

有限要素法によるシールドトンネル縦断方向挙動の予測と伸縮継手目開き量について

千葉工業大学大学院 学生員 ○船越宏治 千葉工業大学 正会員 小宮一仁
 千葉工業大学 正会員 渡邊勉 日本鉄道建設公団 正会員 瀧山清美
 早稲田大学大学院 学生員 原昌成 早稲田大学 正会員 赤木寛一

1. まえがき

沈下が進行中あるいは施工後に大きな沈下が予想される地盤におけるシールドトンネル工事では、地盤沈下に伴うトンネル軸方向の変形によるトンネル崩壊を防止するために伸縮継手が設けられる。伸縮継手の目開き量は、トンネル断面径、伸縮継手間隔長およびトンネル軸方向変形による縦断方向最小曲率半径の変化量によって計算されるが、工事前に地盤沈下に伴って変形したトンネル縦断面方向最小曲率半径の変化量を局所的・定量的に予測するのは困難である。本報告は、大きな地盤沈下が発生する埋立て地盤に建設されたシールドトンネル工事を例にとり、有限要素法を利用した地盤沈下に伴うトンネル変形解析結果に基づいた伸縮継手目開き量の定量的評価法について考察したものである。

2. 解析の概要

ここでは、3次元土～水連成弾塑性有限要素法によって地盤沈下およびトンネル変形の解析を行った。図-1は解析に用いた有限要素メッシュである。弾塑性体の構成則には Cam-clay モデル⁽¹⁾を用いた。表-1に解析に用いた入力パラメータを示す。なお、地盤の土質特性には東京都下の埋立て地盤のデータを使用した⁽²⁾。解析では地表面および解析メッシュ最下面を排水境界としトンネル周面および有限要素メッシュの側面境界は非排水境界とした。また解析メッシュの最下面および側面では変位を拘束した。Ac1 および Ac2 層の平均有効応力が圧密降伏応力に等しい状態を初期状態とし、Fc 層に自重荷重を与えてトンネル完成時から15年間の解析を行った。図-1の等高線は15年経過時のシールドトンネルスプリングライン位置の沈下状況を表している。また図-2は、トンネル縦断方向の変形曲線を示したものである。

表-1 入力パラメータ

埋め土層Fc (弾性体)	$E=5000.0\text{kPa}$, $\nu=0.380$, $\gamma=1.6\text{kN/m}^3$
粘性土層Ac1	$\lambda=0.191$, $\kappa=0.017$, $k=2.0 \times 10^{-7}\text{cm/s}$, $e_0=1.25$, $\mu=1.20$, $E=5000.0\text{kPa}$, $\nu=0.333$
粘性土層Ac2 (上部)	$\lambda=0.456$, $\kappa=0.052$, $k=1.3 \times 10^{-7}\text{cm/s}$, $e_0=2.48$, $\mu=1.20$, $E=5000.0\text{kPa}$, $\nu=0.333$
粘性土層Ac2 (下部)	$\lambda=0.404$, $\kappa=0.048$, $k=1.0 \times 10^{-7}\text{cm/s}$, $e_0=2.16$, $\mu=1.20$, $E=5000.0\text{kPa}$, $\nu=0.333$
トンネル構造 (弾性体)	$E=3.0 \times 10^7\text{kPa}$, $\nu=0.380$

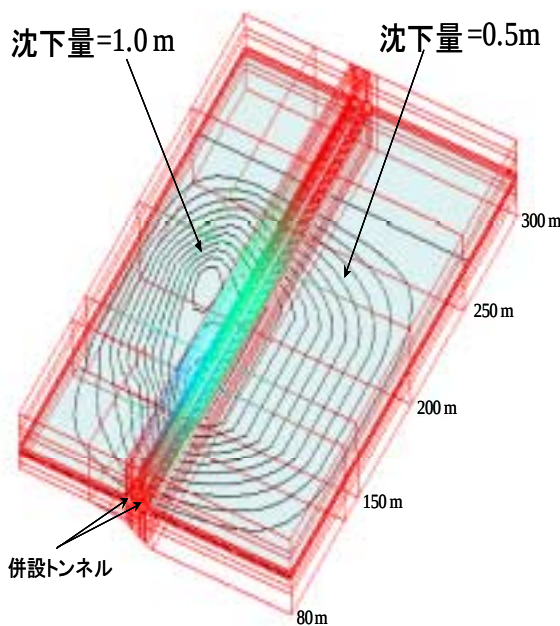


図-1 解析メッシュおよび沈下量コンタ

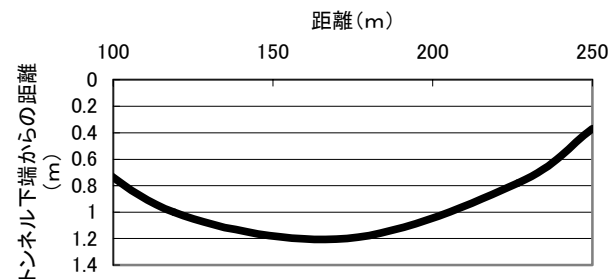


図-2 トンネル縦断方向の変形曲線

キーワード：シールドトンネル，有限要素法，沈下，伸縮継手，変形

連絡先：〒275-8588 習志野市津田沼 2-17-1 TEL 047-478-0449 FAX 047-478-0474

3. 有限要素法によるトンネル軸方向曲率半径の予測と伸縮継手目開き量の算定とトンネル防護

2. に示す有限要素法解析を用いると、トンネル変形に伴うトンネルの任意箇所での軸方向曲率半径 r の変化量を求めることができる。今、完成時のトンネルが軸方向に直線の場合 ($r = \infty$)、地盤沈下起因したトンネル変形によってトンネル軸方向の曲率半径が r となったと仮定すると、図-3を参照して伸縮継手の目開き量 b は、 ABC と CED との相似関係より、次式で計算することができる。

$$b = \frac{Lh}{\sqrt{r^2 + (L/2)^2}} \quad (1)$$

ここに、 L は伸縮継手間隔、 h はトンネル断面外径（非円形トンネルの場合はトンネル高さ）である。

また、トンネルの完成時にトンネル軸方向に既に曲率がある場合、トンネル変形量の増加に伴う伸縮継手目開き量の増加量 Δb は、初期の曲率半径 r_0 、沈下後の曲率半径 r_1 として、

$$\Delta b = \frac{Lh}{r_1} - \frac{Lh}{r_0} \quad (2)$$

この方法により、工事前に伸縮継手の目開き量を予測し設計を行うことができる。しかし、従来は地盤沈下に伴うトンネルの変形を合理的に予測することが困難であったため、既設のトンネルの中には、トンネルの変形が予測値を大きく上回り、伸縮継手の許容量を越えてしまった事例がある⁽²⁾。

また、本方法によれば、曲率半径が r_0 から r_1 に変化した場合のトンネル軸方向の曲げモーメント増加量 ΔM が次式で計算できる。

$$\Delta M = \frac{EI}{r_1} - \frac{EI}{r_0} \quad (3)$$

ここに、 EI はトンネル軸方向曲げ剛性である。

これを用いて、伸縮継手の許容量を超えることが予測された場合、図-4のようにトンネル軸方向の変形応力に耐えることができる防護プレートを伸縮継手に設置することで、トンネル破壊を防止することができる。

4. 結論

本研究は、有限要素法解析結果を用いた、沈下に対するトンネル防護を目的とした伸縮継手の目開き量の定量的な評価法を示したものである。伸縮目開き量の算定精度は有限要素法解析結果の精度に依存しているが、本方法を用いることによって、局所的・定量的な伸縮継手目開き量の評価が可能である。すなわち、予め設計段階での構造物および既設構造物の許容量を超える場所が推測できるので事前に対策法を打ち出すことができるようになる。また、既設構造物において伸縮継手の許容量を超えた場合には、防護プレートの設計が可能である。

参考文献

- (1) Roscoe K.H., Schofield A.N., Thuriranjah A. (1963) : Géotechnique, Vol.13, No.3, pp.211 ~ 255
- (2) 瀧山・小宮・赤木：軟弱地盤における地下建設技術に関するシンポジウム(2002)：地盤工学会，pp.168 ~ 173

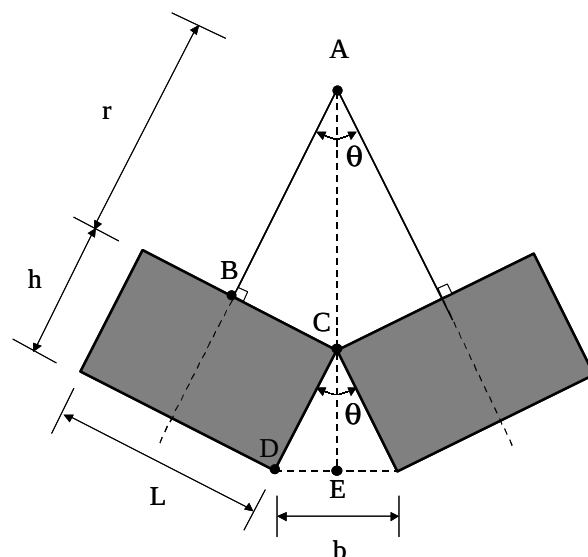


図-3 伸縮継手目開き量の関係図

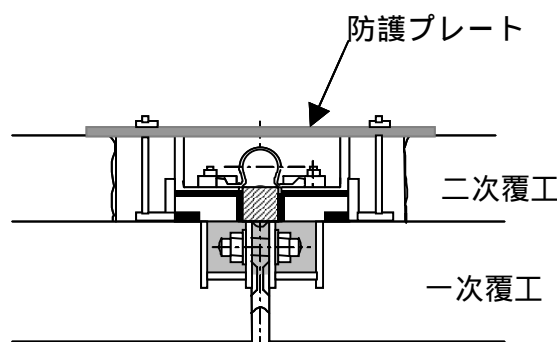


図-4 防護プレート設置例