

柳横河ブリッジ 正員 ○尾下里治・掘井滋則

柳横河技術情報

萩原 篤

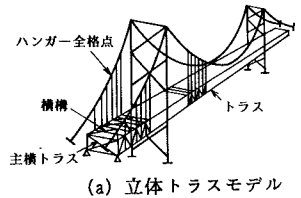
1. はじめに 吊橋の長大化にともなって、補剛桁の主要な部材は風荷重によって決定される場合が多く、面外解析は重要なものになっている。吊橋に面外荷重が加わると、ハンガーの定着点が補剛桁のせん断中心から偏心していることによって、補剛桁にはねじりモーメントが作用するので、補剛桁はねじり変形やそりねじり変形、断面変形など複雑な挙動を示す。特にトラス形式の補剛桁の場合は、構面のせん断変形の影響も大きいので、以前より多くの研究¹⁾がなされてきている。

現在の実務設計における構造解析法としては、変位法によるマトリックス解析法が一般化していることから、吊橋の面外解析についても図-1に示す立体トラスモデルや補剛桁を一本梁に置き換えた魚骨モデルが用いられる場合が多い。しかし、立体トラスモデルは、長大吊橋になるとモデルの規模が大きくなりすぎて運用上の問題がある。また、魚骨モデルは、補剛桁を断面変形まで考慮した薄肉梁部材として扱わなければ正確な結果が得られないし、梁の断面力からトラス部材力への変換も煩雑な作業となる。

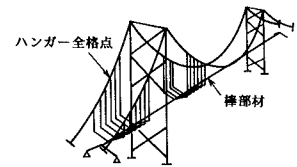
そこで本文では、図-1に示すような平面格子モデルに置き換えて面外解析を行うことを提案する。この方法については、以前から上路アーチ橋や上路トラス橋に適用²⁾して、その解析精度を確認してきたが、今回は吊橋特有のケーブルやハンガーのモデル化に新たな提案を行い、吊橋の面外解析における実用性を確認した。

2. 解析理論とモデル化 吊橋の面外変形に対しては有限変位の影響はわずかであることから、解析理論としてはケーブルやハンガー、リンク部材などの初期張力による幾何剛性を考慮した線形化理論による。

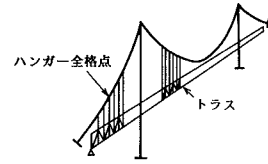
トラス構造の補剛桁や塔を平面モデルへ置換する手法は、文献2)の通りであるが、ケーブルやハンガー、リンク部材については、その初期張力による幾何剛性を考慮する点と、せん断断面積0の重ね梁として考慮する点に特徴がある。初期張力を考慮することによって吊橋特有の面外剛性を解析できることは自明である



(a) 立体トラスモデル



(b) 魚骨モデル



(c) 平面格子モデル

図-1 面外解析モデル

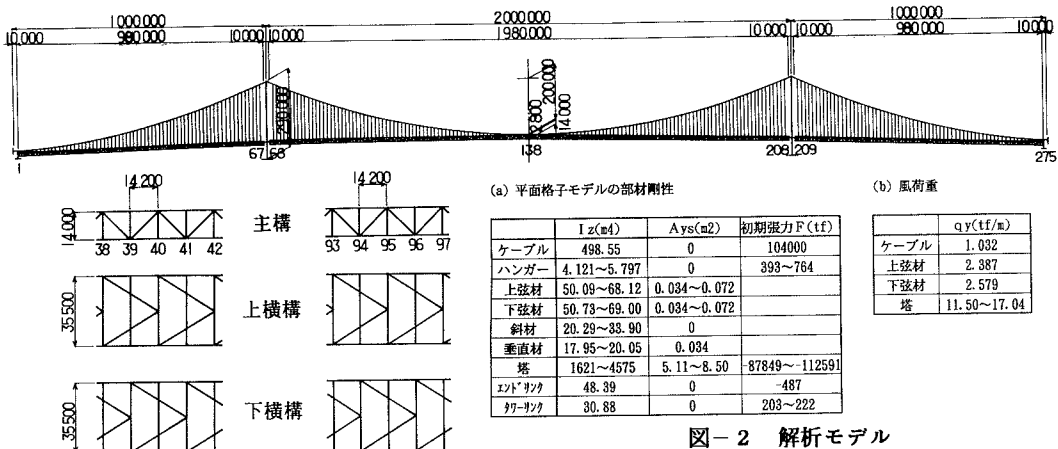


図-2 解析モデル

が、こうしたモデル化によって、補剛桁のねじり変形に対するケーブルの復元力をも評価することができる。立体解析においては、ねじり変形に対して左右のケーブルが上下して抵抗する（正負の張力が生じる）挙動を、平面格子モデルでは重ね梁に置き換えたケーブル部材の面外曲げモーメント（左右2本の部材に生じる偶力）として評価している。これらの部材の剛性マトリックスは、式(1)となる。

$$\begin{Bmatrix} y_i \\ \theta_{z,i} \\ y_j \\ \theta_{z,j} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 & & & \\ & 0 & k_2 & \text{Sym.} \\ -k_1 & 0 & k_1 & \\ & 0 & -k_2 & 0 & k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} S_i \\ M_{z,i} \\ S_j \\ M_{z,j} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

$$k_1 = F/\ell \quad k_2 = EI_z/\ell$$

y : 横たわみ S : 面外せん断力

$\theta_{z,i}$: たわみ角 $M_{z,i}$: 面外曲げモーメント

F : 初期張力 EI_z : 面外曲げ剛性

3. 解析精度の確認

(1) 解析モデル 解析例として、図-2

に示す中央支間長2000mの2ヒンジ補剛トラス形式の吊橋を取り上げる。詳細な諸元は省略するが、実橋に近いものになっている。設計風荷重を満載した場合の弾性挙動を、立体トラスモデルと、平面格子モデルとによって解析し、結果を比較することによって本解析法の精度を確認する。

(2) 解析結果 主要な位置での変形や部材力の解析結果を表-1に示す。平面解析

については、ケーブルやハンガーの初期張力のみを考慮した場合（レベルA）と、重ね梁としての剛性も考慮した場合

（レベルB）とを載せている。変位や弦材軸力、ウィンドサ反力については、レベルAでも立体解析とよく

合うが、補剛桁のねじりの影響を受ける横構軸力やリンク反力は、レベルBでなければ正解とならない。風荷重によるケーブル軸力まで、レベルBの平面解析結果は立体解析結果とよく合っている。図-3には、横構軸力図を示すが、ねじりモーメントの影響で上下横構に軸力差が生じる傾向がよく表れている。レベルAの平面解析では、ケーブルの復元力によるねじりモーメントの減少が評価できないので、上下横構の軸力差が大きくなっているが、レベルBでは立体解析とよく一致している。

（参考文献）

- 1) 小松・西村：横荷重を受ける吊橋の変形と応力について、土木学会論文報告集、第248号、1976.4
- 2) 熱田・市川・尾下：鋼上路橋の面外格子モデルについての検討、構造工学論文集、Vol.41A、1995.3

表-1 平面格子モデルの解析精度

着目項目と着目点			立体解析	平面解析	
				レベルA	レベルB
変位 dy(m)	側径間 36	ケーブル	4.22	4.18 (0.99)	4.20 (0.99)
		上弦材	9.33	9.32 (1.00)	9.38 (1.01)
		下弦材	9.31	9.65 (1.04)	9.34 (1.00)
	中央径間 138	ケーブル	29.95	29.78 (0.99)	29.88 (1.00)
		上弦材	30.94	30.77 (0.99)	30.87 (1.00)
		下弦材	31.49	33.22 (1.05)	31.49 (1.00)
ケーブル 弦材軸力 N(tf)	側径間 39-40	ケーブル	1247	0 (0.00)	1315 (1.05)
		上弦材	3907	3977 (1.02)	3952 (1.01)
		下弦材	3954	4003 (1.01)	3986 (1.01)
	中央径間 94-95	ケーブル	1376	0 (0.00)	1445 (1.05)
		上弦材	4169	4261 (1.02)	4145 (0.99)
		下弦材	4153	4022 (0.97)	4155 (1.00)
横構軸力 N(tf)	側径間 20-21	上横構	306	105 (0.34)	268 (0.88)
		下横構	255	486 (1.90)	289 (1.13)
	中央径間 120-121	上横構	-487	-638 (1.31)	-479 (0.98)
		下横構	-92	99 (-1.08)	-97 (1.05)
ウィンドサ 反力(tf)	橋台部 主塔部	側径間側	912	891 (0.98)	955 (1.05)
		中央径間側	1583	1581 (1.00)	1578 (1.00)
		中央径間側	1698	1700 (1.00)	1685 (0.99)
リンク軸力 N(tf)	ストリンク カブリック	側径間側	154	153 (0.99)	154 (1.00)
		中央径間側	64	272 (4.25)	57 (0.90)
		中央径間側	130	733 (5.64)	122 (0.94)

注記) ・レベルA：ケーブル、ハンガーの初期張力のみ考慮

・レベルB：ケーブル、ハンガーの剛性を重ね梁として考慮

・ () 内数値は立体解析値に対する比率

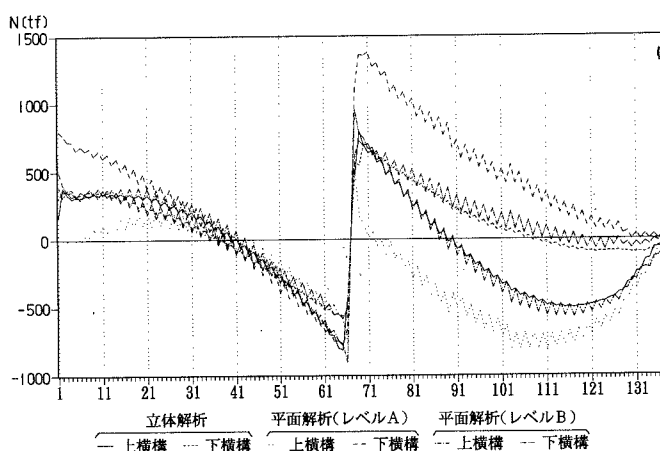


図-3 横構軸力図