

日本大学生産工学部	正会員	岡 本 但 夫
日本大学生産工学部	正会員	木 田 哲 量
日本大学大学院	学生員	○ 今 林 敏 明

1. 概 要 海洋は一般にその大部分は陸地周辺の大陸棚(水深200m未満)と水深4000および5000mの比較的平坦な海底面とよりなり、大陸棚の縁辺より海底へは一般に急崖を以て下っている。しかし我国の近傍では奥羽地方の東方には深さ8000m以上の日本海溝が横たわっている。大陸棚の縁辺は一般に海岸より比較的近く平均72km位であるが日本海ではもっと近い所が多く関東地方南方では海岸より2~3kmしか無い所もある。よって碇塊を水深200m以内の大陸棚上に置こうとすれば極めて限定された面積になる。そこで水深200m以上の場合を考えるに、右は碇塊を急崖上に置く事になるのでこれによって沖の方へ進出し得る距離は比較的僅少ではないかとも考えられる。しかし我国の場合には前記日本海溝が出来た反動によるものか伊豆半島より南に延びた長大な海底大山脈が遠くマリアナよりグアム島附近まで延々2000kmに連亘しており、その山陵線は大むね水面下400~500mより1500m内外で周囲の海底より2000~3000mも隆起している。よってこの長大な山陵線に沿って碇塊を並べ、之によりブロック群を係留して発電することにより量的に見て我国のエネルギーを根本的に解決する事も可能となる。勿論山陵線と言っても厳密な意味での山陵線は一般に鋭角をなして突出し、碇塊を据えるには不利であるがその近傍には一般に少し下った所に谷があるので此処が碇塊据付の好個の立地条件を具える事となる。かかる観点から、これまでは施工技術が容易と思われる水深100mまでの場合についてのアンカーについて考察を進めていたが、ここに水深500~1100mの海底に据えるアンカーの研究を行なうこととする。

2. アンカーに作用する張力

太陽光採集所としての浮遊構造物の形状および寸法は、図-1に示すとおりとする。この浮遊構造物に作用する波浪および海流による影響からアンカーに作用する張力を求めることとする。水深とアンカーに作用する張力の関係は、水深が小さいほど張力は大きいことから水深500mにアンカーを設置する場合の張力を求め、その張力を基準として水深1100mまでのアンカーを設計する。

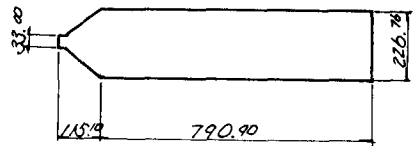


図-1 浮遊構造物形状寸法 (単位:m)

2-1 浮遊構造物に作用する海上表面の力に関して 太陽光採集所としての浮遊構造物に作用する海上表面の力は、質量輸送によるせん断力と海流によるせん断力が考えられる。質量輸送によるせん断力 T_1 は次式で与えられる。 $T_1 = \frac{1}{2} \rho f P U^2$ ----- (1) ただし、 g : 重力加速度, 9.8 m/sec^2 。 f : 摩擦抵抗係数, 0.5。 P : 比重, 1.03。 U : 質量輸送速度, 3.90 m/sec 。式(1)から $T_1 = 0.002718 \text{ ton/m}$ を得る。

そこで浮遊構造物の底面積 $A = 191387 \text{ m}^2$ を乗することにより波浪から浮遊構造物が受ける力 $H_{1.1} = T_1 \cdot A = 520.19 \text{ ton}$ を得る。日本附近を流れる黒潮は3~6ノットの流速であると言われている。そこで本浮遊構造物は黒潮の本流を避けて設置するものとする。そのために浮遊構造物設置個所附近の海流の平均流速を、 $U = 3 \text{ ノット} = 1.54 \text{ m/sec}$ とする。平均流速 $U = 1.54 \text{ m/sec}$ を有する海流によるせん断力 $T_2 = 0.000435 \text{ ton/m}^2$ を式(1)より得た。したがって、海流によって浮遊構造物が受ける力は $H_{1.2} = 81.44 \text{ ton}$ となった。ここで潮流の方向と波浪の方向とが一致する場合が浮遊構造物にとって最も危険な状態となることから、海上表面の作用力 H_1 は次のようになる。 $H_1 = H_{1.1} + H_{1.2} = 601.63 \text{ ton}$ となる。

2-2 浮遊構造物とアンカーとを結合するケーブルに作用する海面下の力に関して 海中にあるケーブル

に作用する外力は次式で与えられる。 $\mathcal{E} = C_0 \frac{1}{2g} \rho U^2 A$ ----- (2) ただし、 C_0 : 抗力係数、1.20。 A : 平均流に直交する受圧面積、 αm^2 。 U : 質量輸送速度。 d : ケーブル直径。 質量輸送力が作用した時の平均流速 U は式(3)で与えられる。 $U = (\pi H)^2 / L \times e^{-4\pi y/L}$ ----- (3) ただし、 H : 波高。 L : 波長。

T : 周期。 y : 水粒子の位置。 そこで波長 $L = 200m$ の場合について設計することとする。 式(2)、式(3)から次の結果を得る。 $\mathcal{E} = 0.9588 \alpha e^{-0.12566y}$ ----- (4) 次に海流によるケーブルに対する作用

力 $\mathcal{E}_2$ を求める。 海流の流速として黒潮の流速を基準とする。 すなわち、黒潮の水深300mにおける流速を2ノットとし、その垂直分布も次式のような指数関数と仮定する。 $U = a e^{-0.003662y}$ ----- (5) ただし、

a : 黒潮の表面流速、3ノット。 式(2)と式(5)から $\mathcal{E}_2$ を次式によって得られる。 $\mathcal{E}_2 = 0.06306 d \times a^2 e^{-0.003662y}$ ----- (6) よって、式(4)、式(5)から、水深500mの場合のアンカーに作用する張力 H_2 を次式の通り得られる。

$H_2 = H_1 + 2.761 \sin^2 \theta$ ----- (7) ただし、 θ : 海面とケーブルがなす角。 ここで、 θ は、ケーブルの水平方向長さ l と水深 h との比から次式の通り決定した。 $\theta = \tan^{-1} l/h = \tan^{-1} 500/3340 = 8^\circ 31'$ ----- (8) 以上の諸条件からしてアンカーに作用する張力 $H_2 = 601.69 ton$ を得た。

3 アンカーの設計

3-1 構造概要 水深500mに設置するアンカーは、アンカーに作用する張力 $H_2 = 601.69 ton$ の水平力に対して滑動しないようにする。

そのためには摩擦係数を0.5とするならば海中重量で1203.38 tonの重量が必要となり、これを陸上の重量に換算すると1385.12 tonとなる。

この重量構造物を洋上遙かな沖まで運搬するには構造物を海に浮かして船で曳航するのが良いと考える。 よって中空の円筒を軀幹として先端には円錐形、後端には中空半球を取付けた図-2のような形とする。

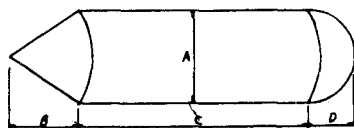
かくして据付予定位置の直上水面迄構造物を曳航し、ここで、構造物の

円筒部内に海水を入れ全体が浮力よりやや重くなる様にし、これにケーブルを取付けて海底へ向け釣るしながら構造物を降ろすならば僅少の重量で構造物を海底まで降ろすことが出来る。 この構造物には一定箇所に火薬を取付けておき、砲気雷管等による発破が出来るようにしておく。 そして、構造物が海底に到達した後発破を行い、構造物の一部を破壊すると海水が円筒部内に浸入することとなり、構造物の浮力を消去することとなる。

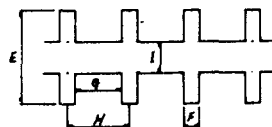
これによって、構造物は所定の水平力に耐え得るアンカーとすることができる。

3-2 水深500~1100mにおけるアンカーの設計 アンカーの水平方向に作用する力は、最大で601.69 tonであるが予測し得ない影響を考慮して700 tonとして設計を行った。 海底における摩擦係数を0.5とすると、アンカーは海中重量として1400 ton以上、陸上重量では1611 ton以上が必要となる。 ここで鋼の比重を7.85とすると、その容積は205.22 m^3 以上必要となる。 アンカーの据付位置は海苔の山陵線附近であることからあまり長い構造物は好ましくない。 これらのことからしてアンカー構造の諸寸法は表-1のように定めた。 使用材料としては海水の腐食作用に対応する為に高張力鋼を用い、許容抗圧強度は1600 kg/cm^2 として設計した。 また円筒部に相当な等分布荷重が作用することから陸屈に対する安全性を検討した結果、かなり不足することが判明したことより、平均厚を増すことなくこの欠陥を補う為に円筒厚を不同にして断面二次率を増したものである。(図-3)。

参考文献: 土木学会編: 海洋構造物設計指針(案)解説



(図-2) アンカー (平均寸法)



(図-3) 円筒部断面図

表-1 水深別によるアンカー寸法 (mm)

水深	A	B	C	D	E	F	G	H	I	板厚	比重
500m	8	6	27	4	0.60	0.04	0.36	0.40	0.20	0.24	0.972
800m	8	6	25	4	0.60	0.05	0.35	0.40	0.20	0.25	1.015
900m	8	6	23	4	0.60	0.07	0.33	0.40	0.20	0.27	1.096
1000m	8	6	20	4	0.60	0.10	0.30	0.40	0.20	0.30	1.218