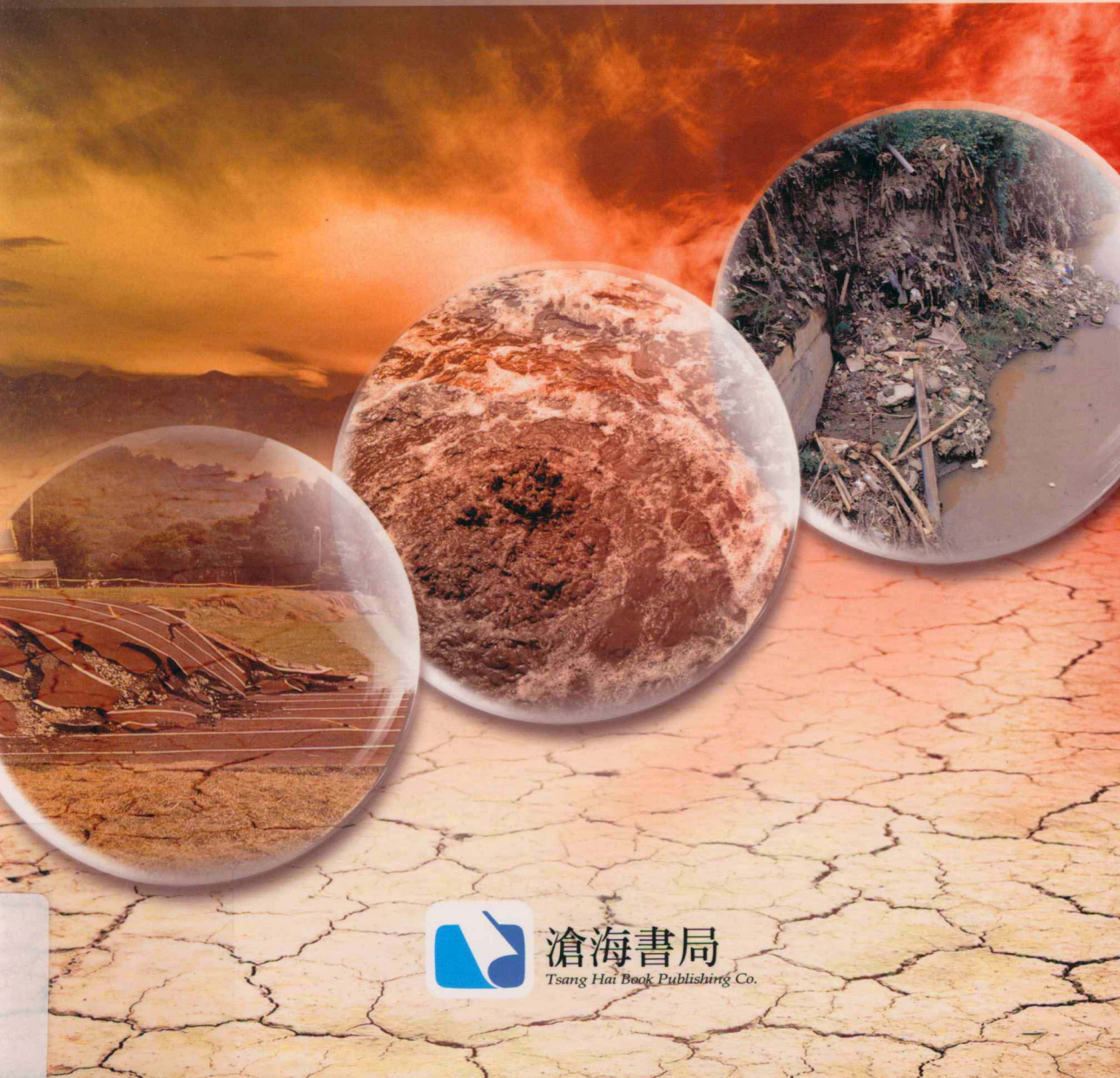


# 自然災害風險評估

紀雲曜 著

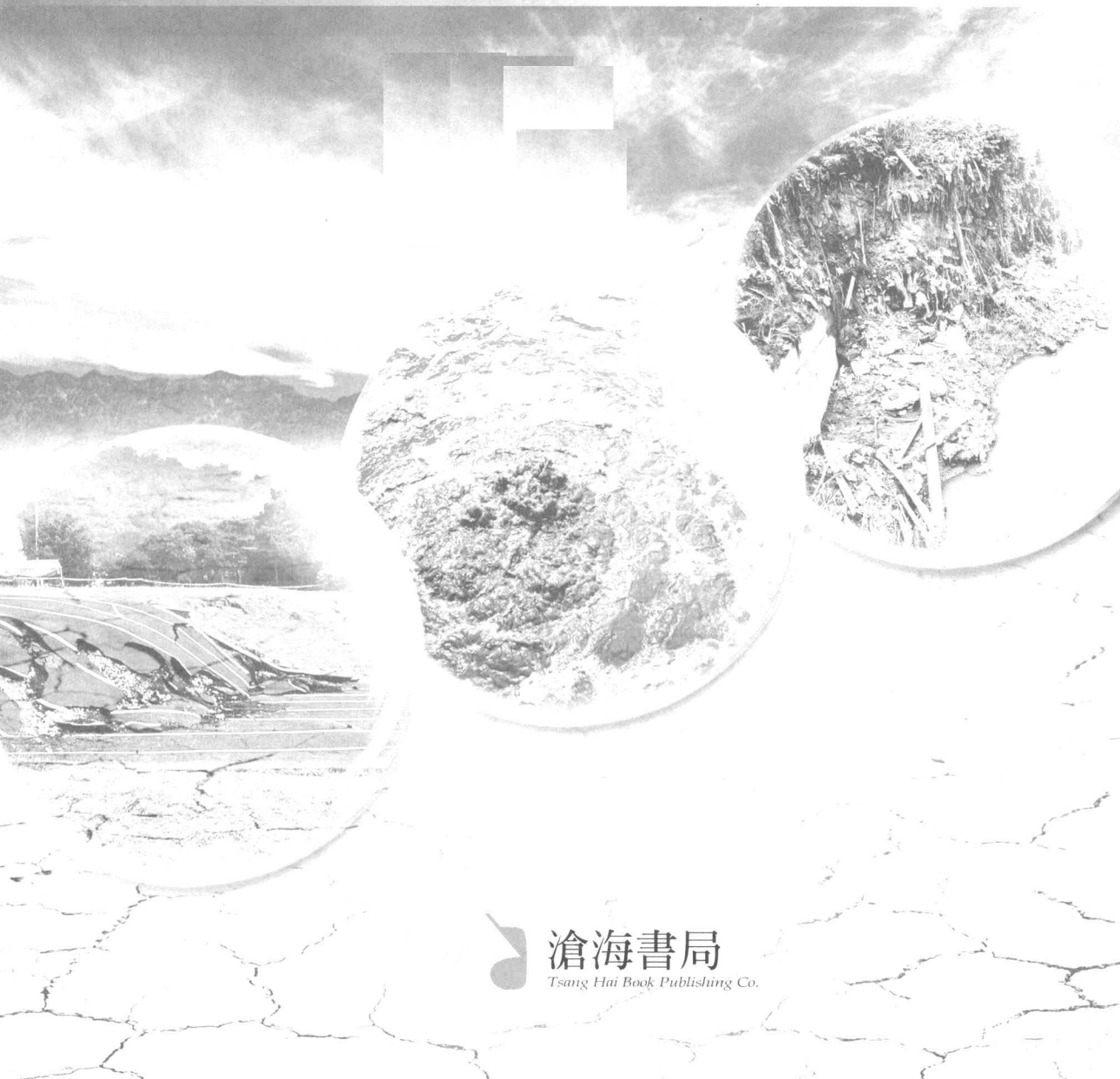


滄海書局

Tsang Hai Book Publishing Co.

# 自然災害風險評估

紀雲曜 著



滄海書局

Tsang Hai Book Publishing Co.

國家圖書館出版品預行編目資料

自然災害風險評估 / 紀雲曜著. -- 初版. --

臺中市：滄海，民 100.10

面：公分

ISBN 978-986-6184-72-7 (平裝)

1. 自然災害 2. 風險評估

367.28

100020763

版權所有



翻印必究

滄海書碼 CV0079

## 自然災害風險評估

作者 / 紀雲曜

發行人 / 張麗紅

出版者 / 滄海書局

總經銷 / 滄海書局

地址：40757 台中市西屯區台中港路二段 122-19 號 11 樓

電話：(04) 2708-8787

傳真：(04) 2708-7799

網址：<http://www.tsanghai.com.tw>

E-mail：[thbook@tsanghai.com.tw](mailto:thbook@tsanghai.com.tw)

中華民國 100 年 10 月初版一刷

本書所有內容，未經作者及本公司事前書面授權，不得以任何方式作全部或局部之

翻印、複印、仿製或轉載。

ISBN 978-986-6184-72-7



# 序

台灣位處於環太平洋地震帶，地形陡峭地質破碎，再加上日益嚴重的土地不當利用，致使每年地震、颱風、洪水及山崩等自然災害頻傳。自然災害兼具人力所不能抵抗及週期性等特性，如何面對自然災害為當今人類嚴峻的課題之一。目前常用的自然災害對策有：(1) 健全的防救災系統；(2) 適宜的土地利用與管理；(3) 推廣自然災害保險等方面的發展，且由於自然災害的不確定特性，使得這些對策，或多或少，均需進行自然災害的風險評估，然而目前此課題之研究文獻並不多見。

自然災害的風險評估須對：(1) 不確定特性；(2) 發生機率；(3) 評估方法等方面加以系統性地掌握。本書為筆者多年來的研究結果，主要內容為介紹自然災害風險評估的系統性的方法，包括：(1) 環境不確定性及模式不確定性的量化分析方法；(2) 應用不同的分析方法，分別提出液化、山崩、土石流及洪水溢堤等災害（破壞）的發生條件機率或年發生機率（系統機率）的評估方法；(3) 在災害風險分析為災害發生機率與損失的綜合評估之定義下，以廬山山崩風險為例，提出山崩災害風險評估方法。

本書內容的優點，兼具廣度與深度的特色，廣度的特色有：(1) 涵蓋液化、山崩、土石流及洪水溢堤等多種自然災害；(2) 介紹蒙地卡羅法、多項式迴歸法、巢狀分割法、能量法、基因演算法及層級分析法等多種方法之應用；(3) 應用最完整的國內外案例資料建立新的分析方法。深度的特色有：(1) 完整地考慮地震、參數及模式的不確定性；(2) 不確定特性→發生機率→損失→風險等系列評估；(3) 針對員林地區（地震引致

土壤液化風險) 及廬山地區 (降雨引致山崩風險) 進行完整的評估。另外，本書除介紹常用的方法論外，並致力於發展本土化理論，透過國內案例分析與討論，讓讀者對方法及個案有更深層的認識，希望藉由本書討論之內容，能對後續相關研究者起拋磚引玉之效。

囿於筆者本身的學能有限，讀者需注意本書的限制，包括：(1) 屬於專門科學用書，閱讀需有基本的相關知識，或需查閱相關參考文獻；(2) 資料及方法有限；(3) 未有長期的案例驗證。

就本書出版之動機而言，筆者感謝成功大學土木系李德河教授、都市計畫系葉光毅教授及美國 Clemson 大學莊長賢教授的指導與教誨；就本書出版之內容而言，筆者感謝稻江科技暨管理學院休閒遊憩與旅運管理系李雅芬教授及歷年參與研究的研究生與大學部同學；就本書之出書而言，筆者感謝滄海書局的支持與出版。

紀雲曜

謹識於台灣，台南，長榮大學，土地管理與開發學系

2011.10.5

# 目 錄



## 第 0 章 緒論 1

0.1 自然災害 .....	1
0.1.1 地震災害 .....	1
0.1.2 颱風災害 .....	3
0.1.3 山崩災害 .....	3
0.1.4 地層下陷 .....	6
0.1.5 土石流災害 .....	6
0.2 自然災害風險分析 .....	7
0.3 本書範圍及內容 .....	8

## 第 1 章 不確定性與風險評估 13

1.1 前言 .....	13
1.2 機率、不確定性、風險與災害 .....	14
1.3 不確定性與發生機率 .....	14
1.3.1 工址調查及土層參數 .....	15
1.3.2 發生機率的評估 .....	16
1.4 容許的災害風險 .....	19

<b>第 2 章 強烈地震災害特性</b>	<b>21</b>
2.1 前言 .....	21
2.2 921 地震災害資料 .....	22
2.2.1 建築物損害程度 .....	22
2.2.2 液化災害 .....	23
2.2.3 坡地災害 .....	23
2.3 模糊分群分析方法 .....	24
2.4 地震測站代表範圍 .....	26
2.4.1 專家問卷及最大最小值方法 .....	26
2.4.2 問卷調查 .....	27
2.5 實際地震災害分級 .....	28
2.6 震害推估模式之建立 .....	29
2.6.1 地震參數 .....	29
2.6.2 分群結果比較 .....	30
2.6.3 地震震害推估模式 .....	33
2.7 結論與建議 .....	35
<b>第 3 章 雨型特徵與土砂災害關係</b>	<b>37</b>
3.1 前言 .....	37
3.2 雨型特徵 .....	38
3.3 結果與討論 .....	41
3.4 結論 .....	45
<b>第 4 章 土層設計參數之不確定性</b>	<b>47</b>
4.1 前言 .....	47
4.2 土層參數不確定 .....	49
4.3 地質統計法 .....	50
4.3.1 共變異數與半變差函數 .....	51
4.3.2 實驗半變差圖 .....	52
4.3.3 交叉驗證 .....	53
4.4 分析步驟 .....	54
4.5 案例研究 .....	56
4.5.1 鑽探點位分布 .....	56
4.5.2 基本統計 .....	56

4.5.3	趨勢函數分析.....	59
4.6	結果與討論.....	59
4.6.1	標準貫入試驗參數 $SPT-N$ .....	60
4.6.2	細粒含量參數 $FC$ .....	61
4.6.3	土壤含水量參數 $W_r$ .....	62
4.6.4	荷式圓錐貫入試驗參數 $CPT-q_c$ .....	63
4.6.5	荷式圓錐貫入試驗參數 $CPT-f_s$ .....	63
4.6.6	結果討論.....	64
4.7	結論與建議.....	65

## 第 5 章 應用微分法於土壤液化機率 67

5.1	前言.....	67
5.2	機率理論公式.....	69
5.3	土壤液化評估方法.....	71
5.3.1	簡易經驗法.....	71
5.3.2	Seed 簡易法.....	73
5.3.3	RW 法.....	76
5.3.4	液化潛能指數.....	78
5.4	液化機率評估.....	79
5.4.1	參數不確定性.....	79
5.4.2	液化機率分析程序.....	79
5.4.3	粘土層液化機率.....	82
5.5	初始液化機率與敏感度分析.....	82
5.5.1	初始液化之液化機率門檻值.....	82
5.5.2	敏感度分析.....	85
5.6	921 液化區分析與討論.....	89
5.6.1	危害度指數計算.....	89
5.6.2	危害度分級.....	90
5.6.3	921 液化區液化危害度分布圖.....	91
5.7	結論.....	93

## 第 6 章 應用能量法於液化機率評估 95

6.1	前言.....	95
6.2	液化能量消散模式.....	96
6.3	液化能量消散.....	97
6.4	模式之參數.....	100



6.5	年液化機率評估步驟 .....	102
6.6	案例分析 .....	104
6.6.1	員林地區的砂土層分布特性 .....	104
6.6.2	能量消散模式之年液化機率 .....	108
6.6.3	不同模式之年液化機率比較 .....	110
6.6.4	年液化機率分布圖 .....	110
6.7	結論 .....	113

## **第 7 章 應用巢狀分割法於液化機率評估** **115**

7.1	前言 .....	115
7.2	Hasofer-Lind 可靠度指標 .....	116
7.3	認知巢狀分割法 (KNPM) .....	118
7.4	蒙地卡羅模擬法 .....	121
7.5	KNPM 模式建立與驗證 .....	121
7.5.1	KNPM 模式建立 .....	121
7.5.2	KNPM 模式驗證 .....	125
7.6	案例分析 .....	130
7.6.1	液化機率 .....	130
7.6.2	偏差係數的影響 .....	133
7.7	結論與建議 .....	134

## **第 8 章 液化簡易評估模式之不確定性** **137**

8.1	前言 .....	137
8.2	可靠度指標 .....	139
8.3	Juang 方法求模式不確定性 .....	139
8.4	極限狀態面定義與假設 .....	141
8.5	方法步驟及流程 .....	142
8.6	液化案例資料說明 .....	146
8.6.1	SPT 資料及 Seed 模式成功率 .....	146
8.6.2	CPT 資料及 RW 模式成功率 .....	146
8.7	案例分析結果與討論 .....	150
8.7.1	參數變異對 $c_1$ 的影響 .....	150
8.7.2	樣本組合總次數 .....	152
8.7.3	模式參數 $c_1$ 分析結果 .....	152
8.8	結論 .....	160

## 第 9 章 應用基因演算法於液化機率評估 161

9.1 前言 .....	161
9.2 隨機參數設定 .....	162
9.3 基因演算法基本概念 .....	162
9.4 基因演算流程 .....	163
9.5 分析結果與討論 .....	165
9.5.1 案例說明 .....	165
9.5.2 分析結果與討論 .....	166
9.6 結論與建議 .....	170

## 第 10 章 年液化機率之評估 173

10.1 前言 .....	173
10.2 地震危害度與年液化機率 .....	174
10.3 CL1 年液化機率評估模式 .....	176
10.4 CL1 與 CL2 年液化機率評估模式比較 .....	178
10.5 員林地區區域概述 .....	179
10.5.1 區域地質概述 .....	179
10.5.2 員林地區土層說明 .....	179
10.5.3 921 地震員林地區液化災情 .....	183
10.6 評估結果與比較 .....	184
10.7 年液化機率分析結果 .....	185
10.8 SPT 資料及 CPT 資料結果比較 .....	189
10.9 液化重現期分布圖繪製 .....	201
10.10 結論 .....	203

## 第 11 章 土層液化後下陷量之評估 205

11.1 前言 .....	205
11.2 基礎之沉陷量 .....	207
11.2.1 容許沉陷量 .....	208
11.2.2 沉陷量與液化損害程度關係 .....	208
11.3 液化分析流程 .....	208
11.4 液化後下陷量簡易評估模式 (EPLS) .....	211
11.5 EPLS 評估結果驗證 .....	215

11.6	921 地震員林地區案例分析 .....	218
11.6.1	員林地區案例資料 .....	218
11.6.2	PL 與 EPLS 下陷量之比較 .....	219
11.6.3	液化下陷潛勢圖 .....	220
11.7	結論 .....	222

## 第 12 章 應用切片法於山崩機率評估 223

12.1	前言 .....	223
12.2	分析方法 .....	225
12.2.1	Hasofer and Lind 可靠度指標 .....	225
12.2.2	CSS 與 MPSS .....	226
12.2.3	Chen and Morgenstern(1983) 切片法 .....	226
12.2.4	切片數及滑動面設定 .....	228
12.2.5	分析步驟 .....	229
12.3	案例分析 .....	231
12.4	CSS 與 MPSS 之變化特性 .....	233
12.4.1	CSS 與 MPSS 之關係 .....	233
12.4.2	土層參數變異對 MPSS 的影響 .....	235
12.5	阿里山五彎仔山崩案例之機率評估 .....	239
12.5.1	分析剖面基本資料說明 .....	239
12.5.2	土層參數變異設定 .....	240
12.5.3	分析結果與討論 .....	240
12.6	結論與建議 .....	244

## 第 13 章 山崩崩滑距離之評估 247

13.1	前言 .....	247
13.2	運動能量消減模式 .....	248
13.3	研究方法 .....	249
13.4	結果與討論 .....	251
13.5	結論 .....	253

## 第 14 章 無限邊坡之破壞機率評估 255

14.1	前言 .....	255
14.2	無限邊坡破壞機率模式 .....	255

14.3	案例分析與討論 .....	257
14.3.1	模式方法驗證 .....	257
14.3.2	土石流發生坡度與破壞機率 .....	258
14.3.3	待解決課題 .....	260
14.4	結論 .....	260

## 第 15 章 岩石楔型破壞機率評估 263

15.1	前言 .....	263
15.2	岩層參數的變異 .....	264
15.3	楔型破壞分析公式 .....	266
15.4	Hasofer-Lind 可靠度指標 .....	269
15.5	方法流程 .....	270
15.6	方法驗證 .....	271
15.7	結果與討論 .....	272
15.7.1	強度平均值降低對總機率之影響 .....	272
15.7.2	地下水壓改變對總機率之影響 .....	273
15.7.3	強度參數變異對破壞機率的影響 .....	274
15.8	結論 .....	276

## 第 16 章 廬山溫泉區山崩風險評估 277

16.1	前言 .....	277
16.2	可靠度指標 .....	278
16.3	風險值估算 .....	279
16.4	災害損失 .....	279
16.5	山崩機率分析流程 .....	280
16.6	研究區概述 .....	281
16.6.1	研究區狀況 .....	281
16.6.2	土地與建物價值 .....	282
16.7	山崩機率 .....	285
16.8	山崩風險 .....	285
16.9	結論與建議 .....	287

**第 17 章 河道溢堤機率之評估 289**

17.1	前言 .....	289
17.2	Hasofer and Lind 可靠度指標 .....	290
17.3	降雨逕流模式 .....	291
17.4	方法模式流程 .....	292
17.5	模式結果比較 .....	293
17.6	案例說明 .....	294
17.6.1	環境與位置 .....	294
17.6.2	隨機參數設定 .....	295
17.7	結果與討論 .....	297
17.7.1	堤頂高與出水高 .....	297
17.7.2	T100 二日暴雨量 .....	298
17.7.3	安全係數 .....	299
17.7.4	評估應用 .....	299
17.8	結論 .....	301

**第 18 章 平原區土地利用潛力評估 303**

18.1	前言 .....	303
18.2	文獻回顧 .....	306
18.2.1	土地評估方法 .....	306
18.2.2	公共設施服務/影響範圍 .....	308
18.3	評估方法 .....	309
18.3.1	災害的評估 .....	309
18.3.2	問卷調查方法 .....	310
18.3.3	層級分析法 .....	311
18.4	高鐵台南特定區案例 .....	312
18.4.1	問卷調查與分析 .....	312
18.4.2	評估準則及指標 .....	315
18.4.3	土地利用潛力指標值 .....	316
18.4.4	因子準則及標準化指標 .....	316
18.5	案例分析結果與討論 .....	322
18.5.1	基本假設 .....	322
18.5.2	分析結果 .....	323
18.5.3	討論 .....	324
18.6	結論與建議 .....	326

## 第 19 章 自然災害調查基礎

329

19.1	前言.....	329
19.1.1	前提條件.....	329
19.1.2	整理紀錄要點.....	329
19.1.3	調查項目.....	330
19.1.4	災害分類.....	330
19.2	災害現地調查.....	330
19.2.1	事前準備.....	331
19.2.2	現地調查.....	332
19.2.3	調查報告內容.....	333
19.3	基礎的調查方法.....	335
19.3.1	文獻蒐集.....	335
19.3.2	地圖.....	335
19.3.3	航空照片及衛星影像.....	337
19.3.4	問卷調查.....	337
19.4	氣象災害調查.....	338
19.4.1	氣象災害調查的特色.....	338
19.4.2	外力條件.....	339
19.4.3	素因條件.....	339
19.4.4	河川洪水.....	341
19.4.5	坡面崩壞、地滑、土石流.....	343
19.4.6	暴潮.....	346
19.4.7	強風引起的災害.....	347
19.4.8	民間、社會對應.....	348
19.4.9	被害、社會的影響.....	350
19.4.10	異常氣候災害.....	351
19.5	地震災害調查.....	352
19.5.1	地震災害調查特色.....	353
19.5.2	外力條件.....	353
19.5.3	素因條件.....	355
19.5.4	地震動.....	357
19.5.5	地盤液化.....	359
19.5.6	海嘯.....	360
19.5.7	地震地滑及岩屑流.....	361
19.5.8	地震火災.....	362
19.5.9	民間、社會對應.....	363
19.5.10	被害、社會的影響.....	364
19.6	災害危險度評估.....	367

**參考文獻**

369

**索引**

391



# 第 0 章

## 緒論

### 0.1 自然災害

台灣常見的自然災害一般可概分為下列幾項，這些災害在台灣每一年發生頻率相當高：

#### 0.1.1 地震災害

台灣位於歐亞大陸板塊與太平洋的菲律賓海板塊交界之處，屬世界上有感地震最頻發的地區之一，平均每年大小地震超過 2,200 次，其中有感地震多達 200 餘次。「地震」是指在因地層中彈性波傳播至地面，引致地面的震動現象。地震依發生原因，可分為構造地震、火山地震、陷落地震與誘發地震，台灣地震災害多由強烈構造地震所引起的。

強烈地震引致的災害包括：(1) 房屋倒塌與變形；(2) 地表隆起變形、斷裂、掩覆；(3) 河床變位；(4) 土壤液化、噴沙、噴水；(5) 橋樑、水壩斷裂；(6) 山崩地滑。地震波，尤其是表面波，遇到障礙運動受阻，地表即會隆起突出，向上拱起，尤其在橋樑兩側最明顯，易產生駝峰形路面；如在山區公路，向谷地側的公路地震波通過時，地表向谷地（低地）方向即產生斷裂、坍塌現象。地表沿斷裂線破裂時，如隆起過高，甚至會前傾，掩覆下方的地物（即逆衝）。

因強烈地震常造成重大災害，故又稱為災害性地震。根據交通部中央氣象局統計，台灣百年來計發生 15 次重大災害性地震，造成死亡人數超過 7,000 人，受傷人數超過 28,000 人，房屋毀損數超過 110,000 萬間。1999 年 9 月 21 日台灣發生集集大地震（又稱為 921 大地震），



更造成 2,400 人死亡、11,000 多人受傷、有形財物損失逾 3,412 億元，環境與經濟等間接損失難以估計，對台灣社會形成重大衝擊（內政部消防署、行政院主計處、中央氣象局）。

**土壤液化**現象係指在強烈地震的反覆作用力造成砂土層孔隙水壓上升，引致大規模的砂土呈現如液體（流砂）的行為，液化發生機制如圖 0-1 所示。當疏鬆砂質地盤發生液化時，地上結構物會因地層承載力不足而產生下陷，地中的維生管線或結構物會因浮力而產生過量的或不均勻的下陷或上浮，極易損害結構物、交通設施及土地利用效能，若土層液化發生在都市、港埠之高密度發展地區，常造成嚴重的都市災害。

近年來世界上發生約 50 個強烈地震災害引致軟弱砂質地盤的液化現象（Bird and Bommer, 2004），約 62% 的大地震事件均產生土壤液化現象，液化災害嚴重者如 1989 年美國 Loma Prieta 地震（地震規模  $M_w = 6.9$ ）、1990 年菲律賓 Luzon 地震（ $M_w = 7.1$ ）、1995 年日本 Kobe 地震（ $M_w = 6.9$ ）與墨西哥 Manzanillo 地震（ $M_w = 7.6$ ）、1999 年土耳其 Kocaeli 地震（ $M_w = 7.4$ ）與台灣 921 地震（ $M_w = 7.6$ ）等。台灣因位處環太平洋地震帶西側，在菲律賓海板塊和歐亞大陸板塊擠壓作用下，大小地震頻繁，地震災害時有所聞，又台灣西部平原多屬第四紀沖積層，大多為由砂土、粉土與黏土交錯組成的軟弱土層，故在地震作用下，從 1900~1995 年間多次發生土壤液化現象。

1999 年 9 月 21 日芮氏規模 7.3 之 921 地震在台灣中部地區產生嚴重土壤液化災害，根據地震後各項調查報告及文獻記載（李德河等，1999、2001；亞新工程顧問股份有限公司，2000；褚炳麟等，2000），在苗栗縣、台中縣、彰化縣、南投縣、雲林縣及嘉義縣等台灣中部地區，均有地表噴砂、開裂或結構物下陷、傾斜、位移或涵管阻塞或地下管線設施破壞等災情，其中又以員林、南投及霧峰等處液化範圍較大，損失慘重。

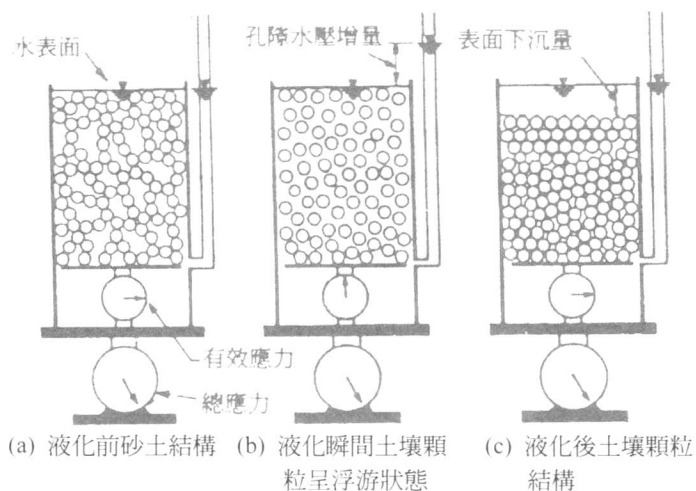


圖 0-1 強烈地震引致土層液化機制示意圖