

Ⅲ - B306

個別要素法によるフィルダムの動的挙動に関する基礎的検討

建設技術研究所 大阪支社 水工本部 技術第1部 正会員 森本 浩之*
鳥取大学 工学部 正会員 木山 英郎**
同上 正会員 西村 強**

1、まえがき

個別要素法は、解析対象領域を数多くの分離した剛体要素の集合体としてモデル化し、各々の剛体要素の運動を追跡して全体としての変形を取り扱う不連続体の解析手法であり、有限要素法(FEM)のように変形方向の制限がないことから、岩石の崩落や土圧の振動解析等のシミュレーションに数多く適用されている¹⁾。

フィルダムの耐震設計としては、震度法²⁾、修正震度法³⁾、時刻歴応答解析法の方法がある。前2つの方法は円形のすべり面を仮定したスライス法によるものであり地震時の堤体挙動の検討の点が、後者は入力条件、物性値、結果の判断等の点が、いづれも課題点として挙げられる³⁾。

本検討においては、前述の課題点への取り組みとして、個別要素法(DEM)をフィルダムの地震時における堤体挙動を検討に採用した。

本稿では、個別要素法をフィルダムの動的挙動の検討に適用するにあたり、フィルダム堤体材料物性値、バネ定数および減衰定数、要素形状、要素数等の種々の課題のうち、基礎的検討としてバネ特性と減衰率の検討を行うものである。

2、検討モデル

本検討における解析モデル、フィルダム堤体材料物性値、入力地震波形等の諸条件は、有限要素法(FEM)による検討事例⁴⁾を参考に設定した。

なお計算には、2次元個別要素法による粒状体挙動解析コードであるPFC^{2D}を使用した。

(1) 解析モデル

検討モデルは、堤頂幅12m、堤高93mのロックフィルダムであり、堤体勾配は上流側1:2.6、下流側1:2.0である。DEMのモデル形状は、計算時間を考慮して半径2mの円形要素を規則的に配置した。モデルの総要素数は、1627個である。

(2) バネ特性

a) 非線形バネ

非線形バネはHertz-Mindlinモデルとし、バネ定数kn, ksは次式により算定される⁵⁾。

$$kn = \frac{3}{2} \left(\frac{2G\sqrt{2R}}{3(1-\nu)} \right) \sqrt{Un}$$

$$ks = \left(\frac{2(G^2 3(1-\nu)R)}{2-\nu} \right)^{1/3} |Fn|^{1/3}$$

ここに、
G：せん断剛性⁴⁾
ν：ポアソン比
R：平均半径
Un：接触量
Fn：法線方向接触力

b) 線形バネ

線形バネ定数は、非線形バネの際に求めたせん断剛性Gを用いた。つまり、すべての粒子について深さからせん断剛性Gを求め、その値をせん断バネ定数ksとして用いた。また、法線kn方向の垂直バネ定数については体積弾性係数Evを求めて用いた。Evの算定は次式による。

$$Ev = 2G(1+\nu)/(3(1-2\nu)) \quad , \quad kn = Ev / (\text{単位奥行幅}) \quad , \quad ks = G / (\text{単位奥行幅})$$

(3) 非線形バネの減衰定数

本検討では、Cundallが提案した'Local Non-Viscous Damping'を採用した。

(4) 入力地震動

入力地震動は、水平加速度が最大350gal、卓越周波数は3.7Hzであり、鉛直方向については考慮しなかった。

キーワード：個別要素法，フィルダム，動的解析

* 〒540 大阪市中央区大手前1-2-15
** 〒680 鳥取市湖山町南4-101

TEL 06-944-7796 FAX 06-944-7896
TEL 0857-31-5295 FAX 0857-28-7899

3、応答解析結果

非線形パネ（減衰率5%）による応答加速度を、図-1に示す。応答加速度は、ダム堤体中心でダム基礎の1.8倍、ダム天端でダム基礎の3.4倍であった。線形パネ（減衰率15%）による応答加速度を、図-2に示す。応答加速度は、ダム堤体中心でダム基礎の3.0倍、ダム天端でダム基礎の5.2倍であった。図-1および図-2において、基礎の入力波形を実線で、ダム堤体中心の応答波形を破線で、ダム天端の応答波形を2点鎖線で表している。

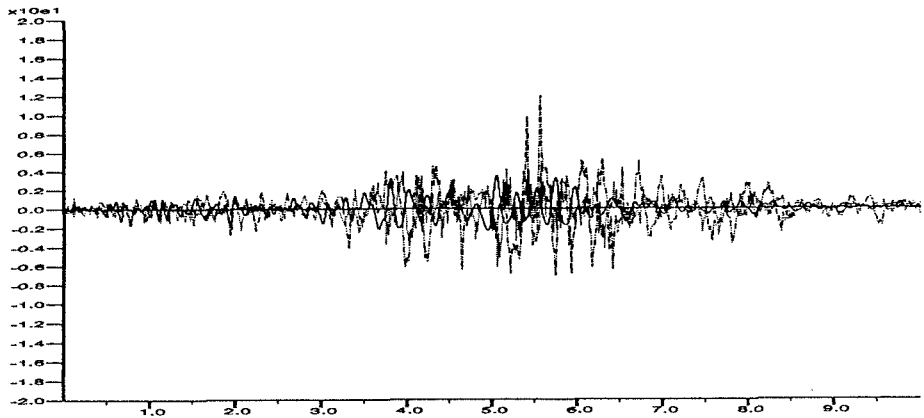


図-1 非線形パネによる応答加速度

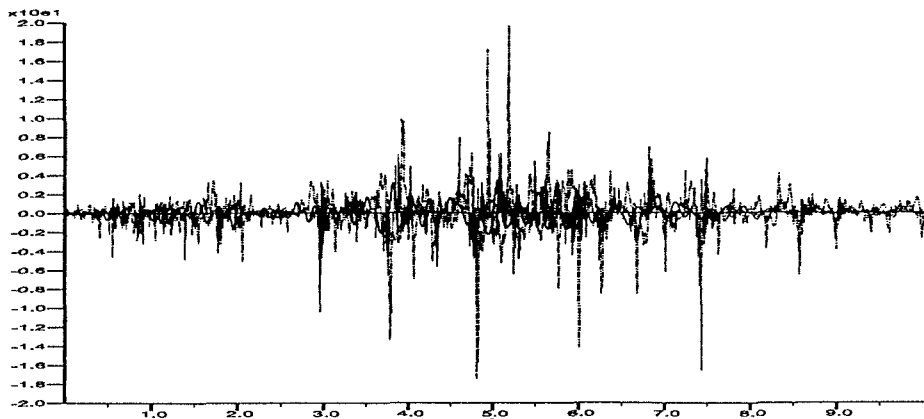


図-2 線形パネによる応答加速度

4、おわりに

動的解析にあたって、入力地震動には観測地震波を用い、減衰定数はフィルダム堤体の応答加速度に関する既往の解析結果をもとに設定した。有限要素法による既往の検討結果³⁾では、ダム堤体の応答加速度は、ダム堤体中心でダム基礎の1.6倍、ダム天端でダム基礎の3.5倍であることから、本検討結果より、「個別要素法において、非線形パネを用いることにより、地震時におけるダム堤体挙動を、より実現象的に表現できる」可能性が示唆される。

参考文献

- 1) 植村大輔, 伯野元彦: 粒状体シミュレーションによる地盤の挙動解析, 東京大学地震研究所彙報, 第62号第1冊, pp.19~59, 1987
- 2) 河川管理施設等構造令
- 3) 建設省河川局開発課監修: フィルダムの耐震設計指針(案), 1991
- 4) 建設省土木研究所フィルダム研究室: 七ヶ宿ダムの動的解析, 土木研究所資料第2480号, 1987
- 5) Cundall, P.A.: Computer Simulations of Dense sphere Assemblies, Micromechanics of Granular Materials, pp.113~123, 1988