円形立坑の耐震設計手法に関する諸検討(その1)

清水建設(株) 正会員 〇伊海田明宏 坂井康伸 松原菜緒

1. はじめに

地中構造物の耐震設計で、動的解析により構造物の応答値を算定する場合は、構造物と地盤の相互作用が無視で きないため、構造物と地盤を一体でモデル化した FEM 解析がよく用いられる¹⁾.しかしながら、円形立坑のような 奥行方向に変化する構造物は二次元解析でのモデル化が難しい.本稿は、円形立坑を質点系モデルで、地盤を平面 ひずみ要素でモデル化し二次元解析によって円形立坑の応答値を算定する際に行った諸検討をまとめたものである. 特に構造物と地盤の接続方法の影響について述べる.

2. 検討条件

地盤を平面ひずみ要素,立坑を質点と梁要素でそれぞれモデル化し,FEM による二次元動的解析を行った.解析 モデルを図1,地盤の諸元を表1,立坑の諸元を表2に示す.立坑の各質点は地盤要素にあわせて分割し立坑の断面 形状から質量および慣性モーメントを算定した.各質点を繋ぐ梁要素の曲げ剛性,軸剛性,せん断剛性は図2に示 す有効範囲の断面積で算定した.二次元動的解析はモデル側面にエネルギー伝達境界,底面に粘性境界を配置し, 入力地震動は製造設備等耐震設計指針³⁾のスペクトル適合波(最大加速度=441m/s²)を用いた.地盤は既往の測定 データを元に各層で剛性低下曲線を設定し等価線形解析を行うことで非線形性を考慮した.その他の要素について は線形要素とした.解析ケースとして,水平方向の地盤-質点間の水平方向の力を伝える剛ばねのみで接続したモデ ル(ケース1),これにせん断ばねを追加したモデル(ケース2),さらに立坑底部の回転自由度を後述の回転ばねに 接続したモデル(ケース3)を考慮した(図1右).ばね定数の値を表3に示す.せん断ばね定数は立坑壁部をモデ ル化した三次元静的解析より,回転ばね定数は田治見⁴⁾の方法により直径15mの円盤の回転ばねとして算出した.



えし 地盤 超九						
名称	層厚	せん断波速度	せん断弾性係数	ポアソン比	単位体積	
	(m)	(m/s)	(kN/m^2)		(kN/m	
上層	12.0	300	150	0.45	16.0	
中層	60.0	800	1,170	0.38	18.0	
下層	15.0	1,000	2,040	0.38	20.0	
等価地盤 (立坑下)	51.0	812	1,210	0.38	18.0	

せん断断面積 [※]		1.47 m ²	
断面二次モーメント※		72.2 m ⁴	
単位体積重量		24.0 kN/m ³	
弾性係数		$2.52 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$	
せん断弾性係数		$1.05 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$	
減衰定数		0.03	
表 3	ばね定数値	(※単位奥行当りの値)	
名称		値	

有効とみなす範囲

図2 立坑断面の剛性評価に用いる範囲

表 2 立坑諸元 (※単位奥行当りの値)

曲げ・軸剛性

加振方向

名称

径(軸心で算出)

壁厚

高さ(軸心で算出)

頂版厚

底版厚

断面積※

重量

5m 3m せん断剛性

値

14.0 m

1.0 m

36.0 m

1.0 m

1.5 m

2.93 m²

名称	値
水平ばね定数	∞ (剛ばね)
せん断ばね定数 [※]	$1.92 \times 10^{5} \text{ kN/m}$
回転ばね定数 [※]	8.62 × 10 ⁷ kNm/rad

キーワード: 地震応答解析,立坑,動的解析,有限要素法 連絡先: 〒104-8370 東京都中央区京橋2丁目 清水建設(株)

エネルギー設計部 TEL 03-3561-3895

-327

3. 検討結果

図3に立坑の頂底版間の水平相対変位が最大となる時刻におけ る立坑付近の変形図を示す.同図には頂底版間の水平相対変位, と左右地盤の鉛直変位の差も記載した.

図3より,左右地盤の鉛直変位の差は,ケース1では水平相対 変位と同程度みられるのに対し,ケース2,3では1mm以下の非常 に小さい値となっている.これは,ケース2,3ではせん断ばねが 地盤を鉛直方向に拘束しているためと考えられる.また,変形図 の変形モードは,ケース1は立坑周辺の地盤が横倒しになる変形 モードであるが,ケース2,3では地盤がせん断変形するモードと なっている.これらの結果より,ケース1よりもケース2,3の方 が実現象をよく表す解析になっているといえる.

図4に頂底版間の水平相対変位が最大となる時刻における梁要素の曲げモーメントの深度分布を示す.なお,値は奥行15m当りに換算している.

図4においても、ケース1は他ケースと比べて立坑の変位量が 大きいため、大きな曲げモーメントが発生している.また、底版 の回転角も大きくなるため、地盤から受ける反力も増加し、底部 での曲げモーメントがかなり大きくなっている.

ケース2とケース3ではGL-12.0m付近までの曲げモーメントが 同程度であるが,それより深い位置ではケース3の方が小さくな っている.これは,ケース3では底版を直径15mの円盤としてば ね定数を算出した回転ばねから反力を受けるのに対し,ケース2 では底版を幅14m,奥行15mの二次元梁要素として地盤から反力 を受けていることが影響していると考えられる.

4. まとめ

本稿では、立坑を質点系モデルで、地盤を平面ひずみ要素でモ デル化し、FEM による二次元動的解析を行った.また、立坑と地 盤の接続方法の影響として立坑付近の変形図と立坑に生じる断面 力を比較し、立坑の剛性を考慮したせん断ばねを用いることで、 立坑-地盤間のせん断力の相互作用を再現できることを確認した. 今後は応答変位法や三次元動的解析との結果値の比較により、本 稿で示した接続条件の妥当性を検証する予定である.

参考文献

- 1) 土木学会:シールド工事用立坑の設計(トンネル・ライブラリー第 27号),2015
- 日本電気協会:原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601-2015), 2015
- 3) 日本ガス協会:製造設備等耐震設計指針(JGA 指-101-12), 2012
- 4) 田治見宏: 建物と地盤の相互作用(建築工学大系1地震工学), 1977



-654-