

強震動予測手法ベンチマークテストに関する研究

D1-06124 松本 俊明

1. はじめに

近年、強震動地震学が急速に発展し強震動予測手法は「レシピ」や「強震波形の作成法」として体系化されつつある。工学分野においてもその結果を応用し、強震動シミュレーションが行なわれ、入力地震動策定などに応用されている。しかし、同じ震源・観測点を対象としていながら、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ことが報告されている。このような背景を踏まえて、強震動予測手法に関するベンチマークテスト（以下、本ベンチマークテスト）を実施する。¹⁾

2. 研究概要

2.1 本ベンチマークテスト概要

本ベンチマークテストは先行研究である PEER/SCEC プロジェクト・Day 他（2000, 2003）による数値解析手法の Code Test（以下、SCEC）を踏襲し行なわれる。

そして、工学院大学の計算結果と、本ベンチマークテスト HP やメールで参加を募った、強震動地震学分野の研究者・実務者の皆様（以下、本ベンチマークテスト参加者）の参加により、同じ条件のモデル（震源・伝播・地盤）の下で様々な手法・計算による結果の相互比較を行い、その適用範囲（計算可能な振動数、震源距離、盆地や地形効果の影響など）やバラツキを検討する。¹⁾

本ベンチマークテストで検討される様々な手法とは、理論的手法（「3次元薄層法」、「離散化波数法」、「波数積分法」）、統計的グリーン関数法、数値解析手法（「差分法」、「有限要素法」）の強震動予測手法で代表的な3手法のことである。

2.2 研究の流れ

本研究で扱われる内容は以下に示す通りである。

- i. 私が理論的手法で計算した結果を工学院大学の結果とし、SCECと比較することで理論的手法の基準となる結果の精度を確認する。
- ii. 本ベンチマークテスト参加者の方々から理論的手法について提出していただいた計算結果を工学院大学の結果と比較する。
- iii. 「ii」の結果を踏まえた、結果に差異が生じる要因を検討する。

3. 現時点での結果

3.1 本ベンチマークテストで検討されるモデル一覧

本ベンチマークテストのモデル一覧を、表1に示す。本ベンチマークテスト参加者の方々から理論的手法による計算結果を提出していただき、波形・フーリエスペクトルの比較を表1の全てのモデル（各モデルの全観測点・3成分の波形を計算・作成、約500波）について行なったが、紙面の都合上、今回はステップ2の横ずれ断層モデル（以下、T21モデルと呼称）について述べる。

ここで、表1に示されているQ値とは減衰にかかわるパラメータで、建築で用いる減衰定数hとは $h=1/2Q$ という関係があり、Q値が ∞ だと減衰が無視できる。）

表1 本ベンチマークテストのモデル一覧

ステップ	震源	地盤	Q値	有効振動数	参考モデル(SCEC)
1	点(深さ2km)	1層	∞	0~20Hz	UHS.1 UHS.2
1	点(深さ2km)	2層	∞	0~20Hz	LOH.1
1	点(深さ2km)	2層	有	0~20Hz	LOH.3
1	点(深さ20km)	2層	∞	0~20Hz	LOH.1
2	横ずれ断層	2層	∞	0~5Hz	LOH.2
2	逆断層	2層	∞	0~5Hz	LOH.4

3.2 計算結果とSCECとの比較

まず、図1にそのモデルを示す。表層地盤は厚さ1km、断層長さは8、幅は4、震源(図1中の星印)深さは4(km)。断層の走行角は90度、傾斜角は90度、すべり角は180度である。断層面に記された太矢印は破壊伝播の進行方向を表している。

観測点はx軸からy軸に53.13度傾いた線上に、フォワード側(破壊伝播が近づく側)、バックワード側(破壊伝播が遠ざかる側)それぞれに原点から1,2,...,9,10と1kmごとに設けられている。観測点I、IIとはフォワード側10kmとバックワード側10kmの点である。観測点に示された矢印は実線矢印がRadial成分、1点鎖線矢印がTransverse成分(Radial成分に直角の成分)である。

図2に示す波形は、それぞれ観測点Iでの、左が理論的手法により計算された速度波形、右がSCECの速度波形であり、上からRadial、Transverse、UD成分である。

図2右SCECの波形のほうに実線と点線があるが、前者は解析的方法すなわち本ベンチマークテストの理論的手法と同等の手法を用いた結果である。後者は有限差分法を用いた結果である。ここで、比較対象としているのは理論的手法であるので、図2左と図2右の実線の波形を比較する。図2に示すとおり、非常に酷似した波形が描かれていることが分かる。これにより、理論的手法の結果の基準となる工学院大学の結果の精度を確認できた。

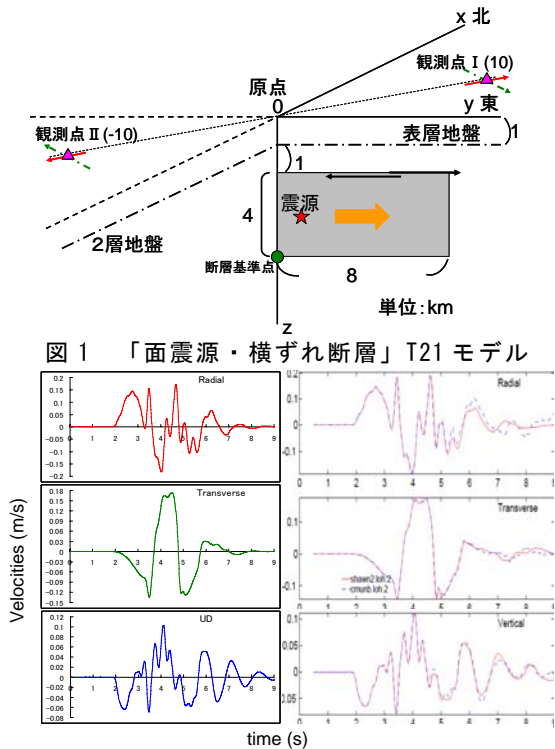


図1 「面震源・横ずれ断層」T21モデル

図2 T21モデル観測点Iでの理論的手法(左)とSCEC(右)の速度波形²⁾

3.3 本ベンチマークテスト参加者の結果と比較・検討

本ベンチマークテスト参加者との計算結果の比較を図3.a、3.bにそれぞれ示す。(図3.bは上に速度波形、下に7s~8sの拡大図)理論的手法に関する参加チームは工学院大学、A社、B社、C大学、D社(実名は伏せる)。比較モデルは図1より「T21モデル」、図3.aに示す波形は観測点I、図3.bに観測点IIのTransverse成分の速度波形(m/s)である。5波形を重ねて比較しており、図の奥側から、工学院大学、A社、B社、C大学、D社の順で重ねている。比較の際は0~5Hzのローパスフィルタを全波に施している。

図3.b(特に下、7s~8s拡大図)の観測点IIの比較結果を見ると、A社とB社の振幅が大きくなっている箇所がある。これは、Q値 ∞ の扱い方の違いによるもので、「 ∞ 」といってもモデル化する際には有限値を用いなくてはならず、それぞれその値が異なるのである。表2にQ値の一覧を示すが、A社は減衰無し(Q= ∞)で計算されているが、B社はQ=9999で計算しているため、他の3波(工学院大学、C大学、D社)よりも振幅が大きくなるのである。計算方法の違いにより、一概にQ値の大きさだけが結果に差異が生じる要因とは言いがたいが、そうである要因の一つであることは確かであり、検討するパラメータの一つである。

表2 本ベンチマークテスト参加者のQ値一覧

工学院	A社	B社	C大学	D社
5000	∞	9999	5000	1000

フォワード、バックワード側で、原点から同じ10km地点でも図3.bに示すように破壊伝播が遠ざかる観測点

IIでは振幅が小さく継続時間が長い波形になるのに対し、図3.aの破壊伝播が近づく観測点Iでは短時間に同位相の波形がコヒーレントに重ねあわされるため継続時間が短い大振幅のパルス波が観測される。³⁾

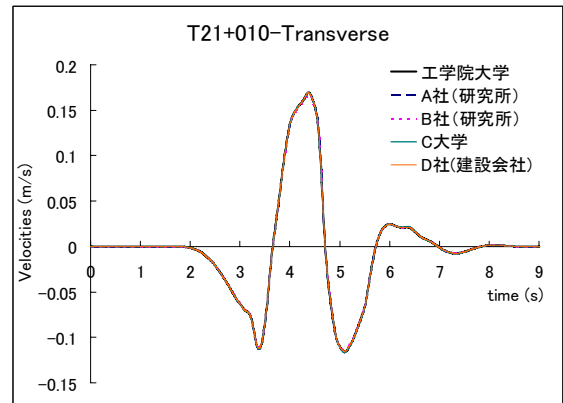


図3.a T21モデル観測点IのTransverse成分

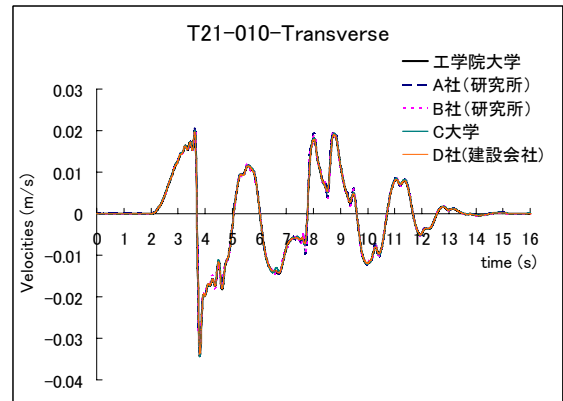


図3.b T21モデル観測点IIのTransverse成分

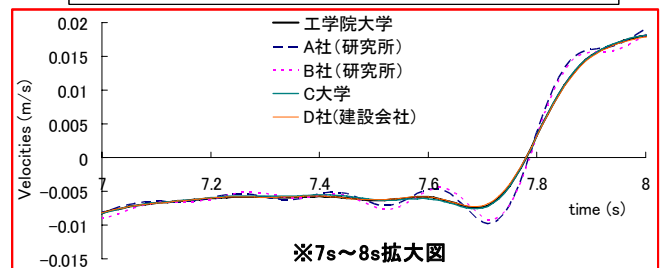


図3.b T21モデル観測点IIのTransverse成分 (7s~8s拡大図)

4. まとめと今後の研究方針

ここまでの研究では、2.2で説明したi、ii、iiiを中心に研究を行なった。

今後は、現行の単純なモデルに加え複雑なモデルのテストを行ない、本ベンチマークテスト参加者の結果と比較することにより、その適用範囲(計算可能な振動数、震源距離、盆地や地形効果の影響など)・バラツキを検討する。また、本テストで使用したプログラムや、波形データ、入力パラメータ、マニュアル等を公開し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とすることを旨とする。

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) Day他: Final_Report_1A01.pdf PEER/SCECプロジェクトCode Test, 2000年
- 3) 久田嘉章: 建築の震動応用編, 朝倉書店, 2008年