

3次元FEM解析による鉄道地下駅併設立坑の挙動とその評価に関する一考察

中央復建コンサルタンツ（株）
（公財）鉄道総合技術研究所 正会員

正会員 ○穴水 俊太朗, 坂田 智基, 室谷 耕輔
仲山 貴司, 牛田 貴士, 三輪 陽彦, 清水 達貴

1. はじめに

鉄道地下駅（開削トンネル）の端部に併設される立坑は、シールドマシンの発進・到達立坑として利用されることが多く、その形状は矩形で正方形に近い平面形状であるのが一般的である¹⁾。

しかし、実務設計では横断方向を主断面（縦断方向は配力鉄筋方向）として設計することが多く、立坑部における二方向荷重の影響に対応して、配力鉄筋量を増加させる事例もあるが、定量的な評価ができていないのが現状である。

筆者らは、過年度に立坑部の2次元フレーム解析を用いて、駅一般部との境界条件やモデル化する径間数に着目して検討をした²⁾が、立坑の3次元的な挙動を評価するまでには至っていない。本検討では3次元FEM解析により鉄道地下駅併設立坑の挙動を把握するとともに、2次元フレーム解析による断面力と比較する。

2. モデルケース

図1に本検討で設定した検討モデル（鉄道地下駅併設立坑）を示す。立坑形状は幅19.4m、延長17.0m、高さ21.8mで、土被りは3.5mである。立坑後方（②通りより右側）には駅一般部が接続し、7.5m間隔で中柱が位置する。立坑が位置する地盤条件は、N値=3～8の粘性土地盤とする。

3. 解析モデル

図2に3次元有限要素モデルを示す。境界条件の影響を考慮して全長101.75mのモデルとし、端部は鉛直ローラーとする。各部材モデルについて、床版・側壁・棲壁・縦桁はシェル要素、中柱はビーム要素とする。なお、縦桁は縦桁幅を部材厚とし、厚みのあるシェル要素として考慮する。

また、地盤ばねは下床版の各節点に鉛直ばねおよびせん断ばねを考慮する。地盤反力係数は鉄道開削トンネルの設計基準¹⁾を参考にPS検層結果から算出した値とし、各節点に接するシェル要素の面積に比例して設定する。

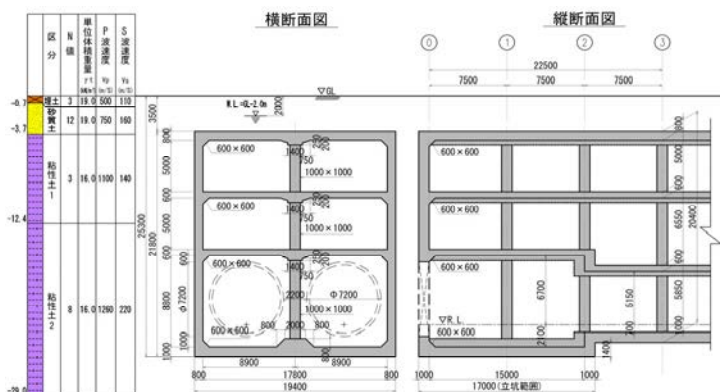


図1 検討モデル（鉄道地下駅併設立坑）

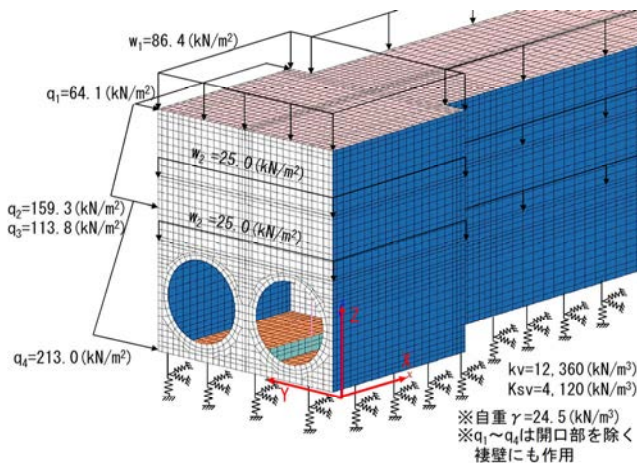


図2 3次元有限要素モデル

4. 3次元FEM解析による検討結果

図3に上床版曲げモーメントのコンター図を示す。トンネル横断方向の断面力について、中柱位置付近で最大となり、棲壁に近づくにつれて減少する。また、同縦断方向では上床版と棲壁の隅角部（立坑隅角部）で外側引張モーメントが生じ、側壁と縦桁の中間部付近（柱間帯）で、最大となっている。

これらより、立坑隅角部では二方向荷重の影響を受けていると考えられる。

5. 2次元フレーム解析におけるモデル化の検討

3次元FEM解析による断面力を評価できる縦断方向の2次元フレーム解析モデルについて検討する。ここでは下床版反力のモデル化に着目し、地盤ばねおよび剛体反力の2ケースについて比較する。

モデル化に際しては過年度の検討結果²⁾を踏まえ

キーワード 鉄道地下駅、立坑、3次元FEM解析、縦断方向、二方向荷重、地盤ばね

連絡先 〒102-0083 東京都千代田区麹町 2-10-13 中央復建コンサルタンツ(株) TEL: 03-3511-2006

て端部を固定端とし、境界条件の影響を軽減するため駅部を含めた計4径間をモデル化する。また、作用については横断・縦断方向の分担は考慮せず、図2に示した荷重値を適用する。

6. 3次元解析と2次元解析の比較結果

図4にトンネル縦断方向の曲げモーメント比較図、図5、図6に上床版・下床版の端部1径間での断面力比較を示す。曲げモーメントの発生モードについて、全体的なモードは一致しているが、中柱位置では局所的に正負が反転する箇所が見られる。

これは、2次元フレーム解析では中柱モデルを考慮した計算を行うが、3次元FEM解析では柱間帯の断面力を抽出しており、中柱による支点効果の影響が小さくなっているためと考える。

棲壁側支承前面に着目すると上床版では剛体反力の方が地盤ばねよりも約2倍大きく、3次元FEM解析での最大値は両者の中間に位置している。下床版では3次元FEM解析と2次元フレーム解析で断面力の正負が反転しているが、これは2次元フレーム解析では開口部を上下端ピン支点の仮想梁としてモデル化したことによる影響と考えられる。

これらより、2次元フレーム解析で立坑隅角部の二方向荷重の影響を踏まえた断面力を評価するためには、下床版反力を剛体反力とするほうが安全側に評価できることが分かる。

7. おわりに

本検討では、3次元FEM解析により鉄道地下駅併設立坑の挙動を把握するとともに、2次元フレーム解析による断面力と比較した。

その結果、3次元FEM解析により、立坑隅角部では二方向荷重の影響による外側引張モーメントが生じることを確認した。さらに、立坑隅角部の断面力について、2次元フレーム解析で検討した結果、下床版反力を剛体反力とするほうが、3次元FEM解析での断面力よりも安全側に評価できることが分かった。

今後の課題としては、立坑形状（スパン長・層数）や地盤条件の違いによる発生断面力の差について検討が必要である。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 トンネル・開削編，2021.8
- 2) 穴水俊太郎ほか：鉄道地下駅の併設立坑における縦断方向の3次元挙動に関する一考察，土木学会第77回年次学術講演会講演概要集，III-396，2022.9

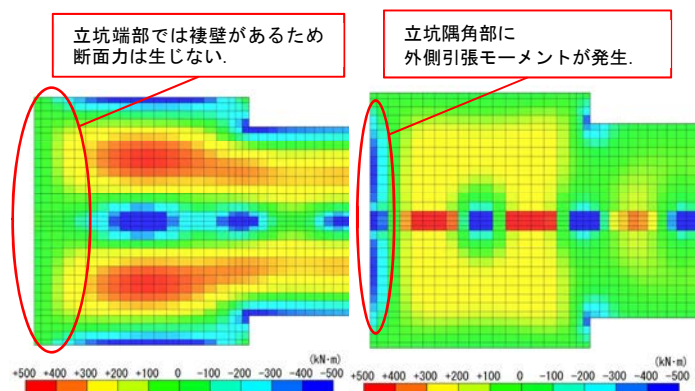


図3 上床版曲げモーメントのコンター図（3次元FEM解析）

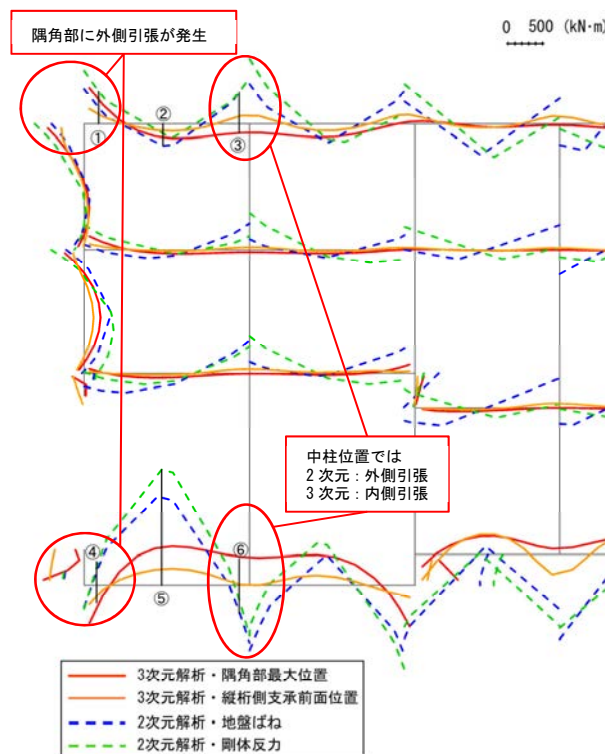


図4 トンネル縦断方向の曲げモーメント比較図

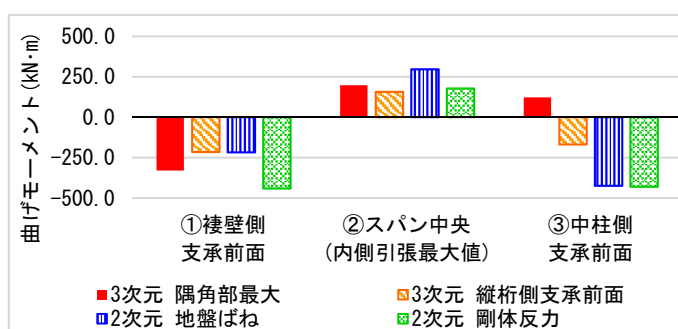


図5 上床版・端部1径間での断面力比較

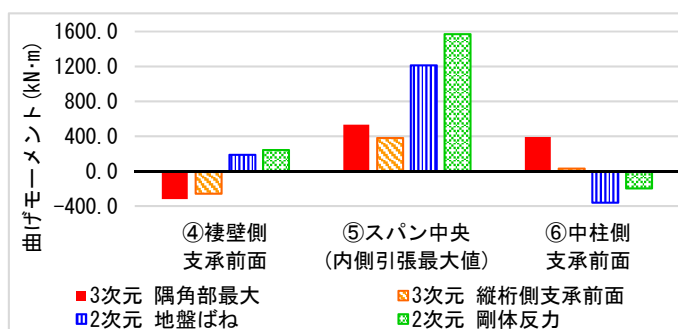


図6 下床版・端部1径間での断面力比較