

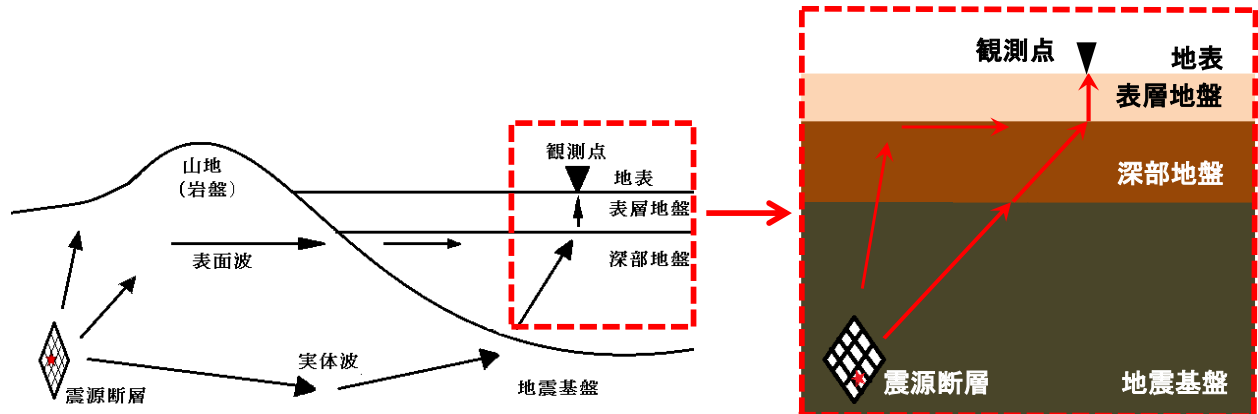
強震動予測に関するベンチマークテスト 理論的手法マニュアル

工学院大学 建築学科 金田惇平

理論的手法について

マグニチュード、震源深さ、断層タイプなどの断層パラメーターと地震波の伝播の仕方などから物理モデルを作成し、地震発生から観測点まで伝播の理論に基づいて決定論的に地震動の計算をする。

短周期帯域の生成に関する破壊過程、地下構造の推定の困難さ故に、短周期帯域についての評価は困難である。やや長周期帯域の強震動のシミュレーションに用いられることが多い。対象とする地盤構造には制限があり平行成層地盤のみ適応している。



平行成層地盤とは

実際の複雑な地盤の層構造を最も単純にモデル化したものである。理論的手法は震源がある地点まで観測点直下の地盤を使用する。たとえば海溝型地震のシミュレーションを行う際、震源まで観測点直下の地盤を使用するので、精度が低くなる。従って、近傍の地震動を評価することに適している。

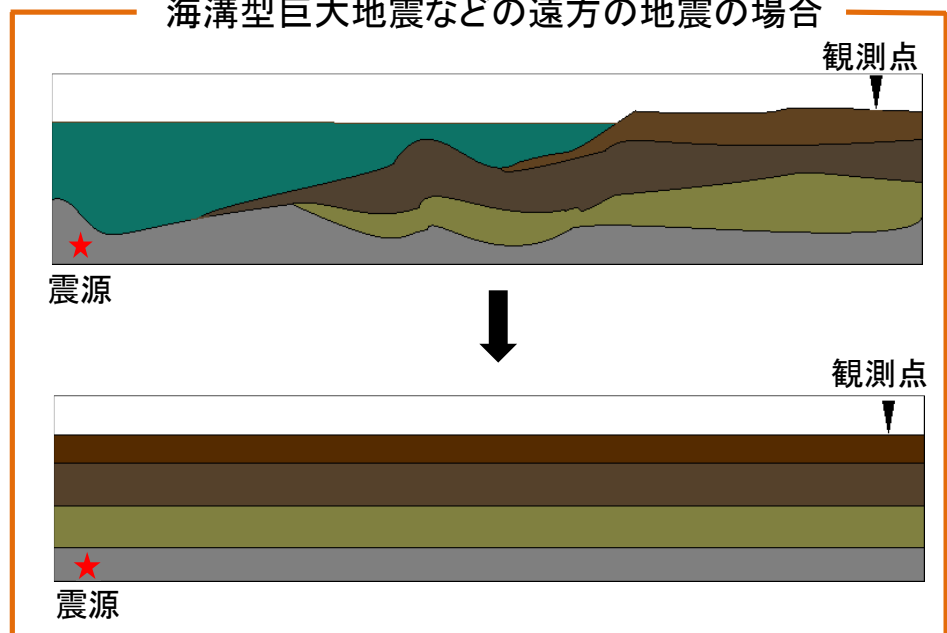
実際の地盤



平行成層地盤



海溝型巨大地震などの遠方の地震の場合



理論的手法 モデル一覧

	step1				step2	
モデル名	T11	T12	T13	T14	T21	T22
地盤	一様地盤		2層地盤		2層地盤	
Q値	なし		あり	なし	なし	
震源	点震源(深さ2km)			点震源(深さ20km)	横ずれ断層	逆断層
有効振動数	0～20Hz				0～5Hz	

	step3		
モデル名	T31	T32	T33
地盤	4層地盤		2層地盤
Q値	あり	なし	
震源	点震源(深さ2km) ガウス型関数		点震源(深さ0km) ガウス型関数
有効振動数	0～5Hz		

	step4			
モデル名	T41	T42	T43	T44
地盤	2層地盤			
Q値	あり			なし
震源	横ずれ断層(上端深さ2km) 中村・宮武関数			横ずれ断層(上端深さ0km) 中村・宮武関数
破壊伝播	1km ² 間隔一定	1km ² 間隔ゆらぎ	連続	
有効振動数	0～5Hz			

	step5			step6
モデル名	T51	T52	T53	T61
対象地震	1990年神奈川県西部の地震(Mj5.1)	1990年伊豆大島近海の地震(Mj6.5)	1992年東京湾の地震(Mj5.7)	1923年関東地震(Mj7.9)
震源(文献)	点震源(sato,t.他、1998)	面震源(山田・山中、2003)	点震源(山田・山中、2003)	面震源(sato,H.他、2005)
地盤	関東平野の3次元深部モデル(長周期地震動予測モデル、2009試作版)を用い、観測点直下の平行成層地盤を使用			
減衰	あり			
有効振動数	0～0.33Hz(3.0秒以上)。ただし計算は0.4Hzまで行う			

	step7	
モデル名	T71	T72
対象地震	2005年千葉県北西部地震(Mj6.0)	
震源(文献)	点震源(瀬戸・三宅、2005)但し、震源時間関数は継続時間1秒の三角形関数	任意
地盤	関東平野の3次元深部モデル(長周期地震動予測モデル、2009試作版)を用い、観測点直下の平行成層地盤を使用	任意(3次元盆地や表層地盤の改善等)
減衰	あり	
有効振動数	0～1Hz(1秒以上)、ただし計算は1.5Hzまで	

・プログラムの主な特徴：

○理論的（運動力学的）震源モデルによる強震動計算を行う Fortan プログラム。

○平行成層地盤における厳密な理論グリーン関数を計算する。R/T 伝達マトリックス法などにより、高振動数でも安定した解を得る（Hisada, 1997; 久田、1995, 2005）。また周波数依存の Q 値を $Q=Q_0 \cdot f^a$ 、または任意の関数形で導入可能である。

○グリーン関数の静的項を厳密に評価することにより、地表断層近傍の大永久変形（fling step）を高速かつ高精度に評価（Hisada and Bielak, 2002, 2003）。地中断層の場合は、静的項を無視することにより高速計算も可能。

○強震動計算の波数積分の高速化に様々な工夫を用いている。

・予め表面波の位相速度を計算しており、波数積分における極の評価を精度良く行う。位相速度には phs3sQ.f を用いる（phs3sQ-v3.f を使用。Excell や Matlab により分散曲線・Medium Response・H/V スペクトル・モード形などを描くことが可能）。

・周波数に虚数部を導入し、Phinney の手法を導入（フーリエ逆変換には grfftsp.f を使用）。

・震源深さが観測点深さに近い場合、動的項の波数積分では非積分関数から静的項を差し引いて収束計算を速めている。その際、低波長では Simpson 則を、高波長では Filon 則を使用。一方、静的項の計算には積分路変換法（Greenfield の方法）を使用して、高速化を行っている。

○断層面積分の際、周波数（波長）により Gauss 積分の分点数を加減し、高速化を行っている（分点数を固定することも可能）。各小断層の Gauss 点の最大値は $6 \times 6 = 36$ 点まで。

○すべり速度関数には、四角形関数、三角形関数、指数関数、中村・宮武関数を選択することが可能である。

○Source Data Pattern に 3 パターンの入力方法を導入。Original は小断層ごとに 1 行を使って、各 Time Window のすべり量(m)をすべて入力し、その後すべり角(度)も同様に与える。Time Window Matrix Pattern(Displacement: m)はすべり量とすべり角の分布を Matrix 形で Time Window ごとに与える。Time Window Matrix (Seismic Moment: Nm)は変位(m)の代わりに地震モーメント(Nm)を入力する。

参考文献

- ・ Y. Hisada, An Efficient Method for Computing Green's Functions for a Layered Half-Space with Sources and Receivers at Close Depths (Part 2), Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.85, No.4, pp. 1080-1093, 1995
<http://kouzou.cc.kogakuin.ac.jp/Member/Boss/Paper/BSSA-hisada1995.pdf>
- ・ 久田嘉章, 成層地盤における正規モード解及びグリーン関数の効率的な計算法, 日本建築学会構造系論文集 第 501 号, pp.49-56, 1997
<http://kouzou.cc.kogakuin.ac.jp/Member/Boss/Paper/1997/hisada1997.pdf>
- ・ 久田嘉章, J. Bielak, 断層食違い変位による永久変形を考慮した震源近傍における効率的な強震動計算法, 第 11 回日本地震工学シンポジウム, 2002
<http://kouzou.cc.kogakuin.ac.jp/Member/Boss/Paper/2002/33.pdf>
- ・ 久田嘉章, 成層地盤の解析手法、地盤震動 —現象と理論— (分担)、日本建築学会, pp.84-102, 2005
<http://kouzou.cc.kogakuin.ac.jp/Member/Boss/Paper/2005/Jiban-Shindo-4-2.pdf>
- ・ Hisada, Y, and J. Bielak, A Theoretical Method for Computing Near-Fault Strong Motions in Layered Half-Space Considering Static Offset due to Surface Faulting, with a Physical Interpretation of Fling Step and Rupture Directivity, Bull. of the Seism. Soc.of America,, Vol.93, No.3,pp.1154-1168, 2003
<http://kouzou.cc.kogakuin.ac.jp/Member/Boss/Paper/2003/1154.pdf>

(1) 地盤モデル

1. 刻み時間、計算時間について

Delta Time : 時間刻み(s)、Number of Time : 時間刻み個数。 2^n を入力する(フーリエ変換を行うため)。継続時間(計算時間)=時間刻み×時間刻み個数となる。Minimum Period : 最小周期(s)、phinney 法で虚数部に導入する値を入力、phinney 法を用いない場合は 0 を入力。

時間刻みが 0.02 秒の 256 点($=2^8$ 、継続時間=5.12 秒)で、最小周期 0.04 秒(\geq 時間刻みの 2 倍)で計算。周期の逆数が振動数であるから有効振動数は 25Hz。

Phinney 法 : 円振動数 ω の虚数部に phinney の手法で値を導入し、複素数化させることで収束計算を速めている。

Phinney method=0.01 もしくは π /継続時間 or 継続時間の 2 倍、4 倍など。

*** Data for Delta Time, Duration, and Minimum Period ***					
Delta Time	Number of Time (must be Power of 2)				
0.02	256				
Minimum P	Imaginary Omega for Phinney's method				
0.04	0				

2. Q 値について

Q 値は f を振動数(Hz)とすると① $Q_p = Q_{p0} * f^{\alpha} QF_p$ 、および② $Q_s = Q_{s0} * f^{\beta} QF_s$ で定義している。建築で用いる減衰定数 h と Q 値とは $h=1/2Q$ の関係がある。したがって Q 値が大きいほど減衰が少なくなる。本ベンチマークテストでは Q 値は指定されている。Q 値が振動数 f に依存(比例)する場合、 $Q_p F$ 、 $Q_s F$ に “1” を入力、しない場合は “0” を入力。減衰なしの場合 Q_{p0}, Q_{s0} は最大値 9999 を入力。

例 1 : 振動数 f に比例する Q 値とし、 $Q_s = Q_p$ とする。

Layer	Thickness (m)	Vp(m/s)	Vs(m/s)	Density(kg/m ³)	Qp	Qs
1	200	1,600	400	2,000	20f	20f
2	400	2,600	1,000	2,400	30f	30f
3	1,000	4,000	2,000	2,600	40f	40f
4 (Half-Space)	∞	6,000	3,464	2,700	70f	70f

NL (NUMB Use of Cor		Reference (Note: Frequency-Dependent Q; $Q_p(f) = Q_{p0} \times f^{**} Q_{pf}$ & $Q_s(f) = Q_{s0} \times f^{**} Q_{sf}$)						
4								
Layer Num	density(t/n	Vp(m/s)	Qp0	Qpf	Vs(m/s)	Qs0	Qsf	Thickness(m)
1	2	1600	20	1	400	20	1	200
2	2.4	2600	30	1	1000	30	1	400
3	2.6	4000	40	1	2000	40	1	1000
4	2.7	6000	70	1	3464	70	1	0

例 2：減衰無し（Q 値無限大）。例 1 と同様に入力する。

Layer	Thickness (m)	Vp(m/s)	Vs(m/s)	Density(kg/m³)	Qp	Qs
1	200	1,600	400	2,000	∞	∞
2	400	2,600	1,000	2,400	∞	∞
3	1,000	4,000	2,000	2,600	∞	∞
4 (Half-Space)	∞	6,000	3,464	2,700	∞	∞

NL (NUMB Use of CorReference (Note: Frequency-Dependent Q; Qp(f) = Qp0 x f ** Qpf & Qs(f) = Qs0 x f ** Qsf)								
4								
Layer Num	density(t/n	Vp(m/s)	Qp0	Qpf	Vs(m/s)	Qs0	Qsf	Thickness(m)
1	2	1600	9999	0	400	9999	0	200
2	2.4	2600	9999	0	1000	9999	0	400
3	2.6	4000	9999	0	2000	9999	0	1000
4	2.7	6000	9999	0	3464	9999	0	0

3. フッターマンについて

Futterman の手法を用いることで Q 値が振動数に依存しない一定値 という条件下で、次式による Q 値導入法を用いることができる。

$$V^* = V \left(1 - \frac{1}{\pi Q} \ln \frac{\omega_{REF}}{\omega} - \frac{i}{2Q} \right)^{-1} \approx V \left(1 + \frac{1}{\pi Q} \ln \frac{\omega}{\omega_{REF}} + \frac{i}{2Q} \right)$$

ここで、 ω_{REF} は参照振動数であり、 f_{REF} (Reference Frequency)を 0.16 Hz とすると $\omega=1$ 。式の実数部に指数関数があり、振動数によって地盤速度の値が変化することに注意されたい。

4. 観測地点の計算について

原点座標を(138.65° ,34.2°)の地表とし、北を X 軸、東を Y 軸、下向きを Z とする。

地球楕円体(GRS-80)の北緯 35.5° における値を用いて、

北緯 1° あたりの距離 $dXdN=110.950 \text{ km/}^\circ \quad N$

東経 1° あたりの距離 $dYdE=90.729 \text{ km/}^\circ \quad E$

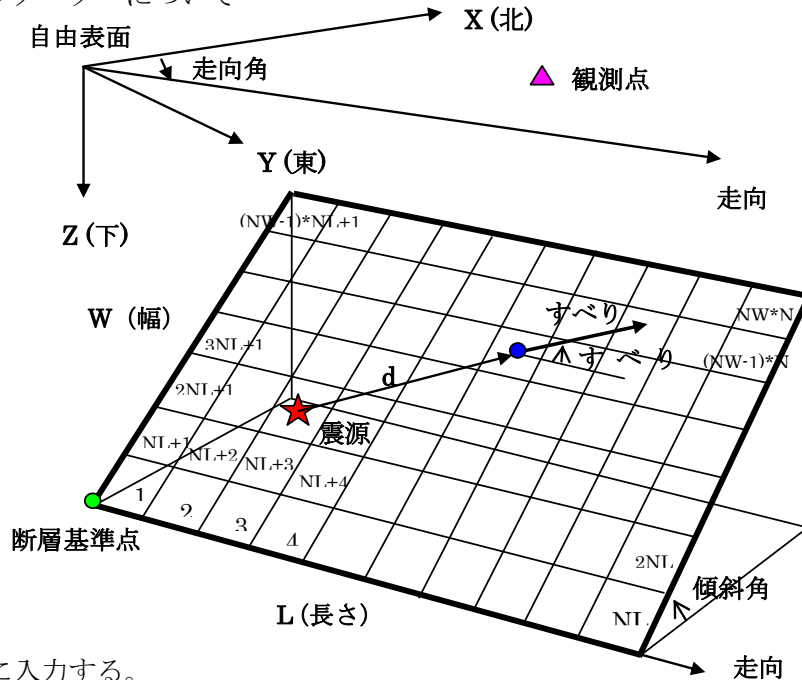
原点を(N_0, E_0)=(北緯 34.2° 、東経 138.65°)とし、任意の北緯 N° 、東経 E° を下記の式で変換する。

$$\begin{aligned} X &= (N - N_0) \times dXdN \\ Y &= (E - E_0) \times dYdE \end{aligned} \quad \dots \textcircled{1}$$

ここでは距離の単位は km で計算されるが入力する際はmに単位変換する必要がある。

(2) 震源モデル

1. 断層パラメーターについて



以下のように入力する。

Length (m): 断層長さ、Width (m): 断層幅

Start Time	Strike (deg)	Dip (deg)	Vr (m/s)	dtr (s; aver random number for dtr (integer)		
0	0	90	3000	0.1	1	
Location of Y(m)	Z(m)	(Note: X->North, Y->East, Z->Down)				
0	0	2000				
Location of Y(m)	Z(m)	(Note: X->North, Y->East, Z->Down)				
0	0	2000				
Number of Interval	TirSlip	Velocityfmax (Hz; cdtN (sec; dt fct only Nakamura & Mivatake)				
断層パラメーター (strike, dip, rake)=(0° , 90° , 0°)						
1	0.1	0				
Source Data Pattern (=1: Original (ex. grflt12s.f), =2: Time Window Matrix (Displacement:						
2						
1st Time Window (0.0 - 1.5 sec)						
Slip (m)	Strike 1					
1	30866008		1.00E+18		30900000	
Rake (deg)	Strike 1		3.24E+10			
1	0					

3. 小断層破壊開始時間遅れ(dtr)について

dtr は破壊フロントが滑らかになり、波形形状が単純になりすぎたり、高振動数の励起不足を防ぐ目的で導入している。長周期を対象にしたモデルでは、dtr=0 とし、時間の遅れは導入しない。また、破壊伝播の仕方が同心円状に破壊、震源が点震源のどちらか、あるいはその両方が記載されている場合も dtr=0 とする。

dtr は以下の式から求められる。

$$\varepsilon = \frac{w}{2V_r} \quad \text{ただし}(w/2V_r > \varepsilon > -w/2V_r) \quad \dots \dots \textcircled{2}$$

ε : 破壊開始時間遅れ(s)

w : 小断層の幅(m)

V_r : 破壊伝播速度(m/s)

2. 基準点について

点震源のモデルでは 1 点の座標、面震源のモデルでは断層四隅の座標が与えられる。その中から断層の基準点となる座標を求める。Location of Hypocenter : 断層の破壊開始点、Location of Fault Origin : 断層の基準点

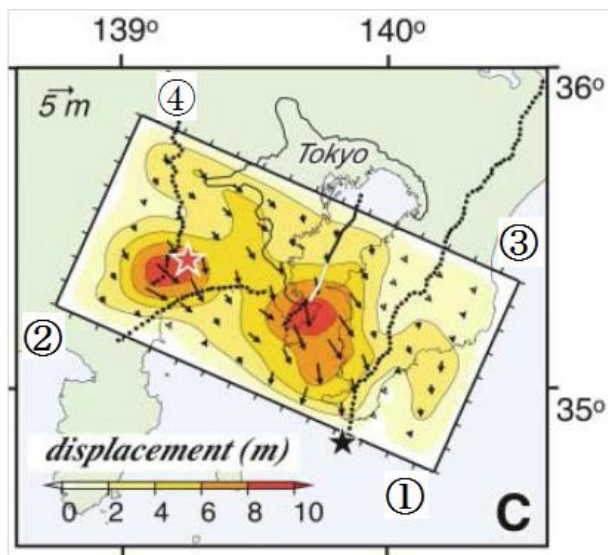
Location of Hypocenter: X(m)	Y(m)	Z(m)	(Note: X→North, Y→East, Z→Down)			
131440	42139	10651				
Location of Fault Origin: X(m)	Y(m)	Z(m)	(Note: X→North, Y→East, Z→Down)			
126012	160680	23055				

例 3 : 断層の大きさは 130km×70km であり、10×7 の小断層（点震源）に分割されている。

断層の形状やすべり角度は strike=294° , dip=16° 。

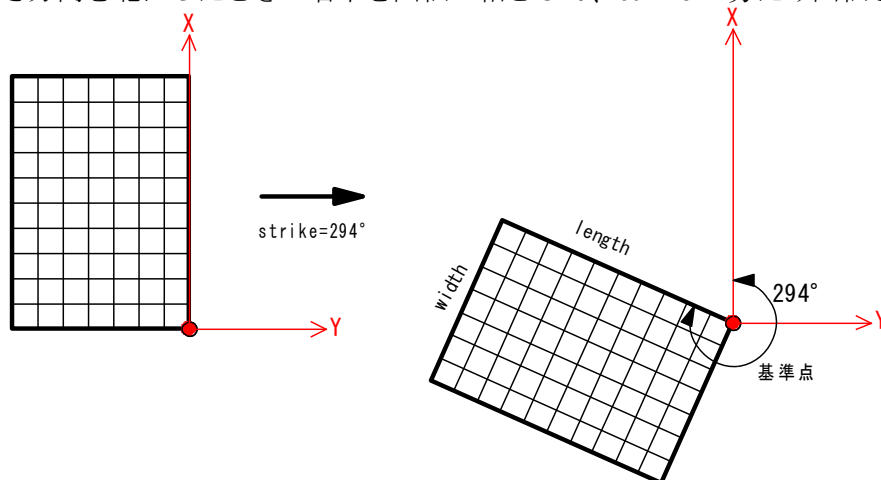
断層面の四隅と震源の座標(X,Y,Z: 単位 km) :

- ①(64.541, 133.311, 3.760)
- ②(117.417, 14.550, 3.760)
- ③(126.012, 160.680, 23.055)
- ④(178.888, 41.919, 23.055)



表示されている断層の図から逆算し求める方法。

i. 断層の長さ方向を北にしたときの右下を回転の軸として、strike の分だけ回転させる。



ii. strike の回転を加えた後、回転の軸とした点が基準点となる

あらかじめ断層の図が与えられていない場合、断層の四隅の座標から Excel などを用いて各自で断層をイメージするとよい。

4. 断層の分割について

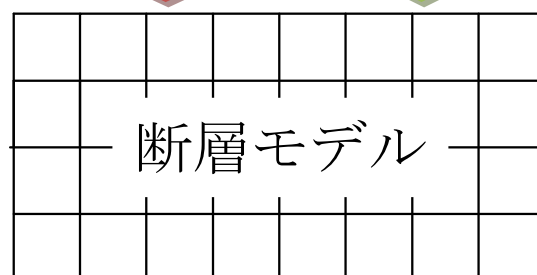
面震源の震源モデルを扱うときのみ、断層を分割し小断層にする。(デフォルトでは分割数は 203 が限界)小断層それぞれに Slip,Mo,Rake の数値を入力することで、実際の地震波の再現性を高めることができる。

Num. of Sub-Fault along Length : 断層を縦方向に分割する個数を入力。Num. of Sub-Fault along Width : 断層を横方向に分割する個数を入力。点震源の場合は両方に “1” を入力。

Length (m)	Width (m)	Num. of Sub-Fault along Length	Num. of Sub-Fault along Width	Number of Gaussian Points per Sub-Fault (from 1=1x1 up to =6->6x6)							
8000	4000	8	4	1							
1st Time Window (0.0 - 1.5 sec)											
Slip (m)	Strike 1	Strike 2	Strike 3	Strike 4	Strike 5	Strike 6	Strike 7	Strike 8			
1	1	1	1	1	1	1	1	1			
2	1	1	1	1	1	1	1	1			
3	1	1	1	1	1	1	1	1			
4	1	1	1	1	1	1	1	1			
Rake (deg)	Strike 1	Strike 2	Strike 3	Strike 4	Strike 5	Strike 6	Strike 7	Strike 8			
1	180	180	180	180	180	180	180	180			
2	180	180	180	180	180	180	180	180			
3	180	180	180	180	180	180	180	180			
4	180	180	180	180	180	180	180	180			

8×4個の小断層それぞれに slip 1 m、rake180° の要素があること表している。

Slip								rake							
1 m	1 m	1 m	1 m	1 m	1 m	1 m	1 m	180°	180°	180°	180°	180°	180°	180°	180°
1 m	1 m	1 m	1 m	1 m	1 m	1 m	1 m	180°	180°	180°	180°	180°	180°	180°	180°
1 m	1 m	1 m	1 m	1 m	1 m	1 m	1 m	180°	180°	180°	180°	180°	180°	180°	180°
1 m	1 m	1 m	1 m	1 m	1 m	1 m	1 m	180°	180°	180°	180°	180°	180°	180°	180°



5. ガウス点(Gaussian Points)について

ガウス点は強震動シミュレーションをする際にメッシュで分けた小断層の中で波形の重ね合わせの計算点のことであり、ガウス点が一つの場合一つの断層につき一点でしか計算しない。一般的にはガウス点が少ない場合、波形は大まかなものになり、大きな波形を観測する傾向にある。ガウス点を増やすことで計算点を増やすことによって、波形の計算結果をより滑らかなものに近づけることができる。ただし、ガウス点を増やすことによって破棄の精度は上がるが計算時間が大幅に伸びる。ガウス点は破壊の伝播が近づく方向ではあまり影響が出ず、破壊の伝播が遠ざかる方向に大きな影響を与えている。

6. ランダム破壊について

断層の破壊開始時間は random number for dtr (integer)に入力する値によって変化する。断層における規則的な破壊開始時間による人工的な卓越周期が生じることを避けるため、断層における破壊開始時間や震源位置にランダム（乱数）な変化を導入する。

*** Seismic Fault Parameters ***					
Length (m)	Width (m)	Num. of S ₁	Num. of S ₂	Number of Gaussian Points per Sub-Fault (from 1=1x1 up to =6->6x6)	
8000	4000	8	4	1	
Start Time	Strike (deg)	Dip (deg)	Vr (m/s)	dtr (s; aver	random number for dtr (integer)
0	90	90	3000	0.166667	<input type="text" value="1"/>
*** Seismic Fault Parameters ***					
Length (m)	Width (m)	Num. of S ₁	Num. of S ₂	Number of Gaussian Points per Sub-Fault (from 1=1x1 up to =6->6x6)	
8000	4000	8	4	1	
Start Time	Strike (deg)	Dip (deg)	Vr (m/s)	dtr (s; aver	random number for dtr (integer)
0	90	90	3000	0.166667	<input type="text" value="2"/>
*** Seismic Fault Parameters ***					
Length (m)	Width (m)	Num. of S ₁	Num. of S ₂	Number of Gaussian Points per Sub-Fault (from 1=1x1 up to =6->6x6)	
8000	4000	8	4	1	
Start Time	Strike (deg)	Dip (deg)	Vr (m/s)	dtr (s; aver	random number for dtr (integer)
0	90	90	3000	0.166667	<input type="text" value="3"/>

7. 面震源の離散化について

面震源の離散化は、連続破壊を模擬できるように離散点をなるべく密に置く。

Length (m)	Width (m)	<input type="text" value="16"/>	Num. of S ₁	Num. of S ₂	Number of Gaussian Points per Sub-Fault (from 1=1x1 up to =6->6x6)	
8000	4000	16	8	4		
Number of Interval T ₁ Slip Velocityfmax (Hz, cdtN (sec, dt fot only Nakamura & Miyatake)						
1	0	4	6	0.01		
Time Window1st Half Rise Time (s)						
1	0.1	0				
Source Data Pattern (=1: Original (ex. grft12s.f), =2: Time Window Matrix (Displacement: m), =3: Time Window Matrix (Seismic Moment: Nm)						
2						
1st Time Window (0.0 - 1.5 sec)						
Slip (m)	Strike 1	Strike 2	Strike 3	Strike 4	Strike 5	Strike 6
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1
Rake (deg)	Strike 1	Strike 2	Strike 3	Strike 4	Strike 5	Strike 6
1	180	180	180	180	180	180
2	180	180	180	180	180	180
3	180	180	180	180	180	180
4	180	180	180	180	180	180
5	180	180	180	180	180	180
6	180	180	180	180	180	180
7	180	180	180	180	180	180
8	180	180	180	180	180	180

8. Source date pattern の入力について

Source Data Pattern (=1: Original (ex. grfit12s.f), =2: Time Window Matrix (Displacement: m), =3: Time Window Matrix (Seismic Moment: Nm))												
2												

ここでは断層の滑り方をすべり量(slip)で入力するか地震モーメント(Mo)で入力するかを選択する。

パターン 1

Slip and Rake Data Pattern (=1: Regular Patten (ex. grfit12s.f), =2: Time Window Matrix Pattern)

1	Sub-Fault Number	Slip of 1st Time	Slip of 2st Time	Slip of 3st Time	Slip of 4st Time	Slip of 5st Time	Slip of 6st Time	Windows (m)
1	1	0.02	0.13	0.24	0.11	0	0.15	
2	2	0	0.34	0.08	0	0	0	
3	3	0	0.29	0	0	0	0	
4	4	0.33	0.42	0.13	0	0	0.02	
5	5	0.84	0.8	0.06	0	0	0	
6	6	1.1	0.75	0	0	0	0	

以下省略

68	0	1.29	0.03	0.76	0.9	1.14	
69	0	0.57	0	0.34	0.37	0.55	
70	0	0.04	0	0.46	0.13	0.19	
71	0	0	0.12	0.71	0.1	0.17	
72	0	0	0.07	0.52	0.09	0.14	
Sub-Fault Number	Rake of 1st Time	Rake of 2st Time	Rake of 3st Time	Rake of 4st Time	Rake of 5st Time	Rake of 6st Time	Windows (deg)
1	180	180	180	180	180	180	
2	180	180	180	180	180	180	
3	180	180	180	180	180	180	
4	180	180	180	180	180	180	
5	180	180	180	180	180	180	
6	180	180	180	180	180	180	

以下省略

・各小断層のすべり量とすべり角のモデル化。この例の場合、72の小断層に対してモデル化している。入力には3つの方法(パターン)があり、この例は1番目のパターンで入力している。この場合、図1に示すように下盤側の断層面の走向に沿って左下より右向きに、1、2、3番と番号を付けている。長さ方向に12個に分割しているため、12番は断層面の右下隅の小断層となり、13番は上の列の左隅に戻り、14、15と右向きに番号を付ける。72番は最終番号で、断層面の右上隅の小断層に相当する。入力は小断層ごとに1行を使って、各time windowのすべり量(m)を与える(この例では6つのtime window、図3を参照)。全すべり量データを終えると、次の行から小断層ごとに1行を使って、各time windowのすべり角(度)を与える。

パターン 2

Source Data Pattern (=1: Original (ex. grfit12s.f), =2: Time Window Matrix (Displacement: m), =3: Time Window Matrix (Seismic Moment: Nm))

2	1st Time Window (0.0 - 1.5 sec)												
Slip (m)	Strike 1	Strike 2	Strike 3	Strike 4	Strike 5	Strike 6	Strike 7	Strike 8	Strike 9	Strike 10	Strike 11	Strike 12	Strike 13
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Rake (deg)	Strike 1	Strike 2	Strike 3	Strike 4	Strike 5	Strike 6	Strike 7	Strike 8	Strike 9	Strike 10	Strike 11	Strike 12	Strike 13
1	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
2	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
3	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
4	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
5	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
6	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
7	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
8	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180

・入力で2番目のパターンを選択した場合、上の例(1st time windowのslipとrake分布のみ表示、2nd time window以下も同様に続ける)のようにすべり量とすべり角の分布をmatrix形でtime windowごとに与える。このmatrixでは行に断層幅、列に断層長さの方向の小断層のデータを入力する。

(例外) パターン 3

Source Data Pattern (=1: Original (ex. grflt12s.f), =2: Time Window Matrix (Displacement: m), =3: Time Window Matrix (Seismic Moment: Nm))
3

1st Time Window (0.0 - 1.5 sec)										
MO (Nm)	Strike 1	Strike 2	Strike 3	Strike 4	Strike 5	Strike 6	Strike 7	Strike 8	Strike 9	Strike 10
1	7.09E+17	8.46623E+16	3.10824E+18	2.23674E+18	2.98003E+18	1.9646E+18	1.05725E+17	1.85211E+17	1.14809E+18	9.99379E+17
2	9.33E+16	2.61504E+16	1.03186E+18	3.15627E+18	3.65869E+18	3.69186E+18	6.28784E+16	3.34457E+18	1.01631E+18	4.02966E+16
3	8.88E+17	7.97278E+17	7.02379E+17	3.5867E+18	6.18674E+18	2.47211E+18	6.56077E+17	3.68877E+18	1.56497E+18	5.23313E+16
4	1.83E+18	9.05642E+17	3.82364E+17	4.9412E+18	4.11679E+18	5.82644E+17	2.08519E+18	3.1395E+18	2.63605E+18	6.2842E+17
5	2.96E+17	9.92555E+17	1.53424E+17	4.89891E+18	2.706E+18	1.93507E+18	4.27805E+18	1.81003E+18	5.02313E+17	1.67377E+18
6	1.14E+17	1.82733E+17	7.98934E+17	2.2301E+18	8.50771E+17	1.69287E+18	3.37082E+18	2.94802E+18	1.04208E+17	7.65682E+17
7	2.08E+17	1.12841E+18	1.43723E+18	2.15942E+17	5.78279E+16	8.2997E+17	2.72453E+18	4.1676E+18	2.45444E+18	8.37756E+17
Rake (deg)	Strike 1	Strike 2	Strike 3	Strike 4	Strike 5	Strike 6	Strike 7	Strike 8	Strike 9	Strike 10
1	96.25317	91.58381157	150.3309126	113.0333071	95.72327712	156.3966732	125.3902619	121.4810392	91.34308007	91.96799906
2	122.3609	107.3540246	159.8596302	157.6306473	119.8335134	131.9170302	121.8170348	174.3386015	177.8007819	104.5742162
3	93.80236	177.2803546	140.0681552	157.9336609	129.9443049	148.6269949	174.679145	140.0137126	176.4423697	129.8602426
4	97.3516	158.5284786	132.313	128.2628886	108.7782388	163.7121821	111.4591354	141.8559654	149.0711338	175.336758
5	132.4362	94.82346889	161.9335077	133.1386633	92.27146744	178.4870962	125.49396	178.7530259	169.8940964	152.7960999
6	145.4915	121.3831911	166.5064425	152.345994	178.8179989	177.6365859	165.4251422	174.7245945	149.4039905	100.5658733
7	136.9016	179.0890481	170.8188379	117.3055047	167.932231	172.1135784	177.0954095	153.9552821	150.6571244	168.3709763

・入力で3番目のパターンを選択した場合、上の例(1st time window の Mo と rake 分布のみ表示、2nd time window 以下も同様に続ける)のように地震モーメントとすべり角の分布を matrix 形で time window ごとに与える。この matrix では行に断層幅、列に断層長さの方向の小断層のデータを入力する。

9. すべり量 D(m)の計算について

Source Data Pattern (=1: Original (ex. grflt12s.f), =2: Time Window Matrix (Displacement: m), =3: Time Window Matrix (Seismic Moment: Nm))										
2										
1st Time Window (0.0 - 1.5 sec)										
Slip (m)	Strike 1									
1	308660008		1.00E+18		309000000					
Rake (deg)	Strike 1		3.24E+10							
1	0									

Source Data Pattern で2の Time Window Matrix (Displacement: m)を選択した場合、赤く囲まれたセルに断層のすべり量を入力する。下の式から求められる。

$$D = \frac{M_0}{\mu \times A} \quad \dots \textcircled{3}$$

M_0 : 地震モーメント($N \cdot m$)

A : 断層面積(m^2)

μ : 断層における岩盤の剛性 $\mu = \beta^2 \times \rho$

β : S波速度(m/s)

ρ : 地震発生層の密度(kg/m^3)

10. すべり速度関数について

Number of Interval	Time Interval (sec)	Slip Velocity Func.	fmax (Hz)	dtN (sec; dt for only Nakamura & Miyatake)
1	1	2	1	0.01

すべり関数のモデル化。すべり速度関数を構成する要素として、四角形 (=0)、三角形 (=1)、指数関数 (=2)、ガウス分布関数 (=3)、中村・宮武関数 (=4)から選択できる。この例では指数関数 (=2) を用いている。また、指数関数型、ガウス分布関数型の場合は 1st Half Rise Time のみ値を入れ、2nd Half Rise Time は 0 とする。中村・宮武関数を用いる場合、Slip Velocity Func.で Nakamura & Miyatake = 4 を入力。Rise Time (立ち上がり時間) の設定は必要なく、fmax と dtN の設定を要する。

本プログラムでは、中村・宮武関数における時刻歴関数を指定された時間刻み (= dtN) で作成し、そのフーリエ変換を震源スペクトルとして用いる。そのため、時間刻み (= dtN) が十分小さな関数を用いて震源スペクトルに用いる必要がある。本ベンチマークテストでは fmax=6Hz, dtN=0.01 としている。

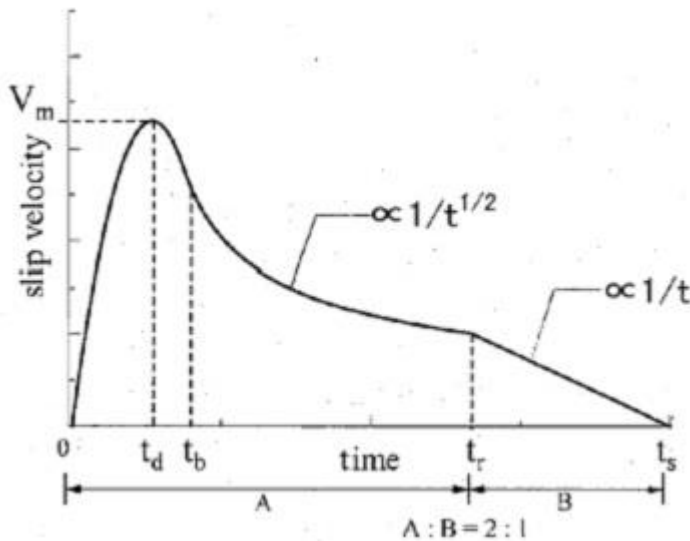
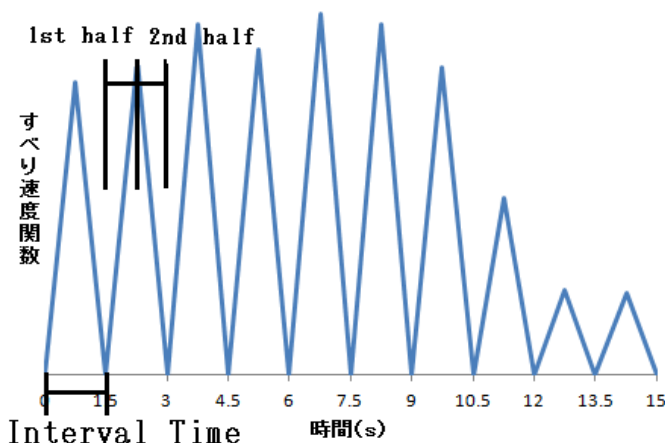


図 1-1 中村-宮武(2000)によるすべり速度・加速度関数
(<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/miyatake/SlipFunc-Prog.html>)

10. Time Window について

すべり速度を三角形関数の数秒間隔 (Interval Time) で重ね合わせ (Time Window) する。すべり速度関数は三角形 (=1) を選択している。Slip Velocity Fun から選択する。

Interval time が 1.5 秒で 10 個の Time window があるモデルでは下図のような三角形すべり速度関数になる。



Number of	Interval Time	Slip Velocity
10	1.5	1
Time Window	1st Half Rise Time	2nd Half Rise Time
1	0.75	0.75
2	0.75	0.75
3	0.75	0.75
4	0.75	0.75
5	0.75	0.75
6	0.75	0.75
7	0.75	0.75
8	0.75	0.75
9	0.75	0.75
10	0.75	0.75

すべり速度関数を構成する要素

選択	要素形	時刻歴波形	振動数領域
1	四角形	$f(t) = \begin{cases} 1/\tau, & (0 \leq t \leq \tau) \\ 0, & (\tau < t) \end{cases}$	$F(\omega) = \frac{\sin(\chi_1)}{\chi_1} \exp(i\chi_1), \quad (\chi_1 = \frac{\omega\tau}{2})$
2	三角形	$f(t) = \begin{cases} A_1 t, & (0 \leq t \leq \tau_1) \\ A_2 \cdot (\tau - t), & (\tau_1 \leq t \leq \tau) \\ 0, & (\tau \leq t) \end{cases}$ where, $A_1 = V/\tau_1$, $A_2 = V/\tau_2$, and $V = 2/\tau$	$F(\omega) = \left\{ \frac{\sin(\chi_2)}{\chi_2} \exp(i\chi_2) \right\}^2, \quad (\chi_2 = \frac{\omega\tau}{4})$
3	指数	$f(t) = t \cdot \exp(-t/\tau)/\tau^2$	$F(\omega) = 1/(1 - i\omega\tau)^2$

1 1. 波数積分について

波数積分データ：

- ・グリーン関数の計算は、積分の効率化のために動的項と静的項に分けて行われる。

$$U_k(Y;\omega) = \int_{\Sigma} \{T_{ik}(X,Y;\omega) - T_{ik}^S(X,Y)\} D_i(X;\omega) d\Sigma + \int_{\Sigma} T_{ik}^S(X,Y) D_i(X;\omega) d\Sigma \quad (1)$$

ここで、 T_{ik} は動的グリーン関数の応力テンソルであり、 T_{ik}^S はその静的項である。従って、上式の右辺第1項が**動的項**、第2項が**静的項**となる。

波数積分データ（静的項）：

*** Data for Static Wavenumber Integration using Greenfield's Quadrature ***

The first corner (om*k) on real axis (ex 2.0) Initial Number of Integration Points for Adaptive Newton-Cotes Quadrature 16
The second corner (om*k) on imag. axis (ex 10.0) Initial Number of Integration Points for Adaptive Newton-Cotes Quadrature 32

- ・静的項の波数積分は積分路変換法（Greenfield 法）によって行われる。まず波数 k を区間 ka で分割する。

$$G(z, r) = \int_0^{ka} g(z) J(kr) dk + \int_{ka}^{\infty} g(z) J(kr) dk \quad (2)$$

上のデータでは、 $ka \times$ 水平距離 (r) に **2.0** とし、上式の第1項の波数積分として Newton-Cotes 積分を用い、その積分点数の初期値として **16** 点を用い、精度が十分収束するまで積分点を増加させる。一方、第2項はベッセル関数をハンケル関数に変換し、

$$\int_{ka}^{\infty} g(z) J(kr) dk = \frac{1}{2} \int_{ka}^{\infty} g(z) \{H^{(1)}(kr) + H^{(2)}(kr)\} dk \quad (3)$$

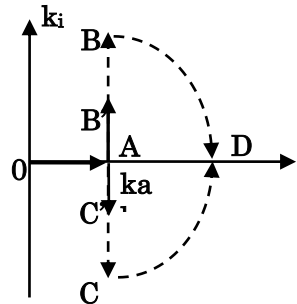


図3 静的項の波数積分法

第1種、第2種のハンケル関数の積分路をコーシーの定理より、図3に示すように積分路を変換する。

$$\int_{ka}^{\infty} g(z) H^{(1)}(kr) dk \approx \int_{AB} g(z) H^{(1)}(kr) dk_i$$

$$\int_{ka}^{\infty} g(z) H^{(2)}(kr) dk \approx \int_{AC} g(z) H^{(2)}(kr) dk_i \quad (4)$$

第1種は虚数軸の上側、第2種は下側とすると、ハンケル関数は指数関数で速やかに収束する。上のデータでは打ち切りの波数 \times 水平距離 (r) に **10.0** を、その積分点数の初期値として **16** 点を用いている。10.0 で収束しないときは2倍の波数を用い、それでも収束しないときはまた2倍と次々に増加させ、Newton-Cotes 積分で精度が十分収束するまで行う。

なお、以降はパターン2 Time Window Matrix Pattern を使用したとして説明する。

波数積分データ（動的項）：

*** Data for Dynamic Wavenumber Integration using Simpson's and Filon's quadratures ***							
Number of Integration Points from 0 to om/Ryleigh(min)							
2000							
Number of Integration Points from om/Ryl(min) to om/c(final)							
50							
Factor for c(final): c(final)=Ryl(min)/Factor (Ex., 10)							
10							

- ・(3)式の**動的項（第1項）**の積分は、波数 \times 水平距離 (r) が小さいときは Simpson 則で、大きいときは Filon 則で行う。また積分区間は極や分岐点のある区間（第1区間：複雑な関数形）と、それ以降の区間（第2区間：比較的滑らかな区間）に2分して行う。

- ・上の例では、第1区間の初期積分点を **2000** 点、第2区間を **50** 点し、第1区間の **10.0** 倍の区間を第2区間として積分を打ち切っている。

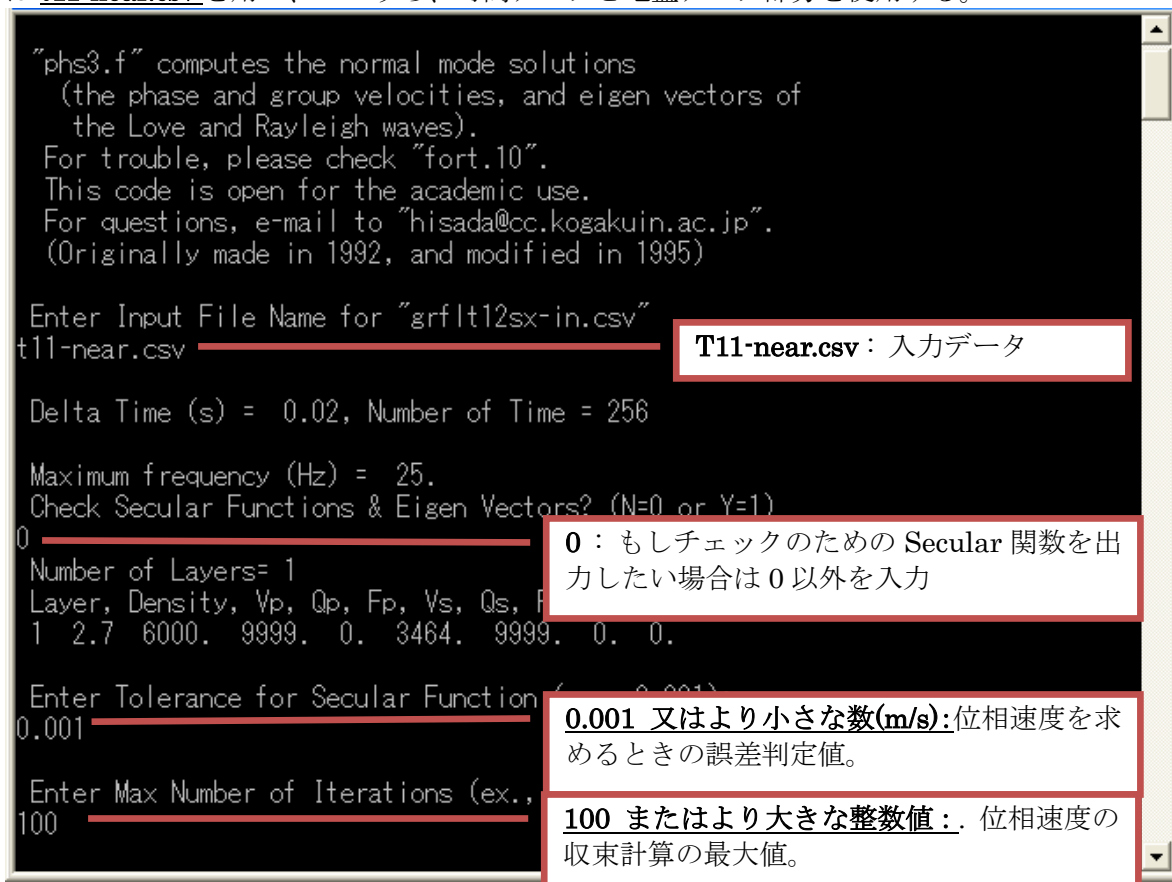
プログラムの使用法

概要

- 0) 3つのプログラム (**phs3sQ-v3.f**、**grflt12sx1-v13.f**、**grfftspx-N.f**) を使用します。
- 1) **phs3sQ-v3.f** (効率的なグリーン関数計算のため、表面波の位相速度の計算) : 波数積分法による平行成層地盤の理論グリーン関数を効率的な計算のため、波数積分の特異点(極)に相当する表面波の位相速度を事前に計算しておきます。計算後、Excell などにより表面波の分散曲線や Medium Response、H/V スペクトルなどの表示もできます。
- 2) **grflt12sx1-v13.f** (理論地震動の計算) : 周波数領域での理論地震動を計算します。
- 3) **grfftspx-N.f** (波形の計算) : FFT(フーリエ逆変換)により波形を計算します。

詳細

- 1) **phs3sQ-v3.f** : コンパイルし、exe ファイルを起動し、下記のようにデータを入力する。データは **t11-near.csv** を用い、このうち、時間データと地盤データ部分を使用する。



```
"phs3.f" computes the normal mode solutions
(the phase and group velocities, and eigen vectors of
the Love and Rayleigh waves).
For trouble, please check "fort.10".
This code is open for the academic use.
For questions, e-mail to "hisada@cc.kogakuin.ac.jp".
(Originally made in 1992, and modified in 1995)

Enter Input File Name for "grflt12sx-in.csv"
t11-near.csv

Delta Time (s) = 0.02, Number of Time = 256

Maximum frequency (Hz) = 25.
Check Secular Functions & Eigen Vectors? (N=0 or Y=1)
0

Number of Layers= 1
Layer, Density, Vp, Qp, Fp, Vs, Qs, F
1 2.7 6000. 9999. 0. 3464. 9999. 0. 0.

Enter Tolerance for Secular Function (0.001)
0.001

Enter Max Number of Iterations (ex., 100)
100
```

T11-near.csv : 入力データ

0 : もしチェックのための Secular 関数を出
力したい場合は 0 以外を入力

0.001 又はより小さな数(m/s): 位相速度を求
めるときの誤差判定値。

100 またはより大きな整数値: 位相速度の
収束計算の最大値。

出力ファイル **Ldisper.csv** と **Rdisper.csv** により Love 波と Rayleigh 波それぞれの分散曲線 (C: 位相速度, U: 群速度) を描くことが出来る。また、出力ファイル **Lmedres.csv** と **Rmedres.csv** により Love 波と Rayleigh 波の Medium response (2次元地盤における地表面加振による地表面の振幅スペクトル; Harkrider, 1964) を描くことが出来る。図 6 に Love 波の例を示す。さらに **HoverV.csv** から Rayleigh 波の H/V スペクトルも描くことが可能であり、その例を図 7 に示す。

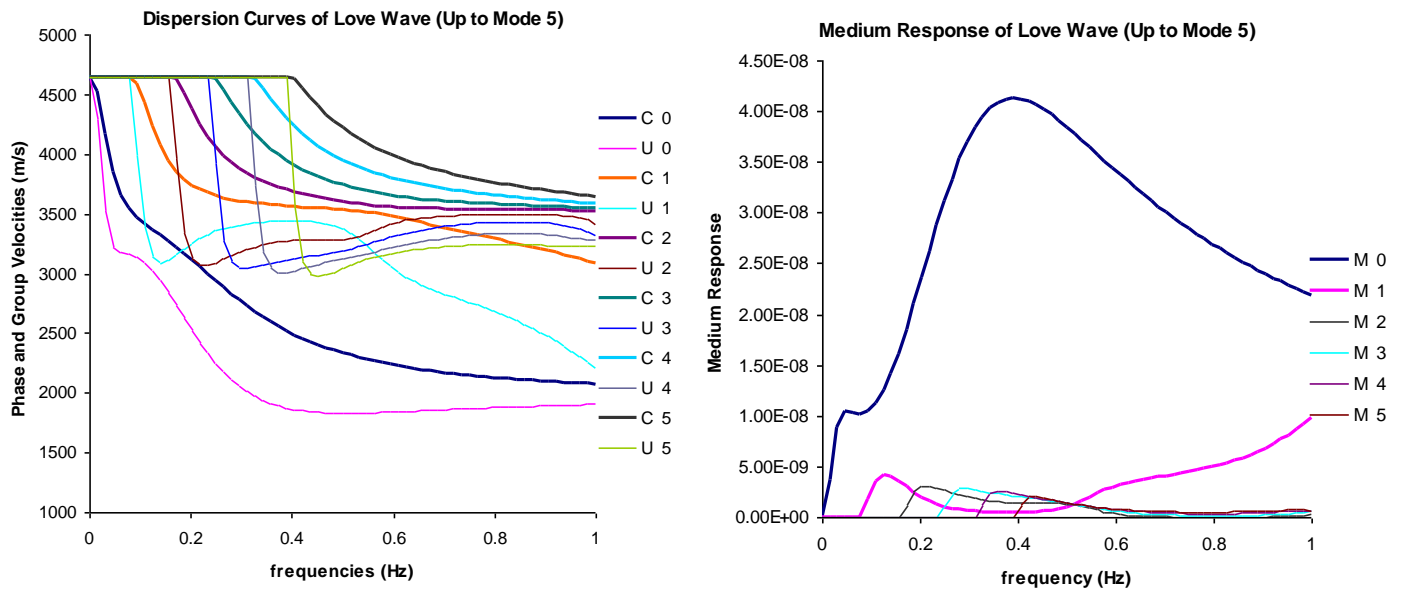
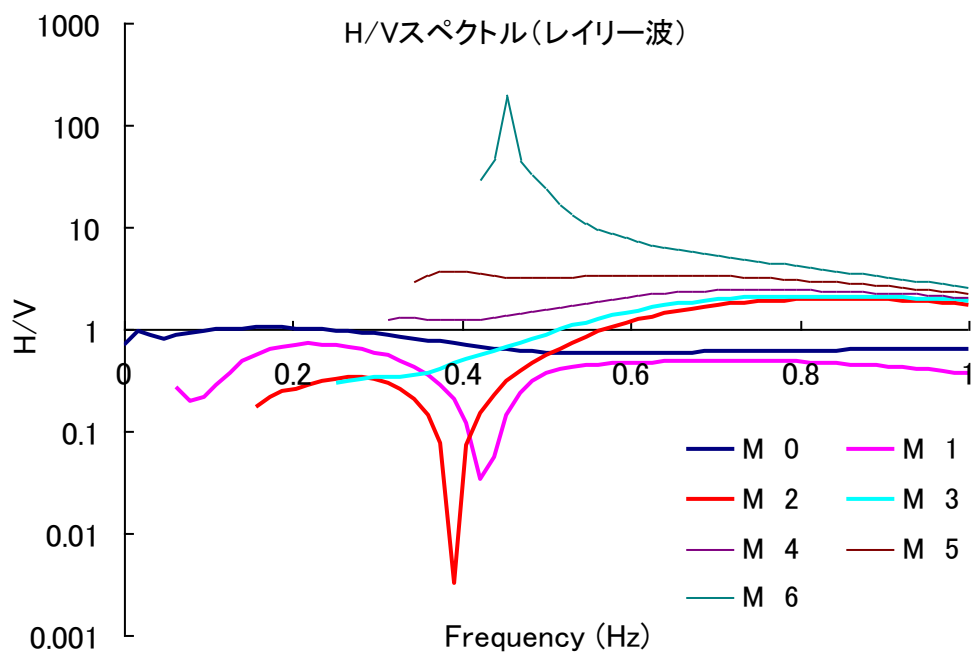


図 6: Love 波の分散曲線(左: 位相速度 C と群速度 U) と 2次元地盤での地表面加振による地表面の振幅スペクトル (右: Medium Response)



2) **grflt12sx1-v13.f**: コンパイルし、exe ファイルを起動し、下記のようにデータを入力する。データは **t11-near.csv** を使い、全データを使用する。

```
"grflt12sx-in.csv" is the input data
Please Check "fort.10" for troubles.
For questions, e-mail to "hisada@cc.kogakuin.ac.jp".
This code is open for the academic use.
You must run "phs3sQx.f" before running this code !!

Data from INDAT (For More Detail, Please see fort.10)

Enter Input File Name for "grflt12sx1-in.csv"
t11-near.csv
dt,nt= 0.02 256

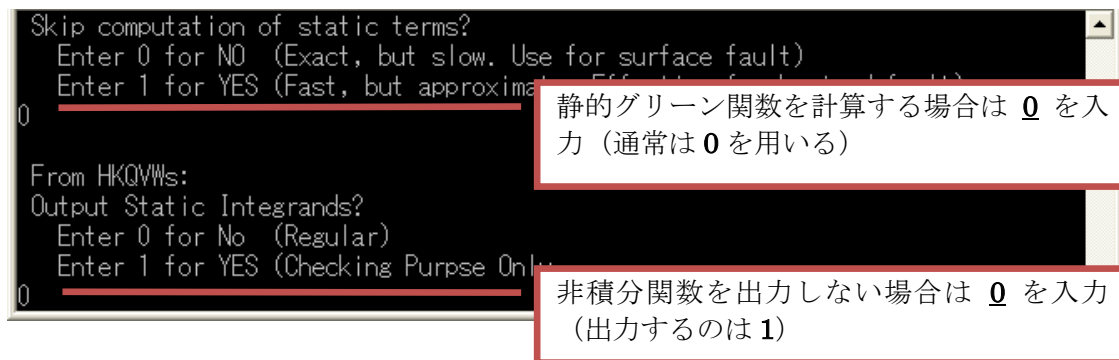
Num. of Time, Delta Time and Min. Period (s)= 256 0.0200 0.0400
Num. of Omega, dOM, and Imag OM (rad/sec) = 128 1.2271846 0.0100000

Total Number of Layers = 1
Use of Const. Q of Futterman (1962)= 0
Reference Frequency (Hz) = 0.000
Layer,Density,Vp(m/s), Qp , Fp ,Vs(m/s), Qs , Fs , Thick(m)
1 2.70 6000.0 9999.0 0.0 3464.0 9999.0 0.0 0.0
i,RT(1,i),RT(2,i) 1 0.1 0.

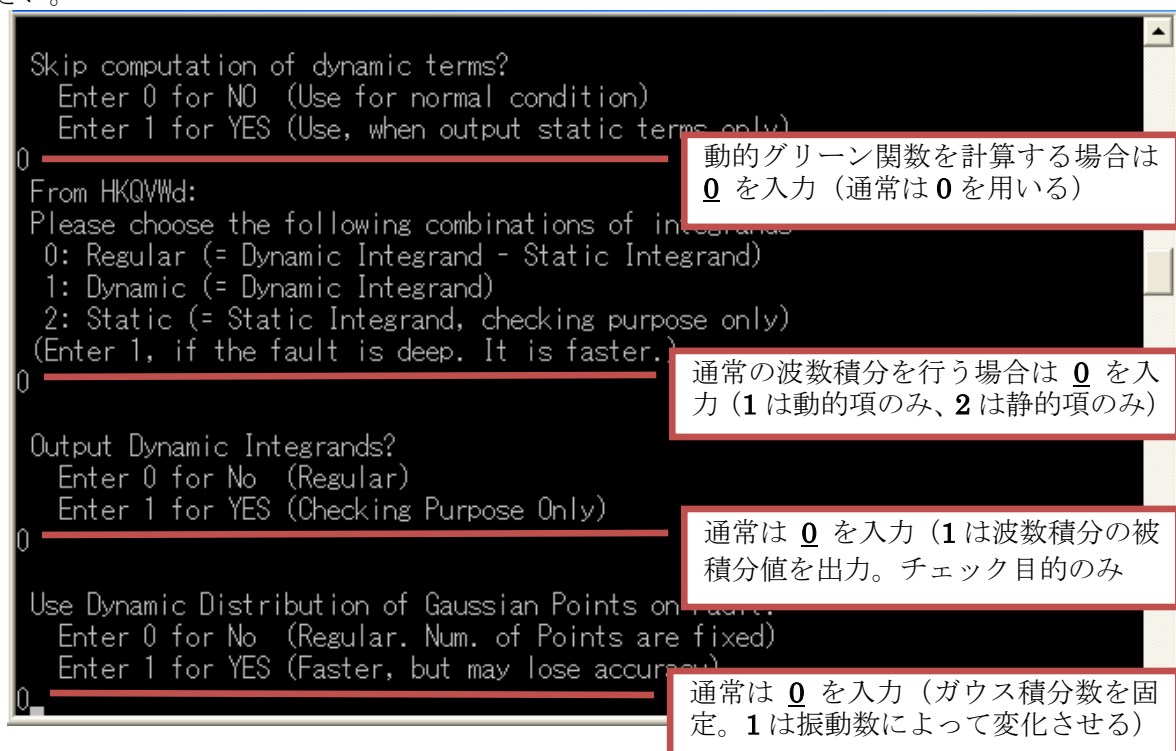
Slip and Rake Data: Pattern = 2
Slip Data (m):
Rake Angle Data:

Seismic Fault Data :
Numbers of Sub-Faults along Strike and Dip = 1 1
Strike Angle(rd)= 0.00000000, Dip Angle (rd)= 1.57079633
Fault Length (m)= 1.000, Width(m) = 1.000
Sub-Length (m)= 1.000, Sub-Width(m) = 1.000
X Fault Edge (m)= 0.000, Y Fault Edge (m)= 0.000
Z Fault Edge (m)= 2000.000
Hypocenter X (m)= 0.000, Hypocenter Y (m)= 0.000
Hypocenter Z (m)= 2000.000, Rupture Vel(m/s)= 3000.000
Num. of Time Windows= 1, Interval (sec) = 0.0000
Type of Slip Vel. Fun. (Rectangular=0; Triangle=1; Exponetial=2; Gaussian=3; Nakamura & Miyatake (2000)=4)= 2
fmax (Hz, only for the N & M func.) = 0.0000 dt (sec, only for the N & M func.) = 0.0000
Max Num. of Gauss Points along one direction = 1
Max Num. of Gauss Points per Sub-Faults = 1
Avgerage Slip (m)= 0.3087E+08, Seismic Moment (dyne-cm)= 0.1000E+26
Moment Magnitude = 5.9, JMA Magnitude = 6.2
Time Window= 1, Half Rise-Time 1 & 2 (s) = 0.100 0.000
```

T11-near.csv : 入力データ

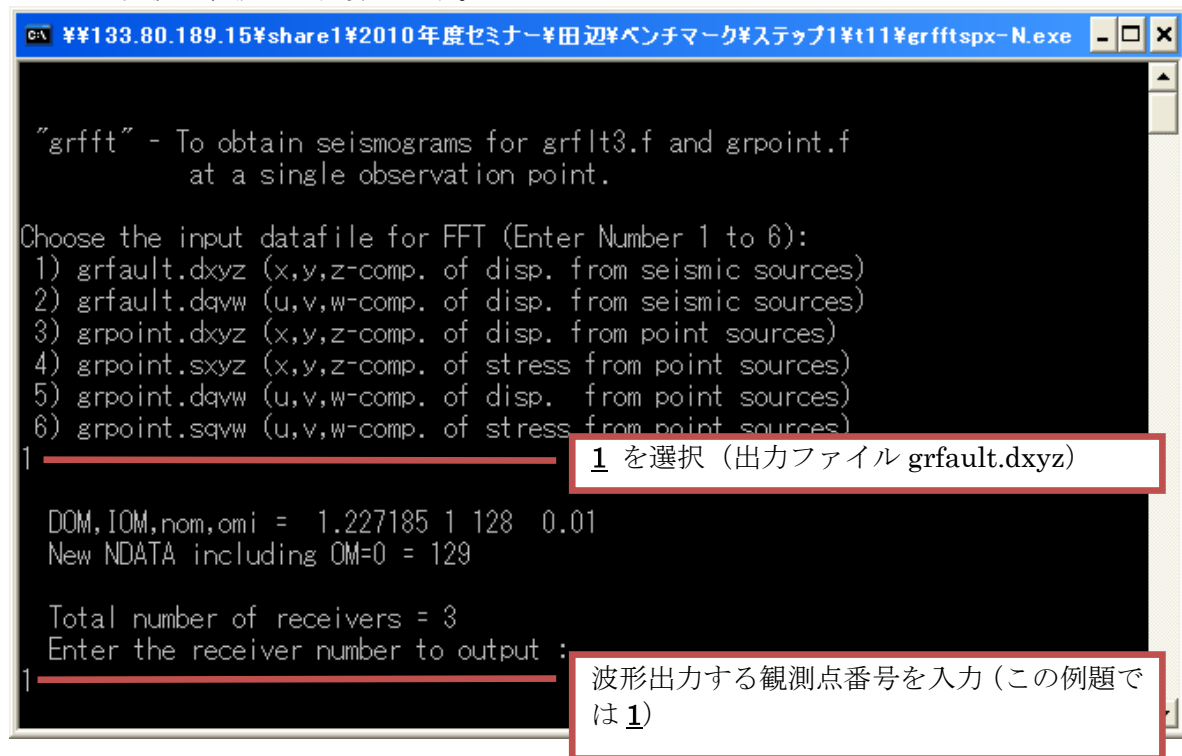


この間、静的グリーン関数項を計算。途中で色々とメッセージが出ますが、気にしないで進んでください。



この間、動的グリーン関数項を計算します。途中で色々とメッセージが出ますが、気にしないでください。

3) **grfftsp.f**: コンパイルし、exe ファイルを起動し、出力ファイル **grfault.dxyz** を FFT によりフーリエ逆変換し、波形を計算します。



```
C:\¥¥133.80.189.15¥share1¥2010年度セミナー¥田辺¥ベンチマーク¥ステップ1¥t11¥grfftsp-N.exe - _ □ ×

"grfft" - To obtain seismograms for grflt3.f and grpoint.f
          at a single observation point.

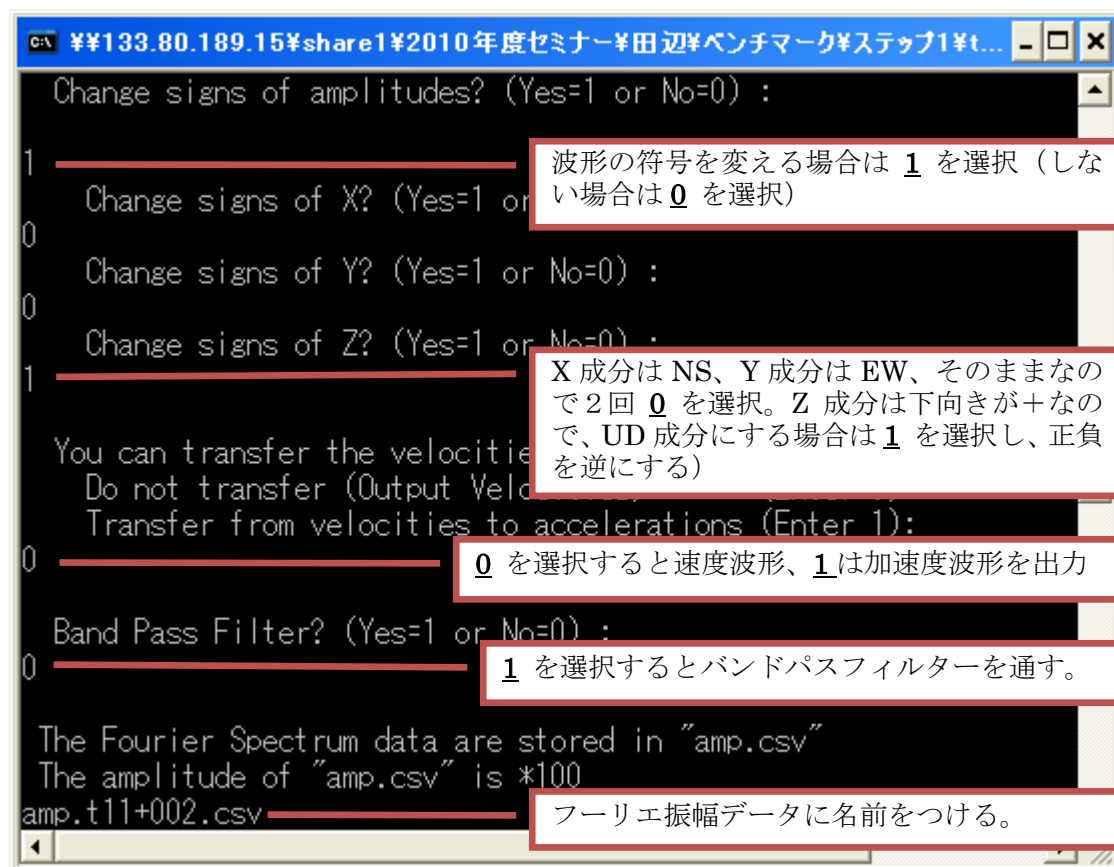
Choose the input datafile for FFT (Enter Number 1 to 6):
1) grfault.dxyz (x,y,z-comp. of disp. from seismic sources)
2) grfault.dqvw (u,v,w-comp. of disp. from seismic sources)
3) grpoint.dxyz (x,y,z-comp. of disp. from point sources)
4) grpoint.sxyz (x,y,z-comp. of stress from point sources)
5) grpoint.dqvw (u,v,w-comp. of disp. from point sources)
6) grpoint.sqvw (u,v,w-comp. of stress from point sources)
1

DOM,IOM,nom,omi = 1.227185 1 128 0.01
New NDATA including OM=0 = 129

Total number of receivers = 3
Enter the receiver number to output :
1
```

1 を選択 (出力ファイル **grfault.dxyz**)

波形出力する観測点番号を入力 (この例題では **1**)



```
C:\¥¥133.80.189.15¥share1¥2010年度セミナー¥田辺¥ベンチマーク¥ステップ1¥t11¥grfftsp-N.exe - _ □ ×

Change signs of amplitudes? (Yes=1 or No=0) :
1
Change signs of X? (Yes=1 or No=0) :
0
Change signs of Y? (Yes=1 or No=0) :
0
Change signs of Z? (Yes=1 or No=0) :
1

You can transfer the velocities to accelerations (Enter 1):
Do not transfer (Output Velocities)
0
Transfer from velocities to accelerations (Enter 1):
0

Band Pass Filter? (Yes=1 or No=0) :
0

The Fourier Spectrum data are stored in "amp.csv"
The amplitude of "amp.csv" is *100
amp.t11+002.csv
```

波形の符号を変える場合は **1** を選択 (しない場合は **0** を選択)

X 成分は NS、Y 成分は EW、そのままなので 2 回 **0** を選択。Z 成分は下向きが+なので、UD 成分にする場合は **1** を選択し、正負を逆にする)

0 を選択すると速度波形、**1** は加速度波形を出力

1 を選択するとバンドパスフィルターを通す。

フーリエ振幅データに名前をつける。

```
C:\¥133.80.189.15¥share1¥2010年度セミナー¥田辺¥ベンチマーク¥ステップ1¥t...
N and J of N=2**J = 128 7
Increase NT for smoother seismograms? (Yes=1 or No=0)
1
N and J of N=2**J = 256 8
Increase NT for smoother seismograms? (Yes=1 or No=0)
1
N and J of N=2**J = 512 9
Increase NT for smoother seismograms? (Yes=1 or No=0)
1
N and J of N=2**J = 1024 10
Increase NT for smoother seismograms? (Yes=1 or No=0)
0
Change from (m) to (cm)? (yes=1) :
0
Number of data points = 2048
Duration and Delta Time = 5.11999846 0.00249999925
Initial and final times = 0. 5.11749846

Min X, Y and Z = -1.49796886 -1.4209819 -10.9454382
Max X, Y and Z = 10.6908538 5.79266193 5.84707732
Min and Max amplitudes = -10.9454382 10.6908538
Absolute Max amplitude = 10.9454382

Output data are stored in "wave.csv"
You can plot the waveform using "wave.m" for Matlab

t11+002.csv
```

0 を選択した場合、時間刻みは現状のまま。
1 の場合は時間刻みを 1/2 づつ細分化し、滑らかな波形を出力する。

0 を選択した場合はm単位、1 の場合は cm で出力

波形データに名前をつける。

T11-far.csv でも同様に行い、計 6 点の出力点を計算させる。
震源データ：(フォルダ STEP 1 の t11+2. csv 参照)

解析後にフィルターをかけ波形をクリアにする。

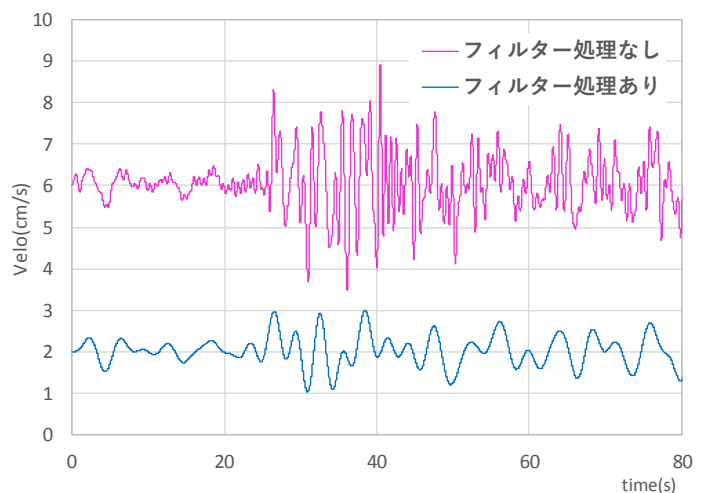
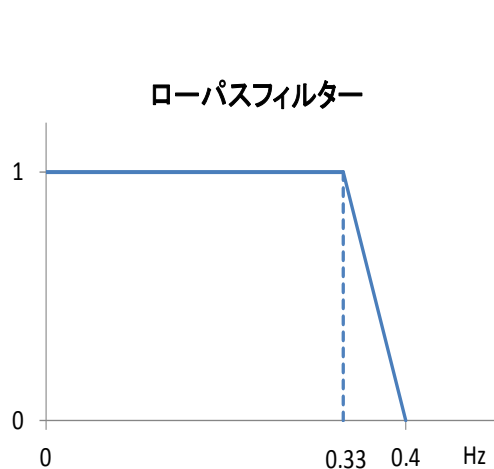
Tran1x-bmt.exe : 結果のフィルター処理

1. フィルターの通し方について

Tran1x-bmt.exe のプログラムを用いて出力された観測波形データ(csv)をフィルターに通す。

```
Enter input file of waveform data
wave1.csv
NT and DT= 16384 0.01
Change +/-? (YES=1)?? :
0
IF1,NF= 14 16384
DUR,DOM,NOM,EOM= 163.84 0.0383495197 8193 314.197615
Highest Frequency (hz)= 50.0061035
Band Pass Filter? (YES=1)?? :
1
TRAPEZOIDAL BAND PATH FILTER
ENTER fL1<fL2<fH1<fH2 (Hz)
0
0
0.33
0.4
Integration/Differentiation:
NO Change : (Enter=0)
Integration : Ex.) acc -> vel (Enter=1)
Double Integration: Ex.) acc -> dis (Enter=2)
Differentiation: : Ex.) Vel -> acc (Enter=3)
0
Fourier Spectrum data are stored in "amp3.csv"
Cutting data? (No=0,Yes=1)
0
Skip Data (no=0; yes=skip number)?
```

有効振動数は 0～0.33Hz で高振動数のハイカット処理を行っている。



出力されるファイル名は「wave-fil-元のファイル名.csv」である。

5)multi5x-v2.exe : 深部地盤データにより解放工学的基盤 ($V_s=500$ m/s) までの入射波を 3 次元波動場で計算し、以下に示す表層地盤による鉛直入射仮定による 1 次元増幅率を乗じて自由表面における地震動を計算する。

表層地盤とは V_s が 500m/s 以下の地盤のことで浅い地盤のことである。

初めの 3 つのプログラム(phs3sQ-v3.f, grflt12sx1-v13.f, grfftspx-N.f)の解析では含まれていない浅い地盤を含んだ解析を行うために multi5x-v2.exe を使用する。

1. 表層地盤のデータについて

計算に使用する地盤データは「表 6 接続表層地盤データ.xlsx」に 26 ヶ所分添付している。

一例として白井 (chb003) を挙げる。

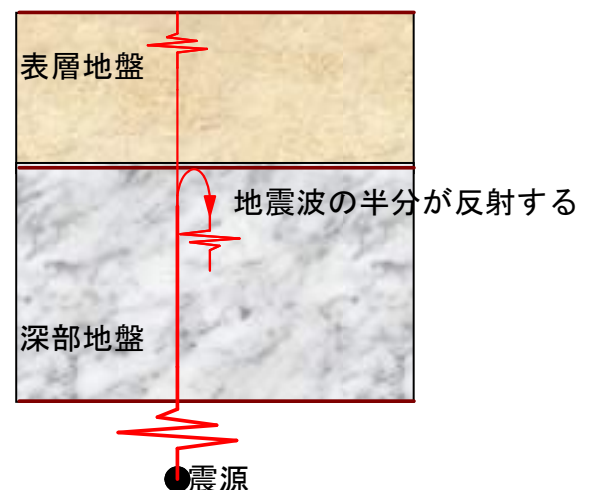
白井(chb003)				
V_p (m/s)	V_s (m/s)	ρ (t/m ³)	層厚(m)	上面深さ(m)
340	105	1.75	3	0
340	125	1.62	4	3
570	125	1.61	2	7
1500	225	1.72	7	9
1780	355	1.93	4	16
1800	500	1.95	-	20

入力に必要な表層地盤データは上の表の要素と Q_{p0} , Q_{s0} , Q_{pf} , Q_{sf} である。 Q 値は慣用的に使用される $Q_s = V_s/15$ (振動数に依存しない一定 Q) として求めることができる。また $Q_p = 2 Q_s$ である。

表層地盤入力例

*** Data for Input Wave ***										
0 : Incident Wave Angle (degree; =0 for the vertical incident)										
1 : Choice of Input Data Type (=1: Theoretical Input Data, or =2: Data Observed at Borehole)										
*** Data for Medium ***										
6 NL (NUMBER OF LAYERS) (Note: Frequency-Dependent Q_i ; $Q_i(f) = Q_{i0} \times f^{**} Q_{if}$, and $Q_i(f) > Q_{i0}$, where $i=S$ and P)										
Layer Num	density(t/n)	V_p (m/s)	Q_{p0} ($Q_p(f)$)	Q_{pf}	V_s (m/s)	Q_{s0} ($Q_s(f)$)	Q_{sf}	Thickness(基底深さ)	備考	
1	1.746667	340	14	0	105	7	0	3	0	表6 接続表層地盤データ.xlsx より
2	1.6225	340	16.66667	0	125	8.333333	0	4	3	表6 接続表層地盤データ.xlsx より
3	1.61	570	16.66667	0	125	8.333333	0	2	7	表6 接続表層地盤データ.xlsx より
4	1.721429	1500	30	0	225	15	0	7	9	表6 接続表層地盤データ.xlsx より
5	1.9275	1780	47.33333	0	355	23.66667	0	4	16	表6 接続表層地盤データ.xlsx より
6	1.95	1800	1000	1	500	500	1	0	20	表6 接続表層地盤データ.xlsx より

地震波を工学的基盤から表層地盤を通して地表の点まで計算する(一次元増幅)にあたって、表層地盤に地震波が入るときに入射波と反射波に分け、半分だけが表層地盤まで入射すると考え振幅を半分にする。



実際にプログラムを起動させると以下のようになる。

```
Enter Wave Data (H1,H2,V1; e.g., wave.csv)
wave.csv
NT and DT= 16384 0.00499999989
IF1,NF= 14 16384
DUR,DOM,NOM,EOM= 81.9199982 0.0766990408 8193 628.395264
Highest Frequency (hz)= 100.012207
Enter Soil Data (e.g., soil_dat.csv)
soil.csv
From Subroutine SOILIN:
Incident Wave Angle (degree) = 0.
Input Wave Type = 1
(=1: Data of Theoretical Input Data in Bedrock
,=2: Data Observed at Borehole in Bedrock)
Total Number of Layers = 6
Layer,Density,Vp(real), Qp , Fp ,Vs(real), Qs , Fs ,thickness(m)
1 1.747 340.00 14.000 0.000 105.00 7.000 0.000 3.000
2 1.622 340.00 16.667 0.000 125.00 8.333 0.000 4.000
3 1.610 570.00 16.667 0.000 125.00 8.333 0.000 2.000
4 1.721 1500.00 30.000 0.000 225.00 15.000 0.000 7.000
5 1.928 1780.00 47.333 0.000 355.00 23.667 0.000 4.000
6 1.950 1800.00 1000.000 1.000 500.00 500.000 1.000 0.000
You can integrate or differentiate the original wave.;
Do not change (Enter -> 0),
Integrate (Enter -> 1),
Differentiate (Enter -> 2):
0
Band Pass Filter? (Yes=1 or No=0) :
```

解析後、wave1.csv の名称の波形データが出力される。