

石川島播磨重工業 正員○島田 忠幸

同 上 大橋 幸夫

同 上 正員 平島 寛

1. はじめに 振動法によるケーブル張力の測定は、測定が簡便であるので、最近橋梁の架設工事に使われることが多い。ケーブル長の比較的長い場合において、この方法の測定精度を確認した実験については、いくつか報告がある。このときは、ケーブルの曲げ剛性の影響は少なく、実用上問題のない精度が得られる。長さの短い場合においても、振動法による測定の必要な場合が多いが、これに関する実験報告は少ない。この場合、問題は曲げ剛性の評価に帰着すると言える。よじれのあるケーブルの曲げ剛性は、ケーブル張力、回転に対する拘束条件で値が変化する。また、実験方法によっては、値にばらつきが多くなるように思われる。本研究は標記の測定を目的に、このような問題について考察した報告である。

2. 実験方法 実験を行なったケーブルは、表-1の諸元をもつスパイラルケーブルである。ケーブルは素線を撚ってあるので張力を入れるとソケットに回転が生じる。曲げ剛性は素線間の摩さつ力に関係するので、回転の拘束条件によって、曲げ剛性は変化する。実際のケーブルにおけるこの拘束条件は、施工方法によって決定される。本研究においては、この拘束条件の影響を調べるため、回転拘束した場合(図-1)と自由な場合で実験を行なった。張力はロードセルで測定を行なった。

ケーブルは支圧型ソケットで支持されているので、両端の境界条件は剛と考えてよい。実験は常時微動法を適用した振動法と、静的載荷法で行なった。ケーブルの曲げ剛性(EI_c)は、式(1)に示す換算剛性比(k)によって整理を行なった。

$$k = \frac{EI_c}{EI_b} \quad (1)$$

ここで、 EI_b はケーブル径(d)と等径の棒材の曲げ剛性を示す。棒材の弾性係数は $2.1 \times 10^7 \text{ tf/m}^2$ とした。

3. 振動法による実験結果 換算剛性比(k)をパラメーターとした、張力(T)と振動数(f)のグラフの上に、振動法による測定値をプロットした結果を図-2に示す。張力と振動数の関係式は、文献¹⁾に示されている実用算定式を用いた。

$$C = \sqrt{\frac{EI_c g}{w l^4}} \quad \xi = \sqrt{\frac{T}{EI_c}} l \quad \text{とすると}$$

$$T = \frac{4w}{g} (f l)^2 \left\{ 0.857 - 10.89 \left(\frac{C}{f} \right)^2 \right\} \quad (3 \leq \xi \leq 17) \quad (2)$$

$$T = \frac{4w}{g} (f l)^2 \left\{ 1 - 2.2 \left(\frac{C}{f} \right) - 2 \left(\frac{C}{f} \right)^2 \right\} \quad (\xi \geq 17) \quad (3)$$

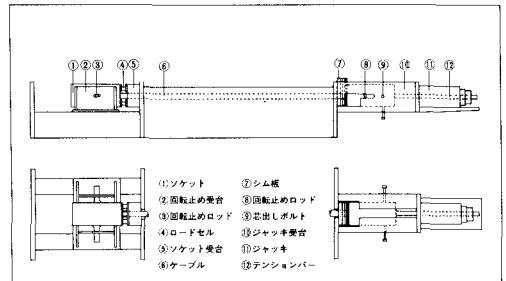


図-1 実験装置(回転拘束)

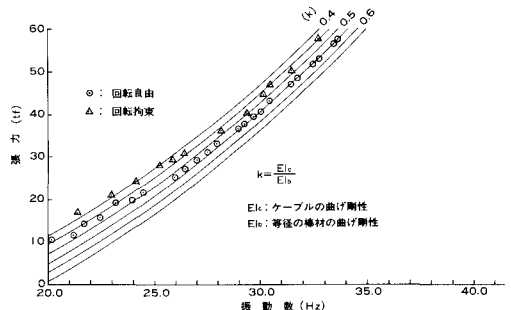


図-2 振動法による曲げ剛性の実験結果

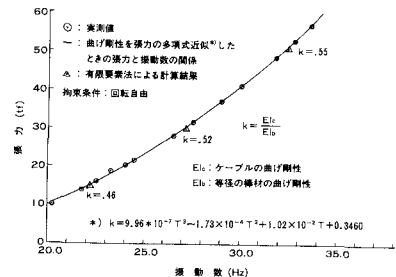


図-3 曲げ剛性を張力の多項式近似したときの振動数と張力の関係

表-1 ケーブル諸元

直 径 (d)	0.0585m
長 さ (l)	3.5m
単位長さ重量 (w)	0.0167 tf/m

図-2より、回転自由なときの方が回転拘束のときよりも、曲げ剛性の大きくなることがわかる。この理由としては、ケーブルの曲げ剛性は素線間の摩さつ力に関係するが、回転自由なときは拘束の場合と比較してよじれ力が大きくなるので、曲げ剛性が大きくなるものと思われる。また、張力が大きくなると曲げ剛性が大きくなる傾向になるが、これも同じ理由で説明できる。

式(2)、(3)を用いて、図-2に示した実験結果から曲げ剛性を求め、最小2乗法によってケーブル張力の多項式近似で表示しておけば、実用上簡便になる。図-3の実線はこれを基にした回転自由の場合の張力計算値であり、○印は測定値である。計算は仮定張力から曲げ剛性と張力を求める収束計算になる。張力が10tfのとき、 $\xi = 4.75$ となつて、式(2)に示す限界値：3に近くなる。式(2)の実用算定式の妥当性を吟味するため、有限要素法による計算結果をも示した(△印)。両者よく一致することから、式(2)を用いて曲げ剛性を求めても、精度的な問題は生じない。ケーブル長が短いので、サグの影響は無視できる。

4. 静的載荷による実験結果 ケーブル中央に重錘を載荷したときのタワミを基に、以下に示す方法で曲げ剛性を実験的に求める報告がなされている。ケーブルを曲げと軸力のある梁と考えたとき、中央に荷重：Qを載荷したときの中央点のタワミは、式(4)で求まる。

$$y = \frac{Ql}{4aT} \left\{ a + \frac{2 - \cosh a}{\sinh a} \right\} \quad \text{但し} \quad a = \frac{1}{2} Kl, \quad K = (T/EIb)^{1/2} \quad (4)$$

式(4)を導くにおいて、載荷点でケーブルに折れ角が生じないという境界条件がある。このため、荷重は極力小さいことが必要になるが、それだけタワミも小さくなるので、計測誤差が大きくなるという矛盾を含む。

図-4は、回転自由の場合において、張力：20.28tfのときに、最大40kgfまで載荷したときのタワミ図を示す。荷重とタワミが完全な線型関係にないのは、上に述べた理由によるものと考えられる。載荷時と除載荷時には値は一致しないが、載荷時の10kgfのときのタワミからkを求めると0.5となり、振動法による結果とほぼ一致する。しかし、測定における最適な荷重の選定は容易ではない。

4. 曲げ剛性の測定張力に与える影響 曲げ剛性の相対誤差が測定張力の相対誤差に与える関係を、式(5)で表示すると、 C_1 は式(2)、(3)より求まる。

$$\left| \frac{\Delta T}{T} \right| = C_1 \left| \frac{\Delta EI_c}{EI_c} \right| \quad (5)$$

図-5は $w = 0.0167 \text{ tf/m}$, $k = 0.5$ として、 C_1 について行なった計算結果を示す。実験結果より $|\Delta EI_c/EI_c|$ は0.1以下であることが想定できるので、ケーブル長さが3m以上であれば、設計張力近辺では測定精度は7%以下が期待でき、土木工事に利用する場合、実用上問題が生じないと言える。

5. まとめ (1) 振動法による張力測定の基礎データを得ることを目的に、支圧型ソケットのついた長さの短いスパイラル・ケーブルの曲げ剛性を求める実験を行ない、張力及び回転に対する拘束条件によって曲げ剛性の変化することを示した。(2) 静的載荷によって曲げ剛性を求める方法の問題点について述べた(3) 曲げ剛性の相対誤差が測定張力の相対誤差に及ぼす影響について、実験に用いたケーブルを例として計算を行なった。この計算結果を基にして、振動法の適用限界を判断することができる。

参考文献：1) 新家・広中・頭井・西村：振動法によるケーブル張力の实用算定法について、土木学会論文報告集、第294号・1980年2月

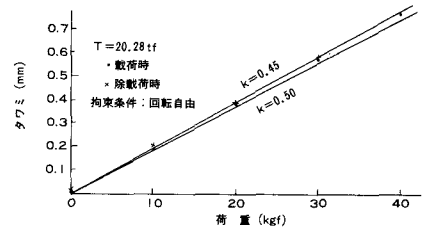


図-4 荷重-タワミ線図

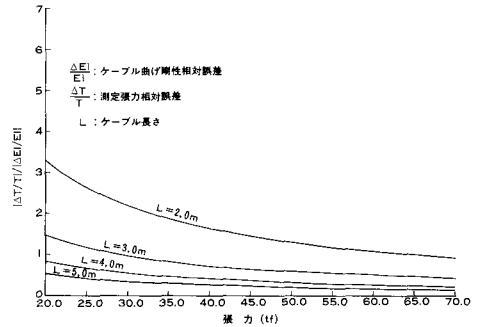


図-5 曲げ剛性の相対誤差が張力の相対誤差に及ぼす影響