

㈱ 建設企画コンサルタント ○堀田 光
 同 上 野間口 明義
 ㈱ 大林組技術研究所 後藤 洋三

1. はじめに

原子力発電所等の大型重要構造物の動的応答解析手法として用いられている入射波解析に着目して、二次元FEM、さらにそれを拡張した回転体要素を用いた擬似三次元FEM解析手法を使用して、入射波解析手法の適用性を検討した。またこれらのプログラムは、その使用しようとするプログラムの本来の使用目的、解析手法の考え方に応じて、境界条件、物性、減衰等に特徴があり、数値計算結果の評価を行う場合、これらのプログラムの特徴を予め説明しておくことは重要である。ここでは、現在広く採用されている二次元FEMプログラム(FLUSH)と、擬似三次元プログラム(ABLE2)を対象として、若干の検討を行った結果について報告する。

2. 入射波解析による動的応答解析手法の比較

2.1 解析手法

解析手法として次の3種の手法を採用した。

- ① 多重反射理論： 解析プログラムSHAKE を使用し、減衰定数として2%の複素減衰を採用する。
- ② 複素応答解析法： 解析プログラムFLUSH を使用し、減衰定数として2%の複素減衰を採用する。
- ③ 回転体要素を用いた擬似三次元FEM 解析法： 解析プログラムABLE2 を使用し、減衰定数として2%の複素減衰を採用する。

ここで②のFLUSH プログラムは、底部粘性境界を加えて、入射波解析を可能とした改良版のものである。

2.2 解析モデルおよび入力条件

図-1に各々のプログラムにおける解析モデルを示す。モデル地盤は、SHAKE では厚層20m、FLUSH、擬似三次元FEM では層厚10mの単層地盤（S波速度 100m/sec、単位体積重量 1.5 tf/m³）とした。地盤物性としては、せん断ひずみに依存しないもの（線型）とし、入力地震波としてTaft (EW)を用い、基盤（SHAKE での $V_s = 150\text{m/sec}$ 層）での入力加速度値としてSHAKE で0.2Gを採用した。表-1に各々のプログラムの入力条件を一覧にて示す。

2.3 結果

各プログラム毎での入射波解析の結果において、代表的なPOINT での応答加速度波形の比較をするために整理したものが表-2であり、また深度方向での応答最大加速度値を整理したものが図-2である。これらの図表より次のことがわかる。

- ① 各プログラム毎での応答解析結果から、①SHAKE(多重反射理論解析プログラム)、②FLUSH (FEM (平面ひずみ) 解析プログラム) と③擬似三次元FEM(軸対称回転体の有限要素法解析プログラム) の3種法ともに波形および応答値について、ほぼ同じ応答解析結果となる。
- ② 二次元および擬似三次元モデル (FLUSH およびABLE2)では、地盤のみのモデル (SHAKE)の解析によって求められる当該深度（例えば、構造物と地盤の相互作用を考慮する上で必要となる地盤厚）上の上昇波 (E)を底部境界（反射波が吸収される粘性境界）に入射する解析を実施すれ

ば、本検討のように $V_s = 150$ m層の上面に基盤とした解析と同等の応答結果が得られる。

- ③ 従来SHAKE と FLUSH の応答結果がほぼ等しい値になることは検証されている。これは、これら解析手法がどの振動数に対しても減衰定数が一定となる複素減衰を採用していることとされており、本検討のもう一つの手法であるABLE2 においても減衰性評価として複素減衰を採用しており、これら減衰等の条件を合せば、擬似三次元にまで拡張し、かつ、入射波解析としても等価な方法であることが数値的にも確認された。

3. 結 論

一定条件を設定しての検討結果ではあるが、各プログラムの解析法の比較検討を行った結果、二次元FEM および軸対称回転体の擬似三次元FEM を使用しての入射波解析結果は両手法ともほぼ同じ値になり、かつ、多重反射理論を用いた解析結果とも適合することが確認された。

今後、構造物を含めたより実際のモデルをもとに検討ケースを増やし、各解析法の特徴のとりまとめを行う所存である。

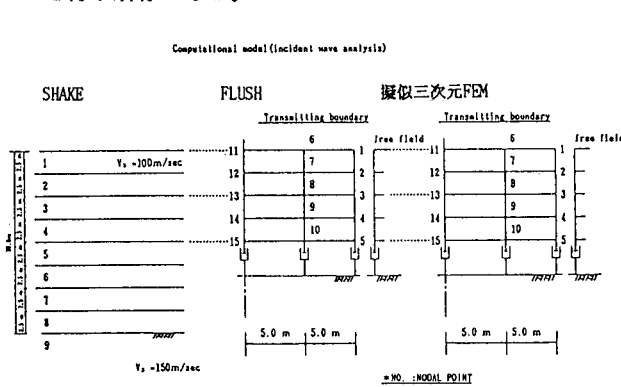


図-1 各々のプログラム解析モデル（入射波解析）

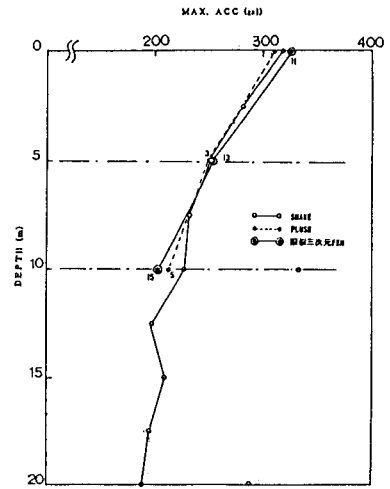


図-2 各々のプログラム解析結果における応答最大加速度比較図

表-1 各々のプログラム入力物性値一覧表

Program	SHAKE	FLUSH	擬似三次元FEM
Control parameters			
Input seismic wave	TAFT(EH)	TAFT(EH)	TAFT(EH)
Earthquake length	20.48(sec)	20.48(sec)	20.48(sec)
Trailing-zero length	20.48(sec)	20.48(sec)	20.48(sec)
Digitizing time interval	0.02(sec)	0.02(sec)	0.02(sec)
Total discretized point	2048	2048	2048
Max. frequency considered	7.5(Hz)	7.5(Hz)	7.5(Hz)
Point to be solved in the frequency domain	Every points	Every 4 points	Every 4 points
Soil property	Total unit γ t	1.50 (t/m ³)	1.50 (t/m ³)
	Shear vel. V_s	100(m/sec)	100(m/sec)
Input wave format	Incident wave (2×E)	The incident wave at GL -10*(E) which is computed from SHAKE.	The incident wave at GL -10*(E) which is computed from SHAKE.
boundary condition	Bottom boundary	Side-boundary → transmitting boundary Bottom-boundary → viscous boundary	Side-boundary → transmitting boundary Bottom-boundary → viscous boundary

表-2 各々のプログラム解析結果比較表

