

利用量化風險感認調查探討土石流 災害風險準則擬定之研究

Study on Establishment of Risk Criteria for Debris Flow Disaster using Quantitative Risk Perception Questionnaire

國立暨南國際大學
土木工程學系
副教授

陳 皆 儒

Jie-Ru Chen

國立暨南國際大學
土木工程學系
博士候選人

張 燕 宗

Yen-Tsung Chang

銘傳大學
都市規劃與防災學系
副教授

莊 睦 雄*

Mo-Hsiung Chuang

台北市政府
產業發展局
副局長

林 裕 益

Yu-I Lin

摘 要

本研究旨在瞭解民眾對於土石流災害人員傷亡之可容忍風險，進而透過問卷調查法、風險感認量測及 F-N 曲線分析等方式探討風險準則研擬之方法。首先藉由國內外相關文獻之蒐集，分析與探究民眾對於土石流災害人員傷亡之可容忍風險的內涵因素，以做為問卷發展之基礎。問卷調查所得結果得以運算主觀性風險感認，量化分析民眾對土石流災害人員傷亡之可容忍風險，探討風險準則之擬定原則。調查結果於量化風險評估常用之 F-N 曲線圖呈現社會之風險感認，當與國際間常引用之香港山崩風險準則進行比較時，本研究所得可容忍風險寬鬆約一數量級。調查結果顯示民眾對於土石流災害之人員傷亡風險準則為風險中立，香港山崩風險準則應用於國內土石流之風險應具有足夠之保守度，相關方法亦可應用至土石流災害財產損失之調查。

關鍵詞：土石流，風險準則，風險感認，風險管理，社會風險。

ABSTRACT

The objectives of this study is to understand perception and tolerance of the general public on fatality resulted from debris flow disasters. A risk perception survey was conducted, and analyzed survey results as presented in the form of F-N curves were used for discussion of implementation of risk criteria. In this paper, concept of societal risks

*通訊作者，銘傳大學都市規劃與防災學系副教授，333 桃園市龜山區大同里德明路 5 號，bigbear@mail.mcu.edu.tw，cmh5899@gmail.com

and factors to be considered in the survey of risk perception were first discussed. Design of the questionnaire and procedures for quantitative analyses of survey results were then given. As a result, a F-N curve that represents the perception of people in Taiwan on acceptance of fatality caused by debris flow disaster is obtained. Comparing to the commonly adopted Hong Kong risk criteria, it is found that the perception for debris flow fatality in Taiwan has about the same risk aversion tendency. However, the Hong Kong acceptable criterion is approximately one order of magnitude stricter than the result obtained in this study.

Keywords: Debris flow, Acceptable risk criteria, Risk perception, Risk management, Societal risk.

一、前言

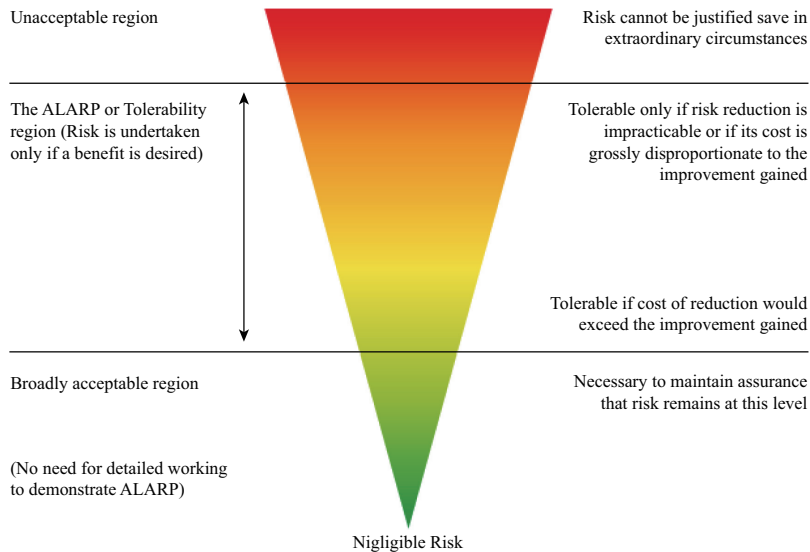
臺灣氣候變遷科學報告(2011)根據聯合國政府間氣候變遷專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第四次評估報告,指出過去 100 年全球平均溫度上升 0.74°C,且增溫的幅度會持續並加劇。另外,熱浪、乾旱及豪大雨等極端氣候的強度與頻率亦皆有增加的趨勢,且臺灣因地理位置、地勢陡峻、地質脆弱、水流湍急等自然環境等因素,使得台灣山崩、地滑與土石流之災害頻傳。由統計資料顯示 1990 至 2009 年間,平均每半年發生 1 次會造成死亡的土石流,平均每件死亡事件造成的死亡人數為 5.64 人。另從 1980 年花蓮縣銅門村土石流導致 20 餘人死亡到 2009 年的莫拉克颱風的極端降雨,引發高雄市那瑪夏鄉土石流,皆造成了嚴重的人員傷亡。

土石流災害是臺灣地區災害防救的重要課題,國內針對土石流之特性、災害潛勢及整備與因應等研究均大力進行並有相當成果(黃立政, 2004; 林美聆與陳天建, 2005; 陳榮河與歐泰林, 2006; 詹錢登等人, 2006)。土石流災害之另一重要課題則為如何能以系統化且合理之程序進行土石流災害管理,近年來於此方面則引入了風險管理的概念(陳振宇, 2008; 陳樹群等人, 2006; 曹鼎志等人, 2008)。土石流風險要能有效管理,其中一個重要關鍵為建立適用的風險準則,以使風險之評估能夠詳實,進而提供決策者作為決策

依據與提升其決策品質。此外土石流風險管理必須要有風險準則當作依據,來評鑑土石流管理之結果是否落在可接受範圍內,本研究之目的即在於探討土石流風險準則如何制定及瞭解社會大眾對於土石流災害之風險認知之準則。本研究將以歷年來發生土石流死亡人數統計數字為基本資料,進行問卷調查與分析以及風險感認之探討與比較,將民眾觀感透過量化方式,呈現台灣社會大眾對於土石流災害之風險認知準則。

二、文獻回顧

風險準則的定義即為當計畫在進行時,針對風險之高低可接受程度所定下的標準,以作為判斷公眾能否接受及承擔風險之依據。在建立風險準則方面,因行業、地區、國家的不同,風險準則也有所不同,但多數情況下,皆依循英國衛生安全署(Health And Safety Executive, HSE, 1992)所提出的可行性最低原則(As Low As Reasonably Practicable, ALARP)如圖 1 所示,在 ALARP 愈向下,發生風險愈低,危害發生頻率愈低,可以不加以考慮風險;而愈向上,其發生風險愈高,越容易發生危害,必須加以預防並降低其發生頻率。ALARP 其定義為:任何活動皆具有風險,透過預防措施來徹底消除活動所帶來的風險是不可能的,因此,必須在風險等級和成本之間做出平衡,即在不同的風險等級採取不同的風險決策,且應符合可能合理可行,低風險成本之原則。



Source: HSE, 1992

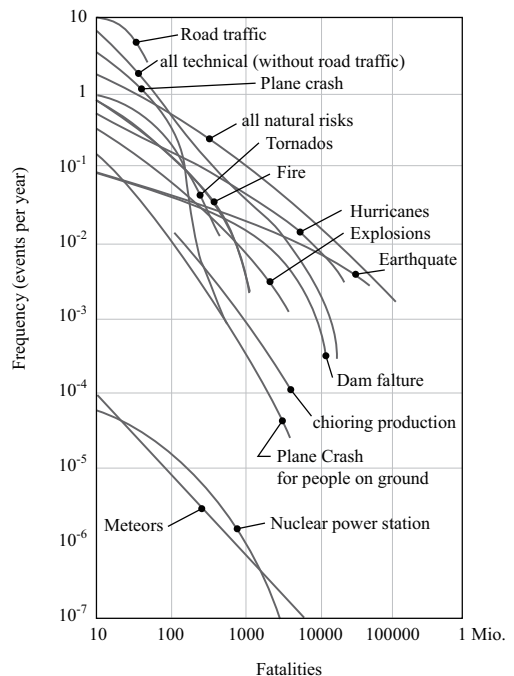
圖 1 ALARP 圖

風險準則與社會對於某類災害所造成之後果的願意接受程度有相對關係，而能夠呈現此所謂社會風險資訊的常用工具為 F-N 曲線圖。F-N 曲線圖所呈現的是某特定災害造成 N 人死亡之年發生機率與死亡人數 N 之關聯，N 除了代表死亡人數外，也常以財損總額為衡量參數。圖 2 所示為數類不同災害或不同設施之 F-N 曲線圖，其中橫軸 N 值是以死亡人數來代表，這些曲線說明對於不同類型災害，社會所可能接受之風險程度。一般而言，人為災害之 F-N 曲線斜率的絕對值比天然災害來得高，這隱含社會對於人為災害嫌惡(aversion)程度比天然災害者較高。

F-N 曲線是 1967 年 Farmer 利用機率的觀點建立了一條各種風險事故所允許發生的限制曲線，F-N 曲線之直線可以下列公式表示(Ball and Floyd, 1998; CCPS, 2009)：

$$F \times N^a = K \text{ or } F = k \times N^{-a} \dots\dots\dots(1)$$

上式中 F 為傷亡人數大於等於 N 人事件的年發生率；N 為傷亡人數；a 為風險嫌惡因子(常介於 1 跟 2 之間)；k 為常數，社會風險準則斜率(當繪製成一張以 log-log 為基準的圖時)等同於 -a，且準則斜率可視為傷亡事件的厭惡程度，



Source: USNRC, 1975; Lacasse and Nadim, 2011

圖 2 F-N 曲線圖

Ball and Floyd (1998)對於不同國家、時期的 F-N 曲線發展整理如表 1，發現大部分之風險曲線斜率介於-1 跟-2 間，如英國、香港之斜率-1 稱為

表 1 F-N 可容許曲線發展彙整表

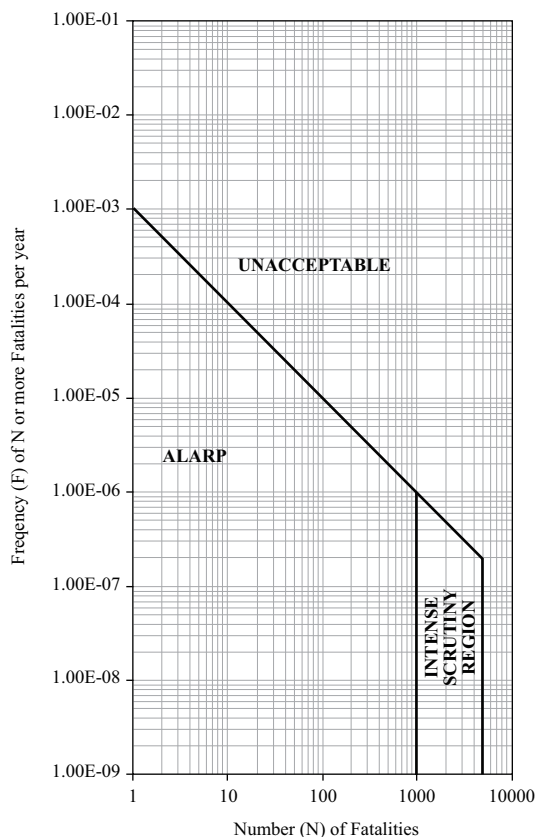
Year	Country	Anchor Point		Slope	Criteria, Applicability and Comment
		N	F(-N)		
1976	UK	10	10^{-4}	n/a	ACMH -HI: single point criterion (frequency) With presumed consequences.
1978	NL	10	10^{-4}	-2	Groningen3-HI: Limit of tolerability-based on Various factors and, perhaps, the ACMH Criterion. "Acceptable" line set 100 times lower.
1982	UK	10	10^{-4}	-1	Revised Kinchin4-nuclear reactor: Based on earlier Kinchin curve which suggested that risks from nuclear reactor programme should be similar to those from meteorites.
1988	HK	10	10^{-4}	-1	SRG-HI: Limit of tolerability based on ACMH criterion and revised Kinchin curve.
1989	NL	10	10^{-5}	-2	SRG-HI: Anchor point based on consideration of individual risks. "Acceptable" line set 100 times lower.
1991	UK	500	2×10^{-4}	-1	ACDS- community close to DG transport route: Limit of tolerability based on Canvey Island risks. "Acceptable" line set 1,000 times lower.
1993	UK			-1 and -1.3	Offshore oil/gas platforms: Limit of tolerability based on "tolerable" individual risk. "Acceptable" line set about 1,000 times lower.
1993	HK	10	10^{-4}	-1	SRG-HI: As 1988 criteria but ALARP region introduced. "Acceptable" line set 100 times below limit of tolerability.
1995/6	NL	10	10^{-5}	-2	SRG-HI: As 1989 criteria but "acceptable" region removed.
1995/6	NL			-2	DG Transport: Similar to above but based on fatalities per km.
1997	HK			-1	DG Transport: Limit of tolerability as 1993 criteria but accounts for numbers of installations involved.

Source: Ball and Floyd, 1998

風險中立；如荷蘭之斜率-2 稱為風險嫌惡。Skjong and Ronold (2002)、Kontovas (2005)提出 F-N 曲線之建立原則，建議以 k 為基準，上下各加減一數量級作為 ALARP 的範圍，此原則為目前國際上多數規範所採用。

F-N 曲線已逐漸為國際上進行風險準則建立以及研究的標準，此曲線在各領域之間都有所使用。其應用首先著重於人為災害方面，例如英國衛生安全署檢視了 Canvey Island 之工業風險，建議社會風險準則不可容忍線為事故造成 50 人以上死亡之頻率為 2×10^{-4} /年，斜率為-1，而可接受線則低於可容忍線兩個數量級(HSE, 2001)。荷蘭風險準則的發展主要來自於 1970 年代中期時，歐洲一些化學工廠所造成的危害，如英國 Flixborough 化工廠以及荷蘭 Beek 陸上加工廠所發生之蒸氣雲爆炸(vapour cloud explosion) 事故、義大利 Seveso 所釋放的戴奧辛等事件，到

1980 年代，荷蘭政府進行了詳細的危險物品運輸之風險研究，發展出頻率 1×10^{-3} /年，斜率為-2 之風險準則，對於新設場址以及既存場址的最大個人風險等級分別為 10^{-6} /年以及 10^{-5} /年，除非有特別的情況，否則土地使用政策對於新發展的場址之最大個人風險必須被限制於 10^{-6} 內(GEO, 1998)。國內也逐漸採用 F-N 曲線於人為災害之風險感認研究，例如陳家緯(2000)透過模糊三角函數作為量測風險感認之工具，輔以各類運輸工具近十年來運具乘員之實際風險資料，運用設計運具損失頻率、後果嚴重程度量測命題之風險感認問卷，取得感認發生機率及事故規模以運算主觀性風險感認，同時量測一般民眾可忍受程度、可接受程度，以繪製在城際大眾運輸風險 F-N 曲線。梁力元(2006)運用風險感認問卷，收集一般民眾對於開放貨車通行長隧道在安全方面的風險感認程度，透過事故規模結果、發生頻率，取

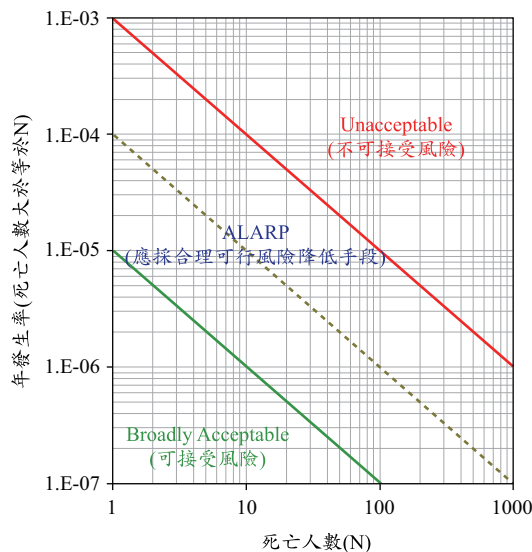


Source: GEO, 1998

圖 3 香港建議之山泥傾瀉災害之 F-N 曲線圖

得感認發生機率及事故規模以運算主觀性風險感認，同時量測一般民眾其對貨車在長隧道內事故規模可忍受程度、可接受程度，以繪製在雪山隧道內貨車通行風險 F-N 曲線。

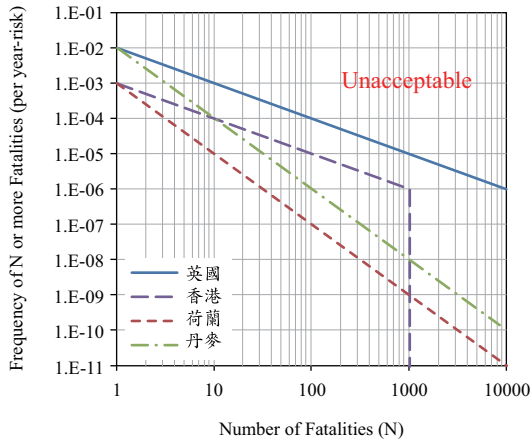
在天然災害方面，香港土木工程拓展署-土力工程處是世界上其中一個機構率先利用量化風險評估技術管理山泥傾瀉(包括崩塌、泥石流及泥石崩瀉)風險及評估其斜坡安全系統的單位，香港規劃標準與準則內已詳載了在潛在危險設施附近進行土地用途規劃的指引(GEO, 2010)。而土力工程處則率先應用量化風險評估的概念來評估山泥傾瀉的風險，採用既存的潛在危險設施(Potentially Hazardous Installation, PHI)社會風險準則，作為山泥傾瀉災害之社會風險指標，其建議的風險準則(圖 3)頻率 1×10^{-3} /年，斜率為-1。



資料來源：中興工程顧問社，2009

圖 4 中興工程顧問社建議之土石流災害之 F-N 曲線圖

國內則有中興工程顧問社(2009)利用 1996 年至 2008 年之平均每十萬人之死亡數為 43 人，亦即代表這段期間國人平均每年因意外事故死亡比率為 4.3×10^{-4} ，土石流的人員死亡風險之標準可要求其應不可高於意外事故之風險，其中我國單一土石流事件所致之最大死亡人數為 41 人，故以國人平均每年因意外事故死亡比例 4.3×10^{-4} 除以土石流單一事件最大死亡人數 41，約等於 10^{-4} 為 F-N 曲線基準(k)，將 k 與 $a = 1$ 代入，並以上下各加減一位數為 ALARP 範圍，則可得土石流社會風險基準 F-N 圖(圖 4)；陳偉等人(2012)利用歷年地質災害死亡人數除以人口總數，計算出歷年發生機率，接著採用中位數的方法，找出造成至少一人死亡地質災害事件年發生率的基準(k)，兩者再依據上述 F-N 曲線之建立原則，分別提出頻率 1×10^{-3} /年、 1×10^{-6} /年，斜率-1 之風險準則。圖 5 所示為整理英國、荷蘭及丹麥等地區對於工業災害以及香港對於坡地災害之社會風險可接受的 F-N 基準，相較英國及香港($a = 1$)的基準，荷蘭及丹麥則為偏向風險嫌惡($a = 2$ ，斜率較大)的基準(中興工程顧問社，2009)。



資料來源：中興工程顧問社，2009

圖 5 各國採用之 F-N 可容忍風險曲線

F-N 曲線斜率提供我們的是統計觀察資訊，並非可接受或可容忍風險之準則。F-N 曲線常由歷史災害事件分析求得，也可由調查民眾對於災害之風險感認了解相關資訊，而這些資訊則是訂定災害風險準則的重要參考。談到風險準則訂定時，就會觸及到該由誰來訂定，是政府、受影響的大眾，亦或是工程人員(Lacasse and Nadim 2011)。鄭錦桐等(2009)更說明產生風險準則之程序需考慮公眾之價值及權利等原則，並包括財務、法律與管理狀況等因素。管理機關制定最低可承受風險時要考慮大眾之接受度，而該接受度則有賴良好之溝通與決策過程之透明化。因此本研究將以公眾為對象，以問卷以及量化分析調查民眾對於土石流災害之風險感認，以作為土石流災害風險準則之參考。

三、風險感認調查分析

本研究設計一份具有模糊語意尺度之風險感認問卷，以收集受訪者對於土石流災害人員傷亡的風險感認程度，藉以獲得此政策安全風險之社會接受度。問卷主要擬透過風險的組成要素--事件規模結果、發生頻率，了解受測人感認發生機率及事件規模以運算主觀性風險感認，同時量測不同職業(一般民眾、警消人員、公務人員)以及不同地理區域之居民對土石流災害人員傷亡

表 2 發生土石流死亡事件之統計資料

死亡人數	事件數	累積事件數	發生週期(年/次)
1	13	39	0.51
2	9	26	0.77
3	3	17	1.17
4	2	14	1.43
5	4	12	1.67
6	3	8	2.5
9	1	5	4
27	1	4	5
28	1	3	6.67
29	1	2	10
41	1	1	20
總死亡人數		220	
總事件數		39	
平均死亡人數(人/事件)		5.64	

事件規模可忍受程度、可接受程度，以繪製土石流災害人員傷亡事件分配臨界值。為進行合理之風險感認調查，需參考歷史災害資料，分析相關數據以供問卷設計之用，由於本研究將以探討受訪者對土石流災害所造成人員死亡之感認為主，因此蒐集行政院農業委員會水土保持局所統計資料，在 20 年間各土石流災害死亡事件規模之相對事件數如表 2 所列，其中死亡事件之總數為 39 件，而平均每事件之死亡人數約為 6 人，這些數據將為問卷問項設計時引用資訊之參考。

風險感認分析是使用認知風險評估方程式來分析受訪者對於土石流危害狀況與土石流重大事件之看法，量化受訪者對於土石流死亡事件之可容忍之總死亡事件數、可容忍頻率與可接受事件頻率，繪出可容忍風險以及可接受風險準則。因受訪者主觀意識不同，當被詢問到發生土石流時是否安全會因受訪者不同而有所差異。自然災害風險常以 Risk (風險) = Probability (機率) × Consequence (後果)來加以定義(Hammer, 1972; 林永峻等, 2013)，本研究以簡易之量化風險方程式(陳家緯, 2000; 梁力元, 2006)為理論基礎，構建土石流災害可容忍之事件規模、可容忍頻率與可接受事件頻率之評估方程式(表 3)，經由前述公式可分別計算求得社會大眾對於土

表 3 認知風險評估方程式

分析項目	計算公式		
受訪者對於土石流之可容忍總死亡事件數	$E \times (U_T)_j = E'_j ;$	E ：歷年來發生土石流之總死亡事件數。 $(U_T)_j$ ：為第 j 位受訪者所填答之模糊績效值， $j = 1, 2, 3, \dots, n$ 。 E'_j ：為 j 受訪者對土石流之可容忍總死亡事件數。 \bar{E} ：平均可容忍總死亡事件數。	(2)
	$\frac{\sum_{j \in J} E'_j}{n} = \bar{E}$		(3)
受訪者對於土石流死亡人數之可容忍頻率	$e'_{lj} = \{e_l \times (U_T)_j\}$ (正向語意)；	若 L 表示土石流特定死亡規模，其中 $L = 2, 3, 4 \dots N$ ， N 則表示在研究資料紀錄期間土石流單一事故死亡最多人數。 e_L ：為土石流之累計死亡規模 L 之事件數。 $(U_T)_j$ ：則是第 j 位受訪者所填答之模糊績效值， $j = 1, 2, 3, \dots, n$ 。 e'_{lj} ：為 j 位受訪者對土石流之累計死亡規模 L 的可容忍事件數。 \bar{e}'_{lj} ：表示 n 位受訪者對土石流累計死亡規模 L 之平均可容忍事件數。	(4)
	$e'_{Lj} = \left\{ \frac{e_L}{(U_T)_j} \right\}$ (負向語意)；		(5)
	$\bar{e}'_{Lj} = \frac{\sum_{j \in J} e'_{Lj}}{n}$		(6)
	$P'_{Lj} = \frac{e'_{Lj}}{\bar{E}}$	P'_{Lj} ：為 j 受訪者對發生土石流特定死亡規模 L 的可容忍發生頻率。 \bar{P}'_{Lj} ：係指 n 位受訪者對土石流特定死亡規模 L 之平均可容忍發生頻率。	(7)
	$\bar{P}'_{Lj} = \frac{\sum_{j \in J} P'_{Lj}}{n}$		(8)
受訪者對於發生土石流之可接受死亡事件規模	$V_j = N \times (U_T)_j$	N ：表示在研究資料紀錄期間土石流單一事故死亡最多人數。 $L = 2, 3, 4 \dots N$ ， $(U_T)_j$ ：受訪者 j 對於歷年來發生土石流中最嚴重事件之可接受發生次數。 V_j ：係指 j 受訪者對於發生土石流之可接受死亡事故規模。	(9)
受訪者對於土石流死亡人數之可接受頻率	$p'_{Nj} = \frac{(U_N)_j}{E'_j} / 20 ;$	$(U_N)_j$ ：為受訪者 j 對於歷年來發生土石流中最嚴重事件之可接受發生次數。 E'_j ：為第 j 位受訪者對土石流之可容忍死亡事件數。 P'_{Nj} ：為受訪者 j 對於最嚴重事故之可接受發生頻率。 \bar{P}'_{NK} ：係指 n 位受訪者對於土石流最嚴重事故之平均可接受發生頻率， n_k 表示選擇 V_k 之總人數，且 $n_k \in n$ 。	(10)
	$\bar{P}'_{NK} = \frac{\sum_{j \in J} P'_{Nj}}{\sum_{k=1-5} n_k}$		(11)

石流災害事件死亡人數之可容忍以及可接受發生頻率，將所對應的死亡人數為橫坐標，可容忍以及可接受發生頻率為縱坐標，即可繪製 F-N 曲線圖。

四、問卷調查

本研究為橫斷型(cross-sectional)研究，分別

於台灣北、中、南、東部地區，針對受訪者進行土石流災害人員死亡風險感認問卷調查分析，為避免一般民眾對於問卷題意不清之問題，本研究採現場發放、集中作答，現場回收發放方式進行問卷調查。共計調查 700 位受訪者對於當發生土石流災害造成人員死亡時，其可容忍以及可接受之程度，對象則包括一般民眾、警消人員、公

表 4 受訪者基本資料

項目	次數	百分比	有效百分比	累積百分比
性別	(1)男性	452	66.4	66.4
	(2)女性	229	33.6	100.0
年齡	(1)20 歲(含)以下	13	1.9	1.9
	(2)21~30 歲	193	28.3	30.2
	(3)31~40 歲	152	22.3	52.6
	(4)41~50 歲	180	26.4	79.0
	(5)51~60 歲	119	17.5	96.5
	(6)61 歲以上	24	3.5	100.0
教育程度	(1)國中(含)及以下	33	4.8	4.8
	(2)高中(職)	178	26.1	31.0
	(3)大學	382	56.1	87.1
	(4)研究所以上	88	12.9	100.0
職務類別	(1)一般民眾	221	32.5	32.5
	(2)警消人員	189	27.8	60.2
	(3)公務人員	271	39.8	100.0
居住地	(1)北部	168	24.7	24.7
	(2)中部	212	31.1	55.8
	(3)南部	149	21.9	77.7
	(4)東部	152	22.3	100.0
保全住戶	(1)是	53	7.8	7.8
	(2)否	536	78.7	86.5
	(3)不知道	92	13.5	100.0

務人員。總發放問卷數為 700 份，其中受測者將問卷全數填答完畢即可視為有效問卷數，共回收有效問卷 681 份，回收之有效問卷比例為 97%。受訪者之男性佔 66.4%，共 452 位，女性佔 33.6%，共 229 位；非保全住戶佔 78.7%，共 536 位(表 4)。

問卷調查主要問題分為兩部分，第一部分為對於土石流危害狀況之看法，內容為：

台灣有超過 1500 條土石流潛勢溪流，由統計資料顯示，民國 79 年至民國 98 年間，平均每半年發生 1 次會造成死亡的土石流災害，平均每件死亡事件造成的死亡人數為 5.64 人。在台灣有超過 1500 條土石流潛勢溪流情況下：

3-1. 「你能否接受，平均每年發生兩次，土石流造成死亡的事件」、

3-2. 「你對平均每 1.17 年，土石流會發生一次，

造成 3 人以上死亡事件的看法」、

3-3. 「你對平均每 4 年，土石流會發生一次，造成 9 人以上死亡事件的看法」、

3-4. 「你對平均每 5 年，土石流會發生一次，造成 27 人以上死亡事件的看法」

其中 3-1 題為調查民眾對於土石流之可容忍總死亡事件數，填答結果以五尺度模糊語意{非常不能接受、不能接受、普通、還能接受、非常能接受}對照模糊績效值(函數圖形如圖 6 所示)分別為{0.1、0.3、0.5、0.7、0.9}來量測受訪者之感受為何。3-2 到 3-4 題係為了瞭解民眾對於土石流之可容忍死亡事件之頻率，問題敘述之資訊基於行政院農業委員會水土保持局以 1990 至 2009 年間紀錄資料來進行設計，為避免前後的極端數值對社會大眾產生厭惡的觀感，並考量到 F-N 曲線之趨勢分佈，故選用中間數值之死亡人數(3、9、

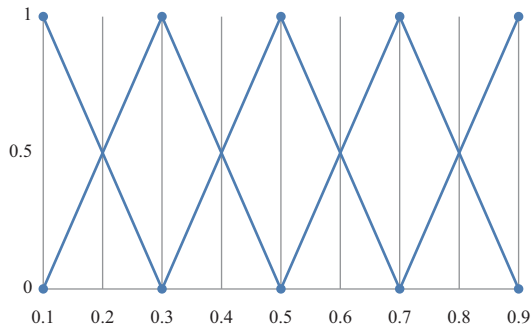


圖 6 5 尺度模糊績效函數圖形

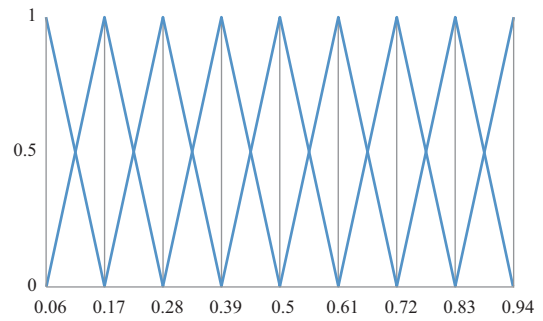


圖 7 9 尺度模糊績效函數圖形

27)，做為本問卷之題目問項，且為有效測量受訪者感受程度的差別，故以九尺度模糊語意{太高、高、稍高、有點高、可以忍受、有點低、稍低、低、太低}對照模糊績效值(函數圖形如圖 7 所示)分別為{0.06、0.17、0.28、0.39、0.5、0.61、0.72、0.83、0.94}進行調查，作答結果進行分析之後予以量度並繪製受訪者對於土石流死亡事件之無法容忍 F-N 曲線。

問卷調查之第二部分為對於土石流重大事件之看法，內容如下：

民國 98 年，莫拉克颱風(88 水災)造成高雄縣那瑪夏鄉南沙魯村，土石流潛勢溪流發生了嚴重的土石流災情，此次災情共造成 41 人死亡。

4-1. 「當你聽到或看到這則新聞報導時的感受為」

4-2. 「在臺灣地區有超過 1500 條，土石流潛勢溪流的情況下，請問你認為間隔多久發生一次，造成 41 人死亡的土石流是可以接受的？」

題目 4-1 之設計係針對民眾能接受的重大的土石流死亡事件之死亡人數以及可接受發生頻率進行調查，本研究重大災害係指在 1990 至 2009 年間紀錄資料，發生嚴重土石流死亡人數最多的一次災害，來探討民眾的風險感認，藉以量測出當民眾在面臨此重大土石流事件之時，而做出的決定與相關反應，填答選項透過五種尺度模糊語意{非常震驚、覺得震驚、反應普通、能容

忍、完全能容忍}，對照模糊績效值分別為{0.1、0.3、0.5、0.7、0.9}，調查受訪者看到或聽到這則新聞報導時的感受程度，以後續分析受訪者所能接受的重大事件死亡人數。

題目 4-2 之設計係針對民眾能接受的重大的土石流死亡事件之可接受發生頻率進行調查，上述問題敘述之資訊係基於台灣地區二十年來所發生最嚴重之單一土石流死亡事件，以{太高、高、偏高、有點高、可以忍受、有點低、偏低、低、太低}等模糊尺度作答，並透過{非常震驚、覺得震驚、反應普通、反應平淡、完全能容忍此數值}五項尺度，量度受訪者聽到或看到這則新聞報導時的感受程度，藉以反應受訪者可接受之重大傷亡人數。在此重大傷亡事件為評估主軸下，輔以{10 年、10~20 年、20~50 年、50~100 年、100~200 年以上}等不同時間區間，量度受訪者之偏好程度，因本研究期間為二十年，則發生次數可轉化為{20 年 2 次、20 年 1 次、20 年 0.4 次、20 年 0.2 次、20 年 0.1 次}，故此 5 個時間區間所對照之模糊績效值分別為{2、1、0.4、0.2、0.1}，量度受訪者對於土石流重大事件之可接受發生頻率，經由可接受死亡人數以及可接受發生頻率之量度，繪製風險可接受準則線並評估土石流災害傷亡事件是否落在一般社會大眾所能接受範圍之內。

本研究為求問卷一致性與穩定性，先於國立暨南國際大學做預試問卷，針對土木系師生於民國 99 年 5 月 13 日星期四共計發放 45 份問卷，進行風險認知問卷初試(pre-test)作業，應用 SPSS

表 5 土石流問卷初試結果測驗信度分析表

	題號	Item-Total correlation	Cronbach's α
對於土石流為狀況之看法	3-1	0.5089	0.8438
	3-2	0.7368	
	3-3	0.8308	
	3-4	0.6565	
對土石流重大事故的看法	4-1	0.3787	0.5184
	4-2	0.3787	

套裝軟體中的信度分析(Reliability Analysis)技術並以 Cronbach's α 信度係數做為信度分析模式，進行卡方統計檢定。信度分析初試結果顯示於表 5，「對於土石流危害狀況之看法」問卷結果之 Cronbach's α 係數值達 0.8438，呈現出「很可信」之信度水準，可得知預試問卷具有良好的信度。「對土石流重大事件的看法」問卷結果之 Cronbach's α 係數值為 0.5184，呈現出「可信」之信度水準，也在接受標準範圍之內。由此可知本問卷之信度係數介於 0.5184~0.8438 之間，整體 Cronbach's α 係數大小與可信程度顯示出為「可信」之上，證明本研究的問卷內容具有內部一致性，因此決定以此初試量表題項進行後續問卷調查。

五、結果與討論

為了瞭解受訪者對於發生土石流災害時風險感認的差異程度，以民眾對於土石流之可容忍

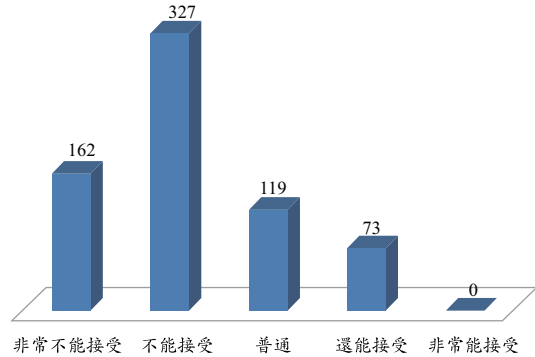


圖 8 可容忍總死亡事件樹之模糊語意分布圖

總死亡事件數之間項進行調查，調查結果分布如圖 8 所示。利用公式 2 進行可容忍總死亡事件數計算，以歷年來土石流事故所發生之死亡人數有 39 件×模糊績效值(分別為 0.1、0.3、0.5、0.7、0.9)×選擇該問項份數/總問卷份數，計算如下：

$$(39 \times 0.1 \times 162 + 39 \times 0.3 \times 327 + 39 \times 0.5 \times 119 + 39 \times 0.7 \times 73) / 681 = 12.88$$

可得土石流之可容忍總死亡事件數平均值約為 12.88。

民眾對於土石流之可容忍死亡事件之頻率之風險感認調查結果如圖 9 所示。利用公式 4 及 7 進行可容忍死亡事件頻率計算，以土石流死亡人數(3、9、27 人)之累計死亡規模分別有 17、5、4 件×模糊績效值(分別為 0.06、0.17、0.28、0.39、0.5、0.61、0.72、0.83、0.94)×選擇該問項份數/

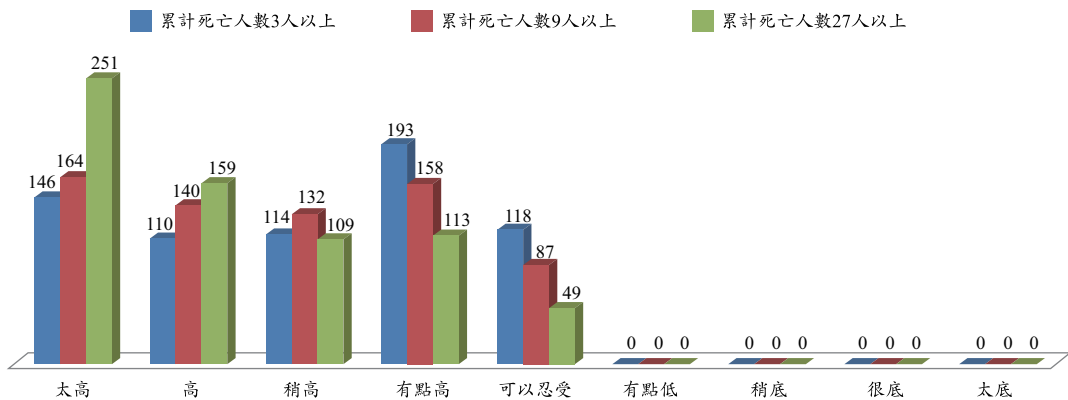


圖 9 可容忍頻率之調查結果分布圖

表 6 民眾對於土石流災害之可容忍值

項目	累計死亡人數		
	3人以上	9人以上	27人以上
頻率(次/年)	0.124	0.0331	0.0213
機率(1/年)	3.18E ⁻⁰³	8.48E ⁻⁰⁴	5.45E ⁻⁰⁴

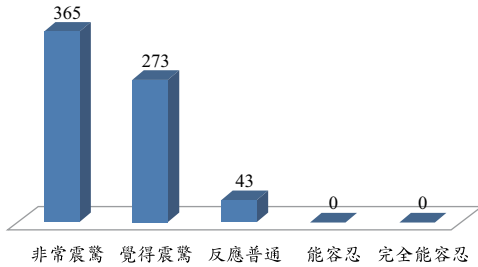


圖 10 重大死亡事故可接受調查結果分布圖

歷年來土石流事故所發生之死亡人數有 39 件/總問卷份數，死亡人數 3 人以上計算如下：

$$(17 \times 0.06 \times 146/39 + 17 \times 0.17 \times 110/39 + 17 \times 0.28 \times 114/39 + 17 \times 0.39 \times 193/39 + 17 \times 0.5 \times 118/39)/681 = 0.124$$

死亡人數 9 人以上計算如下：

$$(5 \times 0.06 \times 164/39 + 5 \times 0.17 \times 140/39 + 5 \times 0.28 \times 132/39 + 5 \times 0.39 \times 158/39 + 5 \times 0.5 \times 87/39)/681 = 0.033$$

死亡人數 27 人以上計算如下：

$$(4 \times 0.06 \times 251/39 + 4 \times 0.17 \times 159/39 + 4 \times 0.28 \times 109/39 + 4 \times 0.39 \times 113/39 + 4 \times 0.5 \times 49/39)/681 = 0.021$$

以上計算可得對應不同死亡人數之可容忍年發生機率，其結果如表 6 所示。

民眾能接受的重大的土石流死亡事件之死亡人數風險感認調查結果分布如圖 10 所示。利用公式 9 進行可接受死亡事件計算，以土石流單一事件死亡最多人數為 41 人×模糊績效值(分別為 0.1、0.3、0.5、0.7、0.9)，計算如下：

$$\begin{aligned} 41 \times 0.1 &= 4.1 ; \\ 41 \times 0.3 &= 12.3 ; \\ 41 \times 0.5 &= 20.5 . \end{aligned}$$

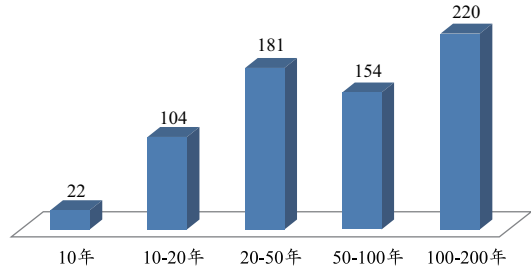


圖 11 可接受頻率調查結果分布圖

表 7 民眾對於土石流災害之可接受值

項目	累計死亡人數		
	4人以上	12人以上	21人以上
頻率(次/年)	0.0036	0.0021	0.0020
機率(1/年)	9.33E ⁻⁰⁵	5.34E ⁻⁰⁵	5.00E ⁻⁰⁵

另外民眾能接受的重大的土石流死亡事件之發生頻率風險感認調查結果分布如圖 11 所示。利用公式 10 及 11 進行可接受死亡事件頻率計算，以各可容忍總死亡事件數×模糊績效值(分別為 2、1、0.4、0.2、0.1)/研究蒐集資料期間為 20 年，之後將各可接受死亡事件頻率進行加總，加總後除以選擇可接受死亡事件之總人數，計算如下：

$$3.9 \times 0.1 = 0.001282051 \text{ (受訪者 1)}$$

$$+19.5 \times 0.1 = 0.00025641 \text{ (受訪者 2)}$$

$$+ \dots + 11.7 \times 0.4 = 0.001709402 \text{ (受訪者 681)} = 1.3284$$

$$4 \text{ 人以上} : 1.3284/365 = 0.0036$$

$$12 \text{ 人以上} : 1.3284/638 = 0.0021$$

$$21 \text{ 人以上} : 1.3284/681 = 0.0020$$

利用上述計算可分析求出民眾對於土石流可接受頻率曲線之相關數值，其結果如表 7 所示。

本研究完成 681 位民眾的問卷調查，利用前述方法估算受訪者對土石流死亡事件可容忍以及可接受發生頻率，將所對應的死亡人數為橫坐標，可容忍以及可接受發生頻率為縱坐標，即可求得 F-N 圖曲線，如圖 12 所示。調查結果反映民眾對土石流造成死亡事件的可容忍與可接受

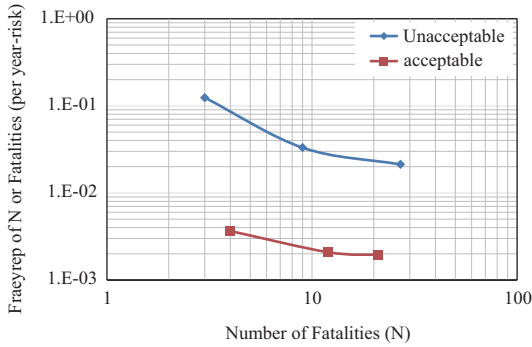


圖 12 民眾對土石流災害之風險感認-F-N 曲線圖

機率(以 anchor point $N = 10$ 進行探討時)分別大約為 0.8×10^{-4} 與 5.5×10^{-5} ，而此兩曲線之斜率均接近-1。

可容忍與可接收曲線包夾範圍所代表意義為風險準則中界定的 ALARP 範圍，表 1 所示部分準則曾訂出可接受水準為低於 100 倍之可容忍水準。由圖 12 可得知，本研究調查所得可容忍與可接收曲線之差距水準平均而言大約略低於 100 倍，此結果與國際上慣用的倍率(如前述部分表 1 的準則)有相近的趨勢，顯示本調查所得民眾風險感認在此兩等級之差距上為符合一般期待

的範圍。

為探討風險感認曲線之意義，圖 13 將本研究所得之可容忍曲線與各國相關之可容忍風險準則同時繪出，其中中興顧問社(2009)建議台灣採用的土石流可容忍準則與香港大地工程處所採用的坡地災害可容忍準則為同一曲線。在 anchor point $N = 10$ ，各準則所訂的可容忍機率介於 1.0×10^{-3} 至 1.0×10^{-5} 間，香港的坡地災害可容忍機率為 1.0×10^{-4} ，顯示本國民眾對土石流死亡事件可容忍的感認程度較香港的坡地災害風險準則寬鬆一個數量級(亦即約高 10 倍左右的水準)，亦顯示若依據中興顧問社(2009)建議為台灣的土石流可容忍準則時，對照台灣民眾的風險感認將有相當程度的保守性。圖 13 各曲線的斜率分別為-1 或-2，斜率越大(亦即曲線坡度愈陡時)代表對風險越嫌惡(如圖中丹麥與荷蘭所訂之曲線)，本研究調查結果顯示民眾的風險嫌惡感認上，接近可容忍曲線斜率-1 之水準，此與香港的坡地災害風險準則及表 1 中多數之風險準則有相同之趨勢。由此可知，民眾風險感認的量化調查成果，將有助於災害風險準則訂定之參考。

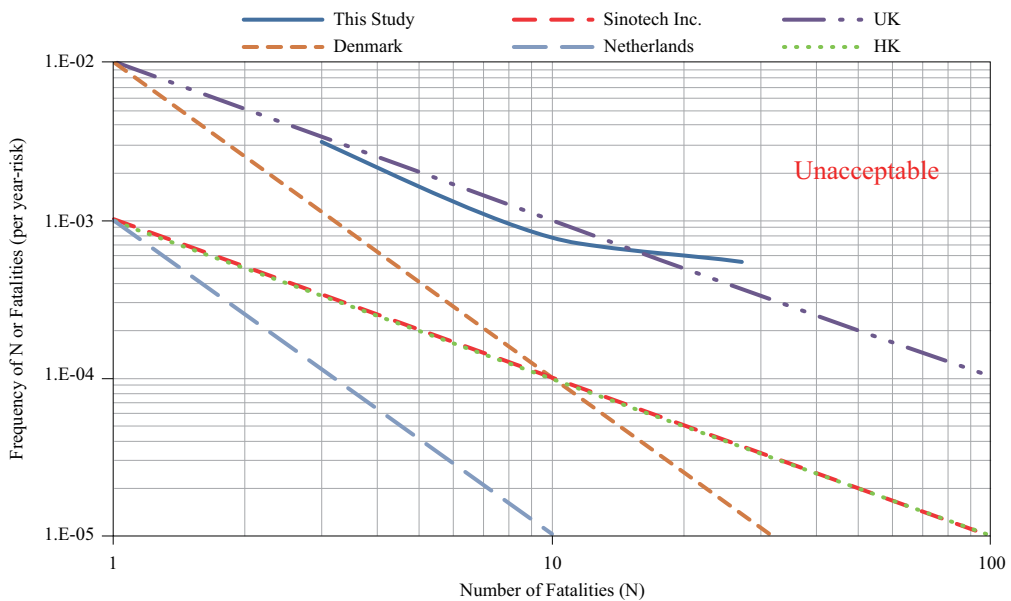


圖 13 本研究與國內外風險準則比較圖

六、結 論

本研究探討風險管理運用於土石流災害時的一個關鍵課題—風險準則之擬定。風險準則的制定牽涉到政府部門、社會大眾及工程人員的見解及看法，而另一重要課題為所鎖定準則之可操作性，因此足夠的參考資訊是為訂定合理適用準則之基礎。為提供相關準則研擬有用資訊，本研究以社會風險感認之議題為切入點，調查分析土石流災害事件發生時，社會大眾對其可接受與可容忍程度，利用問卷調查與分析方式，量化民眾對土石流之風險感認，並將個人風險與社會風險相互結合，透過 F-N 曲線圖呈現，以作為社會大眾針對土石流危害可容忍度指標研擬之參考。本文說明量化風險感認 F-N 圖計算之程序、問卷問項設計之考量及引用之數據資訊，進行的問卷調查回收 681 份有效問卷，所得結果可建立國內土石流災害風險感認 F-N 曲線圖。本研究所得國內對土石流風險之曲線斜率為-1，可容忍風險為 1×10^{-2} ，較國際上最常引用之香港山崩風險準則 ($-1; 1 \times 10^{-3}$) 曲線斜率相同，可容忍風險寬鬆約一數量級。本研究顯示若採用香港山崩風險準則應用於國內土石流之風險應具有足夠之保守度，可作為國內研擬此準則之參考。此外，本研究方法後續可發展針對土石流災害財產損失進行探討，透過進行風險感認問卷調查分析，應可建立土石流財產損失之風險準則。

參考文獻

1. Ball, D. J. and Floyd, P. J., 1998, Societal Risks, Final Report.
2. CCPS, 2009, Guidelines for Developing Quantitative Safety Risk Criteria, John Wiley & Sons, Ltd.
3. Farmer, F. R., 1967, Siting Criteria—a New Approach, Atom, presented at the IAEA Symposium on Containment and Siting, Vol 128, pp. 152-170.
4. Flin, R., Mearns, K., Gordon, R. and Fleming, M., 1996, Risk perception by offshore workers on UK oil and gas platforms, *Safety Science*, Vol. 22, pp. 131-145.
5. Fell, R., Ho, K. K. S., Lacasse, S. and Leroi, E., 2005, A framework for landslide risk assessment and management—State of the Art Paper 1, *Landslide Risk Management*, Hungr, Fell, Couture and Eberhardt (eds), Taylor & Francis, London: pp. 3-25.
6. GEO (Geotechnical Engineering Office), 1998, Landslides and Boulder Falls from Natural Terrain: Interim Risk Guidelines, *GEO Report 75*, Gov. of Hong Kong SAR.
7. HSE, 1992, The Tolerability of Risk from Nuclear Power Stations, Health and Safety Executive, London.
8. HSE, 2001, Reducing Risk, Protecting People, Her Majesty's Stationery Office, London.
9. Hammer, W., 1972, Handbook of System and Product Safety, Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
10. Kontovas., 2005, Formal Safety Assessment Critical Review and Future Role, Diploma thesis, National Technical University of Athens, Greece.
11. Lee, E. M. and Jones, D. K. C., 2004, Landslide Risk Assessment, Thomas Telford, London, pp. 454.
12. Leroi, E., Bonnard, Ch., Fell, R. and McInnes, R., 2005, Risk assessment and management – State of the Art Paper 6, *Landslide Risk Management*, Hungr, Fell, Couture and Eberhardt (eds), Taylor & Francis, London, pp.159-198.
13. Lacasse, S. and Nadim, F., 2011, Learning to live with geohazards: from research to practice, *Georisk 2011: Risk Assessment and Management (GSP 224)*, eds. C.H. Juang, K.K. Phoon, A.J. Puppala, R.A. Green, and G.A. Fenton, ASCE, Reston, 64-115. (CD-ROM)
14. Skjong, R. and Ronold, K., 2002, So Much for Safety, Presentation at OMAE2002, Oslo, June

- 24th-28th.
15. USNRC, 1975, Reactor safety study: an assessment of accident risks of U.S. commercial nuclear power plants, *United States Nuclear Regulatory Commission*, Washington, D.C.
 16. 中興工程顧問社, 2009。98 年土石流潛勢地區易致災因子調查與危害頻率分析期末報告書(第二部分)。行政院農業委員會水土保持局委託研究報告。
 17. 林永峻、張倉榮、王嘉和、賴進松、譚義績, 2013。氣候變遷下高屏溪堤防風險度之研究。農業工程學報, 59 卷 4 期, 81-99 頁。
 18. 林美聆、陳天健, 2005。台灣土砂災害防災科技發展與防災政策之演進。地工技術, 104 期, 5-18 頁。
 19. 香港土木工程拓展署土力工程處(GEO), 2010。山泥傾瀉風險管理及量化風險評估技術的功用。
 20. 陳榮河、歐泰林, 2006。區域性土石流之發生機制。地工技術, 110 期, 25-34 頁。
 21. 陳偉、許強, 2012。地質災害可接受風險水平研究。災害學, 27 卷, 23-27 頁。
 22. 陳振宇, 2008。風險管理應用於土石流災害管理之探討。2008 年國際防災科技與防災教育學術研討會, 雲林。
 23. 陳樹群、馮智偉、吳俊毅、黃柏聰、王价巨, 2006。土石流潛勢區域之風險評估及災害管理。地工技術, 110 期, 45-54 頁。
 24. 陳家緯, 2000。城際大眾運輸安全風險評估之研究。國六交通大學運輸工程與管理學系碩士論文。
 25. 張麗如, 2009。基層地方政府災害防救行動力之研究-以南投縣內四鄉鎮為例。國立暨南國際大學地震與防災研究所碩士論文。
 26. 曹鼎志、許文科、冀樹勇、鄭錦桐、賴承農、陳振宇、羅文俊, 2008。台灣地區土石流風險管理機制探討。2008 年國際防災科技與防災教育學術研討會, 雲林。
 27. 梁力元, 2006。公路長隧道通型貨車風險分析-以雪山隧道為例。國立中央大學土木工程研究所碩士論文。
 28. 黃立政, 2004。土石流災害防治概論。全華科技圖書股份有限公司, 台北。
 29. 詹錢登、李明熹、郭峰豪, 2006。土石流發生空間及時間降雨警戒模式。地工技術, 110 期, 55-64 頁。
 30. 鄭錦桐、曹鼎志、沈哲緯, 2009。坡地災害潛勢分析與風險管理。災害防救科技領域教學改進師資培訓研習會, 桃園。

收稿日期：民國 104 年 4 月 16 日
修正日期：民國 104 年 6 月 2 日
接受日期：民國 104 年 6 月 10 日