

北大工学部 正 員 佐 藤 浩 一
 北大工学部 正 員 渡 辺 昇
 本四公団 正 員 大 島 久

1. まえがき

偏心荷重による吊橋の立体解析は種々なされているが、その場合塔頂における塔とケーブルとの結合状態は図-1(a)のようにローラ結合として解析している。図-1(b)のようにピン(ヒンジ)結合として解析した例は文献(4)で示されているが、図-1(c)のような塔頂に作用する圧縮力 N を考慮していない。本報告では図-1(c)のように N が作用する場合を中心に解析を行なった。また、曲げ解析と立体解析との比較、図-4で示すような塔の斜材を考慮した場合と無視した場合との比較などを行ない、塔の変形が吊橋構造全体にどのような影響を及ぼすかを解析したものである。さらに、ケーブルの温度変化による影響にも検討を加えた。解析法としては荷重項を含んだ形で要素数を少なくして解析出来る剛性マトリックス法を用いた。⁴⁾

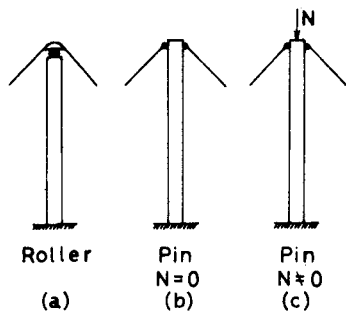


Fig.-1 塔とケーブルとの結合状態

2. 吊橋の微分方程式

(イ) ローラ結合の場合の微分方程式は文献(1)のものを用いた。

(ロ) ピン結合の場合の微分方程式は文献(4)の $(2n+3)$ 本の式を用いた。

$$EI \cdot V''(x) - (H_1 + H_2) \cdot V''(x) + (H_1 - H_2) \cdot e \cdot \theta''(x) = p(x) + \sum_{k=1}^n (H_{p1k} + H_{p2k}) \cdot y''_k \quad (1)$$

$$EC_s \cdot \theta''(x) - GI_T \cdot \theta''(x) - (H_1 + H_2) \cdot e^2 \cdot \theta''(x) + (H_1 - H_2) \cdot e \cdot V''(x) + EI_y \cdot y_M'' \cdot W''(x) = m_T(x) - p(x) \cdot e_2 - \sum_{k=1}^n (H_{p1k} - H_{p2k}) \cdot e \cdot y''_k \quad (2)$$

$$EI_y \cdot y_M'' \cdot \theta''(x) + EI_y \cdot W''(x) = 0 \quad (3)$$

ただし、 n は径間数

$$H_{pij} \frac{L_{cij}}{E_c A_c} + y_j'' \int_0^{L_j} V_i(x_j) dx_j \pm \alpha_T \Delta T L T_j \quad (4 \cdot 1)$$

ただし、 $i=1 \sim 2$, $j=1 \sim n$

$$= (H_{p1j-1} - H_{p1j}) \times G_{1i}(j) + (H_{p2j-1} - H_{p2j}) \times G_{2i}(j) + (H_{p1j+1} - H_{p1j}) \times G_{1i}(j+1) + (H_{p2j+1} - H_{p2j}) \times G_{2i}(j+1) \quad (4 \cdot 2n)$$

以上の諸式において特別の指示のない記号は文献(3),(4)の記号を用いた。また、ローラ結合とピン結合との相互関係、 H_{pij} の求め方、および剛性マトリックスは文献(4)を参照されたい。

3. 数値計算例

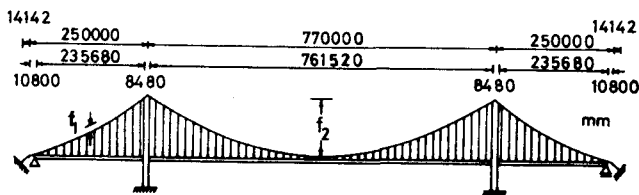
図-2のような現在計画中の本州四国連絡橋の因島大橋を例にとつた。

断面諸元

主構幅=26m, $E=2.1 \times 10^7 t/m^2$,
 $E_c=2.0 \times 10^7 t/m^2$, $G=8.1 \times 10^6 t/m^2$,
 $H_g=19372 t/Br.$, $A_c=0.4562 m^2/Br.$,
 $f_1=f_3=7.559m$, $f_2=76m$,
 死荷重 $q_1=q_3=21.09 t/m$,

$q_2=20.31 t/m$, $I_1=I_3=4.216 m^4/Br.$, $I_2=4.904 m^4/Br.$, $Fig.-2$ 因島大橋の一般図
 $J_1=J_3=2.901 m^4$, $J_2=4.1691 m^4$, $C_{M1}=C_{M3}=786.353 m^6$, $C_{M2}=648.876 m^6$, $y_M=0$.

主塔は図-3のような変断面とした。線荷重と等分布荷重は図-5のように載荷した。図-4における左側塔頂に $P=1$ tonが作用した時の左右の塔頂水平変位を表-1に示してある。



CASE 1 は側径間に p を満載し、側径間中央に P を載荷した場合である。CASE 2 は中央径間と第三径間に p を満載し、中央径間中央に P を載荷した場合である。

温度変化は 0°C , $+30^{\circ}\text{C}$, -30°C とした。
図-6は CASE 1 と CASE 2 における塔頂水平変位を示したものである。図-7と表-2は CASE 2 における曲げモーメント図と中央径間中央点の曲げモーメントの値を比較したものである。曲げ解析と立体解析との比較、その他の CASE および たわみ、ねじり角、曲げねじりモーメント等については紙面の関係上ここでは省略した。当日発表する。

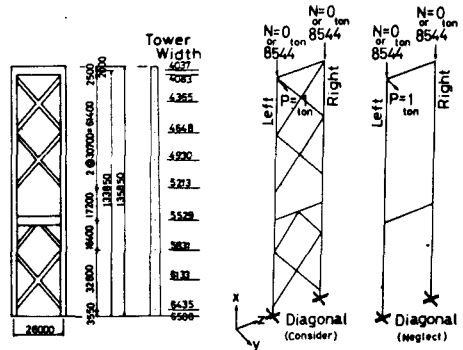


Fig. -3 因島大橋の主塔 Fig. -4

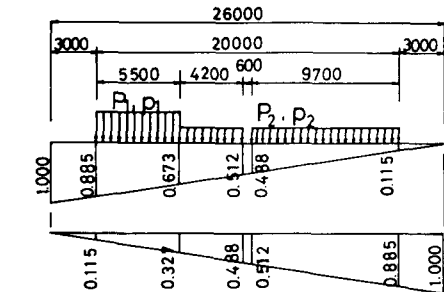


Fig. -5 P と p の載荷状態

N (ton)	Tower Top	Diagonal (Consider)	Diagonal (Neglect)
0	Left	6.0762	6.1832
	Right	5.1389	5.1689
	Total	11.2151	11.3521
8544	Left	76.0867	91.6205
	Right	75.0797	90.5240
	Total	151.1664	182.1445

x10³m

Table-1 Fig. -4の塔頂水平変位

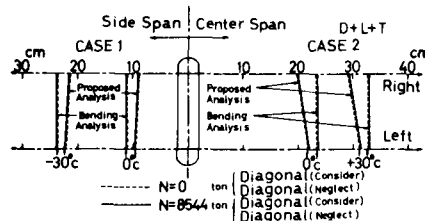


Fig. -6 D+L+T による塔頂水平変位

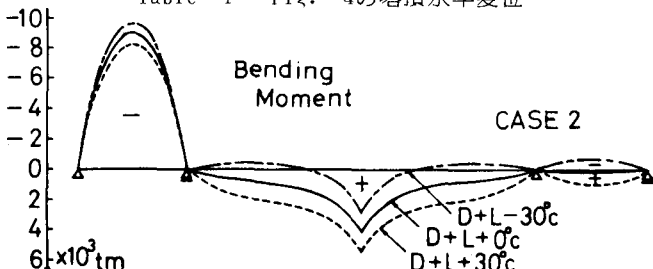


Fig. -7 曲げモーメント図

4. あとがき

本解析例においては、塔の斜材の有無、Nの有無、塔の剛性は吊橋構造全体にはほとんど影響を及ぼさない。塔頂水平変位はCASE 2でD+L+30°Cの場合、曲げ解析で約33cm、立体解析で左側塔頂では約31cm、右側塔頂では約29cmである。

参考文献

本計算は北海道大学大型計算機センターのFACOM 230-75を利用した。

- 1) Hawranek, A., u. Steinhardt, O. : Theorie und Berechnung der Stahlbrücken. Springer 1958.
- 2) 渡辺 昇, 佐藤浩一, 戸田 久 : 多径間吊橋のねじりを考慮した剛性マトリックス解析法について。土木学会北海道支部論文報告集 第34号, 1978.
- 3) 佐藤浩一, 渡辺 昇, 大島 久 : 剛性マトリックス法による吊橋のねじり解析。土木学会第33回年次学術講演会講演概要集 第I部, 1978.
- 4) 渡辺 昇, 佐藤浩一 : 剛性マトリックス法による塔のねじれ変形を考慮した吊橋のねじり解析。土木学会北海道支部論文報告集 第35号, 1979.

Bending Moment tm	CASE 2	D+L+30°C	D+L+0°C	D+L-30°C
Roller		5429.7	4110.5	2795.9
Diagonal (Consider)	Pin N=0 ton	5413.5	4100.5	2791.9
	Pin N=8544 ton	5428.3	4109.7	2795.6
Diagonal (Neglect)	Pin N=0 ton	5413.7	4100.7	2791.9
	Pin N=8544 ton	5428.5	4109.9	2795.7

Table-2 中央径間中央点の曲げモーメントの値