

鉄道軌道に近接する仮土留め工を用いた掘削施工時の影響解析

中央開発(株) 小川 雄大

1. はじめに

道路橋脚建設のため仮土留め工が、既設の鉄道軌道に近接して計画されている。施工にともなう鉄道軌道の変状が懸念されるため、FEM 解析により鉄道軌道部の影響を検討した。

通常の二次元平面ひずみの掘削解析では、解放力を補正せずに解析を行う。この場合、掘削部分が奥行き方向無限に掘削されるモデルに表現されるため、掘削平面範囲が限定的な場合、実態よりも変位量を過大に評価してしまう。そこで、より実態に即した結果が得られるように、掘削範囲を円筒形に表現できる軸対称モデルで予備解析を行い、平面ひずみモデルの解放力を予備解析に基づいて補正した解析を行った。また、形状に忠実な三次元モデルによる解析との比較を行い、補正方法(軸対称モデル+平面ひずみモデル)の妥当性を検証したのでここに報告する。

2. 解析断面

今回検討した、平面ひずみモデル、軸対称モデル、三次元モデルの解析条件と解析モデルについて下記に示す。

(1) 解析条件

解析断面を図-1 に示す。解析断面は掘削範囲が鉄道軌道部に最も近接する断面に設定した。対象地盤は、低位段丘に位置し、更新統の岩塊混じり礫からなる旧崖垂堆積物(Dg 層)と、厚さ 5m 程の礫混じり砂の埋土(b 層)から構成されている。また地下水位はボーリング調査時に施工基面から1.7 m に確認されている。

橋脚施工時の掘削範囲は幅 10.4 m、奥行き 9.9 m、深さ 6.08 m であり、所定の掘削段階毎に仮設の鋼矢板と隅火打ちが設置される。

各地盤の構成式は完全弾塑性モデル(MC/DP)とし、橋脚(躯体及び杭)や鋼矢板、隅火打ちは線形弾性モデルとした。

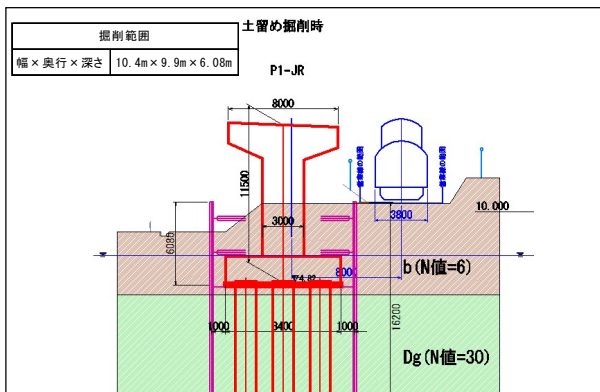


図-1 解析断面(断面 2 次元)

(2) 解析モデル

表-1 に解析工程を図-2 に各検討ケースの解析モデルそれぞれ示す。

表-1 解析工程

ステップ	解析工程	所要日数	累積日数
1	初期応力解析	1	1
2	場所打ち杭施工+重機荷重	60	61
3	鋼矢板打設	10	71
4	掘削1	5	76
5	火打ち1段目施工	1	77
6	掘削2	5	82
7	火打ち2段目施工	1	83
8	掘削3	5	88
9	躯体工設置+埋め戻し	90	178
10	火打ち2段目撤去	1	179
11	埋め戻し2	5	184
12	火打ち1段目撤去	1	185
13	埋め戻し1	5	190
14	鋼矢板撤去	5	195
15	30日放置	30	225
16	90日放置	60	285
17	180日放置	90	375
18	365日放置	185	560
19	最終変位	3650	4210

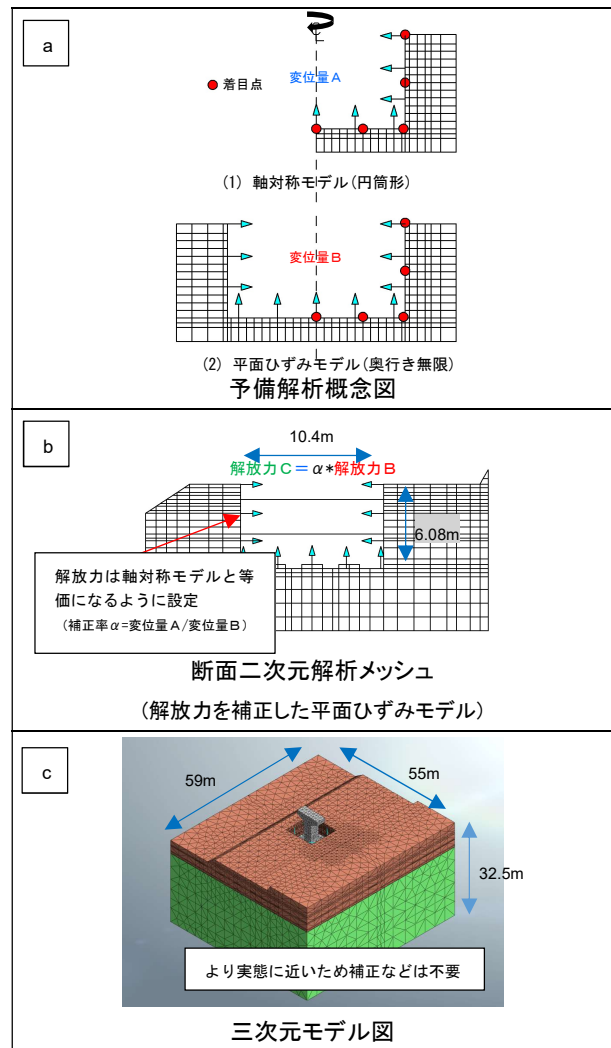


図-2 検討ケース

①解析工程

ステップ解析を行い、掘削工程毎に後述する、解放力を作用させることとした。

②予備解析

解放力の補正を行うため、軸対称モデルと平面ひずみモデルを作成して予備解析を行った。軸対称モデルでは、モデルの掘削体積が実際の掘削体積に等しくなるように半径を設定した。3回の掘削工程を解放力 100%で行い、軸対称モデルと平面ひずみモデルの最終掘削工程完了時の平均変位量を求め、それぞれ変位量 A 及び変位量 B とした。変位量 A と変位量 B の比を解放力が等価となる補正率 α ($\approx 60\%$) とした(図-2a)。

③平面ひずみモデル

得られた補正率 α を考慮した解放力を平面ひずみモデルに反映し、橋梁施工までの工程を加え軌道部での変位量を求めた(図-2b)。

④三次元モデル

掘削範囲や橋梁などを実態に合わせた三次元モデルを作成し、解放力を補正せずに、平面ひずみモデルと同じ工程で解析を行い、変位を求めた(図-2c)。

⑤許容値

許容値は都市部鉄道軌道構造物の近接施工対策マニュアル¹⁾に基づき軌道の整備基準等から鉛直水平変位ともに $\pm 15 \text{ mm}$ とした。

3. 解析結果

掘削範囲に近い左側鉄道軌道部の変位量を図-3 に示す。参考として平面ひずみモデルで解放力を補正しなかったケースも合わせて示す。

解放力を補正した平面ひずみモデルでの軌道部の最終変位量は、水平変位が 6.0 mm 、鉛直変位が 6.1 mm となり、許容値を満足する結果となった。

三次元モデルによる解析の結果では、軌道部の変位量は水平変位が 5.2 mm 、鉛直変位が 4.3 mm と平面ひずみモデルで解放力を補正したケース(軸対称モデル+平面ひずみモデル)よりも変位量は小さくなった。

一方で、解放力を補正しなかった場合、掘削時の鉄道軌道部への影響は小さいが、隅火打ちや鋼矢板撤去時に大きな変位が生じる結果となり最終変位量は、水平変位が 9.4 mm 、鉛直変位が 7.5 mm と三次元モデルよりも 2 倍近い変位が生じる結果となった。

いずれのケースも隅火打ち撤去時に水平変位が生じ、鋼矢板撤去時に鉛直変位が生じる傾向がみられ、解放力を補正しない場合、鉛直・水平変位ともに大きな変位となったが、解放力を補正した場合、三次元解析結果と近い変位量となった。したがって、三次元モデルが実態に近い挙動を示していると考え、本検討のように、断面二次元モデルの解放力を軸対称モデルで補正することによってより実態に則した結果が得られることとなった。

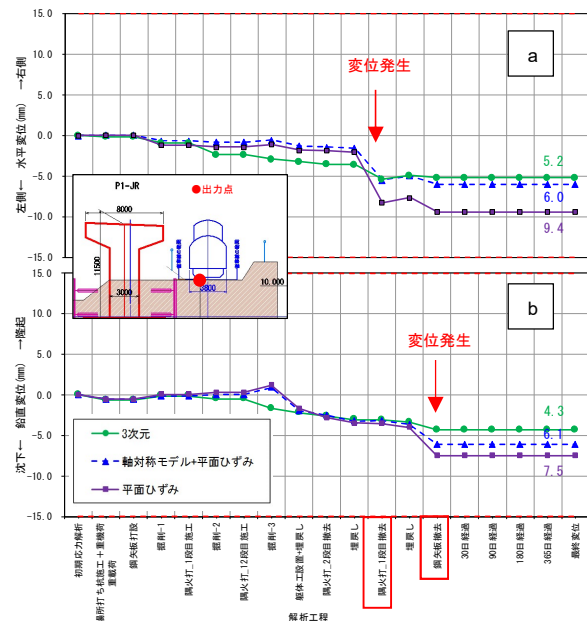


図-3 鉄道軌道の変位

(a:水平変位 b:鉛直変位)

4. おわりに

本検討のような地層構成や構造物が比較的単純な条件では、解放力を補正した平面ひずみモデルで解析することが有効であると考えられるが、以下の点について留意しなければならない。

(1) 解析結果

道路橋脚施工が鉄道軌道に与える影響は許容値の範囲内であるが、施工中は予想外の変位に対応するため動態観測を行い、管理値を超えていないかどうかをチェックするとともに、解析結果による影響予測の妥当性を確認することが必要である。

(2) 解析方法

本検討は、矩形である掘削平面を円筒形の軸対称モデルを用いて解放力を補正している点や、三次元の応力を奥行無限の二次元平面ひずみ問題に置き換えているため、地層構成や構造物が複雑な条件にも適用可能かの検証が必要である。

今後は観測結果や三次元解析を行い、適用性について検討する予定である。

《引用・参考文献》

- 1) 公益財団法人鉄道総合技術研究所:都市部鉄道軌道構造物の近接施工対策マニュアル, 2013.