

3次元シェル要素解析による開削トンネル側壁開口時の挙動に対する一考察(その1)

-2次元フレーム解析結果との比較-

中央復建コンサルタンツ(株) 正会員 ○松下恵梨 室谷耕輔 坂田智基
(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

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。その際の設計¹⁾は、開口位置に仮想の梁を設置した2次元フレーム解析で行うことが多いが、確立された設計手法はないのが現状である。そこで本研究では開削トンネル駅を対象に側壁の開口幅をパラメータとした3次元シェル要素解析を行い、開口による断面力の分布状況を確認するとともに、開口位置に仮想梁を設置した2次元フレーム解析の結果と比較することで2次元フレーム解析の妥当性の確認を目的とする。

2. 解析条件

検討モデル、2次元解析および3次元解析モデルを Fig.1~3 に示す。

(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、スパンを15.2m~0.633mに変化させた開口を設ける。その際、開口による構造物の3次元挙動に着目するため開口補強桁は設置しないものとする。

(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)部材モデル: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。なお、中柱と縦桁接合部はRC柱を剛結合、CFT柱をピン結合とする。

(4)荷重モデル:固定死荷重(自重)、鉛直土圧、水平土圧、水圧・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. 検討ケース

検討ケースを Table.1 に示す。検討は開口高を3.8m、開口スパンを15.2m~0.633m(スパンと高さの比は4~0.17)に変化させる8ケースと開口なしの全9ケースとする。なお、3次元解析では開口部のシェル要素を削除すること、2次元解析では側壁部の軸剛性に対して Table.1 に示す剛性低減係数 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。

Table.1 検討ケース

ケース	開口高 h(m)	開口スパン L(m)	L/h	剛性 低減係数 α (2次元解析)	備考
Case1	3.8	15.200	4	0.324	開口スパン>中柱スパン
Case2		7.600	2	0.662	
Case3		3.800	1	0.493	
Case4		3.167	0.83	0.578	
Case5		2.533	0.67	0.662	
Case6		1.900	0.50	0.747	
Case7		1.267	0.33	0.831	
Case8		0.633	0.17	0.916	
Case9	—	—	—	—	

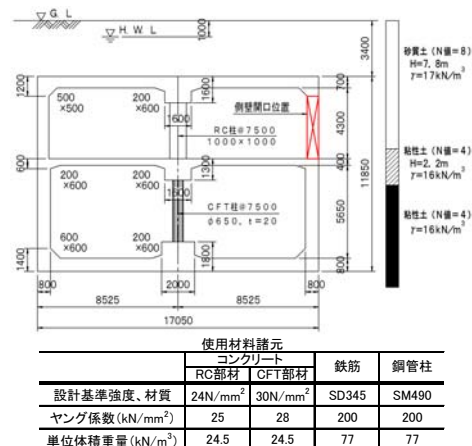


Fig.1 検討モデル

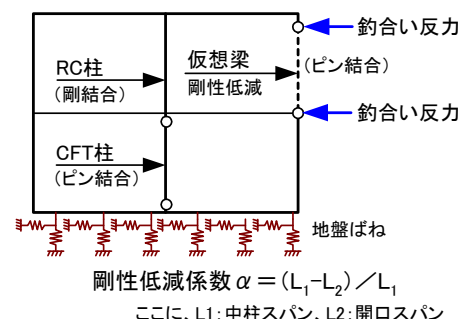


Fig.2 2次元解析モデル

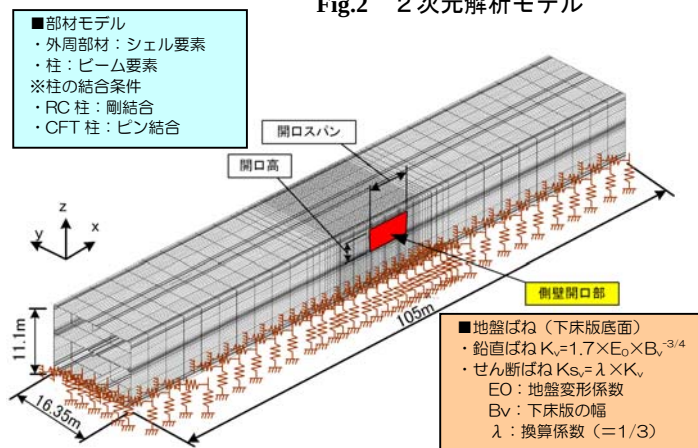


Fig.3 3次元解析モデル

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

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

4. 解析結果

(1) 開口の有無による横断方向の曲げモーメント分布の比較

Table.2 に上床版の横断方向の曲げ分布コンター図(1点鎖線は中柱位置)を示す。側壁に開口を設けることで、開口位置における上床版は外側引張のモーメントが減少(黄色から緑に変化)するとともに、上床版スパン中央付近は下側引張モーメントの増加(緑から青に変化)が見られる。その範囲は開口位置から 45° で分布しており、開口スパンが大きいほどその範囲は広がる。また、中柱位置の曲げモーメント分布については、Case3(開口スパン 3.8m)は Case9(開口なし)とほとんど分布状況が変わらないものの、Case1(開口スパン 15.2m)は中柱位置で上側引張モーメントの増加(赤の範囲の拡大)が見られる。このように、側壁開口を設けることで開口部における上床版の支持条件が固定から自由に移行するため、スパン中央付近には下側引張、中柱付近には上側引張のモーメント増加が現れたと考えられる。

(2) 2次元フレーム解析との比較

Fig.3 に 3 次元解析と 2 次元解析との曲げモーメント分布の比較図を示す。Case9(開口なし)は断面力の差が 1～3 割程度であり、概ね断面力分布は一致している。また、Case1,3(開口あり)では、部分的に 5 割以上の差があるものの、断面力の発生方向等、概ね傾向は一致している。ここで、開口部における上床版隅角部(図上の○の位置)の 2 次元解析では、開口位置にピン結合させた仮想梁を設置するため、ほとんどゼロ (-0.99kNm と -1.10kNm) となっている。しかし、3 次元解析の Case3 は、着目箇所の断面力が大きく減少しているものの、 -35.16kNm の曲げが発生しておりゼロではない。また、Case1 では同位置の断面力は $+101.80\text{kNm}$ となり正曲げに転換する。以上より、開口位置上床版の支持条件は固定から自由に移行するが、トンネル方向に上床版が連続しているため、完全に自由に移行しておらず、ある程度の剛性を有することから断面力が生じると考えられる。つまり、ピン結合した仮想梁を設置する 2 次元解析では、開口スパンにより過小評価する可能性があり、ピン結合ではない支持条件を設定する等モデル化に工夫が必要である。

Table.2 横断方向曲げ分布コンター図(上床版)

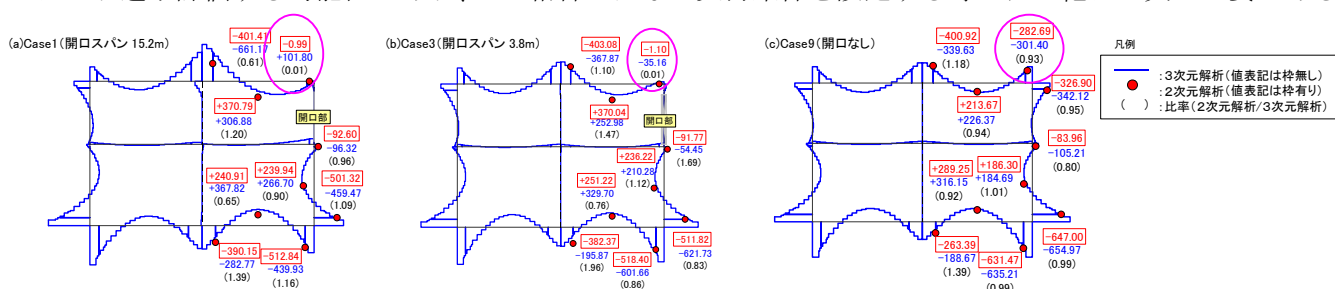
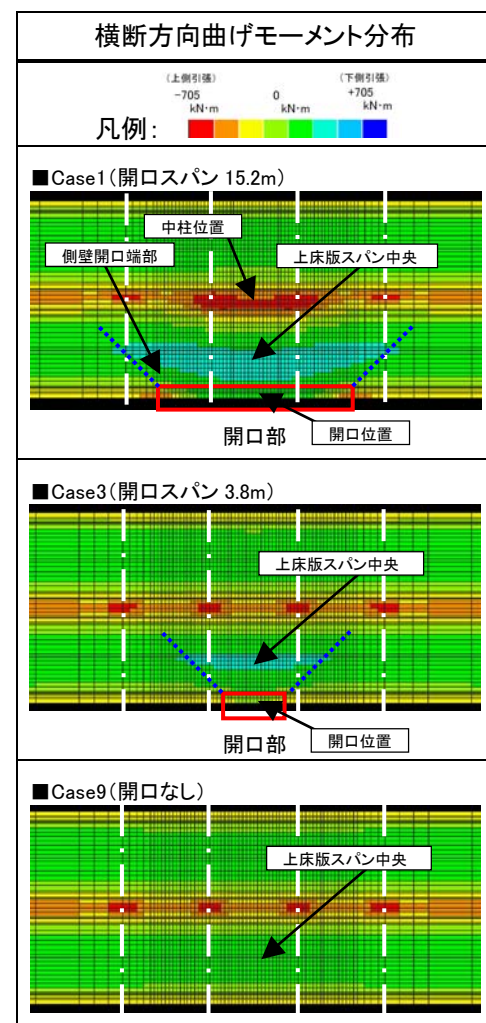


Fig.3 曲げモーメント分布比較図

5. まとめ

開削トンネル駅を対象に側壁の開口幅をパラメータとした3次元シェル要素解析を行い、開口による断面力の分布状況及び2次元フレーム解析結果と比較することで2次元フレーム解析の妥当性の確認を行った。その結果、側壁に開口を設けることで、上床版の支持条件が固定から自由に移行することから、上床版のスパン中央付近や中柱付近にモーメントの増加が見られた。また、2次元解析との比較では、曲げモーメントの分布状況は比較的一致しているものの、開口部における上床版隅角部はピン結合した仮想梁を設置するため、3次元解析で発生する曲げモーメントを評価できていないことが確認された。今後は、2次元解析における開口部のモデル化方法について検討する必要があると考える。なお、本研究の一部は鉄道総合技術研究所が平成23年度国交省の鉄道技術補助金を受けて行った。

参考文献: 1) 鉄道構造物等設計標準・同解説 開削トンネル 財団法人鉄道総合技術研究所、2001.3