

(株) 神戸製鋼所 正員 ○ 西村春久

“ “ 中邦記
“ “ 新家徽

1. まえがき

斜張橋やニールセン橋など、ケーブルがその主要構成要素となっている構造物が最近数多く建設されている。これらのケーブル使用構造物の動的性状を検討するに際し、ケーブルの振動特性を十分把握しなくては必要があると考えられる。本研究はこれらの構造物に一般に使用されるパラレルワイヤストランド(PWS)、ロックドコイルロープ(LCR)、CFRC型ストランドロープ(CFRC)の3種類のロープを対象として、実験的にこれらの振動特性を把握しようと試みたものである。またこれらのケーブル使用構造物では、架設の際に張力を正確に計測する必要があるが、今回一般によくもちいられている振動法による張力測定方法について、本実験からその精度を確かめ、さらにより精度を高める方法について検討した結果について報告する。

2. 實驗概要

4) 供試体 第1表に示す種類のケーブル枝を選定、それぞれ長さや径が異なるものの13体を製作した。なおすべての供試ロープについて、実験に先立ちリフットの抜け出し等の影響を除去するため、最大引張応力60%¹⁾で1時間放置し、プレテンションを行った。

(2) 実験方法 第1図に示す実験装置をもちいて、ロープを水平にセツトし、1端はソケット前面をロードセルを介し定着し、他端はソケット前面を200 ton 油圧ジャッキを基により押し広げてロープに張力を導入した。導入張力としては、応力レベルで10, 20, 30, 40 kg/mm^2 の4段階とした。次に起振方法としては、ロープ中央をピアノ線が鉛直方向に所定の変位(約30 mm)まで引き込み、ピアノ線を切断する方法でロープを自由振動させた。一方計測方法としては、ロープ中央点、4等分点に如速度計、差動変圧式変位計を取り付け、ローパスフィルターを介し、電磁オシログラフに各点の振動波形を記録した。第2図にその一例を示す。

これから振動数を次式で求めた。

$$f = nv/z \quad (1)$$

ϵ デレ n ; 表の数 v ; 電磁オシログラフ紙送り速度
 z ; n 個の波のピークの記録紙上の長さ

一方、対数減衰率は記録膜形より振幅を読み取り、次式で求めた。

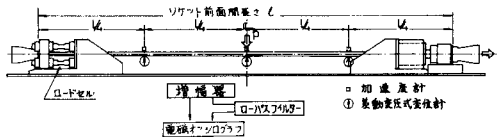
$$\delta = 1/n \ln(A_0/A_n) \quad A_0, A_n; \text{振幅}$$

3. 実験結果および考察

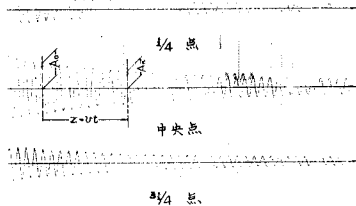
第2図に示すようにロープ中央点、 $\frac{1}{2}L$ 点の振動形式それぞれが、 $\frac{1}{2}L$ 点の振動形式と位相が逆で、しかも明白な単弦振動であることから、1次の振動形式であることがわかる。これから求めた振動数と引張応力の関係を第3図に示した。図中実線が示したのは弦理論から得られる引張応力と振動数の関係で(3)より表

第1表 供試体口-フ諸元

種類	構成	断面積 A(mm ²)	単位重量 W(kg/m ²)	ソフト ウエア 面 積 S(L/m ²)
ポ ラ シ ー ス ト ラ ン ド	PWS 37 	726.5	5.69	12 750 ^m
	PWS 61 	1198	9.38	12 750 ^m
	PWS 91 	1787	14.0	12 750 ^m 9 950 7 150
ロ フ ト ニ ン グ ロ ウ ン	LCR 30 ^φ (B形) 	638	5.0	10 390 ^m 7 150
	LCR 46 ^φ (C形) 	1531	12.0	12 750 ^m 9 950 7 150
ス ト ン ニ ン グ	CFRC 66MS (3) 60 ^φ 	1926	15.1	12 750 ^m 9 950 7 150



第1圖 實驗裝置概略圖



第2圖 記錄波形(LCR46^中)

わされる。

$$\sigma_k = 4 \gamma f^2 l^2 / g \quad (3)$$

ただし γ : 単位体積重量 (784×10^{-6} kg/mm³) g : 重力加速度 (9.8 m/s²)

いずれのケースについても実験振動数は計算値よりも大きくなっており、特に太径のロープほど、また短いものほど顕著な差が現われている。この原因としてロープの曲げ剛性による影響、端部の固定支持による影響等が考えられる。しかしロープの曲げ剛性は一律ではなく、素線間の内部摩擦等が影響して、張力や長さ、断面形状等により変化すると考えられる。そこで中央載荷の静的曲げ試験により、鉛直力 P 、張力 T 、変位 y_0 を計測し、次式により EI_c を決定した。

$$y_0 = \frac{P}{4dT} \left(d + \frac{2 - 2 \cosh \alpha d}{\sinh \alpha d} \right), \quad d = \sqrt{\frac{T}{EI_c}} \cdot \frac{l}{2} \quad (4)$$

EI_c の値は T によりばらつきがあったが、平均値を換算曲げ剛性とし、第2表に示した。次に曲げ剛性の影響の程度を調べるため、第4

図に無次元パラメータ $\frac{\sqrt{T}}{EI_c} l$ を横軸にとり、(3)式による計算

張力と実験値の誤差を示した。図よりわかるように、 $\frac{\sqrt{T}}{EI_c} l$ がロープを強して近似し得るが、右側の指標とみなすことができ、この値が100以下の場合には曲げ剛性を考慮した張力と振動数の関係式を適用する必要があるといえる。

一方、両端固定はり理論によると、張力と振動数の関係は次式で表わされる。

$$2\alpha\beta(1 - \cosh \alpha l \cosh \beta l) + (\beta^2 - \alpha^2) \sinh \alpha l \sinh \beta l = 0 \quad (5)$$

$$E \text{ は } d = \sqrt{\frac{b^2 + 4a\omega^2}{2A}} - b / 2A, \quad \beta = \sqrt{\frac{b^2 + 4a\omega^2 + b}{2A}}, \quad a = \frac{EI_c g}{W}$$

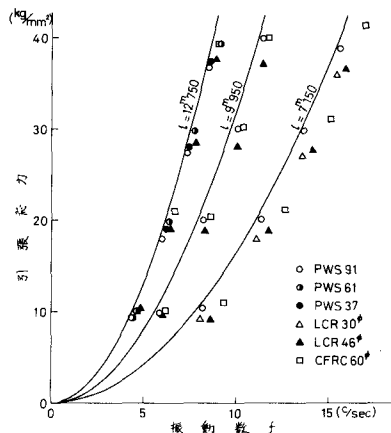
$$b = Tg/W, \quad \omega = 2\pi f, \quad W: \text{ロープ単位重量}$$

しかし(5)式は ω に関して非線形であり、張力と振動数の関係を求めるには複雑な計算を要する。そこでこれを簡略化して次式で表わされる近似式を誘導した。

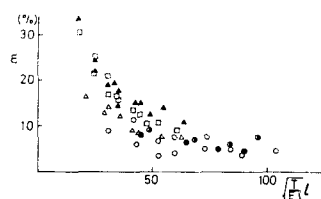
$$T = (4\pi^2 f^2 l^2 / g) \left(1 - \frac{2\sqrt{EI_c}}{W} f l^2 \right) \quad (6)$$

第5図に(6)式から得られる張力と振動数の関係と実験値、および理論を適用した(3)式の関係を比較した一例 (LCR 46^φ) を示した。図よりわかるように(6)式を適用して求めた張力と実験値の誤差は最大7%程度であった。従ってロープの張力と振動数の関係を得るには、今回提案した(6)式を適用すれば通常用いられている(3)式よりもより精度の高い近似が得られ、特に上記のパラメータ $\frac{\sqrt{T}}{EI_c} l$ が100以下であるような太径のもの、あるいは長さの短いロープに対しては(3)式ではかなりの誤差を生じ、(6)式の適用が妥当といえる。

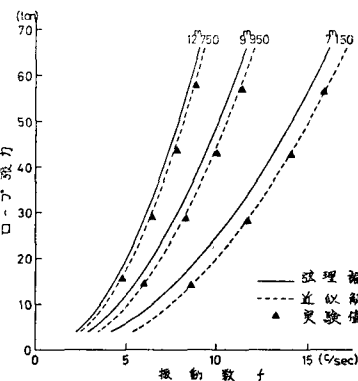
第6図は各種のロープについて、ロープ長さパラメータとして張力と対数減衰率の関係を示したものである。LCRとCFRCではそれほど差はなく、前者で0.02~0.05、後者で0.02~0.04の範囲の値であったが、PWSではこれらの約1/2と小さく、0.01~0.02の範囲の値であった。またこの種類のロープについても同様に張力の増大に伴い δ が漸減しており、ロープ長が長いほど小さな値を示す傾向にある。これらの点については今後さらに検討を加え、後日報告する予定である。



第3図 引張力と振動数の関係



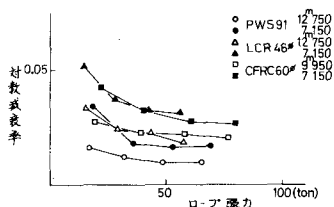
第4図 弦理論による計算張力誤差



第5図 近似解と実験値

第6図に(6)式から得られる張力と振動数の関係と実験値、および理論を適用した(3)式の関係を比較した一例 (LCR 46^φ) を示した。図よりわかるように(6)式を適用して求めた張力と実験値の誤差は最大7%程度であった。従ってロープの張力と振動数の関係を得るには、今回提案した(6)式を適用すれば通常用いられている(3)式よりもより精度の高い近似が得られ、特に上記のパラメータ $\frac{\sqrt{T}}{EI_c} l$ が100以下であるような太径のもの、あるいは長さの短いロープに対しては(3)式ではかなりの誤差を生じ、(6)式の適用が妥当といえる。

第6図は各種のロープについて、ロープ長さパラメータとして張力と対数減衰率の関係を示したものである。LCRとCFRCではそれほど差はなく、前者で0.02~0.05、後者で0.02~0.04の範囲の値であったが、PWSではこれらの約1/2と小さく、0.01~0.02の範囲の値であった。またこの種類のロープについても同様に張力の増大に伴い δ が漸減しており、ロープ長が長いほど小さな値を示す傾向にある。これらの点については今後さらに検討を加え、後日報告する予定である。



第6図 対数減衰率