

## 強震動予測手法に関するベンチマークテスト (その2)

### Benchmark Tests for Strong Ground Motion Simulations (Part 2)

久田 嘉章<sup>1\*</sup>, 青井 真<sup>2</sup>, 加藤研一<sup>3</sup>, 川辺秀憲<sup>4</sup>, 釜江克宏<sup>4</sup>, 早川 崇<sup>5</sup>, 永野正行<sup>6</sup>, 吉村智昭<sup>7</sup>

Yoshiaki Hisada<sup>1\*</sup>, S. Aoi<sup>2</sup>, K. Kato<sup>3</sup>, H. Kawabe<sup>4</sup>, K. Kamae<sup>4</sup>, T. Hayakawa<sup>5</sup>, M. Nagano<sup>6</sup>, T. Yoshimura<sup>7</sup>

<sup>1</sup>工学院大学, <sup>2</sup>防災科学技術研究所, <sup>3</sup>鹿島建設, <sup>4</sup>京都大学, <sup>5</sup>清水建設, <sup>6</sup>東京理科大学, <sup>7</sup>大成建設

<sup>1</sup>Kogakuin Univ., <sup>2</sup>NIED, <sup>3</sup>Kajima Co., <sup>4</sup>Kyoto Univ., <sup>5</sup>Shimizu Co., <sup>6</sup>Tokyo Univ. of Science, <sup>7</sup>Taisei Co.

#### 1 はじめに

兵庫県南部地震以来、強震動予測手法はレシピ等として体系化されつつある（例えば、地震調査研究推進本、2008;日本建築学会、2009）。しかし同じ地震・観測点を対象としても、用いた手法や計算コードにより得られた結果には大きな差異が生じる場合がある。そこで久田他（2009;その1）は、第一線で活躍する研究者・実務者の参加により、同じ条件で様々な手法・計算コードの結果の相互比較を行い、その適用範囲やバラツキを検討するベンチマークテストを行い、使用したデータ・結果、マニュアルを公開すること目的とした3年間のプロジェクトを実施している。

表1 2009年度強震動予測手法のベンチマークテストの実施内容

理論的手法 (Theoretical Methods)						
モデル名	ステップ	震源	地盤	Q値	観測点(km)	振動数(Hz)
T11	1	点(d=2 km)	1層	無	2,6,10,30,50,100	0~20
T12	1	点(d=2 km)	2層	無	2,6,10,30,50,100	0~20
T13	1	点(d=2 km)	2層	有	2,6,10,30,50,100	0~20
T14	1	点(d=20 km)	2層	無	2,6,10,30,50,100	0~20
T21	2	横ずれ断層	2層	無	±2,±6,±10,±30,±50,±100	0~5
T22	2	逆断層	2層	無	±2,±6,±10,±30,±50,±100	0~5
統計的グリーン関数法 (Stochastic Green Function Methods)						
モデル名	ステップ	震源	地盤	Q値	観測点(km)	乱数
S10	1	点(d=2 km)	1層	無	0,2,6,10	指定
S11-1~3	1	点(d=2 km)	1層	無	0,2,6,10	3ケース
S12-1~3	1	点(d=2 km)	2層	無	0,2,6,10	3ケース
S13-1~3	1	点(d=2 km)	2層	有	0,2,6,10	3ケース
S21-1~3	2	横ずれ断層	2層	無	0,±2,±6,±10	3ケース
S22-1~3	2	逆断層	2層	無	0,±2,±6,±10	3ケース
S23-1~3	2	横ずれ断層	2層	無	0,±2,±6,±10	3ケース
数値解析手法 (Numerical Methods)						
モデル名	ステップ	震源	地盤	Q値	観測点(km)	振動数(Hz)
N11	1	点(d=2 km)	1層	無	-10~+10(21点)	0~5
N12	1	点(d=2 km)	2層	無	-10~+10(21点)	0~5
N13	1	点(d=2 km)	2層	有	-10~+10(21点)	0~5
N21	2	横ずれ断層	2層	無	-10~+10(21点)	0~5
N22	2	逆断層	2層	無	-10~+10(21点)	0~5

#### 2 2009年度のベンチマークテストについて

ベンチマークテストは、強震動予測における代表的な手法である3手法を対象として実施している。

- ・理論的手法 (Theoretical Methods: 波数積分法、離散化波数法、薄層法など)
- ・統計的グリーン関数法 (Stochastic Green Function Methods)
- ・数値解析手法 (Numerical Methods: 差分法、有限要素法など)

表1に示すように、2009年度は単純な一様地盤と2層の平行成層地盤を用い、点震源を対象としたステップ1と、面震源を対象としたステップ2の2段階で実施した。参加グループと手法は下記の通りである。

- ・理論的手法 (5チーム): 久田 (工学院大、波数積分法)、永野 (理科大、薄層法)、野津 (港湾空港技術研究所、離散化波数法)、宮腰 (地域地盤環境研究所、離散化波数法)、中川 (フジタ、波数積分法:ただし、手法は久田と全く同じであるため、久田と同一扱い)
- ・統計的グリーン関数法 (6チーム): 久田 (工学院大)、大野 (東北大)、野津 (港湾空港技術研究所)、加えて、匿名希望の3チーム (チームA~C)
- ・数値解析手法 (6チーム): 青井 (防災科学技研、差分法)、永野 (理科大、差分法)、吉村 (大成建設、有限要素法)、CITAK-松島-Graves (清水建設他、差分法)、早川 (清水建設、差分法)、大西 (地域地盤環境研究所、差分法)

2010年2月現在、主な結論は以下の通りである。

- ・理論的手法：対象振動数範囲（0～20 Hz）で、全体として得られた結果はほぼ一致した。ただし、減衰無しの条件では、大きな値のQ値で無減衰を近似する場合と、Phinney法を用いる場合で高振動数において振幅に若干の差異が見られた。一方、減衰有りの場合、単純に地盤速度の虚数部にQ値を用いた場合は全ての結果は一致したが、波形の因果性を満たすために地盤速度の実部にもQ値を用いた場合、特に波形の表面波に振幅と位相に顕著な違いが現れた。また薄層法は、震源が深く遠方の高振動数成分（T14）で、精度が悪化する場所が見られた。

- ・統計的グリーン関数法：今回は最も基本的な手法（Boore震源+Irikura(1986)の波形合成法）を使用条件しており、全体として得られた結果はほぼ整合した。ただし、要素地震の作成する際、 $\omega^2$ モデルの振幅スペクトルに収束計算をする場合としない場合で若干の差異が見られた。また震源が非常に浅いため、震源のごく近くの観測点では、幾何減衰を地震基盤で与える場合と地表で作成する場合とで振幅に顕著な違いが現れた。面震源では小断層の破壊開始時間にランダム性を導入した場合、規則的な破壊開始時間によって生じる人工的な卓越周期の影響は避けられることを確認した。一方、面震源では $\omega^2$ モデルと比べて顕著な中間周期での落ち込みが見られ、今後、改善の必要性が指摘された。

- ・数値解析手法：今回は平行成層地盤が対象であり、理論的手法の結果と比べ、実用的にはほぼ一致した結果が得られた。但し、メッシュに起因する震源や観測点の座標値のずれ、観測点での波形の出力方法、層境界での物性値の与え方、領域境界での処理方法、などによる結果の差異が見られた。また理論的手法と同様にQ値の与え方で、表面波で振幅・位相に大きな違いが見られた。

### 3 おわりに

より詳細な内容や結果は下記ページを参照されたい。

<http://kouzou.cc.kogakuin.ac.jp/benchmark/index.htm>

2010年度は、盆地地盤などのより複雑な地盤モデルと対象として、各自オリジナルな手法によるベンチマークテストを、さらに2011年度にはブラインドプレディクション実施する予定である。ここで使用したデータ・結果、マニュアルを公開することで、多くの実務者に信頼性の高い強震動予測手法を使用可能にしたいと考えている。

謝辞：本プロジェクトは文部科学省・科学研究費・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」（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、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。

キーワード:強震動予測手法,ベンチマークテスト,理論的手法,統計的グリーン関数法,数値解析手法

Keywords: Strong Ground Motion Simulations, Benchmark Test, Theoretical Methods, Stochastic Green's Function Method, Numerical Methods