



香港天文台

HONG KONG OBSERVATORY

地震及海嘯 基礎課程

I 地震基礎知識

1 地球的結構

根據地質學家的估計，地球的年齡約為 46 億年。地球的內部大致可分為四層，外層叫地殼，由各種固體堅硬的岩石組成，第二層叫地幔，具可塑性，能緩慢流動，第三、四層為外地核及內地核，分別由液態和固態的鐵(Iron)及鎳(Nickel)物質組成。

粗略估計，地球的半徑約為 6400 公里，地殼相對淺薄，它的厚度變化一般為 10-30 公里，往下至 2900 公里深為地幔，2900-4600 公里深為外地核，4600-6400 公里深為內地核。

地球的內地核非常熾熱(約 5000°C，見表一)，巨大的熱能軟化了外核及地幔內的物質。地球上的板塊包含了地殼和地幔的上層，兩者組成了地球的岩石圈(Lithosphere)，由於後者的可塑性，促成了板塊的移動。岩石圈的厚度可達至 80 公里深。岩石圈以下至約 700 公里深為軟流圈(Asthenosphere)，軟流圈的溫度較高(1000°C 度以上)，內裡的物質達至半溶解狀態，軟流圈內的緩慢對流活動(Convection)幫助了上層岩石圈(即板塊)的移動。

表一：地球內部不同深度的密度、壓力和溫度變化

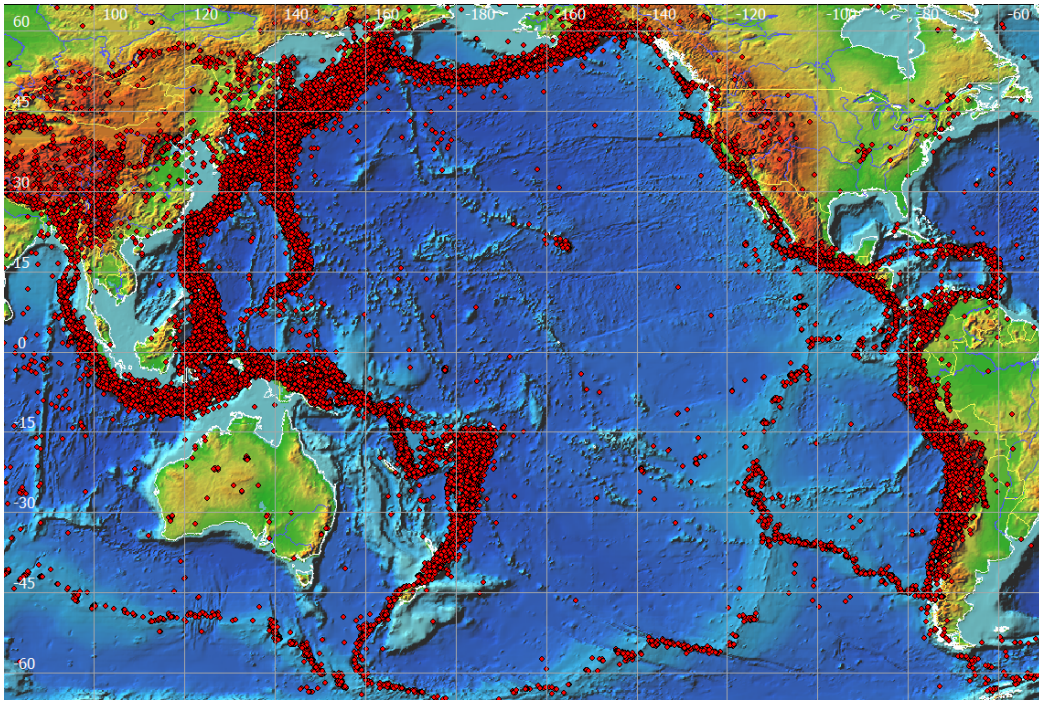
	深度 (公里)	密度 (克/立方厘米)	壓力 (10^{10} 帕)	溫度 ($^{\circ}\text{C}$)
地殼	10-30	2.9	0.1	10
上地幔	220	3.4	0.7	1340
	400	3.7	1.3	1640
下地幔	670	4.4	2.4	2100
	1200	4.7	4.8	2250
	2880	5.6	13.6	2660
外地核	2890	9.9	13.6	2890
	3800	11.1	22.8	3380
內地核	5150	12.8	32.9	3920
	6370	13.1	36.4	4020

2 地震的成因

促使地震發生的因素大致可分為自然和人工兩類。自然的地震主要是地殼移動或火山爆發所做成，人工地震可由人類活動而產生，這包括地下核爆、水庫誘發地震和洞穴坍塌等。

2.1 自然地震

大部份自然地震可說是在板塊邊緣的地震帶上發生(見圖一)，這觀測支持了板塊運動的理論。這理論(大陸漂移學說)早在 1912 年由德國學者魏格納(Wenger)提出，但當時科學證據不足，理論沒有被注視。20 世紀 50 年代大量的地質資料為板塊運動理論提供了有力的支持證據。當中包括古地磁學、海洋地震紀錄、海底地貌、海洋基底岩石地磁異常和磁場反向的測量和研究工作等等。



圖一：5 級或以上的歷史地震(公元前 2150 年至公元 2000 年)

[資料來源： 國際氣象學和大氣物理學協會(IUGG)/政府間海洋委員會 (IOC)的太平洋歷史資料庫]

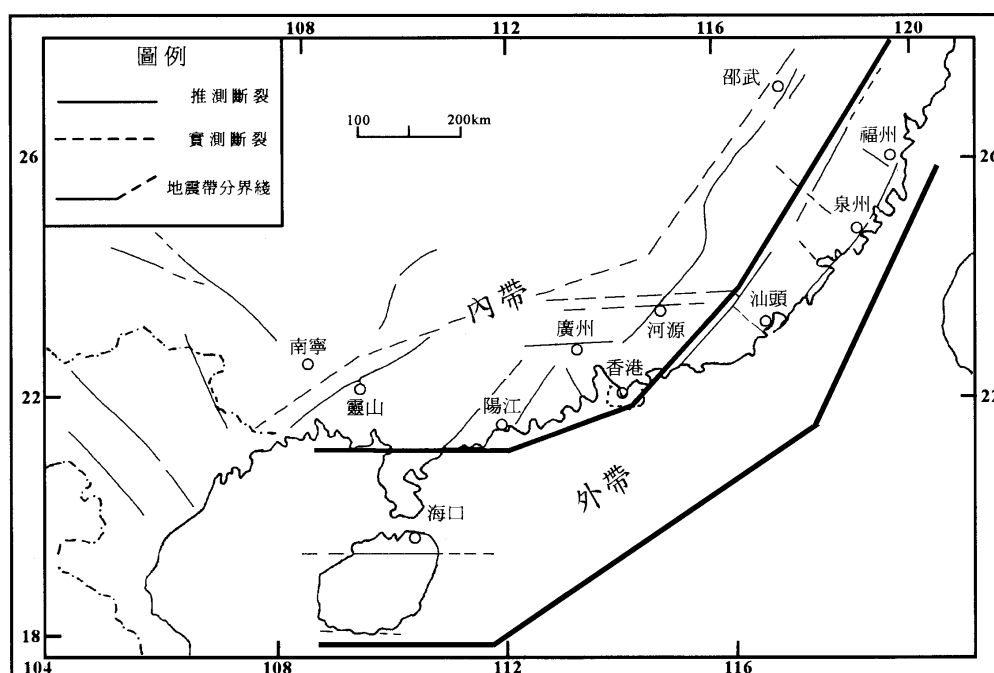
簡單來說，全球可分為七大板塊，包括(1)太平洋板塊(再可細分到菲律賓板塊)；(2)歐亞板塊；(3)印度洋板塊(或印度—澳大利亞板塊)；(4)非洲板塊；(5)北美洲板塊；(6)南美洲板塊和(7)南極洲板塊(見圖二)。



圖二：地球板塊構造圖

圍繞太平洋板塊的環太平洋地震帶因板塊相對運動而較常發生猛烈的地震(Interplate Earthquakes)，故這地震帶又稱為“火環”(Ring of Fire)，地貌上它被火山、深海海溝和弧形列島所包圍，堪察加、千島群島、日本、阿拉斯加、印尼和智利都處於環太平洋地震帶上。香港距離環太平洋地震帶超過 600 公里，故香港發生大地震的機會也較低。

一塊板塊內亦會分佈著不同方向的斷層(Fault)，斷層的移動亦會產生一般級數較低的地震(Intraplate Earthquakes)，香港處於中國東南沿海地震帶內，這地震帶大致可分為會昌—河源—廣州—靈山的內帶和泉州—汕頭—陽江的外帶。內帶以內陸地區為主，外帶以濱海地區為主(見圖三)。香港位於內帶，鄰近外帶，內外帶的地震都有可能令香港發生有感地震。



圖三：中國東南沿海地震帶 (據李焯芬，1996)

2.2 人工地震

人工地震由人類活動所造成，這可包括地下核爆、人工爆破、地基打樁、水庫蓄水、油井開採、採礦、深井抽注水等等。這類被人類活動所產生的地震又稱為“誘發地震”(Induced Earthquakes)。

人類工程活動改變了地殼表面的壓力分佈，產生了“誘發地震”。水庫地震例子不少，如中國廣東省新豐江水庫 6.2 級地震(1962 年)、印度柯依納水庫 6.5 級地震(1967 年)、非洲贊比亞卡里巴水庫 6.1 級地震(1963 年)等等。香港天文台地震網絡亦不時錄到新豐江水庫附近(在香港東北方約 180 公里)發生的中小等級地震。

分析地震圖可判別自然和人工地震。一般來說，人工地震的震源深度較淺，較多機會出現地震面波(Surface Waves)。

3 地震波的傳播

當地球內部發生振動時，產生的能量便會以地震波的形式向各方向傳播。地震波可分為體波(Body Waves)及面波(Surface Waves)兩大類：

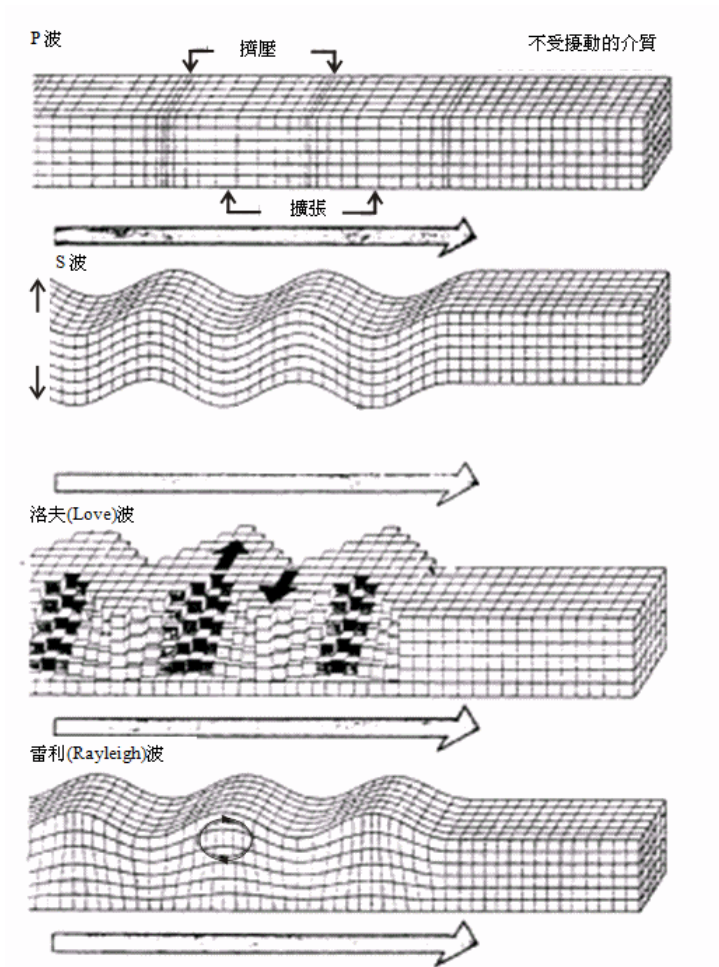
3.1 地震波分類

(a) 體波 — 在地球內部傳播並包含縱波及橫波。

(i) 縱波(或稱 P 波, Compression Waves): 地球粒子沿著地震波的傳播方向振動(見圖四)。

(ii) 橫波(或稱 S 波, Shear Waves): 地球粒子的振動方向與地震波傳播方向成垂直角(見圖四)。

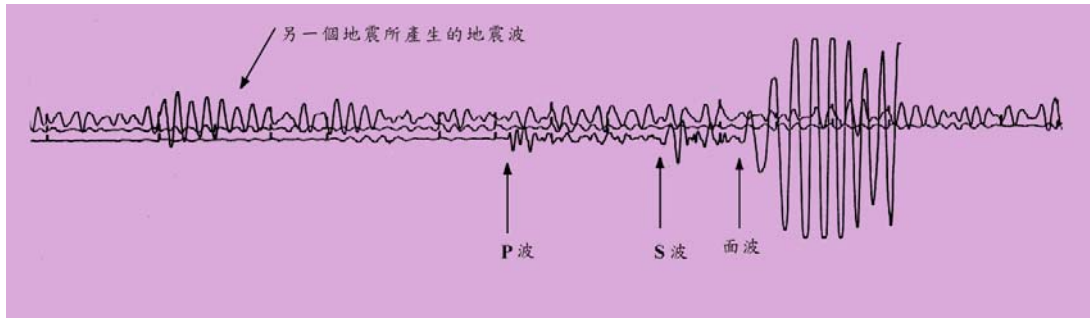
(b) 面波 — 在地殼表面傳播。若地震發生在淺層中，面波傳播的能量較大，傳播距離較遠。面波主要包含雷利波(Rayleigh Waves)及勒夫波(Love Waves) [見圖四]，雷利波類似海面上傳播的重力波(即海波)，粒子在波的前進面內作逆進橢圓運動。勒夫波的特點是粒子僅在水平方向運動。



圖四：P波、S波及面波的不同運動模式

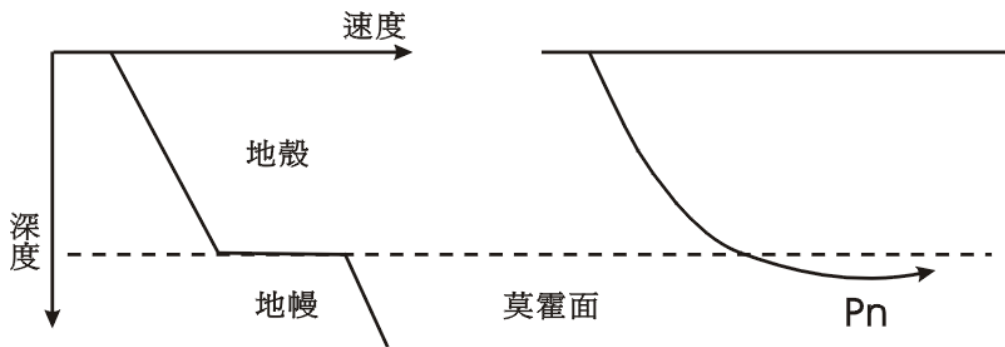
3.2 地震波傳播特性

一般來說，P波的速度較快(5-7 公里/秒)，之後為 S 波(3-4 公里/秒)及面波(2-3 公里/秒)。面波的波長及振幅最大，之後為 P 波及 S 波。所以從地震圖來看，典型的例子顯示 P 波到達地震站的時間最快，隨之是 S 波，面波到達時的震幅最大(見圖五)。分析中得知(S-P)的時間，可推斷地震站與地震震中的距離。事實上視乎地震的距離和深度，到達地震站的地震波會有不同的震相(Seismic Phases)。以下列舉不同地震震源地震站可測量的地震波震相：



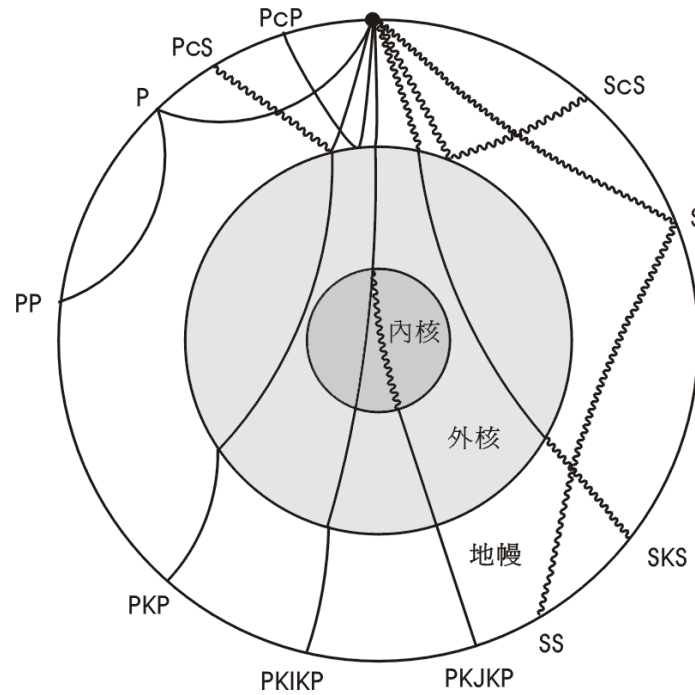
圖五：地震圖顯示不同地震波的到達時間

(a) 近震(<1000 公里)：P、S[直達波]和 P_n 、 S_n [地殼下層的繞射波] (見圖六)。



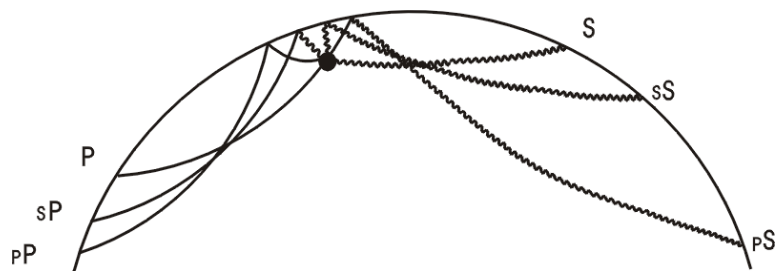
圖六： P_n 波的傳播路徑

(b) 遠震(約 1000-11660 公里)：P、S[直達波]，PP、SS[地面反射波]， P_cP 、 P_cS 、 S_cS [地核外界面反射波](見圖七)。



圖七：淺震產生不同的地震波及其傳播路徑

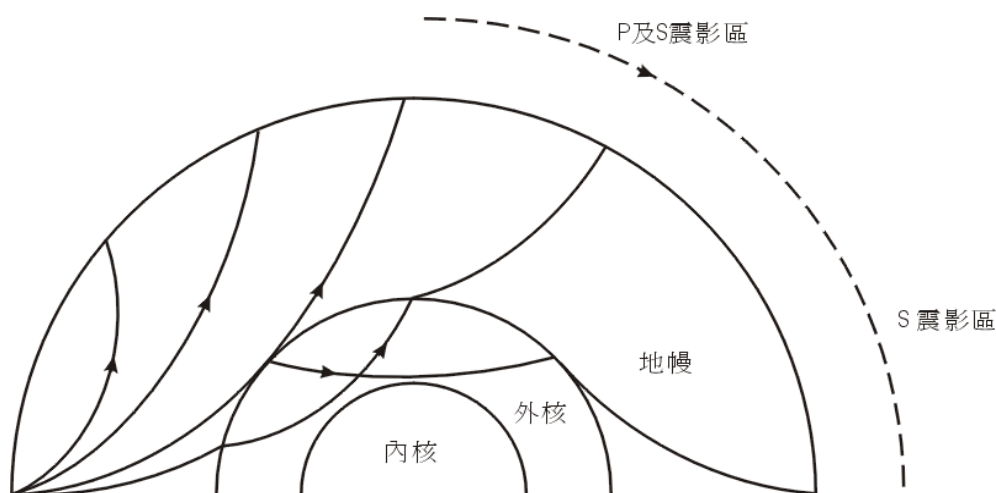
(c) 深震(>300 公里)： sP 、 sS 、 pS , 小寫的 p、s 表示離開震的波如 pS [地面由 P 波反射轉換為 S 波](見圖八)。



圖八：深震產生不同的地震波及其傳播路徑

(d) 極遠震(約 11,000-16,000 公里)：PKP、PKIKP、SKS、PKJKP 波等等(見圖七)。K 指地球外核，I 指地球內核為 P 波，J 指地球內核為 S 波，PKIKP 波指地幔 P 波進入外核，穿過內核後再進入外核，返回地幔的 P 波。SKS 波指 S 波在外核轉換成 P 波，返回地幔為 S 波。

要注意是由於地球外核為液態，故 S 波不能穿過外核。此外，地震波在不同深度的速度變化及外核對地震波產生折射作用，都會使地殼表面某些地區未能直接收到 P 波或 S 波，這區域稱為震影區(Shadow Zone)[見圖九]。



圖九：P 波及 S 波的震影區

地震波在傳播時受地球內部影響而產生衰減(Attenuate)，P 波和 S 波衰減時其振幅的減少與其相距震源(r)的距離成反比(Decays as r^{-1})。面波振幅的減少與其相距震源的距離的平方根成反比(Decays as $r^{-1/2}$)，故此面波振幅的衰減程度較為輕微，而 S 波受衰減的程度比 P 波為大。

4 地震的震級和烈度

4.1 地震震級

地震的強度可用地震震級(magnitude)，即地震發生後所釋放的能量來表示，震級是由地震儀所紀錄到地殼運動的振幅及週期來計算，並慣用黎克特制(Richter Scale)來顯示。黎克特制地震震級是在 1935 年由美國地震學家黎克特(Charles Francis Richter)和古騰堡(Beno Gutenberg)共同制定，目的是區分當時在加州地區發生大小不一的地震。震級利用了地震儀(Wood-Anderson seismometer)的紀錄，將 0 級地震定為地震震中在 100 公里外地震儀錄得 1 微米的震幅(若震幅為 10^3 微米震級則

為 3 級)。黎克特制沒有規定上限或下限，精密的地震儀亦可紀錄負級數的地震，由於黎克特制是以 10 為底數，震級每增加一級表示能量增加 32 倍。表二顯示不同地震震級釋放的能量相當於約多少量的炸藥 (TNT)*。

表二：不同地震震級釋放的能量

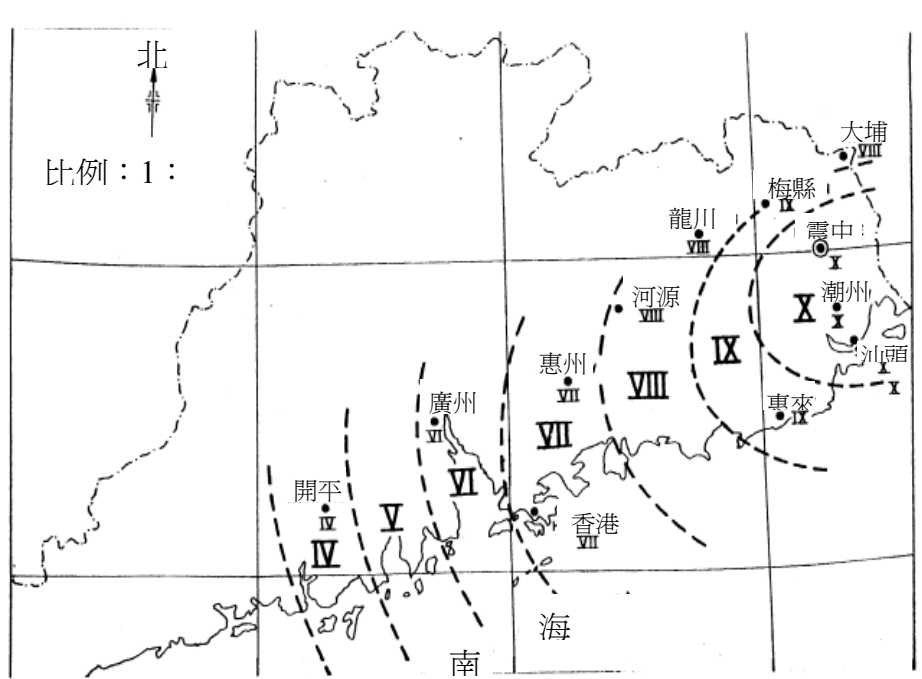
黎克特制震級	大致相應的 TNT 量 (噸)	例子
1.0	0.48×10^{-3}	建築爆破
2.0	0.15×10^{-1}	二戰期間常規炸彈
3.0	0.48×10^0	大型燃料空氣炸彈
4.0	0.15×10^2	小型原子彈
5.0	0.48×10^3	投放在日本長崎的原子彈
6.0	0.15×10^5	--
7.0	0.48×10^6	目前最大型的原子彈
8.0	0.15×10^8	--
9.0	0.48×10^9	2004 年印度洋大地震

*TNT：Trinitrotoluene

4.2 地震的烈度

地震烈度是表示某地點受地震影響的程度。地震烈度由地震對個人、家具、房屋、地質結構等所產生的影響來斷定。每次地震的震級數值只有一個，但烈度則視乎該地點與震中的距離、震源的深度、震源與該地點之間和該地點本身的土壤結構，以及造成地震的斷層運動種類等因素而決定。

早在 16 世紀，意大利人嘗試制定地震烈度來描述某地方受地震的破壞程度。現時香港採用的烈度表是「修訂麥加利地震烈度表」(Modified Mercalli Scale)，並將地震的影響分為 12 度，由第 I 度(感覺不到)到第 XII 度(全面損毀)。第 V 度以上室外有感，第 VII 度開始表示有輕微建築物破壞。詳細資料可見附件一。圖十顯示 1918 年汕頭 7.3 級地震的等震線圖(Isoseismals)，該次事件香港的地震烈度為 VI 至 VII 度。



圖十：廣東汕頭於 1918 年發生的 7.3 級地震的等震線圖
烈度以修訂麥加利地震烈度表表示(據 Lau, 1977)

5 地震的監測

監測地震的基本資料包括發震時間(Origin Time)、地震的震中(Epicentre)、震源深度(Focal Depth)和地震震級(Magnitude)。進深一步的地震參數包括地震矩(Seismic Moment)和地震斷層(Fault Plane)的錯動方向。

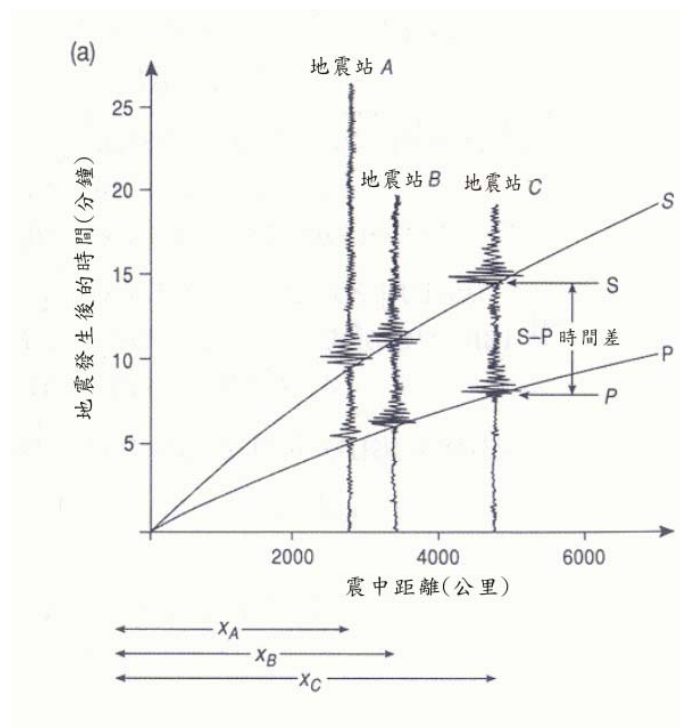
5.1 震中的測定

計算地震震中可有多種方法，例如繪圖法(Circle Method)、剩餘法(Residual Method)、單台地震站判斷法(Single Station Determination)等。在此只介紹較簡單的三角測量法。這方法是假設有三個地震站錄到地震 P 波及 S 波，以致得知兩者到達時間的差異分別 t_1 、 t_2 及 t_3 ，簡單代數可計算地震震中距離三個地震站分別為：

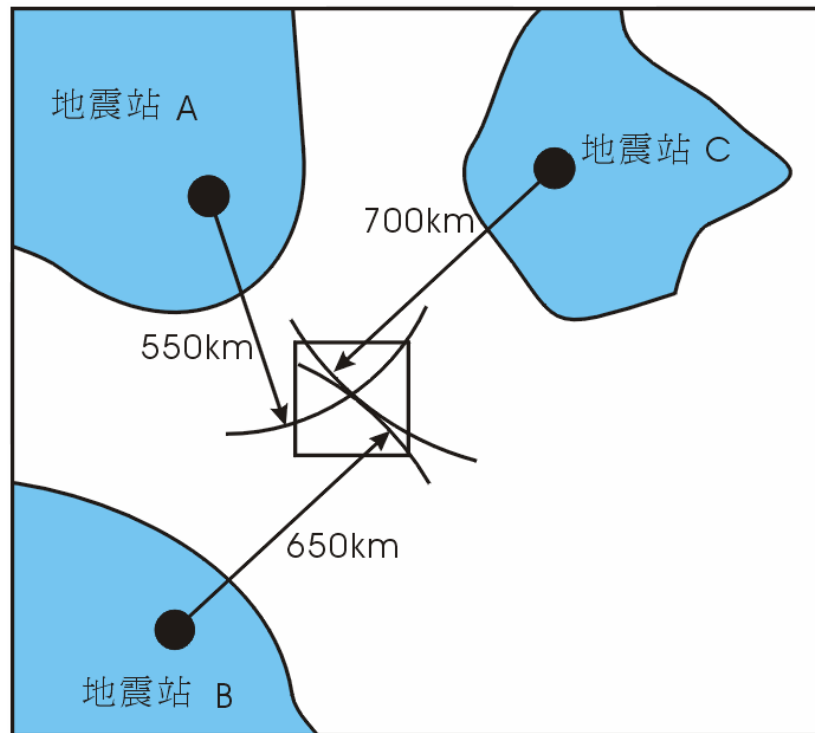
$$\frac{V_p V_s t_1}{V_p - V_s}、\frac{V_p V_s t_2}{V_p - V_s} \text{ 和 } \frac{V_p V_s t_3}{V_p - V_s}$$

V_p ：P 波速度； V_s ：S 波速度

利用三角幾何方法可計算震中位置(見圖十一和圖十二)。



圖十一：不同地震站所測量的 P 波及 S 波到達時間



圖十二：利用三角測量法計算地震震中位置

5.2 地震強度的測定

計算地震震級主要根據地震波的振幅，皆因地震波的振幅在扣除傳播時的衰減後是反映地震的強度，訂定震級可根據以下的一般公式：

$$M = \log\left(\frac{A}{T}\right) + F(h, \Delta) + C$$

A：振幅

T：地震波主要週期

F：振幅修正因數[受震源深度(h)及地震站與震中距離(Δ)所影響]

C：地區性的定標因數

運作上，地震中心根據許多地震資料制定有關經驗公式來計算震級。此外要留意有不同地震震級，如 M_L (L：Local)、 M_b 、 M_s 和 M_w

等。 M_L 是近震/地方性震級，根據黎克特在1935年利用Wood-Anderson地震儀所制定，主要針對南加州的地震，適用於震中距離約600公里以下。1945年古登堡提出了 M_b (體波震級)和 M_s (面波震級)，兩者皆適用於遠震震級。但若地震震級增大($M_b > 6.0-6.5$ ， $M_s > 8.0-8.5$)便會出現飽和現象(Saturation effect)，表示更大的地震也不會計算出更高震級。1979年，地震學家Hiroo Kanamori提出地震矩震級(M_w)，這與地震震源的物理過程有直接關係，不會飽和。數學上 M_w 可表達成

$$M_w = \frac{2}{3} \log M_0 - 6.06, \quad M_0 \text{ 為地震矩(以牛頓·米為單位)}$$

$$M_0 = \mu A d \quad \mu: \text{剪切模量 (Shear modulus or rigidity)}$$

A: 斷層面面積

d: 平均位錯

表三顯示不同震級標準計算得出的地震震級可有多大的差別。

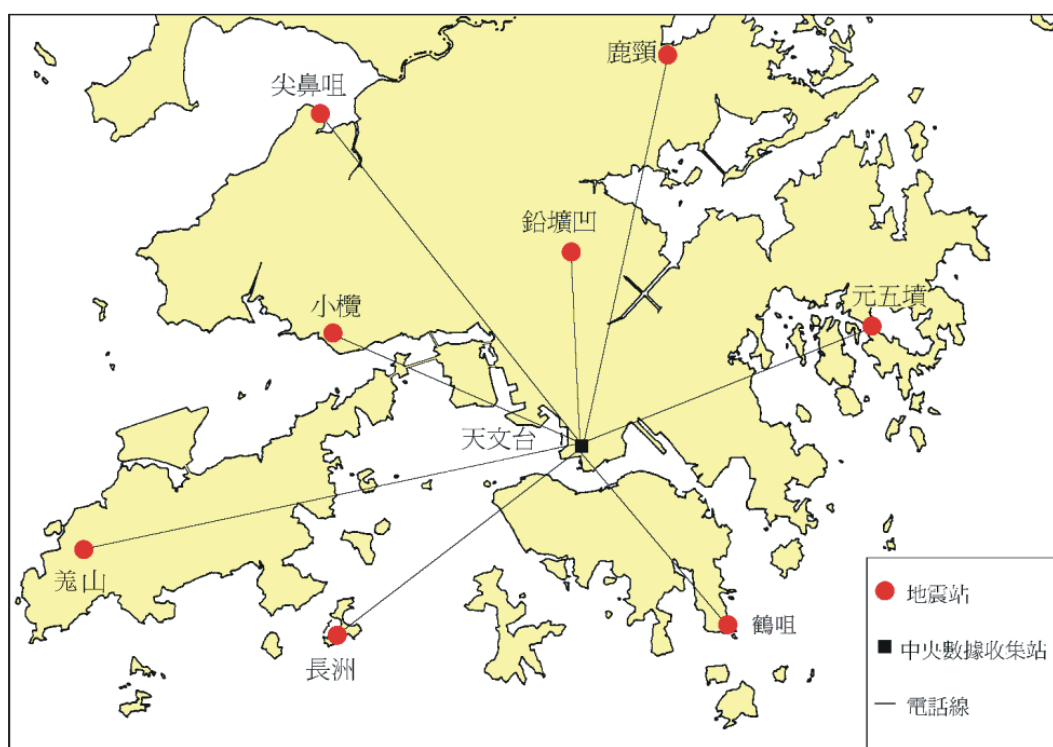
表三：一些大地震的震源參數

時間 (年)	地震	體波震級 (m_b)	面波震級 (M_s)	斷層面面積 (km^2)	平均位錯 (m)	地震矩 (N.m)	矩震級 (M_w)
1966	特魯基 (Truckee)	5.4	5.9	10×10	0.3	8.3×10^{17}	5.9
1971	聖費爾南多 (San Fernando)	6.2	6.6	20×14	1.4	1.2×10^{19}	6.7
1989	洛馬普列塔 (Loma Prieta)	6.2	7.1	40×15	1.7	3.0×10^{19}	6.9
1906	舊金山 (San Francisco)	-	7.8	450×10	4	5.4×10^{20}	7.8
1964	阿拉斯加 (Alaska)	6.2	8.4	500×300	7	5.2×10^{22}	9.1
1960	智利 (Chile)	-	8.3	800×200	21	2.4×10^{23}	9.5

資料來源：Geller (1976), Wallace *et al.* (1991), and Wald *et al.* (1993)

5.3 香港天文台地震監測

香港天文台監測地震有一段頗長的歷史。早在 1921 年，天文台在其尖沙咀總部安裝了長週期地震儀(儀器對週期 15 秒的震動最為敏感)來監測遠震。1979 年天文台建立了短週期地震網絡，使用的地震儀對週期一秒左右的震動最敏感，適合監測附近包括香港境內及鄰近地區的地震。站網初時有 3 個，位於元五墳、長洲和尖鼻咀。1997 年，天文台與土力工程處合作，增添了鶴咀、鉛礦凹、鹿頸、小欖和羗山地震站，站網擴大至 8 個站(見圖十三)。站網採用了新地震儀。對週期 0.03 秒至 1 秒的震動最為靈敏，可測量振幅小至 1 納米的地殼振動。



圖十三：香港天文台短週期地震監測網絡

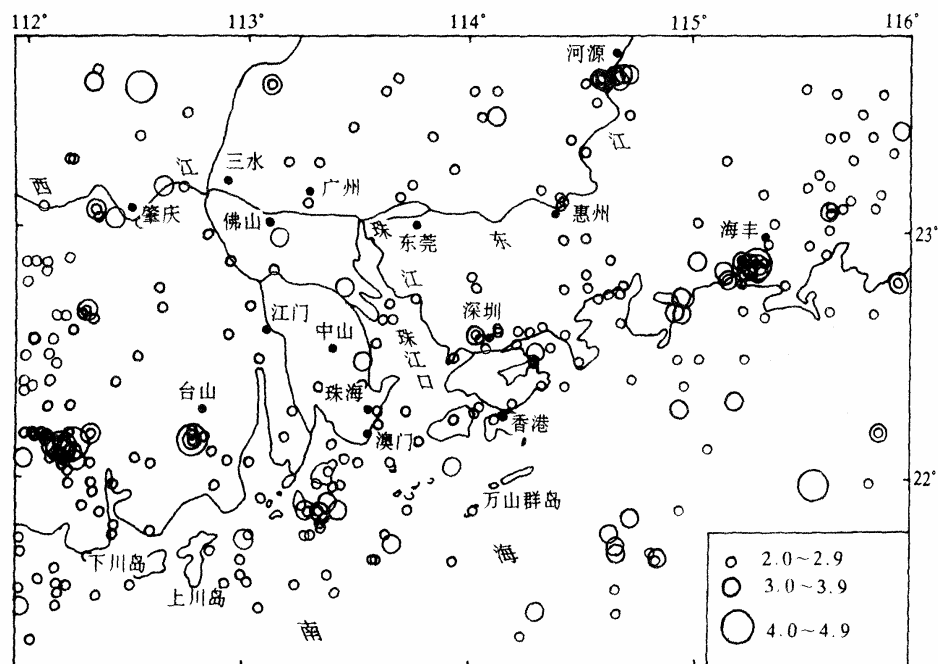
6 地震預報

全球每年發生 5 千萬個儀器可量度的地震，其中約千分之一，即約 5 萬個為有感地震。要準確預報地震包括時間、地點和強度在現時

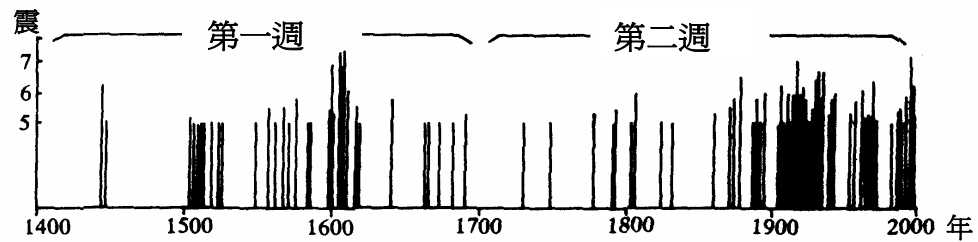
科學水平上是十分困難。儘管如此，過往在地震預報上有成功的例子，近幾十年在地震預報科學工作上也有明顯的發展。地震預報的方法很多，概括可分為測震學及前兆觀測兩類。

6.1 測震學

測震學是用過去地震活動時間、空間及強度的變化來預報地震（見圖十四和圖十五）。一次大震的孕育過程與地震活動帶上大範圍的構造應力增強、孕震區附近的介質和地殼結構的變化等有密切關係。這些變化通常會在地震活動性上反映出來，如地震空間分佈、震級時間序列、震源參數及介質參數等。通過對某地區於一定時間內在地震活動性上出現的信息進行綜合研究和統計分析，可對這地區的未來地震進行預報。



圖十四：珠江三角洲地區地震分佈圖（1970年1月至1997年4月）
（據丁原章，1998）



圖十五：華南地區地震時間序列圖(據任鎮寰，1998)

6.2 前兆觀測

地震前兆(Earthquake precursor)是指地震發生前出現與地震孕育過程有關的地球物理、地球化學以及聲、光、電、磁和動植物異常等現象的總稱。按時間尺度，前兆可分為長期、中期、短期及臨震前兆。常用的前兆觀測方法，可分類為下列三大學科：

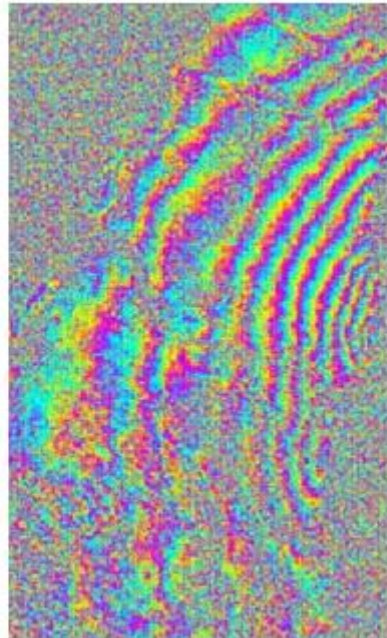
6.2.1 地殼形變

地殼形變(Crustal deformation)不僅是地球構造學及大地測量學等的重要內容，而且還可以為地震成因和預報研究提供有價值的資料。地殼形變指地殼廣大地面形態的變化。大地震時，通常會發生較大的地殼變形，其地面形態表現為上升、下降、錯動、裂縫等。地殼形變常用地面上一些點的位置變化來說明，可分為垂直形變、水平形變、地傾斜和海洋面變化等。

地殼形變是不斷地在進行，不易為人察覺，只有用精密的儀器才能測出。在從未發生過大地震的地方，地面形態變化程度微小，速度很慢。至於曾經發生過大地震的地方，在地震活動平靜期，地殼呈一定規律的變化，而在大地震發生前的一段時間內，震中區通常會出現形變異常，如速度加快或減慢、變化方向發生突變等。在 1966 年的邢台大地震前，震中區地面垂直方向的變化僅為每年 10 毫米。但在大震前夕，變化竟達 110 毫米。

近十多年隨著全球定位系統(Global Positioning System, GPS)的建立，使大地測量工作更為方便。利用 GPS 測量技術，可更準確地量度地球上某一點的位置，誤差低至 1 厘米或以下。長時間的 GPS 數據，可計算地球上兩處相距幾千公里的地點，它們之間的相對移動速度，準確度可低至每年數毫米或以下。現時全球已建立了不少 GPS 站來監測地殼形變並用在地震預報方面作為前兆監測的手段。一次大地震發生的前後，利用 GPS 數據可計算出斷層的移動幅度。

此外，近年亦嘗試應用「合成孔徑雷達干涉」(Synthetic Aperture Radar Interferometry, InSAR)技術在地殼形變的研究上。合成孔徑方法利用衛星所拍攝的高解像度雷達影像來分析地殼的移動情況，結果以差分干涉圖像來顯示(見圖十六)，並可提供廣闊地區的地殼形變資料，覆蓋範圍大而且地形變分解度高(數十米)，這較 GPS 站的分解度更為密集。但此技術受天氣因素及地面上植被的生長(Vegetation growth)所影響。



圖十六：利用 InSAR 技術所得出的差分干涉圖像來分析地殼形變
(據謝嘉聲，2002)

6.2.2 地下流體

地下流體泛指地下水、氣及油等。地下流體的物理及化學性質變化與地震過程有一定的相關。較普遍的測量途徑包括地下水位、水流量、水溫、水電導、水氡(Water Radon)、水化學 (Ca、SO₄ 離子含量)、土壤氣及斷層氣等。在 1975 年中國的海城地震也測到有地下流體如水氡變化的情況。一般來說，地下流體的異常多用於臨震預報。它的缺點是不能清楚分辨不同震中距所造成的異常，故不能準確預報地點。另外，地下流體亦不能有效指出震級的大小。

6.2.3 磁電

經長期不斷的觀察，證實地磁要素：磁偏角(Magnetic declination)、磁傾角(Magnetic inclination)、磁場強度(Magnetic intensity)都隨時間作有規律變化。引起變化的原因很多，有經常性，也有偶發性的。火山和地殼岩石斷層活動，都會引起地磁的變化。但要注意的是，地殼活動所產生的地磁變化沒有火山活動那麼明顯。另外，由高空電離層和天氣的突然變化，如雨季雷擊，均能引起地磁發生變化。所以不能一有地磁的異常變化，就認為是地震的前兆。

地電(Earth electricity)觀測途徑是地電阻率(Earth resistivity)、地電位(Earth potential) 和地電流(Earth current)。地震孕育過程中，由於受地殼與斷層運動、孕震區膨脹、地下水滲透、壓電效應等因素影響，使孕震區附近岩和礦石的電學性質產生變化。通過長期連續觀測，就有可能發現這些變化的信息，為地震預報服務。

6.2.4 綜合預報

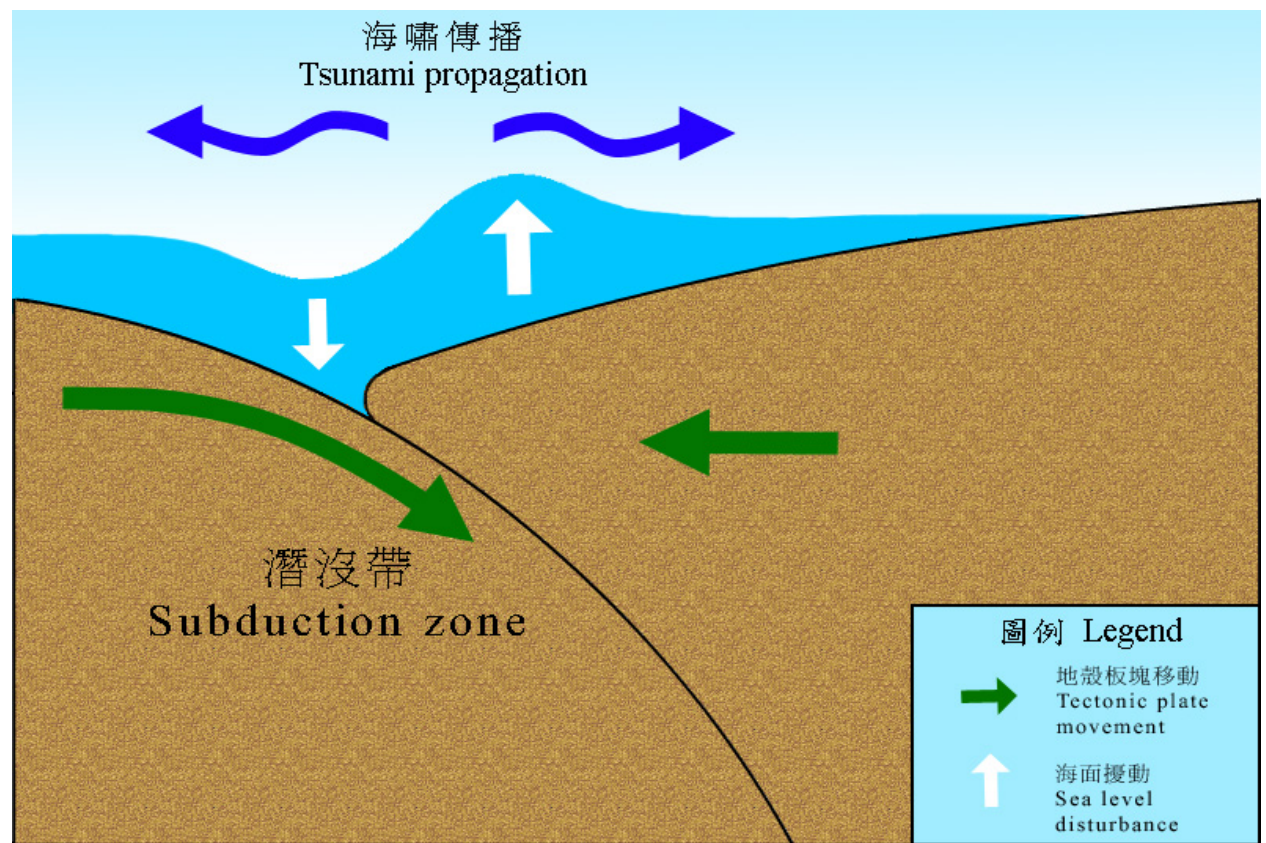
其實除了上述所提及的方法外，還有很多其它的前兆觀測途徑可應用於預報上如重力 (Gravity)、地應力 (Earth stress) 等。地震的預報方法雖多，但每種方法的成效仍存在爭議。至今還沒有一種方法能獨自可靠地預測地震。在實際的業務運作上，一般都是結合測震及各類前兆觀測的資料作綜合分析，務求增加預報的可靠性。

II 海嘯基礎知識

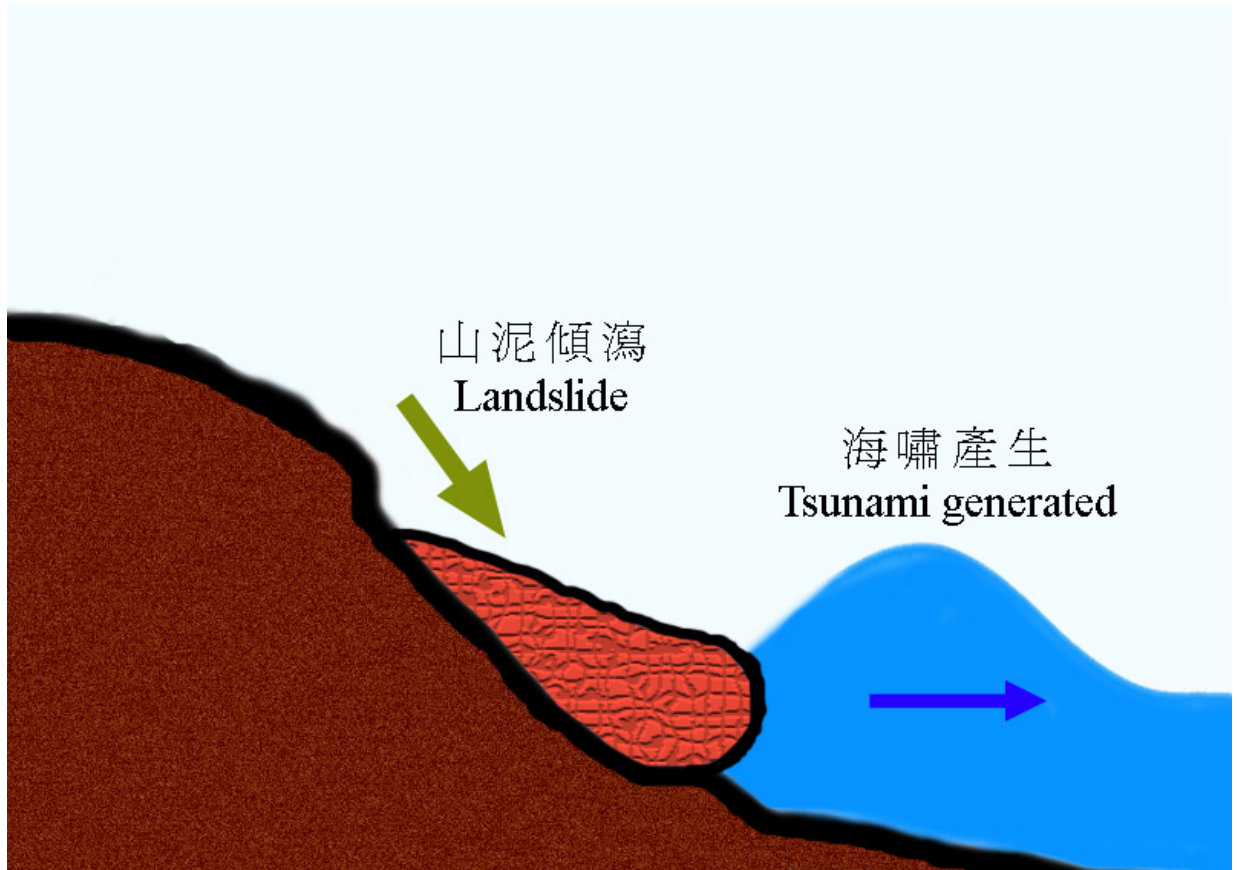
1 海嘯的成因

“Tsunami”一詞源於日語“津波”，表示“海港內的波浪”，國際上在1963年已採納這名稱來描述此自然現象。

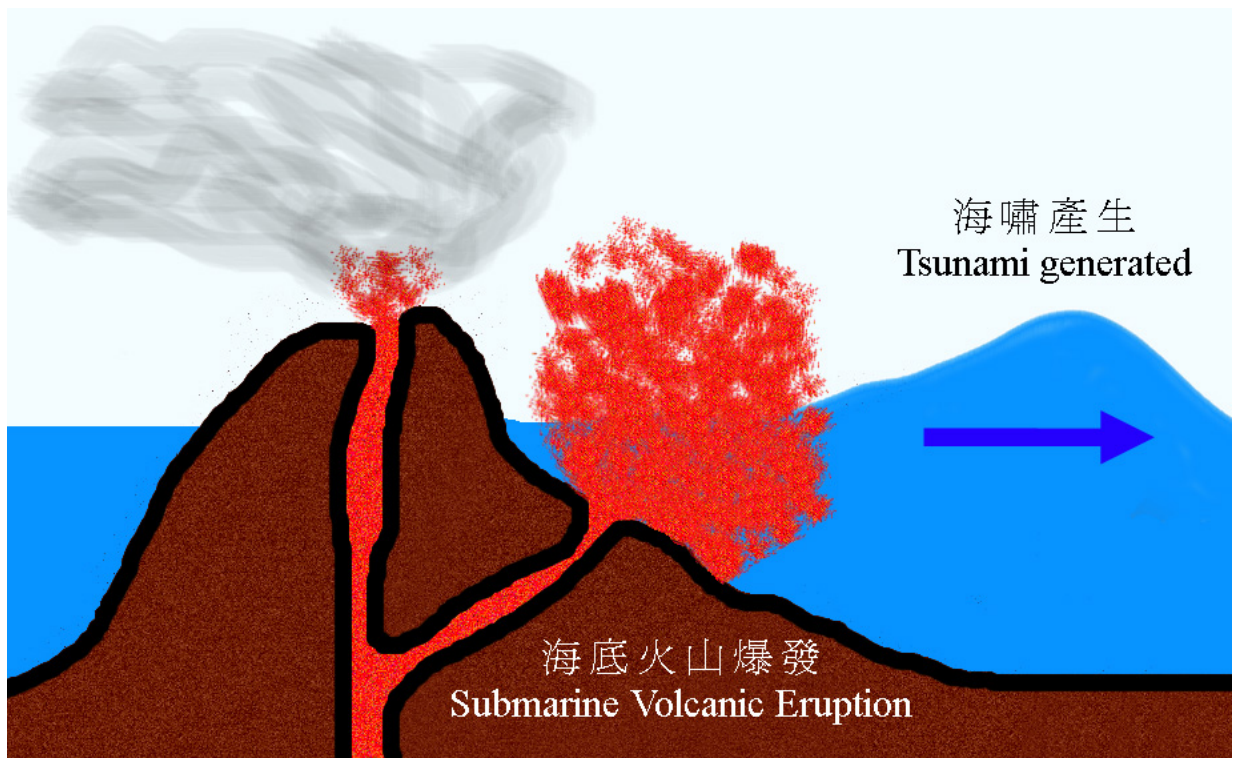
海嘯是因海水產生劇烈的變動而引發的一系列波浪，這可由海底地震、巨大的山泥傾瀉、海底火山爆發和流星的撞擊而引發(見圖十六、十七和十八)。



圖十六：海底地震產生海嘯示意圖



圖十七 近岸地區發生山泥傾瀉而產生海嘯示意圖



圖十八 海底火山爆發產生海嘯示意圖

海嘯可以在全球的海洋、內陸的海區和龐大儲水量的地方內產生。百分之 90 以上的海嘯都是由地震所引發，大部分海嘯發生在太平洋內，因太平洋佔了全球面積超過三分之一，而它被環太平洋地震帶所圍繞。

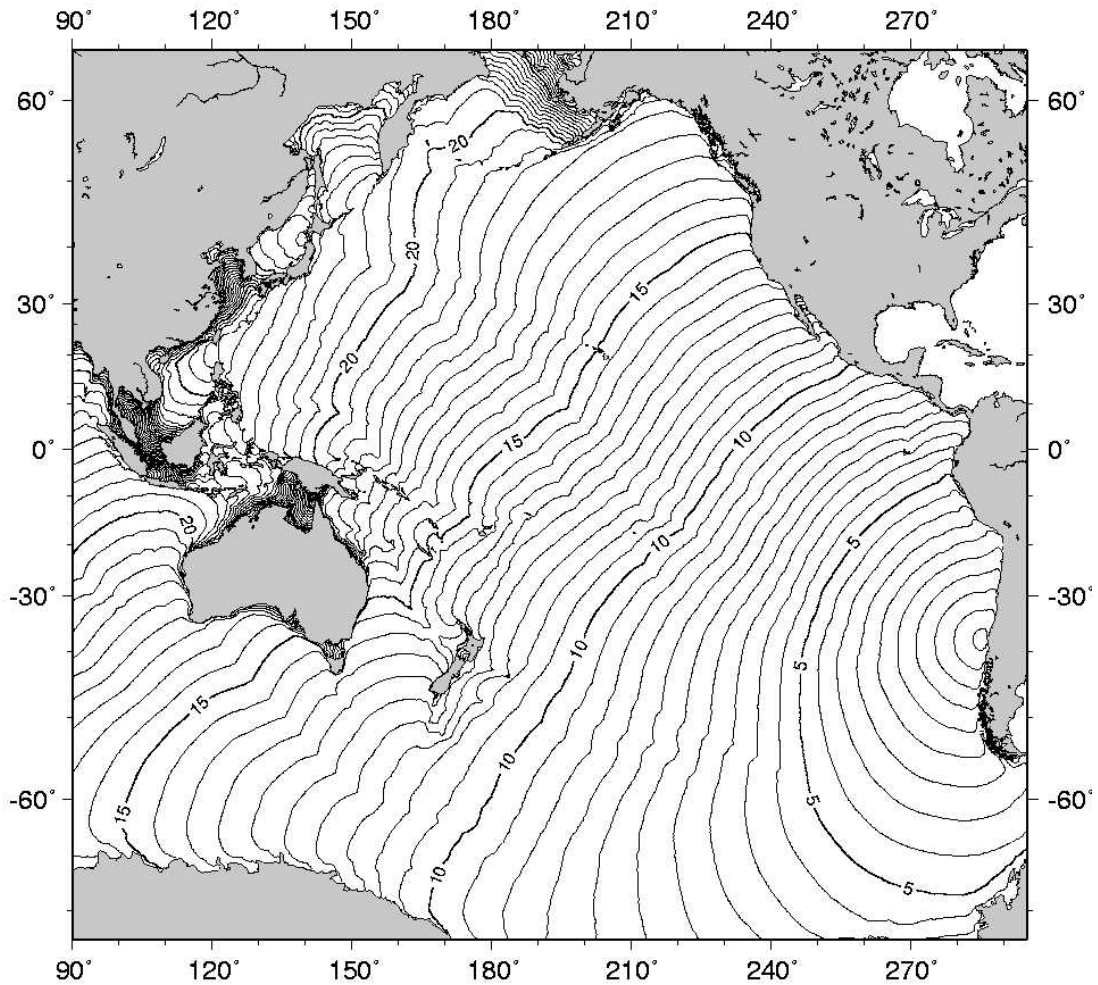
1901 至 2000 這一百年內曾有約 1000 宗已被觀測或紀錄的海嘯。在這些海嘯事件中，約 140 宗帶來人命傷亡或破壞。

大部分海嘯是局部性或地區性，表示影響範圍離產生海嘯的地點分別少於幾百公里和在一千公里以下。平均每十至十五年，太平洋上會產生大地震而引發影響整個太平洋的海嘯。例如在 1960 年智利發生的 9.5 級大地震使日本和夏威夷亦遭受人命及財產的損失。

2 海嘯的特性

海嘯波的特性包括長週期及長波段。一般海嘯的波長為數百公里而週期為十分鐘至一小時。這與受海風所產生的波浪不同，波浪的波段為數百米而週期為五至二十秒。

太平洋的水深平均在 6 公里左右，遠少於海嘯的波長。因此海嘯波類似一些淺水波，其傳播速度與水深的平方根成正比。在 6 公里的水深中，海嘯的速度可達每小時 870 公里，這與一架噴射客機的速度差不多。當海嘯移近海岸，水深下降而使海嘯減慢了速度。在 20 米的水深中，海嘯的速度為每小時 50 公里左右，類似一輛行駛中汽車的速度。1960 年的智利大地震所產生的海嘯波在一日之內已可向西傳到日本東岸(見圖十九)。



圖十九：1960 年智利大地震產生海嘯波的走時圖

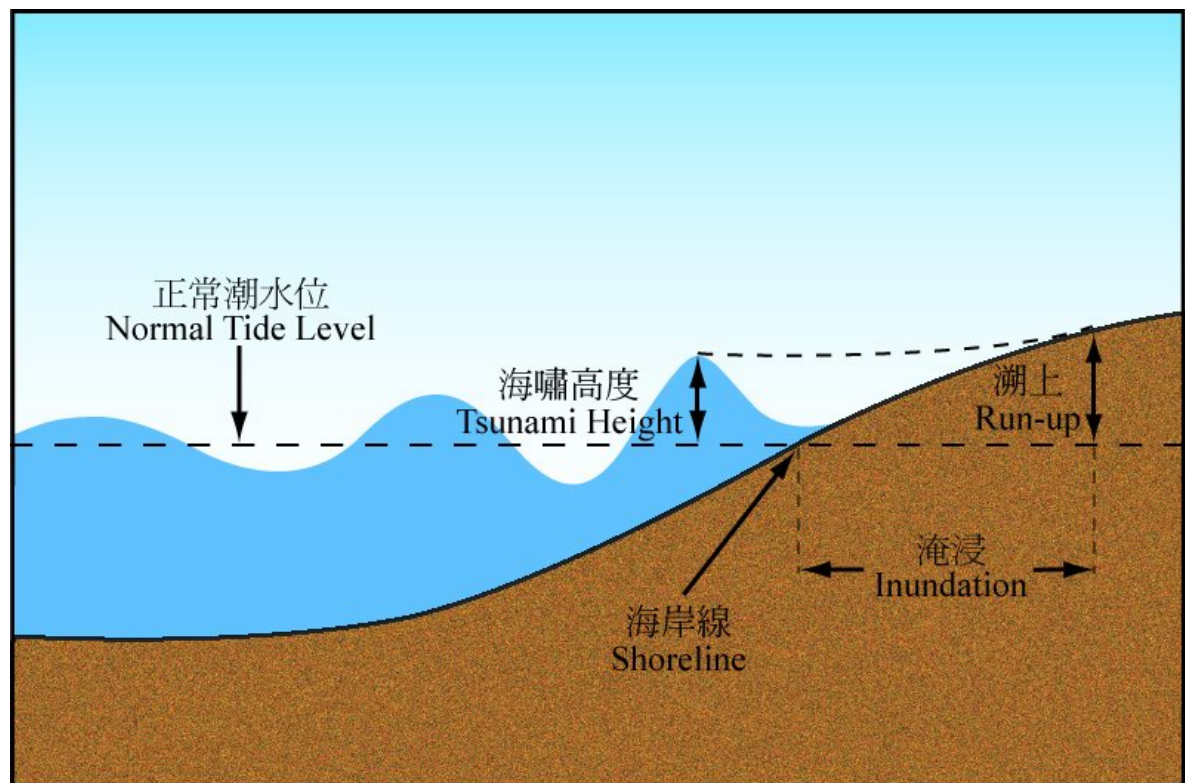
在水深的海洋內，海嘯的高度約在 1 米或以下。海嘯傳播時只引起海面少許上升和下降，這變化不容易被船隻所察覺。

當海嘯移近海岸及減慢速度時，從後趕上的海嘯波會推高前面的海嘯波，使海嘯靠近海岸時形成一系列巨大的海波，其高度可達數十米。第一個海嘯波可能不是最高的，海嘯波衝上岸時的高度受海床海岸線的形狀及海嘯的移動方向影響。所以海嘯對海岸各處地方會帶來不同程度的破壞。

3 海嘯帶來的破壞

水浸、海嘯波衝擊沿岸結構及侵蝕作用是海嘯帶來的主要破壞。強水流可引致建築物倒塌及地基受到侵蝕，海水的浮力和拉力更可移動房屋和汽車，飄浮中的瓦礫所引起的撞擊是十分危險的，海嘯退卻中亦通常侵蝕海岸線。

評估沿岸地區受海嘯波影響的程度可量度海嘯溯上(Run-up)的高度(見圖二十)。海嘯溯上指海水沖上岸後所達到的高度，這與海嘯波高度不同，後者是指海水超過正常潮水位的高度。海嘯波到達海岸內陸的最長水平距離稱為淹浸(Inundation)。



圖二十：海嘯靠岸時所帶來的溯上及淹浸的示意圖

溯上高度是受到海岸的斜度及其他土地表面的特質影響。一般來說，迎向著海嘯波前進方向的海灘及淺灣岸邊會產生最大的溯上。量度溯上高度可觀測海嘯波退卻後岸上植物受鹹水損毀或瓦礫聚集地點與海岸的距離。

4 海嘯監測和預報

海嘯的監測較地震的為困難，皆因不是每次發生海底大地震後都會產生海嘯。以地殼運動為例，產生海嘯最主要因素關乎板塊有沒有發生垂直方向的移動。由於大部分海嘯由海底地震產生，監測地震成為監測海嘯的最早可行方法。

按經驗估計，地震震源深度超過 80 公里較難產生海嘯，若地震屬淺震而強度達 7.7 級或以上，便有機會促發海嘯。要證實有沒有海嘯的形成或形成後的高度，需依靠沿岸潮水計或安裝在海底的海嘯測報感應器(Ocean-mounted bottom sea-level sensor)的紀錄，後一種儀器是用來探測深海的海嘯波高度(1 米以下)。

針對某海岸區進行海嘯預報包括兩方面：(1)預測海嘯到達該區的時間和(2)預測海嘯到達該區的高度。到達時間的預測較易掌握，因為海嘯波傳播速度直接受海水深度影響，變化不大。但要預測海嘯高度即非常困難，當中要處理海嘯波靠近岸邊時其高度增大的過程，這涉及物理上的非線性過程(non-linear processes)，這會受很多海岸地形及海嘯波前進方向等因素影響。

方法上海嘯高度預報可參考過往歷史上曾發生的海嘯或使用數值模式。業務運作上兩種方法所得出的預測結果包含頗多不肯定因素，較難應用在實際預測海嘯的工作上，當中部分原因是大地震後的初期分析較難掌握地震的震源機制包括斷層的移動方向及幅度等。

5 香港天文台海嘯監測

香港從未曾因海嘯受到嚴重的破壞，因菲律賓群島及台灣阻隔了太平洋發生的海嘯，使它們不能直達香港。雖然海嘯可透過衍射到達香港，但它們的能量已大大減弱。

香港天文台時刻監察所有由太平洋海嘯警報中心(Pacific Tsunami Warning Centre, PTWC)發出的警告信息，並密切注視本港境內測潮站所錄得的海水水位。若有機會發生海嘯並可能影響香港，香港天文台會向公眾發出海嘯報告或海嘯警告。

自 1950 年代初至今，香港天文台曾 4 次記錄得海嘯引發的輕微水位異常：

日期	震中地點	震級			海嘯高度 [#]
		M _b	M _s	M _w	
5/11/1952	堪察加	--	8.2	9.0	0.15 米
23/5/1960	智利	--	8.6	9.5	0.3 米
4/3/1985	智利	6.7	7.8	7.9	水位有輕微變化
24/6/1988	呂宋海峽	5.4	--	--	0.3 米

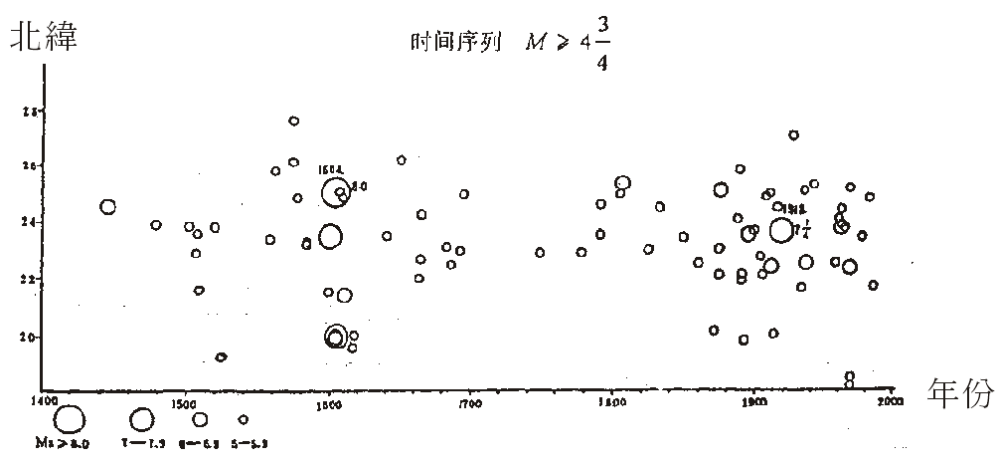
[#]海嘯高度指海水最高水位與正常潮水位的距離

III 歷史大震、海嘯及香港有感地震記錄

1 歷史大地震

1.1 1918 年汕頭地震

1918 年 2 月 13 日發生的 7.3 級地震是廣東省內近百年來最大的地震(見圖二十一)，地震深度約 23 公里，產生最大烈度為 X 度。據記載在汕頭死傷約千人，濱海馬路裂一大縫，長約百丈，噴熱水。這次地震是香港上世紀產生烈度最高(VI-VII 度)的地震，當中舊香港會所亦出現裂痕。在評估香港的地震風險中，這地震佔了較大比重。



圖二十一：中國東南沿海地震帶時間序列圖 (據李焯芬，1996)

1.2 1975 年海城地震

1975 年 2 月 4 日發生在遼寧海城的 7.3 級地震，被認為是人類歷史上第一次成功預報一個 7 級以上的地震。事件中，在地震前兩個半小時及時將超過 1 百萬的居民疏散。在這次大地震發生前，有很多前兆可尋，例如在斷層附近地面異常升高、傾斜的改變速率急劇增加、井水與潮汐站的水位上升及當地微震增加等。

1.3 1976 年唐山地震

1976 年 7 月 28 日零晨 3 時 42 分發生的 7.8 級地震震驚中外，地震深度 22 公里(淺震)，帶來約 24 萬人死亡。唐山地區位於河北省的東北角上，南接華北平原，東臨渤海。唐山地震的特點是沒有先兆現象，相比 1975 年的海城 7.3 級地震完全不同，對所謂「小震鬧、大震到」(指大震前一兩天內的小震為先兆現象)的規律全不適用。這對地震預報工作作了一大打擊。

1.4 1995 年日本神戶地震

1995 年 1 月 17 日在神戶發生的 7.2 級地震做成超過 5000 人死亡，是日本繼 1923 年在關東發生的 7.2 級大地震以來引起最多傷亡的地震。地震深度約 10 公里(屬淺震)，而震中距離神戶市區只有約十公里，所以做成很大破壞。神戶市中心食水、電力及煤氣供應中斷，通訊和交通癱瘓，超過 200 多處地方發生火警。沿岸的填海區及附近由沙質土壤組成的地區產生液化作用，使地下土壤像泉水般噴湧上地面，大大破壞了沿岸房屋和海港設施。

2 歷史大海嘯

2.1 1946 年阿留申群島海嘯

1946 年 4 月 1 日太平洋地震帶以北的阿留申群島發生的 7.8 級地震並促發了這次影響整個太平洋的海嘯。約 35 米高的海嘯波摧毀了美國海岸衛隊在地震附近的一個燈塔，塔內 5 人全部遇難。因為沒有預警，5 小時後海嘯到達夏威夷，帶來破壞及傷亡(165 人死亡)。由於這次海嘯，1948 年太平洋海嘯警告中心在夏威夷成立。

2.2 1952 年俄羅斯堪察加海嘯

1952 年 11 月 4 日堪察加半島對開太平洋海域發生 8.2 級地震，產生的海嘯影響整個太平洋。堪察加半島海嘯波達 13 米，夏威夷錄得 4.5 米，遠至新西蘭亦錄得約 1 米。這次海嘯亦是香港天文台有儀器記錄以來首次錄得海嘯波高度(約 0.15 米)。

2.3 1960 年智利海嘯

1960 年智利海嘯是由 20 世紀的百年最大地震(9.5 級)所產生，估計 2,300 人在智利因海嘯而死亡。海嘯波橫掃整個太平洋，20 多小時後到達日本並帶來嚴重破壞。香港天文台亦繼 1952 年錄得這次海嘯(海嘯波高度 0.3 米)。

2.4 1883 年印尼海嘯

前車可鑑，這次海嘯可說是 2004 年 12 月 26 日印度洋大海嘯的前一世紀版本。1883 年 8 月 26-27 日印尼喀拉多島(Krakatau)火山爆發，滅絕島上生物並促發海嘯，影響鄰近地區。據文獻記載：「在斯里蘭卡東南岸，海嘯來臨前水退至碼頭，小艇及獨木舟在陸地上達三分鐘，大量蝦和魚在岸上，苦力忙於捉拿，之後海嘯...」

1883 年 8 月 26-27 日，喀拉多島火山分別在當地時間 17:00 (8 月 26 日)、05:28、06:36、09:58 (8 月 27 日)發生四次爆發，第一爆火山灰雲衝上大氣層超過 25 公里高，在巽他海峽(Sunda Strait)產生 1-2 米高海嘯。第三爆摧毀了 500 米高的 Danan 山，第四爆火山完全被撕開，產生約 9×10^9 立方米岩石及巨響，響聲傳至 4800 公里以外地區，當中所產生的大氣振盪波(Shock Wave)環繞地球超過七次，總釋放能量約 2 億噸原子彈。火山爆發在印尼 Merak 產生約 42 米高的海嘯，海嘯波沖入內陸 5 公里，奪去超過 36,000 人生命，海嘯波傳至地球海洋各處，嚴重影響印度洋周邊國家，連新西蘭內陸湖亦受震動。

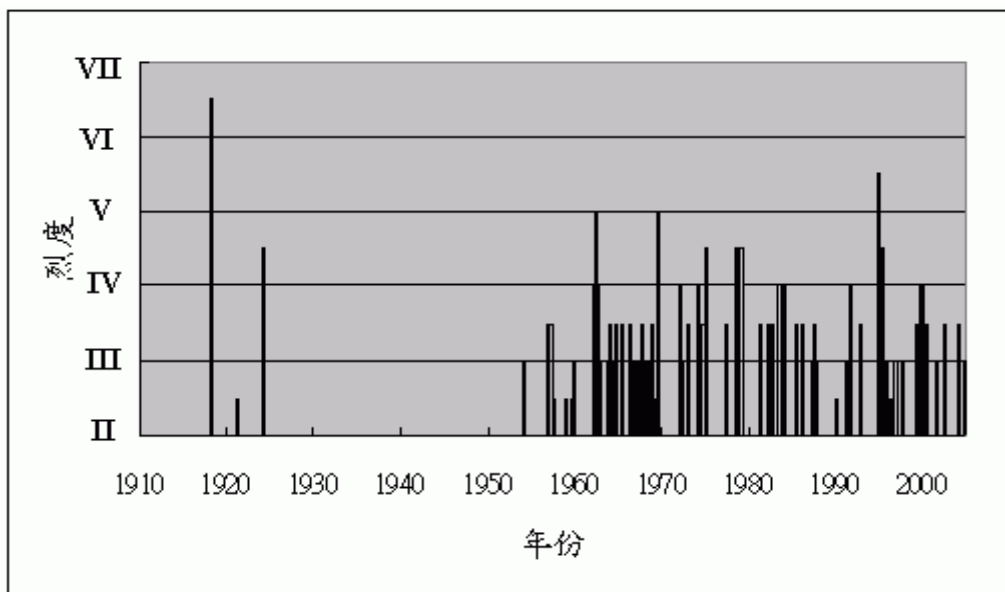
2.5 2004 年印尼海嘯

繼 1883 年印尼大海嘯後 121 年，這次海嘯是由地殼移動所觸發。地震發生在印尼北蘇門答臘西岸對開海域，發震時間為 2004 年 12 月 26 日早上，震級 9.0 而震源深度約 30 公里。地震斷裂層面積為 1000 至 1200 公里(長)×100 公里(闊)，平均位錯約 15 米。地震後產生海嘯波，估計海嘯波最初高約 6 米，海嘯波產生後半小時左右到達印尼班達亞齊(海嘯高度超過 30 米)，1-2 小時到達泰國布吉(海嘯高度 5-6 米)及斯里蘭卡東南岸(海嘯高度超過 10 米)，2-3 小時到達印度東岸(海嘯高度 2-3 米)，而 7-9 小時到達非洲東岸索馬里(海嘯高度約 0.5 米)。

地震及海嘯帶來約 28 萬人死亡，當中超過 30 人為香港市民。有趣的是，在震中以北的小群島如安達曼群島，島上很多居民都在地震發生後立刻逃往山上而避開了海嘯的侵襲，他們學習了祖先的教導，提高了他們面對自然災害時應有的警覺性。

3 香港有感地震紀錄

在 1918—1940 年及 1954—2004 年這 74 年中，香港天文台共記錄了 128 次烈度 II 度或以上(修定麥加利烈度表，下同)的有感地震。圖二十二給出這些地震的發生時間序列。

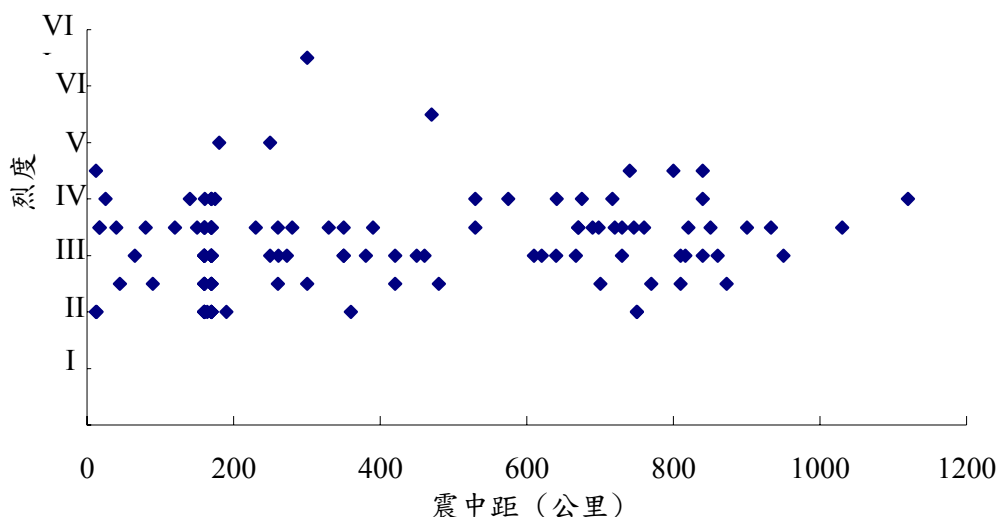


圖二十二：1918-1940 年及 1954-2004 年香港有感地震的發生時間序列

綜合來說，1940 年以前的地震記錄較少，部份原因可能是通訊設施不足，市民未能報告所有感到的地震。在 1961—1970 年這 10 年間，香港地震活動較為活躍，共錄得 40 次地震，其中震中在河源新豐江水庫附近的有 24 次，佔總數百分之 60。這些由水庫所引發的地震，在香港的地震烈度多為 II 至 IV 度。香港在 1971—1980 年共記錄到 18 次地震，其中 12 次地震震中在鄰近環太平洋地震帶的台灣地區和呂宋島附近海域。這 12 次地震的平均震中距為 730 公里左右，烈度多數是 III 度或 IV 度。

1979 年香港天文台建立了香港短週期地震監測網，並在 1982 年 8 月 30 日首次錄得震中在香港境內的地震。這次地震震中在大嶼山東岸，距離香港天文台 17 公里，強度為 1.5 級，烈度為 III 至 IV 度。1981-1990 年香港共有 17 次地震。1991-2000 年香港的地震次數略多，共有 27 次。1994 年 9 月 16 日台灣海峽南部發生 6.5 級地震，香港的地震烈度達 V 至 VI 度。這是 1918 年汕頭地震後，香港錄得最高烈度的地震。

進入 21 世紀，香港地震活動較為平靜，2001-2004 年香港共錄得 5 次有感地震。圖二十三是香港地震烈度和震中距的分佈圖，V 度或以上的地震震中距都在 500 公里以內。



圖二十三：1918-1940 年及 1954-2004 年
香港有感地震烈度和震中距分析

IV 地震及海嘯的預防措施

1 地震安全守則

地震所產生的傷亡多數由建築物倒塌、火災、山泥傾瀉等做成。地震發生時及之後要注意的安全守則如下：

地震發生時：

- i 切勿恐慌，保持鎮定。
- ii 熄滅火種。
- iii 室內的人應留在室內，躲到堅固的傢具下並遠離玻璃或容易墮下的物件。
- iv 戶外的人應遠離建築物、斜坡及架空電線等地方。
- v 行駛中的車輛應在安全的情況下停下，乘客應留在車廂內直至地震停止。
- vi 升降機內的乘客應盡快離開。
- vii 隧道內的人應在安全的情況下離開，並走到空曠的地方。

地震發生後：

- i 檢查傷亡及損毀的情況，如有需要，應尋求協助。
- ii 如懷疑氣體燃料洩漏，應開窗及關掉總掣，離開建築物並向有關方面報告。不要燃點火種。
- iii 若水電設施損毀，應關掉總掣。
- iv 若建築物嚴重損毀，餘震可能使它倒塌，應盡快離開並向有關方面報告。

2 海嘯來臨前的先兆

在沿岸地區感到大地震的震動後幾分鐘可能會出現海嘯。海嘯侵襲前海面水位多會出現快速前進或後退的現象。在大多數情況下，特別是在晚間，海嘯臨近時會發出隆隆聲，彷彿一列行駛中的火車或飛機著陸時所發出的聲音。

海嘯安全守則

- i 如自己身處沙灘而感到地面有強烈震動或發現海水突然退卻，應立刻跑往高地。
- ii 遠離沙灘及沿岸低窪地區。如自己身處該處，應走向高地或穩固建築物的高層。
- iii 停止水上活動。
- iv 在深海的小型船隻應避免駛向沿岸或淺水區。
- v 遵守以上預防措施直至有關官方機構解除海嘯警報為止[#]。

[#]1960年智利海嘯事件中，海嘯影響智利沿岸地方，並持續半天未停，過早回到海岸的居民都被巨浪捲走。

參考文獻

1. Geller, R.J., 1976, Scaling relations for earthquake source parameters and magnitudes, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 66, 1501-23.
2. Gusiakov V.K., 2001, Basic Pacific tsunami catalog and database, 47 BC – 2000 AD, Results of the first stage of the project, ITS 2001 Proceedings, Session 1, Number 1-2, 263-272 [database available at <http://tsun.sccc.ru/htdbpac>].
3. Lau, R., Seismicity of Hong Kong, Hong Kong Observatory Technical Note 33, 1977.
4. Wald, D.J., H. Kanamori, D.V. Helmbeger, and T.H. Heaton, 1993, Source study of the 1906 San Francisco earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 83, 981-1019.
5. Wallace, T.C., A. Velasco, J. Zhang, and T. Lay, 1991, Broadband seismological investigation of the 1989 Loma Prieta earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 81, 1622-46.
6. 丁原章,黃新輝,珠江三角洲地區未來地震危險性預測. 華南地震, 1998, 18, (1) 56-63.
7. 任鎮寰 羅振暖 秦乃崗,華南地震區地震活動基本特徵與地震大形勢再研究, 1998, 18, (1) 40-49.
8. 李焯芬, 等, 香港地區地震危險分析, 1996, 土力工程處報告系列第 65 號.
9. 謝嘉聲, 史天元, 以雷達干涉技術偵測地表變形之研究, 第 21 屆測量學術及應用研討會, 2002, 471-478.

修訂麥加利地震烈度表

- I 度 : 無感。屬於大地震影響範圍邊緣的長週期效應。
- II 度 : 在樓宇上層或合適位置，且在靜止中的人有感。
- III 度 : 室內有感。懸掛的物件擺動。類似小型貨車駛過的振動。持續時間可以估計。未必認為是地震。
- IV 度 : 懸掛的物件擺動。類似大型貨車駛過的振動，震盪感如大鐵球撞牆。停放著的汽車搖動。門，窗，碗碟發出響聲緊靠的玻璃及陶瓷器皿叮噹作響。更甚時，木板牆和框架會發出吱吱聲。
- V 度 : 室外有感。方向可以估計。睡者驚醒。液體激盪，少量溢出容器之外。放置不穩的細小物件會移動或翻倒。門窗自開自合及搖擺。百葉窗及掛畫移動。擺鐘時停時擺或者時快時慢。
- VI 度 : 人人有感。多數人會驚慌出戶外。不易穩步而行。窗戶，碗碟，玻璃器皿碰破。書籍及小擺設從架上掉下。掛畫從牆上跌落。傢具移動或翻倒。不結實的灰泥及 D 類磚石建築出現裂縫。教堂和學校小鐘自鳴。樹木和叢林出現搖擺（看見擺動或者聽到沙沙聲）。
- VII 度 : 站立有困難。汽車司機感到地震。懸掛的物件抖動。傢具破壞。D 類磚石建築出現裂縫及損毀。脆弱的煙囪自屋頂破裂。灰泥，鬆散的磚塊，石片，瓦片，飛簷，孤立的矮牆及建築飾物紛紛墮下。C 類磚石建築出現若干裂縫。池塘揚起波浪。池水混濁有泥。沿沙石堤岸發生輕微山泥傾瀉和塌陷。大鐘自鳴。混凝土製的灌溉渠道受到破壞。

VIII 度 : 行駛中汽車受到影響。C 類磚石建築出現損毀，部份倒塌。若干 B 類建築損毀，A 類建築則不受影響。灰泥掉落，磚牆倒塌。煙囪，工廠煙囪，紀念碑，塔，高架水塔等出現扭曲，甚至倒下。沒有釘牢在地上的木屋會在地基上移動，鬆的牆皮會破落。腐朽的木柱折斷。樹枝脫落。泉井的水流或溫度出現變化。潮濕土地及斜坡出現裂縫。

IX 度 : 大多數人恐慌。D 類磚石建築被摧毀；C 類重大損毀，間中有全面倒塌；B 類亦嚴重損毀。(地基普遍受到破壞)。沒有釘牢在地上的木屋震離地基，木架扯斷。水塘遭受嚴重損毀。地下管道破裂。地面裂縫顯著。沖積土地上有泥沙噴射現象，形成地震泉和沙穴。

X 度 : 大多數磚石建築及木屋均連地基摧毀。若干建造良好的木結構及橋樑亦遭摧毀。水壩，溝渠，堤岸受嚴重損毀。大範圍山泥傾瀉。引水道，河流，湖泊的水激盪拍岸。沙灘及平地上的泥沙作水平移動。鐵軌輕微彎曲。

XI 度 : 鐵軌大幅度彎曲。地下管道完全失去作用。

XII 度 : 破壞幾乎是全面的。巨石移動。地形改變。物件被拋擲至空中。

備註 : A, B, C, D 類磚石建築物

為免含糊，磚、石等建築物的品質分為下列四類 :

(這分類法與慣用的 A, B, C 建築分類法毫無關係)

A 類 : 工藝，灰泥，設計各方面均屬良好；並以鋼筋混凝土等加固，尤其能抵受側面壓力。

B 類 : 工藝，灰泥均屬良好；有加固，但在設計上沒有詳細考慮抵受側面壓力。

C 類 : 工藝及灰泥祇屬一般水平；雖不至於有牆角不銜接一類重大弱點，但卻無加固，更沒有抵抗水平壓力的設計。

D 類 : 用料脆弱，如用土坯；灰泥質劣；工藝不佳；水平承受力弱。