

I-A 261

浮体橋梁の波浪中弾性応答解析

鳥取大学工学部	正会員	上田 茂
三菱重工業広島製作所	正会員	岡 俊蔵
三菱重工業広島研究所	正会員	熊本 直樹
三菱重工業広島研究所	正会員	井上 幸一
三菱重工業長崎研究所		瀬戸 秀幸

1. まえがき

浮体橋はアメリカ、ノルウェー等で道路橋として既に供用されている。我国においても、大水深または軟弱地盤のように、水面から支持地盤までの深さが深くなる場合は従来の橋梁より有利となる可能性があり、いくつかの地点で浮体橋が検討されている。

浮体橋梁を実現させるための技術課題の一つに、弾性構造体の波浪中の応答解析技術の開発がある。従来は浮体を剛体とみなして波浪中の応答を求めていたが、浮体橋梁の場合は変形の影響を無視できない。そこで、弾性構造体と水面波の連成挙動を解析する手法を以下のように開発した。

2. 解析方法

採用した波浪中弾性応答解析手法を図1に示す。構造側は3次元弾性骨組構造としてモデル化し、有限要素法で定式化した。流体側は3次元ポテンシャル流としてモデル化し、境界要素法で定式化した。

連成解析の方程式は式(1)であり、規則的な周期応答を考えて節点変位及び波強制力を式(2)とおき、連成解析方程式(3)

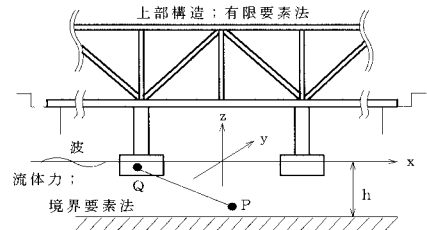


図1 解析方法

$$([M] + [M_A])\{\ddot{D}\} + ([B] + [B_A] + [B_D])\{\dot{D}\} + ([S] + [S_A] + [S_B])\{D\} = \{E\} \quad (1)$$

$$\{D\} = \{\hat{D}\}e^{i\omega t} \quad \{E\} = \{\hat{E}\}e^{i\omega t} \quad (2)$$

$$([S] + [S_A] + [S_B] + i\omega([B] + [B_A] + [B_D]) - \omega^2([M] + [M_A]))\{\hat{D}\} = \{\hat{E}\} \quad (3)$$

ここで、 $[M]$ ；質量行列（dry状態）、 $[M_A]$ ；付加質量行列、 $[B]$ ；減衰行列（dry状態）、 $[B_A]$ ；造波減衰行列、 $[B_D]$ ；等価造渦減衰行列、 $[S]$ ；剛性行列（dry状態）、 $[S_A]$ ；浮力復原行列、 $[S_B]$ ；線形バネ行列、 $\{D\}$ ；節点変位、 $\{E\}$ ；波強制力ベクトルである。

以上の方法で規則波応答関数を求め、不規則波中の応答は波スペクトルを用いて算定する。

3. 断面力の解析例

図2に示す2個のポンツーンに支持された弾性梁に、斜め波が入射するときの断面力を、3種類の解析法で算定した。すなわち、比較する解析法は表1に示すもので、①波強制力のみをポンツーンに作用させた静解析、②構造体を剛体と仮定して運動を求め、その剛体運動を節点力に換算して静解析する2段階解析法、および③今回開発した弾性応答解析、の3種類である。2段階解析法は

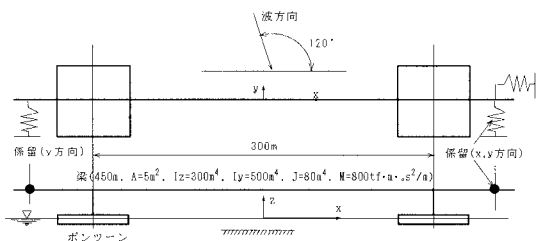


図2 解析モデル

半潜水型海洋構造物の設計に採用されていた構造計算法である。また、表1で一貫連成解析法と書いている方法が、今回開発した弾性応答解析法である。

表1 比較した解析法

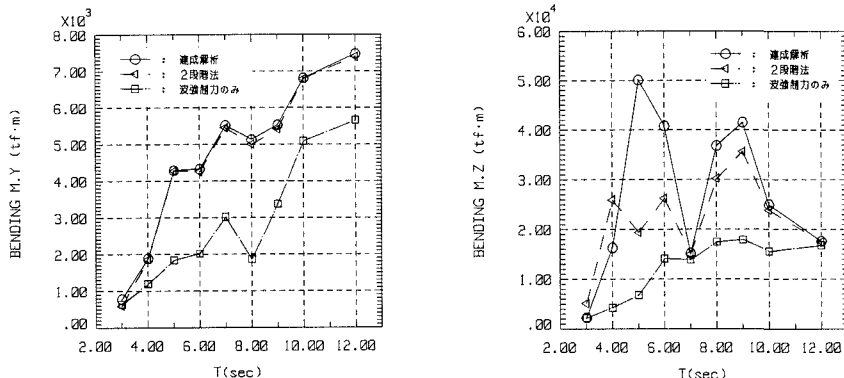
従 来 の 解 析 法	静 波強制力 $[E_i]$ を外力とした静解析 	第1段階：波強制力 $[E_i]$ を算定 第2段階： $[[S_e] + [S_{a1}]] [D_i] = [E_i]$ $[S_e]$ ：剛性マトリクス（弾性体） $[S_{a1}]$ ：浮力バネ $[D_i]$ ：変位ベクトル $[E_i]$ ：波強制力
	2段階 第1段階：波強制力 $[E_i]$ ，付加質量 $[M_{a1}]$ ，造波減衰 $[B_{a1}]$ を算定 → 剛体運動を解いて $[D_i]$ を算定 第2段階：第1段階で求めた加速度，速度，変位を用いて静解析	第1段階：剛体運動を解いて $[D_i]$ を算定 $[M] + [M_{a1}] [D_i] + [B_{a1}] [D_i] + [S_e] [D_i] = [E_i]$ $[S_e]$ ：剛性マトリクス（弾性体） $[S_0]$ ：剛性マトリクス（剛体）
	一貫連成 第1段階：波強制力 $[E_i]$ ，付加質量 $[M_{a1}]$ ，造波減衰 $[B_{a1}]$ を算定 → 弾性応答 $[D_i]$ を算定 	第1段階のみ： $[[M] + [M_{a1}]] [D_i] + [B_{a1}] [D_i] + [[S_e] + [S_{a1}]] [D_i] = [E_i]$ $[M]$ ：上部工 + ポンプン質量マトリクス $[M_{a1}]$ ：ポンプン付加質量マトリクス $[B_{a1}]$ ：造波減衰 $[S_e]$ ：剛性マトリクス（弾性体） $[S_{a1}]$ ：浮力バネ $[E_i]$ ：波強制力 $[D_i]$ ：変位ベクトル

解析結果を図3に示す。図3は規則波（振幅1m）中の梁のY軸回りのモーメント M_Y 及びZ軸回りのモーメント M_Z の最大値を示したものである。図中に3種類の解析法による応答値を記号を変えて示している。波強制力だけの静解析と他の二つの解析法の違いは構造体の運動を考慮しているか否かの差であり、2段階解析法と連成解析法の違いは弾性変形を伴った運動を考慮しているか否かの差である。

波強制力のみによる静解析の断面力は他の二つの解析法による断面力より小さく、応答値を求める際には動的な影響を考慮すべきであることが分かる。

一方、2段階解析法と連成解析法を比較すると、 M_Y は殆ど同じ応答値となっているが、 M_Z は応答値が大きく異なっている。これは、構造体が波浪中で運動することによって水平面内の曲げ変形が発生し、その変形の影響による断面力も発生していることを示している。図は省略したが、X軸回りのモーメント M_X も2段階解析法と連成解析法とで応答値が異なっており、ねじれ変形の有無による応答値の差も発生する。

以上に示すように、従来の浮体構造物と異なり、浮体橋梁のような弾性変形が大きい構造物の設計においては、弾性変形の影響を考慮した応答解析法を採用する必要がある。

図3 3種類の解析法による梁の最大断面力 (M_Y , M_Z) の比較