

## 切梁式掘削土留め工の地震時設計手法に関する検討

(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 小島謙一,石川太郎,島田貴文  
 (株)日建設計シビル 正会員 西山誠治,○北川晴之,青木佑輔  
 (株)複合技術研究所 正会員 矢崎澄雄

## 1. 目的

施工期間の長期化に伴う切梁式掘削土留め工の地震時挙動について、参考文献1)では非線形動的有限要素解析を実施し、地震時挙動を把握した。本論文では、上述の有限要素解析結果を基本として、地震時挙動が再現可能な梁ばねモデルによる静的解析方法を検討する。

## 2. 検討方法

静的解析モデルを図1に示す。対象とする切梁式掘削土留め工の構造諸元については参考文献1)に詳しい。掘削底面以下に弾塑性法による解析と同じ弾性ばねを用いることとする(表1)。

掘削土留め工への地震の影響の考慮方法としては、応答変位法による方法と地震時土圧による方法が挙げられる。前者は地盤変位を地盤バネを介して与える方法で、地盤を連続体と仮定して地盤変位を左右の側壁に同方向の強制変位として与えるものである。後者は擁壁等抗土圧構造物の設計の考え方で、背面地盤の地震時主働土圧を考慮する方法であり、土留壁の両背面側から内向き(左右で逆方向)に作用させる。

構造形式を見ると、支保工を介して対面する壁に力を受け渡す構造で開削トンネルに近い。しかし剛性は比較的小さく結合部も剛ではないことから抗土圧構造物に近いとも考えられ、中間的な構造体となっている。

過去に行った砂質土均一地盤を対象とした検討<sup>2)</sup>では、動的解析の最大変位に着目した結果、応答変位法による方法が比較的近い結果となった。一方、今回は、動的解析手法として剛性低下に伴う残留変位の表現精度の高いFLIPを適用して、土留め壁の残留値に着目した。その結果、土留め工の背面土圧が増加後も残留し、切梁設置部は切梁により変形しないが掘削底面部は変形が残留した。その結果、土留め工の最下段切梁付近を中心に断面力が漸増し残留した。本解析からは、切梁式掘削土留め工の地震時挙動は抗土圧構造物に近いと判断され、応答変位法よりも地震時土圧による方法が妥当と考えられた。この際、妥当な地震時土圧の設定方法についても検討することとし、地震時主働土圧および地震時静止土圧等<sup>3)</sup>を対象に検討することとした。

設計計算では、弾塑性法による仮設時の断面力に、地震時の増分断面力を加算する方法が妥当と考えられる。そこで、静的解析においても地震時増分による断面力のみを算出を目的とし、考慮する土圧は地震時に増加した地震時増分土圧とする。地震時増分土圧は、地震時主働土圧・地震時静止土圧等と弾塑性法の背面土圧の差分を用いる(図2)。地震時土圧算出では、動的解析での土留め工背面における応答加速度より $k_h=0.2$ とする。このほか、掘削終了後を初期値として動的有限要素解析で得られた背面土圧の差分をモデル化した土圧も検討に用いる。比較検討として応答変位法による方法も実施することとし、土留め壁全長に地盤ばねを設置し、自然地盤の変位を考慮することとした(根入れ下端から地表面で $\delta=2\text{mm}$ )。

## 3. 検討結果

各ケースの静的解析による地震時増分断面力を図3に示す。断面力の大きい最下段切梁付近および掘削底面付近に着目する。曲げモーメントでは最下段切梁で地震時静止土圧の結果が動的解析とほぼ同程度の値を示すが、せん断力はやや異なる。また、掘削底面付近では静的解析と動的解析で断面力分布が異なり、これは土留めの根入れ部の地盤ばねの影響が大きいと考えられる。

次に、各静的解析の地震時増分断面力に弾塑性法から得られた断面力を加算し、これをFEM動的解析の増分断面力に弾塑性法から得られた断面力を加えて正規化した結果を図4に示す。地震時増分断面力に比較して弾塑性解析法による断面力が大きいため、各静的解析間の差異は図3より小さくなる。地震時静止土圧がFEM動的解析と整合性が高く2割程度の差におさまる。切梁により土留め壁は拘束されているため、地震時主働土圧よりも大きな地震時静止土圧の方に近い値となったと考えられる。一方、応答変位法は本ケースでは断面力が小さく整合性があまり良くなかった。FEM動的解析の断面力は残留変位によるものが支配的であるが、応答変位法では振動中の地盤変位を用いて算定していることが一因と考えられる。残留変位を求めることができ、その残留変位を応答変位法に入力できれば本傾向は改善される可能性はある。

図4より、検討ケースにより地震時静止土圧による断面力の整合性は変化する。鋼矢板剛性の違いでFEM

動的解析の断面力はケースによって変化するが、地震時静止土圧の荷重は剛性によらないためである。ただし、本検討ケースでは掘削時に対して地震時増分断面力が相対的に小さいため、鋼矢板剛性による断面力比の違いは比較的小さいものと考えられる。

本検討においては、切梁式掘削土留め工の地震時解析方法として、地震時及び地震後の変形挙動が残留変形主体の変形であったため、地震時土圧法が高い整合性を示した。ただし、これまでの検討にもあるように応答変位法でも、背面地盤が比較的安定した状態の土留め工や、背面地盤が主働破壊した状態でも土留め工近傍の残留変形を適切に予測できる場合は、適用できる可能性がある。検討結果から、掘削土留め工の地震時挙動モードを把握することが非常に重要であることが分かった。これらのモードを基に適切な手法を選択し、耐震設計を行うことが必要であると考えられる。

参考文献：1) 小島ら：非線形動的有限要素解析による切梁式掘削土留め工の地震時共同に関する検討，平成28年度土木学会全国大会学術講演会，2016 2) 矢崎ら：切ばり式掘削土留め工の地震時設計手法の検討，平成25年度土木学会全国大会学術講演会，2013 3) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎・坑土圧構造物，1997

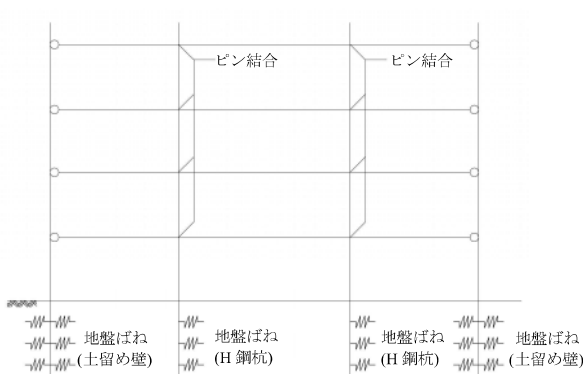


図1 静的解析モデル

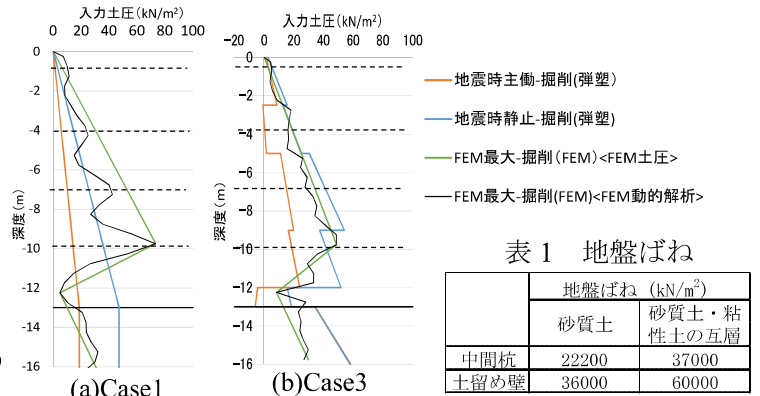
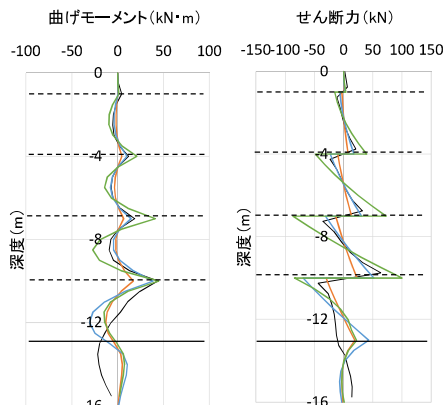
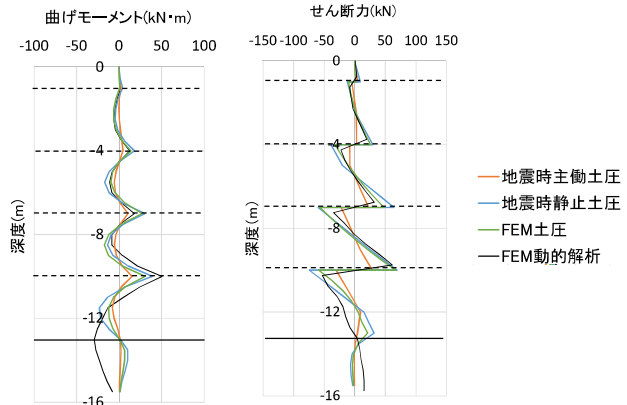


図2 地震時増分土圧(設計用)

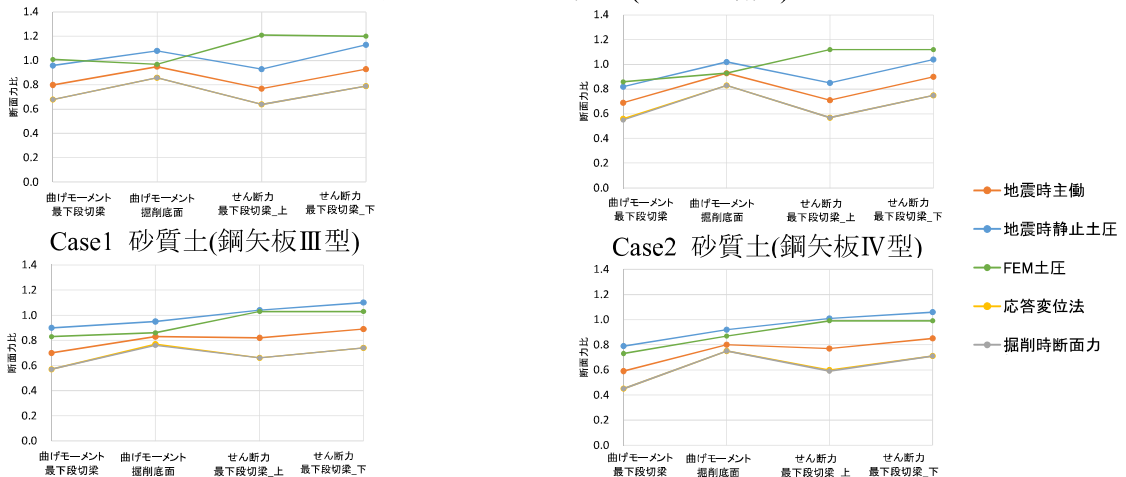


(a)Case1 砂質土(鋼矢板Ⅲ型)



(b)Case3 砂質土・粘性土の互層(鋼矢板Ⅲ型)

図3 土留め工の断面力分布(地震時増分)



Case3 砂質土・粘性土の互層(鋼矢板Ⅲ型)

Case4 砂質土・粘性土の互層(鋼矢板Ⅳ型)

図4 各土圧による静的解析と FEM 動的解析との断面力比(弾塑性法+地震時増分)