

地中立体構造物の耐震設計方法に関する一考察

オリエンタルコンサルタンツ 正会員○平栗 昌明
 オリエンタルコンサルタンツ 正会員 福間 雅俊
 オリエンタルコンサルタンツ 正会員 梅林福太郎
 オリエンタルコンサルタンツ 正会員 大竹 省吾

1. はじめに

開削トンネル、シールドトンネル等の地中構造物の耐震設計方法に関しては、兵庫県南部地震以降、設計基準類の整備が進められ、構造物を2次元の骨組みによりモデル化する応答変位法や応答震度法等により耐震設計が実施されている。しかし、両トンネルの境界部に構築される地中立坑や、貯水槽等の妻壁を有する地中構造物に関しては、その具体的な耐震設計方法を記した基準類がなく、設計方法は設計者に委ねられている。本稿は、筆者らが考案した耐震設計方法を報告するものである。

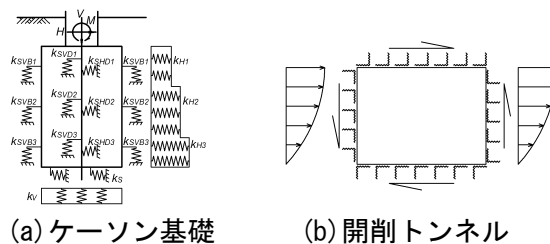
2. 耐震解析方法の検討方針

地中立体構造物の耐震解析手法としては、橋梁のケーソン基礎のように鉛直方向の鉄筋を主鉄筋とする方法(図-1(a))と、開削トンネルのようにトンネル軸に対する横断方向の輪切り断面を設計断面とする方法(図-1(b))と、立体モデルを用いる方法(図-1(c))が考えられる。このうち、立体モデルを用いる方法は、非線形ソリッド要素を用いればレベル2地震時であっても適切な荷重の算定ができるが実用的ではない。また、シェル要素を用いた場合は、一般に線形解析となり過大設計となりうる。また、地中立坑や貯水槽は、比較的扁平なものが多いこと、上下床板に対しても側壁と同様の合理的な設計が望まれることから、横断方向の輪切り断面を設計断面とする方法との適用性が良い。さらに、開口部があること、形状が横に細長い等の理由より、軸方向に対する横断方向の1方向のみ輪切り断面として設計し、もう片方は妻壁として設計を行うのが適当と考えられる場合がある。このため、筆者らは、地中立体構造物の設計を、軸方向に対する横断方向と、妻壁(図-2)に分けて実施する耐震設計方法を検討した。

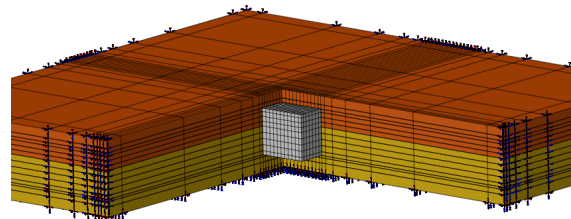
3. 耐震設計方法

3. 1 横断方向の耐震設計

地中立体構造物の横断方向の耐震設計は、応答震度法(図-3)を基本とした。また、面内の壁の剛性を必要に応じて考慮することとした。面内の壁の剛性を考慮する方法としては、駐車場設計施工指針¹⁾にその規定があるため、これを用いることとした(図-3)。



(a) ケーソン基礎 (b) 開削トンネル



(c) 立体モデル

図-1 耐震設計モデル

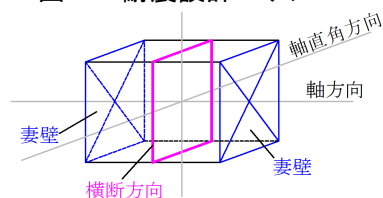


図-2 耐震設計方針

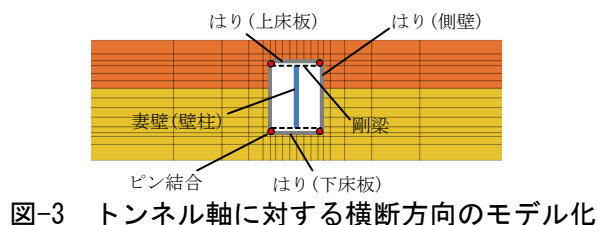


図-3 トンネル軸に対する横断方向のモデル化

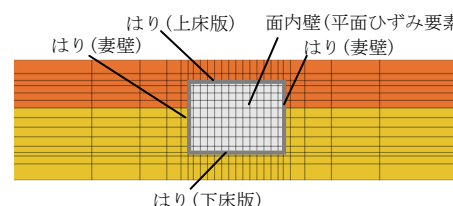


図-4 軸方向の横断方向のモデル化

キーワード 地中構造物, 妻壁, 耐震設計, 設計方法, FEM 解析

連絡先 〒151-0071 東京都渋谷区本町 3-12-1 株式会社オリエンタルコンサルタンツ TEL.03-6311-7860

3.2 妻壁の耐震設計

妻壁の耐震設計は、妻壁に作用する地震時の荷重を算定し、これを妻壁の4辺固定版に作用させることとした。その際、地盤と構造物の相互作用により構造物全体が剛体変形することで妻壁に作用する荷重が軽減する効果を見込むため、地盤と構造物を2次元FEMによりモデル化した応答震度法のモデル(図-4)を用いることとした。妻壁に作用する荷重は、同モデルの面内壁をモデル化した平面ひずみ要素の応力度と、上下床版の梁要素の反力より推定することとした。

具体的には、同モデルにより算定した妻壁背後の側壁の反力は、妻壁に作用する荷重が水平方向に伝達したものと捉え、妻壁の幅で割戻し、妻壁に作用させることとした(図-5)。また、妻壁の上下床版との接合部の梁要素の反力は、妻壁を介して上下床版に荷重が伝達したと捉え、妻壁の面積で割戻した値を、妻壁に作用させることとした(図-5)。

4. 適用性の確認

比較的緩い地盤中の地中立体構造物(図-6)を対象とし、上記で提案した妻壁の設計方法の適用性を検討した。

適用性検討は、下記の3ケースにより算定した妻壁の作用荷重を妻壁の4辺固定版に作用させた場合の断面力の比較により実施した。

- ①提案方法(2次元FEM応答震度法を適用)
- ②3次元FEM応答震度法((図-1(c))構造物はシェル要素)
- ③1次元の地盤の地震応答解析(下床版深度に対する相対変位に地震時の地盤ばねを掛け合わせた値を、妻壁に作用する地震時反力とする(図-7))

比較結果を図-8に示す。これより提案方法は、詳細な3次元FEMによる応答に比べれば曲げモーメントが7割程度、せん断力が2割程度大きく安全側であるが、③の簡易方法に比べると曲げモーメントが3割程度、せん断力が4割程度以上小さく過大設計は回避される傾向となっている。

5. おわりに

地中中立坑や、貯水槽等の地中構造物に対する耐震設計法として、妻壁に着目した耐震設計方法を提案した。同手法は、詳細な3次元FEMに比べ安全側で、相対変位と地盤ばねを用いる簡易な方法よりも合理的であった。これは、2次元の応答震度法を用い構造物の地震時の剛体変形(図-9)を考慮することで、妻壁に作用する過大な反力が回避でき、2次元FEMで算定された反力を等分布で分散させた事等により発生断面力が大き目となったためと考えられる。

参考文献 1) 日本道路協会：駐車場設計・施工指針 同解説, 1992.

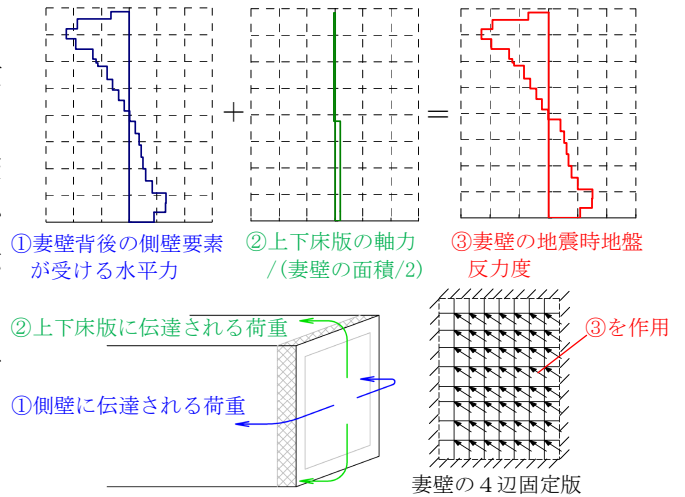


図-5 妻壁の反力の設定

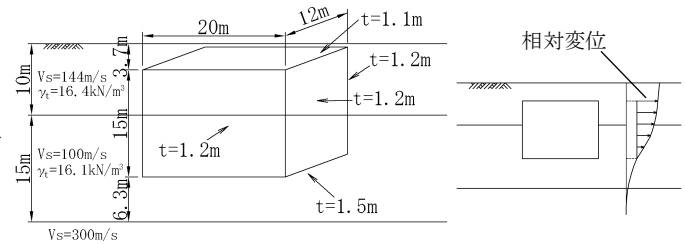
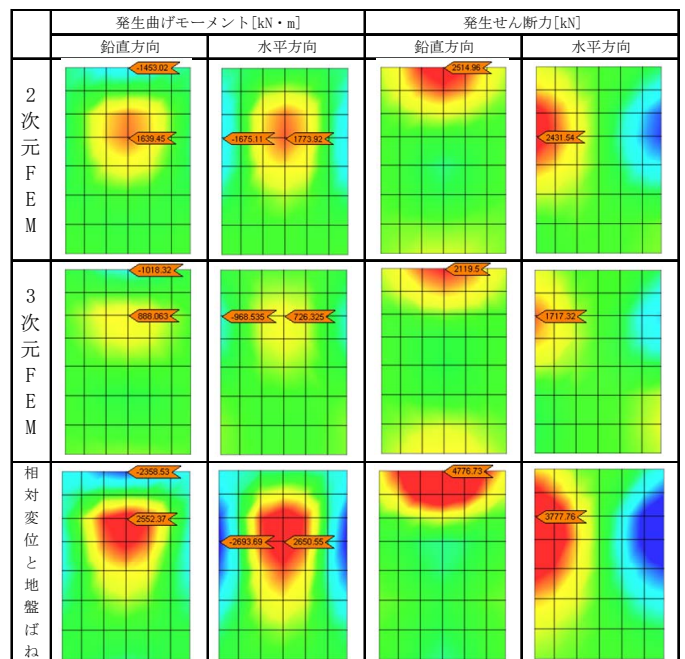


図-6 適用性検討の検討対象 図-7 簡易な方法



最大断面力	鉛直方向曲げモーメント Mx [kN・m]		水平方向曲げモーメント My [kN・m]		せん断力 S [kN]
	内側引張	外側引張	内側引張	外側引張	
①2次元FEM	1640	-1453	1774	-1675	2515
②3次元FEM	888	-1018	726	-969	2120
③相対変位と地盤ばねから算定	2552	-2359	2651	-2694	4777

図-8 3次元モデルとの比較

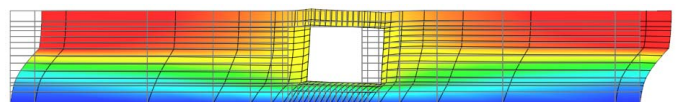


図-9 外周部材の変形状況