

地盤－構造物の動的相互作用を逐次考慮した質点系モデルによる開削トンネルの動的解析

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○坂井 公俊 神澤 拓 小島 謙一
伊藤忠テクノソリューションズ(株) 非会員 藤枝 拓海 松浦 敦

1. はじめに

設計地震動に対する応答値を算定するための解析では、地盤と構造物の非線形特性や相互作用などの影響を適切に表現できる手法を用いる必要がある。特に地盤の非線形特性については、自然地盤そのものが地震動によりせん断変形することによって生じる塑性化と、構造物と近傍地盤との相互作用により生じる地盤の塑性化の2つの側面があることが知られている。既往研究ではこれらの非線形特性を「サイト非線形」、「ローカル非線形」と呼び、群杭を有する構造物にそれぞれの非線形特性が及ぼす影響を検討している¹⁾。一方、重要な鉄道構造物の一つである開削トンネルでは、地盤の非線形特性のうちローカル非線形が構造物に与える影響に着目した検討がいくつかある^{例え2)}ものの、サイト非線形について検討された事例は少ない。

本稿では、サイト非線形の影響を地盤－トンネルの相互作用ばねに直接考慮する手法を提示するとともに、これを用いた動的解析を実施することで、サイト非線形が開削トンネルの地震応答に与える影響を検討した。

2. 提案する動的解析モデル

杭基礎構造物を対象とした既往の検討¹⁾を参考にして、**図1**に示す流れで、相互作用ばねにサイト非線形性を考慮した動的解析を実施可能とする。このモデルは、自然地盤の動的解析から時々刻々のせん断剛性 G を算出するとともに、相互作用ばね剛性 k_v を、その瞬間の自然地盤のせん断剛性により時々刻々変化させることで、サイト非線形性を考慮するものである。なお計算を安定させるため、せん断剛性の時刻歴波形は平滑化处理 (**図1**の②)する。

3. 試計算の実施

サイト非線形の影響を評価するため、せん断剛性の設定を変えた複数ケースの解析結果を比較する。せん断剛性を τ - γ 履歴の初期剛性で一定とした場合 (サイト非線形無視)、最大ひずみ発生時の割線で一定とした場合 (従来法)、**図1**の手法によりせん断剛性を時々刻々変化させた場合 (提案法) の3ケースの応答解析を行った。

3.1 対象構造物の条件 対象構造物と自然地盤の概要を**図2**に示す。構造物は耐震標準³⁾に従い部材を M - ϕ 関係でモデル化し、自然地盤における自由地盤ばねは GHE-S モデル⁴⁾および標準パラメータ⁵⁾で表現した。入力地震動は鉄道の耐震設計で用いている標準 L2 地震動 (スペクトル II)³⁾とした。

3.2 自然地盤の挙動、相互作用ばねの比較 自然地盤を対象とした動的解析により得られた、地表から 11.1m 位置の土の τ - γ 履歴を**図3**に示す。この図には初期剛性と最大ひずみ時の割線剛性も示すが、これらの G を用いて「サイト非線形無視」、「従来法」の相互作用ばね剛性を算出することになる。**図4**には各解析ケースで算出した、地表面から 11.1m 位置のせん断剛性の時刻歴推移を示す。「提案法」のせん断剛性は平滑化处理の繰返し回数によって評価値が異なる。最適な処理回数は今後検討する必要があるが、本検討では平滑化处理 100 回の値を採用することとした。**図4**の結果から、**図1**③式により相互作用ばね剛性 k_v を算定すると、「サイト非線形無視」では 47649.5

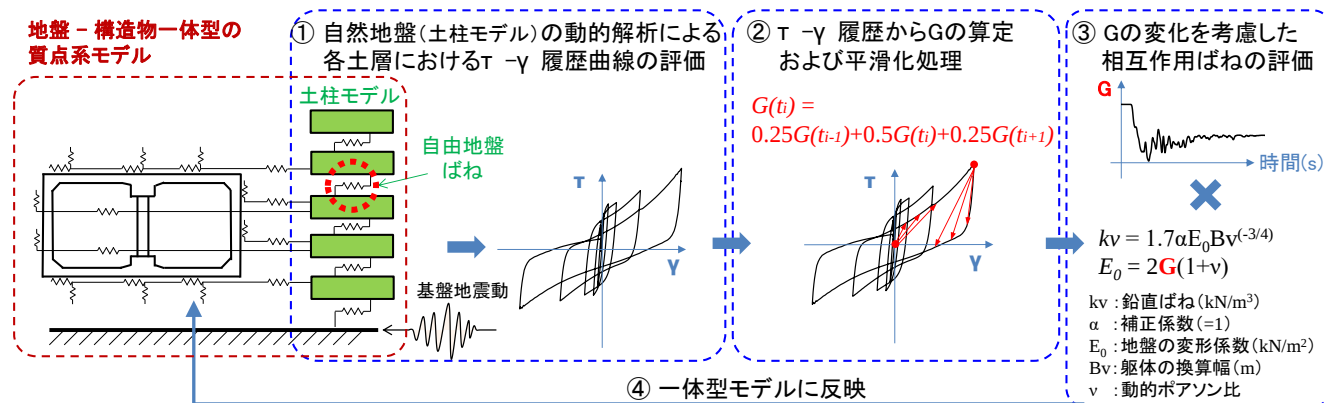


図1 提案する質点系モデルによる地盤-構造物一体解析法のイメージ図

キーワード 開削トンネル, サイト非線形, 動的解析

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7394

kN/m^3 、「従来法」では 5933.8 kN/m^3 となりこれらは時刻によらず一定値となるが、両値には約 8 倍の差がある。「提案法」の相互作用ばね剛性は自然地盤のせん断剛性に依じて時々刻々と変化し、最大値が 47649.5 kN/m^3 、最小値は 7250.2 kN/m^3 となった。このように各解析ケースでは、それぞれで数倍の差がある相互作用ばねを介して、自然地盤の動的解析によって求められた地盤変位を入力することとなる。

4.3 発生断面力 図 5 には開削トンネルの中柱上端位置に発生する曲げモーメントを比較した結果を示すが、相互作用ばねの違いに応じて発生断面力にも差が生じていることがわかる。多くの部材では図 5 のように相互作用ばね剛性が大きい「サイト非線形無視」で比較的大きな応力が発生していたが、中には上床版端部の部材のように「提案法」で大きな応力が発生した部材もあった。このように部材ごとに発生断面力には大きな差が確認され、また降伏耐力を超過した部材を整理すると、図 6 のような違いが見られた。このように発生断面力の比較からも、サイト非線形を考慮することが構造物の地震応答解析に与える影響が大きいことがわかり、このことから、構造物の地震応答を検討する際は杭基礎構造物だけでなく、開削トンネルなどの地中構造物においてもサイト非線形を適切に評価し、応答解析に反映していくことが望ましいと考えられる。

5. まとめ

本稿では、自然地盤におけるせん断剛性を時々刻々と評価し、開削トンネルの地震応答解析に反映する手法を提案するとともに、反映することによる影響を複数ケースの試計算から評価した。その結果、サイト非線形の考慮の有無により発生応力や降伏耐力に至る部材の位置や数が変わるなど、応答解析に与える影響は大きいことが明らかになり、開削トンネルの地震応答解析においてもサイト非線形を適切に考慮することの重要性が示唆された。

参考文献：1)室野ら：土の非線形特性を考慮した群杭基礎の動的相互作用の新たな表現方法，土木学会地震工学論文集，Vol.27，CD-ROM，2003. 2)室谷ら：幅広開削トンネルへの応答変位法の適用性および地盤ばねの検討，第 25 回地盤工学研究発表会講演論文集，pp.653-656，1999. 3)（公財）鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物，丸善出版，2012. 4)室野ら：S 字型の履歴曲線の形状を考慮した土の応力～ひずみ関係，第 12 回日本地震工学シンポジウム，pp.494-497，2006. 5)野上ら：S 字型履歴曲線を有する土の非線形モデルとその標準パラメータの設定，土木学会地震工学研究発表論文集，Vol.30，論文 No.2-0014，2009.

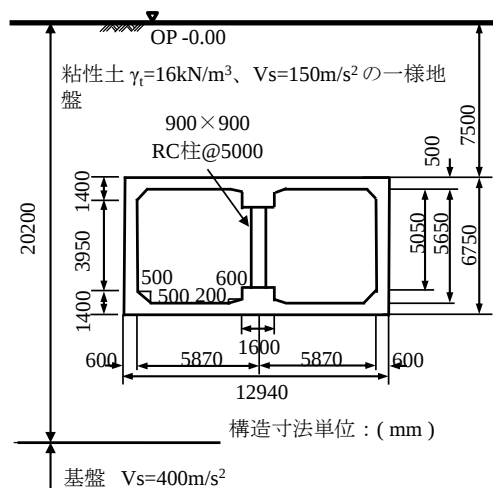


図 2 対象構造物と自然地盤の諸元

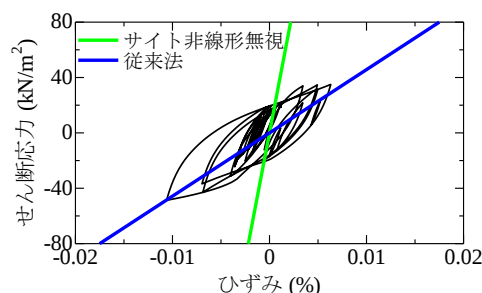


図 3 自然地盤の τ - γ 履歴

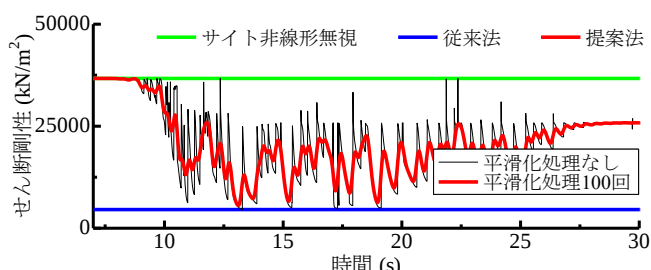


図 4 解析ケースごとのせん断剛性 (0-30 秒表示)

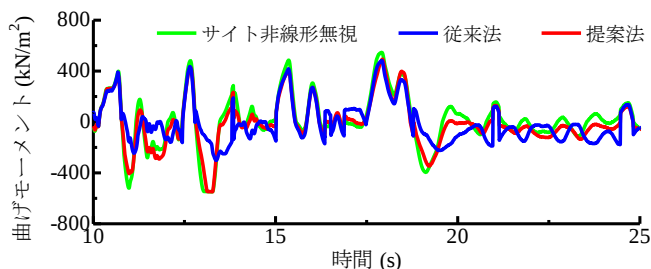


図 5 中柱上端部材の発生断面力 (10-25 秒表示)

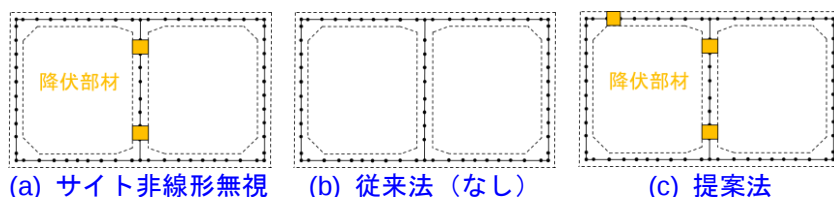


図 6 降伏部材の比較