

シールドトンネルの地震時挙動に及ぼすリング継手軸剛性の影響

中央復建コンサルタンツ(株) 東京本社 正会員 太田 弘次
 中央復建コンサルタンツ(株) 東京本社 正会員 勝川 藤太
 中央復建コンサルタンツ(株) 東京本社 FIC-会員 鈴木 猛康

1. はじめに

シールドトンネルのリング継手としては、省力化・施工効率向上に伴うボルトレス化、軟弱地盤に対応した高剛性化、長尺ボルト、曲がりボルトの採用等、施工上の理由から多種多様な構造が開発され、実用化されている。一方で、これら新型継手の十分な載荷試験データがないために、シールドトンネルの耐震設計にこれら継手構造の実挙動がほとんど反映されていないのが現状である。そこで本稿では、リング継手の剛性の相違によって、どの程度シールドトンネルの地震時挙動が異なるかを、地盤条件急変部のシールドトンネル対象とした数値解析によって検討したので、その結果について報告する。

2. 解析条件と解析ケース

検討対象とする地盤条件急変部は、図-1に示す硬軟地盤境界である。硬軟境界面は、水平面と45°の交角となっており、硬質地盤が $V_s=750\text{m/s}$ 、 $\gamma_t=1.9\text{tf/m}^3$ 、軟質地盤は $V_s=50\text{m/sec}$ 、 $\gamma_t=1.6\text{tf/m}^3$ とし、両者のインピーダンスのコントラストを15倍以上に設定した。シールドトンネルは、外径5050mm、桁高250mmのRCセグメント製とし、トンネル中心を地表面下10m（土被り約7.5m）とした。

解析には、軸対称FEMによる簡便なモデル化により、地下構造物と周辺地盤との相互作用を精度良く解析できる解析コード“EASIT”¹⁾を用いた。図-2に“EASIT”によるメッシュ分割を示す。トンネルの引張変形時の挙動を解析対象とし、地震荷重は0.2Gの一様震度を地盤全体に静的に作用させることとした。

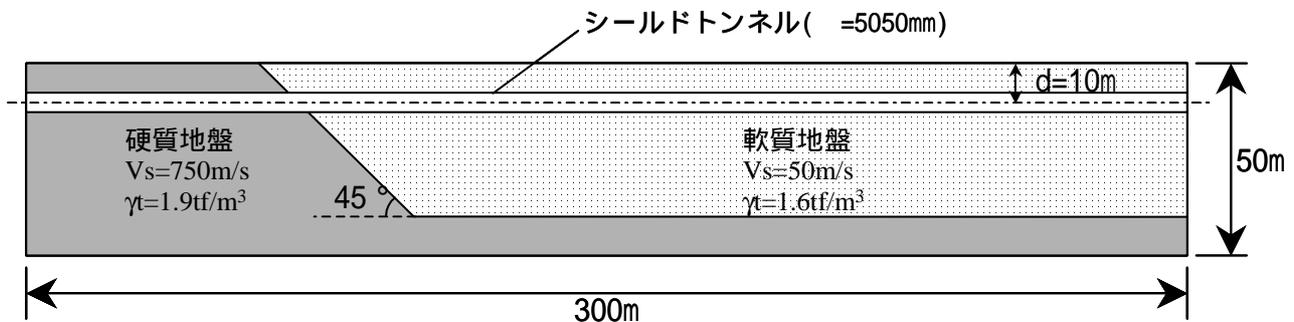


図-1 解析条件と解析モデル概要

表-1 解析ケース

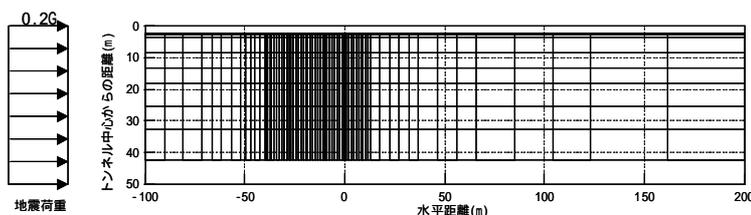


図-2 メッシュ分割と地震荷重

ケース No	等価剛性	分離型	継手構造		
			長尺	面板	高剛性
1					
2					
3					
4					
5					
6					

キーワード：耐震設計，地盤急変部，シールドトンネル，リング継手，数値解析

〒103-0011 東京都中央区日本橋大伝馬町 2-11 イワサキ第2ビル Tel:03-3669-1630, E-mail:ohta_k@cfk.co.jp

解析ケースとしては、リング継手として長ボルト、面板型、ならびに高剛性の3タイプの継手を検討対象とし、各タイプの継手を幅2cmの要素でモデル化²⁾したケースと、一様な等価剛性を有するセグメントとしてモデル化したケースの合計6ケースについて解析を実施した(表-1参照)。表-2に、それぞれのリング継手のばね定数を示す。

表-2 リング継手の種類とばね定数

分類	項目	リング継手ばね定数 Kjt (tf/m)	Ks/Kjt
長尺ボルト型		3.959×10^5	26.2
面板型		6.760×10^5	15.3
高剛性型		2.074×10^6	6.0

3. 解析結果

図-3(a)~図-3(c)は、それぞれリング継手に長尺ボルト、面板ならびに高剛性継手を用いた継手ケースについて、等価剛性モデルと継手とセグメントを分離したモデルのケースで、セグメントの引張軸力分布を比較して示したものである。図のように、セグメントに発生する引張軸力は、分離型モデルの方が等価剛性モデルより大きく、その差は高剛性、面板、長尺ボルトとリング継手の軸剛性が小さくなるほど大きいことがわかる。すなわち、耐震設計では、より大きな地震時トンネル変位の吸収を期待して、リング継手の軸剛性を小さく設計するが、継手のみが変形しようとしても周辺地盤の抵抗があるため、地盤とトンネルの相互作用の結果、セグメントとリング継手を直列ばねでモデル化した変形とはならず、セグメントには等価剛性モデルより大きな軸力が発生することとなる。

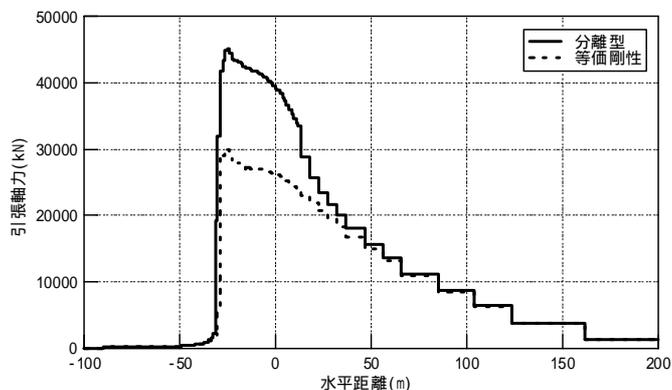
一方、3つのリング継手に発生する軸力を相互に比較すると、軸力は高剛性、面板、長尺ボルトの順に大きく、とくに施工性や軟弱地盤対策のために高剛性継手を採用すると、耐震性からはもっとも厳しくなることがわかる。

4. まとめ

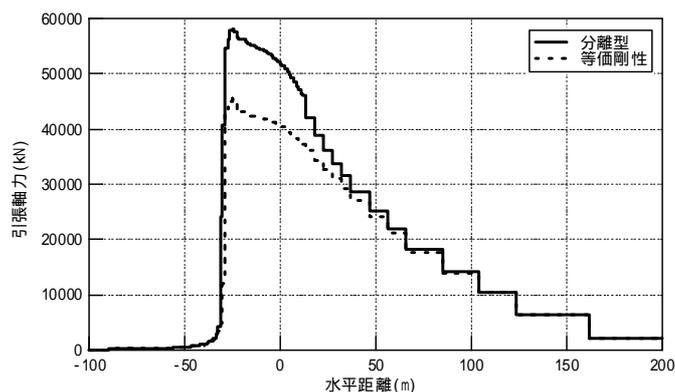
- ・セグメントに発生する引張軸力は、分離型モデルの方が等価剛性モデルより大きくなるが、その差は継手の剛性が小さいほど顕著となる。
- ・リング継手の剛性が大きいほど、発生する軸力は大きく、施工性や軟弱地盤対策のために高剛性継手を採用すると、耐震性からはもっとも厳しくなる。

<参考文献>

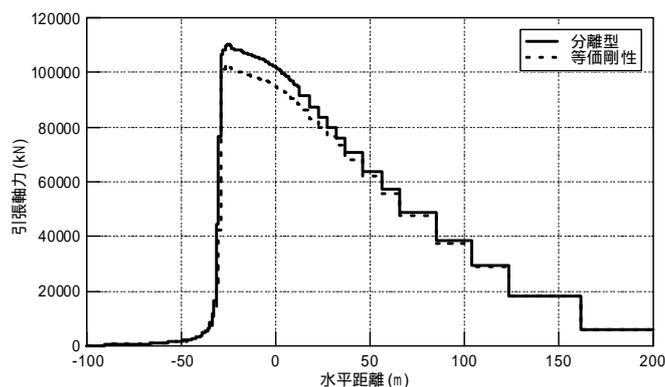
- 1) Suzuki, T.: The axisymmetric finite element model developed as a measure to evaluate earthquake responses of seismically isolated tunnels, Proc. 12WCEE, Auckland, New Zealand, 2000.
- 2) 鈴木猛康: シールドトンネル軸方向の耐震性評価に関する考察, 土木学会論文集, No.441/I-18, pp.137-146, 1992.1.



(a) 長尺ボルト



(b) 面板



(c) 高剛性

図-3 引張軸力の解析結果