

シールドトンネルの断層部のずれにおける損傷挙動に関する基礎的研究

大成建設株式会社 正会員 ○岸 大智
早稲田大学 正会員 岩波 基

1. はじめに

現在、日本の都市部ではトンネルの多くにシールド工法が採用されている。シールドトンネルは地震に対して強いと考えられているが、トンネルが断層を通過するような位置にある場合や立坑との接続部、急曲線部や地盤の急変部など、地震時にシールドトンネルに損傷が発生する可能性が高い箇所があることは示方書等¹⁾にも明記されている。しかし、上記の条件下にある場合に地震が発生した際に、シールドトンネルにどのような影響があり損傷が起こるのかという詳しい検討はなされていない。そこで本研究では、損傷が発生する可能性が高いとされる条件の中から、断層を通過するシールドトンネルに着目し検討を行った。非線形3次元FEM解析によって、断層が動いた際にシールドトンネルに起こる挙動の再現を行い損傷のメカニズムと破壊モードを再現した。

2. 研究対象

本研究で検討に用いた地盤やトンネルの詳細を以下に示す。

(1) 地盤条件

本研究で解析の対象とした地盤は、層厚30mの一樣地盤とし、地盤解析領域の中央部に断層を設けた。断層の影響が明確に生じる地盤が硬質地盤であること、シールドトンネルの対象地盤は沖積層と洪積層が多いことから本研究では洪積砂層を対象とした。表1に地盤の物性値を示す。

表1 地盤の物性値

地質	深さ (m)	変形係数 (kN/mm ²)	ポアソン比	N 値
砂	30	1.4×10^5	0.35	50

(2) トンネル概要

対象としたトンネルは外径9.8m、内径9.0mの地下鉄複線シールドトンネルで、セグメントは7分割である。なお、トンネル中心は検討地盤の地表面から15mに位置しているものとした。図1にトンネルの断面図を示す。

(3) 断層変位²⁾

今回の検討では断層の変位量および角度を、兵庫県南部地震の震源となった野島断層を参考に決定した。野島断層は兵庫県淡路市にあり、兵庫県南部地震の震源となった六甲・淡路島断層帯の中で最も震源に近く、最大の変位を記録したものである。この断層では縦方向に1.2mの変位が発生しており変位角は75°であることから、1.2mの変位を与え断層の傾斜角を75°とした。本研究では逆断層と正断層の2パターンで検討を行った。

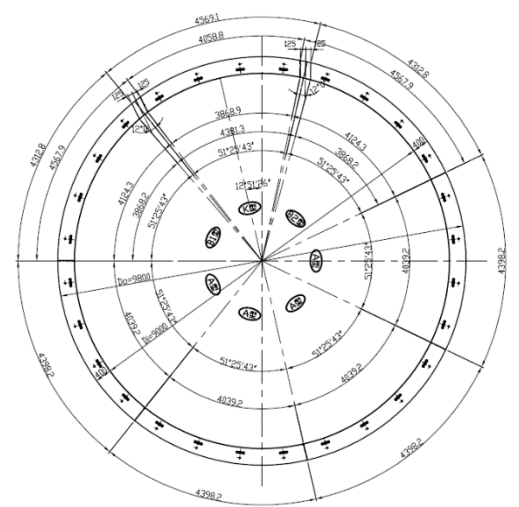


図1 トンネル断面図

3. 解析モデル

解析モデルのトンネル部分は設計図に基づき作成した。断層の影響範囲が地盤変形係数とトンネル全断面

キーワード シールドトンネル, 断層, 耐震設計, 3次元FEM

連絡先 〒225-0024 神奈川県横浜市青葉区市ヶ尾町 1162-9-412 TEL 090-7815-2819

の軸方向剛性との関係から 20m 程度の長さと考え、セグメントリング 14 リング分、トンネル延長は 22.4m とした。深さ方法は 30m、軸直角方向は 40m とした。セグメント内部の鉄筋は配筋図にしたがってモデルで表現し、セグメント間及びリング間の継手は、はり要素で再現しボルトとして物性値を与えた。表 2 にそれぞれの物性値を示す。

表 2 鉄筋とボルトの物性値

種類	ヤング率 (kN/mm ²)	降伏応力 (N/mm ²)
鉄筋	205	345
ボルト	210	480

4. 解析結果

図 2 と図 3 にトンネルの変形図を示す。断層と交差しているトンネル中央部の 2 つのリングに大きな変形が見られた。そこで、中央の 2 つのリングとその隣のリングの計 4 つのリングの継手ボルトの応力を見ると、中央の 2 つのリングはセグメント間継手が多く降伏しており、その隣の 2 つのリングはリング間継手が多く降伏していることが分かった。これらの継手部の降伏の大多数は断層変位が 0.7m になるまでに発生していた。また、降伏した順番よりトンネルの破壊の順序は次のように考えられる。最初に、断層と交差している箇所のセグメントが最初に終局状態となる。次にそのセグメントに隣接しているセグメントが終局に至り、断層変位が大きくなるに連れて、隣のセグメントへと影響が広がる。そして、変形が大きいセグメントとリング間継手で繋がっている隣のリングのセグメントが終局を迎え、トンネルの破壊に至ると推測できる。

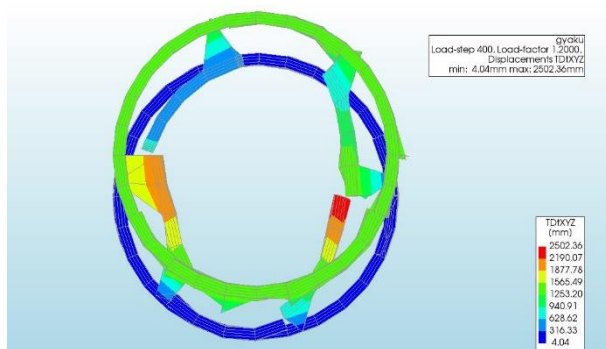


図 2 逆断層変形図

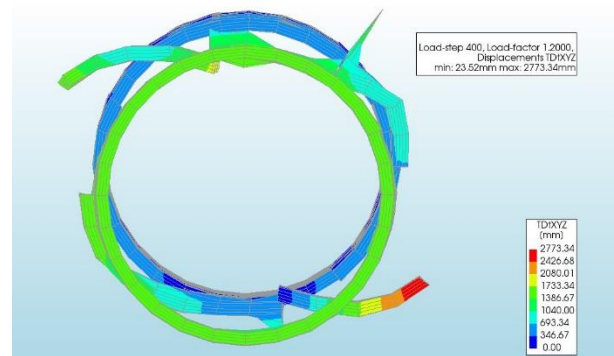


図 3 正断層変形図

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- ・トンネル中央部の断層と交差する位置付近でトンネルの変形及び継手の損傷が顕著である。このことからトンネルの破壊は局所的に発生すると考えられる。
- ・変形に比べ継手降伏の方が多く見られたことから、継手部が原因で破壊すると推察できる。
- ・断層変位が 0.7m 程度になるとシールドトンネルは破壊してしまうか、非常に危険な状態になる。

本研究の結果より、断層変位によるシールドトンネルの破壊過程が再現出来たと考えられるが、変位の与え方や地震動の入力等、より正確な挙動を再現する必要がある。また、今回は過去に発生したシールドトンネルの損傷例³⁾より継手部に注目したが、セグメント本体の影響についても検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 土木学会：トンネル標準示方書 [共通編]・同解説/ [シールド工法編]・同解説，2016
- 2) 池田安隆・東郷正美・澤祥：1995 年兵庫県南部地震に伴う野島地震断層の最大変位ベクトル，地震 第 2 輯 第 48 巻(1995)
- 3) 谷茂・斉藤正幸・荒木繁雄：中越沖地震におけるシールドトンネルの被災事例，土木学会論文集 A Vol.66 No.1, 56-67, 2010.1