

95-39-7181

MOTC-IOT-94-H1DA003-1

港灣地區地工資料建檔及液化 自動分析模組之建立(1/4)



交通部運輸研究所

中華民國 95 年 3 月

95-39-7181

MOTC-IOT-94-H1DA003-1

港灣地區地工資料建檔及液化 自動分析模組之建立(1/4)

著 者：謝明志、賴聖耀、林雅雯、曾文傑

交通部運輸研究所

中華民國 95 年 3 月

國家圖書館出版品預行編目資料

臺灣地區地工資料建檔及液化自動分析模組之建立. (1/4) / 謝明志等著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運研所, 民95

面 : 公分

參考書目:面

ISBN 986-00-4808-8(平裝)

1. 港埠 - 管理 - 自動化 2. 地理資訊系統

443.2029

95005924

臺灣地區地工資料建檔及液化自動分析模組之建立(1/4)

著者: 謝明志、賴聖耀、林雅雯、曾文傑

出版機關: 交通部運輸研究所

地址: 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 95 年 3 月

印刷者:

版(刷)次冊數: 初版一刷 120 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所臺灣技術研究中心網站

定價: 100 元

展售處:

交通部運輸研究所運輸資訊組• 電話: (02)23496880

國家書坊台視總店: 台北市八德路 3 段 10 號 B1• 電話: (02)25781515

五南文化廣場: 臺中市中山路 2 號 B1• 電話: (04)22260330

GPN: 1009500746

ISBN: 986-00-4808-8 (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。

95
港灣地區地工資料建檔及液化自動分析模組之建立
(1/4)

交通部運輸研究所

GPN: 1009500746

定價 100 元

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：港灣地區地工資料建檔及液化自動分析模組之建立(1/4)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 986-00-4808-8 (平裝)	政府出版品統一編號 1009500746	運輸研究所出版品編號 95-39-7181	計畫編號 94-H1DA003-1
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 共同主持人：賴聖耀 研究人員：林雅雯、曾文傑 聯絡電話：04-26587172 傳真號碼：04-26564418			研究期間 自 94 年 01 月 至 94 年 12 月
關鍵詞：地理資訊系統、地質資料、土壤液化			
摘要： 本計畫在本年度內持續彙整中心歷年研究成果，並撰寫分析程式及查詢模組，擴建本所港研中心之地理資訊系統。年度內除延續前四年所建置的四大港區地質資料庫外，並新增布袋港區地質鑽探資料，而且開發地震液化及地震下陷自動分析模組，建置成一查詢展示系統，供快速查詢資料需用。建置作業所採用的主要工具為 MapInfo 地理資訊系統，並運用其程式語言 MapBasic 來開發應用模組。 年度內所完成的工作，計有五大項：(1)系統功能增列及維護、(2)布袋港區地質資料彙整增置、(3)布袋港區地震液化自動分析模組開發、(4)布袋港區地震下陷自動分析模組開發、(5)系統架構設計及查詢模式撰寫。後續計畫將繼續擴增資料內容，期使所建資料庫系統更加完善。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
95 年 3 月	78	100	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: Establishing a Geologic Database and Auto-analytic Model of Soil Liquefaction at the Harbor Areas (1/4).			
ISBN(OR ISSN) ISBN 986-00-4808-8 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009500746	IOT SERIAL NUMBER 95-39-7181	PROJECT NUMBER 94-H1DA003-1
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR : Y.F. Chiu PROJECT ADVISOR: M. J. Hsieh PRINCIPAL INVESTIGATOR: S. Y. Lai PROJECT STAFF: Y. W. Lin, W. J. Chen PHONE: 04-26587172 FAX: 04-26564418			PROJECT PERIOD FROM January 2005 TO December 2005
KEY WORDS: Geographic information system, geologic data, soil liquefaction.			
ABSTRACT: This project expanded the geographic information system (GIS) in the Center. The major tool of the operation is MapInfo GIS. We incorporated many data sources into MapInfo and used its program language, MapBasic to write the new consulting modules. We finished 5 items within last year as following: (1) expansion and maintenance of system functions, (2) establishment of the geologic data at the area of Budai Harbor, (3) establishment of the liquefaction auto-analytic model, (4) establishment of the seismic subsidence auto-analytic model, and (5) design of system framework and inquiry modules. Next year, we are continuing to add new contents to this project and aiming to establish a complete system.			
DATE OF PUBLICATION March 2006	NUMBER OF PAGES 78	PRICE 100	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

運用地理資訊系統技術擴建港灣工程基本資料之研究(1/4) -子計畫(一)：

港灣地區地工資料建檔及液化自動分析模組之建立

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
第一章 計畫緣起及目的	1-1
第二章 地理資訊系統的應用	2-1
第三章 系統開發工具	3-1
第四章 資料處理及系統建置	4-1
第五章 系統應用模組開發使用	5-1
第六章 地質資料及液化分析模組查詢展示	6-1
第七章 結論與建議	7-1
參考文獻	8-1

第一章 計畫緣起及目的

1.1 計畫緣起

港灣工程基本資料種類繁多，大致可分為港區地形、土層分佈、港灣設施、碼頭設計、防波堤設計、規畫配置及海氣象等資料。因資料散見於各港不同單位中，查詢調閱甚為不便，本所港研中心已收錄有部份資料，且利用 MapInfo 地理資訊系統著手加以整合。為期充分發揮資料管理效益，宜開發資料應用模組，架構成一適當查詢系統，以多樣化表現方式呈現，建立友善介面供使用者使用。

本計畫針對地質、結構及海氣象相關資料進行整理篩選，擴充既有資料架構。資料庫內容包括地質調查、衛星圖資、碼頭堤防斷面設計、海氣象現場調查等，一般資料以向量圖檔、分析圖及統計表型態配合地理資訊展現，可使資料展現介面更具親和性。

資料應用模組開發方面，本計畫針對地質資料已撰寫柱狀圖展繪及地震液化機率分析模組，並著手開發 Seed 等不同分析模式，再以具有等值分析功能之軟體撰寫 Iwasaki 區域液化危險度分析應用模組，利用程式語言設計查詢架構及撰寫查詢程式，期將地質資料之鑽探報表、柱狀圖、單孔及多孔液化分析、港池全區液化危險度等成果，設計成連續展繪的程式模組，提供使用者依地震強度選單輸入地震數據，可一系列的查詢各種地震強度之模擬境況。

1.2 資料建置之重要性

大凡建築工程之規劃設計，皆以搜集環境特性資料為第一要務；而大型的港灣工程，其橫跨之區域動輒數公里以上，區域內的地質及海氣象資料之獲得，乃為最基本之規劃依據。若有完整的港區工程基本資料庫，則港灣建設在工程規劃階段，將可以節省龐大的經費、時間與人力。且因台灣地處環太平洋地震帶，港灣結構物的最大破壞力

乃為烈震強浪所帶來的強烈衝擊及其延生的土壤液化、變形等現象。依據 1989 年美國加州灣區烈震調查，受災最嚴重的位置，均在海灣淤泥層及填土區上，1994 年 1 月 17 日，加州又現烈震，報告指出嚴重災區也多在軟弱地層上。隔年同日(1995 年 1 月 17 日)，日本阪神發生加速度達 833 gal 的烈震，回填區大面積液化，可見震災之分佈與地質條件有絕對密切之關係。1999 年 9 月 21 日，台灣發生集集大地震，距震央相隔三十餘公里的台中港，1 號至 4A 等五座碼頭亦嚴重受創。對於地震這類不可預知的天然災害，若能事先確知那些地點於地震時較可能受創，當可事先採取適當之防範措施。另由於台灣每年平均遭受 3.5 次的颱風侵襲，強風引致大浪，沖擊沿海港灣，對港灣海堤造成破壞，尤以東岸面對太平洋的港口，所帶來的損害最為劇烈。且近 20 年來台灣沿海地區地層下陷問題嚴重，每遇豪雨暴潮，甚至平時大潮滿潮，即發生海水倒灌，財產損失不貲，布袋、安平兩港正座落於下陷嚴重的嘉南平原地區，因此港區新生地之填土高程，碼頭堤防之設計高程，宜先預留容許下陷量，以防範未然。對台灣港區而言，建立完整的基本工程資料庫，除了規劃預算階段可獲得省時、省力、省錢等效益外，亦能達到災害防治的目的。將來並可依據這些資料來推估災害的可能發生程度及其它工程應用，以作為規劃設計及災害防治上的基本資料。

1.3 資料處理層級

一般對大量資料的處理可區分為三個層級，即規格化、系統化及應用性，對本研究而言，個項資料因提供單位不同，其表格及內容亦有差異，是故資料處理的第一個步驟即是妥善規劃港區的各項資料，訂定統一表格，使各種不同的資料經過整理而達同一規格。

就資料處理之系統化要求而言，即是要建立一個適合於管理及展示資料的資訊系統，本研究計劃所需求的資訊系統，基本上希望具有下列四項功能：

- (1) 建立港區基本地圖資料系統。

(2) 建立港區工程環境資料系統。

(3) 能展示港區相關資料。

(4) 應用資料並撰寫分析程式。

而本研究資料處理的第三個層次--應用性，乃以發揮上述第四項功能為其理想，即利用所建立的資料來撰寫分析程式推估相關工程性質，以供工程規劃參考。

1.4 資料建檔目的

由於港灣工程資料之獲得常需大量的人力、物力、財力及時間，故取得不易，因此須有計劃的彙整典藏各有關單位的珍貴資料，以避免因管理不善而造成資料的損毀或遺失。

電腦化的建檔方式能做大量而有系統的資料儲存工作，並可提供快速且有效的查詢作業服務，真正達到資料共用共享的益處，且未來新的資料又可迅速的補充，使資訊的流通更為便捷。相關資料及查詢系統建置完成後可達到下列目的：

1. 以數位化型式收集港埠空間資料及港灣工程基本資料。
2. 有效率的存取所收集及建置的資料。
3. 開發撰寫地震液化鑽孔分析不同模組。
4. 港區液化等值分析關聯模組設計，針對特定應用加以組合，調適成具目標性的應用系統。
5. 查詢程式撰寫，並提供中文下拉式選單供使用者使用，展示港區各項調查資料。
6. 提供工程依據：提供爾後港灣規劃、設計及工程研判上的需求。
7. 提供學術資料：可供各學術單位從事研究、分析所需的基本資料。

第二章 地理資訊系統的應用

2.1 地理資訊系統定義

地理資訊系統 (Geographic Information System), 簡稱 GIS, 是一套應用電腦來處理地理相關資料的資訊系統, 可視為一套電腦資訊的處理軟體。地理資訊系統之父 Tomlinson 曾說, 地理資訊系統並不是一個獨立的研究領域, 它是資訊處理與各種空間分析技術運用領域之間共同基礎。也因它涵蓋了多種領域的技術, 所以要給予一個明確的定義也相當困難。一般而言, 都認為 GIS 是一種資訊工具或資訊系統, 可用來儲存及處理各種類型的空間資料, 並給予適當的運用。國內學者施保旭曾表示: GIS 的精神, 在於它能將針對空間個體所得到的各種不同資訊加以整合。他也以軟體工具箱的角度, 對 GIS 提出一個概括性的定義, 他認為 GIS 乃是一組軟體, 它可以使我們:

1. 以數位化型式收集空間資料;
2. 有效率的存取這些資料;
3. 分析這些資料以得到衍生的資料;
4. 以使用者方便有效的方式展現數位化資料。

以及

5. 前述工具針對特定應用加以組合調適所得的應用系統。

而本定義的描述, 從資料收集、整理分析、到需求應用, 也正是一般 GIS 在業務運用上的發展程序。

2.2 地理資訊系統功能

地理資訊系統能幫我們處理什麼業務? 帶給我們什麼好處? 這是每個使用者最先想要瞭解的。通常, 它能為我們處理下列的幾個工作:

1. 圖資製作：將傳統的紙圖資料變成電腦檔案是一件相當吃重的工作，使用地理資訊系統工具，圖資的圖解數值化程序便可加以自動化，省時省力。
2. 資料更新：透過資料管理系統，電腦輔助繪圖工具，影像處理工具可更新貯存的資料，因為全為電腦檔案，修圖、套繪都變得輕鬆而精確。
3. 資料管理：利用電腦的硬碟、光碟、磁帶等貯存媒體可貯存大量的資料，並可利用資料庫來管理及運用這些資料。
4. 查詢分析：地理資料因為結合圖形與屬性資料，故在查詢分析時，要能夠同時針對圖形與屬性資料來進行。就查詢功能而言，主要包含簡單圖形與屬性資料選取、圖形與屬性雙向查詢、組合多重條件、進行複合查詢。就分析功能而言，主要包含有交集、差集、聯集分析、面積周長及距離度量、環框分析、資源偵測、網路分析等功能。
5. 資料展示：查詢分析的結果，可以透過電腦顯示器及繪圖機加以展示，資料展示方式包含有主題圖製作、統計圖表製作、圖形比例輸出控制、圖例製作、及成果配置圖製作等方式。
6. 決策支援：決策者可以利用地理資訊系統，做多種模擬分析，可客觀、公正的產生各種替選方案，以作最佳決策。

2.3 地理資訊系統的應用範疇

地理資訊系統因為涵蓋了各種相關部門的研究領域，也因此具備了極為廣泛的應用範疇，舉凡電腦製圖、都市規劃、國土計劃、地籍管理、土地稅徵收、自然資源分析及管理、交通運輸網路規劃、國防應用(如飛彈導引)，警車及消防車路線分派、學區規劃、工程應用、公共設施選址、汽車領航系統等。電信、電力、瓦斯、自來水、油氣等管線規劃與管理、旅遊導遊、山坡地開發規劃設計、商圈分析、及環境監控與管理等，均可以利用地理資訊系統來輔助。任何部門或單位，

只要其相關業務中與地理資料有點關聯的，都可以應用地理資訊系統來協助工作的進行。

第三章 系統開發工具

3.1 MapInfo 地理資訊系統

依據資料建檔工作所需具備之軟體基本功能，本研究採用美國 MapInfo 公司所發展的地理資訊系統應用軟體，該軟體即命名為 MapInfo，本研究以此來作為資料處理之主要軟體。MapInfo 在硬體匹配上分工作站版，PC 個人電腦版及麥金塔版，為顧及須提供資料予各港埠單位使用，本研究選用個人電腦版，該系統為視窗操作軟體，採用下拉式功能表模式，操作程序層次分明且極具效率，可提供使用者快速搜尋而取得所需要的功能。該系統主要的功能有：

1. 使用多用途資料模式，使用者可非常方便的組合 Lotus、DBASE 和任意圖層的資料。
2. 提供航空照片幾何校正功能，可直接在螢幕上數化，影像格式包含 GIF、TIF、PCX、BMP 和 TPG。
3. 可直接讀取.DBF (DBASE, FoxPro, Clipper)、Lotus1-2-3 和 Excel 檔案格式，在主從架構下透過選擇式查詢資料聯結 (SQL Data Link)，可直接查詢並讀取和 SYBASE 的資料庫。
4. 功能強大的簡報及出圖能力，搭配中文視窗操作系統，可將屬性或文字資料以實體 (True Type) 中文字顯示於圖上。
5. 提供編圖工具箱，方便圖形切割剪貼和字型選擇非常方便，且可依特定比例尺出圖，並繪製圖例。
6. 使用多重文件界面 (MDI)，可以很方便管理，並了解資料庫內每筆資料和圖形及統計表之間的關係。
7. 可配合資料內容產生大小不同之緩衝區，提供多種地圖投影方式，包括經緯度投影、橫麥卡托投影。

8. 具備多邊形交集、聯集分析，可隨時合併或分割大小不同的區域，甚至包含每個區域的屬性資料。
9. 可在 Windows，Macintosh，Sun 和 HP 上使用相同的使用者界面和資料格式，所開發的應用軟體可快速移植到其他硬體上。

3.2 MapBasic 系統語言開發環境

本研究另外採用 MapInfo 公司所提供的使用者發展語言環境 - MapBasic，來開發港區土層分佈資料查詢展示系統。MapBasic 的功能特性如下：

1. 提供程式發展者對於遠端資料庫查詢及更新的功能，使應用軟體可滿足主 / 從架構的需求。
2. 可以產生新的使用者界面，修改既有界面，或建立特殊需求的對話盒。
3. 可呼叫 Visual Basic 和 C 程式，編譯完成的程式可以在 MapInfo 內執行或成為一單獨可執行的模組。
4. 應用程式可在不同的硬體上執行。
5. 可經由一個專案檔案 (Project file) 連接多個小模組，因此程式發展者可同時發展個別的子模組。
6. 發展應用軟體時 MapBasic 提供下列兩種特性。
 - (1) 特殊事件控制 (Special Event Handlers)
 - (2) 交互處理溝通 (Inter-process Communication)

MapInfo 藉由 MapBasic 加以開發設計，可以做不同領域更專精的應用。目前的應用領域，包括 1.業務規劃，2.市場策略，3.公共管線，4.保險服務，5.自然環境，6.有線電視，7.環境品質，8.區域及都市計劃，9.學校教育，10.市政管理。可見其應用範圍極為廣泛，採用此一系統，將來在資源共享需求下，使用將更為便捷。

3.3 建檔附屬系統

MapInfo 為一圖檔處理極有效率的軟體工具，但在資料庫操作及對週邊設備之溝通上功能稍嫌不足。故本研究採用其它軟體來彌補 MapInfo 的這些缺憾：

1. 在數據資料庫之建立上，我們採用 MS FoxPro 及 MS Access 來建立基本表格檔。
2. 在影像檔案之輸入及編輯上，我們採用 Imagepals 影像軟體及掃描儀加以輔佐。
3. 基本地圖檔案係取用內政部資訊中心之基本圖檔，再利用 Auto CAD 軟體作圖檔轉入編輯，依據各港區所需的圖幅範圍結合成單一圖檔，再轉入 MapInfo 內使用。
4. 外建資料的傳送，係透過內部網路系統，將各資料送回 MapInfo 工作主機上，再將 FoxPro 及 Imagepals 所建立的檔案，轉成 MapInfo 的內部檔案，在 MapInfo 系統內加以聯結使用。

第四章 資料處理及系統建置

4.1 資料處理原則

要將龐大及不同格式之資料加以規格化，以提供工程上直接使用及學術上研究之便利，除了資料庫在結構上須作妥善地規劃外，其餘則全賴資料的整理及歸類。港區碼頭及地質資料不僅項目雜、數量多、且內容繁雜，要納入一個系統中，誠然不易。而且由不同單位產生之同一類報告其格式可能不盡相同，工程資料分類方法也多有不同。所以表格須先統一才能進行資料庫建置及系統設計等作業。

4.2 地圖座標系統

目前地圖投影的方式繁多，以致有許多的地圖座標系統。台灣地區位於北半球、低緯度區。為配合國際性座標，採用橫麥卡托投影座標系統(Universal Transversal Meccator，簡寫為 U.T.M.)，該系統在台灣之初建，乃民國六十九年聯勤測量署以南投埔里虎子山一等三角點為中心所完成之橫麥卡托二度分帶之全國三角點檢測工程。

由於基本控制點基樁長年暴露野外，容易因地震、颱風、豪雨等天然因素以及人為施工影響，遭致遺失或毀損，嚴重影響測量品質。內政部為建立完整、高精度之地圖座標基本控制點，自八十二年度開始辦理「應用全球定位系統實施台統一閩地區基本控制點測量計畫」，於台閩地區設立八個衛星追蹤站、一等衛星控制點一〇五點及二等衛星控制點六二一點。八個衛星追蹤站分別於八十二及八十三年度在陽明山、墾丁、鳳林、金門、北港、太麻里、馬祖、東沙等地設置，由於衛星追蹤站為全天候二十四小時連續不斷接收衛星資訊之資料收集站，經由與國際追蹤站聯測解算可精確求得八衛星追蹤站絕對坐標，並做為各等級衛星控制點測量之依據。

國家坐標系統為各項測量之根本，內政部為建立統一之國家坐標

系統，並配合目前衛星定位測量廣泛應用之潮流趨勢，經邀請產、官、學界代表召開二次研討會及二次會議共同討論，訂定新的國家坐標系統，其定義如下：

1. 新國家坐標系統之名稱命名為 1997 台灣大地基準(TWD97)，其建構係採用國際地球參考框架(International Terrestrial Reference Frame 簡稱為 ITRF)。ITRF 為利用全球測站網之觀測資料成果推算所得之地心坐標系統，其方位採國際時間局(Bureau International de l'Heure 簡稱為 BIH)定義在 1984.0 時刻之方位。

2. 新國家坐標系統之參考橢球體採用 1980 年國際大地測量學與地球物理學協會(International Union of Geodesy and Geophysics 簡稱為 IUGG)公布之參考橢球體 (GRS80)，其橢球參數如下：

長半徑 $a = 6378137$ 公尺

扁率 $f = 1/298.257222101$

3. 台灣、琉球嶼、綠島、蘭嶼及龜山島等地區之投影方式採用橫麥卡托投影經差二度分帶，其中央子午線為東經 121 度，投影原點向西平移 250,000 公尺，中央子午線尺度比為 0.9999；另澎湖、金門及馬祖等地區之投影方式，亦採用橫麥卡托投影經差二度分帶，其中央子午線定於東經 119 度，投影原點向西平移 250,000 公尺，中央子午線尺度比為 0.9999。

本報告即以台灣地區之橫麥卡托投影經差二度分帶系統(簡稱 TM 系統)，來做為相關圖層的座標系統。

4.3 輔助記憶體資料貯存架構

因 Mapinfo 的資料庫為模仿 Foxpro 的資料庫架構，此種架構被稱為半資料庫，此乃指系統內不同類別的資料，需各自存放於不同目錄位置，以此來區分各類資料。故其在輔助記憶體內的資料儲存架構，需先妥善規劃。由於五個國際港之碼頭及土層鑽探試驗資料極其龐

大，且須考慮後續資料的新增，本研究規劃了一個 700Mb 容量的輔助記憶體，供 MapInfo 系統軟體 MapBasic 開發程式及港區資料貯存用。該輔助記憶體設定在 MapInfo 作主機的 D 槽，港區資料貯存在目錄 <Harbor-1> 下，以五個次目錄分別存放五大港區相關資料，包括各港區之基本地圖資料、碼頭設計及土層調查試驗資料等之相關資料庫檔案。

4.4 碼頭設計資料庫架構

在每一個港區目錄下，本研究將港區內各碼頭之分佈位置繪製於 Whrfdata.tab 資料庫圖層檔內，而圖上每一碼頭物件之屬性資料也對照登錄到資料庫表格檔內。碼頭屬性資料共設計成十個欄位，依序為碼頭編號，碼頭面設計高程，裝卸軌道長度，碼頭設計長度，碼頭設計水深，啟用日期，建造經費，碼頭用途，租用單位，更新日期等，其欄位名稱，中文說明，資料型態及長度如表 4.1 所示。

4.5 鑽孔位置及剖面土層資料錄說明

在每一個港區目錄下，本研究建置了兩類資料庫存放標準貫入試驗相關資料，將港區內各鑽孔之座標、高程、試驗公司等抬頭資料存放於 Welldata.dbf 資料庫表格檔內，此表格檔存有 28 個欄位，其欄位名稱、中文說明、資料型態及長度如表 4.2 所示，存放於以港區英文名稱命名的目錄下，該表格檔除了存放這些基本資料外，還可利用 SQL 選取方式，選擇 Tag-Key, Pos_x, Pos_y 等三個欄位之資料，建置出一新的檔案，再由此新檔案製作出鑽孔位置分佈地圖檔。

另外，以 Welldata.dbf 的索引標籤 (Tag-Key) 欄位資料，做為該鑽孔之試驗資料檔案名稱，所建置的資料庫表格檔共具有 18 個欄位，其欄位名稱、中文說明、資料型態及長度如表 4.3 所示。為了資料庫編輯的作業方便，這兩類資料庫都先用 Foxpro 或 Access 建檔，再轉入 MapInfo 內使用。

表 4.1 碼頭設計使用資料檔案及資料錄說明

系統名稱：碼頭管理查詢系統			日期： / /	
檔案名稱：Whrfddata			檔案格式：表格(.DBF)	
檔案說明：碼頭設計及使用資料				
編號	欄位名稱	欄位中文說明	資料型態及長度	備 註
1	Num	碼頭編號	Char(10)	
2	Level	設計高程	Decimal (10.0)	單位：公尺
3	Guage	軌道長度	Decimal(7.3)	單位：公尺
4	Length	碼頭長度	Decimal(7.2)	單位：公尺
5	Depth	設計水深	Decimal(4.1)	單位：公尺
6	Usedate	啟用日期	Char(6)	YYMM
7	Fee	造價	Long Integer	單位：元
8	Berth	碼頭用途	Char(6)	
9	Lease	租用單位	Char(6)	
10	Rehdate	更新日期	Char(6)	YYMM

表 4.2 港區各鑽孔基本資料檔案及資料錄說明

系統名稱：港區土層分佈資料庫			日期： / /	
檔案名稱：Welldata			檔案格式：表格(.DBF)	
檔案說明：港區各鑽探孔位座標高程試驗公司等資料				
編號	欄位名稱	欄位中文說明	資料型態及長度	備 註
1	Tag_key	索引標籤	Char(10)	
2	Project	計劃名稱	Char(40)	
3	Hole_no	鑽孔名稱	Char(10)	
4	Offer_comp	提供單位	Char(40)	
5	Borin_comp	鑽探公司	Char(40)	
6	Test_comp	試驗公司	Char(40)	
7	Borin_date	鑽探日期	Date	MMDDYY
8	Locat_desc	鑽孔位置	Char(40)	
9	Pos_x	X 座標	Decimal(12,2)	
10	Pos_y	Y 座標	Decimal(12,2)	
11	Pos_z	高程	Decimal(7,2)	
12	Pizometer	水位計	Char(20)	
13	Pizo_depth	埋設深度	Decimal(7,2)	
14	H_angle	鑽孔傾角	Decimal(3,0)	
15	H_diameter	鑽孔孔徑	Decimal(6,0)	
16	H_depth	鑽孔深度	Decimal(7,2)	
17	Gw_level1	第 1 次地下水位 量測深度	Decimal(7,2)	
18	Gw_date1	第 1 次地下水位 量測日期	Date	MMDDYY
19	Gw_level2	第 2 次地下水位 量測深度	Decimal(7,2)	

表 4.2 港區各鑽孔基本資料檔案及資料錄說明(續)

20	Gw_date2	第 2 次地下水位 量測日期	Date	MMDDYY
21	Gw_level3	第 3 次地下水位 量測深度	Decimal(7,2)	
22	Gw_date3	第 3 次地下水位 量測日期	Date	MMDDYY
23	Gw_level4	第 4 次地下水位 量測深度	Decimal(7,2)	
24	Gw_date4	第 4 次地下水位 量測深度	Date	MMDDYY
25	Gw_level5	第 5 次地下水位 量測深度	Decimal(7,2)	
26	Gw_date5	第 5 次地下水位 量測深度	Date	MMDDYY
27	Gw_level6	第 6 次地下水位 量測深度	Decimal(7,2)	
28	Gw_date6	第 6 次地下水位 量測深度	Date	MMDDYY

表 4.3 鑽孔之試驗資料檔案及資料錄說明

系統名稱：港區土層分佈資料庫			日期： / /	
檔案名稱：(tag-key)			檔案格式：表格(.DBF)	
檔案說明：鑽孔之試驗資料				
編號	欄位名稱	欄位中文說明	資料型態及長度	備 註
1	Depth	深度	Decimal(6,2)	
2	Desc	土 / 岩層說明	Char(40)	
3	Class	土壤岩石分類	Char(10)	
4	Smpl_rate	取樣率	Decimal(3,0)	
5	Rqd	岩心完整性	Decimal(3,0)	
6	N_value	錘擊數	Decimal(3,0)	
7	Smpl_no	採樣編號	Char(5)	
8	Gravel_%	礫石含量	Decimal(3,0)	
9	Snad_%	砂土含量	Decimal(3,0)	
10	Silt_%	粉土含量	Decimal(3,0)	
11	Clay_%	黏土含量	Decimal(3,0)	
12	Water_cont	自然含水量	Decimal(5.1)	
13	LL	液性限度	Decimal(5.1)	
14	PI	塑性指數	Decimal(5.1)	
15	Unt_weight	總體單位重	Decimal(5.2)	
16	W_gravity	比重	Decimal(5.2)	
17	Void_ratio	孔隙比	Decimal(5.2)	
18	D ₁₀	10%通過粒徑	Decimal(7.4)	
19	D ₅₀	50%通過粒徑	Decimal(7.4)	
20	Other_test	其它試驗	Char(20)	

第五章 系統應用模組開發使用

5.1 資料處理及模組運用

一個開發了某段時日的地理資訊應用系統，通常都已存放了許多相關的資料，這些資料，可以直接查詢取得，或以 SQL 條件式選取方式找尋目標資料，以統計圖表的方式展示，或以主題圖的方式展繪，但這些都僅止於基本資料的展現。資料要變得有用，須能夠作專業性的分析推估，將原始資料，轉化成專業資訊，將分析結果迅速展現在查詢者眼前。本研究乃針對此目標，接續上一年度開發土壤液化模組分析台中港的地質資料後，本年度針對高雄港的地質資料來處理，運用分析模組製作產出各項成果。

5.2 土壤液化評估方法

利用標準貫入試驗的錘擊數(即 SPT-N 值)來評估土壤液化潛能，是最常被使用的方法，目前許多國家的設計規範都以 SPT-N 值評估法為基本方法，這部份也有不同的學者提出自己的理論及經驗公式，本研究引用較常被使用的方法；如(1) Seed 簡易經驗法(1997 NCEER Workshop)、(2) Tokimatsu 與 Yoshimi 簡易經驗法(1983)、(3) 日本道路協會簡易經驗法(1996)、(4) Liao 液化機率分析法(1988)與(5) Lai 之判別分析法(2002)來進行分析，相關方法說明如下：

5.2.1 Seed 簡易經驗法

本方法首先由 Seed 與 Idriss (1971) 所提出；再根據震災案例與其經驗，Seed et al. (1983) 提出修正，考慮平均粒徑 (D_{50}) 對土層液化潛能影響；而於 1985 年 Seed 等人根據美國西部、阿拉斯加、日本、中國大陸與南美地區等地之液化與非液化資料，將 D_{50} 之影響改以細料含量 (Fines Content) 作為修正後，如圖 5-1 所示，才較為完善；此法

廣泛應用於美國地區，並納入 AASHTO 規範中。而 1997 NCEER Workshop 針對本分析法進行修正，並提出數個迴歸公式取代原本查閱圖表之方法，使本法對於工程界之實用性更行提高。

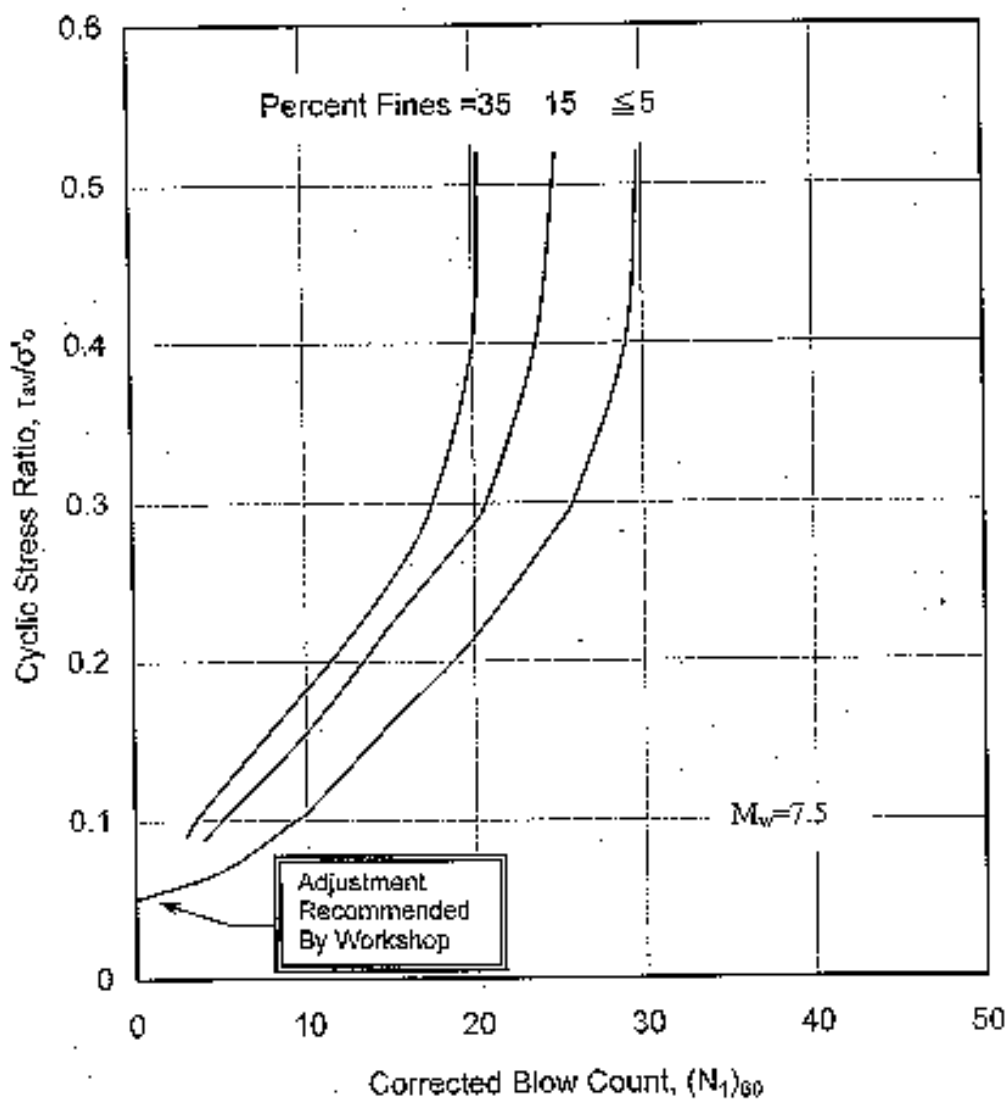


圖 5-1 地震規模 $M_w=7.5$ 時，不同細料含量之液化阻抗與 $(N_1)_{60}$ 關係
(修正自 Seed 等人，1985)

當地震來臨時，土層中剪應力主要為受到地盤向上傳遞之剪力波影響所致，因此首先假設深度 h 之土壤柱體為一剛性體，且最大地表加速度為 a_{max} ，則該土柱體底端之最大剪應力如圖 5-2 所示：

$$(\tau_{\max})_{\gamma} = \gamma \cdot h \cdot \frac{a_{\max}}{g} \dots\dots\dots (5-1)$$

式中， γ 為土壤單位重

h 為土層深度

$a_{\max}$ 為水平地表最大加速度

g 為重力加速度

$(\tau_{\max})_{\gamma}$ 為將土壤視為剛性體時之最大剪應力

但於土壤柱體受力時，如同一變形體，因此深度 h 之實際應力 $(\tau_{\max})_d$ 應小於 $(\tau_{\max})_{\gamma}$ ，以下式表示：

$$(\tau_{\max})_d = \gamma_d \cdot (\tau_{\max})_{\gamma} \dots\dots\dots (5-2)$$

式中， γ_d 為應力折減係數，為深度的函數，係根據 Blake (1998) 所提出之 γ_d 平均值建議公式，如 5-3 式所示：

$$\gamma_d = \frac{1.000 - 0.4113 z^{0.5} + 0.04052 z + 0.001753 z^{1.5}}{1.000 - 0.4177 z^{0.5} + 0.05729 z - 0.006205 z^{1.5} + 0.001210 z^2} \dots\dots (5-3)$$

$(\tau_{\max})_d$ 為地盤反應計算所求得深度 h 處之最大剪應力

實際地震發生時，地盤內所產生之震動波形極為複雜，故研判時多以 $(\tau_{\max})_d$ 之 65% 的剪應力為等值平均剪應力 (equivalent uniform average shear stress)。因此，等值平均反覆應力比 $\left(\frac{\tau_{ave}}{\sigma'_o}\right)$ 為：

$$\left(\frac{\tau_{av}}{\sigma'_o}\right)_{eq} = \left(\frac{\tau}{\sigma'_o}\right)_L = 0.65 \cdot \frac{a_{\max}}{g} \cdot \frac{\sigma_o}{\sigma'_o} \cdot \gamma_d \dots\dots\dots (5-4)$$

式中， τ_{ave} 為等值平均反覆剪應力

σ_o 為垂直覆土壓力

σ'_v 為有效垂直覆土壓力

$a_{\max}$ 為水平地表最大加速度

g 為重力加速度

γ_d 為應力折減係數，如式 3-3 所示

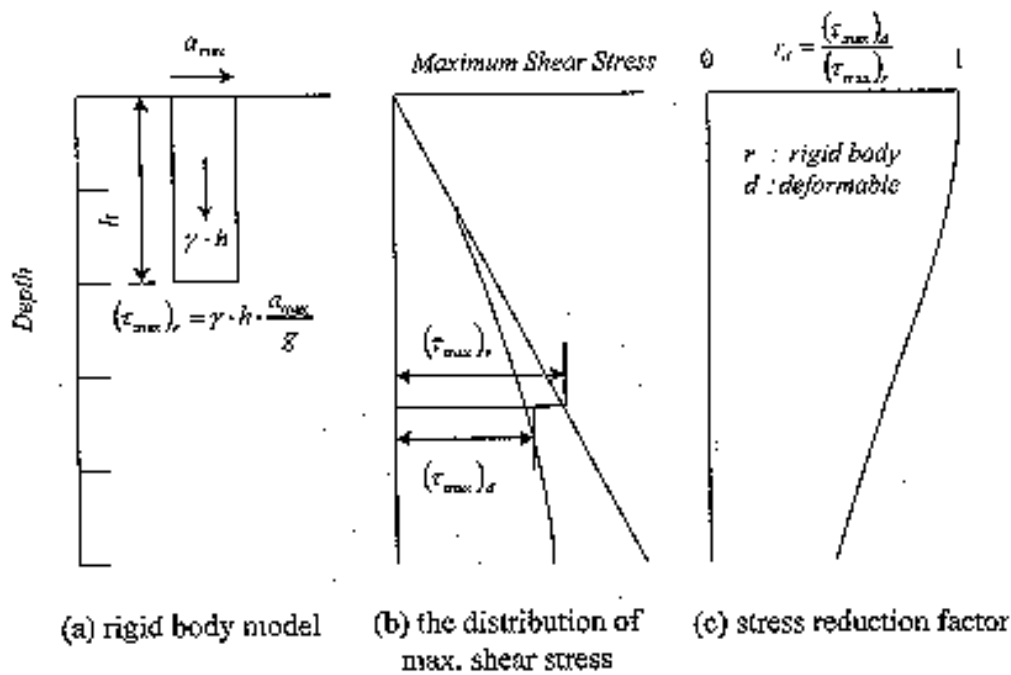


圖 5-2 應力折減係數 γ_d 的由來 (Seed 與 Idriss, 1971)

當相同土壤承受不同圍壓時，所得之標準貫入試驗 N 值亦將不同，再加上不同國家於施作標準貫入試驗之鑽桿能量亦不盡相同；因此必須對 N 值進行覆土壓修正，並於使用不同分析方法時，亦需考慮其不同之鑽桿能量比，使其符合各模式之基本資料型態，以免導致誤用與分析錯誤。各種 SPT- N 值簡易經驗法之綜合比較如表 5-1 所示，而 Seed 簡易法之鑽桿能量基準值為 60%，經此覆土壓與鑽桿能量修正後之 N 值為 $(N_1)_{60}$ ，如式 5-5 所示：

$$(N_1)_{60} = C_N \cdot N \cdot \left(\frac{ER}{60} \right) \dots\dots\dots (5-5)$$

式中， $(N_1)_{60}$ 為經覆土壓修正與鑽桿能量修正後之 N 值

C_N 為覆土壓修正因子 (Overburden Stress Correction Factor)

N 為現地標準貫入試驗所得之 N 值

$\frac{ER}{60}$ 為能量修正係數

本文於 Seed 簡易經驗法中採用之覆土壓力修正因子為 Liao (1986) 所建議之公式計算而得，如式 5-6 所示，而 C_N 值之範圍，介定於 0.5 到 1.6 之間；而鑽桿能量比 (Energy Ratio) 乃參考亞新工程顧問公司於員林地區施作落錘能量檢測之結果，如圖 5-3 所示，其所建議之經驗公式，如式 5-6 所示：

$$C_N = \sqrt{\frac{P_a}{\sigma'_o}} \dots\dots\dots (5-6)$$

$$ER(\%) = 30 \cdot \frac{z}{11} + 50 \quad \text{for } z \leq 11 \text{ meters} \dots\dots\dots (5-7a)$$

$$ER(\%) = 80 \quad \text{for } z \geq 11 \text{ meters} \dots\dots\dots (5-7b)$$

式中， P_a 為 100kPa

σ'_o 為有效垂直覆土壓力

ER 為鑽桿能量比

z 為分析土層之深度 (meters)

表 5-1 SPT-N 值簡易液化評估法之比較
(參考黃富國等, 1999)

		Seed	T&Y	JRA96	Liao
地震參數		PGA , M	PGA , M	PGA	PGA , M
土壤參數		N , FC	N , FC , γ	N , D50 , FC	N , FC
鑽桿能量比%		60	80	72	60
動態強度	循環次數	15	15	-	-
	振幅應變	5%	2.5~7.5%	-	-
剪應力特性		等值剪應力	等值剪應力	最大剪應力	-
方法特性		半經驗法	半經驗法	半經驗法	機率統計法
安全係數		1.25~1.5	疏鬆砂土層 N1 < 10, 取 1.5 中等緊密砂至 緊砂, 取 1.3	1.0	發生機率 0~1

由 $(N_1)_{60}$ 與反覆應力比之關係, 包含細粒料修正關係, 如圖 5-1 所示, 可估計出地震規模 $M_w = 7.5$ 時, 引起液化的反覆阻抗比 ($CRR_{7.5}$); 為改善此查圖之步驟, 1997 NCEER Workshop 亦根據圖 5-1 之趨勢建議一迴歸公式計算土層之抗液化強度, 方便工程師使用。但若地震規模不為 7.5 時, 則需乘以由 Idriss (1998) 建議之參數 MSF (Magnitude Scaling Factor) 修正至地震規模 M_w 為 7.5, 始能套用於此模式下土層液化阻抗之計算;

$$MSF = \frac{10^{2.24}}{M^{2.56}} \dots\dots\dots (5-8)$$

$$CRR_{7.5} = \frac{a + cx + ex^2 + gx^3}{1 + bx + cx^2 + fx^3 + hx^4} \dots\dots\dots (5-9)$$

式中：M 為地震規模（Moment Magnitude）

$$x \text{ 為 } (N_1)_{60cs}, (N_1)_{60cs} = \alpha + \beta(N_1)_{60} \dots\dots\dots (5-10)$$

$$\alpha = \begin{cases} 0 & \text{for } FC \leq 5\% \\ \exp [1.76 - (190 / FC^2)] & \text{for } 5\% < FC < 35\% \\ 5.0 & \text{for } FC \geq 35\% \end{cases}$$

$$\beta = \begin{cases} 1.0 & \text{for } FC \leq 5\% \\ [0.99 + (FC^{1.5} / 1000)] & \text{for } 5\% < FC < 35\% \\ 1.2 & \text{for } FC \geq 35\% \end{cases}$$

a = 0.048 ; b = -0.1248 ; c = -0.004721 ; d = 0.009578 ;

e = 0.0006136 ; f = -0.0003285 ; g = -1.673E-05 ; h = 3.714E-06

最後計算該土層之抗液化安全係數如 5-11 式所示，其分析流程如圖 5-4 所示：

$$FS = \frac{CRR_{7.5} \cdot MSF}{CSR} \dots\dots\dots (5-11)$$

式中， $CRR_{7.5}$ 為地震規模 7.5 時土層抗液化反覆阻抗比

CSR 為設計地震規模下之土層反覆剪應力比

MSF 為 Magnitude Scaling Factor，如式 5-8 所示。

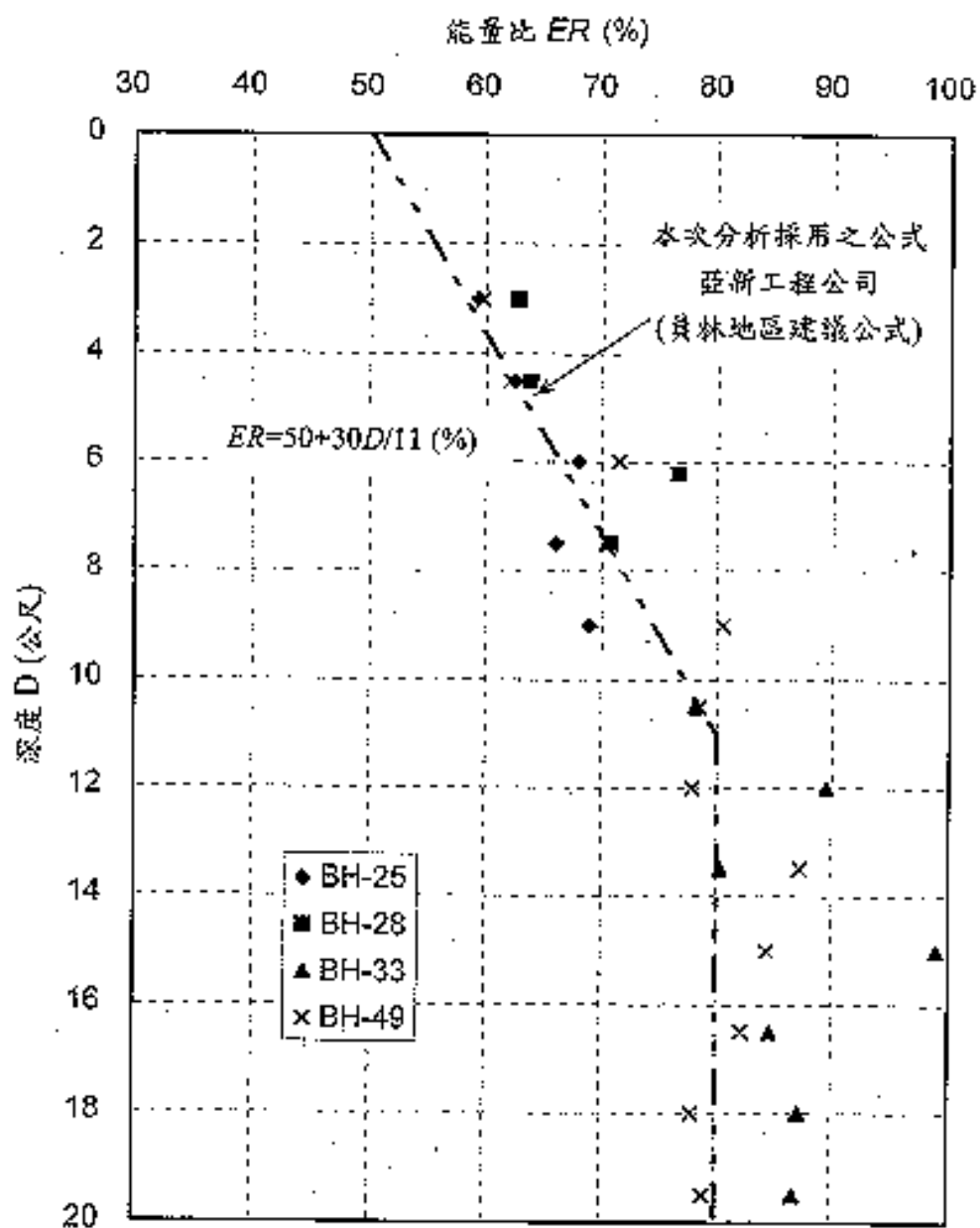


圖 5-3 標準貫入試驗打擊能量比與深度之關係
(亞新工程顧問公司, 2000)

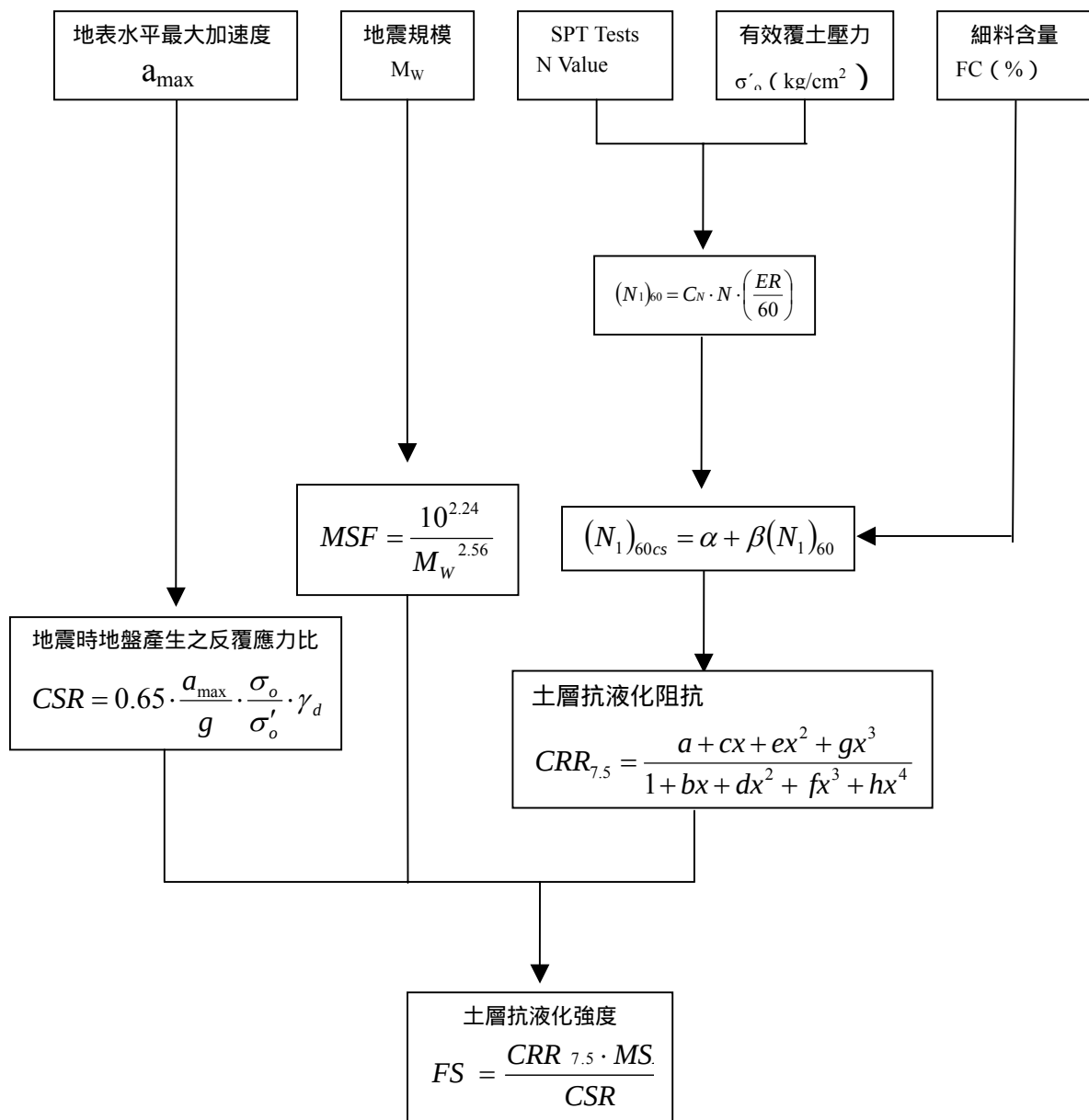


圖 5-4 Seed 簡易經驗法 (1997NCEER Workshop) 分析流程

5.2.2 Tokimatsu 與 Yoshimi 簡易經驗法

本法為東京工業大學 Tokimatsu 與 Yoshimi 教授於 1983 年提出，為根據日本過去 10 次地震約 70 個地區案例，與世界各國約 20 個發生液化與非液化地區案例；此法略經修改後，近年來已納入日本建築學會與原子能委會之設計規範中。本簡易經驗法於土壤抗液化強度評估

上，主要是依據現地冰凍法所取得之不擾動試體土樣與傳統試體土樣，進行試驗室反覆三軸試驗，求出砂性土壤於不同相對密度（ $D_r = 50\sim 85\%$ ），在反覆振動作用 15 次下，產生雙向剪應變振幅分別為 2.5%、5%與 7%時的初始液化反覆剪應力比，並依據 Meyerhof (1957) 建議之標準貫入試驗 N 值與相對密度 D_r (%) 之關係式：

$$D_r = 21 \sqrt{\frac{N}{\sigma'_o + 0.7}} \dots\dots\dots (5-12)$$

將 5-12 式轉換成可由現地土層深度之標準貫入試驗 N 值，求取砂土之抗液化強度：

$$\left(\frac{\tau}{\sigma'_o} \right)_R = a \cdot C_r \left[\frac{16\sqrt{N_a}}{100} + \left(\frac{16\sqrt{N_a}}{C_s} \right)^n \right] \dots\dots\dots (5-13)$$

$$N_a = (N_1)_{80} + \Delta N_f \dots\dots\dots (5-14)$$

$$(N_1)_{80} = \left(\frac{1.7}{\sigma'_o + 0.7} \right) N \cdot \left(\frac{ER}{80} \right)$$

$$\begin{aligned} \Delta N_f &= 0 && \text{for } FC \leq 5 \\ &= FC - 5 && \text{for } 5 \leq FC \leq 10 \\ &= 0.1 \cdot FC + 4 && \text{for } 10 \leq FC \end{aligned}$$

式中，a 為迴歸係數 0.45

C_r 為試驗室液化強度修正至現地液化強度之修正係數 0.57

n 為迴歸係數 14

N 為現地標準貫入試驗 N 值

$(N_1)_{80}$ 為經有效覆土壓力與鑽桿能量為 80%時修正之 N 值

ER 之計算如式 5-7 所示

σ'_o 為有效垂直覆土壓力 (kg/cm²)

ΔN_f 為細粒料含量修正係數。

C_s 為剪應變振幅係數 , $C_s = 80 \sim 90$, 若為大區域破壞時 Tokimatsu 與 Yoshimi 建議採 $C_s = 75$

C_s 之數值大小 , 應視現地液化時之破壞剪應變量大小而定 , 但 Tokimatsu 與 Yoshimi (1983) 並未明確給予量化固定值 , 僅依據現地土壤不擾動試體與重塑試體之反覆三軸試驗及單剪試驗結果 , 定出 C_s 值為 80~90 , 且建議在現場大區域破壞時 , C_s 取 75。

設計地震規模 M 對於現地工址於地面下深度 z 處土體 , 所受之平均反覆應力比為下式所示 :

$$CSR = (\tau_{ave}/\sigma'_o)_L = 0.1 \cdot (M - 1) \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_o}{\sigma'_o} \cdot \gamma_d \dots\dots\dots (5-15)$$

式中 , M 為芮氏地震規模

σ_o 為該深度土壤之垂直覆土壓力 (kg/cm²)

σ'_o 為該深度土壤之有效垂直覆土壓力 (kg/cm²)

a_{max} 為最大地表加速度 (g)

g 為重力加速度

γ_d 為應力折減係數 , 為土層深度 $z(m)$ 的函數 $\gamma_d = 1 - 0.015z$
計算安全係數如下式所示 , 其分析流程如圖 5-5 所示 :

$$F_L = \frac{\left(\tau / \sigma'_o \right)_R}{\left(\tau_{ave} / \sigma'_o \right)_L} \dots\dots\dots (5-16)$$

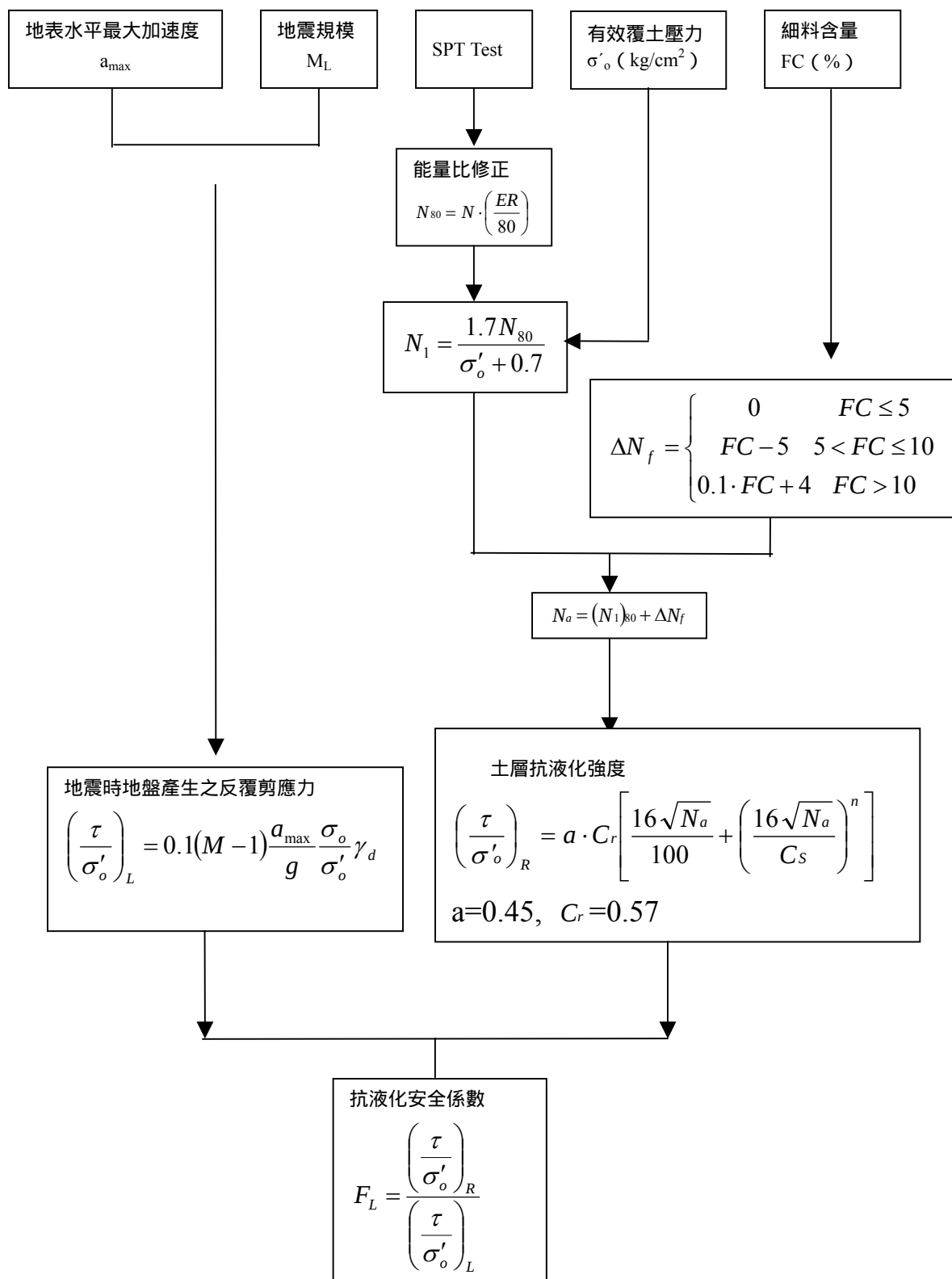


圖 5-5 Tokimatsu 與 Yoshimi 簡易經驗法 (1983) 分析流程

5.2.3 日本道路橋協會簡易經驗法

1995 年日本阪神地震後，日本道路橋協會將此次地震液化經驗與學者相關研究結果整合後，重新擬定新的土壤液化潛能分析方法；而內政部建築研究所之研究計畫成果報告「建築技術規則建築構造設計規範（含解說）」（1998）有關液化評估方法，則已介紹日本道路橋協會簡易經驗法（JRA，1996）。規範中規定於下列情況下，須進行土壤液化潛能之判定：如（1）土層為沖積砂質土；（2）地下水位在地表面下 10m 以內且深度在 20m 以內；（3）土壤本身細料含量 $FC \leq 30\%$ 或塑性指數 $PI \leq 15$ ；（4）其平均粒徑 $D_{50} \leq 10\text{mm}$ 且 $D_{10} \leq 1\text{mm}$ ；其分析方法概述如下，分析流程如圖 5-6 所示。

首先計算地震力強度 L ，如式 5-17 所示：

$$L = \gamma_d \times k_{hc} \times \frac{\sigma_o}{\sigma'_o} \dots\dots\dots (5-17)$$

式中， L 為地震時地層之最大反覆剪應力比

σ_o 為垂直總覆土壓力（ kg/cm^2 ）

σ'_o 為垂直有效覆土壓力（ kg/cm^2 ）

γ_d 為應力折減係數， $\gamma_d = 1 - 0.015z$

k_{hc} 為設計水平震度係數

現地土層最大反覆抗液化強度比 R 如下：

$$R = c_w R_L \dots\dots\dots (5-18)$$

$$\begin{array}{ll} C_w = 1.0 & (R_L \leq 0.1) \\ \text{式中，} C_w = 3.3R_L + 0.67 & (0.1 < R_L \leq 0.4) \\ C_w = 2.0 & (0.4 < R_L) \end{array}$$

$$R_L = 0.0882 \sqrt{\frac{N_a}{1.7}} \quad (N_a < 14)$$

$$R_L = 0.0882 \sqrt{\frac{N_a}{1.7}} + 1.6 \times 10^{-6} \times (N_a - 14)^{4.5} \quad (14 \leq N_a)$$

砂質土：

$$N_a = c_1 (N_1)_{72} + c_2 \dots\dots\dots (5-19)$$

$$\text{式中, } N_1 = 1.7 \times \frac{N}{(\sigma'_o + 0.7)}$$

$$(N_1)_{72} = N_1 \cdot \left(\frac{ER}{72} \right)$$

$$c_1 = \begin{cases} 1 \dots\dots\dots (0 \leq FC < 10\%) \\ (FC + 40)/50 \dots\dots\dots (10\% \leq FC < 60\%) \\ (FC/20) - 1 \dots\dots\dots (60\% \leq FC) \end{cases}$$

$$c_2 = \begin{cases} 0 \dots\dots\dots (0 \leq FC < 10\%) \\ (FC - 10)/18 \dots\dots\dots (10\% \leq FC) \end{cases}$$

礫質土：

$$N_a = [1 - 0.36 \times \log(D_{50}/2)] \times N_1 \dots\dots\dots (5-20)$$

式中： c_w , c_1 , c_2 為修正係數

FC 為土壤之細料含量 (%)

N 為現地標準貫入試驗之 N 值

σ'_o 為土壤之有效覆土壓力 (kg/cm^2)

N_1 為經有效覆土壓力修正後之 N 值

$(N_1)_{72}$ 為經本規範規定之打擊能量 72% 修正後之 N 值評估土層之抗液化安全係數如式 5-21 所示：

$$F_L = \frac{R}{L} \dots\dots\dots (5-21)$$

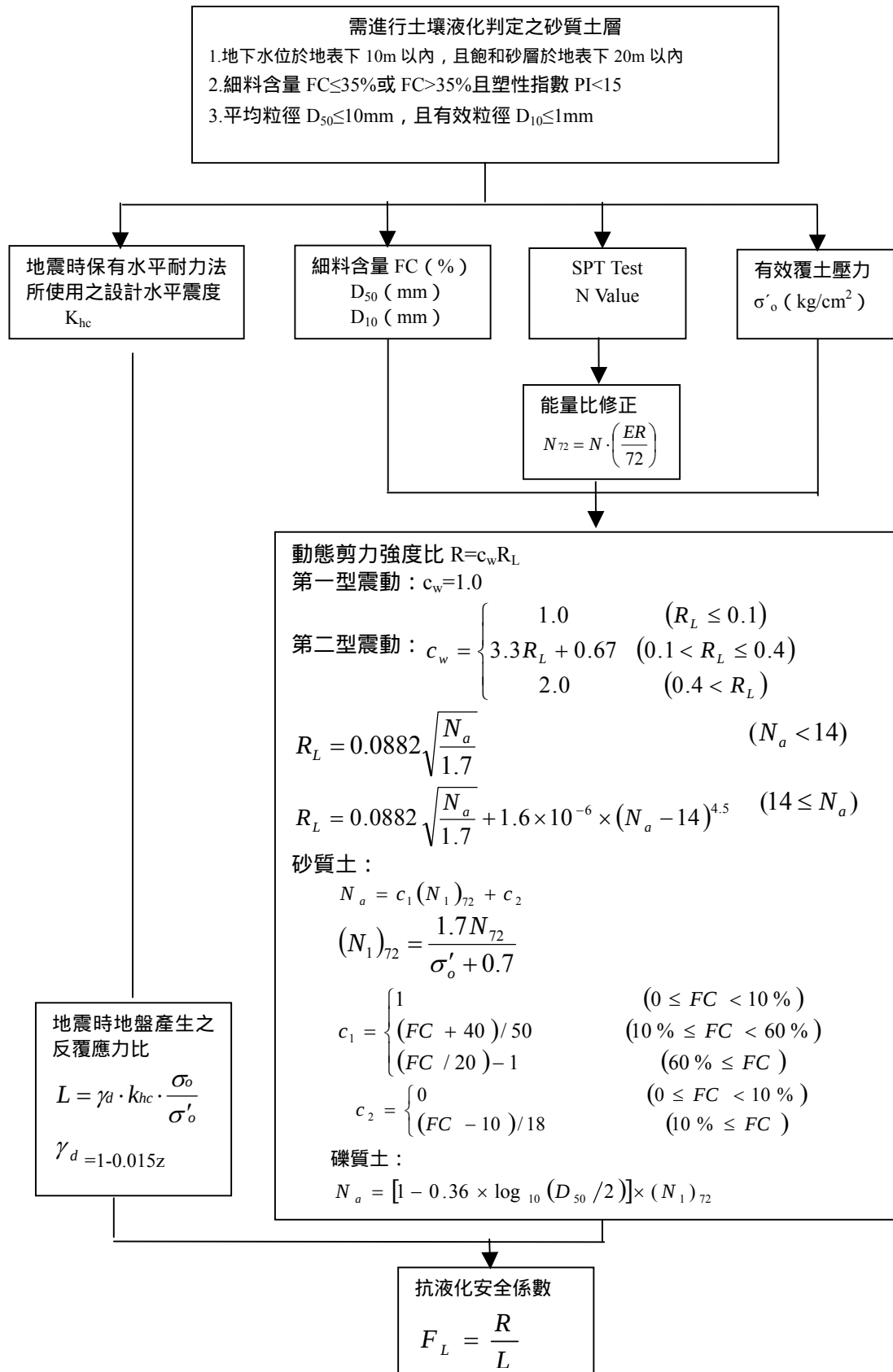


圖 5-6 日本道路橋協會簡易經驗法（1996）分析流程

5.2.4 Liao 液化機率分析方法

Liao et al. (1988) 以邏輯轉換 (Logic Transformation) 及最大似然性法 (Maximum Likelihood) 之推定分析, 將液化機率 P_L 表示成地震力參數及土壤特性參數之函數。Liao 蒐集了震災地區共 278 組 SPT 現場數據, 以邏輯迴歸方法進行分析, 建立以 SPT—N 值評估液化機之迴歸模式。此法之最大優點為允許更多影響液化特性之參數, 納入邏輯迴歸之評估中, 另一優點為能夠直接定量的表達工址可能發生液化之機率。

震災地區之 SPT 現場數據包括土壤抗液化之強度及地震引致土層之作用強度。地震引致土層的作用強度參數, 以無因次之反復應力比 τ_{av}/σ'_o 表示, 反復應力比為飽和砂土層因地震作用引起的平均剪應力 τ_{av} , 與砂土之有效覆土壓力 σ'_o 之比值, 此比值 Liao 乃根據 Seed et al. 之方法推求, 而以 SR 表示, 其計算式即為 5-4 式。

此法之土壤抗液化之強度參數以 SPT - N 值表示, 不過由於 SPT - N 值, 在鑽探時, 易受有效應力之影響。因此以現場資料和 SPT - N 值評估土壤液化潛能之前, 需將 N 值加以修正, 以求得抗液化強度之相關經驗式, 本參數 Liao 仍依據 Seed 之建議, 使用標準化參數 $(N_1)_{60}$ 值, 即將 SPT - N 值修正至有效覆土壓力為 1kg/cm^2 之正規化貫入值 N_1 , 再修正落錘能量為 60% 之正規化貫入值 $(N_1)_{60}$, 其計算式即為 5-5 式。

Liao, et al. (1988) 以 $SR = \tau_{av}/\sigma'_o$ 為地震力參數, 以 $(N_1)_{60}$ 為土壤液化特性參數, 所建立之液化機率 P_L 如下所示:

$$P_L = \frac{1}{\left\{1 + \exp\left[-\left(\beta_0 + \beta_1 \ln(SR) + \beta_2 (N_1)_{60}\right)\right]\right\}} \dots\dots\dots (5-22)$$

Liao, et al. (1988) 所蒐集世界各震災地區液化與非液化之 SPT 資料, 其中淨砂 ($FC \leq 12\%$) 有 182 組、泥砂 ($FC > 12\%$) 有 96 組、不分淨砂或泥砂之淨砂 / 泥砂共 278 組, 經其以邏輯迴歸法分析得液化

機率模式分別為：

1. 淨砂 (FC≤12%) 模式

$$P_L = \frac{1}{\{1 + \exp[-(16.447 + 6.4603 \ln(SR) - 0.3970(N_1)_{60})]\}} \dots\dots(5-23a)$$

2. 泥砂 (FC>12%) 模式

$$P_L = \frac{1}{\{1 + \exp[-(6.4831 + 2.6854 \ln(SR) - 0.1890(N_1)_{60})]\}} \dots\dots\dots(5-23b)$$

3. 不分淨砂、泥砂之淨砂 / 泥砂模式

$$P_L = \frac{1}{\{1 + \exp[-(10.167 + 4.1933 \ln(SR) - 0.24375(N_1)_{60})]\}} \dots\dots\dots(5-23c)$$

5.3 Lai(賴聖耀)之判別分析液化模式

賴聖耀(2003)利用判別分析(discriminant analysis)方法，依據所收集的 592 組國內外案例數據，(包括 Hwang et al. (2001)所蒐集 921 集集地震液化與非液化案例 288 組、Liao et al. (1988)所蒐集世界各國液化與非液化案例 278 組及 Boulanger et al.(1997)所蒐集美國 Loma Prieta 地震液化與非液化案例 26 組)，發展出一個以標準貫入試驗(SPT)評估土壤液化潛能之本土化及全球化分析模式。

以 SPT 評估土壤液化潛能之分析方法,須先建立土壤抗液化強度 XR 與 SPT-N 值之關係式或關係圖,欲求得 XR 與 SPT-N 值之關係，目前之統計方法約有三種：(1)判別分析法，(2)邏輯迴歸法，(3)最小錯誤分類法，由於各種方法皆各具特色及適用性，Lai 乃根據以上 592 組案例,利用多變數統計之判別分析方法，建立以標準貫入試驗值評估土壤液化潛能之判別模式，及其可能導致誤差判斷之機率。

5.3.1 判別分析

判別分析(discriminant analysis)是多變數統計分析之一個步驟，即將一群現地調查資料區分為兩個種類；就本文來講，是將地震區液化與非液化之 SPT 資料，加以統計分析求得適當之判別式區分液化與非液化兩個種類，以便能由工址之現地調查資料，評估工址之液化潛能，及其可能導致誤差判斷之機率。

依據 Christian & Swiger(1975)及賴聖耀(1990)之建議，進行判別分析之現地調查資料須符合三項假設，即：

1. 全部現地調查資料皆為隨機調查所得。
2. 判別分析之參數須符合常態分佈。
3. 現地調查資料兩種個別種類之變異性(variances)及相關性(correlation)須與全部調查資料之變異性、相關性相同。

若地震區液化與非液化之現地貫入試驗資料，符合上述三項假設，則其液化潛能之判別式，依 Christian & Swiger(1975)之意見，可表示如下式：

$$V = \left[X - \frac{1}{2}(\bar{X}_\ell + \bar{X}_{n\ell}) \right]^T S^{-1} (\bar{X}_\ell - \bar{X}_{n\ell}) \dots\dots\dots (5-24)$$

式中

V ：判別參數； $V \geq 0$ 表示非液化， $V < 0$ 表示液化。

X ：液化解釋參數之向量

$\bar{X}_\ell$ ：現地調查資料中，液化部分解釋參數平均值之向量，其中下標 ℓ 符號表示液化。

$\bar{X}_{n\ell}$ ：現地調查資料中，非液化部分解釋參數平均值之向量，其中下標 $n\ell$ 符號表示非液化。

S^{-1} ：全部調查資料變異性矩陣 S 之反矩陣。

由式(5-24)之判別分析，僅能尋找一條液化與非液化之理論分界曲線，本文以應用更廣泛之新的判別式(Lai, 1990)進行判別分析，新的判別式為式(5-24)結合誤差機率函數(function of probability of misclassification) $C(P)$ ，如式(5-25)所示，依此新的判別式可尋找數條液化與非液化之分界曲線，再依工程之重要程度，選擇較合理誤差機率函數之理想分界曲線。

$$V_p = \left[X - \frac{1}{2}(\bar{X}_\ell + \bar{X}_{n\ell}) \right]^T S^{-1} (\bar{X}_\ell - \bar{X}_{n\ell}) - C(P) \dots\dots\dots (5-25)$$

式中

V_p ：判別參數； $V_p \geq 0$ 表示非液化， $V_p < 0$ 表示液化，其中下標 P 符號表示誤差機率。

P ：誤差機率(probability of misclassification)

$C(P)$ ：誤差機率函數

式(5-24)及式(5-25)之液化解釋參數，包括地震強度解釋參數 SR ，及土壤抗液化強度之解釋參數 XR ，因此液化解釋參數之向量 X 可以下式表示：

$$X = \begin{Bmatrix} SR \\ XR \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (5-26)$$

現地調查資料中，液化部分解釋參數平均值 $\bar{X}_\ell$ 之向量可表示成下式：

$$\bar{X}_\ell = \begin{Bmatrix} \overline{SR}_\ell \\ \overline{XR}_\ell \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (5-27)$$

式中

$\overline{SR}_\ell$ ：液化部分地震強度解釋參數 $\overline{SR}_\ell$ 之平均值。

$\overline{XR}_\ell$ ：液化部分土壤抗液化強度解釋參數 $\overline{XR}_\ell$ 之平均值。

而現地調查資料中，非液化部分解釋參數平均值 $\overline{X}_{n\ell}$ 之向量亦可表示成下式：

$$\overline{X}_{n\ell} = \left\{ \begin{matrix} \overline{SR}_{n\ell} \\ \overline{XR}_{n\ell} \end{matrix} \right\} \dots\dots\dots (5-28)$$

式中

$\overline{SR}_{n\ell}$ ：非液化部分地震強度解釋參數 $SR_{n\ell}$ 之平均值

$\overline{XR}_{n\ell}$ ：非液化部分土壤抗液化強度解釋參數 $XR_{n\ell}$ 之平均值

全部調查資料變異性矩陣 S 如下式所示：

$$S = \begin{bmatrix} \text{Var}(SR) & \text{Cov}(SR, XR) \\ \text{Cov}(SR, XR) & \text{Var}(XR) \end{bmatrix} \dots\dots\dots (5-29)$$

式中

$\text{Var}(SR)$ ：地震強度解釋參數 SR 之變異數

$\text{Var}(XR)$ ：土壤抗液化強度解釋參數 XR 之變異數

$\text{Cov}(SR, XR)$ ： SR 與 XR 之協方差(covariance)

判別分析之判別式，除受液化解釋參數之影響，亦受誤差機率函數 $C(P)$ 之影響，而誤差機率 P ，並不是工址之液化機率，而是表示預測工址為非液化，事實上工址發生了液化之機率，亦即以該判別式區分液化與非液化有或然率 P 之可能誤差，其誤差機率之參數 α 如下式所示：

$$\alpha = (\overline{X}_\ell - \overline{X}_{n\ell})^T S^{-1} (\overline{X}_\ell - \overline{X}_{n\ell}) \dots\dots\dots (5-30)$$

而誤差機率函數 $C(P)$ 為誤差機率 P 及誤差機率參數 α 之函數，如下式所示：

$$C(P) = \sqrt{2\alpha} \operatorname{erf}^{-1}(1 - 2P) - \frac{\alpha}{2} \dots\dots\dots (5-31)$$

式中

erf^{-1} ：為誤差函數 erf 之反函數

erf ：為誤差函數，其定義為：

$$\operatorname{erf}(Y) = \int_0^Y \frac{2}{\sqrt{\pi}} \exp(-X^2) dX \dots\dots\dots (5-32)$$

由以上之判別分析，可將現地之調查資料，加以統計分析，獲得適當之判別式 V_p ，其為地震強度解釋參數 SR 、土壤液化強度解釋參數 XR 及誤差機率函數 $C(P)$ 之函數，可表示成 $V_p = f[SR, XR, C(P)]$ ，以預測工址屬於液化或非液化，並說明該判別式可能導致誤差判斷之機率。

5.3.2 SPT 評估土壤液化潛能之參數

震災地區之 SPT 現場數據包括土壤抗液化之強度及地震引致土層之作用強度。地震引致土層的作用強度參數，以無因次之反復應力比 τ_{av}/σ'_o 表示，根據 Seed et al. (1985) 方法，反復應力比為飽和砂土層因地震作用引起的平均剪應力 τ_{av} ，與砂土之有效覆土壓力 σ'_o 之比值，並修正至地震規模 $M_w=7.5$ 以 $CSR_{7.5}$ 表示，其計算式如下所示：

$$CSR_{7.5} = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_o} = 0.65 \cdot \frac{\gamma d}{MSF} \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_o}{\sigma'_o} \dots\dots\dots (5-33)$$

其中，

$CSR_{7.5}$ ：修正至地震規模 $M_w=7.5$ 之反復應力比。

τ_{av} ：地震引致土層之平均剪應力， kg/cm^2 。

a_{max} ：地表最大水平加速度 m/sec^2 。

g ：重力加速度， m/sec^2 。

σ_o ：最初垂直覆土壓力， kg/cm^2 。

σ'_o ：有效覆土壓力， kg/cm^2 。

γ_d ：應力折減因數。

γ_m ：地震規模影響因素。

MSF：地震規模影響因素(Magnitude Scaling Factor)。

根據 Liao et al.(1988)所建議之土層深度 Z 與 γ_d 之關係式如下：

$$\begin{aligned}\gamma_d &= 1.0 - 0.00765Z, & Z \leq 9.15 \text{ m} \\ &= 1.174 - 0.0267Z, & 9.15 \text{ m} < Z \leq 23 \text{ m} \dots\dots\dots (5-34)\end{aligned}$$

根據 Idriss (1999)所建議之地震規模 M_w 與 MSF 之關係式如下：

$$\begin{aligned}\text{MSF} &= 37.9(M_w)^{-1.81} & \text{for } M_w \geq 5.75 \\ &= 1.625 & \text{for } M_w < 5.75 \dots\dots\dots (5-35)\end{aligned}$$

而土壤抗液化之強度參數以 SPT-N 值表示，不過由於 SPT-N 值，在鑽探時，易受有效應力及落錘能量之影響。因此以現場資料和 SPT-N 值評估土壤液化潛能之前，需將 N 值加以修正，本文以 Seed et al.(1985)建議使用一個新的標準化參數 $(N_1)_{60}$ 值其為進行標準貫入試驗時，施加於鑽桿之能量，為理論自由落錘能量之 60%所量測的貫入值。根據此提議， $(N_1)_{60}$ 值應為：

$$(N_1)_{60} = N_m \cdot C_n \cdot N \dots\dots\dots (5-36)$$

其中，

$(N_1)_{60}$ ：修正至落錘能量為 60%之正規化貫入值。

N_m ：落錘能量之修正係數， $N_m = (ER/60)$ ， ER 為落錘能量比(%)。

C_n ：有效覆土壓力之修正係數，依 Liao & Whitman(1986)之建議，

$$C_n = \sqrt{1/\sigma'_o} \quad , \quad \sigma'_o \text{ 為有效覆土壓力，kg/cm}^2。$$

N：標準貫入試驗值。

文內之 921 地震液化與非液化案例 288 組資料之落錘能量比 (Energy Ratio)，乃參考亞新工程顧問公司(2000)於員林地區施作落錘能量檢測之結果，其經驗公式如下所示：

$$ER=30*(Z/11)+50 \quad \text{for } Z \leq 11\text{m} \dots\dots\dots (5-37)$$

$$ER=80 \quad \text{for } Z>11\text{m} \dots\dots\dots (5-38)$$

5.3.3 SPT 評估液化潛能之判別模式

欲建立 SPT 評估液化潛能之判別式，首需檢視 SPT 資料是否符合判別分析之三項假設，本文以世界各震災區共 592 組資料進行檢定分析，由於 Lai 所蒐集之 SPT 資料為世界各地震區之調查結果，因此假設其屬於隨機資料，而液化參數之變異性、相關性及機率分佈之檢定，說明如下：

Lai 分別以 $0\% \leq FC \leq 10\%$ 、 $10\% \leq FC \leq 20\%$ 、 $20\% \leq FC \leq 30\%$ 與、 $30\% \leq FC \leq 40\%$ 等四組資料進行或然率圖檢定及統計分析，這些資料經或然率圖檢定，其結果顯示：SPT 試驗之 $\sqrt{(N_1)_{60}}$ 值符合常態分佈，而反復應力比 $CSR_{7.5}$ 符合對數常態分佈，因此若將反復應力比取對數 $\ln(CSR_{7.5})$ 即符合常態分佈。經統計分析， $\sqrt{(N_1)_{60}}$ 、 $\ln(CSR_{7.5})$ 兩解釋參數之液化、非液化與全部資料之變異係數相當一致，而 $\sqrt{(N_1)_{60}}$ 與 $\ln(CSR_{7.5})$ 之相關性，由液化、非液化與全部資料之相關係數，亦大致一致。

因此，Lai 以 $\sqrt{(N_1)_{60}}$ 為土壤抗液化強度之解釋參數，以 $\ln(CSR_{7.5})$ 為地震強度之解釋參數，根據第二節之判別分析，可得液化潛能之判別式，如式(5-39)所示：

$$\begin{aligned}
V_p = & \left[\left\{ \frac{\sqrt{(N_1)_{60}}}{\ln(CSR_{7.5})} \right\} - \frac{1}{2} \left\{ \frac{\sqrt{(N_1)_{60}}}{\ln(CSR_{7.5})} \right\}_{liq} + \left\{ \frac{\sqrt{(N_1)_{60}}}{\ln(CSR_{7.5})} \right\}_{non-liq} \right]^T \\
& \cdot \left[\begin{array}{cc} \text{Var}(\sqrt{(N_1)_{60}}) & \text{Cov}[\sqrt{(N_1)_{60}}, \ln(CSR_{7.5})] \\ \text{Cov}[\sqrt{(N_1)_{60}}, \ln(CSR_{7.5})] & \text{Var}[\ln(CSR_{7.5})] \end{array} \right]_{liq. \text{ and } non-liq}^{-1} \\
& \cdot \left[\left\{ \frac{\sqrt{(N_1)_{60}}}{\ln(CSR_{7.5})} \right\}_{liq} - \left\{ \frac{\sqrt{(N_1)_{60}}}{\ln(CSR_{7.5})} \right\}_{non-liq} \right] - C(P) \quad ..(5-39)
\end{aligned}$$

誤差機率參數 α , 如式(5-40)

$$\begin{aligned}
\alpha = & \left[\left\{ \frac{\sqrt{(N_1)_{60}}}{\ln(CSR_{7.5})} \right\}_{liq} - \left\{ \frac{\sqrt{(N_1)_{60}}}{\ln(CSR_{7.5})} \right\}_{non-liq} \right]^T \\
& \cdot \left[\begin{array}{cc} \text{Var}(\sqrt{(N_1)_{60}}) & \text{Cov}[\sqrt{(N_1)_{60}}, \ln(CSR_{7.5})] \\ \text{Cov}[\sqrt{(N_1)_{60}}, \ln(CSR_{7.5})] & \text{Var}[\ln(CSR_{7.5})] \end{array} \right]_{liq. \text{ and } non-liq}^{-1} \quad(5-40) \\
& \cdot \left[\left\{ \frac{\sqrt{(N_1)_{60}}}{\ln(CSR_{7.5})} \right\}_{liq} - \left\{ \frac{\sqrt{(N_1)_{60}}}{\ln(CSR_{7.5})} \right\}_{non-liq} \right]
\end{aligned}$$

Lai 分別建立 $0\% \leq FC \leq 10\%$ 、 $10\% \leq FC \leq 20\%$ 、 $20\% \leq FC \leq 30\%$ 與、 $30\% \leq FC \leq 40\%$ 等四組 SPT 評估土壤液化潛能之判別模式，其分析結果如下所示：

模式一： $0\% \leq FC \leq 10\%$ 之液化判別模式

世界各震災區共 592 組資料，分析得 $0\% \leq FC \leq 10\%$ 之液化資料 58 組、非液化資料 70 組，進行判別分析得判別模式，如下式所示：

$$V_p = 0.9450876 \cdot \sqrt{(N_1)_{60}} - 2.406358 \cdot \ln(CSR_{7.5}) - 7.802606 - C(p) \dots (5-41)$$

其誤差機率參數 $\alpha = 1.917175$

其誤差機率函數 $C(P)$ ，如下式所示：

$$C(P) = 1.95815 \cdot \operatorname{erf}^{-1}(1 - 2P) - 0.9585875 \dots\dots\dots (5-42)$$

模式二：10% ≤ FC ≤ 20% 之判別模式

世界各震災區共 592 組資料，分析得 10% ≤ FC ≤ 20% 之液化資料 77 組、非液化資料 95 組，進行判別分析得判別模式，如下式所示：

$$V_p = 1.107534 \cdot \sqrt{(N_1)_{60}} - 2.245728 \cdot \ln(CSR_{7.5}) - 8.116554 - C(p) \dots\dots (5-43)$$

其誤差機率參數 $\alpha = 2.354608$

其誤差機率函數 $C(P)$ ，如下式所示：

$$C(P) = 2.170073 \cdot \operatorname{erf}^{-1}(1 - 2P) - 1.177304 \dots\dots\dots (5-44)$$

模式三：20% ≤ FC ≤ 30% 之判別模式

世界各震災區共 592 組資料，分析得 20% ≤ FC ≤ 30% 之液化資料 64 組、非液化資料 32 組，進行判別分析得判別模式，如下式所示：

$$V_p = 0.8621721 \cdot \sqrt{(N_1)_{60}} - 1.503677 \cdot \ln(CSR_{7.5}) - 5.65012 - C(p) \dots\dots (5-45)$$

其誤差機率參數 $\alpha = 2.171423$

其誤差機率函數 $C(P)$ ，如下式所示：

$$C(P) = 2.08395 \cdot \operatorname{erf}^{-1}(1 - 2P) - 1.085711 \dots\dots\dots (5-46)$$

模式四：30% ≤ FC ≤ 40% 之液化判別模式

世界各震災區共 592 組資料，分析得 30% ≤ FC ≤ 40% 之液化資料 37 組、非液化資料 29 組，進行判別分析得判別模式，如下式所示：

$$V_p = 0.8938813 \cdot \sqrt{(N_1)_{60}} - 1.403875 \cdot \ln(CSR_{7.5}) - 5.443882 - C(p) \dots\dots (5-47)$$

其誤差機率參數 $\alpha=2.078286$

其誤差機率函數 $C(P)$ ，如下式所示：

$$C(P) = 2.038767 \cdot \operatorname{erf}^{-1}(1-2P) - 1.039143 \dots\dots\dots (5-48)$$

為了使工程界瞭解判別模式之應用，分別將 $0\% \leq FC \leq 10\%$ 、 $10\% \leq FC \leq 20\%$ 、 $20\% \leq FC \leq 30\%$ 與、 $30\% \leq FC \leq 40\%$ 等四組判別模式，繪製於圖 5-7~圖 5-10，並以誤差機率函數 $C(P)=0$ 即液化與非液化誤差機率相等之判別式，劃於圖 5-11 互相比較，並進行統計迴歸，以 $CRR_{7.5} = CSR_{7.5}$ ，則抗液化強度 $CRR_{7.5}$ 與 $(N_1)_{60}$ 之關係如下式：

$$CRR_{7.5} = \exp[(0.3865548 + 0.0072398 \cdot FC) \sqrt{(N_1)_{60}} - (3.3597395 + 0.0186297 \cdot FC - 0.0001093 \cdot FC^2)] \dots\dots\dots (5-49)$$

理論上，以誤差機率函數 $C(P)=0$ 為判別式較合理，其誤差機率 p 約為 0.2，但工程實務上常以較保守之誤差機率為判別式，因此本文將誤差機率 $p=0.15$ 之判別式，亦劃於圖 5-12 互相比較，並進行統計迴歸，則抗液化強度 $CRR_{7.5}^*$ 與 $(N_1)_{60}$ 之關係如式如下：

$$CRR_{7.5}^* = \exp[(0.3865548 + 0.0072398 FC) \sqrt{(N_1)_{60}} - (3.6762598 + 0.0150227 FC + 0.0020571 FC^2 - 0.0000343 FC^3)] \dots\dots\dots (5-50)$$

由圖 5-11 及圖 5-12 $C(P)=0$ 、 $p=0.15$ 之判別式皆可發現：在相同之 $(N_1)_{60}$ ，抗液化強度反復應力比 $CRR_{7.5}$ 之大小分別為： $30\% \leq FC \leq 40\%$ 最大、 $20\% \leq FC \leq 30\%$ 次之、 $10\% \leq FC \leq 20\%$ 再次之、 $0\% \leq FC \leq 10\%$ 最小，與實際之土壤情況極為吻合；但於 $(N_1)_{60} \leq 5$ (以 $C(P)=0$ 為判別式) 及於 $(N_1)_{60} \leq 8$ 時 (以 $p=0.15$ 為判別式)，其各種土壤之抗液化強度反復應力比 $CRR_{7.5}$ 皆相當接近。

以上述 $C(P)=0$ 為判別式分析液化潛能，其土壤之抗液化強度， $CRR_{7.5}$ ，以式(5-49)計算，地震引致土層之作用強度， $CSR_{7.5}$ ，以式(5-33)計算，其抗液化之安全係數， F_s ，如下所示：

$$F_s = CRR_{7.5} / CSR_{7.5} \dots\dots\dots (5-51)$$

以較保守之 $p=0.15$ 為判別式分析液化潛能,其土壤之抗液化強度, $CRR_{7.5}^*$, 以式(5-50)計算, 地震引致土層之作用強度, $CSR_{7.5}$, 以式(5-33)計算, 其抗液化之安全係數, F_s^* , 如下所示:

$$F_s^* = CRR_{7.5}^* / CSR_{7.5} \dots\dots\dots (5-52)$$

5.3.4 Lai 之液化機率模式

以判別模式分析液化潛能, 僅能計算土壤抗液化之安全係數, F_s 、 F_s^* 。本文進一步以貝氏定理(Juang et al., 1999) 分析土壤液化機率, 其分析方法如下式所示:

$$P_{LB} = \frac{f_L(F_s)}{f_L(F_s) + f_{NL}(F_s)} \dots\dots\dots (5-53)$$

式中:

P_{LB} : 貝氏定理分析之土壤液化機率。

$f_L(F_s)$: 為液化案例安全係數 F_s 之機率密度函數。

$f_{NL}(F_s)$: 為液化案例安全係數 F_s 之機率密度函數。

本文以式(5-49)至式(5-52)之判別模式,計算液化及非液化案例, 獲得 F_s 及 F_s^* , 這些資料經或然率圖檢定, 其結果如圖 5-13 至圖 5-14 所示, 由圖 5-13 液化案例安全係數 F_s 、 F_s^* 之或然率圖檢定顯示, 液化案例之 $\sqrt{F_s}$ 、 $\sqrt{F_s^*}$ 值符合常態分佈, 由圖 5-14 非液化案例安全係數 F_s 、 F_s^* 之或然率圖檢定顯示, 非液化案例之 F_s 、 F_s^* 值符合對數常態分佈, 因此液化案例安全係數之機率密度函數, $f_L(F_s)$ 、 $f_L(F_s^*)$, 可表示如下式:

$$f_L(F_s) = \frac{1}{0.188 * \sqrt{8\pi * F_s}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\sqrt{F_s} - 0.763}{0.188} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (5-54)$$

$$f_L(F_S^*) = \frac{1}{0.171 * \sqrt{8\pi * F_S^*}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\sqrt{F_S^*} - 0.678}{0.171} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (5-55)$$

非液化案例安全係數之機率密度函數， $f_{NL}(F_S)$ 、 $f_{NL}(F_S^*)$ ，可表示如下式：

$$f_{NL}(F_S) = \frac{1}{0.511 * F_S * \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(F_S) - 0.485}{0.511} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (5-56)$$

$$f_{NL}(F_S^*) = \frac{1}{0.513 * F_S^* * \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(F_S^*) - 0.260}{0.513} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (5-57)$$

將式(5-54)-式(5-57)代入式(5-53) 之貝氏定理，分析液化及非液化案例，獲得 (P_{LB}, F_S) 及 (P_{LB}^*, F_S^*) ，並以迴歸分析建立抗液化安全係數與液化機率之關係，如式(5-58)-式(5-59)及圖 5-15($R^2=0.99$, $R^{*2}=0.99$)所示：

$$P_{LB} = \frac{1}{1 + 0.6(F_S)^3 + 0.4(F_S)^8} \dots\dots\dots (5-58)$$

$$P_{LB}^* = \frac{1}{1 + 1.5(F_S^*)^3 + 1.9(F_S^*)^8} \dots\dots\dots (5-59)$$

由圖 5-15 顯示，以 $C(P)=0$ 為判別式，建立之抗液化安全係數與液化機率關係，當 $F_S = 1$ 時， $P_{LB} = 0.5$ 。以較保守之誤差機率 $p=0.15$ 為判別式，建立之抗液化安全係數與液化機率關係，當 $F_S^* = 1$ 時， $P_{LB}^* = 0.23$ 。

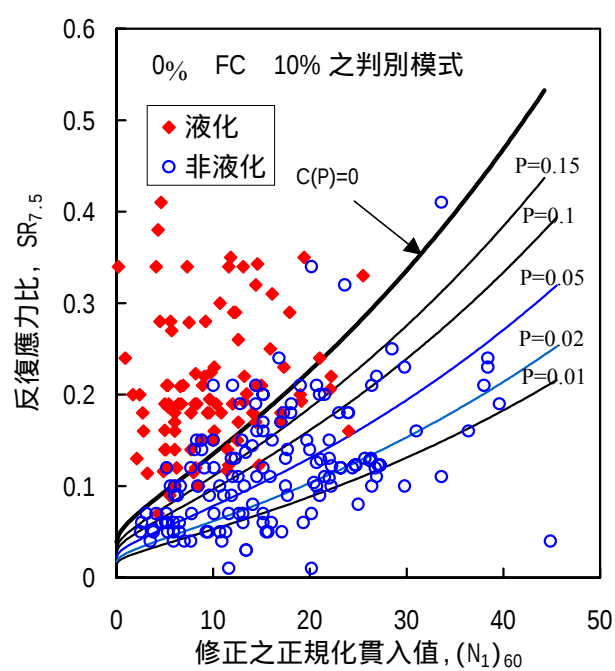


圖 5-7 0% FC 10% 液化判別圖
(58 組液化及 70 組非液化案例)

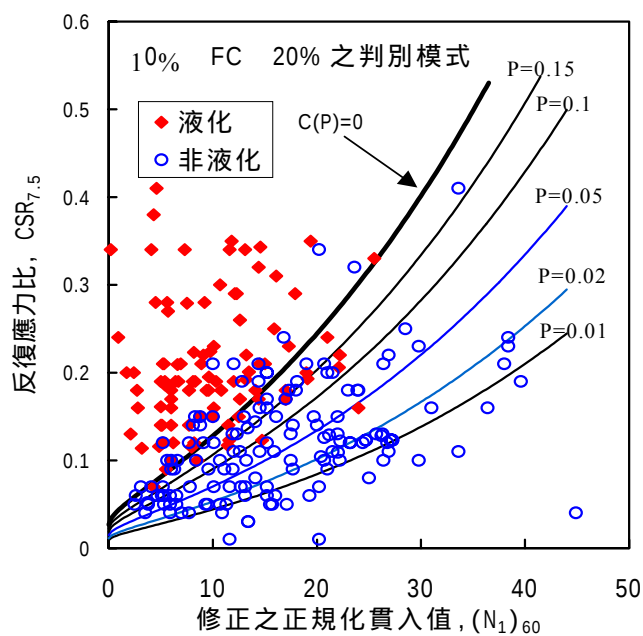


圖 5-8 10% FC 20% 液化判別圖
(77 組液化及 95 組非液化案例)

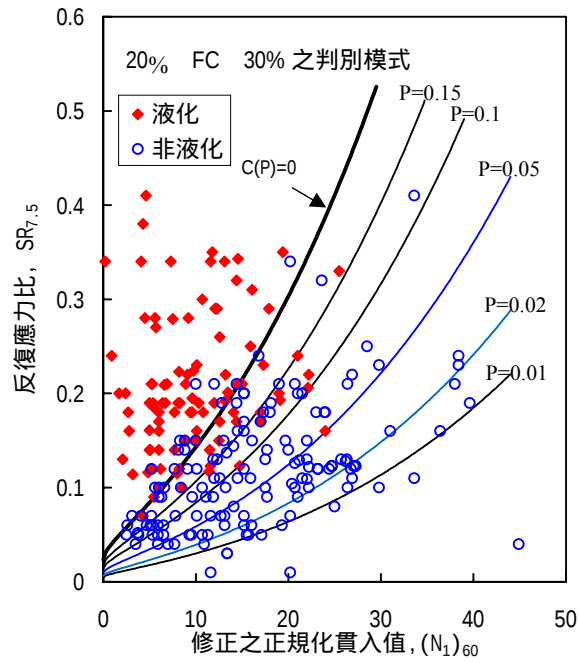


圖 5-9 20% FC 30% 液化判別圖
(64 組液化及 32 組非液化案例)

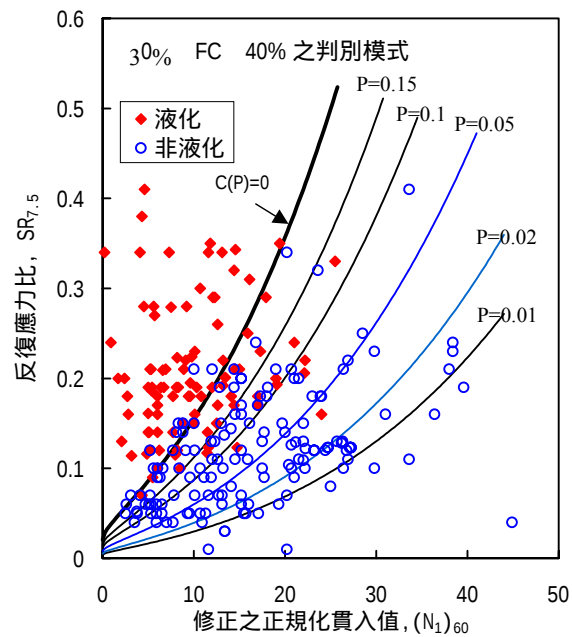


圖 5-10 30% FC 40% 液化判別圖
(37 組液化及 29 組非液化案例)

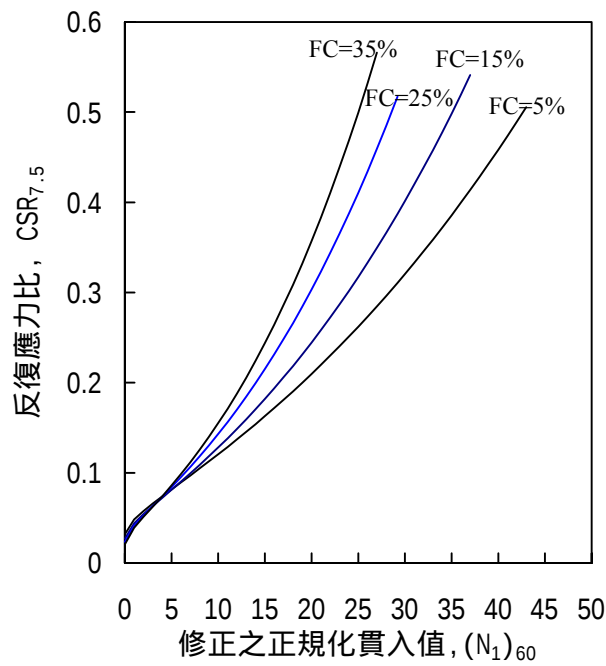


圖 5-11 FC=5%、FC=15%、FC=25%、FC=35%等
液化判別式- $C(P)=0$ 之比較

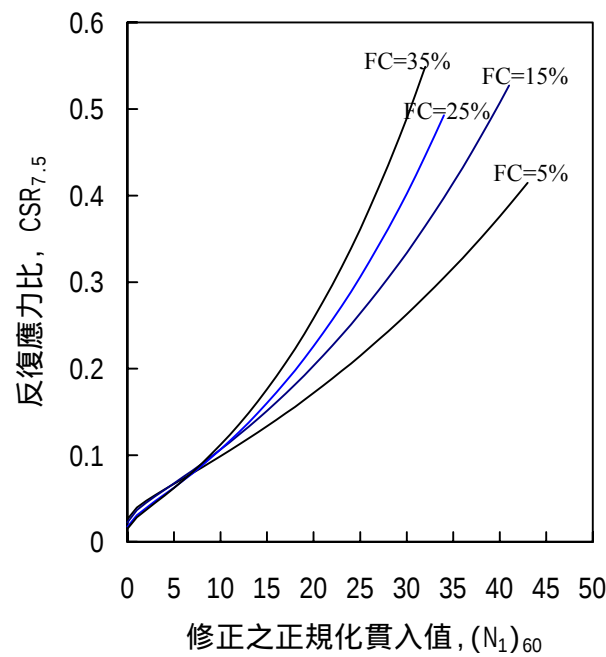


圖 5-12 FC=5%、FC=15%、FC=25%、FC=35%等
液化判別式($P=0.15$)之比較

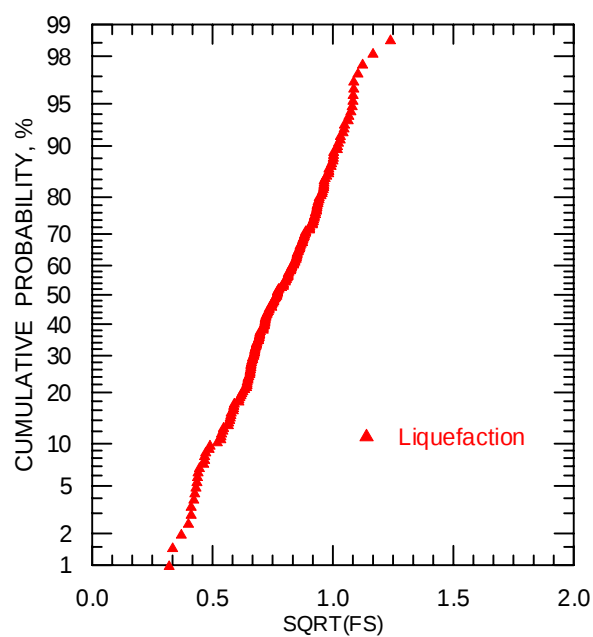


圖 5-13 液化案例之 $\sqrt{F_s}$ 值繪於常態或然率圖上

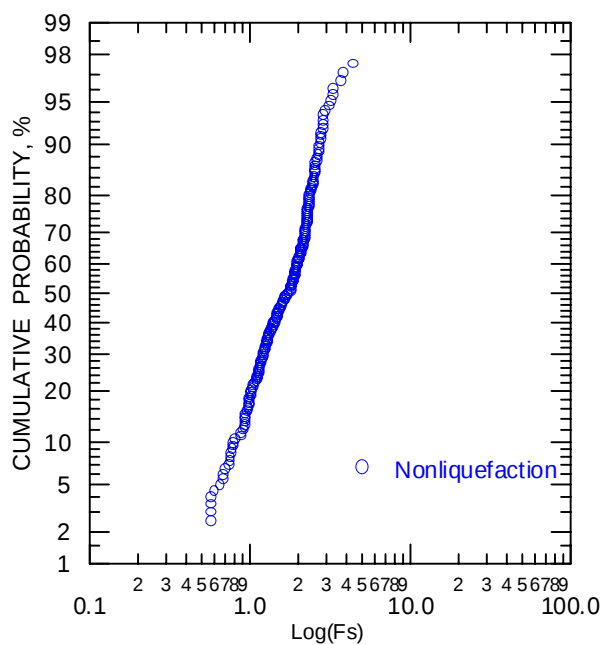


圖 5-14 非液化案例之 F_s 值繪於對數常態或然率圖上

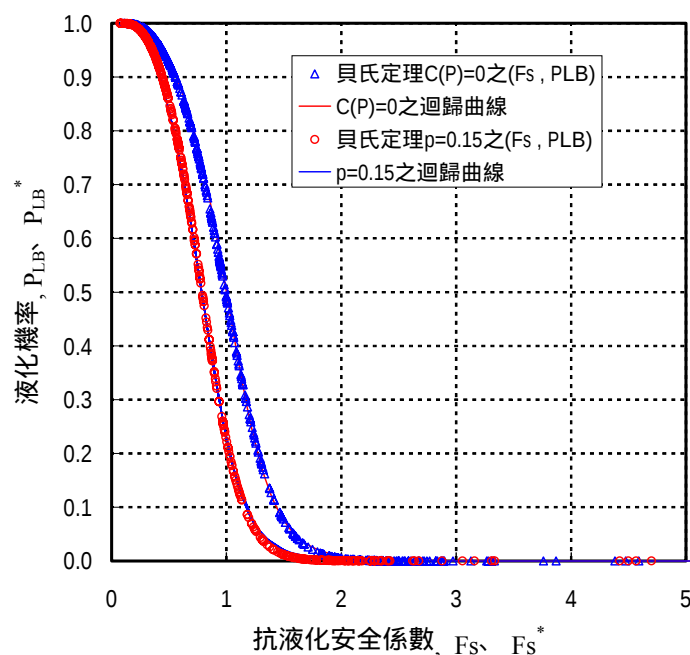


圖 5-15 貝氏定理 $C(P)=0$ 、 $p=0.15$ 之抗液化安全係數與液化機率之關係圖

5.4 液化危害度分析方法

上述各方法為針對鑽孔每個深度土層所採用的液化分析方法，而針對整個區域範圍（如台中港區）所採用的區域液化分析方法，目前可分為兩類：(一)若鑽孔液化分析結果是以安全係數來表示，則採用安全係數危害度分析法，(二)若鑽孔液化分析結果是以機率值來表示，則採用液化機率危害度分析法。此二法略述如下。

5.4.1 安全係數危害度分析

本研究採用 Iwasaki 之深度加權法加以評估。Iwasaki 等人(1982)考慮深度的影響，提出一評估液化潛能之深度加權法，建議以液化潛能指數(Liquefaction Potential Index)IL 表示任一鑽孔之液化危險程度。

$$IL = \int F(Z) \quad W(Z)dZ \dots\dots\dots (5-60)$$

其中

IL 為液化潛能指數，介於 0~100 之間

$$F(Z) = 1 - F_L(Z) \quad \text{for } F_L(Z) < 1.0$$

而 $F_L(Z) = R(Z) / L(Z)$

式中 $F_L(Z)$ ：深度 Z 之抗液化安全係數

$R(Z)$ ：深度 Z 之土壤抗液化強度

$L(Z)$ ：地震引至土層之剪應力

$$F(Z) = 0 \quad \text{for } F_L(Z) > 1.0$$

$$W(Z) = 10 - 0.5Z$$

Z ：距地表之深度，單位 m

H ：鑽孔深度

Iwasaki 等人(1982)依此分析過去 6 次地震中，64 個液化區域和 23 個非液化區域的資料，綜合整理後，提出下列指標：

IL 15 高度液化災害風險，地表發生明顯液化表徵機會較高，如噴砂或顯著沈陷等現象

5 IL < 15 中度液化災害風險，地表發生明顯液化表徵機會低，但深層可能液化，地表沈陷量不明顯。

0 < IL < 5 輕微液化災害風險，液化之可能性很低

IL = 0 非液化潛能區

5.4.2 液化機率危害度分析

依上述液化機率評估法分析，進行液化機率評估時，所獲得的結果僅為各鑽孔地表下某一深度之砂土層液化機率，對於整個鑽孔而言，液化危害程度如何仍無定論。因此，為了涵蓋土層各深度之液化

情形及更深入探討整個地區之液化危害程度分佈圖，則採用賴聖耀 謝明志 (1996) 之深度加權法加以評估。其在考慮深度的影響，提出一評估液化危險度之深度加權法，建議以液化危險度 P_{LW} 表示任一鑽孔之液化危險程度。

$$P_{LW} = \int_0^{20} PL(z) \cdot W(z) \cdot dz / \int_0^{20} W(z) \cdot dz \dots\dots\dots (5-61)$$

上式中

$P_L(z)$ ：為各孔各個深度之液化機率，介於 0~1 之間

P_{LW} ：為各孔之液化危險度，介於 0~1 之間

$W(z)$ ：為權重函數， z 為深度(公尺)。 $W(z) = 1-0.05z$

其液化危害度機率法之分級，依賴聖耀 (2001) 之建議，如下所示：

$P_{LW} \geq 0.3$ 高度液化災害風險，地表發生明顯液化表徵機會較高，如噴砂或顯著沈陷等現象。

$0.1 \leq P_{LW} < 0.3$ 中度液化災害風險，地表發生明顯液化表徵機會低，但深層可能液化，地表沈陷量不明顯。

$0 < P_{LW} < 0.1$ 輕微液化災害風險，液化之可能性很低

$P_{LW} = 0$ 非液化潛能區

5.5 液化分析展繪設計

本研究依依據上述鑽孔及區域分析方法，以 MapBasic 語言分別開發各個分析模組。在液化分析上主要考慮的兩個作用力為地震侵襲的破壞力與土壤本身的抵抗力，若破壞力大於抵抗力，土壤則發生液化現象。通常採用的分析方法裡，地震力的主要考慮變數有二：一為地震規模，另一為地表最大加速度。在系統程式的撰寫上，本研究採用對話框 (Dialog Frame) 架構設計，利用收音機式選鈕 (Radio Button)

的方法來選取地震規模及最大加速度這兩項資料，其數據的來源主要為台中港區歷年地震的統計結果，包含 50 年到 200 年的再現值，台中港區的最大地震紀錄值與日本神戶港區的烈震數據，以及新頒布的台灣地震分區圖甲乙兩區地震強度值。

5.5.2 鑽孔液化柱狀圖展繪設計

土壤抵抗力的主要考慮變數有三：即標準貫入試驗錘擊數 (SPT-N 值)，土壤類別及細粒料含量，這些數據可透過現地試驗與土壤分類試驗來獲得。再登錄到系統資料庫內。在程式設計上，可藉由港區土層分佈資料表格檔 (Welldata.tab) 之索引欄位，再索引到所點選之各個鑽孔之試驗資料檔，從該檔案中之相關欄位內可擷取出此三變數之數據。

將地震及各個深度之土壤變數代入所撰寫的液化分析函數內，經分析運算後可求得每一深度之抗液化安全係數或液化機率值。將這些分析的結果，以柱狀圖的方式展繪出來，若抗液化安全係數小於 1，表示會液化，則該土層用紅色展繪，若抗液化安全係數大於 1，表示不會液化，則該土層用綠色展繪。而粘土層等不會液化的土層，或深度 20m 以下，不考慮液化的土層則用藍色展繪。

另液化機率值之展繪，因機率範圍系由 0 到 1，所以在成果展繪上以液化機率等於 0 時 (即完全不液化) 用純白色表示，液化機率等於 1 時 (即完全液化) 用正紅色表示，隨著機率由 0 漸增其展繪顏色也由純白逐漸加深，系統使用者可由紅白顏色的深淺來判斷液化程度大小，而系統也會在每一色塊右方加註土壤分類符號及其安全係數或機率值。

5.5.3 全區液化危害度展繪設計

針對整個區域範圍所採用的區域液化分析方法，目前可分為兩類：(一) 若鑽孔液化分析結果是以安全係數來表示，則採用安全係數危害度分析法，(二) 若鑽孔液化分析結果是以機率值來表示，則採用液化機率危害度分析法。此二法略述如下。

1. 安全係數危害度分析

本研究採用 Iwasaki 之深度加權法加以評估。如 5.3.1 節所述，Iwasaki 等人(1982)建議以液化潛能指數 (Liquefaction Potential Index) IL 表示任一鑽孔之液化危險程度。本研究在推算出全港區每個鑽孔之 IL 值後，再施做全區域的等值分析，且依據 Iwasaki 的災害風險指標等級，標示不同的顏色，區分如下：

- IL ≥ 15 高度液化災害風險區，標示為紅色。
- 5 ≤ IL < 15 中度液化災害風險區，標示為黃色。
- 0 < IL < 5 輕微液化災害風險區，標示為綠色。
- IL = 0 非液化潛能區，標示為綠色。

2. 液化機率危害度分析

本研究採用賴聖耀之深度加權法加以評估，如 5.3.2 節所述，賴聖耀 (2003) 建議以液化危險度 P_{LW} 表示任一鑽孔之液化危險程度。本研究在推算出全港區每個鑽孔之 P_{LW} 值後，再施做全區域的等值分析，且依據賴聖耀的液化危害度機率法之分級，標示不同的顏色，區分如下：

- $P_{LW} ≥ 0.4$ 高度液化災害風險區，標示為紅色。
- $0.2 ≤ P_{LW} < 0.4$ 中度液化災害風險區，標示為黃色。
- $0 < P_{LW} < 0.2$ 輕微液化災害風險區，標示為綠色。
- $P_{LW} = 0$ 非液化潛能區，標示為綠色。

第六章 地質資料及液化分析模組查詢展示

本研究已建置的地質資料及新開發的各項液化分析查詢模組，係架構在本所港研中心所開發的「港區工程基本資料查詢系統」之下，該系統的查詢界面設計成下拉式選單方式。主選單共有六大項，分別為(1)港埠規劃、(2)鑽探資料、(3)碼頭設計及調查資料、(4)堤防設計資料、(5)地震監測、(6)海氣象現地調查等。由 MapInfo 進入此查詢系統，點選進入所欲查詢的港區，該港區地圖即展示在螢幕上，且原有的 MapInfo 內定選單也同時全部更換成新設計的選單。系統操作及查詢說明如下：

6.1 系統操作程序

本系統之查詢設計，係以下拉式功能表配合物件選項的操作方式為主。使用者可在螢幕上選取所欲查詢的物件，再利用下拉式功能表來展示各項文件資料或繪製相關成果。系統內可查詢到基隆、台北、台中、高雄、花蓮、蘇澳等港區之碼頭、堤防、地質及相關文件資料，操作程序如下所示：

- 1.在視窗作業環境下，執行 MapInfo 系統，進入該系統內。
- 2.點選功能表 File \ Run MapBasic Program，選擇 d:\harbor-1 內的執行檔 harbor.mbx，按 OK 選鈕，即進入港區工程基本資料查詢系統。
- 3.此時螢幕會展繪出台灣全島地圖，並標示基隆、台中、布袋、高雄、花蓮、蘇澳等港區的分佈位置。
- 4.利用滑鼠，點選其中任一港區，則螢幕展繪出該港區的向量地圖，地圖以綠色標示陸面區域位置，以水藍色標示海面區域位置。此時可點選「鑽探資料」主選單下之第一選項「顯示鑽孔位置圖」，系統則載入該港區之鑽孔位置分佈圖。或是點選「碼頭設計及調查資料」

主選單下之第一選單「顯示碼頭位置圖」，系統則載入該港區之碼頭位置分佈圖。

5.利用工具箱內的放大、縮小、平移等工具，可作地圖縮放，以更精細地查詢目標鑽孔位置及鄰近地形。

6.選用工具箱內的點選工具，再點選所欲查詢之物件。

(1) 若所點選的物件為鑽孔位置圖之鑽孔時，主功能表的第二選單(即「鑽探資料」選單)底下所附屬的次選項(即「鑽孔報表資料」選項)，以及「柱狀圖」功能項和四個鑽孔液化分析選項底下所附屬的同名稱次選項(即「單孔或多孔非排序展示」選項、「多孔展示__由西向東排序」選項、「多孔展示__由北向南排序」選項等)，會由啟始的無效狀態轉變為可點取的有效狀態。

(2) 若所點選的物件為碼頭分佈位置圖之任一碼頭時，主功能表的第三選單(即「碼頭設計及調查資料」選單)底下所附屬的幾個次選項(如「碼頭設計斷面圖」、「碼頭斷面文字資料」、「碼頭安全檢測影像資料」、「碼頭安全檢測調查記錄」等選項等)，會由啟始的無效狀態轉變為可點取的有效狀態。

(3) 若所點選的物件為堤防分佈位置圖之堤防時，主功能表的第四選單(即「堤防資料」選單)底下所附屬的次選項(如「堤防設計斷面圖」選項)，會由啟始的無效狀態轉變為可點取的有效狀態。

7.「鑽探資料」已設計成一系列的查詢步驟，包括資料本身的展示及液化分析的序列查詢：

(1) 當點選到標準貫入試驗鑽孔時，會有一深紅色正方形外框套住被點選的鑽孔位置實心圓標誌，此時可在第二主選單下點選「鑽孔報表資料」選項，系統會開出一新視窗，抬頭名稱為「鑽探資料報表」，視窗內會展示出該鑽探試驗各項數據文字資料。

(2) 若點選「柱狀圖」選項底下的次功能項如「多孔展示__由西向東排序」，則系統會開出另一視窗，抬頭名稱為「柱狀圖」，視

窗內會展繪出該鑽探結果之土層剖面柱狀圖，且會將兩個以上的柱狀圖由西向東排序展繪出來。

- (3) 若點選任一種液化分析之選項底下的任一次功能項，會出現一對話框，要求選擇地表規模及地表最大加速度，選用某一數值後系統即繪出鑽孔液化分析成果。
 - (4) 若欲查詢整個港區之液化分析成果，可點選其中一個液化分析方法底下的「全區液化危險性指數分佈分析」功能項，系統會依據選用的方法及地震強度，分析港區內每一鑽孔的液化推算結果，再與 Surfer 軟體結合，展繪出危害程度的等值分析結果。
- 8.當點選到碼頭物件時，該碼頭區會被紅色斜紋所遮罩，此時可點選第六選項「碼頭設計斷面圖」，系統會自動開啟一新的視窗，展繪出該碼頭之斷面圖。又可點選第七選項「碼頭斷面文字資料」，系統會另以一新視窗列出該碼頭之概略描述。也可由「碼頭安全檢測影像資料」選項查詢該碼頭之影像資料，或利用「碼頭安全檢測調查記錄」、「碼頭重大維修記錄」查詢調查結果。
 - 9.若要查詢另一港區的碼頭資料，可點選第一主選單「港埠規劃」下的倒數第二選項「選擇港區」，則系統會跳回主畫面顯示港區位置分佈圖。再依循步驟 4 至 8，可繼續查詢所需港區之相關資料。
 - 10.結束查詢，可在功能表的第一個主選單「港埠規劃」下，拉出最後一個選項「離開系統」，點選後則可停止本程式的執行。

6.2 布袋港地質鑽探資料及液化分析查詢說明

6.2.1 進入查詢系統

- 1.按照上一節程式操作程序 1 至 3，使用者可進入查詢系統的主畫面，此時螢幕視窗會展繪出台灣全島地圖與主要港區的標示位置，如圖 6-1 所示。

2.將滑鼠遊標移至布袋港標示區內，按滑鼠左鍵，可叫出布袋港區基本地圖圖層，如圖 6-2 所示。而原有的 MapInfo 內定選單也同時全部更換成新設計的選單。圖 6-2 也展示新設計的主選單「鑽探資料」功能項下拉查詢模式。

6.2.2 地質鑽探資料查詢

下拉查詢系統的第二主選單「鑽探資料」項，可查詢港區附近的鑽孔地質資料及強震下之土壤液化分析，此選單之下計有九個選項，其重要內容及查詢方式如下：

- 1.此選單之第一選項為「顯示鑽孔位置圖」，點選後螢幕主畫面港區地圖上隨即出現各個鑽孔位置之標示符號，該符號為藍色實心圓點。使用者可用滑鼠點選所欲查詢的鑽孔，來查看該鑽孔的報表資料及展繪該鑽孔的柱狀圖。布袋港的鑽探孔位分佈如圖 6-3 所示。
- 2.每一鑽孔之鑽探資料，可用文字或圖形方式來展示。文字資料之資料之展示，係設計成一般鑽探資料之報表格式，使用者在鑽孔位置分佈圖上，先利用滑鼠選取所欲查詢的鑽孔，再下拉「鑽探資料」選單，點選第三選項「鑽孔報表資料」，系統會從資料庫內抓取該鑽孔資料，依循鑽探報表格式在一新開視窗上填註各項資料，使用者可由此查獲該鑽孔之各項試驗數據。
- 3.鑽探結果之圖形展示，係循鑽探深度將各土層按其類別用不同顏色及圖樣繪製成柱狀圖形式，並標示各深度之錘擊強度值（即 SPT-N 值）。查詢方式仍須先用滑鼠在鑽孔位置分佈圖上選取所欲查詢的鑽孔，可選單孔作單孔柱狀圖的展繪，也可一次選取多孔作多孔柱狀圖展繪，（使用者只需在選取第一孔後，按住鍵盤<shift>鍵，則可繼續選取其它鑽孔來作多孔展繪）。鑽孔選取完畢，下拉「鑽探資料」選單，點選第四選項「柱狀圖」，再點選柱狀圖展繪排序方式，系統會從資料庫內抓取各鑽孔資料來繪圖，圖 6-4 所示為五個鑽孔由北向南排序之柱狀圖繪製結果。

6.2.3 Liao 液化機率分析成果展示

1. 柱狀圖繪製完畢後，所選取之鑽孔，也可接續來作液化機率分析，以了解在不同強度之地震侵襲下，各個土層發生液化的機率大小。使用者可在「鑽探資料」選單下，點選第五選項「Liao_液化機率分析」，再點選其排序方向，螢幕隨即出現一對話框，內含不同地震規模及最大加速度之選鈕，如圖 6-5 所示。在對話框內選取某一地震強度，按確定鈕之後，系統即開啟一新視窗，並在此視窗內繪製所選鑽孔在該地震強度下之液化機率分析圖，如圖 6-6 所示。該分析法係採用 Liao et al.(1988)之邏輯迴歸分析模式，而分析成果圖上採用不同顏色來代表不同分析之結果，藍色代表不會液化之土層，而白色到正紅色之顏色漸層變化代表液化機率由 0 到 1 之漸增變化程度，顏色愈紅代表機率值愈高，該土層愈容易發生液化。
2. 除了每個鑽孔的液化分析外，本研究也對整個港區作全面性的液化危險度分析，使用者可由「鑽探資料」選單下的第五選項「Liao_液化機率分析」，拉出「Lai 全區液化危險性指數分佈分析」次選項，程式會呼叫機率危害度分析模組，將全港區所有鑽孔之危害度求算出來，再呼叫 Surfer 軟體，依據賴聖耀的危險度分類等級，繪製分析成果，如圖 6-7 所示。其中液化危險性指數大於 0.4 者，以紅色展繪；界於 0.2 到 0.4 者，以黃色展繪；而小於 0.2 者，以綠色展繪。使用者可清楚分辨出液化程度高中低等區域分佈情況。

6.2.4 Seed 液化分析成果展示

1. 柱狀圖繪製完畢後，所選取之鑽孔，可接續來作液化分析，以了解在不同強度之地震侵襲下，各個土層發生液化的可能。使用者可在「鑽探資料」選單下，點選第七選項「Seed_液化分析」，再點選其排序方向，螢幕隨即出現一對話框，內含不同地震規模及最大加速度之選鈕。在對話框內選取某一地震強度，按確定鈕之後，系統即開啟一新視窗，並在此視窗內繪製所選鑽孔在該地震強度下之抗液

化安全係數柱狀圖，如圖 6-8 所示。該分析法係採用 NCCER 修正之 Seed 簡易經驗法 (1997)，在分析成果圖上本系統採用不同顏色來代表不同分析之結果，藍色代表不會液化之土層，紅色代表安全係數小於 1，即會發生液化之土層。綠色代表安全係數大於 1，即不會發生液化之土層。

2.除了每個鑽孔的液化分析外，本研究也對整個港區作全面性的液化危險度分析，使用者可由「鑽探資料」選單下的第七選項「Seed_液化分析」，拉出「Iwasaki 全區液化危險性指數分佈分析」次選項，程式會呼叫安全係數危害度分析模組，將全港區所有鑽孔之危害度求算出來，再呼叫 Surfer 軟體，依據 Iwasaki 的危險度分類等級，繪製分析成果，如圖 6-9 所示。其中液化潛能指數大於 15 者，以紅色展繪；界於 5 到 15 者，以黃色展繪；而小於 5 者，以綠色展繪。使用者可清楚分辨出液化程度高中低等區域分佈情況。

3.其它分析方法之推估結果，也可依據上述方法查詢而得。

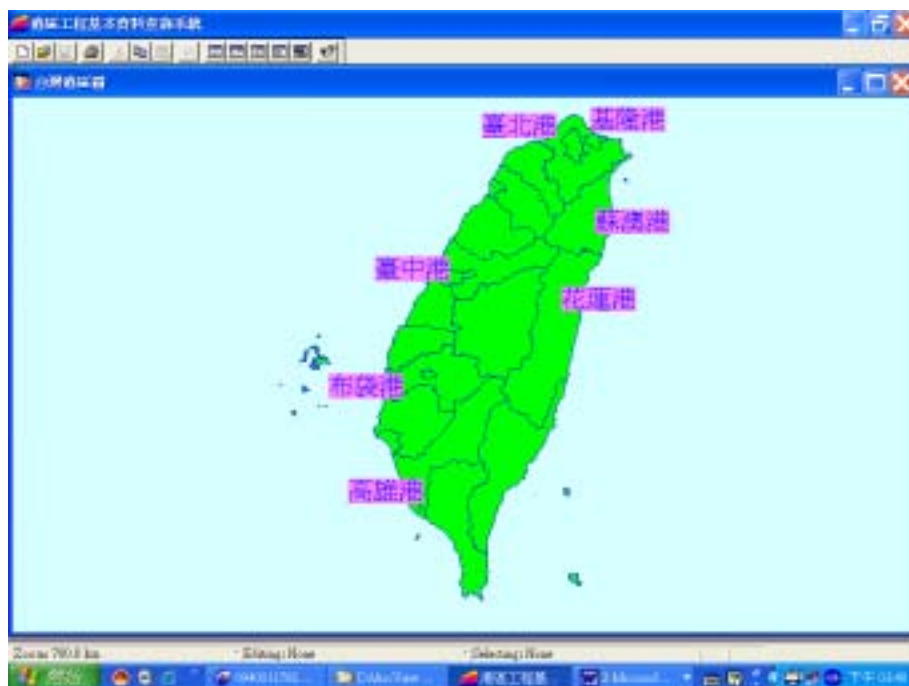


圖 6-1 查詢系統主畫面



圖 6-2 布袋港區地圖圖層及選單下拉模式

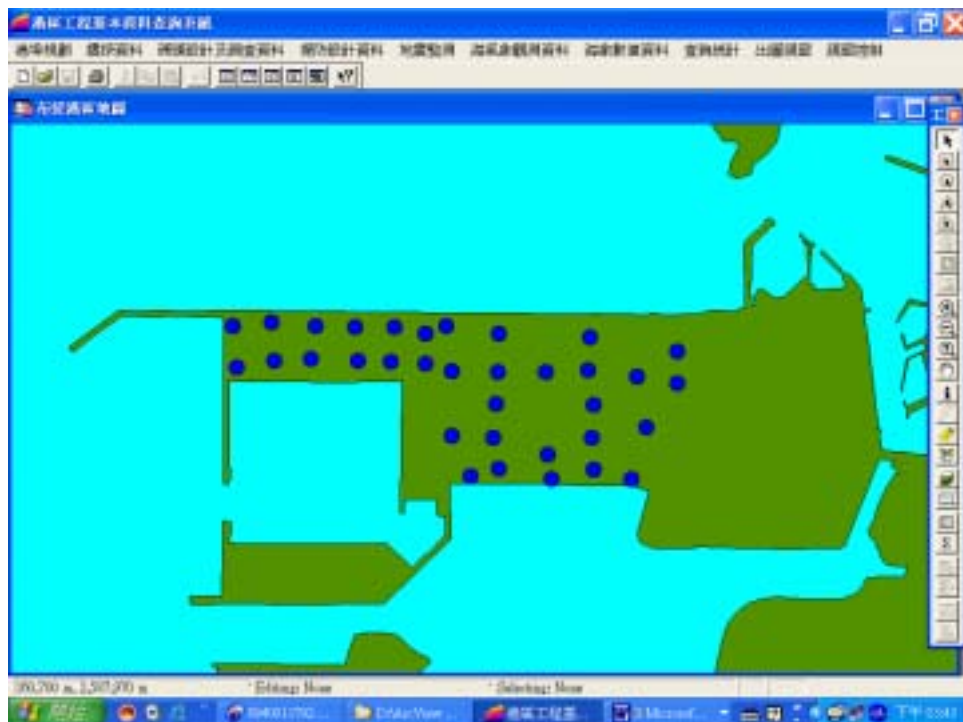


圖 6-3 布袋港區鑽探孔位分佈圖

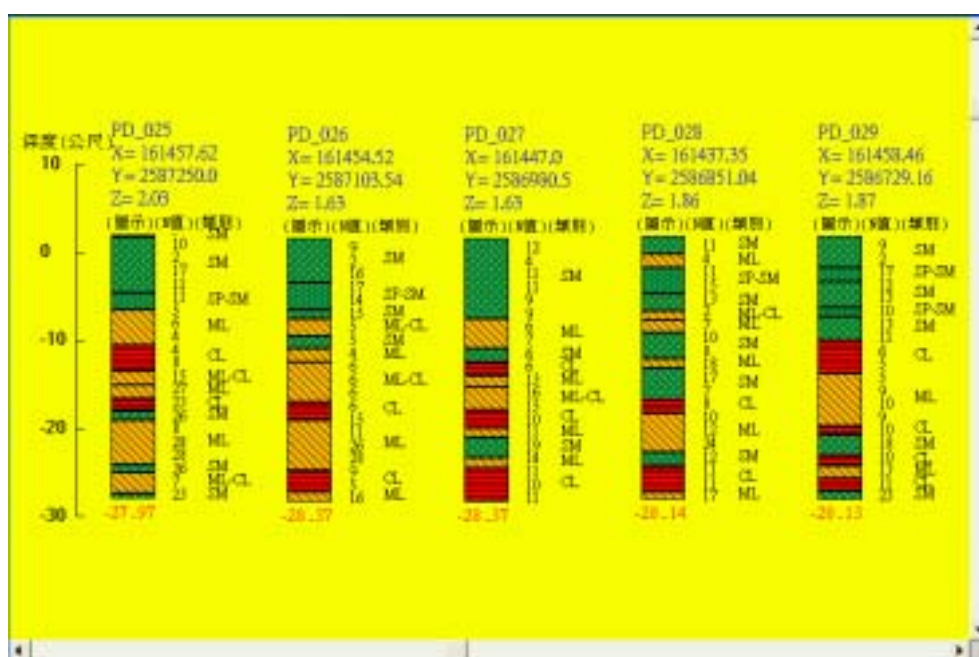


圖 6-4 布袋港區鑽孔柱狀圖

Figure 6-5 is a dialog box titled "請選擇地震強度" (Please select earthquake intensity). It contains a list of options for earthquake magnitude (M) and maximum acceleration (g). The options are: 5.0 (0.03), 5.5 (0.05), 6.0 (0.075), 6.5 (0.10), 7.0 (0.15), 7.5 (0.25), 1935年新竹台中烈震台中港區:7.1M,0.15g, 1999年集集烈震台中港區:7.3M,0.163g (selected), 1995年阪神烈震神戶港區:7.2M,0.55g, 台灣地震甲區:7.5M,0.33g, and 台灣地震乙區:7.5M,0.23g. At the bottom, there are input fields for "地震規模M=" and "最大加速度g=" with "確定" (OK) and "取消" (Cancel) buttons.

圖 6-5 地震強度選取對話框

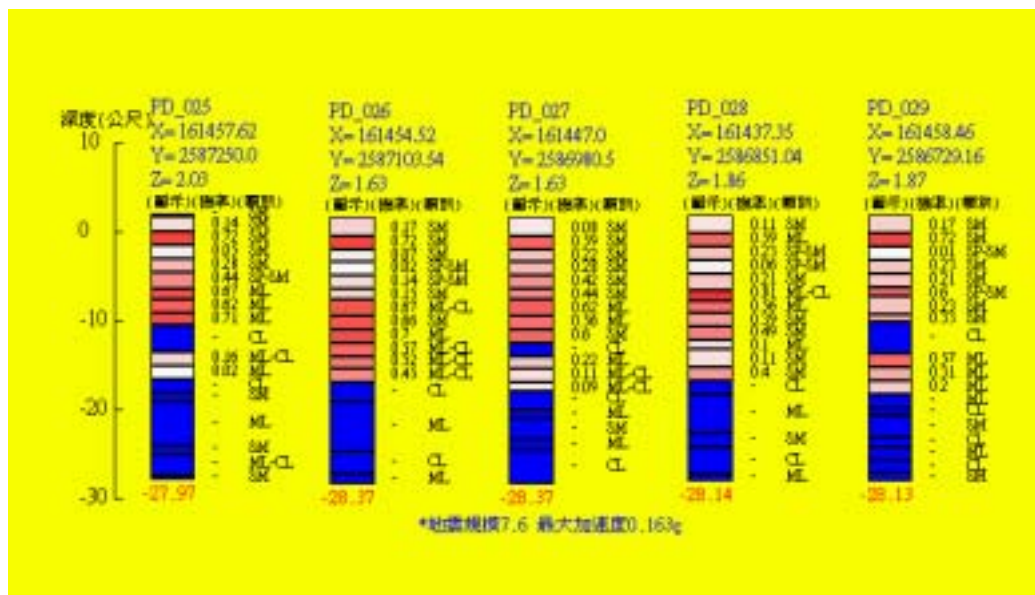


圖 6-6 布袋港區鑽孔 Liao 液化機率分析結果柱狀圖

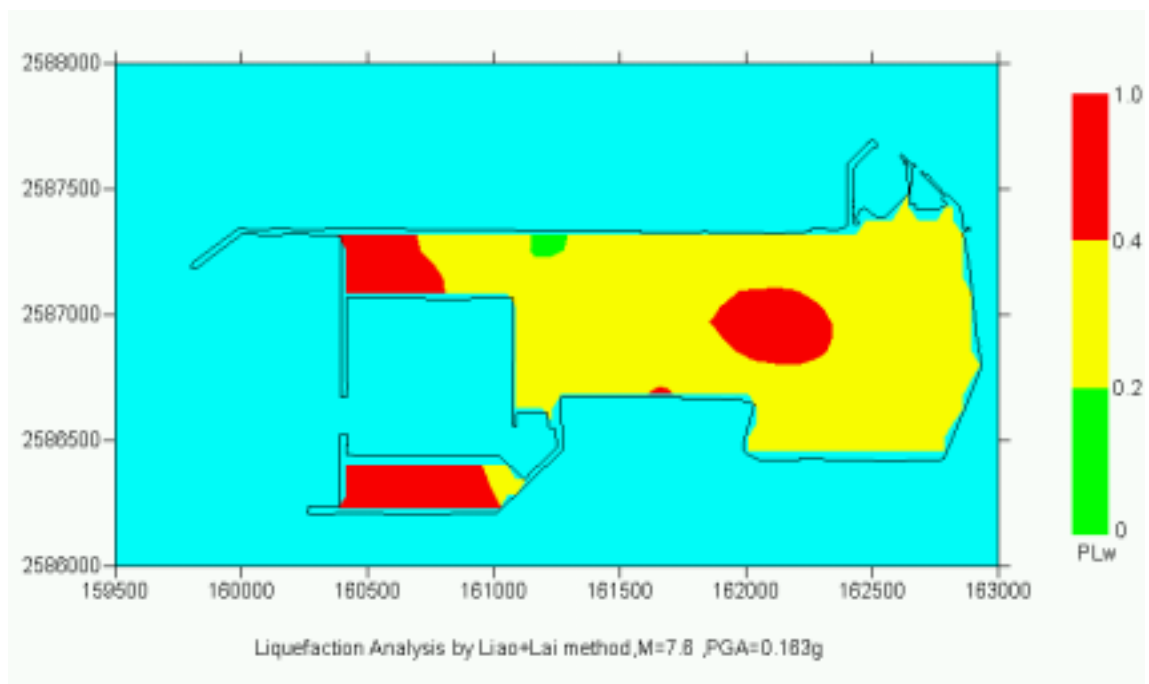


圖 6-7 布袋港區 Liao+Lai 法全區液化危險性指數分佈圖

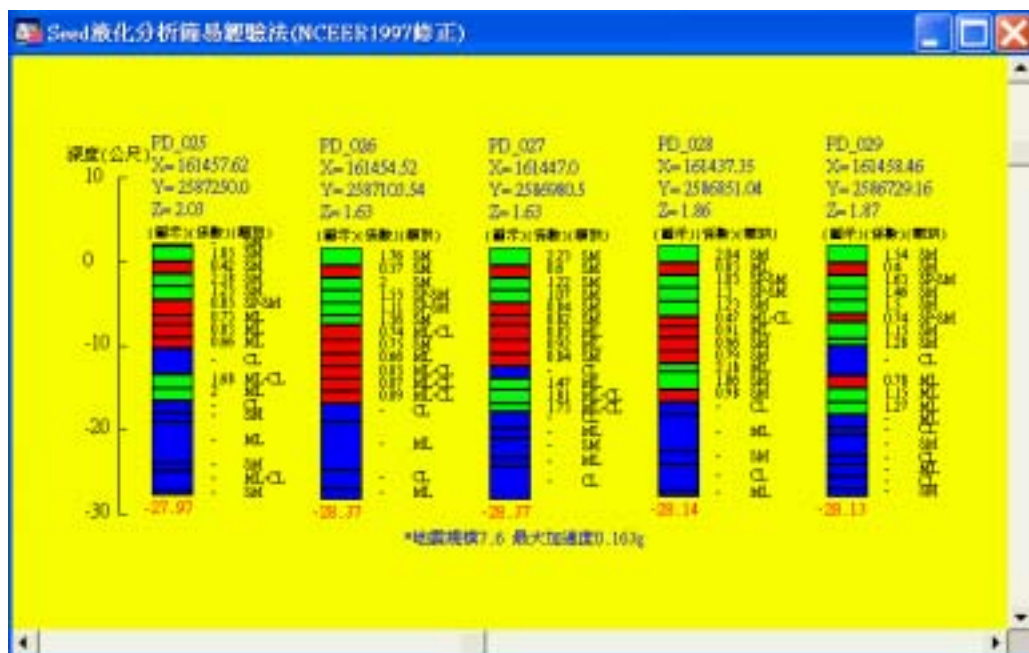


圖 6-8 布袋港區 Seed 抗液化安全係數柱狀圖

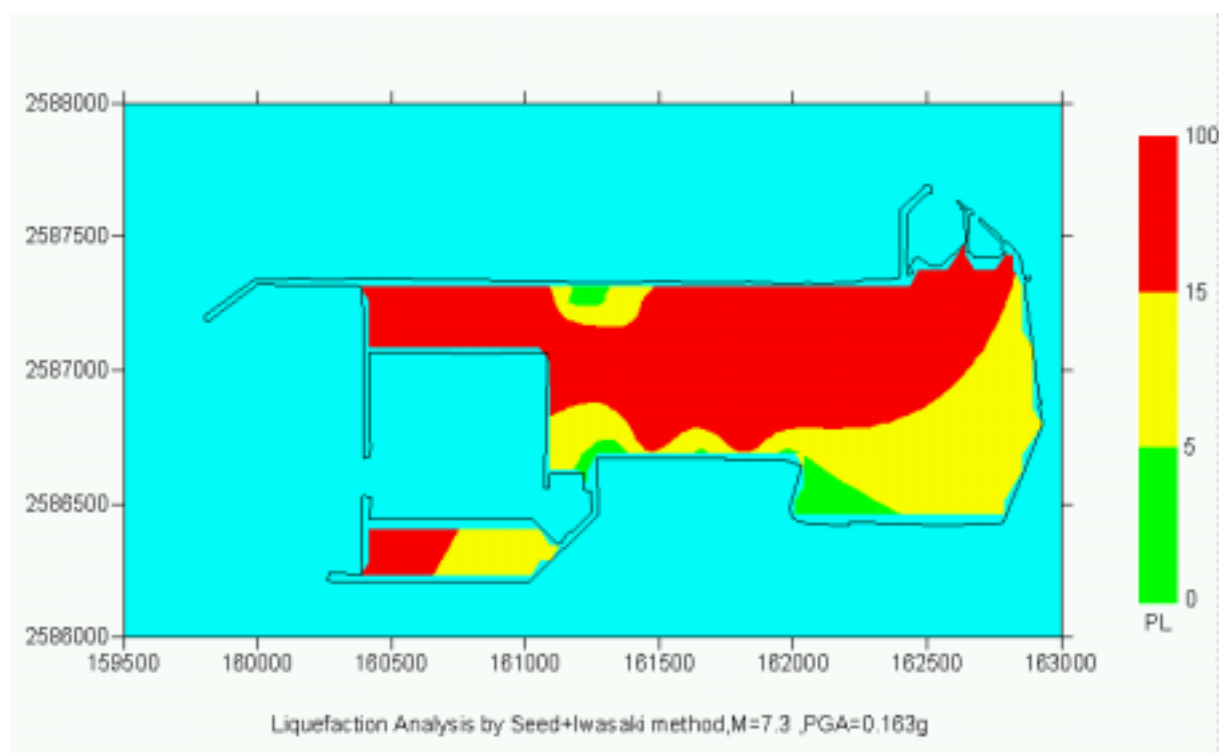


圖 6-9 布袋港區 Seed+Iwasaki 法全區液化危險性指數分佈圖

6.2.5 Lai (賴聖耀, 2003) 本土化液化機率分析成果展示

1. 賴聖耀(2003)所收 921 集集地震及國外液化與非液化案例，利用判別分析(discriminant analysis)方法，發展出以標準貫入試驗(SPT) 評估土壤液化潛能之本土化安全係數及液化機率分析方法。利用 Lai 的方法，在查詢系統上可點取鑽孔來作液化分析，以了解在不同強度之地震侵襲下，各個土層發生液化的機率大小。Lai 液化機率分析方法查詢選單下拉模式如圖 6-10 所示，使用者可在「鑽探資料」選單下，點選第六選項「Lai_賴聖耀_本土化液化機率分析」，再點選其排序方向，螢幕隨即出現一對話框，內含不同地震規模及最大加速度之選鈕，如圖 6-5 所示。在對話框內選取某一地震強度，按確定鈕之後，系統即開啟一新視窗，並在此視窗內繪製所選鑽孔在該地震強度下之液化機率分析圖，如圖 6-11 所示。分析成果圖上採用不同顏色來代表不同分析之結果，藍色代表未做液化分析之土層，而白色到正紅色之顏色漸層變化代表液化機率由 0 到 1 之漸增變化程度，顏色愈紅代表機率值愈高，該土層愈容易發生液化。
2. 除了每個鑽孔的液化分析外，本研究也對整個港區作全面性的液化危險度分析，使用者可由「鑽探資料」選單下，點選第六選項「Lai_賴聖耀_本土化液化機率分析」，拉出「Lai 全區液化危險性指數分佈分析」次選項，程式會呼叫機率危害度分析模組，將全港區所有鑽孔之危害度求算出來，再呼叫 Surfer 軟體，依據賴聖耀的危險度分類等級，繪製分析成果，如圖 6-12 所示。其中液化危險性指數大於 0.4 者，以紅色展繪；界於 0.2 到 0.4 者，以黃色展繪；而小於 0.2 者，以綠色展繪。使用者可清楚分辨出液化程度高中低等區域分佈情況。

6.2.6 Lai (賴聖耀, 2003) 本土化安全係數液化分析成果展示

1. 利用賴聖耀(2003)所發展的本土化安全係數分析方法，在查詢系統上可點取鑽孔來作液化分析，以了解在不同強度之地震侵襲下，各個土層發生液化的可能。使用者可在「鑽探資料」選單下，點選第十

選項「Lai_賴聖耀_本土化液化分析」，再點選其排序方向，螢幕隨即出現一對話框，內含不同地震規模及最大加速度之選鈕，如圖 6-5 所示。在對話框內選取某一地震強度，按確定鈕之後，系統即開啟一新視窗，並在此視窗內繪製所選鑽孔在該地震強度下之抗液化安全係數柱狀圖，如圖 6-13 所示。在分析成果圖上本系統採用不同顏色來代表不同分析之結果，藍色代表未做分析(不會液化)之土層，紅色代表安全係數小於 1，即會發生液化之土層。綠色代表安全係數大於 1，即不會發生液化之土層。

- 除了每個鑽孔的液化分析外，本研究也對整個港區作全面性的液化危險度分析，使用者可由「鑽探資料」選單下的第十選項「Lai_賴聖耀_本土化液化分析」，拉出「Iwasaki 全區液化危險性指數分佈分析」次選項，程式會呼叫安全係數危害度分析模組，將全港區所有鑽孔之危害度求算出來，再呼叫 Surfer 軟體，依據 Iwasaki 的危險度分類等級，繪製分析成果，如圖 6-14 所示。其中液化潛能指數大於 15 者，以紅色展繪；界於 5 到 15 者，以黃色展繪；而小於 5 者，以綠色展繪。使用者可清楚分辨出液化程度高中低等區域分佈情況。
- 其它分析方法之推估結果，也可依據上述方法查詢而得。

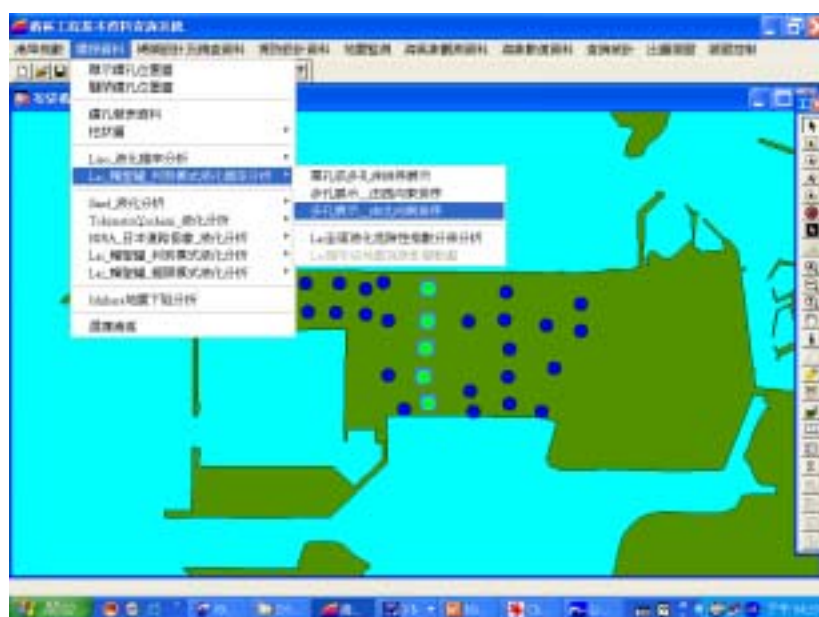


圖 6-10 Lai 液化機率分析方法查詢選單下拉模式

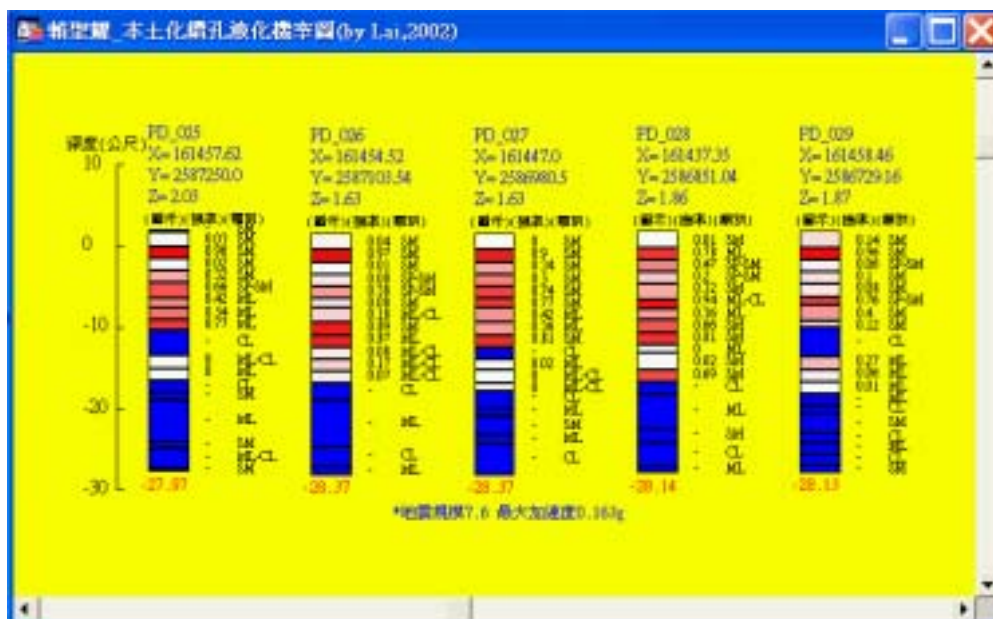


圖 6-11 布袋港區鑽孔 Lai 液化機率分析結果柱狀圖

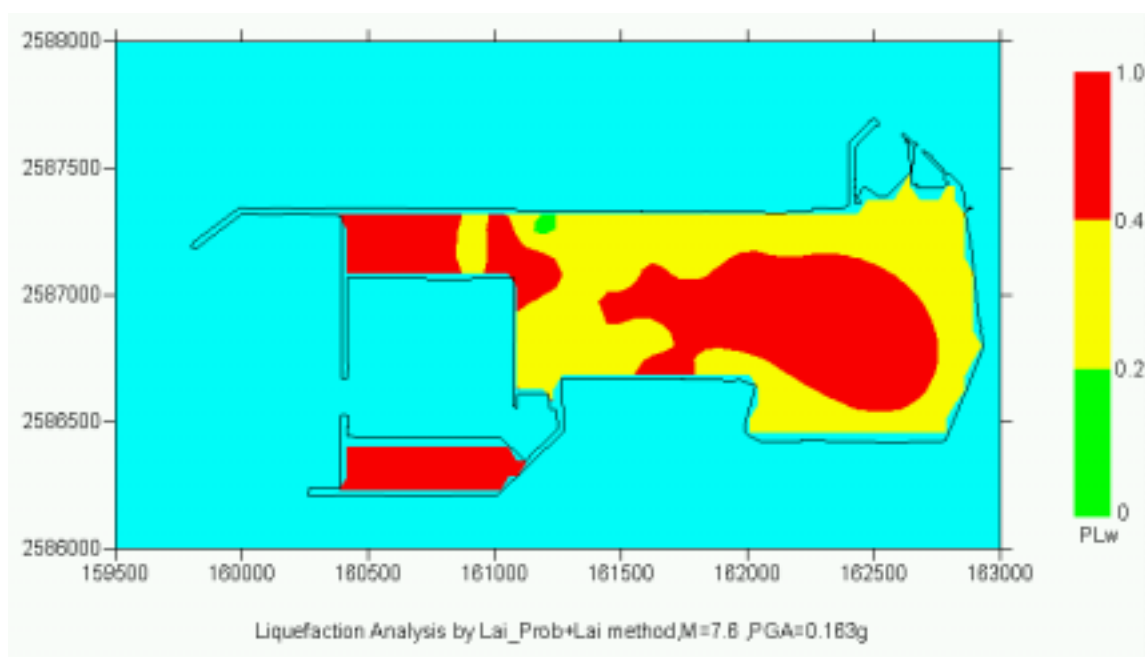


圖 6-12 布袋港區 Lai_Prob+Lai 法全區液化危險性指數分佈圖

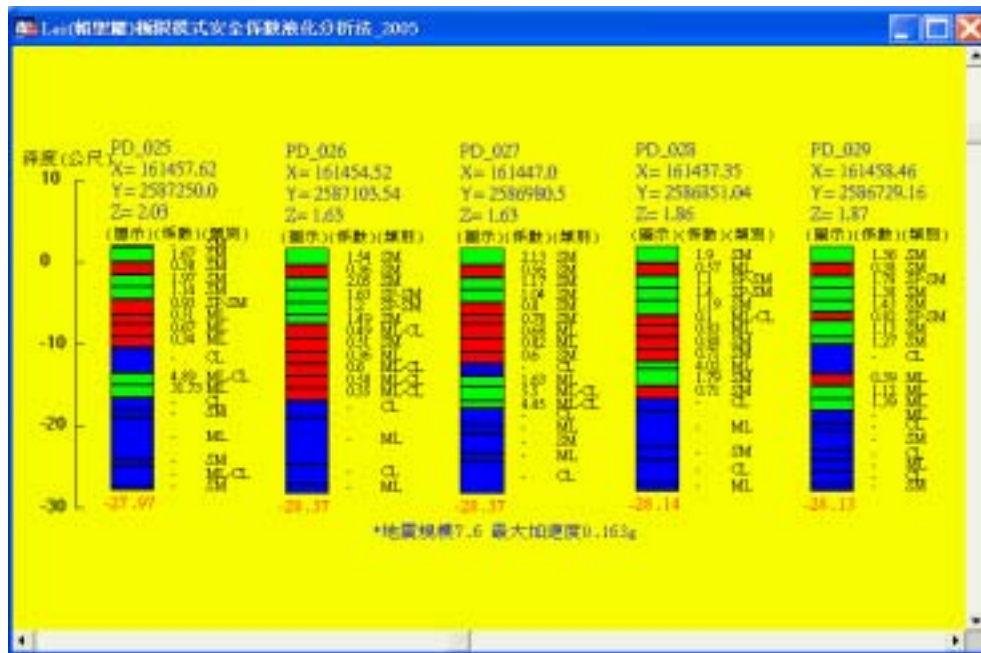


圖 6-13 布袋港區 Lai 抗液化安全係數柱狀圖

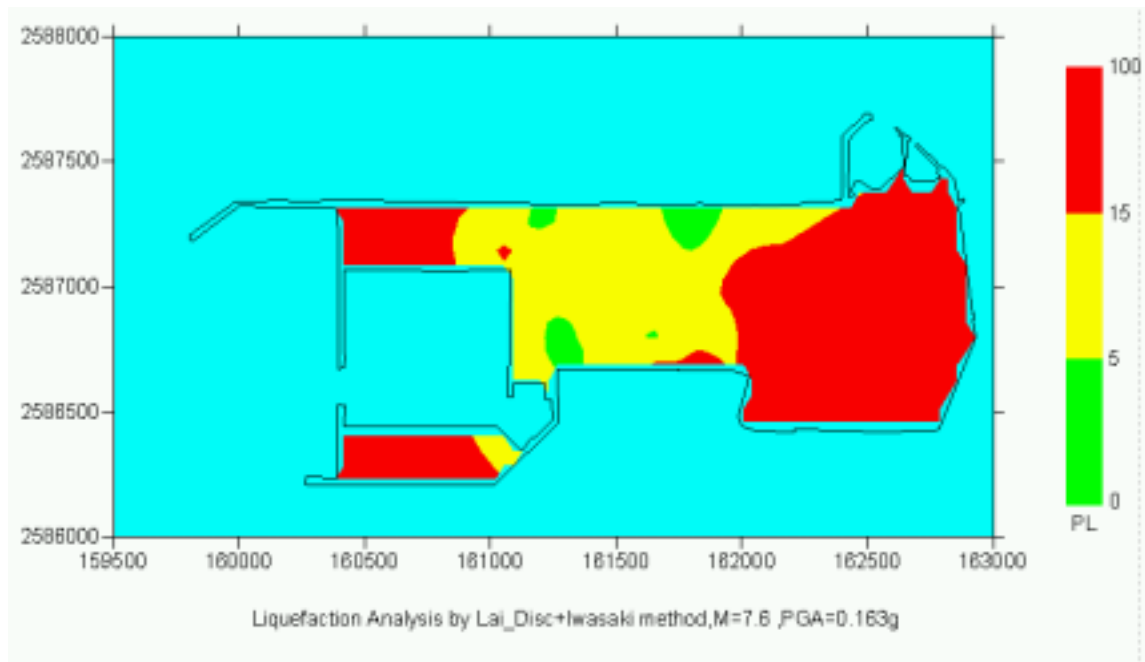


圖 6-14 布袋港區 Lai+Iwasaki 法全區液化危險性指數分佈圖

6.2.7 Ishihara 地震下陷分析成果展示

本研究利用紀雲曜(1997)以回歸分析所求得的 Ishihara & Yashimine 安全係數與最大減應變關係曲線之函數，配合賴聖耀(2002)本土化液化分析所求得的安全係數，來撰寫地震下陷分析程式及下陷潛能繪圖模組，用以展繪不同強度之地震侵襲下，布袋港區因地震發生下陷的可能。使用者可在「鑽探資料」選單下，點選第十一選項「Ishihara 地震下陷分析」，螢幕隨即出現一對話框，內含不同地震規模及最大加速度之選鈕，如圖 6-5 所示。在對話框內選取某一地震強度，按確定鈕之後，系統即呼叫地震下陷分析模組，將全港區所有鑽孔之可能下陷量求算出來，再呼叫 Surfer 軟體，繪製分析成果，如圖 6-15 所示。使用者可清楚分辨出液化程度高中低等區域分佈情況。

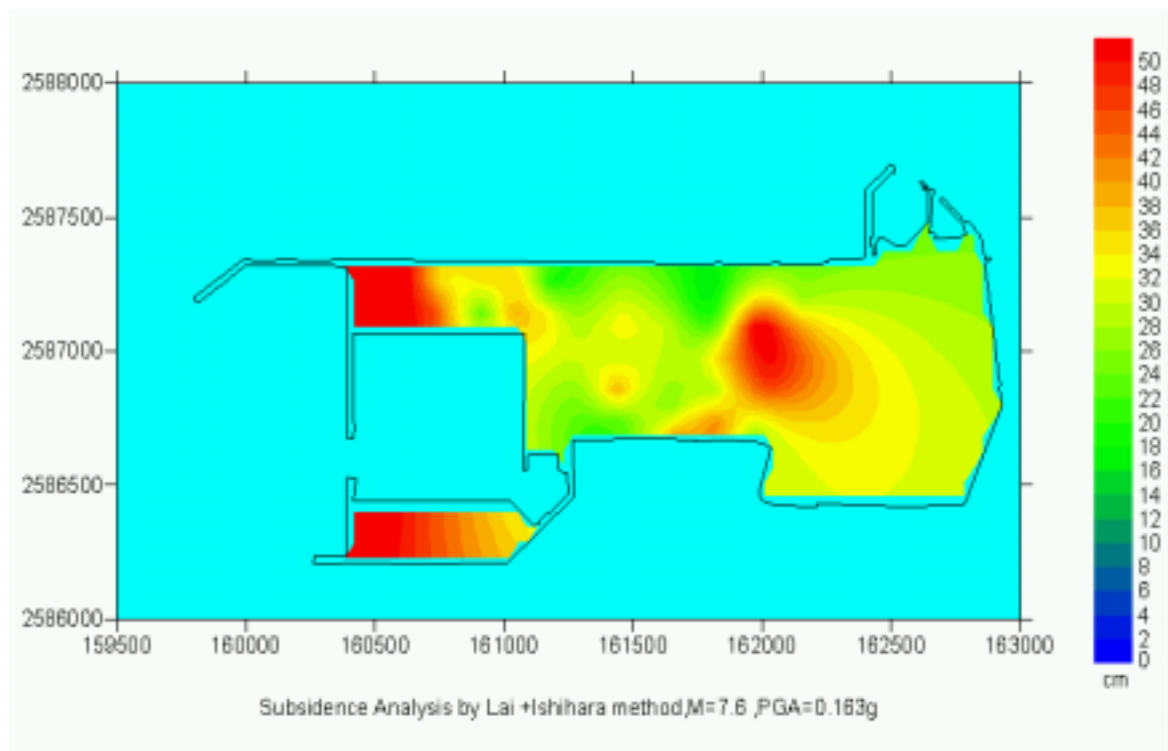


圖 6-15 地震下陷分析成果圖

第七章 結論與建議

7.1 結 論

1. 港灣工程基本資料種類繁多，大致可分為港區地形、土層分佈、港灣設施、碼頭設計、防波堤設計、規劃配置及海氣象等資料。因資料散見於各港不同單位中，查詢調閱甚為不便，本所港研中心已收錄有部份資料，且利用地理資訊系統著手加以整合。為期充分發揮資料管理效益，宜開發資料應用模組，架構成一適當查詢系統，以多樣化表現方式呈現，建立友善介面供使用者使用。
2. 港區地質等相關資料之獲取，常需耗費大量的人力經費及時間，取得極為不易，這些珍貴的資料，值得有系統的加以收集整理，一來避免資料散失，二來可作港區規劃及工程維護之參考依據。
3. 資料除了作有系統的收集整理及建檔貯存之外，更需善加利用既有資料，如增加分析功能以及提供主事者方便調閱查詢，以達決策支援之功效，故本研究利用 MapInfo 地理資訊系統及 MapBasic 程式語言撰寫查詢分析系統，以提升資料的使用價值。
4. 查詢系統及資料庫之建檔工作為一永久性的計畫，須不斷的補充更新，使各港區資料庫更趨完備。
5. 地理資訊系統，除了整理典藏珍貴資料，及快速便捷的查詢展示外，也應對所典藏的資料提供分析應用的功能。本研究利用軟體工具來設計分析模組，由資料庫內擷取地質資料，展繪各鑽孔及全區域的可能液化程度，可提供工程人員設計參考，預做災害防治處理。
6. 地理資訊系統不僅能建置長久性資料，且查詢快速便捷，更可撰寫應用模組進行資料分析，在資料保存及分析上，是一個極佳的開發工具。

7.2 建議

1. 國內各港及研究機構雖有許多基本工程資料可供參考利用，可惜這些資料散見於各有關單位，保存及調閱皆甚為不便，故利用軟體工具將資料數化，有系統的整理分析並儲存鍵置成資料庫，彙整在一系統下查詢管理，已是一個可行的問題解決方法。
2. 港區資料涵蓋項目廣泛，不僅碼頭、地質、風潮波流等特性資料值得加以建置典藏，其他有關港區的土地利用、人文景觀、社經條件資料之建置分析，都具有參考利用的價值，這些尚待後續計畫繼續努力。
3. 本研究在查詢分析系統上所撰寫的土壤液化分析模組，計有美國、日本及本國等方法，其中本國賴聖耀之方法為目前各項液化潛能評估法中最具有嚴謹統計推算之模式，值得推薦引用。
4. 施做全區域的液化危險度分析時，在安全係數的評估方法上，Iwasaki 等人所採用的方法，只對深度做累加計算，若遇到深度不足 20m 的鑽孔，求算出來的該孔液化潛能指數會偏小，即會使液化的可能性偏低。而在機率分析的評估方法上，賴聖耀所提的方法，有考慮深度的影響而除上深度的累加值，這會減少鑽孔深度不足導致液化潛能指數偏小的影響，此結果也較符合現狀。然而，對於欲作分析的鑽孔，仍建議在規劃及執行現地試驗時，鑽探深度以超過地下 20m 為宜。
5. 本研究地下水位的深度，係依據鑽探報告內所登錄的數據，但在海邊若遇漲退潮，水位會受影響，且烈震來襲時，因水壓受震盪而增高，水位也會提升。如何才能得到一個較合理的水位值，有需要再做進一步的監測及研究。

參考文獻

1. 日本道路協會 (1996), 「道路橋示方書.同解說」, V 耐震設計篇。
2. 李咸亨、謝浩明 (1988), 「大地工程地質資料庫系統及台北市區建檔研究」, 內政部營建署。
3. 陳景文、林宏翰 (2000), 「高雄都會區土壤液化潛能微分區」, 地工技術, 第 82 期, PP.7-1 7-18
4. 賴聖耀 (1990), 「以標準貫入試驗值建立土壤液化潛能判別模式」, 中國土木水利工程學刊, 第二卷, 第四期, PP.301-311。
5. 賴聖耀、謝明志 (1996), 「台中港區土壤液化危險度分析與應用」, 八十五年度港灣大地工程研討會 PP.7-1 7-18。
6. 賴聖耀、謝明志 (2000), 「港灣地區土壤液化與震陷潛能評估」, 港灣工程耐震安全評估與災害防治研討會。
7. 賴聖耀 (2001), 「台中港北碼頭區之液化潛能與碼頭穩定性分析」, 2001 地震災害境況模擬研討會。
8. 賴聖耀 (2003), 「以 SPT 試驗評估液化潛能之本土化模式」, , 第二十五屆海洋工程研討會, pp.749-755.。
9. 謝明志、單誠基、賴聖耀、李延恭 (1997), 「地理資訊系統在港灣工程資料查詢展示之應用」, 第十九屆海洋工程研討會, pp.627-632.
10. 謝明志 (2001), 「地理資訊系統在砂質港區地質資料建置及液化分析之應用」, 2001 地震災害境況模擬研討會。
11. 謝明志 (2002a), 「港區液化潛能圖製作自動化研究」, 液化潛能評估方法及潛能圖之製作研討會, 國家地震中心, 台北。
12. 謝明志 (2002b), 「GIS 應用於台中港區土壤液化潛能之評估」, 2002 中華地理資訊學會年會暨學術研討會, 台中。

13. 謝明志、單誠基、蘇青和、曾相茂、蘇吉立、曾文傑、郭明哲、康英仁 (2002), 「地理資訊系統在台中港區工程基本資料查詢展示之應用」, 第 24 屆海洋工程研討會, pp.759-764.。
14. 謝明志、蘇青和、單誠基、曾文傑 (2003), 「地理資訊系統在花蓮港區工程基本資料查詢展示之應用」, 第 25 屆海洋工程研討會, pp.835-839.。
15. 謝明志、賴聖耀、單誠基、蘇青和、曾文傑 (2004) 「地理資訊系統在高雄港區工程基本資料查詢展示之應用」, 第 26 屆海洋工程研討會, 725 頁-729 頁。
16. 謝明志、蘇青和、賴聖耀、單誠基、陳明宗、張道光、曾文傑 (2005) 「地理資訊系統在基隆港區工程基本資料查詢展示之應用」, 第 27 屆海洋工程研討會, 725 頁-729 頁。
17. 謝基政、林炳森 (2000), 「南投地區土壤液化評估方法之研究」, 中興大學碩士論文, pp.24-45.
18. Iwasaki, T., Arakawa, T. and K. Tokida (1982), "Simplified Procedures for Assessing Soil Liquefaction During Earthquakes," Soil Dynamics and Earthquake Engineering Conference Southampton, pp.925-939.
19. Lai, S. Y., Chen, K. C., and Hsieh, M. J., Lee, F. B., Su, J. L., Chen, J. F (2003), "Geotechnic Monitoring and Measures against Liquefaction at Harbor Area", Taiwan Society of Disaster Medicine, Vol.1, Supplement A.
20. Lai, S.Y., Hsu S.C., and M.J. Hsieh (2004), "Discriminant Model for Evaluating Soil Liquefaction Potential Using CPT Data," Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 130(12), pp1271-1282.
21. Lai, S.Y., Lin, P. S., Hsieh, M.J. and H. F. Jim. (2005)," Regression Model for Evaluating Liquefaction Potential by Discriminant Analysis of the SPT N value", Canadian Geotechnical Journal. Vol. 42, No. 3,

pp.856-875.

22. Liao, S.S.C., Veneziano, D. and R.V. Whitman (1988), "Regression Models for Evaluating Liquefaction Probability," J. of Geot. Engr., ASCE, Vol.114, No.4, pp.389~411.
23. MapInfo Corporation. 2002a. MapBsic Development Environment Reference Guide. Troy, New York.
24. MapInfo Corporation. 2002b. MapInfo Professional User's Guide. Troy, New York.
25. Roberson, Peter K., and Cathrine E. Wride (1998), "Cyclic Liquefaction and its Evaluation Based on SPT and CPT," Proceedings of the MCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soil.