

鉄道開削トンネル側壁開口時の3次元シェル要素解析と2次元フレーム解析の比較による一考察

中央復建コンサルタンツ(株) 正会員 ○松下恵梨 坂田智基 畔取良典 室谷耕輔
(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 仲山貴司 牛田貴士 津野 究 澤田 亮

1. はじめに

近年、鉄道既設地下駅などの地下空間のリニューアル等を目的に既設側壁の一部を開口する等の部分的な開口・拡幅工事が行われることが多い。この場合、開口による側壁の剛性低減を考慮した横断面の設計と、既設躯体反力を支持する梁部材とした開口補強桁の設計を、2次元フレーム解析により別々に行うのが一般的である。しかし、この設計手法では開口補強桁と既設躯体の一体的な挙動を評価することができないのが現状である。そこで本検討では、側壁開口時に開口補強桁と既設躯体を一体モデルとした3次元シェル要素解析と、側壁開口による剛性低減を考慮した2次元フレーム解析を比較し、その挙動を確認する。

2. 解析条件

Fig.1 に検討モデルを示す。

(1)構造物モデル: 2層2径間の開削トンネル(中柱は B1 階:RC 柱、B2 階:CFT 柱)を対象として、B1 階側壁に高さ 3.8m、スパン 3.8~15.2m の開口を設置したモデルとする。

(2)地盤モデル: 地盤モデルは土被り 3.4m、N 値=8 程度の砂質土と N 値=4 程度の粘性土地盤とする。下床版には N 値=4 の粘性土の地盤変形係数 $E_0 (=11,200\text{kN/m}^2)$ より地盤ばねを算定し、鉛直方向、せん断方向に設置する。

(3)荷重モデル: 固定死荷重、鉛直土圧、水平土圧、水压・揚圧力および地表面上の変動荷重による土圧(T-25)とし、荷重係数は 1.0 とする。

3. 3次元シェル要素解析モデル

Fig.2 に3次元シェル要素解析モデルを示す。各部材は弾性モデルとし、床版、側壁および縦桁はシェル要素、中柱はビーム要素とする。中柱と縦桁の接合部は RC 柱を剛結合、CFT 柱をピン結合とする。開口補強桁は、側壁開口部を囲う口型の梁部材としてビーム要素でモデル化し、シェル要素との結合条件は剛結合とする。なお、3次元シェル要素解析では Fig.3 に示す通り、開口中央位置と中柱位置の2断面を検討対象とする。

4. 2次元フレーム解析モデル

Fig.4 に2次元フレーム解析モデルを示す。各部材は弾性モデルとし、床版、側壁、中柱および縦桁はビーム要素とする。中柱と縦桁の接合部は RC 柱を剛結合、CFT 柱をピン結合とする。開口部は側壁部の軸剛性に対して剛性低減係数 α を考慮した仮想梁(上下端ピン結合)を設置することで開口を考慮する。

5. 検討ケース

Table.1 に検討ケースを示す。開口補強桁の部材剛性は、別途2次元フレーム解析によって設定する。

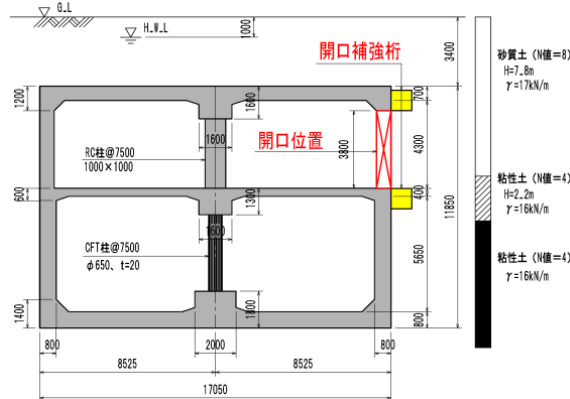


Fig.1 検討モデル

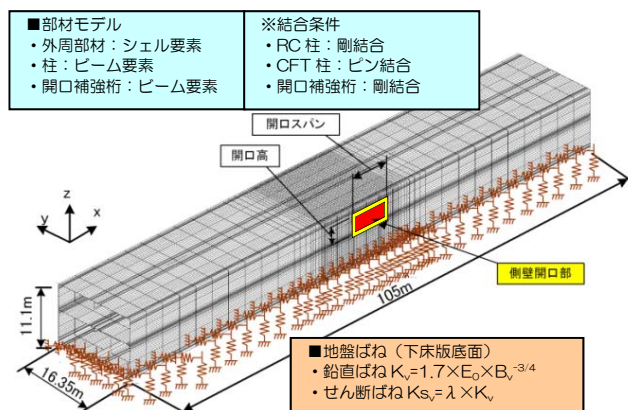


Fig.2 3次元シェル要素解析モデル

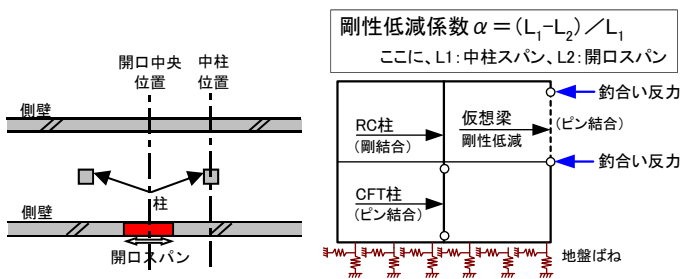


Fig.3 解析モデル平面図

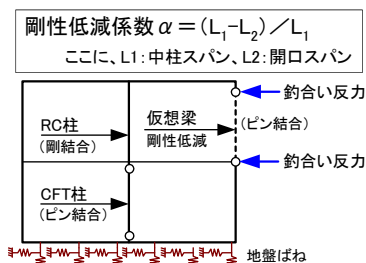


Fig.4 2次元フレーム解析モデル

Table.1 検討ケース及び開口補強桁の剛性

ケース	開口高 h(m)	開口スパン L(m)	L/h	補強桁剛性 I (m ⁴)	剛性低減係数 α
Case1	3.8	3.8	1	2.7648	0.493
Case2		7.6	2	0.4219	0.662
Case3		15.2	4	0.0547	0.324

キーワード：開削トンネル、側壁開口、開口補強桁、2次元フレーム解析、3次元シェル要素解析

連絡先：〒533-0033 大阪市東淀川区東中島 4-11-10 中央復建コンサルタンツ(株) TEL：06-6160-2212

6. 解析結果

(1) 2次元フレーム解析と3次元シェル要素解析の比較

Fig.5 に2次元フレーム解析(以下 2D と呼称)と3次元シェル要素解析(以下 3D と呼称)における曲げモーメント図を示す。ここでは、開口スパンが中柱間隔(7.5m)と同程度である Case2 に着目する。

2D では、開口部側壁をピン結合としているため、ピン挙動の影響により開口側の上床版隅角部では、外側引張のモーメントはほとんど発生していないことが確認できる。一方 3D では、開口側の上床版隅角部では大きな外側引張モーメントが発生しており、側壁開口による影響は 2D でモデル化するようなピン挙動を示さないことが確認できる。また、上床版径間部の内側引張モーメントは、隅角部がピン挙動を示している 2D に対し、ピン挙動を示さない 3D では、約半分程度であることが確認できる。これは、設置している開口補強桁が側壁の剛性を保持するため、隅角部が剛挙動を示すためだと考えられる。

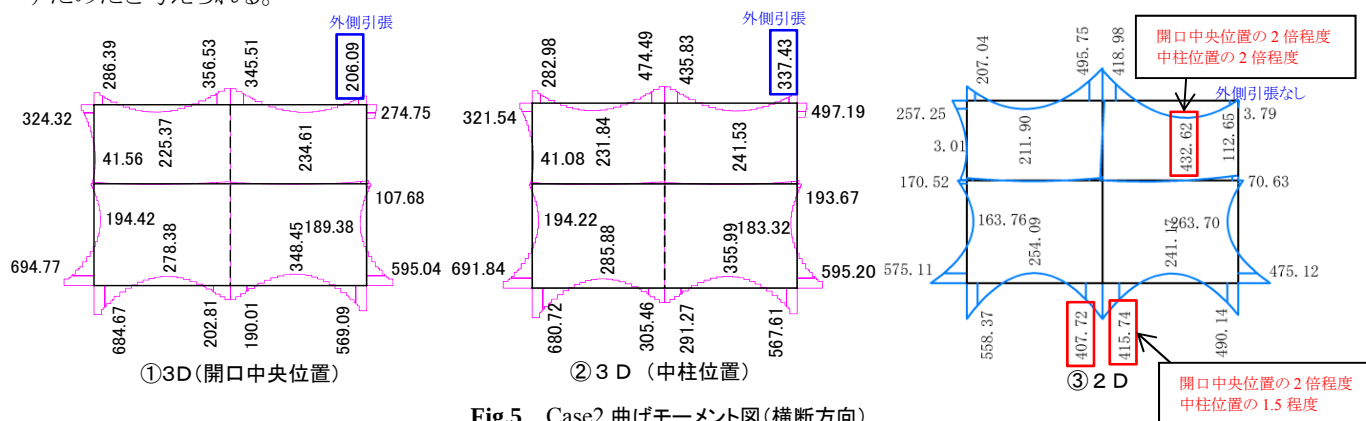


Fig.5 Case2 曲げモーメント図(横断方向)

(2) 開口スパンによる比較

Fig.6 に、モーメントの差が顕著に表れた開口側の上床版径間部と隅角部のモーメントについて、開口スパンを変化させた場合の比較を示す。また、3D の開口なしのモーメントも併せて示す。

3D では、開口スパンに係らず径間部における内側引張モーメントが小さく、隅角部における外側引張モーメントが発生している。また、3D は開口補強桁を設置しているため、開口スパンに係らず開口なしの断面力とほぼ同じである。これは、開口補強桁が隅角部の剛性を保持しているためだと考えられる。

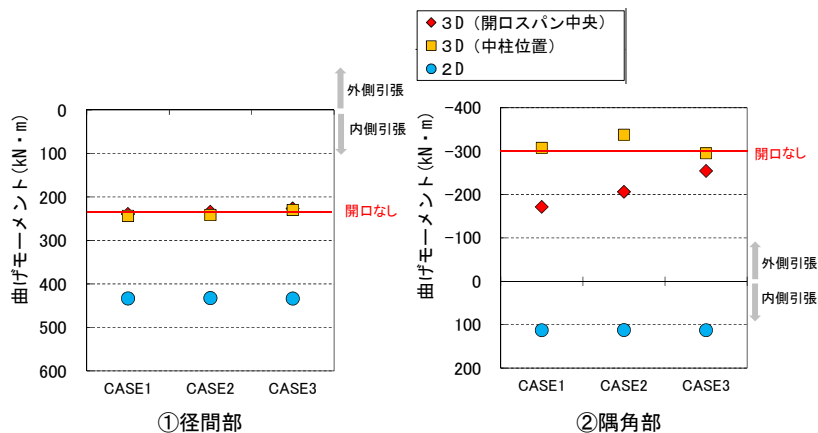


Fig.6 開口側上床版の曲げモーメント比較

7. まとめ

本検討では、3次元シェル要素解析により開口補強桁と既設躯体を一体モデルとした計算を行い、現況の設計方法(2次元フレーム解析)との比較を行った。

その結果、3次元シェル要素解析は開口補強桁が開口部の剛性を保持するため、剛挙動となり、開口なしの場合と同じ挙動を示す事が確認できた。一方、2次元フレーム解析は開口部にピン結合による仮想梁を設置することからピン挙動を示し、3次元シェル要素解析の断面力分布と大きく異なることが確認された。

今回の設計手法では、開口部の剛性低減を考慮した仮想梁を設置し、ピン結合にする設計モデルを用いたが、今後は、ピン結合だけでなく仮想梁を剛結合とした場合の挙動や、仮想梁の剛性に着目した検討を実施し、2次元フレーム解析における設計手法について検討を行っていきたいと考えている。なお、本研究の一部は鉄道総合技術研究所が平成24年度国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて行った。