

(株) 神戸製鋼所	正員	岡田 勝
(株) 神戸製鋼所	正員	中西 宏
(株) 神戸製鋼所	正員	渡田 凱夫

1. まえがき

すでに、長大橋架設に用いられるキャットウォークの設計
計算法について若干の報告を行ってきた^①。これらの
手法により、活荷重や温度変化をうける時のキャットウォ
ークの変形を求めることができる。実際にキャットウォークを
架設するにあたっては施工上種々の解析や計算が必要と
なる。本報は、施工誤差に注目して、完成形状をいかに
修正するかという問題をとりあげたものである。

一般に、キャットウォークの架設完了直後の形状は、ロー
スの製作誤差あるいは架設誤差等により目標とする形状
から差を生じており、その差は各ローの端をひきこむかあ
るいはくり出すことにより修正される。そこで、本報で
は、①滑動する格点を有するケースル構造の変形をエネ
ルギ法を用いて解析し、②その結果を応用して、部材長
修正時の形状解析を行なう。ついで、③膜理論に基づい
た多径間キャットウォークの近似変形解析にロー長修正時
の形状解析の機能を加し②の解析値と比較する。また、
④実際の形状修正に即して、誤差修正量を与えて望まし
い部材長修正量(ひきこみ量)を求める解析を行なった。

2. 滑動格点を有するケースル構造の解析

記号を次のように定義する。

σ : 応力, ε : ひずみ, e : のび, E : 弾性係数, A : 部材断面積,
 P : 部材力, ℓ : 部材無応力長, L : 格点間距離, X_{Si} : 格点 i
における部材の滑動量で図1において、部材 m の端部が
左から右へ移動する場合を正とする。添字 o は滑動前の
状態を示す。

部材が格点 i , $i-1$ においてそれぞれ、 X_{Si} , X_{Si-1} 滑動したときの状
態を図1に示す。滑動時に摩擦によ
るエネルギー損失がないとすると、部材 m のひずみエネ
ルギ U_m は次式で表わされる。

$$U_m = \left\{ \int_0^{\varepsilon} (\sigma_0 + E\varepsilon) d\varepsilon dv \right\}_m \quad (1)$$

①式を積分すると

$$U_m = \left\{ P_0(e - e_0) + \frac{EA}{2L}(e - e_0)^2 \right\}_m \quad (2)$$

となる。ここに、

$$e_m - e_{0m} = L - L_0 - X_{Si-1} + X_{Si} \quad (3)$$

である。ただし、 $L_0 = \ell_m + e_{0m}$ である。また、 ΔX ,
 ΔY , ΔZ を変形前の両端格点(i , $i-1$)の座標差の X ,
 Y , Z 成分, Δx , Δy , Δz を両端格点ごの各方向の変
位差とすると

$$L - L_0 = \sqrt{(\Delta X + \Delta x)^2 + (\Delta Y + \Delta y)^2 + (\Delta Z + \Delta z)^2} - \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2} \quad (4)$$

となる。④式を変位に関してテーラー展開して③式に
代入し、さらに、②式に代入することにより、ひずみ
エネルギーは変位と滑動量の4次の関数として表わされ
る。また、全ポテンシャルエネルギーも同様の関数で
表わされる。つり合い状態は全ポテンシャルエネルギー最小
の原理によって求められるが、すべての部材力が正の
場合、すは変位および滑動量に関し凸関数となり、つ
り合い状態は唯一であることが証明されている。この
詳細については文献1)を参照されたい。

3. エネルギー法による部材長修正時の形状解析

部材長修正量 X_s は部材長に比較して十分に小さく
近似的に $\ell = \ell \pm X_s$ と考える。また、部材端の格点を
滑動格点とみなし、 X_s を強制滑動量として与えるこ
とにより、2.に述べた方法を適用できる。

4. 近似手法による形状修正解析(膜理論)

キャットウォークローはあるいはストームローのロー長
を X_s 修正した後のローの水平張力 H_s は2., 3.
と同様の考え方により

$$H_s = H_0 + \frac{EA}{L}(\Delta L + X_s) \quad (5)$$

となる。ここで、 H_0 は形状修正前のロー水平張力,
 ΔL は形状修正前後のロー長差, ℓ はロー無応力長
であり、 X_s はロー長が短くなる方向を正とする。
これをつり合い式と連立させて解く。これらの詳細は
文献2)を参照されたい。

5. 計算例

上述の3.および4.の所論に

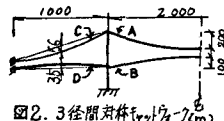


図2. 3径間桁梁キャットウォークの断面図

よる解析例について述べる。計算モデルとして、図2に示す各径間対称キャットウォーク(鉛直ハンガー、間隔50m)を選び、中央径間キャットウォークロー端部の部材について部材長の修正量を変化させたときの解を図3に示す。図より、正および負の部材長修正量とも同様の傾向を示しており、塔頂変位および側径間リグの変位については両値は良い精度で一致している。中央径間のサグの変化については、誤差は約2%であった。また、図には表われていないが、各径間のロー張力の増分の誤差は中央径間キャットウォークローで1%以下、側径間の同ローで3~4%であった。これらの結果より、近似解は実用に供し得ると判断できる。

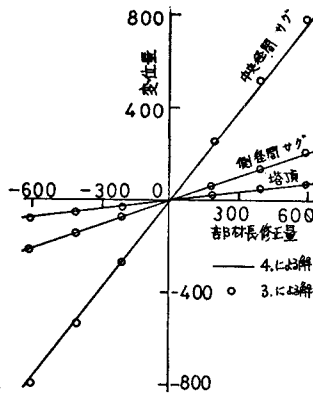


図3 両解析値の比較(mm)

次に、両解析による変位曲線を比較する。図3の部材修正量 200mmと600mmの場合の中央径間キャットウォークロー端部の変位曲線を両解析値について図4に示す。更線が3の結果、破線が4の結果である。両曲線を比較すると、橋軸方向50mのところで両曲線の差が大きい。この位置は、ロー端より1番目のハンガーロー位置であり、その影響であると考えられる。4では、変位が放物線と仮定されているため、局所的な変形は解析できない。また、部材長修正量の増加にともないその差も増大する。

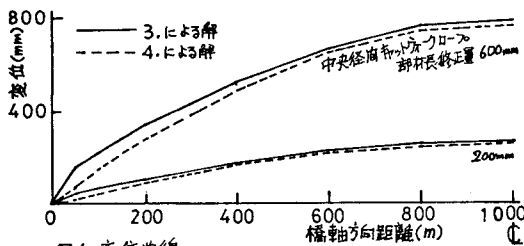


図4 変位曲線

6. 多径間キャットウォークの施工時の形状修正計算

実際のキャットウォークの施工においては、架設完了後に塔頂の位置とキャットウォークローのサグを測量して、それらが目標値と合致しているかどうかを照査するのが常である。キャットウォークの形状が目標値からはずれている場合には、各径間のロー端部をひきこまくり出

すことにより形状の修正が行なわれる。以下の解析は、そのようにして多径間キャットウォークの形状修正を行なうのに、各ローの望ましい修正量を決定するための一つの方法を示すものである。

キャットウォークの径間数を m とすると、部材長修正の可能な部材(キャットウォークロー、スチームロー端部あり、ロー両端で同一量修正する。)の数は $2m$ 個あり、また、形状修正のための目標値(塔頂位置およびサグ)の数は $n \leq (2m-1)$ である。図3により、部材長修正量と形状修正量の関係は近似的に線型とみなせるので、単位の部材長修正による形状修正量を要素とする係数行列により、未知数 $2m$ 個に対し n 個の方程式が得られる。これによると、 $(2m-n)$ 個の未知数(X_{Si})は任意に定まる。そこで、部材長修正量 k 、その個所の作業性等に起因する望ましさの程度、すなわち「おもみを付け、そのおもみ付き部材長修正量の合計を最小とすると、この条件から最適修正量を決定する。そのために、まず、目的関数

$$W = \|Q_0 X_{S0}\|^2 + \|Q_1 X_{S1}\|^2 \quad (6)$$

を定義する。すなわち、おもみ Q を付された部材長修正量 X_{S0} 、 X_{S1} の2乗和をとる。具体的には、部材長修正量を小さくおさえたい個所では Q を大にする。 W の停留条件を求めることにより、 $(2m-n)$ 個の方程式

$$\partial W / \partial X_{Si} = 0 \quad (7)$$

が得られる。これにより、各ロー端の望ましい修正量(ひきこみ量)が一意的に得られる。

図2のモデルに形状修正量を与えて必要な X_S の計算を行なった。まず、図2のA,B,C,Dの X_S のすべてにおもみ1を付け必要な X_S を求め、その X_S を基準として、B,C,Dのおもみは1のまま、Aのおもみを漸増した。このとき、必要な X_S がどのように変化するかを示したのが図5である。図より、Aのおもみを大きくするとAの X_S は小さくなり、その影響により、B,Dの X_S は大きく変化する。

参考文献

- 1) 渡田啓俊、中野、エーデル法によるケーブル構造の解析 土木学会第26回年次学術講演会
- 2) 岡田、中野、渡田：塔の剛性を考慮した多径間キャットウォークの近似変形解析 岡 31 図

図5 おもみとひきこみ量の関係

