

日本大学生産工学部 正会員 阿部 忠
日本大学生産工学部 正会員 沖野 善治郎

1. 目的 太陽熱を利用してエネルギー資源を確保するために、海面上に太陽エネルギー採集場として設けられる広大な浮遊ブロック群は、色々な作用力によって移動しようとする。この浮遊ブロック群はある一定の許容範囲内での浮遊は自由であるが、大きく流されてしまうことは、採集した電気エネルギーの送電施設に障害を与えたり、公海上を航行する船舶との無用な摩擦を生じたりすることがないように、一定の許容範囲で碇結することが必要である。浮遊ブロック群を水平方向に移動させようとする力は主に潮の流れによるもの、波浪によるもの、風によるものなどが考えられる。これらによる張力を、チェーン、ワイヤー、あるいは合成繊維ロープなどによって海底に設置する流錘に係留する方法をとる。したがってこの浮遊ブロック群の係留碇結の設計に当たってはまずそのブロック群の構造および設置海域の自然条件が必要となってくる。浮遊ブロック単体は一边が335 cmの正六角形で高さが45.9 cmの龜甲状である。この単体を4,000個集合させたものを1浮集団ブロック群(図-1)を単位として係留することとする。次に埋設するアンカー位置は、水深100 mのものを標準に考え想定した。潮の流れは、一応黒潮の最大速度を1 m/secの速度を有する場合を条件とする。最も大きな影響を与えられと思われる波浪の設定であるが、過去の日本近海における波浪は150~200 m程度の波長で、その最大波高は20~28 mと記録されていることから、本設計波長は200 mとした。

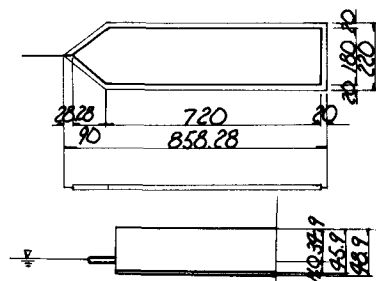


図-1 浮ブロック

2. 波について 埋設アンカーを水深100 mの所に設置する場合、最大波長200 mの波が来襲した場合水深 h と波長 L との比は $h/L = 1/2$ であるので浅海域の波の理論にもとづいて計算を行うこととする。深海波から浅海波への波の進行に伴ない波長比が十分小さい場合は微小振幅波理論を用いれば十分であるが波高が波長の $1/7$ の場合波長が200 mであるので波高は28 mと波形勾配が非常に大きいので有限振幅波理論を用いなければならない。また微小振幅波では水粒子の回転軌跡は閉曲線とならず波の進行方向に残留速度を有し、微小ではあるがその方向に質量輸送速度が加わる。しかし水粒子の水平速度および加速度は有限振幅波理論を用いると高精度の数値計算によらなければならない故微小振幅波理論にもとづいて行う。

有限振幅波による伝播速度: C

$$C = \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L} \left\{ 1 + \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\cosh 8\pi h/L + 8}{8(\sinh 2\pi h/L)^4} \right\}} \quad (1)$$

質量輸送速度: U

$$U = \frac{\pi^2 H^2}{2LT} \cdot \frac{\cosh 4\pi(z+h)/L}{\sinh^2 2\pi h/L} \quad (2)$$

微小振幅波による水粒子の水平速度: u

$$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh 2\pi(z+h)/L}{\sinh 2\pi h/L} \sin\left(\frac{2\pi}{L}x - \frac{2\pi}{T}t\right) \quad (3)$$

水粒子の水平加速度: $\partial u / \partial t$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{2\pi^2 H \cosh 2\pi(z+h)/L}{T^2 \sinh 2\pi h/L} \cos\left(\frac{2\pi}{L}x - \frac{2\pi}{T}t\right) \quad (4)$$

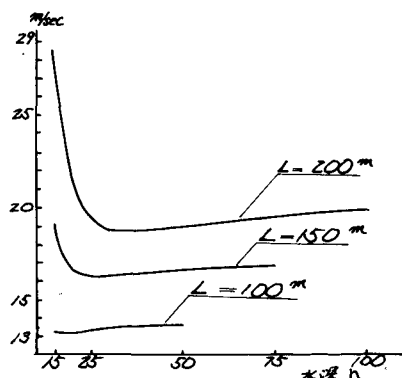


図-2 浅海域における伝播速度

ただし、 L = 波長、
 H = 波高、 h = 水深、
 $T = L/c$ = 周期、
 $\bar{z}$ = 水粒子の平均位置、
 $\bar{z}_0$ = 静止時の水粒子位置、
式1,2,3について各条件の場合を図1,2,3に示す。
これらのことから設計波は200mとして設計する方が良いと判断した。

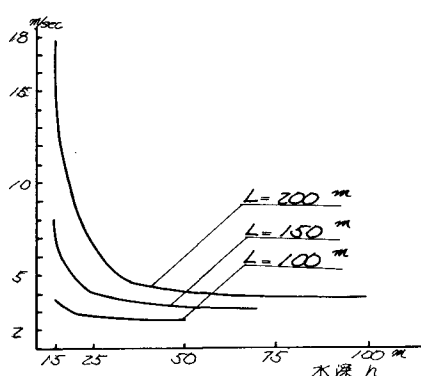


図-3 質量輸送速度

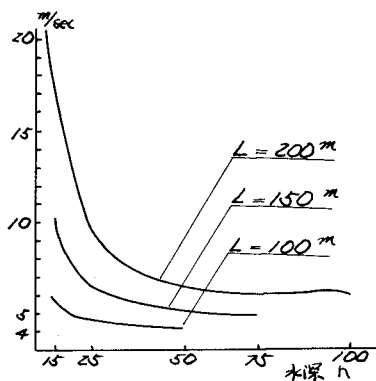


図-4 水粒子水平速度

3. 作用外力

潮流方向と波浪の方向が90°程度の差があり、両者が重複して作用する場合はないものと考えられる。したがって潮流方向と波力が直交する場合に波長200mの波が来襲した場合浮ブロックはこれら作用力の合力方向に向きを求める。また質量輸送速度、水粒子の水平速度は潮力とは互いに直角に作用する。したがってこれらのうちどれかが風力と方向が一致した場合の合力が最大水平力になる。浮ブロックの海水と接している所には貝がら等が付着しそのため浸水面積が増大し、波力、潮力などの外力が大きくなると考えられる。(したがって今回の設計では貝がら等が3cmの厚さで付着した場合の波力、潮力を検討する。

3-1 潮流によるもの $P = 0.145 V^2$, $P_f = K D V$, S = 浸水面積, K = 係数80, V = 流速, D = 吃水下面積。流速 V は質量輸送速度による場合と潮流による場合を求める。吃水下面積はAB面によるものとする。

3-2 波力によるもの $P_b = (PD) \max \sin^2 A + (PM) \max \cos A$, $P_0 = \frac{w_0}{2} C_0 A u^2$, $P_M = \frac{w_0}{2} C_M V$ 等, C_0 抗力係数は1.19, C_M 質量力1, A 物体の水粒子の運動方向面積

3-3 風圧力 $P_f = \frac{1}{2} \rho C V^2 A$, ρ = 空気密度 0.123×10^{-3} (t・sec² m⁻⁴), V = 風速60 (m/sec), A = 水面上正面投影面積m²

4. 考察

各作用力がどのような組み合わせで作用するかが問題となる。したがって、各作用力の作用方向を考慮して合力を求めた。(表-2) この場合、まず潮力が作用する場合と作用しない場合に分ける。つぎに、潮力が作用する場合において風の方向が浮ブロック群の長さ方向に対して直角方向あるいは水平方向に作用するかに分けた。

アンカーと浮ブロック群との連絡ワイヤーロープが海底となす角度を45°までの各場合についてケーブル断面を求めた。このケーブルに作用する張力は港湾構造物設計基準により安全率を1.2とした。ワイヤーロープは一応平橋用の37本6捻りを用いた。(表-3) このうち海底となす角度を30°とした場合を採用することとする。尚ケーブル断面は図-6に示すものである。

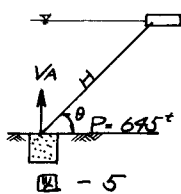


図-5

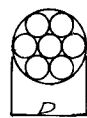


図-6

表-1 浮ブロック諸性質

	A方向投影面積	B方向投影面積
吃水線上	64.82 m ²	284.69 m ²
吃水線下	27.20	115.40
断面	92.02 m ²	400.90 m ²
浸水面積	177.122 m ²	
質量輸送速度	3.909 m/sec	
水粒子速度	6.159 m/sec	

表-2 係留ラインに作用する水平力

外力方向(図注)	0°	90°	潮流が関係ない
風圧力	14.35	63.02	14.35
摩擦抵抗	24.80	24.80	378.90
圧力抵抗	41.64	41.64	33.25
波力	218.28	218.28	218.28
合力	362.04	448.44	644.78

表-3 アンカーに作用する力

θ	H×1.2	VA×1.2	D	重量	保証張力
15°	800°	207.6°	13.8°	21.7°	890°
30°	892°	446.4°	14.4°	11.9°	917°
45°	1095°	774.0°	16.2°	11.0°	1162°