

I - A24

移動支点で周期変動荷重を受ける2次元ケーブルの運動特性と張力応答性状について

東洋技研コンサルタント 正会員 ○貝塚真貴
大同工業大学工学部 正会員 水澤富作

1. はじめに

暴風や地震動を受ける吊り橋や斜張橋の桁や塔の大きな運動により発生するケーブルの振動問題が設計上重要になっている。このようなケーブルの係数励振振動問題を動的安定問題として取り扱った研究も多く報告されている。著者ら¹⁾は、移動支点で周期変動荷重を受ける水平ケーブルの動的応答解析を行い、ケーブルの変位応答や張力応答に与えるケーブルのサグ比や周期変動荷重特性の影響について解析してきた。この研究より、ケーブルの非線形応答に与えるサグ比と振幅比の影響が大きいことを明らかにしているが、周期変動荷重の振動数比が移動支点を持つケーブルの衝撃応答に与える影響などについては、あまり検討されてないように思われる。

本研究では、図-1に示すような移動支点で周期荷重を受ける2次元傾斜ケーブルの動的応答解析を行い、ケーブルの運動特性や張力応答性状に与える変動荷重の振動数比や傾斜の影響について検討を行っている。

2. 解析手法 支点移動を有するケーブルシステムの運動方程式を、Total Lagrangian表現と仮想仕事の原理を用いて定式化している。ケーブルはアイザハマトリックス要素で離散化し、Viscous Relaxation 法を用いてケーブルの初期形状解析を行ったのち、Newmarkのβ法により動的な非線形応答解析を行っている。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)ケーブルの断面は十分小さく、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。増分反復法において、増分値を時間ステップで置き換えれば、ケーブル要素の非線形運動方程式が導けることから、時刻 $t+\Delta t$ における運動方程式は次のように表せる。

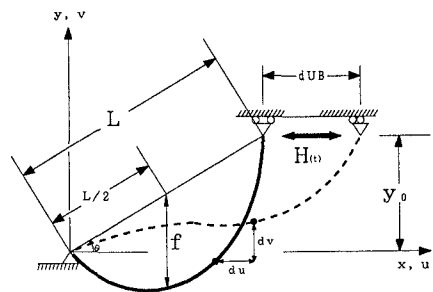


図-1 移動支点で周期変動荷重を受ける傾斜ケーブル；
 $L_0=200.0 \text{ ft.}$, $A_0=0.1 \text{ ft.}^2$,
 $\rho_0=0.031056 \text{ sec.}^2/\text{ft.}^2$, $E=1.0 \times 10^6 \text{ psf}$

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

ここで、 $[{}^{t+\Delta t} K_T]$ = 接線剛性マトリクス、 $[M]$ = 質量マトリクス、 $\{ \Delta u \}$ = 増分変位ベクトル、

$$\{ {}^{t+\Delta t} \ddot{u} \} = \text{加速度ベクトル}, \{ {}^{t+\Delta t} P \} = \text{外力ベクトル}, \{ {}^t F \} = \text{内力ベクトルである。}$$

移動支点到作用する周期変動荷重は、 $H(t) = H_0 \{ 1 + \alpha \sin(\beta \omega_1 \cdot t) \} \quad \dots \dots \dots (2)$

で仮定している。ここで、 $\alpha = H_d/H_0$ 、 $\beta = \omega_0/\omega_1$ であり、 H_d は動的荷重の振幅、 H_0 は初期つり合い水平荷重、 ω_0 と ω_1 は動的荷重の円振動数とケーブルの円振動数を示す。

3. 数値計算例及び考察 ここでは、移動支点で周期変動荷重を受ける2次元ケーブルの動的応答に与える振動数比の影響や、動荷重に追従したケーブルの動的挙動などについて検討する。図-2には、移動支点で水平周期荷重を受ける傾斜ケーブルの変位応答に与える水平周期荷重の円振動数比βの影響が示されている。ここで、初期水平荷重、 H_0 は120.0 lbs($f/L=0.015$)を用い、 $\alpha=0.2$ 、 $y_0/L_0=1/\sqrt{2}$ に仮定している。βは0.5、1.0、2.0に変化させているが、この値が増大すると、動的変動荷重の周期が小さくなる。また、図-3には、水平周期荷重の振動数比、β=2.0における傾斜ケーブルの張力応答曲線が示されている。

キーワード： 傾斜ケーブル、張力応答性状、運動特性、動的な非線形応答解析

〒532 大阪市淀川区新北野1丁目14番11号 TEL 06-886-1090

〒457 名古屋市南区白水町40番地

TEL 052-612-5571 FAX 052-612-5953

ここで、初期水平荷重、 H_0 は120.01bs($f/L=0.015$)を用い、 $\alpha=0.2$, $y_0/L_0=1/\sqrt{2}$ に仮定している。これらの図より、 H_0 が大きな緊張傾斜ケーブルでは、 β が2.0の場合に発散型の変位応答が見られ、それに伴いケーブル張力が衝撃的な性状を示している。これは、高橋ら²⁾も指摘している倍調波共振現象であると考えられる。

一方、サグ比の大きなケーブルでは、変位応答に与える β の影響はさほど顕著に見られない。

図-4と図-5には、それぞれサグ比が0.164($H_0=10$ lbs)と0.015($H_0=120$ lbs)の場合での各時刻におけるケーブルの運動性状と張力応答性状を示してある。ただし、 $\alpha=0.2$, $y_0/L_0=1/\sqrt{2}$, $\beta=1.0$ に仮定している。この運動状態は、動的周期荷重 $H(t)$ が静止状態から1サイクルした場合に相当する。これらの図から、サグ比が大きくなると、

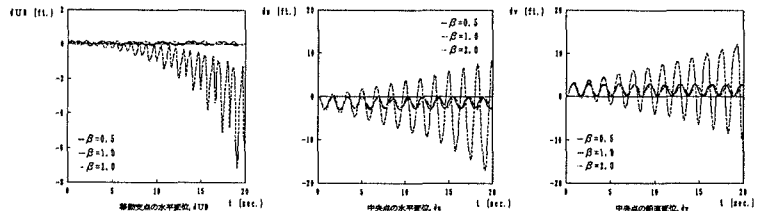


図-2 傾斜ケーブルの変位応答に与える周期変動荷重の振動数比、 β の影響： $y_0/L_0=1/\sqrt{2}$, $f/L=0.0147$ ($H_0=120.0$ lbs), $\alpha=0.2$

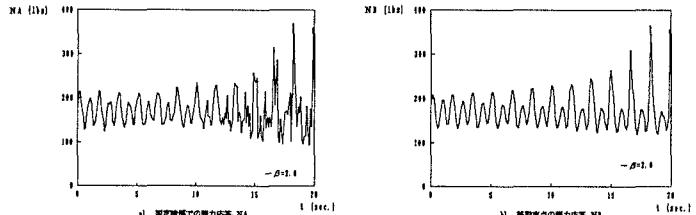


図-3 傾斜ケーブルの張力応答に与える周期変動荷重の振動数比、 β の影響： $y_0/L_0=1/\sqrt{2}$, $f/L=0.0147$ ($H_0=120.0$ lbs), $\alpha=0.2$

、支点の移動の影響により、ケーブルが非対称な変形運動を示しており、それに伴いケーブル軸線に沿った動的張力に大きな変化が見られる。一方、サグ比が小さくなると、ケーブルはほぼ対称な運動をしており、またケーブルに生じる張力応答が一樣でなめらかな挙動を示している。しかしながら、傾斜ケーブルでは、両支点間の張力差が大きいので、これによるケーブルの張力応答に与える影響も大きく見られる。

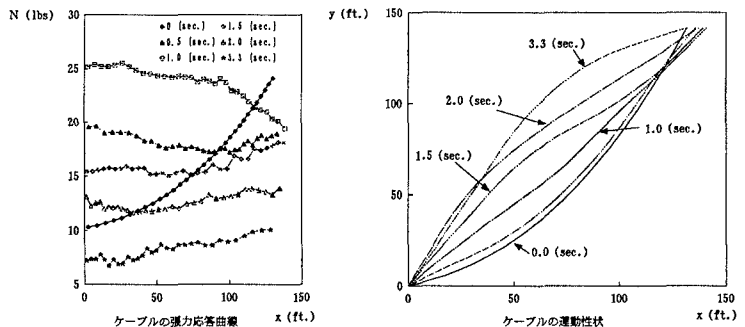


図-4 各時刻でのケーブルの運動性状と張力応答； $y_0/L_0=1/\sqrt{2}$, $f/L=0.164$ ($H_0=10.0$ lbs), $\alpha=0.2$, $\beta=1.0$ (0.0sec.~3.3sec.)

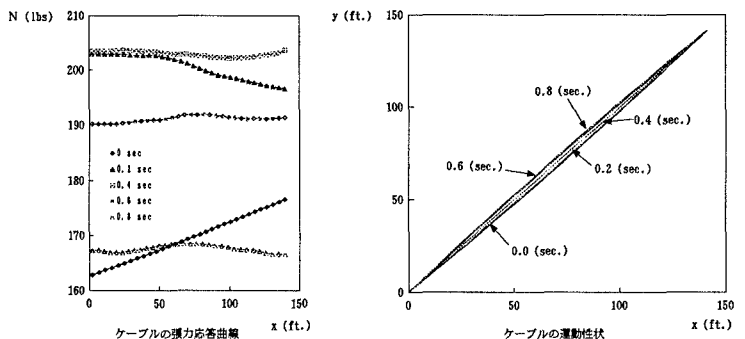


図-5 各時刻でのケーブルの運動性状と張力応答； $y_0/L_0=1/\sqrt{2}$, $f/L=0.0147$ ($H_0=120.0$ lbs), $\alpha=0.2$, $\beta=1.0$ (0.0sec.~0.8sec.)

4. あとがき 本文で得られた主な結果を示すと以下のようになる。1)緊張傾斜ケーブルでは、 β が2.0の場合に、発散型の変位応答が見られ、それに伴いケーブル張力が衝撃的な性状を示している。これは、高橋らも指摘している倍調波共振現象であると考えられる。2)ケーブルの動的応答に与える移動支点の影響はサグ比が大きな場合に顕著に見られる。傾斜ケーブルでは、両支点間の張力差が大きいので、これによるケーブルの張力応答に与える影響も大きく見られる。

参考文献 1) 高橋真貴、水澤富作：2次元ケーブルの非線形応答に与える支点移動の影響について。平成7年度土木学会中部支部講演概要集、I-33, pp. 65-66, 1996。2) 高橋和雄他：支点が動きうるサグ比の小さいケーブルの動的安定性。土木学会論文集, No. 495/I-28, pp. 127-130, 1994。