

強震動予測手法に関するベンチマークテスト (その7:数値解析手法、ステップ3・4) Benchmark Tests for Strong Ground Motion Simulations (Part 7: Numerical Methods, Step 3 & 4)

吉村 智昭^{1*}, 永野正行², 青井真³, 川辺秀憲⁴, 上林宏敏⁴, 早川崇⁵, Seckin Ozgur CITAK⁶, 久田嘉章⁷
Chiaki Yoshimura^{1*}, M. Nagano², S. Aoi³, H. Kawabe⁴, H. Uebayashi⁴, T. Hayakawa⁵, S. O. Citak⁶, Y. Hisada⁷

¹大成建設, ²東京理科大, ³防災科学技術研究所, ⁴京都大学, ⁵清水建設, ⁶海洋研究開発機構, ⁷工学院大学
¹Taisei Co., ²Tokyo Univ. of Science, ³NIED, ⁴Kyoto University, ⁵Shimizu Co., ⁶JAMSTEC, ⁷Kogakuin Univ.

1. はじめに

数値解析手法(3次元差分法、3次元有限要素法)は、関東、濃尾、大阪平野といった盆地構造を対象とした長周期地震動の計算によく用いられている。ただし、これらの手法では地盤モデルや震源モデルの違いにより計算結果がかなり異なり、それらを同一にしても、手法の特性や各プログラムの計算条件による違いもある。そこで本ベンチマークテストでは、参加者を募り、各々が保有する計算コードを用いて、同一の震源と地盤モデルで強震動計算を行う。それらと比較し、計算結果の違いの理由や、安定して計算するための留意点を整理することを目的としている。

2. 2009年度のベンチマークテスト結果の概要

本プロジェクトは2009年度から開始しており、非常に単純なモデルから徐々に複雑なモデルへとステップを踏んで進めている。2009年度は計6チームの参加者を得て、半無限および2層の平行成層地盤を対象として、点震源を対象としたステップ1、面震源を対象としたステップ2の2段階のベンチマークテストを実施した¹⁾²⁾³⁾。相互比較したところ、実用上ほぼ同等の結果が得られていることを確認した。なお、詳細にみると、差分法で地層境界上に格子点が位置する場合、この格子点に上の層、下の層、あるいは平均のうちどの物性値を与えるかで、波形がわずかに異なった。また、断層がモデル境界に近いケースでは、境界からの反射波がみられ、吸収ゾーンの設置により反射波をできるだけ低減することが重要であることがわかった。

3. 2010年度のベンチマークテスト実施内容

2010年度は、3次元差分法5チーム(永野、青井、川辺、早川、Citak・ほか)、3次元有限要素法1チーム(吉村)の計6チームの参加を得て、さらに地盤構造を複雑にしたケースで実施した。表1に解析条件をまとめた。ステップ3のN31、N32モデルでは4層地盤($V_s=400, 1000, 2000, 3464$ m/s)を対象に行った。実務的な観点から、構造物の基礎が設置される工学的基盤($V_s=400$ m/s)まで考慮して、どの程度結果が一致するか着目した。層境界が増えたので、物性値や格子サイズが変化する箇所も増え、計算条件もやや複雑となる。いずれも点震源を用い、N31はモデル中央とし、N32は境界寄りに設置して、吸収ゾーンの影響を調べることにした。N31では、理論値(久田)とも比較したところ、各チームともほぼ同じ結果が得られており、工学的基盤($V_s=400$ m/s)に至る低速度層を考慮しても精度ある結果が得られることがわかった。

N33モデルから地盤の不整形性を考慮した。N33モデルは台形状の対称な堆積盆地を対象とした(図1)。Aki-Larner法による理論解(上林)とも比較した。ステップ4のN41、N42モデルでは、傾斜基盤を有する非対称な堆積盆地を考慮した(図2)。N41の震源は盆地が深くなっている側(手前左端部直下3km)、N42は浅くなっている側(手前右端部直下3km)に配置している。これらの不整形モデルの場合も、実務上、各チームともほぼ同じ結果が得られた。ただし、不整形地盤を離散化した場合、曲面や傾斜面付近で物性値の配置がチームにより僅かに異なっており、これに起因すると考えられる僅かな位相の違いなどが観察された。

なお、詳細な解析条件と計算結果は <http://kouzou.cc.kogakuin.ac.jp/test/home.htm> で公開されている。

謝辞

本プロジェクトは文部科学省・科学研費・基盤研究(B)「設計用入力地震動作成のための強震動予測手法の適用と検証」(代表:久田嘉章、平成21-23年度)の研究助成で行われ、日本建築学会・地盤震動小委員会(主査:加藤研一(小堀鐸二研究所))および工学院大学・総合研究所・都市減災研究センターとの連携のもとに行われています。Citak氏のチームには、松島信一氏、Robert W. Graves氏にも参加していただきました。

参考文献

- 1) 久田ほか (2010)、強震動予測に用いる手法のベンチマークテスト - その1：概要、第13回日本地震工学シンポジウム、352-356 (CD-ROM、論文番号 GO4-Thu-PM-1)
- 2) 吉村ほか (2010)、強震動予測に用いる手法のベンチマークテスト - その3：数値解析手法、第13回日本地震工学シンポジウム、352-356 (CD-ROM、論文番号 GO4-Thu-PM-3)
- 3) 吉村ほか (2011)、強震動予測に関するベンチマークテスト - 数値解析手法の場合 (その1)、日本建築学会技術報告集、第17巻、第35号、67-72

表1 2010年度の数値解析手法の解析条件一覧

モデル名	ステップ3 (締切:2010/9/1)			ステップ4 (締切:2010/11/1)	
	N31	N32	N33	N41	N42
地盤	4層地盤		対称盆地	傾斜基盤盆地	
減衰	あり			あり	
震源	点震源A	点震源B	点震源C	点震源C	点震源D
有効動数	0~2.5Hz			0~2.5Hz	
出力点	21点	19点	21点	21点	21点

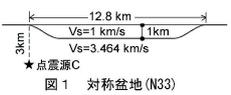
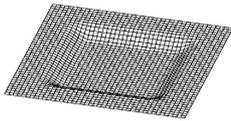


図1 対称盆地 (N33)

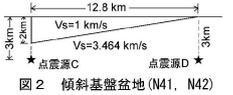
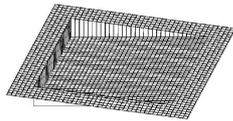


図2 傾斜基盤盆地 (N41, N42)

キーワード: 強震動予測手法, ベンチマークテスト, 数値解析手法, 三次元差分法, 三次元有限要素法

Keywords: Strong Ground Motion Simulation, Benchmark Test, Numerical Methods, Finite Difference Method, Finite Element Method