

浮体橋の適用可能性に関する調査

独立行政法人 土木研究所 正会員 平原 伸幸
 同 上 正会員 麓 興一郎
 同 上 正会員 山森 誠史

1. はじめに

浮体橋は日本においてあまり馴染みがない形式であるが、米国やノルウェーでは古くから建設されており、海峡や湖沼の横断構造物としてその地位を確立している。このような背景から日本においても波浪、水位変動、水深等の条件が適当な場合、その実現の可能性は十分に高いと考えられる。本文では、浮体橋の適用を調査する基礎研究として、(独)土木研究所と京都大学等との共同により開発した周波数応答解析プログラムによる動揺解析結果から、日本沿岸部における浮体橋の適用可能性について検討した結果を報告する。

2. 浮体橋の波浪応答（動揺）に関する検討

2.1 周波数応答解析手法の概要

浮体橋等の弾性構造物を対象とした波浪応答（動揺）を求め、波浪力に対して周波数領域での応答を算出する周波数応答解析プログラムを開発した。この手法は橋梁解析へ用いる 3次元弾性骨組モデルに流体力を付加質量および造波減衰として考慮し、線形運動方程式の解から規則波応答を算出する。また、浮体基礎に作用する流体力は、境界要素法の一つであり、速度ポテンシャルによる物体表面の圧力から流体力を求める特異点分布法より算出する。なお、当手法は取り扱いの汎用性を高めるため、汎用構造解析プログラムを採用している。以上の方法により規則波応答を求め、不規則波中の応答は波スペクトルを重ね合わせることで算出した。

2.2 入力波浪条件（有義波）の設定

ここでは、2.1節で紹介した周波数応答解析プログラムを用いた検討を実施することにより、標準的な形式の浮体橋に対して適用できる入力波浪条件（有義波 $H_{1/3}$ 、 $T_{1/3}$ ）を把握する。検討の対象とする浮体橋モデルを図-1,2に示すが、当モデルは支間を $35\text{m}+9@100\text{m}+35\text{m}$ 、浮体基礎を分離型ポンツーン、係留システムをフェンダーおよびチェーン係留（カタナリ特性を等価線形バネとして評価）とした。また、照査位置を波浪応答の値が最も大きくなる節点6の Sway（左右揺れ）とし、このモデルに $H_{1/3}=2.0\sim 3.0\text{m}$ と $T_{1/3}=4.0\sim 5.0\text{sec}$ を組み合わせた有義波を入力した。検討結果（図-3）は、有義波高 $H_{1/3}$ が規則波応答に対して支配的であること、またこの浮体橋自体の卓越周期が $T_{1/3}=6.2\text{sec}$ 程度であることから、波高が小さく、かつ周期が 6.2sec から離れる有義波が有利となる。この結果に対して、車両走行制限相当の許容値であるノルウェー基準（水平方向許容加速度： 0.6m/s^2 ）を適用した場合、有義波 $H_{1/3}=2.0\text{m}$ 、 $T_{1/3}=4.0\text{sec}$ が当基準を満足する。

これにより、標準的な浮体橋に対して適用できる入力波浪条件の目安値を把握することができた。

キーワード：浮体橋、波浪応答、動揺解析

〒305-8516 つくば市南原1番地6 TEL 0298-79-6793 FAX 0298-79-6739

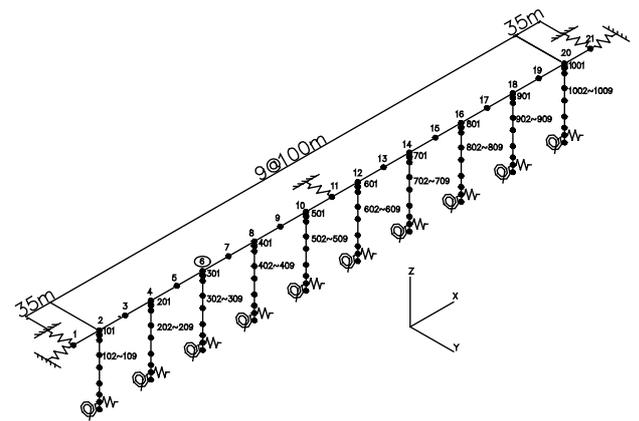


図-1 解析モデル図

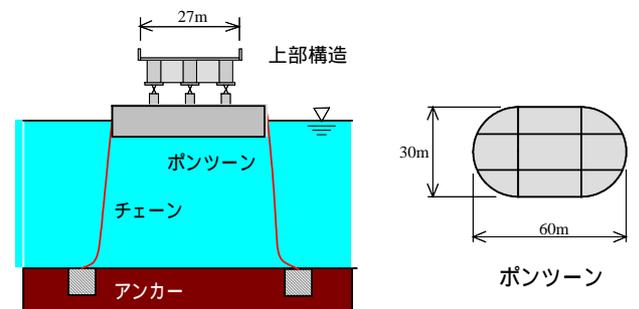


図-2 浮体構造図

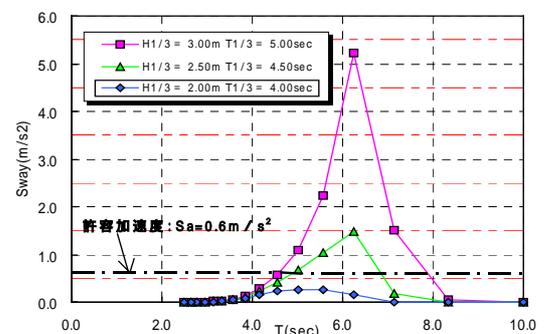


図-3 波浪応答の検討結果（Sway：左右揺れ）

2.3 日本沿岸部における浮体橋の適用可能地域

次に、2.2 節の結果を受けて日本沿岸部（図-4）における浮体橋の適用可能地域を探るが、当検討は有義波高の出現頻度に着目した方法を基本にして行う。この方法は、車両の走行に支障をきたさない有義波高（ $H_{1/3}=0\sim 2m$ ）が、便宜的に設定した出現確率 97.5%以上を満足する観測地点を選定する。すなわち、浮体橋の稼働率が97.5%以上確保できる観測地点を選定することを考える。この考えのもと検討を実施すると、神戸をはじめとした宮古、浜金屋、下田、志布志、伊王島、藍島などの7地点が選定され、主に太平洋および瀬戸内地域において浮体橋の適用性が確認できた（図-5）。さらに、前述した方法を検証するため極値統計（表-1）による検討を付け加えた。この方法は、極値関数により有義波高の発生確率を推定するものであり、例えば、車両の走行に支障をきたす有義波高の再現期間（発生確率）を1年と想定した場合、神戸港においては $H_{1/3}=1.28m$ となる。これにより、想定する再現期間が今後の課題であるものの、浮体橋が適用できる有義波高 $H_{1/3}=2m$ を満足する結果が得られた。なお、当検討は概略という位置づけから、沖波への補正は行わないものとした。

3. 浮体橋の経済性に関する検討

最後に、従来橋との工費を概略比較することで、経済性の面についても検討を行った。想定した条件は、水深を20m~60m、橋梁諸元を2.2節の検討で用いた構造形式とした。この条件をもとに検討した結果（図-6）、想定した条件により多少の変動は生じるものの、概ね水深が40m以上では浮体橋の経済性メリットが得られた。

4. 今後の課題

以上、動揺と経済性に関する検討結果から、わが国においても浮体橋の適用性は高いことが明らかとなった。

したがって、今後、わが国においても浮体橋を実現させるためには、以下に示す技術的課題を解決するとともに、性能照査型の設計法を踏まえた浮体橋の設計体系を整備していく必要があると考える。

- (1) 外力として大きな影響を及ぼす風、潮流、波等に対して合理的な設計外力の設定
- (2) 外力に対する応答への適切かつ合理的な照査手法および許容値の設定
- (3) 現在開発中である係留系の非線形特性および流体力のメモリー効果を考慮した非線形時刻歴応答解析手法の検証

【参考文献】

1) 佐藤弘史, 平原伸幸, 楠原栄樹, 麓興一郎: 浮体橋の建設技術に関する調査, 土木技術資料 2001.12
 2) 永井紀彦, 菅原一晃, 橋本典明, 浅井正: 全国港湾海洋波浪観測 20 年統計(1970-1989), 港湾技研資料 NO.744 Mar.1993



図-4 日本沿岸部の波浪観測地点

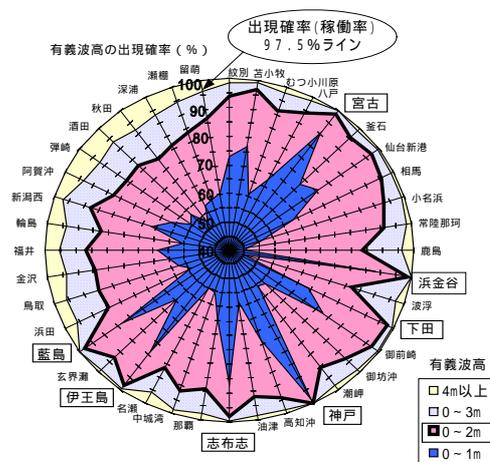


図-5 波浪観測地点における有義波高の出現確率

表-1 神戸港の極値統計結果

再現期間 (発生確率)	最大有義波高 (m)
1年	1.28
2年	2.04
5年	2.44
10年	2.66
20年	2.86
30年	2.96
50年	3.09
100年	3.24
200年	3.38

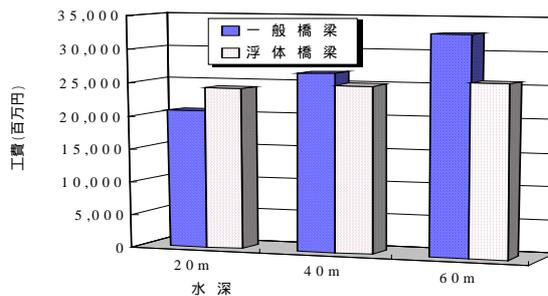


図-6 従来橋と浮体橋の工費比較