

個別要素法を用いた併設シールドトンネルの緩み土圧に関する研究

首都高速道路公団  
日本シビックコンサルタント(株)  
(株)竹中土木

正会員  
正会員  
正会員

田嶋 仁志  
齊藤 正幸  
〇市川 晃央

正会員  
正会員  
正会員

石田 高啓  
小林 靖典  
福本 忠浩  
西村 和夫

1. はじめに

併設のシールドトンネルが近接する場合、一般的に、先行トンネルは後行トンネルの施工による地盤の応力再配分の影響を受けると考えられている。砂質地盤におけるシールドトンネルの設計は、Terzaghi の緩み土圧を基本に考えられている。しかしながら、トンネル径の 1/2 程度まで近接する場合の設計指針はあるものの、それ以上近接した場合の設計法はなく、またその現象も十分に把握されていないのが現状である。そこで、地盤内応力の再配分メカニズムを解明することを目的とし、個別要素法解析を実施するとともに、同様のモデルによる実験結果と比較検討を行った。

2. 解析概要

解析モデル(図 1)は緩み実験<sup>(1)</sup>と同様なものとし、解析は計 8 ケース(表 1)行った。個別要素法において、要素は直径が 1.6mm と 3.0mm のものを重量比 3:2 で用い、解析に用いた定数(表 2)は、事前に 2 軸試験シミュレーションを実施して定めた。

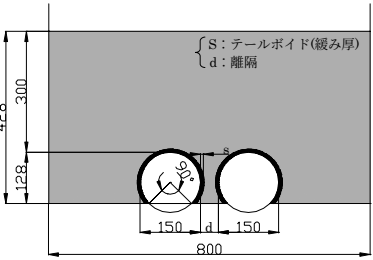


図 1 解析モデル

表 1 解析ケース

| 離隔   | 土被り | 緩み厚(mm)      |              |             |
|------|-----|--------------|--------------|-------------|
|      |     | 0.15(0.001D) | 0.75(0.005D) | 1.50(0.01D) |
| 0.2D | 2D  | ○            |              | ○           |
| 0.3D |     | ○            | ○            | ○           |
| 0.5D |     | ○            | ○            | ○           |

表 2 解析定数

| 定数名           |      |          |
|---------------|------|----------|
| バネ定数 (N/m)    | 法線方向 | 6.00E+07 |
|               | 接線方向 | 2.00E+07 |
| 粘性係数(N・sec/m) | 法線方向 | 2.70E+02 |
|               | 接線方向 | 1.60E+02 |
| 要素密度(kg/m3)   |      | 2700     |
| 要素摩擦角(deg)    |      | 16       |
| 内部摩擦角(deg)    |      | 30       |
| 要素数           |      | 96778    |
| 時間間隔(sec)     |      | 1.00E-06 |
| 解析ステップ数       |      | 5400000  |

解析手順は図 2 のように初期自重解析(Step1)を行い、先行トンネル掘削解析(Step2)、後行トンネル掘削解析(Step3)を行う。トンネル掘削の際にはトンネル要素を発生させるとともに、緩み厚分のクリアランスを確保し、解析を実施する。

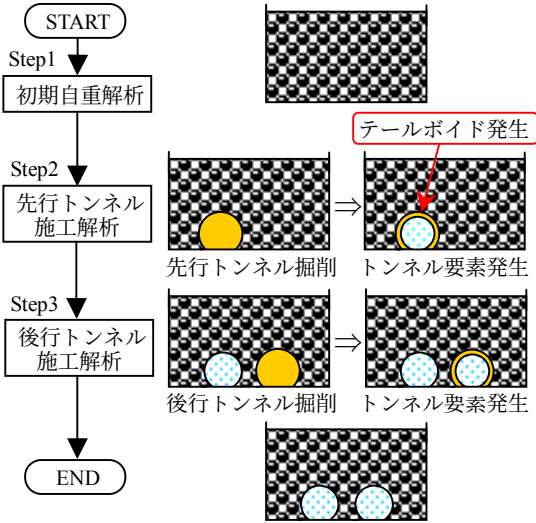


図 2 解析手順

3. 解析結果および考察

計 8 ケースの解析を実施したことにより「緩み厚の影響」、「離隔の影響」を検討した。

(1) 緩み厚の影響

離隔 0.3D、土被り 2D について以下に解析結果を示す。

① 地盤変状

図 3 に緩み厚 0.15、0.75、1.5mm の表面沈下を示す。

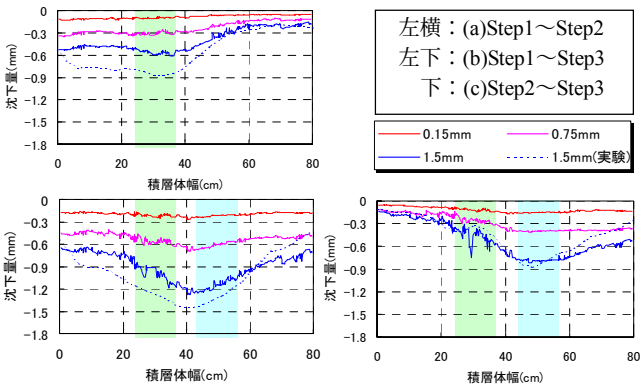


図 3 積層体表面沈下量

キーワード  
連絡先

個別要素法, シールドトンネル, 近接施工, 土圧  
〒100-8930 東京都千代田区霞ヶ関 1-4-1 首都高速道路公団 工務部設計技術課 T E L.03-3539-9464

緩み厚が大きい場合、積層体表面沈下量が大きくなる傾向が読み取れ、併設時は2つのトンネルの中央部分で最大の変位が生じた。また、緩み厚 1.5mm において、解析結果は実験結果を概ね再現しているといえる。

## ② トンネル全体に作用する土圧

トンネル周面全体に作用する鉛直土圧に関して、解析結果と実験結果を図4～図6に示す。

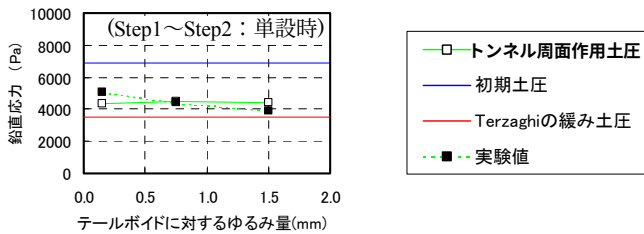


図4 先行トンネル

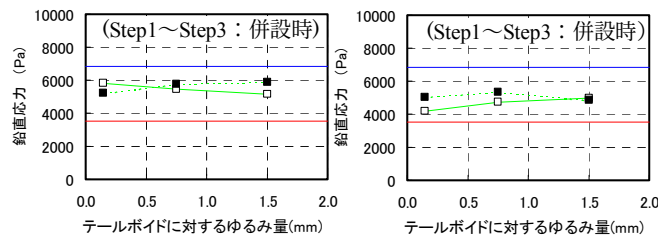


図5 先行トンネル

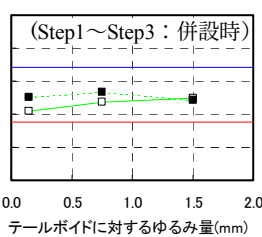


図6 後行トンネル

図4より、単設トンネル時は解析・実験ともに土圧が Terzaghi の緩み土圧よりやや大きい。図5より、解析・実験ともに後行トンネル掘削により先行トンネルは単設時に比べ併設時では土圧が増加した。また、後行トンネルは単設時の先行トンネルに作用した土圧よりもやや大きな土圧が作用し、解析では緩み厚が大きくなるにつれて土圧は増加傾向にある（図6）。

## (2) 離隔の影響

緩み厚 0.15mm(0.001D)、土被り 2D について以下に解析結果を示す。

### ① 地盤変状

図7に離隔 0.2D, 0.3D, 0.5D の表面沈下を示す。

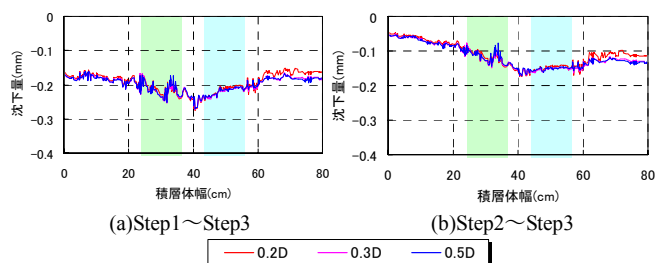


図7 積層体表面沈下量

図7より、本解析において離隔の違いによる積層体表面の沈下量の違いは顕著に現われないという結果となった。

## ② トンネル全体に作用する土圧

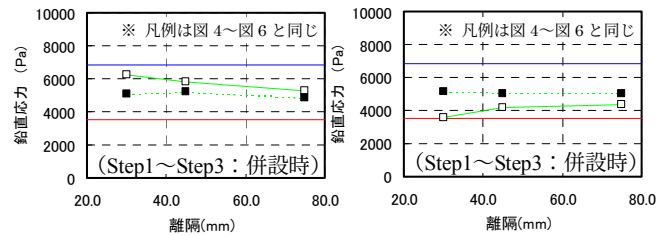


図8 先行トンネル

図9 後行トンネル

後行トンネル掘削時の離隔の影響により、先行トンネルは離隔が 0.2D:30mm から 0.5D:75mm になるにつれて土圧が減少する傾向にある(図8)。解析において、後行トンネルに作用する土圧は離隔が小さい時は Terzaghi の緩み土圧にほぼ等しく、離隔が大きい時は単設時(図4)の結果とほぼ同じ値である(図9)。

## (3) トンネル周辺の土圧分布

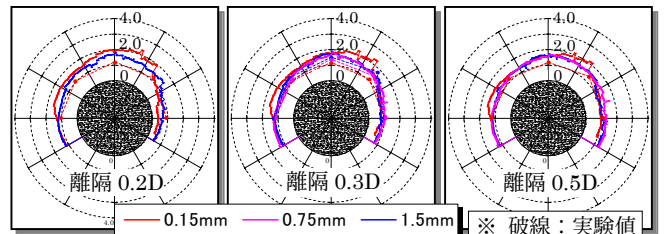


図10 先行トンネル周辺の土圧増加率(Step2~Step3)

トンネル周辺の土圧の増分比は、どのケースも顕著な差はなかった。トンネル頂部において、土圧増分比は最大で解析が約 2.0、実験が 1.5 となった。

## 4. まとめ

本研究から得られた知見を以下に示す。

**緩み厚の影響:** 解析結果と実験結果を比較すると、変位は概ね整合性を確認する事ができた。トンネル全体に作用する土圧はどのケースも Terzaghi の緩み土圧よりも大きな値となった。また、解析では緩み厚の違いが顕著に現われない結果となった。

**離隔の影響:** トンネル全体に作用する土圧に関しては、離隔が大きくなるにつれて先行トンネルに作用する土圧が減少し、応力再配分の影響が弱くなっていくと考えられる。

**トンネル周辺の土圧分布:** 解析および実験結果より、純粋な緩み現象のみでは先行トンネル周辺の土圧増加率は、約 1.2 倍から 2.0 倍の範囲にあると考えられる。

## 参考文献

- (1) 田嶋ら：併設シールドトンネルの緩み土圧に関する実験、土木学会第 58 回年次学術講演会第 3 部門(投稿中)、2003
- (2) 小坂ら：水平に近接した 2 本の円形セグメントに作用する緩み土圧、土木学会論文集 No.596/III-43,65-79、1998.6