

近接施工を考慮した地下構造物横断面の耐震性評価

早稲田大学大学院 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 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。解析は汎用プログラム T D A P III で F E M 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入力地震動、既設トンネルとの建設距離などを要因に数値解析的に評価した。また地盤改良、鋼管矢板打設などの対策工法の適用性について検討した。これらの結果について述べる。

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 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波(最大加速度 679 gal)を用いた。モデルとして近接施工を施したもの(掘削 10m)を図 1 に示す。対策工法としては、鋼管矢板の打設と地盤改良を取り上げた。鋼管矢板は、地下構造物の右端 4m の位置に表面地盤から深さ 16m にわたり、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 kN/m^3 、降伏応力 $\sigma_y=3.20 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$ である。鋼管の $M-\phi$ 関係はバイリニアモデルとして非線形性を考慮した。地盤改良は地下構造物の右端から幅 4m、深さ 16m にわたり深層混合処理工法の機械攪拌工法を行うものとする。このケースにおいて軸圧縮強さ $30 (\text{kgf/cm}^2)$ 、せん断弾性係数 $503018 (\text{KN/m}^2)$ である。対策工法のモデルをそれぞれ図 2、図 3 に示す。

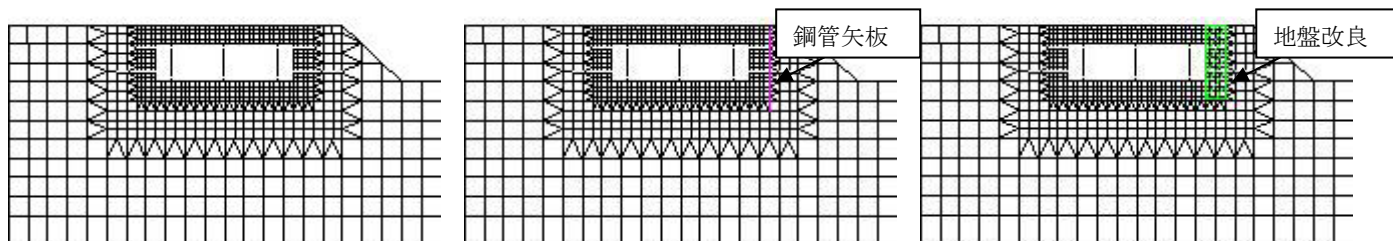


図 1 掘削 10m(メッシュ)図

図 2 鋼管矢板打設(メッシュ)図

図 3 地盤改良(メッシュ)図

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 4 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、施工中に設計地震動の半分では対策不要、設計地震動においては相当の対策が必要となる。

F E M 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 5 に、対策工法を施した比較結果を図 6 示す。両者ともトンネル右側側壁上部における

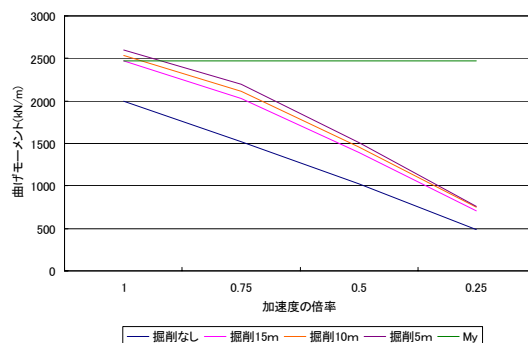


図 4 加速度の倍率変化に伴う曲げモーメントの変化

キーワード 地下構造物 近接施工 F E M 動的解析 滑動 鋼管矢板 深層混合処理工法

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 (2530kN/m) が側壁の曲げ耐力 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。対策工法による時刻歴応答の比較については、鋼管矢板打設による曲げモーメント 2454kN/m、地盤改良による曲げモーメント 2157kN/m と断面力が低減されており、両者とも曲げ耐力 2472.84kN/m を下回り、耐震性を満足している。鋼管矢板による断面力の低減効果はあまり大きくないが、地盤改良においては断面力をかなり抑える効果がある。

建設距離変化による曲げモーメントの比較

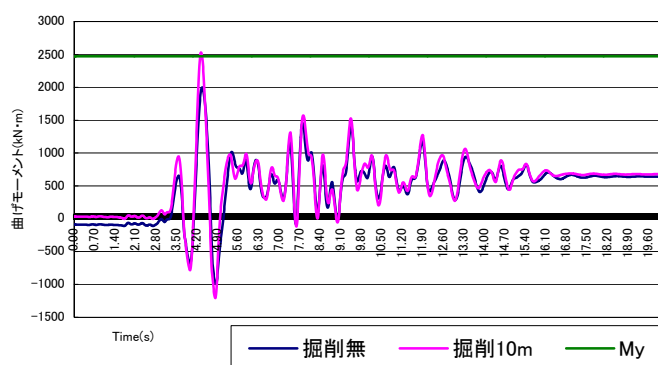


図5 掘削距離による曲げモーメントの比較

対策工法による曲げモーメントの比較

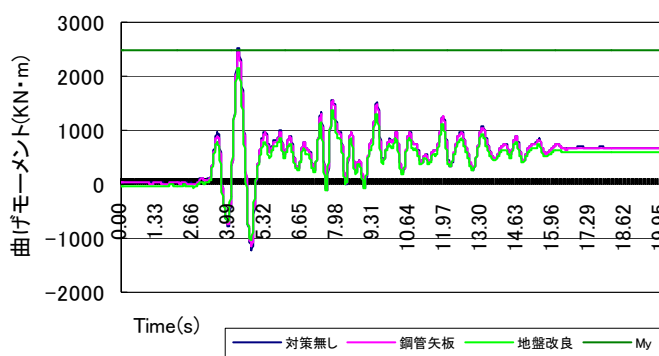


図6 対策工法による曲げモーメントの比較

近接施工を施したことにより、地盤が崩壊を起こすか、また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。

対策無し：(側壁に作用する水平力合計) 2719 kN > (地盤とトンネルの総重量 × 地盤の摩擦係数) (4014 kN × 0.65 =) 2667.6 kN。地盤の崩壊も報告され、トンネルは地震により滑動する可能性がある。

鋼管矢板：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) 2603 kN < (地盤とトンネルの総重量 × 地盤の摩擦係数) 2667.6 kN。鋼管矢板を打設した場合については、地盤の崩壊も報告されず滑動も起こさない。

地盤改良：(側壁に作用する水平力合計) 2530 kN < (地盤とトンネルの総重量 × 地盤の摩擦係数) 2667.6 kN。地盤改良を施した場合についても、地盤の崩壊も報告されず滑動も起こさない。鋼管矢板の打設より地盤改良の方が効果的であるという結果を得た。

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より、建設距離が近づくほど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、せん断力において、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。これはトンネルの左右の土圧の変化によるものであると考えられる。近接施工により地震時に斜面部の地盤崩壊が計算され、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、鋼管矢板の打設、地盤改良を施すことにより地盤の崩壊による滑動を抑えることができる。鋼管矢板の打設や地盤改良により、トンネルの断面力を抑えられることが分かった。対策工法の比較として、今回のケースの鋼管矢板の打設による断面力の低減効果はあまり大きくなかったが、滑動を抑えることは確認された。地盤改良による効果は断面力の大幅な低減や滑動の防止など十分な結果が得られた。今後はさらに断面力を抑えられるような鋼管矢板の打設方法の検討や、地盤改良の範囲の変化による効果の違い、また今回、トンネルと地盤とのすべりを考慮していないので、ばね要素を用いたより現実的な解析など検討していきたい。

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