

三次元的基盤形状をもつ地盤による地震動増幅特性の系統的な理解の試み

田中 裕貴¹・後藤 浩之²・澤田 純男³

¹学生会員 京都大学大学院 工学研究科 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

E-mail: tanakay@catfish.dpri.kyoto-u.ac.jp

²正会員 京都大学准教授 防災研究所 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

E-mail: goto@catfish.dpri.kyoto-u.ac.jp

³正会員 京都大学教授 防災研究所 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

E-mail: sawada@catfish.dpri.kyoto-u.ac.jp

複雑な 2 次元, 3 次元形状の基盤面をもつ地盤構造において地震波がどのように伝播し, 各地の地震動がどのように増幅するかは, 設計入力地震動を考える上で重要である. 本研究では, このような複雑な地盤構造が地震動に与える影響について系統的に整理することを目的として, 特に地盤全体系として振動するような固有モードの存在に着目して整理した. 3 次元数値解析の結果, 幅の狭い盆地状の堆積層からなる地盤では, 直下の堆積層厚にかかわらずどの地点においても周波数がほぼ共通するピーク周波数が認められた. ピーク値の地点による違いから, 盆地全体が一体として振動するような固有のモードが現れていることが明らかとなった. この周波数帯を含むパルス状の波を入力すると, 最大振幅の分布は先の固有モードによって理解することができる. すなわち, 複雑な地盤構造であっても地盤全体のモード分析により, 地震動に与える影響を論じることができる可能性がある.

Key Words: earthquake, site amplification, sedimentary basin, frequency, finite difference method

1. はじめに

地盤により地震動が増幅する現象は, これまで様々な被害事例, 観測記録, あるいは解析的検討により, 地震動に影響を与える重要な要因の 1 つとして知られている. 例えば, 堆積層が軟弱であるほどその直上での地震動が増幅することは 100 年以上前の研究¹⁾でも指摘されている. また, 1995 年兵庫県南部地震で表れた震災の帯は, 南北方向の地盤内の構造変化による 2 次元的な基盤形状の影響として理解されている²⁾. 近年, 性能設計が進められる中で, 対象地点の地盤構造を把握して適切にサイト特性を評価し, 設定する入力地震動の特性に反映することが求められている.

地盤構造とサイト特性を結びつける古典的な理論の 1 つは 1/4 波長則である. 地盤が水平な堆積層と半無限の基盤の 2 層からなると仮定し, 1 次元の弾性波動論に基づいて固有周期と堆積層の弾性波速度・層厚との関係として整理したものである. 堆積層と基盤のインピーダンスコントラストが強い地盤では, 多層系であっても一次近似として実務に用いられることも多い.

一方, 地盤が水平成層構造でなく, 2 次元・3 次元的な基盤形状をもつ場合には, これまで系統的な理解はあまりされてこなかった. 過去の地震動被害を理解するための研究³⁾, 大阪盆地における地震動シミュレーションといったように対象が明示されたような中で事例的に特徴分析が行われるような研究⁴⁾, 観測記録に基づくサイト特性の評価のように地点固有の周波数特性の抽出のみを目的とするような研究⁵⁾が主に行われてきたが, 堆積層厚や基盤形状と増幅特性との関係が複雑すぎるために, 1/4 波長則を基本としてそこからの差を 3 次元的效果と論じてきた⁶⁾.

そこで本研究では, 複雑な 2 次元, 3 次元形状の基盤面をもつ地盤構造に対して地震動の増幅特性の系統的な理解を試みる. 比較的単純な 2 次元の基盤形状を持つ盆地構造と, 上空から見た盆地端部が V 字型になるような 3 次元の基盤形状を持つ盆地構造とを対象とし, 数値解析により分析を行った.

表-1 地盤モデルの物性

	堆積層	基盤
P波速度	3000 m/s	5200 m/s
S波速度	1500 m/s	3000 m/s
密度	2300 kg/m ³	2700 kg/m ³
Q値	1000	1000

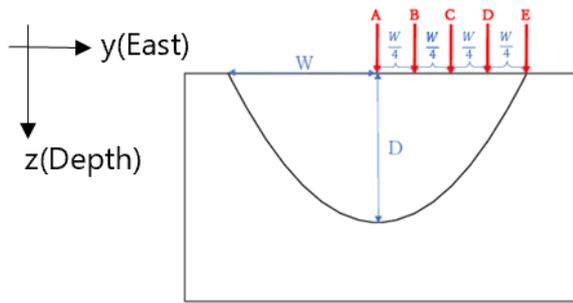


図-1 2次元モデルの断面形状と観測点の位置

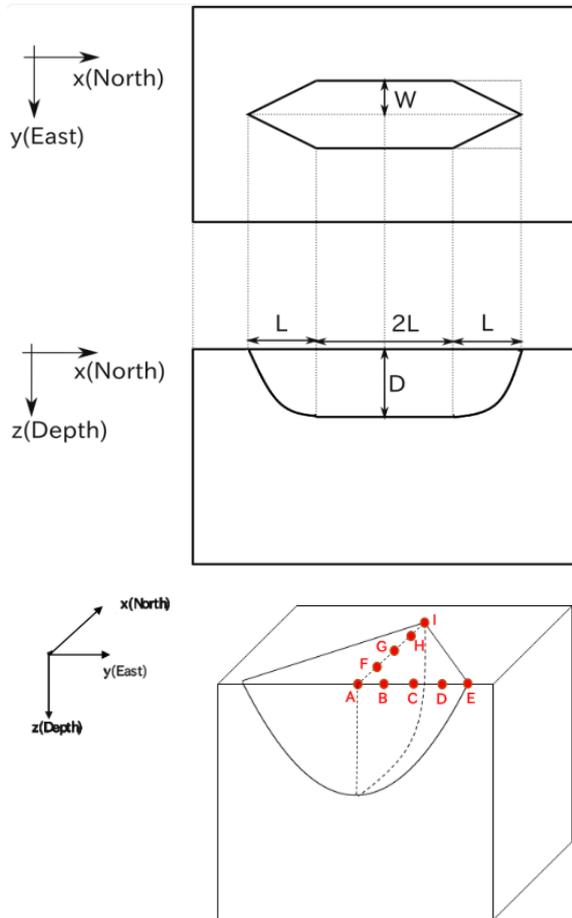


図-2 3次元モデルの断面形状と観測点の位置

2. 数値解析手法とモデル

(1) 解析モデル

本研究では、堆積層と基盤がそれぞれ一様均質な2層

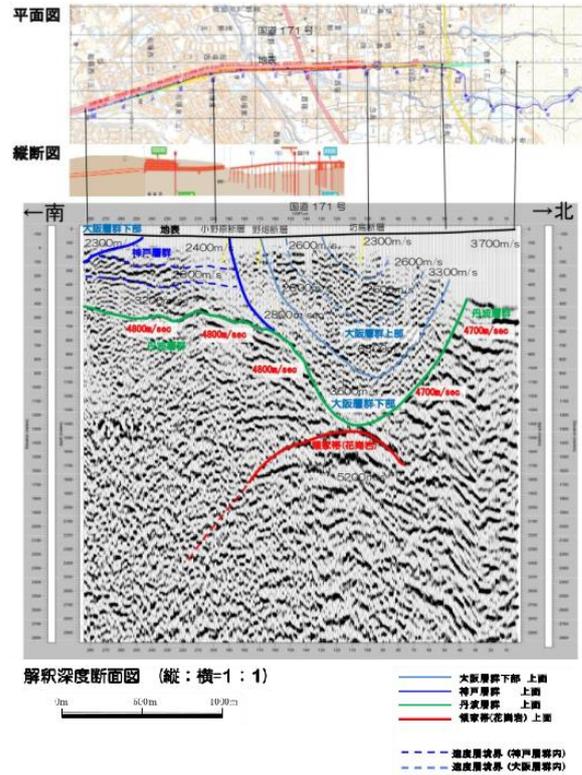


図-3 北大阪急行線延伸区間の解釈深度断面図¹⁰⁾

系の構造(表-1)を対象とする。基盤面は東西方向に放物線形の断面形状であり、南北方向に盆地幅の変化しない2次元モデル(図-1)と、盆地幅の変化する3次元モデル(図-2)とを用いる。2次元モデルの基盤面は、次式で表わす。

$$z = -\frac{D}{W^2}(y+W)(y-W) \quad (1)$$

また、3次元モデルの基盤面は、次のように表す。

$$z = -\frac{D}{W^2L^2}(x+L)(x-L)\left(-\frac{W}{L}x+y+W\right) \times \left(\frac{W}{L}x+y+W\right), \quad x \geq 0 \quad (2)$$

ここで、 x 、 y はそれぞれ南北、東西方向の位置座標(m)、 z は基盤面深さである。なお図-2に示すように、式(2)で表す南北方向に基盤深度の変化する長さ L の領域に接続するように基盤深度の変化しない長さ L の領域を設ける。また、これを南北方向に折り返して、3次元的に閉じた盆地構造とした。 D は最深部の深さ(m)、 $2W$ は東西方向の盆地幅(m)、 $4L$ は3次元モデルでのみ考慮する南北方向の盆地長(m)である。地点A~Iは地表の観測点で、地点Aが盆地最深部の直上の点である。本研究では、最深部深さ D を1400mとし、盆地幅 W と盆地長 L はパラメータスタディを行った。

この基盤形状や堆積層の物性は大阪府北摂地域の地盤構造を参照したものである⁷⁾。ここでは北大阪急行線延

伸事業が進められており、延伸区間が千里丘陵と北摂山地の間に東西方向に走る地溝状構造を横断することで知られる⁸⁹⁾。実際、2016年に北大阪急行延伸技術検討会が公開した反射法・微動アレイの観測結果¹⁰⁾においても、基盤面がおわん形状であることが確認されている(図-3)。

また、地震基盤面が最も深い萱野付近において、地震記録に基づくサイト増幅特性と1次元水平成層を仮定した伝達関数を比較した結果、両者が乖離したことから2次元的地盤構造による影響があることが示唆されている¹⁰⁾。このことから、北摂地域の構造を参照した解析モデルは本研究の目的に合致すると考えられる。

(2) 数値解析手法

本研究では、3次元差分法による数値解析を用いた。差分法の基礎方程式は運動方程式と構成式(応力-ひずみ関係)である。連続体の運動方程式は、変位 u_i と応力 σ_{ij} を用いて、

$$\rho \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + f_i \quad (3)$$

と表される。ここで、 ρ は連続体の密度、 f_i は外力項である。連続体が等方のHooke弾性体であると仮定するとき、構成式はLamé定数 λ 、 μ を用いて

$$\sigma_{ij} = \lambda \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \epsilon_{ij} + \mu \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \quad (4)$$

と表される。

運動方程式の変位 u_i を速度 v_i に置き換え、構成式を時間で1階微分すると、速度と応力に対する1階の偏微分方程式でそれぞれ表される。次に、この式の各項における微分を、時間方向に2次精度、空間方向に4次精度で差分近似を行う。差分近似のグリッドはStaggered-Gridを用いた。地盤内の側方境界は、20グリッドのPML吸収領域を用意して近似的に波の散逸を表現した。本研究では、以上を実装した解析コードOpenSWPC¹¹⁾を用いている。

3. 地盤の周波数特性

(1) 2次元モデル

a) 解析条件

盆地幅 W を700m, 1400m, 2800m, 7000mとした2次元モデルについて解析を行う。計算領域は、南北方向6.5km, 鉛直方向6.5km, 東西方向は堆積層を含むように表-2のように設定した。地震動を比較する地点は、 $W/4$ 刻みで盆地中央から順に地点A~Eと設定する。

グリッド間隔は全て50m, 時間刻みは0.002秒とした。入力波は南北方向に振動するS波の平面波を鉛直下方から与える。これは基盤形状の変化する東西方向の2次元

表-2 2次元モデルで周波数解析に用いた計算領域

W	700m	1400m	2800m	7000m	∞
東西方向	5.5km	7.0km	11.0km	17.5km	5.5km

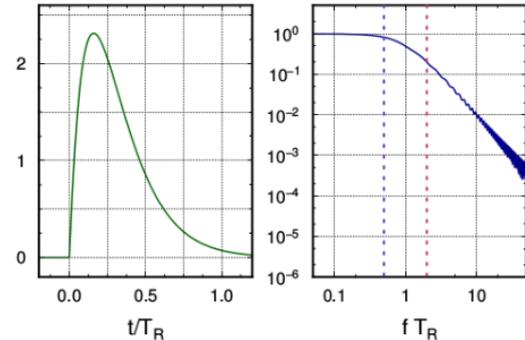


図-4 exponential型の関数形(左)とそのスペクトル(右)

断面に対してSH波動場を計算していることになる。入力波は、広い周波数帯域で振幅を持つexponential型の関数(図-4)を速度波形として与える。

$$f(t) = \frac{(2\pi)^2 t}{T_R^2} \exp\left[-\frac{2\pi t}{T_R}\right] \quad (5)$$

T_R は継続時間に関するパラメータで、ここでは1/3秒とした。

b) 伝達関数の検討

$W=700\text{m}$, 1400m , 2800m , 7000m の4モデルで波動場を計算し、得られた地点A~Eでの速度波形と入力速度波形のフーリエスペクトルの比から地点毎の伝達関数を求めた。図-5は地点毎の伝達関数を重ねて描いたものである。なお比較のため、地点A~Eの直下の堆積層厚をもつ2層系水平成層地盤の伝達関数をあわせて示す。これを、盆地幅が非常に広く2次元的效果が全くないモデルの結果とみなす。

$W=700\text{m}$, 1400m , 2800m のモデルに共通する性質は、低次のピーク周波数が地点A~Eでおおよそ一致していること、および盆地の中央ほど伝達関数のピーク値が大きい値をとることの2点である。これらの性質は水平成層地盤によるものと異なる。水平成層地盤の場合、ピーク周波数は直下の層厚やS波速度により定まり、ピーク値は堆積層と基盤のインピーダンス比で定まる。地点A, B, C, D直下の構造から求まるそれぞれの最も低いピーク周波数は0.268, 0.286, 0.357, 0.612Hzであり、層厚が薄くなるほど高い周波数となる。しかし、盆地幅の狭い $W=700\text{m}$, 1400m , 2800m のモデルでは、最も低いピーク周波数が直下の地盤構造に関わらず、いずれの地点の周波数も揃っている。この周波数では、堆積盆地全体がある固有のモードで振動している可能性が考えられる。また、伝達関数のピーク値の違いも振動モードを反映し

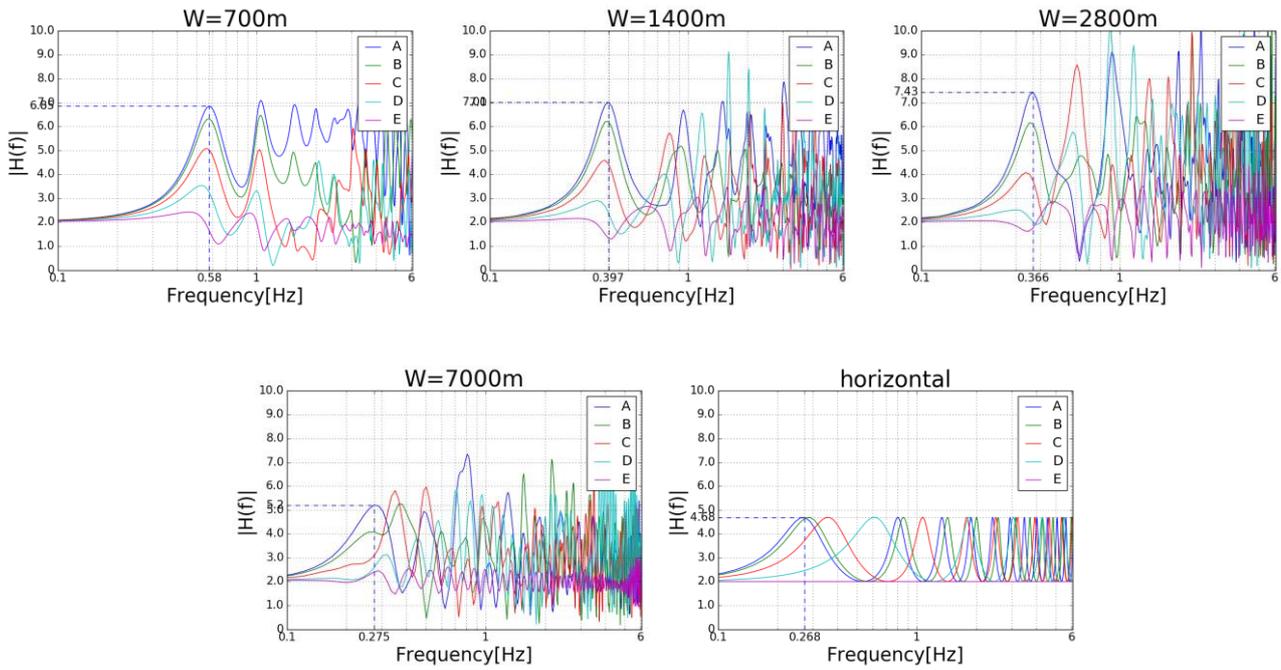


図-5 2次元モデルの伝達関数の比較

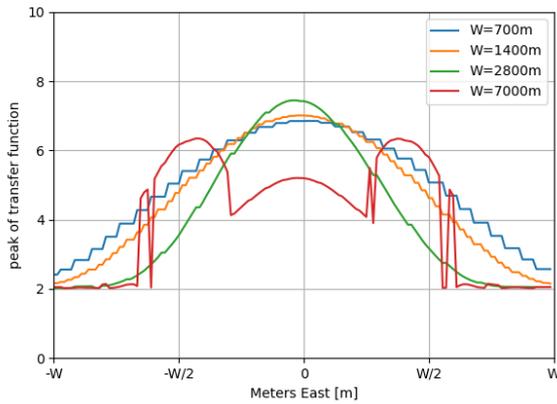


図-6 2次元モデル地表面での伝達関数1次ピーク値分布

たものと解釈できて、盆地中央で振幅の大きいモードが表れたことを示唆している。

一方、 $W=7000\text{m}$ のように盆地幅が広く水平に近いモデルではこのような性質は見られず、低次では水平成層地盤のようにピーク周波数が異なること、ピーク値が揃う傾向にあることが認められる。また、各モデルの最も低いピーク周波数は盆地幅が大きいほど低周波数側に推移する。

各モデルの振動モードを確認するため、図-5中に示した最も低いピーク周波数での伝達関数の値を東西断面上で密に求め、これを図-6に示す。 $W=700\text{m}$, 1400m , 2800m のモデルでは盆地端部から中央にかけて値が大きくなるような分布を示したのに対して、 $W=7000\text{m}$ では複雑な形状である。このことから、盆地幅の狭いモデルでは、盆地全体が振動するような固有のモードが存在

表-3 3次元モデルで周波数解析に用いた計算領域

L	700m	1400m
南北方向	7.0km	11.0km

する可能性が示唆される。

(2) 3次元モデル

a) 解析条件

東西方向の盆地幅 W は 1400m で一定とし、南北方向の盆地長 L を 700m , 1400m とした3次元モデルについて解析を行う。計算領域は、東西方向 7.0km 、鉛直方向 6.5km 、南北方向は堆積層を含むように表-3のように設定した。地震動を比較する地点は、盆地中央Aから縁まで東方向に $W/4$ 刻みで地点 B~E を、北方向に $L/4$ 刻みで地点 F~I を設定する。入力波は南北方向に振動するS波の平面波を鉛直下方から与えるケースと、東西方向に振動する平面波を鉛直下方から与える2ケースを行う。その他の解析条件は2次元モデルと同様である。

b) 伝達関数の比較

$L=700\text{m}$, 1400m 、および $W=1400\text{m}$ の2次元モデルの3つのモデルで数値解析を行い、各地点の伝達関数を求めた。なお、 $W=1400\text{m}$ の2次元モデルは、盆地長 L を非常に広くとったケースに相当し、南北方向の基盤形状の影響がないモデルの結果とみなすことにする。

図-7、図-8は、それぞれ南北方向、東西方向に振動する波を入力した場合の解析ケースにおける地点毎の伝達

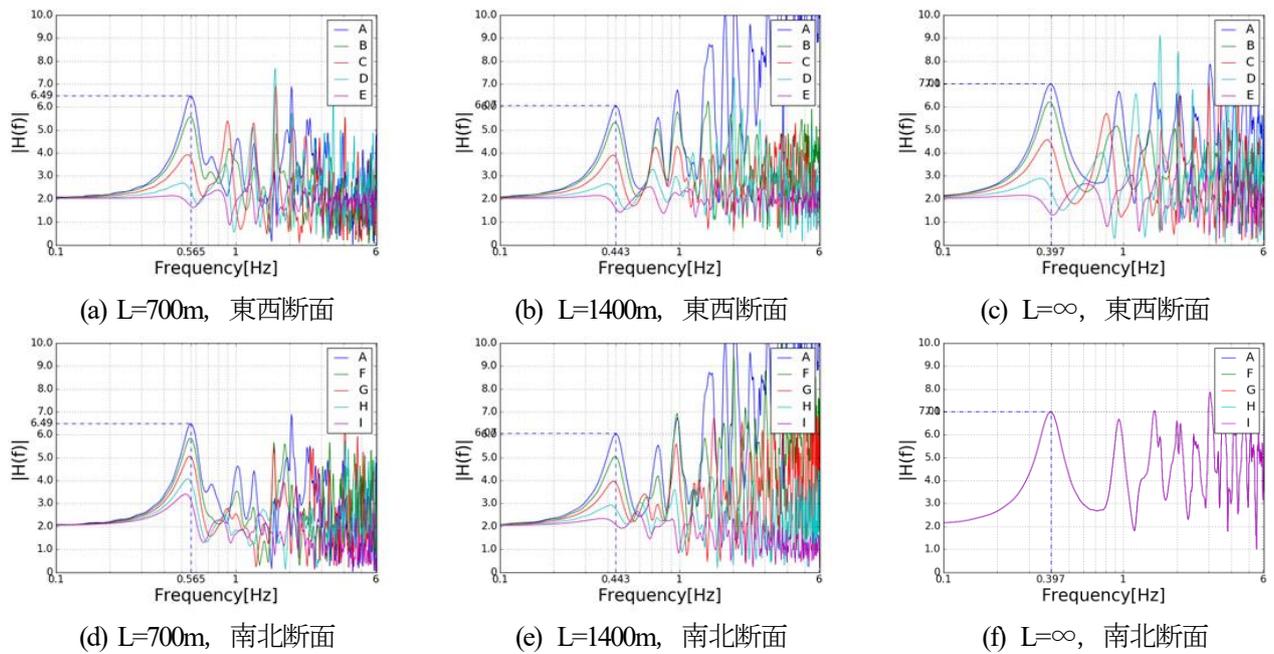


図-7 南北方向に振動する平面波を与えた場合の3次元モデルの伝達関数の比較

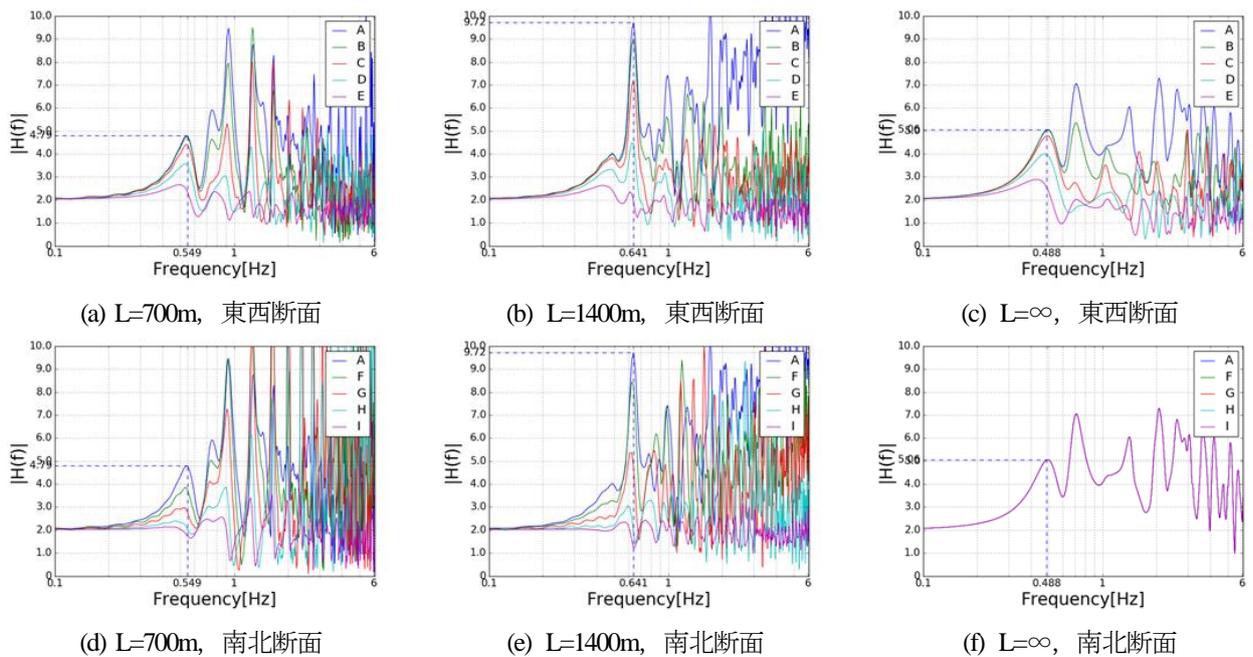


図-8 東西方向に振動する平面波を与えた場合の3次元モデルの伝達関数の比較

関数を重ねて描いたものである。低次のピーク周波数が全ての観測点でおよそ一致していること、および盆地の中央に近いほど伝達関数のピーク値が大きい値をとる傾向がみられ、2次元モデルと似た特徴である。このことから、この周波数では堆積盆地全体がある固有のモードで振動していると考えられる。南北方向に振動する入力波のケースを比較すると、最も低いピーク周波数は盆地長 L が短いほど高周波数側に推移することがわかる。

すなわち、堆積盆地のサイズに応じてモードの固有周波数が変化することに対応する。また、東西方向に振動する入力波のケースでは、 $L = 1400\text{m}$ の場合に 0.641Hz に顕著なピークが認められた。

堆積盆地全体の振動モードを把握するために、図-7、図-8中に示した周波数での伝達関数値の分布を図-9に示す。なお図中の点線は盆地端部を表す堆積層と基盤の境界である。 $L = 700\text{m}$ 、 1400m のケースでは、いずれも盆

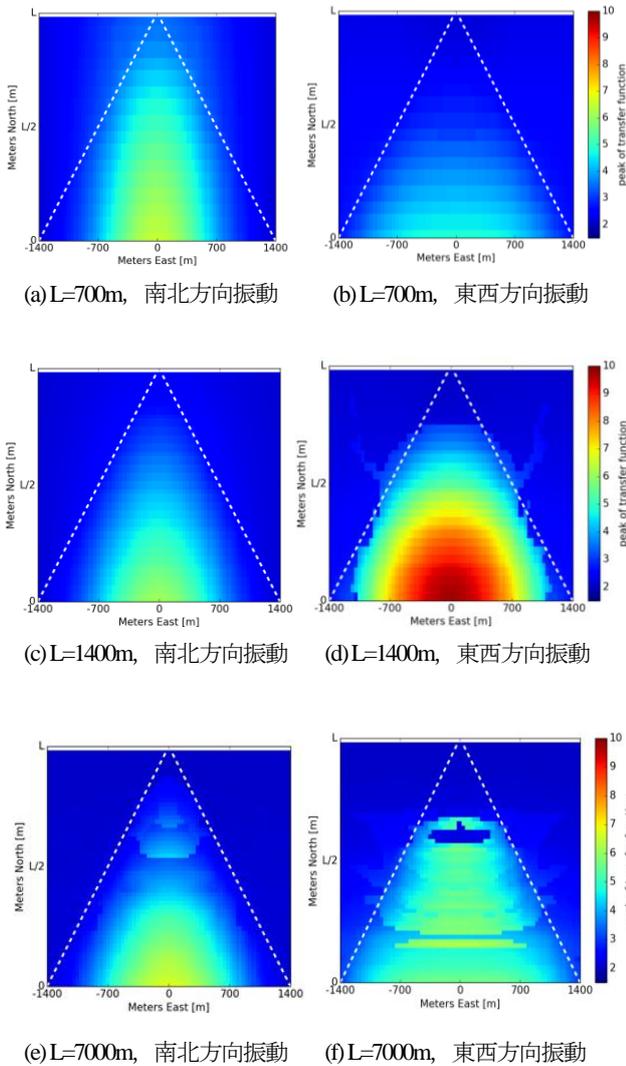


図-9 3次元モデル地表面での伝達関数1次ピーク値分布

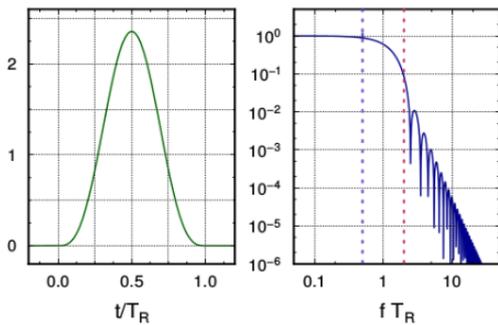


図-10 Kupper Wavelet 型の関数形 (左) とそのスペクトル (右)

地全体がある固有のモードで振動していること、入力波の振動方向によって異なる伝達関数値を示すことが明瞭に確認できる。また比較のために、 $L=7000\text{m}$ のケースの結果をあわせて示している。このケースの結果は、盆地長手方向（南北方向）に複数の腹と節を持つような分

布を示しており、 $L=700\text{m}$ 、 1400m のケースのような盆地全体が一体となって振動するようなモードではないことがわかる。

4. パルス波に対する応答特性

(1) 2次元モデル

a) 解析条件

周波数特性を分析した2次元モデルそれぞれにパルス状の波を入力した時の応答を比較する。ここで、 $W=700\text{m}$ のモデルの伝達関数に見られるピーク周波数を f_0 (0.58Hz)、 $W=1400\text{m}$ モデルのピーク周波数を f_1 (0.397Hz)、 $W=7000\text{m}$ モデルの地点 A におけるピーク周波数を f_0 (0.275Hz) とする。入力波は、周波数帯域の狭いパルス状の関数（Kupper Wavelet 型；図-10）を速度波形として、底面から鉛直に南北方向に振動する平面波として与える。

$$f(t) = \begin{cases} \frac{3\pi}{4T_R} \sin^3\left(\frac{\pi t}{T_R}\right), & 0 \leq t \leq T_R \\ 0, & t \geq T_R \end{cases} \quad (6)$$

を用いる。 f_0 、 f_1 、 f_2 の周波数が卓越するような入力とするため、それぞれ $T_R = 1/f_0$ 、 $1/f_1$ 、 $1/f_2$ と設定し、これを f_0 、 f_1 、 f_2 の入力と呼ぶことにする。

b) 地盤増幅特性の検討

$W=700\text{m}$ 、 1400m 、 7000m 、および水平成層地盤の4つのモデルに対して数値解析を行い、地点 A～E における速度波形を求めた。図-11 はそれぞれ f_0 、 f_1 、 f_2 の入力に対する、地点 A～E の地表波形を重ねて描いたグラフである。なお、水平成層地盤については、それぞれ地点 A～E の直下の堆積層厚をもつ結果を表している。

振幅が最大となる時刻に着目すると、同一地点であっても、 $W=700\text{m}$ 、 1400m 、 7000m の順に早い。盆地幅が狭い場合には、直下の基盤から鉛直に伝播する経路よりも、側方の基盤層から伝播する経路の方が走時が短くなる。基盤が急勾配な構造ほどこの影響が効くために、最大時刻が早くなるものと考えられる。

地点毎に振幅の違いに着目すると、盆地中央付近、盆地端部付近において異なる傾向が見られる。盆地中央付近（地点 A、B）では、 f_2 の入力に対しては $W=700\text{m}$ モデルの結果が、 f_1 の入力に対しては $W=1400\text{m}$ モデルの結果が最も大きい。例えば、地点 A における f_2 の入力に対しては、水平成層地盤の結果に比べて 20% 程の最大振幅の違いが見られる。一方、 f_0 の入力に対しては $W=700\text{m}$ 、 1400m モデルともに、水平成層地盤の結果に対して大きな違いが見られない。このことから、盆地中央付近では、入力周波数がモデルの固有モードに対応する周波数に近いほど、水平成層地盤の結果に比べて最大振幅

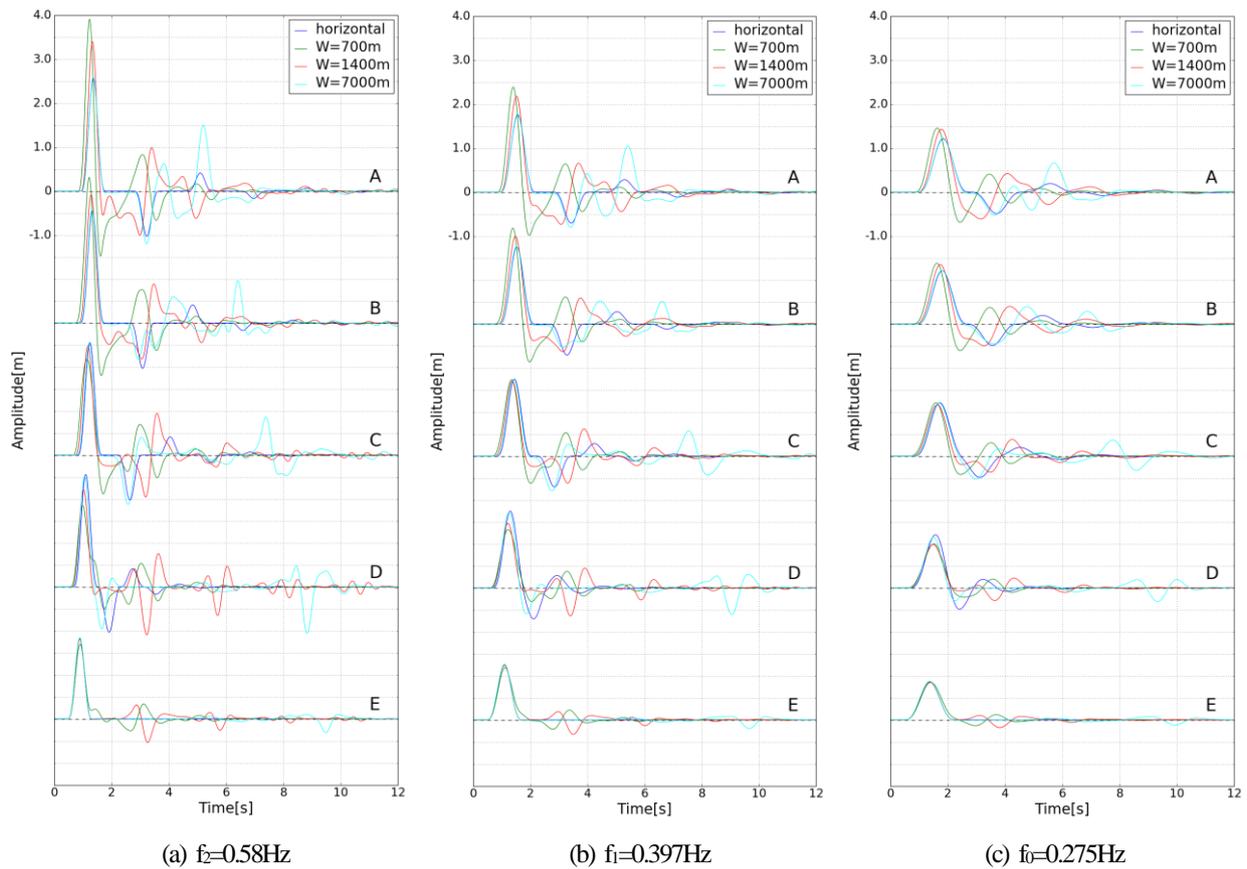


図-11 2次元モデルの地表波形

が大きくなることわかる。一方、盆地端部付近（地点 C, D）では、 f_1, f_2 の入力に対して、 $W=700m, 1400m$ モデルともに水平成層地盤の結果より最大振幅が小さくなる。

$W=7000m$ モデルでは、全ての周波数条件、地点に対して水平成層地盤の結果とほぼ同じ最大振幅を示した。先の周波数特性での考察と同様に、盆地構造による2次元的な影響はほとんど受けておらず、水平成層と似た震動特性であることが確認できる。すなわち、 $W=700m, 1400m$ モデルの結果に見られる最大振幅の特徴は、基盤形状による2次元的な影響である。盆地中央付近で振幅が増幅する現象は、焦点効果としてこれまで多く論じられてきた現象と似た特徴を持つ。しかし、入射波の周波数と盆地構造の振動モードとの関係により表れ方も異なることから、地盤全体系のモード分析はこれを理解する上で有効である可能性がある。

(2) 3次元モデル

a) 解析条件

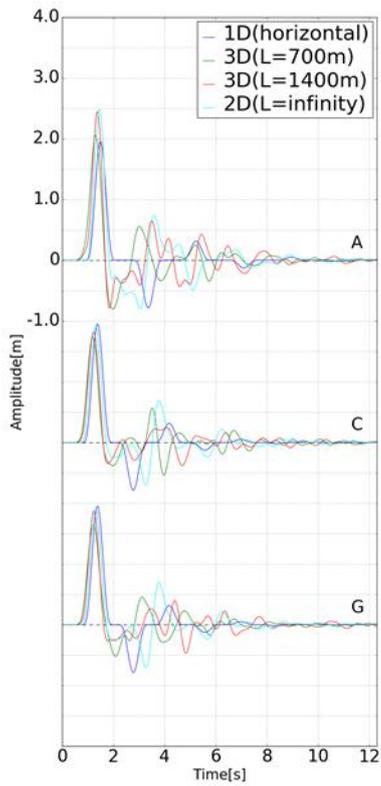
周波数特性を分析した3次元モデルそれぞれにパルス状の波を入力した時の応答を比較する。ここで、南北方向に振動する平面波を入力した場合の $L=700m$ のモデル

の伝達関数に見られるピーク周波数を f_A ($0.565Hz$)、 $L=1400m$ モデルのピーク周波数を f_B ($0.443Hz$)とする。東西方向に振動する平面波を入力した場合の $L=700m$ のモデルの伝達関数に見られるピーク周波数を f_C ($0.549Hz$)、 $L=1400m$ モデルのピーク周波数を f_D ($0.641Hz$)とする。

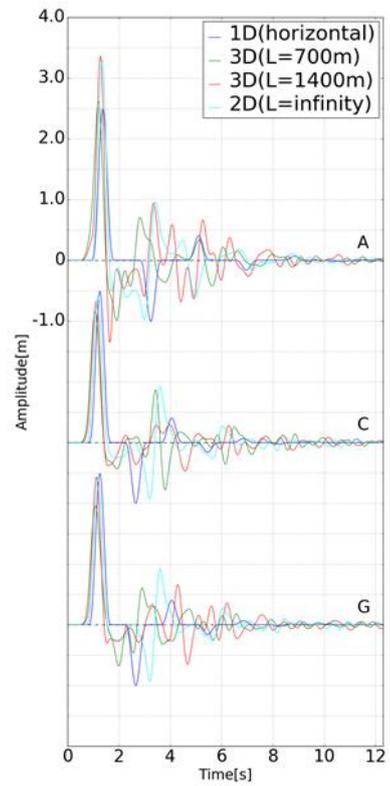
2次元モデルの場合と同様に、周波数帯域の狭いパルス状の関数（Kupper Wavelet型）を速度波形として、底面から鉛直に平面波として与える。南北方向に振動する平面波を入力したケースでは f_A, f_B の周波数が卓越するようにパラメーター T_R を設定し、東西方向に振動するケースでは f_C, f_D の周波数が卓越するように設定して解析を行った。

b) 地盤増幅特性の検討

$L=700m, 1400m$ 、および $W=1400m$ の2次元モデルおよび水平成層地盤の4つのモデルで数値解析を行い、地点A, C, Gの速度波形を求めた。図-12, 13はそれぞれ南北方向、東西方向に振動する平面波を入力したケースの結果を示したものである。振幅が最大となる時刻に着目すると、同一地点であっても $L=700m, 1400m$ では早く到達している。2次元モデルと同様に側方の基盤から

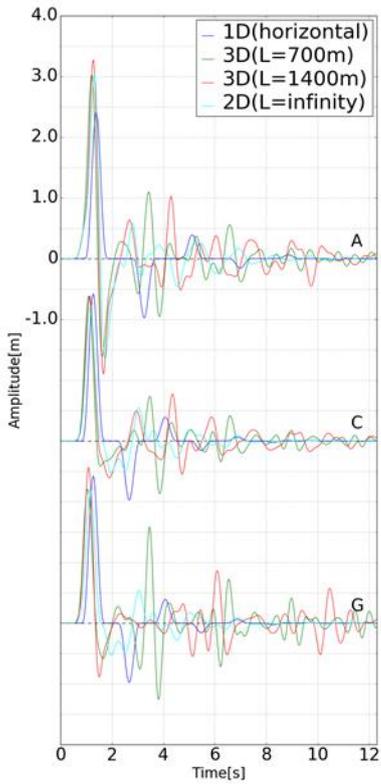


(a) $f_A=0.565\text{Hz}$

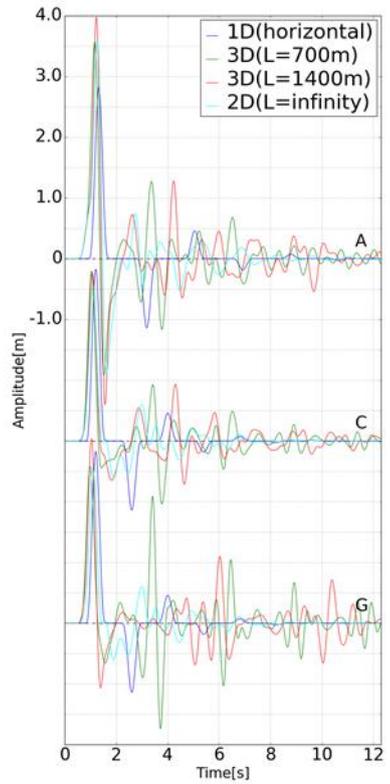


(b) $f_B=0.443\text{Hz}$

図-11(a) 3次元モデルの地表波形 (南北方向振動)



(a) $f_C=0.549\text{Hz}$



(b) $f_D=0.641\text{Hz}$

図-11(b) 3次元モデルの地表波形 (東西方向振動)

伝播する経路が短いことによる影響と考えられる。振幅に着目すると、地点 A では水平成層地盤と比較して最大振幅は大きい、地点 C, G ではむしろ小さい。この傾向は、2次元モデルと同様である。また、入力波が南北に振動する場合も東西に振動する場合も似た傾向を示した。ここで示した結果は限定的な3次元モデルに対するものであるため本研究のみで十分な一般化ができるわけではないが、3次元モデルについても2次元モデルと同様に地盤全体系のモード分析により地点毎の振幅の大きさを論じることができる可能性が示された。

5. 結論

本研究では、複雑な2次元、3次元形状の基盤面を持つような地盤構造が地震動に与える影響について系統的に整理することを目的とし、特に地盤全体系として振動する固有モードに着目して整理した。

幅の狭い盆地状の堆積層からなる地盤では、直下の堆積層厚にかかわらずどの地点においても伝達関数のピーク周波数はほぼ同じである。このときのピーク値は盆地中央に近いほど大きくなることから、この周波数では盆地全体が一体として振動するような固有のモードが表れることが明らかとなった。盆地幅が広がるにつれて、ピーク周波数が低周波数側に推移し、水平成層地盤と似た周波数特性を示した。パルス波を入射した場合の地表波形は堆積盆地中央付近で最大振幅が大きく、端部付近では水平成層と比べて小さい。このことも地盤系全体の固有モードによって理解できる。

すなわち、複雑な基盤形状の地盤であっても地盤全体系のモード分析をまず行い、固有モードとその周波数を求めることができれば、基盤形状の影響の概観を理解することができそうである。本研究の結果は限定的なモデルに対するものであるため、より多様なモデルケース、および観測事例に基づいて一般化していくことが今後必要である。

謝辞：箕面市役所地域創造部鉄道延伸室の示敬三様には、北大阪急行線延伸事業に係る資料を提供していただきました。弘前大学の前田拓人准教授には、差分法のプログラム OpenSWPC を使用させていただきました。ここに深

く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Milne, J.: *Seismology*, 2014 Ed., Cambridge University Press, 1898.
- 2) 川瀬博, 松島信一, Graves, R.W., Somerville, P.G.: 「エッジ効果」に着目した単純な二次元盆地構造の三次元波動場解析 兵庫県南部地震の際の震災帯の成因, 地震 第2輯, Vol.50, No.4, pp.431-449, 1998.
- 3) Hatayama, K., Kannno, T., and Kudo, K.: Control factors of spatial variation of long-period strong ground motions in the Yufutsu sedimentary basin, Hokkaido, during the Mw8.0 2003 Tokachi-oki, Japan, earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.97, No.4, pp.1308-1323, 2007.
- 4) Kagawa, T., Zhao, B., Miyakoshi, K., and Irikura, K.: Modeling of 3D basin structures for seismic wave simulations based on available information on the target area: case study of the Osaka basin, Japan, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.94, No.4, pp.1353-1368, 2004.
- 5) 野口竜也, 西川隼人, 吉田昌平, 香川敬生: 鳥取県内の地震観測点における地盤構造の把握とサイト特性の評価, 土木学会論文集A1 (構造・地震工学), Vol.72, No.4, pp.I_646-I_658, 2016.
- 6) Goto, H., Sawada, S., Morikawa, H., Kiku, H., and Ozalaybey, S.: Modeling of 3D Subsurface Structure and Numerical Simulation of Strong Ground Motion in the Adapazari Basin during the 1999 Kocaeli Earthquake, Turkey, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.95, No.6, pp.2197-2215, 2005.
- 7) 堀家正則, 竹内吉弘, 藤田崇, 古和田明, 井川猛, 川中卓: 北摂山地と大阪平野境界部の地下構造探査, 地震 第2輯, Vol.51, No.2, pp.181-191, 1998.
- 8) 川崎慎治, 戸田茂, 中川康一, 小林芳正: 有馬-高槻構造線東端部における反射法地震探査, 地震 第2輯, Vol.47, No.2, pp.164-173, 1994.
- 9) 戸田茂, 川崎慎治, 竹村恵二, 岡田篤正: 反射法地震探査の断面に見られる有馬-高槻構造線に沿う地溝帯, 地震 第2輯, Vol.48, No.4, pp.511-520, 1996.
- 10) 箕面市, 北大阪急行電鉄: 第4回北大阪急行線急行線延伸技術検討会資料, 2017.
https://www.city.minoh.lg.jp/kitakyu/new_kitakyu/keii/documents/02-02_taishin.pdf (2018年8月31日閲覧)
- 11) Maeda, T., Takemura, S., and Furumura, T.: OpenSWPC: An open-source integrated parallel simulation code for modeling seismic wave propagation in 3D heterogeneous viscoelastic media, *Earth, Planets and Space*, Vol.69, No.102, 2017.

(?受付)

SYSTEMATIC UNDERSTANDING OF THE GROUND MOTION AMPLIFICATION ON THREE-DIMENSIONAL BASIN STRUCTURE

Yuki TANAKA, Hiroyuki GOTO and Sumio SAWADA

Seismic wave propagation and ground motion amplification in/on the complicated 2-D and 3-D basin structure are important issues in considering the input motion for seismic design for civil engineering structures. In this research, we discuss the effect on ground motion amplification from the complicated structure, especially on the basis of the existence of eigenmodes for whole the basin system. 3D numerical simulations investigate that almost the common peak frequencies appear in transfer functions of the basin system regardless of the deposit layer thickness, and the spatial variation of the peak values is evident in the eigenmodes. When the basin model is excited by a pulse-like input motion, the spatial distribution of maximum amplitudes can be explained from the eigenmodes. This implies that mode analysis of the entire ground structure enables us to systematically understand the effect on ground motion amplifications.