三次元 FE－BE 法による Morrow Point ダムの振動解析（その２）

建設省土木研究所　正会員　片岡　正次郎

1．はじめに

前報[1)]では三次元 FE－BE 法[2)]を用いて Morrow Point ダム及びその周辺の基礎と貯水からなるダムー基礎ー貯水系の振動解析を行い、動的相互作用がダムの挙動に与える影響について考察を行った。ダムの地震時応答に影響を及ぼす要因としては、動的相互作用以外にも入力地震動やその入力方法が挙げられる。わが国のダム周辺は急峻な谷地形である場合が多く、例えば平面波が入射した場合でもダム底面には場所によって異なる地震動が作用するため、ダムの全底面に同位相で同一の地震動を入力する場合とはダムの挙動は異なるものと考えられる。本稿では前報と同様の手法を用いてダムー基礎系の振動解析を行い、上述のような地震動の入力方法がダムの応答特性に与える影響について考察する。

2．解析手法と解析モデル

解析手法としては、片岡・大町によるダムー基礎ー貯水系の振動解析を目的とした三次元 FE－BE 法[1),2)]を用いる。この手法では、ダム堤体（＋周辺地盤）を有限要素で、基礎と貯水を境界要素でモデル化することにより、ダムの不均質性や基礎と貯水における波動の逸散を考慮することが可能となっている。

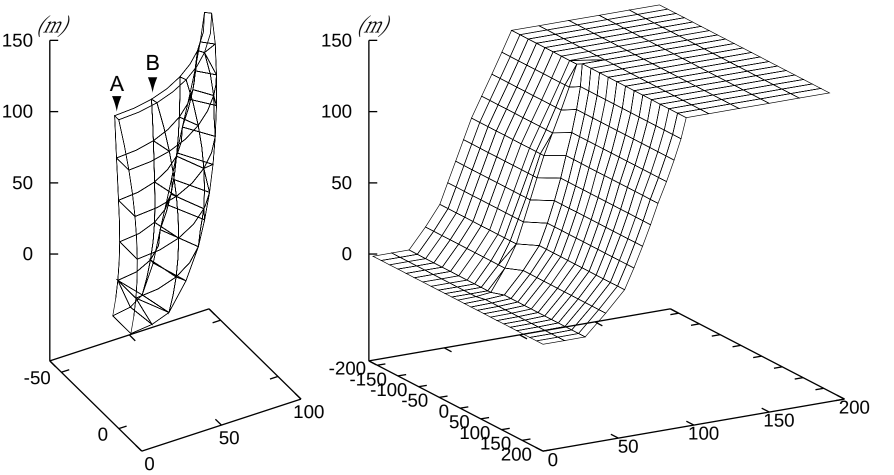
解析モデルを図－１に示すが、これは Tan and Chopra[3)]が Morrow Point ダム（高さ 142m）の振動解析に用いたモデルを参考に、ダム堤体には有限要素、基礎には境界要素を用いて作成したものである。モデルはダム軸を中心に対称であるため、図にはモデルの半分のみを示している。有限要素には二次要素を用いているが、境界要素に線形要素を用いているため、ダムと基礎の接触面では有限要素でも線形補間している。節点間隔は有限要素、境界要素とも約 15m であるが、これは表－１に示す物性値を用いて 12Hz 程度まで計算するためには十分小さいといえる。なお、ダムと基礎にはともに 5%の内部減衰を考慮している。

表－１　解析に用いた物性値

	密度	Poisson 比	S 波速度
ダム	2.48(t/m^3)	0.200	2.15(km/s)
基礎	2.64(t/m^3)	0.200	2.08(km/s)

3．解析結果

まず、ダムの全底面を同方向に同位相で単位振幅に振動させた（一様入力した）結果を Tan and Chopra[3)]による結果と比較する。Tan and Chopra[3)]はダム周辺の地形が上下流方向に一定であるという仮定の下で三次元有限要素法と境界要素法を組み合わせた手法により、図－１とほぼ同様の２つのモデル（standard mesh と refined mesh）を対象に計算している。ただし、図－１(b)のモデルはダムの上流面と下流面の形状が少し異なるため、完全には上下流方向に一定とはなっていない。解析結果を図－２に比較して示すが、これらはほぼ一致している。ダム堤体のみを有限要素解析した結果、上下流方向と流れ直交方向の入力に対するダム堤体の１次固有角振動数 ω_1^s、ω_1^a はそれぞれ 26.8[rad/s]、24.4[rad/s]であったため、図－２の横軸はこれらの値で正規化してい



(a)ダム堤体（有限要素）　　(b)基礎（境界要素）

図－１　Morrow Point ダム及びその周辺の基礎のモデル

キーワード：三次元 FE－BE 法，ダムー基礎系，非一様地震動入力
連絡先：〒305-0804 茨城県つくば市大字旭１番　建設省土木研究所振動研究室　Tel 0298-64-4963

る[3]。

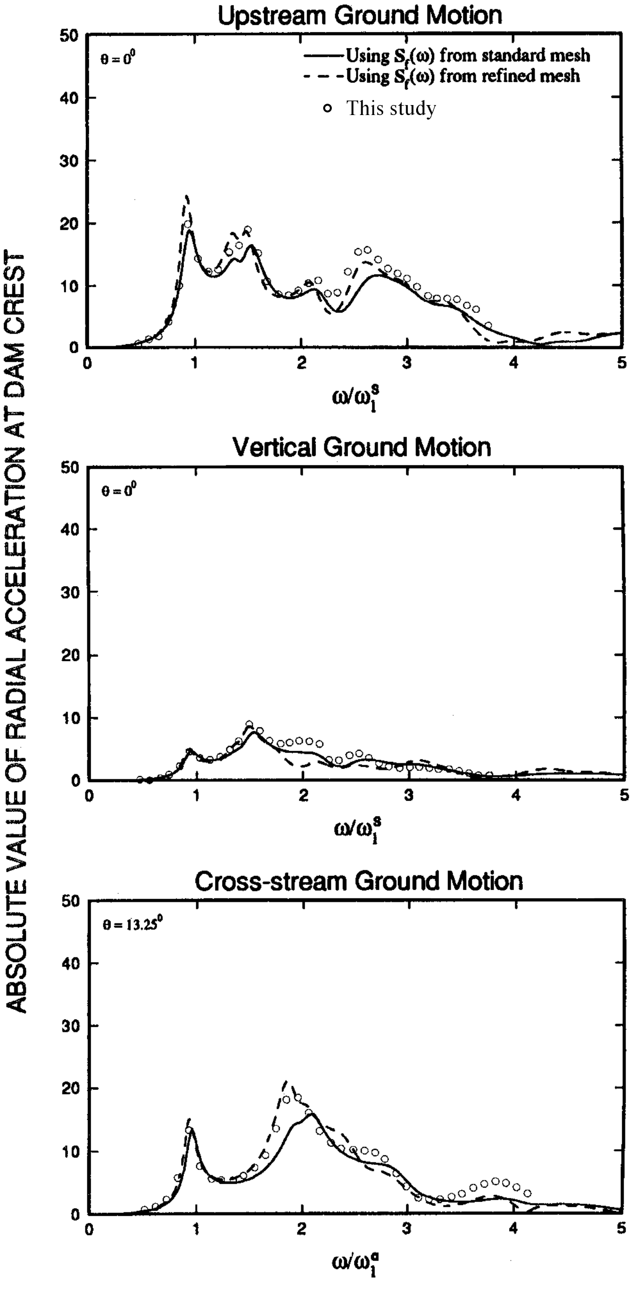
図－３(a)と(b)はそれぞれ図－１(a)に示した点Aと点Bの半径方向の周波数応答関数であり、自由表面で単位振幅となるよう振幅0.5のS波を鉛直入射した結果(incident)と一様入力(uniform)した結果を比較したものである。図－３(a)は上下流方向、図－３(b)は流れ直交方向に入力している。これらの図によれば、一様入力の結果は平面波入力の結果よりもかなり大きくなっており、Nowak and Hall[4]がPacoima ダムについて三次元有限要素法を用いて検討した結果と一致している。ただし、Nowak and Hall[4]は入射角の影響についても検討を行い、入射角と周波数によっては平面波入力による応答の方が大きくなることを示しており、さらに詳細な検討が必要である。

4. まとめ

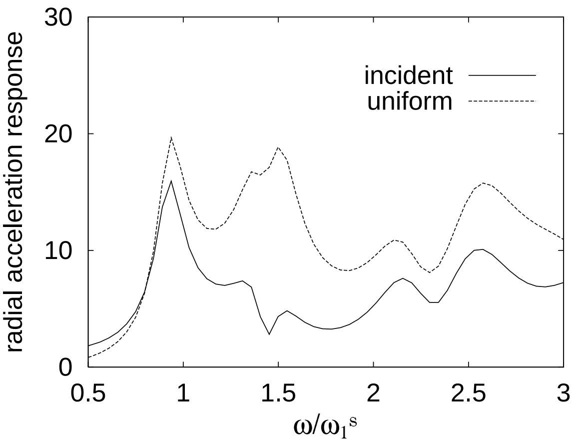
本稿では三次元 FE-BE 法をダム－基礎系の振動解析に適用し、一様入力と平面波入力を行った場合のダムの応答を比較した。その結果から、同じ入力地震動を想定していてもその入力方法によってダムの応答が大きく変動することを示した。

参考文献

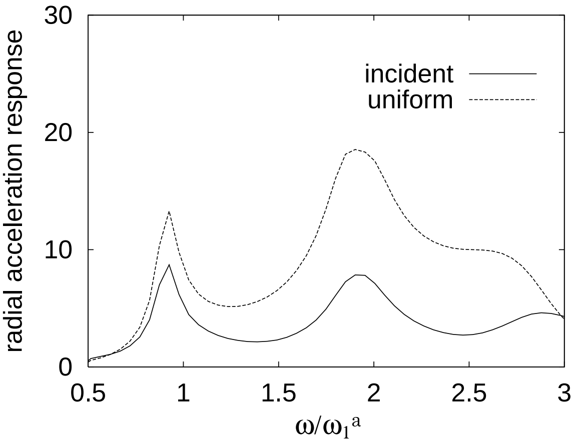
1) 片岡正次郎：三次元 FE－BE 法による Morrow Point ダムの振動解析, 土木学会第 54 回年次学術講演会講演概要集第 1 部(B), 64-65, 1999.
2) 片岡正次郎, 大町達夫：三次元 FE－BE 法を用いたダム－基礎－貯水系の振動解析手法, 土木学会論文集, 第 584 号／I-42, 87-95, 1998.
3) Tan, H. and Chopra, A. K.: Earthquake analysis and response of concrete arch dams, UCB/EERC-95/07, EERC, UC Berkeley, 1995.
4) Nowak, P. S. and Hall, J. F.: Arch dam response to nonuniform seismic input, *J. Eng. Mech.*, ASCE, 116, 125-139, 1990.



図－２　Tan and Chopra[3]による結果との比較



図－３(a)　点Aの周波数応答関数
（半径方向、上下流方向入力）



図－３(b)　点Bの周波数応答関数
（半径方向、流れ直交方向入力）