

東京都立大学 正会員 伊藤文人
東京都立大学 正会員 ○野上和榮

1. まえがき

近年吊橋の長大化に伴い、主ケーブルにはロープケーブルよりも引張強度の高い平行線ケーブルが用いられる傾向にある。平行線ケーブルは、一般に純引張材として設計されているが、実際ケーブルはケーブルバンドやラッピングワイヤ等により締め付け、素線相互の自由な滑動が拘束されるので曲げ剛性を有し2次応力が発生する。最近、この2次応力に関する研究が本四公団を中心に進展しつつある。たゞこれまでの設計、研究では、接りを考慮せず無視して来たと思う。実際には風荷重により及び活荷重等によるハンガー張力のアンバランスの発生によりケーブルに接りモーメントが生ずるものと思われる。本報告では、この点に注目し吊橋平行線ケーブルの接り挙動を明らかにする為の理論解析の概要を述べる。

2. 解析仮定

理論解析を行なうに当り次の仮定を導入する。

- 1) 平行線ケーブルを1本の部材と考える。
- 2) 平行線ケーブル断面は n 本の素線から成り、空隙率のある円形断面とする。
- 3) ラッピングワイヤ断面は無視する。
- 4) 平行線ケーブル断面形は不変である。
- 5) ケーブルバンド部には、バンドとケーブル間及び素線相互に滑りを生じないものとする。
- 6) 滑り領域での素線自身の接り率は、ケーブル断面の接り率に等しいものとする。
- 7) 平行線ケーブル断面には、外力として張力と接りモーメントのみが作用するものとする。
- 8) 全素線に対して張力は一定である。

3. ケーブルの単純接り

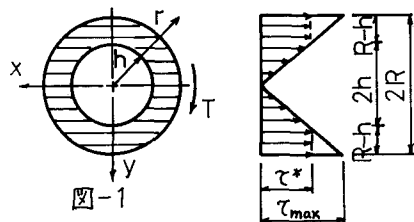
上述した仮定が成立する場合の単純接りを考える。剪断応力 τ と接り率 ω 、接りモーメント T と接り率 ω 、そして接りモーメント T と剪断応力 τ などの関係より、剪断応力の最大値($r=R$)、及びその応力による接りモーメントは次のように表わされる。ただし R は、ケーブル半径である。 $\bar{\alpha}$ は充実率である。

$$\tau_{\max} = GR\omega \quad (1) \quad T = \frac{1}{2}\pi\bar{\alpha}R^3(GR\omega) \quad (2)$$

4. 滑りを考慮した単純接り

a 滑りを考慮したケーブルの単純接り : (1) 式により求まる最大剪断応力が限界滑り摩擦応力 τ^* より小さい範囲($\tau_{\max} \leq \tau^*$)では、ケーブル内に滑りは発生しない。したがってこの場合の接りモーメントは(2)式に一致する。ところが $\tau_{\max} > \tau^*$ の場合図-1の状態になるものと思われる。つまり $r=h$ での剪断応力が限界滑り摩擦応力 τ^* に達したとすると $r < h$ の領域では、滑りが発生しないのでこの領域での接りモーメント T_0 は次のようになる。

$$T_0 = \frac{1}{2}\pi\bar{\alpha}R^3\tau^*\left(\frac{\tau^*}{GR\omega}\right)^3 \quad (3)$$



$h \leq r < R$ の領域では、ケーブルは完全滑り状態になっているので厚さ $(R-h)$ にわたって限界滑り摩擦応力が等分布している。したがってこの領域での振りモーメント T_1 は次のようになる。

$$T_1 = \frac{2}{3} \pi \bar{\alpha} R^3 \left[1 - \left(\frac{\tau^*}{GR\omega} \right)^3 \right] \tau^* \quad (4)$$

b 素線自身の単純振り：今まではケーブル断面についての振りを考えてきたが、滑り領域では素線自身の振りも考慮する必要がある。この場合仮定(6)が成立するから、全素線振りモーメント T_2 は次のようになる。

$$T_2 = \frac{1}{2} \pi \bar{\alpha} R_e^2 R \tau^* \left[\left(\frac{GR\omega}{\tau^*} \right) - \left(\frac{\tau^*}{GR\omega} \right) \right] \quad (5)$$

ただし R_e は素線半径である。

c 素線の伸びによる単純振り：ケーブル断面に振りモーメントが与えられることによる素線の伸びを考慮すると、滑り領域での伸びによる振りモーメント T_3 は次のようになる。

$$T_3 = \frac{\bar{\alpha}}{6G^3} \pi ER^3 \tau^*^3 \left[\left(\frac{GR\omega}{\tau^*} \right)^3 - \left(\frac{\tau^*}{GR\omega} \right)^3 \right] \quad (6)$$

d 素線の曲げによる単純振り：振りモーメントによる素線の滑動が、ケーブルバンドにより拘束される為に曲げ変形が生ずる。今図-2の状態を考えると曲げによる振りモーメント T_4 は次のようになる。ただし P は張力である。

$$T_4 = \frac{1}{2G} PR \tau^* \left[\left(\frac{GR\omega}{\tau^*} \right)^3 - \left(\frac{\tau^*}{GR\omega} \right)^3 \right] \quad (7)$$

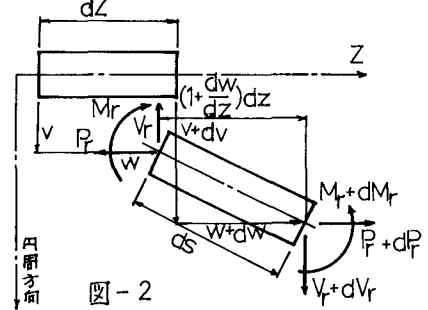


図-2

5. 全振りモーメント

以上の諸要因により求められた振りモーメントは次のようにまとめられる。

I) 断面に滑りが無い場合

$$\frac{\tau^*}{GR\omega} \geq 1, \quad \frac{T}{T_m} = \frac{GR\omega}{\tau^*} \quad \text{ただし } T_m = \frac{1}{2} \pi \bar{\alpha} R^3 \tau^* \quad (8)$$

II) 断面に滑りがある場合, a, b, c, d, の振りモーメントの和となる。

$$\frac{\tau^*}{GR\omega} < 1, \quad \frac{T}{T_m} = \frac{4}{3} + \frac{1}{R^2} \left(R_e^2 + \frac{P}{G\pi \bar{\alpha}} \right) \left(\frac{GR\omega}{\tau^*} \right) \quad (9)$$

6. まとめ

平行線ケーブルの振り率と振りモーメントの関係は、振れによる最大剪断応力度 $\tau_{\max}$ が限界滑り剪断応力度 τ^* より小さい場合と大きい場合では相違があり、 $\tau_{\max} \leq \tau^*$ では(8)式、 $\tau_{\max} > \tau^*$ では(9)式が成立する。ただし(9)式の場合、 $GR\omega/\tau^* \gg 1$ の範囲で十分な精度を持つ。図-3に関門橋の計算例を示す。この図からも見られるように、実用的には、(8)式と(9)式でつくられる折線によってその挙動を十分に近似できるとであろう。

文献

伊藤文人：吊橋平行線ケーブルの変形特性について

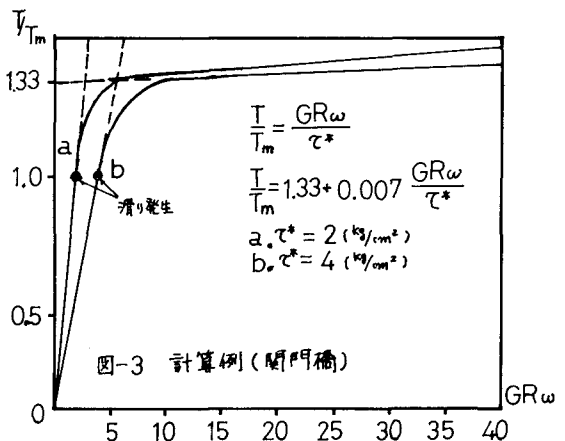


図-3 計算例(関門橋)