

## 模擬地震動の作成 WGEN

プログラムWGEN ( Simulated Wave Generation ) は、地震のマグニチュードと震央距離が与えられたとき、減衰定数 5% の大崎スペクトルを目標とし、これに適合する模擬地震動の加速度時刻歴を作成するサブルーチン副プログラムである。

### WGEN ( 模擬地震動の作成 )

#### 【目的】

地震のマグニチュードと震央距離が与えられたとき、減衰定数5%の大崎スペクトルに適合するように、解放基盤面上における模擬地震動の加速度時刻歴を作成する。

#### 【使用法】

##### (1) 接続方法

```
CALL WGEN ( EM , R , NN , IR , ACC , ND , DT , AMAX , VMAX , MXCYCL ,
           ERR , VW1 , VW2 )
```

| 引 数    | 型                    | プログラムを呼ぶときの内容                     | プログラムから戻ったときの内容            |
|--------|----------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| EM     | R                    | 地震のマグニチュード                        | 不 変                        |
| R      | R                    | 震央距離 ( 単位 km )                    | 不 変                        |
| NN     | I                    | 加速度時刻歴のデータ数                       | 不 変                        |
| IR     | I                    | 乱数を発生する関数副プログラムに初期値として与える整数       | 変化している                     |
| ACC    | R<br>1次元配列<br>( ND ) | 何も入れなくてよい                         | 模擬地震動の加速度時刻歴<br>( 単位 gal ) |
| ND     | I                    | 配列 ACC , VW1 , VW2 の整合寸法<br>ND NN | 不 変                        |
| DT     | R                    | 何も入れなくてよい                         | 加速度時刻歴の時間間隔<br>( 単位 sec )  |
| AMAX   | R                    | 何も入れなくてよい                         | 同 上 最大加速度 ( 単位 gal )       |
| VMAX   | R                    | 何も入れなくてよい                         | 同 上 最大速度 ( 単位 kine )       |
| MXCYCL | I                    | 逐次計算の最大繰り返し回数                     | 実際の繰り返し回数                  |
| ERR    | R                    | 許容誤差 ( 無次元小数 )                    | 実際の誤差 ( 無次元小数 )            |

|     |                    |           |        |
|-----|--------------------|-----------|--------|
| VW1 | R<br>1次元配列<br>(ND) | 何も入れなくてよい | (作業領域) |
| VW2 | R<br>1次元配列<br>(ND) | 何も入れなくてよい | (作業領域) |

## (2) 必要なサブルーチンおよび関数副プログラム

ENVL OHSP VELK FAST CRAC IACC ERES RAND

## (3) 注意事項

$NN$  は、4096を越えない2の累乗数でなければならない。

## 【計算法】

プログラムの構成は、およそ次のようになっている。

a) 引数 引数のうち、 $NN$ は作成する模擬地震動時刻歴におけるデ - タ数であって、4096を越えない2の累乗数とする。目的にもよるが、地震のマグニチュードに応じて、およそそのような $NN$ が適当であろう。2の累乗数でないデ - タ個数 $NN$ を希望する場合は、後続のゼロを付け加えた個数を、2の累乗数とすればよい。

| マグニチュード $M$           | 6     | 7     | 8     |
|-----------------------|-------|-------|-------|
| $NN$                  | 512   | 1024  | 2048  |
| 継続時間 $T_d$ (sec)      | 12.2  | 24.9  | 50.8  |
| 時間間隔 $\Delta t$ (sec) | 0.024 | 0.024 | 0.025 |

引数  $IR$  は、使用者が自分のライブラリから選び、プログラム中で引用する 0 ~ 1 間の一様分布乱数発生用関数副プログラム（ここでは、仮にその名前を  $RAND$  としている）を起動するため、 $RAND(IR)$  の形で与える初期値である。 $IR$  は単なる整数ではなく奇数、非負の整数あるいは負の整数など、プログラムによって、制限の設けられている場合が多い。初期値  $IR$  の値によって、同じ条件に対して、異なった地震動が作成できる。

引数  $ERR$  は、繰り返し計算を打ち切るための許容誤差であり、実用的な見地からいって、5%より小さくする必要はない。 $ERR=0.05$  の場合、計算は大体 4 ~ 6 回の繰り返しで収束するので、通常の場合、繰り返し計算の最大回数を与える引数  $MXCYCL$  は、10程度にしておけば十分であろう。

b) 位相差分 サブルーチン  $ENVL$  を呼び、継続時間  $T_d$  を求めて、時刻歴の時間間隔  $\Delta t$  を計算し、包絡曲線  $E(x)$  を、その両端つまり時刻 0 および  $T_d$  に対応する点 ( $x=0$  および  $x=1$ ) を含む 33 点、いい換えれば 0 ~ 1 間の  $x$  軸を 32 等分する点で定める。次に、包絡曲線の値  $E(x)$  を、0 から順次加算した上、累積確率密度分布  $EE(x)$  を求め、0 ~ 1 間に一様に分布する任意の乱数を  $p$  としたとき、 $EE(x)=p$  となる  $x$  の値を求める。

このことを、 $(NN/2-2)$  個の乱数について繰り返せば、0 ~ 1 間に分布する  $(NN/2-2)$  個の  $x$  の値の標本が得られるので、これらを 0 ~  $(-2\pi)$  間の分布に換算すれば、1 と組の位相差分  $PDIF$  すなわち  $\Delta\phi_k$  ( $k=1, 2, \dots, NN/2-2$ ) が定まる。このような位相差分の分布形は、包絡曲線の形と似たものになり、したがって、作成される模擬地震動は、近似的にサブルーチン  $ENVL$  によって与えられた包絡形を有するものになると期待してよい。

c) 位相角 位相差分が決まれば、位相角  $PHI$  は、 $PHI(1)$  は無視してもよく、 $PHI(2)$  を

$\phi_2 = 0$  と仮定すれば，以下順次に

$$\phi_{k+1} = \phi_k + \Delta\phi_k \quad k = 2, 3, \dots, NN/2 - 2$$

で計算される．

d) 目標スペクトルとフ - リエ第1次近似  $NFOLD$  は，折曲げ点の番号である．ここではまず，各成分の振動周期

$$T_k = T_d / k \quad k = 2, 3, \dots, NFOLD$$

を計算する． $T_1$  は実際は  $T_d$  であるが，プログラム上は一応  $T_1 = 2T_2$  と仮定している．

目標スペクトルである大崎スペクトルは，外挿できないこともないが，本来は周期 0.02 ~ 2 sec の間で定義されたものであるから，周期がこの範囲に入る最小の次数  $KMIN$  と最大の次数  $KMAX$ ，範囲内に入る周期の個数  $NE$  を求める．

次に，サブルーチンOHSPを呼んで，各周期点  $T_k$  における減衰定数 0 % の速度応答スペクトル  $(S_v)_k^{h=0}$  を求め（上記の範囲外は 0 とする），これとフ - リエ振幅スペクトルが，近似的に等しいことを利用して，振幅  $F_k$  の第1次近似値とする．ついで，OHSPを再び呼んで，以後の目標スペクトルとなる減衰定数 5 % の速度応答スペクトル  $(S_v)_k^{\text{target}}$  を求めておく．

e) 繰り返し計算 まず 1 回目の繰り返し計算 ( $NCYCL = 1$ ) に入り， $F_k$  の第1次近似値と位相角  $\phi_k$  から，複素フ - リエ係数  $C_k$  を求め，これをフ - リエ逆変換して，加速度時刻歴  $ACC$  の第1次近似とする．

f) 基線補正 ここで，サブルーチンCRACを呼んで，加速度時刻歴の基線補正をしておくのが望ましい．補正後の時刻歴をフ - リエ変換し，改めて振幅  $F_k$  の第1次近似値を求める．

g) フ - リエ振幅の修正 基線補正した第1次近似の加速度時刻歴について，サブルーチンERESを呼び，減衰定数 5 % の速度応答スペクトル  $(S_v)_k$  を求めてみると，目標スペクトル  $(S_v)_k^{\text{target}}$  とは一致しない．そこで，両者の比

$$r(k) = (S_k)_k^{\text{target}} / (S_v)_k$$

を計算して，振幅  $F_k$  を  $F_k \rightarrow r(k) \cdot F_k$  と修正し，これを  $F_k$  の第2次近似値として，2 回目の繰り返し計算 ( $NCYCL = 2$ ) に入る．

h) 収束誤差 以下，同様な計算を繰り返し，繰り返し回数が所定の値 ( $MXCYCL$ ) に達した場合，あるいは誤差を表わす比率  $r(k)$  の 2 乗平均が，許容誤差  $ERR$  より小さくなったところで，計算を打ち切る．この時点で，配列  $ACC$  に格納されているデータが，求める模擬地震動の加速度時刻歴である．

プログラムの算法は，以上のとおりであるが，ここで，このプログラムに関連して，なお若干の事項を付け加えておく．

i) 引数  $IR$  に与える数値により，地震の同一のマグニチュード，同一の震央距離に対して，異なった地震動が作成できる．このプログラムによれば，作成された地震動の最大加速度・最大速度は， $IR$  の値にかかわらず，それぞれ別掲のプログラムOHACによって計算される最大加速度，VELKによって計算される最大速度と，それほどかけ離れたものとはならない筈であるが，できればごく近い値になることが望ましい．また，客観的な評価は難しいが，できれば，作成された地震動の形が，自然の地震動らしさをもっていることも，模擬地震動に要求される1つの条件であろう．

実際には，引数  $IR$  に適宜の値を与えながら，何回かの試行を繰り返し，これらの条件に合ったものを，目指していく訳である．よほど運が悪くないかぎり，おそらく10回以内の試行で，一応満足いく結果に，到達できるだろう．

ii) 前に d) 項で述べたとおり，このプログラムの算法では，まず各周期点  $T_k$  における減衰定



|     |   |      |     |
|-----|---|------|-----|
| 170 | CONTINUE  | WGEN | 53  |
|     | DO 180 K=2,NFOLD                                      | WGEN | 54  |
|     | IF(T(K).LE.2.) GO TO 190                              | WGEN | 55  |
| 180 | CONTINUE  | WGEN | 56  |
| 190 | KMIN=K  | WGEN | 57  |
|     | DO 200 K=KMIN,NFOLD                                   | WGEN | 58  |
|     | IF(T(K).LT.0.02) GO TO 210                            | WGEN | 59  |
| 200 | CONTINUE  | WGEN | 60  |
|     | KMAX=NFOLD  | WGEN | 61  |
|     | GO TO 220   | WGEN | 62  |
| 210 | KMAX=K-1  | WGEN | 63  |
| 220 | NE=KMAX-KMIN+1  | WGEN | 64  |
|     | DO 230 K=2,NFOLD                                      | WGEN | 65  |
|     | CALL OHSP(EM,R,H0,T(K),SV0,K-2)                       | WGEN | 66  |
|     | IF(K.LT.KMIN.OR.K.GT.KMAX) SV0=0.                     | WGEN | 67  |
|     | F(K)=SV0/TD   | WGEN | 68  |
| 230 | CONTINUE  | WGEN | 69  |
|     | DO 240 K=2,NFOLD                                      | WGEN | 70  |
|     | CALL OHSP(EM,R,H(1),T(K),SV(K),K-2)                   | WGEN | 71  |
|     | IF(K.LT.KMIN.OR.K.GT.KMAX) SV(K)=0.                   | WGEN | 72  |
| 240 | CONTINUE  | WGEN | 73  |
| C   |   | WGEN | 74  |
| C   | ITERATIVE COMPUTATION                                 | WGEN | 75  |
| C   |   | WGEN | 76  |
|     | ENN=1./REAL(NN)                                       | WGEN | 77  |
|     | NCYCL=0   | WGEN | 78  |
| 250 | NCYCL=NCYCL+1   | WGEN | 79  |
|     | C(1)=(0.,0.)  | WGEN | 80  |
|     | DO 260 K=2,NN2  | WGEN | 81  |
|     | C(K)=F(K)*CMLPX(COS(PHI(K)),SIN(PHI(K)))              | WGEN | 82  |
|     | C(NN+2-K)=CONJG(C(K))                                 | WGEN | 83  |
| 260 | CONTINUE  | WGEN | 84  |
|     | C(NFOLD)=F(NFOLD)*(1.,0.)                             | WGEN | 85  |
|     | CALL FAST(NN,C,4096,+1)                               | WGEN | 86  |
|     | AMAX=0.   | WGEN | 87  |
|     | DO 270 M=1,NN   | WGEN | 88  |
|     | ACC(M)=REAL(C(M))                                     | WGEN | 89  |
|     | AMAX=AMAX1(AMAX,ABS(ACC(M)))                          | WGEN | 90  |
| 270 | CONTINUE  | WGEN | 91  |
| C   |   | WGEN | 92  |
| C   | BASE LINE CORRECTION                                  | WGEN | 93  |
| C   |   | WGEN | 94  |
|     | CALL CRAC(DT,NN,AMAX,ACC,ND,VW1,VW2)                  | WGEN | 95  |
|     | DO 280 M=1,NN   | WGEN | 96  |
|     | C(M)=CMLPX(ACC(M),0.)                                 | WGEN | 97  |
| 280 | CONTINUE  | WGEN | 98  |
|     | CALL FAST(NN,C,4096,-1)                               | WGEN | 99  |
|     | DO 290 K=2,NFOLD                                      | WGEN | 100 |
|     | F(K)=CABS(C(K))*ENN                                   | WGEN | 101 |
| 290 | CONTINUE  | WGEN | 102 |
| C   |   | WGEN | 103 |
| C   | MODIFICATION OF FOURIER AMPLITUDES                    | WGEN | 104 |
| C   |   | WGEN | 105 |
|     | CALL ERES(1,H,1,NFOLD,T,2049,DT,NN,ACC,ND,2,VMAX,RES) | WGEN | 106 |
|     | DO 300 K=2,NFOLD                                      | WGEN | 107 |
|     | RR(K)=SV(K)/RES(K,1)                                  | WGEN | 108 |
|     | F(K)=F(K)*RR(K)                                       | WGEN | 109 |
| 300 | CONTINUE  | WGEN | 110 |
| C   |   | WGEN | 111 |
| C   | ERROR FOR CONVERGENCE                                 | WGEN | 112 |
| C   |   | WGEN | 113 |
|     | EPS=0.  | WGEN | 114 |
|     | DO 310 K=KMIN,KMAX                                    | WGEN | 115 |

```

          EPS=EPS+(1.-RR(K))**2                                WGEN 116
310  CONTINUE                                                WGEN 117
          EPS=SQRT(EPS/REAL(NE))                              WGEN 118
C
          IF(EPS.LE.ERR) GO TO 320                            WGEN 119
          IF(NCYCL.EQ.MXCYCL) GO TO 330                       WGEN 120
          GO TO 250                                           WGEN 121
320  MXCYCL=NCYCL                                           WGEN 122
330  ERR=EPS                                                 WGEN 123
          RETURN                                             WGEN 124
          END                                               WGEN 126

```

【使用例】 マグニチュード 7.3，震央距離 25.0 km の地震を想定し，解放基盤面上における模擬地震動（加速度時刻歴）を策定せよ．

[ 解 ]

プログラム：

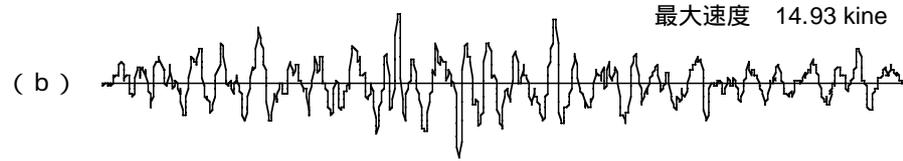
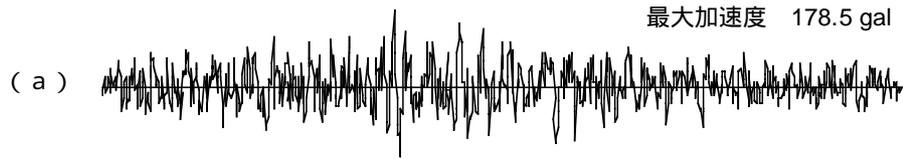
```

          DIMENSION ACC(1024),VEL(1024),VW1(1024),VW2(1024),T(513),H(1),      1
*          RES(513,1),VRES(513)                                             2
          DATA      EM/7.3/,R/25.0/,NN/1024/,H/0.05/                       3
          DATA      IR/101/,MCYCL/10/,ERR/0.05/                             4
C
          CALL WGEN(EM,R,NN,IR,ACC,1024,DT,AMAX,VMAX,MCYCL,ERR,VW1,VW2)      5
          CALL IACC(DT,NN,ACC,VEL,VW1,1024,VMAX,DMAX)                        6
          TD=10.** (0.31*EM-0.774)                                           7
          NFOLD=NN/2+1                                                         8
          DO 110 K=1,NFOLD                                                    9
          T(K)=TD/REAL(K)                                                    10
110  CONTINUE                                                                11
          DO 120 K=1,NFOLD                                                    12
          IF(T(K).LE.2.) GO TO 130                                           13
120  CONTINUE                                                                14
130  KMIN=K                                                                    15
          DO 140 K=KMIN,NFOLD                                                16
          IF(T(K).LE.0.02) GO TO 150                                         17
140  CONTINUE                                                                18
          KMAX=NFOLD                                                         19
          GO TO 160                                                           20
150  KMAX=K-1                                                                21
160  NE=KMAX-KMIN+1                                                         22
          DO 170 K=1,NE                                                       23
          T(K)=T(K+KMIN-1)                                                   24
170  CONTINUE                                                                25
          CALL ERES(1,H,1,NE,T,513,DT,NN,ACC,1024,2,VMAX,RES)              26
          DO 180 K=1,NE                                                       27
          VRES(K)=RES(K,1)                                                   28
180  CONTINUE                                                                29
          STOP                                                                30
          END                                                                31

```

アウトプット：結果は，模擬地震動の加速度時刻歴が，配列 ACC に格納されており，これを積分した速度時刻歴が配列 VEL に，また減衰定数 5% の速度応答スペクトルは，配列 VRES に格納されていて，プロットすれば，それぞれ下図 ( a ) ， ( b ) ， ( c ) のようになる．  
図 ( c ) に記入してある細線は，目標とした大崎スペクトルである．

マグニチュード  $M = 7.3$  震央距離  $R = 25.0$  km



(c) 速度応答スペクトル

