

岐阜大学 正員 井上 肇
岐阜大学 正員 ○ 近藤 昇

1. まえがき

高速度交通網が発達するにつれて、道路の線形性が重視されるようになり、橋梁も、曲線橋や斜橋の架設例が多くなった。例えば、国鉄新幹線や、高速度国道など、全面立体交叉で通過する路線では、在来路線と小さな斜角で交叉する構造物が、さめて多い。斜角構造物の解析において、特に考慮されなければならないのは、一般的に、直構造物では無視できるような、ねじりモーメントや、せん断力を無視できないことである。斜めアーチ橋は、初期において、橋軸に平行な単位幅のアーチとして、直アーチと同じく、平面的に解析された。これは、考えうる最大のスパンを解析対象としているので、安全側の結果を示すものと考えられたが、このようにして設計されたコンクリートスラブ斜めアーチのスラブに、クラックが発生するという事故例が報告された。この事実を考慮して、3次元の解析する斜めアーチの理論には、Ratlban²⁾、Hayden³⁾、Barron⁴⁾、Michelet⁵⁾のものがある。Ratlbanは、図-1のような、対称形である両端固定の斜めスラブアーチを、図-2のように、クラウンで、右左の片持ばりに二分し、6個の不静定力、 $T_x, T_y, T_z, M_x, M_y, M_z$ を、クラウンでの変位適合条件より求める近似解法を提案した。ここで、クラウンでの変位は、アーチ曲面の半径方向面により等分される要素、 S を、棒要素に換算し、その中心の変位によるクラウンでの変位の合計として算定されている。外力は、温度変化、集中荷重、死荷重、等分布荷重、すべてに適用でき、荷重の種類により、微小不静定力は省略して、計算式を簡単にできるように配慮がなされている。Haydenは、2ヒンジ斜めアーチにおいて、4個の不静定力を、一つのヒンジ支束の反力 K と見做し、仮想仕事の原理に基づく方法を提案している。Barronは、弾性重心法により、弾性方程式を簡単にできることを示している。しかし、これらの方法は、すべて、反力、断面力、変位が3次元の考えられているが、いわゆる棒理論によるものである。アーチ幅員方向に、断面力や変位が一樣ではない斜め構造物の解析には、幅員方向の広がりをも考慮して、曲面板理論として解析することが望ましいであろう。

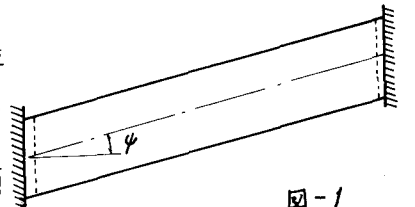
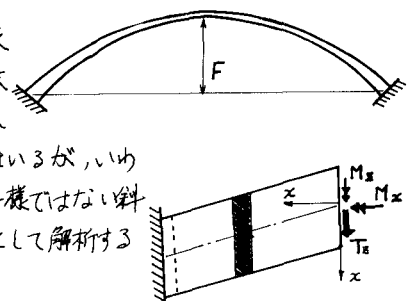


図-1



2. 曲面板解析

アーチの曲面解析においては、アーチ曲面の曲げ剛性を考慮して、膜理論に、曲げモーメントと、法線方向せん断力を加えた、一般的にシェル理論により解析が行われるべきであろう。その場合、アーチの自由辺での境界条件は、斜めアーチの場合、非常に複雑になる。一般的に、シェルの中央面を表示するには、その主曲率面と中央面との交線を座標軸とした、曲線座標系による表示が適当である。ところが、例えば円筒中央面を考えても、斜めアーチの自由辺は、その主曲率面ではない平面との交線であるため、自由辺境界条件式において、微係数項の係数が、自由辺全体にわたって定数とはならない。それゆえ、偏微分方程式の理論解はもちろん、その数値近似解法である差分法においても、この境界条件の複雑さは克服できない。そこで、任意境界形状に適用できる有限要素法により、曲面板解析を試みた。

図-2

3. 有限要素法

有限要素法による曲面板解析には、曲面要素からなる物理近似モデルを用いる場合と、平板要素の集合体からなる折小板モデルを用いる場合が考えられる。有限要素法においては、平板要素の研究は、かなり完成しており、これを用いた、折小板モデルのシェル解析が、多くのグループにより応用され、良好な結果がえられている。本論においても、この折小板モデルを採用した。図-1のような、円筒面よりなる斜めスラブアーチを、橋軸方向垂直面と、円筒中心軸を含む半径方向面とで等分し、各要素を、四隅で節合される平行四辺形板で置き換えれば、図-3のような、折小板モデルとなる。アーチ曲面に対しては、この平行四辺形要素の力学的特性を、板曲げ要素と、膜要素を単純に重ね合わせるにより定められる。そして、有限要素法の手法により、剛性方程式を導き、これを解くことにより、アーチ中央面での節変位が求められる。このモデルにおいては、断面力の算定の段階で、要素の節変位を、ただちに、アーチ曲面の断面力とすることはできない。そこで、まず、断面力の算定には、中央面変位の差分表示により、変位の微係数を算定し、シェルのひずみ-変位関係式、応力-変位関係式を用いて計算を行なった。

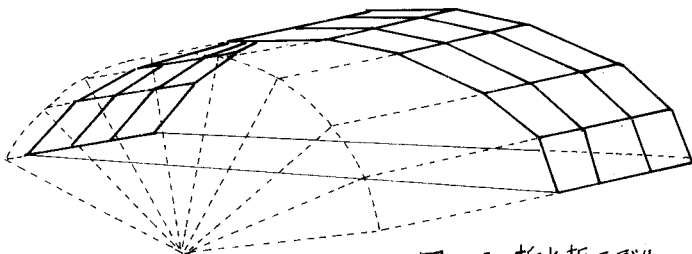


図-3 折小板モデル

4. 計算結果、および、実験結果

上述の計算方法の妥当性を評価するため、アルミ製の模型実験を行なった。斜角 $\psi = 75^\circ$ 、支間 $L = 120\text{ cm}$ 、幅 $A = 40\text{ cm}$ 、ライズ $F = 20\text{ cm}$ 、等厚 $t = 0.4\text{ cm}$ 、ポアソン比 $\nu = 0.31$ 、ヤング係数 $E = 706000\text{ kg/cm}^2$ の模型実験結果と、計算結果を比較したものが、図-4、図-5である。図-4には、アーチ裏面の橋軸方向ひずみを示す。()内の値は、ワイヤーストレンゲージにより測定された実験値である。荷重は、円筒半径方向(アーチ面の法線方向)の 30 kg 集中荷重である。固定辺においては、ひずみが、鋭角部に集中される状態をよく示している。図-5は、半径方向 30 kg 集中荷重による半径方向変位を示す。実験値は、最小目盛 $1 \times 10^{-2}\text{ mm}$ のダイヤルゲージをセットして測定した。非対称荷重により、わじれの状態を示している。模型の寸法が小さいため、比較する値の有効数字が充分ではないが、近似性は良好である。変位のみに関しては、中央方向に4分割、橋軸方向に8分割モデルで充分な近似解が得られるが、ひずみ、応力に関しては、差分表示の精度を高めるため、橋軸方向に22分割が必要であった。

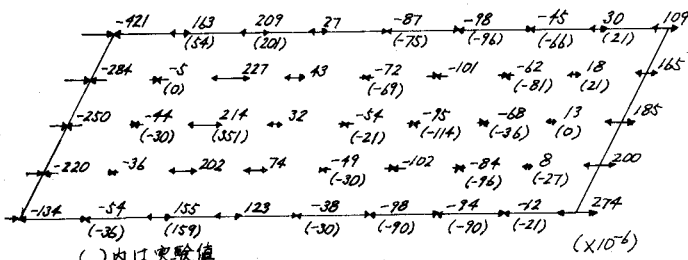


図-4 アーチ裏面のひずみ

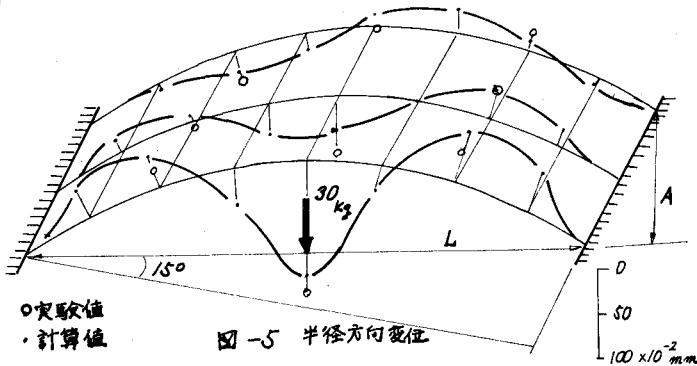


図-5 半径方向変位

参考文献

- 1) Engineering News-Record, Feb. 22 1923
- 2) "Analysis of the stresses in the ring of a concrete shell arch" Trans. ASCE No. 1442
- 3) "The Rigid Frame Bridges" P.137-P.151
- 4) "Reinforced Concrete Skewed Right Frame and Arch Bridges" Trans. ASCE No. 2955
- 5) "Analysis of Skewed Right Frame and Arches" Journal, ACI Feb. 1952