

大深度地下構造物の耐震解析における地震外力評価に関する検討

東京電力（株） 正会員 ○黒川 聡
東電設計（株） 正会員 松原 勝己

1. はじめに

揚水発電所における地下発電所など、大深度かつ大断面を特徴とした地下構造物の耐震解析を行うには、掘削時に構造物近傍の地山が非線形化するなどの挙動が評価できる解析手法を基本に、地震応答解析結果を組み合わせる必要があると考えられる。その際、掘削解析では地表までモデル化していないこと、ならびに掘削解析とは外力の分布範囲が異なることから、地震外力の定義方法、ならびにモデル化範囲について検討し、無次元化指標による一般化を試みた。

2. 地震外力の定義方法に関する検討

地表面までモデル化しない静的FEMにおける地震外力の定義方法について検討する。解析モデルは図-1の通りであり、地表面の凹凸ならびに地下構造物をモデル化した動的二次元解析を基準値とする（以下、詳細モデルA、解析コード：Super-Flush）。比較モデルAでは、地下構造物を無視した地震応答解析と静的FEMの組み合わせとし、静的FEMは、掘削解析を模擬した範囲でモデル化している。

静的FEMにおける地震外力の定義方法は、応答震度法や地盤応答法¹⁾を参考にパラメータとした。地盤条件は、均質岩盤（ $V_s=3,000\text{m/s}$ 相当）を仮定し、地表付近には風化層相当の低速度帯を考慮した。入力地震動は、構造物底面の実測波（1987/12/17 千葉県東方沖地震）のデコンボリューションとし、水平動ならびに水平鉛直同時加振とした。比較項目は、構造物上下端の相対変位最大時刻における、覆工の最大軸力比とした。

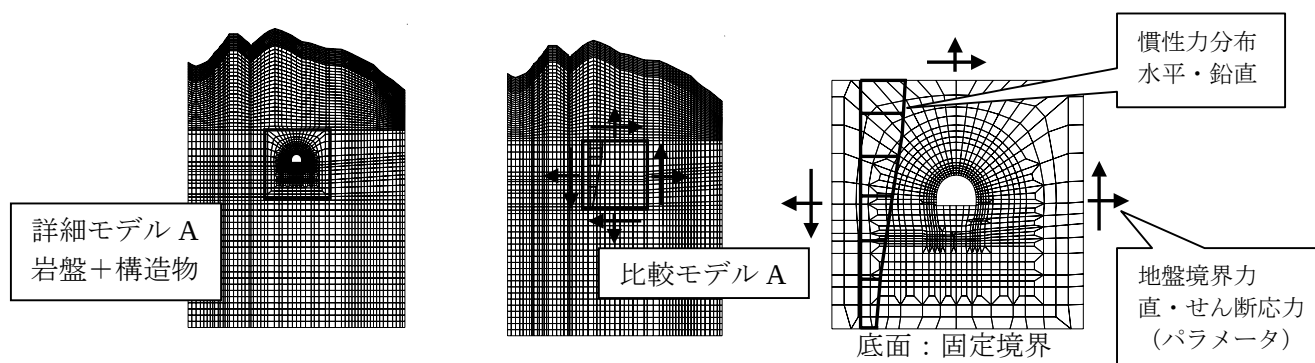


図-1 解析モデルA

結果を要約すると、以下のようになる。

- ・ 水平鉛直同時加振においても、地震時外力として、慣性力と境界力を考慮することで、詳細モデルと同等の結果が得られる。
- ・ 地震外力の評価は、地下構造物を省略した動的解析により可能となる。
- ・ 水平動に対する応答としては、上面せん断力の寄与率が大きく、慣性力のみ考慮した場合は危険側の評価となる。

表-1 地震外力の定義方法による影響

解析		動的解析からの INPUT					OUTPUT
		慣性力分布	上面境界力		側方境界力		覆工最大軸力比
			せん断	直土圧	せん断	直土圧	
水平加振	詳細モデル	●	●	●	●	●	基準値
	比較 1-1	○	×	×	×	×	0.16
	比較 1-2	○	○	○	○	○	1.06
	比較 1-3	○	○	×	×	○	0.99
	比較 1-4	○	○	×	×	×	1.03
水平鉛直同時加振	詳細モデル	●	●	●	●	●	基準値
	比較 2-1	○	○	○	○	○	1.02
	比較 2-2	○	○	×	×	○	1.54
	比較 2-3	○	○	○	×	○	1.55
	比較 2-4	○	○	×	○	○	1.01

※モデル空洞上下端の相対変位が最大となる時刻で覆工の軸力を比較

キーワード 地震応答解析, 耐震診断, 大深度地下, 地下構造物, モデル化

連絡先 〒160-0004 東京都千代田区幸町 1-1-3 東京電力（株）建設部 TEL 03-4216-6721

3. モデル化範囲に関する検討

静的FEMによる耐震解析では、構造物とモデル境界までの離隔を経験的に3～5D程度を確保しているが、大規模地下構造物の掘削解析モデルを適用するには離隔距離が不足する場合がある。このため、離隔距離に関する検討を実施した。解析モデルは図-2の通りであり、詳細モデルBを基準値とした（解析コード:Super-Flush）。比較モデルBは、構造物に対する上下左右の離隔を第一のパラメータとし、空洞径Dの1/2～2倍とした。入力地震動は5Hz（正弦波）の水平動とし、岩盤物性を一様に1,000～3,000m/sとすることで、便宜的に波長 λ を第二のパラメータとした。比較項目は、構造物の上下端の相対変位最大時刻断面における、構造物底面に対する相対変位比ならびに構造物の底面・側面・上面に隣接する岩盤のせん断応力比とした。

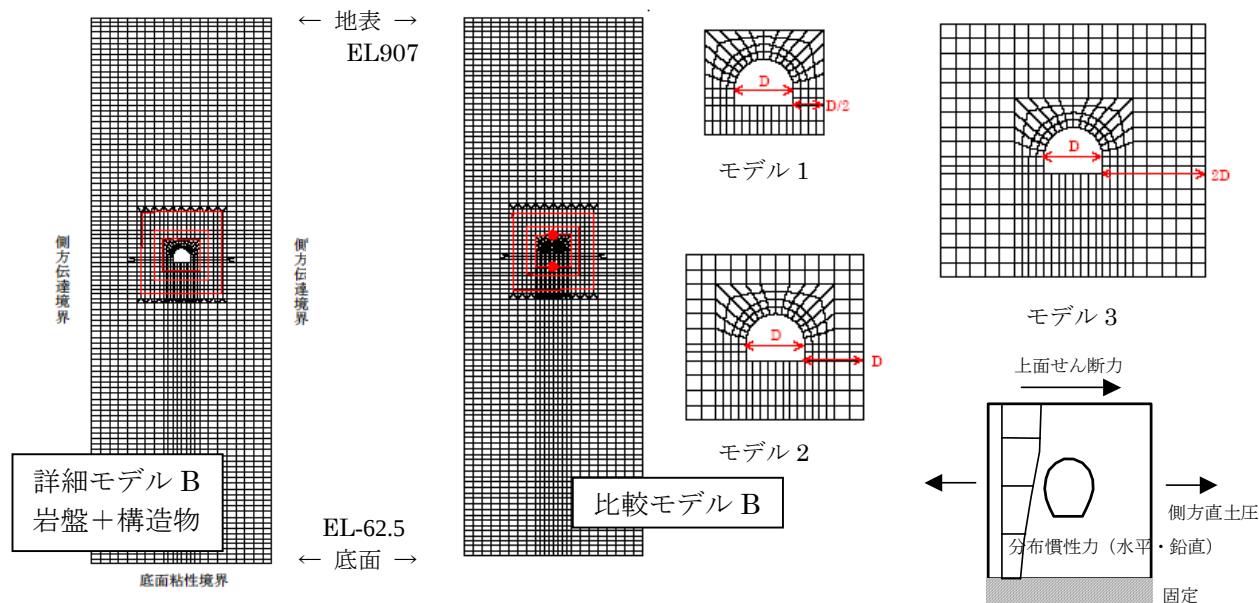


図-2 解析モデルB

結果を要約すると、以下のようになる。

- ・ 慣性力と境界力を定義する静的FEMにおいて、モデル領域の大きさは、空洞径Dに対する離隔距離を2倍以上に設定すれば、詳細モデルの結果と10%以内の差で一致する。
- ・ 計算精度に及ぼす影響は、波長 λ と空洞径Dの比よりも、モデル領域の大きさの方が大きい。
- ・ λ/D が10程度より小さくなると、詳細モデルの結果よりも相対変位やせん断応力の絶対値が小さくなる場合がある。

4. まとめ

地下構造物を考慮した動的解析と対比した結果、

- ・ 静的FEMによる耐震解析を行う場合、地震応答解析より得られる地震慣性力と境界力を適切に評価することにより、同等の結果が得られる。
- ・ 静的FEMのモデル化範囲は、構造物に対して2倍以上の離隔を確保すると、同等の結果が得られる。

参考文献

- 1) 立石 章：静的FEMを用いた地中構造物横断面方向の耐震積算法における地震荷重の作用方法の研究，土木学会論文報告集，No.519,pp139_148，1995

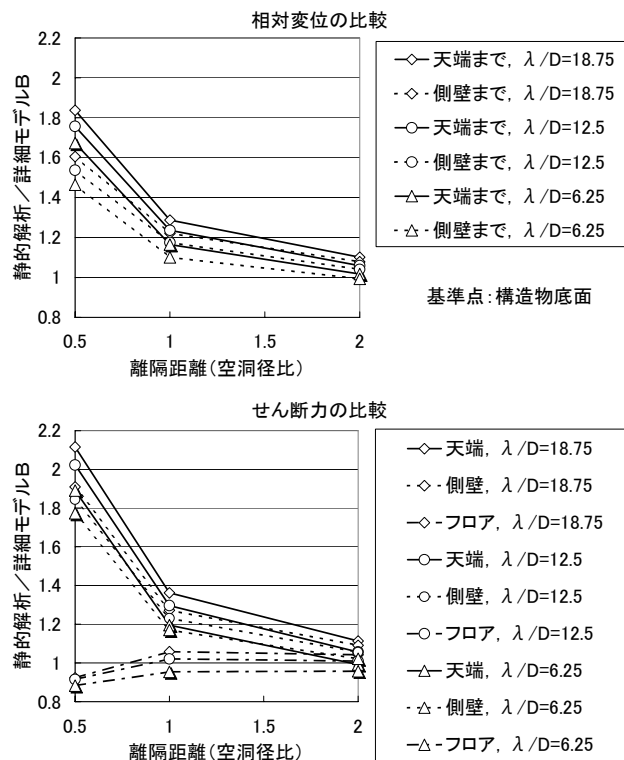


図-3 解析結果