

シールドトンネル免震構造検討におけるモデル化手法に関する一考察

大成建設（株） 正会員 ○上野恭宏*¹ 山本 平*¹ 立石 章*²

1. はじめに

シールドトンネル（以下、シールド）の免震構造の設計においては「地下構造物の免震設計法マニュアル（案）」¹⁾（以下、「免震マニュアル」）が発行されており、その中でシールドの免震設計法が提案されている。シールドの免震構造とは、裏込め材料の代わりに免震材を用いて、シールドに伝達される地震時地盤歪みを低減させるものである。

シールドに免震構造を用いる場合、地盤剛性急変部や立坑との接続部など、シールド縦断方向に大きな歪が局所的に発生する部分において適用性がある。例えば立坑との接続部では、地盤と立坑の剛性の違いによる位相差が生じ、立坑の挙動が地盤を介してシールドの挙動に影響するなど複雑である。合理的な設計には3次元解析などの実現に近いモデル化が望ましいが、煩雑な解析を伴う為、実務設計では比較的簡易な手法が望まれる。その様な観点から、「免震マニュアル」においては、三次元 FEM 簡易モデル（以下、簡易モデル）と呼ばれる手法を提案し、免震構造の検討手法としての適用可能性を示している。しかし、そこでは剛結構造や可撓セグメントへの適用可能性については示されていない。通常、免震構造の適用性検討では、それらとの比較検討が必要となることから、同一のモデルを用いて比較検討を行うことが望ましい。

本稿では、「免震マニュアル」に示された簡易モデルを基本とし、剛結構造や可撓セグメントの検討にも用いることの出来る簡易なモデル化手法を提案する。

2. 従来提案手法とその特徴

簡易モデルによるモデル化方法を図1に示す。地盤をソリッド要素、シールドを梁要素でモデル化し、シールドと地盤の関係は、免震区間については地盤の節点とトンネルの節点を免震材を表すバネで結んでモデル化し、一般部は剛結としている。地盤の剛性には、地盤応答解析等により入力地震動に応じて生じる地盤ひずみに伴う剛性低下を評価する。立坑は、通常中空の円形又は矩形構造であるが、立坑を中実断面とした時にせん断剛性が実際の構造と等価となるようなせん断剛性を定め、それを立坑位置のソリッド要素に設定する。

解析は、地盤のみをモデル化した時の1次モードの慣性力を固有値解析により算定し、それを簡易モデルに入力する。通常、立坑はそれ自身の剛性が周辺地盤より大きく、立坑の全体変位は立坑が無い場合の地盤変位よりその最大値は小さくなる。この様に、立坑自身及び立坑近傍の地盤は、立坑の影響を受けないその周辺部地盤と異なる挙動を示すこととなる。一方、シールドの変位は一般にその周辺地盤の変位に大きく影響を受ける。したがって立坑との接続部近傍においては、一般部に比べ大きな軸方向ひずみを受けることとなる。立坑近傍における地盤の変形の例を図2に示す。

簡易モデルにおいては、免震層のバネ値の設定の際に、シールド外周に存在する免震材の剛性を適切に考

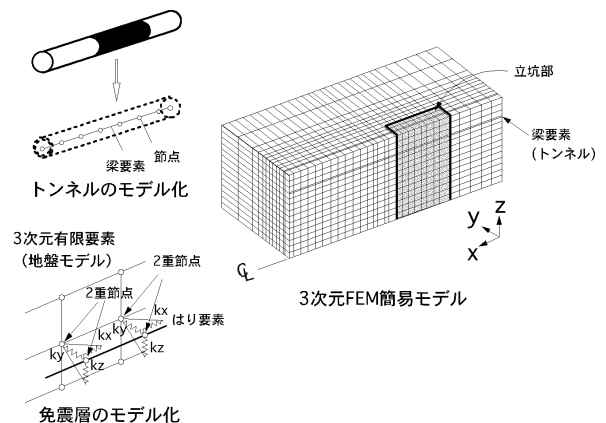


図1 3次元 FEM 簡易モデルによるモデル化手法

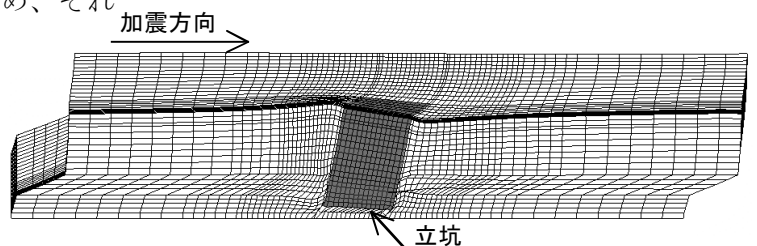


図2 立坑とシールドトンネル接続部近傍の地盤変位モード図

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（本社技術センター）

TEL.045-814-7236

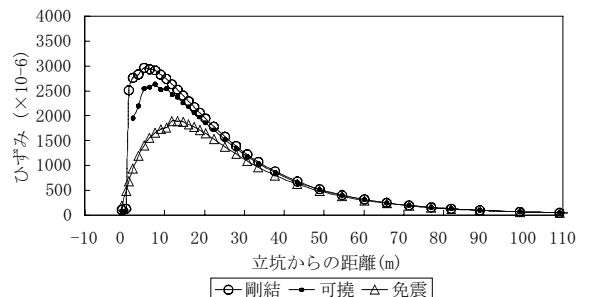
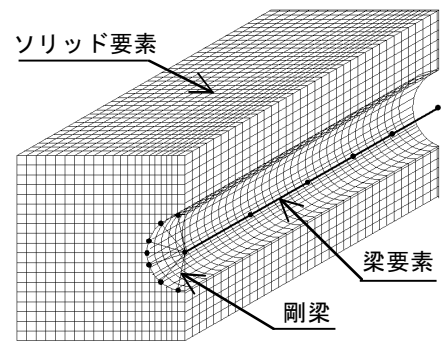
FAX.045-814-7253

慮することにより、地盤とシールド間の力の伝達を適切に評価することとなる。一方、剛構造や可撓セグメントの場合にも、シールド周面に接する地盤の面積を適切に考慮する必要があるが、簡易モデルでは、梁要素でモデル化したシールドと、ソリッド要素でモデル化した地盤が一節点で接合しており、接地部分の面積が適切に考慮されない。つまり、地盤に対するトンネルの剛性が相対的に高く評価されるモデル化である。

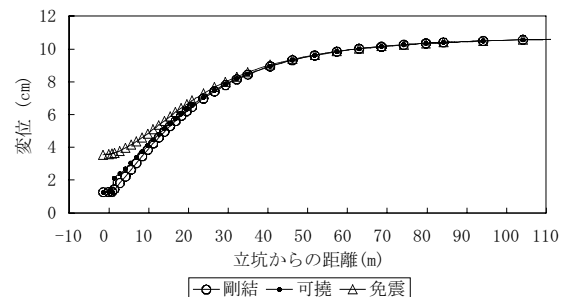
3. モデル化手法の提案

周辺地盤とシールドの接触面積を実際と同一にできれば、剛構造や可撓セグメントにも適用可能なモデルとなる。その方法として、シールドや立坑をシェル要素でモデル化することが考えられるが、解析モデルの作成が非常に煩雑となり、簡易モデルの簡便性を生かせない。

そこで、シールドには梁要素を用いたまま、周辺地盤との力の伝達を適切に考慮できるモデル化方法として、図3に示すモデル化を提案する。簡易モデルでは、シールド通過部分の地盤を中実としているが、ここではトンネル通過部分のソリッド要素を取り除き、シールドの梁要素の節点とトンネル通過部地盤表面の節点とを剛な梁で結ぶことにより、シールドとその周辺地盤との接触面積が実際と同等となるようにモデル化したものである。剛な梁で結ぶのは、トンネル断面に平面保持を仮定していることによる。



(1) トンネル軸方向ひずみ



(2) トンネル軸方向変位

図4 比較解析結果

本モデルを適用し、モデル土層に対して剛結、可撓セグメント、免震の3ケースのモデル化を行い解析した結果を図4に示す。ここでは、「免震マニュアル」にて立坑接合部に対する免震設計の適用性を検証した解析と同一の地盤条件、シールドの等価引張剛性及び水平震度を用い、立坑とシールドの構造についてはそれとは異なる条件を用いている。モデル化の違いは、剛構造モデルではシールドと立坑及び地盤とシールドを剛結とし、可撓セグメントモデルでは、剛構造モデルのシールドと立坑の結合部を分離することで可撓セグメントをモデル化し、免震構造モデルでは剛構造モデルのシールドと地盤の接合をバネにてモデル化している。解析の結果、剛結、可撓セグメント、免震の性能の違いが適切に表され、「免震マニュアル」に例示された3次元シェルモデルによる解析結果と同様の結果を示している。

上記の構造に対して、簡易モデルをそのまま適用した場合には、本稿では示していないが、免震構造に比べ可撓セグメントの方がシールドに発生するひずみが小さく評価された。これは、可撓セグメントではトンネル周面に接する地盤の面積が適切に考慮されず、相対的にトンネルの剛性が高く評価され、実際よりも可撓部に変位が集中するモデルとなっていることから、可撓部での変位吸収が非常に大きくなることによるものと考えられる。

4. まとめ

本稿では、簡易モデルを若干改良した比較的簡易なモデルを提案し、モデル土層で検証を行い、剛構造、可撓セグメント、免震構造を比較検討出来るモデルであることを示した。

今後は、シールドと立坑の接続部の構造について、実設計において比較検討を行い、それらの採用の可否の検討に用いる予定である。結果については、今後別報にて示す予定である。

参考文献

1) 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)，例えば p. 181, 平成10年9月