

### III-212 ラティスワークを用いたトンネル支保工のモデル化について

佐藤工業(株)      ○正会員      藤井 信二  
 "                      正会員      金子 典由  
 "                                           加納 米二

#### 1. まえがき

トンネル等、地下構造物の解析には有限要素法による計算が多用されている。その際、吹付コンクリートや覆工コンクリートを三角形平面要素でモデル化すると、変位が小さくなり実際の支保メンバーより固めに評価される。一方、はり要素では自由度数が平面要素と一致しない。そこで、これらの支保メンバーを正當に評価し、数値計算の精度を高めるための一手法として、はりをそれと等価なトラス構造に置き換えるラティスワークが考えられる。本論ではこのラティスワークの検証結果について報告する。

#### 2. 換算方法

はりとは等価なトラス構造は次の三つの条件を満足させることによって得ることができる。(図-1参照)

① ヤング係数 $E$ ははりと同じ値を用いる。

② 軸力の等価性

軸力 $N$ によって生じる変位がはりと同じになるようにトラス部材の断面積 $A'$ を定める。

$$\Delta L = NL / EA \cong NL / 2EA' \quad \text{--- (1)}$$

③ 曲率の等価性

曲げモーメントによる曲率がはりと同じになるようにトラス構造の高さ $h$ を定める。

$$1/\rho = M/EI \cong 2\delta/hL \quad \text{--- (2)}$$

この三つの条件に基づき、理論的な説明を行なったところ、次式が得られた。

$$A' = A/2, \quad h = d/\sqrt{3} \quad \text{--- (3)}$$

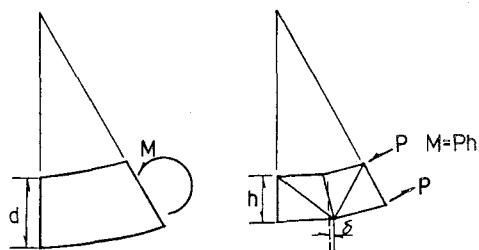
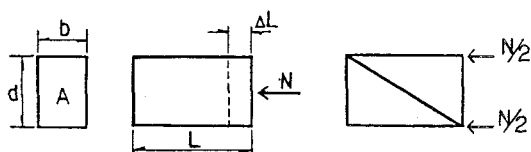


図-1 はりとトラス構造

#### 3. トラス構造モデル

数値計算を行なう上で、トラス構造として想定したモデルは図-2に示した三種類である。

(1) 軸力の等価性

図-3に示したモデルによって軸力の等価性を検証した結果、次のことが明らかになった。

① トラス部材断面積 $A'$ はすべて、はりの断面積 $A$ の $1/2$ でよいことが確認された。

② モデル2では $y$ 方向の変位が一定方向に偏る傾向があり、妥当なモデルとは考えられない。

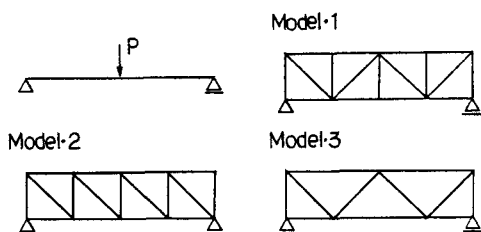


図-2 トラスモデル

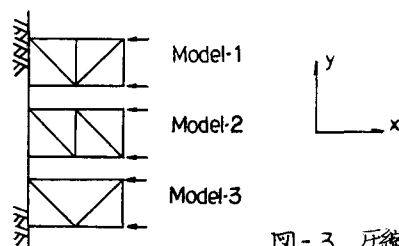


図-3 圧縮モデル

## (2) 曲率の等価性

曲率の等価性の検証に使用したモデルは、任意形状に対応しやすいモデル1のトラス構造を採用した。この検証結果から、図-4が得られた。この図から以下のことがわかる。

はりの高さ $d$ とそれに等価なトラス構造の高さ $h$ の換算比率 $h/d$ は要素分割数 $n$ と1ユニットの細長比 $d/L$ の関数になるが、

- ① 同一分割数のモデルでは細長比 $d/L$ が大きくなるにしたがい、換算率 $h/d$ も大きくなる。
- ② 要素分割数 $n$ を大きくすれば、細長比 $d/L$ に関係なく一定の換算率に収束し、これは理論的に求めた値の $1/\sqrt{3}$ とほぼ一致する。

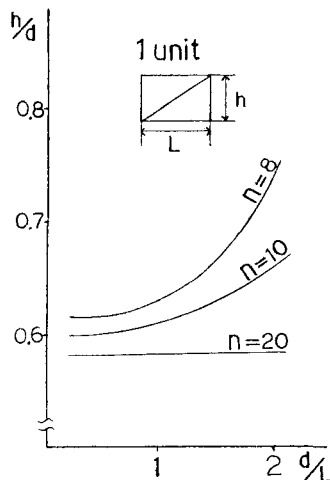


図-4 換算率と細長比の関係

## 4. 円形アーチへの適用

等価断面積 $A$ と図-4から得られる換算率 $h/d$ を用いて円形アーチをトラス構造に置換し、曲げモーメント、軸力、せん断力および各節点の変位について検証を行なった。想定したアーチとそれに対応するトラスモデルは図-5に示す。曲げモーメントと変位について、はりの解析解と比較した結果を図-6, 7に示す。

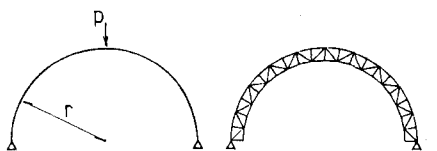


図-5 円形アーチ

$r = 3.18 \text{ m}$   
 $d = 10 \text{ cm}$   
 $E = 1000000 \text{ kg/cm}^2$   
 $(9.8 \times 10^9 \text{ kg})$   
 $P = 1 \text{ t}$   
 $(9.8 \times 10^3 \text{ kg})$

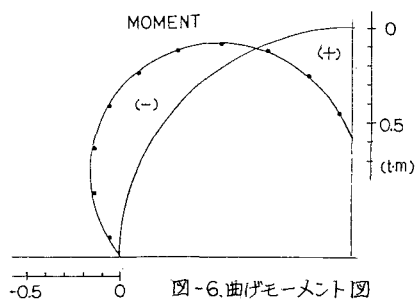


図-6 曲げモーメント図

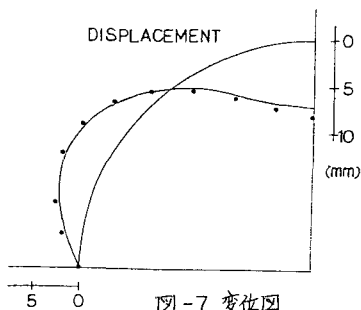


図-7 変位図

※ — は厳密解  
 ・ は算出値

## 5. まとめ

- 1 有限要素計算では、要素分割を十分細かくすれば精度の良い解が得られるのは周知のとおりであるが、計算の効率上、要素分割を粗くする場合は、前述の換算表によってはりと等価なトラス構造が得られた。
- 2 吹付コンクリートおよび覆工コンクリートのモデル化にこのトラス構造を用いることは可能であると考えられる。

## 謝辞

このラティスワークについて御助言を賜わった、スイス・ローザンヌ大学、P. EGGER 博士に厚く感謝の意を表します。