



探討南部八八水災森林防災機能

文、圖 ■ 廖大牛 ■ 前山地農牧局局長／前文化大學森林暨自然保育學系兼任教授／前中興大學森林學研究所兼任副教授

一、八八水災降水量

2009年8月7日至8月9日的3天連續降雨，造成南部水災之豪雨為歷年少見的超大豪雨（按氣象局定義為：350 mm／24小時）。過去在台灣1小時最大降雨記錄為272 mm／1小時，1天最大降雨量為1,135.5 mm，侵襲台灣的颱風帶來一次連續降雨的最大總雨量為1,305.5 mm（15天雨量）。本次水災在阿里山的總降雨量為3,004.5 mm／5天、日最大降雨量為1,165.5 mm、最大1小時降雨量為103.5 mm（8月8日17：40甲仙）。遠超出阿里山當年在1959年八七水災（1,097 mm／2天連續降雨量，719 mm／24小時）及過去記錄的降雨量。何況颱風期間所觀測的雨量有偏低的誤差，據水環境の氣象學（近藤純正，p51）如每秒有風速9 m、12 m、15 m時觀測

雨量分別為真值的2／3、1／2、1／3。故本次莫拉克颱風帶來的實際降雨量較上述觀測量（表1第2欄）多，考量此事實認為不亞於世界紀錄，表2。莫拉克颱風影響阿里山、小林村、甲仙、六龜嚴重水災的流域主要有濁水溪（阿里山）、高屏溪（旗山溪、荖濃溪）等集水區。

二、降雨與土砂災害

災害為暴風、豪雨、大雪、洪水、高潮、地震、海嘯、其他異常的自然現象或大規模的火災或爆發，影響所及被害程度在政令上所稱的災難。異常自然現象包括冷害、旱害、雹害、霜害、龍捲風、地滑、崩塌、土地隆起、地層下陷等。大量輻射性物質的放射，船的沈沒多數人員遭難的大規模

表1 八八水災降雨記錄與過去記錄比較

觀測項別	2009年八八水災	台灣過去的記錄
一次連續總雨量mm	3,004.5（8／6~8／10阿里山）	1,305.5（2001／9／6~20）竹子湖
1天雨量mm	1,403.0（8／8尾寮山）	1,135.5（1987／竹子湖）
1小時雨量mm	135 萬巒	272（1971／蘭嶼）

表2 莫拉克颱風降雨量與世界極值記錄比較

觀測延時 (小時)	莫拉克降雨量 (mm)	世界記錄*		
		降雨 (mm)	發生地點	發生時間
1	135.0 (萬巒)	401.0	蒙古 (Shangdi)	1975/7/3
6	548.5	840.0	蒙古 (Muduocaidang)	1977/8/1
24	1,623.5	1,825.0	法屬留尼旺島 (Aurere, La Reunion)	1966/1/7~8
48	2,361.0	2,467.0	法屬留尼旺島 (Aurere, La Reunion)	1958/1/8~10
72	2,748.0	3,930.0	法屬留尼旺島 (Aurere, La Reunion)	2007/2/24~26

* 資料來源：水利署。

事故。公害為事業活動或其他人為活動所生，在相當範圍的大氣、水質、土壤污染，噪音、振動、地盤下陷及惡臭，發生對健康或生活環境的被害。一般土砂災害指淹水、土石流、表土侵蝕、崩塌和地滑。

降雨（豪雨、久雨）時進入土壤上層中的水使間隙水壓增加，與下面的不透水層間造成境界面，土壤剪斷抵抗力減少終導致破壞，為誘因的土砂移動現象有：崩塌、地滑、土石流、洪水等現象。人類對土砂災害一定會反覆來臨的事實容易忘記。都市化的市街擴大，使災害脆弱性侵入山坡地及氾濫平原，受害機率增加。防災硬體設施的能效有限界，如八八水災其整年的降水量在1~2天內傾倒而下（阿里山年雨量4,023 mm/yr、8月8日降1,161.5 mm、9日降1,165.5 mm；甲仙年雨量2,018.5 mm/yr、8月9日降1,072.5 mm），堤防無法阻止土石流，居民尚未完全了解事實，耽誤避難可說人為災害的問題。今後有待立地規範以及事前情報的充實，居民對所獲得

情報，能正確判斷採取事前避難為很重要的課題。

一般言，日降雨量超出年降雨量的5%時就有發生災害的危險，超出10%時洪水發生的機會提高（村山貢司，颱風學入門，p88）。土石流發生的臨界降雨為累加雨量300~350 mm、時降雨量為40~50 mm（高橋保，土石流の機構と對策，p44）。總雨量150 mm、1小時降雨量35 mm附近起土石流發生的機會增加（地盤工學會，土石流，p11）。土石流發生的條件，在日本的觀測（1970~1979年在燒岳上上堀澤）10分鐘有6~10 mm降雨就有中規模土石流，超過時則有大規模土石流的觀測報告（林拙郎，保全砂防學入門，p185）。池谷浩被邀請訪蔣家溝時（1985/6/26~27）10分鐘8.0 mm、24小時70 mm的日雨量就造成土石流（池谷浩，土石流災害，p8）。日本全國的觀測連續雨量有150~200 mm以上、1小時降雨超過35~50 mm的強度時就發生土石流的地方很多



(池谷前出, p46)。據日本防災科學技術中心的研究(豪雨・洪水防災, p50),發生土石流的降雨以災害發生導因的最大時間雨量與最大日雨量資料分析,1小時35 mm以上、1日150 mm以上時,發生土石流的情形很多。土石流為水與土砂石及巨石混合的流體,坡度在 16° 以上的區間,發生土石流溪床坡度的下限為 $12^{\circ} \sim 15^{\circ}$ (12度坡即水平距離100 m高度昇高21.3 m的溪床,地盤工學會,土石流, p44),流動時侵蝕力強將溪床的土石帶進流動成長(流速 $0.5 \sim 20 \text{ m/s}$ 高橋保,土砂流出現象と土砂害對策, p52),流動深大運動物質多時流速會加快(有 27 m/s 之記錄),以其慣性力直進性強、土石流前端濃度高($1.5 \sim 1.85 \text{ ton/m}^3$)破壞力大,流路到 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ (日本大舉森林資源科學科,森林資源科學, p167)的彎曲處往往越出流路造成災害。土石流的泥水(Slurry)中微細粒子成分所佔的容積濃度為 $20 \sim 30\%$,粗粒子容積濃度 50% 以上成黏性土石流(土石流の機構と對策, p35)。

地盤因降雨濕潤後抗剪斷強度降低,1小時有15 mm以上的降雨為強雨,大體上,日降雨量有100 mm以上的降雨就開始發生崩塌,達200 mm以上的日降雨,崩塌就激增(千木良雅弘,災害地質學入門, p181)。日本近代氣象觀測有130年的資料蓄積,最大日降水量 $250 \sim 270 \text{ mm}$ 程度、最大1小時降水量 $70 \sim 80 \text{ mm}$ 程度、最大2小時降水量 $110 \sim 130 \text{ mm}$ 程度即發生豪雨災害(牛山素行,豪雨の災害情報學, p39)。降雨大體

上,可分為空間分布較一樣的地形性降水,與局地性高的對流性降水,1小時降雨量多的地區與崩塌處數有高的相關關係(小川強,土砂災害の警戒・避難System, p84)。地質上層理面、節理面、片理面、斷層面等面構造傾斜所構成的順向沈岩盤(cataclinal over dip)如草嶺、九份二,容易發生大崩塌(林拙郎,保全砂防學入門, p145)。山地崩塌需風化作用與地殼變動的關連一併考量,在變動帶風化作用的進行受地殼變動強烈影響。因此,應力集中地帶岩體破碎、變形發達,新第三以後固結度低的岩石容易產生塑性變形,他方固結度高的古期岩類破碎化發達,裂縫多的岩石地下水豐富促進粘土化,此類地質大規模崩塌為特徵(保全砂防學, p165)。台灣東岸每年 $4 \sim 6 \text{ mm}$ 北上的菲律賓海板塊受太平洋板塊西移(10 mm/年 程度)的影響,鑽進歐亞大陸板塊下(京都大學防災研究所,防災學Handbook, p111;日本自然災害學會,防災事典, p345),造成本島南北向的衝上斷層沿斷層湧出溫泉(木崎甲子郎, Himalayasはどこから來たか, p9),斷層地形如上所述為容易崩塌的地區。崩塌依崩塌深度及崩落土塊的土量,分類為表層崩塌(深約1 m)與深層崩塌。

地形上緩坡面($5 \sim 15^{\circ}$)降雨進入不安定的表土層,與透水係數不同的難透水層(下層透水係數 $10^{-3} \text{ cm/s} \sim 10^{-4} \text{ cm/s}$,塚本良則,森林水文學, p138)為境界面形成滑面,崩滑速度慢($0.01 \sim 10 \text{ mm/天}$)的現象稱地滑。地滑現象與地下水有密切的關係,

最大深度有達18.5 m，發生地滑的平均地表坡度為16度，約70%的地滑發生在凹型地形（森林資源科學入門，p161）。

降雨強度超過土壤滲透能，無法進入土中的剩餘雨量，沿坡面造成Horton表面流（主要發生在裸露地或坡腳）侵蝕表面的土壤，土壤如細粒多容易使水懸濁、砂及粉砂成分高粘土成分少、透水性較低時受蝕性高，嚴重者集表面流成蝕溝。在森林除非有連續長雨使森林土壤水分飽和外，滲透能高能吸收全部雨水進土壤中（滲透能有211.4~271.6 mm/hr，中村秀章，森と水のScience，p50）甚少發生表面侵蝕，但在裸露地（滲透能8~30 mm/hr，森林資源科學，p155）則經常發生的現象。然測定的滲透能雖高，但因土壤的不均一性往往在30 mm的雨量就可能發生地表流（緑のダム，p137）。針葉樹人工林欠缺間伐撫育時，林內鬱閉透光少、林床植生稀少、土壤有機成分低（微生物不繁殖）林床裸露，加以雨滴破壞細孔隙（樹高超過5 m~10 m時林冠雨滴的沖擊能較林外大，森林資源科學p155），易產生表面流表土流失。世界耕地的土壤流失每年平均0.7%的損失（高橋保，土砂流出現象と土砂害対策，p3）。

綜合上述，台灣就地形、地質、氣候條件、水文水理言，可認為一個「土砂災害島嶼」的受害國，地震時震鬆土壤結構增加土壤水分，經常發生超越森林防災機能所能對應的豪雨年年帶來嚴重的災害，本次降雨量自1897年觀測氣象以來破記錄的雨量引起重大災害。

三、山地表層崩塌

大雨有地形性、前線性、氣流性、颱風性、雷雨性等大雨，引起表面崩塌的大雨為集中豪雨，而集中豪雨的發生多為局地性（集中在特定地形的地點）的現象。治山上有野溪或荒廢溪（英法語Torrent Stream，德語Wildbach）指流域中土壤侵蝕作用嚴重、溪床坡度急、徑流在時間分布極不合理、平常無水或甚少、遇到大雨則山洪暴發、搬運土砂石礫作用強，如大肚山、八卦山西麓的小溪流，為最接近嶺線山谷的0次谷序（Zero Order）（註1）。0次谷為最上源頭的谷凹坡，凹凸平衡等微地形存在，橫斷為凹地形匯集地下水，縱斷為傾斜變換點附近，地震時震波（S坡及L坡）在此嶺線高處或凸處震坡增幅，震出許多裂紋形成滲透線到深層的滲透線，特別是0次谷下的1次谷為土壤水的集流路徑（Kirkby，Hillslope Hydrology，p23），集中豪雨時容易發生表面崩塌。豪雨時表層崩塌（深度約1 m前後植生根系多）發生機制有三：（一）表土層下有難透水性的地盤，表土形成飽和層因間隙水壓失平衡崩塌。（二）飽和側向滲透流發生致上部表土層不安定，或溪岸被侵蝕造成崩塌，多半有湧水造成遡上崩塌。（三）表土層整體在飽和狀態下發生表面流激烈侵蝕，類似土石流（高橋保，土砂流出現象と土砂害対策，p57）。

森林對水資源涵養機能，主要靠森林土壤孔隙蓄留水分的功效。土壤中的水分依空隙大小不同的蓄留功能，分為：吸濕水、毛管水、重力水。土粒及土壤膠質表面活性所



吸留的水為吸濕水，有 $pF7.0 \sim pF4.2$ 的吸著力量，植物根系不能利用，需以高溫（100度1日乾燥）排除的水。土壤毛管張力所保留的水，為 $pF4.2 \sim pF1.8$ （註2）的水分，粗孔隙徑 $1/100$ 數mm以上及細孔隙徑 $1/100$ 數mm屬之，孔隙 0.006 mm以下的細微孔隙水無毛管移動現象。重力水為 $pF1.8$ 以下的非毛管孔隙的水，水流動快在24小時內就流到下方，孔隙 1 mm以上的大孔隙。一般天然林（原則上40年生以上）尤其闊葉樹林，鬱閉度適當落葉層厚腐朽快（Lignin少氮多，微生物豐富）林床下草繁茂，土壤孔隙發達中小孔隙多（大孔隙 $pF \leq 0.85$ ，中孔隙 $0.85 < pF \leq 1.7$ ，小孔隙 $1.7 < pF \leq 2.7$ ，細孔隙 $2.7 < pF$ ），孔隙率高達 $0.62 \sim 0.66\%$ 滲透能可高達 $2,000$ mm/hr $15 \sim 18$ 小時豪雨後滲透到深 75 cm（森林水文學編集委員會，森林水文學，p56）。

基於上述森林土壤的透水特性，飽和滲透發生的表層崩塌外，造成表層崩塌的另一原因為不飽和滲透，滲透速度有隨降雨強度增強而加大的趨勢，致豪雨時不飽和層中的最大

飽和度發生在表面，而此最大飽和度同程度的不飽和帶隨時間經過轉移到下層，土壤的抗剪斷力降低（40%）黏聚力消失終至表層崩塌，但不飽和土的崩塌在崩塌面上部的土層需在飽和狀態附近（土砂災害の警戒，避難System，p191）。即崩塌發生的外在要因為降雨滲透到達崩塌面的時間與該時間內的雨量強度所支配，崩塌深度與坡度成反比，風倒木地及其周圍發生的崩塌為不飽和土機制起因的崩場所支配的（同p193）。故本次水災的特性（雨量及強度）造成的表層崩塌流木多亦為特徵。據調查山腹坡面發生崩塌之90%發生在0次谷流域（保全砂防學，p148）。

四、地震與崩塌

地震現象以斷層運動為原因的理解約在100年前（如1906的San Andreas Fault在1906年發生約430 km的地震斷層，土地最大位移7 m）。1960年代後半根據Plate Tectonics理論，板塊運動與地震分布或其發生地震的



機制很吻合，其有系統的研究急速進展。地震可分為（1）地下岩盤破壞的現象，岩盤能耐的變形為1/10,000程度超過即破壞（地震を知る事典，p116），並由其破壞所放出能量的尺度以Richter Scale表示；另一為（2）由破壞所產生的彈性波傳播到地表呈顯的地震動。地球內部發生地震後以複雜的地震波向四圍傳播，地震計的記錄最初先有小衝擊的P波（Primae，波進行方向與振動方向相同的縱波），然後搖動大的S波（Secundae，振動方向對坡進行方向垂直的橫波）。震源同時產生的波動，因P波速度快（約6 km/s）S波較慢（約3.5 km/s），初期微動持續時間以秒計算乘8 km即得震源距離，彈性體內傳播的波為此二種，故震央距離近時以P、S波為主。淺層震源在不連續層（地表面）會有持續性的表面波（Rayleigh縱波及Love橫波）L波出現，震源越淺越優勢的表面波慢慢出現，持續長時間後由主要動進入終期震動（Coda）（勝又護，地震を知る事典，p116/121）。

根據Keefers的分析，地震的Magnitude（註3）， M_L （Richter Local Magnitude）與土砂移動現象有如次關係：

$M_L=4.0$ ：落石、落岩、土砂崩塌、分散型土砂崩塌

$M_L=4.5$ ：土砂滾動滑落、土砂直線滑落

$M_L=5.0$ ：岩石滾動滑落、岩石直線滑落、土砂遲緩流動、土砂快速伸展、土砂快速流動、水面下的地滑、（土層液化）

$M_L=6.0$ ：岩崩

$M_L=6.5$ ：土砂崩。（中村浩之，地震砂防，p114）

地震除震崩土壤，震度4以下的地震甚至無感地震在坡面震出許多隙紋破壞地質結構（地震不管大小均因地質結構破壞引起的），下雨時增加大量的滲透水到土層中，引起多處且規模較大的崩塌可延續多年發生，尤其嶺線附近的森林地有增幅作用。

五、森林水庫的臨界

降雨時如地表缺少森林植被，降水容易以地表流排入溪中，倘雨水降到鬱閉良好、林齡高（林齡40年以上）的森林，森林土壤構成綠色水庫，豪雨時不僅減少洪水流量，抑制洪水流峰，乾旱時且延遲流出量轉為資源流量，供民生、農業、工業使用。

蓋降到森林之雨水，經森林及森林土壤分為三系統：

蒸發散

直接流出

轉入地下水成基底流量

降雨首先落到林冠被截留，雨量增大開始滴下到林床，林床植物及枯枝落葉層保留之，一般認為林冠及林床可保持17 mm的水分，此截留量均蒸發回大氣。林木的同化作用，由根系吸收水分及養料（Ion形態物質）與由葉吸收 CO_2 造成有機物，再由葉面發散水分（ H_2O ）及 O_2 ，為生產1公噸乾生物量需227~814公噸的水（視樹種不同，熱帶地區生長快，需要量高）。

直接流量包括地表流及土壤中的非毛管



大孔隙（ $pF-\infty$ 至 $pF1.8$ 或孔徑 ∞ 至 0.05 mm）的伏流（interflow），注入溪流匯入大海。但通常滯留在林地至少24小時，重力水（非毛細管水）在消失前多半水分化為地下水，充滿土壤空隙待不下雨時，成基底流維繫資源水生產。

林齡高發育良好的森林土壤，富於有機質、團粒組織良好，不僅孔隙發達且能保持其孔隙的團粒組織。降雨時落葉及林床植生保護表土，使土壤滲透能維持在高水準，往往勝過降雨強度，在連續降雨中仍然尚少有地表流現象發生，表面侵蝕幾乎沒有。林木根系可防表層崩塌，雖對基岩或深厚堆積層的深層崩塌無法防止，但豪雨時的表層崩塌應可防止。

基底流量包括地下水流及較小孔徑的伏流水，孔徑 1 mm的土壤空隙就有弱度的毛管作用，粗孔隙（孔徑 $0.08\sim 0.006$ mm或 $pF1.6\sim pF2.7$ ）的毛管水可長期留在土壤中慢慢移動，孔徑 0.006 mm以下的細孔隙毛管水雖不致有移動，但尚能為植物根系吸收利用到 0.0002 mm以上孔隙的水分（ $pF2.7\sim pF4.0$ ）。再小的孔隙所保留的水分及吸濕水（ $pF4.5$ 以上）的水分植物不能利用。

森林的水源涵養機能有：

洪水緩和機能

枯水緩和機能

水質保全機能

流水率平準化

森林在質的撫育管理，可維持孔隙結構良好的土壤，林齡越高土壤越厚保水性增加，森林的治山治水機能雖不是絕對完整性的，

但100年機率的降雨原則上能有效應付。森林集水區的水蓄存多賴於 $pF0.6\sim pF1.8$ 的粗大孔隙及 $pF1.8\sim pF2.7$ 的粗孔隙所提供的空隙（孔徑 $1.0\sim 0.0006$ mm），據日本的調查有 219 mm貯存水。處在熱帶、亞熱帶的台灣基岩的風化快表土層深，如森林茂盛可期望更高的土壤水蓄存。表土下的C層土壤粗孔隙率 31.2% ，最小容氣量 11.3% 扣除後亦有 20% 的容水能力。日本根據 107 個流域的流出量分析平均流域保水容量為 219 mm，然考量土壤深度、地質區分等因素森林土壤的保水機能以 200 mm為中心，最高可達 500 mm（藤原信，なぜDamはいらないのか，p112；森林と水研究會，森林と水，p14）。然森林土壤中平常含有適當的水分，實際調節豪雨時的雨水量有限界，表層空隙為 170 mm的蓄水量（綠のDam, p92）。故日本學術會議在「地球環境・人類生活有關農業及森林在多面機能的評估」中申述（2001年11月1日）「森林在洪水緩和機能的定量化，以有與無森林間的比對或森林砍伐前後的降雨對峰流量或降雨至峰流量發生的時間差的比較等方法來探討，至少在調查對象流域有減少峰流量及時間上的延遲等事實，可證實其洪水緩和機能。又治水上成問題的大雨時洪水峰量到達前流域對流出量已在飽和狀態，所降的雨水幾乎全量由河川流出的狀況來論，降雨量大時其抑低的效果不能寄於太大的期待。因此，森林對中小洪水可發揮洪水緩和機能，但當大洪水時則無法期望顯著效果。…」（綠のDam, p250）。

森林在水循環的任務為：

(一) 降水化為地中流機能

森林土壤將降雨幾乎全部（100mm/hr）化為地中水或地下水。

(二) 蒸發散機能

葉面截留水蒸發，同化作用水的蒸散，驅動地球水循環，在陸域形成綠海的功能。

(三) 綠壩機能

雨水地中水化（防地表侵蝕）化為地下水外，蓄留在土壤小孔隙中，變成遲緩的水流。

(四) 水質形成機能

水在斜坡面流動過程中，淨化污染物質（細菌、酸性、化學污染）增加身體所需礦物質，改善河川水質。

(五) 消除都市Heat Island

蒸發散消費潛熱緩和地表熱環境，都市綠化率增加10%可降低氣溫0.1~0.3°C。

隨森林的生長與林齡的增加：

- (一) 流出量增加；
- (二) 流量平準化效果可影響基底流量；
- (三) 低水流量附近，不一定增加流量；
- (四) 平水流量（流量由大至小排時第185個的流量）可增加；
- (五) 年降水量低年度的枯水流量可能減少；
- (六) 森林水文試驗（小集水區的測定）認為森林會減少流量，但大集水區的試驗（全世界僅三處）顯然會增加；
- (七) 蒸發散在洪水防止立場，可使先行土壤水分不足加大。

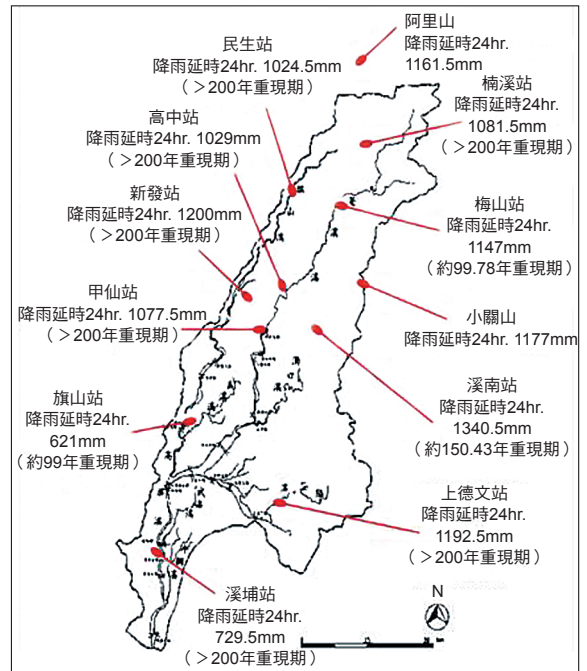


圖1 荖濃溪及旗山溪集水區雨量站最大日降雨量。（資料來源：水利署）

六、八八水災高屏溪上游各地的日降水量

8月7日至9日3天超大豪雨中高屏溪上游旗山溪、荖濃溪各地的最大日降雨量如圖1。

統計上水文頻率分析所使用的分布模型很多，但對極值重現期的推算係數，多半表示到200年止，本次降雨量之多超過200年甚多，因此為能找出可使用的相關係數，茲採用常態分布來探討日最大雨量推定，經查過去58年甲仙雨量站最大日降雨量，經計算分布參數為平均值302.0 mm、標準差為114.8 mm，表3。依美國水資源委員會 Bulletin 17B的建議公式： $X_H = X + K_n S_x$ (Hann, Statistical Methods in Hydrology, p158)，式中 X_H = 最大日降雨量、 X = 平均最大



表3 甲仙雨量站最大日降雨量統計分析 (1951年至2008年)

Statistics		Moment $v_r = \frac{\sum X^r}{n}$		Central Moment $\mu_r = \frac{\sum (X' - \bar{X})^r}{n}$		Coefficient			
n	58			μ	301.964				
$\sum X$	17,513.90	v_1	301.964	μ_1	0			\bar{X}	301.964
$\sum X^2$	6,052,612.890	v_2	104,355.395	μ_2	13,173.262	C_v	0.380	σ	114.775
$\sum X^3$	2,340,672,659.315	v_3	40,356,425.161	μ_3	889,177.851	C_s	0.588	S	115.777
$\sum X^4$	994,179,575,883.327	v_4	17,141,027,170.402	μ_4	545,850,961.303	C_k	3.145	C_v	0.380
									0.383
$\mu = v_1$ $\mu_2 = v_2 - v_1^2$ $\mu_3 = v_3 - 3v_2v_1 + 2v_1^3$ $\mu_4 = v_4 - 4v_3v_1 + 6v_2v_1^2 - 3v_1^4$		$C_v = \frac{\sqrt{\mu_2}}{v_1} = \frac{\sigma}{\bar{X}} = \frac{S}{\bar{X}} = \eta$ $C_s = \frac{\mu_3}{\mu_2^{1.5}}$ $C_k = \frac{\mu_4}{\mu_2^2}$				$\bar{X} = \mu = v_1$ $\sigma = \sqrt{\mu_2}$ $S = \sigma \times \frac{\sqrt{\mu_2}}{\sqrt{n-1}}$			
C_v : 變動係數 C_s : 偏歪係數 (=0對稱) C_k : 尖度係數 (=3常態)									

註：2009年的最大日降雨量以莫拉克為準 (1,072.5 mm) 時，1970年的 $\bar{X} = 315.0$ 、 $S = 152.4$ ，其推定量如括弧所示。

日降雨量 (302 mm)、 $K_n = n$ 年之係數 (查表，見岡本芳美，技術水文學，p287)、 $S_x =$ 標準差 (115.8 mm)，計算不同重現期的推定雨量，如表4 (K值)。若本次水災的日降雨量視為2009年的最大日降雨量 (甲仙的1,072.5 mm) 時，其各重現期的推定雨量如括弧所示。經比較圖1各雨量站的降雨量，旗山的雨量超過200年1次、溪捕站的雨量超過2000年1次的降雨機會，其餘各站的降雨量為數千年極罕見的豪雨。

七、歷年天然災害發生情形

根據警政署1957年至2008年51年間的

天然災害損失統計，就水災災害 (不包括地震與龍捲風) 受害情形，依時系列分為25年的兩期，探討前後兩期的發生平均數，如表5。顯然的，近年來天然災害發生次數增加78% ($6.36/3.56 = 178\%$)，或許與地球溫暖化異常氣象現象增多有關。唯不管天然災害發生次數增加，而各項災害損失減少則明顯，表示政府重視土砂防災施政結果有貢獻。八八水災死亡失蹤人口753人僅次於八七水災1,075人，確是歷年來很嚴重的一次災難。雖期望做到零危機 (Zero Risk) 是絕不可能的，但人民的生命財產寶貴有待努力減少受災損失，尤其防災需要民眾的軟體配合。

表4 甲仙雨量站為準之最大日降水量推定雨量

超過機率	重現期 (年)	K_n 係數	推定最大日降雨量 (mm / 天)
0.0001	10,000	3.719	732.7 (881.8)
0.0005	2,000	3.291	683.1 (816.5)
0.001	1,000	3.090	659.8 (785.9)
0.005	200	2.576	600.3 (707.6)
0.01	100	2.326	571.4 (669.5)
0.2	50	2.054	539.9 (628.0)
0.025	40	1.960	529.0 (613.7)
0.05	20	1.645	492.5 (565.7)

防災的基本為自己的生命財產要自己保護，但居民依存行政主導的硬體災害對策，自助努力的認知不夠，各社區防災組織未充分發揮機能。地域防災活動的基本原則，具體言為地域社區的自律與連帶防災（居民、企業、行政的Network），重視環境的協議型建設理念。策定防災計畫到實施階段，反復公部門與民間部門雙方向協議，形成合意的責任與任務分擔實施災害對策。

八、結語

莫拉克颱風於8月4日形成，中央氣象局8月6日08：30發布陸上警報，8月7日台灣東部陸地進入暴風圈，8月10日05：30解除警報，在此期間觀測到1,000 mm以上雨量的氣象站有81站，最高為3,004.5 mm（阿里山）。其降雨現象就甲仙（小關山）2站言，分別為6日55 mm（12 mm）、7日399.5 mm

（235 mm）、8日1072.5 mm（1,177 mm）、9日343.5 mm（697.5 mm），各地的集中豪雨出現在8日有1,000 mm以上，圖1。就高雄縣甲仙鄉小林村7日及8日的雨量（1,400 mm）早已超出森林能涵養雨水的能力（參閱降雨與土砂災害200 mm），該地實際發生災害的時間能延至9日上午6時出現，證實森林有充分發揮機能，延遲災害發生時間。

地震如有 $M_L = 4$ 以上強度時會直接引起土砂岩石崩落，而因震動產生的地表裂紋及深層岩盤斷裂，當豪雨時可灌進大量雨水，此現象會長期延續，震源在高雄縣30 km範圍 $M_L = 3$ 以上者2年內已發生15次，全島山區為衝上斷層的地域以本次豪雨，匯集大量地下水很容易引起大崩塌的。

地質，地震加上集中豪雨等特性在台灣林地，豪雨後集中在林地的表層崩塌是自然現象，普遍發生在0次谷及1次谷（在日本的調查佔90%）。

森林降雨時在土壤孔隙能蓄存的水分為200 mm，當颱風豪雨雨量累積達1,621 mm（小林村發生土石流止之累積雨量），假設以平均降下時每小時為30 mm/hr（1,621/54 = 30.0）的降雨強度，超大豪雨定義為15 mm/hr。結果1,421 mm的雨水（1,621 - 200）非經旗山溪流出不可，乘上集水區面積（75,077 ha）即106,684萬噸的水，每秒流量5,487立方公尺〔（1,421 mm × 75,077 ha）/（54小時 × 60分 × 60秒）〕。龐大（然加上含砂礫容量濃度30~50%時流量更大）8,200CMS的高濃度流體（Hyper-concentration



表5 1957年至2008年天然災害發生分析

天然災害別 (地震龍捲風除外)	災害發生期間別年平均發生數		
	1957年至1982年	1984年至2008年	1957年至2008年
災害發生次數	3.56次/年	6.36次/年	4.88次/年
死亡失蹤人口	145.4人/年	62.8人/年	102.5人/年
受傷人口	367.2人/年	128.9人/年	243.3人/年
房屋全倒	5,569.4棟/年	424.4棟/年	2,938.1棟/年
房屋半倒	8,72.3棟/年	1,599.0棟/年	4,740.8棟/年

資料來源：就警政署原始資料加以統計分析。

Flow，重 $1.5 \sim 1.85 \text{ ton/m}^3$) 高速流動
($0.5 \sim 20 \text{ m/s}$) 的破壞力無法擋的。⚠

註1：按Straler方法，最上游源頭谷為0次谷，
0次谷與0次谷匯流成1次谷，1次谷與
0次谷匯合仍然1次谷，1次谷與1次谷
匯合後成2次谷，2次谷與2次谷合流增
為3次谷，往後類推。

註2：pF值以水頭差（水柱高）cm的對數表
示， $10 \text{ cm水柱} = \log_{10} 10 = \text{pF}1$ ，水柱
 $1 \text{ m} = \text{pF}2$ ，pF越大水的滲透移動越困難。

註3：地震大小的指標M於1935年經地震學
者Richter定義為「設在離震央100 km處
的Wood Anderson seismograph
(Pendulum的固有周期0.8秒，減衰定數
0.8，基本倍率2,800倍) 所記錄的最大
震幅（以Micron測定）以常用對數表
示。」M與地震能的關係為M如大1時
其能量增加約30倍，大2時為1,000倍的
能量增加。

參考文獻（請逕洽作者）

