

東京都立大学 正会員の野上 邦彦

東京都立大学 正会員 伊藤 文人

1. まえがき 長支間吊橋の主ケーブルに広く使用されている平行線ケーブルは数万本に及ぶ素線から構成され、シャウフリングワイヤにより編付けられているため力学的挙動及びその強度について検討すべき点が多い。ある変形により、素線間で相対変位を起こそうとする時、摩擦力が働き、その移動を防ごうとするため素線の応力分布が一様でなくなり二次応力を生じる。特に素線間相対変位によるせん断力が限界摩擦せん断力と起ると素線間に「滑り」が生じ二次応力の発生状態は非常に複雑になる。この滑りを考慮した二次応力の研究は、T.A. Wyatt⁽¹⁾、中村新次郎⁽²⁾の報告がある。しかし塔頂近傍にもっとも大きく生じる二次応力によるサドル上のケーブルの滑りを考慮した素線応力についての報告は見あたらない。最近、植村寺田下瀬⁽³⁾はケーブル架設時におけるケーブルの滑りについて実験的に検討している。本文では、サドル外方からケーブルの大きな二次応力による素線張力の変化によってサドル上の無シャウフリング状態のケーブルの素線間滑りがどのように伝わる把握することと目的としている。

2. 解析モデル 本解析に用いたモデルは、有限要素法に代る手法として注目されている有限剛体要素モデルである。このモデルは実際の曲率を持つサドル上のケーブルを Fig-1 のように四辺形剛体要素に分割し、各要素の接触面で相対変位を拘束する2種類のばね、つまり軸力に関する線形ばね $(k_{ij}^e = \frac{EA\lambda}{l})$ 、滑りに関する非線形せん断ばね (k_{ij}^s) を要素を連結したモデルである。スケーブル断面は Fig-2 のようにスペーサの無い場合(a)と有る場合(b)を考えている。ここでスペーサは剛体であるとし、サドルとスペーサとの摩擦抵抗力が非常に大きく固定状態となると仮定している。スペーサと素線間の側面圧力の影響の考慮は各剛体要素がスペーサに対して新たなせん断ばねを導入して行なった。

3. 限界摩擦せん断応力度と非線形せん断ばね 曲率を持つサドル上のケーブルは方向を変えることにより素線間に層間圧力 P を生じる。この圧力は Fig-3 より

$$P = N_0 \log \left\{ \frac{1}{1 - \eta / (R + y)} \right\} \doteq N_0 (\chi + \chi^2/2 + \dots), \quad \chi = \eta / (R + y) \quad (1)$$

で与えられる。従って限界摩擦せん断応力度 τ^* は(1)式において2次項までの近似式を用いると

$$\tau^* = \mu \sigma_0 (\chi + \chi^2/2) \quad (2)$$

で与えられる。(2)式は各層の限界せん断摩擦応力度が異なることを示している。

層間非線形せん断ばね k_{ij}^s は完全弾塑性的挙動をするものと考え Fig-4 の σ - γ 曲線を用いている。従って、各層の限界摩擦せん断応力度に各せん断ばね力が達した時「滑り」が生じたと見なした。

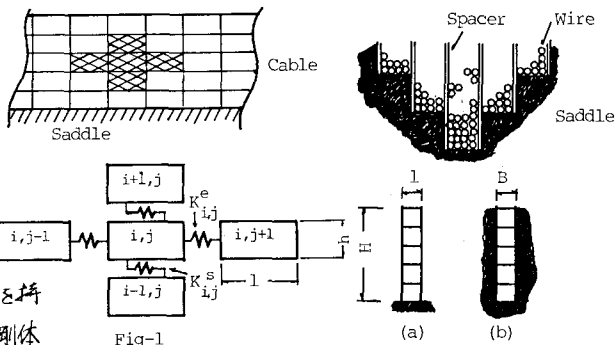


Fig-1

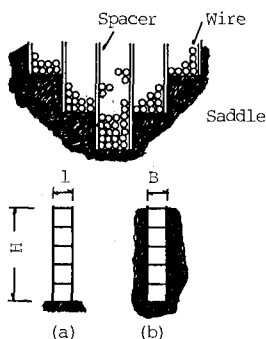


Fig-2

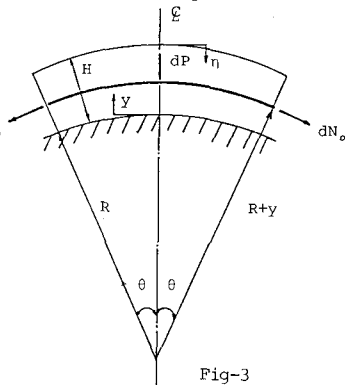


Fig-3

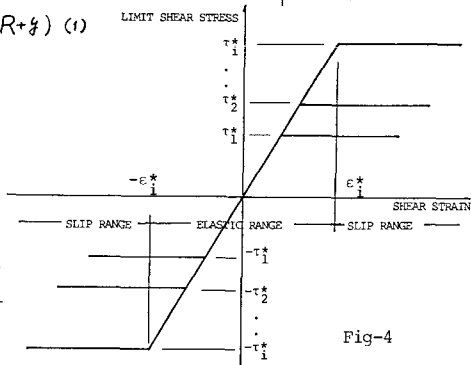


Fig-4

又側面非線形せん断ばねの特性は、今スぺーサに働く側圧が土圧的方法で静水圧分布であるととし、しかも層間摩擦係数=側面摩擦係数と考える時限界摩擦せん断応力度は(2)式に一致する。ただし側面せん断ばねみはスぺーサ間のケーブルの変形状態を正弦波で考え、スぺーサの摩擦抵抗領域は両側スぺーサから内側に約B/5までと近似し求めた。

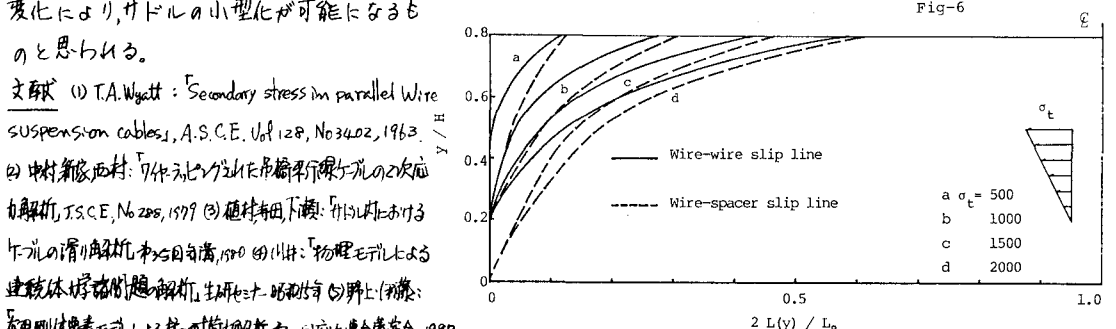
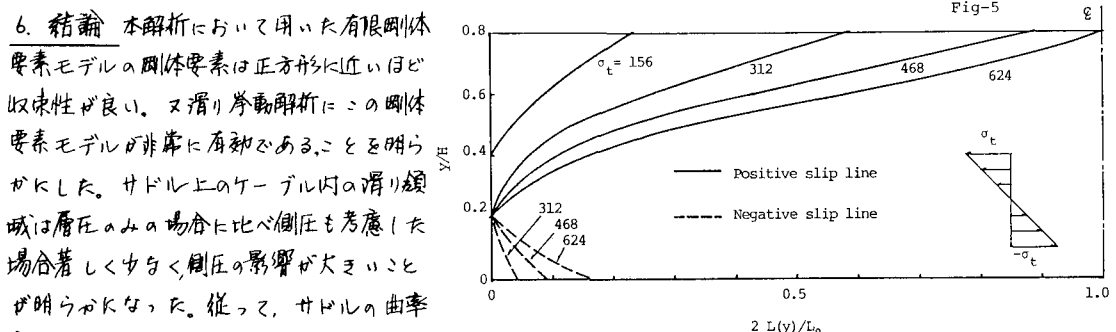
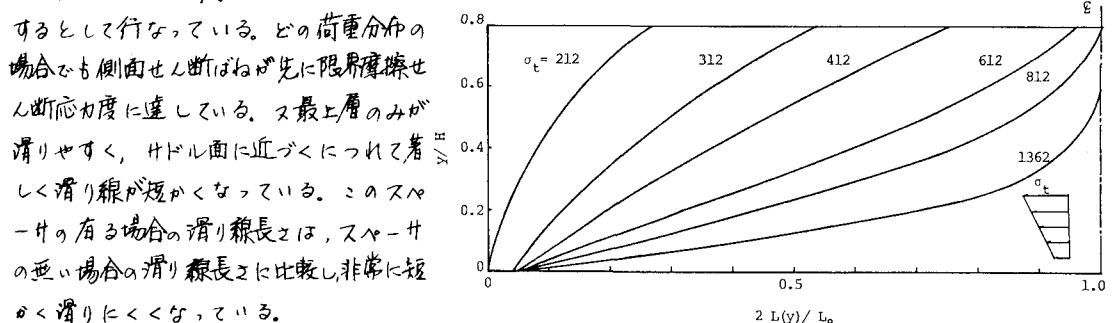
4. モデル諸元 本解析に用いたモデル諸元一覧は Table-1 に与える。

5. 解析結果 非線形解析は、Newton-Raphson法を用いて行なった。Fig-5は、スぺーサの無いケーブル断面を持ち、サドル両側から対称な活荷重が作用している場合の無次元化された層の深さと滑り線長さの関係を示している。活荷重勾配の増加に従って上層に行くほど滑り線が伸びている。そして $\sigma_t = 512 \text{ kg/cm}^2$ の最上層の両側の滑り線がぶつかり、 $\sigma_t = 1362 \text{ kg/cm}^2$ では次の層もぶつかっている。両側の滑り線が近づいてくるにつれ、荷重の増加に対し近より方が小さくなり、ぶつかった後は滑り線がいくらか傾向にある。Fig-6は中央部で零になる活荷重分布と種々の活荷重勾配に対する層の深さと滑り線長さの関係を示している。特徴的な挙動として最下層に逆滑りが発生していることである。Fig-7はスぺーサが有る場合で対称荷重の勾配変化による滑り線長さを示している。この場合の解析は、層間せん断ばねと側面せん断ばねの両方のばねが限界摩擦せん断応力度に達した時「滑り」が発生するとして行なっている。どの荷重分布の場合でも側面せん断ばねが先に限界摩擦せん断応力度に達している。又最上層のみが滑りやすく、サドル面に近づくにつれて著しく滑り線が短くなっている。このスぺーサの有る場合の滑り線長さは、スぺーサの無い場合の滑り線長さに比較し、非常に短

Table-1

Radial curvature of saddle (R)	800
Saddle length (L_0)	600
Cable diameter (H)	80
Space between spacers (B)	5
Frictional coefficient (μ)	0.25
Elastic modulus (E)	0.21×10^7
Shear elastic modulus (G)	0.81×10^6
Tensional dead stress (σ_0)	5000
Elements of radial direction (n)	5
Elements of axial direction (m)	40

unit kg, cm



文献 (1) T.A.Wyatt: "Secondary stress in parallel Wire suspension cables", A.S.C.E. Vol. 128, No. 3402, 1963.
 (2) 中村新太郎: 「ワイヤレス吊り索の応力解析」, J.S.C.E. No. 285, 1979 (3) 植村純一: 「ワイヤレス吊り索の滑り解析」, J.S.C.E. No. 285, 1979 (4) 川村: 「物理モデルによる建橋体荷重問題の解析」, 生研会誌, 昭和54年5月号, 1979
 有限要素モデルによる荷重解析, 30回年度報告会, 1980