

強震動予測手法のベンチマークテストに関する研究

D1-08156 田邊 朗仁

1. はじめに

本年度は2009年度から2011年度の3年計画で行われてきた「強震動予測手法に関するベンチマークテスト(以下、本プロジェクト)」¹⁾の最終年度で関東平野を対象としたステップ5(多くの地点で観測記録が得られている中規模地震のシミュレーション)とステップ6(巨大地震として1923年関東地震のシミュレーション)を実施する。本報ではステップ6のT61モデルについてのみ言及する。本プロジェクトの概要やこれまでの成果の詳細については参考文献1)、2)、3)を参照されたい。

2. 研究の流れ

- ①. 2010年度までに本プロジェクト参加者から理論的手法について提出された計算結果を私が計算した結果(以下、工学院大学の結果とする)と比較する。
- ②. 2011年度モデルについて理論的手法で計算した結果を提出された波形と比較する。
- ③. ②を踏まえた上で、結果の差異における特徴を検討する。
- ④. 本プロジェクトで私が使用したプログラム及びデータを本ベンチマークテストHP¹⁾上に公開する。

3. 理論的手法について

本報における理論的手法とは断層モデルの理論に基づいて震源特性を求め、地震波の伝播特性と表層地盤の増員特性を弾性波動論により理論的に評価が行われ、計算には断層震源モデルと震源パラメータの設定が必要である。特徴として、対象地盤が平行成層地盤に限定されるものの、近距離から遠距離までの広帯域な強震動を高精度かつ簡易に計算できる利点がある。

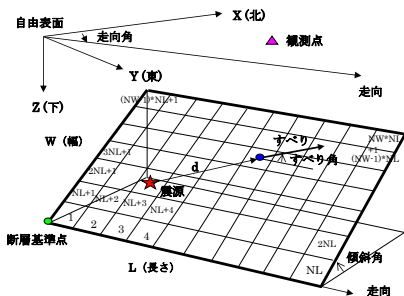


図1 断層震源モデルと震源パラメータ

表1 ステップ6参加チームと用いた手法

参加者	久田	永野	浅野
手法	波数積分法	3次元薄層法	離散化波数法

表2 2011年度検討モデル

ステップ6	
モデル	T61
対象地震	1923年関東地震(Mj7.9)
震源	面震源
地盤	長周期地震動予測モデル、2009試作版 ⁴⁾
減衰	あり
有効振数数	0~0.33Hz(3.0秒以上)
出力点	19地点 ⁵⁾

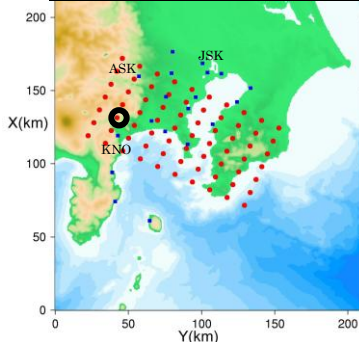


図3 関東地震の震源を座標変換した結果(○は震央位置)と観測点位置

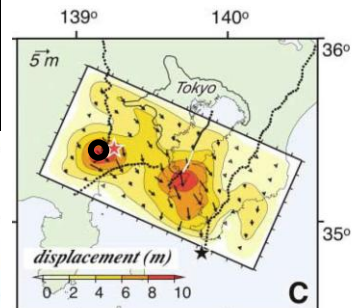


図2 Sato et al. (2005)⁶⁾による1923年関東地震の震源モデル(○は震央位置)

4. 参加チームの用いた手法とモデル概要

表1にベンチマークテストの参加チームと手法の一覧を示す。参加は3チームであり、波数積分法、離散化波数法、3次元薄層法が使用された。

図2はT61モデルの震源モデルで断層長さは130km、断層幅は70kmで、10×7の小断層(点震源)に分割されている。震源深さは23.055(km)。断層の走向角は294度、傾斜角は16度である。図3は震源モデルの座標変換した時の位置を示している。また表2にあるように出力点が19点と膨大であるため、本報では図3に示す3地点(KNO久野、JSK地震研、ASK浅川)のみを扱う。

地盤モデルは地震調査研究推進本部による長周期地震動予測地図において、想定東海地震の計算に用いられた関東平野を対象とした3次元深層地盤構造モデルを用いており、観測点直下の地盤構造から平行成層地盤を仮定し、簡略化したものを使用する。表3に3地点の物性値を示す。

表3 代表3地点の物性値

No.	層番号	ρ (t/m ³)	V_p (m/s)	V_s (m/s)	$Q_s=Q_p$	久野(KNO)	地震研(JSK)	浅川(ASK)
1	2	1.95	1800	500	500F	152	406	6
2	4	2.05	2100	700	700F	0	0	0
3	6	2.1	2300	900	900F	232	1331	46
4	7	2.15	2400	1000	1000F	0	0	0
5	9	2.25	3000	1500	1500F	232	1331	150
6	10	2.3	3200	1700	1700F	0	0	0
7	12	2.45	4200	2400	2000F	60	0	0
8	13	2.6	5000	2900	2000F	641	0	0
9	14	2.85	5500	3200	2000F	480	4763	6906
10	15	2.7	6000	3530	2000F	2697	11745	10661
11	16	2.8	6700	3940	2000F	-	-	-

各地点の下にある数値はその行にある層の層厚を示している。「-」は半無限媒質のことである。

5. ステップ 6 比較結果

波形処理に使用したフィルターは、0~0.33Hzは値が1、0.33~0.4Hzは1から線形で0まで減少するローパスフィルターである。

波形の誤差評価には、最大・最小の振幅値の比較とRMS(Root Mean Square) ⁷⁾を用いた。

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum |S(t) - S_{REF}|^2}{\sum |S_{REF}|^2}} \dots\dots\dots (1)$$

ここで S(t)は評価対象とする波形、S_{REF}は参照波形である。本研究では S_{REF}として参加 3 チームの平均波形とした。図 4 は JSK(地震研) の速度波形 NS 成分の比較である。図中に最大・最小の振幅値も示しているが、参加 3 チームの結果は非常に良く一致している。RMS は 0.017 から 0.041、最大・最小振幅の差異も 2%以内である。図 5 の ASK(浅川)では他の 2 地点と比べると後続の波形が長く続かない。この要因として、ASK(浅川)では震源層が厚く上層の柔らかい地盤が薄いため直達波が卓越しており、反射波の影響が少ないためであると考えられる。ASK(浅川)の RMS は 0.036 から 0.099 となっており、最大・最小振幅値も 4%以内である。一方、図 6 の KNO(久野)の速度波形 NS 成分の比較を見ると RMS が最大で 0.171、最大・最小振幅の誤差も 10 %とやや大きい値となっているが、実用上は殆ど問題にはならないと考えられる。

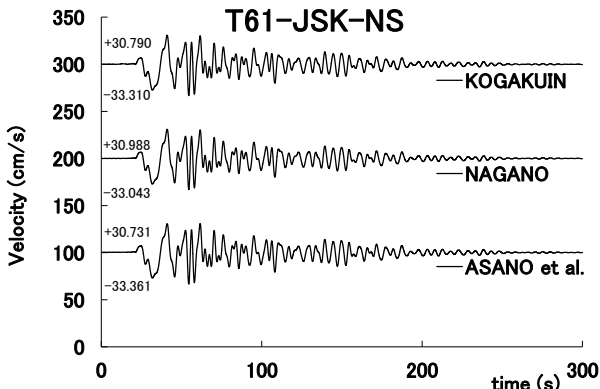


図 4 モデル T61 JSK(地震研)速度波形 NS 成分比較
(基線をずらして比較)

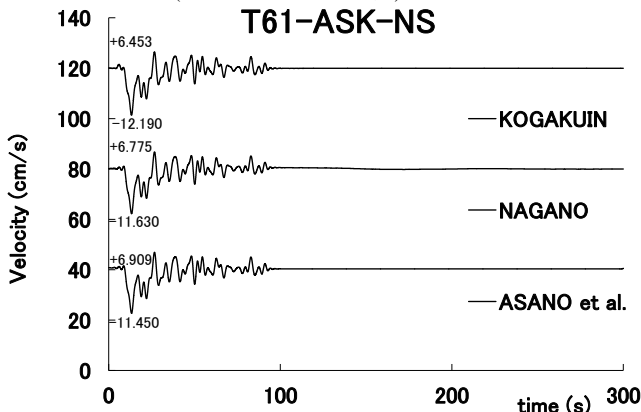


図 5 モデル T61 ASK(浅川)速度波形 NS 成分比較
(基線をずらして比較)

また、今回のシミュレーションでは基線のずれや、ノイズが見られた。図 7 は KNO(久野)の EW 成分で継続時間が不十分なため基線がずれてしまった例を示す。この場合は非常に長い継続時間の波形を計算し、波形後半を捨てるなどの対応が必要になる。

6. まとめ

平行成層地盤を対象としているが現実的なモデルについて様々な理論的手法(波数積分法、離散化波数法、薄層法)を用いてベンチマークテストを実施した。その結果、どの手法も実用上はほぼ同等の結果を得ることが確認できた。

謝辞

本研究は、文部科学省・科学研究費補助金・基盤研究(B)「設計入力地震動作成のための強震動予測手法の適用と検証」の研究助成で行われています。

多くの参加者方にご協力をいただいたことを、ここに記し、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 本ベンチマークテスト HP: <http://kouzou.cc.kogakuin.ac.jp/benchmark/index.htm>
- 2) 強震動予測手法に関するベンチマークテスト: 理論的手法の場合(その1)、日本建築学会技術報告集第35号 pp.43-48 2011
- 3) 強震動予測手法に関するベンチマークテスト: 理論的手法の場合(その2)、日本建築学会技術報告集、投稿中
- 4) 地震調査研究推進本部による長周期地震動予測地図 http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09_choshuki/dat/index.htm
- 5) 日本建築学会・強震観測小委員会、デジタル強震データ集、建築雑誌 1996年4月号
- 6) Sato, H., N. Hirata, K. Koketsu, D. Okaya, S. Abe, R. Kobayashi, M. Matsubara, T. Iwasaki, T. Ito, T. Ikawa, T. Kawanaka, K. Kasahara, S. Harder, Earthquake source fault beneath Tokyo, Science, 309, 462-464, 2005.
- 7) Geller, R. J., and N. Takeuch, A new method for computing highly accurate DSM synthetic seismograms, Geophys. J. Int. 123, 449-470, 1995

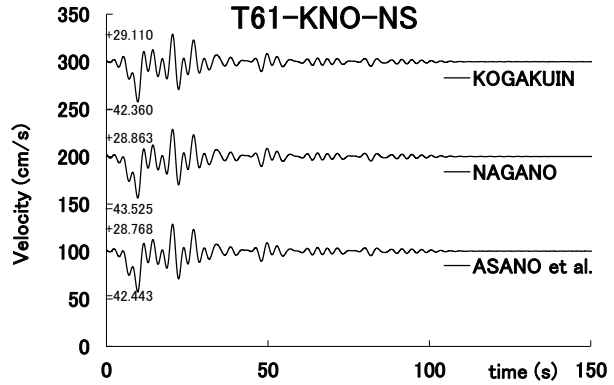


図 6 モデル T61 KNO(久野)速度波形 NS 成分比較
(基線をずらして比較)

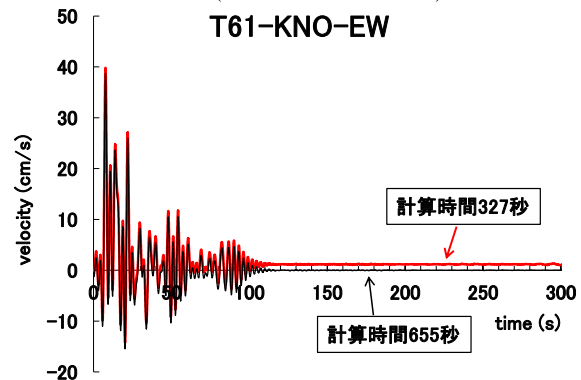


図 7 モデル T61 KNO(久野)速度波形 EW 成分 継続時間の違い
(重ねて比較)