

受働荷重の発生を考慮したトンネル覆工応力の一計算法

信州大学工学部 正 員 長 尚

1. まえがき

トンネルの支保工の場合と同様に、覆工の設計々算法はまだ確立されていない。その主な理由は、覆工に作用する荷重（主働荷重および受働荷重）の把握が困難であることと、覆工の構造系の設定が不明確であることなどが考えられる。現在試みられている、幾つかの設計々算法は、上記の問題点に対して、それぞれ仮定が設けられており、それらを分類すると、表-1のようになる。本文は、この表の4に属する一計算法について述べる。

2. 計算法

弾性固定アーチとしての計算法は、先に筆者が提案した方法によるものとする。これは、支点の反力に比例した支点変位があるものとし、支点の変位性状を示すパラメーターに反力係数を用いたものである。次に、受働荷重は、覆工の内側への変位の一部に比例して発生する未知量

表 - 1

	主働荷重	受働荷重	構造系	計算法
1	既知(仮定)		固定アーチ	固 解 アーチの計算
2			弾性固定アーチ	アーチの計算
3			有限要素の集り	有限要素法
4	既知(仮定)	地山側の変位に比例して発生するものとする。	弾性固定アーチ	アーチの計算
5			有限要素の集り	有限要素法
6	トンネルより十分離れた周辺地山に作用する荷重を既知とする		周辺地山も含む有限要素の集り	有限要素法

であるとして次のように扱う。図-1に、支点も反力の大きさに応じて変位すると考えた、覆工の変位前と変位後の状態を示す。覆工の任意点の受働荷重 P_i は、覆工の軸線に対して法線方向に発生するものと仮定し、その大きさは、その点の地山方向への変位 δ_i が、ある値 δ_0 以上になった場合、 $\delta_i - \delta_0$ に比例したものであるとし、その比例常数を K_i とする。すなわち、

$$P_i = \begin{cases} K_i (\delta_i - \delta_0) & \delta_i > \delta_0 \\ 0 & \delta_i \leq \delta_0 \end{cases} \quad (1)$$

と表わす。ここに変位 δ_i は山側への方角への変位を正とする。一斉、この変位 δ_i は、覆工の任意 j 点の主働荷重を A_{ij} , A_{jj} , 受働荷重を P_j とすれば、

$$\delta_i = \sum_j (A_{ij} \bar{\delta}_{ijx} + A_{jj} \bar{\delta}_{ijy} + P_j \bar{\delta}_{ijy}) \quad (2)$$

と表わすことができる。ここに、 $\bar{\delta}_{ijx}$, $\bar{\delta}_{ijy}$, $\bar{\delta}_{ij}$ は j 点のそれぞれ x , y , 法線方向に単位の荷重が作用したときの i 点の法線方向山側への変位である。式(1), (2)より、次式を得る。

$$-\frac{P_i}{K_i} + \sum_j P_j \bar{\delta}_{ij} = -\sum_j (A_{ij} \bar{\delta}_{ijx} + A_{jj} \bar{\delta}_{ijx}) + \delta_0 \quad (3)$$

この式において、主働荷重および δ_0 は既知量であり、 $\bar{\delta}$ については、予め求めておくことができる。

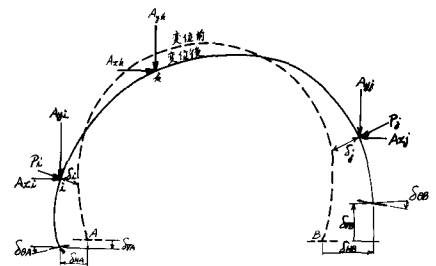


図 - 1

るから、未知量は受働荷重だけである。ところで未知量の数は、 $\delta_i > \delta_0$ の成立する個所の数と同じであり、式(3)も $\delta_i > \delta_0$ の成立する個所で作れるから、その数は未知量の数と一致する。したがってそれらを連立に解けば受働荷重が求まり、覆工の応力が計算できることになる。ただし、予め受働荷重の発生する点はわからないから、式(3)によりできた連立方程式を解くにあたっては、繰り返し演算をする必要がある。なお $\bar{\delta}$ の計算には、支点の変位の影響を加味した次式を用いる。

$$\bar{\delta}_{ij} = \int \frac{M_i M_j}{EI} ds + \int \frac{N_i N_j}{EA} ds + \bar{N}_i \delta_{0A} + \bar{N}_j \delta_{0B} + \bar{H}_i \delta_{0A} + \bar{H}_j \delta_{0B} + \bar{V}_i \delta_{0A} + \bar{V}_j \delta_{0B} \quad (4)$$

ここに、 $\bar{M}_i$ 、 $\bar{N}_i$ 、 $\bar{H}_i$ 、 $\bar{V}_i$ は i 点に単位荷重が山側の向きに作用したときに発生する、曲げモーメント、軸力、支点の反力曲げモーメント、水平反力、垂直反力である。

3. 計算例

図-2に示すような、覆工の片側半分は 45° 傾斜荷重 (2.5m 垂直ゆりめ荷重に相当) が作用した場合についての計算例を図-3、4に示す。なおこの計算において支点の反力係数はすべて 500 kg/cm^2 とし、荷重の作用点は、覆工を 19 等分した、内部の 18 点とした。また $K = 2 \text{ t/m}$ (反力係数で表現するとは 60 kg/cm^2 に相当する) を用いた。図-3は曲げモーメントと、受働荷重と、図-4は上下縁応力を示す。何れも、地山の拘束力が生ずるための変位量 δ_0 を ∞ 、 1 mm 、 0 とした。これらの図から、地山が覆工の変位を拘束することにより、覆工に発生する曲げモーメントが減少し、応力が非常に小さくなっていることがわかる。またその場合、覆工と地山とが密着していないと、支保工の場合と違って覆工の変形剛性が大きいから、受働荷重は余り発生しない。

今後本計算法によって、実状に即した覆工の構造、反力係数、拘束係数、空隙 (δ_0)、主働荷重などの色々な場合について計算して、覆工の構造性状について吟味し、覆工設計のための資料を得たいと念願している。

参考文献 1) 長, 長友, 村上: トンネルの鋼アーチ支保工の解析, 土木学会論文報告集第165号, 1969

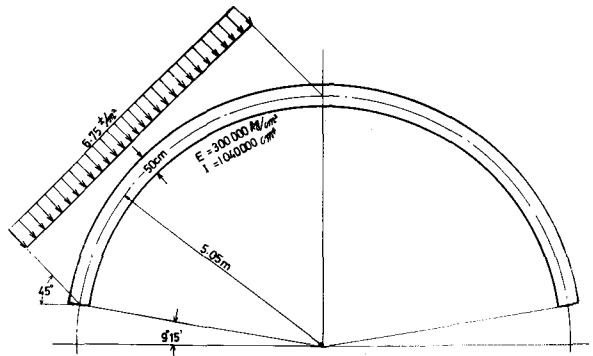


図-2

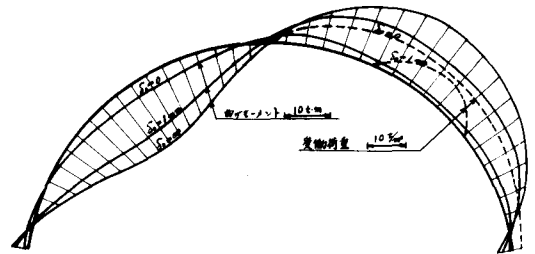


図-3

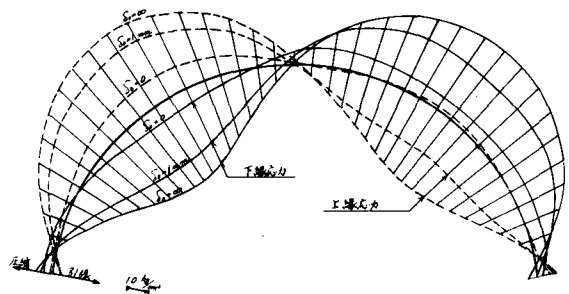


図-4