



SMB法による波浪予報

和田 光明 (波浪研究会・神奈川)

1. はじめに

此の度は石井賞を頂き、ありがとうございます。また、石井賞に推挙していただきました皆様に感謝いたします。神奈川支部からも支部表彰をしていただいております、改めて感謝いたします。

私は、昭和49年4月に新日本気象株式会社(現いであ株式会社)に入社し、昭和55年から平成3年は、港湾建設現場で波浪予報を行っていました。平成4年から平成13年は、淀川ダム統合管理事務所に派遣され、雨量予報資料の作成に携わっていました。平成13年以降は同社の国土環境研究所(横浜市)に勤務し、令和3年3月末で退職いたしました。また、平成30年4月からは、横浜国立大学教育学部筆保研究室のマッスル道場師範(市民ボランティア)を行っています。波浪研究会では、平成17年7月に行われた第8回例会でSMB法の紹介を行い、第9回例会からSMB法による波浪推定実習の講師を行っています。

2. 港湾工事と波浪予報

港湾建設はケーソンや鋼板・鋼管を使って行われます。ケーソンは据え付け後、中に土砂を入れて蓋をし、上部コンクリート打てば安定しますが、それまでに高い波が来ると動いてしまいます。鋼板・鋼管を海底に打ち込む場合もありますが、ある程度強度を出すために別の作業も必要です。どちらも、数日連続する静穏日が必要です。

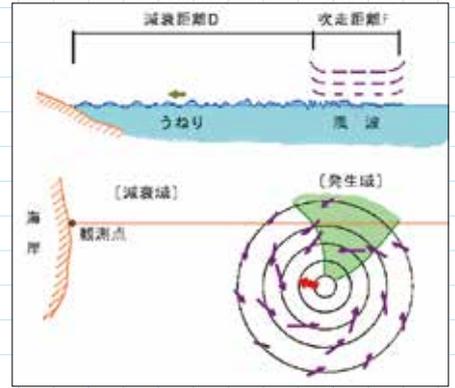
海上工事で使われる作業船の多くは自走することができないので、終日工事現場の海上に係留しておき、係留限界波高以上になる場合は港に退避します。波浪注意報以上が発表されるような状況になる場合、これらが発表されてから避難するのではなく、発表日の前日には安全な港湾内に避難し、その発表を待つようになります。当然のことですが、安全のため夜間行動は行いません。

このように、波浪予報は、工事の効率化と安全のために使われています。私が波浪予報を行っていた時は、16時までに向こう一週間の毎日の天気とSMB法を使って計算した、有義波の日最大波高と周期の予報を提供していました。

3. 波の発達

波は第1図に示したように、波は風からエネルギーを受け、風下方向に向かって発達します。また波の発達の程度は、風速に比例して高くなるだけでなく、その風が吹く時間や距離によって違います。ただし、波は定常状態になるとそれ以上発達しません。定常状態に達した波や、風からのエネルギーを受けなくなった波は、今までエネルギーを受けていた方向に向かってうねりとなって減衰しながら直進します。第1図(上)で同じような風が吹いている範囲の長さを吹走距離、その風が吹き続ける時間を吹走時間あるいは継続時間、うねりとなって進む距離を減衰距離といいます。地上天気図から吹走距離や減衰距離が分かります。地上風の強さも計算でき、その

風が吹いている時間(吹走時間)又は継続時間)もわかります。つまり、天気図から風向風速、吹走距離、吹走時間、減衰距離を求めれば、観測点の波浪だけでなく、到達時刻も求めることができます。



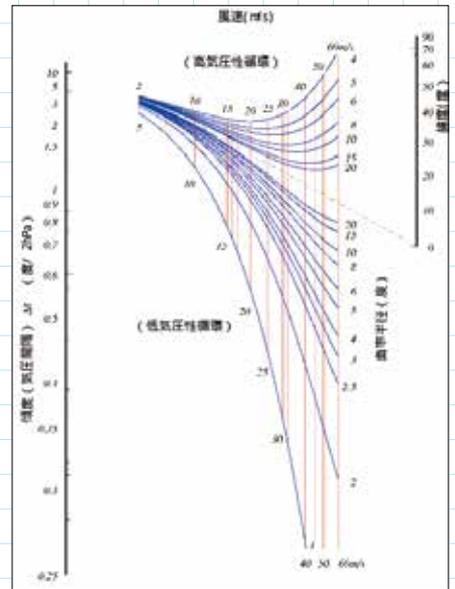
第1図 波浪発達の概念図
下図で、太い矢印は擾乱の進行方向、細い矢印は風向を表す。佐藤昭二他(1979)

4. 海上風の計算

海上風Vの計算に次に示す傾度風の式(1)を使います。

$$V = \pm \gamma \left(\sqrt{\Omega^2 \sin^2 \varphi \pm \frac{1}{\rho \gamma} \frac{\Delta p}{\Delta r}} - \Omega \sin \varphi \right) \quad (1)$$

ここで、 $\Delta p / \Delta r$ は気圧傾度(等圧線に直角な距離 Δr に対する気圧の変化を Δp とする)、 Ω は地球の回転角速度、 ρ は空気の密度、 φ は緯度、 γ は等圧線の曲率半径、複合の+は低気圧性、-は高気圧性を示します。



第2図 傾度風の算定図 高野洋雄(2011)

第2図は傾度風を求める図です。左側の縦の

直線が気圧傾度(/2hPa)で、右側の縦の直線が、風を求める緯度です。青色の実線による曲線が曲率半径で、赤色の縦の実線が風速です。

本来、求められて傾度風に大気の安定度に応じた係数をかけて海上風を求めますが、波浪研究会では求めた傾度風を海上風としています。

5. 波の計算

波浪の計算にはSMB法(有義波法)を使います。SMB法は、第2次世界大戦のノルマンディー上陸作戦のために、SvedrupとMunk(1947)により開発されました。その後、Bretschneiderを初めとする多数の研究者により改良され、1950年から1970年代にかけて精度の良い実用的波浪予

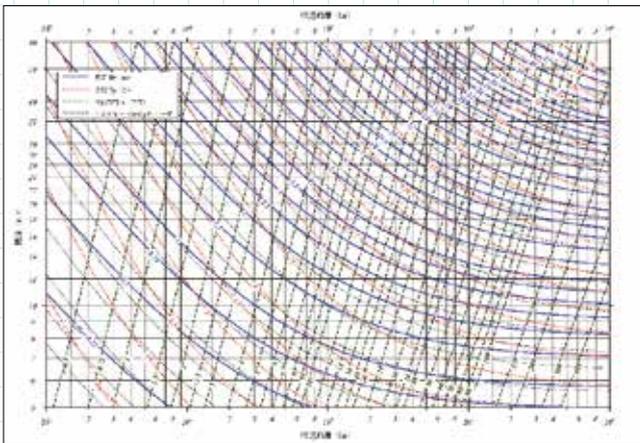
測手法として確立されました。このため、「Sverdrup、Munk、Bretschneider」の頭文字をとり、SMB法と呼ばれています。SMB法の解説は、高野洋雄(2011)だけでなく、堀川清司(1985)などの海岸工学の教科書や水理公式集(土木学会)にも載っています。私は、佐藤昭二他(1979)で勉強しました。第2式から第4式は浪源での波浪を推定する式です。

$$\frac{g H_{1/3}}{U^2} = 0.30 \left\{ 1 - \frac{1}{\left[1 + 0.004 (g F / U^2)^{1/2} \right]^2} \right\} \quad (2)$$

$$\frac{g T_{1/3}}{2\pi U} = 1.37 \left\{ 1 - \frac{1}{\left[1 + 0.008 (g F / U^2)^{1/3} \right]^5} \right\} \quad (3)$$

$$\frac{g t_{min}}{U} = \int_0^{\frac{g F}{U^2}} \frac{d(g F / U^2)}{g T_{1/3} / 4\pi U} \quad (4)$$

ここで、 $H_{1/3}$ は有義波高、 $T_{1/3}$ は有義波周期、 t_{min} は最小吹送時間、 F は吹走距離、 U は風速、 g は重力加速度です。第3図は(2)式から(4)式を基にした風浪の推定図です。横軸は吹走距離で、縦軸は風速です。緑の破線(直線)は吹走時間です。青の曲線(実線)が波高で、赤の破線(曲線)は周期です。黒の点線は等エネルギー曲線です。



第3図 風浪の推定図 高野洋雄(2011)

うねりの推定には、第5式から第7式に示した、SverdrupとMunk(1947)の推定式を使います。

$$\text{周期: } \frac{T_s}{T_0} = \sqrt{1 + 16\pi A r \frac{D}{g T_0^2}} \quad (5)$$

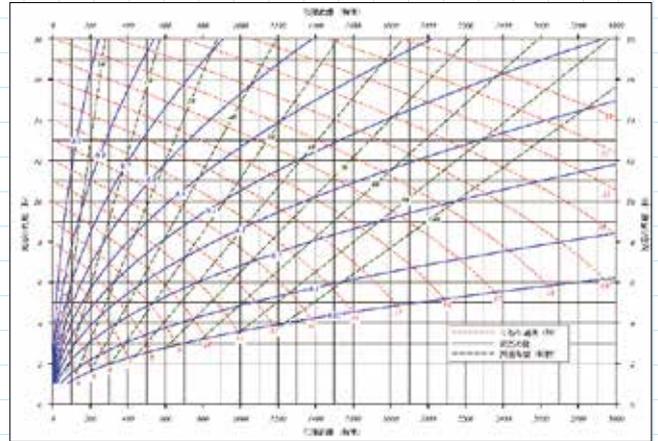
$$\text{波高比: } \frac{H_s}{H_0} = \left(\frac{T_s}{T_0} \right)^{\frac{r+\alpha}{2r}} \quad (6)$$

$$\text{到達時間: } t_s = \int_F^{F+D} \frac{dx}{C_g} = \frac{T_0}{2\pi A r} \left(\frac{T_s}{T_0} - 1 \right) \quad (7)$$

ここで、 H_0 、 T_0 はうねりとして伝搬する直前の波(風浪)の波高と周期、 H_s 、 T_s はうねりとして距離 D を伝搬した後の波高と周期、 $A \sim 6.35 \times 10^{-6}$ 、 $r = 0.580$ 、 $\alpha = 2.50$ 、 D は伝搬距離(減衰距離)です。

(5)式から(7)式を基にした、うねりを求めるために第4

図があります。縦軸が風浪の周期で、横軸が伝搬距離です。青の実線が風波とうねりの波高比です。赤の破線が求めるうねりの周期、緑の破線がうねりの到達時間です。伝搬距離と風波の周期から引いた直線の交点の波高比、うねりの周期、到達時刻を読み取ります。第3図で求めた風波にこの図から求めた波高比をかければ、うねりの波高になります。



第4図 うねりの推定図 高野洋雄(2011)

6. 最後に

SMB法による波浪予報は、紙と鉛筆さえあればいつでもどこでもできます。ここでは第3図、第4図、第5図の詳しい使い方の説明は紙面の都合上省略しました。興味のある方は是非、波浪研究会の例会にご参加ください。

波浪研究会の例会は年3回行っていて、冬の例会は大洗の観測会です。例会参加者には解説テキストを毎回配布しています。当日はスライドを使って説明後、参加者に計算実習をしていただき、計算例を示しています。また、気象庁が行っているスペクトル法による解説を行っています。大洗の観測会では、観測後当日と翌日の波浪を計算実習していただき、その後の解説は通常の例会と同様です。例会には海上保安庁や国土交通省地方整備局勤務の方の参加もあり、「仕事に使える。」と言っていました。

ここ数年の波浪研究会は、web開催で行っています。早く対面で行い、アフターファイブも楽しみたいです。しかし、webのおかげで北は北海道、南は鹿児島県と全国各地からの参加があります。

私にとって予報現場での仕事は大変やりがいがありましたが、緊張の連続でとんでもない経験をしています。現場を離れても、大きな気象イベントが起こりそうなときは、なぜか緊張しました。令和3年3月末に退職し、肩の荷が下りた思いです。これからは業務としての気象予報は二度とやりたいとは思いません。私が元気なうちは波浪研究会のお手伝いをし、若い力も育てたいと思っています。

気象は面白いです。大好きです。

H.U.Sverdrup, W.H.Munk, 1947: Wind, Sea, and Swell: Theory of Relations for forecasting. U.S. Navy Hydrographic Office, Washington, No.601.

高野洋雄, 2011: 有義波法による波浪推算 - 現業での利用を目的として -, 測候時報, 78巻, 185-201.

堀川清司, 1985: 海岸工学 - 海洋工学への序説 -, 東京大学出版会, 56-75.

佐藤昭二、合田良實, 1979: 海岸・港湾, 彰国社, 82-122.