

## 近接施工を考慮した地下構造物の耐震性評価

早稲田大学 学生会員 ○ 矢上 修平

早稲田大学 フェロー 清宮 理

**1.はじめに** 地下構造物において、兵庫県南部地震以前は地震による被害はほとんどなく、耐震設計も省略されていた。しかしこの地震で甚大な被害が発生したことで、地中構造物の耐震設計を評価し現状を認識することが必要である。特に近年、都市部においては既設トンネルの近くに新設トンネルを建設する機会が多い。しかし近年の工事では重要な施設の脇で長期間工事する場合もあり、施工中における耐震性の検討が要望される機会が増えた。このことより近接施工による耐震性の影響が重要になってきている。従来施工中の地震動について、施工時の地震荷重は設計荷重の半分であるか、あるいは期間も短いことから再現期間も短く設定しているが特に深く検討されていない。そこで本研究では、近接施工を考慮した地下構造物についての耐震性評価を検討してみたい。解析は汎用プログラムTDA P でFEM動的解析を行い、近接施工を伴った場合の地下構造物横断面の耐震性を評価した。

**2.解析モデル図** トンネル本体は非線形二次元はり要素でモデル化した。トンネルの大きさ幅 28m 高さ 8m、奥行き 1m のRC製であり、土被りは4mである。ヤング率  $2.5 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$ 、ポアソン比 0.2、単位体積重量  $24.5 \text{ kN/m}^3$ 、非線形性をトリリニアモデルで再現している。表層地盤は層厚 46m の比較的軟弱な地盤でこの層を 4 層に分け非線形特性は修正 Ramberg-Osgood モデルで表した。近接施工のモデルとしては、地下構造物の右端の表面地盤から 5m、10m、15m の位置に傾斜比 1:1、採掘深さ 12m のモデルを考えた。入力地震動には、兵庫県南部地震で観測されたポートアイランド観測地震波（最大加速度  $679 \text{ gal}$ ）を用いた。なおトンネルのモデルは、近接施工を施していないもの（切り込み無し）を図 1、近接施工を施したもの（切り込み 10m）を図 2 に示す。また、近接施工 10m において、耐震補強を考え、地下構造物の右端 6m の位置に表面地盤から深さ 16m にわたり、鋼管杭を打ち込んだ。鋼

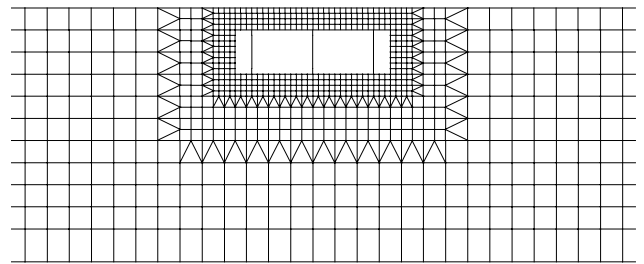


図1 切り込み無し(メッシュ)図

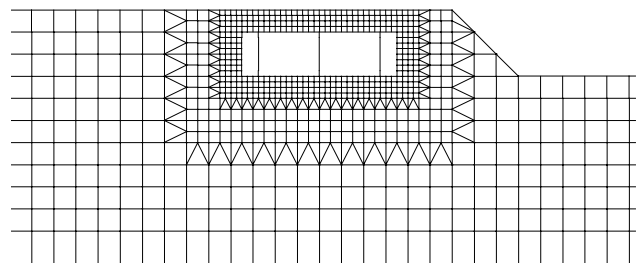


図2 切り込み 10m(メッシュ)図

管杭は、杭径 0.8m、板厚 20mm、材質は SKK490、ヤング率  $E=2.10 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$ 、ポアソン比 0.3、単位体積重量  $78.0 \text{ kN/m}^3$ 、降伏応力  $\sigma_y=3.20 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$  である。杭の M-φ 関係はバイリニアモデルとして非線形性を考慮した。

**3.解析結果** 近接施工を施した場合について地震の入力加速度を変化させたグラフを図 3 に示す。加速度を 1.0 倍、0.75 倍、0.5 倍、0.25 倍と変化させ曲げモーメントの変化割合について調べる。加速度を変化させた場合、倍率約 0.95 倍以下について曲げ耐力を下回り破壊が起こらない結果となった。通常では施工時にはこのケースでは十分な耐震性があると言える。

FEM動的解析により、ここでは近接施工を施していないモデルと近接施工 10m のモデルの時刻歴応答を比較した結果を図 4 に示す。図 4 はトンネル右側側壁上部における曲げモーメントの時刻歴波形のグラフである。近接施工 10m の方が近接施工を施していないものより振れ方が大きくなっている。また最大曲げモーメント ( $2530 \text{ kN/m}$ ) が側壁の

キーワード 地下構造物 近接施工 FEM動的解析 トリリニアモデル 滑動 鋼管杭

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学社会環境工学科 TEL 03-5286-3852

曲げ耐力 2472.84kN/m より値が大きくなっている。近接施工していない時には曲げ破壊は生じてないが、近接施工 10m においては曲げ破壊を起こしていることがわかる。

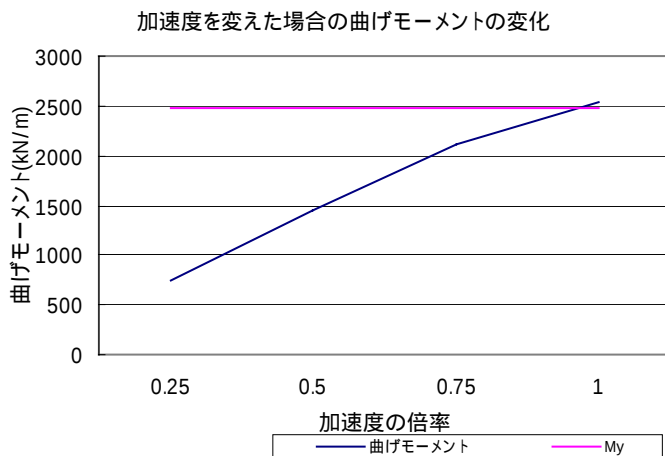


図3 加速度の倍率変化に伴う曲げモーメントの変化

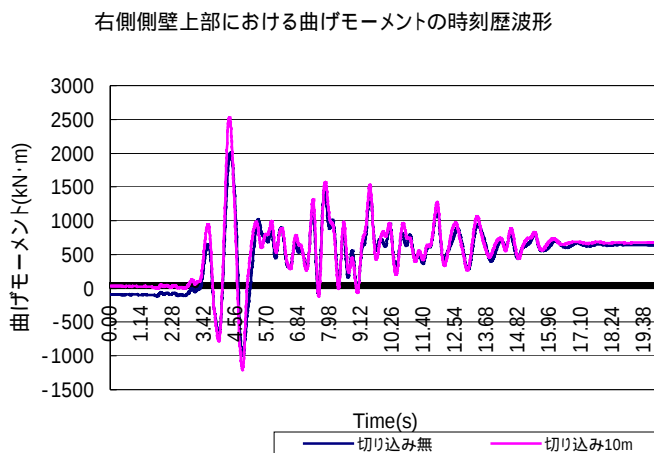


図4 曲げモーメントの時刻歴の比較

近接施工 10m において切り土を施した近傍においての地盤の状態について見てみる。図5に示すように、地震力により切り土の近傍において地盤が崩壊している様子がわかる。図中の×印は地盤が降伏した位置を示す。

近接施工を施したことにより、地震時にトンネルが滑動するか否かについて検討してみた。水平荷重が最大となる時にトンネルが滑動するかどうかを以下の計算で示す。

(側壁に作用する水平力合計)2640.1 kN > (地盤とトンネルの総重量 × 地盤の摩擦係数) (3962kN × 0.6 = ) 2377.2kN  
上の計算結果より、トンネルは地震により滑動する可能性がある。

近接施工 10m において鋼管杭を打設したものとしていないものについて時刻歴応答を比較した。その結果、鋼管杭を打設した方が曲げモーメントを抑えるが、このモデルにおいてはそこまで大きな変化は見られなかった。(鋼管杭を打設した場合の最大曲げモーメント 2483kN/m)

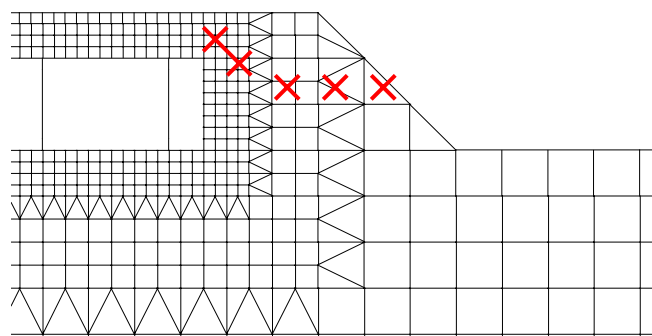


図5 切り土近傍における地盤降伏箇所

鋼管杭を打設した場合について滑動するかどうかを上記と同様の方法で調べ、検討してみる。

(側壁に作用する水平力合計)2111.5 kN < (地盤とトンネルの総重量 × 地盤の摩擦係数) (3962kN × 0.6 = ) 2377.2kN  
この計算結果より、鋼管杭を打設した場合については滑動を起こさない。

#### 4. 結論 FEM動的解析により以下の主要な結論を得た。

既設トンネルでの近接施工により、側壁の断面力が大きくなり、破壊箇所も増加した。特に切り土に近い右側上部に破壊箇所が集中した。曲げモーメントにおいては、近接施工により右上部と左下部で増加、逆に右下部と左上部で減少する現象が起こった。近接施工により地震時に斜面部の地盤降伏が計算され、トンネル本体の滑動が生じることが力の釣り合いから判ったが、鋼管杭を打設することにより滑動を抑えることができる。鋼管杭の打設により、断面力を抑えられる。今後はさらに断面力を抑えられるような杭の打設方法の検討や、地盤の改良などについて検討していきたい。

5. 参考文献 (1)土木学会:土木構造物の耐震設計入門,2001年(2)大久保久哲[監修],新井雅之/岩上憲一/大塚久哲/高野道直/竹内幹雄/橘義規/伏見光一/村井和彦/楊光遠[著]:九州大学出版会:最新 地中 基礎構造物の耐震設計,2001年(3)土木学会:トンネルライブラリー 9 開削トンネルの耐震設計,1998