

風荷重を受ける長大吊橋の有限変形立体解析

大阪大学工学部 正員 小松定夫

大阪大学工学部 正員 西村宜男

大阪大学大学院 学生員の中川知和

1. まえがき 長大吊橋においては完成系は勿論のこと、架設系に対しても風荷重を受けた時に生ずる各種の変形や応力が正確に把握され、安全性が確保されなければならない。水平横荷重を受ける完成系の吊橋に關する構造解析法としては、いわゆる膜理論に属するものとして、吊構造とゲートルの側方変位のみを考慮した Moisseiff, Selberg の理論、さらに吊構造のねじれや断面変形を含む筆者らの理論がある。また、任意骨組変形法を適用したものとしては、後藤、吉塚らの研究がある。これらの解析法においては、変位の自由度の増加を避けるために吊構造は曲げ部材あるいは薄内部材に置換され、一般化変位の自由度を最小に制限して断面内の変位を表わしている。横荷重を受ける架設系吊橋においては、全体構造系が極めて複雑な可変系になっており、変位と応力の正確な算定には、非線形計算が不可欠である。その際吊構造の変位の自由度が合理的に選ばれていなければ、非線形計算過程において重大な誤差を含むことになる。本研究では、任意の変位自由度を選択できるような従来の変形法に改良を加えて立体骨組構造非線形解析プログラムを開発した。それを用いて、完成系ならびに架設系吊橋の横荷重に対する立体解析を行い、どのような自由度の選択を行えば、精度良くかつ能率的に計算を行なえるかを検討した。

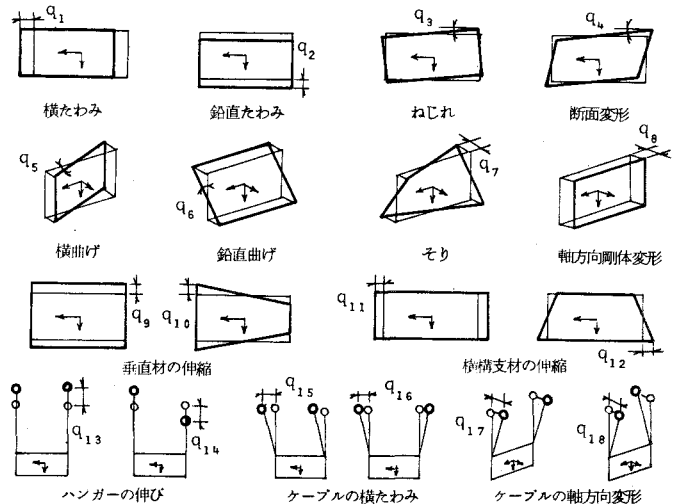
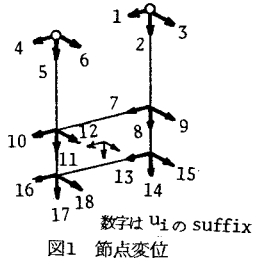
2. 節点変位の自由度の低減 (Representation) いき吊橋の1断面について図1のような18個の節点変位を考える。(実際の吊構造は多くの節点を有しているが、Substructuringを行えば18個で代表される。) 次に図2のような18個の一般化変位を考えれば、節点変位と一般化変位の関係は、

$$\mathbf{q} = \mathbf{D} \mathbf{u} \quad \text{----- (1)}$$

となる。ここに、 $\mathbf{q} = \{q_1, q_2, \dots, q_{18}\}$, $\mathbf{u} = \{u_1, u_2, \dots, u_{18}\}$, $\mathbf{D}$ は 18×18 の変換マトリックスである。横荷重に対して影響の小さいと考えられる一般化変位を q_0 (m次元) とし、 $q_0 = 0$ として式(1)に代入すれば、 $\mathbf{u}$ の内 u_0 (m次元) は他の節点変位ベクトル $\mathbf{u}_r$ ($(18-m)$ 次元) により代表され

$$\mathbf{u}_0 = \mathbf{R} \mathbf{u}_r \quad \text{----- (2)}$$

なる関係を得る。ここで $\mathbf{R}$ は m 行 $(18-m)$ 列の定数マトリックスである。式(2)により剛性マトリックスを圧縮し、1断面の自由度を m 個落せる。この自由度低減手法を Representation と称する。(文献1参照)



3. 完成系吊橋における自由度の選択

スパン $260\text{m} + 1100\text{m} + 260\text{m}$ の連続

吊橋を対象に数値計算を行った。表1に主要諸元、表2に選択した自由度を示す。横荷重はケーブルに $0.765\text{t/m}(\text{main})$, $0.89\text{t/m}(\text{side})$ 、吊構造に $3.88\text{t/m}(\text{main})$, $3.975\text{t/m}(\text{side})$ を載荷した。なお完成系ではこの程度の横荷重に対しては非線形性は殆ど見られないので線形化計算を行った。図3には変形・部材力の、R18に対する誤差を示した。R7は吊構造に、断面変形を考慮した小松・西村の理論に対応するもので、このレベルでは横たわみ、部材力とも殆ど誤差を生じないことがわかる。断面変形を拘束すれば(R6に相当)横構斜材部材力(特に端支点付近)に20~35%程度の大きな誤差を生ずるが、他の諸量には殆ど影響がない。また、R3は Maissciff, Selberg らの理論に対応する。以上より支点上の局部的な応力照査なども含む厳密な解析にはR7のような自由度の選択が適切といえる。なお計算機容量はR18で65kw, R7で39kw程度、計算時間は、各ケース共4~5秒である。

表1 主要諸元

パネル間隔	13.1m
トラス高	13.0m
トラス幅	32m
ケーブルサグ	100m
ケーブル断面積	.7705m ²
弦材 #	.122m ²
斜材 #	.0668m ²
横構斜材 #	.0373m ²
ケーブル重量	6.62t/m
つり構造 #	14.35t/m

表2 1断面の自由度

記号	選択した自由度
R18	全自由度考慮
R13	$q_1, q_3, q_5, q_7, q_9, q_{11}, q_{13}, q_{15}, q_{17}, q_{19}$
R7	$q_1, q_3, q_5, q_7, q_9, q_{11}, q_{13}$
R6	$q_1, q_3, q_5, q_7, q_{11}, q_{13}$
R3	q_1, q_3, q_{11}

4. 架設系吊橋の有限変形解析

完成系と同じ諸元の吊橋において、図4のように補剛トラスが架設された各段階につき数値計算を行った。横荷重は完成系の1/2を載荷した。図5に各架設状態における変形・部材力のR18に対する各ケースの誤差を示した。架設状態Iでは非常に非線形性が強いので、自由度低減による誤差は大きい。節点総数が少ないため、全自由度を考慮しても計算効率

はさほど悪くならない。架設が進行するにつれ非線形性は比較的弱くなり、架設状態II~IVではR7のレベルまで自由度を低減しても差しつかえないと思われる。R6では、架設状態IVかように端支点が拘束された場合、横構斜材に大きな誤差を生

ずることに注意しなければならない。なお計算時間は、全自由度考慮の場合10~30秒、自由度を低減した場合いずれも5~10秒である。(使用計算機、京大FACOM 230-75)

[参考文献]
1) “架設中吊橋の正体有限変形について” 第31回土木学会年次講演会概要集
2) “吊橋の正体有限変形解析について” 昭和51年土木学会関西支部年次講演会概要集

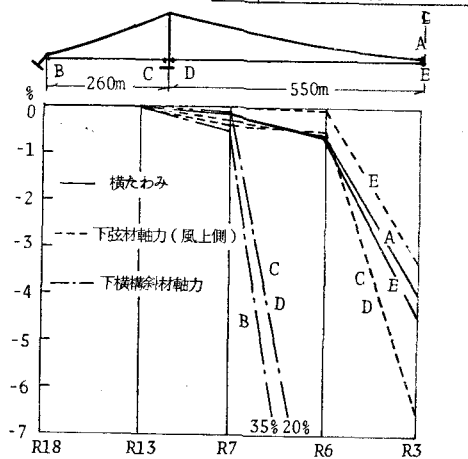


図3 変形・部材力の誤差 (完成系)

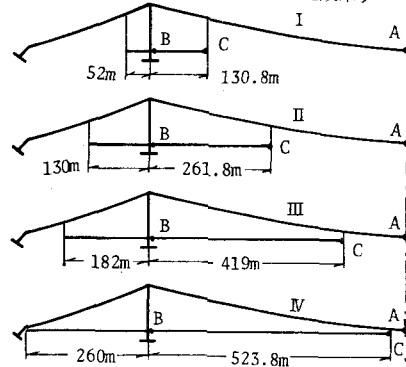


図4 架設状態

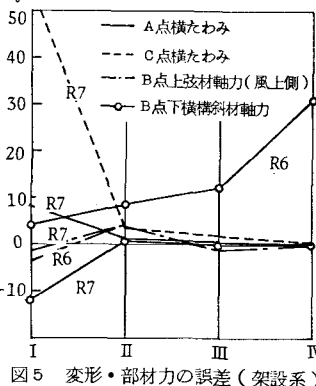


図5 変形・部材力の誤差 (架設系)