

# 小土被り山岳トンネルの覆工設計における地盤反力係数の算定方法に関する一考察

国立研究開発法人 土木研究所 正会員 ○日下敦, 岸田展明, 砂金伸治

## 1. はじめに

山岳トンネルの覆工の設計を行う場合、覆工をはり要素で、周辺の地山を地盤反力バネでモデル化する、いわゆるはりバネモデルが用いられることが多い。地盤反力バネの設定にあたっては、地山の弾性係数等をもとに地盤反力係数を算定し、バネ1本あたりの分担面積を乗じてバネ定数とするのが一般的である。しかしながら、土被りが小さい場合や急な斜面に近接している場合等においては、覆工の変形に対して地山からの反力が小さくなる部分が存在すると考えられ、それらの影響を地盤反力係数の算定において考慮する必要があると考えられる。一方で、その手法は確立されておらず、地盤反力係数の設定が困難となる場合がある。本研究では、このような場合の地盤反力係数の設定について、数値解析を用いて考察する。

## 2. 数値解析の概要

図-1に、数値解析の概要を示す。解析は三次元有限差分法によるものとし、トンネル軸方向の変位を固定することで平面ひずみ状態とした。トンネルは直径  $D = 10\text{m}$  の円形とした。本研究では、トンネル壁面が地山側に変形した際の変位と反力の関係のみに問題を極力単純化するため、覆工と地山の相互作用の影響を除去できるように、覆工や支保工はモデル化していない。

地山は、弾性ソリッド要素でモデル化し、比較的軟質なもの想定してヤング係数  $100\text{MPa}$ 、ポアソン比  $0.4$  とした。なお、数値解析により地盤反力係数を求める場合は、ポアソン比等の影響を受けることが知られている<sup>1)</sup>。

側方および下方の地山の境界に関しては、トンネル壁面からの距離を  $5D$  としたうえで、変位を固定とした。上方の地山とトンネル壁面の距離(土被り)  $H$  は、 $5D$  または  $1\text{m}$  とした。なお、 $H = 5D$  のケースについては、上方の境界の変位を固定しており、無限の地山をモデル化したものである。また、急な斜面に近接している場合の検討は、 $H = 1\text{m}$  のモデル全体を回転させ、変位を拘束していない面を斜面と見なすことで、同様に論じることができると考えた。

荷重は、着目位置  $\theta$  および  $\theta + 180^\circ$  の位置に、載荷幅  $\omega = 30 \sim 150^\circ$  で載荷圧  $p = 1\text{MPa}$  とし半径方向外側に向けて作用させた。なお、荷重の条件は、覆工の変形モード等に応じて設定するのが合理的と考えられるが、ここでは簡便のため、覆工の両側に受働領域が発生するモードを仮定することとした。

この時の着目位置の半径方向の変位を  $\delta$ 、その近傍の地山の要素における半径方向の応力を  $\sigma$  とし、それらの商として地盤反力係数

$$K_n = \sigma / \delta \quad (1)$$

を算定した。

なお、覆工の設計において一般的に用いられる地盤反力係数の算定式の例として、道路橋示方書下部構造編<sup>2)</sup>や Muir Wood<sup>3)</sup>による地盤反力係数(算定式は表-1 参照)も参考値として併せて示す。

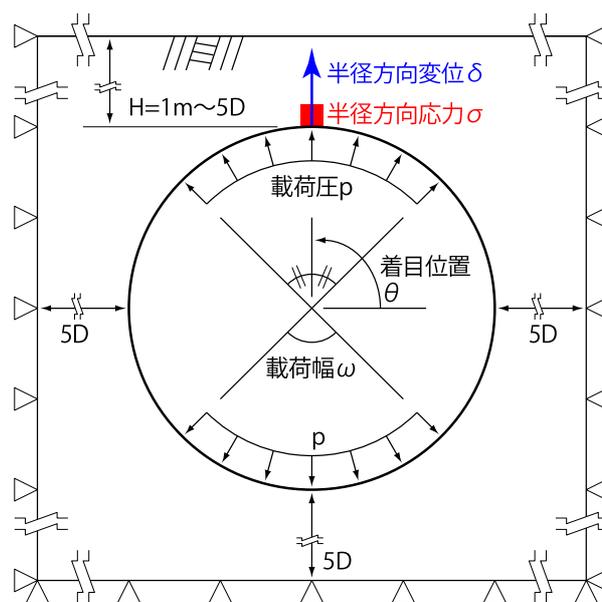


図-1 数値解析の概要

キーワード 山岳トンネル, 覆工, 地盤反力係数, 数値解析

連絡先 〒305-8516 つくば市南原 1-6 (国研) 土木研究所 道路技術研究グループ(トンネル) TEL 029-879-6791

表-1 覆工の設計に利用される地盤反力係数算定式の例

算定方法	算定式	本研究で用いた係数値
道路橋示方書下部構造編 (道示)	$K_n = \frac{1}{0.3} \alpha E \left( \frac{B_v}{0.3} \right)^{-\frac{3}{4}}$	$\alpha$ : 変形係数推定法に応じた係数 (= 1) $E$ : 地山の変形係数 (= 100 MPa) $B_v$ : 載荷幅 (= $D = 10$ m)
Muir Wood による式 (M.W.)	$K_n = \frac{3E}{(1+\nu)(5-6\nu)R}$	$E$ : 地山の変形係数 (= 100 MPa) $\nu$ : 地山のポアソン比 (= 0.4) $R$ : トンネル半径 (= $D/2 = 5$ m)

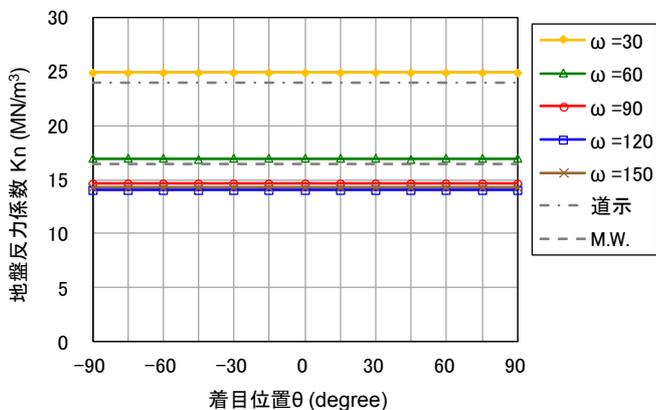


図-2  $H = 5D$  (土被り $\infty$ 相当) の場合の地盤反力係数

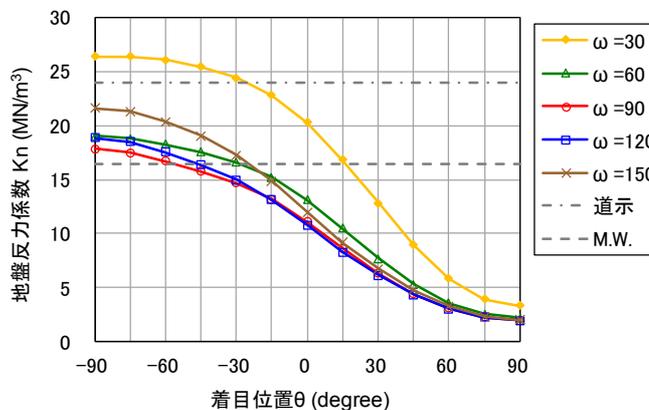


図-3  $H = 1$  m の場合の地盤反力係数

### 3. 解析結果

図-2に、 $H = 5D$  (土被り $\infty$ 相当) の場合の地盤反力係数を示す。同図によると、地盤反力係数は載荷幅 $\omega$ の影響を受け、 $\omega$ が小さい場合は大きな地盤反力係数を示す傾向にあることが分かる。これは、載荷幅によってトンネルの変形モードが異なり、同一の載荷圧で荷重を加えたとしても変形が異なるためと考えられる。すなわち、地山が受働側となる範囲によって、それに応じた地盤反力係数を設定する必要があることを示唆している。覆工の設計においては、荷重のモード等によって地山が受働領域となる箇所や範囲が異なるため、条件設定によって覆工の変形モードが大幅に変化する場合は、それに応じた地盤反力係数の設定が必要であるとされる。

図-3に、 $H = 1$  m の場合の地盤反力係数を示す。いずれの載荷幅においても共通しているのは、着目位置 $\theta = 90^\circ$  付近においては、土被りが小さいことの影響が顕著に表れ、道路橋示方書や Muir Wood の式で算定した地盤反力係数よりもかなり小さな値となっていることである。これは、土被りが小さい、あるいは急な斜面に近接しているなどの条件により、覆工の変形に対して地山からの反力が小さくなると想定される場合には、それに応じた地盤反力係数の設定が覆工の設計において必要であることを示唆している。

### 4. おわりに

本研究では、土被りの小さいトンネル等の覆工の設計における地盤反力係数の設定について、数値解析の結果をもとに考察した。その結果、条件設定によって覆工の変形モードが大幅に変化する場合は、それに応じた地盤反力係数の設定が必要であることが示唆された。また、土被りが小さい、あるいは急な斜面に近接しているなどの条件により、覆工の変形に対して地山からの反力が小さくなると想定される場合には、それに応じた地盤反力係数の設定が覆工の設計において必要であることも示唆された。

なお、一般的な覆工の設計においては受働側のバネ定数を一定とする場合が多いが、覆工背面に空洞や堆積物がある場合や、軟弱な地山の場合、地山のアーチ効果が期待できない場合等においては、地盤反力バネとして非線形性を考慮すると合理的になる可能性もあり、今後の検討課題と言える。

### 参考文献

- 1) 真下英人, 砂金伸治, 木谷努: 山岳トンネルの構造解析手法に関する一考察, トンネル工学報告集, 第 15 巻, pp.107-114, 2005.
- 2) (公社)日本道路協会: 道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説, 改訂版, 2012.
- 3) Muir Wood, A.M.: The circular tunnel in elastic ground, *Geotechnique*, Vol.25, No.1, pp.115-127, 1975.