

臺灣 (Taiwan)

太平洋板塊 (Pacific Plate)

紐西蘭 (New Zealand)

紐西蘭基督城地震 之地質探究

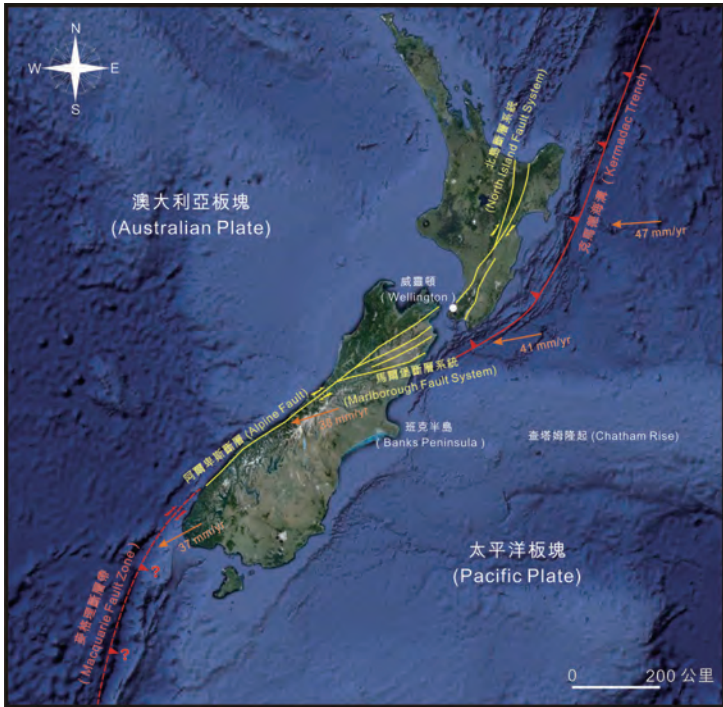


文◎ 梁勝雄、朱倣祖、李建成

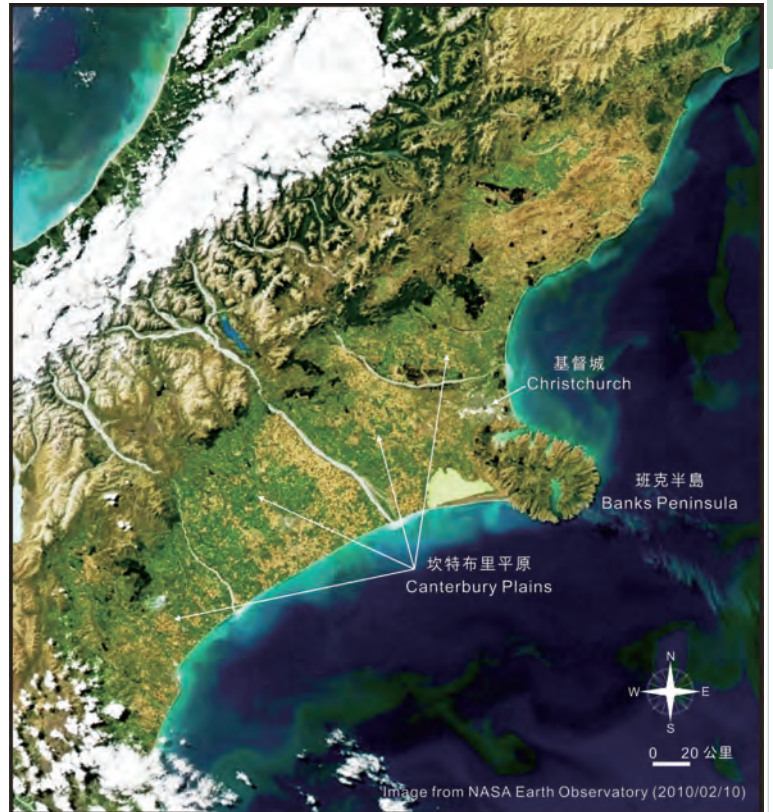
紐西蘭 (New Zealand) 南島的基督城 (Christchurch) 於2010年9月4日與2011年2月22日先後發生了兩次地震，其中第二次更造成巨大災害，震驚全球。在南半球的紐西蘭和臺灣一樣位於環太平洋地震帶的板塊邊界，境內有豐富而壯麗的地質景觀，然而在漂亮的風景背後，也暗藏許多潛在的地質災害，例如地震。期望藉由本文的介紹從中吸取經驗，使同樣處於多地震臺灣的我們能有更多的防災準備及應變能力。

環太平洋地震帶

地球上有三大地震帶：(1)分布在太平洋周圍的「環太平洋地震帶」。 (2)起自爪哇島、蘇門答臘島伸延至喜馬拉雅山脈、地中海直到大西洋的「阿爾卑斯地震帶」。 (3)大西洋「中洋脊地震帶」。其中地球上約90%的地震及80%強烈地震皆發生在「環太平洋地震帶」。環太平洋地震帶全長約4萬公里，因為一連串板塊聚合、錯移、張裂之現象，在環太



■ 紐西蘭地體構造簡圖（梁勝雄繪製，底圖來源：Google maps，斷層與GPS資料來源：Wallace et al., 2006）。



■ 坎特布里平原衛星影像（梁勝雄繪製，繪製底圖來源：NASA Earth Observatory）。

平洋地震帶上有一連串列島（島弧）、海溝以及火山，時常發生地震與火山爆發。臺灣與紐西蘭皆位於環太平洋地震帶的板塊邊界，因此地震頻仍。臺灣位在歐亞板塊與菲律賓海板塊的聚合帶，依據中央氣象局統計自1991至2006年，總計16年的觀測資料，臺灣地區每年平均約發生18,500次地震，其中約有1,000次為有感地震，意思是平均每天發生3次有感地震，頻率非常驚人。

紐西蘭地質狀況

紐西蘭位於南太平洋，為一島嶼國家，相距澳大利亞約3,000公里，主要分為南、北兩大島嶼，以庫克海峽分隔；北島與斐濟、東加相望，南島則鄰近南極洲。從地體構造架構來看，紐西蘭位處澳大利亞板塊和太平洋板塊的邊界。太平洋板塊在北島東側沿克馬德海溝(Kermadec Trench)，每年以約40公釐的速度往澳大利亞板塊隱沒，向下插到澳大利亞板塊之下，進而產生北島斷層系統(North Island Fault System)。

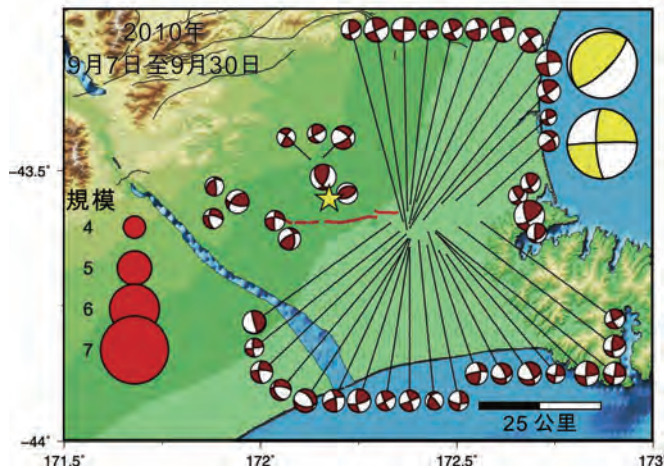
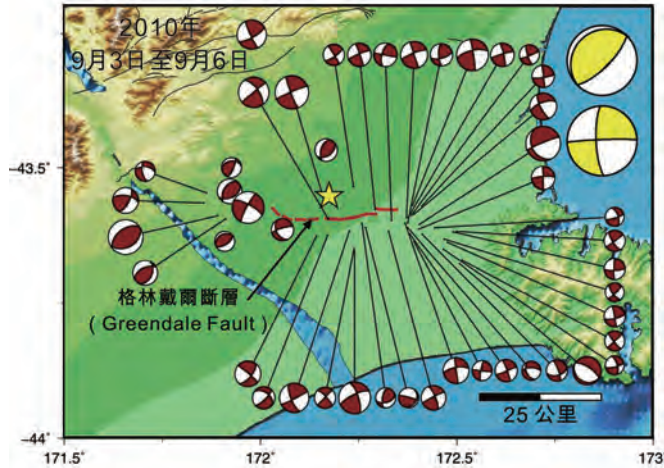
到了南島，太平洋板塊轉成以平移錯位方式，與澳大利亞板塊平行錯動，因而在南島北半部形成了馬爾堡斷層系統(Marlborough Fault System)。而分

散成數條斷層的馬爾堡斷層系統，於南島中段匯集成單一斷層的阿爾卑斯斷層(Alpine Fault)，為一左移具逆衝的斷層系統。根據全球衛星定位系統(Global Positioning System，簡稱GPS)及水準(Leveling)觀測結果，南島的阿爾卑斯山脈每年抬升約10毫米（其侵蝕速率也約10毫米/年），而基督城所在的坎特布里平原(Canterbury Plains)是阿爾卑斯山脈下一河川沉積物覆蓋的氾濫平原，目前正處於沉降狀態。

兩次強震的比較

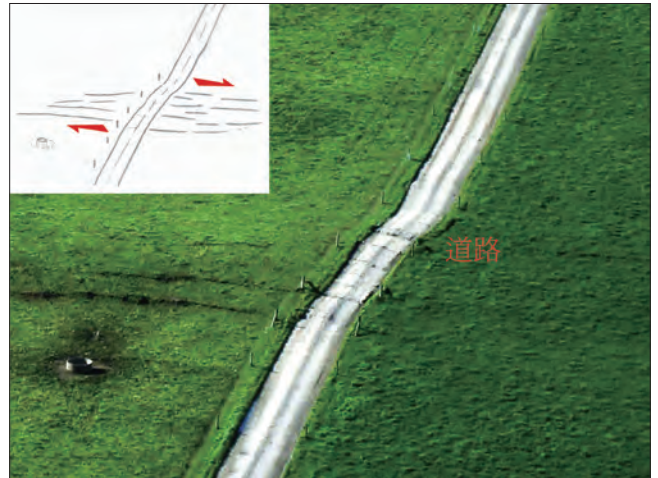
2010年9月4日當地時間凌晨4點35分，位於紐西蘭南島坎特布里平原上的基督城以西約40公里的達菲爾(Darfield)城鎮附近，發生地震矩規模7.1(Moment magnitude scale, M_w)，深度約10公里的地震，測得最大地動加速度(peak ground acceleration, PGA)為1.26g。根據震源機制解（又稱地震海灘球，focal mechanism）為逆衝斷層之錯位滑移形式，為1931年紐西蘭南島霍克灣(Hawke Bay)地震以來，發生規模最大的地震。因為震央發生在陸地，沒有造成海嘯；同時地震發生時間在清晨時分，平常繁忙的市區街道上空無一人，所以沒有人員傷亡。

• 地質新聞 •

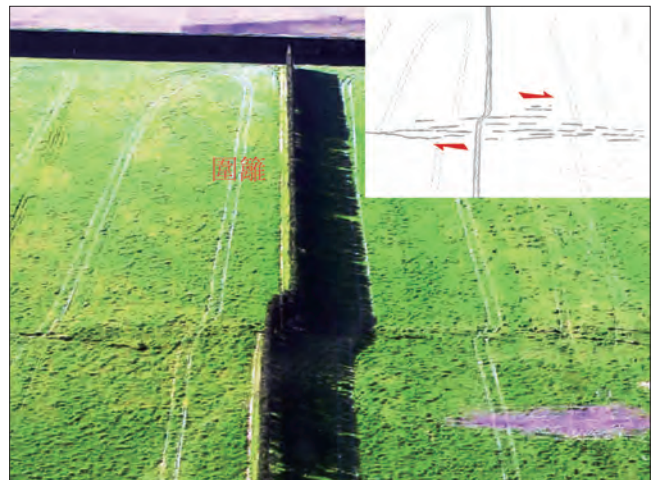


達菲爾地震震源機制解。上圖觀測時間為2010年9月3日至6日，下圖觀測時間為9月7日至30日。主震震央以一個黃色星星表示之，黃色的震源機制解是主震的推導，餘震則為藍色。紐西蘭地質網所計算主震為逆斷層運動型式（上），美國地質調查所所計算主震則為橫移斷層型式（下）。地表破裂為紅色線段（資料來源：<http://www.geonet.org.nz/>）。

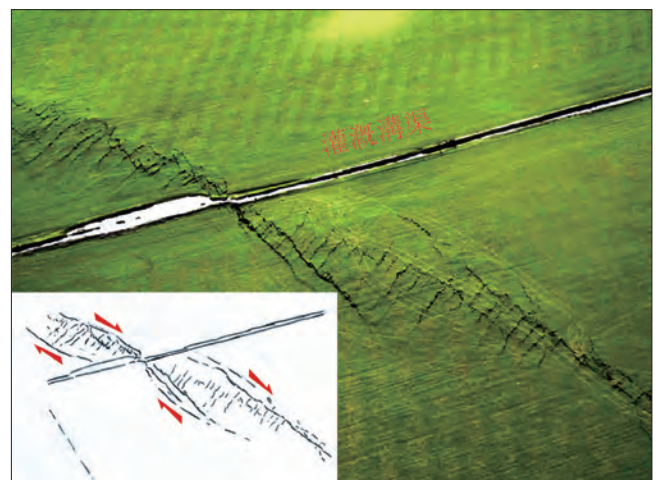
紐西蘭地球科學家（Richard Jongens、Simon Cox與David Barrell），藉由觀察地震後地下斷層延伸至地表的破裂，特別追縱過去由地質學家辨認出之「格林戴爾斷層」(Greendale Fault)，如偏移的道路、圍籬和灌溉用溝渠等並紀錄於圖，顯示此斷層在地震中的錯位破裂長度，東西延伸至少可達35公里。雖然舊有的海底地形資料暗示坎特布里平原可能與「海底隆起」相關。此「海底隆起」名為「查塔姆隆起」(Chatham Rise)，西起班克半島(Banks Peninsula)往東延伸長達700公里，然而往西進入坎特布里平原後，因為河川沉積物覆蓋，地勢平坦，因此在地震發生前，無法觀察到在這一地區過去活動斷層的證據，可是地震活動並沒有因此而停滯。



達菲爾地震之地表斷層錯位。由照片中可觀察到地表破裂、道路往右方偏移，且產生壓力脊(pressure ridge)之現象（梁勝雄繪製，photo by Richard Jongens, Simon Cox and David Barrell，資料來源：<http://www.geonet.org.nz/>）。

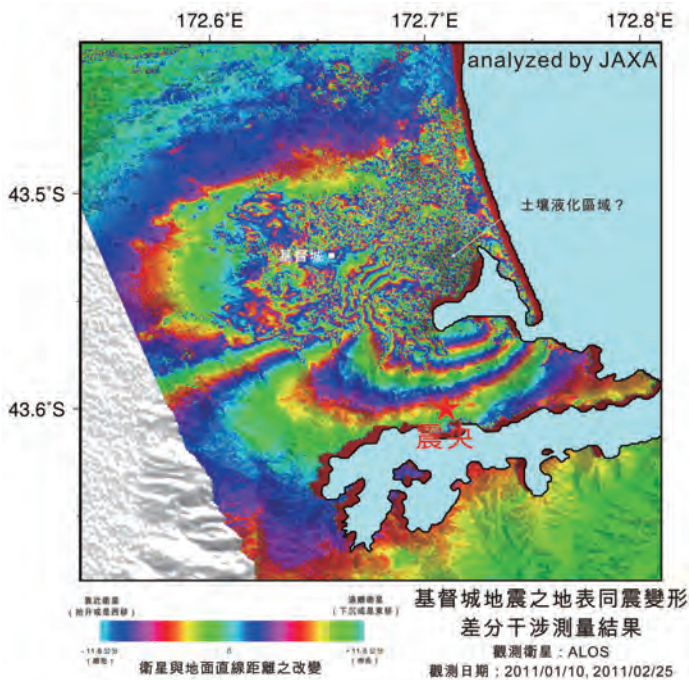


達菲爾地震之地表斷層錯位。由照片中可觀察到地表破裂、圍籬往右方偏移，且產生張裂隙(tensile cracks)之現象（梁勝雄繪製，photo by Richard Jongens, Simon Cox and David Barrell，資料來源：<http://www.geonet.org.nz/>）。

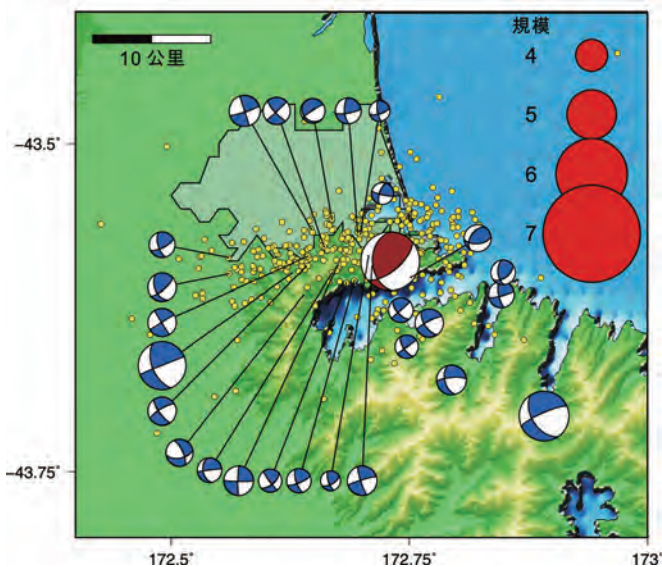


達菲爾地震之地表斷層錯位。由照片中可觀察到地表破裂、毀損的灌溉溝渠往右方偏移，且產生雁行排列(en echelon)之現象（梁勝雄繪製，photo by Richard Jongens, Simon Cox and David Barrell，資料來源：<http://www.geonet.org.nz/>）。

不到半年，毀滅性地震再度襲擊坎特布里平原，這次是在基督城東邊。2011年2月22日當地時間中午12點51分，震央位於基督城東南方10公里，深度約5公里，地震矩規模達6.3，測得最大地動加速度達2.2g。這次地震在基督城市中心造成大量地區土壤液化，估計這多半和其地質位置位於坎特布里平原



雷達差分干涉測量技術之同震地表變位圖。兩張影像觀測時間為2011年1月10日與2011年2月25日。圖中位於基督城東方有一低干涉之區域，暗示該區域可能因為土壤液化嚴重，造成地表沉降變形劇烈而無法成像（資料來源：image from Geospatial Information Authority of Japan，<http://www.gsi.go.jp/ENGLISH/index.html>）。



基督城地震震源機制解。紅色震源機制解是主震的推導，餘震則為藍色。主震為逆衝斷層運動型式，餘震震源機制解顯示有逆衝斷層與橫移斷層兩種運動型式（資料來源：<http://www.geonet.org.nz/>）。

有很大的關連，因它充滿了大量的土壤沉積物。截至3月7日止，紐西蘭政府公布的死亡人數為166人，預計這個數字會達到200人，其中包括來自亞洲各地的幾十名學生。此次地震原先被紐西蘭地球科學家 (Carter Hamish) 認為是2010年達菲爾地震的餘震，然而美國與澳大利亞的地球科學家卻有不同的看法，認為此次地震為獨立斷層系統，此斷層系統似乎沒有與格林戴爾斷層完全相連，雖然非常接近；而一般科學家的認知，餘震是發生在與主震同一個斷層上。這些未知的因素需要將來更多的研究，才能加以確定，然而是不是餘震似乎並不是重點，重點是為什麼看起來規模不是很大的基督城地震，卻造成這麼大的災害？

雖然這次地震規模與2010年達菲爾地震相比下小很多，然而其具破壞性與致命的原因大致可歸納成下列幾點：(1)震源非常靠近基督城市中心且震源深度非常淺（約5公里深，相對於達菲爾地震的10公里），因此紀錄到目前世界上最大地動加速度觀測值之最，達2.2g（921集集地震於石岡站觀測到的值為1 g），這表示地震發生時地表進行非常強烈、快速地的水平與垂直運動，在此情況下地表建築物容易受到極大震動，「幾乎」不可能完好。(2)發生時間是在中午用餐時間，人潮眾多的時刻。(3)建築物強度因2010達菲爾地震先前搖晃震動的關



2011年基督城地震發生後，基督城北方發生土壤液化造成汽車陷入 (photo by Martin Luff，拍攝地點位於基督城的新布萊頓)。

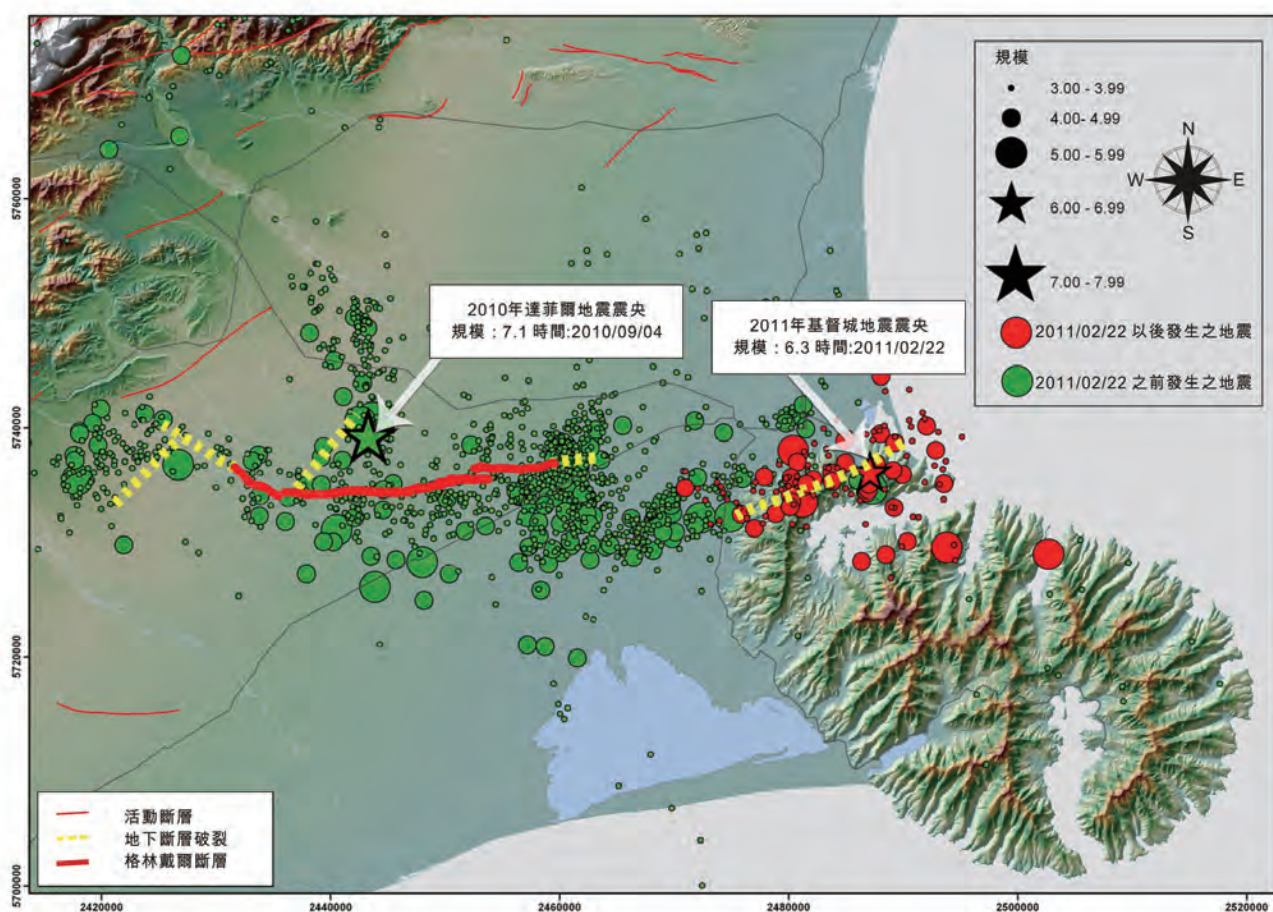
係已經削弱。(4)根據災害統計，土壤液化程度是達菲爾地震的6倍，造成基礎設施的破壞。無論是2011年基督城地震或是2010年達菲爾地震，都是發生在「盲斷層」（亦即斷層尚未出露地表），抑或未知的斷層。雖然紐西蘭的地震委員會(Earthquake Commission of New Zealand)曾在1991年提出報告，指出在坎特布里地區有發生強烈地震的可能性，而且可能會因地震的關係而誘發嚴重的土壤液化，但仍無法預防災害的發生。

他山之石，可以攻錯

板塊擠壓聚合時，便會擠壓能量累積在地殼內，當能量累積到一定程度後，地殼破裂就會發生地震。以紐西蘭兩次地震為例，地震發生的地方不

見得是活躍斷層帶，或是有明顯的斷層造成之地形地貌可以追跡。臺灣跟紐西蘭一樣，皆屬於地震發生密集帶。事實上，已知的斷層帶或未出露地表的地下盲斷層帶，甚或未知的斷層，都會有發生地震的潛在威脅。

地震發生時所產生的最大地動加速度，會造成建築物極大的破壞力，在基督城地震災後照片可觀察到，倒塌房屋大多為磚造或是老舊水泥建築，而單層木造建築與鋼骨結構建築則保存完好。因此，政府現階段更應即時進行大規模建築物結構與建築場址的安全普查，民眾更是不能輕忽防震的工作，細微至家具的固定皆須注意，才能在地震發生時將傷亡減至最低。



紐西蘭南島附近地震震央分布圖。紅色細線為活動斷層位置，黃色線為地下斷層破裂，紅色粗線為格林戴爾斷層位置，星號代表主震震央，圓圈為餘震分布，紅色表示2011年基督城地震及之後發生的餘震，綠色表示2011年基督城地震發生前的地震（資料來源：<http://www.geonet.org.nz/>）。紐西蘭地球科學家(Carter Hamish)認為2011年基督城地震是2010年達菲爾地震的餘震。

此外，根據3月7日紐西蘭地震委員會調查報告顯示，於基督城地震後統計約有1萬棟房屋因土壤液化的關係，而無法原屋進行加固，必須拆除重建。事實上，1964年阿拉斯加地震、1906年舊金山地震，以及1999年集集地震等均有相當程度的災害，是由地震誘發土壤液化所造成。因此，臺灣有較高可能發生土壤液化的地區，如西部海岸、沖積平原、河階地以及盆地等，加強地質與基地調查也是當務之急。



2011年基督城地震倒毀的建築物 (photo by Martin Luff，拍攝地點位於基督城的New Brighton，資料來源：<http://www.flickr.com/photos/23934380@N06/>)。



2011年基督城地震倒毀的建築物 (photo by Martin Luff，拍攝地點位於基督城的New Brighton，資料來源：<http://www.flickr.com/photos/23934380@N06/>)。



921集集地震時，在臺中石岡埤豐橋附近所拍攝之照片。照片中可觀察到兩種現象，一是右方房屋因為土壤液化的關係而傾毀；二是地震於汽車停放處產生一寬約2公尺的裂隙，待汽車陷入後，大地再度癒合 (朱倣祖攝)。

延伸閱讀

1. 日本地理空間資訊局(Geospatial Information Authority of Japan)。 <http://www.gsi.go.jp/ENGLISH/index.html> (100.03.15檢索)。
2. 美國太空總署地球觀測研究室(NASA Earth Observatory)。 <http://earthobservatory.nasa.gov/> (100.03.15檢索)。
3. 美國舊金山灣區土壤液化地區與資訊(Liquefaction Maps and Information)。 <http://quake.abag.ca.gov/liquefaction/> (100.03.15檢索)。
4. 紐西蘭地質網(GeoNet)。 <http://www.geonet.org.nz/> (100.03.15檢索)。
5. 張中白 (2005) 大地彩虹—合成孔徑雷達。科學發展，第390期，第18-23頁。
6. Laura M. Wallace, John Beavan, Robert McCaffrey, Kelvin Berryman, Paul Denys (2007) Balancing the plate motion budget in the South Island, New Zealand using GPS, geological and seismological data. Geophys. J. Int., 168, 332-357. DOI: 10.1111/j.1365-246X.2006.03183.x