

硬質地盤における円形トンネルの設計法に関する一考察（その2）

－ 側方土圧係数 λ と地盤反力係数 k の感度分析－

パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 ○清水 幸範
 パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 岡嶋 正樹
 パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 田作 裕輔

1. はじめに

一般に、都市部におけるトンネルの建設には、工事費の縮減、工期の短縮、周辺環境へ与える影響の抑制等の観点からシールド工法を適用することが多い。しかしながら、今後の地下開発を考えると都市部の地下の中浅深度の領域はすでに満杯の状態にあることから、トンネルの建設深度はさらなる大土被り化の傾向を示すことは想像に難くなく、またこれらの領域には洪積世の硬質地盤が堆積していると予測できる。このような場合には、シールド工法にかわって、併進工法や一次覆工と二次覆工の両者を無筋コンクリート構造とする SENS 工法¹⁾の適用性が高まるものと考えられる。

硬質地盤中のトンネル覆工に無筋コンクリートを適用する場合の設計は、例えば、トンネル標準施工書²⁾、併進指針³⁾、鉄道標準シールドトンネル編⁴⁾等を参考にして行うと考えられるが、これらの基準類は比較的軟弱な地盤を念頭においていること、都市トンネルを無筋コンクリートのみで構築した事例が少ないこと等から、その設計法が明確になっていないのも実状である。

以上を踏まえて、本稿では、硬質地盤中の覆工に無筋コンクリートを適用する円形トンネルを対象として、側方土圧係数 λ や地盤反力係数 k をパラメータとした感度分析を行い、これらの設定が覆工の安全性に与える影響について考察することとする。

2. 感度分析の条件

感度分析は、図-1 に示すように硬質地盤中の鉄道複線クラスの円形トンネルを対象として行った。硬質地盤中においても比較的土被りが小さい場合を CASE1、土被りが大きい場合を CASE2 として設定しトンネルの深度に応じた地盤の変形係数の相違を考慮することとした。地盤反力係数 k は、上述の文献 2)～4)に示される目安値を用いる場合と、地盤の変形係数 E から算出する場合を想定することにした。表-1, 2 に感度分析に用いた諸条件を示す。

表-1 地盤の物性値

地層	γ kN/m ³	c kN/m ²	ϕ deg	E kN/m ²
B	16	15	0	7,000
Km, Ks	19	110	35	60,000
Km	18	1,500	0	390,000

*感度分析は併進指針に示される慣用荷重系を用いフレームモデルにより実施した。

*表-1 の数値は東京近郊のボーリングデータ及び土質試験の結果を参考に定めたものである。

表-2 解析ケースと地盤反力係数

	対象層	E (kN/m ²)	k (MN/m ³)	k 算出方法
CASE1-1	Km, Ks 互層	60,000	86.3	A 式
CASE1-2	Km, Ks 互層	60,000	9.1	B 式
CASE1-3	Km, Ks 互層	60,000	50.0	目安値
CASE2	Km	390,000	561.2	A 式

$$A \text{ 式} : k = 1/12 \cdot E \cdot D_0^{-1/4} \cdot \delta^{-1/2}$$

文献 3)より

ここに、 D_0 : 覆工外径、 δ : 覆工の変形量 $=0.1\%D_0$

$$B \text{ 式} : k = 3E / \{(1+\nu) \cdot (5-6\nu) \cdot R_c\}$$

文献 4)より

ここに、 ν : 地盤のポアソン比、 R_c : 覆工の図心半径

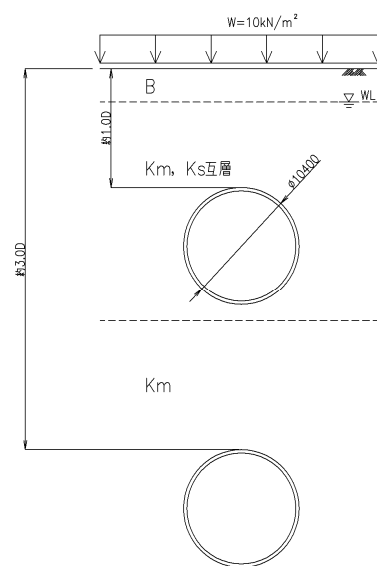


図-1 検討断面の概念図

キーワード 側方土圧係数、地盤反力係数、感度分析、SENS 工法

連絡先 〒163-0730 東京都新宿区西新宿 2-7-1 パシフィックコンサルタンツ(株)交通技術本部鉄道部

3. 感度分析の結果

図-2 に、側方土圧係数 λ と最大発生曲げモーメント M （正曲げ）および最大軸圧縮力 N との関係を示す。これより、地盤反力係数の相違は、軸力と比較して曲げモーメントに大きく影響することがわかる。これは軸圧縮力の最大値が覆工のスプリングライン付近に生じるため、地盤反力の影響が小さいものと考えられる。また側方土圧係数 λ が曲げモーメント M に与える影響は、地盤反力係数 k を小さく評価する方が大きくなる。すなわち、地盤の変形係数 E を同一の孔内水平載荷試験の結果から評価した場合においても、適用する設計基準により覆工に生じる断面力は大きく変わることを示唆している。

図-3 は、側方土圧係数 λ を横軸に、発生曲げモーメント M_d と終局曲げ耐力 M_{ud} との比を縦軸に示したものである。これより、トンネル標準示方書や併進指針に示される側方土圧係数の目安値 0.35~0.45 においては、地盤反力係数 k を A 式により算定しないかぎり覆工構造として成立するものの、地盤が良好であることを設計者が考慮して側方土圧係数を主動土圧係数に近い値として設定する場合、あるいは設計の安全を考慮して側方土圧係数を 0 として評価する場合には、覆工構造として成立しない可能性があることがわかる。

4. おわりに

以上より、硬質地盤中の無筋の覆工を慣用的な荷重系とフレームモデルにより設計する場合には、覆工の断面力に対する側方土圧係数 λ と地盤反力係数 k の感度は高く、これらの設定がとくに重要になることがわかった。覆工に作用する土圧や地盤反力は、掘削や覆工と地盤との相互作用の影響を受けるものであるため複雑であり、これを正確に推定するのは困難である。さらに、本検討例のように地山に直接打設する覆工コンクリートが圧力をもった状態で硬化する影響を覆工の設計に反映させる方法も定まっていない実状にある。このような場合の覆工の設計には、従来の慣用的な荷重系とフレームモデルによる解析手法を用いるのではなく、例えば FEM 系の解析手法⁵⁾を適用することも考えられる。

参考文献

- 1) 例えば、飯田他：シールドを用いた場所打ち支保 (SENS) の耐荷機構に関する研究，トンネルと地下，vol139，7，pp. 515～523，2008. 7.
- 2) 土木学会：トンネル標準示方書，シールド工法・同解説および山岳工法・同解説，2006. 7.
- 3) 日本鉄道建設公団：併進工法設計施工指針(案)，(都市トンネル編)，1992. 4.
- 4) 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，2002. 12.
- 5) 例えば、矢萩，入江他：施工過程を考慮したシールドトンネル覆工の応力計算方法，土木学会論文集，2009. 4.

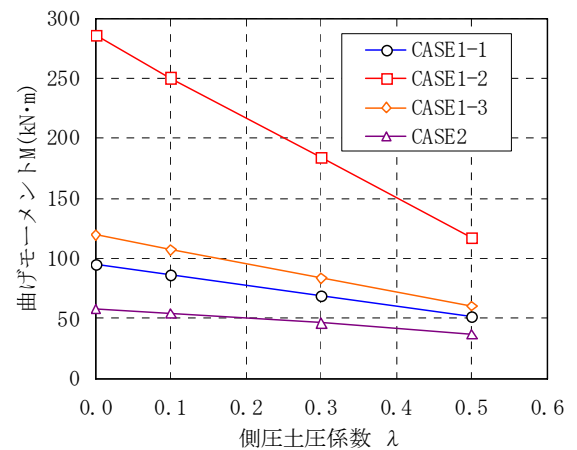


図-2 側方土圧係数と発生断面力の関係

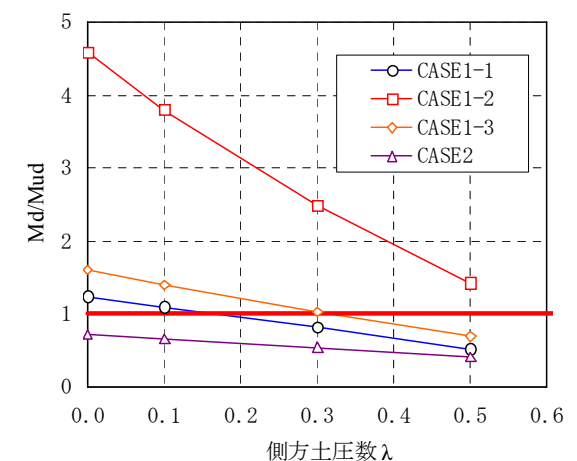


図-3 側方土圧係数と断面力/断面耐力比の関係