

地盤の不整形性と地表面の不規則性を考慮した地盤震動評価について

京都大学大学院工学研究科 正会員

清野 純史

京都大学大学院工学研究科 正会員

Charles Scawthorn

鹿島建設(株)

篠原 大介

1. 背景

1985年メキシコ地震では、メキシコ市内の軟弱層上では、地震動が近隣の丘陵地に比べて最大加速度で約10倍もの増幅を受けた。また、1993年釧路沖地震や2004年新潟中越地震では、高台や山岳地域において斜面崩壊や地滑りによる被害が多数発生した。地震動に対しては、地下構造だけでなく、地表面地形もその特性に大きな影響を及ぼすと考えられる。

有限差分法においては、従来の方法では、主にフラットな地表面を有するモデルを対象に解析が行われてきた。しかし、地表面に不規則性を持つ地域に対してこれをフラットとして解析することは一般性に乏しく、地盤震動特性を十分に評価できていないと考えられる。

本研究では、地盤の不整形性と地表面の不規則性を評価できる開発プログラムを用いて山岳地形や堆積地盤を持つモデルの震動解析を行う。

2. 手法

本研究では速度-応力 Staggered-Grid を用いた、時間方向二次精度・空間方向四次精度の三次元有限差分法を用いて解析を行う。本研究における Staggered-Grid を図 2-1 に示す。本研究では地表面の境界条件(応力フリー条件)として、

Vacuum-Method を採用する。これは地表面を S・P 波速度が 0 である気相と、地層の 2 媒質間の境界面として定義することで応力フリー条件を満足する手法である。本研究では、全変数を表すグリッドを x・y・z 方向に半グリッドずらして評価する。この定義により、地表面に対応する全ての主応力を表す格子が気相、もしくは地層内に現れるのに対し、地表面に垂直な成分の全てのせん断応力が地表面上に現れる。よって地

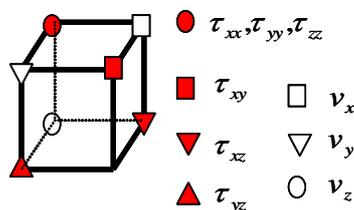


図 2-1 Staggered-Grid

キーワード：有限差分法、地表面不規則性、不整形地盤、台北盆地
連絡先：〒606-8501 京都市左京区吉田本町 ((075)753-5133

表面上及び気相における S 波速度と、気相における P 波速度を 0 とすることでせん断応力に関する応力フリー条件は自動的に満たされる。垂直応力に関しては、気相における垂直応力に対応する地層のグリッドの垂直応力のマイナスの値を与えることにより応力フリー条件を満足させる。

3. 2次元不規則地盤の解析

前節の理論を用いて、図 3-1 に示す山型のモデルに対して地震動シミュレーションを行う。入力モデル底面から中心振動数 0.5 秒の Ricker Wavelet を鉛直上向きに SV 波として入射した。h=0.2km、及び 1.0km の場合における地表面での速度応答倍率を図 2-2 に示す。

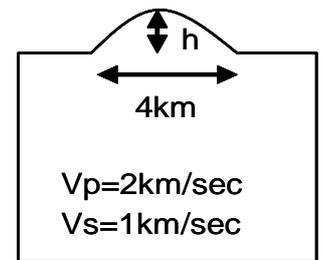


図 3-1 山型モデル

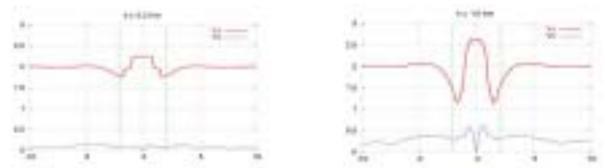


図 3-2 地表面応答倍率(右：h=0.2km、左：h=1.0km)

同図において緑の直線は山の両端を示す。地表面における応答倍率は、山頂付近において大きく増幅し、麓付近で大きく減少するという特徴がある。この傾向は、地表面不規則性の指標とも言える h が大きくなるにしたがい顕著になる。また、山の斜面において生成された鉛直動が水平方向に伝わるため、鉛直動に関しても広い範囲に生じている。また、h が大きくなるにしたがい大きな鉛直動が発生する。

4. 台北市周辺の地盤震動解析

実地盤における地盤震動解析として、台北市周辺

における地震動シミュレーションを行った。台北市は、西に深い基盤構造を持つ三角形方の台北盆地を中心に、周囲を山岳地帯で囲まれている。中でも北東・南側には急峻な山地が存在する。図 4-1 に台北盆地の地下構造を示す。本研究では台北盆地を 3 層構造としてモデル化し、震動解析を行った。入力波は中心振動数 0.5Hz、最大振幅 1 の Ricker Wavelet とし、N-S 方向の速度としてモデル地の基盤構造が最深となる TAP003、山



図 4-1 台北盆地の地下構造

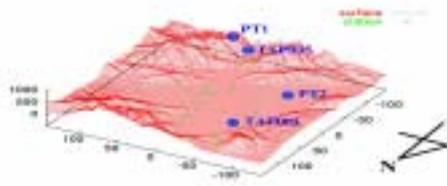


図 4-2 台北市周辺標高データ及び観測点

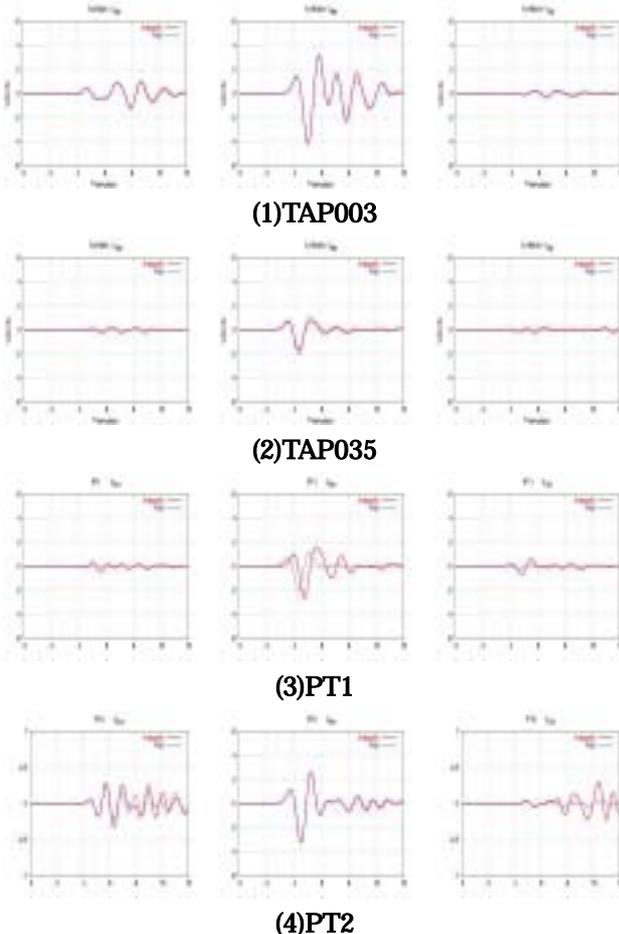


図 4-3 各観測点における速度波形
(左：EW、中央：NS、右：UD)

の麓付近に位置し、地震動の低減が予測される TAP035、山の頂上に位置し、地震動の大幅な増幅が予測される PT 1、盆地部内の山岳部に近い地点である PT2 に注目した。それぞれの観測点の位置及び台北市周辺の標高データを図 4-2 に示す。

図 4-3 に各観測点において観測された速度波形を示す。赤線で示されたものが地表面の不規則性を考慮に入れた場合、青線で示されたものが地表面をフラットとした場合の解析結果である。TAP003 では、堆積層による応答の大きな増幅が見られたが、地表面の不規則性による影響は見られなかった。TAP035 では、EW 方向について応答の低減が見られ、PT1 においては大きな増幅が観測された。PT1 と TAP003 はともに基盤上の観測点であり、両観測点は 1.7km 程しか離れていないにも関わらず、速度応答で 1.5 倍以上の違いが現れた。また、PT2 では、地表面地形の考慮により、入力方向と垂直な方向に対する影響が大きく表れた。特に UD 方向では、5 倍近くの波形が観測された。

5. 結論

本研究では、地盤と地表面の不整形性・不規則性を同時に評価できるプログラムを開発し、これを用いて谷や山型地形、及び台北盆地周辺に対して地震動評価を行った。山型の地形では、山頂付近において地震動が大きく増幅され、麓付近で低減される。また、山岳地帯では、一層地盤であっても、地表面の不規則性により近隣で大きく地震動特性が異なってくる場合がある。また盆地内においては、特に山岳地帯に近い地域において、入力方向と垂直な方向の地震動が、地表面の不規則性により大きく増幅されることがある。

参考文献

- 1) Pitarka, A. and K. Irikura: Modeling 3D surface topography by finite-difference method, Kobe-JMA station site, Japan, case study, Geophys. Res. Left. 23, pp 2729-2732, 1996
- 2) R. W. Graves: Simulating seismic wave propagation in 3D elastic media media using staggered-grid finite differences Bull. Seism. Soc. Am. 86, pp 1091-1106 1996
- 3) 王乾盈, 陳怡伶: 台北盆地構造及震波速度分析, 国立中央大学碩士論文