

弾性係数の変化を考慮したケーブルの解析

正会員 吉沢 孝和 ○学生員 長坂 清幸

はじめに ケーブルの弾性係数の変化を考慮して立体ケーブル構造物の耐荷力を論じた研究として Jonatowskiらの論文¹がある。また、本四連絡橋における道路鉄道併用橋では、高振幅の変動荷重に対するケーブルの疲労の検討が重要な課題となっている。神戸製鋼所の研究グループはこの点に関して PSW91の疲労試験を行ない、反復荷重により弾性係数が変化していくことを示した。²

長大なつり橋や斜張橋は社会生活に対して大きな影響力を有するものであり、その設計にあたってはケーブルの極限強度や疲労を考慮して、想定される種々の荷重条件に対して安全性を検討することが大切であると考ええる。このような観点から、本報告はケーブルの弾性係数の変化と形状の変化とを同時に考慮した解法を示し、数値計算例について考察を述べたものである。

解析法 解析は応力法による。ケーブル左端の支点反力を仮

定すればこの仮定値に基づいて荷重の作用点の平衡

条件によりケーブル形状を順次定めていくことができる。ケーブル右端が右支点に結合しない場合には、系の適合条件を満足するように左支点反力の値を修正する。修正の際、平面トラバース測量における誤差修正の手法を応用している。³ ケーブル要素が直線・放物線・懸垂曲線のいずれの形状の場合についても解くことができるが、実用的には直線として解くのが簡単でありまた、部材の弾性係数の変化を考慮する場合には直線でないと不都合を生ずる。ケーブルを直線要素をピン結合したチェーンとして近似した場合、どの程度に分割すべきかを試算した結果を図1に示す。この例では8分割以上にすれば十分と考えられる。さらに高精度を要するときは分割数を増しさえすればよい。反復荷重を受けるケーブル部材の履歴応力ひずみ曲線を折線図形で近似し、各折線要素ごとに弾性係数を定める。与えられた荷重条件に対して上述の方法で解析を進める場合、左端のケーブル要素から順次部材力が定められるため、その応力度に応じて部材の弾性係数を定めて伸びを求めることができる。このような手順の反復により、弾性限度をこえるようなひずみを生じた場合のケーブルの解析ができる。

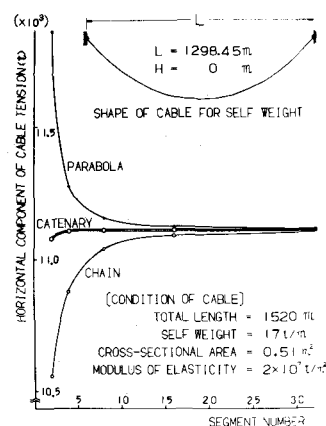


図1 各種の系における要素の分割数と水平張力の関係

計算例 対称ケーブルに非対

称荷重Pを作用させ、

これを漸増した場合のケーブル要素部材(直線部材)の応力度の変化と系の各節点の変位を数値計算により検討する。対象とした系の幾何学量および構成部材の応力ひずみ特性を図2に示す。系に作用する荷重は鉛直荷重のみであるから

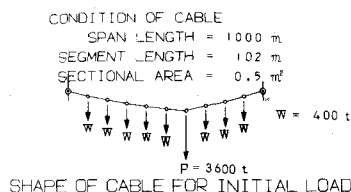
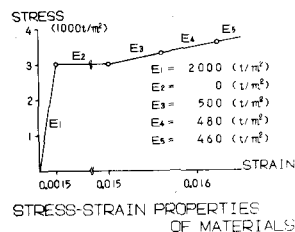


図2 ケーブルの諸寸法・荷重条件・構成部材の応力ひずみ特性



- 1) J. J. Jonatowski et al. *Inelastic Stiffened Suspension Space Structures*, Proc. ASCE, 1970.6
- 2) 広中・他 パラレルワイヤストランド (PWS 91) の疲労特性(第1報), 土木学会年講集第1部, 1977.
- 3) 吉沢 応力法によるケーブルの一数値解析(連力図と測定の誤差調整法の応用), 同上.

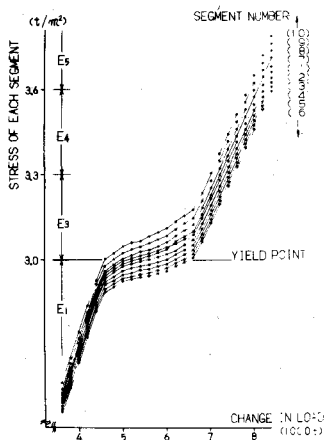


図3 構成部材の応力度の変化

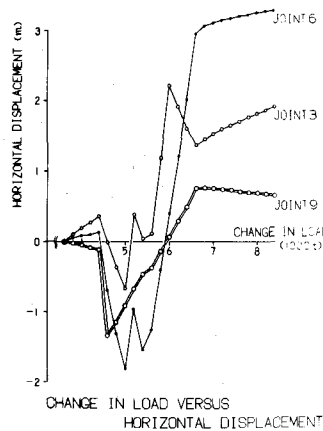


図4 節点の水平変位の変化

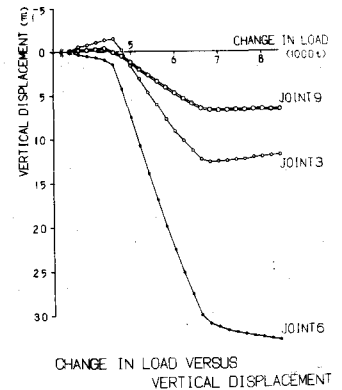


図5 節点の鉛直変位の変化

各部材張力の水平成分は等しくなる。よって部材張力の大きさは部材の傾角に応じて増減することになる。

すべてのケーブル構成部材の応力度が弾性限度内にある場合には、漸増荷重に対して部材力、節点変位ともに線形的な変化を示す。

$P=4,600t$ に達すると右支点に結合する部材(10)が降伏してひずみ硬化領域に至るまで急激な伸びを生じたのち再び抵抗体勢を確立する。この時点においてつぎのような顕著な挙動をみることができる：

- 節点の急激な変位 …… 系の各節点が水平および鉛直方向に急激な変位を生ずる。特に水平変位は降伏しない部材の方向に大きく生ずる。(図4)
- 荷重分担率の変換 …… この例では、系の各節点が左支点の側に大きく水平変位を生ずるため、左支点側の各部材の傾角を増加させ、右支点側の部材の傾角を減少させる。この結果、以後の荷重増分に対しては、より弾性係数の大きい部材に大きな分担をさせるような現象が生ずる。(図3)
- 系の柔軟化と応力緩和 …… 降伏部材がひずみ硬化領域に達して弾性係数が低下するため、漸増荷重に対する変位の増分は大きくなる。(図4、5) また、サグの増加にともない、部材応力は緩和する。(図3)

荷重 P の漸増にともない、傾角の大きい部材から順次降伏点に達し、そのたびごとに上記のような挙動をそれぞれの図の上から読みとることができる。特に、荷重 P の作用点[6]に注目すれば、水平変位は左側の部材が降伏すれば正となり、右側の部材が降伏すれば負となる。

$P=6,600t$ に達すると全部材が降伏して系全体がひずみ硬化領域における弾性係数をもつようになるから、各部材が順次降伏していた場合よりも変形しにくくなる。

なお、 $P=8,400t$ に達したのち荷重を漸減してその復元性を調べたところ、各部材に約1.55%の残留ひずみが生じていることにより、応力度は約18~20%低下した状態で線形的な変化を示した。

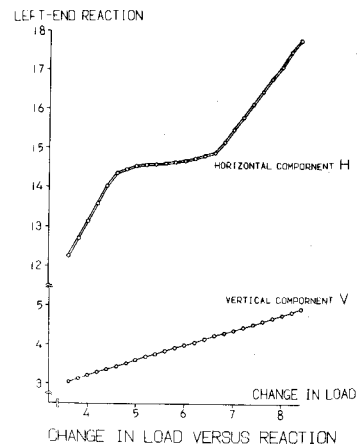


図6 左支点反力の変化