

線形弾性解析に基づく堆積盆地の三次元構造が 地震動の増幅および周波数特性に与える影響の評価

名古屋大学 正会員 ○豊田 智大

フェロー会員 野田 利弘

非会員 岩井 周平

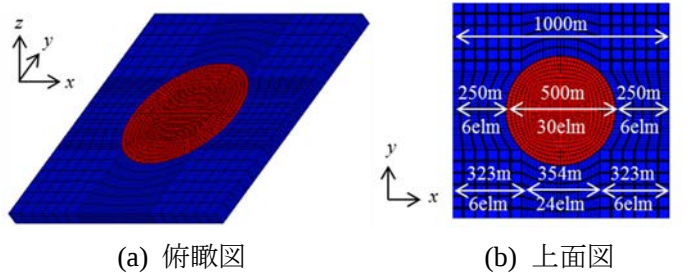
地震予知総合研究振興会 フェロー会員 浅岡 顕

1. はじめに

堆積盆地が不整形な基盤形状を有する場合、堆積層内での加速度増幅や実体波のレンズ効果に加え、盆地端部で生成された表面波と実体波の干渉による「エッジ効果」も生じるため、地表面においては、局所的な強震動や長時間に亘る地震動の継続を生じることが知られている。しかし、工学的には、計算コスト等の制約から、三次元問題として評価されることは未だ少なく、簡便な二次元・一次元モデルを用いて地震応答解析が行われる場合が多い。そこで本稿では、三次元問題を直接解いたときの応答と、これを簡便な二次元・一次元モデルに縮約して解いたときの応答の比較から、簡易モデルの解は三次元モデルに対して応答加速度を大幅に過小評価すること、そのスペクトル特性も全く異なることを示し、三次元解析による応答評価の重要性を指摘する。

2. 解析条件

解析には、名古屋大学地盤力学研究グループが開発した地盤の変形解析コード **GEOASIA**¹⁾を用いる。図-1のような三次元メッシュ（球形堆積盆地を想定、形状および寸法は宮本ら²⁾に準拠）に対し、一相系弾性解析を実施し、三次元性に起因して生じる複雑な波動伝播を観察した。平面ひずみ土槽を想定し、前背面の y 方向変位を拘束するとともに、左右面には周期境界条件を課した。底面においては、鉛直変位を固定するとともに、水平方向に粘性境界条件を課し、入力地震動として図-2に示す神戸波のEW成分を x 方向に与えた。弾性体の材料定数は表-1のとおり設定し、基盤層と堆積層の間で明瞭な剛性のコントラスト（インピーダンス比で11.4倍）を与えた。



(c) 鉛直断面図

図-1 有限要素メッシュ

3. 解析結果

代表的な時刻におけるせん断ひずみ分布および変位速度分布をそれぞれ図-3、図-4に示す。解析初期において、宮本らと同様の円環状のひずみ集中帯の発生や、盆地内での長時間に亘る揺れの継続が解かれた。また、堆積構造の三次元性に起因して、地震動の入力は x 方向のみであるにもかかわらず、 y 方向および z 方向にも変位速度を生じること確認された。

4. 簡易モデルとの比較

次に、三次元盆地の解析解を表-2の(a) - (c)の簡易モデルの解と比較し、地盤の三次元性が地表面の揺れに及ぼす影響を定量的に評価した。なお、同表(a)のモデルにおいて、地盤全体を一様な材料（基盤層）とした場合、その解は弾性柱の一次元波動方程式の理論解に一致する（Verification）。

盆地中央の地表面における加速度応答を図-5に示す。同図より、いずれの簡易モデルも、三次元モデルに対して最大加速度および地震動の滞留時間を過小評価していることが確認できる。本解析は微小変形線形弾性

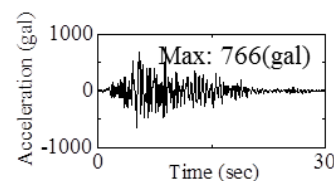


図-2 入力地震動

表-1 材料定数

	基盤層	堆積層
弾性係数 E (MPa)	1500	14.5
ポアソン比 ν	0.25	0.25
密度 ρ (g/cm ³)	2.0	1.6
せん断波速度 V_s (m/s)	548	60.2

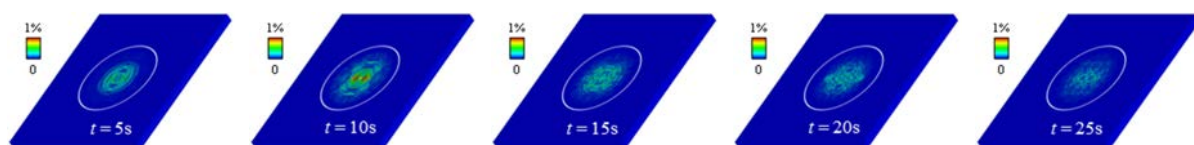


図-3 せん断ひずみ分布

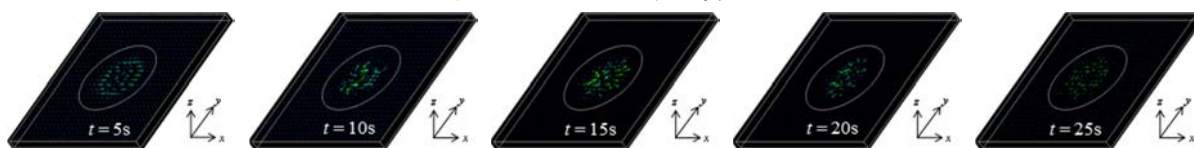


図-4 変位速度分布

表-2 解析条件

Case モデル	(a)	(b)	(c)	(d)
実体波 (S 波)	○	○	○	○
S 波の増幅	○	○	○	○
S 波の反射	○	○	○	○
S 波の屈折	-	○	○	○
Rayleigh 波	-	○	-	○
Love 波	-	-	○	○

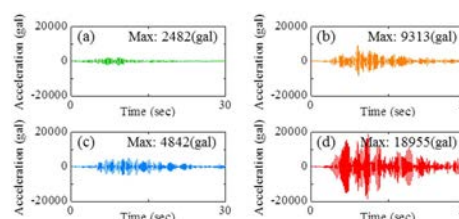


図-5 地表の応答加速度 (x 方向)

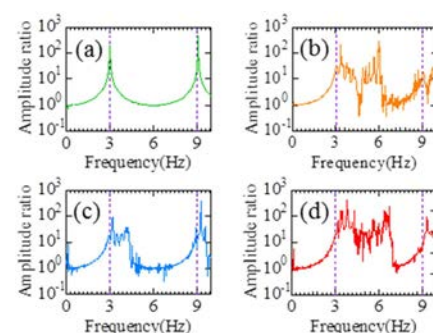


図-6 盆地中央における堆積層の伝達関数 (x 方向)

解析であるため、応答加速度そのものの値ではなく、応答倍率の差異（モデル間の比）に着目して考察すると、三次元の完全モデル(d)の最大加速度に対し、Love 波を考慮できない(b)では 1/2, Rayleigh 波を考慮できない(c)では 1/4, その両方に加え、堆積層での屈折も考慮されない(a)では 1/8 程度の応答加速度しか発生しておらず、簡便な低次元モデルによる応答評価の限界が示唆された。また、図-6の堆積層における盆地中央での伝達関数を比較すると、一次元モデル(a)では理論解（1/4 波長則）に従う増幅特性が解かれるのに対し、二次元モデル(b)では様々な周波数帯における増幅が、(c)では低周波域における増幅が、(d)ではその両方が解かれるなど、一次元モデルとは大きくこととなる結果となることを示した。また、詳細は割愛するが、地表面上の節点群をアレー観測網と見做し、古村ら³⁾に倣い Semblance 解析を実施したところ、Rayleigh 波が特定の場所で励起されたものではなく、あらゆる方位から到来していることが確認された。

5. おわりに

不均一な堆積構造を有する弾性堆積盆地の三次元応答解析を実施し、簡易モデルとの比較から多次元解析の重要性を改めて指摘した。本稿では、不整形の影響についてのみ議論するため、一相系微小変形線形弾性解析の結果のみ紹介したが、別報⁴⁾および当日の講演では、二相系有限変形弾塑性解析の結果を示し、地盤の材料・幾何非線形性および水～土連成の効果を考慮した地震応答解析の重要性を指摘する予定である。

謝辞 本研究の数値解析は、京都大学学術情報メディアセンターのスーパーコンピュータにより実施した。

参考文献

- 1) Noda, T., Asaoka, A. and Nakano, M.: Soil-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion ..., Soils Found, Vol.48, No.6, pp.771-790.
- 2) 宮本, 入原, 鈴木, 藤田, 市村: 3次元非線形地盤震動解析を用いた堆積層における地盤ひずみ集中効果の検証, 土木学会論文集 A1, Vol.72, No.4, 1768-1776, 2016.
- 3) 古村: 十勝平野の長周期地震動応答に関する研究, 北海道大学博士論文, 1994.
- 4) 野田, 岩井, 豊田, 浅岡: 三次元堆積盆地の弾塑性性状に応じた地震応答の解析的研究, 第56回地盤工学研究発表会, submitted, 2021.