

II - 11 浮体橋の地震応答解析

鳥取大学工学部	正会員	上田 茂
大阪市建設局	正会員	丸山 忠明
三菱重工業広島研究所	正会員	井上 幸一
三菱重工業広島研究所	正会員	熊本 直樹
三菱重工業広島製作所	正会員	岡 俊蔵

1. はじめに

浮体橋は、長周期係留されるものについては免震性が期待されるが、その地震応答特性に関しては十分に明らかになっているとは言い難い。本文では、複雑な動的応答特性が予想される浮体橋の時刻歴地震応答解析法を示し、それによる計算結果を報告する。

2. 地震応答解析法

浮体構造物の周波数領域での運動方程式は、次式で表される。

$$(-\omega^2[M+A(\omega)]+i\omega[C+B(\omega)]+[K])\{X\}=-\omega^2[M+A(\omega)]\{G\} \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 $M$ 、 $C$ 、 $K$ はそれぞれ構造物の質量、減衰、剛性（流体の復原力含む）行列、 $A(\omega)$ は流体の付加質量行列、 $B(\omega)$ は造波減衰行列、 $X$ は変位ベクトル、 $G$ は地動変位ベクトルである。

この方程式の係数は周波数に依存することから、時間領域で解く方法としては以下の2つが考えられる。

まず1つは、流体力のある代表周波数 $\bar{\omega}$ におけるものに固定して用いる方法である。即ち、以下とする。

$$[M+A(\bar{\omega})]\{\ddot{x}\}+[C+B(\bar{\omega})]\{\dot{x}\}+[K]\{x\}=-[M+A(\bar{\omega})]\{\ddot{g}\} \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここに、 $x$ 、 $g$ はそれぞれ時間領域での変位、地動変位ベクトルである。この方程式は、係数がすべて定数であるから容易に積分可能である。しかし、いくつものモードが重なり合っている場合や外力に多くの周波数成分が混在している場合などには代表周波数の選定は容易でなく、解析精度の問題がある。

もう1つの方法は、畳込み積分を用いる方法である<sup>1)</sup>。いま、 $A(\omega)$ と $B(\omega)$ との間には

$$R(t)=\frac{2}{\pi}\int_0^\infty B(\omega)\cos\omega t d\omega、-\omega A(\omega)=\int_0^\infty R(t)\sin\omega t dt \quad \dots\dots\dots(3)$$

なる関係があり、この関係を用い、式(1)の逆フーリエ変換を求めれば次式を得る。

$$[M+A(\infty)]\{\ddot{x}\}+[C]\{\dot{x}\}+\int_0^t [R(t-\tau)]\{\dot{x}\}d\tau+[K]\{x\}=-[M+A(\infty)]\{\ddot{g}\} \quad \dots\dots\dots(4)$$

ここに、 $A(\infty)$ は周波数無限大における付加質量であり、また $B(\infty)=0$ と仮定している。この計算法では、時々刻々の運動に応じた流体力係数を自動的に選定できる。

3. 数値計算

上述の畳込み積分を用いる方法による解析例を示す。解析モデルは図1に示す浮体橋で、桁両端を図中に示すように非線形係留しているものとし、構造減衰は2%とした。入力は、海洋型地震（日本海中部地震・津軽大橋周辺地盤記録を道路橋示方書標準加速度応答スペクトルに適合するよう振幅調整したもの<sup>2)</sup>、最大加速度応答値1000Gal:h=0.05)及び直下型地震（兵庫県南部地震・東神戸大橋記録を振幅調整したもの<sup>2)</sup>、最大加速度応答値1500Gal:h=0.05)を橋軸直角方向に用いた。入力点は係留点で、位相差はなしとした。

応答解析結果として、2種類の入力波に対する最大応答値を比較して表1に示す。また、応答波形の例として桁点Bの変位を図2に示す。まず、応答加速度に関してはいずれの入力に対してもほぼ同程度の値となっており、同規模の固定橋に比べ小さ目である。入力の応答スペクトルの大きさを考えると直下型の方が

キーワード：浮体橋、地震応答解析、流体力、畳込み積分  
連絡先：〒737-0837 広島市中区江波沖町5-1 三菱重工業広島研究所 TEL(082)294-3626、FAX(082)291-8310

応答低下の割合が大きく、慣性力の低減という点では免震性を有するということができる。一方、変位や回転角は同規模の固定橋に比べかなり大きくなっている。特に、長周期波成分の多い海洋型地震の場合に著しく、長周期係留の影響が現れており注意を要する点と考えられる。

また、桁の2点A、Bの変位をみると、海洋型の場合はほとんど差がないのに対し直下型の場合には差が大きい。つまり、直下型の場合には桁の弾性変形の割合が多くなっている。これは桁の弾性変形成分の多いスウェイモードの固有周期が4.5秒(図1のモデルにおいて係留ばねの線形部分を用いて求めた値)であるのに対し、桁の剛体移動成分の多いロールモードの固有周期が10.2秒(同)であるため、短周期成分の多い直下型で前者モードが、長周期成分の多い海洋型で後者モードがそれぞれ比較的多く励起されたためと考えられる。なお、このような場合、代表周波数を用いる方法では流体力の選定に困難が予想される。

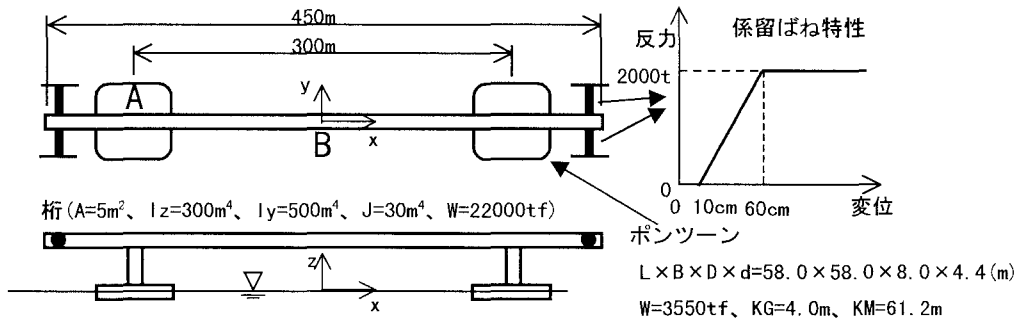


図1 解析モデル

表1 最大応答値の比較

	ポンツーン中心		桁(A)		桁(B)	
	海洋型	直下型	海洋型	直下型	海洋型	直下型
加速度(Gal)	480	596	496	596	852	890
変位(m)	2.813	0.683	3.028	0.934	3.260	1.467
回転(rad)	0.0250	0.0179	0.0253	0.0179	0.0260	0.0188

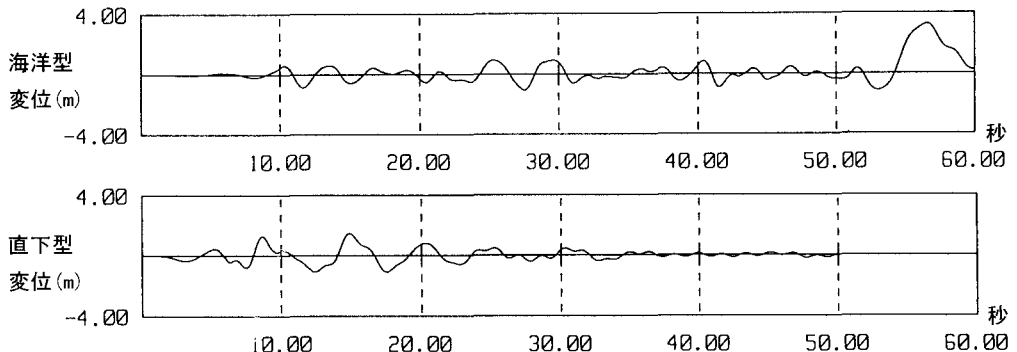


図2 変位応答波形(桁点B)

#### 4. まとめ

流体力の周波数依存性を考慮した時刻歴地震応答解析法とその計算結果を示した。この計算法により、浮体橋の複雑な地震応答特性が解明できるものと期待される。

- 参考文献 1)元良、他;船体と海洋構造物の運動学、pp.198-204、成山堂書店、1982  
2)日本道路橋会;道路橋の耐震設計に関する資料、丸善、1997