

振動法によるケーブル張力測定値へのオープンソケットの影響

EFFECT OF OPEN SOCKET ON CABLE TENSION ESTIMATED BY VIBRATION METHOD

島田忠幸*・西村 昭**

By Tadayuki SHIMADA and Akira NISHIMURA

The method of estimating tension of bridge cables by measuring their natural frequency, so-called vibration method, is convenient on construction site of structures with cables. Concerning the method some papers have been reported hitherto. In these reports cables are assumed to be clamped on both ends. However, for the estimated tension of cable supported by open sockets, vibration of the sockets has a notable effect, which has not been investigated. In order to get reliable and accurate estimation for tension of cables with open socket, some experimental works were performed and reported in this paper.

Keywords: open socket, vibration method, cable tension

1. 諸 言

ケーブルの振動数を測定して張力を求めるいわゆる振動法は、ロードセルあるいは油圧ジャッキを利用する測定法と比較して測定法が圧倒的に簡単であることから、ケーブルを組み込んだ橋梁の架設工事のほか、これらの維持管理を目的とした測定にも適用が期待されている。

この測定法の実用化を目的として、新家ら¹⁾は、測定した振動数から張力を求めるときの实用算定式についての提案を行っており、島田・西村²⁾は、振動法に関連してケーブル曲げ剛性を実験的に求める際の問題点について、報告を行っている。

これらの報告はいずれも、ケーブル端部の支点拘束条件を固定とみなして考察を行っている。しかし、端部にオープンソケットのついたケーブル張力を振動法で測定するとき、直径に比して長さが短いケーブルについてはオープンソケットの振動が生じて固定条件とはみなせなくなるが、この面の報告はなされていない。このことから、本論文は振動法の実用化を目的として、オー

ブンソケットのついたケーブルの支点条件について、実験的検討を行ったものである。

2. 実験方法

実験に用いたケーブルは、長大吊橋およびニールセン橋の吊材などに一般に用いられるものとして、直径56mmのロックドコイルケーブルおよび、直径58.5mmのスパイラルケーブルを用いた。オープンソケットはケーブル径から決定される通常の大きさのもの(図-1, 図-7)を用いた。オープンソケットの振動がケーブル

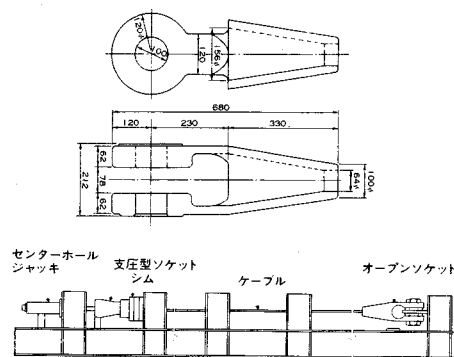


図-1 オープンソケットおよび実験装置(実験-1)

* 正会員 石川島検査計測(株)
(〒135 東京都江東区豊洲1-2-40)

** 正会員 工博 神戸大学教授 工学部土木工学科
(〒657 神戸市灘区六甲台町1)

の振動に与える影響は、回転ヒンジ方向よりも回転ヒンジ直角方向の方が少ない。したがって、ケーブルの固有振動数は回転ヒンジ直角方向の値を計測した。

本実験は、直径に比較してケーブル長さが短くなると、オープンソケットに振動が生じて支持条件が変化しないかどうかの検討が目的である。しかし、この場合ケーブルの振動数は曲げ剛性の影響を大きく受けるので、この影響をも合わせて検討することが必要になる。

(1) 実験—1

実験—1では、直径に比較して長さの長いケーブルを対象に、一端に支圧型ソケット他端にオープンソケットのついた、長さ13.5 mおよび9.1 mのロックコイルケーブルを供試体を選定した。張力は、振動法とソケット受け台にはり付けたストレインゲージから求める2方法で測定した。なお、後者の測定は、センターホールジャッキを用いて測定値の較正を行った。ケーブルの振動数は、サーボ型加速度計を用いて、ハンマーで軽く衝撃を与える強制加振法と常時微動法から測定を行った。図—1に実験装置を示す。ケーブル諸元を以下に示す。

直径	: 56 mm
曲げ剛性	: 5.0 tm^2
単位長さ重量	: 17.8 kg/m
断面積	: 0.00203 m^2

ケーブルの曲げ剛性は新家らの実験結果¹⁾を参考として、ケーブルと等径の棒材の曲げ剛性の50%を有効と考えた。ケーブルの曲げ剛性は支点拘束条件の影響を受けるが、供試体に用いたケーブルは直径に比較して長さが十分長いので、曲げ剛性の設定誤差が測定結果に与える影響は無視できる²⁾。

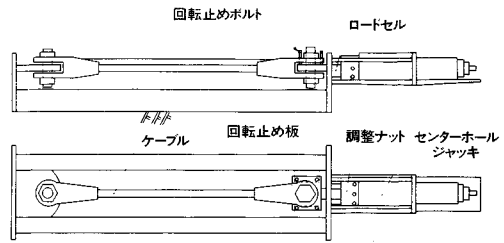
(2) 実験—2

実験—2は、ケーブル径に比較して長さの短いケーブルを対象に、長さ2.48 mと1.5 mの2本のスパイラルケーブルを供試体を選定した。ケーブル諸元を以下に示す。

直径	: 58.5 mm
断面積	: 0.00205 m^2
単位長さ重量	: 17.2 kg/m

図—2に実験装置を示す。撚りのあるケーブルに張力を導入するとき、ケーブルは撚りが戻る方向に回転する⁴⁾ので、曲げ剛性が変化する。

しかし、実橋ケーブルでは、端部のオープンソケットは回転しない。本実験では、拘束条件を実橋と同じにするため、張力導入時はケーブル軸線まわりのオープンソケットの回転を支持板で拘束して軸方向だけの変位を許し、導入後は回転止めボルトを締めて軸線まわりのオープンソケットの回転および変位を拘束した(図—2)。



図—2 実験装置(実験—2)

3. 実験結果

(1) 実験—1

図—3に実験結果を示す。計算値はケーブル両端を固定として、長さ: l を図中に定義したときの値を示す。振動法と計算値はよく一致している。特に、常時微動法の方が計算値とよく一致している。これらの測定結果より、ケーブル径に比較して長さの長いときは、ケーブルの両端を固定としても問題のないことがわかる。つまり、ケーブルとオープンソケットとの剛比が著しく小さいので、オープンソケットの振動の影響は生じない。

実験—1では、これらのケーブルのほかに長さ3.36 mのケーブルについても実験を行った。このときは、オープンソケットの支持板の振動がみられ、実験結果と計算値とは一致していない。これは実験装置の剛性の小さいことが考えられ、実験—2では実験装置の剛性に留意して、長さの短いケーブルを対象に別途実験を行った。

(2) 実験—2

図—4は、ケーブル長さ2.48 mのときの実験結果を示す。図中、計算値は式(1)に示すケーブルの換算曲げ剛性比 k が0.50, 0.55, 0.60, 0.65の場合について、ケーブルの両端を固定と仮定したときの値を示す。

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

EI_c : ケーブルの曲げ剛性

EI_b : ケーブルと等径の棒材の曲げ剛性

E はケーブルと棒材の材料の弾性係数で、 2.1×10^7 tf/m^2 (2.06×10^6 kN/m^2) とする。

図中、●印は張力をまったくかけない第1回目の実験結果であり、○印は第2回目、■印は第3回目の実験結果である。第1回目での k は、ほぼ0.55の計算曲線に対応している。第2回目と第3回目ではデータの再現性がみられるが、第1回目とは大きな差違が生じている。プリテンションによって曲げ剛性が著しく変化していることがわかる。

図—5²⁾は、断面径および撚りの状態がまったく同一である長さ3.5 mのケーブルについて、振動法によって求めた曲げ剛性の実験結果を示す。図中、●印はオー

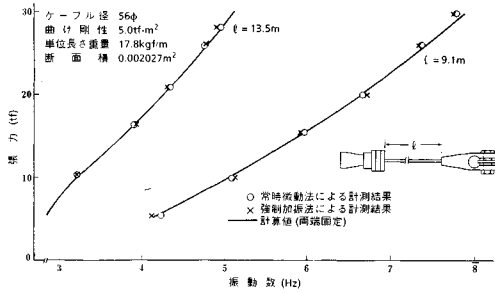


図-3 実験結果 (実験-1)

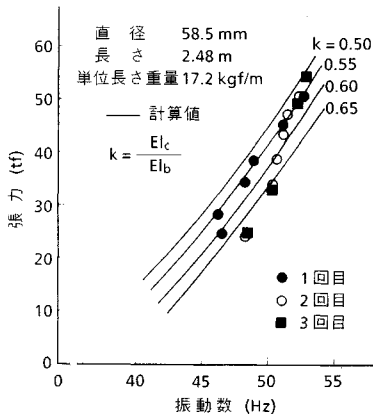


図-4 実験結果 (実験-2:長さ 2.48 m)

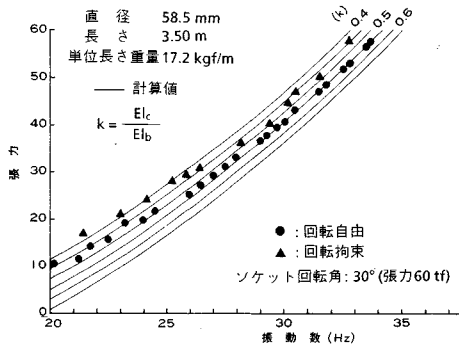


図-5 ケーブル曲げ剛性の実験結果²⁾

オープンソケットの回転が自由のとき、▲印は拘束のときを示している。回転を拘束した場合、ケーブル張力が 30 tf 以上では、 k は 0.45 に近い計算曲線に対応している。

図-4 において、プリテンションの影響のない第 1 回目について考えてみると、 k はほぼ 0.55 の計算曲線に対応している。オープンソケットに振動が生じたときは見掛けの k は小さくなる。しかし、図-4 に示す実験値 (k) は、図-5 に示す実験値より大きいことから、オープンソケットの振動は生じていないといえる。

図-4 では、張力の低いところで第 2 回目 (○印)、第 3 回目 (■印) の曲げ剛性が大きくなっている。これ

は、プリテンションによって撻りの状態が変化し、張力を解放しても元の状態に戻らないことを示している。しかし、長さ 3.5 m のケーブルではこのような現象は観察されなかった。

また、曲げ剛性はケーブル長さが長くなると小さくなっている。これは、ケーブルに曲げモーメントが作用すると素線相互間が滑動し、断面が分離して曲げ剛性が減少する⁵⁾。しかし、長さの長いケーブルの方が曲げモーメントが大きくなるので、断面分離が大きくなり、その

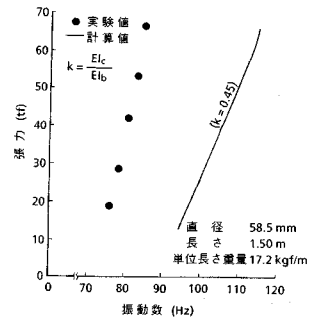


図-6 実験結果 (実験-2:長さ 1.5 m)

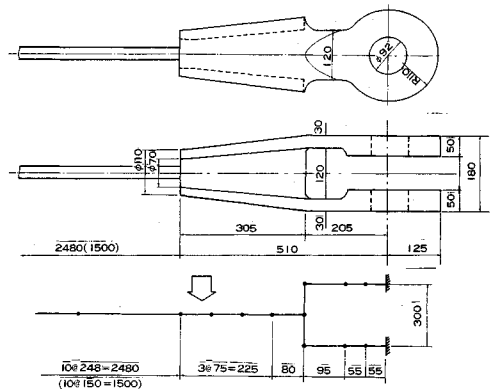


図-7 オープンソケットおよびモデル化

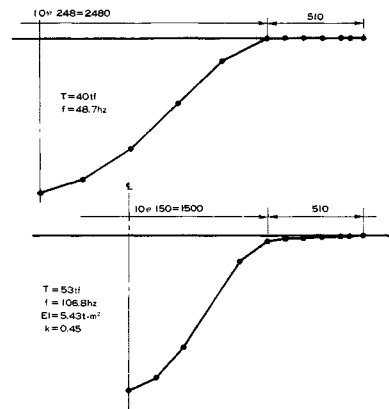


図-8 計算結果

結果曲げ剛性の小さくなることが考えられる。

図-6は、長さ1.5mのケーブルについての実験結果を示す。このときは明らかにソケットの振動が生じていることがわかる。

次に、オープンソケットとケーブルの連成振動について有限要素法にて計算を行い、上記の実験結果と対比する。図-7に、このときのモデル化を示す。ソケットは回転ヒンジで固定と仮定し、オープンソケットの質量および曲げ剛性には、ソケットメタル充填部(亜鉛)をも考慮した。充填部中央の曲げ剛性は $293 \text{ tf} \cdot \text{m}^2$ となり、ケーブルの約49倍になっている。

図-8に、ケーブル張力として実験時の代表値を選定したときの固有振動モードの計算結果を示す。ケーブル長さが2.48mのときは、オープンソケットの振動は生じていないが、長さが1.5mのときは振動が生じている。

このとき、ケーブル張力：53tfのときの有限要素法による計算値：106.8Hzは、ケーブル両端を固定とした計算値(図-6)とはほぼ一致するが、実験値とは大きく異なる。これは、回転ヒンジのところでオープンソケットが固定にならないことを示している。

以上、直径に比して長さの長いケーブルでは、両端を固定と考えても問題は無いが、長さが短くなると、オープンソケットの振動の影響が生じることが明らかになった。このような場合、振動法の適用は困難であるが、それ以前にオープンソケットの振動の影響が生じるケーブル長さの判定が必要になる。具体的には、ニールセン橋両端部の吊材が問題となるが、ケーブル本数としてもごく少数であるので、油圧ジャッキ等の直接的な測定法と併用することが実際の解決法と考えられる。

このような測定として、スパン79mのニールセン橋の吊材張力の測定例の報告がある³⁾。端部の吊材だけは長さが短いので、油圧ジャッキを用いて測定を行っているが、その他の吊材はオープンソケットで固定されていると考え、振動法にて測定を行っている。最終的な張力測定値は、設計張力の5%以内となっている。

4. ま と め

オープンソケットの付いたケーブル張力を振動法で測

定するときのケーブル端部の拘束条件について、実物大ケーブルを用いた実験的検討を行った。得られた結果は下記のとおりである。

(1) ケーブル長さが直径に比較して十分長いとき、ケーブル両端を固定として張力を計算することができる。

(2) ケーブル長さが直径に比較して極端に短くなると、オープンソケットの振動による影響の生じることを実験的に確認した。

(3) オープンソケットの振動による影響は、オープンソケットの寸法にも関係するが、回転ヒンジの所でオープンソケットが固定にならないことによる影響の大きいことが、実験結果と有限要素法による計算結果から推定できる。

(4) このようなことから、オープンソケットで支持されたケーブル張力を振動法で測定するとき、適用可能なケーブル長さには制限が生じる。しかし、オープンソケットの振動の影響が生じるような測定の頻度としては、非常に少ない。

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实用算定式について、土木学会論文報告集，第287号，pp.32~36，1979年7月。
- 2) 島田忠幸・西村 昭：振動法によるケーブル張力測定値への曲げ剛性の影響、土木学会論文報告集，第398号，pp.409~412，1988年10月。
- 3) 島田忠幸・原 公・柴田秀夫：テンションメータによるケーブル張力の測定、応力・ひずみ測定シンポジウム講演集，第16号，pp.41~44，昭和58年。
- 4) 会田俊夫・佐藤 進・中井幹雄：多層よりスパイラルロープの自転性について、日本機械学会論文報告集，第34巻，第258号，pp.355~361，昭和43年2月。
- 5) 会田俊夫・佐藤 進：鉤索に生じる最大曲げ応力について、日本鉱業会誌，第76巻，第870号，pp.915~919，昭和35年12月。

(1989. 9. 14・受付)