

921 大地震草嶺堰塞湖下游社區洪災緊急應變措施之規劃

鄧慰先* 陳亮全** 吳桂陽***

關鍵字：921 大地震、草嶺堰塞湖、社區、洪災緊急應變措施

摘要

921 大地震造成中部各縣市慘重之災情，除了房屋傾毀及人員傷亡外，水利設施亦嚴重受創。在另一方面，由於大規模山崩土石堆積於河道中，阻塞了清水溪而形成草嶺堰塞湖。而由於崩落土石阻塞河道之面積廣且體積大，一時清除不易，阻塞之溪水無處宣洩，當時造成堰塞湖水位節節上升，已達溢壩之危險，經相關單位緊急開挖溢洪道，疏導湖內積水，已暫時減少發生大規模潰壩發生之風險。然而，近年來汛期暴雨所產生之山區逕流仍大量流入堰塞湖中，一旦天然壩體有安全上之顧慮，將可能對堰塞湖下游社區居民造成嚴重災害。因此本文應用對堰塞湖下游淹水潛勢資料，規劃下游社區防救災緊急應變措施策略，南投縣政府可依據本文研究成果，提供量化之洪災影響範圍圖，並結合清水溪沿岸社區防災體系，協助堰塞湖下游社區研擬洪災境況緊急應變措施。

Flood Emergency Response Measures for Tsao-Ling Landslide Lake Formed by 921 Earthquakes

Wei-Hsien Teng* Lien-Chung Chen** Kuei-Yang Wu***

KEYWORDS : 921 Earthquake, Tsao-Ling Landslide Lake, Community, Flood Emergency Response Measures

ABSTRACT

Followed after large surface displacements caused by the 921 Earthquake, the largest earthquake of the last century in Taiwan, the Tsao-Ling Landslide Lake was formed by massive landslides blocking Ching-Shui Creek. The inflows from upstream watersheds were accumulating and caused the water level of the lakes rising. Although emergency spillways have been constructed to prevent the water from overtopping, dam failures may still occur due to large inflows to the impoundment during raining seasons. As a result, the downstream communities will have serious inundation and the safety of people and properties will be in immediate danger. The purpose of this paper is to simulate the inundation potentials of downstream valleys of Tsao-Ling Landslide Lake and establish a flood emergency response measures. The results can provide Nanto County Government and local authority quantifiable information to establish flood hazard map and demonstrate the flood hazards scenarios for the residents of downstream communities.

* 聯合大學建築學系副教授

** 台灣大學建築與城鄉研究所副教授

*** 聯合大學建築學系副教授兼系主任

* Associate Professor, Department of Architecture, National United University.

** Associate Professor, Graduate Institute of Building and Planning, National Taiwan University.

*** Associate Professor/Chair, Department of Architecture, National United University.

2004年6月30日受稿，2004年9月11日通過

一、前言

民國88年9月21日於南投縣集集附近發生地震規模達7.3強烈地震。921大地震為中部地區車籠埔斷層錯動所引發之內陸淺層地震，除地震發生當時之瞬間破壞力相當大外，之後又陸續發生超過一萬次餘震，肇致苗栗縣、台中縣市、南投縣、彰化縣、雲林縣等地區均有嚴重災情發生（羅俊雄等，1999）。而在水利設施方面，包括河堤、海堤、水庫、水壩、攔河堰及農田水利設施等，亦均有損壞災情發生，圖1為台灣中部地區水利設施損害位置(Teng, 2000)，其中圖1(a)顯示草嶺堰塞湖位於濁水河流域之南端，而圖1(b)則是由經濟部水利署提供之草嶺堰塞湖詳細位置圖（經濟部水利署，2000）（經濟部水利署水利規劃試驗所，1999）。除此之外，地震也造成多處河川兩岸大規模山崩，阻塞河道而形成堰塞湖，由於河川上游水流無處渲洩，積水成湖之水位勢必逐漸升高，當天然壩體有安全上的疑慮時，將對河川下游居民生命財產之安全造成威脅，除可能之災情影響範圍大外，對於堰塞湖之後續處理亦最為複雜。

根據國家地震工程研究中心調查顯示，921大地震造成河川兩岸大規模山崩阻塞河道，計有清水溪草嶺堰塞湖、國姓鄉九份二山韭菜湖溪及澀子坑溪堰塞湖、大甲溪支流旱溪崩塌處、烏溪頭汴坑溪崩塌處、大甲溪七星山崩塌處等5個地區（許銘熙等，2000）。其中大里溪支流旱溪崩塌處、大甲溪七星山崩塌處與烏溪頭汴坑溪崩塌處，由於崩塌規模與範圍均較其他二處為小，在88年底前已由台中縣政府及水利署第三河川局以大型挖土機清除完畢，完成河道的疏浚工作。而於90年底國姓鄉九份二山韭菜湖溪及澀子坑溪堰塞湖，亦由農委會水保局與水利署第三河川局河道，以自然水流配合人工疏浚方式，完成河道清淤工作。但清水溪

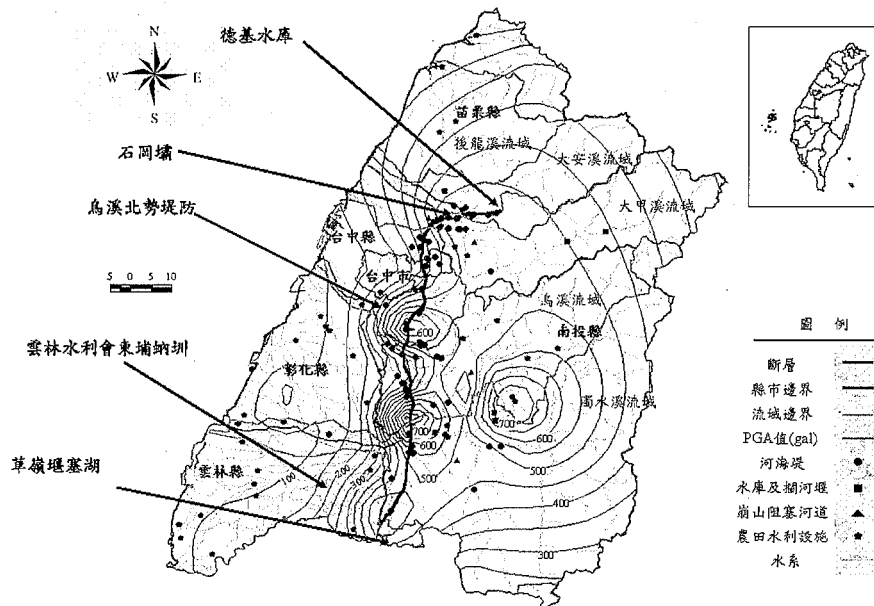
上游之草嶺堰塞湖由於崩坍範圍與土石量過大（經濟部水利署，1999），截至92年底依然存在，雖然湖底因上游土砂淤積而逐漸變淺，但對清水溪下游社區居民仍有潛在之危險。

故本文針對清水溪草嶺堰塞湖，有效應用河川下游淹水潛勢分析結果，進行草嶺堰塞湖下游社區緊急應變措施之規劃。由於近年來桃芝颱風與納莉颱風侵台期間，對台灣中部皆造成可觀之水患，如草嶺天然壩在桃芝颱風時已有小規模溢流現象，造成下游瑞草橋沖毀，清水清支流加走寮溪沖毀溪口瑞興橋，影響龍門大橋安危；而納莉颱風造成清水溪中上游與各支流發生嚴重土石淤阻河道災情，因此導致主河道之通水斷面積減少，原有河道無法承受當時龐大洪水量，清水溪沿福興里堤防沖毀約200公尺，造成德星社區嚴重淹水；清水溪支流之加走寮溪上游亦產生河水夾帶泥沙沖毀堤岸，造成瑞興社區淹水災情。上述颱風侵台期間，本文研發之淹水潛勢相關成果，皆已提供中央災害應變中心，作為擬定緊急應變措施與民眾疏散作業之參考資料。

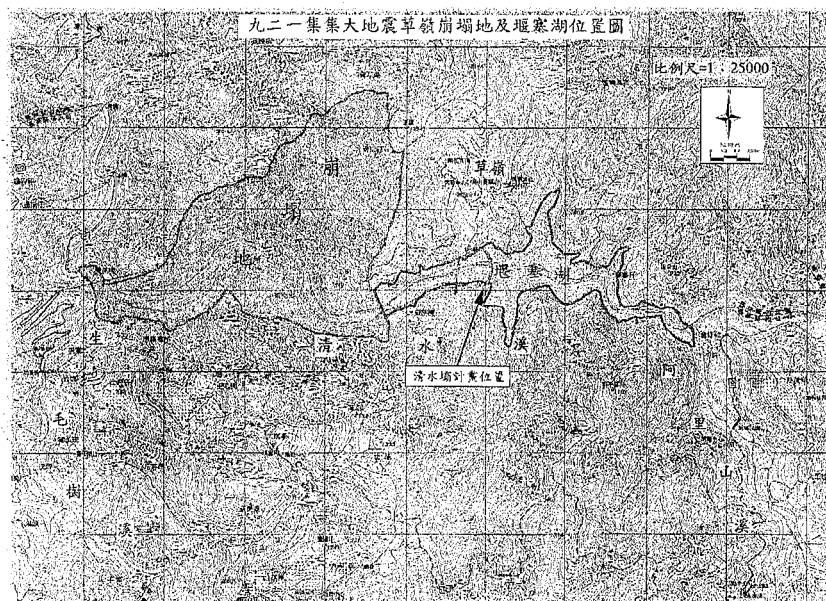
預期未來台灣地區降雨仍將頻繁且雨量可觀，為因應堰塞湖天然壩體一旦潰決對下游居民可能造成之生命財產損失，本文依據洪水演算及淹水潛勢結果，配合套疊地理資訊系統之相關圖層，可以劃定洪災警戒區域，並據以規劃洪災緊急應變措施，供相關主管機關及各級縣市政府擬定草嶺堰塞湖下游社區防救災緊急應變措施之參考。

二、草嶺堰塞湖天然壩體潰決洪水與淹水潛勢模擬

本文在壩體潰決洪水演算部分，採用美國國家氣象局(NWS)所發展之潰壩洪水預報模式(Dam Break Flood Forecasting Model, 簡稱DAMBRK)。潰壩洪水預報DAMBRK



(a) 921 大地震水利設施震災位置(Teng et al., 2000)



(b) 草嶺堰塞湖位置

圖 1 921 大地震水利設施震災位置與草嶺堰塞湖位置 (經濟部水利署, 1999)



模式主要用於預測萬一壩體潰壞後洪水波之傳遞情況 (Fread, 1980)。一旦壩體之破壞情況決定後，模式將依據水庫之蓄水特性曲線，利用寬頂堰公式計算水庫之溢流量，並作為河川變量流演算之上游邊界條件，此外此溢流量亦提供下游淹水潛勢計算時之上游入流條件。整體潰壩之溢出流量 (Q)，包含壩體損壞之裂縫出流量 (Q_b) 及經由溢洪道之出流量 (Q_s)，即

$$Q = Q_b + Q_s \quad (1)$$

DAMBRK 模式中潰壩溢出流量歷線 (Q_s) 之計算以水文演算為主，其演算乃依據質量不滅理論：

$$I - Q = dS / dt \quad (2)$$

式中： I = 水庫入流量， Q = 水庫出流量， dS / dt = 單位時間內水庫體積之變化量。若水庫之入流量 I 為已知，則利用水庫水位 (h) 與蓄水量 (S) 之關係，再利用牛頓疊代法求解水庫之出流量 Q 。

由於崩塌形成之天然壩體堵塞清水溪河道約 5 公里長，實際壩體潰決所需時間，有賴進一步壩體安全度分析，天然壩體之潰決則受上游集水區之暴雨、壩體結構與地形影

響。一般而言，土石壩與重力壩之潰壩時間較長，本文為考慮最可能天然壩體潰壩型態與可能做大洪峰值，依據 DAMBRK 模式建議之天然壩體矩形潰口形式，配合潰壩延時 2 小時與 6 小時進行草嶺堰塞湖天然壩體潰壩模擬。並採用降雨重現期 20 年、100 年、以及 200 年，進行淹水潛勢分析，模擬範圍由草嶺崩場地沿清水溪主河道至與濁水溪匯流口全長為 28.4 公里，其中崩塌河段與堰塞湖長約 8 公里，河道斷面數共取經濟部水利署量測之 37 處，其中瑞草橋上游斷面資料係由 DTM 數值地形資料推估，河道粗糙係數曼寧 n 值採用 0.04，係參考「濁水溪支流清水溪治理基本計畫」(台灣省水利局，1997) 與利用民國 68 年水利局草嶺山崩潰壩歷史資料 (台灣省水利局規劃總隊，1983)，對清水溪的河道曼寧 n 值進行檢定。當潰堤發生時，在 2 小時潰壩延時之狀況下，洪峰於潰壩後約 2 小時即到達濁水溪匯流口，但由於加走寮流域地文特性利於洪水流動，龍門橋下游更應先行防範由清水溪支流加走寮溪因降雨產生之洪峰，該洪峰較潰壩洪峰早約 1.5 小時內到達，而圖 2 即為清水溪堰塞湖天然壩體下游約 1 公里處之生毛樹溪匯流口至濁水溪匯流口各重要橋樑之最大洪水位。

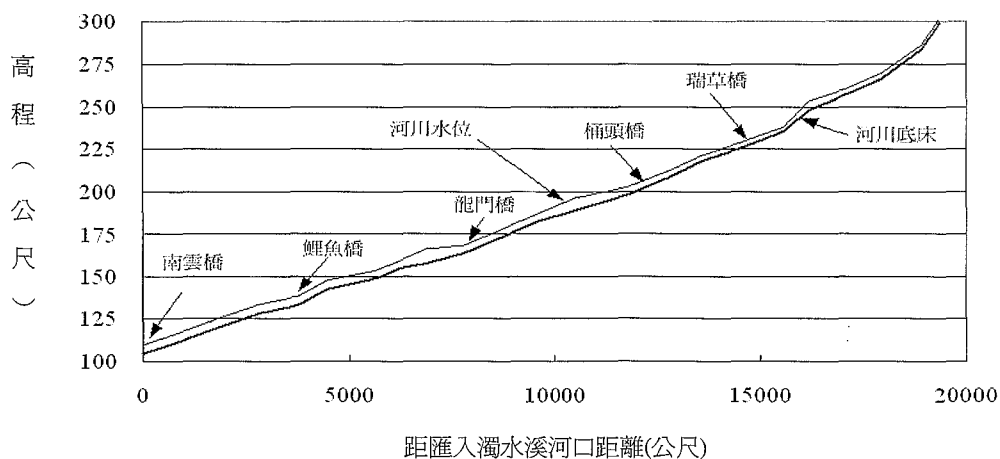


圖 2 清水溪各重要橋樑河川斷面之最大洪水位
(模擬條件：200 年降雨重現期，潰壩時間 2 小時)

為有效銜接潰壩洪水模擬結果，進一步模擬洪水對清水溪下游社區的影響，本文使用國立台灣大學生物環境系統工程學系許銘熙教授研發之二維淹水演算模式，完成清水溪草嶺堰塞湖下游地區之淹水潛勢分析。該模式目前已完成台灣本島 22 縣市之淹水潛勢分析，其中又以基隆河上游台北縣汐止市之模擬結果，作為基隆河中長程治理計畫之評估依據成效卓著，而汐止鎮基隆河沿岸與本文研究範圍之清水溪流域皆為河谷地形，故本文引用相同的模式進行淹水模擬。文中使用之水文資料皆以經濟部水利署公佈之水文技術手冊為主，水利署第四河川局之實測資料為輔，本文部份研究成果已提供該局做為草嶺堰塞湖緊急監測系統之基本水理模擬資料(經濟部水利署第四河川局，1999)，其中部分淹水模擬結果與洪峰到達時間亦發表於國外期刊(Li et al., 2002)。本文則以草嶺堰塞湖潰壩條件之淹水潛勢模擬結果，應用於下游社區洪災緊急應變措施之規劃。以下針對淹水模擬模式理論部份進行說明。

在之二維淹水演算模式中，由於變量流方程式中加速項之大小級次 (order of magnitude) 通常遠小於重力項或摩擦項，因此，地表漫地流況採用簡化之二維零慣性模式予以描述，以交替方向顯式法 (alternating direction explicit, ADE)([Hsu et al., 2002]進行求解。此外，在之二維淹水演算模式並考慮山區逕流對漫地流之影響，因此，針對模擬區域上游地表坡度較大之區域，依降雨量及集水區之面積、形狀、坡度等特性計算出逕流歷線後，提供二維漫地流模式之上游入流邊界條件。之二維淹水演算模式假設淹水區內洪水歷線上升平緩，並略去科氏力、風力及加速項後，地表漫地流之二維零慣性模式如下：

$$\frac{\partial d}{\partial t} + \frac{\partial(ud)}{\partial x} + \frac{\partial(vd)}{\partial y} = q_s + i \quad (3)$$

$$-\frac{\partial h}{\partial x} = S_{fx} + \frac{(q_s + i)u}{dg} \quad (4)$$

$$-\frac{\partial h}{\partial y} = S_{fy} + \frac{(q_s + i)v}{dg} \quad (5)$$

式中， x, y ：模擬區標示之迪卡兒空間座標 [m]；

t ：時間座標 [s]；

d ：模擬區地表水深 [m]；

u, v ：分別為沿 x, y 方向之平均流速 [m/s]；

S_{fx} ：地表沿 x 方向之摩擦坡降；

S_{fy} ：地表沿 y 方向之摩擦坡降；

n ：曼寧糙度值 [m^{1/6}] (Chow, 1988)[12]；

h ：地表水位 $h = d + z$ [m]；

z ：地表高程 [m]；

g ：重力加速度 [m/s²]；

i ：有效降雨強度 [m/s]；

q_s ：單位網格面積人孔溢出的流量， $q_s = \frac{Q_s}{A_r}$ [m/s]；

Q_s ：人孔溢流量 [m³/s]；

A_r ：為人孔溢流所分配之面積[m²]。

上式中，式 (3) 為連續方程式，式 (4)、式 (5) 分別為沿 x, y 方向之動量方程式。若地表高程、曼寧糙度和邊界處之流量已知，則式 (3)、式 (4) 及式 (5) 可形成一組含有三因變數 d, u, v 的聯立偏微分方程式，可以數值方法求解。

本文使用之水文資料與清水溪各支流之測入流資料係依據國科會「南投縣淹水潛勢資料」(許銘熙等，2000) 與水利署之「草嶺堰塞湖潰壩分析成果報告」(經濟部水利處水利規劃試驗所，1999)，而地文資料則採用民國 78 年公佈之 40 公尺 x 40 公尺格網

大小與垂直精度 1 公尺之數值地形資料，並經水利署實測斷面資料比對修正後輸入模式進行淹水模擬。本文以崩塌地以下之清水溪桶頭橋上游 5 公里處之生毛樹溪匯入口至濁水溪匯流口為主要模擬區域，首先是將一維潰壩演算所求得之天然土堤潰壩溢出流量歷線，作為二維淹水模擬時之上游入流邊界條件；其次是將水文分析所求得之流域降雨歷線及堰塞湖下游各支流之逕流歷線套用於二維淹水模擬。而由於清水溪各支流上游地區地勢高且坡度陡，降雨產生之逕流會快速流入中、下游平原地區，因此依據流域數值地形資料圖層，將清水溪流域劃分成山區逕流與平地淹水模擬範圍，如圖 3 所示，其中圖 3(a) 顯示崩塌地下游之主要支流有生毛樹溪、加走寮溪與過溪，而崩塌地上游，則有阿里山溪與石鼓盤溪。而在行政區域部分，清水溪流域則涵蓋了南投縣之竹山鎮，雲林縣之林內鄉及古坑鄉，及嘉義縣之梅山鄉、阿里山鄉及竹崎鄉等；圖 3(b) 為清水溪流域之 DTM 數值地形圖，顯示清水溪集水區地形變化，以及清水溪上游山區逕流模擬與清水溪中、下游平地淹水模擬二者之範圍。

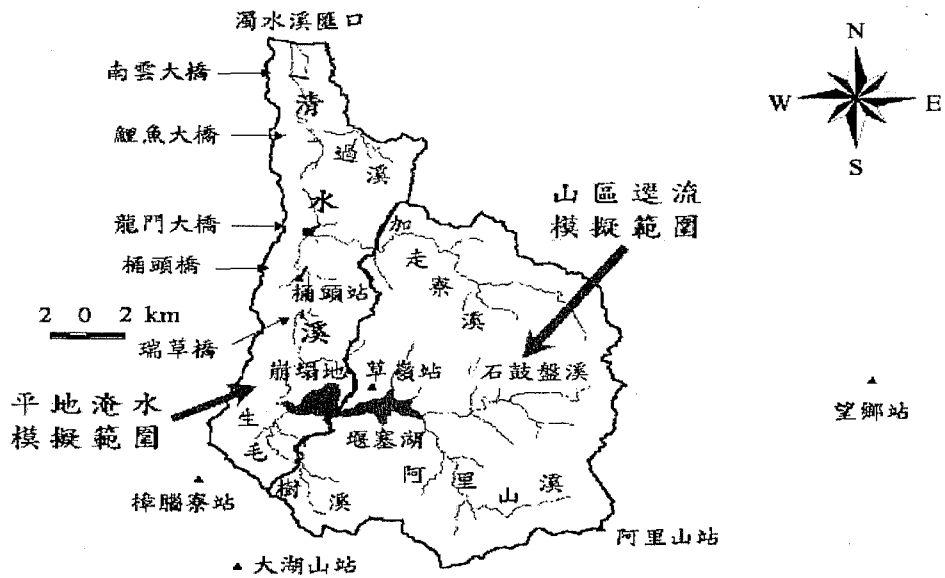
三、淹水潛勢區域分析成果

經由前節草嶺堰塞湖天然壩體潰決洪水與淹水潛勢模擬，獲得草嶺堰塞湖下游在不同重現期降雨與潰壩延時下之洪峰到達時間，模擬結果顯示在降雨重現期 200 年潰壩時間 2 小時條件下，瑞草橋、桶頭橋、龍門橋、鯉魚橋及南雲橋等測站之洪峰到達時間，較潰壩時間 6 小時與其餘降雨條件為早，其原因除降雨量大外，草嶺堰塞湖土石壩在短短二小時內完全潰決，其出流洪峰值亦較大。本文應用降雨重現期 200 年、潰壩延時 2 小時的模擬結果，作為擬定洪災應變措施所需之災害最大規模設定，表 1 顯示六

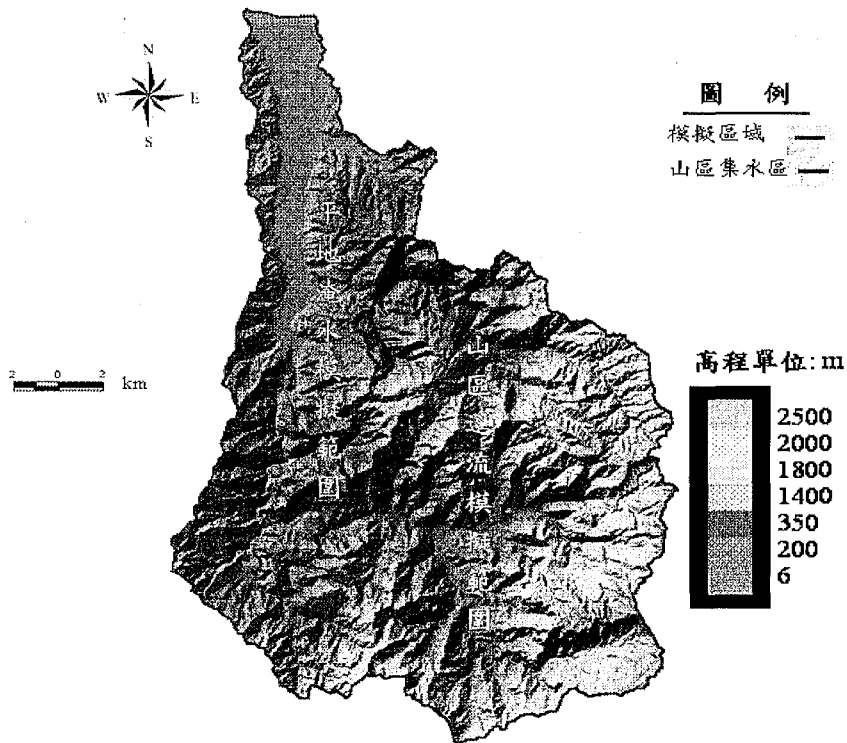
種模擬案例洪峰到達時間之比較，瑞草橋、桶頭橋及龍門橋等測站在不同條件下之洪峰到達時間相差不到 30 分鐘，一般而言，草嶺堰塞湖土石壩開始潰決後產生之洪峰，約 1.52 小時將到達瑞草橋，而到達桶頭橋、龍門橋、鯉魚橋及南雲橋之洪峰到達時間分別為 1.54 小時、1.62 小時、1.82 小時及 2.02 小時。

依據各測站洪峰到達時間之模擬結果，評估各河段所需應變時間，所謂某河段應變時間，即為一旦堰塞湖天然壩體開始潰壩，到潰壩產生的洪峰影響到該河段即稱之，換言之，必趨於該時間內完成疏散避難工作，否則有可能危及該河段社區居民之生命財產。桶頭橋上游部份包含竹山鎮坪頂里及瑞竹里之清水溪沿岸地區和鯉魚里及福興里南部之清水溪沿岸地區，其應變時間建議為 1.5 小時，應變分級訂為 A 級；清水溪桶頭橋至龍門橋段，包含鯉魚里及福興里北部、德興里全部及中琦里南部之清水溪沿岸地區，其應變時間建議為 2.0 小時，應變分級訂為 B 級；而龍門橋至清水溪流入濁水溪之匯流口，包含竹山鎮中琦里北部及中和里全部和林內鄉之林北村及坪頂村全部之清水溪沿岸地區，其應變時間建議為 2.5 小時，應變分級訂為 C 級，表 2 為各區之應變時間及應變分級，各區地理位置如圖 4 所示。緊急應變中心可依據各區應變時間，判斷戒備階段、疏散階段及搶險階段之警訊發佈作業時機。由與本文使用之淹水潛勢圖，其水文條件係依據清水溪及各支流上游集水區因暴雨與潰壩所產生的逕流，以及清水溪中、下游流域內之降雨，已完整考慮河川外水與沿岸社區內水，故模擬結果在配套較詳細之鄉鎮建物與街道圖後，可規劃出不同等級之淹水警戒線，可供緊急應變措施規劃時之參考。





(a) 清水溪草嶺堰塞湖下游重要斷面與支流水系



(b) 清水流域數值地表高程

圖 3 草嶺堰塞湖山區逕流及平地淹水模擬區



表 1 草嶺堰塞湖潰壩分析重要測站最大洪峰到達時間

降雨重現期(年)	20		100		200	
	2	6	2	6	2	6
瑞草橋	1.58	2.80	1.55	2.66	1.52	2.44
桶頭橋	1.62	2.87	1.58	2.71	1.54	2.53
龍門橋	1.68	2.96	1.65	0.26	1.62	0.08
鯉魚橋	1.88	3.26	1.86	0.56	1.82	0.38
南雲橋	2.08	3.56	2.07	0.56	2.02	0.68
與濁水溪匯流口	2.17	3.58	2.15	0.86	2.10	0.76

備註：

1. 本文應用降雨重現期 **200** 年、潰壩延時 2 小時的模擬結果，作為擬定洪災應變措施 所需之災害最大規模設定。
2. 加走寮溪於龍門橋前匯入清水溪，表中灰色部份之洪峰到達時間之洪峰形成原因，並非因為潰壩而是由高重現期降雨所造成，且降雨形成之洪峰大於潰壩者。
3. 單位：小時。

表 2 各區應變時間及應變分級

距堰塞湖天然壩體距離(公里)	戒備區域	距壩體開始潰決後之應變時間(小時)	應變分級	備註
0.0 - 7.5	桶頭橋上游部份	1.5	A	竹山鎮坪頂里及瑞竹里之清水溪沿岸地區和鯉魚里及福興里南部
7.5 - 16.5	桶頭橋至鯉魚橋段	2.0	B	鯉魚里及福興里北部、德興里全部及中琦里南部
16.5 - 20.0	鯉魚橋至清水溪匯入濁水溪之匯流口	2.5	C	竹山鎮中琦里北部及中和里全部和林內鄉之林北村及坪頂村全部

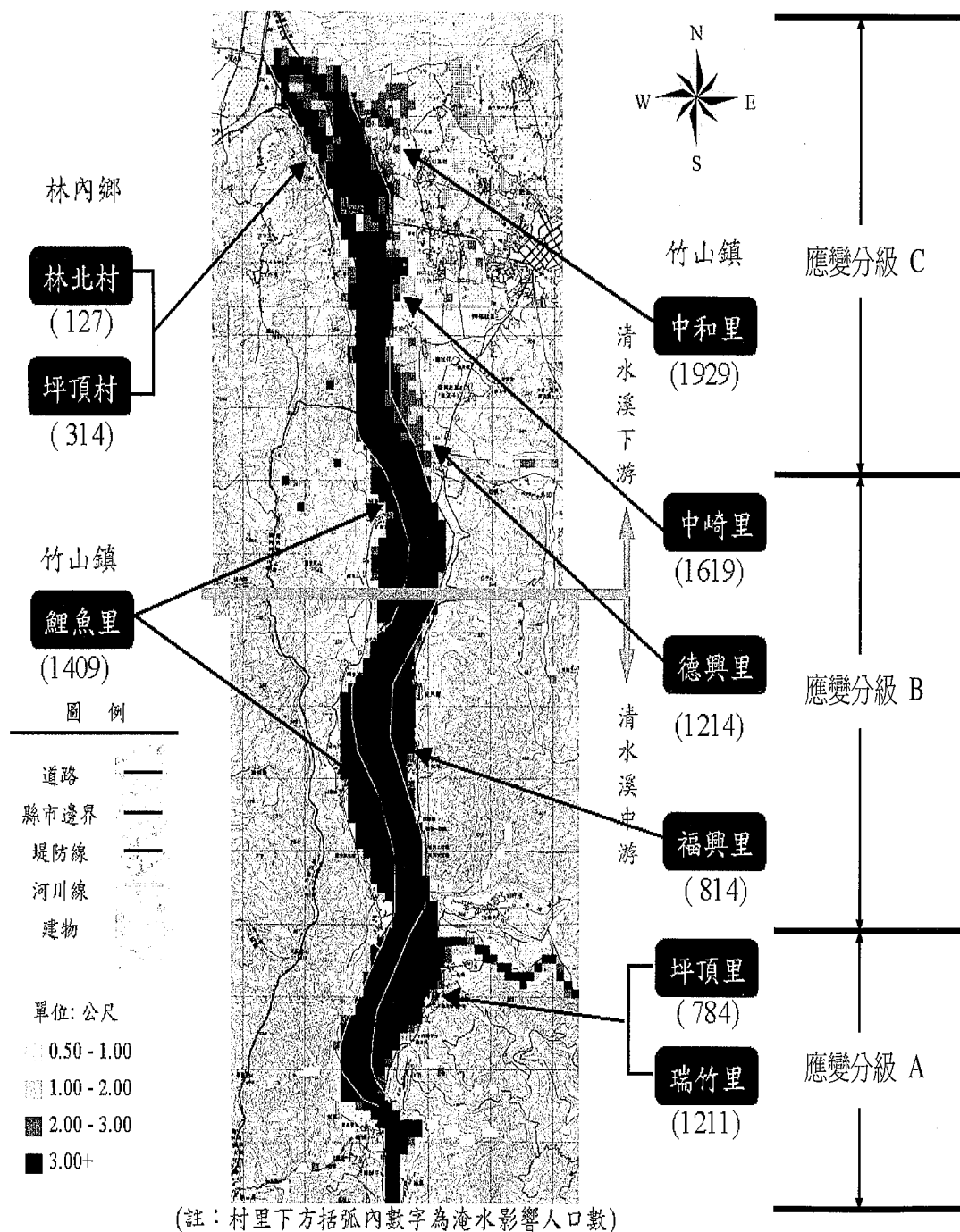


圖 4 草嶺堰塞湖潰壩下游淹水潛勢與行政區相關位置



四、草嶺堰塞湖疏散避難計畫之規劃

一般壩體皆須偵測地下水滲流情況，倘若地下水往壩址下游大量滲漏而有管湧情況時，則會造成壩體的潰決，再者，上游流量過大而溢流壩頂，也會造成潰壩，目前水利署第四河川局無論是地表水或地下水皆裝有偵測儀器，可及早確認壩體之安全狀況，倘若有發生上述狀況時，本文模擬結果可提供第四河川局依據即時水理與地文情況，研判下游可能之淹水災情。

一旦經濟部水利署之堰塞湖山崩土石壩體安全監測系統偵測極有可能潰決，緊急應變指揮系統應立即執行淹水警戒區域內居民之疏散避難計畫，以確保居民生命財產之安全，然而疏散避難計畫是否能確實施行，取決於疏散避難計畫之可行性與周延性，以及當地居民對該計畫的了解程度及熟練度（神戶市防災會議，2002）。本節將說明疏散避難體制及其規劃流程，並以草嶺堰塞湖為例，引用數值模式計算之草嶺堰塞湖下游淹水潛勢圖，劃定及分級淹水潛勢區域，並擬定高淹水潛勢區域之疏散避難計畫，提出疏散避難方法，並針對避難所之選定、設立及運作提出建議。

4-1 疏散避難組織分工

由於堰塞湖山崩土石壩體潰決緊急應變指揮系統包含中央及地方單位，按照技術層面區分，又包括民政、水利、消防及警政等技術領域，故如何整合上述不同層級及技術領域之相關人員，共同建立緊急應變指揮系統實屬不易。而疏散避難組織分工是否得當，以及災前之宣導與演練是否充分，是疏散避難計畫成功的關鍵。表3為執行疏散避難計畫之組織分工，表中說明緊急應變指揮系統相關之中央及地方單位，如經濟部水利署、第四河川局及縣市政府、鄉鎮公所之應變措施暨任務分工，

其中亦針對民政、水利、消防及警政等技術領域進行專業分工，如此方能各司其職、各負其責。

4-2 疏散避難規劃流程

本文進行草嶺堰塞湖土石壩潰決疏散避難計畫之規劃作業時，已考其應兼具可行性與周延性。首先，應進行正確地進行草嶺堰塞湖土石壩潰決淹水災害潛勢計算，計算方法可視實際需要，使用數值模式或模型試驗完成災害潛勢計算，本文已由前文說明草嶺堰塞湖土石壩潰決淹水災害潛勢計算成果，可依據模擬結果便是淹水可能致災區域。

其次，應用淹水災害潛勢計算成果劃定可能致災區域，套配人口分布及建物型態等圖層資料，進行草嶺堰塞湖潰壩後之清水溪流域危害度分析及劃分危險區域，由於研究區域內大多為農村住宅型態之建物，與台北縣汐止市獲台北市南港區之土地利用型態迥異，並無高密度開發之工業區或商業區，故可以社區聚落作為危險區域畫設之依據。接著，經由危害度分析結果及危險區域之劃分，查詢危險區域鄰近之學校、大型公共設施、公園或空地等地點，選擇適當之避難場所，並經由避難人口計算、避難場所容量計算及避難區域選擇等程序，完成避難分區劃定之工作，圖5即為本計畫依據前述原則提出之疏散避難規劃流程。

4-3 淹水潛勢區域之分級及劃定

圖6(a)至圖6(d)為清水溪沿岸地區之洪水到達範圍分級，圖中藍色虛線為「一級洪水到達範圍」，所謂一級洪水到達範圍是以重現期20年每日平均降雨之水文條件計算淹水範圍，依據「南投縣淹水潛勢資料」分析結果，南投縣重現期20年每日平均降雨量約為458公釐（許銘熙等，

表 3 草嶺堰塞湖潰決各級單位執行疏散避難計畫之任務分工

機關 時程	經濟部水利署	第四河川局	縣市政府	鄉鎮公所
戒備前	<ol style="list-style-type: none"> 1.籌措經費 2.督導各單位執行預警疏散搶險等防備措施 	<ol style="list-style-type: none"> 1.擬定清水溪河道改善計畫 2.執行改善工程 3.擬定疏散計畫建立預警系統 4.召開疏散計畫及預警系統說明會 5.監測水位 	<ol style="list-style-type: none"> 1.督導鄉鎮公所成立防汛搶險組織 2.指導鄉鎮公所成立搶救搶險系統 	<ol style="list-style-type: none"> 1.建立區域預警系統 2.擬定疏散計畫 3.指定避難場所及整備相關物資 4.建立搶險系統 5.建立急難救助系統
戒備階段	<ol style="list-style-type: none"> 1.下達戒備(堰塞湖水位達標高 538 公尺時) 2.協調相關單位(內政部、國防部等)預備支援救災 	<ol style="list-style-type: none"> 1.通報水位 2.監測水位 3.通報戒備 4.執行戒備工作 	<ol style="list-style-type: none"> 1.通報戒備 2.督促鄉公所戒備作業 	<ol style="list-style-type: none"> 1.通報戒備 2.執行戒備工作 3.預備開設避難所
疏散階段	<ol style="list-style-type: none"> 1.下達疏散(堰塞湖水位達標高 540 公尺時由水利處長斟酌實際狀況下達疏散令) 2.協調相關單位(內政部、國防部等)支援救災 	<ol style="list-style-type: none"> 1.通報疏散 2.協助疏散 3.監測水位 4.通報水位 5.備妥搶險器材 6.通告濁水溪上游水庫停放流水 	<ol style="list-style-type: none"> 1.通報疏散 2.督促鄉公所執行疏散 	<ol style="list-style-type: none"> 1.開設避難所 2.疏散溪流兩岸低窪地區民眾 3.備妥搶險搶救器材人員
搶險階段	<ol style="list-style-type: none"> 1.蒐集災情報告(堰塞湖崩填時) 	<ol style="list-style-type: none"> 1.蒐集災情上傳報告 2.支援防汛搶險器材 3.辦理搶險 	<ol style="list-style-type: none"> 1.蒐集災情報告 2.指導防汛搶險 3.協助救援 	<ol style="list-style-type: none"> 1.災情報告 2.進行人員搶救工作 3.協助進行設施搶險工作

2000)；圖中黃色虛線為「二級洪水到達範圍」，所謂二級洪水到達範圍是以重現期 100 年每日平均降雨之水文條件計算淹水範圍，南投縣重現期 100 年每日平均降雨量約為 600 公釐；圖中紅色虛線為「三級洪水到達範圍」，所謂三級洪水到達範圍是以重現期 200 年每日平均降雨之水文條件計算淹水範圍，南投縣重現期 200 年每日平均降雨量約為 648 公釐。20 年重現期年降雨所形成之洪水量較少，其淹水範圍較小，但相對發生機率較大，故本文使用藍色虛線標示；200 年重現期年降雨所形成之洪水量較大，雖然發生機率較小，但其淹水範圍較廣，故本文使用紅色虛線標示之。

本文依據圖 4 與圖 6 展示之淹水潛勢資料，可合理指出可能淹水影響範圍，圖 4 顯示清水溪下游右岸有明顯之淹水現象，而圖 6 (a)顯示竹山鎮中和里沿清水溪之冷水坑內絕大多數建物受淹水影響。本文整合各區之應變時間及劃定各應變分區之洪水到達範圍分級圖後，就能在不同降雨條件下，由各應變分區之洪水到達範圍分級圖，可以判定哪些區域內之居民應疏散避難。如此一旦草嶺堰塞湖有潰決之虞時，緊急應變中心可以立即通知淹水警戒區域內居民有多少時間應疏散避難。

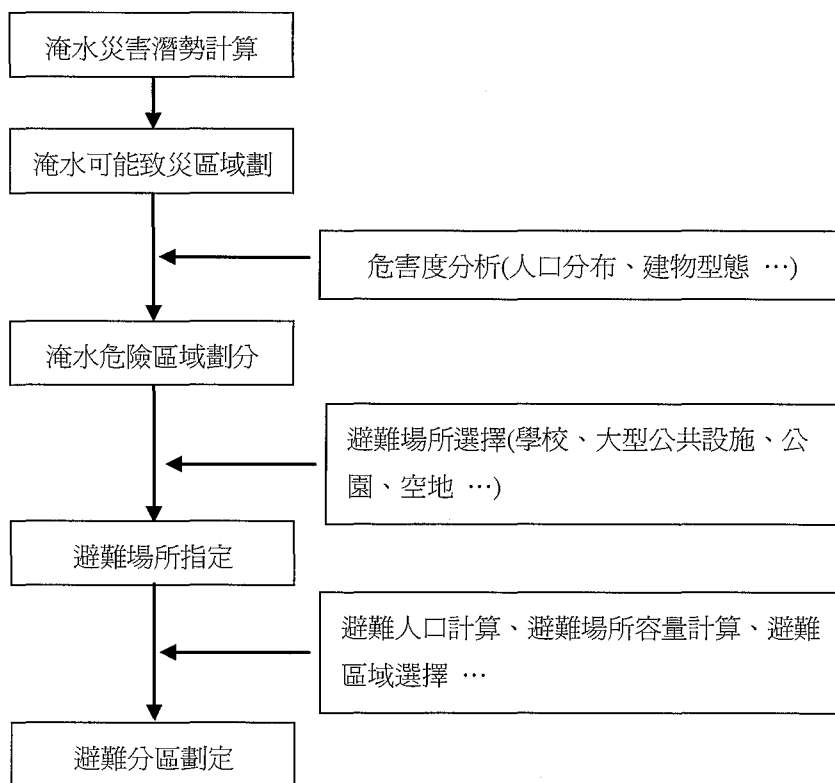
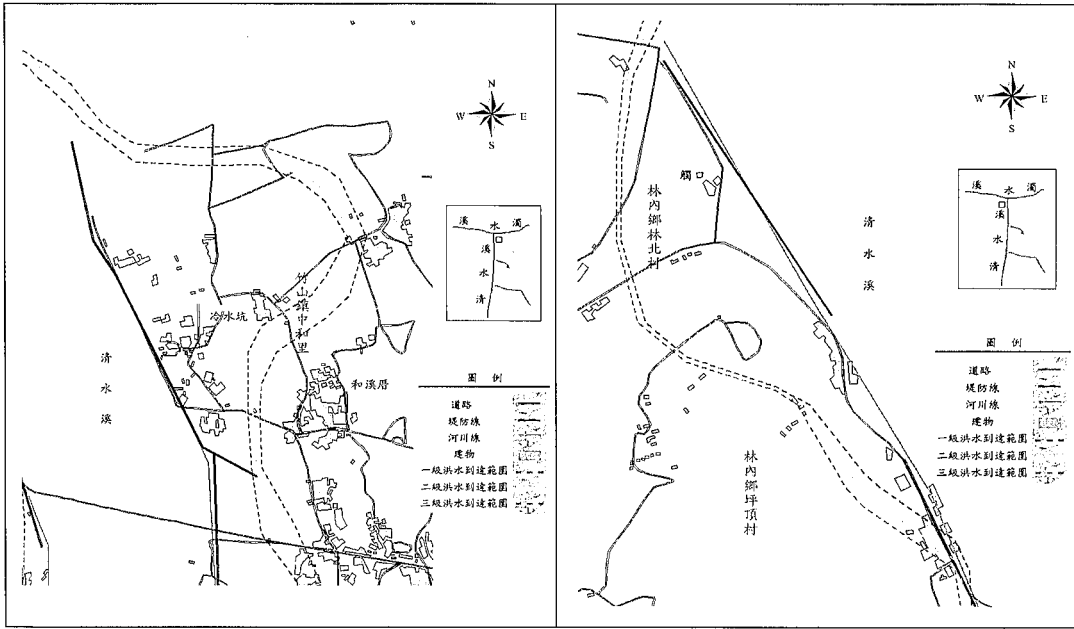


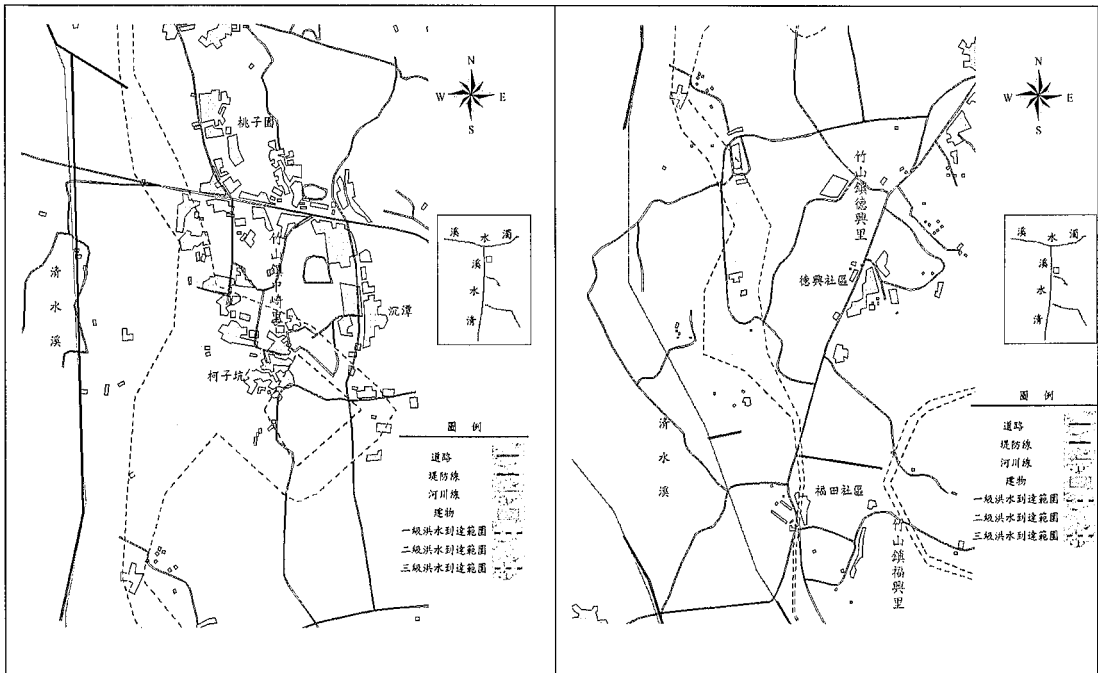
圖 5 疏散避難規劃流程





(a) 竹山鎮中和里

(b) 林內鄉林北村



(c) 竹山鎮中琦里

(d) 竹山鎮德興里

圖 6 清水溪沿岸地區之洪水到達範圍分級



4-4 避難所之選定設立及運作

當災區情況持續嚴重因而必須設立避難時，應立即針對設置避難所之連帶問題迅速提出因應對策。避難所的場址可能因人數多寡從一大片區域到集中於一有限的地點。雖然最好能維持與鼓勵疏散避難後之居民能自力更生，但如果災民流離失所的問題無法立即解決，則應以長期的觀點來規畫災民的需要。一旦做了暫時性的處置後即很難再更改，故營地選擇、規畫與提供避難所等措施，應進行整體需要評估與規劃緊急因應措施。有關避難所選擇標準如下（國防部史政編譯局，2000）：

1. 社會需要

應考量災民的社會與文化背景決定避難所場址，但有可能可供選擇的營地極其有限，甚至符合最低標準的地方也寥寥無幾。避難所位置之確定，應判斷是否存有會遭災民拒絕利用之理由(例如缺水)，並且地點必須有車輛通達，同時接近通訊網路、補給與服務設施。

2. 水

營地選擇最重要的一個標準是於避難期間充分供水，這也是最常見的一個問題，不可選擇需要長途運送水的地點，在選擇一處地點時，水源取得的專業評估為一項先決條件。在能供水的地方，排水系統通常為關鍵性標準。因此，為了有效的排水功能，整個避難所應為於低甚至為無淹水潛勢地區。避難所地點必須能提供災民一個可充份使用的場地。世界衛生組織建議每人最少須 30 平方公尺。倘若將災民人數可能增加之因素納入考慮，基地必須大得足以容納大幅增加人數。

3. 公共廁所

雖然水的需求往往影響營區地點之選

擇，環境衛生需求，也能影響地點的配置。如果災民必須使用公共廁所的話，則至少每廿人有一個廁所。他們的位置必須距離任何的住家六公尺外、五十公尺內。如果必須提供廁所，則必須有路通達，以促進維護，為免污染水源，公廁必須有一套容易修理的有效排水系統，以排放雨水和廢水。

4. 土地所有權

避難所土地不應選擇私人所擁有、供農用及其它用途的土地，這可能是造成當地怨懟的一項主因。縣市政府應提供公共的土地供構建災民避難所使用，土地的任何使用都必須依據相關法令約定之。

5. 環境衛生與環境服務

對於習慣住在與避難所環境不同且較不擁擠的住所的人而言，一旦處於過度壅擠的情形下，將會出現的衛生問題。恣意處理人們排瀉物與其它的廢物將對個人、家庭與整個社區的環境衛生造成嚴重影響。災民缺乏他們習以為常的衛生設施。在基本服務設施付諸厥如的情形下，應輔導並協助災民改變他們的習慣。

基於上述理由，必須建立一個有效的環境系統，包括：提供安全的飲水；處理人類排泄物、廢水與垃圾；控制昆蟲與嚙尺類動物；安全的食物處理習慣以及排水設施，這些服務與提供保健措施是彼此相關的，應一併考量。

6. 實際配置

集中化服務設施之位置將依特定的情況而定，尤其是取得的場地。一但取得了場地，則集中化的服務地點設於避難所中央比較好。如此可避免卡車駛經災民聚集的避難所。不論如何配置，基於安全的理由，儲倉應座落在行政辦公室附近。



4-5 疏散避難方法

本節說明在災情狀況嚴重到必須進行居民疏散與避難時，居民應知道已經預先規劃妥當之疏散避難方法，表 4 為疏散避難方法原規劃內容，其規劃原則包括針對不同地區

及人數等限制條件，提出疏散後勤補給方法及維護道路橋樑安全措施。未來在災時為確保居民順利疏散避難，在災情狀況達到戒備階段時，應立即測試緊急連絡電話系統。

表 4 疏散避難方法原規劃內容

鄉鎮別	村里別	疏散後勤補給方法	道路橋樑安全措施
林內鄉	坪頂村	徵調該村箱型車配合	南雲大橋、清水溪一鄰劉聰德宅前至夏全德宅前產業道路請嚴加監控
林內鄉	林北村	徵調該村箱型車配合	林內鐵路橋及增產路請維護單位戒備
林內鄉	烏塗村	徵調該村箱型車配合	發電所水圳加強戒備
林內鄉	林中村	由村辦公處徵調統一支配	雲六九、五八道路加強戒備
林內鄉	重興村	徵調村內各種運輸車協調疏散及由公所統一分配食糧	下厝兩座橋樑加強戒備
竹山鎮	桶頭里	崩壞時橋樑、道路有立即沖毀之可能，可利用 158 甲線後勤補給	瑞草橋、行正橋、吊橋加強戒備
竹山鎮	瑞竹里	一、疏散後之交通由竹山經福興里至瑞竹里 二、對外通訊連絡中斷時，請撥用通訊器材聯繫	一四九線進竹山~瑞竹之 6K 及 10K 有崩山之可能，予以嚴加戒備
竹山鎮	鯉魚里	橋樑可能沖毀請以空中補給	龍門及鯉魚兩橋加強戒備
竹山鎮	福興里	由竹山沿一四九線運輸補給	一四九線道路加強戒備
竹山鎮	德興里	由竹山沿一四九線運輸補給	德興里境內一四九線公路加強戒備
竹山鎮	中崎里	協調國軍車輛協助並徵調里民運輸車輛參加運輸	南雲大橋及中和堤防加強戒備
竹山鎮	中和里	請竹山鎮公所或以上單位予以協助補給	枋寮堤防加強警戒



4-6 草嶺堰塞湖下游居民疏散避難安置計畫之檢討

經由地理資訊系統之空間分析功能，套疊洪水到達範圍分級圖、建物街廓圖及人口分布資料，可以獲得各地區之疏散居民人數，配合建物街廓圖可進一步擬定疏散路線及訂定疏散安置之場所。表 5 為本計畫規劃之草嶺堰塞湖下游居民疏散避難安置內容，表中顯示林內鄉及竹山鎮共需疏散近 5 千人，且大部分為清水溪下游居民。然而林內鄉共需疏散 2 千人，且全部安置於林內國小，據現地勘查，林內國小 1 至 6 年級共有 68 班，故包括教室及其他教學場地，容納 1 千 5 百人就幾近極限，倘若考慮相關救援人力及物資之安置，實應再多規劃一處疏散安置場所。

至於竹山鎮中崎里疏散對象及人員包括全里住戶約 1500 人及中和國校師生，居民疏散安置場所目前訂為中山里夜市空地，該地點雖然空間夠大且交通便利，但由於草嶺堰塞湖潰決即有可能發生於異常降雨事件，再加上開放空間造成相關救援人力之配置困難，更不易儲放救援物資。

五、救援物資及醫療保健

一旦不幸地發生堰塞湖山崩土石壩體潰決，大量洪水及土石流將造成清水溪下游居民極大之危害，此時災民急切需要救援及醫護救助。再者，根據 921 大地震之經驗，全國各地救援物資將湧入災區，故如何提出災區急切需要何種救援物資，如何妥善處理及分配救援物資，以確實支援救災單位完成災民之救助，是需要災害來臨前，就應仔細規劃完成的。本節及針對災民所需救援物資供給進行合理之規劃，如飲用水及糧食之整備，並提出災區外救援物資之管理原則，並說明災區應具備基本之醫療保健措施。

5-1 救援物資供給之規劃

一般而言，救援物資包含飲用水、糧食及應急物資，本節就飲用水與糧食之供給規劃進行原則性之說明，對於應急物資實際供給規劃，仍有待經由救援工作中不斷累積經驗進而修正與調整相關工作。

1. 用水量

由於人類每日必須維持一定量之飲水以保持正常之活動，在災時，更需滿足居民之基本飲用水量以維持健康。根據聯合國國際衛生組織統計，每人每日必需使用 15 公升之水量，表 6 為居民所需之用水量，以林內鄉四個村里近 2 千人之安置人數，每日必須在疏散安置地點林內國小儲備 3 萬公升的用水量。

2. 糧食

除前節所述之用水量外，糧食之儲備也是必需的，由於糧食之運補較用水更為頻繁且困難，面對可能需要疏散近 5 千人之糧食需求量，事先妥善規劃糧食供給及儲存等方式，是絕對必需的。糧食配給量之規劃應能提供最起碼的熱量、蛋白質與脂肪數量，表 7 為居民所需食物量，以林內鄉四個村里近 2 千人之安置人數，每日必須提供疏散安置地點林內國小之食物為 1.25 公噸。

3. 應急物資

一般而言，洪災過後所需之應急物資包括一般醫療物品及日常生活最低限度之必需品，一般醫療物品及人力可由當地或鄰近醫療單位提供，並可同時建立重大疾病緊急救護後送系統。日常生活用品種類較為繁多，諸如個人衛生盥洗用具、衣物、收音機、攜帶式電燈、電池、膳食用具及基本衛生用品。

表 5 草嶺堰塞湖下游居民之疏散避難安置

鄉鎮別	村里別	疏散對象及人員	疏散路線之擬定	疏散安置之場所
林內鄉	坪頂村	清水溪部落居民 (約 250 人)	由林內路、台三線至林內國小	林內國小
林內鄉	林北村	觸口及鉛片屋約 500 人	由林內路、台三線至林內國小	林內國小
林內鄉	烏塗村	13 至 16 鄰等近濁水溪部 落約 60 戶	由庄內經一五四線道至林內國小	林內國小
林內鄉	林中村	一、2、3、4 鄰榮興及三 星部落(約 350 人)	由一五四線道至林內國中	林中國小
林內鄉	重興村	下厝部落(約 650 人)	由雲林一五四線道疏散至林中國小	林中國小
竹山鎮	桶頭里	沿河岸低窪地區住家約 50 戶(約 150 人)	一、內寮地區沿鯉南路至內寮活 動中心 二、桶頭地區由鯉南路至桶頭活 動中心 三、利用里廣播系統	一、內寮區在內寮 活動中心 二、桶頭二、三、 四鄰在桶頭 活動中心
竹山鎮	瑞竹里	一、住戶 2 戶 二、養鴨戶及里內低窪地 區住戶約 30 戶(共 約 148 人)	沿農路經一四九線至瑞竹活動中心	一、瑞竹活動中心 二、瑞德巖
竹山鎮	鯉魚里	沿河岸低窪地區之住戶 (30 戶)	沿鯉行路至鯉魚國小	鯉魚國小
竹山鎮	福興里	不知春及泉州寮二部落 約 500 人	一、不知春分兩路疏散，由大坑往 柴寮山，另由茄苳產道往茄苳 二、泉州寮由大竹林往尚乘山天佛 寺	一、不知春部落柴 寮山及茄苳 坑 二、泉州部落中湖 及天佛寺
竹山鎮	德興里	沿河岸低窪地區之住戶 (30 戶)	坑巷經鯉南路至德興巷	德興里集會所
竹山鎮	中崎里	全里住戶約 1500 人含中 和國校師生	由台三線道路至中山里夜市空地	中山里夜市空地
竹山鎮	中和里	沿河岸低窪地區之住戶 (60 戶)	一、和溪厝及溪底沿前山路至竹山 鎮市區 二、冷水坑及枋寮沿枋坪巷至竹山 圖書館	竹山圖書館
備 註		1. 林內鄉疏散避難居民共約 2,000 人 2. 竹山鎮疏散避難居民共約 2,800 人		



表 6 居民所需用水量

人數	時間(日)						
	1	30	60	90	120	180	365
500	0.0075	0.225	0.450	0.675	0.900	1.350	2.7375
1,000	0.015	0.450	4.500	1.350	1.800	2.700	5.475
5,000	0.750	2.250	9.0	6.750	9.000	13.5	27.375
10,000	0.15	4.5	18.0	13.5	18.0	27.0	54.75
20,000	0.3	9.0	45.0	27.0	36.0	54.0	108.6
50,000	0.75	22.5	90.0	67.5	90.0	135.0	273.75
100,000	1.5	45.0	450.0	135.0	180.0	270.0	547.5
500,000	7.5	225.0	225.0	675.0	900.0	1,350.0	2,737.5
1,000,000	15.0	450.0	450.0	1,350.0	1,800.0	2700.0	5,475.0
備註	公式：15 公升 x 人數 x 天數=公升/天						

表 7 居民所需食物量

人數	時間(日)						
	1	30	60	90	120	180	365
250	.13	3.8	7	11.3	15	22.5	45.6
500	.25	7.5	15	22.5	30	45	91.25
1,000	.5	15	30	45	60	90	182.5
5,000	2.5	75	150	225	300	450	912.5
10,000	5	150	300	450	600	900	1,825
20,000	10	300	600	900	1,200	1,800	3,650
50,000	25	750	1,500	2,250	3,000	4,500	9,125
100,000	50	1,500	3,000	4,500	6,000	9,000	18,250
500,000	250	7,500	15,000	22,500	30,000	45,000	91,250
1,000,000	500	15,000	30,000	45,000	60,000	90,000	182,500
備註	依據 500 公克/每人/每天之需求(一公噸=1,000 公斤)						



應急物品供應方式應於平時規劃妥當，規劃原則應將當地資源、周遭鄰近地區供應能力及其他地方可能提供救援物資一併考慮。在物資運送方面，應於平時與供應業者締結契約，適當規劃及管理應急物資儲備數量，在可能發生危險但未進入戒備階段之前，就應該積極聯繫並準備以適時分送至需要地點。

5-2 災區民眾心理醫療保健措施

由於過去緊急應變計畫，大多以針對災害之應變為主，本文就災害管理的減災、整備、應變、與復原等四階段，說明緊急應變計畫之相關配套措施，如災前減災與整備階段應計算淹水潛勢區域，完成淹水潛勢區域之分級及劃定，界定草嶺堰塞湖土石壩潰決淹水災害可能致災區域；應變階段可依據已妥善規劃之疏散避難方法與安置計畫，執行社區居民之疏散避難；而於災後就受災居民之心理需要，實施提供救援物資與醫療保健，如同4-2節所述，應整合括民政、水利、消防及警政等技術領域專業人士，共同推動緊急應變相關工作。而救災人員的訓練，正是民政體系應強化的工作，也是應變工作決策人員應重視的一環。

本節提供一些進行救災活動時經常遭遇到的健康與情緒問題，俾共了解因應。經驗顯示，增進與維持良好的身體健康，特別是紓解災區救災時遭遇的壓力問題，是救災成功的關鍵因素。所有災區居民與救災相關人員個人健康與安全最重要的關鍵，是遵守緊急應變中心的規定，這些規定可以提供救災相關人員最新最詳細的疾病、衛生、食物、飲水安全、人身與財物安全、與其它資訊，以維護災區居民與救災人員在執行任務的身心健康。

沒有任何人能夠目睹重大災害之後，仍心靜如止水，不受影響。典行的應變為挫折與絕望，加上工作壓力的效果，能使災區居

民與救災工作人員身心耗竭，這些因為災害而引發的壓力，足以使各人產生立即或是延後情緒應變，並壓抑其應變機制的事件。重大事件有許多種形式，包含引發人們經歷到不尋常強烈應變的緊急事件在內。重大事件可能產生深度改變人類行為效果，這些效果可能立即、或是延後、或是在數月後才出現。

1. 災區居民與救災人員在救災時受到壓力之影響:

- (1) 他們可能會經歷與壓力有關的身體徵候，例如頭痛、胃痛、腹瀉、精神不集中、易怒與不安。
- (2) 他們可能厭煩災害而避免談論及思考這個話題，甚至在休息時、避開工作同仁。他們可能厭煩與災民之間的持續互動，而在休息時將自己孤立起來。
- (3) 他們覺得有挫折感或罪惡感，因為他們置身災區，不能與家人同在一起。
- (4) 當他們接觸到家人或是朋友時，可能會感覺挫折，因為他們覺的家人與朋友都不能瞭解他們的災害經驗，如果家人或朋友因而被激怒，問題可能變得更複雜，可能會發生暫時的自我隔離與孤立。

2. 如何將災區民眾壓力減輕至最小程度

- (1) 充分的睡眠與正常規律的飲食 - 即使不餓時也會有幫助，災區民眾應避免食用含有許多糖、脂肪、與鈉的食品，例如甜甜圈與速食。服用維他命與礦物質補充品可協助災區民眾身體獲得必要的養份。
- (2) 避免因情緒低落而過度飲用酒類與咖啡。
- (3) 幽默感有助於化解緊張，但是應謹慎使用，如果災民或救災工作人員將其視為個人挑釁時，會使他們成為災害幽默的受害者，而受到傷害，故應適時推動災區民眾災後心理復健相關措施。

六、結論

1. 清水溪沿岸由堰塞湖至桶頭橋間為陡峭的山壁，人口分佈也較為稀少，但水流至桶頭橋後河谷逐漸寬廣，人口也集中於沿岸附近，其中清水溪與濁水溪匯流口周圍為模擬範圍中人口最多之處，若發生淹水，災情也相對嚴重。本研究以不同頻率年洪水及潰壩延時下，配合洪峰到達時間之快慢，劃地不同等級之洪災警戒線，以供相關主管機關與居民緊急應變措施擬定之參考。
2. 透過警戒區域等級之劃分，可以適當地規劃相關之緊急應變措施，如避難路線與場所之選定，而對於不同等級，也有不同之應變時間，這對於防救災業務之規劃與推行是相當重要的。而透過本文有系統的演算與分析，淹水潛勢資料提供了相當重要的資訊。
3. 由於二維淹水潛勢分析所需之數值地形資料，是由DTM數值數值地形高程而來，而近年來由於土地開發、土石流、地震等人為或非人為因素，造成地形及地貌多所改變，而模式模擬之精確度與數值數值地形資料之正確性又息息相關，因此DTM數值數值地形高程實須定時全面更新，尤其於遭逢如921大地震、桃芝颱風、納莉颱風、702敏督利颱風、911西南氣流與海馬颱風等天然災害，地形地貌變化甚鉅，DTM數值數值地形高程之更新實為刻不容緩。
4. 在研究過程中所進行之潰壩洪水演算與淹水模擬，以不考慮天然土堤潰決所產生之泥沙土石運移為主，然而由於山崩土石阻塞河道之面積廣且體積大，對於後續之研究，建議應加入土石流之分析與演算。

參考文獻

1. 神戶市防災會議，〈神戶市地區防災計畫 - 水防計畫篇〉，日本、神戶市，民國91年6月。
2. 許銘熙，鄧慰先等，〈南投縣淹水潛勢資料〉，防災國家型科技計畫辦公室報告編號：NAPHM HP-09，民國89年3月。
3. 許銘熙，陳亮全，李明旭，鄧慰先等，〈921大地震山崩土石堰塞湖河川下游淹水潛勢分析及緊急應變措施規劃〉，國立台灣大學農工所，民國89年7月。
4. 國防部史政編譯局，〈災害評估與應變實作指導手冊〉，台北市，民國89年1月。
5. 經濟部水利署，〈九二一震災草嶺崩塌地處理情形總報告〉，民國88年。
6. 經濟部水利署，〈草嶺崩塌之處理對策評估〉，民國89年。
7. 經濟部水利署水利規劃試驗所，〈草嶺堰塞湖潰壩分析初步成果報告〉，民國88年。
8. 經濟部水利署第四河川局，〈草嶺堰塞湖天然災害預警系統及疏散計畫〉，南投縣，民國88年10月。
9. 臺灣省水利局規劃總隊，〈清水水庫可行性規劃報告〉，民國72年。
10. 臺灣省水利局，〈濁水溪支流清水溪治理基本計畫〉，民國86年。
11. 羅俊雄，鍾立來，鄧慰先等，〈集集地震初步勘災報告〉，國家地震工程研究中心報告編號第NCREE-99-027號，民國88年12月。
12. Chow, V.T., D. Maidment, L.W. Mays, *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, New York, pp.572, 1988.



13. Fread, D.L., *DAMBRK: The NWS DAM-BREAK Flood Forecasting Model*, 1980.
14. Hsu, M. H., Chen, S. H., and Chang, T. J., "Dynamic inundation simulation of storm water interaction between sewer system and overland flows", *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 25 (2), 171-177, 2002.
15. Li, M.H., Hsu, M.H., Hsieh, L.S., and Teng, W.H., "Inundation Potentials Analysis for Tsao-Lin Landslide Lake Formed by Chi-Chi Earthquake in Taiwan", *Journal of Natural Hazard*, Vol. 25, pp.289-303, 2002.
16. Teng, W.H., Hsu, M.H., and Chang, S.Y., "Damage to Hydraulic Facilities From Chi-Chi (Taiwan) Earthquake", *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, Vol. 23, No. 4, pp. 385-394, 2000.