

浮体橋の適用可能性に関する検討

独立行政法人
同
同

土木研究所
上
上

正会員
正会員
○正会員

村
麓
林

越
興
雄

潤
一郎
一

1. はじめに

浮体橋は、水の浮力を利用することで基礎構造を省力することが可能であり、コスト縮減の観点から次世代の海上を横断する構造物として大きく期待されている。しかしながら、国内においてはその実績が少なく波浪条件の厳しい我が国においては浮体橋の適用性の是非が問題となっている。そこで、京都大学等への委託研究により、精度の高い動揺解析が可能な非線形応答解析プログラムを開発し、これを用いて前年度の報告¹⁾で適用の可能性が高いと判定された地域に対して、浮体橋の適用可能性について再評価した結果を報告する。また、浮体橋の適用性の幅を広げる目的で、波浪条件の厳しい箇所においての対策を構造形式の観点から考察する。

2. 浮体橋の適用可能性の検討

2.1 時刻歴応答解析手法の概要

浮体橋の動揺量を精度良く推定するためには、係留系の非線形特性を考慮する必要がある。そこで、これを考慮することが可能な時刻歴応答解析プログラムを開発した。当プログラムは、周波数依存性を有するラディエーション流体力に関するメモリー影響と、係留系の非線形復元力特性を考慮した非線形運動方程式(式(1))を Newmark - β法と組み合わせてモード法により解析するものである。

$$\sum_{j=1}^N \left[\{m_{ij} + a_{ij}(\infty)\} \ddot{x}_j + B_{ij} \dot{x}_j + C_{ij} x_j \right] + G_i(x_i) = F_i(t) - \sum_{j=1}^N \int_0^t L_{ij}(\tau) \dot{x}_j(t-\tau) d\tau \cdots \cdots \cdots \text{式(1)}$$

- $x_i, \dot{x}_i, \ddot{x}_i$: 節点変位、速度、加速度ベクトル
- m_{ij} : 質量マトリックス (浮体部 + 上部工)
- $a_{ij}(\infty)$: 周波数無限大時の付加質量マトリックス
- B_{ij} : 線形減衰マトリックス (上部工 + 係留系)
- C_{ij} : 剛性マトリックス (浮体復元力バネ + 上部工 + 線形係留)
- $G_i(x_i)$: 非線形係留力ベクトル (非線形バネ)
- $F_i(t)$: 強制外力ベクトルの時系列
- $L_{ij}(\tau)$: メモリー影響関数

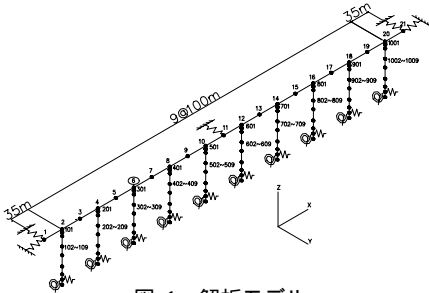


図-1 解析モデル

2.2 検討の方法と条件

昨年度実施した周波数応答解析で選定された図-2 に示す7地点（宮古、浜金谷、下田、神戸、志布志、伊王島、藍島）に対して、2.1 節で紹介した時刻歴応答解析プログラムを用いて検討を実施する。検討の対象とする浮体橋モデルを図-1 に示す。対象橋梁は、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とした構造である。照査位置は、水平方向の桁の支間中央に相当するフェンダー間中央位置（節点 6）とした。照査指標は、Sway（左右揺れ）の応答加速度とし、許容値としてノルウェー基準で車両走行制限界である 0.6m/s²（水平方向許容加速度）を適用した。

2.3 波浪条件の設定

波浪条件として、本検討では供用時波浪の有義波(H_{1/3}、T_{1/3})を設定する。供用時波浪は、強風による交通規制が不要な状態での波浪と定義できる。これまで強風による車両事故として瞬間風速 23m/s という報告²⁾がある。そこで、車両の交通規制風速を v = 23m/s に設定し、気象庁の風速観測データ³⁾から v > 23m/s となる日数を算出した。その結果、平均で年間 9 日、年間日数比 2%の頻度で v > 23m/s となった。そこで、港湾技研資料⁴⁾から出現率 98% (= 100 - 2) となる有義波高を算出し検討用有義波とした。(表-1)

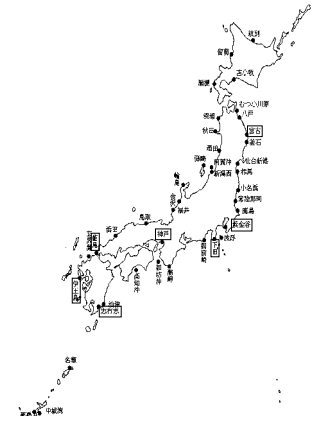


図-2 適用可能地域（一次選定）

2.4 日本沿岸部における適用可能地域の選定

非線形時刻歴応答解析結果の一例として、浜金谷における節点6の応答加速度の時刻歴を図-3に、節点6および節点308（ポンツーン位置）における応答変位の時刻歴を図-4にそれぞれ示す。図-4から、上部構造は桁の固有周期（6.8秒）で振動しているのに対し、ポンツーンは有義波周期（ $T_{1/3}=5.03$ 秒）で振動しているのが確認できる。

7地点の解析の結果を表-1に示す。また、周波数応答解析と非線形時刻歴応答解析との応答値の比較を表-2に示す。表-1から、7地点ともに節点6の応答加速度が許容値（ 0.6m/s^2 ）を満足し適用性を有することが確認できる。一方、表-2から非線形時刻歴応答解析は周波数応答解析に比べ概ね半分程度の応答値となっていることが確認できる。これは、係留系の非線形性を考慮したことによる剛性バランスが変化したためであるものと考えられる。以上から、周波数応答解析により今回の検討の対象とならなかった波浪条件の厳しい箇所においても、適用性を有する箇所があるものと考えられる。

3. 構造形式の変更による応答値の低減効果の検討

構造形式の部分的な変更により応答値の低減効果について2章で示したモデルを基本とし（CASE1）これに対して反力分散支承を採用したケース（CASE2）およびドルフィン係留を採用したケース（CASE3）について、上部構造の応答加速度に着目した検討を行う。検討は、周波数応答解析により桁（節点6）の応答加速度を比較することで行う。解析の結果を図-5に示す。表-3には、ポンツーンの水平モードと桁の水平モードにおける橋全体の固有周期を示す。これらから、応答値のピークとなる有義波周期は桁のモードにおける固有周期にほぼ一致している。またピーク値は、桁のモードの固有周期が、ポンツーンの固有周期に近い順に大きくなっている。これは、ポンツーンのモードが応答値に大きく影響しその周期に近くなるほど影響度が大きくなるためと考えられる。以上から、構造の部分的な変更により、有義周期によらず応答値を低減することが可能であることがわかった。

4. 結論

太平洋沿岸および瀬戸内海で、浮体橋の適用性が高いことを示した。係留系の非線形復元力特性を考慮することで、浮体橋の適用性の評価をより精度良く行うことができた。一部の構造や係留形式の変更により応答値の低減が可能であり、波浪条件の厳しい箇所においても適用の可能性があることを示した。

<参考文献>

1) 平原伸幸、麓興一郎、山森誠史：浮体橋の適用可能性に関する調査、第57回年次学術講演会論文集、第329号、pp27-37、1983.1
2) 佐藤弘史、佐野栄明、大儀健一、松藤洋照：強風対策工の暴風効果と橋梁の耐風安定性に関する調査報告書、土木研究所資料第3720号、平成12年3月
3) 気象庁：気象庁電子閲覧室（<http://www.data.kishou.go.jp/>）
4) 永井紀彦、菅原一晃、橋本典明：全国港湾波浪観測20か年統計（1970-1989）、港湾技研資料 No744 Mar.1993

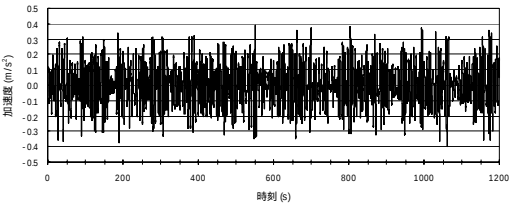


図-3 応答加速度（浜金谷、節点6）

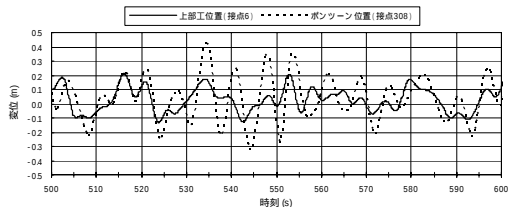


図-4 応答変位（浜金谷）

表-1 時刻歴応答解析結果

観測地	応答値	有義波	
		波高(m)	周期(s)
宮古	0.196	1.60	4.88
浜金谷	0.229	1.70	5.03
下田	0.567	2.00	5.46
神戸	0.049	0.90	3.66
志布志	0.410	1.90	5.32
伊王島	0.410	1.90	5.32
藍島	0.410	1.90	5.32

注1) 応答値の単位は、 m/s^2
注2) 許容値は、 0.6m/s^2

表-2 解析手法による応答値の比較

	応答値 (m/s^2)		H/F
	Freq	Hist	
宮古	0.475	0.196	0.41
浜金谷	0.545	0.229	0.42
下田	0.764	0.567	0.74
神戸	0.105	0.049	0.47
志布志 伊王島 藍島	0.691	0.410	0.59

Freq：周波数応答解析
Hist：非線形時刻歴応答解析

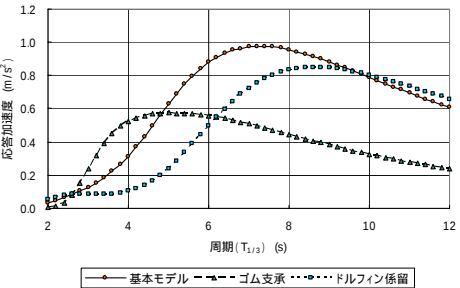


図-5 応答加速度の比較

表-3 各ケースの浮体橋の固有周期 (s)

モード型	CASE1	CASE2	CASE3
ポンツーンの水平モード	10.3	11.6	2.4
桁の水平モード	6.8	4.7	8.2