

RDEC-RES-100-026 (政策建議書)

我國因應重大天然災害風險之 公共設施安全係數研究

行政院研究發展考核委員會編印
中華民國 100 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本會意見)

RDEC-RES-100-026 (政策建議書)

我國因應重大天然災害風險之 公共設施安全係數研究

受委託單位：中華民國土木技師公會全國聯合會

協同單位：臺灣省諮議會

研究主持人：倪副教授至寬

協同主持人：余理事長烈

王諮議員英三

周諮議員細滿

研究助理：邱佩資、黃穎琦

行政院研究發展考核委員會編印

中華民國 100 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本會意見)

目 次

目 次	I
提 要	III
第一章 前言	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 研究方法與流程	2
第二章 近年來臺灣及鄰近國家重大災害(地震、颱風暴雨) 之災情回顧與案例分析	3
第一節 近年臺灣重大公共設施災變案例分析	3
第二節 近年臺灣重大颱風暴雨之災情案例分析	10
第三節 近年臺灣及鄰近國家重大地震災害之回顧	18
第四節 性能設計法規範於公共設施安全之應用	26
第三章 初步研究發現	31
第四章 主要建議事項	35
參考書目	43
專案座談會	45
第 1 次座談會 100 年 6 月 25 日座談會出席單位人員	45

我國因應重大天然災害風險之公共設施安全係數研究

第 2 次座談會	100 年 7 月 11 日座談會出席單位人員	45
第 3 次座談會	100 年 7 月 25 日座談會出席單位人員	46
附錄	47
附錄一	100 年 6 月 21 日第 1 次焦點團體座談資料.....	49
附錄二	100 年 7 月 11 日第 2 次焦點團體座談資料.....	167
附錄三	100 年 7 月 25 日第 3 次焦點團體座談資料.....	187
附錄四	日本東京埼玉縣地下水庫照片	203
附錄五	近年臺灣及鄰近國家重大天然災害之照片	213

提 要

關鍵字：耐震係數、降雨強度、重現期、使用年限、複合式災難

一、研究緣起

近年來由於全球暖化、氣候變遷，臺灣在歷次颱風、暴雨中遭受前所未有之嚴重水患；其中包含都會區嚴重淹水、公路橋梁遭沖毀、土石流淹沒村莊、農田……等災害損失慘重，亦奪走不少寶貴生命。另，自民國 88 年臺灣發生規模 7.3 的 921 大地震，至今全球各地發生規模 7 或 8 的大地震頻傳，尤以此次日本 311 大地震規模更達到 9.0，同時引發殺傷力極為驚人的大海嘯，更導致日本面臨前所未有之核電災難。

考量公共設施係以提供民眾服務為主要目的，必須肩負妥適之安全保障承諾，爰各種公共設施於設計、施工時，均須設計安全係數，使設施結構足以因應預料之外的衝擊，或抵銷不可預期之瑕疵所造成的強度衰減。惟對於沿用多年之安全標準，在面臨可能遭遇之巨型重大天然災害侵襲，有必要重新加以檢測及評估，俾確保民眾生命、財產之安全。有鑑於此，本研究擬檢視我國主要公共設施安全維護現況，回顧近年來國內及鄰近國家重大天然災害之災情、探討相關防災、減災策略，並評估在可能之重大天然災害侵襲下，所能承受之安全係數狀況，以研提強化公共設施安全維護、補強等具體建議。

二、研究方法及流程

(一) 文獻資料蒐集、彙整

由研究團隊整理近年來，歷次颱風、豪大雨及地震對公共工程及民間建築之破壞與影響資料，其內容除各次重大災害之災情回顧外，並分別提出研判分析，同時參閱技師報、技師月刊等重要專業技術文章內容，以作為檢討、檢視之重要參考。

- (二) 本研究業召開兩階段之產官學座談會議，邀請有關土木工程規劃設計、災害防救及公共設施安全維護專長領域之產、官、學界專家，分析目前我國重大天然災害風險之公共設施安全維護現況與問題，並探討我國重大天然災害風險之公共設施是否須調整安全係數？以及其調整幅度為何？透過辦理兩階段（共 3 場次）之產、官、學界專家座談會，集合所邀集之產、官、學界專家各界意見，研擬將現行安全係數調整，並就短中長期政策調整，作出具體建議，增加本研究成果之周全性及可行性。
- (三) 本研究第 1 場座談會係邀集學者專家，包含國內從事(承辦)重大公共工程規劃設計之各大工程顧問公司技術部門主管親自參與討論，並提出書面意見。對各個可行之政策調整方案，研擬具體可行方案，並共同研擬其他相關配套措施。第 2 場座談會則邀請政府各相關機關人員，發表本研究之初步成果，就初步成果建議詳細研商討論，並進一步彙集各方意見，提出具體之政策調整建議。

三、重要發現

國內公共設施之大地工程設計規範目前仍採用傳統安全係數的容許強度設計法 (Allowable Strength Design, ASD)，惟目前先進國家均已朝向性能設計 (Performance Design, PSD) 發展，而不採用安全係數作為設計標準，例如歐洲的地工新規範 (Eurocode 7)、美國高速公路與運輸工會 (American Association of State Highway And Transportation Officials, 簡稱 AASHTO) 的「荷重及遞減係數」規範 (Load and Reduction Factor Design, 簡稱 LRFD) 規範、與日本的大地工程規範 21 (Geo- Code 21) 等。因此，為利於與國外先進國家接軌，並符合世界潮流，建議政府相關單位儘速研訂性能設計法之相關設計規範。

相較於傳統的容許強度設計法，性能設計法的主要優點為採用更合理、安全、經濟的設計方法，歐、美、日等先進國家均已採用或正

積極發展。國內目前尚未完成性能設計法的規範，宜優先於重大公共工程建設（如高速公路等）中採用，以強化建築物或公共設施之安全。

現階段我國如仍採用傳統之容許強度設計法，以安全係數作為設計標準，因既有規範對安全係數之規定已沿用數十年，且牽涉層面極廣，若將其數值大幅度提高，恐將引起許多不同之意見。基於儘量避免爭議之考量，不宜再提高安全係數，而是以提高其他設計標準（如：地震水平加速度等）作為強化依據，以達到防災、減災之實質成效。

四、主要建議事項

（一）立即可行建議

1. 我國重要公共設施方面建議

- (1) 全國主要河川之公路、鐵路橋樑基礎（含基樁）深入河床面深度之調查與檢討工作。

中南部各主要河川靠下游（近出海口）段之河川砂石盜採極為嚴重，建議對於鐵公路（含國道、省道、縣道）橋樑橋墩座落處之河床面現況，宜儘速全面性測量、調查，以作為安全性評估之重要依據。

主辦機關：交通部；協辦機關：行政院公共工程委員會。

- (2) 全國主要河川上游疏浚資料調查與彙整，及中、下游砂石盜採之行政調查與檢調單位偵辦、調查。

近年來中南部河川上游段河床淤積情況相當嚴重，建議進行疏浚，且中下游段河川砂石盜採猖獗，建議予以遏阻，除關係鐵公路橋樑之安全，亦可避免類似后豐大橋斷橋、高屏大橋斷橋之不幸事件再度發生。

主辦機關：經濟部、法務部調查局；協辦機關：檢警單位。

- (3) 公共工程所使用材料，如地（岩）錨、岩（土）釘、漿砌卵石護坡、石籠、微型樁、生態工法（太空包、打樁編柵、

加勁土壤)、鋼軌樁、鋼板樁、H型鋼、掛網噴漿等使用年限規定與更換。

國道三號七堵段走山災變係肇因於地錨抵抗不住順向坡大量土石方向下滑動龐大力量而斷裂，造成重大災難事件，對於公共工程所使用作為永久設施或結構體受力一部分之工程材料，如地(岩)錨建議訂定30年之使用年限。另因暴露於大自然空氣中之鋼筋混凝土結構物之使用年限一般為50~100年，地(岩)錨之鋼線或鋼絞線係深埋於土石(或岩層)中，受地下水入滲之潮濕環境影響，極易因時間久遠而生鏽、腐蝕。建議訂定30年之使用年限配合長期監測機制，確保公共安全，其他工程材料亦同。

主辦機關：交通部、經濟部、行政院農業委員會。

協辦機關：行政院公共工程委員會、各直轄市政府、各縣市政府。

- (4) 國道1號、3號順向坡坡腳遭塹斷路段(範圍)之調查及補強方案之研擬。

因修建高速公路而將順向坡坡腳塹斷之路段，目前大部分均以格樑護坡輔以地(岩)錨，作為永久邊坡穩定措施，少部分採用排樁。有鑑於國道三號七堵段走山災難破壞力之威力，造成大規模順向坡土石向下滑動之破壞模式，建議對國道1號、3號順向坡坡腳進行補強作業。

主辦機關：交通部；協辦機關：行政院公共工程委員會。

- (5) 建立國道或省道上邊坡之定期人力巡查機制，以發現上邊坡之張力裂縫，並立即進行填縫及地質改良與補強措施，確保邊坡的安全性。

國道或省道穿越山區多數於上邊坡設計格樑護坡或RC面板配合地(岩)錨，並於邊坡上建置監測系統。缺乏上邊坡頂部之定期人力巡查機制，致大規模破壞之早期預警較為

缺乏，建議建立國道或省道上邊坡之定期人力巡查機制。

主辦機關：交通部；協辦機關：交通部所屬各工程單位。

- (6) 國道及省道採用預力樑承重之橋樑，建議對預力樑鋼線或鋼絞線受潮腐蝕、生鏽偵測技術之加以強化。

國道及省道重要橋樑大部分均採用預力樑系統，對於預力樑唯一承載力量之預力鋼線或鋼絞線，或建議訂定使用年限，或研發其因受潮而生鏽、腐蝕偵測之早期預警技術。

主辦機關：交通部；協辦機關：交通部所屬各工程單位。

- (7) 建議假設芮氏規模 7.0、8.0 及 9.0 之淺層地震發生在大臺北地區，宜定期舉行水庫、地鐵、自來水供水與核電廠防災與疏散演習。

921 集集大地震發生在南投屬淺層地震，芮氏規模 7.3，造成極大破壞力。我國位處環太平洋地震帶區，建議定期舉行自來水供水系統及水庫、地下鐵、高鐵、核電廠之防災演習。

主辦機關：臺北市政府、新北市政府、基隆市政府。

協辦機關：內政部、交通部、經濟部。

2. 公共工程設計標準建議

- (1) 全國河川之治理基本計畫、治理規劃報告、河川圖籍、水文資料等皆建議由各政府單位以電子檔案公告於政府機關網站，供民眾參考使用。

建議政府相關資料不斷更新，並使工程設計者容易從政府機關網站取得，且不必再付費。

主辦機關：經濟部（水利署）、行政院農業委員會；協辦機關：各直轄市、縣市政府。

- (2) 公路橋樑、擋土設施、水利工程設計所用安全係數標準及增列用途（或功能）係數、複合式破壞之安全係數之項目及幅度之補強與執行。

我國因人口密集，公共設施之重要性等級等因素不同，以及天然災害並非必然之單一性，例如地震引發大海嘯，多次颱風暴雨引發土石流、都會區大淹水之嚴重水災等，如又遭逢餘震等，危急更甚。建議公共設施設計使用之安全係數考量增列使用係數（或功能係數）及複合式破壞之安全係數，較能符合需求。

主辦機關：內政部、交通部、經濟部、行政院農業委員會。

協辦機關：行政院公共工程委員會、各直轄市政府、各縣市政府。

- (3) 建議修建大高雄地區滯洪池（含地下水庫）與旱季之南部地區缺水之解決。

高雄地區在潭美颱風及凡那比颱風之豪大雨，均發生嚴重都會區淹水之重大災害。復以每年旱季南部地區之嚴重缺水現象，因此興建大型地下水庫確有其必要性，建議修建大高雄地區滯洪池（含地下水庫），可同時解決淹水及旱季之南部地區缺水兩個問題。

主辦機關：經濟部、高雄市政府。

協辦機關：行政院公共工程委員會。

- (4) 建議定期對臺北市區內豪大雨水抽排所需時雨量進行檢討與對策研議。

納莉颱風帶來之豪大雨重創臺北市，雖大臺北地區設有 200 年之防洪設施（堤防），暴雨時可將降雨之地表逕流量經由各抽水站及時外排，市區淹水機率不高，惟建議對近年歷次豪大雨之時雨量進行重新檢視。

主辦機關：臺北市政府。

協辦機關：內政部、經濟部、行政院農業委員會。

- (5) 建議研議大地工程採性能設計相關規範，並予以法制化。

歐、美及日本等先進國家在工程設計上均已朝向性能設計，而不採用安全係數作為設計標準。建議研訂性能設計法之相關設計規範，取代國內公共設施之大地工程設計規範目前仍採用傳統安全係數的容許強度設計法。

主辦機關：行政院農業委員會。

協辦機關：交通部所屬各工程主辦單位。

- (6) 北、高都會區排水系統內吊掛管線、阻礙水流之全面清查與取締。

各項吊掛於都會區排水管線內之電纜線、電線等，均影響排水斷面，阻礙水流，建議予以清理。

主辦機關：臺北市政府、高雄市政府。

(二) 中、長期建議

1. 公共工程設計標準建議

- (1) 公共工程設計用降雨強度、重現期修訂標準之法制化與實施。

由於提高安全係數除不符合經濟效益，且其對防災、減災與提高公共設施之安全性實質作用與貢獻度不高，建議即時修正公布近年颱風暴雨之降雨強度、暴雨頻率與重現期等。

主辦機關：經濟部、行政院農業委員會。

協辦機關：中央氣象局、行政院公共工程委員會、各直轄市政府、各縣市政府。

- (2) 高雄市滯洪設施（含地下水庫）工程設計與施工之發包與執行。

政府花費數千億元投入大臺北地區之防洪設施，但對於南部地區（尤其是大高雄都會區）相對做的太少。過去高雄在潭美颱風及凡那比颱風之豪大雨，均發生嚴重都會區淹水之重大災害。復以每年旱季南部地區之嚴重缺水現象，興建大型地下水庫確有其必要性，可同時解決淹水及缺水兩個問題。

主辦機關：經濟部、高雄市政府。

協辦機關：行政院公共工程委員會。

- (3) 研擬山麓伏流水資料及伏流水人工補注地下水計畫。

我國每年颱風暴雨之大量地表逕流均流失（包含流入大海），平均使用率不到降雨量之 15%，頗為可惜。建議研議有效留住大量雨水，但非單靠水庫蓄水，建議研擬伏流水計畫。

主辦機關：經濟部、行政院公共工程委員會。

協辦機關：行政院農業委員會。

- (4) 研擬山區危險聚落、村莊之限制居住、開發範圍之國土計畫方案及推動相關立法進程。

主辦機關：內政部。

2. 地震方面

- (1) 核能電廠耐震補強工程與核能電廠海嘯預警系統改進工程之規劃。

核三、核四廠耐震能力之提高刻不容緩，一旦發生因地震而導致冷卻系統管線接頭或基座破壞、備用發電機廠房建築倒塌等附屬建物、結構（非圍主體）受損，均將造成類似日本 311 福島核電廠之災難。

主辦機關：行政院原子能委員會。

協辦機關：經濟部、行政院公共工程委員會、臺灣電力公司。

(2) 核一、核二廠是否准予延役之決定與執行。

核一、核二廠之耐震能力不足，又近山腳斷層。復因核電機組老舊，距大臺北生活圈太近，北北基人口數超過 700 萬人，一旦發生核電災難，龐大人口疏散撤離不易，除非政府另考慮遷都中臺灣。另，建議政府考慮核一、核二廠按時除役，以確保公共安全。

主辦機關：行政院原子能委員會

協辦機關：經濟部、行政院公共工程委員會、臺灣電力公司。

(3) 全國老舊私有建築物耐震補強方案之執行。

民國 88 年 921 大地震至今 12 年，對於公有建築物(含學校)政府編列預算，逐年陸續完成耐震初評、詳評及補強工作，惟關於民國 70 年、60 年以前興建之民間集合式住宅、公寓式住宅等私有建築物，因當時均係採用極低(不耐震)的設計標準 0.1g(地表水平加速度)，逐次提高(尤其是 921 地震發生後耐震標準提高)為 0.23g、0.33g。建議一併對於分布在全臺 30 年以上私有老舊建築物約 75 萬棟、300 萬戶建築物進行瞭解及補強。

主辦機關：內政部。

協辦機關：行政院公共工程委員會、國家地震工程研究中心、各直轄市政府、各縣市政府。

第一章 前 言

第一節 研究緣起與背景

我國地理位置處於高風險之斷層活動區，且在面對全球極端氣候衝擊下，地震以及颱風豪雨所帶來的破壞力，逐漸成為最主要的重大天然災害原因。許多重要公共設施如水庫、道路橋梁、電廠及大眾交通運輸系統等，因承載荷重或提供阻抗功能的結構，在經年累月的自然侵蝕及往復受力等作用下漸形退化，面臨此類重大天然災害之高頻率、高強度等外力衝擊，原先預估之抵抗能力恐不足以因應。

近年來由於全球暖化、氣候變遷，臺灣在歷次颱風、暴雨中遭受前所未有之嚴重水患；其中包含都會區嚴重淹水、公路橋梁遭沖毀、土石流淹沒村莊、農田……等災害損失慘重，亦奪走不少寶貴生命。另，自民國 88 年臺灣發生規模 7.3 的 921 大地震，至今全球各地發生規模 7 或 8 的大地震頻傳，尤以此次日本 311 大地震規模更達到 9.0，同時引發殺傷力極為驚人的大海嘯，更導致日本面臨前所未有之核電災難。

考量公共設施係以提供民眾服務為主要目的，必須肩負妥適之安全保障承諾，爰各種公共設施於設計、施工時，均須設計安全係數，使設施結構足以因應預料之外的衝擊，或抵銷不可預期之瑕疵所造成的強度衰減。惟對於沿用多年之安全標準，在面臨可能遭遇之巨型重大天然災害侵襲，有必要重新加以檢測及評估，俾確保民眾生命、財產之安全。有鑑於此，本研究擬檢視我國主要公共設施安全維護現況，回顧近年來國內及鄰近國家重大天然災害之災情、探討相關防災、減災策略，並評估在可能之重大天然災害侵襲下，所能承受之安全係數狀況，以研提強化公共設施安全維護、補強等具體建議。

第二節 研究方法及流程

(一) 文獻資料蒐集、彙整

由研究團隊整理近年來，歷次颱風、豪大雨及地震對公共工程及民間建築之破壞與影響資料，其內容除各次重大災害之災情回顧外，並分別提出專業見解，同時參閱技師報、技師月刊等重要專業技術文章內容，以作為檢討、檢視之重要參考。

(二) 本研究業召開兩階段之產官學座談會議，邀請有關土木工程規劃設計、災害防救及公共設施安全維護專長領域之產、官、學界專家，分析目前我國重大天然災害風險之公共設施安全維護現況與問題，並探討我國重大天然災害風險之公共設施安全係數之調整，以及其調整幅度等。透過辦理兩階段（共 3 場次）之產、官、學界專家座談會，集合所邀集之產、官、學界專家各界意見，研擬將現行安全係數進行調整，並就立即可行及中長程政策調整，作出具體建議，增加本研究成果之周全性及可行性。

(三) 本研究第 1 場座談會係邀集學者專家，包含國內從事(承辦)重大公共工程規劃設計之各大工程顧問公司技術部門主管親自參與討論，並提出書面意見。對各個可行之政策調整方案，研擬具體可行方案，並共同研擬其他相關配套措施。第 2 場座談會則邀請政府各相關機關人員，發表本研究之初步成果，就初步成果建議詳細研商討論，並進一步彙集各方意見，提出具體之政策調整建議。

第二章 近年來臺灣及鄰近國家重大災害（地震、颱風暴雨）之災情回顧與研判分析

第一節 近年臺灣重大公共設施災變案例分析

一、 國道三號七堵段走山災變之災情與研判分析

民國 99 年 4 月 25 日下午 2 點 29 分國道三號里程 3.1 公里七堵段南下右側師公格山上邊坡之大規模順向坡滑動破壞災變，高速公路南下北上車道共六車道寬約 60 公尺，長約 200 公尺路段，全部遭掩埋，崩落土石方估計近 20 萬立方公尺，造成 3 車毀損、4 人死亡之災變，此乃我國國道通車 36 年來，除 63 年 9 月 28 日國道一號八堵交流道附近山崩造成 36 人死亡事件外，最嚴重之災變事件。災變發生之時，由於當時無風無雨，經媒體報導後，社會各界檢討聲浪不斷。遭質疑的重點包括是否為設計不當或是否邊坡維護管理不良？姑且不論災變之真正原因為何，經此一事件，顯見各項公共工程之規劃、設計、施工及維護各個階段，宜充分督促土木工程義務人重新檢討、檢視之，以維護公共安全。

根據災變現場的目視研判，國道在順向坡砍斷坡腳，邊坡的護坡設施無法抵抗超過預期的土（岩）體重量，並進一步沿著大寮層的頁岩層，產生此次大規模的邊坡滑動。根據 99 年 4 月 27 日中國時報報導：國道高速公路局主管科長表示：「是破壞規模比設計預期還要大」，顯示此次災變的嚴重性，也間接證實這次災變滑動面的範圍與規模，超出原有設計。

隨著人類經濟不斷的發展，土木工程有越來越多的機會，會遭遇地質敏感區，土木工程師的挑戰也越來越大。除了要不斷更新設計規範外，土木工程在規劃設計階段，除了依靠負責執行的工程顧問公司

外，更應對於規劃設計內容予以審查，將能提高土木工程的設計品質，進一步提昇公共安全。

另據國道高速公路局國公局表示其清運之崩落土石方數量，單日清土量為 2 萬 8,997 立方公尺，累計總土方量為 19 萬 3,458 立方公尺，估算大規模順向坡滑下之土體總重量約為 30 多萬 ton，但抵抗力量僅為 500 多支地錨所提供之 3 萬 ton（即 $60\text{ton}/\text{支} \times 500 \text{支} = 3 \text{萬 ton}$ ），即在坡面上向下滑動的力量約為抵抗其向下滑動力量的 10 倍以上。因此抵擋不住而向下滑動，導致土石方掩蓋高速公路六個車道之路面。當然造成前述大山崩之前因為上邊坡長時間雨水入滲，進入砂岩與砂岩間之頁岩，在乾燥狀態下，頁岩質地堅硬提供其與砂岩間極大磨擦力，以抵抗砂岩向下滑動。一旦雨水入滲，頁岩泡水（呈糊狀）弱化，毫無摩擦力可言。復以國道三號修築路基，將順向坡坡腳砍斷，順向坡面上之砂岩頓失支撐（到坡腳），全部穩定（阻擋向下滑動）的力量就必須完全依賴坡面上的地錨，但地錨卻只提供十分之一不到的抵抗力。大規模順向坡滑動破壞之災難於是發生。此種破壞機制與 1997 年 8 月 18 日因溫妮颱風帶來豪大雨，導致林肯大郡災變之順向坡破壞造成 28 人死亡之情況完全相同。

從本次的災變發現公部門現有維護巡察機制，對於災變的預防證明效果有其侷限性。因為對於位於高風險潛勢災害區域，不能僅依靠目視判定，而是應該委託專業技師公會借重技師的專業經驗及人力，以高精密的監測儀器及技術進行邊坡危害度監測，同時佐以專業的判讀，更重要的是建立上邊坡之定期人力巡查機制，提早發現上邊坡之張力裂縫，並立即進行填縫及地質改良與補強措施，才能確保邊坡的安全性。

歷經此次災變，應係在設計規範中強制規定地錨之使用年限，以及增加對於位於高潛勢區開發一定規模坡地土木專業工程，需委託或指定土木專業工程所屬公會辦理審查，才能避免類似災變不再發生。本次災情照片請參閱附錄五。

二、 后豐大橋斷橋原因之研判分析

第二章 近年來臺灣及鄰近國家重大災害(地震、颱風暴雨)之災情回顧與研判分析

- (一) 斷橋時間： 97 年 9 月 14 日 6 時 51 分。
- (二) 斷橋位置：后豐大樓自后里(北端)起算第二橋墩(即 P2)。
- (三) 死亡及失蹤人數：2 人死亡，4 人失蹤。
- (四) 專業意見：

1. 斷橋原因探討：

后豐大橋全長 640 公尺，初建於民國 50 年 3 月 15 日(完工)，由榮工處(榮民工程公司前身)承建。使用 28 年後，於民國 78 年改建(兩車道)，隨後於民國 87 年擴建(現狀之橋寬 31 公尺，4 車道)完成。前述改建及擴建之橋墩基礎下方之設計為 14 公尺深之沉箱(一般中部河川橋樑之設計係採用沉箱或基樁)，民國 87 年擴建至災變當時約 10 年，河床面(地面)下降約 8~10 公尺，亦即前述 14 公尺深沉箱已裸露 8~10 公尺，埋入深度(即自現有河床面往下之深度)僅剩 14 公尺減去 8~10 公尺等於 4~6 公尺，此一深度係辛樂克颱風前河道(或稱行水區)之河床面至沉箱底之深度，經過辛樂克颱風暴雨湍急溪流之沖刷，可能又下降 1~2 公尺，如此一來沉箱之埋入深度僅剩 3~5 公尺(或更少)，但辛樂克颱風夾帶強大氣流在大甲溪上游山區所降下之豪大雨量，溪水暴漲，湍急之強大水流力量橫向衝擊基礎沉箱埋入深度只剩 3~5 公尺深之 P2 橋墩(民國 78 年改建，87 年擴建各兩座，共 4 座墩柱組合而成 P2 橋墩)，加上混濁溪流中夾帶之中大型卵石碰撞 P2 橋墩，終使 P2 橋墩(民國 78 年改建，87 年擴建各一座)承受不住橫向(水平方向)衝擊力量而傾倒，橋面版失去支撐之墩柱，於是斷裂落入溪流中，斷橋事件在極短時間內發生，行經后豐之車輛來不及反應，三部車共 6 人，連車帶人掉入大甲溪湍急流中，不幸事件終於發生。

2. 造成后豐大橋沉箱基礎嚴重裸露原因探討：

(1) 河床砂石盜採為主要元凶

臺灣溪流坡度大，水流湍急，大甲溪下游（自豐原至大甲出海口之大甲溪河床）砂石長年遭盜採，其盜採作業均是夜間 10 點時以後至清晨 4 時點間，將河床砂石大量開採挖取，載運至附近之碎石廠，日以繼夜打碎、篩分後，以重型拖車運送販賣給中部地區之預拌混凝土廠或營造業者，牟取暴利，即俗稱之「黑金」，由於其盜取時段均為下半夜，因此盜採作業可以順利持續數年之久。大甲溪下游近出海口砂石不斷被盜採，中游之砂石就不斷往下游沖刷，當山區大甲溪最上游段沖刷流入中游段之砂石量小於中下游被盜採之砂石量，位於中游段之后豐大橋橋墩逐年裸露（因為河床面逐年下降約 1 公尺左右），經過 10 年，前述 P2 橋墩沉箱裸露 8 ~ 10 公尺，乃必然之結果。好比淺根之大樹極易在強風（水平力）吹襲中倒下，P2 橋墩即在此不利條件下，被夾帶大石塊之滾滾洪水溪流衝擊、推擠而倒下。

(2) 次要原因：

此外，921 大地震造成地形改變，部分隆起，部分河床面下降，地形改變造成河道（行水區）易位、上游側自來水管保護工程造成「跌水工」效應，加速 P2 橋墩基礎沖刷等，以及此次辛樂克颱風期間，大甲溪上游降下豪大雨量加上水庫洩洪，致使溪水暴漲等因素，亦應列為后豐大橋斷橋之次要因素。

3. 分析研判：

(1) 后豐大樓斷橋後，重新設計之新橋，改採 1.5 公尺直徑、40 公尺深之基樁，作為橋墩基礎。附近高鐵及高速公路橋樑亦是採用同樣深度之設計，足見前述因果關係立論正確。

(2) 有因必有果，當時的經濟部水利署署長曾向交通部長說

第二章 近年來臺灣及鄰近國家重大災害（地震、颱風暴雨）之災情回顧與研判分析

明此一河段（豐原至大甲出海口）之大甲溪河川係禁採砂石區，惟經幾年來，每天日以繼夜自 4~5 個碎石廠以重型拖車載運外送之砂石料，其原料來自何處？亦或深夜在外地警力（最好不用中部警力，以防消息走漏）保護下，實地調查。以及現場調查大甲溪下游周邊 4~5 處碎石廠，均可得到答案。在后豐大橋斷橋事件中不幸遇難的 6 位民眾只是給家屬及社會一次慘痛代價及警訊，但如果真相沒有大白，斷橋元凶沒有繩之以法，不是只有社會正義沒有伸張而已，更重要的是同樣的事件還會再發生。

本次災情照片請參閱附錄二。

三、高屏大橋斷橋事件與橋樑安全問題之研判分析

高屏大橋於民國 65 年開工，67 年 10 月完工通車，採三孔連續樑之設計，橋面寬 20 公尺、四個車道，總工程費為新臺幣六億多元，完工到斷橋僅 22 年，其第 22 號橋墩基礎遭溪水沖垮導致橋面斷裂坍塌之原因應可歸納為：

（一）遠因

1. 長期以來之高屏溪砂石被盜採，再加上每年颱風暴雨季節時湍急溪流沖刷河床之相互影響，以致 20 年期間河床面高程共下降 8~10 公尺，除已破壞之 22 號橋墩外，其他橋墩之基礎甚至基礎下方之基樁也已裸露在外，足見河床面下降情況之嚴重，一般橋樑設計最多僅考慮 2~3 公尺之基礎地表變化，顯然與實際情況相差太大。
2. 高屏溪河床高灘地大量種植的高莖作物及隨處可見之魚塢養殖，使得原有 2 公里寬之行水區寬度縮減到 200 公尺左右，水流集中而湍急，狹窄之行水範圍，致使沖刷情況更為嚴重。

（二）近因

1. NO.25~NO.37 靠屏東側之橋墩固床工程，將水流改道集中在 NO.22 橋墩之狹窄範圍（據瞭解此處原為高灘地，基樁深度僅設計 18 公尺深，原有河道處基樁深度達 45 公尺，災變當時已變為高灘地，真可謂十年河東、十年河西），湍急水流之力量過分集中，應為導致橋墩基礎破壞原因之一；反觀如其施工計劃事先能送專業技師（如土木、水利）公會審查，將河道水流分散成 2~3 條臨時水流路線，分散後之水流其沖刷力量必可大為降低。
2. 碧利絲颱風帶來豪雨使得溪流暴漲，屬於天災亦應為原因之一。

是以，除找出真正斷橋原因外，積極面更應就制度上提出具體可行方案，以防類似不幸事件再度發生。茲提出專業見解分述如下：

- （一）政府應盡速全面規劃砂石專業區，以陸地砂石或自國外（或大陸）進口砂石供應公共工程及民間工程所需之砂石量，俾有效遏止河川砂石之盜採。根據統計資料顯示全臺每年砂石需求量高達 9,000 萬噸，由合法河川砂石料源僅可取得 3,000 萬噸，不足之數量高達三分之二，難怪盜採之風猖獗，甚至違反水利法第 78 條第 3 款及第 92 條之一處 5 年以下有期徒刑之罰則，仍阻止不了不肖業者之盜採行為。
- （二）包含交通部臺灣區國道高速公路局、公路總局、臺灣鐵路管理局主管之橋樑共 7,584 座以及 23 個縣市政府轄區內橋樑之全國性橋樑檢測工作，應由一專責單位統籌中央與各地方政府之公路、水利單位，落實「家庭醫師」之橋樑檢測制度，具體作法為：政府應借重專業技師之民間力量，由專業技師每人認養 1~2 座橋樑（有如每一家庭均有家庭醫生），並訂出不同年代興建橋樑應有不同檢測頻率，有如年長者之體檢頻率應較高，颱風暴雨期間則加強觀測；專業技師均經國家高等考試及格取得證照，可視為廣義公務人員，理應貢獻力量善盡社會責任。

- (三) 橋樑之損壞形態，除前述之基礎遭沖刷裸露終至橋墩基礎嚴重受損外，其他原因可歸納為：
1. 橋樑興建階段之施工不良造成鋼筋保護層不足、龜裂、鋼筋位移、鋼筋鏽蝕、混凝土強度不足、混凝土含氯量太高、混凝土中性化、橋基之基樁底部沈泥量太多未予清除乾淨……等。
 2. 重車超載損壞橋面版、或車輛超高撞壞部分橋樑結構、以及佔用市區橋下居住之燃燒火害等之外力破壞行為。
 3. 年代久遠造成混凝土風化、表層剝落之受損情況。
 4. 綜合各項原因，應制定一套檢測作業準則，並建立每一橋樑長期檢測結果紀錄之電腦檔案，除方便認養技師作業外，並可由橋樑主管機關追縱列管。
- (四) 全臺各主要河川、溪流行水區之全面普查、檢討工作則應交由學者專家重新評估，尤其是河川、溪流高灘地之管制範圍是否應加大？並加強濫墾、非法養殖業之取締工作。
- (五) 位於高屏溪、濁水溪、大肚溪、大甲溪、大安溪、頭前溪等中南部主要河川經檢測確定已呈現橋墩基礎裸露之各危險橋樑，應妥善擬定固床工程之「施工計劃」，經專業技師公會審查認為可行後，盡速完成固床工作。
- (六) 土石採取規則有關一般橋樑上下游 500 公尺、重要橋樑上下游 1,000 公尺禁採之規定應擴大管制範圍。
- (七) 較精確定出斷層帶位置，除避免於其上施築新橋，對於斷層帶上及臨近斷層帶之舊橋應重新進行耐震評估，並據以完成必要之結構補強。

本次災情照片請參閱附錄二。

第二節 近年臺灣重大颱風暴雨之災情案例分析

一、 凡那比風災、高高屏大淹水之災情概況與研判分析

- (一) 時間：99 年 9 月 17 日～99 年 9 月 20 日。
- (二) 近臺強度：中度颱風，七級風暴風半徑 200 公里。
- (三) 近中心最大風速：45 公尺/秒。
- (四) 災情：造成大高雄地區近 50 年來最嚴重水災，5 人死亡。高雄縣 47000 多戶住家淹水深度超過 1 公尺。高雄市楠梓、左營、鼓山及三民區共 4 個行政區、高雄縣 12 個鄉鎮市及屏東縣 13 個鄉鎮市嚴重淹水。
- (五) 單日降雨量：高雄站單日降雨量 525mm。
- (六) 累積降雨量：兩天累積雨量高雄為 808mm、岡山為 950mm（連續 6 小時降雨量 567mm）、橋頭為 646mm、楠梓區為 618mm。
- (七) 2010 年 9 月 24 日凌晨，一道不太強的東北季風，讓臺灣基隆、汐止一帶在短短數小時以內降下 400～500mm 的暴雨，立即造成武崙國中辦公室遭土石流沖入、金山地區某社區地下室汽車全成泡水車、基隆市區淹水高度 30～50cm、臺鐵基隆站停駛 3 小時、汐止地區道路亦遭嚴重落石損毀等災情，東北季風降雨又急又多，為歷年來首見。2010 年 9 月 19 日，凡那比颱風侵襲臺灣，風速直逼 17 級之上限，降雨量由預估值 400mm，中央氣象局一直上修至 1,400mm，結果使得大高雄地區及屏東縣市區嚴重淹水。
- (八) 茲提出下列專業見解：
 1. 政府必須擬定全面減緩地球暖化之政策作為，並廣為宣傳，

以喚起各界之重視。

2. 全面禁止超抽地下水之行為，而非僅限於高鐵沿線 1,000 餘口井之小部分面積。政府尤應讓百姓明白：今日超抽地下水，無異於慢性的自掘墳墓，等同於將身家財產及性命慢慢地陷於絕境，即使可以短暫的顧及餬口度日，但是，卻是一再造成地層下陷、衍生全面地層土壤鹽化、淹水日益嚴重的元兇，不釜底抽薪，則永無解脫之日，甚至於走向全部滅頂的悲劇。
3. 全面加強山坡地防洪造林等措施，勿再放任盜砍林木、破壞水土保持之違法行為。
4. 加速興建都會區地下排水設施。
5. 全面提昇市區公路系統採用排水性或透水性鋪面之比例及成效。日本早在 1997 年的使用率即達 30%，至今應已達 50% 以上，備受全世界肯定及效法。
6. 在大高雄地區興建滯洪池，可參考日本東京埼玉縣之地下水庫，據知可容納數百萬噸之水量，不但可收緊急排洪之功效，暴雨過後，更是供作民生用水之寶貴水資源。可謂是全球之先驅角色。日本人以其先進的土木工程技術在埼玉縣興建之大型地下水庫，於 1992 年開工，係由一連串之鋼筋混凝土立坑所組成，每一立坑高約 65 公尺（約 22 層樓），32 公尺寬，位於地下 50 公尺深處，此一連串之混凝土立坑再由 6.3 公里長的隧道連接貫通。除此之外，還建造一座 25.4 公尺高、177 公尺長、78 公尺寬之巨型調壓水槽，其內有 59 支混凝土支柱。此地下水庫總儲水量為 67 萬立方公尺，以 14,000 匹馬力的渦輪機達到每妙 200 立方公尺之排水量，此一地下水庫之照片，請參閱附錄四。此項構想除可解決大高雄地區颱風暴雨季節淹水之水患問題，雨季所儲存之水量，可作為每年高雄（甚至是南部地區）旱季缺水季節之水源。每年之缺水季節將地下水庫儲水用完，立即清理淤

泥，以備次年雨季之用，一項措施可同時解決兩個問題。

本次災情照片請參閱附錄五。

二、 莫拉克颱風八八水災小林村滅村之災情與研判分析

莫拉克颱風於 98 年 8 月 7 日 23 時 50 分由臺灣花蓮縣登陸，8 月 8 日 14 時由桃園縣出海。8 月 6 日至 8 月 9 日，因中颱莫拉克侵襲臺灣伴隨而來的大量雨勢，打破臺灣氣象史諸多降雨紀錄，造成臺灣中南部及東南部嚴重水患，亦為八七水災（民國 48 年）以來最嚴重的水患。

98 年 8 月 8~11 日莫拉克颱風帶來連日超大雨，累計 3 天總雨量上修到 2,500 毫米，其中單日降雨量三地門尾寮山 1,400 毫米，刷新臺灣單日降雨量紀錄，單日降雨強度超過 200 年降雨頻率，8 月 7 日~9 日累積雨量山地門尾寮山為 2,568.5mm，高雄桃源鄉御油山為 2,391mm，高雄桃源鄉南天池為 2,254mm，屏東山地門上德文為 2,197.5mm，高雄桃源鄉小關山為 2,117.5mm，降雨量之大，實屬罕見。以致造成高高屏地區 50 年最大水患，災情慘重。

同年 8 月 9 日上午 11 時 40 分，在知本溫泉入口經營 30 年的金帥飯店無法抵擋知本溪洪流的衝擊，瞬間掉入知本溪，經由電視轉播震撼了全國民眾，亦登上國際媒體。8 月 8 日太麻里溪洪流越堤，滾滾洪流淹沒了臺東的生命線——南迴鐵路、南迴公路及 2、3 百公頃的果園、房屋、鐵路、公路之路基及橋樑遭沖毀，交通中斷，臺東災情極為慘重！

在此次嚴重水患中，全臺橋樑被河水沖斷約 20 座，其中省道級橋樑有 8 座，8 座橋樑中又有 7 座是出自災情最嚴重之高屏地區，如雙園大橋（臺 17 線）、六龜大橋（臺 27 甲線）、大津橋（臺 27 線）、新旗尾橋（臺 3 線）、舊旗尾橋（臺 28 線）、臺 24 線第一號橋（伊拉橋、臺 24 線）、民族橋（臺 21 線）與甲仙大橋（臺 21 線/臺 20 線）等 8 座。

98 年 8 月 8 日降雨量幾達 2,000mm，大規模約 3,000 萬立方公尺

山崩土石流淹沒小林村、同時造成中南部各縣市河水氾濫、邊坡土石流、房屋倒塌以及大區域的淹水，共計奪走 699 人（含失蹤者 26 人）寶貴的生命。

再觀 98 年 7 月巴基斯坦水災之狀況，聯合國明白指出：受災情形比 2004 年的南亞海嘯更為嚴峻。經統計其全國約 20% 的領土泡在水中，受難人數超過 2,000 萬人，近 90 萬棟房屋損毀，超過 1,400 人死亡，尚有 1,200 萬人以上無家可歸，綜觀中外暴雨成災之事實，茲進一步歸納分析專業見解如下：

- （一）地球自有氣溫歷史紀錄以來，若以每 100 年的年平均地表溫度而言，高於 15°C 時，則經常發生巨大災難。
- （二）20 世紀全球年平均地表溫度上昇的幅度約為 0.6°C。
- （三）2010 年 1~7 月，年平均地表溫度已較往昔再昇高 1°C，使得雲層水氣凝結的重量增加 7%（20 世紀平均值為 2%）。導致降雨強度及頻率不斷提高，颱風或颶風一旦形成，其行進之距離一再延長、使水氣加速凝聚，造成山崩及市區淹水已成常態性災難。
- （四）預估 2035 年時，全球年平均地表溫度最少會再昇高 0.75°C，屆時降雨的強度及降雨量，將是 2010 年的 3 倍以上。
- （五）臺灣中央山脈每年平均增高 5~7cm 之譜，雲嘉南平原每年平均沉陷 6~7cm 之多。東西向相對高差每年則以 11~14cm 的速度加快差距，將使暴雨洪水沖刷之程度更形嚴重，濱海地區一旦淹水、等待積水消退之時間亦更加延長。
- （六）20 世紀全球海平面平均高度已上昇 0.1~0.2m，北半球中高緯度地區發生豪雨的頻率最高值已增加至 4%，每 10 年降雨量則相對增加 0.5%~1.0%。
- （七）自 1960 年代末期至今，全球覆雪面積已經減少 10%。
- （八）19 世紀中期以來，即有全球暖化之現象，此一現象造成水蒸汽、二氧化碳、甲烷、氟氯碳化物及一氧化二氮的大量增加，

僅第一項（水蒸汽），就是導致氣溫不斷上升、洪水頻率一再破表的元兇。

- （九）危險聚落、村莊，於近年來歷次颱風暴雨來襲時，一再沖毀連絡道路、淹沒民宅，造成不少人員傷亡，亦耗費政府龐大救災人力、資源。建議政府應著手規劃遷村、限制居住、開發範圍之整體國土計劃。

本次災情照片請參閱附錄二。

三、 納莉颱風重創北臺灣、造成臺北大淹水災情之研判分析

「納莉颱風」於 90 年 9 月 16 日 21 時 40 分左右自臺灣東北角登陸，橫掃臺灣北部地區後進入臺灣西部，颱風移動速度極為緩慢，滯留臺灣時間長達 49 小時，最大單日降雨量達 746mm，超過 400 年洪水頻率之日降雨量 625mm，亦遠超過 200 年洪水頻率之日降雨量 547mm，更遠超過臺灣脆弱山坡地可能發生坍塌之臨界雨量 300mm/日。使得臺北縣轄區山區道路及河川護岸受創嚴重，更造成臺北市地下捷運系統部分路線因淹水而暫停營運達 3 個月之久，損失慘重。

納莉颱風於接近臺灣時，其最大強度屬中度颱風，近中心最大風速達每秒 40 公尺，相當於 13 級風，颱風之陸上警報發佈時間為 90 年 9 月 15 日 2 時，解除時間為 90 年 9 月 19 日 17 時。此次颱風共造成全臺 94 人死亡、10 人失蹤、265 人受傷，其中因為坡地災害致災者，計 25 人死亡、2 人失蹤、1 人受傷。

納莉颱風所造成的死亡及失蹤總人數創下近 30 年來，僅次於 66 年 7 月「薇拉」及 90 年「桃芝」颱風侵襲的第三高紀錄。根據統計資料，死亡人數以臺北市 26 人最多、其次是臺北縣 21 人、基隆市 10 人、苗栗縣 9 人、嘉義縣 6 人、桃園縣 3 人、新竹縣 3 人、新竹市、彰化縣、臺中縣、臺南縣各 1 人，死亡原因大多是土石流掩埋和溺斃。

颱風帶來的暴雨，使北部山區降雨量創下 14 年來新高，多處累積的雨量超過了 300 毫米，北部平地雨量更是創下 1930 年來歷史最高紀錄。臺北市南港站及內湖站測得之最大當日降雨量分別為 746.5mm 及

第二章 近年來臺灣及鄰近國家重大災害（地震、颱風暴雨）之災情回顧與研判分析

717mm，依水文分析推估納莉颱風所帶來之降雨量已超過 400 年頻率。北臺灣地區基隆、宜蘭及臺北縣市一片汪洋，10 多處地方爆發泥石流，溪水暴漲、河水倒灌、道路崩塌，造成嚴重人員傷亡。據統計，下雨三小時後，三分之二的北部就已成水鄉澤國，繁榮極盛的北投、士林、內湖、南港都遭滅頂，九成以上的地下停車場都已被淹。到 17 日上午，經過一夜狂風驟雨，忠孝路被人們形容為「忠孝大河」，最深地方超過 200 毫米。

在 90 年 9 月 16 日當天，「鞍部」及「竹子湖」氣象站測得之日降雨量超過 300mm，分別為 517.5mm 及 685.0mm；9 月 17 日當天，「臺北」及「竹子湖」氣象站測得之日降雨量亦超過 300mm，分別為 425.2mm 及 339.5mm。因此，連續兩天之「日降雨量」皆超過「臨界雨量」。

臺北捷運的淹水是此次颱風最為嚴重的災情，大水由板南線灌入淡水線與新店線，臺北車站地下 3、4 四樓全都淹水，捷運行控中心也自地下 4 四樓向上淹至地下 3 三樓，造成重運量系統行車控制中心之控制設備淹水，檢修半年後才完全恢復正常。大水從板南線分別往北邊的淡水線與往南的新店線灌入，往北淹到雙連站，臺北捷運公司所在地的地下 3 三、4 四樓也泡水，往南最遠淹到古亭站，其間的中山站、臺大醫院站、中正紀念堂站，全部淹水。

臺北捷運防水設施係按 200 年洪水頻率（我國河川堤防之法定設計標準）再加 1.1 公尺洪水位而設計，另外再加內部排水設備，構成整個防水系統。行車控制中心設於地下 4 四樓，亦是在此一防水系統保護中。由此可知，臺北捷運是有淹水的可能，豪大雨超過此一設計標準，臺北捷運就會淹水，淹水的嚴重程度與豪大雨超過設計標準之程度成正比，。已經超過臺北捷運之防水設計標準。

納莉颱風對臺北所造成的災情嚴重可，儘管臺北市已經擁有 200 兩年洪水頻率的保護堤防，中央政府更已投入 100 百億元鉅資進行基隆河整治計畫，一旦大自然的反撲迎面而來，暴雨超越現有水利工程所能負荷，連號稱亞洲規模最大的玉成抽水站也遭水淹沒；加上連日來垃圾山佔據街頭、大樓地下室淹水情況嚴重，首度面對大自然所產

生的災害，臺北市民終於深切體驗到相當無助與無奈。茲提出分析如下：

- (一) 本次颱風之邊坡災害位置，大多是坡面未予保護，以致坡面受到沖刷或水流入滲邊坡造成地層軟化而導致邊坡坍塌；或既有擋土牆大多為漿砌卵（塊）石駁坎或無筋之重力式擋土牆，致擋土牆之強度及穩定性不足而造成擋土牆龜裂、移位或傾倒。另既有擋土牆排水孔不足或阻塞，以致牆背水壓力太大而導致擋土牆破壞。每一山坡皆有其「臨界降雨量」，當降雨強度超過臨界雨量時，該坡地即可能發生坍塌。洪如江教授（民國 81 年）曾建議日降雨量超過 300mm，為臺灣脆弱山坡地之臨界雨量。
- (二) 邊坡坍塌之破壞模式主要有以下幾種：（1）圓弧破壞（2）平面破壞（3）流動破壞（4）傾倒破壞（5）楔形破壞（6）落石（7）坡面沖蝕等。其中土壤邊坡較常發生圓弧破壞、流動破壞及坡面沖蝕；而岩石邊坡較常發生之破壞模式則有平面滑動破壞、傾倒破壞、楔形破壞及落石。納莉颱風引致災害，發生最多之五種破壞模式為：（1）圓弧破壞（2）路基流失（3）坡面沖蝕（4）河川護岸破壞及（5）擋土牆破壞；而造成山區道路柔腸寸斷之主要原因為下邊坡之「圓弧滑動破壞」、「坡面沖蝕」及路側「河川護岸沖毀」所造成之「路基流失」所致。
- (三) 依據近年來歷次颱風暴雨之降雨強度，重新檢視修正時雨量，以茲檢核臺北各抽水站抽水機之抽水量。必要時外加備用機組（包含發電機、抽水機等），以符合臺北之防洪需要，以避免市區大淹水之事件重演。
- (四) 有關建立各所轄山區道路沿線或地區範圍之「臨界降雨量」資料庫或「降雨量」與邊坡發生災害之關係資料，並仿照中央災害應變中心根據「降雨量與潛勢資料」，有必要適時提供警戒資訊，並即時撤離疏散可能發生土石流危險地區民眾

第二章 近年來臺灣及鄰近國家重大災害（地震、颱風暴雨）之災情回顧與研判分析

之模式，在颱風豪雨來襲時能適時提供資訊發佈警報，以提醒居民注意，必要時則對居民進行緊急疏散以減少民眾傷亡及後續救災之工作。

- (五) 2000 年 11 月重創北臺灣的象神颱風，相關單位公佈其雨量相當於約 150 年降雨頻率。按統計學概念，在一年內發生兩次超過 150 年頻率的降雨，其機率可說量微乎其微。顯示目前政府頒佈的水保技術規範及其他官方規定的降雨頻率公式所得數值嚴重不足，必須進行檢討，以因應異常的天候。

本次災情照片請參閱附錄五。

四、 象神颱風、北北基淹水之災情概況與研判分析

- (一) 時間：89 年 10 月 30 日～89 年 11 月 1 日。
- (二) 近臺強度：中度颱風，七級風暴風半徑 250 公里。
- (三) 近中心最大風速：38 公尺/秒。
- (四) 災情：臺北、汐止、基隆及宜蘭部分地區積水嚴重，並造成全省共計 64 人死亡。
- (五) 累計降雨量：北部山區超過 800mm。
- (六) 象神颱風帶來 150 年一次的暴雨量，不僅使基隆河水位暴漲，更使得基隆鄰近火燒寮之地表逕流量，打破 200 年來之紀錄；連日豪大雨，更使得九分山崩，土石滑動近 500 公尺；池上山棕寮的走山，地層滑動 50 公尺。上述之天災，在在都使民眾生命、財產受到嚴重之威脅，而之所以造成如此嚴重之天災除了氣候異常之外，環境的破壞亦是主要之原因。
- (七) 就環境衝擊而言，國土開發及自然災害是兩個相關性極大，環境的惡化程度將隨積極發展經濟而快速增加，此結果實在值得新政府及國人深思，如何改善國土開發模式，達到經濟與環境之協調，才能符合「永續發展」的要義。
- (八) 全球氣候異常現象，所引發之災害愈來愈嚴重，雖然土木技

師、大地技師及水保技師等相關專業技師，窮畢生精力，絞盡腦汁，以工程手段，針對已發生土石流、山崩及河流暴漲等災區，研擬最可行之搶救工法，以避免發生二次災害。惟政府若不正視臺灣環境已受到嚴重衝擊的問題，仍秉持一向為達到經濟成長，而持續採用積極開發國土之模式，則臺灣未來勢必將承受更大、更嚴重之災害。

- (九) 雖然象神颱風是天災，然不可否認亦有人為因素，而其中最主要為國土保育工作不足、環境資源過度開發，專業技師只能局部為災害復建提供工程上解決之道，政府與人民仍應在觀念上與立法上改變以往對大自然的作法，再加上專業技師的貢獻，方能精確得擬定國土開發之模式，並與經濟成長平衡發展。

本次災情照片請參閱附錄二。

第三節 近年臺灣及鄰近國家重大地震災害之回顧

一、 日本 311 東日本大地震並引發大海嘯之災情分析

(一) 地震概況與災情

1. 時間：2011 年 3 月 11 日下午 2 時 46 分。
2. 震央位置：日本宮城縣首府仙臺市，以東約 125 公里之太平洋海域。
3. 震源深度：24.4 公里。
4. 地震規模：芮氏 9.0。
5. 災情統計：引發 40.5 公尺高海嘯造成福島核電廠重大災難，並導致 14,300 人死亡、11,999 人失蹤。

- (二) 有鑑於此次日本因地震、海嘯所導致之核電災難，茲提出分

析意見如下：

1. 臺灣電力公司表示此次核災，海嘯影響遠大於地震，惟核一廠關閉防海嘯閘門須花 30 分鐘，若真的因地震發生海嘯來襲，閘門結構是否能確保在第一時間不被震損無法運作？關閉閘門的電源（備用電源或外電）是否仍能順利運作啟動閘門？
2. 此次核災直接原因為海嘯造成備用機組失效，使冷卻系統無法運作。但即使無海嘯來襲，大地震時我們備用機組之基臺結構、輸配電系統、冷卻水輸送管線耐震能力是否足夠？能否確保不被震損而繼續正常運作。
3. 此次日本發生規模 9.0 地震之地區，過去日本專家評估最大可能來襲強震為規模 8.0（規模 9.0 之破壞能量為規模 8.0 之 32 倍），可見自然災害之不可預測。我國核一、核二廠中間除已知有活動斷層（山腳斷層）存在外，附近地區 1867 年基隆外海曾經發生規模 7.0 強震，1909 年在陸地上曾經發生與 921 地震同規模（7.3）之強烈地震，921 地震時，震央附近地表震動接近 1g，若同樣規模或更大地震來襲時，我們核一、核二廠原設計標準之 0.3g 及 0.4g 是否足夠？
4. 恆春地區在 95 年發生兩次規模 7.0 強震，此二次地震規模超過核三廠原先假設可能發生之地震，核三廠感受震度接近安全運轉基準的設計地震，若更大地震來襲？
5. 日本 2006 年頒布核電廠新耐震設計規範，全日本 55 座核電廠立即著手耐震結構補強至耐震標準 0.6g 以上，其中柏崎電廠因 2007 年新潟地震量測到 0.68g 的地表震動，將原設計之 0.25g 補強至 1g；濱岡電廠因鄰近東海斷層之潛在威脅（我們核電廠也都鄰近活動斷層），從原設計之 0.45g 補強至 1g。
6. 美國加州兩座核電廠，也因發現新的活動近斷層，其中 Diablo 電廠從原設計之 0.45g 補強至 0.75g，San Onfre 廠

原擬補強至 0.66g，因結構補強經費過高而除役。

7. 據報載德國立即著手 7 座 1980 年以前之老舊核電廠安全評估工作，除非我國之核電技術比日本、美國、德國先進，或地震潛在威脅比他們還輕，否則政府不宜輕率保證我們一定比日本核電廠安全。

- (三) 前述美國加州核電廠因結構補強經費過高而除役，反觀我們的核一、核二廠如果為了延役而投入龐大結構耐震補強經費其實並不符合經濟效益原則，因此此一議題之研擬與決策，必須及早進行。

本次災情照片請參閱附錄二。

二、 中國大陸四川省汶川大地震之災情與研判分析

- (一) 四川汶川大地震的威力向上修正為芮氏規模 8.0，經濟損失超過 200 億美元

2008 年 5 月 12 日 14 時 28 分，中國大陸四川省汶川縣（北緯 39.8 度，東經 116.8 度）發生比 1976 年河北唐山大地震（芮氏規模 7.8）更強大的地震，中國國家地震局發佈將此次四川汶川大地震的威力向上修正為芮氏規模 8.0。根據美國地質調查所公佈資料：此次地震震源距地表 29 公里，震央位於四川省省會成都市西北方向 92 公里處。災情嚴重區域除震央汶川縣（下轄 6 鎮 8 鄉）外，尚包括綿陽地區（下轄 2 區 1 市 6 縣，災情最嚴重的北川縣，即為 6 縣之一）、德陽市（下轄綿竹市、什邡市，災情嚴重的漢旺鎮即隸屬綿竹市）及都江堰市（下轄 17 鎮 2 鄉），受災情況均十分嚴重！中共官方不斷修正傷亡人數，截至 97 年 5 月 26 日中午 12 點官方統計死亡 65,080 人，受傷 360,080 人，失蹤 23,150 人。根據全球著名災難評估公司 Air Worldwide 日前表示，此次，四川汶川大地震所造成的經濟損失可能將超過 200 億美元。

（二）斷裂部分長度 300 多公里，寬度約 60 公里

根據美國地質探勘局、中國地震局及日本東京大學地震研究所之地震訊息顯示：此次地震成因係印度洋板塊向北移動，擠壓歐亞板塊，造成青藏高原的隆升，高原在隆升的同時，亦同時向東移動，擠壓四川盆地。但來自青藏高原深部的物質向東流動到四川盆地受阻，向上運動，兩者邊界即為斷層面。日本東京大學地震研究所表示：此次地震位於龍門山斷層帶，斷裂部分自東北向西南沿著四川盆地的邊緣分佈，長度 300 多公里（遠大於 921 大地震車籠埔斷層的 100 公里），寬度約 60 公里。亦即汶川大地震發生在青藏高原的東南邊緣，川西龍門山的中心，震央位於汶川縣的映秀、漩口附近。因此災情嚴重區域包含：汶川縣城、茂縣、北川、都江堰、彭縣、什邡、綿竹、安縣等，距震央 50~100 公里。

（三）此次震區都是懸崖峭壁，震後山崩地滑情形相當嚴重

另根據最近十年地質學家所建立的「地殼板塊構造學說」的理論，地球表殼大約分成 12 個大型板塊，這些板塊厚度約有 100 公里，其下方係由半熔化的較軟的岩層支持著，由地球內部大量的熱能加上地球自轉的交互作用，這個具有流動性的半熔化岩層，即可能發生大規模緩慢的對流運動，進而促使飄浮在其上方的板塊相對運動起來，此一地殼板塊運動乃是造成地震的基本原因。相較於 1976 年的唐山大地震，由於此次震區都是懸崖峭壁，震後山崩地滑情形相當嚴重，但唐山大地震發生在人口更為密集區域，發生時間又在夜間，且那個年代房屋多數為結構強度較弱之建材所建造，因此死亡人數超過 24 萬人。

（四）汶川、北川、都江堰抗震設防裂度均為 7 度

中國大陸建築抗震設防分類為：建築物應根據其使用功能重要性分為甲類、乙類、丙類及丁類，四個抗震設防類別。甲類建築屬於重大建築工程和地震時可能發生嚴重災害的

建築；乙類建築屬於地震時使用功能不能中斷或需盡快恢復的建築；丙類建築屬於除甲、乙、丁類以外的一般建築，為大量工業與民用建築；丁類建築屬於抗震次要建築，如單層倉庫或人員活動少的建築。全國根據不同行政區，劃分不同抗震設防烈度，例如北京 8 度、上海 7 度、廈門 7 度，此次震區之汶川、北川、都江堰均為 7 度。地震設計標準則為：甲類建築應採取特殊抗震措施；乙類建築除特殊要求外，一般係按當地抗震設防烈度提高一度；丙類建築應按當地設防烈度；丁類建築則按當地抗震設防烈度降低一度（但 6 度時不再降低）設計之。查抗震設防烈度 6 度之地表（震）加速度值為 0.05g 即 50gal；7 度為 0.1(0.15)g 即 100~150gal；8 度為 0.2(0.3)g 即 200~300gal；9 度為 0.4g 即 400gal。另查此次震區之茂縣為 0.15g，以及成都、北川、安縣、綿竹、汶川，都江堰等地區均為 0.1g。相較於臺灣在 921 大地震後，將許多弱（中）震區提升為中（高）震區，臺灣地區目前分為 200gal、240gal、280gal 及 320gal 四級，則此次受災最嚴重的汶川、北川、都江堰等地區國家耐震標準的 100gal（0.1g），明顯相當低！

（五）災區數以千、百計的中、小學（校）之學校建築均全數遭到摧毀

另深入瞭解災區情況，不難發現學校建築除少數一、兩所未倒塌外，數以千、百計的中、小學（校）之學校建築均全數遭到摧毀，學生死傷極為慘重，其原因歸納如下：

1. 此一地區數百年來（甚至上千年）未曾發生大地震，不僅一般百姓不具地震逃生及防災常識，建築設計者完全不考慮耐震設計（如耐震箍筋、強柱弱樑等觀念），乃至於國家所訂耐震標準太低所致。
2. 學校屬公有建築，由政府發包交給開發商，再轉包給建築商，層層轉包，施工品質低劣，應是另一主因。

3. 震央附近震度太大，固然天災之因素亦為倒塌之主因，但學生及教師防災常識缺乏，集體湧向樓梯間往下逃命，造成力量集中及共振效應，更為加速建築之倒塌，應為另一造成重大傷亡之因素。

（六） 中國應檢討提高耐震設計標準

中國政府此次投入救災行動之迅速、積極，不設限地接受外國援助與媒體資訊之公開，深獲好評！相較於在同一時間，緬甸軍政府處理嚴重風災（熱帶氣旋）之完全拒絕外國援助（僅容許些微人道救援），與新聞封鎖、漠視生命之態度，反遭到國際社會嚴厲譴責！中國政府之明確決策以及改革開放，溶入國際社會的積極作為，的確應予肯定！另，從慘痛經驗中記取教訓，中國官方除可參考臺灣 921 地震重建經驗，檢討提高耐震設計標準，尤其是都會區人口密集者優先，加強耐震施工品質管控，對於現有建築進行耐震評估與補強外，亦應普遍教育一般民眾緊急逃生、避難常識，建構完善防災、救災體制，才能在重大地震災害中，盡可能減少、減低災情。

本次災情照片請參閱附錄二。

三、 臺灣 921 集集大地震之災情與研判分析

921 集集大地震規模 7.3，震央附近水平加速度超過 $1g$ ($=9.81$ 公尺/秒²)，遠較日本阪神大地震規模 7.2 震央水平加速度之 $0.8g$ 大得多，位於震央附近村落、城鎮遭到毀滅性破壞，造成人畜慘重傷亡；以及位處斷層帶上之公路、房舍、田地……受到擠壓扭曲變形，向上隆起最大達 3~4 公尺，水平位移量最大亦高達 9.55 公尺。根據文獻記載，歸類為存疑性活動斷層之大茅埔—雙冬斷層為南北走向，北起東勢向南延伸至集集全長約 55 公里，大部分穿越山區地震後山崩情況十分嚴重；另外亦為南北走向之車籠埔斷層屬第二類活動斷層，斷層北端為豐原向南延伸至南投名間，長度超過 50 公里；經歷此次大地震斷層地表破裂，經過豐原後如果直線北上，東勢災情將不致如此慘重，

但卻向東轉彎 70°經石岡與大茅埔一雙冬斷層從左右包夾東勢鎮，車籠埔斷層於橫越大甲溪後切入卓蘭鎮內灣，最後到達苗栗東安，長度也由原來的 50 公里增長為 80 公里，斷層破裂長度超過 80 公里，成為全球突出地表長度最長之裸露斷層；兩條斷層錯動力量匯集同時夾擊東勢造成毀滅性破壞，死亡 390 多人災情最為慘重！足見斷層破壞威力之大。如此空前大災難均屬天災，無庸置疑。但遠離震央之臺北地區水平加速度僅 58.8gal~135.93gal（約 0.1g 左右相當於震度 4~5 級），遠低於建築技術規則規定之 0.23g，（按規定 6 級地震之水平加速度為 0.25g 以上）；以及臺中地區測得水平加速度 0.2g，其相對建築技術規則規定則為 0.23g；均未超出建築物設計興建所應承受之地震水平力；不應倒塌的大樓卻倒了，造成人員慘重傷亡！這些都應該是人禍，不能說是天災。面對此次大災難，謹提出分析如下列：

- （一）建築技術規則係民國 63 年 2 月首次頒布，在此之前的耐震設計等沒有規定，71 年 6 月，建築技術規則有關地震力及鋼筋混凝土結構物的韌性設計，做了大幅度的修正。78 年 5 月則根據 75 年 11 月 15 日於花蓮東南方 10 公里處發生規模 6.8 之地震，對臺北盆地之地震力係數做了修正，至 86 年 5 月再次就地震力規定做了根本性的改變，如此看來歷經 17 年，臺灣之耐震規範僅做過兩次修正，頻率遠低於日本。
- （二）建築物韌性設計之觀念、原則與精神應為：在大樓遭遇強震來襲時，建築物應具備即使結構體已嚴重受損但仍不易倒塌，進而即使非倒不可亦應緩慢倒下來，至少留有幾分鐘人員逃生之時間，而非在短暫數秒之內全部倒塌！亦即應具備強柱弱樑之結構設計原則。以先進國家為例：美國規定 0.4g 以上為大地震，結構體只允許嚴重裂損但不可倒塌，日本則規定 0.08g 為小地震不管結構或非結構體均不能有裂損。
- （三）舊有建築物之全面性耐震體檢與評估：民國 71 年以前，在舊規範時代背景下所興建之公有建築物及學校，均已陸續進行全國性之耐震體檢、評估，並對於未達安全規定、標準者完成必要補強。但存在已久之老舊私有建築物，10 多年的時

間過去了，我們卻什麼事也沒做，著實令人憂心忡忡！

- (四) 較精確調查、測得斷層之位置，並在斷層帶一定範圍內採行限建或禁建措施。分佈在臺灣各地之 33 條斷層，其正確位置應盡速重新予以調查定位；比例尺盡可能達到 1/2000 甚至 1/1000 而非目前之 50 萬分之一，且對於存疑性活動斷層有計劃地逐年分區加以正確歸類為第一類或第二類活動斷層；以確保各項新建工程得以正確地避開斷層帶位置。
- (五) 內政部營建署曾經公佈全臺 30 年以上私有老舊建築物約有 75 萬棟、300 萬戶，都達不到耐震五級之標準，因此推出自力都更措施。其實都更是徹底解決根本之道，但涉及整合、財務等複雜問題，恐難在短時間之內解決問題。尤以臺北盆地如果發生（或在週邊地區發生）淺層強烈地震，恐怕後果不堪設想。

另，本研究案之座談會上營建署以書面意見表示：「有關老舊私有建築物耐震評估及補強，查本署前於 97 年間參考美、日等國之制度，研擬『原有合法建築物耐震評估及補強促進條例（草案）』，邀集金管會、財政部、主計處等相關單位，研商有關私有建築物獎勵補助措施，惟涉稅賦及財務支出事宜，對政府整體財政影響甚鉅，爰經相關財稅主管機關表示不宜推動。復經修正排除財稅優惠，提報條例草案送法制單位審議，認為缺乏獎補助誘因，對社會衝擊甚大，建議暫緩推動。另提報行政院災害防救委員會討論，決定仍依建築物實施耐震能力評估及補強方案，先行推動公有建築物之耐震評估及補強工作。至本項議題貴公會如有具體可行之建議作法，建請提供本署參考。」。

是以，此一議題應被列為政府施政尚待解決之重要政策之一，於是研究團隊將此一問題列入立即可行、中長程政策建議事項內。

本次災情照片請參閱附錄二。

四、 日本阪神大地震之災情概況

1995年1月17日日本關西地區以神戶市為中心之區域，於凌晨五時四十六分，發生芮氏規模7.2之強烈地震，日本鐵道山陽新幹線在兵庫縣的八個橋墩均告折斷，私鐵阪急、阪神的神戶線同樣嚴重受害；高速公路柔腸寸斷，水、電、瓦斯全部停止，死亡人數5,329人，失蹤不明者2人，房屋倒塌10萬3,538棟，死亡中包括華人43人（以上數字為日本警察廳1995年2月14日發佈）。最初日本政府稱之為「阪神、淡路大震災」，災民人數達30萬人，為第二次世界大戰後五十年以來規模最大的地震，僅次於1923年9月1日發生的「關東大地震」，當年東京全部房屋48萬3,000戶，其中有30萬9,000戶被燒燬，死亡人數高達6萬8,660人。災情嚴重程度遠甚於1994年1月17日美國洛杉磯發生6.7級地震及1989年美國舊金山所發生的7級以上大地震。

本次災情照片請參閱附錄二。

第四節 性能設計法規範於公共設施安全之應用

一、性能設計法規範的意義

針對上述案例分析，重大天然災害對民眾生命、財產安全影響甚大，如未能於災害發生前預就公共設施進行規劃與建設，恐致災害擴大、傷亡更多。我國公共設施之大地工程設計規範目前仍採用傳統安全係數的容許強度設計法（Allowable Strength Design, ASD），由於該法係以力為觀念之設計，並非以位移或性能的考量做為設計依據。在使用上較未能切合實際需要。目前先進國家均已朝向性能設計（Performance Design, PSD）發展，而不採用安全係數作為設計標準。

相較於傳統的容許強度設計法，性能設計法主要以耐震設計為重點，其基本原理係取代原先以力為觀念之設計，替代以位移或性能的

考量做為設計依據。有別於現行設計法部分，在於：

- （一）考慮到多等級地震的危害，設計目標較為直觀透明，設計為目標導向。
- （二）採用能準確反應結構行為的分析方法。
- （三）兼顧結構與非結構破壞及建築物之機能
- （四）設計結果滿足預定設計目標，並且具有可靠度。
- （五）設計結果可以滿足建築物生命週期之成本最低。

其主要優點在於提供更合理、安全、經濟等標準，我國目前尚未完成採用性能設計法的規範，工程上亦因缺乏相關規範，而無法立即採用。建議可優先於重大公共工程建設（如高速公路等）中採用，另需提供變革誘因，以鼓勵工程界全面採用性能設計法的規範。

二、性能設計法規範適用情形及步驟

由於我國位處地震帶及季風影響地區，每年遭受地震、暴雨的威脅。又都市的發展，建築物的各種機能也日趨複雜，為了確保民眾生命及財產的安全，除了往針對各小、中、大地震制定受損害之容許範圍之外，有必要透過性能設計，對各類建築之需求與特質，加以強化性能設計。而制震構造建築物的設計，先是將地震對建築物的災害大幅降低，無論是大規模的建築物及住宅社區等小規模的建築，均有應用實例，足以成為公共設施設計規範之參考，近年因先進國家積極採用，尤其工程實務人員對日趨成長之制震技術也已具備相當之知識，在性能方面，如何加強設計、評估、建設制震系統及構造的知識與技能，且裝置設計之規格，及實際保障經設計後之性能，使構造物能發揮預期之性能效果。

先進國家對於建築物或設施性能式設計審查標準作業大致上可分為下列步驟：

- （一）分析或設計之目的（Objectives of the Analysis or Design）：
可以被驗證認可的理由。

- (二) 設計途徑之敘述 (Statement of Design Approach)：方法的取用、為何被取用、假設為何、應用何種工程工具與數學。
- (三) 建築物位置或計畫資訊 (Site or Project Information)：危害分析與架構的描述。
- (四) 目標與目的的敘述 (Statement of Client Goals and Objectives)：性能式分析與設計的認同，誰同意？何時同意？
- (五) 性能基準 (Performance Criteria)：設計基準、性能基準與性能要件間的關係，包括安全與可靠度的應用及必要的支持。
- (六) 替代設計 (Design Alternatives)：替代設計的選擇、替代設計的決定與不接受的依據、假設與限制。這些應包括特殊設計目的的使用、對性能基準設計目的及建築物變更使用、物品、人員等的替代設計選擇之敏感性討論，結果的對照比較。
- (七) 設計工具與方法的使用 (Design Tools and Methods Used)：主要指分析或設計所用之工程工具和方法，包括參考文件的使用（文獻、數值、軟體版本…）、假設、限制、工程審查、輸入值、驗證數值或程序以及靈敏度分析。
- (八) 測試、檢驗與維護要件 (Test Inspection and Maintenance Requirements) 測試程序、維護時程。
- (九) 安全考量 (Safety Concerns)：變更使用、物品或材料的更換、建築物內部作業人員與使用者的教育與訓練..等之討論。
- (十) 參考資料 (References)：軟體文件、文獻、報告、技術資料表、測試結果。

有關鋼筋混凝土結構設計，因早期採用工作應力法，後來進步到極限強度法之設計（規範、計算公式），國內公共設施之大地工程設計目前仍採用傳統安全係數的容許強度設計法，尚未如歐、美及日本等先進國家採用性能設計規範。以鋼筋混凝土結構設計之工作應力法設計時，僅考慮將鋼筋的降伏強度乘上0.45作為計算鋼筋可承受之容

許應力，安全因素約為兩倍（即1大約為0.45之兩倍），整體結構並未考量其他因素。惟極限強度法於計算時，將結構體本身自重加大約40%（即1.4倍），活載重（如室內的傢俱、人體…等附加上去的重量）加大70%（即1.7倍的），然後混凝土強度再乘上85%（其原因為混凝土因拌合、配比、粒料等多項施工因素影響無法達到100%）。

設計經驗經一再累積，因此較周詳考慮的極限強度法之設計，已取代工作應力法。國內公共設施之大地工程設計於決定安全係數的大小時，主要的考慮因素包括：風險（對生命、財產的損失）及不確定因素（對未知因素的掌握程度）。以邊坡穩定分析為例，香港結構工程組織依邊坡屬新作或舊有、破壞對生命與財產損失的風險，而訂定不同之設計標準，新設邊坡即有9種不同組合之安全係數，對生命與財產風險愈高，安全係數的標準也愈高。我國目前一般採用之安全係數均尚未考慮風險因素。另以基樁之單樁垂直容許承載力的估算為例，依據建築物基礎構造設計規範（內政部，2001），採用支承力推估公式時，安全係數為3.0；採用樁載重試驗時，安全係數為2.0。前者安全係數較高，即係因為採用支承力推估公式時之不確定因素較多所致。設計時難免有許多不確定因素，因此設計時基本資料愈充分、正確，不確因素愈少，愈可保障公共設施之安全。以大地工程為例，大地工程調查（包括地質調查、鑽探及試驗等）愈詳實、品質愈佳，愈可排除設計不確定因素，也愈可達到安全、經濟的設計。

惟我國現階段如果仍需採用傳統之容許強度設計法，以安全係數作為設計標準，因為既有規範對安全係數大小之規定已沿用數十年，且牽涉層面極廣，更動不易。惟就長遠論，未來或可參考先進國家有關性能設計法之規範，納入我國工程設計基準，提高公共設施的穩固與安全。

我國因應重大天然災害風險之公共設施安全係數研究

第三章 初步研究發現

回顧過去發生在全臺及鄰近國家之地震、颱風暴雨重大天然災害，以及近年來公共設施之重大災變事件，彙整歷次事件之分析，並參酌產官學界之專業意見，以作為研究團隊提出短、中、長期政策建議之重要參考。

- 一、 水文資料常是根據過去的歷史，但近年來全球暖化，年降雨量變化不大，但降雨集中，現有通水斷面不足，降雨強度須重新修正，重現期須予以提高。另，建築工程依使用材料結構型式，有不同使用年限，如加強磚造 35 年，R.C 構造 50 年，但臺灣工程如擋土牆、地錨等，卻未定訂使用年限。因此公共工程所用工程材料，如地錨、岩釘、漿砌卵石護坡、石籠、微型樁、生態工法（太空包、加勁土壤）、鋼軌樁、鋼板樁、H 型鋼、掛網噴漿等，均應訂定使用年限。過去的資料（如暴雨頻率、強度等）應加以調整才不致於出現安全係數足夠，但因假設條件不符現況（或未來趨勢）而造成破壞之案例。在全球暖化、環境日趨惡劣之際，設計以趨吉避凶為原則。在無法避免之情況下，可針對所有破壞案例進行回饋分析，採用適當的安全係數。並在設計時除了安全係數以外，亦應考慮變形，使其在可接受程度。
- 二、 安全係數係根據破壞模式而異，不同的破壞模式會有不同的安全係數定義，及通用之參數。例如擋土牆之破壞模式包括：外穩定邊坡破壞、承载力、側向滑移、傾倒、結構體破壞等，各種安全係數之定義與要求之係數均不同。因此，首先需檢討公共設施（如房屋、邊坡、擋土牆等）有哪些破壞模式，才能討論其對應之安全係數，尤其是複合型破壞模式需特別注意其彼此間之影響。此次日本三一一大地震，房屋結構破壞不多，但地震引起海嘯，海嘯引起核能電廠破壞，核災更引起極大恐懼。

因此，安全係數之研究需考量各種破壞模式（包括複合型之破壞模式），即使在大部分情境下是安全的，但應避免在最脆弱處破壞，故安全係數之要求需有整體一致性的考量。

- 三、以邊坡穩定為例，一般工程界多要求平時之安全係數應大於 1.5，暴雨時之安全係數應大於 1.1，地震時之安全係數應大於 1.2，但此安全係數之要求常常引起誤解。其實安全係數與對應之參數有關，暴雨時之土壤參數若採用壓密不排水（CU）三軸試驗中之總壓力（Total Stress）參數（ C ，凝聚力； ϕ ，摩擦角），其 C 值不論試驗結果如何，均應降低為 0（以模擬暴雨之情況）；或需採用不壓密不排水（UU）試驗中之 S_u （即不排水剪力強度，相當於 C 值），而需假設 ϕ 角為 0，否則無法模擬暴雨狀況下土壤充分飽和，甚至泡軟後最不利之情形。而在非飽和試驗得出之 ϕ 角，均可能高估了土壤之強度而有破壞之虞。至於有效應力（Effective Stress）之參數更可能高估了土壤之 ϕ 角，不宜使用在暴雨情況。
- 四、國內目前之公共設施設計規範並不十分完整，不同部會所訂之規範亦有局部差異之情形，宜周詳研訂與整合。以邊坡工程為例，中央部會（如交通部、內政部、行政院農業委員會）所頒布之設計規範均未規定安全係數之標準，只有交通部臺灣區國道高速公路局與高速鐵路工程局自行訂定之設計準則規定安全係數之標準，但這些規定均非正式法規，且兩者對於地震時與臨時性邊坡之安全係數也有局部差異。目前正式之設計規範只有內政部頒布之「建築物基礎構造設計規範」與農業委員會之「水土保持技術規範」，但兩者並未一致，且後者對於安全係數大小之規定較不明確。
- 五、全球極端氣候下，颱風暴雨造成重大水患、土石流的另一面，乃是我們的降雨量是世界平均值的 2.6 倍，但每一位國人可分到的水是世界平均值的五分之一，真可謂多雨的缺水國。另根據統計資料顯示，全臺一年用水量約為 180 億噸，其中地上供

水量為 120 億噸，地下部分約為 60 億噸。地上之 120 億噸中一半來自水庫，另一半（60 億噸）來自河流。由於地表水的供應量每年持續減少，以致地下水的抽取量逐年增加，以供應農業、工業及民生需求，超抽地下水區域均集中在臺灣西南部地區。此一現象，乃因氣候暖化所造成的極端水文變化，使得臺灣在新竹及花蓮之間形成一條隱形的乾濕水文分隔線，北部地區降雨量持續增多，南部地區則逐年減少。此乃大高雄地區必須興建地下水庫的另一重要原因。

- 六、 颱風暴雨季節，因受降雨強度及濁度的影響，平均使用率只有每年降雨量的 15%，大部分均流失，相當可惜，因此若能大規模開發河川位於山麓地區的伏流水，不但水量穩定，水質良好。亦可將這些伏流水進行地下水之人工補注，初期可選擇自彰化以南至雲嘉南地區，先進行此項工作，尤其對高鐵沿線之地層穩定，不再繼續沉陷將可作出直接而有效之貢獻。
- 七、 經研判國道三號七堵段走山災變，係導因於地錨鋼線或鋼絞線之瞬間斷毀，順向坡面上大量土石向下坍塌所致。同樣採用鋼線或鋼絞線以承受重量之預力樑，大量使用於國道或省道重要橋樑，一旦鋼線或鋼絞線瞬間斷毀，其後果令人堪虞。因此鋼線或鋼絞線受潮腐蝕、生鏽之偵測機制，相當重要。
- 八、 性能設計觀念可應用於建築物或公共設施加勁阻尼系統的耐震設計上，其中加勁阻尼裝置除可有效提升結構系統的彈性勁度，更可利用金屬等材料遲滯消能的特性，持續穩定地消釋能量，以降低結構系統的受震反應。因而，對於設計地震力作用位移需求之位移係數法、容量譜法、破壞分析，以及對既有耐震性能設計法之位移法、能量法、可靠性法、成本優化目標法、綜合設計法等設計概念，宜進行相關審視與運用。

我國因應重大天然災害風險之公共設施安全係數研究

第四章 主要建議事項

國內公共設施之大地工程設計規範目前仍採用傳統安全係數的容許強度設計法（Allowable Strength Design, ASD），已明顯落後歐、美、日等先進國家。目前先進國家均已朝向性能設計（Performance Design, PSD）發展，而不採用安全係數作為設計標準，例如歐洲的新地工規範（Eurocode 7）、美國高速公路與運輸工會（American Association of State Highway And Transportation Officials, AASHTO）的載重與阻抗係數設計）規範（Load and Reduction Factor Design, LRFD）與日本的大地工程規範 21（Geo- Code 21）等。因此，為利於與國外先進國家接軌，並符合世界潮流，建議政府相關單位應儘速研訂性能設計法之相關設計規範。

相較於傳統的容許強度設計法，性能設計法的主要優點是：更合理、安全、經濟，所以歐、美、日等先進國家均已採用或正積極發展。國內目前尚未完成採用性能設計法的規範，已顯著落後先進國家，因此無法立即採用。建議可優先於重大公共工程建設（如高速公路等）中採用。

現階段如果仍採用傳統之容許強度設計法，以安全係數作為設計標準，因為既有規範對安全係數大小之規定已沿用數十年，且牽涉層面極廣，若將其數值大幅度提高，恐將引起許多不同之意見。基於儘量避免爭議之考量，建議不宜提高安全係數，而是以提高其他設計標準（如：地震水平加速度、降雨強度、重現期等），來因應重大天然災害。例如水土保持局考慮近年之極端降雨，目前正研議以提高降雨強度的方式，來提高水保設施之安全性。茲提出初步建議事項如下列，以求達到防災、減災之實質成效。

一、 立即可行建議

（一）我國重要公共設施方面建議

1. 全國主要河川之公路、鐵路橋樑基礎（含基樁）深入河床面深度之調查與檢討工作。

中南部各主要河川靠下游（近出海口）段之河川砂石盜採極為嚴重，建議對於鐵公路（含國道、省道、縣道）橋樑橋墩座落處之河床面現況，宜儘速全面性測量、調查，以作為安全性評估之重要依據。

主辦機關：交通部；協辦機關：行政院公共工程委員會。

2. 全國主要河川上游疏浚資料調查與彙整，及中、下游砂石盜採之行政調查與檢調單位偵辦、調查。

近年來中南部河川上游段河床淤積情況相當嚴重，建議進行疏浚。且中下游段河川砂石盜採猖獗，建議予以遏阻，除關係鐵公路橋樑之安全，亦可避免類似后豐大橋斷橋、高屏大橋斷橋之不幸事件再度發生。

主辦機關：經濟部、法務部調查局；協辦機關：檢警單位。

3. 公共工程所使用材料，如地（岩）錨、岩（土）釘、漿砌卵石護坡、石籠、微型樁、生態工法（太空包、打樁編柵、加勁土壤）、鋼軌樁、鋼板樁、H 型鋼、掛網噴漿等使用年限規定與更換。

國道三號七堵段走山災變係肇因於地錨抵抗不住順向坡大量土石方向下滑動龐大力量而斷裂，造成重大災難事件，對於公共工程所使用作為永久設施或結構體受力一部分之工程材料，如地（岩）錨建議訂定 30 年之使用年限。另因暴露於大自然空氣中之鋼筋混凝土結構物之使用年限一般為 50~100 年，地（岩）錨之鋼線或鋼絞線係深埋於土石（或岩層）中，受地下水入滲之潮濕環境影響，極易因時間久遠而生鏽、腐蝕。建議訂定 30 年之使用年限配合長期監測機制，確保公共安全，其他工程材料亦同。

主辦機關：交通部、經濟部、行政院農業委員會。

協辦機關：行政院公共工程委員會、各直轄市政府、各縣市政府。

4. 國道 1 號、3 號順向坡坡腳遭塹斷路段（範圍）之調查及補強方案之研擬。

因修建高速公路而將順向坡坡腳塹斷之路段，目前大部分均以格樑護坡輔以地（岩）錨，作為永久邊坡穩定措施，少部分採用排樁。有鑑於國道三號七堵段走山災難破壞力之威力，造成大規模順向坡土石向下滑動之破壞模式，建議對國道 1 號、3 號順向坡坡腳進行補強作業。

主辦機關：交通部；協辦機關：行政院公共工程委員會。

5. 建立國道或省道上邊坡之定期人力巡查機制，以發現上邊坡之張力裂縫，並立即進行填縫及地質改良與補強措施，確保邊坡的安全性。

國道或省道穿越山區多數於上邊坡設計格樑護坡或 RC 面板配合地（岩）錨，並於邊坡上建置監測系統。缺乏上邊坡頂部之定期人力巡查機制，致大規模破壞之早期預警較為缺乏，建議建立國道或省道上邊坡之定期人力巡查機制。

主辦機關：交通部；協辦機關：交通部所屬各工程單位。

6. 國道及省道採用預力樑承重之橋樑，建議對預力樑鋼線或鋼鉸線受潮腐蝕、生鏽偵測技術之加以強化。

國道及省道重要橋樑大部分均採用預力樑系統，對於預力樑唯一承載力量之預力鋼線或鋼鉸線，或建議訂定使用年限，或研發其因受潮而生鏽、腐蝕偵測之早期預警技術。

主辦機關：交通部；協辦機關：交通部所屬各工程單位。

7. 建議假設芮氏規模 7.0、8.0 及 9.0 之淺層地震發生在大臺北地區，宜定期舉行水庫、地鐵、自來水供水與核電廠防災

與疏散演習。

921 集集大地震發生在南投屬淺層地震，芮氏規模 7.3，造成極大破壞力。我國位處環太平洋地震帶區，建議定期舉行自來水供水系統及水庫、地下鐵、高鐵、核電廠之防災演習。

主辦機關：臺北市政府、新北市政府、基隆市政府。

協辦機關：內政部、交通部、經濟部。

(二) 公共工程設計標準建議

1. 全國河川之治理基本計畫、治理規劃報告、河川圖籍、水文資料等皆建議由各政府單位以電子檔案公告於政府機關網站，供民眾參考使用。

建議政府相關資料不斷更新，並使工程設計者容易從政府機關網站取得，且不必再付費。

主辦機關：經濟部（水利署）、行政院農業委員會；協辦機關：各直轄市、縣市政府。

2. 公路橋樑、擋土設施、水利工程設計所用安全係數標準及增列用途（或功能）係數、複合式破壞之安全係數之項目及幅度之補強與執行。

我國因人口密集，公共設施之重要性等級等因素不同，以及天然災害並非必然之單一性，例如地震引發大海嘯，多次颱風暴雨引發土石流、都會區大淹水之嚴重水災等，如又遭逢餘震等，危急更甚。建議公共設施設計使用之安全係數考量增列使用係數（或功能係數）及複合式破壞之安全係數，較能符合需求。

主辦機關：內政部、交通部、經濟部、行政院農業委員會。

協辦機關：行政院公共工程委員會、各直轄市政府、各縣市政府。

3. 大高雄地區滯洪池（含地下水庫）與旱季之南部地區缺水之解決。

政府花費數千億元投入大臺北地區之防洪設施，但對於南部地區（尤其大高雄都會區）相對較少。過去高雄在潭美颱風及凡那比颱風之豪大雨，均發生嚴重都會區淹水之重大災害。復以每年旱季南部地區之嚴重缺水現象，因此興建大型地下水庫確有其必要性，可同時解決淹水及缺水兩個問題。

主辦機關：經濟部、高雄市政府。

協辦機關：行政院公共工程委員會。

4. 建議定期對臺北市區內豪大雨水抽排所需時雨量進行檢討與對策研議。

納莉颱風帶來之豪大雨重創臺北市，雖大臺北地區設有 200 年之防洪設施（堤防），暴雨時可將降雨之地表逕流量經由各抽水站及時外排，市區淹水機率不高，惟建議對近年歷次豪大雨之時雨量進行重新檢視。

主辦機關：臺北市政府。

協辦機關：內政部、經濟部、行政院農業委員會。

5. 建議研議大地工程採性能設計相關規範，並予以法制化。

歐、美及日本等先進國家在工程設計上均已朝向性能設計，而不採用安全係數作為設計標準。建議研訂性能設計法之相關設計規範，取代國內公共設施之大地工程設計規範目前仍採用傳統安全係數的容許強度設計法。

主辦機關：行政院農業委員會。

協辦機關：交通部所屬各工程主辦單位。

6. 北、高都會區排水系統內吊掛管線、阻礙水流之全面清查與取締。

各項吊掛於都會區排水管線內之電纜線、電線等，均影響排水斷面，阻礙水流，建議予以清理。

主辦機關：臺北市政府、高雄市政府。

二、中、長期建議

(一) 公共工程設計標準及計畫建議

1. 公共工程設計用降雨強度、重現期修訂標準之法制化與實施。

由於提高安全係數除不符合經濟效益，且其對防災、減災與提高公共設施之安全性實質作用與貢獻度不高，建議即時修正公布近年颱風暴雨之降雨強度、暴雨頻率與重現期等。

主辦機關：經濟部、行政院農業委員會。

協辦機關：中央氣象局、行政院公共工程委員會、各直轄市政府、各縣市政府。

2. 高雄市滯洪設施（含地下水庫）工程設計與施工之發包與執行。

政府花費數千億元投入大臺北地區之防洪設施，但對於南部地區（尤其是大高雄都會區）相對做的太少。過去高雄在潭美颱風及凡那比颱風之豪大雨，均發生嚴重都會區淹水之重大災害。復以每年旱季南部地區之嚴重缺水現象，興建大型地下水庫確有其必要性，可同時解決淹水及缺水兩個問題。

主辦機關：經濟部、高雄市政府。

協辦機關：行政院公共工程委員會。

3. 研擬山麓伏流水資料及伏流水人工補注地下水計畫。

我國每年颱風暴雨之大量地表逕流均流失（包含流入大海），平均使用率不到降雨量之 15%，頗為可惜。建議研

議有效留住大量雨水，但非單靠水庫蓄水，建議研擬伏流水計畫。

主辦機關：經濟部、行政院公共工程委員會。

協辦機關：行政院農業委員會。

4. 研擬山區危險聚落、村莊之限制居住、開發範圍之國土計畫方案及推動相關立法進程。

主辦機關：內政部。

(二) 地震方面

- (1) 核能電廠耐震補強工程與核能電廠海嘯預警系統改進工程之規劃。

核三、核四廠耐震能力之提高刻不容緩，一旦發生因地震而導致冷卻系統管線接頭或基座破壞、備用發電機廠房建築倒塌等附屬建物、結構（非圍主體）受損，均將造成類似日本 311 福島核電廠之災難。

主辦機關：行政院原子能委員會。

協辦機關：經濟部、行政院公共工程委員會、臺灣電力公司。

- (2) 核一、核二廠是否准予延役之決定與執行。

核一、核二廠之耐震能力不足，又近山腳斷層。復因核電機組老舊，距大臺北生活圈太近，北北基人口數超過 700 萬人，一旦發生核電災難，龐大人口疏散撤離不易，除非政府另考慮遷都中臺灣。另，建議政府考慮核一、核二廠按時除役，以確保公共安全。

主辦機關：行政院原子能委員會

協辦機關：經濟部、行政院公共工程委員會，臺灣電力公司。

- (3) 全國老舊私有建築物耐震補強方案之執行。

民國 88 年 921 大地震至今 12 年，對於公有建築物(含

我國因應重大天然災害風險之公共設施安全係數研究

學校) 政府編列預算，逐年陸續完成耐震初評、詳評及補強工作，惟關於民國 70 年、60 年以前興建之民間集合式住宅、公寓式住宅等私有建築物，因當時均係採用極低(不耐震)的設計標準 0.1g(地表水平加速度)，逐次提高(尤其是 921 發生後耐震標準提高)為 0.23g、0.33g。建議一併對於分布在全臺 30 年以上私有老舊建築物約 75 萬棟、300 萬戶建築物進行瞭解及補強。

主辦機關：內政部。

協辦機關：行政院公共工程委員會、國家地震工程研究中心、各直轄市政府、各縣市政府。

參考書目

一、 參考書目

1. 技師月刊、技師期刊第 6 期、第 14 期，由臺北市土木技師公會發行。
2. 技師報第 376、403、662、663、664、675、699、723、724、741 期，由臺灣省土木技師公會發行。
3. 內政部營建署 99 年 1 月雨水下水道系統規劃原則檢討。
4. 平成 23 年 4 月 10 日(2011 年)日本土木學會地震工程學委員會之緊急地震被害調查報告書（暫定版）。
5. 水資源戰爭，100 年 4 月，莫德·巴洛（Maude Barlow）、東尼·克拉克（Tony Clarke）著作，譯者：張岳、盧瑩、謝伯讓。
6. 李鴻源，100 年，臺灣公共建設之展望，行政院公共工程委員會。
7. 512 汶川大地震震災鑑定紀實，98 年 3 月 14 日臺灣省土木技師公會發行。
8. 臺灣省土木技師公會，89 年年 9 月，見證 921 集集大地震（下），臺灣省土木技師公會發行。

二、 附錄

1. 附錄四 日本東京埼玉縣地下水庫照片。
2. 附錄五 近年臺灣及鄰近國家重大天然災害之照片。

我國因應重大天然災害風險之公共設施安全係數研究

專案座談會

一、舉辦產、官、學各界人士參與之專案座談會

(一) 第 1 次座談會

時間：民國 100 年 6 月 21 日（星期二）下午 2：30。

地點：臺北市松山區東興路 26 號 9 樓 第一會議室。

出席單位（人員）：

臺灣世曦工程顧問股份有限公司。

中興工程顧問股份有限公司。

亞新工程顧問股份有限公司。

林同棧工程顧問股份有限公司。

環興科技股份有限公司 周南山董事長。

博允土木技師事務所 薛博允主持技師兼負責人。

臺聯工程顧問股份有限公司 柯鎮洋總經理。

建業工程顧問有限公司 王大衡董事長。

第 1 次座談會議資料，請參閱專案座談會-第一次座談會。

(二) 第 2 次座談會

時間：民國 100 年 7 月 11 日（星期一）下午 2：00。

地點：臺北市松山區東興路 26 號 9 樓 第一會議室。

出席單位（人員）：

行政院公共工程委員會。

我國因應重大天然災害風險之公共設施安全係數研究

經濟部水利署。

內政部營建署。

行政院農業委員會水土保持局。

臺北市政府工務局。

新北市政府工務局。

第 2 次座談會議資料，請參閱專案座談會-第二次座談會。

(三) 第 3 次座談會

時間：民國 100 年 7 月 25 日（星期一）下午 2：30。

地點：臺北市松山區東興路 26 號 9 樓 第一會議室。

出席單位（人員）：

交通部。

臺灣區國道高速公路局。

公路總局。

國家地震中心。

臺灣電力公司。

高雄市政府。

第 3 次座談會議資料，請參閱專案座談會-第 3 次座談會。

二、臺灣省諮議會參與研究計畫及提供寶貴意見人員：

李諮議長源泉、陳諮議員進祥、陳諮議員啟吉、魏諮議員早炳
陳諮議員光復、蘇諮議員主榮、陳諮議員亦文、呂諮議員明美
張諮議員碧琴、鄒諮議員玉梅、陳諮議員光琛、楊諮議員玉珍
李諮議員銘洲、王諮議員東一、黃諮議員國芳、尤諮議員松雄
林諮議員信華、鄒諮議員永宏、陳諮議員凱莉、梁諮議員俊良

參考書目

黃諮議員建築、楊諮議員傳國、林諮議員娜鈴、李諮議員佩玲
李諮議員宏裕、陳諮議員福來、黃諮議員昌源

我國因應重大天然災害風險之公共設施安全係數研究