

I-188 無効材発生に対処するキャットウォークの解析

(株) 宮地鉄工所 正員 後藤 茂夫
 (株) 宮地鉄工所 ○正員 新村 祐南
 (株) 宮地鉄工所 正員 羽根 悟朗

I. 論文要旨

一般に吊橋キャットウォーク・ストームケーブル構造は、微小変形理論的には不安定な構造系となる場合があり、しかも部材力の増分に比べて、変形の大きな構造系である。

本文は、この様な構造系に極めて有利な非線型有限変形法を基礎理論として適用し、しかも非抗圧材のゆるみによる骨組系の変化も考慮して解析したものである。ここで言う非抗圧材とは、キャットウォーク・ストームケーブル構造をトラス構造と考えた場合、圧縮軸力によってゆるみを生ずる様な部材のことであり、従来このゆるみ（無効材の発生）に対しては、適当なプレストレスを導入したり、構造系に工夫をするといった配慮がなされてきた。

本文では、この非抗圧材に対して、付加荷重によっていくつかの無効材を生ずる様な場合、付加荷重群を零から一様に漸増せしめ、それ等の非抗圧材の各合計部材力（先行部材力と部材力増分との合計）が、逐次零となる境界荷重状態ごとに、その非抗圧材を無効としながら、最終付加荷重状態に到達する、という力学モデルを考えて、各段階の部材力増分及び変形の解を求め、最終的に集計するという手法によって、解析的に処理している。

II. 基礎方程式

空間座標 x, y, z 軸に関する任意の ij 部材の変形による伸び量 Δl_{ij} は、部材両端の変位との関係より次式で表わされる。(図-1)

$$\Delta l_{ij} = (l_{ij}/2) \omega_{ij} \cdot X_{ij} \quad \text{---(1)}$$

ただし

$$\omega_{ij} = 2\alpha_{ij}^* \Delta d_{ij} / l_{ij} + \Delta d_{ij}^* \cdot \Delta d_{ij} / l_{ij}^2 \quad \text{---(2)}$$

$$X_{ij} = 1 - \frac{\omega_{ij}}{4} \left(1 - \frac{\omega_{ij}}{2} \left(1 - \frac{\omega_{ij}}{8} \left(5 - \frac{\omega_{ij}}{2} \left(7 - \frac{21}{4} \omega_{ij} \right) \right) \right) \right) \right) \quad \text{---(3)}$$

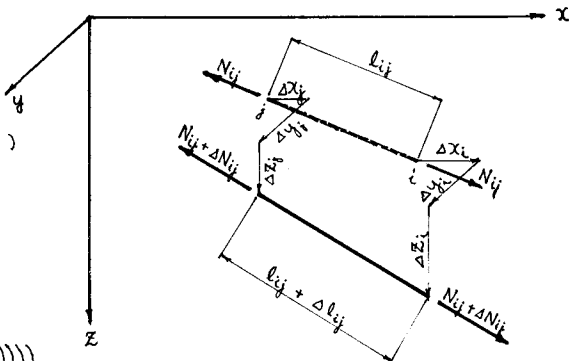


図-1

部材 ij が N_{ij} なる軸力により釣り合い状態にあり、ついで付加荷重が構造系に加えられ、その為部材は変形を生じ、軸力が $N_{ij} + \Delta N_{ij}$ と変化して、新たな釣り合い状態に達した時の厳密な適合条件式と部材力式から、次の Unit Equation が導かれる。

$$\{ F_{ij} X_{ij} \alpha_{ij}^* + \mu_{ij} (e - X_{ij} \alpha_{ij}^*) + (F_{ij} - \mu_{ij}) / 2 l_{ij} \cdot X_{ij} \alpha_{ij}^* \} \Delta d_{ij} = \Delta D_{ij} + \Delta D_{Tij} \quad \text{---(4)}$$

ここで $F_{ij} = EA_{ij} / l_{0ij}$, $\mu_{ij} = \frac{N_{ij} + \Delta N_{ij}}{l_{ij} + \Delta l_{ij}}$ (部材力係数 $\times -\tau$), $\Delta D_{Tij} = F_{ij} \Delta t_{ij} \alpha_{ij}$ (温度荷重項)
 e : 3行3列の単位マトリックス, EA_{ij} : 伸び剛性, l_{0ij} : 基準温度、無効力時の部材長

(4)式を全節点について適用し、マトリックスで表せば次式になる。

$$(K_A + K_B) \cdot \Delta d = \Delta D \quad \text{--- (5)}$$

ここで、 K_A は見掛け上節点変位の項を含まない線型剛性マトリックス

K_B は 含む非線型剛性マトリックス

Ⅲ. 無効枝発生に対する処理方法

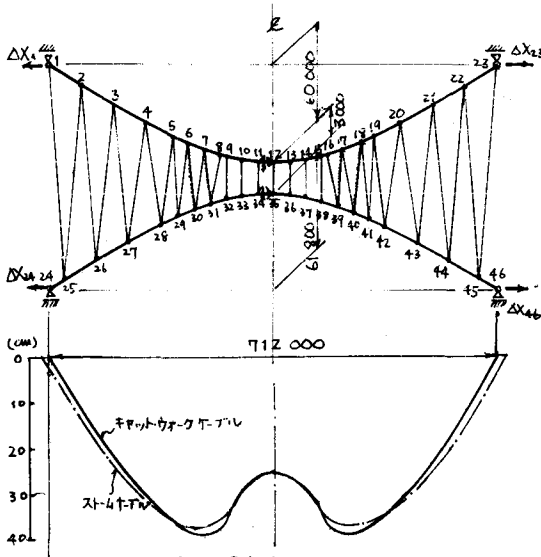
付加荷重ベクトル ΔD を用いて、非抗圧枝なしの場合の解を求め、圧縮領域に入っている非抗圧枝の先行部枝力 N_{pq} と部枝力増分 ΔN_{pq} との比の最小値 $\Phi = \min [-N_{pq}/\Delta N_{pq}]$ を求める。

線型であれば、この値をもつ非抗圧枝が、漸増付加荷重に対して、最初に無効枝となり、その境界荷重は $\Phi \Delta D$ として得られる。次には $(1 - \Phi) \cdot \Delta D$ に対して該当する無効枝を取りはずして、同様な手順を繰返せばよい。ここでは、上記手順と X_{ij} , M_{ij} 及び非線型剛性マトリックス K_B の反復修正を合わせて繰返えし計算を行なっている。

Ⅳ. キャットウォークの計算例

$$E = 1.3 \times 10^4 \text{ t/cm}^2$$

$$\Delta X_1 = \Delta X_{23} = \Delta X_{24} = \Delta X_{46} = 18.9725$$



橋梁鉛直変位図
図-2

キャットウォーク 部枝力 (TON)			ハンガーロープ 部枝力 (TON)		
橋点番号	張	力	橋点番号	張	力
	節点1に付	合計		節点1に付	合計
1 ~ 2	19.930	135.270	1 ~ 25	0.068	0.510
2 ~ 3	19.803	128.923	2 ~ 25	0.721	1.145
3 ~ 4	19.835	127.845	2 ~ 26	0.239	0.654
4 ~ 5	20.071	127.291	3 ~ 26	0.801	1.185
5 ~ 6	20.481	127.181	3 ~ 27	0.121	0.505
6 ~ 7	20.920	127.260	4 ~ 27	0.862	1.193
7 ~ 8	21.481	127.571	4 ~ 28	-0.057	0.294
8 ~ 9	21.875	127.805	5 ~ 28	0.872	1.138
9 ~ 10	21.856	127.656	5 ~ 29	-0.201	0.065
10 ~ 11	21.844	127.504	6 ~ 29	0.829	1.048
11 ~ 12	21.838	127.448	* 6 ~ 30	-0.219	0.000
ストームゲイル 部枝力			7 ~ 30	0.818	1.004
24 ~ 25	19.965	52.956	* 7 ~ 31	-0.186	0.000
25 ~ 26	19.563	32.392	8 ~ 31	0.726	1.026
26 ~ 27	19.090	31.761	9 ~ 32	0.364	0.692
27 ~ 28	18.576	31.124	10 ~ 33	0.415	0.815
28 ~ 29	18.026	30.493	11 ~ 34	0.415	0.815
29 ~ 30	17.444	29.859	12 ~ 35	0.415	0.815
30 ~ 31	16.781	29.159	○ : 荷重によって圧縮力が増えるか 又は部枝力の為に全が圧縮引張り		
31 ~ 32	16.174	28.523			
32 ~ 33	16.145	28.473			
33 ~ 34	16.122	28.435			
34 ~ 35	16.109	28.415	* : 非抗圧枝として無効な部枝		

表-1

Ⅴ. おまけ

従来吊橋キャットウォーク構造の解析には、非抗圧枝のゆるみによる影響（無効枝の発生）を無視するものが多かったが、変形量が大きくなる荷重状態では、その影響は無視し得なくなる。又無効枝の発生を防ぐ為、プリテンションの導入をしたり、構造系を選択する必要はなく、解析的に処理することが出来る。上記計算例は、C.D.C 6600 で計算し、時間は約8分であった。