

凸レンズ形横断面を有する水中トンネルの自由振動解析

鳥取大学 正員 ○山本 真二
鳥取大学 正員 神部 俊一
福井 規子

1. まえがき

水中トンネルは、交通路を収容する中空状函体を海面下数十メートルの位置に完全没水状態で海底地盤に係留する新形式の海洋施設である。ここでは、流線形に近い形状の凸レンズ形横断面を有する水中トンネル構造本体の自由振動特性を明らかにして、潮流の作用の下で渦励振が発生する可能性について規模と厚み比が同じである楕円形横断面を有する

水中トンネル構造本体の場合と比較検討する。

2. 構造モデル

水中トンネル構造本体は、鋼管をユニバーサルジョイントで結合して構成される平面トラス状の係留系で弾性支持されているものとして、それを図-1に示すように両端が固定支持されたバネ支承上の5径間連続梁としてモデル化する。

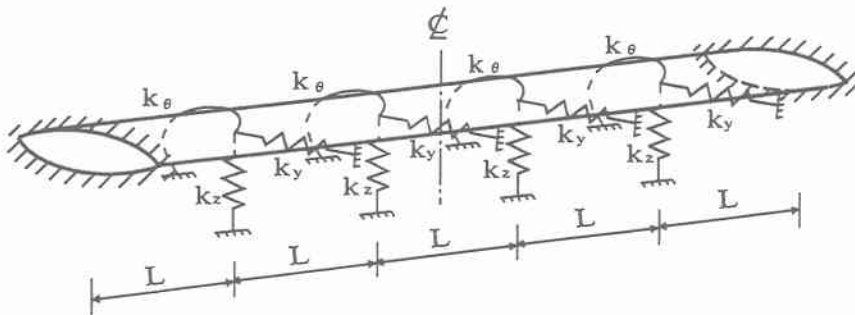


図-1 水中トンネルの構造モデル

3. 解析方法

まず、上述の構造モデルの左側の固定支点上と中央径間中点とに互いに向き合う右手直交座標系（両側座標系）を設定する。そして、自由振動モードを対称モードと逆対称モードとに分け、上述の両側座標系に基づいて両端から内側に向けて還元法による演算を進める方法（はさみ込み法）を用いてこの構造モデルの自由振動特性を解析する。

いま、構造本体横断面の図心を通り軸線方向に x -軸、水平方向に y -軸、鉛直方向に z -軸を設けると構造本体の鉛直面内における自由振動を支配する運動方程式は、たわみを w として次のように書ける。

$$EI_y \frac{\partial^4 w(x,t)}{\partial x^4} + (\mu + m_v) \frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial t^2} = 0 \quad (1)$$

ここに、

EI_y : 構造本体の水平軸に関する曲げ剛性

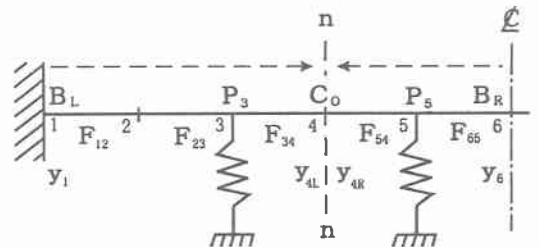


図-2 弾性支承上の連続梁に関する特性行列

μ : 構造本体の単位長さ当たりの質量

m_v : 流体中を運動する構造本体の仮想質量¹⁾

この運動方程式に変数分離法を適用して得られる一般解を用いると、境界条件、平衡条件および適合条件より境界行列 B 、格間行列 F および格点行列 P が導出できる。還元法におけるこれらの特性行列を用いて図-2に示すように初期状態量ベクトル y を内側に向けて伝達させると、次式が得られる。

$$\begin{aligned}\{y_{4L}\} &= [F_{34}][P_3][F_{23}][F_{12}][B_L]\{y_1\} \\ &= [N_{14}]\{y_1\}\end{aligned}\quad (2)$$

$$\begin{aligned}\{y_{4R}\} &= [F_{54}][P_5][F_{65}][B_R]\{y_6\} \\ &= [N_{64}]\{y_6\}\end{aligned}\quad (3)$$

$$[N_{14}]\{y_1\} = [C_0][N_{64}]\{y_6\}\quad (4)$$

ここに、行列 C_0 は両側座標系に関する状態量ベクトルを任意の断面において関係付ける役割をする

接続行列と呼ぶ特性行列である。そこで、式(4)を書き改めると次の同次連立一次方程式が得られる。

$$\begin{bmatrix} N_{14} & -C_0 N_{64} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_6 \end{Bmatrix} = [H]\{y\} = \{0\}\quad (5)$$

この方程式が自明でない解を持つ条件として求まる振動数方程式

$$\det H = 0\quad (6)$$

を解けば、構造モデルの固有振動数が求まり、対応する固有振動モードは式(5)により定まる。

4. 数値計算例²⁾

横断面が長半径 13 m、短半径 5.38 m の凸レンズ形である鉄筋コンクリート製の構造本体が 120 m 間隔で海底地盤に係留されているとして、その自由振動特性を解析した。計算結果の一部を図-3 に示す。なお、横断面の厚み比が等しく規模がほぼ同じである楕円形の構造本体に対する自由振動モードを破線で図示し、固有振動数 f_s と固有周期 T_s を括弧内に示す。

5. 考察

上述の横断面形状の場合、仮想質量を含めた構造本体の単位長さ当たりの質量の曲げ剛性に対する比率がほぼ同じであるので、自由振動特性もほぼ同じ結果になったと考えられる。両者の横断面の厚み比を同じにしたのは、レイノルズ数を等しくして断面形状の相違による流体力学的効果が比較できるようにするためである。両者の横断面に離散渦法を適用して求めた渦放出周波数^{3), 4)} f_0 に対する構造本体の固有振動数 f_s の比率は、渦励振に起因する共振現象発生の可能性を考察する目安となる。ちなみに、上述の凸レンズ形横断面に対して $f_s/f_0 = 7.3$ 、楕円形横断面に対して $f_s/f_0 = 6.8$ という結果になった。横断面形状が凸レンズ形あるいは楕円形のいずれであっても渦励振による共振現象が発生する危険性は極めて小さいといえるが、今後は構造本体と流れ場との相互作用による同期現象を考慮に入れて検討する必要がある。

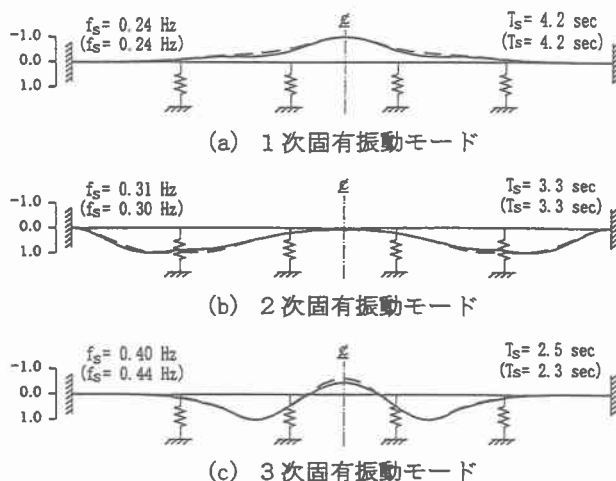


図-3 鉛直面内における対称曲げ固有振動モード

参考文献

- 1) 神部 俊一・山本 真二：凸レンズ形鈍頭物体の仮想質量について，第12回数値流体力学シンポジウム，1998，pp.435~436
- 2) 福井 規子：平成10年度 鳥取大学卒業論文，1999.2
- 3) 巽 茂樹：平成8年度 鳥取大学大学院修士論文，1997.2
- 4) 戸田 茂之：平成9年度 鳥取大学大学院修士論文，1998.2