

## 波浪(Wave)

波包含各種不同的波動，在海上因風引起的波稱為風波(風浪)，英文為 Wind waves 或以 Sea 稱之，法文則為 la houle。



2012/8 攝於地中海(嘉年華微風號郵輪)

風浪形成初期，受表面張力作用出現縐紋般的微波，波高約在 2.5 公分以下，週期在 0.1 秒以下，稱為表面張力波。表面張力波與因重力復原作用引起週期小於 1 秒的微波，合稱波漣(漣漪)，在工程問題通常不考量表面張力波的效應。

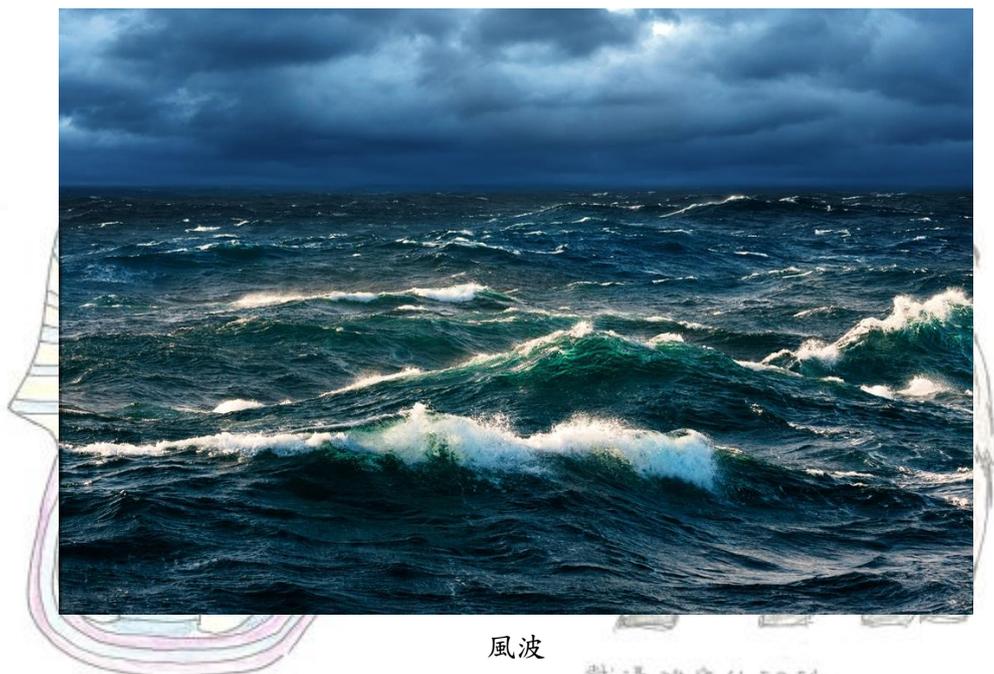


漣漪

摘自：[https://en.wikipedia.org/wiki/Capillary\\_wave](https://en.wikipedia.org/wiki/Capillary_wave)

風域形成，海面接受風能量的供給，隨著風吹送時間增長，波浪隨之成長，因風以不同風速向四面八方吹送，波浪當然包含不同方向、不同波高及不同週

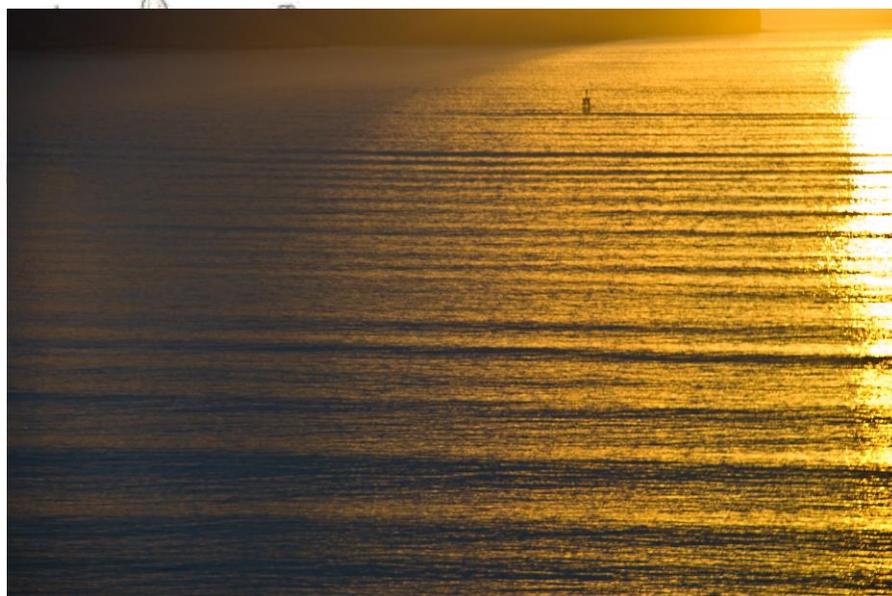
期，是為風波。



風波

摘自：<https://recon.sccf.org/parameters/wave-height>

波浪成長脫離風域後會向各自方向進行，由於不再有風的能量供給，僅受重力及海面摩擦作用，短週期波逐漸受摩擦等能量消耗而消失，只剩週期較長的波向外傳播。從岸邊眺望，會觀察到一波接一波的長浪(波峰線)從外海傳遞至岸邊，在颱風來襲前，從海邊觀察最為明顯一目了然，此長浪稱為湧(湧浪，長峰波)，表示水面上下緩慢振動，一般將風波及湧浪合稱為波浪。



湧浪

摘自：[https://en.wikipedia.org/wiki/Swell\\_\(ocean\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Swell_(ocean))



湧浪碎波

摘自：[https://en.wikipedia.org/wiki/Swell\\_\(ocean\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Swell_(ocean))

Pierson-Neumann-James 於 1955 年觀測分析整理出方向分散及速度分散的概念。波脫離風域後，因海面摩擦致使週期短的波先行消失，週期長的波持續前進，隨著向淺海推進，遇到離島會發生繞射、散射等現象。從圖可發現，島周邊出現散射波的同心圓。



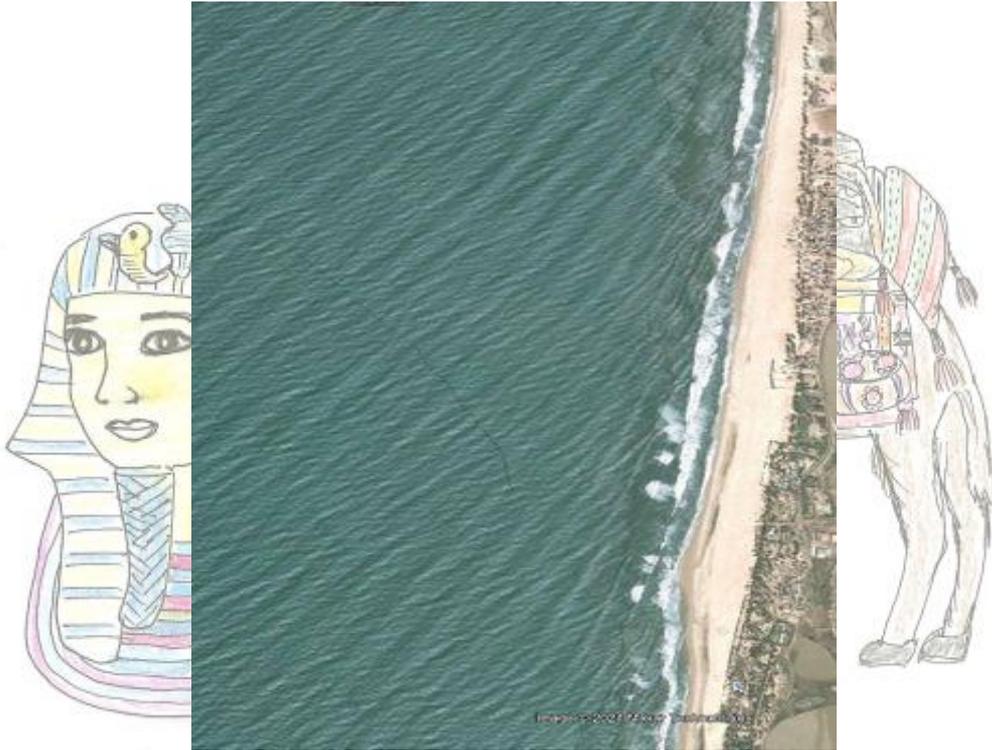
繞射

摘自：日本土木學會海岸工學委員會,幻燈片集「日本の海岸と港湾」

當波向淺海傳播，通常到達水深為來襲波一半波長的水深處時，開始受海底地形及水深變淺影響，會產生折射及淺化效應使波發生變形。



淺化變形(動畫)



折射

摘自：<https://www.coastalwiki.org/wiki/Refraction>

2011 埃及尼羅河之旅

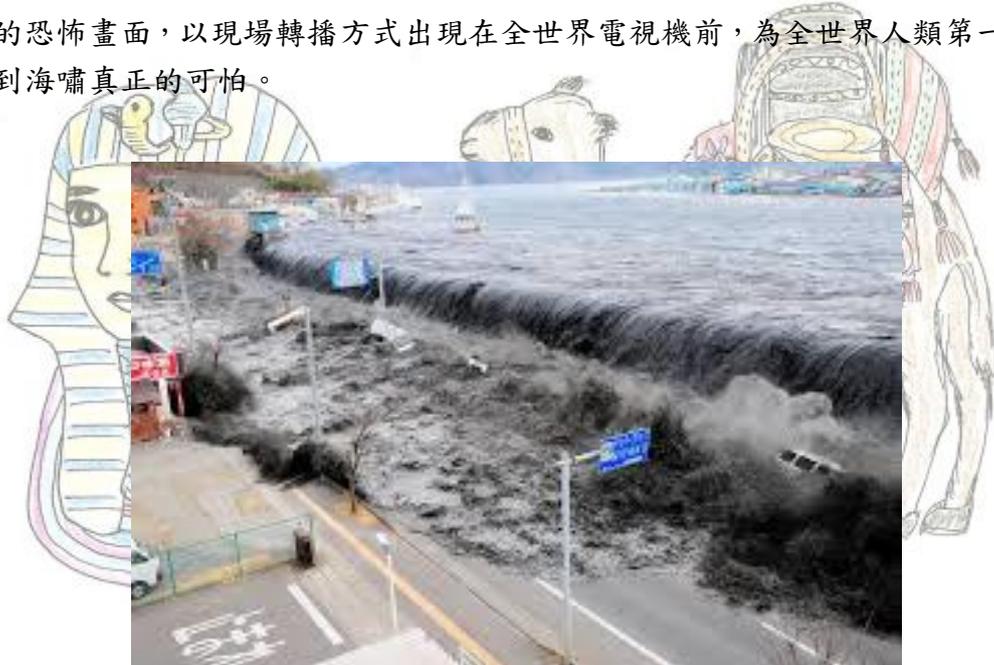
波到達防波堤被反射(平面)後，會在堤外海域形成**短峰波**，是最常見的海面波動。在堤內海域會形成繞射波、折射波等



防波堤引起波變形

摘自：<https://www.coastalwiki.org/wiki/Diffraction>

因海底地震引起海底地殼激烈變動以致其水面上下變動，引起週期長達約數10分至1小時左右的波，向廣大海洋進行，到達沿岸後受地形影響形成波高大於原波高數倍的海嘯，2011年3月11日發生於日本福島的311大地震，海嘯來襲的恐怖畫面，以現場轉播方式出現在全世界電視機前，為全世界人類第一次體驗到海嘯真正的可怕。



東日本大震災(動畫)

潮汐亦屬週期長的波，最接近於類的生活，可分1日1次潮及1日2次潮。中國杭州灣與錢塘江的錢塘潮係受乾滿大潮差引起，英文謂之Tidal bore。



錢塘潮(動畫)

摘自：<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%92%B1%E6%B1%9F%E6%BD%AE>

颱風來襲時，因氣壓降低使水面上昇產生波動，若波傳播速度與颱風進行速度相近時會產生共鳴而使水面異常上昇稱為暴潮，若和因風吹送效果(風揚)共伴

時，在灣奧會使水面上昇1~2公尺以上，暴潮來襲只會一次，不會週期性多次反覆侵襲。2013年11月8日侵襲菲律賓中部諸島的超級強烈颱風「海燕」為代表例。

在灣岸或湖畔，甚至於小池塘邊觀察水面，會發現有10餘分至數10分週期的水面變動，可利用檢潮儀加以解析，這種水面波動稱為靜振或副振動，其週期依灣或湖的形狀及大小而定，成因可能是風或氣壓變動引起、或外海長週期水面變動引起。

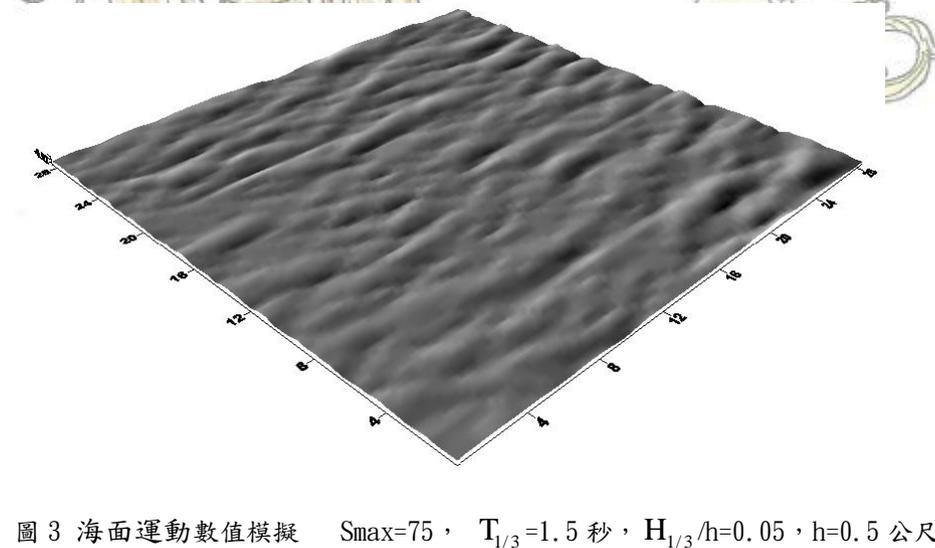
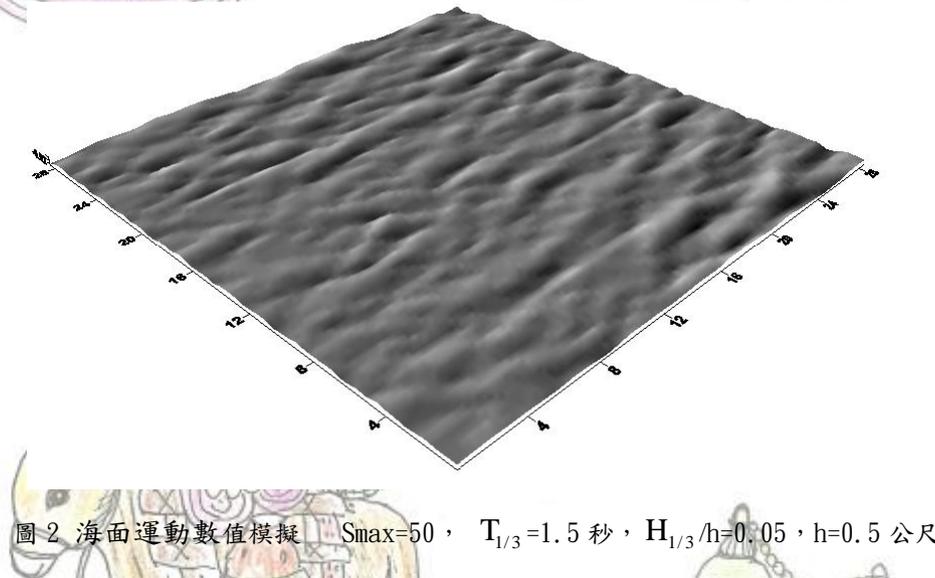
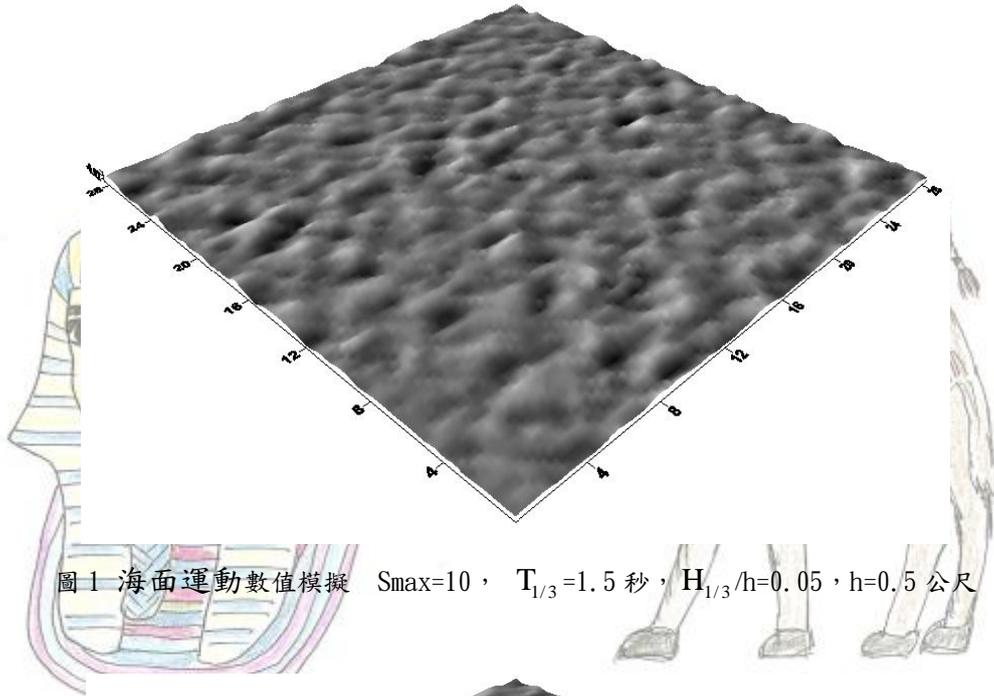
上述現象均屬水面上或整體水的波動，此外因受鹽分、水深及水壓變化影響，海水深處密度變大，夏天太陽熱會使表面附近水溫上昇，但通常在水深10~50公尺以深，水溫不會上昇，這層稱為水溫躍層或密度躍層，密度隨水深增加而產生變化，雖然其密度差很少，通常相差1公尺約只有0.1%程度的變化，若層全部或上層的水受到微小的上下方向變動，微小的密度差會使浮力變大，致使因重力形成的上下變動變得顯著，這種變動稱為內部波。在河口當河川流出流量大時可能會形成內部波。在水槽注入2種不同密度的液體，例如水與石油，靜止後會出現顯著的兩種液體的界面，若施以運動可觀測到界面層慢慢形成波動，此為內部波的一種稱為界面波。

1948年Munk氏於挪威奧斯陸(Oslo)市召開的國際測地及地球物理連合研討會發表了，在離海岸不遠的外海觀測海底的壓力變化，觀測到有2分至10數分週期的壓力變動即水面變動，認為其原因為碎波成群來襲時波高的變化所致，將此現象稱為浪打。同一時段Tucker(1950)亦觀測到離海岸900公尺遠的海底的壓力計測得週期為2~5分的壓力變動。根據Tucker研究發現，大波高群通過後4~5分鐘後小波高群來襲時，會出現長波的徵兆，意味著大波高群在海岸碎波後形成長波而向外海傳播。

距離海岸數百公里或數十公里水深淺於200公尺以下的海域稱為大陸棚，1964年Munk等人觀察到1954年8月侵襲美國佛羅里達州東方Bahamas群島的颶風以每秒17公尺速度北上時，佛羅里達沿岸有週期約5個半小時的水面上昇，高達從平均海面算起1公尺左右，Munk等稱此現象為邊緣波。Reid(1958)將受柯氏力影響較大的波長較長的邊緣波稱為陸棚波，氣壓變化或風應力等強制力不存在的陸棚波為自由陸棚波。

實際海面運動係由無數的不同週期、波高各自向不同方向進行的波浪組合而成，其運動現象非常複雜，欲將之以正確數學公式表示，在目前尚有困難。光易(1975)等利用四葉苜蓿形浮標波高計進行嚴密觀測，提出一個能判別波浪能量方向集中度的參數。合田及鈴木(1975)將實際海面波浪狀況分類成風波、衰減距離較短(即波形尖銳度較大)的湧浪及衰減距離較長(即波形尖銳度較小)的湧浪等3種狀況，分別以參數 $S_{max}=10$ 、50及75表示。

圖1為 $T_{1/3}=1.5$ 秒， $H_{1/3}/h=0.05$ ， $h=0.5$ 公尺， $S_{max}=10$ 時依Bretschneider-Mitsuyasu波譜數值模擬的結果。圖2、3及4分別為 $S_{max}=50$ 、75及100時的水面波動狀況。



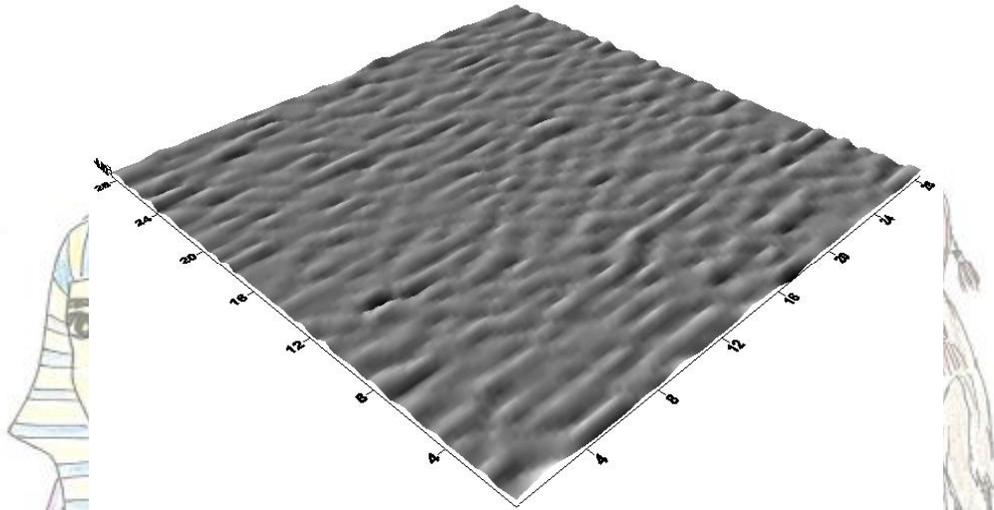


圖 4 海面運動數值模擬  $S_{max}=100$  ,  $T_{1/3}=1.5$  秒 ,  $H_{1/3}/h=0.05$  ,  $h=0.5$  公尺

至目前為止解析波浪運動現象的方法，大致上有波譜解析及個別波解析等 2 種方法。波譜解析法係利用統計學原理求出不規則波群之各種特性，目前係假設波群為以不同週期、波高及波向之線性成分波（微小振福波）組合而成。針對各成分波先行研究其波浪特性者稱為個別波解析法。

考慮波變形問題時，以單個波及對一群不規則波中針對相同週期之個別波進行實驗解析會得到略有不同的結果，此係受其他成分波的相互作用而起。波浪相關分類特性如下：

1. 波浪分類
2. 波浪特性
3. 波變形
4. 碎波
5. 風波
6. 波象
7. 波力
8. 不規則波統計學性質
9. 波譜



載滿貨品的驢子



阿拉丁神燈