

大断面シールドトンネルにおける地盤反力係数の検討

(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○津野 究 仲山 貴司 藤田 輝一
船越 宏治 木下 果穂

1. はじめに

鉄道シールドトンネルの設計では、トンネルが地盤ばねに支持されるものと考え、「トンネル半径方向の地盤反力係数 $k_r \times$ トンネル半径 R_c 」の値の設定においては、Muir Wood, A.M.の理論解が用いられている¹⁾。

$$k_r = \frac{3E_0}{(1+\nu)(5-6\nu)R_c} \quad \text{式(1)}$$

ここに、 E_0 ：裏込め注入の剛性を考慮した換算変形係数、 ν ：ポアソン比

これは、無限弾性体内にある円孔について、掘削面の土中応力が全て解放された状態を仮定し、楕円変形時の応力関数を用いて求めた半径方向応力 σ_r と半径方向変位 u_r の関係から定式化したものである。式(1)を用いると、トンネル半径 R_c が大きくなると変位も相対的に大きくなり、地盤反力係数 k_r は小さくなることになる。しかし、実際は、セグメント覆工の剛性は径に応じて相応に確保されている等の理由から、トンネル半径 R_c が大きくなっても変位の増加量は小さいと考えられる。このため、設計で想定している「素掘り変位」は「実際の変位」よりも大きく、地盤反力係数 k_r は小さな値となっていると考えられる(図1)。

そこで、本報では、大断面シールドトンネルを対象に、変位レベル依存性を考慮して地盤反力係数を補正する方法を検討した。

2. 変位レベル依存性を考慮した地盤反力係数の補正

(1) 地盤反力係数の補正方法

トンネル半径 R_c と変位 u の関係を図2に示す。素掘りの変位については、式(1)で用いた弾性理論より、トンネル半径 R_c に比例すると仮定できる。一方、実際の変位については、これまで計測事例等が十分蓄積されておらず根拠がないものの、大断面になってもある程度変位が抑制されると考えられる。そこで、トンネル半径 R_c と実際の変位の関係を指数関数で仮定する。また、素掘りの変位と実際の変位とが交わる半径を、基準半径 R_s とする。

素掘りの変位は、基準半径 R_s に対する変位を u_s とすると、式(2)で表せる。

$$u = \frac{u_s}{R_s} R_c \quad \text{式(2)}$$

また、「実際の変位」は次式となる。

$$u = \frac{u_s}{R_s^n} R_c^n \quad \text{式(3)}$$

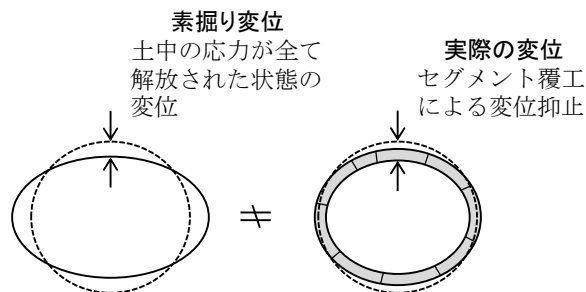


図1 素掘り変位と実際の変位の概念図

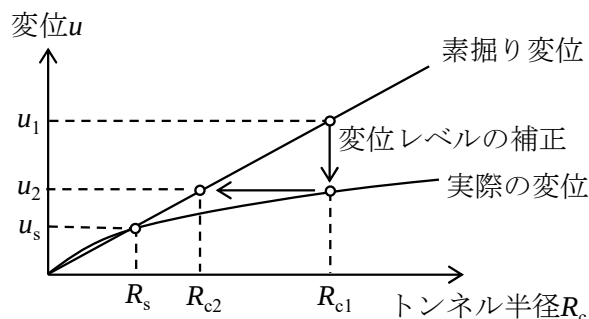


図2 トンネル半径と変位の関係

キーワード シールドトンネル, 設計, 地盤反力係数

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL042-573-7266

ここで、地盤反力係数の補正方法として、式(1)で算出した地盤反力係数に地盤修正係数 $\rho_{gk}^{(2)}$ を乗じることで、補正を行うことを考える。図2でトンネル半径 R_{c1} の場合を考えると、地盤修正係数 ρ_{gk} は、素掘りの変位 u_1 を実際の変位 u_2 を補正するものであり、次式のようになる。

$$\rho_{gk} = \frac{u_1}{u_2} = \left(\frac{R_c}{R_s} \right)^{1-n} \quad \text{式(4)}$$

(2) 地盤反力係数の補正例

地盤反力係数の補正にあたっては、「トンネル半径 R_c と実際の変位の関係（指数関数）」と「基準半径 R_s 」を設定する必要がある。

前者については、明確な根拠がないのが実情であるが、既往の文献³⁾に示されている「従来の実績では、電力などの中小口径のトンネルの場合に直径の1/100程度、鉄道などの大口径の場合に1/200程度とされた例がある」という記述をもとに、トンネル半径 $R_c=1.5\text{m}$ で変位15mm、トンネル半径 $R_c=5\text{m}$ で変位25mmを満足する指数関数を設定した。この場合、 $n=0.42$ となる。基準半径 R_s は、鉄道の設計標準¹⁾で設計事例の多い単線シールドトンネルを想定して3.5mとした。この場合、以下の関係式が得られる。

$$\rho_{gk} = 3.5^{0.42-1} \cdot R_c^{1-0.42} = 0.48 R_c^{0.58} \quad (R_c > 0.35\text{m}) \quad \text{式(5)}$$

式(1)を式(5)で補正することにより、地盤反力係数 k_r はトンネル半径 R_c の-0.42乗となる。

裏込め注入と接する地盤の変形係数 E_{0g} を 7000kN/m^2 としたときの地盤反力係数の補正例を図3に示す。この結果、トンネル半径 $R_c=7\text{m}$ においては地盤反力係数が1.5倍程度になることが分かった。

(3) 試設計例

図4の条件について、地盤反力係数を補正する場合としない場合について、鉄道の設計標準¹⁾による試設計を行った。設計条件は砂質土であるため、土水分離を適用した。これより、表1のように、地盤反力係数の補正を行うことで断面力が低減し、応力度／許容応力度も低減していることが確認できた。

3. おわりに

今回、大断面シールドトンネルの地盤反力係数を対象に、変位レベル依存性を考慮した補正方法を提案した。ただし、現場計測結果との比較を行う必要があると考えており、今後計測事例が蓄積されることが望まれる。

参考文献

- 1) 旧運輸省監修，鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（シールドトンネル），pp.142, 1997.
- 2) 国土交通省監修，鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（基礎構造物），2012.
- 3) 土木学会：2006年制定トンネル標準施工方書シールド工法・同解説「第5編 限界状態設計法」についての条文制定に関する資料と設計計算例，pp.24, 2006.

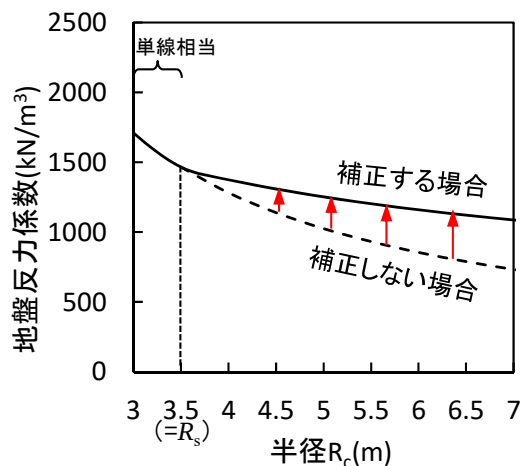


図3 地盤反力係数の補正例

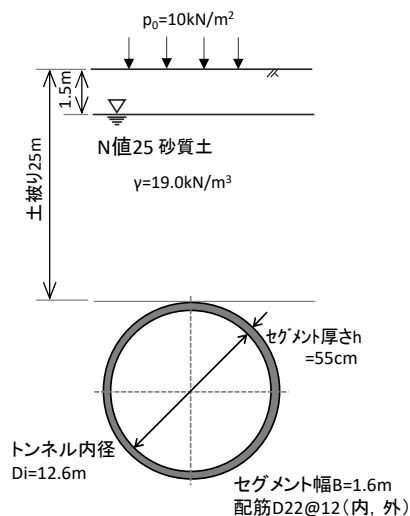


図4 試設計の条件

表1 試設計の結果

				補正なし	補正あり
地盤反力係数 k_r [kN/m ³]				4210	3020
設計曲げモーメント[kN・m]		本体		955.5	836.0
		継手		812.4	725.7
設計せん断力 [kN]		本体		303.2	266.2
		継手		286.4	257.6
許 容 応 力 度 と の 比 較	本体	曲げ	コンクリート	0.89	0.80
			鉄筋	0.63	0.41
		せん断		0.70	0.58
	継手	コンクリート		1.07	0.95