

吊橋に用いるケーブルバンドのボルト軸力経時低下に関する一考察

建設省山口工事事務所 正員 村上己里

1 まえがき

吊橋に用いるケーブルバンドは、補剛桁の荷重を支えるハンガーロープ張力をケーブルに伝達する構造物で、一般に鋳鋼製で、一対の半円形の両端のボルトに軸力を導入し、ケーブルを締付けることによってその位置を保持している。一方、締付力をとけるケーブルは多数のワイヤーの集合体で、その断面性状は弾型性的な性質を示すため、ケーブルバンドの応力解析およびボルト軸力の保持には問題がある。ケーブルバンドの応力解析については、ケーブル断面の変形を考慮しないのが一般的であるが、著者はケーブルバンドを円弧アーチと考えて締付け時のケーブルの変形とその反力を荷重とした応力解析の手法を提案した。¹⁾ また、ボルト軸力については、²⁾ この吊橋について計測され、経時低下することが報告されている。しかし、この現象の原因が明確ではなく、断面的に経時低下量を予測する手法は現在のところないのが実状である。ここでは、ボルト軸力の経時低下量の算定手法を提案した。図-1はケーブルバンドの構造を示したものである。

2. 考察

2.1 原因の限定と考察の仮定

ボルト軸力が経時低下する原因として考えられるものは、①ワイヤーの亜鉛メッキ層の塑性流動、②ストランドのシージングテープの圧密、③ケーブルの空隙率の減少、④ケーブルバンド材のクリープがある。③はその挙動が不明確であり、④は応力度水準が一部と際いて余り高くないのでその影響は小さいとして、考察から除外した。ケーブルを構成するワイヤーは、交差がなくすべて線接触しているものとし、ケーブルバンドの締付け力は全周一定であると仮定する。

2.2 ワイヤーの線接触圧と亜鉛メッキ層およびシージングテープの変形

図-2はケーブルを真円形とし、締付け力 Z でケーブルを締付けた状態を示したもので、外層の線接触圧 P_{vi} は、

$$P_{vi} = Z \cdot d / R \quad (1)$$

である。ここに、 $Z = nN_b/L_b$ 、 n =ボルト本数、 N_b =初期ボルト軸力、 L_b =ケーブルバンド長、 d =ワイヤーの直径、 R =ケーブルバンドの半径である。 P_{vi} のケーブル内部への伝達は、ワイヤー群のアーチ作用とワイヤー相互の摩擦によって逐次減されるものと仮定して、 i 層の線接触圧を求めると次式のようになる。

$$\left. \begin{aligned} P_{hi} &= \sum_{j=1}^i P_{vj} / 2(N+1-i) \\ P_{vi} &= P_{vi-1} - 2P_{hi-1} \{ 1/2(N+1-i) + f_w \} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ここに、 P_{hi} = i 層のケーブル円周方向の線接触圧、 P_{vi} = i 層のケーブル直径方向の線接触圧、 N =層数、 f_w =ワイヤー相互の摩擦係数である。次に、亜鉛メッキ層の塑性流動量は図-3に示すような実験により求めた。その結果、塑性流動量と時間との関係は、片対数表示すれば近似的に直線を示した。また、シージングテープの圧密についても同様な実験を行なったが、亜鉛メッキ層と同様な性状を示した。したがって、これらは次式で不

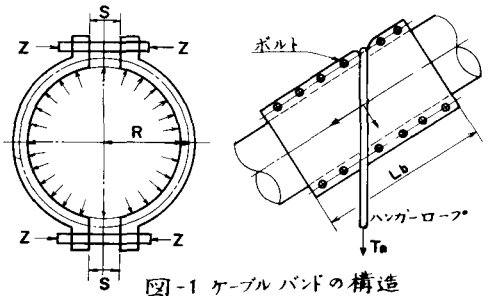


図-1 ケーブルバンドの構造

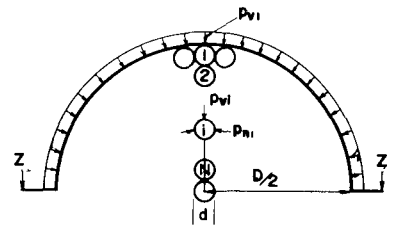


図-2 ケーブルの締付け

すことができる。 $\Delta h_z(T) = C_w \log(T)$ — (3-1) $\Delta h_c(T) = C_s \log(T)$ — (3-2)

ここに、 $\Delta h_z(T)$ = 亜鉛メッキ層の塑性流動量、 C_w = 塑性流動係数、 T = 時間、

$\Delta h_c(T)$ = シーリングテープの圧縮量、 C_s = 圧縮係数である。

2.3 ボルト軸力の算定

$\Delta h_z(T)$ および $\Delta h_c(T)$ によりケーブル径の減少、さらにボルト軸力の経時低下が生ずる。ケーブル径とワイヤ径および本数、また、ストランド径および本数との関係から、ケーブル径は、 $\Delta D = D(\Delta h_z(T)/d + \psi \cdot \Delta h_c(T)/h_s)$ — (4)

だけ減少する。ここに、 D = ケーブル径、 h_s = ストランド径、 ψ = シーリングテープの浸入率で、 $\psi = L_b(1 - N_{so}/N_s)/\lambda$ で示すものである。ただし、 λ = シーリングテープ間隔、 N_s = ストランド数、 N_{so} = 外層ストランド数である。

ΔD はケーブルバンドの肉離れ(S)に影響し、その変化量 ΔS は、

$$\Delta S = \pi \Delta D / 2 - \pi \beta \gamma (1 - \nu) \lambda N_b (N_b(T) - N_b) / E_{cr} \cdot L_b \quad (5)$$

となる。 $\beta = \bar{p}_r / p_{r1}$ 、 $\bar{p}_r$ = 平均線度圧、 E_{cr} = ケーブル直径方向の弾性係数、 ν = ポアソン比、 $\gamma = p_n / p_v$ 、 $N_b(T)$ = T 時間後のボルト軸力である。ボルトの初期弾性伸び ΔL が T 時間後 $K \Delta S$ だけ減少したとすれば、その軸力は、

$$N_b(T) = N_b / (1 + \Delta S / \Delta L) \quad (6)$$

3. 数値計算と実測値

数値計算に用いる基本数値は次のものとする。

$D = 660^{mm}$, $d = 504^{mm}$, $h_s = 48.6^{mm}$, $\Delta L = 0.51^{mm}$, $N = 154^{本}$, $N_{so} = 42^{本}$, $N_b = 40^{本}$, $n = 5$, $L_b = 1200^{mm}$, $p_{r1} = 25^{kg/mm^2}$, $f_w = 0.02$, $\nu = 0.3$, $\lambda = 500^{mm}$, $E_{cr} = 1000^{kg/mm^2}$ 。また、実験値として、 $C_w = 0.638 \cdot 10^{-3}$, $C_s = 7.58 \cdot 10^{-3}$ を用いた。

計算結果は図-4に示す0.3%曲線である。さらに、応力度水準を変化させて試算すると、ボルト軸力の経時低下は減少することがわかる。図-5は奥門橋の実測結果と計算値と比較したものである。実測は8種類のケーブルバンド20箇所、ボルト200本の平均値で、 47.2^t ($T=1$ 日)、 30.4^t ($T=500$ 日)、 28.3^t ($T=1200$ 日)である。

4. あとがき

これまでの考察および数値計算結果から、ボルトにはケーブル径の経時減少に追従できるような弾性伸びが必要である。その方法として、種々考えられるが、ケーブルバンドの構造、材質からみてボルトの応力度水準を高くすることが適切であると考える。ボルトのネジ部および初期締め付け時の異状高軸力の発生などを考慮して、0.7%程度の応力度水準が適切と考える。

参考文献

- 1) 村上己巳：平行線ケーブルに用いるケーブルバンドの解析に関する考察，土木学会論文報告集259号，1977年3月
- 2) 日本道路公団：奥門橋工事報告書，土木学会，1977年
- 3) 日本道路公団：奥門橋ケーブルバンド締付工事報告書，昭和52年3月

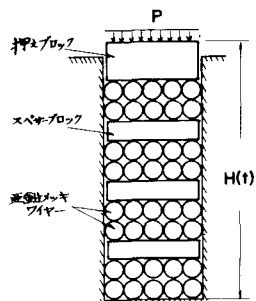


図-3 塑性流動係数の測定

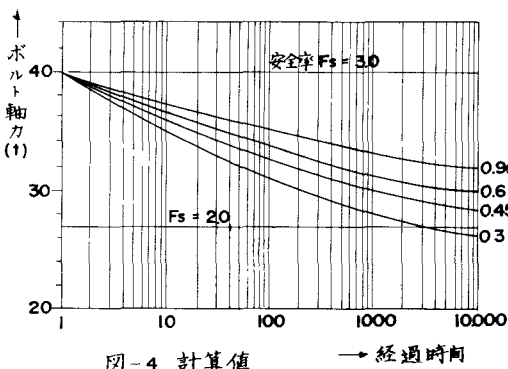


図-4 計算値

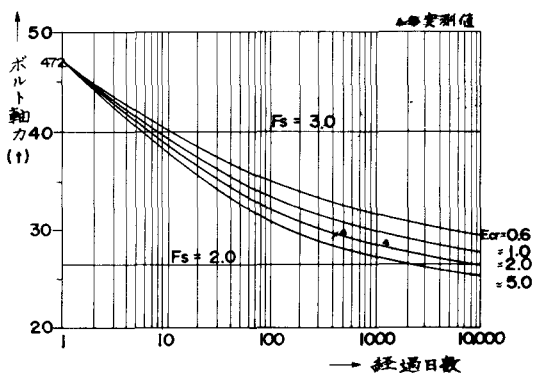


図-5 計算値と実測値の比較(奥門橋)