

日本鋼管 正 中山義昭
 " " 前田直寛
 " " ○ 中村公信

1. まえがき

大型海洋工事に伴う浮遊構造物の係留においては 潮流、波、風、等による浮体の挙動や係留力の把握が重要となる。本解析では 1個の浮体および複数本の係留ケーブルより成る系に 潮流、波、風 および任意集中荷重が静的に作用する状態において 次の3種類の問題を電算処理する。

i) 釣合計算-----外力に対する浮体の釣合位置、ケーブル張力、等の計算

ii) ケーブル長操作----任意のケーブルを任意の長さだけ巻込み巻出しを行なったときの 新たな釣合状態の計算

iii) 位置決め-----ケーブル長操作によって目標位置へ移動するために必要な操作長の計算 および操作後の釣合計算

2. モデル化

浮体は 鉛直方向 および水平軸回りの浮力復元力を有する剛体とし 並進・回転をする。

ケーブルは アンカー点(空間に固定)とウインチ点(浮体に固定)の間に張られた放物ケーブル もしくは ニュートン要素分割 FEM・pin 要素でモデル化する。前者(MSA/PC)では ケーブルは鉛直面内で自重と釣合、他の荷重はすべて浮体重心での力、モーメントに集約されるのに対し 後者(MSA/PIN)では ケーブルの中間節点にも載荷できるので ケーブルの形状は3次元の折れ線として表現される。

潮流力、等の外力はプログラム内部で算定する。

3. 理論式

浮体重心(およびケーブル節点)における釣合方程式は

$$f(u) = P_B + P_c - P = 0$$

== 1 == P_B : 復元力 P_c : 張力 P : 外力

と書ける。上式は 浮体の並進・回転(およびケーブル節点変位) u に関する多元連立非線形方程式であり Newton法により収束計算を行なう。

$$u^{(n+1)} = u^{(n)} - f'(u^{(n)})^{-1} f(u^{(n)})$$

== 2 == $f' = K_B + K_c$

$K_B = \partial P_B / \partial u$: 復元力 stiffness

$K_c = \partial P_c / \partial u$: ケーブル stiffness

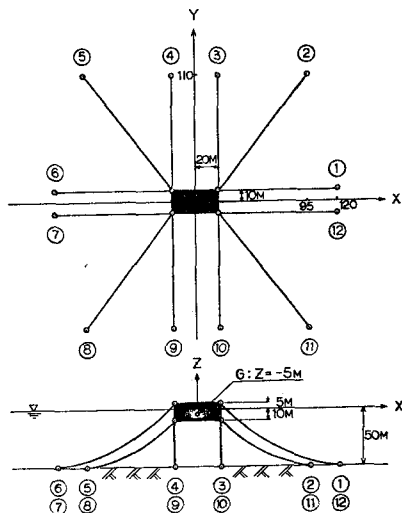


FIG.1

CABLE TENSION AT WINCH POINT				(TON)									
NO.	MSA/PC	MSA/PIN		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
①	1.2												
②	1.4												
③	1.5												
④	2.0												
⑤	2.0												
⑥	2.5												
⑦	9.7												
⑧	94.4												
⑨	90.3												
⑩	90.2												
⑪	34.3												
⑫	37.0												
⑬	11.4												
⑭	11.4												
⑮	3.5												
⑯	3.3												
⑰	2.8												
⑱	2.8												
⑲	1.4												

FIG.2

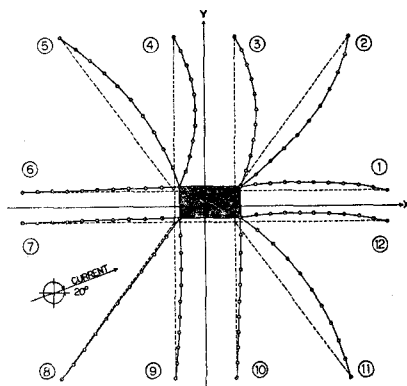


FIG.3

4. 数値計算例

(1) FIG.1 に示すような 12本のケーブルによる箱形浮体の係留を考える。浮体の復元力特性は $K_{uz}=500 \text{ t/m}$, $K_{\theta x}=20000 \text{ t/m}^2/\text{rad}$, $K_{\theta y}=80000 \text{ t/m}^2/\text{rad}$ とする。またケーブルは 上段②⑤⑩⑪が押ひ剛性 $EA=10000 \text{ t}$, 単位長重量 $w=0.009 \text{ t/m}$ とし 残り8本は $EA=15000 \text{ t}$, $w=0.013 \text{ t/m}$ とする。初期サグ比はすべて $n_0=0.1$ とする。

(2) まず水深方向に一樣な潮流 $V=2.0 \text{ m/sec}$ を 20° の方向に作用させる。浮体およびケーブルの抗力係数はそれぞれ $C_D=2.0, 1.2$ とする。MSA/PC および MSA/PIN で計算した釣合状態での張力を FIG.2 に比較表示する。両手法はほぼ一致した結果を示している。FIG.3 は MSA/PIN の釣合平面図である。潮流後方のケーブルが潮流方向に大きく湾曲して遊んでいるのに対し 前方ケーブルは自重と潮流力に比べてはるかに大きな張力を生じ ほぼ直線形状を保っている。支配的な張力が 直接潮流力によらず 浮体の移動を介して間接的に発生する点に注目したい。したがって 最大張力算定は放物ケーブルモデルで十分であり、しかも放物ケーブルでは表現できない水平たわみを生じるケーブルの存在は系全体に及ぼす影響が小さいので軽部である。

(3) MSA/PC の上記計算において 1回の荷位増分を小さく制御した収束過程を 浮体重心の平面座標についてプロットしたものが FIG.4 の "o" である。添字は収束 step を表す。慣性力や造波抵抗等を無視して準静的に考えるなら 同図は浮体の平面移動軌跡だと解釈できよう。対応する各 step の「浮体の回転角」「ケーブルの水平張力」「サグ比」を FIG.5, 6, 7 に示す。これから総合して考えると まず初期の段階 (step 0~8) では 浮体はほぼ直線的に移動し 潮流前方のケーブルはサグの減小で抵抗する。また最終段階 (step 14~16) では サグがほぼ吸収されてしまっているので 弾性変形により抵抗し張力が著しく増大する。中間段階 (step 8~14) は この2つの異なったケーブル特性間の過渡領域で ケーブル自体も系全体も顕著な非線形性を示す。

なお 張力に与える浮体の回転の影響も無視できず 平面的なケーブル配置だけで張力を議論することは困難を残す。

(4) FIG.4 の釣合点 (16) から $(X, Y)=(1 \text{ m}, 5 \text{ m})$ の点へ移動することを試みる。この位置決めに必要なケーブル操作長を1回で操作すれば 同図 "o" の軌跡を描く。また10回に分割すれば "Δ" の軌跡を描く。前者の場合 ケーブル長の急激な変化により一時的に過大な張力が発生し その後浮体は潮流に流されながら目標地点へ到達するのに対し 後者の場合は 張力のバランスをほぼ保ちながら直線的に移動する。

