

VI-271

水中トンネルの流体力学的挙動に関する一考察

鳥取大学大学院 学生員 巽 茂樹
鳥取大学工学部 正 員 神部 俊一
若 築 建 設 秋 本 孝

1. はじめに

斬新な長距離の渡海交通手段として水中トンネルが注目されている。水中トンネルの構造本体は、内部に交通路を収納する必要性から楕円柱体のような大規模な鈍頭物体になる。この場合、構造本体の背後に生じる乱流状態の伴流が、構造本体表面に周期的な圧力変化をもたらし、これが構造本体の固有周期と一致すると渦励振動と呼ばれる共振状態が起こり構造物が破壊する恐れがある。そこで本稿では、潮流による構造本体まわりの流れ場を離散渦法により解析して求めた非定常流体力と、水中トンネルの自由振動特性との関係について考察する。

2. 係留系の復元力マトリックス

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を用いて水中トンネルの本体を海底地盤に係留する（図-1）。

構造本体部分の排水容積に起因する浮揚力によって、係留系を構成する各要素部材に初期張力が生じる。この初期張力を考慮に入れた係留系の剛性マトリックスを、マトリックス構造解析法の手法を用いて構造本体の図心に関する復元力マトリックスに変換する。

3. 水中トンネルの自由振動解析

水平方向と鉛直方向の変位に対して抵抗するバネ支承と構造本体の軸線まわりの回転変位に対して抵抗するバネ支承とで弾性支持された5径間連続梁として水中トンネルをモデル化する（図-2）。

系の固有振動数を求めるのに、構造モデルの両端に2組の右手座標系を向き合うように設定し、部分構造の両端から内側に向けて還元法による演算を進める解析法を用いた。

図-2において両端が固定支持（単純支持）されたスパン長 $L=120\text{m}$ の構造モデルに対して求めた1次から3次までの固有振動数を表-1に示す。

4. 流体力の算定

剥離せん断層が発生する鈍頭物体まわりの高レイノルズ数領域における流れ場を効率よく解析する方法に離散渦法がある。この解析手法を用いて長軸の長さが20mで厚み比が2の楕円柱体周辺の流れ場を解析し、楕円柱体に作用する非定常流体力を求めた^{1) 2)}。

水中トンネルの設置する位置、潮流速 U 、海水の動粘性係数 ν 、レイノルズ数 Re 、剥離点の位置を定めるのに文献3)を参考にした。

この計算条件の下で、迎え角を 0° から 5° まで 1° 間隔で変化させて流体力係数を求めた。次に、時間的に変動する揚力係数とモーメント係数の周波数特性を調べる目的で、変動が安定している区間のデータ

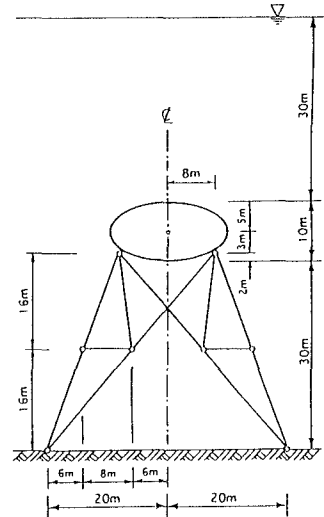


図-1 構造モデルの横断面図

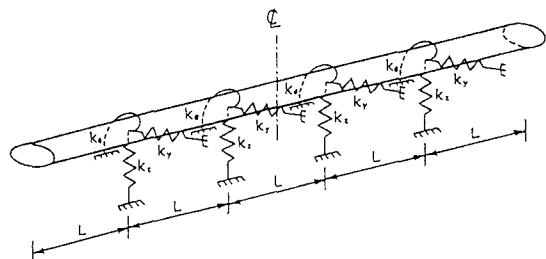


図-2 水中トンネルのモデル化

に高速フーリエ変換を施してパワースペクトル密度関数を求めたところ、狭帯域の周波数特性を示した。そこで、この密度関数の卓越するピークに対応する周波数を渦放出周波数とした（図-3）。

揚力係数とモーメント係数の時間的変動を利用して求められた渦放出周波数 $f^{(L)}$ 、 $f^{(M)}$ の無次元量であるストローハル数

$$St^{(L)} = f^{(L)} D / U \quad (1)$$

$$St^{(M)} = f^{(M)} D / U \quad (2)$$

と迎え角 α との関係を図-4に示す。ここに、 D は構造本体の代表寸法である。

主流の流速 U を無次元化した換算速度 V は構造本体の固有振動数 f_s を用いて

$$V = U / (f_s \cdot D) \quad (3)$$

で定義される。また、構造本体の固有振動数 f_s の渦放出周波数 f_v に対する比率は渦励振による共振現象が発生する危険度を推し量る目安となる量でストローハル数 St との間に次の関係

$$f_s / f_v = 1 / (V \cdot St) \quad (4)$$

が成り立つ。

鉛直面内における曲げ自由振動の対称1次モードに対して換算流速を計算すると、 $V=0.771$ となり、ストローハル数は $St^{(L)}=0.336$ であり、 $f_s / f_v = 3.6$ となる。水平面内において曲げとねじれが連成する対称1次モードに対して同様の計算をすると、その比率は $f_s / f_v = 4.1$ となる。従って構造本体の鉛直面内における曲げ振動に及ぼす渦励振作用の影響は、構造本体の水平面内における曲げとねじりの連成振動に及ぼす渦励振作用の影響に比べて大きいといえる。

5. おわりに

本研究では、構造本体の周期運動と流れ場との間の相互作用を考えていないので、渦励振などの流体力学的に不安定な現象が発生しないとは言いきれない。構造本体の運動が渦の放出周波数に影響を与えて両者の周期運動が同期する、いわゆる、同期現象が発生する危険性については、今後の検討課題である。

【参考文献】

- 1) 稲室 隆二, 足立 武司: うず放出モデルを用いたはく離を伴う非定常流の一解法, 日本機学会論文集 第52巻 476号 (昭61-4) pp. 1600 ~ 1606
- 2) 宇都宮 英彦 他: 特異点分布法を用いた渦点法における物体に作用するモーメントの一定式化, 第12回風工学シンポジウム論文集 pp. 177 ~ 182
- 3) 神部 俊一: 潮流力作用下の水中橋梁に関する考察, 土木学会 第49回年次学術講演会講演概要集 第I部 (A), 土木学会編 pp. 802 ~ 803

表-1 a) 鉛直面内における曲げ自由振動の固有振動数 f (Hz)

次数	固有振動数 f (Hz)	
	対称モード	逆対称モード
1次	0.175 (0.134)	0.409 (0.425)
2次	0.872 (0.677)	0.528 (0.527)
3次	1.31 (1.31)	0.872 (0.677)

表-1 b) 水平面内における連成曲げ自由振動の固有振動数 f (Hz)

次数	固有振動数 f (Hz)	
	対称モード	逆対称モード
1次	0.198 (0.189)	0.571 (0.341)
2次	0.571 (0.346)	1.22 (1.22)
3次	1.20 (1.20)	2.19 (1.68)

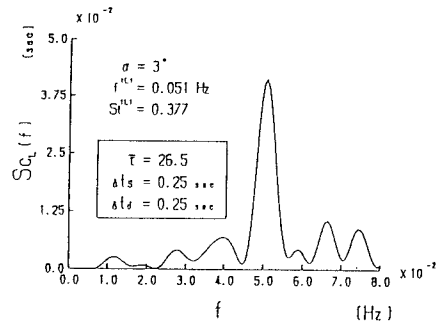


図-3 揚力係数 C_L のパワースペクトル密度関数 ($\alpha = 3^\circ$)

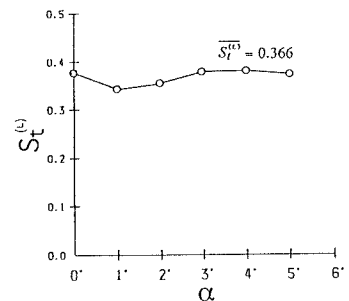


図-4 揚力係数に関するストローハル数と迎え角 α との関係