

I-571

BEM-FEM結合解析法の構造物地震応答解析への適用に関する研究

中部電力(株)電力技術研究所 上田 稔、近藤久雄
 中電工事(株)技術コンサルタント部 渋谷 旬
 (株)富士総合研究所解析技術第3部 ○大谷泰昭

1. はじめに

構造物-地盤連成系の地震応答解析にはFEM解析法が多く用いられている。またその有効性に着目してBEM解析法の適用もなされている。本研究はBEM解析法とFEM解析法の利点をあわせもつ解析法としてのBEM-FEM結合解析法¹⁾の適用性に関する知見を得る目的で、岩盤上のダムモデルの地震応答解析をBEM-FEM解析法により行い、その解析結果とFEM解析結果との比較を行ったものである。

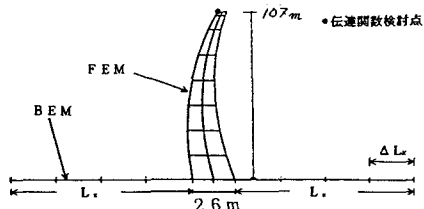


図-1 解析モデル図(アーチダムモデル)

2. BEM部のモデル化に関する検討

図-1にアーチダムの2次元解析モデルを示す。ダム部はFEM要素で地盤はBEM要素で表現し、BEM境界の端点自由端とする。

半無限地盤を表現するBEM解析は、近似的となるため、BEM要素の側方領域長および要素分割長をパラメータとした基本的な検討を行う。検討はダム天端の伝達関数に着目して行う。物性値を表-1に示す。

図-2は要素分割長を2.4mとし、側方領域長を変えた場合の伝達関数の1次ピーク値を示したものである。この図より側方領域長を300m程度以上にとることが望ましいことがわかる。この長さは伝達関数の1次ピーク波長の約40%に相当している。

図-3(a)は、側方領域長を360mとし、アーチダムの伝達関数の1次ピーク値と要素分割長の関係を示したものである。この図から要素分割長による解析結果への影響は小さいことがわかる。この点に関し考察するため重力ダムモデルに対し同様の解析を実施した結果が図-3(b)である。重力ダムでは $\Delta L = 20$ m程度で解析結果に収束が見られる。このダムの種類による要素分割長の解析結果へ与える影響の差異は、図-4に示す伝達関数1次ピークモードを見るとわかるように、アーチダムでは地盤の変形が小さく、重力ダムではロッキングモードによる地盤の変形が生ずるためと考えられる。重力ダムの場合伝達関数の1次ピーク波長の1/7程度に分割する必要があった。

表-1 物性値

	弾性係数 E_s (t/m ²)	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ (t/m ³)	減衰定数 h (%)	S波速度 V_s (m/s)
ダム部	3.5×10^4	0.20	2.35	5.0	-
岩盤部	9.0×10^4	0.25	2.50	0.0	1.190

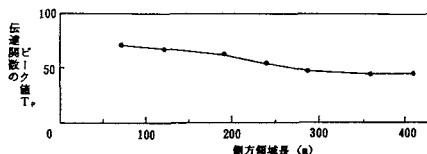
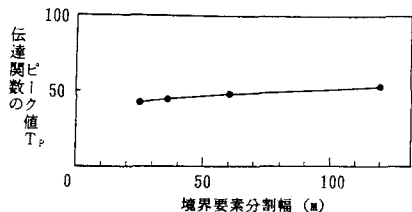
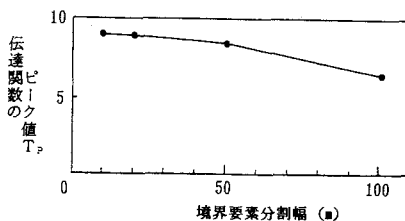


図-2 側方領域長と伝達関数ピーク値



(a)アーチダム



(b)重力ダム

図-3 境界要素分割長と伝達関数ピーク値

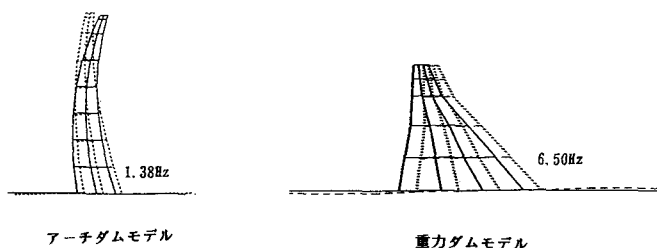


図-4 ピーク周波数における変位モード図

3. FEM解析結果との比較

アーチダムモデルについて、底面粘性境界を深さ120mに、側方にエネルギー伝達境界、または粘性境界を設定した。BEM-FEM解析結果とFEM解析結果とを比較する。BEM-FEM解析の要素分割長は24m、FEM解析の要素分割はダム直下で13m×24m、その他の場所で24m×24mとした。

図-5は各種境界の側方領域長を変化させ、ダム天端の伝達関数の1次ピーク値の収束状況を比較したものである。側方領域長を広げることにより各種境界のピーク値はほぼ一致することがわかる。必要となる側方領域長は、BEM-FEM解析が300m程度であるのに対して、側方の自由地盤を考慮したエネルギー伝達境界では側方領域長による差はほとんど認められない。側方の自由地盤を考慮しない粘性境界では300m程度とBEM-FEM解析とほぼ同じである。なお、BEM-FEM解析においては、BEM部の端点を自由端としているが、Rayleigh波モードへの接続等の端点処理を行うことにより側方領域長を狭めることができると考えられる。

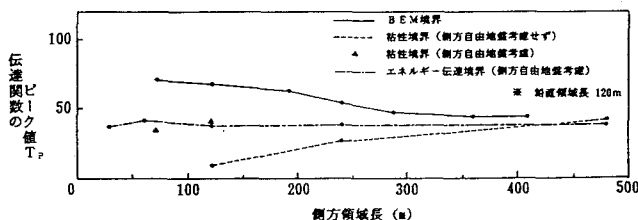


図-5 各解析ケースの側方領域長と伝達関数ピーク値との関係

図-6は、各種境界に対して適切な側方領域長をとった場合の伝達関数(ダム天端)を示したものである。この図のとおり、BEM-FEM解析とFEM解析の解析結果はほぼ一致しており、BEM-FEM解析において適切な側方領域長をとればFEM解析と同様な結果が得られる。

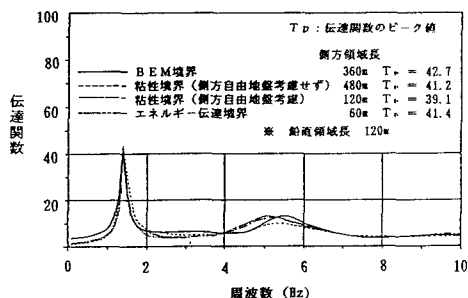


図-6 各種無反射境界の伝達関数の比較

4. まとめ

ダムの地震応答解析を例にBEM-FEM解析を行い、以下の知見を得た。

- (1) 対象構造物によっても異なるが、半無限地盤を表現するためのBEM部の側方領域長は解析対象波長の1/2程度以上、要素分割長は解析対象波長の1/7程度以下が必要と考えられる。
- (2) BEM-FEM解析とFEM解析とでほぼ同一の結果が得られる。

参考文献

- 1) S.Kobayashi, T.Kishima: Fifth International Conference on Numerical Methods in Geomechanics /Ngoya/1-5 April 1985