

シールドトンネル縦断方向の耐震検討モデル化手法に関する一提案

大成建設（株） 正会員 ○真柴 浩*¹ 山本 平*¹ 服部佳文*¹ 立石 章*²

1. はじめに

シールドトンネル（以下、シールド）の縦断方向耐震設計においては、設計の簡便性を考慮し、これまででは正弦波の伝播を仮定した比較的簡易な手法で地盤応答を算定している¹⁾。しかし、地形・地盤条件の変化や地盤定数のバラツキの影響など、種々の条件の違いによる影響を包含するものとして設定されている為、安全性担保の程度を定量的に示すことが困難である。すなわち、過度の安全性を有する設計となる可能性もある。また、地形の変化等を考慮して、バネ質点系モデルによる動的解析も行われているが、モデルが単純化されていることや、バネ値や質量の設定方法が煩雑であるなどの問題がある。

近年、レベル2地震まで安全性を担保した設計を求められており、合理的な設計手法を用いることが、経済的な設計を行う上で非常に重要となっている。しかし、安全性の程度を定量的に把握出来ない従来の手法においては、合理的な設計を目指すことは難しい。そこで、最近では対象となるシールド縦断範囲の地盤をFEMにてモデル化し、等価線形解析や逐次非線形解析等による地盤応答解析を行い、その結果得られる地盤の等価剛性や応答変位を用いて、梁バネモデルでモデル化したシールドを応答変位法にて解析する時刻歴応答変位法も行われている。この方法では、地盤のモデル化と構造のモデル化を明確に分けているため、安全性の程度を定量的に把握する事は比較的容易である。従って、設計フローとしては今後もこの様な方法が用いられると考えられるが、更なる合理的な設計に向けて、地盤モデル、構造モデル共に実現象を極力再現でき、かつ簡易な手法が求められる。

そこで本稿では、シールド縦断方向の耐震検討に、時刻歴応答変位法を用いて構造耐力および止水性の検討を同時に行う場合の比較的簡易なモデル化手法、特にシールドの剛性評価方法及び立坑との接続部のモデル化方法についての提案を行う。

2. 縦断方向耐震設計に要求される照査内容及び従来検討手法の問題点

シールドの縦断方向耐震検討では、通常耐荷性能及び止水性能の照査が求められる。耐荷性能照査はセグメント及び継手に対して行い、止水性能照査は継手の目開きに対して行う。シールド全線に渡る照査を行うことから、一般部のみならず立坑との接続部に対しても検討を行う必要がある。

レベル2地震時の検討では、リング継手の降伏は許容するものの、止水性は確保するという性能を要求される事が多い。従来のモデル化では、シールドの軸剛性と曲げ剛性をそれぞれ独立に考慮し、軸剛性は圧縮と引張で異なる剛性を定め、曲げ剛性は等価曲げ剛性を用いている。この様なモデル化では、軸力変動の影響が考慮されないことから、各照査項目に対して、それぞれどの程度の安全性が担保されているのか明確にすることが出来ない。例えば、曲げ剛性について実際よりも常に大きい値を用いる場合、耐力照査では発生断面力を大きめに算出する為安全側の評価となるが、継手の目開きから止水性を照査する場合、目開きを小さめに算出する為、危険側の評価となる。小さい剛性を用いれば、この逆の事が生じることとなる。

この様に、剛性の与え方により相矛盾する安全性評価結果が生みだされることから、剛性の設定を常に

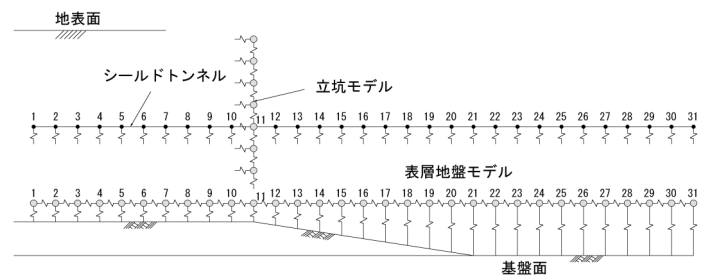


図1 従来の縦断方向耐震検討モデルの例

キーワード：シールドトンネル，耐震，免震，構造解析

* 1 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 (新宿センタービル) TEL.03-5381-5417 FAX.03-3342-2084

* 2 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 (技術センター) TEL.045-814-7236 FAX.045-814-7253

安全側となる様にする方法が必ずしも存在するとは言い難い。従って、先に示した様な要求性能を満足させ、合理的な設計を行う為には、現象を極力正確に表現するモデルを用いて解析を行い、そのモデル化にて仮定されている条件のバラツキ等を考慮して、安全率を定量評価する方法が望ましいと考えられる。

3. 提案モデル及び解析結果

トンネル断面剛性のモデル化方法として、シールドを円環断面をもつ梁要素でモデル化し、等価剛性を用いずに、断面の応力-ひずみ関係を直接与えることにより、解析プログラム中で繰り返し計算を行い、力の釣り合いとひずみの適合条件を解くモデルを提案する。モデル化の概要を図2に示す。ここで、断面計算のモデル化には、中立軸が適切に算定できる程度に、ファイバーモデル等による断面の細分化を行う。

また、立坑との接続部では、立坑を梁要素、地盤をバネ要素でモデル化し、シールドと同様に時刻歴応答変位法解析を行う。シールドと立坑はそれぞれ独立にモデル化しているが、接合部に位置するそれぞれの節点の相対変位から、可撓セグメントに要求される変形量を算出することが可能である。また、立坑とシールドの接合部の節点を結合して解析することで、剛構造の検討を行うことが可能となる。モデル化のイメージを図3に示す。

モデル土層を設定し、前述の手法を用いて解析を行った。立坑との接続部は、剛結と可撓セグメントの2ケースとした。結果を図4に示す。この様に、立坑との接続構造の違いによる影響を定量的に把握する事が容易である。また、断面算定に繰り返し計算が必要である為、従来の等価剛性を用いた解析に比べ解析実行時間は増えるものの、延長約5kmの解析が2~3時間であり、実務設計に十分適用可能であると考えられる。

4. まとめ及び今後の課題

シールドトンネル縦断方向の検討に関して、比較的簡易なモデル化手法にて、シールドトンネルの剛性評価及び立坑との接続部の評価を行うことの出来るモデルを提案し、解析によりその有効性を確認した。

立坑との接続部周辺では、立坑の剛性が周辺地盤の剛性と異なる事から複雑な挙動を示す。基本的には、立坑-地盤-シールド間の相互作用がある為、それを考慮できるモデル化が必要となる。例えば、「地下構造物の免震設計法マニュアル(案)」²⁾では、三次元 FEM 簡易モデルと呼ばれる手法で立坑周辺を局部的にモデル化し設計を行う手法を提案している。こうした手法を用いることにより精度向上は図れるが、設計作業の煩雑性が増すため、時刻歴応答変位法解析にてそれらの検討も適切に行えることが望ましい。

今後の課題としては、本モデルにて立坑-地盤-シールド間の相互作用を適切に考慮する手法を開発する事、及び今後の合理的な設計に向けての安全率の定量評価などが重要である。

参考文献

- 1) 川島、杉田、中島：大規模地下構造物の耐震設計法・ガイドライン（案），土木研究所資料，1992年3月
- 2) 建設省土木研究所耐震研究室他：地下構造物の免震設計法マニュアル(案)，平成10年9月

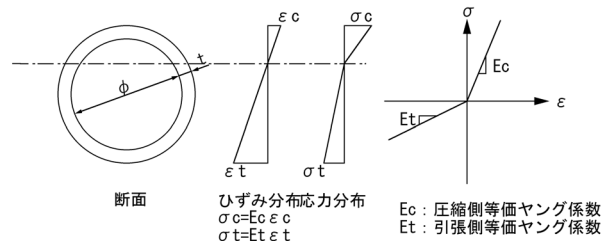


図2 断面計算提案モデル

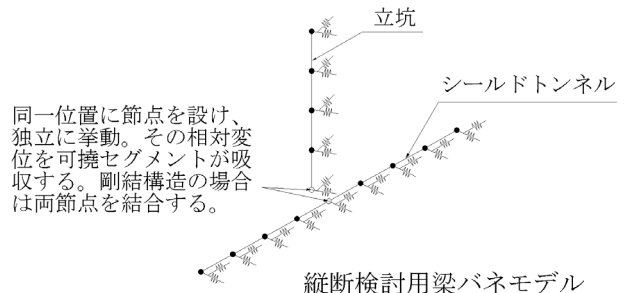


図3 立坑とシールドトンネル接続部のモデル化

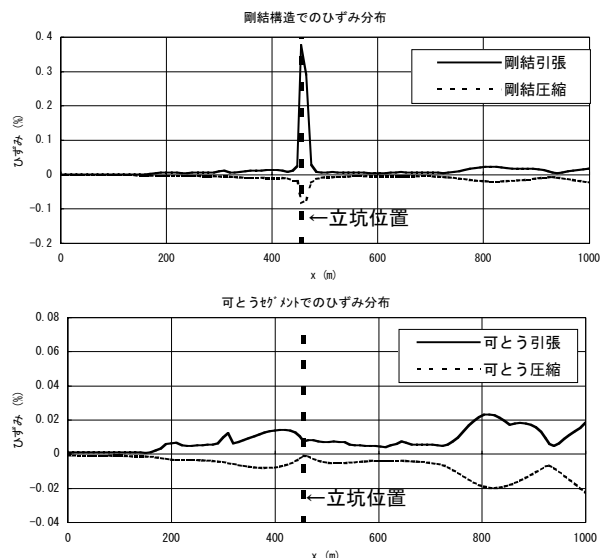


図4 解析結果比較（剛結と可撓の比較）