

100-51-7536
MOTC-IOT-99-H1DB006

港灣地區地震潛勢及港灣構造物 耐震能力評估之研究 (4/4)



交通部運輸研究所

中華民國 100 年 4 月

100-51-7536

MOTC-IOT-99-H1DB006

港灣地區地震潛勢及港灣構造物 耐震能力評估之研究(4/4)



研究人員：謝明志、林雅雯、陳正興、黃富國、黃俊鴻
許尚逸、徐松圻、鄭魁香、葉錦勳、簡文郁
邱俊翔、柯永彥、張毓文、江啟漢、戴偉倫

交通部運輸研究所

中華民國 100 年 4 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

港灣地區地震潛勢及港灣構造物耐震能力評估之研究(4/4)

/謝明志等著.--初版.-- 臺北市：交通部運輸研究所，

民 100.04

面 ； 公分

ISBN 978-986-02-7445-5 (平裝)

1. 港埠工程 2. 港埠管理 3. 地震 4.防震

443.33

100005073

港灣地區地震潛勢及港灣構造物耐震能力評估之研究(4/4)

著 者：謝明志、林雅雯、陳正興、黃富國、黃俊鴻、許尚逸、徐松圻、
鄭魁香、葉錦勳、簡文郁、邱俊翔、柯永彥、張毓文、江啓漢、
戴偉倫

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10548 台北市敦化北路 240 號

網 址：www.ihmt.gov.tw (中文版>中心出版品)

電 話：(04) 26587176

出版年月：中華民國 100 年 4 月

印 刷 者：承亞興企業有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 90 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站

定 價：500 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 台北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02)25180207

五南文化廣場：40042 台中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1010000587

ISBN：978-986-02-7445-5 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：港灣地區地震潛勢及港灣構造物耐震能力評估之研究(4/4)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-02-7445-5 (平裝)	政府出版品統一編號 1010000587	運輸研究所出版品編號 100-51-7536	計畫編號 99-H1DB006
本所主辦單位：港灣技術研究中心 主管：邱永芳 計畫主持人：謝明志 研究人員：賴瑞應、林雅雯 聯絡電話：04-26587118 傳真號碼：04-26564418	合作研究單位：財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心 計畫主持人：陳正興 研究人員：許尚逸、邱俊翔、黃富國、徐松圻、鄭魁香、王淑娟、簡文郁、葉錦勳、柯永彥、張毓文 地址：106 臺市辛亥路 3 段 200 號 聯絡電話：02-66300815		研究期間 自 99 年 03 月 至 99 年 10 月
關鍵詞：港灣構造物、地震潛勢、耐震性能評估、易損性分析、臺灣地震損失評估系統			
摘要：			
臺灣地區由於地震頻繁，港灣設施常因此造成損壞，並進一步對其安全性造成重大衝擊，而影響後續港口的營運。為能模擬地震下港灣地區的災損情形，本計畫將在TELES系統（地震損失評估系統）中建置港灣設施震損評估模組，整個計畫分成三個子計畫，分別為(一)港灣地區地震潛勢之評估；(二)港灣構造物耐震能力之評估；(三)港灣構造物之災害境況模擬。前兩子計畫研究成果為子計畫三之基本資料。藉由子計畫一對港灣地區進行地震潛勢之評估，可了解各港區不同大小地震可能發生之機率，並決定影響各港區之控制地震，作為子計畫三震損模擬的地震需求參數；子計畫二為對港灣構造物進行耐震能力評估，其中港灣構造物係以碼頭為主，分析出各港區碼頭構造物之耐震能力，作為子計畫三建立結構物易損曲線與損害程度之參考；子計畫三則建置港灣設施之震損評估模組於TELES系統內，模組完成後可對港灣地區進行震災境況模擬，分析港區可能之震損情形。 全程計畫分四年，本研究團隊業分別已於民國96~98年完成第一、二、三期計畫，本年度係第四年度計畫，工作重點在於建立與充實TELES中對於港灣地區震損評估模組之架構與基本資料，並以高雄港地區為本年度之研究標的，進行高雄港區地震潛勢之評估、針對重力式碼頭、棧橋式碼頭與板樁式碼頭之進行耐震能力評估、及高雄港區地震災害境況模擬之初步分析，最後針對四港（臺中港、花蓮港、基隆港、高雄港）地震潛勢、港灣構造物耐震能力評估、災害境況模擬彙整及四港港灣地區TELES成果整合展現。本計畫研究成果可做為碼頭結構耐震補強、耐震設計規範修訂或港區災損防救與應變對策之參考。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
100 年 4 月	566	500	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級：			
☐ 密 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密 （解密條件： ☐ 年 ☐ 月 ☐ 日解密， ☐ 公布後解密， ☐ 附件抽存後解密， ☐ 工作完成或會議終了時解密， ☐ 另行檢討後辦理解密） ☒ 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: Seismic Hazard and Seismic Capacity Evaluation of Port Structures in Harbor Area (4/4)			
ISBN (OR ISSN) ISBN978-986-02-7445-5 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010000587	IOT SERIAL NUMBER 100-51-7536	PROJECT NUMBER 99-H1DB006
DIVISION: Harbor and Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Yung-Fang Chiu PRINCIPAL INVESTIGATOR: M. J. Hsieh PROJECT STAFF: R. I. Lai, Y. W. Lin PHONE: 04-26587118 FAX: 04-26564418			PROJECT PERIOD FROM March 2010 TO October 2010
RESEARCH AGENCY: National Center for Research on Earthquake Engineering (NCREE) PRINCIPAL INVESTIGATOR: Cheng-Hsing Chen PROJECT STAFF: S. Y. Hsu, J. S. Chiou, F. K. Huang, S. C. Hsu, K. H. Cheng, Grace S. Wang, C. H. Yeh, W. Y. Chien, Y. Y. Ko, Y. W. Chang ADDRESS: 200, Sec. 3, HsinHai Rd., Taipei 106, Taiwan, R.O.C. PHONE: 02-66300815			
KEY WORDS: Port Structure, Seismic Hazard, Seismic Capacity Evaluation, Fragility Analysis, TELES			
ABSTRACT: Taiwan is continuously threatened by the attack of strong earthquakes. The harbor structures around Taiwan are therefore very important to be seismically safe during these earthquakes. The damages of associated structures may significantly affect the function of port transportation system. In order to simulate the possible loss of a port system during earthquakes, this project attempts to add a modulus for port system into TELES (Taiwan Earthquake Loss Estimation System). The whole project includes three subprojects: (1) evaluation of earthquake potential for the specified port area, (2) evaluate the seismic capacity of harbor structures for the specified port area, and (3) earthquake loss estimation for the specified port area. The first subproject provides the data of earthquake potential and controlling earthquakes for the specified port area. The second subproject investigates the seismic capacity of some typical harbor structures. Then, the third subproject incorporates the results of first two subprojects to construct the earthquake loss modulus of the port transportation system into the TELES system to conduct the earthquake loss estimation for the specified port area. The complete work of the whole project includes four-year tasks. In the first, second, and the third year the preliminary earthquake loss analyses of the Taichung Harbor, the Hualien Harbor, and Keelung Harbor have been performed. In the fourth year, Kaohsiung Harbor is the primary objective for study. The earthquake potential and the seismic capacity of structures of the Kaohsiung harbor are evaluated, and the primary framework of the TELES modulus for the port transportation system is further improved and then applied for the preliminary analysis for the Kaohsiung Harbor.			
DATE OF PUBLICATION April 2011	NUMBER OF PAGES 566	PRICE 500	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

港灣地區地震潛勢及港灣構造物耐震能力 評估之研究(4/4)

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
表目錄	V
圖目錄	XI
第一章 緒論	1-1
1.1 研究背景與目的	1-1
1.2 研究範圍與工作項目	1-4
1.3 成果及效益	1-6
第二章 高雄港灣地區地震潛勢之評估	2-1
2.1 港區區域地質及場址地層特性	2-1
2.2 港區地震危害度分析	2-4
2.3 高雄港區地震可能發生時間序列與規模分析	2-20
2.4 港區之場址效應分析	2-27
2.5 港區土壤液化之危害度分析	2-33
2.6 港區土壤液化之易損性分析	2-43
第三章 港灣構造物耐震能力之評估	3-1
3.1 高雄港區碼頭基本資料	3-3

3.2 重力式碼頭耐震能力評估	3-8
3.3 板樁式碼頭耐震能力評估	3-26
3.4 棧橋式碼頭耐震能力評估	3-57
第四章 港灣構造物之災害境況模擬	4-1
4.1 臺灣地震災害損失評估系統—TELES 概要	4-1
4.2 港灣構造物震害評估架構	4-7
4.3 港灣構造物之易損性分析	4-9
4.4 港灣構造物之地震災損評估示範例	4-21
第五章 四港成果彙整	5-1
5.1 各港區地震潛勢評估之研究	5-1
5.2 各港區港灣構造物耐震能力評估	5-19
5.3 各港區港灣構造物之災害境況模擬	5-46
5.4 四港港灣地區 TELES 成果整合展現	5-53
第六章 結論與建議	6-1
6.1 本年度計畫執行成果	6-2
6.2 建議	6-9
參考文獻	參-1
附錄一 地震危害度分析	附錄 1-1
附錄二 期中報告審查意見處理情形表	附錄 2-1
附錄三 期末報告審查意見處理情形表	附錄 3-1
附錄四 期末報告簡報資料	附錄 4-1

表 目 錄

表 1-1 地震引致港灣碼頭災害案例.....	1-8
表 2-1 高雄港區之 108 個 SPT 鑽探孔位相關資料.....	2-45
表 2-2 高雄港各區域碼頭港埠設施及碼頭型式.....	2-48
表 2-3 高雄港區碼頭鑽孔 SPT-N 值統計表.....	2-48
表 2-4 高雄港區碼頭簡化土層剖面資料.....	2-48
表 2-5 高雄港區附近中央氣象局地震測站.....	2-49
表 2-6 高雄港區於不同回歸期之耐震設計地震動值.....	2-50
表 2-7 PSHA 分析結果中 475 年回歸期與現行建物規範之比較.....	2-50
表 2-8 活動斷層應用定值法分析所估算之地震動值.....	2-50
表 2-9 1,655 年~2,010 年高雄港地區規模 ≥ 5.5 地震目錄.....	2-51
表 2-10 高雄港地區間隔 5 年最大地震統計表.....	2-52
表 2-11 高雄港地區 $5.5 \leq M < 6.5$ 預測分析.....	2-53
表 2-12 高雄港地區 $M \geq 6.5$ 預測分析.....	2-53
表 2-13 高雄港地區 $M \geq 5.5$ 序號表.....	2-53
表 2-14 高雄港地區 $M \geq 5.5$ 災變預測.....	2-54
表 2-15 高雄港地區 $M \geq 6.0$ 災變預測.....	2-54
表 2-16 高雄港地區 $M \geq 6.5$ 災變預測.....	2-54
表 2-17 高雄港地區 $M 6.5$ 拓樸預測分析表.....	2-55
表 2-18 高雄港地區 $M 6.0$ 拓樸預測分析表.....	2-55

表 2-19 高雄港地區 M5.5 拓樸預測分析表	2-56
表 2-20 高雄港地區 $M \geq 5.5$ 地震次數統計表	2-56
表 2-21 高雄港地區 $M \geq 6.0$ 地震次數統計表	2-57
表 2-22 高雄港地區 $M \geq 6.5$ 地震次數統計表	2-57
表 2-23 高雄港地區每 20 年 $M \geq 5.5$ 地震次數預測表	2-57
表 2-24 高雄港地區每 20 年 $M \geq 6.0$ 地震次數預測表	2-58
表 2-25 高雄港地區每 20 年 $M \geq 6.5$ 地震次數預測表	2-58
表 2-26 國內建築物耐震設計規範之地盤分類表	2-59
表 2-27 高雄港區鄰近 3 個堅實地盤測站之地震紀錄相關資料	2-59
表 2-28 國內建築物耐震設計規範之短周期結構之場址放大係數 F_a ..	2-59
表 2-29 SPT-N 簡化液化評估法之比較	2-60
表 2-30 液化潛能指數 IL 與液化程度之關係	2-61
表 2-31 沈陷量 St 與液化損害程度之關係	2-61
表 2-32 液化損害程度分類	2-61
表 2-33 邏輯迴歸分析結果	2-62
表 2-34 貝氏映射之擬合分析結果	2-62
表 2-35 高雄港各鑽孔場址對應於 475 年回歸期之液化危害度指數 ..	2-63
表 2-36 高雄港區各碼頭場址之液化潛能指數 IL 統計表	2-64
表 2-37 高雄港區各碼頭場址之液化機率指數 P_w 統計表	2-64
表 2-38 高雄港區各碼頭場址之液化後地盤沉陷量 St 統計表	2-64
表 3-1 高雄港碼頭資料表（摘自高雄港務局網頁資料）	3-75

表 3-2 KH093 鑽孔 $PGA=0.23\text{ g}$ 液化分析結果 (2~7 號碼頭)	3-80
表 3-3 KH065 鑽孔 $PGA=0.23\text{ g}$ 液化分析結果 (48~53 號碼頭)	3-81
表 3-4 KH010 鑽孔 $PGA=0.23\text{ g}$ 液化分析結果 (63~66 號碼頭)	3-81
表 3-5 KH036 鑽孔 $PGA=0.23\text{ g}$ 液化分析結果 (77 號碼頭)	3-82
表 3-6 KH046 鑽孔 $PGA=0.23\text{ g}$ 液化分析結果 (119~121 號碼頭) ..	3-83
表 3-7 國際航海協會重力式碼頭性能等級 (定量) (PIANC, 2001) ..	3-84
表 3-8 高雄港 2~7 號混凝土方塊式碼頭分析參數表.....	3-84
表 3-9 高雄港 2~7 號方塊式碼頭各滑動面受震穩定性分析 ($K_h=0.115$, $K_v=0.038$)	3-85
表 3-10 高雄港 2~7 號方塊式碼頭 S5 滑動面臨界加速度反算分析 ..	3-86
表 3-11 碼頭基礎承载力 q_u 與承载力檢核安全係數.....	3-87
表 3-12 高雄港 2~7 號碼頭場址地層剖面.....	3-87
表 3-13 高雄港 2~7 號碼頭數值模型參數.....	3-88
表 3-14 板樁式碼頭損害等級.....	3-89
表 3-15 高雄港板樁式碼頭一覽表.....	3-90
表 3-16 高雄港 76 號鋼板樁斷面性質	3-91
表 3-17 鋼材單面腐蝕速率 (曾志煌等人, 2005)	3-92
表 3-18 高雄港 76 號碼頭分析用結構構件參數.....	3-92
表 3-19 高雄港 76 號碼頭場址地層剖面.....	3-93
表 3-20 高雄港 76 號碼頭分析用地層參數.....	3-93
表 3-21 高雄港 65~66 號鋼板樁斷面性質.....	3-94
表 3-22 高雄港 65~66 號碼頭分析用結構構件參數	3-95

表 3-23 高雄港 65~66 號碼頭場址地層剖面.....3-95

表 3-24 高雄港 65~66 號碼頭分析用地層參數3-95

表 3-25 非液化工址板樁式碼頭變位參數與安全係數之關係.....3-96

表 3-26 高雄港 76 號碼頭 $kh=0.115$ 時之動態土壓力係數3-96

表 3-27 液化時土質參數折減係數（日本道路協會，1996）3-96

表 3-28 高雄港 65~66 號碼頭 $kh=0.115$ 時之動態土壓力係數3-96

表 3-29 國際航海協會棧橋式碼頭性能等級.....3-97

表 3-30 50 號碼頭簡易分析結果3-98

表 3-31 50 號碼頭容量曲線之主要狀態點3-98

表 3-32 120 號碼頭簡易分析結果3-99

表 3-33 120 號碼頭容量曲線之主要狀態點3-100

表 4-1 高雄港碼頭易損性分析所用之地震樣本.....4-25

表 4-2 高雄港方塊式碼頭易損曲線參數.....4-25

表 4-3 高雄港板樁式碼頭易損曲線參數.....4-25

表 4-4 高雄港 50 號直樁棧橋碼頭受震損害等級分析結果.....4-26

表 4-5 高雄港 50 號直樁棧橋式碼頭易損曲線參數.....4-26

表 4-6 高雄港 120 號棧橋式碼頭受震損害等級分析結果.....4-27

表 4-7 高雄港 120 號棧橋式碼頭易損曲線參數.....4-27

表 4-8 港灣設施分類（摘自 HAZUS 99）4-28

表 4-9 濱水結構 PGD 相關之易損性曲線參數.....4-30

表 4-10 起重搬運設備 PGA 與 PGD 相關之易損性曲線參數.....4-30

表 4-11 倉庫 PGA 與 PGD 相關之易損性曲線參數.....	4-31
表 4-12 燃料設施 PGA 與 PGD 相關之易損性曲線參數.....	4-32
表 4-13 港灣設施損失比參數.....	4-33
表 4-14 濱水結構與起重搬運設備之修復曲線參數.....	4-33
表 4-15 港區碼頭結構與設施重建成本.....	4-34
表 5-1 港灣地區地震潛勢之評估結果整理.....	5-55
表 5-2 國內建築物耐震設計規範之地盤分類表.....	5-55
表 5-3 國內建築物耐震設計規範之短周期結構之場址放大係數 F_a ...	5-56
表 5-4 液化潛能指數 I_L 與液化程度之關係	5-56
表 5-5 沈陷量 S_t 與液化損害程度之關係	5-56
表 5-6 液化損害程度分類.....	5-57
表 5-7 國際航海協會地震力等級.....	5-57
表 5-8 國際航海協會性能等級（定性）	5-57
表 5-9 國際航海協會性能目標.....	5-58
表 5-10 由港灣構造物重要性所定義之性能等級.....	5-58
表 5-11 臺中港區代表性沉箱式碼頭耐震評估彙整.....	5-59
表 5-12 臺中港區代表性棧橋式碼頭耐震評估彙整.....	5-60
表 5-13 花蓮港區代表性重力式碼頭耐震評估彙整.....	5-61
表 5-14 花蓮港區代表性板樁式碼頭耐震評估彙整.....	5-62
表 5-15 基隆港區代表性沉箱式碼頭耐震評估彙整.....	5-63
表 5-16 基隆港區代表性板樁式碼頭耐震評估彙整.....	5-63

表 5-17 基隆港區代表性棧橋式碼頭耐震評估彙整.....5-64

表 5-18 高雄港區代表性方塊式碼頭耐震評估彙整.....5-64

表 5-19 高雄港區代表性板樁式碼頭耐震評估彙整.....5-65

表 5-20 高雄港區代表性棧橋式碼頭耐震評估彙整.....5-66

表 5-21 觸口斷層引致地震境況模擬之直接經濟損失.....5-66

圖 目 錄

圖 1.1 臺灣三度空間地體構造	1-10
圖 1.2 臺中港 1 至 4A 碼頭內災損情況	1-10
圖 1.3 臺中港倉儲輸送設備災損情況	1-11
圖 1.4 高雄港區平面圖	1-11
圖 2.1 高雄港位置圖	2-65
圖 2.2 高雄港區水系圖	2-65
圖 2.3 高雄港區地質圖	2-66
圖 2.4 臺灣地質分區圖(何春蓀，1986)	2-66
圖 2.5 高雄海岸平原航照地質圖(孫習之，1964)	2-67
圖 2.6 高雄市地層層序表 (陳時祖等，1988)	2-68
圖 2.7 高雄市與屏東平原之布蓋重力與地質構造圖(Hsieh，1970).....	2-68
圖 2.8 高雄港地區 108 個 SPT 鑽探孔位分布圖及碼頭區位編號	2-69
圖 2.9 SPT 鑽孔深度分布圖	2-69
圖 2.10 2~7 號碼頭鑽探孔位分布及 SPT-N 與 FC 值剖面圖	2-70
圖 2.11 48~53 號碼頭鑽探孔位分布及 SPT-N 與 FC 值剖面圖	2-71
圖 2.12 48~53 號碼頭鑽探孔位分布及 SPT-N 與 FC 值剖面圖	2-72
圖 2.13 71 號碼頭鑽探孔位分布及 SPT-N 與 FC 值剖面圖	2-73
圖 2.14 77 號碼頭鑽探孔位分布及 SPT-N 與 FC 值剖面圖	2-74
圖 2.15 119~121 號碼頭鑽探孔位分布及 SPT-N 與 FC 值剖面圖	2-75

圖 2.16	2~7 號碼頭之 N 值與深度關係圖	2-76
圖 2.17	48~53 號碼頭之 N 值與深度關係圖	2-76
圖 2.18	63~66 號碼頭之 N 值與深度關係圖	2-76
圖 2.19	71 號碼頭之 N 值與深度關係圖	2-76
圖 2.20	77 號碼頭之 N 值與深度關係圖	2-77
圖 2.21	119~121 號碼頭之 N 值與深度關係圖	2-77
圖 2.22	2~7 號碼頭鑽孔深度分布圖	2-77
圖 2.23	48~53 號碼頭鑽孔深度分布圖	2-77
圖 2.24	63~66 號碼頭鑽孔深度分布圖	2-78
圖 2.25	71 號碼頭鑽孔深度分布圖	2-78
圖 2.26	77 號碼頭鑽孔深度分布圖	2-78
圖 2.27	119~121 號碼頭鑽孔深度分布圖	2-78
圖 2.28	2~7 號碼頭地下水位深度分布圖	2-79
圖 2.29	48~53 號碼頭地下水位深度分布圖	2-79
圖 2.30	63~66 號碼頭地下水位深度分布圖	2-79
圖 2.31	71 號碼頭地下水位深度分布圖	2-79
圖 2.32	77 號碼頭地下水位深度分布圖	2-80
圖 2.33	119~121 號碼頭地下水位深度分布圖	2-80
圖 2.34	高雄港地震監測站場址之剪力波速剖面	2-80
圖 2.35	簡化土層區域示意圖	2-81
圖 2.36	高雄港地震監測站場址之地層構造圖（賴聖耀等，2006） ...	2-81

圖 2.37 2~7 號碼頭之簡化土層剖面圖	2-82
圖 2.38 48~53 號碼頭之簡化土層剖面圖	2-82
圖 2.39 63~66 號碼頭之簡化土層剖面圖	2-83
圖 2.40 71 號碼頭之簡化土層剖面圖	2-83
圖 2.41 77 號碼頭之簡化土層剖面圖	2-84
圖 2.42 119~121 號碼頭之簡化土層剖面圖	2-84
圖 2.43 高雄港區(KAUP)附近之歷史地震及活動斷層分佈	2-85
圖 2.44 高雄港位置與震源分區	2-86
圖 2.45 各震源分區之 G-R 關係結果及最大潛勢地震規模	2-87
圖 2.46 合併 BS14 及 BS15 子分區後之 G-R 關係與累積能量法之結果	2-88
圖 2.47 合併 BS14 及 BS15 子分區對地震危害度分析之影響比較	2-88
圖 2.48 堅硬地盤衰減律與地震資料之比較	2-89
圖 2.49 依據不同參數所產生之高雄港區地震危害曲線	2-90
圖 2.50 以對數機率密度分佈模擬由地震動衰減律所帶來的資料離散性 對於地震危害度曲線之不確定性	2-90
圖 2.51 高雄港區之平均地震危害度曲線(Hard Site)	2-91
圖 2.52 高雄港區附近強震測站分佈及所篩選之地震震央分佈	2-91
圖 2.53 港區鄰近之區域資料與場址相依之地盤衰減律之比較	2-92
圖 2.54 高雄港區之平均地震危害度曲線(地表面處)	2-93
圖 2.55 高雄港區之地震危害度貢獻來源及分佈	2-94
圖 2.56 臺灣南部地區活動斷層分布圖 (摘自中央地質調查所，2010)	

.....	2-95
圖 2.57 GM(1,1)灰預測流程圖	2-96
圖 2.58 灰色模糊預測流程圖	2-96
圖 2.59 序號 1 - 200 地震頻率圖	2-97
圖 2.60 地盤反應分析模型	2-97
圖 2.61 砂質土壤之正規化剪力模數與剪應變之關係 (Seed & Idriss, 1970)	2-98
圖 2.62 砂質土壤之阻尼比與剪應變之關係 (Seed & Idriss, 1970) ...	2-98
圖 2.63 粘質土壤之正規化剪力模數與剪應變之關係(Vucetic & Dobry, 1991).....	2-99
圖 2.64 粘質土壤之阻尼比與剪應變之關係(Vucetic & Dobry, 1991)...	2-99
圖 2.65 礫質土壤之正規化剪力模數與剪應變之關係 (Rollins et al, 1998)	2-100
圖 2.66 礫質土壤之阻尼比與剪應變之關係	2-100
圖 2.67 高雄港鄰近之堅實地盤地震測站	2-101
圖 2.68 高雄港地震監測站場址之最大加速度 PGA 隨深度變化圖 ...	2-101
圖 2.69 高雄港地震監測站場址之地盤反應分析結果	2-102
圖 2.70 地表非液化層厚度(H_1)及其下可液化砂層厚度(H_2)之定義 (Ishihara, 1985)	2-103
圖 2.71 區別地層是否會發生土壤液化災損之邊界曲線 (Ishihara, 1985)	2-103
圖 2.72 最大剪應變、體積應變及相對密度間之關係	2-104
圖 2.73 最大剪應變、安全係數及相對密度間之關係	2-104