

長い固有周期を持つテンションレグ方式大型浮体構造物の地震応答特性

中電技術コンサルタント(株) 正会員 ○大輝 聡
中電技術コンサルタント(株) 正会員 日下 理
三菱重工(株)広島製作所 正会員 石井 元悦
三菱重工(株)広島研究所 正会員 井上 幸一

1. はじめに

今日において、臨海沿岸部の開発は新しい時代を向かえている。陸上では環境上設置しにくい施設を、浮体構造物として臨海沿岸部の静穏海域内（海洋空間）に係留し、陸上との連絡は橋梁や海底トンネルなどの交通アクセスを行う試みが注目されている。従来の埋立式では、軟弱地盤対策・コスト・環境面から海洋空間の利用は制限されてきた。一方で、浮体構造物の特徴を生かした提案により、海洋空間の可能性が高まってきており、今後の展開として、さらなる大型の浮体構造物による臨海沿岸部の開発が望まれている。

本文では、浅海域における大型浮体構造物のテンションレグ方式を対象とし、係留系の水平方向剛性つまり水平方向固有周期に着目した地震応答について一考察を行う。

2. テンションレグ方式とは

(1) 浮体構造物

海洋構造物は、工法の特徴別に分類すると図-1 に示すような形式がある。浮体式は、浮力を 100%活用するため、地盤に対する負担を軽減することが可能で、サイトが軟弱地盤であればあるほどその特徴を長所として生かすことができる。したがって、埋立式と異なり浮体式は、水深の深浅に関係なく構造形式を保つことができる。

(2) テンションレグ方式の特徴

北海の油田・天然ガス採掘開発の新技術として、大深海域における作業用プラットフォーム(以下 PF と略称する)の係留形式としてテンションレグ方式は提案されている（以下 TLP 方式と略称する）。以下に、TLP 方式の主な特徴を示す。

○係留形式 : PF は、鉛直方向に配列した数基のレグ機構により係留する。
着定式に比べて柔な構造系であるため、外力に対して変形性能で追従する構造系である。

○浮力の利用: 波浪影響を抑制するために、過剰張力(過剰浮力)を予め導入しておき、PF の作業性を確保する。
過剰浮力が、復元力となり波浪や潮流による水平方向の外力に対して拘束力を発揮する。

○浮体形式 : PF の浮体形式にセミサブ方式を採用することで、潮位変動に鈍感な構造としレグ機構の負担を軽減する。

(3) 浅海域での技術開発

先に述べた TLP 方式は、大深海域に適合する係留形式である。この TLP 方式を沿岸海域、特に浅海域に適用する大型浮体構造物の係留形式として利用を検討するため、導入研究として水平方向の地震応答特性を一考察する。浅海域に適用する TLP の海洋構造物中の特徴的位置付けを図-2 に示す。

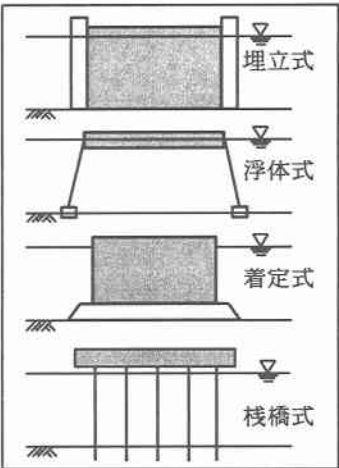


図-1 海洋構造物の工法分類

適用水深 (m)	水平方向の剛性		
	剛な構造系	中間の構造系	柔な構造系
20	ケーソン式防波堤		浮防波堤
100	ドルフィン構造	浅海域 TLP	石油掘削船
300	ジャケット式 PF	係留式 PF	
1000			TLP

図-2 浅海域 TLP の海洋構造物としての位置付け

3. 浅海域の T L P 地震応答特性

(1) 想定モデル

静穏海域内に設置される浮体構造物(セミサブ方式)として、図-3 に示す 160m×120m の PF (総重量 24,000t) 上に居住空間として利用できる建屋(総重量 73,000t)を設定する。鉛直方向の係留方式として TLP 方式を採用し、水平方向に対しては、水平方向の運動を拘束するために 45° 張角の海中ケーブルを採用する。

(2) 解析モデル・解析手法

地震応答解析モデルを図-4 に示す。想定モデルを 3 次元多質点系の骨組みでモデル化し、PF は剛体とした。係留機構を構築するテンションレグ・海中ケーブル・基礎については、線形ばねとして要素特性を与え、カラムの水線面積を浮力ばねとして各部位をモデル化した。また、PF の流体力である付加質量($m_a=500\text{tf}\cdot\text{s}^2/\text{m}$)、造波減衰($c=600\text{tf}\cdot\text{s}/\text{m}$)を PF 中心にそれぞれ加速度、速度依存要素として与えた。

解析方法には、直接積分による時刻歴応答解析法を用い、構造減衰は Rayleigh 型減衰とした。入力地震波には、長周期成分を有する道路橋示方書の標準波レベル 2 タイプ I (Ⅲ種地盤)を使用する。

(3) 解析結果

$T=2.0, 5.0, 10.0\text{sec}$ 水平方向の固有周期を有する係留ばね剛性の 3 ケースについて解析を行った。また、一般的な陸上構造物と対比させるために、代表例として一般的な橋梁の固有周期帯に位置する $T=1.2\text{sec}$ を有するケースについても解析を行った。

PF 中央部における応答加速度ならびに海中ケーブルに発生する張力と固有周期との関係を図-5 に示す。構造系に作用する地震力の指標である応答加速度は、長周期系に近づくにつれ小さくなることがわかる。この関係により長周期系($T=10.0\text{sec}$)の海中ケーブルの張力は、短周期系($T=1.2, 2.0\text{sec}$)に比べ 1/15~1/20 程度となり高い免震効果を発揮していることがわかる。

次に PF 中央部における応答変位と固有周期の関係を図-6 に示す。変位は、短周期系に近づくにつれて小さくなるがわかる。一方長周期系では、1~2m 程度の大きな応答値を示す。

図-5,6 は、橋梁を代表とする陸上橋梁が、一般的に大きな水平方向の応答加速度に対応するため限定される損傷を認め、脆性破壊を防ぐ靱性設計を基本思想としている裏付けである。逆に長周期系になる場合は、力よりも変位をいかに小さく抑えることが重要となる。

4. まとめ

長い固有周期を持つ TLP 方式は、水平方向の地震について高い免震性能を有する。ただし、1~2m の変位を吸収可能な機構についての検討が必要となる。対応策の一つとして、オイルダンパーなどを代表とする付加減衰機構を付加することで応答値を抑えることが考えられる。

水平方向の地震動に着目した場合、陸上との取り付け部に生じる地震時の水平移動量を許容値以下にするなど変位問題を解決することで、高い免震性能を有する TLP 方式は、浅海域に適用可能な係留方法となりえる。

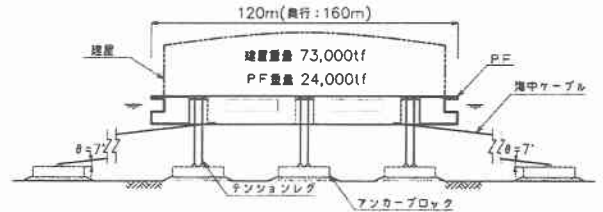


図-3 想定モデル側面図

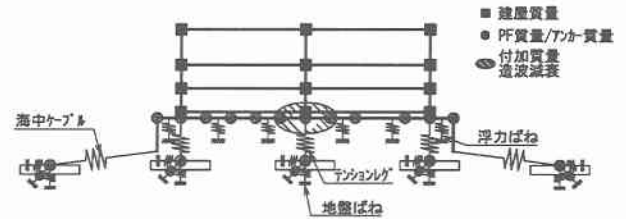


図-4 地震応答解析モデル図

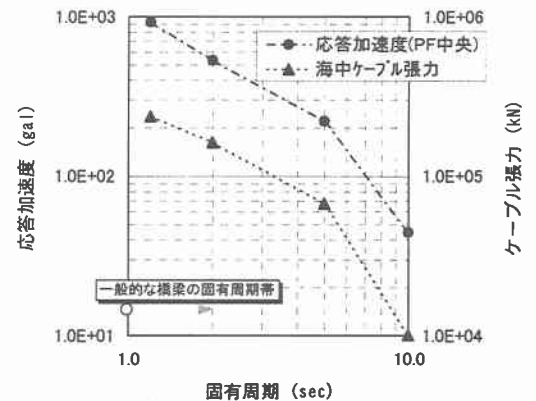


図-5 固有周期と応答加速度の関係

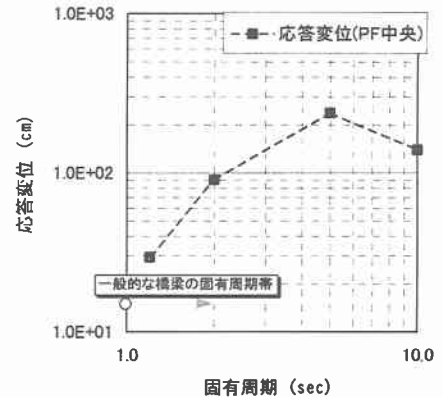


図-6 固有周期と応答変位の関係