

推算波浪的方法

陳麟詩譯

(摘譯自第十八屆國際航運會議第二章)

風吹在水面上發生波浪，波浪的特性不僅是由風速來決定，也與吹風歷時，吹風水面的長度（即對岸距離 Fetch），以及發生波浪氣團之某種特性（如氣團的穩定性，紊動的程度等）有關係。並且在風吹開始時，水面原有的波浪型式也有影響。許多學者曾努力尋求波浪之高度與上述諸因素之間的關係，並導出許多波高與風速或對岸距離的經驗公式。

Cornish 氏發表最高波之波高公式為：

$$H = 0.81V \quad (H \text{ 以英尺計，風速 } V \text{ 為每小時海里，1 海里} = 1,852 \text{ 公尺})。$$

Zimmerman 發表 $H = 0.742V$

Rosby 與 Montgomery 建議之公式； $H = 0.3V^2/g$ （此式之次元 dimension 正確。如 V 用海里表示，此式變成 $H = 0.027V^2$ ）

Steveuson 則建立波高與對岸距離之關係得出最大波高：

$H = 1.5\sqrt{F}$ 及 $H = 1.5\sqrt{F+2.5} - \sqrt{F}$ 。公式中對岸距離 F 係以海里表示，第一式適用於對岸距離大於 39 海里情形。第二式適用對岸距離小於 39 海里情形。

Molitor 氏於 1935 修正上述諸式，並將風速列入式中之變數，得出 $H = 0.196\sqrt{VF}$ 與 $H = 0.196\sqrt{VF+2.5} - 1.035\sqrt{F}$ 。

Steveuson 公式與 Molitor 式在風速為 59 海里時，得出相同的結果。

較近之 Iribarron 式為 $H = 4.59\sqrt{F}$ ，此式最符合西班牙海岸外波浪觀測之成果。

Borgen 曾經嘗試將波高要吹風歷時聯成關係，但因觀測值極少，以致難於決定關係式中之常數。

Steveuson 及 Molitor 公式過去曾是最廣泛

應用在設計上的公式，或者亦曾經是最好的及最合用的估計波高的公式，該式如將單位化成公制，則 Steveuson 式， $F > 76 \text{ Km}$ ， $H = \frac{1}{3}\sqrt{F}$ ， H 以公尺計， F 以公里計， $F > 76 \text{ Km}$ ， $H = 0.75 + \frac{1}{3}\sqrt{F} - \frac{1}{3}\sqrt{76}$ 。

Molitor 式， $F > 32 \text{ Km}$ ， $H = 0.06\sqrt{VF}$ 。

$$F < 32 \text{ Km}, H = 0.76 + 0.061\sqrt{VF} - 0.27\sqrt{F}。$$

全部上述諸公式的假設風速保持不變及 (Molitor 式除外) 風速有足够的強度，能在每一對岸距離內發生最大可能波浪，或者是對岸距離有足够的長度使得每一風速都能發生其最大可能的波浪。全部公式均假設吹風歷時無限，且水深均有適當的深度致波浪均能充分發育，所以這些公式所表示的波浪係最大可能的波浪，一般而言，較在某一實際情形觀測的真正波浪為大，因為實際情形還具有其他的因素，而公式中並未考慮進去。

在第二次世界大戰期中，波浪的研究在軍事海洋學領域內獲得偉大進步，該項科學所曾激發的興趣一直保持到現在。所以在戰後十年 (1945—1955) 以至現在，繼續有重大的進步。在戰爭的初期，因為計劃兩棲登陸作戰必須預知該登陸地區海面波浪的情形。此一軍事上的需要，使得預測海洋波浪的理論在 Sverdrup 與 Munk 研究下更臻完善與科學化。兩氏發明有效波浪 (Significant Wave) 一名詞，有效波浪者乃波浪具有波群中三分之一大波平均週期 (Period) 與波高。根據經驗，有效波浪非常接近由視覺觀測所測出之波浪數值。

預報有效波浪的方法係根據能量變換的理論，風的能量部份變換成波的能量，而波在前播時，其能量也隨之前播，基於此種變換率，可自一微分方程式得出波浪與風速，歷時，對岸距離之關係。當

第一圖

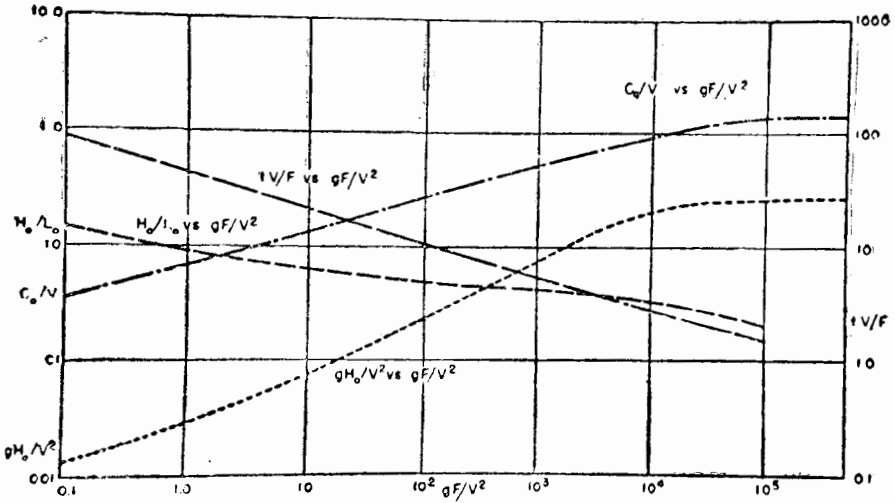


Fig. 1. — Wave height, velocity, steepness, and minimum duration as functions of fetch, using non-dimensional parameters. Sverdrup-Munk curves as revised by Bretschneider.

第二圖

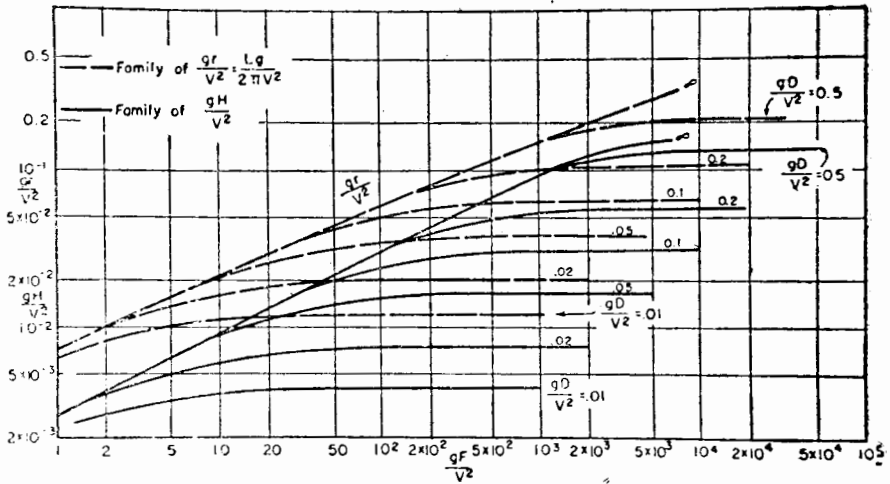


Fig. 2. — Growth of waves in a limited depth (after Thyssen)

波浪進入平靜 (Calm) 區域或衰退 (Decay) 區域時，可計算空氣摩擦之能量損失，並略去黏性 (Viscosity) 損失，則後波與前波之關係也可以求出。戰時與戰後學行之多次觀測，已將公式中之常數修正至非常正確。原由 Stump 與 Arthur 繪製之 Sverdrup-munk 曲線亦已被稍稍改變，較重要的改變是 Bertschniderto California 大學所作的。在較小並閉合的水體中 (第一圖)，Bertschneider 引入暴風 (或吹風) 寬度作為因素，改進了衰退曲線 (Decay Curves) 的正確程度。Thyssen 在荷蘭 Delft 水工試驗室的試驗，更延伸 Sverdrup-munk 曲線到淺水波的範圍 (第二圖)，此等曲線是基於擺線理論 (Trochoidal theory)，水分子滾動週週之半徑 r 等於 $L/2\pi$ 。

同一時期，Suthons 在英國亦作相似的工作，將波浪觀測值與對岸距離，風速，及歷時聯成關係，得出一套預報曲線，Barber 與 Urssel 更將該曲線範圍擴大並加入理論的基礎。最近 Darbyshire 則進一步改善，得出有效波高 (近似值) 如下：

$$H = 0.066V^{3/2}(1 - e^{-0.23\sqrt{F}})$$

實際上，波高應以波譜 (Wave Spectrum) 為基礎來計算。因為各種不同週期的波浪係同時發生，每一種波浪在其生長過程中須分別處理。而在對岸距離的終點綜合起來以獲得真正的波浪情形，Dardysire 的論文即提供這種方法。上述公式僅代表真正情形的近似值。Dardysire 的貢獻在理論上說恐怕比 Sverdrup-Munk 的成績更完善。

因為它將海洋波浪係一波譜而不是由單一週期與波高的波列所組成這一事實列入考慮。但是，對於大的對岸距離 (大於100英里) Darbyshire 方法所得出之數值似較通常發生者為低。不過以英吉利海峽與海爾爾海之短對岸距離的記錄來核對，則是非常適合的。

第三圖為用各種公式計算出波高曲線之比較圖。計算係以無限歷時為基礎，這大概即是在較大對岸距離處 Sverdrup 與 Munk 曲線數值較高的原因。因為暴風之歷時通常是有限的，而大多數經驗公式所根據之資料其歷時均是有限的。

決定波長或週期亦有許多經驗公式，Sverdrup-Munk 與 Darbyshire 均用理論方法決定週期，今日所應用者，即常為此中之值。在美國常用 Sverdrup-Munk 方法。

第四圖係表示美國 Michigan 湖 Milwaukee 港之波高頻率圖 (Frequency) 該圖是用 Sverdrup-Munk 方法製成。圖上三類不同之點群，第一類是自三整年 (1948—50) 氣象圖分析所得之頻率。第二類是自十二年 (1939—50) 中可引起高度八呎以上波浪之暴風記錄分析所得。而第三類則是停泊在港口之孔塔船所貫測自 (1930—31) 一年半之記錄。波高之推算值乃是有效波高。此值可能不與觀測之「平均最大波高」相符合。第四圖右上角是波向分佈圖 (Wave rose)，係得自三年氣象記錄之推算結果。圖上表示各種波高在各方向之分佈情形。本圖之波浪均為未曲折 (Refraction) 前之深海波浪，而非海岸邊之波浪。

墾殖計劃研究小組第二次講演會

日期：民國四十七年十一月廿八日下午三時至六點

地點：台灣大學農工系第九教室

講題 (1) 日本海埔地開發之現況

主講人：黃彩芳先生。

(2) 荷蘭海埔地開發之現況

主講人：陳麟詩先生。

贈送資料四種：(本小組編印)

(1) 荷蘭民族與海禽劃之史詩

(3) 推算波浪的方法

(4) 海堤坡面之保護

(5) 有關日本海埔地開發(干拓)統計資料。

此次講演會，事前曾分函通知小組各研究委員，並在台北市有關機關公布講演消息，故參加會員非常踴躍，使農工系第九條教室座無虛席。特別有數位小組研究委員自中南部趕來參加，情況至為熱烈。印贈之資料亦甚有參考之價值，聞該小組今後將繼續編印分贈參考。

第三圖

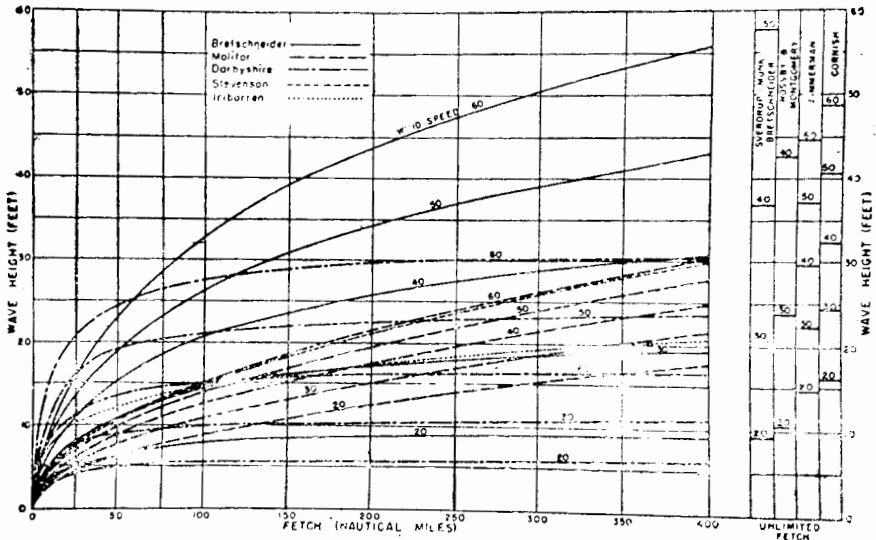


Fig. 3. — Comparison of various formulae for wave height as a function of fetch and wind speed.

第四圖

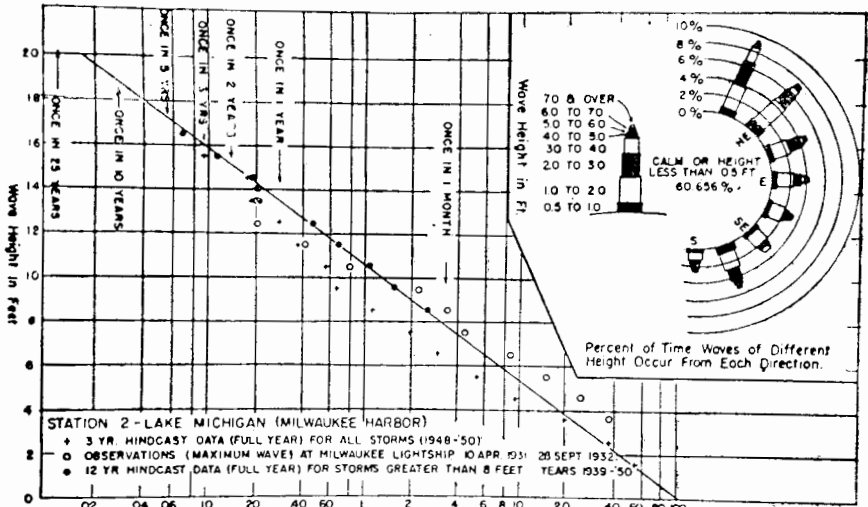


Fig. 4. — Frequency of occurrence of waves in percent of days.