

I - A78 変動荷重を受ける 3 次元ケーブルの動的応答に与える波動伝播の影響

大同工業大学大学院 学生員 ○加藤秀一
大同工業大学工学部 正会員 水澤富作

1. はじめに これまでに、著者らは¹⁾、先端に集中質量を持つ鉛直鋼ケーブルの振動特性や鉛直方向に周期変動荷重を受ける場合の動的性状と波動伝播挙動について検討を行ってきた。これより、先端の集中質量が増大すると、低次モードに軸方向モードが生じてくる。また、鉛直ケーブルの波動伝播は、ケーブルの長さに依存し、縦波による変動張力の大きさは、ケーブルのほぼ自重の大きさになることを明らかにした。

本文では、図-1 に示すような面外方向に作用する周期変動荷重を受ける、3次元ケーブルの応力波の伝播挙動について検討を行っている。ケーブルの運動に伴うケーブル軸に沿って伝播する縦波と横波の影響を明らかにしている。

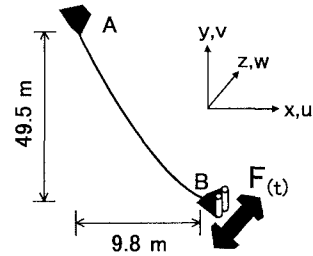


図-1 面外方向に変動荷重を受けるケーブル

2. 式の定式化 3次元ケーブルの運動方程式は、Total Lagrangian 表現と仮想仕事の原理を用いて定式化している。式の定式化にあたり、次のような解析仮定を設けている。(1) ケーブルは弾性材料であり、また単軸応力を仮定する。(2) ケーブルの曲げとねじりの影響は無視する。(3) 減衰の影響は無視する。

(4) 有限ひずみと有限変位の影響を考慮する。ケーブルは3節点ケーブル要素で離散化し、Viscous Relaxation 法を用いてケーブルの初期つり合い形状解析を行い、また初期つり合い形状を中心にした微小振幅振動を仮定し、自由振動解析を行っている。動的応答解析では Newmark のβ法を用いている。ここでは、 $\beta=0.25$ の平均加速度法を用いている。時間 $t+\Delta t$ における運動方程式は、増分反復法において増分値を時間ステップで置き換えることにより、ケーブルの非線形運動方程式として次式で表される。

$$[M] \{^{t+\Delta t} \ddot{u}\} + [^{t+\Delta t} K_r] \{\Delta u\} = \{^{t+\Delta t} P\} - \{F\} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $[^{t+\Delta t} K_r]$ は接線剛性マトリックス、 $[M]$ は質量マトリックス、 $\{\Delta u\}$ は増分変位ベクトル、 $\{^{t+\Delta t} \ddot{u}\}$ は加速度ベクトル、 $\{^{t+\Delta t} P\}$ は外力ベクトル、 $\{F\}$ は内力ベクトルである。

$$\text{ケーブルの支点 B に作用する周期変動荷重は、} F_{(t)} = F_0 + F_d \alpha \sin(\omega t) \quad \dots\dots\dots (2)$$

で仮定している。ここで、 $\alpha = F_d/F_0$ であり、 F_d は動的荷重の振幅、 F_0 は水平初期荷重、 ω は動的荷重の円振動数を示す。

3. 数値計算例及び考察 ここでは、図-1 に示す初期長さ 50m の 3次元単一ケーブルが支点 B で面外方向に変動荷重を受ける場合の動的応答に与える波動伝播の影響について示す。ここで、支点 B は面外方向 (z 方向) にのみ移動できるものと仮定している。3節点ケーブル要素を用いて 3 2要素に分割している。表-1 には、z 方向に初期荷重 $F_0=9.8$ N を作用させ、そのつり合い形状に対する線形化固有値解析を行って求めた振動数が示してある。図-2 には、支点

表-1 単一ケーブルの振動数； $F_0=9.8$ N, $L_0=50$ m

	MODE					
	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th
ω (rad/sec)	1.723	2.907	4.389	5.276	6.832	7.929
周期(sec)	3.647	2.161	1.432	1.191	0.920	0.792

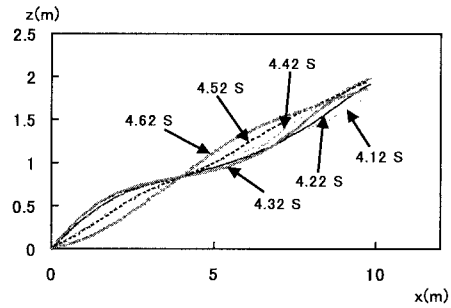
キーワード：3次元ケーブル、波動伝播、動的応答

〒457-8532 名古屋市南区白水町40番地

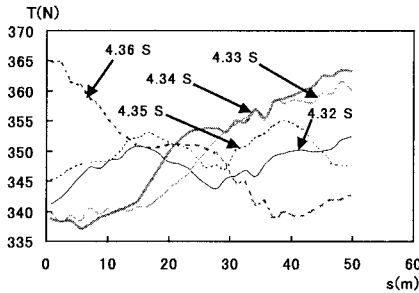
TEL. 052-612-5571

FAX. 052-612-5953

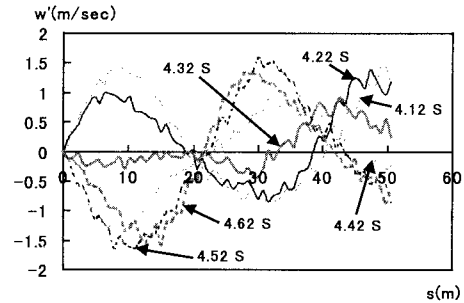
B に作用する変動荷重, $F(t) = F_0 + F_0 \alpha \sin(\omega t)$ によって生じる z - x 面のケーブルの運動性状と、ケーブル軸に沿った各時刻での z 方向の速度応答(w)と張力応答(T)が示してある。ここで、 α は 0.3、 $\omega=6.283$ rad/sec に仮定している。横軸は、固定端からの距離をとり、時刻を 4.12 sec～4.62 sec まで変化させている。また、図-3 にはケーブル軸に沿って伝播する縦波の影響を示すために、張力応答(T)と y 方向の速度応答(v)が示してある。時刻を 4.32 sec～4.36 sec ま



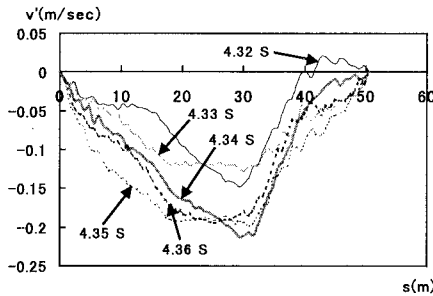
a) 各時刻での運動性状図



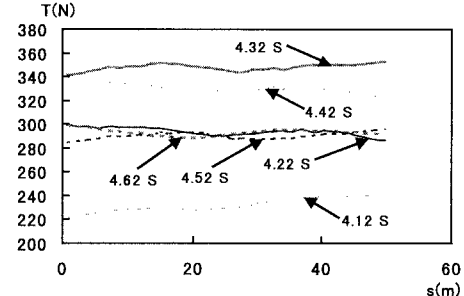
a) 各時刻でのケーブル軸に沿った張力応答



b) 各時刻でのケーブル軸に沿った速度応答(w)



b) 各時刻でのケーブル軸に沿った速度応答(v)



c) 各時刻でのケーブル軸に沿った張力応答

図-3 動的応答に与える縦波の影響

図-2 動的応答に与える横波の影響

で変化させている。ここで、ケーブル内を伝わる縦波の伝播速度, $C_1 = \sqrt{E/\rho}$ は 1520 m/s であり、また横波の伝播速度, $C_0 = \sqrt{H_0/\rho A_0}$ は 43 m/s である。図-2 より、変動荷重の周期が5次の振動モードの周期に近いので、そのモードで運動をし、それに伴い張力変動が顕著に見られる。また、各時刻で求めた速度応答から、横波の伝播性状が読み取れる。一方、図-3 に示す張力応答と y 方向の速度応答より、縦波の伝播挙動が見られ、また、縦波の伝播により生じるケーブルの縮み運動と伸び運動により、ケーブルには、変動張力応答が生じている。

4. まとめ 本文で得られた結果は以下のようにまとめられる。1) 周期変動荷重を受ける単一ケーブルは、外力の周期に近い振動モードで運動する。2) このケーブルの運動には、横波の伝播がみられ、張力応答に顕著な張力差が生じてくる。3) また、ケーブルに沿って伝播する縦波の影響もみられ、ケーブル内を往復する伝播時間に相当するかなり小さな周期の変動張力が生じてくる。

参考文献 1) 加藤 他：先端に集中質量をもつ鉛直ケーブルの動力学的性状について、中部支部研究発表会，1999。