

(株)神戶製鋼所 正会員 新家 徹  
 (株)神戶製鋼所 正会員 広中 邦汎  
 (株)神戶製鋼所 正会員 中村 恵市

1. まえがき ケーブルは、バンドラッピングワイヤーで締付けられると、素線相互の自由な滑動が拘束され、その結果、曲げ剛性を帯びてくる。従って、載荷によりケーブル束が変形すると、ケーブルには曲げ応力が発生する。吊橋では、補剛桁架設時におけるメインケーブルの変形はかなり大きいので、この場合の曲げ応力(2次応力)が、どの程度のものか検討しておくことも必要と思われる。筆者らは前報<sup>1)</sup>において、架設段階におけるケーブルの特性をできるだけ忠実に考慮した2次応力理論の概要を述べ、また、その妥当性と実験<sup>2)</sup>で確認した。本報では、バンドで締付けられたケーブルについて、種々の計算によって得られた定性的結果を寸描し、加えて補剛桁架設時における2次応力の追跡結果を報告する。

2. バンドで部分的に締付けられた平行線ケーブルの挙動 ケーブルのモデルとして、図-1に示すような4種のモデルが考えられる。モデル①は、純引張部材モデルであり、加えてバンド長をゼロとしたものが従来の吊橋計算(以下一次理論と称す。)に用いられている。モデル②は、ケーブル一本の内束梁と仮定したものであり、このモデルを用いて2次応力を論じた文献もある。モデル③と④は、プレストレスされた状態にある素線の伸縮剛性により構成されるケーブルの曲げ剛性を考慮したものであり、補剛桁架設時の、バンドのみによって締付けられたケーブルをプレストレスされた素線の集合体として取り扱うものである。この内、③は④において素線の曲げ剛性を無視したものであり、本解析は架設時ケーブルをモデル④とみなして誘導したものである。これまでの数値計算により確認した、モデルの相異による定性的結果を列記する。

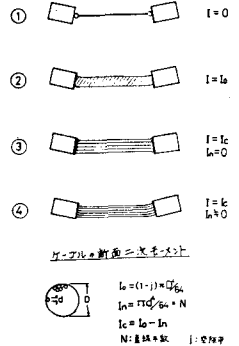


図-1 ケーブルの解析モデル

a. ケーブル系全体としての変形挙動、すなわち、ケーブル軸線の交点の変位およびケーブルの傾斜角変化等は、通常、モデル①、③、④とも一次理論と良く一致する。②も張力が大きい場合は大差をい。

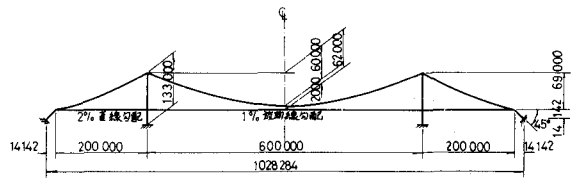


図-2 吊橋モデル

b. ケーブルの軸力、即ち、一次応力に関しては、モデルによる相異はみられなかった。

c. バンドの傾斜角変化については、モデル③と④は良く一致するが、①及び②とは明らかに異った挙動を示す。

表1 諸元一掃表

種類	PWS
断面積	0.22 m <sup>2</sup>
直径	0.2646 m
断面積	0.0017 m <sup>2</sup>
素線本数	11205 本
糸	5. mm
線径	0.3068 m (φ)
補剛桁断面積	1.5 m <sup>2</sup>
補剛桁自重	40.0 ton
断面積	1.0 m <sup>2</sup>
断面積	1.0 m <sup>2</sup>

表2 橋点バンド表

橋点番号	バンド数(m)
1	0
2 - 6	1.20
7 - 12	1.40
13 - 18	1.65
19 - 20	1.90
21	0
22 - 23	1.65
24 - 28	1.40
29 - 33	1.20
34 - 38	1.05
39 - 43	0.85
44 - 48	0.76
49 - 51	0.72

d. 曲げ変形による応力、即ち、2次応力の発生機構は、②と③④で根本的に異なる。③、④では、せん断剛性がゼロ、又はほとんどゼロであるため、モーメントはパネルにわたって一応となり、パネル両端のバンド回転角の差に支配される。

3. 補剛桁架設時に生じる2次応力 吊橋にも種々の型式があり、また、補剛桁の架設方法も、全ヒンジ工法、逐次剛結法を種々の方法がある。ここでは、標準的なものにとり、計算の対象には図-2に示すような対称式の吊橋を考えた。諸元を表1と表2に示す。

架設工法には、最も基本的な全ヒンジ工法を採用した。架設段階は図-3に示したような8段階の状態を想定した。①~⑧は、補脚桁荷重を4.0 t/mとし、架設完了後、後死荷重として、6.5 t/mを全面に載荷した(⇒⑧)。2次応力の計算は、フリーケーブル状態を初期状態とした。このときの2次応力はゼロである。

図-3は、各架設段階の状態と各段階におけるケーブルの鉛直変位を示したものである。図より明らかのように、中央径肉端パネルのケーブル傾斜角は、架設段階②と③の間、即ち、塔から中央径肉内側へ支向の15%程度架設が進行した状態で最大となっている。図-4は架設段階を通じて最大のケーブル格間モーメントを生じた架設段階③におけるモーメントの分布を示したものである。比較のため、完成時のものを点線で示しているが、架設途中の方がはるかに大きく、かつ両者とも、塔に隣接したパネルで極端に大きな値を示している。図-5は、架設中、常にモーメントの最大値を示した中央径肉端パネルについて、その一次応力 $\sigma_t$ と2次応力の主要成分 $\sigma_{b1}$ の最大値を、各架設段階ごとにプロットしたものである。 $\sigma_t$ はケーブル軸力による一次応力 $\sigma_{b1}$ はケーブル格間モーメントによる最外層素線の軸応力である。ケーブルの2次応力としては、 $\sigma_{b1}$ の他に素線の局部曲げ応力 $\sigma_{b2}$ が存在する。この $\sigma_{b2}$ は素線支持端(塔頂サドル端、バンド端)で最大であり、離れ子にしたがい急速に減少する。塔頂サドル端においては、素線の曲率はサドルの曲率に一致すると良いであろう。バンド直傍では、バンド締付けの影響や素線相互の作用により、局部応力は極めて複雑な様相を呈するが、そのオミ近似として、素線相互の作用を無視した計算値を記すと、架設順序にしたがって、それぞれ

32.0, 36.4, 31.7, 24.3, 16.6, 8.8, 3.0, 5.3 (kg/cm<sup>2</sup>)

であった。さて、図-5にみるように、2次応力 $\sigma_{b1}$ は架設中において大きな値を示しているが、一次応力との和としてみれば、完成時のそれの7割程度にあさましている。また、同じ架設計算で、補脚桁重量を10.5 t/m、後死荷重を0とした極端な場合においても、架設中の $\sigma_t$ と $\sigma_{b1}$ の和は、完成時のそれと上まわるものばかりであった。

ところで、中央径肉端パネルの傾斜角変化について、他の架設工法との比較を行なった場合、全ヒンジ工法において最も大きな値を示すであろう。したがって、極端な例外を除いて、標準タイプの吊橋では、塔直傍のケーブルパネルに注目して、後死荷重満載時における2次応力の検討を行なえば良いものと思われる。図-6において、 $\Delta\theta_T$ は塔頂回転角であり、 $\Delta\theta_1$ 、 $\Delta\theta_{b1}$ は中央径肉オミパネルおよびオミバンドの回転角である。式中、分母はケーブル支持端断面のケーブル軸に対する回転量であり、一次理論によっても得られる。また、分子は $\sigma_{b1} = \frac{E}{L} \cdot \frac{D}{2} (\Delta\theta_{b1} - \Delta\theta_T)$ 、で示されるように2次応力と変形量である。したがって、 $\varphi$ は2次応力 $\sigma_{b1}$ に対する、ケーブル端面の回転角の有効率と考えると、 $\sigma_{b1} = \varphi \cdot \frac{E}{L} \cdot \frac{D}{2} (\Delta\theta_1 - \Delta\theta_T)$  により、2次応力が一次理論を用いて推定される。ただし、 $L$ =ケーブル長、 $D$ =ケーブル径。

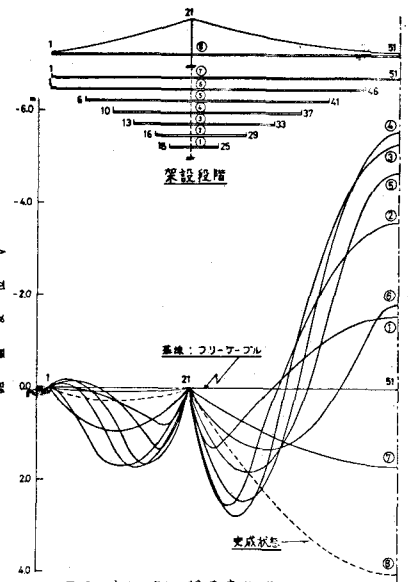


図-3 主ケーブル鉛直変位図

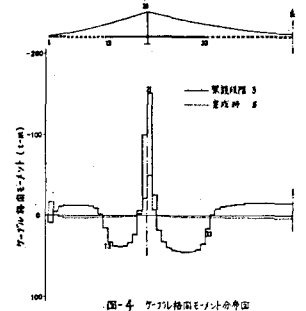


図-4 ケーブル格間モーメント分布

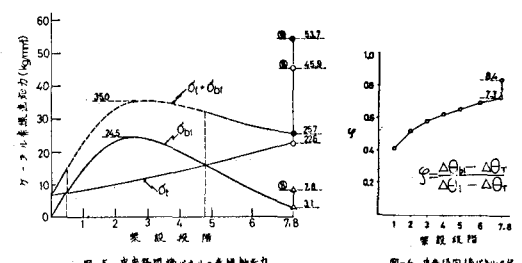


図-5 中央径肉端(オミ)の最大軸応力

図-6 中央径肉端(オミ)のphi

参考文献 1) 新家, 広中, 中村, "吊橋平行線ケーブルの2次応力解析(No.1)", 才研回土学会年次学術講演会概要集。  
2) 新家, 広中, 土居, "吊橋平行線ケーブルの2次応力実験", 才研回土学会年次学術講演会概要集。