

緊張係留プラットフォーム(T. L. P.)の構造特性について

九州工業大学 正員 久保喜延
九州工業大学 学生員○森松一典

1. はじめに

昨今のエネルギー不足を克服するために、種々の形でエネルギー確保のための努力が行われている。その中でも、海洋資源の開発および掘削は最も精力的に行われているものの一つである。これらの事業を進めるために必要なのが、洋上作業をするための作業用足場としてのプラットフォームである。これらのプラットフォームとしては種々の形式のものが考案されて来ているが、本研究で対象とするのはその中でもプラットフォーム部分を浮体とし、これを数本のケーブルで海底に定着する形式(Tension Leg Platform)のものである。その場合、浮体が波や潮流および風によって移動することのないように、浮体を海底に定着するためのケーブルには張力を加える必要がある。その張力の加えかたとしては、浮体の静的釣合状態から必要な張力分だけ浮体を下方に引き込むことによって、そのときに発生する浮力をケーブルの張力として加えるものである。この方式の特徴としては、日本近海のように地震の多い場所での耐震性に富んだ構造であること、ケーブルを取り除くことによってプラットフォーム部の移動が容易に行われること、さらに水深の変化に対してはケーブルの長さを変えることで容易に対処出来ることなどが上げられる。しかしながら、我が国ではこの種の形式の構造に対して研究・開発が以前から行われているにも拘らず、本格的な実用には至っていない。その要因としては、緊張係留システムに発生する非線形挙動、大きな緊張力の反力装置としてのアンカリングの方法およびその損傷時の安全性などに関する知識や開発不足からシステム全体としての信頼性が乏しいことが考えられる。そこで、本研究では緊張係留システムの非線形挙動に着目して、構造特性の解析的検討を行う。

2. 静水中で水平力のみが作用した場合

解析対象としたのは、Fig.1に示す構造を有するものである。まず、静的な解析を行うに当たって、図のように座標軸を決める。外力としては、波力および潮流ならびに風などが考えられるが、ここではこれらが静的に水平外力としてのみ作用すると同時に浮体は傾かないとする。このとき、水平力が作用しない状態での静的平衡状態から水平力が作用すると浮体は水平方向に移動するとともに、下方に引き込まれ、浮体に作用する浮力が増大する。この浮力の増分は、緊張ケーブルの張力増加をもたらし、これがケーブルの伸びを与え、さらに浮力の変化をもたらすことになり、張力の非線形挙動を引き起こすことになる。この張力の非線形挙動を初期張力の大きさと水平力の大きさとでどのように変化するかを検討するために、Fig.1の構造をFig.2のようにモデル化して力の釣合から張力に関する静的釣合式を立てると、以下ようになる。ケーブルの弾性係数を E_c 、断面積を A_c 、浮体の質量を m 、底面積を A_f 、吃水深さを h_w 、水深を h 、ケーブル張力を T 、水平外荷重を X 、ケーブルと鉛直線とのなす角を θ 、初期ケーブル長を L_0 とする。鉛直方向の合力を Z として水平および鉛直方向の釣合式は、

$$(1) \quad \Sigma H = T \sin \theta - X = 0, \quad \Sigma V = T \cos \theta - Z = 0$$

となる。但し、 $T^2 = X^2 + Z^2$ 、 $Z = \rho_w h_w A_f - mg$ 、 $h_w = h - L \cos \theta$ 、 $L = L_0 (1 + T/E_c A_c)$ 。

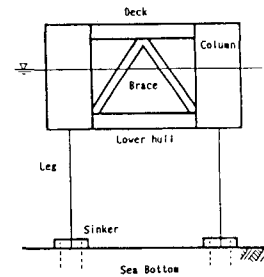


Fig.1 Tension Leg Platform

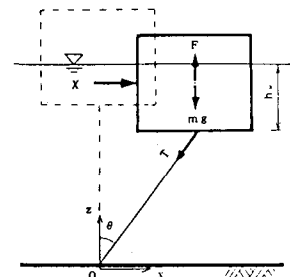


Fig.2 水平力のみが作用した場合

式(1)から、 θ を消去して水平力 X とケーブル張力 T との関係を導くと次式ようになる。

$$(2) \rightarrow T^2(h - mg / \rho_w A_F)^2 = (T^2 - X^2)(aT + La^2)^2, \quad \text{但し、} a = 1 / \rho_w A_F + L_a / E_c A_c。$$

これは T に関する四次式であるため、次数を下げてカルダノの方法で解いた結果が、Fig.3である。この場合の解析条件としては初期張力が作用していない状態として $h=600\text{m}$, $h_w=33.0\text{m}$, $A_F=615.75\text{m}^2$, $L_a=567\text{m}$, $E_c=1.65 \times 10^7 \text{t/m}^2$, $A_c=0.129\text{m}^2$, $m=3571.43\text{t}$ を仮定し、初期張力 T_0 を零から漸次増加させた場合に水平力を変化させたときの張力の増加分を表わしたものである。なお、初期張力の増加方法としては、ケーブル長を変化させないで水深を増加する方法を取った。Fig.3中で上から6本の曲線は水深を600mから1m毎に増加させたときのものである。その下の曲線は610mから5m毎に増加させたものである。これによると、水平力と初期張力の変化によって張力の増分勾配がかなり変化することがわかる。

3. 波圧および波面形状を考慮した場合

T.L.P.に作用する外力としては種々のものが考えられるが、2.で検討したケーブル張力の非線形性に基づいて波が作用した場合、波圧および波面形状がT.L.P.の挙動にどのような影響をもたらすかを見るために波面形状および波圧を考慮した解析を行う。この場合の座標軸および力の作用状態はFig.4に示すとおりである。波圧の式としては微小振幅波理論から求められたものを用いる。波の振幅を H_w 、波長を L_w 、周期を T_w として、平均水位 h からの水面上昇量 δ および変動圧 p は、次式で与えられる。

$$(3) \rightarrow \delta(x, t) = \frac{H_w}{2} \cos(kx - \sigma t)$$

$$(4) \rightarrow p(x, z, t) = \rho_w g \left\{ \delta(x, t) \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} + z \right\}$$

但し、 $k = 2\pi / L_w$, $\sigma = 2\pi / T_w$, $z = h + 0.5H_w \cos(kx - \sigma t)$

浮体の傾きおよび二本のケーブルの傾きをそれぞれ ψ , θ_1 , θ_2 、浮体の傾きによって生じたケーブルの伸びを含んだケーブル長をそれぞれ L_1 , L_2 、ケーブル定着間距離を B_1 とすると、これらの関係は次のようになる。

$$(5) \rightarrow \cos \psi = 1 - \{L_1^2 + L_2^2 - 2L_1 L_2 \cos(\theta_1 - \theta_2)\} / 2B_1^2$$

さらに、Fig.4の状態では浮体の各側面AB, BC, CDに垂直に働く波圧をそれぞれ P_L , P_B , P_R として、浮体上に取った座標軸 ξ , ζ 方向の釣合いおよび O' のまわりに関するモーメントの釣合い式を立てると、次のようになる。

$$(5) \rightarrow P_L - P_R + mg \sin \psi - T \xi = 0, \quad P_B - mg \cos \psi - T \zeta = 0, \quad M_{P_L} + M_{P_B} + M_T = 0$$

波圧による側面圧およびそれによるモーメントは式(4)を各側面に関して積分することによって求める。これらの式の解法としては、 T および ψ , L_1 か L_2 が未知数であるが、これらが側面圧を介して相互に関連するため、 $\psi=0$ の状態からスタートさせ、釣合い状態になるまで ψ を増加させて解を求める。

参考文献 E.Kitami, et al., Response Characteristics of Tension Leg Platform with Mechanical Damping System in Waves, OTC 4393 (1982)

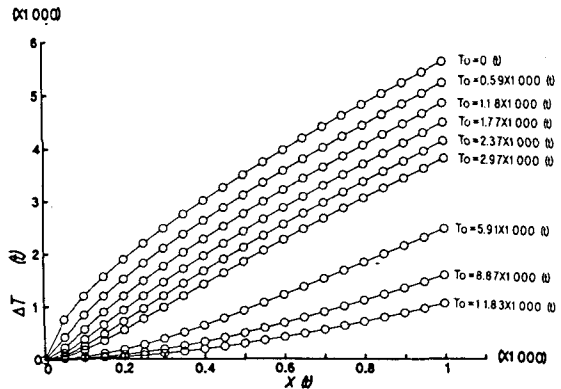


Fig.3 水平力に対するケーブル張力の増分

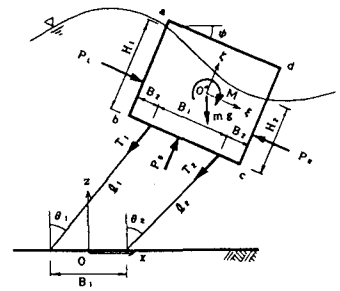


Fig.4 波が作用した場合