

係留システムの相違による浮体橋の地震応答の特性比較

中電技術コンサルタント(株) 正会員 ○小嶋 竜智

中電技術コンサルタント(株) 正会員 日下 理

中電技術コンサルタント(株) 正会員 石丸 勝

1. はじめに

浮体式構造物を洋上に設置するためには、何らかの係留設備が必要となる。大型浮体の係留に実績のある方法としては、杭式係船柱を用いたドルフィン係留、チェーンを用いたカテナリー係留、海中ケーブルやテンドンを用いた緊張係留などがある。これらの係留方法は、一般に浮体の大きさや自然環境条件、水深、移動量の制限などの制約により使い分けられているものである。

浮体式構造物を道路橋として用いる場合、係留方法は、浮体橋の重要な技術の一つである。しかし、浮体橋の実現性が高い水深で、道路として求められる常時の使用性と地震のような異常時における免震性を両立させるような係留方法をどのように選定していくべきかについては、浮体橋の事例も少なく、十分には分っていないことが少なくない。

本文は、浮体橋の係留方法の相違が地震応答特性に与える影響を考察し、道路橋として常時の使用性、異常時（地震時）の免震性に優れる係留の方法について述べるものである。

2. 基本諸元および解析方法

本文で対象とした浮体橋は、分離ポンツーン形式による長大浮体橋の1ユニットで、上部構造は2函の浮力体に剛接合され、浮力体は係留材により海底に固定された構造である。基本諸元を表-2に示す。

係留方法の相違による特性の違いは、浮体式構造物の洋上での係留に実績の多いチェーンによる係留、海中ケーブルによる係留を比較することとした。環境条件は、水深約20mで静穏な海域を想定した。

解析モデルは、はり-質点系による弾性モデルを用いた。係留装置については、非線形ばねでモデル化した。これは、カテナリー係留におけるサグの影響や潮位変動による張力変化により、係留材に大変形が予想されるためである。係留材の非線形な特性は、部分モデルによる幾何学的非線形解析により反力-変位特性を求め、ばねで擬似した。モデルは全体重量が69,000kN、固有周期は係留方法にもよるが、6.0s～18.0sの範囲にあり、造波減衰は橋軸方向で6.6%を想定した。応答を求める数値計算法は、直接積分による時刻歴解析を用いた。

入力地震波は、対象構造が陸上橋梁に比べ長周期構造となることが考えられるため、道路橋の設計で用いられることの多いプレート境界型の大規模地震を想定したレベル2タイプI地震動を用いた。ただし、周波数成分は0.2Hz以上を用いている。¹⁾

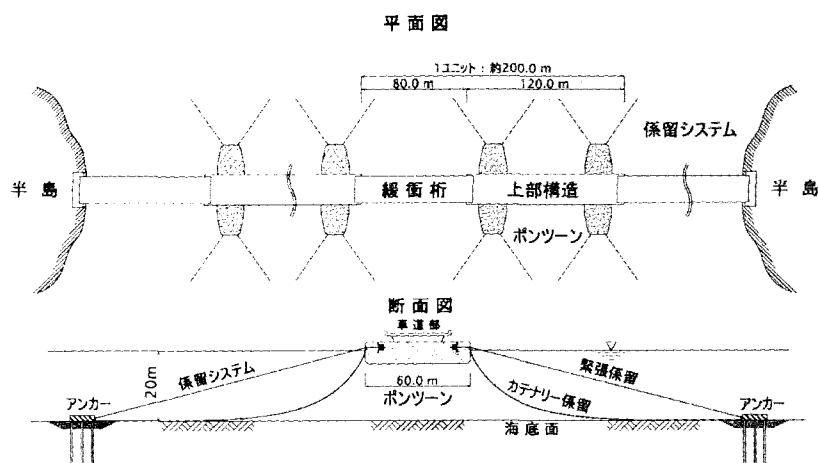


図-1 浮体橋の概念図

表-2 基本諸元

項 目	基本諸元
上 部 構 造	1ユニット・200m, 鋼箱桁
ポンツーン	60m×20m×5m, 乾舷2m, RCH
全 体 質 量	69,000kN
付 加 質 量	38,000kN (Surge)
造 波 減 衰	6.6% (Surge)

3. 係留方法の相違による地震応答特性の比較

係留方法の相違による特性の比較は、幾何学非線形解析により求めた係留材の反力-変位関係図に、地震応答値を示す方法で整理した。また、図には、地震による影響が理解しやすいように常時及び暴風時応答も併記している。

3.1 ケーブル係留

ケーブル係留による結果を図-3に示す。この図から、ケーブルによる係留は、常時のような低外力から浮体に対して拘束力を発揮し、使用性が良いと考えられる。しかし、地震のような異常時には、変位は小さいものの大反力が生じている。また、変位-反力関係から、潮位変動に対しても敏感で、高潮位時はさらに大きな反力が生じることが予想される。

3.2 チェーン係留

チェーン係留による結果を図-4に示す。チェーン係留の場合、地震時には大変形により低反力で係留が可能である。また、この係留は、反力-変位関係から潮位変動に対して張力が鈍感であることが予想される。しかし、全般的な特性は、移動量が大きく、常時のような低外力に対しても変位が伴い、使用性が課題になることが予想される。

3.3 ケーブルと防舷材の複合システムによる係留

以上の結果から考えると、浮体橋に求められる係留特性は、チェーン係留に見られるカテナリーを利用した潮位変動への追従性や、地震のような異常時における変形を利用した長周期化による免震性、そして、ケーブルのような常時使用性を確保するための初期剛性が必要と考えられる。

図-5に海中ケーブルと防舷材を直列で接合した複合係留システムの概念図を示す。この構造は、潮位変動及び常時動揺外力はケーブルのサグ及び防舷材の初期剛性で使用性を確保し、地震や波浪動揺などの異常時は、防舷材の定反力部で移動量を吸収することをコンセプトとした係留の一例である。

複合係留システムの反力-変位特性及び応答解析結果を図-6に示す。図表からも分るように、この係留システムを用いた場合、地震による最大応答は防舷材の定反力範囲におさまリ、移動量も80cmで、既往の伸縮装置で十分吸収可能な範囲にあると言える。また、この移動量は防舷材のひずみ量で35%であり、設計ひずみの45%に対しても十分設計可能なレベルにあることが分る。

4. おわりに

- 浮体橋の実現性が考えられる環境条件下で、係留方法の相違が浮体橋の地震応答特性に与える影響について明らかにすることができた。
- 常時と異常時の要求性能を分けて計画する方が合理的な浮体橋の場合には、複合係留システムを用いることで使用性や安全性に十分耐えうる構造を計画することが可能になることが分かった。

【参考文献】1) 日下理, 石丸勝, 小鴨竜智: 長い固有周期を持つ浮体式橋梁(浮体橋)の免震性に関する一考察, 土木学会中国支部研究発表会概要集, pp71-72, 2001.6.

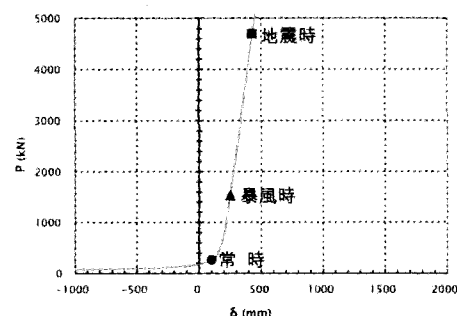


図-3 ケーブル係留のP-δ曲線

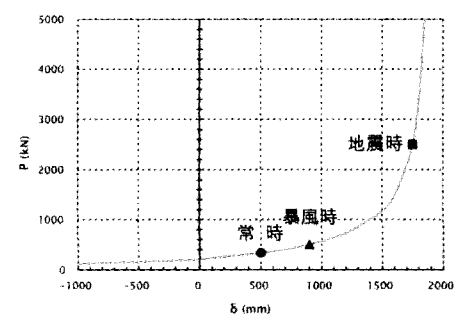


図-4 チェーン係留のP-δ曲線

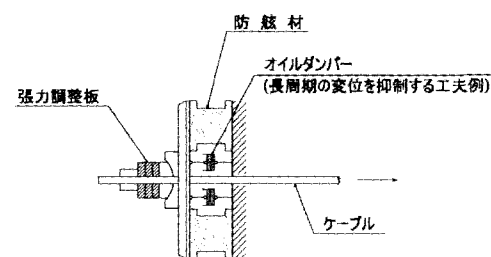


図-5 複合係留システムの一例

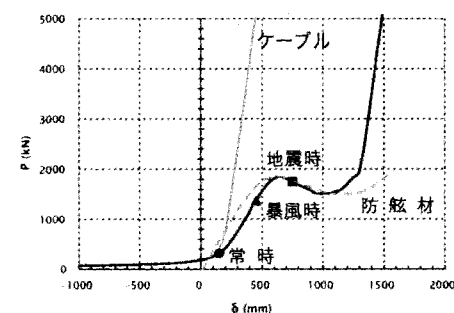


図-6 複合係留のP-δ曲線