

臺灣海域會發生大海嘯嗎？

Will Taiwan be Attacked by Tsunami?

洪奕星 國立臺灣海洋大學應用地球科學研究所

Hong, Eason Institute of Applied Geosciences, National Taiwan Ocean University

摘要

前年日本遭受強烈的地震和海嘯侵襲，臺灣卻無產生大海嘯的地質條件。不過依據文獻和地層紀錄，臺灣北部確曾發生過小規模的海嘯。

前言

民國100年(2011)3月11日下午1:46分，日本本州外海發生芮氏規模9.0的大地震，並隨即引發強烈的海嘯。5分鐘後，我國中央氣象局即偵測到地震波，10分鐘後太平洋海嘯警報中心(Pacific Tsunami Warning Center, PTWC)立即向環太平洋國家發佈第一通電報，文中將臺灣列為海嘯觀察區域，並預估海嘯將於下午5:32、5:36和6:04分別到達花蓮、臺東和基隆，中央氣象局隨即在2:30向國內發布海嘯警訊。2:43，PTWC再度發佈第二號電文，且將臺灣改列為海嘯警告區域，中央氣象局則在3:30正式發佈海嘯警報。由於有明確的海嘯到達時間，一時遂引起上述三個濱海城市居民的恐慌。

到了下午4:30，PTWC在第四號電報中有了較詳細的說明，其中包括了預估日本大地震的規模為8.9，深度大約為24公里，並且仍將臺灣列為海嘯警告區域，並預估海嘯將於5:40和5:44別到達花蓮和臺東，以及在稍晚的6:12到達基隆。4:45中央氣象局迅速的再度發布海嘯警報，民眾心中的不安也跟著大幅升高。所幸在海嘯預估的到達時間後，全臺海象並無異常，中央氣象局終於在當天傍晚6:40正式發布解除海嘯警報。

在這一次事件中，值得慶幸的是海嘯並未真正的來襲，但是由於電視和網路媒體不斷的播放在日本所造成的慘重災情，使得國人飽受驚嚇之餘無不希望能夠了解：1、在日本發生的海嘯會不會影響到臺灣？2、在臺灣到底會不會發生同樣規模的海嘯？以及，3、還有無其他鄰近區域也會發生海嘯並影響到臺灣？有鑑於此，本文將整合相關的海洋地質背景、引發海嘯的地震特徵、海嘯波的傳遞，以及海嘯的文獻和地層紀錄等，綜合來探討以上三個問題。

海洋地質背景

板塊構造學說指出地球表面是由七大板塊組合而成的，板塊約100公里厚，包含了地殼和最上部的地函，每當板塊相互碰撞的時候，較重的海洋板塊會向下隱沒而在地表上形成一長條狀向下凹陷的海溝地形(圖1)。至於沉入地函中的海洋板塊，其中熔點較低的物質便會先熔融而形成岩漿，並循著破碎裂縫向上噴發出地表，而形成一系列凸出海面的火山群島即為火山島弧，例如日本海溝和日本島弧、琉球海溝和琉球島弧，以及印尼的巽他海溝和蘇門答臘—印度安達曼島弧等。而當海洋板塊隱沒時，在它表層的岩石體和沉積物等，不斷的會被對面的板塊鏟刮起來，經由一次又一次的逆衝斷層作用，使得一大片又一大片的岩石塊體相互堆疊在一起，隨著時間也就愈來愈高愈大，也因而被稱為增積岩體。此時位於增積岩體和火山島弧等兩地形高區間之低地，則被稱為弧前盆地。此外，隱沒的板塊常

造成地涵的擾動形成局部對流圈，進一步導致在島弧和大陸之間分裂擴張，形成一新的海盆即為弧後盆地(圖1)，例如日本海盆和沖繩海槽，即分別是日本海溝和琉球海溝系統之弧後盆地。

日本海嘯的成因

日本本州，便是由太平洋海板塊在日本海溝處向西隱沒所形成的海溝-島弧系統(圖2)，其中在海溝西側的增積岩體已因長期增積堆疊，幾乎將弧前盆地吞併而與本州島結合在一起。此次日本大海嘯的起因，就是由於太平洋海板塊的隱沒，造成增積岩體中的逆衝斷層向上錯移所引發的。依據中研院地球科學研究所李憲忠，針對地震斷層錯動量空間分佈的分析顯示，斷層錯移面約為560公里長200公里寬，也就是在海床上推估斷層線長達560公里。因此不僅產生芮氏規模9.0的大地震，也隨即引發大海嘯。

至於海嘯的引發，主要是當逆斷層錯動時，規模達560 X 200公里的海床整體向上錯移抬昇，同時也將其上的海水瞬間推舉造成海面波動形成海嘯。當海嘯形成時大致會以560公里斷層線為範圍，向海、陸兩側前進，是為主傳遞攻擊方向(圖3)。其中一側朝向日本海岸時，由於海嘯波上溯漸淺的海底地

形，海水一路逐步堆高，到了岩手、宮城和福島等縣的海岸時，海嘯波已高達10公尺，遂造成重大的災難。海嘯波也朝另一側太平洋的方向傳遞，不過由於距離甚遠，波浪能量逐漸耗損，途經夏威夷時波高僅有一公尺左右，最後雖橫越太平洋到達美國西岸，也因波浪能量進一步減弱而未傳出災情。

由於太平洋海板塊在幾千萬年來，持續的向西北擴張擠壓並且隱沒到歐亞大陸板塊之下，對於形成於此種碰撞式板塊邊緣的日本群島，長期以來便持續反覆的受到強烈的地震、海嘯以及火山噴發等重大災害的侵襲。在日本的文獻中本州即有多次海嘯災害的文獻和地層記錄，這是日本人的宿命。

臺灣是否會受到日本海嘯的波及

在垂直於斷層線的主攻擊方向，海嘯波是以直線前進，因此能量消耗相對較少。但是從主攻擊範圍向兩側邊傳遞時，由於需克服水分子彼此動靜間的速度差異，使得波浪能量迅速大幅耗損。因此在開放而沒有海灣的海域，海嘯能量主要還是集中在海嘯源及其主要傳遞的方向範圍內。但是若往兩側邊方向時，能量則會迅速消散(圖3)。例如東京市雖然就位於福島縣的南緣，但因是在主攻擊範圍的西南

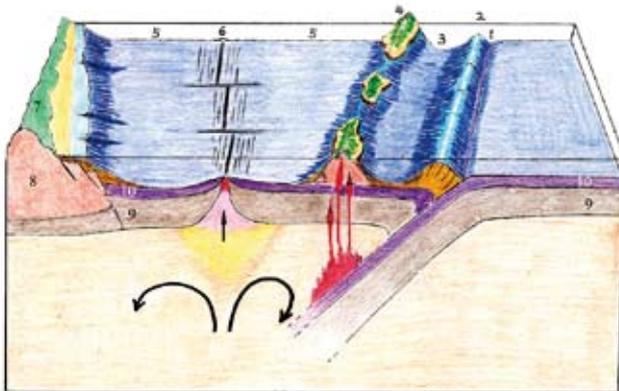


圖1 碰撞式板塊邊緣之構造環境系統，包括了海溝(1)、增積岩體(2)、弧前盆地(3)、火山島弧(4)、弧後盆地(5)、弧後張裂系統(6)，和大陸(7)。此外在正面分別標示了大陸地殼(8)、海洋地殼(10)，以及最上部地涵(9)。大陸地殼加上最上部地涵(8+9)即為大陸板塊，而海洋地殼加上最上部地涵(9+10)即為海洋板塊，此外在增積岩體中之黑線代表逆衝斷層線。



圖2 日本區域海底地形與板塊構造環境，在日本海溝(1)邊的增積岩體(2)規模大到幾乎併合了弧前盆地(3)而與火山島弧(4)結合在一起，因而呈現寬廣的斜坡地形，適合海嘯波上溯與增高。(5)為日本海盆也就是弧後盆地，星號表震央位置(中研院李憲忠)。

側，所以並未受到海嘯的襲擊。由此可知，對於遠在日本福島縣西南2600公里外的寶島臺灣，是不用擔心會受到日本宮城海嘯的波及。

臺灣地區之海嘯評估

除了日本海嘯是由於增積岩體中逆衝斷層的錯移所引起的之外，稍早於2004年12月26日發生在印尼蘇門答臘的南亞大海嘯，同樣的也是由於位處於印尼蘇門答臘—印度安達曼島弧與巽他海溝系統中，增積岩體內的逆衝斷層錯動所引起的(圖4)。當時海床上推估斷層線長度達600公里，芮氏地震規模高達9.1(表一)。海嘯主攻擊波除了向東襲擊蘇門答臘—安達曼群島外，甚至穿越安達曼群島而危害泰國和馬來西亞。另一側，主攻擊波也向西直線前進橫越印度洋，先後侵襲了印度、斯里蘭卡、馬爾地夫，以及非洲西岸的索馬利亞等。不僅如此，由於海嘯的發源區緊臨孟加拉灣，海嘯波因地形變淺效應，遂向北偏轉上溯漸淺的孟加拉灣區，再加上海灣中的能量不易消散，因此也造成孟加拉和緬甸等地的傷亡。此次海嘯不僅重創印尼，同時也危害上述相當多的國家和地區，因此才被稱為南亞大海嘯。

根據文獻上的記載大致可以了解，近代引發海嘯的地震均發生在環太平洋海溝碰撞隱沒帶中，而且地震規模須高達9.0以上。例如，在2012年4月11日，蘇門答臘外海相近區域又發生規模8.6的大地震，以及在2012年12月8日，日本宮城外海同一區域也發生了規模7.3的大地震，由於兩者規模均小於9.0同樣的都未引發海嘯，由此可以得到進一步的佐證。因此若要發生類似日本和南亞般規模的大海嘯時，首先必須要有板塊隱沒所形成的海溝-島弧系統。反觀國內，最鄰近臺灣的有東北方的琉球海溝和南側的馬尼拉海溝等兩個碰撞隱沒系統(圖5)，

以下將依序探討馬尼拉海溝和琉球海溝發生大地震和引發海嘯侵襲臺灣的可能性。

一、馬尼拉海溝

馬尼拉海溝(圖5)是由於南海海盆的分裂擴張，使得南海的海洋板塊，向東隱沒到菲律賓海洋板塊之下所形成的。值得慶幸的是，馬尼拉海溝並不會發生芮氏地震規模大的地震，自然也無法引發像南亞和日本一樣的大海嘯。現將研判的理由條列如下：

- 1、南海海盆及馬尼拉海溝的規模遠小於北太平洋海盆和日本海溝。
- 2、自四千萬年前以來，南海海盆即已停止分裂擴張，也就是說馬尼拉海溝早已不再有活躍的隱沒碰撞作用了。這也就是為什麼，自1560年菲律賓開始有記錄以來，均無大地震的記載了。目前海溝所受到的主要壓力，是間接的來自呂宋島東側，菲律賓海板塊向西北移動之擠壓，而非直接來自南海海盆向東擴張的碰撞。
- 3、馬尼拉海溝並非呈直線延展，在臺灣和菲律賓呂宋島之間呈南北走向，在接近呂宋島時轉變成東北-西南走向，然後又回復南北走向大致平行於呂宋島西岸，接著又轉成西北-東南向等共四個區段。在各段中和各段間，海溝側的增積岩體發育的規模和高度都不一致(圖5、6)，所以很難產生一致的海水推舉效應。此外，也僅有在呂宋島西側呈南北走向的第三段的長度較接近500公里。因此即使會發生斷層錯動的長度也自然也不及日本海溝的560公里，況且臺灣也不在其海嘯波的主攻擊範圍內。

二、琉球海溝

琉球海溝(圖5)是由於菲律賓海板塊向西北移動而隱沒到歐亞大陸板塊之下所形成的。此一碰撞隱沒系統從南到北包括了琉球海溝、增積岩體、弧前盆地、琉球島弧以及弧後盆地—沖繩海槽(圖6)

表一 印尼、日本、大陸、臺灣等地震參數表

地區 (時間)	南亞印尼 蘇門答臘 (2004.12.26)	日本 宮城 (2011.03.11)	大陸 汶川 (2008.05.12)	臺灣 集集921 (1999.09.21)
規模	9.1	9.0	8.0	7.3
地表 破裂跡長	600公里	560公里	300公里	80公里
震度	7	7	7	7
主震 持續時間	3分半鐘	3分鐘	2分鐘	30秒鐘
斷層 錯動位置	海域 引發海嘯	海域 引發海嘯	陸上 不會引發	陸上 不會引發

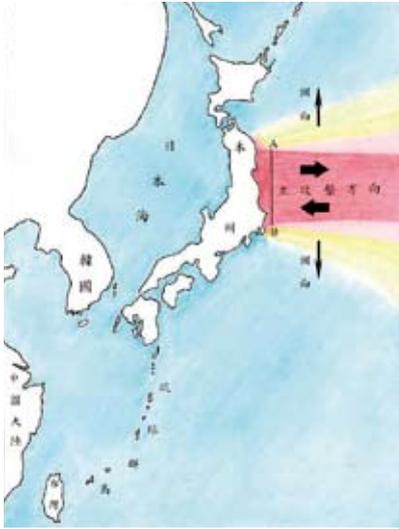


圖3 海嘯波主要傳遞攻擊方向與能量耗損示意圖，線段AB為推估海床斷層線位置，主攻擊方向海嘯波能損耗相對較小，傳播較遠；而側向能量相對耗損大，海嘯波迅速減弱消失。

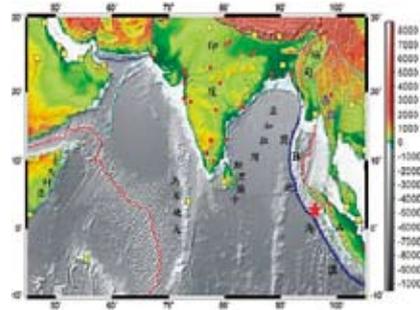


圖4 北印度洋區域地理位置圖，紅色線為張裂的板塊邊界，紅色星號為震央，英文字母A為印尼蘇門答臘，文字母B為印度安達曼群島。修改自 CNN, January, 2005。

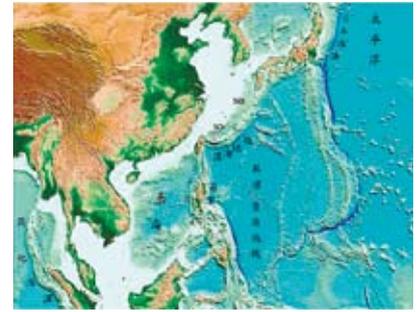


圖5 大東亞區域海底地形與板塊構造環境圖。圖中在臺灣巴士海峽和呂宋島西緣之數字1, 2, 3, 4, 分別代表馬尼拉海溝的四個區段。在琉球海溝北側之紅色的英文字母S, 代表琉球島弧的位置, 也同時註記琉球群島最南段先島群島的位置。而在琉球島弧北側的凹陷即為沖繩海槽, SO代表海槽南段, 而NO則代表海槽北段。

等。依據區域地質背景和文獻紀錄顯示，琉球海溝也不會產生大規模的海嘯，其理由如下：

- 1、沖繩海槽的北段(圖5)也早已停止分裂擴張，意謂著在相對的琉球海溝，也不再具有活躍的隱沒作用。至於沖繩海槽的南段，雖然仍有海底火山的存在，但是在琉球群島最南段之先島群島(Sakishima Islands)並無活火山，顯示琉球海溝也不再具有活躍的隱沒作用促使岩漿的噴發。
- 2、與第一項地質背景相互呼應的是，無論是文獻、地層紀錄，或是地表調查均指出，在琉球群島北段諸島未曾遭受過海嘯的侵襲。不過日本東北大學的後藤和久(Kazuhsa Goto)教授在今年(2013)於國科會舉辦的臺灣古海嘯國際研討會中指出，琉球群島南段先島群島中之石垣島(Ishigaki Island)確曾在1771年時遭受到海嘯(Meiwa Tsunami)的侵襲。在經過現場調查後，原

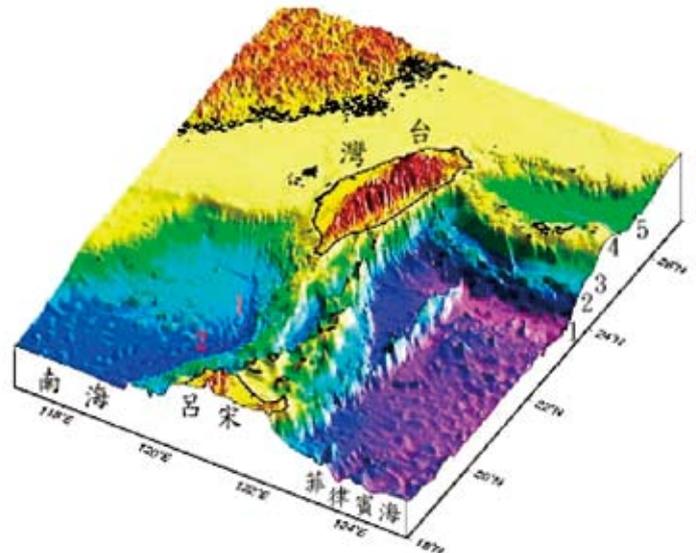


圖6 臺灣區域海底地形圖(國科會海科中心)。在右側之數字分別代表琉球海溝1; 增積岩體2; 弧前盆地3; 琉球島弧4, 圖中一連串的海島即為琉球群島最南段之先島群島; 弧後盆地—沖繩海槽南段5。此外，在臺灣和呂宋島間之紅色數字1, 2, 則分別代表馬尼拉海溝最北的2個區段。

先記載逾30公尺的巨浪是被過度渲染誇大了，實際的情形是在石垣島的東南端，海嘯波高為區域中最高，約達2.1公尺，然而到了該島東北方約15公里外的海岸時，波高則僅存0.2公尺左右。後藤和久教授認為造成石垣島海嘯的原因是地震和同時引發的海底山崩，而非來自增積岩體中大規模的逆衝斷層錯動。

- 3、琉球海溝在靠近臺灣的部份是呈一向南凸出的弧形，即使在較遠處有近似直線之區段引發海嘯時，臺灣也不在其主攻擊範圍內(圖5)，同時臺灣東部的海域地形陡峭(圖6)，也不利海嘯波上溯與增高。
- 4、有別於日本海溝，琉球海溝的增積岩體發育較不成熟，體積較小較低矮(圖5、6)。由於水深較深，即使發生逆衝斷層錯動也難以擾動表層海水造成海嘯。

臺灣地區之海嘯紀錄

臺灣地區之海嘯紀錄主要是指歷史文獻紀錄，其中確實詳細的記錄了臺灣北部的基隆，在西元1867年曾經發生了火山活動和強烈的地震，造成山崩地裂、噴泉、地表陷落，並引發小規模的海嘯侵襲了基隆到金山一帶的海岸。至於臺灣的南部地區，雖有一些災害紀錄，但因過於簡略而無從判斷是否確曾發生過海嘯。另一種海嘯紀錄則是指在海嘯波作用下，所沉積下來的地層紀錄。

一、歷史文獻紀錄

依據臺北市立教育大學林明聖教授收集自《字林西報》、《淡水廳志》、《中國歷史強震目錄》、《1881年通商各關貿易報告》、《臺灣遙寄》、《福爾摩薩》，以及《同治年間於金包里附近的地變》等歷史文獻顯示，臺灣自西元1661年至今，成災之海嘯紀錄共有6次，分別發生於1661年、1721年、1781年、1792年、1866

年，以及1867年。此等紀錄都是簡短之敘述性記載，缺乏明確之量化描述與科學佐證。其中僅有1867年所發生之海嘯事件有較明確的描述外，其餘的5次紀錄皆無法判斷。現將1867年發生在基隆之火山活動、地震以及所引發之區域陷落和海嘯事件之歷史記載，加以整理摘錄如下：

1867年12月18日(清同治六年十一月廿三日)上午9時左右，位於臺灣北部海岸的基隆，首先感覺到地底下不斷傳來隆隆的響聲。到了快10點時，位於金包里(金山)西南之硫磺山(磺嘴山)，發出了如雷的聲響，然後地面便開始左右劇烈搖晃，並且延續了約三十秒鐘左右。此時基隆市區內大部分的房屋都被震倒，許多人被壓在廢墟下。強烈的搖晃並造成基隆山崩以及基隆至金包里沿海一帶山傾地裂；基隆港口有若干地方下陷，三界壇、跳石和磺溪頭派出所一帶陷落達二丈三尺、海中的燭臺嶼也陷落一丈有餘，其他地方也有陷落但規模較小；以及隨處可見的地裂泉湧，尤其是以三界壇和磺溪頭最為嚴重。(地震和區域陷落)

在強烈的地震後約五分鐘左右，海水開始暴退造成基隆港內海水退落淨盡，船隻擱淺于沙灘上。閻王岩(野柳)一帶則乾涸見底，漂浮物均隨海水席捲向外海而去。三十分鐘後海水又以兩個大浪的形式湧回，波高約7.5公尺，傾覆船舶無數並將數艘帆船推抬上岸，沙灘上的一切也都被沖上岸，金包里、基隆、八斗子均被海水淹沒，死傷達數百人。(海嘯)

此外，地震當天基隆港外的海面上煙霧繚繞，一團團蒸汽和水柱騰上高空，海水混濁，一層層岩漿凝成的岩石(浮石)在水面上漂蕩，死亡的魚蝦一層層向岸邊漂來。空氣悶熱難忍，瀰漫著強烈的硫磺氣味，事後地質學家告知，地震發生時附近海底同時還有火山噴發。(火山活動)

二、海嘯之地層紀錄

2011年國科會、中研院與臺大合作執行一為期3年的跨國考古計畫，並聘請西班牙考古專家協助，在基隆市和平島試掘400年前西班牙修道院遺址。經濟部中央地質調查所也趁此機會派員，一起檢視考古研究人員所挖掘的幾個探坑，探查是否有明確的海嘯地層紀錄。

2012年11月13日，地質調查所邀請了國內相關專長的學者們齊聚在和平島的探坑前，並請臺大地質系講座教授太田陽子到場解說。海嘯沉積出露在基隆和平島南側所有的探坑中，本文以其中一個探坑來加以描述：此一探坑的挖掘深度為120公分，在探坑正面的垂直壁上(照片一)，最底部為淡黃色潮間帶沙質沉積層(1)，向上漸變為咖啡色泥質沉積層(2)和暗咖啡色的文化沉積層(土壤層)(3)，接著出現的海嘯沉積層(4)即隔著一不規則的侵蝕界面堆積在文化沉積層之上，海嘯沉積厚度約25公分，而在海嘯沉積層之上又回復為陸相的土壤層和回填土(5)。

太田陽子教授指出海嘯沉積層有一定的特徵，諸如：海嘯沉積層的厚度在側向上忽厚忽薄變化大；海嘯沉積層的內部組構，是呈現紊亂緻密而無任何沉積構造；內部的組成物質是為異質性，其中包含有各種不同的貝殼、珊瑚以及岩石碎片，甚至還夾雜有人造物品等，而且在不同地點其組成也不同。筆者認同此為海嘯沉積層而非颱風過境時暴風浪所造成的風暴沉積，因為在所有的探坑中均未發現有風暴沉積的特徵，例如圓丘狀交錯層(紋)理(Hummocky Cross Stratification, HCS)、波槽狀交錯層(紋)理(Swaley Cross Stratification, SCS)、低角度平行紋理(Low-angle Parallel Lamination, LPL)和水平平行紋理(Horizontal Parallel Lamination, HPL)等沉積構造。

從文獻紀錄可以了解西元1867年，在北部海岸曾經發生過海嘯，若從所受侵襲的僅為局部海岸，且

也未波及其他國內外相近的區域，因此可以推斷僅為較小規模的海嘯。此外，雖然幸運的發現了一層海嘯沉積層，然而遺憾的是在現階段因諸多採樣和定年的限制，無法知悉海嘯層沉積時的年代，所以無法確認是否便是1867年海嘯的地層紀錄。

結論

綜合整個大東亞相關的海洋地質背景、引發海嘯的條件、海嘯波傳遞和能量耗損的特性，以及海嘯的歷史文獻和地層紀錄等資料顯示，日本宮城海嘯並不會波及臺灣；不論臺灣的北部或南部海域，均不可能產生芮氏地震規模8.0以上的大地震，因此自然也不會引發大規模的海嘯；同時臺灣並不在任何其他海溝的海嘯主攻範圍內，所以並不會受到周邊或甚至太平洋彼岸等海嘯的危害。

雖然可以排除大規模海嘯的威脅，不過值得大家當心的是，臺灣北部確曾在1867年發生過較小規模的海嘯。對於此一海嘯的波高大小、危害的程度，以及是否為海底火山活動所引發的，均需儘速的加以研究釐清。此外，琉球的石垣島也曾發生過小規模海嘯，然而在成因上是被解釋為地震引發海底山崩所造成的。如果真的是山崩所引起，那麼臺灣周邊地形陡峭的海域，是否也會因地震山崩而引發小規模海嘯，雖然可能性不高、危害程度也不大，但仍值得關注。



照片一 基隆和平島南側停車場內的探坑，深度為120公分。數字1-5代表各沉積層，請參閱內文說明。