

汶川地震重大坡地災害現地勘查

陳聯光	國家災害防救科技中心坡地組組長
陳樹群	國立中興大學水土保持系教授
周憲德	國立中央大學土木系教授
王文能	前工研院能資所研究員
林銘郎	國立臺灣大學土木系教授

一、汶川地震簡介

2008年5月12日中國大陸四川省汶川縣於當地時間下午2點28分，發生規模Ms8.0的地震(以下稱汶川大地震)，震央位於北緯31.0°、東經103.4°，位於成都市西北西方約70公里，距離重慶市約360公里，震源深度約19公里。據中國國務院抗震救災指揮部統計汶川大地震已造成四川、甘肅、陝西、重慶、雲南、湖北、河南、貴州、山西、湖南等10省(市)417個縣(市、區)受災；因災69,225人遇難，374,640人受傷，失蹤17,939人。房屋倒塌超過778萬間，損壞房屋超過2459萬間。四川省境內因汶川大地震影響，據估計境內造成了超過130個堰塞湖，其中34處有災害危險的堰塞湖，倘若潰堤，將危及下游百萬人的性命，對於地震所引致山坡地之崩塌與堰塞湖更是二次災害發生重要的原因。

二、汶川地震現地調查說明

本次臺灣團隊之汶川地震現地調查行程根據首震與餘震沿線，並根據國家減災中心衛星遙感部於汶川地震發生後持續監測沿山麓地帶大型崩塌滑坡地區之衛星和航空遙感資料，並參酌京都大學防災研究所汪發武教授之現勘建議，從成都四川大學出發在交通不受影響以及現地調查時間安排下，沿著龍門山斷層從汶川縣(漩口鎮、映秀鎮)、都江堰市(紫坪鋪鎮)、廣元市青川縣(紅光鄉)、北川縣(擂鼓鎮、曲山鎮)、安縣(茶坪鄉)以及彭州市(小魚洞鎮、龍門山鎮)等沿線幾處重大坡地災害點位進行現地勘查，行程規劃如圖1所示。

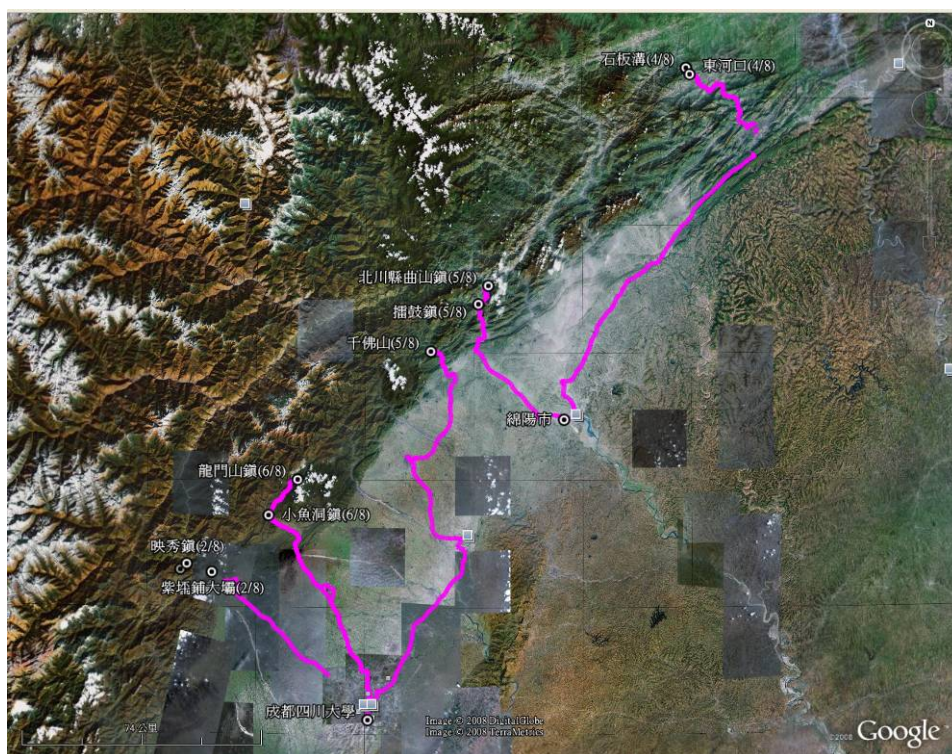


圖 1 汶川地震現地調查行程路線(底圖資料取自 GoogleEarth)

2.1 都江堰—映秀鎮

1. 紫坪鋪大壩調查

水庫壩址距離美國地質調查所(USGS)所公佈之震央約 20 公里。水庫壩區及其附近地區正處於龍門山斷層、松潘-都江堰-邛崃-雷波斷層、南充-廣漢-都江堰斷層等三組斷層構造帶的交會部位，正是現今地殼最為活躍的地帶。5 月 12 日汶川地震，根據水庫之地震計記錄，壩底之加速度約 0.6g，壩頂之加速度則超過 2.0g，此部份資料仍有待進一步確認。地震造成紫坪鋪水庫大壩出現三條裂縫，裂縫最寬處達 20 公分，廠房等其他建築物牆體發生倒塌，局部沉陷，避雷器倒塌，整個電站機組全部停機。萬幸的是，這座大壩在這次地震中倖存了下來，並沒有出現大崩潰的情形。因地震後庫區水位排空至呆水位(820 公尺)進行安全檢測，地震當時引發庫後湧浪高達 4-5 公尺，並造成數十名釣客死亡。紫坪鋪水庫壩頂外側護欄因地震震落於下游背水坡面，水庫大壩壩頂另一側出現長約 200 米、最大達 80 公分的沉陷，向下游面外移約 30 公分，水庫右岸洩洪排砂道建築整體已經嚴重變形。紫坪鋪大壩左岸山體為一老地滑區，施工單位於坡趾處以填土方式置一平臺達 200 萬立方公尺，除可具碼頭功能外，更以此鎮壓坡腳以

避免坡趾遭受淘刷，並防止老地滑再度活動。紫坪鋪水庫壩頂房舍受地震影響出現結構受損，另外因地震過後庫區上游峽穀兩側山體崩塌危害，泥砂運移量將大增，未來淤砂現象將明顯增加，將可能影響水庫庫容減小以及民生供水之原水濁度昇高問題。紫坪鋪大壩現地調查說明如照片 1-4 所示。



照片 1 紫坪鋪水庫壩頂外側護欄因地震震落於下游背水坡面。



照片 2 水庫壩頂受地震影響，照片左側相對右側陷落約 15 公分。



照片 3 水庫壩頂外側護欄震落於下游背水坡面，大壩中央下陷約 70 公分，向下游面外移約 30 公分。



照片 4 水庫壩頂房舍受地震剪力作用導致結構受損。

2. 國道 213 紫坪鎮至漩口鎮

紫坪鋪水庫-漩口鎮-映秀鎮主要為沿國道 213 線，沿線以岷江兩岸山坡地為聚落發展區位，因此地震除了造成房舍倒塌受損影響外，其次生災害主要為地震所引起之崩塌、落石、滑坡、堰塞湖以及土石流等造成道路、電信、通訊中斷以

及掩埋房舍等災害。於地震後國道 213 公路毀損嚴重，公路路基扭曲變形，公路橋樑倒塌，近百輛行駛的車輛受困於公路，且多輛車遭遇落石崩塌所壓毀掩埋，根據成都山地所分析結果，從漩口鎮到映秀鎮的滑坡和崩塌密集地沿國道 213 線分佈，有 159 處滑坡和崩塌，其崩塌處線密度達 3.3 處/公里。另岷江上游沿線除紫坪鋪水庫建壩時採石區亦因地震崩塌擴大外，其出露岩層為石炭紀石灰岩，以及沿岷江兩岸之山坡崩塌凹穀內及坡趾仍堆積不少崩積土石，將形成日後土石災害的料源，未來因降雨流入岷江將直接衝擊下游紫坪鋪水庫，將影響庫容與民生供水之原水濁度。紫坪鋪水庫至映秀鎮現地調查說明如照片 5-8 所示。



照片 5 都汶高速公路跨紫坪鋪水庫廟子坪大橋因地震造成中間橋板斷落水庫。



照片 6 紫坪鋪水庫廟子坪附近岷江右岸受地震影響龜裂。



照片 7 岷江左岸之孤立山，於本次調查發現孤立山脊可能因地震波放大效應，造成環山均發生崩塌滑坡現象。



照片 8 原採石殘坡因地震造成崩塌擴大，凹穀內及坡趾仍堆積不少崩積土石。



照片 9 國道 213 線上邊坡採鋼絲鐵網水泥噴漿處理，與遠處兩相對照，已發揮噴漿處理之功效。但因地震導致部分隆起，與地面脫離，未來容易因雨水侵蝕造成整片鐵網噴漿下滑的次生災害。



照片 10 紫坪鋪水庫放空後，上游庫底岷江河岸灘地泥砂部分發生液化側潰現象，重新長滿植被。

3. 百花大橋-岷江支流牛圈溝堰塞湖

映秀附近的百花鄉牛圈溝被人們稱之為 512 汶川大地震的震中，地震爆發時，沖出約五百萬方的花崗岩泥砂碎石，把原來深達 50 公尺、寬達百公尺、長約八、九百公尺的牛圈溝的山溝填滿。溝內房屋幾乎全部倒塌或遭掩埋，牛圈溝深達 50 公尺泥石的下面約埋葬了 20 多人，包括部份外地施工人員。牛圈溝下游岷江入匯口高程約 860 公尺至堰塞湖約 1,040 公尺，溝穀距離約 1,200 公尺，溝穀坡度約為 15%(8.53°)；支流土石流沖出口高程約 1,000 公尺與主河道匯流處河谷形成一瀑布高差超過 30 公尺，至上游大面積崩塌區至高點約 2,440 公尺，距離約為 2,700 公尺，土石流支流坡度約為 53.33%(28.07°)；據當地居民轉述，「地震當時，兩座山一會分開，一會合攏，大樹也是一會倒下，一會立起。」張家坪村一組就被全部掩埋在兩山之間。這數百萬方的泥砂碎石，是滑坡轉化為碎屑流形成。根據現地調查牛圈溝因支流土石碎層阻斷主流形成堰塞湖，是映秀目前水源地所在，水質混濁，將造成衛生條件的隱憂。另牛圈溝河道內仍有大量花崗岩碎屑堆積，兩岸為砂岩沉積岩崩塌，未來幾年內泥石流次生災害將擴大影響下游居民安全。百花大橋-牛圈溝堰塞湖現地調查說明如照片 11-14 所示。



照片 11 本照片為人工炸毀後之百花大橋。



照片 12 牛圈溝河道內為花崗岩碎屑堆積，兩岸為砂岩，照片左側可見原來房舍已遭掩埋。



照片 13 牛圈溝向下游映秀鎮看，坡度約為 13%。河道因洪水沖出一條最深約 2 公尺之主流槽。



照片 14 牛圈溝因支流土石碎層阻斷主流形成堰塞湖，是映秀目前水源地所在，水質混濁，將造成衛生條件的隱憂。

4. 百花大橋至映秀鎮

映秀鎮是震中重災區，全鎮大部分房屋倒塌，到處山體滑坡，到 14 日下午，僅有 2300 多人生還，並且有 1000 餘人傷勢嚴重。救援隊全力搶修公路，並空降大批人員進行救助。6 月 13 日至 15 日汶川映漩片區連降大雨，映秀鎮全鎮 7 個村 14 條道路被毀，6 月 14 日張家坪村再次發生崩塌，直接威脅到臨近安置點群眾安全，老街村垮塌影響道路通行。根據現地坡地調查結果，漁子溪進入映秀鎮兩岸山坡地因地震造成大面積崩塌，且岷川河岸邊的棄渣，疑似都汶高速公路龍溪隧道開挖之棄渣(疑是煤礦渣)，尚未有良好水土保持措施，如果崩滑入江，將來都可能將流入紫坪鋪水庫區，是一大隱憂。由岷江與魚子溝匯流處回望魚子溝右岸階地，從山地所提供資料，斷層從階地與後方陡坡邊緣通過，對於斷層經過處對於映秀鎮未來復建之影響需特別注意。百花大橋至映秀鎮現地調查說明如照

片 15-18 所示。



照片 15 映秀鎮漩口中學於地震時校舍倒塌，後方映秀小學則全毀，造成重大傷亡。



照片 16 岷江左岸河岸邊的棄碴，疑似都汶高速公路龍溪隧道開挖之棄碴(疑是煤礦渣)。



照片 17 斷層經過處因擠壓造成護岸推擠歪斜。人站於斷層跡上，其後方抬升約 2-3 公尺。



照片 18 斷層經過處，人所站之處正好是逆衝所造成之爬坡位置，倒塌的建築物是映秀煙草公司，斷層上盤房屋倒塌，樹木傾斜。

2.2 青川縣-紅光鄉-東河口村-石板溝

(1)東河口崩塌

東河口崩塌位於四川省廣元市青川縣紅光鄉嘉陵江支流清江河(又稱青竹江)上，根據媒體報導(新華社，中國環境報)5月12日汶川地震發生後，受地震波及影響在廣元市青川縣紅光鄉東河口村一帶周圍列屬龍門山脈的三座大山中的陽坪山和後院山面對峽穀的近半山體“轟”的一聲，發生大崩塌並堆積於青竹江及紅石河交匯處，崩塌體積超過 2,000 萬立方公尺以上，崩積土方分別阻攔青竹江及紅石河形成了兩個堰塞湖壩高分別為 30 公尺和 70 公尺，庫容分別為 350 萬立方公尺和 250 萬立方公尺。山體崩塌並掩埋東河口村 4 個社 1 所東河小學及其鄰近關莊鎮沙壩社區康樂村的 1 個社，這兩個村莊約 260 戶的居民總數共 1300

多人，由於當地大部分青年人外出打工，孩子外出上學。由於崩塌潰化土體轉瞬即至，使兩個村莊的老弱婦孺甚至來不及呼救，轉瞬之間就陰陽永隔，據紅光鄉政府統計，此次被泥石流掩埋死亡的人數為 370 人失蹤 21 人，另一輛從青川縣城開至石壩鄉方向的客運中巴車也被掩埋，車上載有 20 餘名乘客，可見死亡失蹤人數將超過 400 人。根據當地倖存的居民所述，在這次大崩塌中唯一逃生的是該村建在半山腰的小學學生們，在老師的帶領下，圍坐在操場中間的一百餘名師生幸運地避過土石掩埋，三位老師及一名學齡前小孩遇難。東河口堰塞湖更曾一度威脅下游數萬名居民生命財產安全。在四川省水利廳、國土資源廳與當地市、縣政府進行緊急會商，採取自然溢流、分級消能的開挖洩洪管道措施，同時迅速組織堰塞湖下遊清江河沿線所有群眾撤離到“2006 年 8 月 28 日”洪災最高水位線以上。有關部門在清江河沿線設立 8 個觀察哨，實行 24 小時觀測，每 2 個小時報告一次堤壩、水位等情況，並在清江河沿線設立醒目標誌牌和警戒線。在堰塞湖有效處置與自然溢流後，情況發展優於預期，基本上已排除險情，發生潰壩的可能性極小。

根據臺灣現地調查團初步分析結果顯示，東河口村崩塌區為板岩地質，風化程度高，最大塊體直徑約 2 公尺。王家山的源頭崩塌土體滑落至王洋坪及瓦窯背時堆積深約 70-80 公尺，由源頭至堆積區水準距離約 2~3 公里。東河口崩塌堰塞湖現地調查相關說明如照片 19~22 所述。



照片 19 由下游眺望東河口崩崖及堆積部，堆積厚據聞達 60-70 公尺，堆積材料為大部份屬嚴重風化之板岩、砂質板岩組成為主。



照片 20 照片左側水潭為東河口村崩塌堵塞紅石河形成之堰塞湖，照片中之水面為開挖洩洪管道後之水位。



照片 21 面向清竹江上游之東河口堰塞湖，照片中之水面為開挖洩洪管道後之水位。



照片 22 東河口崩塌堆積至國小操場位置，照片中之房舍為原東河國小校舍，因此學校師生得以倖免於難。

(2)石板溝地滑

石板溝堰塞湖位於四川省廣元市青川縣紅光鄉嘉陵江支流青竹江上，位於東河口村上游約 2 公里，根據媒體報導(北方網及四川線上)，石板溝堰塞湖是震後繼唐家山堰塞湖之後的第二大高危險堰塞湖。石板溝堰塞湖為山體受地震發生地滑產生約 1,000 萬立方公尺阻塞青竹江形成的，壩高約 75 公尺，寬約 450 公尺，落差約 60 公尺，最大可能蓄水量超過 1,000 萬立方公尺，該堰塞湖集水面積約 1,223 平方公里，其與青川縣的紅石河堰塞湖和東河口堰塞湖屬於中高危險級堰塞湖之列，在四川省水利廳、國土資源廳與市、縣政府進行緊急會商，採取爆破結合自然溢流、分級消能的開挖洩洪管道措施，以解除其對下游超過 15 萬人的威脅。根據臺灣現地調查結果，石板溝地滑為一順向坡滑動，石板溝滑坡坡面上仍保留相當多原有植被，類似九份二山，有當地居民在坡體崩滑過程中，與牧牛一起倖存，故部份地表仍未破碎。崩滑山體主要由板岩、千枚岩、及變質砂岩所構成，岩層走向/傾斜為 $N70^{\circ}W/NE25^{\circ}$ ，滑動方向($N10^{\circ}\sim 30^{\circ}E$)略於河道斜交，堰塞土體之板岩塊(約 5-6 公尺)，崩塌距離約 600 公尺，堆積坡度約為 23.5° 。趾部疑似位於原河道攻擊凹岸處，由於滑動距離僅百餘公尺，故滑動體較完整，腳部上的樹木向上邊坡方向傾斜，顯示岩體順平面滑動，岩塊未經翻轉，崩塌地趾部之並出現趾部隆起(Hummocky)地形，目前石板溝堰塞湖已開炸引流洩洪並不具危險性。石板溝堰塞湖現地調查相關說明如照片 23-26 所述。



照片 23 由青竹江下游往上游眺望石板溝堰塞壩體，此天然壩體已經開炸引流洩洪。



照片 24 石板溝地滑岩層屬板岩夾變質砂岩。



照片 25 滑坡體並未完全潰散，部份植生仍豎立於坡體上。



照片 26 石板溝堰塞湖向青竹江上游遠眺，堰塞壩體已炸開洩流，較不具危險性。

2.3 北川縣擂鼓鎮-曲山鎮-安縣茶坪鄉

(1) 北川縣擂鼓鎮

擂鼓鎮為盆地地形，未來可能為北川縣城遷址預定地，臺灣汶川地震調查團經成青公路(S105 號道路)一進入北川縣擂鼓鎮，即於公路左側(蘇寶河右岸)發現擂鼓鎮西南緣坡地為一舊有地滑地，因 512 汶川地震觸發而再次發生滑動現象。此次地震誘發老地滑復活，屬多滑面之複合形滑坡，有數個滑動體產生連鎖性滑動，但滑動方向不一。滑坡體積約 1,600 萬立方公尺，擠壓南側河道，掩埋當地 1 個酒廠、1 個飼養場(陳曉清, 2008)，且地滑源頭之陡峭山壁因地震產生許多裂縫與崩塌，還在繼續活動，未來地滑與崩塌對於坡趾之房舍之威脅不容忽視。擂鼓鎮地滑現地調查相關說明如照片 27-30 所述。



照片 27 自綿陽市進入北川縣的縣界牌樓，未受地震影響。



照片 29 擂鼓鎮西南緣，蘇寶河右岸，多滑面之複合形滑坡，地震誘發老地滑復活。



照片 29 擂鼓鎮西南緣多滑面之複合形滑坡，地震誘發老地滑復活，而形成數個滑動體連鎖性滑動，但滑動方向不一。



照片 30 地滑將危及坡趾處許多房舍與公共設施之安全。

(2)北川縣曲山鎮

曲山鎮在汶川大地震中，被夷為平地，傷亡極其慘重。老縣城 80%、新縣城 60%以上建築物垮塌，曲山鎮城區內 1 萬餘人僅 4000 多人脫險，其餘人員死亡或下落不明。地震造成縣城區環山的崩塌，包括舊縣城區的王家岩地滑，地質為寒武紀屬板岩、千枚岩、及變質砂岩等，約 700 萬立方公尺的土石滑移 500 公尺左右，掩埋了數百棟房屋及 1600 餘人；以及王家岩地滑對岸新縣城區的景家山大崩塌屬石灰岩，約 500 萬立方公尺的崩塌土石掩埋整個北川中學新區校舍，造成 900 餘人死亡。另外，湔江上游 3 公里漩坪鄉大水村，因山體崩塌而形成唐家山堰塞湖，根據中國水利部網站資訊，壩體長度沿河長約 800 公尺，橫河最大寬約 620 公尺，最大壩高約 120 公尺，崩積土石方約 2,000 萬立方公尺；因其上游流域面積廣達 3,550 平方公里，6 月初庫容即超過 2 億立方公尺，壩前水深超過 65 公尺，經官方評估上游集水區平均 2 公釐之降雨，壩前水位就會上升 1 公尺，且超過 2,000 萬立方公尺的崩積滑坡體，若潰決將對曲山鎮以

及下游涪江廣大流域約 20 萬人形成嚴重威脅；經水利部緊急調派重型機具人員開挖長 475 公尺、上部寬約 50 公尺、底部寬大於 7 公尺以及深度大於 10 公尺的洩洪槽，壩前水位於震後持續上升並於 6 月 7 日開始洩流，於 6 月 10 日洩流達最高峰，堰塞壩體受沖刷後水位已下降並排除對下游的威脅。

由於北川縣城曲山鎮受地震破壞嚴重，已不具備恢復重建的條件，相關單位均提出了在縣城舊址建立“北川地震博物館”的構想，為確保地震災後損毀的縣城原貌不再被破壞，亦需要對縣城採取必要的管制措施。因此北川縣城將遷新址，北川縣城新址選定與其鄰近的安縣安昌鎮和北川擂鼓鎮都是備選之一。曲山鎮地震現地調查相關說明如照片 31-38 所述。



照片 31 地震後之北川中學(舊校區，位於縣城南方約 2 公里處)。



照片 32 北川縣城地震後環山崩塌情形，照片下緣綠色鐵網圍籬已將縣城區全部封鎖，禁止一般人進入，並不進行復建，以保留地震災後原貌做為地震遺址博物館。



照片 33 王家岩地滑掩埋舊北川縣城。王家岩地滑區地質為板岩、千枚岩、及變質砂岩等；本地滑原本就是一老(舊)地滑。



照片 34 王家岩地滑掩埋舊北川縣城約 1600 人，以及湍江曲山段經唐家山堰塞湖洩流後淤積掩埋河岸房舍情形。



照片 35 景家山崩塌掩埋坡腳之新北川中學與房舍。



照片 36 曲山鎮因地震而損毀之房屋因土石流再次受災掩埋。



照片 37 位於新北川中學上方景家山之木造房舍，屬柔性結構，雖歷經 512 汶川地震衝擊，但仍大致完整無損，其前方磚砌之圍牆則因地震而倒塌。



照片 38 景家山崩塌(新北川中學後山)冠部所見之次級崩崖，高 1~2 公尺。

(3)安縣茶坪鄉雙電村肖家橋堰塞湖

安縣受災最嚴重的是千佛山風景區，肖家橋堰塞湖即位於安縣茶坪鄉雙電村，距離千佛山風景區大門外 3.5 公里處的茶坪河。肖家橋附近因山體滑坡，崩塌土方約 200 萬立方公尺的土石堵塞茶坪河，形成長度約 272 公尺、寬約 198 公尺、壩高約 61 公尺的堰塞壩，庫容超過 1,000 萬立方公尺，壩體除了掩埋肖家橋及河邊一座水電站外，向外移動的 8 位災民也被無情吞噬，肖家橋堰塞湖經評估列為僅次於唐家山的"高危險級"堰塞壩，滑坡坡度為 30 度(騰訊網)。根據國家減災中心調查，6 月初的肖家橋堰塞湖壩前水深已超過 50 公尺，堰塞湖面積繼續擴大，最寬處約 135 公尺，長約 3.1 公里，水面面積共約 0.34 平方公里，堰塞湖水體從壩底滲透，形成水流，堰塞湖有潰堤之虞，並危及下游超過 5 個鄉村約 13 萬人的安全。因此水利單位於壩頂挖出一條寬 40 公尺的洩洪溝，

又在溝的一側挖了一條導流渠，並於 6 月 6 日下午開始通過導流渠進行導流，最大排洪量達每秒 1,000 立方公尺，直到 6 月 7 日，肖家橋堰塞湖水位下降過半，洩水 700 萬立方公尺，排除險情；惟經衛星影像研判，茶坪河上游崩塌面積廣闊，於汛期時將對於茶坪河中下游造成淤積及原水濁度升高等問題。經現地勘查發現茶坪河肖家橋崩塌為一順向坡崩塌，屬輕變質石灰岩地質，因風化程度極高，岩體碎屑均勻，且岩層明顯受多組節理切割，崩塌與地滑大多沿層理發生。肖家橋堰塞湖現地調查相關說明如照片 39-44 所述。



照片 39 茶坪河肖家橋段河岸石灰岩之層理明顯，本區崩塌與地滑大多沿層理發生。



照片 40 往茶坪河上游看天然壩上游殘存的肖家橋堰塞湖，枯死的植物為曾浸泡於未引流洩洪前的湖水中。



照片 41 茶坪河右岸肖家橋崩塌之崩崖，為一順向坡崩塌；照片中之平臺階段，為洩流後人工整平之平臺階段，預防坡面繼續崩滑。



照片 42 肖家橋堰塞湖開挖排洪溝，兩岸以竹編之蛇籠穩定堆積土砂坡腳。



照片 43 堰塞湖潰決過程的渠床沖刷演化歷程。可以看見潰決時的渠床坡度由陡變緩，相對而言，表示潰決開始流量極大，而後逐漸變小。



照片 44 河岸孔隙水壓洩壓後土砂崩落堆積情形。

2.4 彭州市小漁洞鎮-龍門山鎮

(1) 小漁洞鎮

彭州市小漁洞鎮受災嚴重，主要是小漁洞鎮背靠龍門山脈，距震央(汶川)不到 30 公里。臺灣汶川地震調查團在往龍門山鎮途中，一進入小漁洞鎮即可觀察到汶川大地震的地表痕跡，除了房屋倒塌嚴重之外，另外最明顯的就是斷層通過小漁洞鎮洛陽村，因斷層作用在地表形成的單斜褶皺崖，橫斷公路形成約 1-2 公尺的隆起，斷層走向為 $N30^{\circ}W$ ，並造成小漁洞大橋橋墩傾斜及橋板陷落河床。小漁洞鎮現地調查相關說明如照片 45~48 所述。



照片 45 斷層作用形成的單斜褶皺崖，斷層係由照片左側的上盤(西南)推向照片右側的下盤(東北)。



照片 46 斷層通過附近造成地板龜裂與房屋嚴重受損。



照片 47 因地震力作用造成小魚洞大橋橋板陷落河床。



照片 48 小魚洞大橋因地震力作用造成橋板分離。

(2)龍門山鎮-九峰村謝家店子堰塞湖

原本屬避暑勝地之龍門山鎮，距離汶川震央不足 20 公里，故成為 512 地震的重災區，因地屬山區，道路多沿著湔江河岸山坡興建，故於地震之後，道路因落石、崩塌、土石流而柔腸寸斷，尤其是在龍門山鎮通往銀廠溝的銀白公路途中的九峰村七社中，有一村落的居民大部份姓謝，所以又稱謝家店，其背後山區發生大規模崩塌，約數百萬立方公尺的崩塌潰決土體下滑約 2 公里，不但阻斷道路，並且堵塞白水河而形成一堰塞湖，威脅下游地區居民安全。據當地村民所述，謝家店當時大約有 16 戶，以及 20 餘家”農家樂”休閒區共約 60 人遭掩埋，本地人約佔一半；因地震發生時，大部份本地人在田裏忙農活，或外出辦貨，躲過了一劫，而幾十名遇難者則多為在此度假的遊客，其中還有從重慶遠道而來的遊客。地震時由於這突如其來的崩塌土體，除了兩家房屋倖免於難外，其餘全部深埋在 20-30 公尺下。龍門山鎮九峰村謝家店子堰塞湖現地調查相關說明如照片 49~52 所述。



照片 49 龍門山鎮九峰村謝家店遭崩塌土石流



照片 50 謝家店崩塌土石堆積，中央為洪水過

掩埋約 30 公尺，土石下方約 16 戶民宅及 60 人遭掩埋，照片方向為往白水河下游。



照片 51 照片水面右側可見屋頂，堰塞湖淹沒河岸旁住家。

後沖刷而成深約 3 公尺的渠槽。



照片 52 於現地調查最後一天，因前晚及當天有下雨，謝家店子堰塞湖旁公路的上邊坡持續發生滑坡及落石，造成道路中斷而無法繼續向前，為本次汶川地震現地調查的最後一站。

三、汶川地震現勘後的思維

512 汶川大地震後可發揮他山之石可攻錯之效。本次現地調查探討以下議題亦值得我們深思：

(一)、地震地質方面：

1. 汶川大地震如此規模之地震是否會重覆發生於同一或附近斷層？其地震規模週期為何？以及預警是否有可行性？
2. 龍門山斷層在已往地震學家之認知中並非主要關注的活動斷層，地質調查是否確實能呈現地震之潛勢？
3. 斷層及地質構造特性及次生坡地災害如崩塌、地滑、土石流等是否有定性及定量關係？

(二)、地震工程方面：

1. 軟性基礎及地盤對於地震波之傳遞特性為放大亦或是有柔性保護作用？
2. 汶川地震所引致的災害與抗震規範的修訂，以做為未來重大工程評估與減災防護標準。這些規範除建築結構物與橋梁外、邊坡擋土工程、壩工、隧道工程、路堤、河堤甚至天然壩與堰塞湖的應急處置都應儘快進行。
3. 公路邊坡工程之抗震能力與災後安全檢測需要專家協助提供檢核標準。
4. 已有受損但堪用的結構物維護補強的規範與技術應儘快研究推行。
5. 何種工程方法可有效減少地震誘發崩塌災害：例如汶川地震災害中，抗滑樁



在都江堰往映秀途中道路邊坡及北川王家岩兩處地滑，其發揮減災效能之探討。

(三)、坡地災害與次生災害

1. 防範地滑在震後數年內加劇惡化，並推估滑坡未來之演化與影響，以降低災害潛勢。
2. 坡地災害之整治方法應因地制宜，配合不同需求與方法以減輕對環境衝擊。
3. 地震波的傳遞以及放大效應對於崩塌及滑坡之影響？
4. 對於 512 汶川地震不同流域堰塞湖穩定分析與潰決機制及其影響可提供許多寶貴案例進行科學研究，以做為堰塞湖安全研判之標準。
5. 唐山大地震與汶川大地震以及臺灣 921 地震特性與經驗應系統化比較，以做為未來地震災害防治之參考。
6. 應加強推動地震引致坡地源頭大型崩塌處之調查，以掌握集水區土砂供給量。
7. 快速推估崩塌土砂，提供救災有關工作之基本資料，如崩塌分佈與數量資料，可藉遙測技術快速而正確求得；但對於崩塌規模與平均深度或厚度的關係，是值得後續研究。
8. 影響範圍，亦即崩塌土石運動距離，是日後疏散避難、社區開發規劃等的重要依據，此或與活動斷層的影響範圍有點類似。

(四)、生態平衡(環境承載量)與永續經營方面:

1. 地震後對於地區居民之生產、生存以及環境承載量問題應有系統規劃不宜搶快以避免產生新的風險。
2. 紫坪鋪水庫上游崩塌對於水庫淤砂、漂流木問題可能未來幾年內會發生。
3. 地震引致水砂之變化及紫坪鋪水庫營運將有可能影響世界遺產都江堰之安全與永續經營。

(五)、災害風險管理體系方面:

1. 推動定點、定時預報地震警戒資訊提供應變疏散時機參考。
2. 推動相關示範監測規劃以提昇研究素質。
3. 地震引致之裂縫應持續監測處置，以避免引發後續之災害。
4. 協助地方政府檢查防災準備為臺灣目前防災重要工作項目。
5. 工程師防減災必須面對的環境生態保育問題以期永續經營。
6. 對於易致災地區之土地管理是否能落實為政府單位與在地居民共同的課題。



7. 重大災害造成災民心理健康層面的潛在問題不容忽視。
8. 結合在地民眾之災害預警工作將可降低災害傷亡損失。
9. 坡地科學教育普及化，將可提昇山區民眾危機意識降低災害傷亡損失。
10. 應用高科技遙測、地理資訊、全球定位系統配合雷射掃瞄系統將有助評估大規模災害，提供防救災人員救災與工程規劃參考。
11. 災害防治及重建搬遷宜邀集在地人觀點，將有利於長期防災規劃決策。
12. 參照香港訂定相關法規與設立單一窗口，以檢核規劃並做為當地服務管理權責單位。
13. 災害防治如何整合科學縱向上下游以及橫向不同領域研究，將基礎研究成果轉化成工程設計規範是未來重要課題。
14. 建議成立國家級單位統一規劃防減災工作，避免多頭馬車或乏人問津之情形發生。
15. 災後重建家園面臨生存環境破壞安遷新址所可能面對新的挑戰為何？
16. 新科技應用於搶救災，如利用遙控機具挖掘堰塞湖疏洪道等。

參考文獻

1. Google Earth, 2008, <http://earth.google.com/>.
2. Google Maps, 2008, <http://maps.google.com/>.
3. National Space Technology for Disaster Reduction, <http://www.jianzai.gov.cn/rs/>.
4. USGS, 2008, <http://earthquake.usgs.gov/>.
5. 中國地質調查局, 2008, <http://www.cgs.gov.cn/>.
6. 中國地震局, 2008, <http://www.cea.gov.cn/>.
7. 中國國土資源部, <http://www.cags.net.cn/dizhen/indextuotu.html>.
8. 中國環境報, 2008, <http://www.cenews.com.cn/>.
9. 北川羌族自治縣政務網, 2008, <http://beichuan.my.gov.cn/>.
10. 北方網, 2008, <http://www.enorth.com.cn/>.
11. 北高國遙新天地資訊技術有限公司, 2008, <http://www.ev-image.com/>.
12. 四川線上, 2008, <http://www.crionline.com.cn/>.
13. 石菊松, 2008, 汶川地震次生地質災害應急製圖的實踐與思考, 地震次生山地災害及其減災技術專題研討會, 成都。
14. 百度百科, 2008, <http://baike.baidu.com/>.
15. 國家災害防救科技中心, 2008, 512四川汶川地震分析評估報告。

16. 國家減災中心，2008，<http://www.ndrcc.gov.cn/>.
17. 崔鵬，2008，5.12汶川地震堰塞湖危險性評估與風險分析，地震次生山地災害及其減災技術專題研討會，成都。
18. 許強，2008，5.12汶川大地震誘發重大崩滑災害成因機理研究，地震次生山地災害及其減災技術專題研討會，成都。
19. 陳曉清，2008，汶川地震後北川新縣城選址探討，地震次生山地災害及其減災技術專題研討會，成都。
20. 黃潤秋，2008，汶川大地震誘發斜坡地質災害發育分佈規律及動力特徵的初步分析，地震次生山地災害及其減災技術專題研討會，成都。
21. 搜狐新聞，2008，<http://news.sohu.com/>.
22. 新浪網，2008，<http://news.sina.com/>.
23. 新華社，2008，<http://www.xinhuanet.com/>.
24. 新華網，2008，<http://news.xinhuanet.com/>.
25. 鉅亨網，2008，<http://news.cnyes.com/>.
26. 圖吧，2008，<http://www.mapbar.com/>.
27. 維基百科，2008，<http://zh.wikipedia.org/>.
28. 騰訊網，2008，<http://news.qq.com/>.