

(株)銭高組技術研究所 正会員 ○尾儀一郎
京都大学防災研究所 正会員 佐藤忠信

1. まえがき

立坑の耐震性を照査する場合、2次元FEM地震応答解析を用いることがある。この場合、現実の構造物は3次元的な広がりがあるので、2次元問題に置き換える場合3次元効果のモデル化が問題となる。

ここでは、大断面円形立坑を対象にして行った2次元FEMを用いた応答変位法と、軸対称FEMを用いた応答変位法による解析結果を比較することにより、2次元FEMによる解析モデルの妥当性を検討する。

2. 解析モデルおよび検討方法

図1に2次元FEMの解析モデルを示す。立坑側壁は梁要素でモデル化し、地盤、立坑底版および立坑内部（立坑内の空洞部）は平面ひずみ連続体要素でモデル化した。立坑内部は本来空洞であるが、この部分に連続体要素を配置したことに本モデルの特徴がある。境界条件は、水平ローラー、底面固定とした。軸対称FEMでは、図1の立坑中心を回転対称軸とした1/2モデル（立坑内部は空洞）で、立坑の側壁を軸対称（薄肉）要素で、立坑の底版および地盤を軸対称連続体要素でモデル化した。立坑の構造諸元および地盤物性値は表1および表2のようである。地盤は大阪中心部の地盤を沖積層および洪積層からなる2層地盤に理想化したものであり、その物性値は地震時ひずみレベルに応じた値である。

解析は、当該2層地盤に対し一次元重複反射理論により求めた地盤応答変位を生じさせる等価節点力を地震外力として作用させる方法で行った。

2次元FEMの解析において問題となる解析対象奥行きならびに立坑側壁、立坑内部および底版の剛性等の条件を以下のように設定し、表3の各モデルについて検討した。

- (1)モデル1：側壁は曲げ剛性が、立坑内部および底版はせん断剛性が円環断面と同等となるように設定した。すなわち、円環としての曲げおよびせん断剛性を対象奥行きで除した値を採用した。
- (2)モデル2：側壁は壁厚相当の剛性が奥行き方向に無限に続くものとし、立坑内部は地震時偏圧に対するリングバネ相当の剛性とした。また、底版はモデル1と同等である。
- (3)モデル3：立坑内部は地震時偏圧に対するリングバネ相当の剛性とし、側壁と立坑内部を複合体としたときの剛性が円環断面の剛性を対象奥行きで除した値と同等となるように側壁の剛性を

表1 立坑緒元

外径(m)	29.0
深さ(m)	75.0
壁厚(m)	2.0
底版厚(m)	5.0
弾性係数(tf/m ²)	2.5・10 ⁶
ポアソン比	0.2

表2 地盤物性値

地 層	層厚 m	γ tf/m ³	V_s m/sec	G tf/m ²	ν
沖積粘土層 Ac	30	1.6	125	2550	0.49
洪積砂層 Ds	60	1.8	227	9450	0.45

表3 解析モデルの物性値

	対象 奥行	立坑側壁 I m ⁴	底 版 E tf/m ²	立坑内部 E tf/m ²
モデル1	1D	2.68・10 ²	1.96・10 ⁶	5.04・10 ⁵
	10D	2.68・10 ¹	1.96・10 ⁵	5.04・10 ⁴
	100D	2.68	1.96・10 ⁴	5.04・10 ³
モデル2	1D	0.67	1.96・10 ⁶	1.05・10 ⁵
	10D	0.67	1.96・10 ⁵	1.05・10 ⁵
	100D	0.67	1.96・10 ⁴	1.05・10 ⁵
モデル3	1D	2.34・10 ²	2.5・10 ⁵	1.05・10 ⁵
	5D	1.92・10 ¹	2.5・10 ⁵	1.05・10 ⁵
	7D	3.84	2.5・10 ⁵	1.05・10 ⁵
モデル4	1D	0.67	1.96・10 ⁶	8.15・10 ⁵
	10D	0.67	1.96・10 ⁵	7.97・10 ⁴
	50D	0.67	3.93・10 ⁴	1.43・10 ⁴

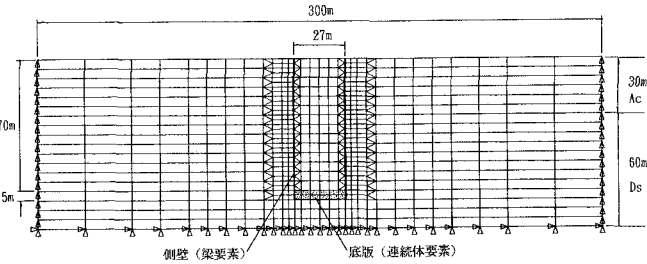


図1 2次元FEM解析モデル

評価する。底版はコンクリートの弾性係数とした。

(4)モデル4：側壁は壁厚相当の剛性とし、側壁と立坑内部を複合体としたときの剛性が円環断面の剛性を対象奥行きで除した値と同等になるように立坑内部の剛性を評価する。また、底版はモデル1と同等である。

なお、モデル1～モデル3では、立坑内部には等価節点力を作用させていないが、モデル4では、立坑内部にも地盤相当の等価節点力を作用させた。

3. 解析結果および考察

図2に立坑の水平変位分布、曲げモーメントおよび軸力分布を示す。図中、実線は軸対称FEMを用いた応答変位法による解析結果で、点線は2次元FEMを用いた応答変位法による解析結果である。

立坑の変形は、モデル1とモデル4では立坑内部の剛性が小さくなると変形が大きくなる傾向を示すので、軸対称FEMとの近似が可能である。このうち、モデル4の対象奥行きが10Dの場合は、軸対称FEMの結果とほぼ一致する。一方、モデル2およびモデル3ではパラメータに関係なく一定の分布形状を示し、軸対称FEMとの対応はよくない。

立坑の曲げモーメントは、地層境界面で極大値となる特徴を示すが、側壁を厚み相当（2m）の剛性で評価した場合のモデル2およびモデル4がよい近似を示す。これらのうち、モデル2の対象奥行きが1Dとモデル4の対象奥行きが10Dの場合の近似が良い。しかし、モデル1およびモデル3のように側壁の剛性を大きく見積もるモデルの場合は、分布形状および絶対量ともに近似が悪い。

立坑の軸力はモデルによる相違はなく、分布形状は類似パターンを示す。ただし、軸対称FEMに比べ小さな結果となる。

以上の結果から、立坑の変位、曲げモーメントおよび軸力に関して軸対称FEMと最も良い対応を示すのは、モデル4の対象奥行きが10Dの場合である。このことから、3次元モデルを2次元モデルで表現する場合、立坑側壁を壁厚相当の梁要素とし、実際には空洞である立坑内部と底版を等価な平面ひずみ連続体要素でモデル化することにより、軸対称FEM相当の結果が得られることがわかる。

4. あとがき 本報告は地下空間の活用と技術に関する研究協議会（座長：京都大学防災研究所土岐憲三教授）の第3分科会耐震グループ（主査：神戸大学工学部高田至郎教授）の研究成果の一部をとりまとめたものである。

末尾ながら、ご討議頂いた委員、WGのメンバー各位に感謝いたします。

【参考文献】土岐、足立、松井：関西における地下空間の活用と技術に関する研究動向（その3）、地下空間シンポジウム1993、土木学会、PP189～198、1993

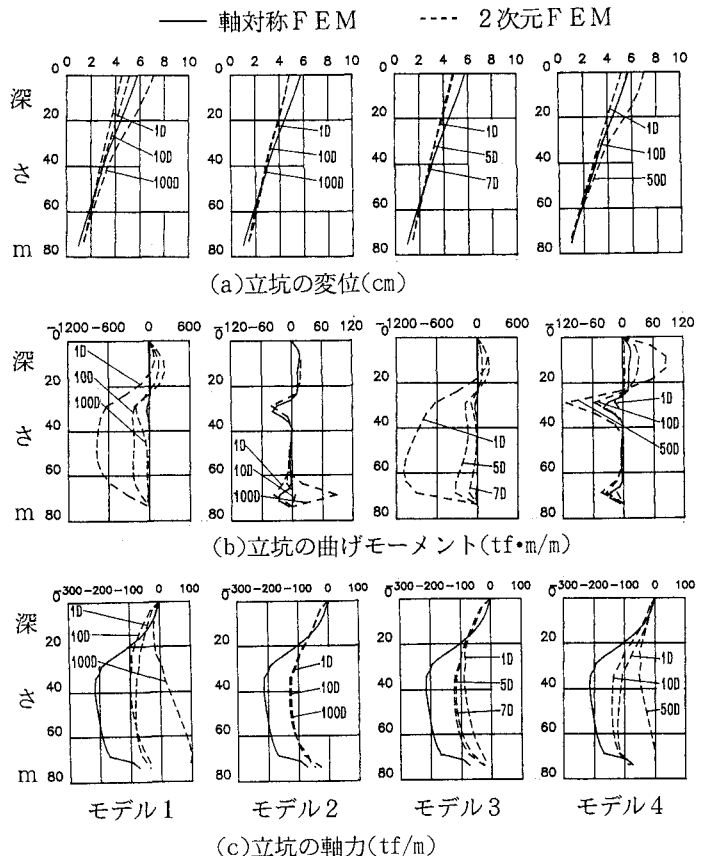


図2 解析結果