

## ベンチマークテストから見てきた強震動評価法の課題 (その1: 概要および理論・ハイブリッド手法)

### Several issues revealed from benchmark tests for strong ground motion simulations (Part 1: Theoretical & Hybrid Methods)

久田 嘉章<sup>1\*</sup>, 加藤 研一<sup>2</sup>, 吉村 智昭<sup>3</sup>, 永野 正行<sup>4</sup>, 川辺 秀憲<sup>5</sup>, 野畑 有秀<sup>6</sup>, 早川 崇<sup>7</sup>, 山本 優<sup>8</sup>

Yoshiaki Hisada<sup>1\*</sup>, Kenichi Kato<sup>2</sup>, Chiaki YOSHIMURA<sup>3</sup>, Masayuki Nagano<sup>4</sup>, Hidenori Kawabe<sup>5</sup>, Arihide Nobata<sup>6</sup>, Takashi Hayakawa<sup>7</sup>, Yu Yamamoto<sup>8</sup>

<sup>1</sup> 工学院大学建築学部, <sup>2</sup> 小堀鐸二研究所, <sup>3</sup> 大阪大学, <sup>4</sup> 東京理科大学, <sup>5</sup> 京都大学, <sup>6</sup> 大林組, <sup>7</sup> 清水建設, <sup>8</sup> 大成建設

<sup>1</sup>Kogakuin University, School of Architecture, <sup>2</sup>Kobori Research Complex, <sup>3</sup>Osaka University, <sup>4</sup>Tokyo University of Science,

<sup>5</sup>Kyoto University, <sup>6</sup>Obayashi Co., <sup>7</sup>Shimizu Co., <sup>8</sup>Taisei Co.

#### 1. はじめに

著者らは2009~2011年に強震動予測における代表的な3手法(理論・数値・統計的手法)によるベンチマークテストを実施した。今回の発表(その1~3)では3手法の有効性や課題を整理するとともに、今後、南海トラフ巨大地震や首都直下地震を対象とした強震動予測を前提とした新たなベンチマークテストの実施案の報告を行う。(その1)では、理論的手法に加えて、統計的手法とのハイブリッド手法を適用する際の課題点を中心に報告する。

#### 2. 強震動予測に関するベンチマークテスト(2009~2011)で明らかになった課題

##### (1) 理論的手法(久田ほか, 2011, 2012; 松本ほか, 2013)

理論的手法では平行成層地盤を対象として厳密なモデル化が行われるため、どの手法(波数積分法・離散化波数法・薄層法)を用いても、実用上はほぼ同等の結果が得られることを確認したが、下記に示す課題が明らかとなった。

・Q値の導入には、地盤速度の虚数化する方法や、一定Q値などの制約のもとで因果性を満足する方法などがあるが、用いる手法によって、波形の立ち上がり部の因果性や、遠方での後続波形の位相などに差が現れる場合がある(ステップ1・2)。

・地表に震源と観測点がある場合、波数積分における被積分関数は波数の増大とともに発散する。実用上、震源を少し地中にずらして積分を行う場合があるが、厳密な手法に比べ、表面波の励起を過小に評価する(ステップ3・4)。

・振動数比例型のQ値は、低振動数では0に近い値になり、地表地震断層の断層近傍の観測点では速度波形の基線ずれが生じるなど、フリッグステップでの永久変位の精度が悪化することがある(ステップ3・4)。

・関東平野での実地震を対象とした場合、観測点が震源の直上に近く、実体波が卓越する場合は理論的手法による観測波形の再現は十分に可能であるが、震源が浅い場合、後続の堆積層表面波は全く再現できない(ステップ5・6)。

##### (2) ハイブリッド手法について

ハイブリッド手法における接続周期帯域(0.5~4秒程度)は、工学上で最も重要な帯域である。異なる手法による計算波形を接続する際、下記に示すような様々な課題が存在し、今後はさらなる検討が必要である。

・ランダム位相とコヒーレント位相の波形接続: 統計的手法では一般にランダム位相を、理論的手法ではコヒーレントな位相を、それぞれ使用する。異なる位相の重ね合わせでは接続周期帯域での振幅スペクトルは落ち込んでしまう(図1)。統計的手法において低振動数でコヒーレント位相を導入するために、香川の手法(香川, 2004)や久田の手法(低振動数で0位相, Hisada, 2008)などがあり、さらには接続周期での振幅の落ち込みを、2モデルのスペクトルで振幅を再調整する方法などが考えられる(図1)。

・異なるグリーン関数による波形接続: 統計的グリーン関数法におけるグリーン関数はS波の遠方近似解が用いられるため、理論・数値的手法による波形とは、一般に到達時間・振幅レベル・継続時間などが全く異なる波形となる。特に遠地では高振動数でも様々な反射波・回折波・表面波が卓越するが、これらは全く評価されない。現在では、平行成層地盤であれば高振動数まで高速かつ高精度なグリーン関数の計算が可能であるため、統計的手法でもグリーン関数はより精度の高いグリーン関数を使用すべきである。

#### 3. おわりに

近年、最悪想定地震などを対象とした様々な地震被害想定が行われているが、これらは被害の全体像を求めることが主目的であり、一般に個別の観測点で高い精度の強震動予測計算が行われている訳ではない。また歴史地震などに比べて、一般に震度分布なども大きめに出る傾向がある。今後、本プロジェクトでは、南海トラフ巨大地震や首都直下地震を対象として、観測波形や歴史地震の震度分布などとも整合するステップを加えた、新たなベンチマークテストを実施する予定である。過去の結果やデータは下記ページを参照されたい。

<http://kouzou.cc.kogakuin.ac.jp/test/home.htm>

謝辞：本プロジェクトは文部科学省・科学研費・基盤研究（B）「大都市圏で想定される広帯域強震動と超高層建築の減災対策」（平成 24-26 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。

参考文献：

久田ほか (2011)、強震動予測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、43-48

久田ほか (2012)、強震動予測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、第 38 号、101-106

松本ほか (2013)、強震動予測に関するベンチマークテスト - 理論的手法の場合（その 3）日本建築学会技術報告集、第 41 号、71-76

キーワード: 強震動評価法, ベンチマークテスト, 理論的手法, ハイブリッド手法, 南海トラフ巨大地震, 首都直下地震

Keywords: strong ground motion simulation, benchmark tests, theoretical method, hybrid method, Large Earthquake on the Nankai Trough, Large Earthquake under the Kanto Basin

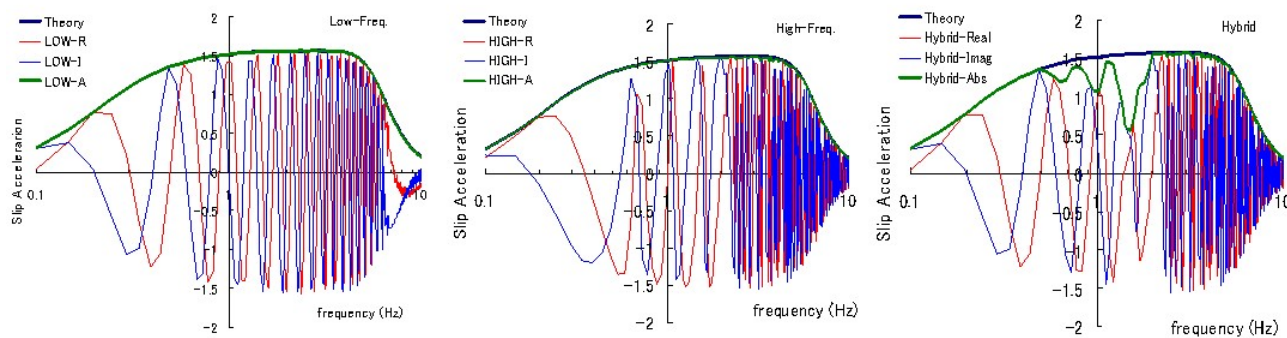


図1 2種類異なる位相スペクトルを持つ2モデルの波形の合成による振幅スペクトル (左: 0位相、中: ランダム位相、右: 0.5-2 Hzで合成したハイブリッド)