

I-A 336 振動法によるケーブル張力算出時の曲げ剛性評価に関する一考察

川田工業 正会員 吉岡 昭彦

川田工業 正会員 米田 昌弘

川田工業 正会員 枝元 勝哉

1. まえがき

斜張橋やニールセン橋をはじめとするケーブル構造物の架設精度管理にあたっては、ケーブル張力を正確に把握することが重要である。ケーブル張力を測定する手法にはジャッキ法と振動法があるが、通常は、作業の合理化を図るため振動法を用いる場合が多く、測定された振動数から張力を算出する際には、ケーブルの曲げ剛性を考慮した実用算定式^{1,2)}が広く適用されている。しかしながら、ケーブルの曲げ剛性の寄与が比較的大きい場合、ジャッキ法で測定した実張力と振動法で算出した張力との間には差違が生じるため、測定張力の補正を行うためのキャリブレーション作業（同一のケーブルについてジャッキ法と振動法で張力を算出し、両者の比率を求める作業）が必要となってくる。本研究では、ケーブルの曲げ剛性の影響を明確にするため、現在までに当社で実施してきた種々の橋梁に対するキャリブレーションデータを整理した。その結果、ニールセン橋等に使用されている比較的小さいロックドコイルケーブルにおいて、ジャッキ法と振動法で求めた張力に大きな相違が認められ、注意深いキャリブレーション作業が必要であることがわかった。しかしながら、キャリブレーション作業には多くの労力と時間を要することから、振動法によるケーブル張力測定作業の合理化（キャリブレーション作業の簡素化）を図ることを目的に、ニールセン橋で用いられることの多いロックドコイルケーブル（ケーブル長が30m以下のもの）に着目し、その曲げ剛性評価について考察を加えることとした。

2. 曲げ剛性の評価

新家らは、以下に示すパラメータ C を導入し、弦として求めた張力にパラメータ C を含む関数を乗じることによって、曲げ剛性を考慮した場合のケーブル張力を算出する実用算定式^{1,2)}を提案している。

$$C = \sqrt{\frac{EIg}{wL^4}} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 g は重力加速度、 w は単位長さあたりの重量、 L はケーブル長である。また、 EI はケーブルの曲げ剛性であり、鋼線外径と等しい鋼棒の断面二次モーメントを I' 、補正係数を κ とすれば $EI = \kappa EI'$ となる。ケーブルの曲げ剛性を評価する際には、補正係数 κ の設定が重要となるが、新家らは静的曲げ試験によって κ 値を具体的に提示している。本研究で対象としたロックドコイルケーブルの径は表-1に示すように、52mm～72mmであり、新家らの実験データを適用すれば、ケーブルの補正係数はいずれも $\kappa=0.5$ となる。そこでまず、 $\kappa=0.5$ なる補正係数を用いてキャリブレーションデータを整理し、ケーブルの曲げ剛性の寄与について検討する

表-1 ケーブル諸元

ケーブル名	ケーブル長 L (m)	ケーブル径 d (m)	単位重量 w (kgf/m)	ケーブル種類
C1	8.8403	0.060	0.0197	ロックド コイル ケーブル
C2	18.5301	0.056	0.0173	
C3	12.3750	0.072	0.0298	
C4	17.1890	0.072	0.0298	
C5	26.1250	0.070	0.0182	

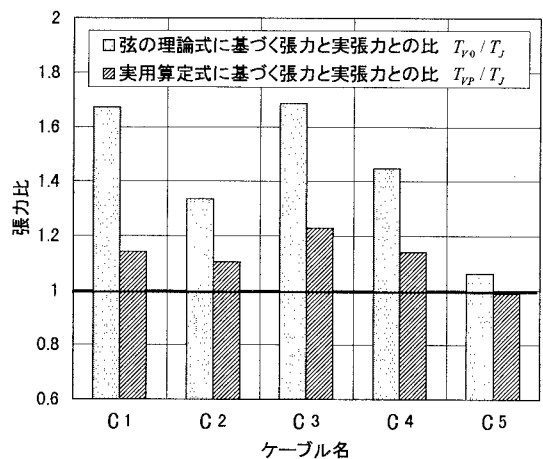


図-1 実張力との差違を示す張力比

こととした。今、ジャッキ法で測定した実張力を T_j 、振動法で測定した弦の理論式に基づく張力（曲げ剛性の寄与を無視した場合の張力）を T_{v0} 、同じく振動法で測定した実用算定式に基づく張力（曲げ剛性の寄与を考慮した場合の張力）を T_{vp} とし、張力比 T_{v0}/T_j 、 T_{vp}/T_j を計算した。その結果を図-1に示す。この場合、張力比が1に近いほど実張力に近い値が得られたことになるが、図-1からわかるように $\kappa=0.5$ なる値を採用すれば、本研究で対象としたロックドコイルケーブルについても、おおむねケーブルの曲げ剛性の寄与が評価されたものと考えられる。しかしながら、ケーブルによっては張力比 T_{vp}/T_j の値が1.2を上回る場合も認められたことから、なお改善の余地が残されているものと思われる。

3. 補正係数 κ の仮定と張力算定式

曲げ剛性を評価する際の補正係数 κ の値は、ケーブルの構造諸元や端部の支持条件など、さまざまな要因によって変化すると考えられる。本研究では、これらの中でも特にケーブルの導入張力 T に着目し、補正係数 κ がケーブルの導入張力 T により変化するものと考え、経験的に、

$$\kappa(T) = \frac{g}{4wl^2 f_1^2} \cdot T \dots \dots \dots (2)$$

なる無次元式で表されるものと仮定した。ここに、 f_1 は計測した1次固有振動数である。ところで、頭井・新家らは

$$\xi = \sqrt{\frac{T}{EI}} \cdot l \dots \dots \dots (3)$$

で定義される ξ の大きさによって3つの張力算定式を提示している。したがって、例えば、多くのデータが属する $6 < \xi < 17$ なる場合の張力算定式は、

$$T = \frac{4wl^2 f_1^2}{g} \left\{ 0.865 - 11.6 \frac{\kappa(T) EI^3 g}{wl^4 f_1^2} \right\} \dots \dots (4)$$

のように書き表される。式(4)の右辺に式(2)を代入し、導入張力 T を新たに T_{vt} と表示すれば、

$$\therefore T_{vt} = 0.865 \cdot \frac{4wl^2 f_1^2}{g} \left/ \left\{ 1 + 11.6 \frac{EI^3 g}{wl^4 f_1^2} \right\} \right. \dots (5)$$

ただし、 $6 < \xi < 17$

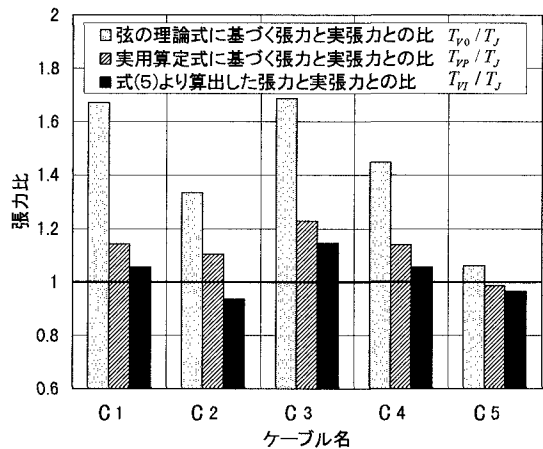


図-2 張力比の比較

となる。

4. 実張力に対する誤差

本研究で検討しているケーブルについて、式(5)によって算定された張力 T_{vt} と、実張力 T_j （ジャッキ法による張力）との張力比 T_{vt}/T_j を計算した。その結果を図-2に示す。なお、この表には、曲げ剛性の補正係数をすべて $\kappa=0.5$ としたときの張力比 T_{vp}/T_j も併記してある。

図-2から、 $\kappa=0.5$ とした場合の張力比 T_{vp}/T_j は $T_{vp}/T_j=0.987 \sim 1.227$ であるのに対し、式(5)に基づく張力比 T_{vt}/T_j は $T_{vt}/T_j=0.937 \sim 1.144$ とばらつきが小さくなっていることがわかる。

5. あとがき

本研究は、ケーブルの見かけ上の曲げ剛性を左右する補正係数 κ に、導入張力を基にした推定式を適用することにより、振動法に基づくケーブル張力測定の精度向上を図ったものである。その結果、著者らの整理したデータの範囲内においては、算定張力の改善効果が認められたが、データ数が少ないことから、今後は更に多くのデータ収集を図り、適用性を検討する所存である。

参考文献

- 1) 新家 徹・広中邦汎・頭井 洋・西村春久：振動法によるケーブル張力の実用算定式について，土木学会論文報告集，第287号，pp. 26～32，1980-2
- 2) 頭井 洋・新家 徹・濱崎義弘：振動法によるケーブル張力の実用算定式の補正，土木学会論文報告集，第525号，pp. 351～354，1995-10