有之貨櫃吊重機損毀，總損失估計高於 110 億美元。貨運有幾個月無法正常運作，對當地之經濟之衝擊非常巨大。阪神經驗對美國西岸而言有相當大之警惕作用，因為西岸沿線是潛在對上述震害相當敏感之區域，特別是大部分之西岸港口建造時，現代最新之防治土壤液

化考量都還未提出，未來萬一強震在這些港口區域發生時，嚴重之貨運損失與港口震害將無可避免。

運輸系統

橋樑與快速幹線

1960年代完工之 Hanshin 阪神新幹線主要是不具韌性之鋼筋混凝土構造，在地震中被摧毀之長度超過 20 公里。幾近完工之 Wangan 幹線(其上部結構為鋼構)則是發生數起接頭支承破壞之事件，另有幾座主要橋樑，雖為現代設計但仍遭受嚴重破壞，幾近完全倒塌。

關於未補強之老舊高架橋的破壞，並沒有顯示任何新的震災教訓。部份以補強工法加強之老舊橋樑(如以鋼板補強之柱子)則有良好之抗震表現，這個經驗對當時在進行之北嶺震區橋樑補強計畫提供了許多寶貴之參考意見。

Wangan 幹線之損壞最顯著者為累積達 2 公尺以上之橋面板位移，這些位移可能是因受到比規範設計之力更大之地震力作用所形成的。另一方面，相當多之承墊破壞也是始料未及的，這些議題有詳細研究之必要。

此外，新建大型橋樑之抗震表現也有許多值得研究的地方，如震區所在地內之鋼索拱橋(cable-tie arch)，斜撐拱橋(braced arch)及斜張橋(cable-stayed)，相信都是此類橋樑第一次受到如此強震之考驗。由此所得之經驗教訓對於新建與補強橋樑之經驗將非常有價值。

鐵道系統

窄軌之大阪鐵道系統幾乎是日本中部至南部唯一的鐵路系統，在地震中受損非常嚴重，許多的車站、高架結構、橋樑都損壞(包括數公里長之子彈列車高架結構)。然而，這些因結構與基礎細部設計不良之損壞，其實在以前之地震中已反覆出現。阪神鐵道系統之震害警愷許多強震區內之類似系統(如 San Francisco Bay)，需特別注意高架結構因軟質土層作用產生之破壞及大量位移，對於日本而言，目前之設計標準之修改以及現存公共鐵路系統之再評估，皆有謹慎評估及再研究之必要性。

其他公共工程結構

瓦斯

大阪地區之瓦斯系統由於建築損壞及地表破壞之因素，受到相當大之損害，也成為震後火災最大之肇因。此外，長達數個月沒有瓦斯供給也使得震後地區民眾生活艱困、經濟活動更是難以復甦。因此，專家再次強調了在強震區內，瓦斯系統之防治工作特別重要，否則，將造成全面性之損害及巨大之經濟損失，另一方面，也啟示我們對潛在受損之瓦斯系統執行體檢，以高科技方法發展具自動控制能力之瓦斯錶，以及擬訂全面之瓦斯管線設備緊急應變計劃之重要性。

電力與電訊

大阪之電力及電訊系統在地震中之震害如預期一般，接近震央之設施雖然損壞，但是具多重性之系統避免了全面之電力與電訊中斷，僅最嚴重震害區有較長期之零星可控制之斷電、斷訊現象。發電廠之損壞輕微，但有少數因土壤破壞及燃油機損壞之例子，電力供應系統，大致上表現良好，因為主要傳輸線路剛好環繞了最嚴重之震區，如果震央之位置稍微移動，整個震損情形便不會這麼輕微了。

雖然電力系統在震後維持運作，但是仍有一些重要的損失造成。包括，基礎之修復及燃料設施之修復需時數月之久，昂貴之超高壓中繼站必須更換以及輸送系統終究需全面重建，這些工作歷時甚久，耗時也造成經濟相當大之影響。

水

供水系統之損壞主要也是肇因於建築損壞或地表破裂。缺水之嚴重後果是無法控制震後火災，也使居民震後生活因難。過去之震害經驗，使得感應地震之斷水閥(Shutoff Valve)發揮功效，降低供水損失。但仍有許多待改進之現象。

- (1)斷水系統僅存在儲水區，但不在輸送管線之間，因此，即使很小之管線設備破壞，也導致嚴重之水壓不足，同時斷水閥要能遙控操縱才可。
- (2)大阪有上千個緊急救火之貯水池，但貯水量僅供救火十分鐘，相較於美國之系統可提供一小時救火水量明顯需加以檢討。
- (3)地震凸顯大阪之水公司可能提供之緊急水量不足，同時消防隊之救火水管口徑不夠，這些枝節平時不加以重視，震害發生時嚴重影響救災時機。

震後火災

震後數小時，大阪地區總計發生火災超過 150 次。消防隊員卻無法到達數個大火災現場也無法有效灑水，因為街道被倒塌建築封閉、交通阻塞、以及供水系統損壞。所幸氣候溫涼無風，防止火苗嚴重擴散。有關減低震後火災震害之建議包括：

- (1)發展震後火災危害評估之方法
- (2)教導社會大眾防火知識
- (3)研發震後救火之技術與對策
- (4)組織民間義消
- (5)建立替代水源
- (6)人工智慧瓦斯及供水控制系統

震災準備與反應

整體而言，阪神地震顯示日本在震災準備與反應措施上，仍有相當多值得改進之處。建議包括：

- (1)繼續並增加各階層對急難反應與救災準備之資源。
- (2)鼓勵研發可改善救災反應之設備如震後快速診斷之儀器，可協助決策過程之地理資訊系統等，

(3) 組織自發性民間組織協助急難反應與救災行動。

結論

阪神地震是個可怕的震災實例，造成 5600 以上之死亡並使百萬人生活陷入艱難。許多地區，如美西、紐西蘭都慶幸他們的強震未造成如此大之損失。但是反過來說，如果 1994 北嶺以及 1995 阪神地震不是在清晨發生，又逢無風助長火災，這些地震的災害可能更大，歷史上 1923 年關東大地震死亡人數 14 萬人之慘劇可能再度發生。

附錄 E12

網站名稱：EERI

- 12.1 EERI 1995 墨西哥 Manzanillo 地震勘災報告
- 12.2 EERI 1997 伊朗東部 Ardekel 地震勘災報告
- 12.3 EERI 1997 年委內瑞拉 Cariaco 地震勘災報告
- 12.4 EERI1997 年義大利安布里亞(Umbria-Marche)地震勘災報告



編號: EERI-1

文獻報告中文名稱 EERI 墨西哥 1995 Manzanillo 地震勘災報告
英文名稱 EERI SPECIAL EARTHQUAKE REPORT - DECEMBER 1995

資料來源 EERI, USA
原始資料型態 網路電子檔案
頁數/檔案大小 68k
網頁位址 <http://www.eeri.org/Reconn/Manzanillo/ManzanA.html>

原始資料日期 1995 年 12 月 日
中文摘要日期 1998 年 12 月 05 日

原始資料主要相關目錄 (或單元)	The Setting Liquefaction and Landslides Coastal Flooding Good Building Performance Poor Building Performance Conclusions
---------------------	---

原始資料內容摘要	<p>1995 年 10 月 9 日墨西哥市西方 550 公里之 Manzanillo 發生芮氏規模 $M_s=7.6$ 強烈地震，造成約 40 人死亡 100 人受傷。此地震震央位於 Manzanillo 城市東南外海 20 公里處，震源深度 30 公里，地震原因為板塊交界處之板塊撞擊。由於 Manzanillo 為人數僅 10 萬人之小城市，地震發生並未造成嚴重損失，僅 2 棟建築物全毀及有限之建築物震害散佈於區域內非工程設計建造之磚造建築及少數之鋼筋混凝土與鋼結構建築物。</p> <p>本勘災報告之結論如下；</p> <ol style="list-style-type: none">(1) 主要受損之建築物為未加勁之磚造結構，而使用混凝土樑柱之該類建築物其抗震能力有顯著增加。(2) 其他大部分建築物皆無明顯震害發生，而具牆面積愈大之結構較牆面積小者表現較佳之抗震能力。(3) 回填土區有發生土壤液化之虞，震央地區之土地利用計畫應特別謹慎。(4) 倒塌建築物之一為已受前震損壞之旅館建築物，顯示震後評估與修復地震損害的重要性。
----------	---

編號: EERI-2

文獻報告中文名稱 EERI1997 伊朗東部 Ardekel 地震勘災報告

英文名稱 EERI SPECIAL EARTHQUAKE REPORT

The Ardekul , Iran , Earthquake of May 10 , 1997

資料來源 EERI, USA

原始資料型態 網路電子檔案

頁數/檔案大小 73k

網頁位址 <http://www.eeri.org/Reconn/Ardekul/Ardekul.html>

原始資料日期 1997 年 09 月 日

中文摘要日期 1998 年 12 月 22 日

原始資料主要相關目錄 (或單元)	Introduction Local Seismicity General Aspects of the Earthquake Building Performance Lifelines
---------------------	--

原始資料內容摘要	<p>地震簡介</p> <p>伊朗東部當地時間 1997 年 5 月 10 日中午 12:27 分發生芮氏地震規模 ($m_b=7.3$)之強烈地震。該地震之震央在 Birjand 城市(人口 45 萬人)東北方約 100 公里處，但距震央距離 600 公里內皆可感覺到震動。</p> <p>此地震造成 1568 人死亡以及超過 2600 人受傷。此外，147 處遭受破壞之村莊中，許多村莊完全損毀或嚴重受損。估計建築物損失總計超過美金 5 億元。主震後之餘震仍有數百次之多，最烈者可達芮氏規模 5.5，而地表最大加速度在震央附近約達 0.7g 左右。</p> <p>本地震區域屬地震活動頻繁地區，前次主要地震分別為 1979 年 11 月 14 日規模 6.6 之 Korizan-Khaf 地震及同年 11 月 27 日規模 7.1 之 Kuli-Boniabad 地震。引發本次地震之斷層為北北西至南南東走向之 Abiz 斷層，震源深度大約 27 公里，餘震深度則散佈在 1.5 至 24 公里間。</p> <p>建築物表現</p> <p>本震區多為一層樓建築物，依設計強度特性可區分為四大類:(a)合乎 1989 年伊朗規範之新建築物，(b)無抗橫力系統之建築物，(c)1979-1983 年重建之建築物(主要為混凝土單層構架)，(d)傳統土磚造房屋(Adobe)。地震之頻率內涵顯示主要能量之分佈極廣，在高頻約 3Hz 之頻率區域仍有極高之能量，導致本震區內大部分之單層建築物皆受損。</p> <p>第(a)類建築物依據 1989 年新訂之伊朗耐震設計規範設計，其抗震表現從極佳至極差皆有，但分析後可發現，表現極差之新建築物皆肇因於施工或細節設計錯誤，這些錯誤包括:錯誤接頭細節、抗橫力系統之不連續力徑及</p>
----------	--

長懸臂桿件等。

第(b)類建築遭受非常嚴重之破壞，肇因於外承重牆之旋轉及樓板橫膈桿件之損毀，這些破壞之原因非常明顯，因為建築物沒有提供傳遞橫向力之力徑。

第(c)類建築物屬混凝土抗彎矩構架，在地震中確受到相當多損害，而本次地震許多之人員傷亡也發生在此類建築物，造成問題之因素包括：過重之屋頂、弱柱、強樑以及磚造非結構牆之不良施工。

第(d)類傳統土磚造建築則遭受相當多之損害，但也有部分位於斷層數百公尺範圍內之建築及建造於岩盤上之建築在周遭建築全倒情形下，僅受到輕微損害。



圖一：屋頂覆土導致混凝土構架建築倒塌



圖二：填充牆上部之損毀導致短柱效應

編號: EERI-3

文獻報告中文名稱 EERI1997 年委內瑞拉 Cariaco 地震勘災報告

英文名稱 EERI SPECIAL EARTHQUAKE REPORT

The July 9, 1997, Cariaco, Eastern Venezuela Earthquake

資料來源 EERI, USA

原始資料型態 網路電子檔案

頁數/檔案大小 141k

網頁位址 <http://www.eeri.org/Reconn/Cariaco/Cariaco.html>

原始資料日期 1997 年 09 月 日

中文摘要日期 1999 年 02 月 02 日

原始資料主要 相關目錄 (或單元)	Introduction Geological and Tectonic Setting Seismic History Seismology Intensities and Attenuation Ground Motion Geological Effects Casualty and Damage Report Engineering Structures Lifelines Nonstructural Effects on Functionality of Column's Central Hospital Conclusions
-------------------------	---

原 始 資 料 內 容 摘 要	地震簡介 本地震規模 $M_w=6.9$ 於當地時間 1997 年 7 月 9 日下午發生於委內瑞拉東部 Cariaco 和 Casanay 兩城市之間的區域。鄰近震央西方 70 公里 Cumana 處所測得強震歷時達 23 秒。本次地震主要結構震害包括一六層樓建築夾心餅式(Pancaked)倒塌、二所中等學校建築完全倒塌及相當多數之一層樓平房遭到嚴重損壞。地震死亡人數計 73 人(多數死於上述建築物及學校之倒塌事件),至於維生線設施之損壞(道路、水電管線設備)亦發生在震區內數個主要城市。這些損壞主要皆肇因於斷層引起之地表破裂及土壤液化(沿岸地區)。 震害摘要 1. 倒塌之 6 層樓建築屬 1979 年造之 RC 結構,總計造成 21 人死亡,倒塌之主因是結構系統之橫向勁度具相當高之不規則性,且地面層之開孔比例過高,在其樑柱接頭缺乏足夠側向束制鋼筋時,導致嚴重之軟層效應,(圖一) 2. 二所學校建築倒塌造成 30 名青少年學生死亡之不幸事件。其中一所屬 1955 年之舊式 2 層樓對稱建築,但由於僅一水平方向具完整抗橫力系
--------------------------------------	--

統，且學校建築普遍之 2/3 柱高隔間牆造成顯著之短柱效應。因此，此二層樓學校建築完全倒塌(圖二)。另一所學校建築乃屬 1989 年新造之四層樓 RC 結構；此新建結構體為當地反覆設計建造之制式中學教室，且(理論上)依 ACI 318-83 所設計，何以造成倒塌，值得加以仔細研究。由震後觀察損壞情形，此四層樓建築之倒塌與隔間牆之短柱效應及普遍不足之橫向束制鋼筋有關(圖三)。



圖一 Cumana 市倒塌之 6 層樓建築



圖二：Cariaco 市倒塌之二層樓學校建築

編號: EERI-4

文獻報告中文名稱 EERI1997 年義大利安布里亞(Umbria-Marche)地震勘災報告

英文名稱 EERI SPECIAL EARTHQUAKE REPORT

Reconnaissance Report on the Umbria-Marche, Italy,

Earthquakes of 1997

資料來源 EERI, USA

原始資料型態 網路電子檔案

頁數/檔案大小 331k

網頁位址 <http://www.eeri.org/Reconn/Umbria/Umbria.html>

原始資料日期 1997 年 0 月 日

中文摘要日期 1999 年 02 月 02 日

原始資料主要相關目錄(或單元)	Introduction Seismic and Geological Observations Ground Motion Geotechnical Framework General Damage Past Mitigation Effort Emergency Management and Response Engineering Structures Vernacular Architecture Monumental Structures Housing, Social, and Cultural Impacts Important Issues and Recommendations
-----------------	--



原始資料內容摘要	<p>地震簡介</p> <p>1997 年 9 月及 10 月間義大利安布里亞地區連續發生數起中至強烈地震，除造成著名之西濟亞(Assisi)聖法朗哥長方教堂嚴重損壞外，也造成這個全世界最重要的藝術及宗教紀念地區上，數以百計的中古世紀建築宮殿、城堡、教堂、修道院等重要歷史建築相當程度之損毀。因此，本地震對保護歷史文物建築之措施提供相當寶貴之經驗。</p> <p>本系列地震主要發生在義大利中部唯一未鄰海之安布里亞地區。主要之地震發生之日期及規模分別為 9 月 26 日二次 Colfiorito($M_L=5.5/M_W=5.7$ 及 $M_L=5.8/M_W=6.0$)、10 月 3 日 Colfiorito($M_L=5.1/M_W=5.3$)、10 月 7 日 Colfiorito($M_L=5.3$)、10 月 12 日 Sellano($M_d=4.5$)、10 月 14 日 Sellano ($M_L=5.4/M_W=5.7$)。</p> <p>上述 9 月 26 日主震之最大地表加速度在 Colfiorito 所測得之數值分別為(水平 0.28 g , 0.17g , 垂直 0.31g)、(水平 0.38g , 0.44g , 垂直 0.38 g)及在鄰近 Nocera Umbra 所測得之數值分別為(水平 0.56g , 0.33g , 垂直 0.2g)及(水平 0.56g , 0.5g , 垂直 0.42g)。</p>
----------	---

急難救助與救災反應

由於本系統地震延續達三個禮拜之時間，雖然前後所造成之死亡人數僅 10 人左右、傷者約 500 人。但是所有之政府及私人救難單位(消防、醫療、搜救、警察等)卻必須持續警戒達一個以上。對當地社區之救災體系等造成相當大之考驗，因為傳統之救災準備措施並非針對此長期事件所規劃。

除此之外，醫院不但持續照料傷患相當長的一段時間，同時所到各種不同程度損害之醫療機構也因必須持續正常運作及救難備而無法加以修護，終至部分醫院癱患。

顯著餘震不斷來襲也造成建築物震害評估工作不斷地執行，因此居民有相當長之時間無法返家，因為在未確實保證他們的家園沒有安全顧慮前，他們無法回家。間接造成臨時收容所之需求相當大。另一方面，民眾長時間無法返家，使得他們耽心財物遭收刮或建物遭其他因素破壞。導致，配合政府之收容意願逐漸降低，間接造成社會問題。因此，地震造成之具體損害雖不明顯，造成之社會成本損失卻相當大而難以估計。

建物損害

此一系列地震所造成之建物損害亦如其他地震一般，老舊未加勁之建物之於近代之耐震建築有較嚴重之災情。由於此一地區每年有超過 500 萬人次之旅遊人數，因此建築物之復救工作能否有效達成，將對社會經濟造成極大之影響。有趣的是，歷史建築之重要性顯然較之現代建築要來得大，因為倘歷史建築不能吸引觀光客，縱使旅館、飯店皆已修復或毫無損害，亦沒有任何經濟意義。因此，義大利政府對於這些老舊歷史建築之抗震能力想盡辦法加以提昇，可是另一方面，任何之現代技術用在加強老舊文物之抗震能力時，卻可能反而破壞其之所以珍貴之重要內涵，”古蹟不再是古蹟”，如此觀光客可能反而減少，更重要的是這些無價之寶雖未遭到天災卻也遭受無可彌補之缺憾。

如何在保存歷史古蹟不受地震損害與防止現代補強技術破壞古蹟原貌上達到一個平衡點，將是此地震引發之最大省思，也是未來任何古蹟保存之地震區域所需繼續努力之方向。

附件三：期末報告之學者專家意見

A. 邱昌平教授

意見		處理情形
1a	本研究報告對近年來美、日兩國建築物震害經驗收集了很多資料，並列相關網路文獻摘要翻譯。建築學會的勘災報告亦有附列。	-
1b	惟有些資料尚難免未克列舉，如震後電訊(臨時電話站)、救災之軍方動員(拆危屋等)、大巴士之調度方法等。	未蒐集到相關資料
2	都市更新與耐震補強在阪神地區之困難等從都市防災面可予以檢討。	納入報告之建議事項

B. 詹添全教授

意見		處理情形
1	名詞定義建議應再確認，如維生管線宜為維生線設施(facility)、管線宜為管線設備(Equipment)。參考「災害防救法」予以統一。	遵照辦理
2	報告內諸多文字有錯別字，如等「候」誤寫為等「侯」，而 Approaching slab 應譯為「引道板」，而非「登橋板」，建議予以修正並詳加核對。	遵照辦理
3	本研究就既有資料予以整理，花費功夫應予肯定，惟建議就震害「後」之「防災應用」，針對美國北嶺及日本阪神分別擇取其防災組織、動員、勘災、防災、法規修訂、以及後續之復舊相關工程進行方式及法令相關內容。	遵照辦理 相關文獻摘要，並列入報告之附錄摘要中

C. 張國鎮教授

意見		處理情形
1	國外震災以阪神地震及北嶺地震為主，其災害及結構物損壞情形及原因多已有文獻深入探討。本研究應指出那些現象或結構情況與國內相似，極可能於國內發生，並建議解決辦法。	遵照辦理 相關資料於報告中以專節歸納之

2	本研究結果應由建研所作為未來立法之重要參考。	-
3	有關其他類如廠房、電力設施及非結構性結構之破壞情況及教訓可再加強。	遵照辦理 唯補充資料並不多

D.陳清泉教授

意見		處理情形
1	本研究之成果有其研究價值及實用參考價值。惟資料搜集中缺少中國大陸震災資料，如 1976 年中國唐山大地震等資料，宜予收集整理。	遵照辦理 唯收集資料不多，並納入報告之建議事項與防災體系一節中
2	震害資料對象宜分別對下列各種建築進行分類說明之：如木構造、磚石構造、RC 構造、鋼構造、SRC 構造及特殊結構等分別闡述。	遵照辦理
3	震害教訓宜分別探討下列問題； (1)工程技術(結構性、非結構性)。 (2)火災問題。 (3)救災機制。 (4)人文問題(政治性、社會性、生活性、心理性等)。 (5)補強及重建技術及法規。 另防災工作之應用內容宜予補充。	納入報告之建議事項

E.主席結論(何主秘明錦)

意見		處理情形
1	本研究應加強對於國外地震損害現象與國內的情形之比較分析。	遵照辦理
2	本研究成果中與防救災制度有關之部分，請彙整後提供本所參考，以供訂定相關制度規範之參考。	-
3	有關大陸唐山大地震等資料，亦請收集整理。至於震害狀況依構造種類分類之方式，亦請考量。另在人文社會面的探討，若有必要但無法如期完成時，請列為本所後續研究項目之參考。	遵照辦理

統一編號

002244880657

國外建築物震害經驗、教訓及防災應用研究

內政部建築研究所