

# Wilson推算式による波浪の簡易計算について

A Simplified Wind Wave Estimation Based on Wilson's Prediction Formulas

合田良実  
Yoshimi GODA

フェロー 工博 横浜国立大学名誉教授 (株)エコー(〒110-0014 東京都台東区北上野 2-6-4)  
Fellow of JSCE, Dr.Eng., ECOH Corp.

A procedure for predicting the significant height and period of wind waves generated in a uniform fetch is presented in the closed-form expression based on Wilson's formula in 1965. The relationship between the non-dimensional minimum duration and the non-dimensional fetch length is empirically expressed in a power law, which enables the analyst to judge whether the wave growth is limited by the wind duration or by the fetch length. The correlation between the significant wave height and period also indicates the period approximately proportional to the 2/3 power of the wave height.

**Key Words:** Wind waves; significant wave; Wilson's formulas; minimum duration

## 1. まえがき

波浪は海岸港湾構造物にとって最重要の設計外力であり、その大きさを適切に見積もることは技術者の最大の関心事である。このため各地で波浪の現地観測が多年にわたって継続され、また過去の気象擾乱による波浪の追算がいろいろ行われている。近年は波浪推算法も格段に進歩して、SWANその他の高度な数値計算法が使用されている。

その一方で、内湾・湖沼などの限られた水域における風波を推定したり、外洋の波浪の概略値を求めるときには、一定風速・固定風域の条件の下で波高・周期を簡単に推定できる有義波法も有用である。わが国では Wilson (1965) がその時点までの観測値を整理してとりまとめた波高・周期の算定式が標準として用いられている。この推算式は、昭和46年版水理公式集(土木学会)において紹介され、これに基づいて作成された波浪算定図表が掲載された。

Wilsonの波浪推算式は信頼度が高いものであるが、諸外国の技術マニュアルには必ずしも取り上げられていない。たとえば、米国の“Shore Protection Manual”では Bretschneider が作成した経験式に基づく図表を掲載しており、また現在作成中の“Coastal Engineering Manual”では別途の経験式を導入している。

波浪推算図表を使うときに不便な点は、吹送距離と吹送時間のそれぞれに基づく波高・周期を図から読みとった上で、比較しなければならないことである。このためこれまででは Wilson の推算式をコード化して自動的に計算することができなかった。本資

料では、無次元吹送時間と無次元吹送距離の関係を経験的なべき乗式で表示し、使いやすい形として提示する。また、波高と周期の関係について整理した結果も紹介する。

## 2. Wilson の波浪推算式

Wilson (1965) は、風速  $U$  の風が距離  $F$  の水面を十分に長い間吹き続けるときに発達する風波について、多数の観測データを整理して、有義波高  $H_{1/3}$  と有義波周期  $T_{1/3}$  の算定式を式 (1), (2) のように取りまとめた。

$$gH_{1/3}/U^2 = 0.30 \{1 - [1 + 0.004(gF/U^2)^{1/2}]^{-2}\} \quad (1)$$

$$gT_{1/3}/(2\pi U) = 1.37 \{1 - [1 + 0.008(gF/U^2)^{1/3}]^{-5}\} \quad (2)$$

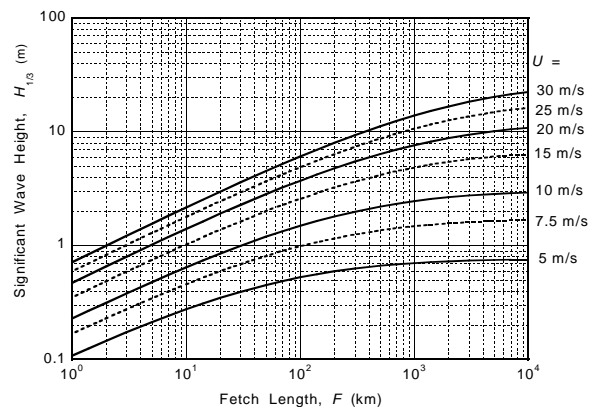


図 - 1 有義波高と吹送距離との関係

ここに  $g$  は重力加速度 ( $= 9.807\text{m/s}^2$ ) であり, 風速  $U$  は水面上10mの高さにおける値である。図 - 1, 2 は風速  $U$  が 5 ~ 30m/s のとき, 吹送距離  $F = 1 \sim 10,000\text{km}$  における有義波高・周期の値を計算した結果を表示したものである。

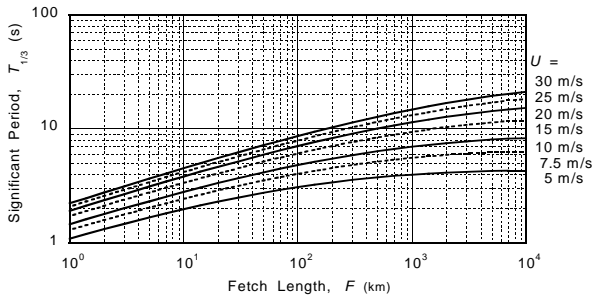


図 - 2 有義波周期と吹送距離との関係

### 3. 最小吹送時間の無次元表示

波浪は風上側から発達するにつれて次第に周期も長くなり, 伝播速度が増大する。発達しながら風域  $F$  を伝播するのに要する時間が最小吹送時間であり, これは式 (3) で算定される。

$$t_{\min} = \int_0^F \frac{dF}{c_G} \quad ; \quad \frac{gt_{\min}}{U} = \int_0^{gF/U^2} \frac{d(gF/U^2)}{gT_{1/3}/(4\pi U)} \quad (3)$$

この式 (3) は解析的に解くことができず, 数値積分が必要である。昭和46年版水理公式集の編集に際しては, 当時の港湾技術研究所水工部水理研究室の各位がこの計算を実行した (九州大学名誉教授光易恒博士の私信による)。水理公式集に掲載の波浪推算図表はこの計算結果に基づいている。

一方, 著者は『わかり易い土木講座17 海岸・港湾』(1972, 彰国社)の執筆に際して別途に数値積分を行い, その結果を数表として掲載した。同書に未掲載の分も含めて無次元最小吹送時間  $t_{\min}U/F$  と無次元吹送距離  $gF/U^2$  の関係を表示したのが図 - 3である。図中の黒丸が数値積分結果であり, これに対して直線はこれらの計算値に当てはめた結果である。

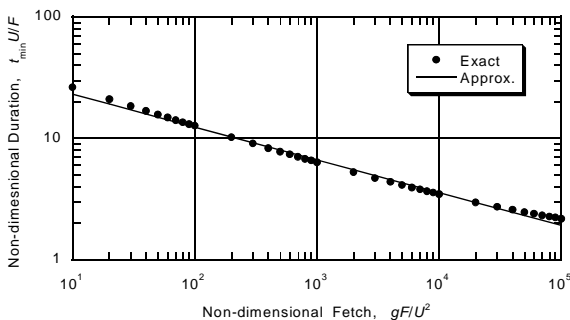


図 - 3 無次元最小吹送時間と無次元吹送距離との関係

なお, ここに示す最小吹送時間の計算結果の数値は,

水理公式集の波浪推算図表の値と僅かながら差異がある。

数値積分結果は僅かに下に凸な曲線状を示しているが, これに対して主として  $gF/U^2 = 50 \sim 50,000$  の範囲に着目して近似的に直線を当てはめると, 式 (4) のようなべき乗式が得られる

$$t_{\min}U/F = 43(gF/U^2)^{-0.27} \quad (4)$$

実用に供するためには, 次元表示のほうが便利である。そこで吹送時間  $t_{\min}$  は hours, 距離  $F$  は km, 風速  $U$  は m/s 単位で表示すると, 式 (5) が得られる。

$$t_{\min} = 1.0 F^{0.73} U^{-0.46} \quad (5)$$

また, 式 (5) を書き換えると, 与えられた吹送時間  $t$  に対する最小吹送距離  $F_{\min}$  を求める式 (6) を得ることができる。

$$F_{\min} = 1.0 t^{1.37} U^{0.63} \quad (6)$$

### 4. 波浪の簡易計算の手順

本資料に示した諸式を用いて波高・周期を簡便に推定するには, まず風域を固定し, 平均風速  $U$  (m/s), 吹送 (離岸) 距離  $F$  (km), および吹送時間  $t$  (hr) を設定する。これらのデータから, まず式 (6) で最小吹送距離  $F_{\min}$  を求め, 実際の吹送距離  $F$  と比較する。もし  $F > F_{\min}$  であれば, 波の発達は吹送時間で規定されるので, 吹送距離としては  $F_{\min}$  を用い, 式 (1) で有義波高, 式 (2) で有義波周期を算定する。逆に  $F < F_{\min}$  であれば波の発達は吹送距離で規定されるので,  $F$  をそのまま用いて波高・周期を計算すればよい。以下に計算事例を示す。

ケース 1 :  $U = 20 \text{ m/s}$ ,  $F = 120 \text{ km}$ ,  $t = 10 \text{ hours}$ .

式 (6) に余条件を代入すると  $F_{\min} = 155 \text{ km}$  が得られる。 $F < F_{\min}$  であるので  $F = 120 \text{ km}$  を式 (1), (2) に代入すると,  $H_{1/3} = 4.0 \text{ m}$ ,  $T_{1/3} = 7.4 \text{ s}$  の結果が得られる。

ケース 2 :  $U = 25 \text{ m/s}$ ,  $F = 350 \text{ km}$ ,  $t = 15 \text{ hours}$ .

式 (6) に余条件を代入すると  $F_{\min} = 310 \text{ km}$  が得られる。 $F > F_{\min}$  であるので  $F_{\min} = 310 \text{ km}$  を式 (1), (2) に代入すると,  $H_{1/3} = 7.4 \text{ m}$ ,  $T_{1/3} = 10.3 \text{ s}$  の結果が得られる。

### 5. 有義波高と有義波周期の相関

設計波の選定に際しては, 高波の極値統計解析に基づいて所定の再現期間, たとえば50年に対する確率波高を推定する作業が行われる。しかし, こうして選ばれた波高に付随すべき周期については十分な算定根拠が見いだせない。一般には, 極値統計解析

の対象とした高波について有義波高と有義波周期の相関図を作成し、両者の相関関係を外挿して周期を定めることが多い。

しかしながら、Wilson の波浪推算式を用いて試算をしてみると、風波の有義波高と有義波周期の間には明瞭な相関関係が見出される。図 - 4 は風速 5 ~ 30 m/s、吹送距離 1 ~ 10,000 km の範囲で計算した結果である。波高と周期の関係は風速によってやや異なる。しかし、同一風速では周期が波高のほぼ $2/3$ 乗に比例している。なおこの関係は既にToba (1978, 1999) が指摘している。鳥羽は風洞実験の結果やこの Wilson の波浪推算式の関係に基づき、波高が周期の $3/2$ 乗に比例するという形の $3/2$ 乗則を提唱している。

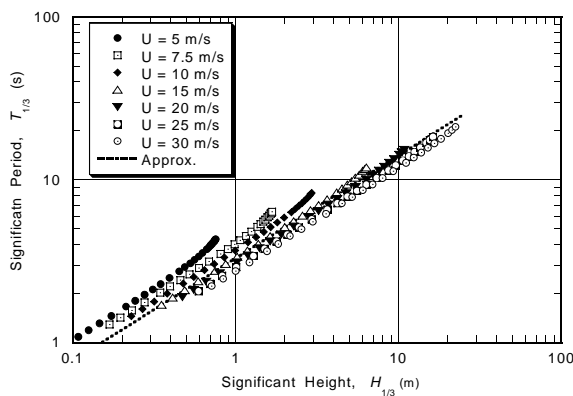


図 - 4 Wilson 推算式による有義波高と有義波周期の関係

このように周期と波高の関係は風速に影響されるけれども、風速10m/s程度以上に着目すると、平均的には式(7)の関係が成り立つと見られる。なお、波高の単位はm、周期の単位はsである。

$$T_{1/3} \cong 3.3(H_{1/3})^{0.63} \quad (7)$$

この式(7)によれば、風波に関しては波高が大きくなるにつれて波形勾配が小さくなる。たとえば、この式で有義波周期を求めて波形勾配を計算すると、波高が  $H_{1/3}=3.0$  m であれば波形勾配が 0.044 であり、波高 8.0 m では 0.034、波高 15.0 m では 0.029 となることが分かる。

## 6. むすび

本資料では、もっぱら実用上の見地から Wilson (1965) が定めた波高と周期の推算式に基づき、最小吹送時間の略算式を導き、これを变形して最小吹送距離を吹送時間と風速のべき乗式で表示した。これによって、波浪推算図表に頼ることなしに、与えられた風速、吹送距離、吹送時間から風波の波高と周期を直ちに求めることが可能となった。また、有義波周期が有義波高の $0.63$ 乗に比例することが示された。再現確率波高に付随する周期の選定に当たって

は、この関係を参考とすることができよう。

## 参考文献

- Toba, Y. (1978): Local balance in the air-sea boundary process I. On the growth process of wind waves, *J. Oceanogr. Soc. Japan*, Vol. 28, pp.109-120.
- Toba, Y. (1999): The  $3/2$  power law for ocean wind waves and its applications, in *Advances in Coastal and Ocean Engineering*, edited by Philip L.-F. Liu, Vol. 3, World Scientific, Singapore, pp.31-65.
- Wilson, B.W. (1965): Numerical prediction of ocean waves in the North Atlantic for December, 1959, *Deut. Hydrogr. Zeit*, Jahrgang 18, Heft 3, pp.114-130.