

認識詭異奇妙的海洋

黃煌輝

國立成功大學副校長

國立成功大學水工試驗所所長

國立成功大學水利及海洋工程系教授

中華民國九十六年十二月二十三日





夏威夷海灘美景



米塔颱風在大武沿岸掀起巨浪(96/11/24)

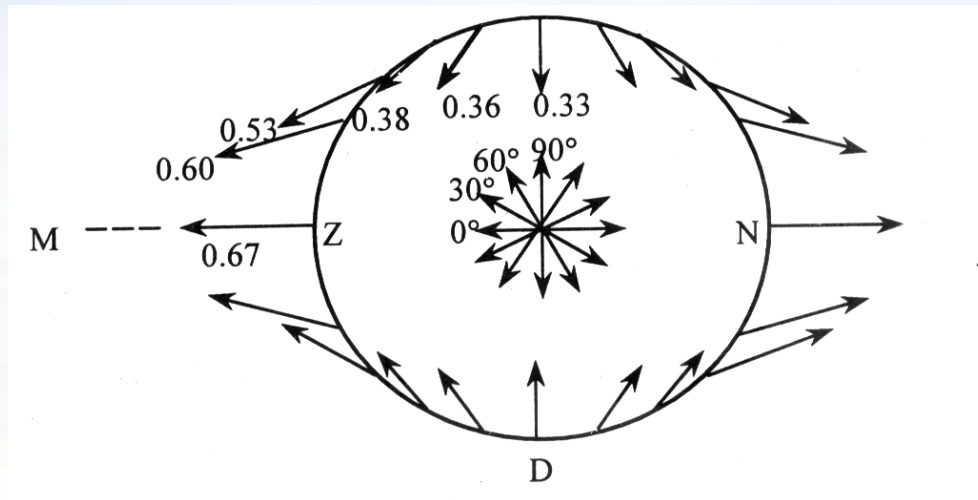
海洋水體三大運動現象

- 潮汐 (Tide)
- 水流 (Current)
- 波浪 (Wave)



潮汐

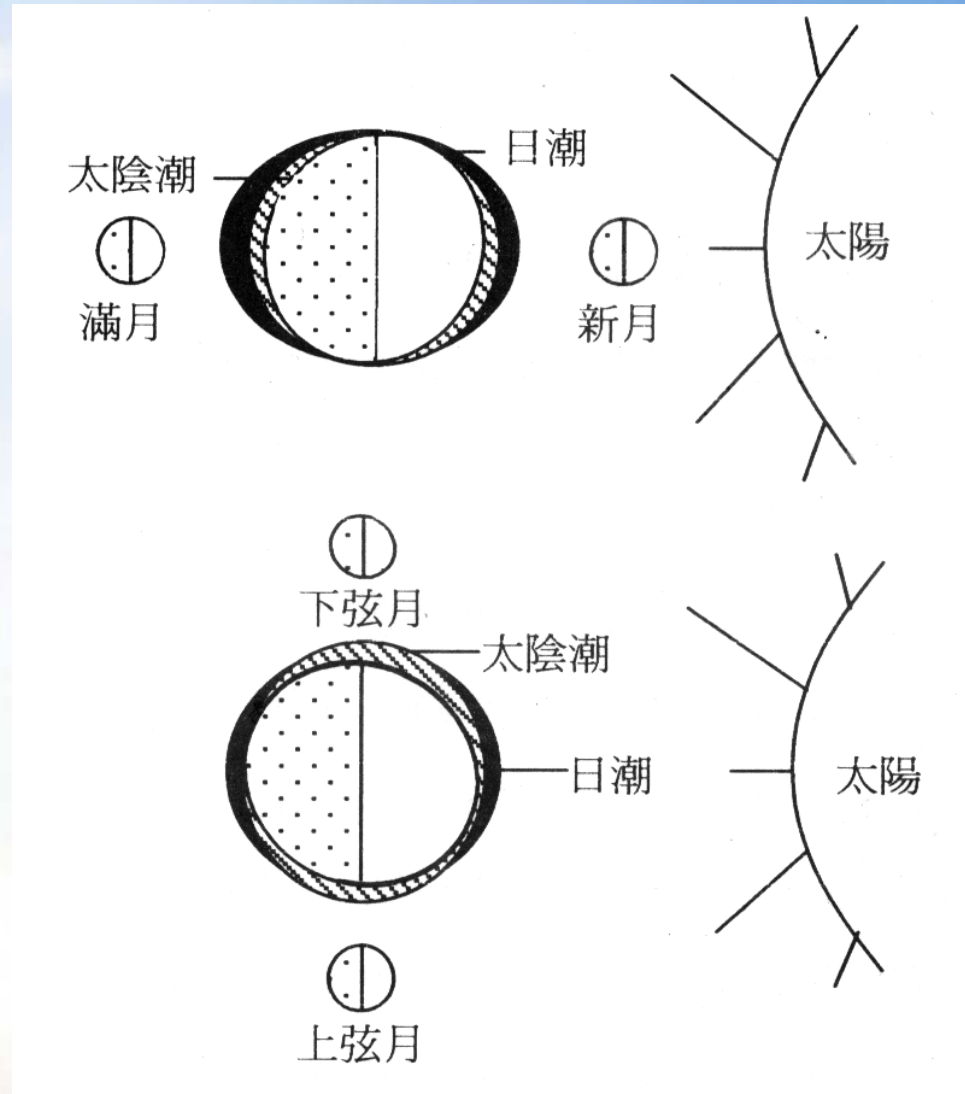
潮汐為地球上的海洋水體，受到月球及太陽的萬有引力作用及地球本身自轉及公轉的運動，產生週期性上下起伏的運動現象。



引潮力在地球表面的分布(Horikawa, 1981)



朔、望、上弦月、下弦月之相對位置圖



主要引潮力(共有60個分潮)

- M_2 (太陰半日潮)
- S_2 (太陽半日潮)
- K_1 (太陰全日潮)
- O_1 (太陽全日潮)

$$1.25 < \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2} < 0.5$$

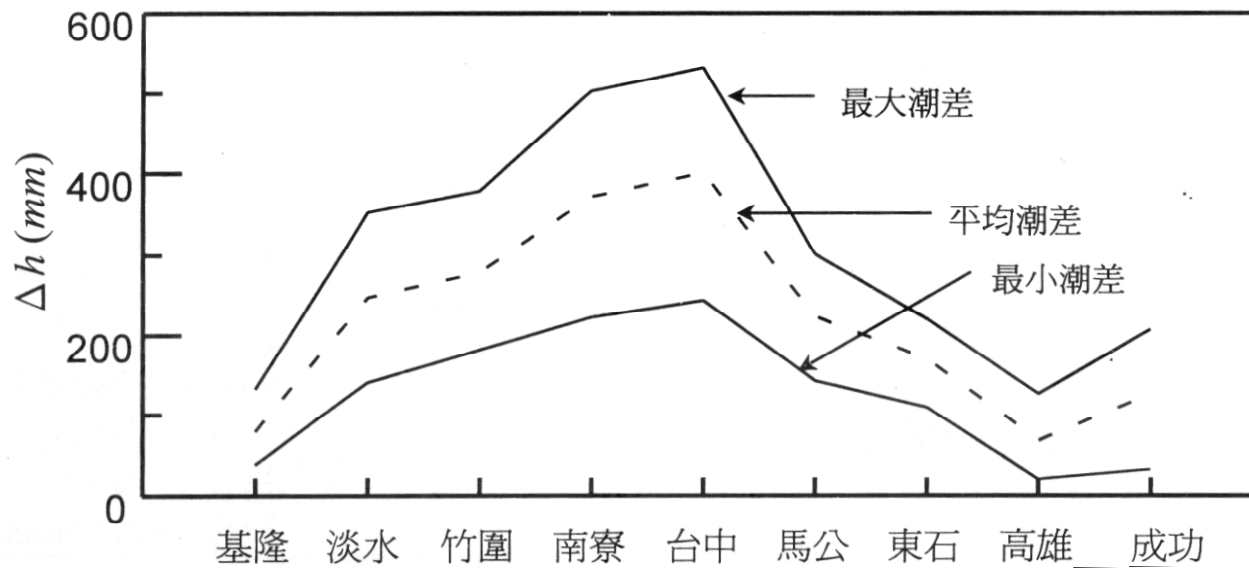
全日潮型

混合潮型

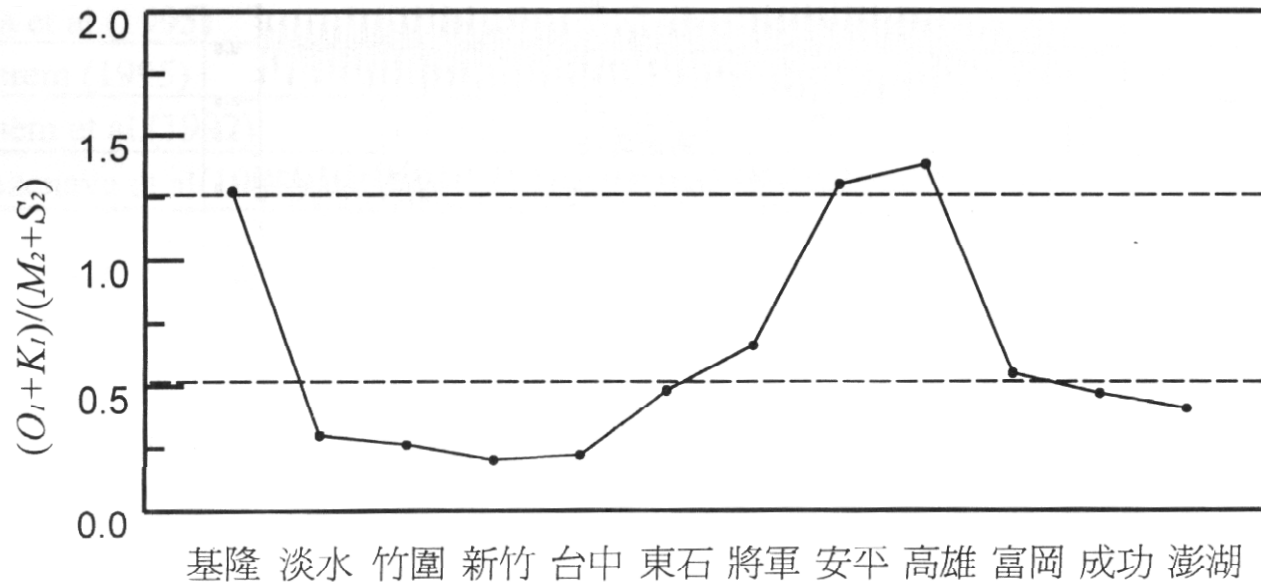
半日潮型







台灣沿岸之潮差變化(台灣潮汐, 1996)



台灣沿岸之潮型(台灣潮汐, 1996)

- 喜歡海灘戲水的朋友要特別注意，在平緩坡度的海灘(slope~1/300)，該海域又是潮差較大者(如台中、苗栗、彰化等)，切勿離岸太遠，否者漲潮時有被滅頂的危險。



水流 (Currents)

- 海洋中之水流運動包含四大類
 1. 潮流 (Tide current)
 2. 海洋 (Ocean current)
 3. 沿岸流 (Longshore current)
 4. 風驅流 (Wind drift current)



潮流 (Tide current)

- 由於潮汐水位的漲落而產生海洋水體週期性往復的水流運動，主要成份為 M_2 , S_2 , K_1 , O_1 ，潮流觀測大多為橢圓形之向量分佈。



海流 (Ocean current)

- 海洋中的水體受到地球自轉與陸地邊界影響而產生固定方向且生生不息的水流運動。其中以大西洋的灣流(Gulf stream)，及通過台灣東部海岸的黑潮(Kuroshio)最有名。



沿岸流 (Longshore current)

- 海面上的波浪傳遞至淺水海域發生碎波時，產生延著海岸流動的水流。兩個不同方向的沿岸流會合，衝破碎波線而流向外海者，稱為裂流或離岸流(Rip current)。整個水流運動系統稱為近岸環流系統。



風驅流 (Wind drift current)

- 海面水體受到風力的吹送而產生的水流運動，一般風驅流的流速大約是2.8~3.5%的吹風速度。

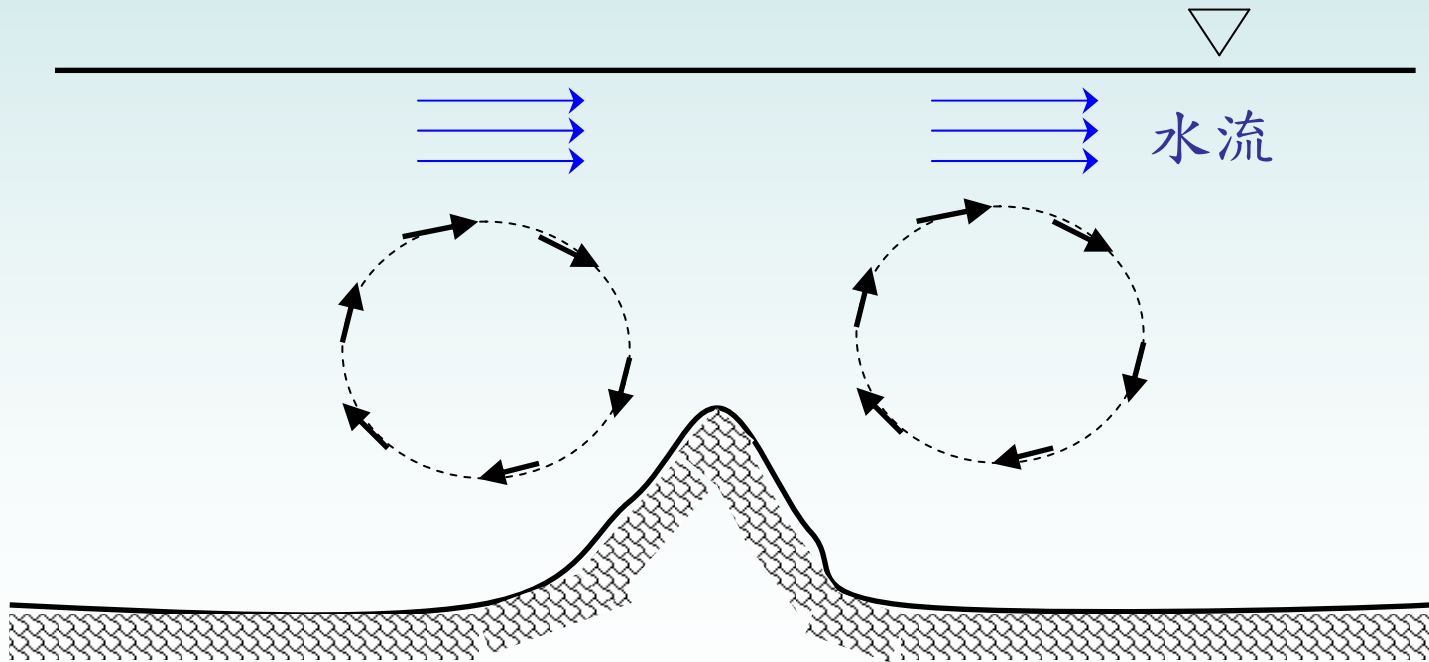


- 萬一不幸落到海裡面，記得！先保持鎮靜！
不要浪費體力游泳；因為全世界游泳金牌
最快的選手速度約為 1.96m/s ，而光是東部
的黑潮流速約有4節(2 m/s)



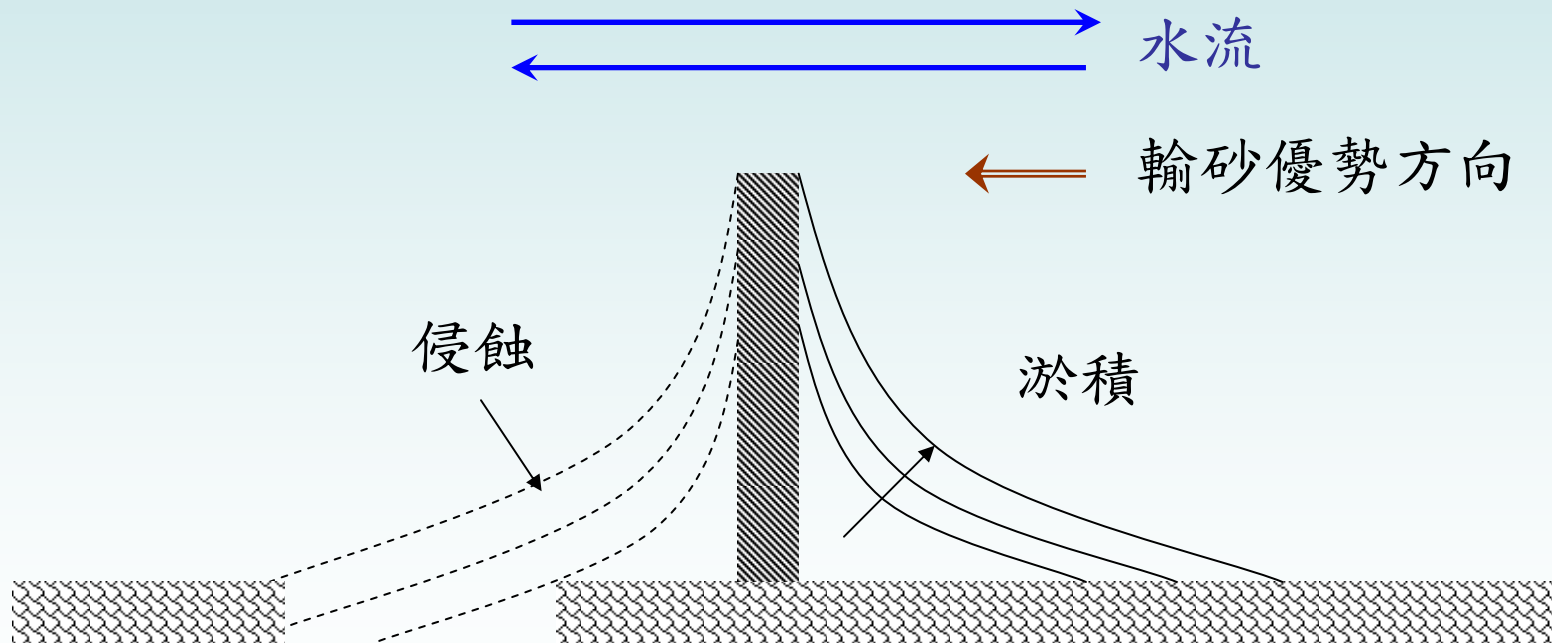
水流運動產生的危害實例

1. 漩渦暗流



水流運動產生的危害實例

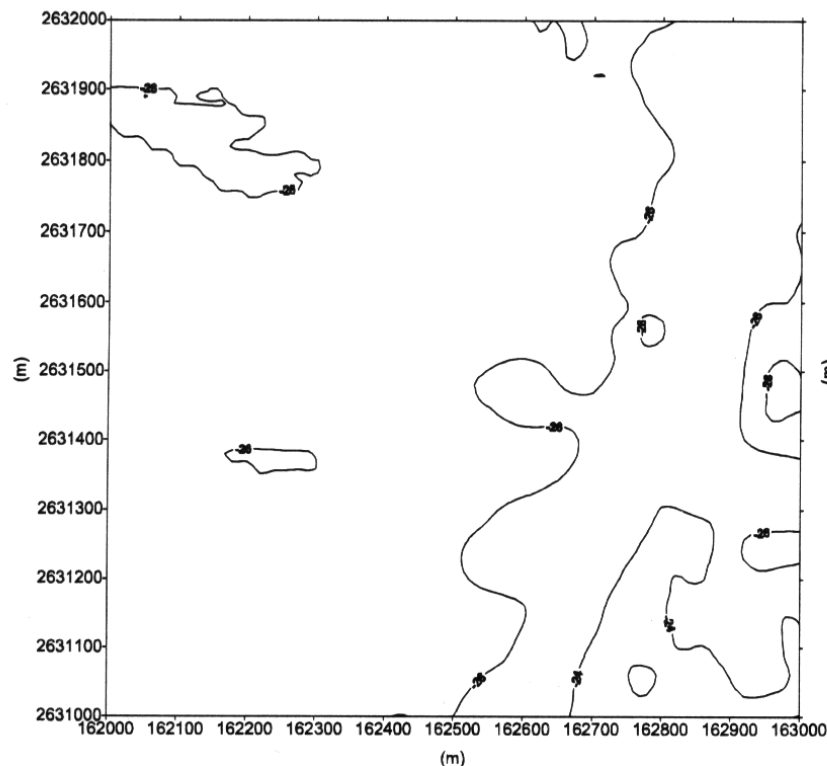
2. 地形侵淤變化



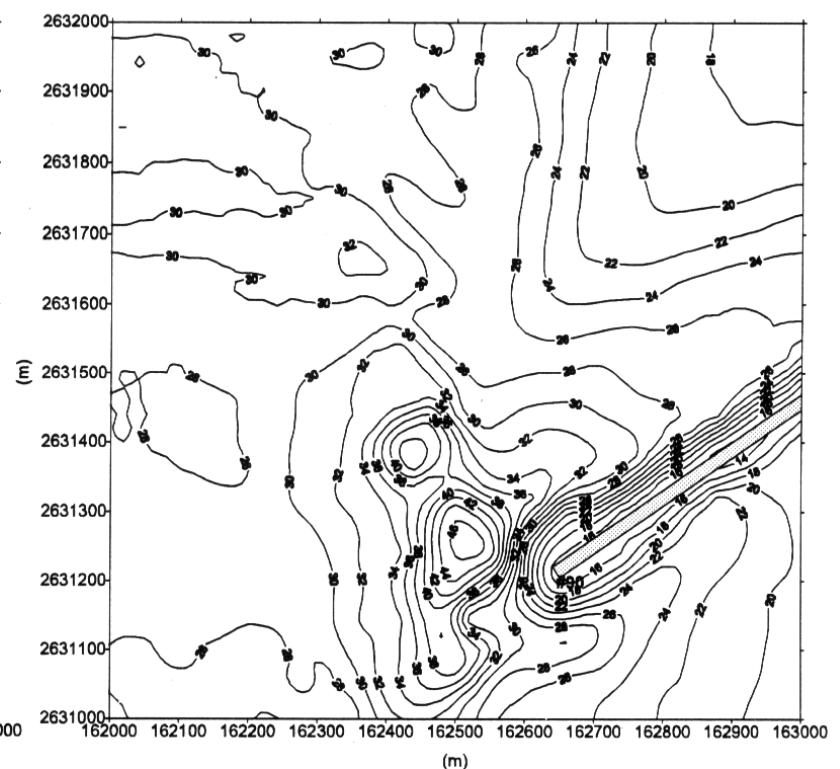
水流運動產生的危害實例

- 台塑六輕堤頭沖刷

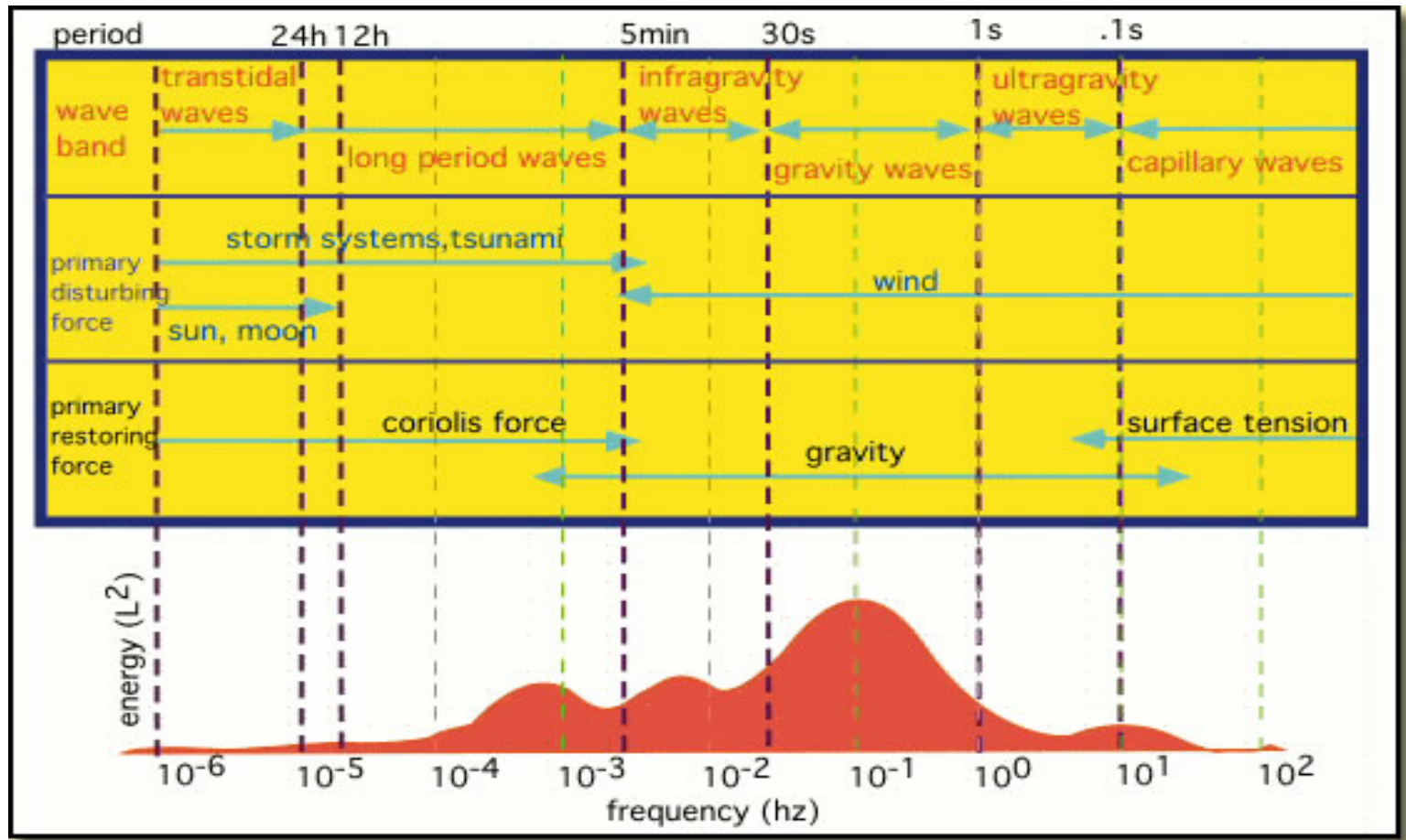
麥寮港開發前之地形等深線



開發後之地形等深線(2002)



波浪 (Wave)



碎波 (Breaking wave)

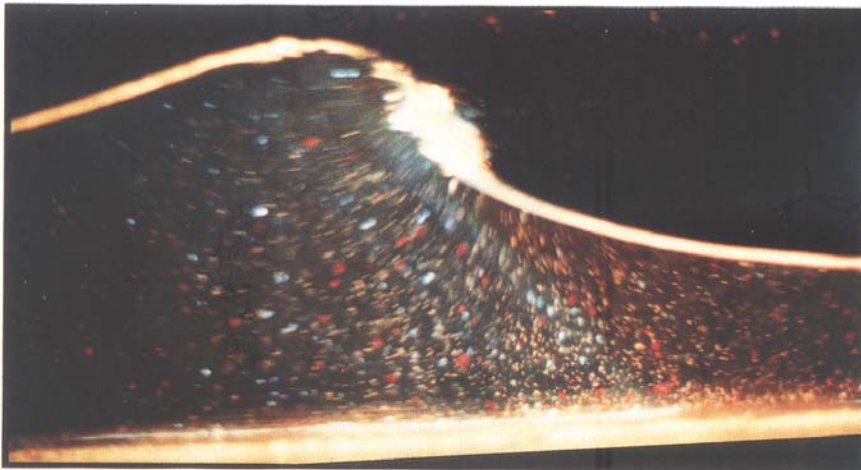
- 海面上只要看到白色水泡(white cap)就是碎波，包括：
 - A. 深海碎波：由於波浪尖銳度太大而產生不穩定，或者當個別的波浪衝出群波而產生碎波。
 - B. 淺海碎波：由於深海傳遞之入射波高、週期與海岸底床坡度不同，將產生不同的碎波型態，可分為下面四大類型。



(1) 溢出型碎波 (Spilling breaker)

- 當入射的波浪尖銳度(H/L)較大，而底床坡度相當平緩時，將產生溢出碎波。(台灣西海岸較多)

(a)

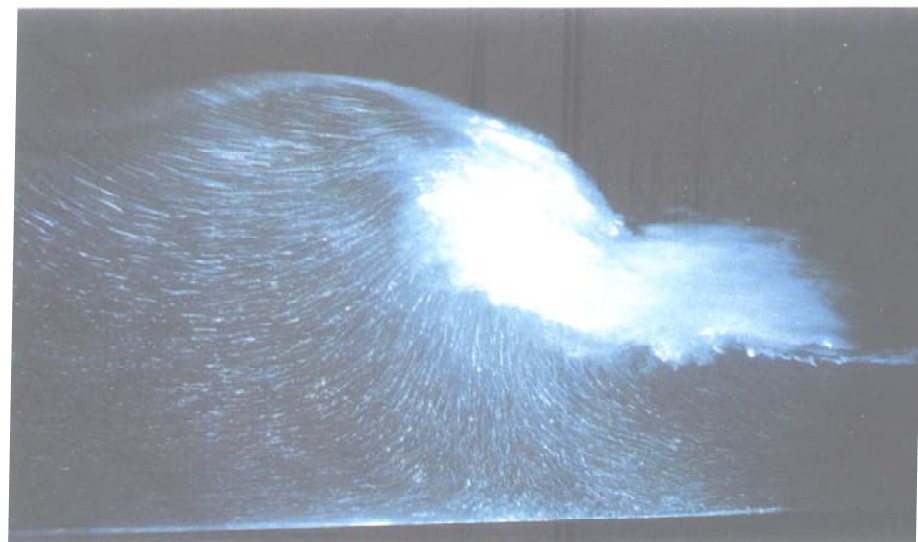
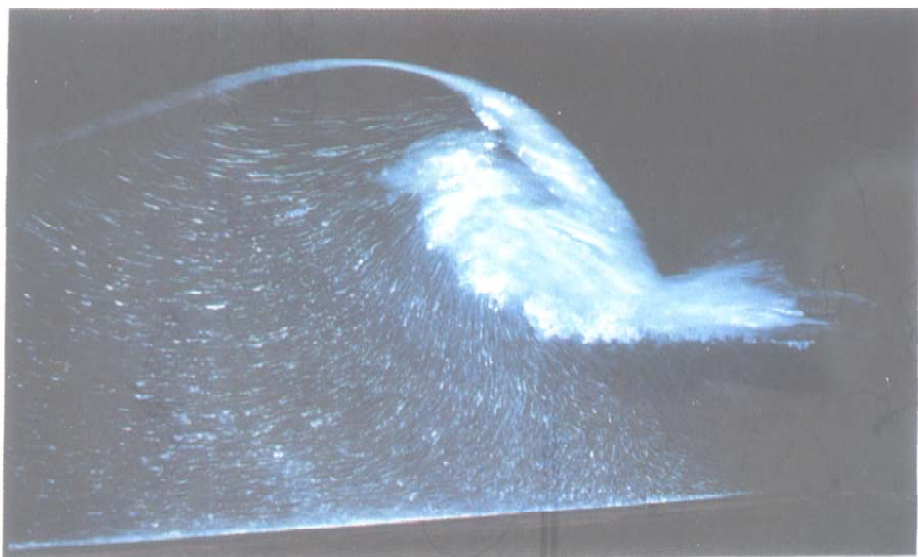


(b)



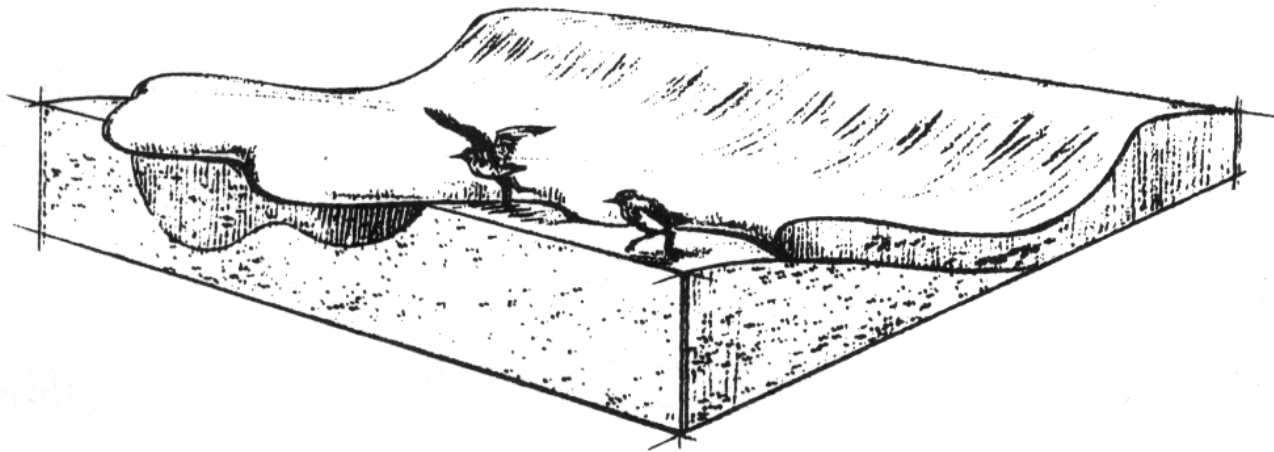
(2) 捲浪型碎波 (Plunging breaker)

- 入射的波浪在較陡的海岸，當波浪將碎波時，波峰呈現捲舌狀，而產生捲浪型碎波。(東部的海岸最多)



(3) 洶湧型碎波 (surging breaker)

- 當入射波浪尖銳度較小，且底床坡度很陡時，才會發生。接近碎波時波峰前緣成直立面，而由直立面之底部崩潰。



(4) 崩潰型碎波 (collapsing breaker)

- 碎波時，波峰前緣較低之部分先呈捲曲狀，但波峰尚來不及呈捲舌狀時即崩潰，此型態介於捲浪型及洶湧型碎波之間。



碎波指標 (Breaking criteria)

1. $u / c > 1$ (u :水粒子速度, c :波速)
2. $(H / L)_b = 0.142 \tanh kd$ (H :波高, L :波長, d :水深)
3. $(H / d)_b = 0.63 \sim 0.85$ (工程使用 $H/d=0.78$)

波浪在此能量釋出一半以上，需小心！小心！



波與波交互作用

$$f_1, f_2, f_3$$

$$f_1 \pm f_2, f_1 \pm f_3, f_2 \pm f_3$$

$$2f_1 \pm f_2, f_1 \pm 2f_2, 2f_1 \pm f_3, f_1 \pm 2f_3, 2f_2 \pm f_3, f_2 \pm 2f_3, f_1 + f_2 + f_3$$

N
N



瘋狗浪(Mad-dog wave) 奇異波(Freak wave)

- 在某種相關頻率，某種角度之波與波交互作用下，縱使風平浪靜，也會產生瘋狗浪或奇異波。台灣每年海岸釣客喪失在瘋狗浪之冤魂不下十人以上，其他尚有很多實例。在深海中，由航海紀錄亦可查到高達數十米之瘋狗浪或奇異波。



海嘯



富嶽三十六景 神奈川沖
波瀾

葛飾屋 貞文

海嘯成因

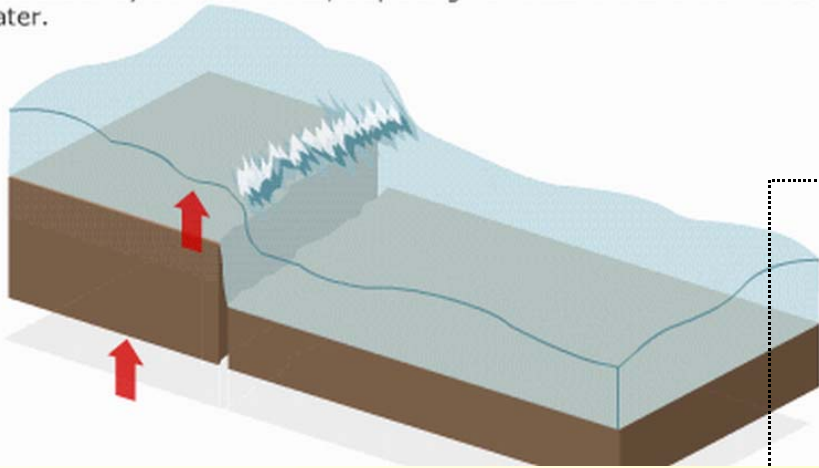
1、海底地震：

通常發生在板塊與板塊間之聚合處，即所謂的斷層帶，且必需是其中一方板塊急遽上升或下沈，因而向上或向下推動大量海水，接著因重力作用向外推移傳播而形成海嘯。

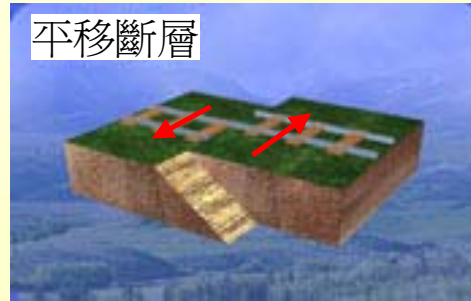


海嘯成因：海底地震

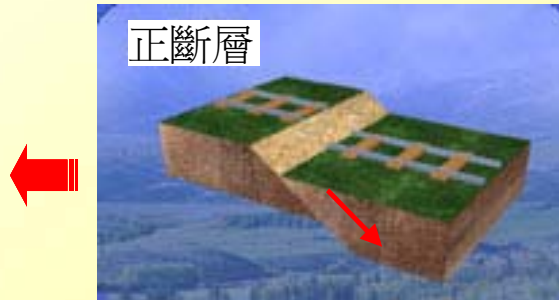
The tsunami formed when energy from the earthquake vertically jolted the seabed by several metres, displacing hundreds of cubic kilometres of water.



平移斷層



正斷層



逆斷層

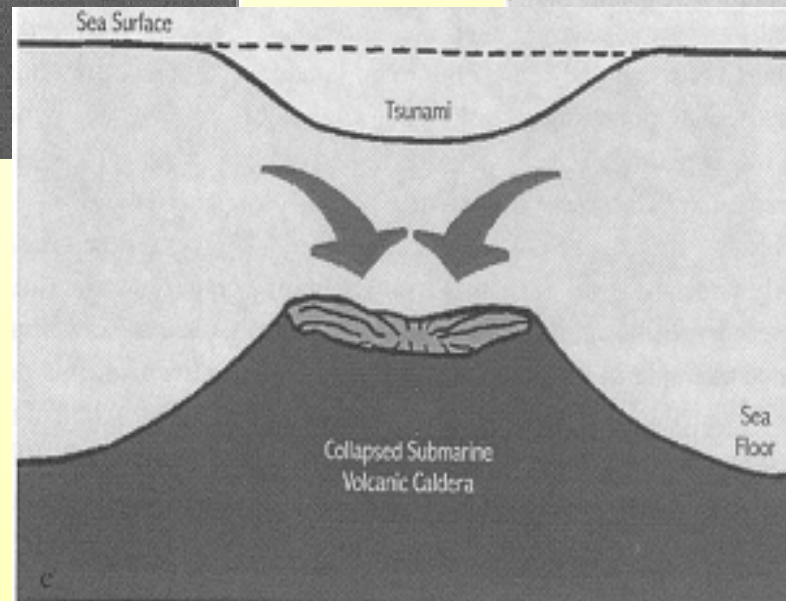
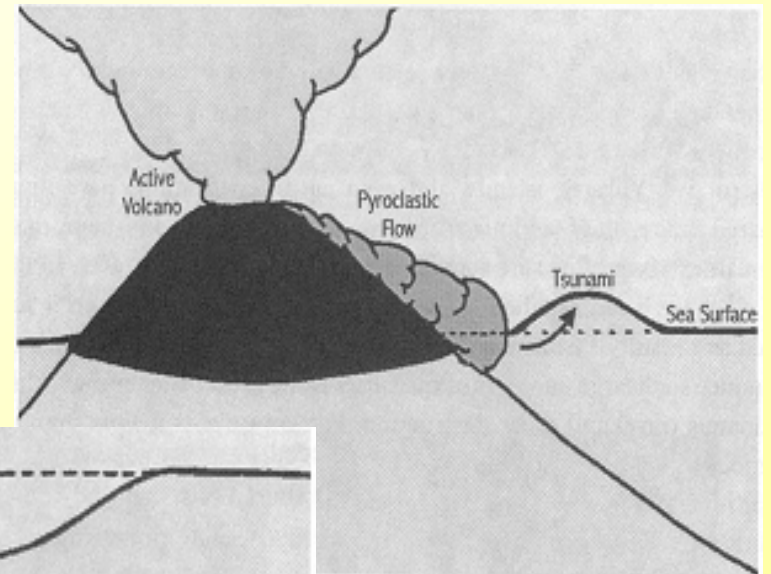
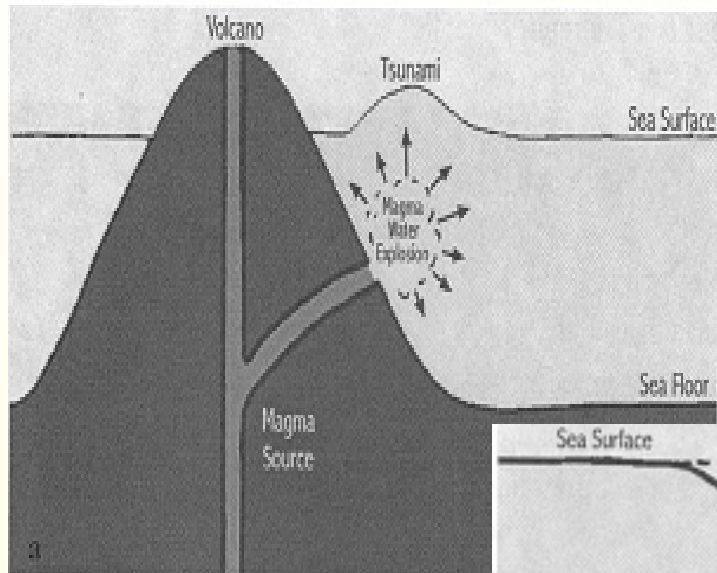


2、海底火山爆發：

海底火山爆發引發海嘯較為罕見，其中最著名的例子，即1883年8月在印尼南方的喀拉克托亞島(Krakatoa)火山爆發事件，當時引發高達40公尺的海嘯巨浪，摧毀印尼爪哇與蘇門答臘沿海城市與村落，奪走36,500條人命。



海嘯成因：海底火山爆發

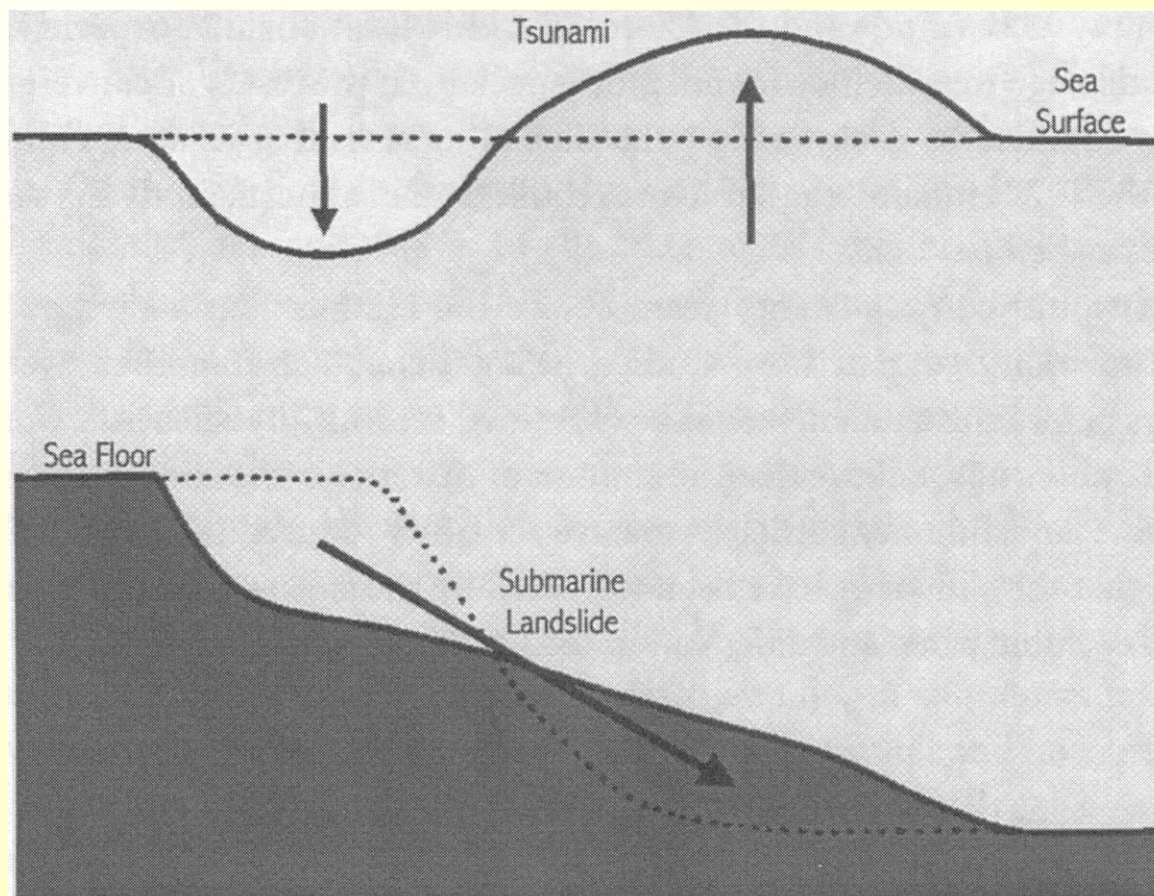


3、海底崩移：

地震引起大量土石崩移亦會引發海嘯，1998年在新幾內亞的海嘯奪走兩千多人的人命，科學家相信是地震(7.1級)造成海底大量土石崩落所引起的，海嘯最高達15公尺。1992年日本雲仙普賢岳的眉山崩落亦造成超過20公尺高的海嘯。1958年阿拉斯加地震，導致Lituya灣的山崩，造成難以置信高達520公尺高的大海嘯。



海嘯成因：海底崩移



4、隕石撞擊：

外太空的隕石以極高的速度衝擊在地球海面造成水面瞬間陷落亦將引發海嘯，惟因科技的發展，已有足夠能力監測隕石的行進軌跡，並予事前摧毀，因此此等海嘯發生機率已然降低。



隕石撞擊



海嘯波的型態：

(a) Positive Gaussian Wave

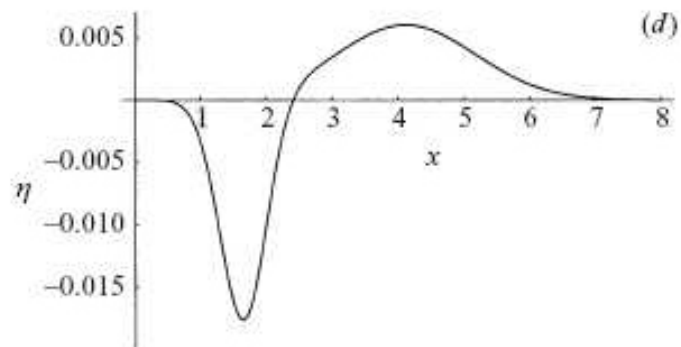
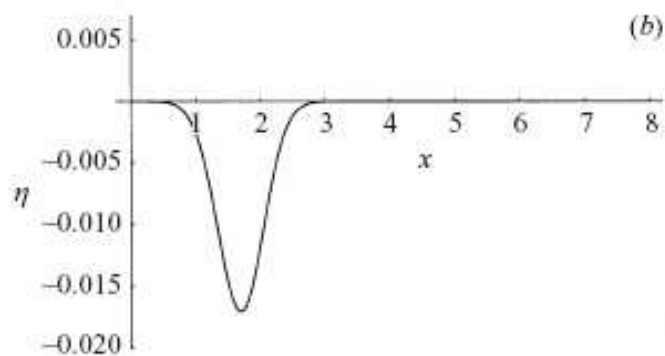
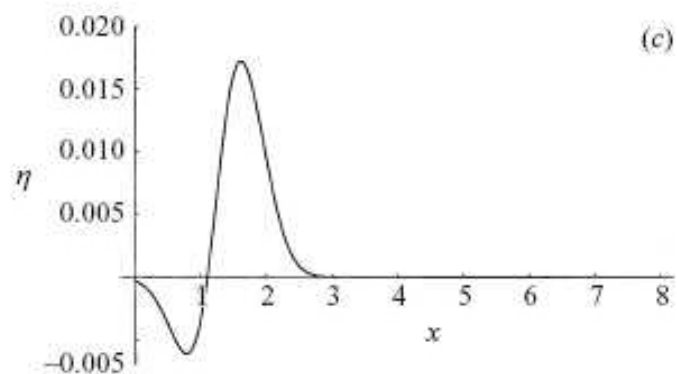
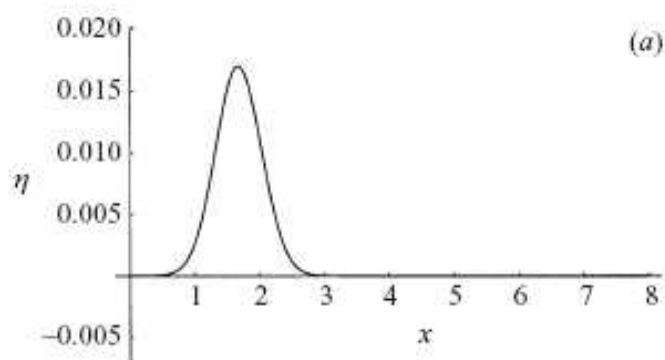
(b) Negative Gaussian Wave

(c) Fault Dislocation

(d) Submarine Subsidence



海嘯之型態



海嘯的傳播速度

可由淺水波波速 $\sqrt{gh}$ 估算之

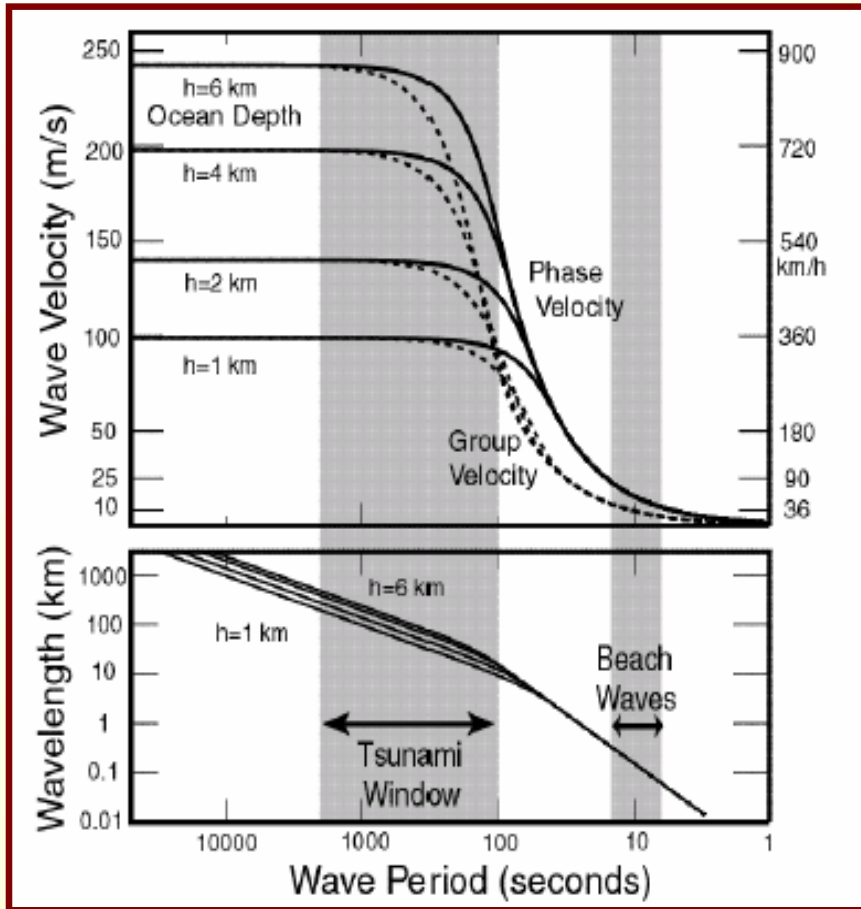
(1) 在深海(水深5000公尺)海嘯傳播時速800公里，
約為噴射機速度。

(2) 在淺水(水深500公尺)海嘯傳播時速250公里，
約為臺灣高鐵速度。

(3) 在近岸(水深10公尺)海嘯傳播時速36公里，約
為百米高手速度。



海嘯之傳播速度



波長：10km~500km

週期：100sec~2000sec

波速：160m/sec~250m/sec

群速度：600~900km/hr



海嘯級數與地震的關係

Iida(1963)由過去資料分析得

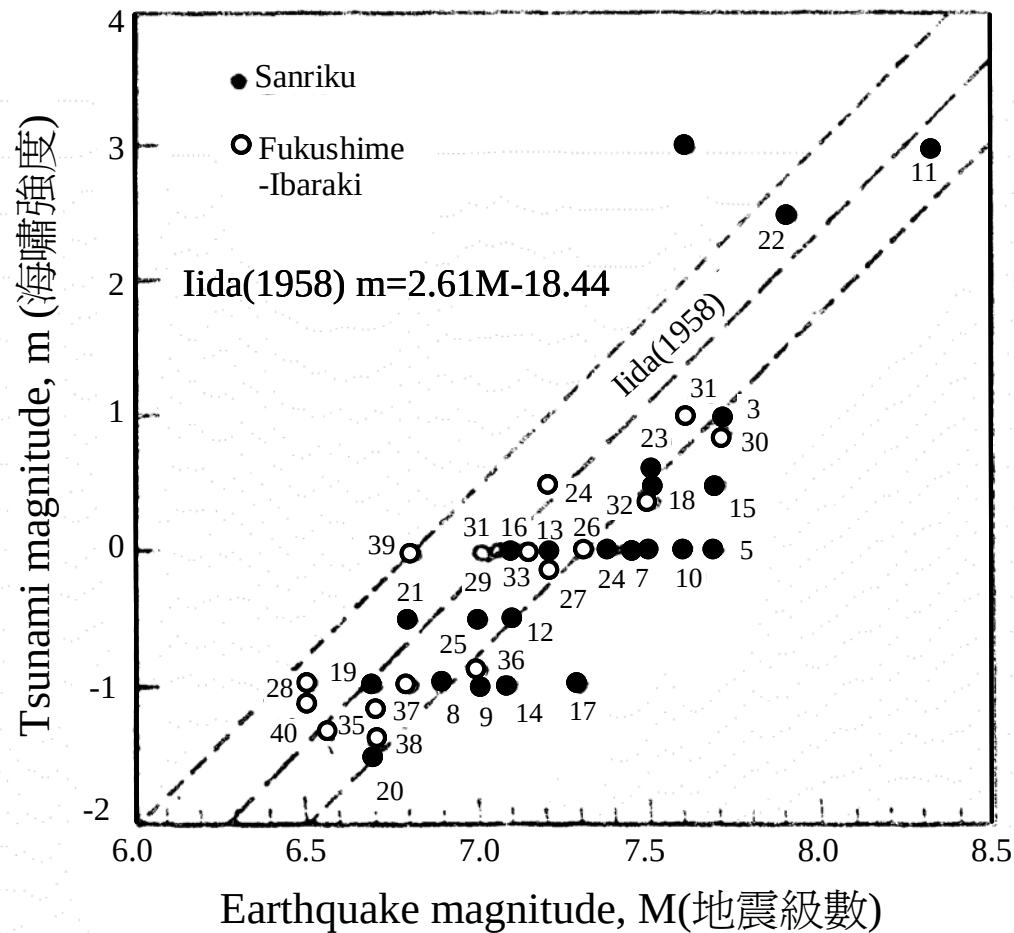
$$m = 2.61 M - 18.44$$

m 為海嘯級數

M 為芮氏(Richter)地震級數



海嘯級數與地震的關係



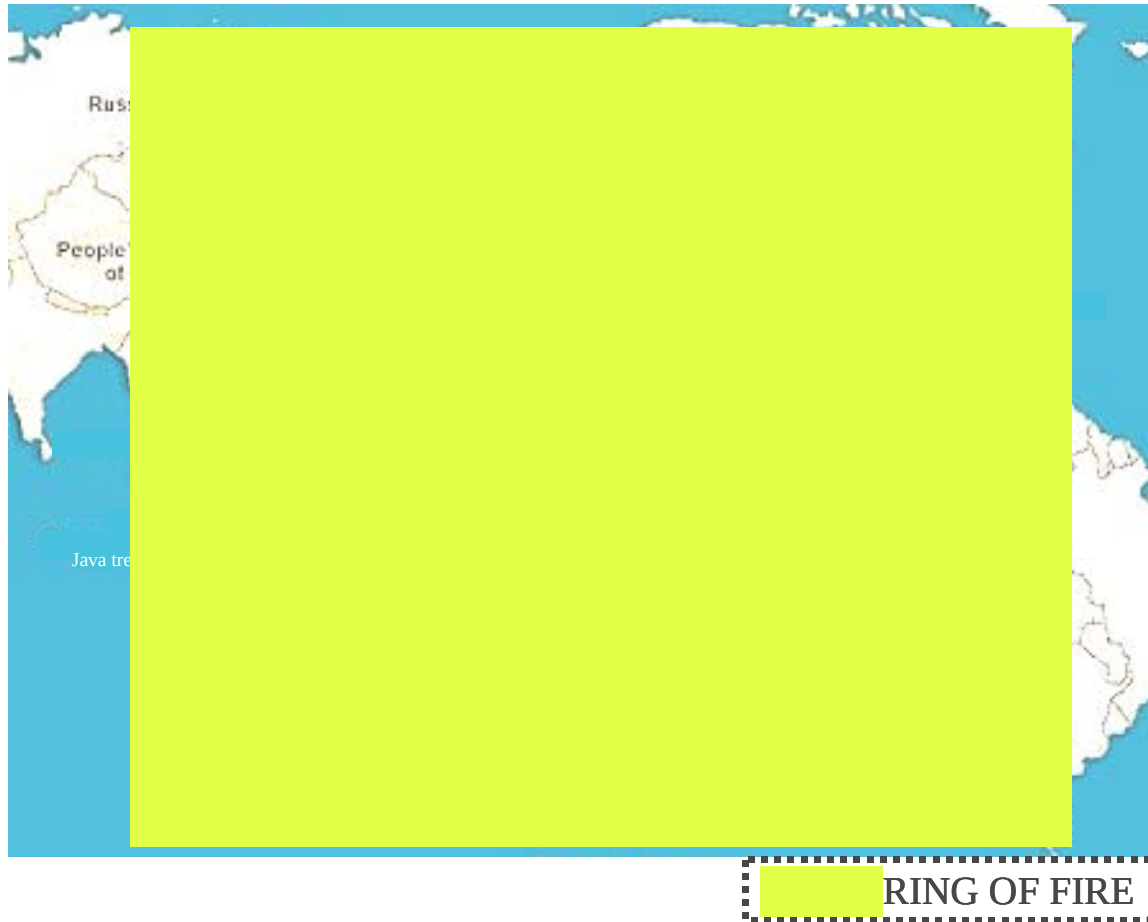
海嘯級數與海嘯波高關係：

$$\log H = 0.375 \times m$$

海嘯級數m	海嘯波高H	災害
-1	50公分	無災害
0	1公尺	災害輕微
1	2公尺	海岸及船舶受害
2	4~6公尺	沿岸有若干財產及生命損失
3	10~20公尺	沿岸400km以上有相當之災損
4	30公尺	沿岸500km以上有相當之災損



80%的海嘯發生在 環太平洋地震帶沿海



最近20餘年發生較大規模之海嘯

- (1) 日本海海嘯(Sea of Japan Tsunami, 1983)
- (2) 智利海嘯(Chile Tsunami, 1985)
- (3) 墨西哥海嘯(Mexico Tsunami, 1985)
- (4) 阿留申群島(Aleutians, 1986)
- (5) 尼加拉瓜(Nicaragua, 1992)
- (6) 印尼佛羅斯島(Flores Island, Indonesia, 1992)



最近20餘年發生較大規模之海嘯

(7) 日本北海道海嘯(Hokkaido, Japan, 1993)

(8) 東爪哇海嘯(East Java, 1994)

(9) 俄羅斯庫利群島海嘯(Kuril Island, Russia, 1994)

(10) 阿拉斯加斯卡威海嘯(Skagwag, Alaska, 1994)

(11) 智利海嘯(Antofagagasta, Chile, 1995)

(12) 巴布新幾內亞海嘯(Papua New Guinea, 1998)

(13) 印尼蘇門答臘海嘯(Sumatra, Indonesia, 2004)



海嘯災害實例



1983年侵襲Yatsumori的日本海海嘯，其波頭傳動
溯Iwaki河而上所造成之災害



海嘯災害實例



1946年伊留申海嘯造成Unimak島上
Scotch Cap燈塔的摧毀殆盡



海嘯災害實例



2004年南亞海嘯侵襲印尼蘇門答臘亞齊省海邊所造成之災害



海嘯災害實例



2004年南亞海嘯侵襲印尼蘇門答臘亞齊省海邊所造成之災害



海嘯災害實例



2004年南亞海嘯侵襲泰國普吉島海邊所造成之災害



臺灣的海嘯文獻記載

- (1) 西元1661年德人Herport著旅行記：1661年1月某日晨六時開始地震，安平房屋倒塌23棟，城破裂多處，此次地震，有一事最驚奇，即海水被捲入空中，其狀如雲，無論在海中、在陸上，人身均能感覺震動，共歷6星期。
- (2) 西元1721年，王必昌，重修臺灣縣志「雜誌祥異」：「十二月庚子(1721年1月5日)，又震，凡震十餘日，日震數次，房屋傾倒，壓死居民」。



(3)西元1781年，臺灣采訪冊「祥異地震」：「鳳港西里有如藤港，（今屏東佳冬附近），…乾隆46年(1781)，四、五月間，時甚晴霽，忽海水暴吼如雷，巨湧排空，水漲數十丈，近村人居被淹，皆攀援而上至尾，自分必死，不數刻，水暴退，人在竹上搖曳呼救…」。

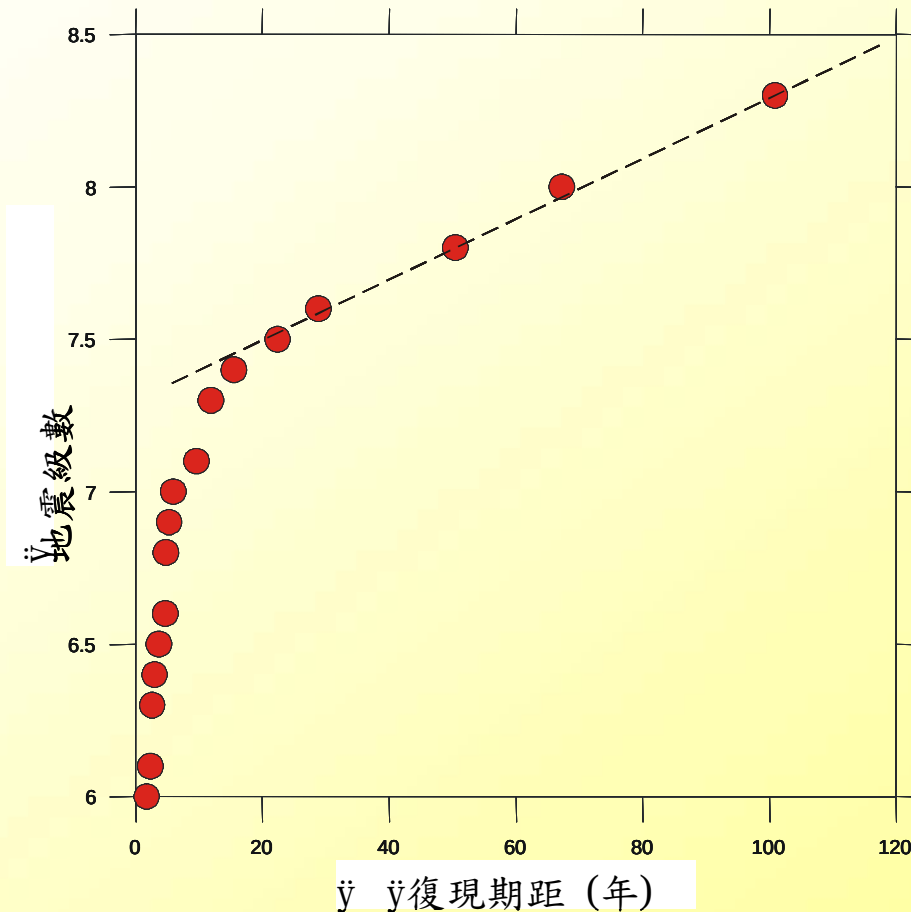
(4)西元1792年，臺灣采訪冊「祥異地震」：「壬子(1792年)，將赴鄉闈，時六月望，泊舟鹿耳門，船常搖蕩，不為異也。忽無風，水湧起數丈。舟人曰：地震甚。又在大洋中亦然，茫茫黑海，搖搖巨舟，亦知地震，洵可異也」。



- (5) 西元1866年，阿瓦力茲(Alvarez)著福爾摩莎(Formosa)一書中云：「1866年12月16日晨8時20分，發生地震，約歷一分鐘，樹林、房舍及港中船隻，無不震動，河水陡落三尺，忽又上升，似將發生水災」。
- (4) 西元1867年，臺灣北部地震，基隆地區海嘯，歷史文獻記載：「同治六年冬十一月，地大震，雞籠頭、金包里沿海，山傾地裂，海水暴漲，屋宇傾壞，溺數百人」，基隆港海水向外海流出，港內海底露出，瞬間巨浪捲進，船隻被沖上市內，釀成重大災害，淡水也有地裂、海嘯，數百人被淹死，房屋部份倒壞。



臺灣附近地區發生之 地震級數



1604~1978臺灣外海地區 引發海嘯文獻紀錄

發生日期	位置			地震規模 (M)	海嘯級數 (m)	備註
	地點	東經	北緯			
1604年12月29日	新竹	119.5°	25.0°	8.0	0~1	
1661年1月8日	台南	120.1°	23.0°	6.0	1	安平大海嘯
1754年4月	淡水	124.4°	25.3°	<6	1	房屋毀壞數間
1867年12月18日	基隆	121.7°	25.5°	6.0	2	死傷數百人
1917年5月6日	花蓮	121.6°	23.2°	8.0	-1	海嘯約1m高
1966年3月13日	花蓮	122.6°	24.1°	7.5	-1	中級海嘯
1978年7月23日	台東	121.5°	22.3°	7.4	0~1	輕微海嘯



臺灣地區民國以來 地震海嘯紀錄

發生時間	可能震央	地震規模(M)	海嘯災區	海嘯級數(m)
1918年3月27日	蘇澳	6.4	基隆	2
1951 年 10 月 22 日	花蓮	7.3	花蓮	-1
1960 年 5 月 24 日	智利	8.5	基隆	0
1963 年 10 月 13 日	千島列島	7.0	花蓮	-1
1964 年 3 月 28 日	阿拉斯加	8.6	花蓮	-1

資料來源：氣象學報第四十卷第一期(83年3月)pp.37～.46。



臺灣模擬海嘯之能力

- (1) 1973年核能三廠由成大水工試驗所完成“墾丁海域海嘯及颱風水位推算”地震規模7.5，海嘯高度4.2公尺，週期23.4分
- (2) 1983年核能四廠由成大水工試驗所完成“臺灣電力公司核能四廠海嘯研究報告”地震規模7.93，海嘯高度7.02公尺，週期44.28分



海洋能源的開發利用

海洋雖然詭異驚險，卻蘊藏豐富的能源，包括(1)潮汐發電；(2)海潮流發電；(3)波浪發電；(4)溫差發電。目前世界各國已積極進行海洋能源開發利用的研究。行政院2007年產業科技策略會議已將「海洋能源科技」列入前瞻能源科技的重要研究主題，以因應二十一世紀將面臨的能源危機。



結語

- 海洋是美麗的也是詭異的，認識它，您就可以欣賞它的美麗，也可以避開它詭異的險境，更可以從海洋中汲取人類所需的能源資源，讓我們從今起共同擁抱這廣闊美麗的海洋吧！

