

正会員 岡本 但夫

日本大学生産工学部 正会員 ○ 木田 哲量

日本大学生産工学部 正会員 阿部 忠

1. 概要 海洋上に広大な面積を有する浮遊式ブロック群(=集光ブロック群)を設け、その面上において採集した太陽光を電気エネルギーに転換させて、海底ケーブル送電を行なうという計画を進めている。この集光ブロック群は、ある一定許容海域内で自由な浮遊が可能な浮遊構造とする事によって海流・波浪に対する安定を図られる。そのために、集光ブロック群先端部と海底の碇塊をアンカーケーブルで連結する方法を取る。この集光ブロック群の係留力の算出法について考察を行なうものである。(注:土木学会第35回年次学術講演会Ⅱ-55は静力学的条件から算出し報告)海の波は主として、風が吹き続けることによって発生し、発達を続け、吹送時間 t 、吹送距離 L 、風速 U によって支配される。この波に関する理論は近年著しく進展し、その結果得られたSMB法(Sierdrup・Munk・Breschneider Method)に基く、波高、周期に関する関係式は単なる実験式ではなく理論的根拠を持つ一般式と目される。

$$[\text{波高}(m)] = 7 \times 10^{-4} \times [\text{風速}(m/sec)] \times [\text{吹送距離}(m)]^{1/2} \quad \text{----- (1)}$$

$$[\text{周期}(sec)] = 7 \times 10^{-2} \times [\text{風速}(m/sec)]^{1/3} \times [\text{吹送距離}(m)]^{1/3} \quad \text{----- (2)}$$

ただし、この場合の波高とは有義波の波高であり、風速は海面上10mの高さの風速である。そこで、これら基本式を用いて、本計画の想定域である八丈島附近の海域に集光ブロック群を係留するに要する力を算出する事とする。

2. 係留力の算出状況 式(1)によれば、波高 $H(m)$ は風速 $U(m/sec)$ に比例し、吹送距離 $L(m)$ の $1/2$ 乗に正比例することから、同一の風速が続く限り吹送距離が延長する程高さを増す事となる。台風時に風によって波が発生し、この波の群速度と台風自身の移動速度と方向とが一致する場合には、その波は常に台風より同一の風速によるエネルギー供給を受けて波高は吹送距離と共に増大する。したがって、台風による最大吹送距離が問題となる。台風は一般に日本列島の遙か南方の海上に発生し、初めは面ない北西に進路をとるが、北緯25度附近に達すると偏西風によって北東ないし東北東に転向する。本計画において、集光ブロック群の碇塊の位置を八丈島南方の海台(水深200m内外)上に設けるとの事すれば、台風が進路の転向と終える直線コースをとって日本列島にはほぼ平行に進み八丈島に至るコースをとる台風が本計画において想定すべき最も危険なコースと考えられる。すなわち、波は直進するので台風のコースの湾曲している同一の波はいつまでも台風圏内に留まり得ず、やがて台風圏外に出て風の影響を受けることなく、以降は“うねり”となって勢力を次第に減じつつ進むことになる。そこで、台風が進路の転向と終える所は、どの附近であるかであるが、既往の台風コースについて調査の結果、日本列島の太平洋側海面上で最も面寄りの点を選定した。よって、この点と八丈島とを結ぶ距離が、おおよそ1500mとなるので、これを以て最大吹送距離と見なすものとする。

次に、風速の想定を行うために、既往の台風の進路転向点附近の島に於ける最大風速を調査したものを表-1に示した。これによると、太平洋上の島では、おおむね40~60

m/sec程度と見られるので、本計画においては、那覇、ラサ島、八丈島を重複して、45 m/secを採用する事とした。また、台風圏の大きさについては、超大型の場合には、風速25 m/sec以上の暴風圏の半径は400 km以上とされている。(大島義典著“日本のお天気”による)台風の等圧線は同心円であって、風速は中心へ向かう程速くなるが、中心附近

表-1 台風時最大風速

観測地	風速(m/sec)	観測地	風速(m/sec)
宮古島	60.8	石垣島	46.3
鳥島	55.3	ラサ島	44.0
屋久島	50.3	那覇	43.5
枕崎	42.5	八丈島	44.8

には眼と呼ばれる無風またはこれに近い低速圏がある。そこで、本研究においては、台風の眼の半径を5.0^mとし、その内側は風速が静、そこから50^m 圏上では45^{m/sec}、半径400^m 圏上では35^{m/sec}の風速とし、これを直線と結び、その間の風速の自乗平均をとると、35.47^{m/sec}となる。よって、この値を用いて台風圏内の平均風速とする。そこで、風速 $U=35.47\text{ m/sec}$ 、吹送距離 $R=1,500,000\text{ m}$ 式(1)(2)に代入するならば、波高 $H=30.41\text{ m}$ 、周期 $T=26.33\text{ sec}$ が得られる。従って、この場合の波は、波速 $C=41.07\text{ m/sec}$ 、波長 $L=1,082\text{ m}$ 、群速度 $C/2=20.54\text{ m/sec}$ の性質を有することとなる。この場合、波速 $C=41.07\text{ m/sec}$ は風速35.47^{m/sec}を上回っている。波は風からエネルギーを受けて発達するのであるから、波が風より速い事は実際には生ずる筈はない事からして、この波速の大きさに到達する前に波速の飽和点が存在しなければならぬ。しかして、風速と波速との比については、ジョット氏によれば、波の遅くなる割合は約3割であって、次式が提示されている。(吉田耕造氏著「海の波」P44~)

$$\text{波速 } C = W / 1.32 \quad (\text{ここで、} W : \text{風速}) \quad \text{----- (3)}$$

ここで、風速 $W=35.47\text{ m/sec}$ の場合の波速は、 $C_0=26.87\text{ m/sec}$ となる事となる。また、この時の波の周期 T_0 は、

$$T_0 = T C_0 / C = 26.33 \times 26.87 / 41.07 = 17.23\text{ sec}$$

となる。したがって、この場合の平衡点に到達するまでの吹送距離 R_0 および波高 H_0 は式(2)(1)から得られる。

$$17.23 = 7 \times 10^{-2} \times 35.47^2 \times R_0^2 \quad \therefore R_0 = 420,436\text{ m}$$

$$H_0 = 7 \times 10^{-4} \times 35.47 \times 420,436^2 = 16.10\text{ m}$$

実際に大平洋で観測された既往の最高値は、 $H=15\text{ m}$ 、 $T=15\text{ sec}$ 内外とある。(吉田耕造氏著「復刻：海の波」P44~) よって、最悪の場合には、上記計算値の波が有り得ると考えられるので、 $H=16.10\text{ m}$ 、 $T=17.23\text{ sec}$ 、 $C=26.87\text{ m/sec}$ 、 $L=462.97\text{ m}$ の波を設計対象とする。

海水面における水の粒子速度 u は、式(4)で与えられる事から、設計波の諸値を代入して、 u の最大値 u_{max} を求める。

$$u = (\pi H g / L T) + (\pi H / T) \times \cos(2\pi x / L - 2\pi t / T) \quad \text{----- (4)}$$

$$\therefore u_{\text{max}} = 0.3206 + 2.9355 = 3.256\text{ m/sec}$$

日本海流は、ほぼ日本列島に平行して流れ、台風の進路とはほぼ一致している。よって、この水粒子の速度 u に海流による水粒子の移動速度(日本海流では1.8^{m/sec}程度)を加えたものが真の海水粒子の速度 u である。

$$u = u + 1.8 = 2.1206 + 2.9355 \cos(2\pi x / L - 2\pi t / T) \quad \text{----- (5)}$$

集光ブロック群の延長906^mに対し、その海水との摩擦力を得るために、 u の総和を計算した結果、 $\Sigma u = 7349.39\text{ m/sec}$ を得た。また、集合ブロック群の底面と海水との間の摩擦係数 μ の算出は式(6)を用いた。

$$\sqrt{2/f} = 5.75 \log_{10}(D/2r) + 4.73 \quad \text{----- (6)}$$

ここで、水深 D は200^m、喫水 r は0.2^m(集光ブロック群の底面が海面20^mに在る)であるから、 $f=4.878 \times 10^{-3}$ を得る。そこで、集光ブロック群全幅(両側の翼部ブロック幅を加算)を $B_0=266\text{ m}$ とし、海水の比重を $\gamma=1.024$ とするならば、集光ブロック群と海面間の総摩擦係数 P は式(7)で得られる。

$$P = f + \Sigma u \cdot B / g = 1.024 \times 4.878 \times 10^{-3} \times 7349.39 \times 266 / 9.8 = 996.4\text{ ton} \quad \text{---- (7)}$$

3. 結 論 集光ブロック群は破壊に定着されることから水平方向に於いては波面の運動とは独立で、その作用は防波堤と同様と考えられる。(ただし、海面下20^mまでブロックが有り、以下は欠如している状態)この場合の波力を元井勇次の実験公式から求めると、963.2^{ton}となる。そこで、集光ブロックの最先端部において、海面下10^mの所を中心として1:2の勾配でく一字形として、波力を192.7^{ton}とした。よって、全抵抗力は、 $P=996.4+192.7=1,189.1\text{ ton}$ となる。

静的釣り合い条件から算出した場合よりも大幅に少ない保留力で良い事が判明された。

参考文献 光易恒著：海の波、吉田耕造著：復刻、海の波、大野義輝著：日本のお天気、室田明著：応用体力学