



次の宮城県沖地震における 高分解能強震動予測のための基礎研究

— 2003年5月26日宮城県沖の地震のマクロ-ミクロ解析手法による再現 —

市村強¹, K. M. Ali², 堀宗朗³, 池田清宏⁴

¹正会員 博士 (工学) 助手 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 (〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 06)

E-mail:t-ichim@msd.civil.tohoku.ac.jp

²学生会員 修士 (工学) 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 (〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 06)

E-mail:ali@msd.civil.tohoku.ac.jp

³正会員 PhD. 教授 東京大学地震研究所 (〒 113 - 0032 東京都文京区弥生 1-1-1)

E-mail:horie@eri.u-tokyo.ac.jp

⁴正会員 PhD. 教授 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 (〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 06)

E-mail:ikedak@civil.tohoku.ac.jp

効率的かつ合理的な震災対策を講じるために、高精度かつ高分解能な強震動情報の果たす役割は大きいと考えられる。このような強震動情報を提供する手法として、三次元数値シミュレーションが有効と考えられるが、主に、膨大な計算量が必要とされること、地盤情報が曖昧なことなどの課題がある。これらの課題を解決するためにマクロ-ミクロ解析手法といくつかの数値解析手法を組み合わせた高分解能強震動シミュレーターを開発し、観測された強震動の再現を試みている。著者らはこの高分解能強震動シミュレーターにより、次の宮城県沖地震の強震動を高分解能で予測するための基礎検討を行っている。本論文では、本シミュレーターにより同地域で2003年5月26日に宮城県沖で起きた地震の強震動の再現を試み、その有効性及び今後の課題について検討する。

Key Words : Strong Ground Motion Simulation with High-resolution, Macro-Micro Analysis Method

1. はじめに

震災対策の合理化・効率化を考える上で、高精度・高分解能な強震動予測は重要である。近年の観測により、断層の破壊過程・地殻内の波動伝播・地表付近の増幅効果が強震動分布に及ぼす影響が大きいことがわかってきている¹⁾²⁾³⁾。強震動分布を高分解能で定量的に予測するためには、これらを考慮した三次元数値シミュレーションが有効な方法と考えられおり、様々な手法が開発され強震動の予測に適用されている⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾。しかしながら、上述のように高精度・高分解能で強震動を予測することは、膨大な計算量・地盤情報の不確実性・地盤のモデル化の困難さなどから実現が難しいとされている。

著者らは、これらの課題を解決するためにマクロ-ミクロ解析手法という解析手法といくつかの数値解析手法を提案している⁸⁾。また、地理情報システム (GIS) にボーリングデータ及びモデリングツールを実装し、三次元地盤構造を自動的に作成可能なツールを開発し、上記手法と連成させた高分解能強震動シミュレーターの開発を行っている。著者らは、来る宮城県沖地震に向けて本シミュレーターのこの地域への適用を考えている。この地域では、太平洋プレートの沈み込みに伴い多く

の地震が発生している。日本海溝の中央部に位置し、北部と南部の走向が変化する場であり、約40年間隔で巨大地震が繰り返し起こる場である。来る宮城県沖地震の強震動分布を高分解能で予測するためには、この地域での地盤構造及び強震動分布特性などに関して検討することは意義深いと考えられる。本論文では、まずマクロ-ミクロ解析手法の概要を説明し、次に開発しているマクロ-ミクロ解析手法を用いた高分解能強震動シミュレーターにより2003年5月26日に宮城県沖で起きた地震を対象として強震動の再現を試みる。最大速度等の地震被害を表す指標などで比較を行うことにより、その有効性及び今後の課題について検討する

2. マクロ-ミクロ解析手法

マクロ-ミクロ解析手法は、バウンディングメディア理論 (BMT)⁹⁾ と特異摂動 (SPE) に基づく階層型解析¹⁰⁾ を組み合わせた解析手法である。物性が確率的に変動するような問題の応答をもとめる場合には、モンテカルロシミュレーションなどが適用されるが、数多くの数値シミュレーションを行わなければならない、一般に計算負荷が大きい。ここでは、モンテカルロシミュレーションを行う代わりに、BMTによりひずみエネルギー

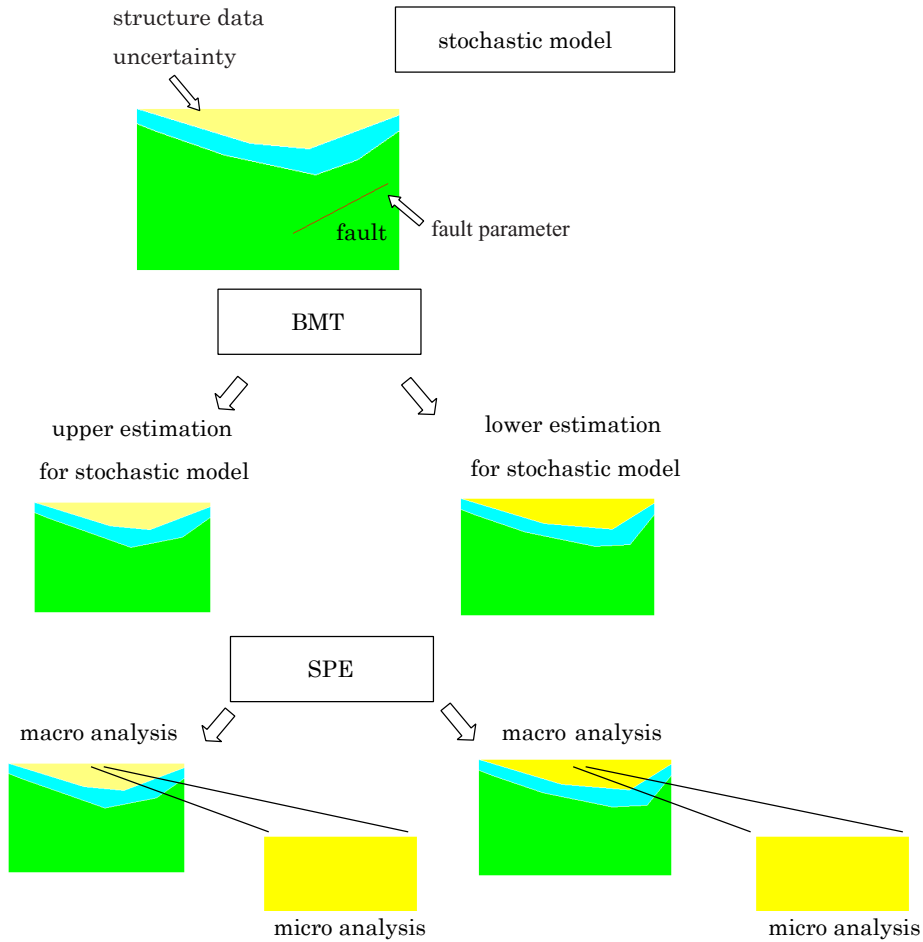


図-1 マクロ-ミクロ解析手法の流れ図

ギーの期待値を尺度として、もっとも起こりうる挙動を挟み込むような二つの挙動を与える二つの構造（upper と lower の構造）をもとめる。階層型解析は、まず、低分解能で全体について計算を行い、つぎに、その結果を用いて高分解能で部分領域で計算を行う。このようにすることにより、一度に必要な計算量を抑えながら高い空間分解能と時間分解能を獲得することができる。

マクロ-ミクロ解析手法の定式化について簡単に示す（定式化の詳細については⁸⁾参照）。簡単のため、準静仮定をおき、弾性テンソル c_{ijkl} が確率的に変動する線形弾性体 V を考える。まず、BMT について説明する。ひずみエネルギーの期待値に注目してみると、以下の不等式が成り立つ。

$$\langle E \rangle = \langle J(\mathbf{u}^e, \mathbf{c}) \rangle < \langle \mathbf{J}(\mathbf{u}, \mathbf{c}) \rangle = \mathbf{J}(\mathbf{u}, \langle \mathbf{c} \rangle).$$

ここで、 $J (= \int_V \frac{1}{2} c_{ijkl} d_j u_i d_l u_k \, dV$ ここで $d_i = \partial/\partial x_i$) はポテンシャルエネルギーを、 u_i^e は変分 J を最小化する変位場を表している。この不等式より、upper と lower の構造のうち、upper の構造が

$$c_{ijkl}^+(\mathbf{x}) = \langle c_{ijkl} \rangle(\mathbf{x}), \quad (1)$$

と決められる。lower の構造は、補ポテンシャルエネ

ルギーを考えることにより同様に決めることができ、

$$c_{ijkl}^-(\mathbf{x}) = \langle (c_{ijkl})^{-1} \rangle^{-1}(\mathbf{x}). \quad (2)$$

となる。ここで、式(1)と(2)によって与えられる c_{ijkl}^\pm は、準静仮定においてひずみエネルギーの期待値を挟み込むものであり、慣性力の影響が十分に大きくないと仮定している。

次に、上で得られた upper と lower の構造に対して SPE により変位を展開し、階層型解析を導入する。地盤構造と地殻構造の比程度の ε を用いて、ゆるやかに変化する $X_i = \varepsilon x_i$ を導入する。ここで、 x_i は地盤構造に注目した座標系、 X_i は地殻構造に注目した座標系に相当する。 $u_I \approx u_i^{(0)}(\mathbf{X}, t) + \varepsilon u_I^{(1)}(\mathbf{X}, \mathbf{x}, t)$ として、支配方程式に代入すると第一項と第二項は以下を満足する。

$$D_i(C_{ijkl} D_l u_k^{(0)}) - R \ddot{u}_j^{(0)} = 0, \quad (3)$$

$$d_i(c_{ijkl}(d_l u_k^{(1)} + D_l u_k^{(0)})) - \rho \ddot{u}_j^{(1)} = 0. \quad (4)$$

ここで、 c_{ijkl} は c_{ijkl}^+ もしくは c_{ijkl}^- を表している。 C_{ijkl} と R は、 c_{ijkl} と ρ により表される有効弾性テンソルと有効密度である（ここで D_i と d_i は各々 $D_i = \partial/\partial X_i$ と $d_i = \partial/\partial x_i$ を表している）。マクロ-ミクロ解析手

法では、式 (3) に基づき、低分解能で全体を解析することをマクロ解析、式 (4) に基づき、高分解能で部分領域の解析を行うことをマイクロ解析とよんでいる。

マクロ-マイクロ解析手法は強震動シミュレーションには以下のように適用する (図-1 参照)。

- i) 地盤・地殻構造情報の不確実性を考慮して、物性が確率的に変動する地盤・地殻構造の確率モデルを構築する (1 (m) オーダーの分解能)。
- ii) この確率モデルに対して、BMT を適用し、最も起こりうる強震動を挟み込む解を与える二つの構造を (upper と lower の構造) を設定する。
- iii) ii) で作成したモデルから等価な低分解能なモデルを作成する (SPE に基づく階層型解析の導入: 100 (m) オーダーの分解能)。
- iv) iii) で作成したモデルを用いて断層から地表までをふくむ領域で強震動シミュレーションを行う (マクロ解析: 100 (m) オーダーの分解能)。
- v) 高分解能で強震動をシミュレーションしたい地点において、i) で作成した高分解能な地盤構造と iii) でえられた低分解能な強震動を用いて高分解能な強震動シミュレーションを行う (マイクロ解析: 1 (m) オーダーの分解能)。
- vi) iv) ~ v) を upper の構造・lower の構造についてそれぞれ行うことにより、最も起こりうる強震動を挟み込む強震動を高分解能でシミュレーションすることができる。

3. 2003 年 5 月 26 日宮城県沖の地震の再現

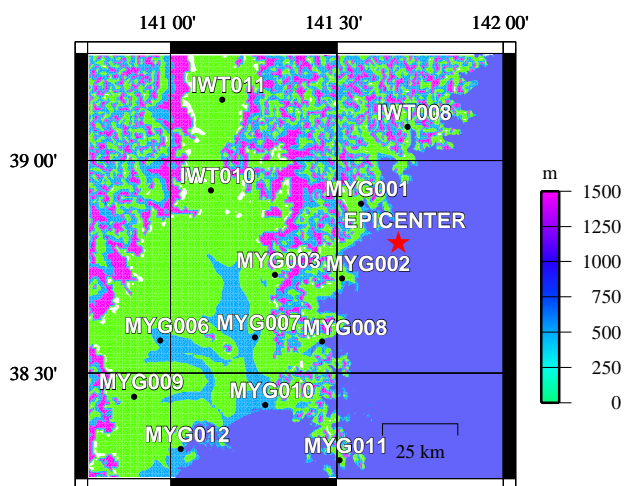


図-2 震源と観測サイト

本節では、マクロ-マイクロ解析手法と各種数値シミュレーションを用いた高分解能強震動シミュレーターにより、2003 年 5 月 26 日に宮城県沖で起きた地震の強震動の再現を試みる。対象となる地域は、図-2 に示す

北緯 35.3 度、東経 139.45 度を左下端とする東西南北 103×111 (km) の領域であり、深さ 100 (km) までを考慮する。図に示した 13 サイトで観測波形とマクロ-マイクロ解析手法により推定された結果とを比較する。

まず、対象地域の地下構造モデルを GIS 上に構築する。宮城県沖地震を想定した強震動の評価を行った地震調査委員会強震動評価部会の中間報告¹¹⁾によれば、この地域の地下構造モデルに係わる「調査研究として、三次元モデル作成の基礎となる重力データについては工業技術院地質調査所¹²⁾、東北日本におけるプレート沈み込みの大構造については三浦 et al.¹³⁾、仙台平野周辺の地下構造関連でボーリングの P S 検層については KiK-net のデータ、微動探査については佐藤 et al.¹⁴⁾、古村 et al.¹⁵⁾、海域については工業技術院地質調査所¹⁶⁾による音波探査のデータベース」といった研究がある。本論文では、これらを踏まえて構築された地震調査委員会強震動評価部会の中間報告¹¹⁾の地下構造モデルと三浦 et al.¹³⁾の大構造モデルと K-net のデータを参考に地下構造モデルを構築した (図-3 左上に鳥瞰図を、右上、左下、右下に図 2 に示す a-a', b-b', c-c' の断面を示した)。地表の形状は考慮していない。9 層からなるモデルであり、各層の物性 (縦波速度 C_1 、横波速度 C_2 、密度 ρ) は、表-1 に示すものを用いている。減衰はレーリー減衰を考慮し、その係数は¹⁷⁾と同様にしてもとめた。次にこの物性情報の曖昧さを付け加える。本論文では、上記で構築した地下構造モデルの物性のうちヤング率のみが曖昧さを持つとして、ヤング率を E としたときに、標準偏差 $0.25E$ となるような正規確率分布に従う確率的な変動をもつと設定した。本論文では、基礎検討を行う意味で 0.25 としたがどの程度のばらつきが妥当とされるのかについては今後更に検討が必要と考えられる。

震源過程については速報として発表されているデータを用いた。断層位置、走行、傾斜などの巨視的震源パラメータは表-2 を使い、すべり分布などの詳細な震源過程は¹⁸⁾,¹⁹⁾を参考にして断層モデルを設定した。すべり速度時間関数には²⁰⁾の近似式を用いた。この近似式を用いるために必要な f_{max} などは地震調査委員会強震動評価部会の中間報告¹¹⁾と同様に設定した。

上記で設定した地下構造、震源過程を用いて図-1 に従い、マクロ-マイクロ解析手法と各種数値シミュレーションを用いた高分解能強震動シミュレーターにより強震動のシミュレーションを行う。まず、BMT を地盤構造に適用することにより、確率的に物性が変動するモデルから決定論的に物性が決まっているモデルを構築する。例として、サイト MYG010 直下の地表付近のせん断剛性の深さ方向での分布を示す (図-4)。合成のばらつきを大きく設定しているために、upper の構造、

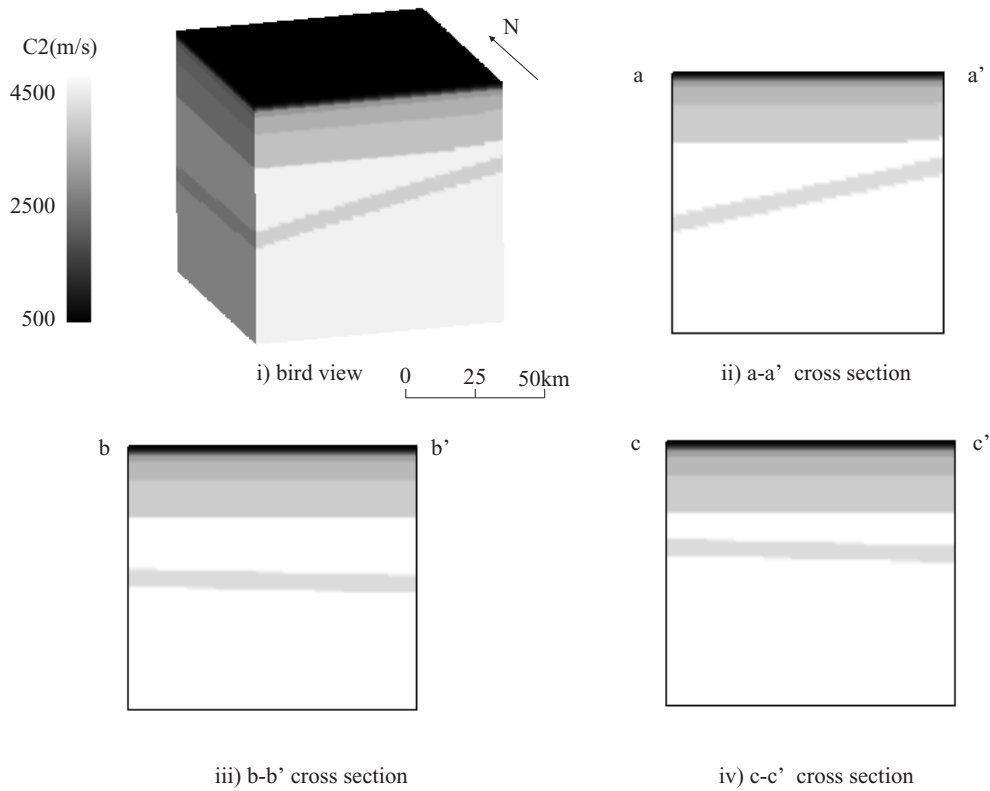


図-3 対象地域の地殻・地盤の三次元構造

	C_1 (m/s)	C_2 (m/s)	ρ (kg/m^3)
layer 1	1800	500	2000
layer 2	2000	850	2100
layer 3	3300	1700	2300
layer 4	5500	3000	2500
layer 5	5900	3400	2700
layer 6	6400	3700	2800
layer 7	8000	4500	2900
layer 8	6800	3930	3000
layer 9	8000	4500	3250

表-1 各層の物性

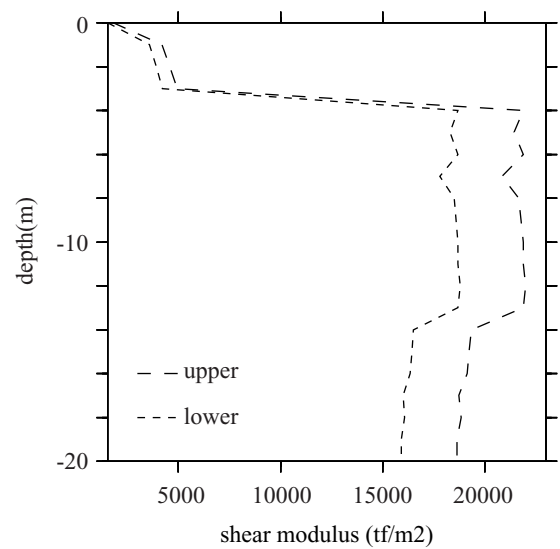


図-4 MYG010 での upper 構造と lower 構造

lower の構造の差が大きくなっている．他の地点及び深部構造についても，同様な傾向が見られる．

次にこのモデルに対して SPE を適用し，等価ではあるものの低分解能なモデルを構築する．これを用いて断層から地表までの強震動の伝播をシミュレーションする（マクロ解析）．そして，マクロ解析で得られた結果と元の高分解能な構造を用いて地表付近でシミュレーションを行う（ミクロ解析）．このような階層的な考え方で強震動の解析は，例えば，工学的基盤までまず地震波をシミュレーションし，それに対して一次元波動論により地表付近の地盤構造の影響を加味する手法

を一般化したものとも考えられる．本論文のマクロ解析では，マルチグリッドのボクセル有限要素法を用いた²¹⁾．通常の有限要素法では，全体剛性マトリクスを保持する必要がある．一方，ボクセル有限要素法は一定形状のボクセルタイプの要素を用いて離散化するため，全体剛性マトリクスを保持する必要がない．そのため，必要とされるメモリ量及び計算量が格段に少なく，ま

Date	Magnitude	Epicenter location	Strike	Dip	Rake	Epicenter depth
2003/05/26	7.0Mw	38.817N 141.654E	193 °	69 °	87 °	70km

表-2 震源の巨視的パラメータ

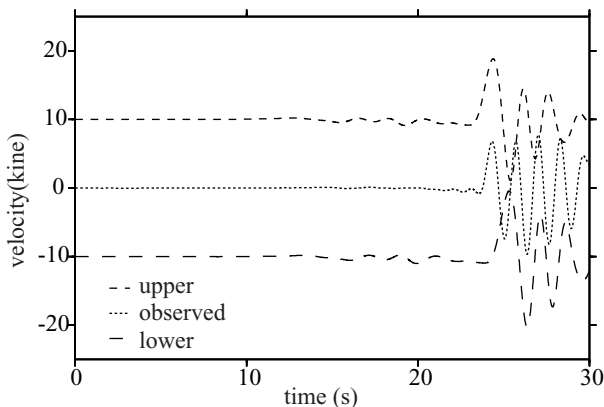


図-5 MYG010での観測とシミュレーションの比較

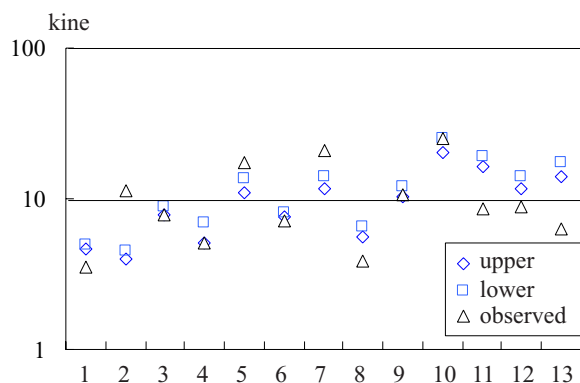


図-6 観測との比較(南北成分)

た離散化後のデータの構造が簡単であるため高い並列化効率も達成しやすい。また、いくつかの異なる大きさの要素(マルチグリッド)を用いている。一般にせんだん波とメッシュのサイズの関係によって保証される計算結果の精度が決定される。深さ方向でせんだん波が大きく変化するため、より効率的な解析のためにせんだん波速度が大きい領域では、大きいメッシュを用いるように、深さ方向でメッシュの大きさを変化させている。これは、⁴⁾と同様の考え方による方法である。一辺100, 150, 300, 600(m)の大きさの立方体アイソパラメトリック要素をボクセル要素として用いて離散化を行った。せんだん波とメッシュサイズの関係から、0.5Hzまでの周波数成分の精度が保証されているとした。中心差分法により時間方向成分を離散化し、陽解法を適用した。時刻刻みは、0.01秒とし、断層破壊開

始から100秒間のシミュレーションを行った。このマクロ解析は、式(3)を用いてシミュレーションすることに相当する。マクロ解析で得られたこれらの波形と地表付近の地盤構造を用いてミクロ解析を行う。ミクロ解析を行う該地点近傍で得られた地表面及び地中の波形から基盤面での波形を補間により求め、これと該地点での地盤構造を用いてミクロ解析を行う。このミクロ解析は、式(4)を用いてシミュレーションすることに相当する。当該地域では、地盤構造に関する情報が少ないため、K-netで公開されているデータを用いて図-4のような半無限水平成層の地盤構造を作成し、これを用いた。これらの入力地震動及び地盤構造を用いてshake91²²⁾により地表付近の増幅特性をシミュレーションしている。今回のミクロ解析では、地盤構造の情報が少ないため、shake91により、半無限水平成層構造を仮定した解析を行っているが、今後地盤構造情報を増やし、⁸⁾²¹⁾で行ったように三次元地盤構造を用いた三次元解析を行う予定である。

図-5にMYG010で観測された南北方向の速度波との比較を示す。ターゲットの周波数領域は、0.5Hz以下とし、以下全てのデータに0.5(Hz)のバンドパスフィルターを適用した。波形の概形は良好に一致している。一方、lowerな構造の位相が多少遅れるのは、BMTを適用することによって得られたlowerな構造は、式(2)をみてわかるように、物性としては”やわらかく”設定されるためである。これは遅い速度構造になることを意味している。定式化の際に準静仮定をおいているため、位相までを含めて挟み込むことは難しい。しかし、ひずみエネルギーに関しては挟み込むことが期待できるため、例えば、最大速度などでは挟み込めることが期待される。実際、最大速度をみてみると、観測、upper、lowerそれぞれの場合で、9.66(kine)、8.91(kine)、10.26(kine)となり挟み込むことが出来ていることがわかる。次に、図-6に実測された最大速度と本手法によりえられた最大速度をしめす。先の例と同様に多くのサイトで観測された最大速度値をupperとlowerの最大速度が挟み込み、良好な結果が得られているものの、いくつか差がみられるサイトもある。これは、図-2の標高をみてわかるように、この地域では地表面の起伏が激しく、低周波領域とはいえ、この起伏が強震動に大きな影響を及ぼしていることが考えられる。しかし、本シミュレーションでは、地中の三次元構造は考

慮しているものの、地表の形状を考慮していないため、この影響がでたものと考えられる。また、地表付近の地盤構造データが不足していることも原因の一つと考えられる。

4. まとめ

本論文では、高精度・高分解能強震動情報を提供するために開発を続けている、マクロ-ミクロ解析手法と各種数値シミュレーションを用いた高分解能強震動シミュレーターにより、2003年5月26日に宮城県沖で起きた地震の強震動の再現を試み、13サイトで観測データと比較を行った。ひずみエネルギーを尺度にしているため、位相までを含めて観測されたデータを挟み込むことは出来ていないが、最大速度などに関しては良好に挟み込みうることを示し、本高分解能強震動シミュレータの有効性を示した。一方、いくつかのサイトにおいては、観測データと本手法の結果に差が見られた。この地域では地表面の起伏が激しく、低周波領域とはいえ、この起伏が強震動に大きな影響を及ぼすことが考えられる。しかし、本シミュレーションでは、地中の三次元構造は考慮しているものの、地表の形状を考慮していないため、この影響がでたものと考えられる。地表面において、表面波を精度よく再現するためには、自然境界条件を精度よく取り込むことが必要であるが、地表の三次元構造を考慮してこれを行うためには膨大な計算量を必要とする。計算量及び計算手法に関して、より効率的に地表面の地形効果を数値シミュレーションできる手法の検討が今後必要と考えられる。また、地表付近の地盤構造データが不足していることも原因の一つと考えられる。今後は、より高周波成分をターゲットに、これらの課題の検討を行い、より詳細な震源過程を加味したより大規模なシミュレーションを行うことにより、本地震の再現を試み、被害などに関して検討を行い、本高分解能強震動シミュレータの完成を目指す。そして、これらの知見を活かし、来る宮城県沖地震の強震動を高分解能で予測したいと考えている。

謝辞：本研究のために、東京大学地震研究所地震予知情報センターの計算機システムを利用しました。防災科学技術研究所のK-NETデータを使用しました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) Kawase, H.: The cause of the damage belt in Kobe: "The basin-edge effect", Constructive interference of the direct S-wave with the basin-induced diffracted/Rayleigh waves, *Seism. Res. Lett.*, **67**, pp. 25-34, 1996.
- 2) Bardet, J. P. and C. Davis: Engineering observations

- on ground motions at the Van Norman Complex after the 1994 Northridge Earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **86**, pp. 333-349, 1996
- 3) Furumura, T. and K. Koketsu: Specific distribution of ground motion during the 1995 Kobe earthquake and its generation mechanism, *Geophys. Res. Lett.*, **25**, pp. 785-788, 1998.
- 4) Aoi, S., and H. Fujiwara: 3D finite-difference method using discontinuous grids, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **89**, pp. 918-930, 1999.
- 5) Pitarka, A: 3D elastic finite-difference modeling of seismic motion using staggered grids with nonuniform spacing, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **89**, pp. 54-68, 1999.
- 6) Fujiwara, H.: The fast multipole method for solving integral equations of three-dimensional topography and basin problems, *Geophys. J. Int.*, **140**, pp. 198-210, 2000.
- 7) Komatitsch, D. and J. Vilotte: The spectral element method: an efficient tool to simulate the seismic response of 2D and 3D geological structures, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **88**, pp. 368-392, 1998.
- 8) T. Ichimura and M. Hori: Macro-Micro Analysis for Prediction of Strong Motion Distribution in Metropolis, *J. Struct. Mech. Earthquake Eng. JSCE*, No. 654/I-52, pp. 51-61, 2000.
- 9) Hori, M. & S. Munashinge: Generalized Hashin-Shtrikman variational principle for boundary-value problem of linear and non-linear heterogeneous body, *Mechanics of Materials*, **31**, pp. 471-486, 1999.
- 10) Hori, M. & S. Nemat-Nasser: On two micromechanics theories for determining micro-macro relations in heterogeneous solid, *Mechanics of Materials*, **31**: pp. 667-682, 1999.
- 11) 地震調査委員会強震動評価部会: 宮城県沖地震を想定した強震動評価手法について(中間報告), 2002.
- 12) 工業技術院地質調査所: 日本重力CD-ROM, 2000.
- 13) 三浦誠一, 高橋成美, 仲西理子, 小平秀一, 金田義行: 日本海溝前弧域(宮城沖)における地震学的探査 - KY9905航海 -, *JAMSTEC 深海研究*, 第18号, pp. 145-156, 2001.
- 14) 佐藤智美, 川瀬博, 松島信一, 杉村義広: アレー微動観測に基づく仙台市とその周辺地域での地下深部S波速度構造の推定, *日本建築学会構造系論文集*, 第503号, pp. 101-108, 1998.
- 15) 古村美津子, 岩佐幸治, 浜田和郎, 凌甦群: 微動探査法を用いた仙台平野および松本盆地の地下構造の推定, *地球惑星科学関連学会2002年合同大会予稿集*, 2002.
- 16) 工業技術院地質調査所: 日本周辺海域音波探査データベース(CD-ROM版), 数値地質図M-1, 2001.
- 17) Bao, H., J. Bielak, O. Ghattas, L. F. Kallivokas, D. R. O'Hallaron, J. R. Shewchuk and J. Xu: Earthquake ground motion modeling on parallel computers. In *Proceedings of Supercomputing '96*, 1996.
- 18) 八木勇治: 2003年5月26日宮城県沖で発生した地震(Mjma 7.0)の震源過程, http://iisee.kenken.go.jp/staff/yagi/eq/east_honshu_20030526/east_honshu20030526-j.html, 2003.
- 19) 青井真, 関口春子, 功刀卓, 本多亮, 藤原広行: 近地強震動記録による宮城県北部の地震の震源インバージョン, <http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/news/miyagi/>, 2003.
- 20) 中村洋光, 宮武隆: 断層近傍強震動シミュレーションのための滑り速度時間関数の近似式, *地震*, **2**, 53, pp. 1-9, 2000.
- 21) T. Ichimura and M. Hori: Efficient Computation

Method for Wave Propagation Phenomena Based on Multi-scale Analysis - for development of strong motion simulator, International Conference on Computational Engineering & Sciences, 19–25 August , 2001 .

- 22) Idriss, I. M. and Sun, J. I.: " User 's Manual for SHAKE91, " Center for Geotechnical Modeling, Department of Civil Engineering, University of California, Davis, 1992.

(2003 年 6 月 30 日 受付)

Basic Discussion for Prediction of Strong Ground Motion with High-resolution for Next Miyagi-oki Earthquake

–Reproduction of 26th May 2003 Miyagi Earthquake by Macro-Micro Anaysis Method–

Tsuyoshi ICHIMURA, K. M. Ali,
Muneo HORI and Kiyohiro IKEDA

Strong ground motion prediction with high-resolution and accuracy is vital in achieving an efficient and rational counter measurement against earthquake disaster. There are, however, two major difficulties: uncertainty in geological information and huge amount of computation involved. For resolving these difficulties, High-resoluble Strong Ground Motion Simulator that is combined a macro-micro analysis method and numerical simulation methods is developed. Modification of the current system is conducted as a preparation for our final target: prediction of strong ground motion with high-resolution for next Miyagi-oki earthquake. In this paper, reproduction of strong ground motion in the 26th May 2003 Miyagi earthquake is attempted to demonstrate the usefulness of this simulator in this target area.