

JAERI-M

88-206

模擬地震波作成コード "WAGEN"

1988年10月

藤田 茂樹・鈴木 威祐*・馬場 治

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

JAERI-M レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問合せは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）
あて、お申しこしください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城
県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費領布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division, Department
of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun,
Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1988

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 山田軽印刷所

模擬地震波作成コード "W A G E N"

日本原子力研究所大洗研究所高温工学試験研究炉設計室

藤田 茂樹・鈴木 威祐^{*}・馬場 治

(1988年9月16日受理)

模擬地震作成コードWAGEN (WAve GENERator)を開発した。WAGENは設計用応答スペクトルを設定することにより、現在原子力分野での耐震解析において広く用いられている大崎の手法を用いて模擬地震波を作成するコードである。WAGENでは、最大速度、継続時間および振幅包絡線関数を設定した後、重ね合わせる振動数ごとにフーリエ振幅を調整しながら設計用応答スペクトルとの適合条件を満足するまで反復計算をするものである。本報はWAGENの機能、計算方法および使用例について記述したものである。

Computer Code "WAGEN" for the generation
of Artificial Earthquake Ground Motions

Shigeki FUJITA, Takehiro SUZUKI* and Osamu BABA

HTTR Designing Laboratory
Oarai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received September 16, 1988)

WAGEN is a computer code for the generation of artificial Earthquake Ground Motions utilized for the aseismic design of nuclear power facilities.

WAGEN is developed on the basis of the procedure proposed by Dr. Ohsaki. An artificial earthquake ground motion generated in such a way that the response spectrum shows good fitting to the design response spectrum.

This report presents main features, numerical procedure, manual of the code and an example of usage.

Keywords : Aseismic Design, Basic Design Earthquake Ground Motion,
Artificial Earthquake Ground Motion

* Hazama-Gumi, Ltd.

目 次

1.はじめに.....	1
2.計算方法.....	1
2.1 地震動の指標.....	1
2.1.1 最大速度.....	1
2.1.2 継続時間.....	2
2.1.3 振幅包絡線関数.....	2
2.1.4 応答スペクトル.....	2
2.2 基本フロー.....	3
2.3 振幅修正法.....	3
2.4 収束条件.....	3
2.5 フーリエ変換, 逆変換.....	4
2.6 応答スペクトル計算.....	4
3.使用方法.....	4
3.1 入力フォーマット.....	4
3.1.1 タイトル.....	5
3.1.2 地震動諸元.....	5
3.1.3 収束計算のパラメータ.....	7
3.1.4 出力の指定.....	8
3.1.5 データの終了.....	8
3.2 模擬地震波の作成例.....	8
謝　　辞.....	9
参考文献.....	10

Contents

1. Preface	1
2. Numerical Procedure	1
2.1 Index of Earthquake Wave	1
2.1.1 Maximum Velocity	1
2.1.2 Duration Time	2
2.1.3 Envelop Function	2
2.1.4 Response Spectrum	2
2.2 Fundamental Flow	3
2.3 Procedure of Amplitude Modification	3
2.4 Condition of Convergence	3
2.5 Fourie Tranform, Inverse Fourie Transform	4
2.6 Response Spectrum	4
3. Manual of Usage	4
3.1 Input Format	4
3.1.1 Title	5
3.1.2 Features of Earthquake Wave	5
3.1.3 Parameter of Interaction Procedure	7
3.1.4 Designation of Output	8
3.1.5 Ending Data	8
3.2 Example of Usage	8
Acknowledgement	9
References	10

1. はじめに

WAGEN (WAve GENerator) は耐震設計のための設計用模擬地震波を作成するコードである。概要を Table 1.1 に示す。

高温工学試験研究炉施設の耐震設計においては、発電用原子炉施設と同様の考え方に基づき静的地震力と動的地震力の両方について検討する。

このうち動的地震力については敷地に対して基準地震動を策定し、これを解放基盤表面に設定した上で、地盤及び建家の地震応答解析を実施して評価する。基準地震動の策定においては、敷地及びその周辺地域に影響を与えた過去の地震、周辺の活断層等の調査を行ない、想定すべき地震のマグニチュードと震源位置等を決定する。そしてこれらのマグニチュードと震源位置等とともに模擬地震波を作成するが、本コードはこのときに使用するものである。

作成方法は、いわゆる「大崎の手法」⁽¹⁾に従い、最大速度振幅、継続時間および振幅包絡線関数を設定した後、重ね合わせる振動数ごとにフーリエ振幅を調整しながら、設計用応答スペクトルとの適合条件を満足するまで反復計算する。位相スペクトルは観測地震波あるいは乱数により設定でき、最大速度振幅は金井式により、継続時間は久田式によりそれぞれ推定する。地震動の非定常性を与える振幅包絡線関数には Jennings 型のモデルを用いている。

2. 計 算 方 法

2.1 地震動の指標

発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（原子力安全委員会、昭和 56 年）⁽²⁾によれば、基準地震動は次の 3 つの特性が適切であると認められなければならないとされている。

- i) 地震動の最大振幅
- ii) 継続時間
- iii) 振幅包絡線関数
- iv) 応答スペクトル

以下に本コードで用いている各指標の計算式について簡単に説明する。

2.1.1 最大速度

構造物を破壊するエネルギーに直結する指標としては、最大加速度よりも最大速度の値が用いられる。最大速度振幅は金井式⁽³⁾で推定する。

$$V_{\max} = 10^{0.61M - (1.66 + 3.60/X)\log_{10}X - (0.631 + 1.83/X)} \quad [\text{cm/sec}] \quad \dots\dots(1)$$

1. はじめに

WAGEN (WAve GENerator) は耐震設計のための設計用模擬地震波を作成するコードである。概要を Table 1.1 に示す。

高温工学試験研究炉施設の耐震設計においては、発電用原子炉施設と同様の考え方に基づき静的地震力と動的地震力の両方について検討する。

このうち動的地震力については敷地に対して基準地震動を策定し、これを解放基盤表面に設定した上で、地盤及び建家の地震応答解析を実施して評価する。基準地震動の策定においては、敷地及びその周辺地域に影響を与えた過去の地震、周辺の活断層等の調査を行ない、想定すべき地震のマグニチュードと震源位置等を決定する。そしてこれらのマグニチュードと震源位置等とともに模擬地震波を作成するが、本コードはこのときに使用するものである。

作成方法は、いわゆる「大崎の手法」⁽¹⁾に従い、最大速度振幅、継続時間および振幅包絡線関数を設定した後、重ね合わせる振動数ごとにフーリエ振幅を調整しながら、設計用応答スペクトルとの適合条件を満足するまで反復計算する。位相スペクトルは観測地震波あるいは乱数により設定でき、最大速度振幅は金井式により、継続時間は久田式によりそれぞれ推定する。地震動の非定常性を与える振幅包絡線関数には Jennings 型のモデルを用いている。

2. 計 算 方 法

2.1 地震動の指標

発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（原子力安全委員会、昭和 56 年）⁽²⁾によれば、基準地震動は次の 3 つの特性が適切であると認められなければならないとされている。

- i) 地震動の最大振幅
- ii) 継続時間
- iii) 振幅包絡線関数
- iv) 応答スペクトル

以下に本コードで用いている各指標の計算式について簡単に説明する。

2.1.1 最大速度

構造物を破壊するエネルギーに直結する指標としては、最大加速度よりも最大速度の値が用いられる。最大速度振幅は金井式⁽³⁾で推定する。

$$V_{\max} = 10^{0.61M - (1.66 + 3.60/X)\log_{10}X - (0.631 + 1.83/X)} \quad [\text{cm/sec}] \quad \dots\dots(1)$$

M : マグニチュード

X : 震源距離 [km]

2.1.2 継続時間

地震のマグニチュードが大きければ、地震動の継続時間も長くなる。この関係は久田式⁽⁴⁾で推定する。

$$T_d = 10^{0.31M - 0.774} \text{ [sec]} \quad \dots\dots(2)$$

M : マグニチュード

上式では T_d は、主要動の立上り点から振幅がピーク振幅の $1/10$ となるまでの時間

2.1.3 振幅包絡線関数

地震動の非定常性を表わす振幅包絡線関数には多くの提案式があるが、本コードでは Fig. 2.1 に示す Jennings 型の包絡線を用いている。

実地震動の非定常性は振動数領域における位相スペクトルと深い関係があり、実地震動のフーリエ位相スペクトルを使用すれば、振幅包絡線関数を用いなくても、非定常な模擬地震波を得ることができる。本コードでは、フーリエ位相スペクトルとして乱数を使用した場合に限り、振幅包絡線関数を用いている。

2.1.4 応答スペクトル

地震動の周波数特性を表わすスペクトルは、我が国の軽水炉の耐震設計で広く使用されている大崎スペクトルとした。⁽⁵⁾ 大崎スペクトルは実地震動データを速度応答スペクトルの形で整理したもので、地盤のせん断波速度が 700 m/sec 以上である岩盤上に設置される剛構造物を対象とした、設計用標準応答スペクトルである。応答値は Duhamel 積分によって計算されている。⁽⁶⁾ 大崎スペクトルを Fig. 2.2 に示す。また、この他にコントロールポイントを任意に指定することも可能である。

本コードでは目標応答スペクトルとして、大崎スペクトルから求めた擬似加速度応答スペクトルを用いる。減衰定数は 5% を標準とするが、特に指定すれば別の値とすることもできる。この場合は、Fig. 2.2 の最大応答速度 S_v の値を式(3)の係数 η を乗ずることによって修正する。

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta = \frac{1}{\sqrt{1 + 17(h - 0.05) \exp[-2.5T/Te]}}, \quad T \geq 0.1 \text{ sec} \\ \eta = 1.0 \quad , \quad T = 0.02 \text{ sec} \end{array} \right\} \dots\dots(3)$$

h : 減衰定数 [-]

T : コントロールポイントの周期 [sec]

Te : 地震動の有効継続時間 [sec]

ただし、 Te は次式で求められる。

$$Te = 10^{0.31M - 1.2} \quad \dots\dots(4)$$

また、 $T = 0.02 \text{ [sec]} \sim 0.1 \text{ [sec]}$ 間は線形補間により η を求める。

なお、大崎スペクトルは非減衰固有周期 $0.02 \text{ [sec]} \sim 2.0 \text{ [sec]}$ の範囲で定義されているので、これを越える範囲については、短周期側では加速度一定とし、長周期側は直線的に外挿することとした。

2.2 基本フロー

基本的なフローシートを Fig. 2.3 に示す。応答スペクトルから地震動を直接に求めることはできないので、このように、時刻歴を修正しながら、反復・収束計算を行なう。

2.3 振幅修正法

時刻歴はフーリエ振幅スペクトルとフーリエ位相スペクトルから、フーリエ逆変換によって求めることができる。このことから、ある応答スペクトルをもつような地震動を trial-and-error によって求めるときに、フーリエ振幅スペクトルのみを修正する方法が考えられ、これが現在広く用いられている。ここでは次式に従って、フーリエ振幅スペクトルを修正する。⁽⁷⁾

$$X'_i = \frac{X_i}{B_i} \quad (i = 1, 2, \dots, N_f) \quad \dots\dots(5)$$

$$\text{ただし } B_i = \frac{S_{Ai}}{O_{Ai}} \quad \dots\dots(6)$$

X_i : フーリエ振幅スペクトル

O_{Ai} : 目標加速度応答スペクトル

S_{Ai} : 地震動の加速度応答スペクトル

X'_i : 新しいフーリエ振幅スペクトル

N_f : 折返し振動数の番号

2.4 収束条件

応答スペクトルが一致しているかどうかを判断するための収束条件は次の通りとした。⁽⁷⁾

$$\textcircled{1} \quad B_i \geq 0.85$$

$$\textcircled{2} \quad |1 - \bar{B}| \leq 0.02$$

$$\textcircled{3} \quad \sigma_B \leq 0.05$$

B_i : 設計用加速度応答スペクトルに対する模擬地震波の加速度応答スペクトルの比

\bar{B} : B_i の平均値

σ_B : B_i の標準偏差

この 3 個の条件がすべて満たされたときに一致したものとみなす。フーリエ振幅が定義される

すべての振動数において収束判定を行なっている。収束判定する範囲を指定することもできる。

2.5 フーリエ変換, 逆変換

高速フーリエ変換を用いた。使用したプログラムは大崎によるFAST⁽⁸⁾である。

2.6 応答スペクトル計算

応答スペクトルは Duhamel 積分または直接積分によって計算する。直接積分には線形加速度法または Nigam-Jennings 法を用いることができる。⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾

積分法による応答スペクトルの違いの一例を Fig. 2.4 に示す。

大崎スペクトルを用いる場合、応答スペクトル計算は Duhamel 積分によることが望ましいが、Nigam-Jennings 法によっても結果は極めて良く一致する。このため本コードでは、積分方法が指定されなかった場合、Nigam-Jennings 法による直接積分が用いられる。

3. 使用方法

3.1 入力フォーマット

本コードの入力データは次の 3 種類に分けられる。

- i) 地震動諸元 (SPECIFICATION データ)
- ii) 収束計算のパラメータ (CONVERGENCE データ)
- iii) 出力の指定 (OUTPUT データ)

このうち地震動諸元のデータは必ず入力しなければならない。収束計算パラメータと出力指定のデータについては、入力されない場合はコード内で設定した標準値が使用される。入力データの構成例を Fig. 3.1 に示す。データは 1 カラム目から 50 カラム目までを用いて入力されるが、1 カラム目が ¥ マークのカードはコメントカードとして無視される。詳細な入力方法を以下に述べる。

すべての振動数において収束判定を行なっている。収束判定する範囲を指定することもできる。

2.5 フーリエ変換, 逆変換

高速フーリエ変換を用いた。使用したプログラムは大崎によるFAST⁽⁸⁾である。

2.6 応答スペクトル計算

応答スペクトルは Duhamel 積分または直接積分によって計算する。直接積分には線形加速度法または Nigam-Jennings 法を用いることができる。⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾

積分法による応答スペクトルの違いの一例を Fig. 2.4 に示す。

大崎スペクトルを用いる場合、応答スペクトル計算は Duhamel 積分によることが望ましいが、Nigam-Jennings 法によっても結果は極めて良く一致する。このため本コードでは、積分方法が指定されなかった場合、Nigam-Jennings 法による直接積分が用いられる。

3. 使用方法

3.1 入力フォーマット

本コードの入力データは次の 3 種類に分けられる。

- i) 地震動諸元 (SPECIFICATION データ)
- ii) 収束計算のパラメータ (CONVERGENCE データ)
- iii) 出力の指定 (OUTPUT データ)

このうち地震動諸元のデータは必ず入力しなければならない。収束計算パラメータと出力指定のデータについては、入力されない場合はコード内で設定した標準値が使用される。入力データの構成例を Fig. 3.1 に示す。データは 1 カラム目から 50 カラム目までを用いて入力されるが、1 カラム目が ¥ マークのカードはコメントカードとして無視される。詳細な入力方法を以下に述べる。

3.1.1 タイトル

	1 0	2 0	3 0	4 0	5 0
A	WAGEN				
B	TITLE		title		
C	¥	comment			

データの最初に付けるカードである。但しコメントカードは任意の個所に挿入できる。

カードの種類	カラム	変数型	変数名	内 容	default 値
A	1 ~ 5	英字	—	WAGEN と記入	—
B	1 ~ 5	英字	—	TITLE と記入	—
	11 ~ 50	英字	—	解析に付ける標題	—
C	1	英字	—	¥と記入 (コメントカードとなる)	—

3.1.2 地震動諸元 (Features of Earthquake Wave)

	1 0	2 0	3 0	4 0	5 0
A	SPECIFICATION				
B		TIME STEP		dt	
C		MAGNITUDE		m	
D		EPICENTER		De	
E		HYPOCENTER		Dh	
F		FOCAL DEPTH		d	
G 1		OBJECT	OHSAKI	ACCELERATION	
G 2		OBJECT	INPUT	ACCELERATION	
H 1	Ta(1)	Ta(2)	Ta(3)	Ta(4)	Ta(5)
H 2	Sv(1)	Sv(2)	Sv(3)	Sv(4)	Sv(5)
I		DAMPING		h	
J 1		PHASE	RECORD	nof	
J 2		PHASE	RANDOM		
J 3		PHASE	READ	nof	
K		ENVELOPE	JENNINGS		

地震動の諸元を入力するカードである。D, E, F のカードはこのうち 2 枚を入力するだけでもよい。このとき、残りの 1 つのデータはコード内で計算される。また、(G 1, G 2), (J 1 ~ J 3) のカードはそれぞれの中からどれか 1 つを選択する。K のカードは位相として J 2 及び J 3 のカードを選択した場合にのみ入力すればよい。

カードの種類	カラム	変数型	変数名	内 容	default 値
A	1 ~ 13	英字	—	SPECIFICATION と記入	—
B	11 ~ 19	英字	—	TIME STEP と記入	—
	31 ~ 40	実数	dt	時刻歴の時間刻み [sec]	0.0
C	11 ~ 19	英字	—	MAGNITUDE と記入	—
	31 ~ 40	実数	m	マグニチュード [-]	0.0
D	11 ~ 19	英字	—	EPICENTER と記入	—
	31 ~ 40	実数	De	震央距離 [km]	0.0
E	11 ~ 20	英字	—	HYPOCENTER と記入	—
	31 ~ 40	実数	Dh	震源距離 [km]	0.0
F	11 ~ 20	英字	—	FOCALDEPTH と記入	—
	31 ~ 40	実数	d	震源深さ [km]	0.0
G 1	11 ~ 16	英字	—	OBJECT と記入	—
	21 ~ 26	英字	—	OHSAKI と記入	—
	31 ~ 42	英字	—	ACCELERATION と記入	—
G 2	11 ~ 16	英字	—	OBJECT と記入	—
	21 ~ 26	英字	—	INPUT と記入	—
	31 ~ 42	英字	—	ACCELERATION と記入	—
H 1	1 ~ 50	実数	Ta(i)	コントロールポイントの周期 [sec]	0.0
H 2	1 ~ 50	実数	Sv(i)	速度スペクトル [cm/sec]	0.0
I	11 ~ 17	英字	—	DAMPING と記入	—
	31 ~ 40	実数	h	応答計算に用いる減衰定数 [-]	0.05
J 1	11 ~ 15	英字	—	PHASE と記入	—
	21 ~ 26	英字	—	RECORD と記入 (観測地震波の位相を使用)	—
	31 ~ 40	整数	nof	観測地震波を収めたファイル番号	0
J 2	11 ~ 15	英字	—	PHASE と記入	—
	21 ~ 26	英字	—	RANDOM と記入 (乱数位相を使用)	—
	31 ~ 40	整数	ix	乱数発生のための Seed	—
J 3	11 ~ 15	英字	—	PHASE と記入	—
	21 ~ 26	英字	—	READ と記入 (乱数位相をファイルから読み込む。)	—
K	11 ~ 18	英字	—	ENVELOPE と記入	—
	21 ~ 28	英字	—	JENNINGS と記入	—

3.1.3 収束計算のパラメータ (Parameter of Iteration Procedure)

	1 0	2 0	3 0	4 0	5 0
A	CONVERGENCE				
B		INTEGRATION		DUHAMEL	
B'		INTEGRATION		NEWMARK-B	beta
B''		INTEGRATION		NIGAM-JENNINGS	
C		CONDITION		WATABE	
D		ITERATION		nit	
E		RANGE	FREQUENCY	f 1	f 2
E'		RANGE	PERIOD	p 1	p 2

収束計算のパラメータを入力するコードである。B, B', B'' のカードはいずれかを選択する。いずれも入力されない場合には、B'' が指定されたものとみなす（2.6 参照）。E と E' のカードはどちらかを選択する（default = E'）。

カードの種類	カラム	変数型	変数名	内 容	default 値
A	1 ~ 11	英字	—	CONVERGENCE と記入	—
B	11 ~ 21	英字	—	INTEGRATION と記入	—
	31 ~ 37	英字	—	DUHAMEL と記入	—
B'	11 ~ 21	英字	—	INTEGRATION と記入	—
	31 ~ 39	英字	—	NEWMARK-B と記入	—
	41 ~ 50	実数	beta	Newmark の β	0.16666
B''	11 ~ 21	英字	—	INTEGRATION と記入	—
	31 ~ 44	英字	—	NIGAM-JENNINGS と記入	—
C	11 ~ 19	英字	—	CONDITION と記入	—
	31 ~ 36	英字	—	WATABE と記入	—
D	11 ~ 19	英字	—	ITERATION と記入	—
	31 ~ 40	整数	nit	収束計算の反復回数 (max = 999)	10
E	11 ~ 15	英字	—	RANGE と記入	—
	21 ~ 29	英字	—	FREQUENCY と記入	—
	31 ~ 40	実数	f 1	f 1 [Hz] から f 2 [Hz] の範囲で収束条件を適用する	0.0
	41 ~ 50	実数	f 2	件を適用する	0.0
E'	11 ~ 15	英字	—	RANGE と記入	—
	21 ~ 26	英字	—	PERIOD と記入	—
	31 ~ 40	実数	p 1	p 1 [sec] から p 2 [sec] の範囲で収束条件を適用する	0.02
	41 ~ 50	実数	p 2	条件を適用する	2.0

3.1.4 出力の指定 (Designation of Output)

	1 0	2 0	3 0	4 0	5 0
A	OUTPUT	p1			
B	PRINT	WAVE			
B"	PRINT	RESPONSE SPECTRUM			
B"	PRINT	OBJECT SPECTRUM			
C	FILE	WAVE			nof
C"	FILE	RESPONSE SPECTRUM			nof
C"	FILE	OBJECT SPECTRUM			nof
C"	FILE	RELATIVE ERROR			nof

出力を指定するカードである。必要なカードだけを入力する。

カードの種類	カラム	変数型	変数名	内 容	default 値
A	1 ~ 6	英字	—	OUTPUT と記入	—
	11 ~ 14	英字	p1	入力データを印刷する場合 ECHO と記入	—
B ~ B"	11 ~ 15	英字	—	PRINT と記入	—
	31 ~ 40	英字	—	出力すべきデータを記入	—
C ~ C"	11 ~ 21	英字	—	FILE と記入	—
	31 ~ 40	英字	—	出力すべきデータを記入	—
	41 ~ 50	整数	—	出力先のファイル番号	0

3.1.5 データの終了 (Ending Data)

	1 0	2 0	3 0	4 0	5 0
A	END				

データの最後に付けるカードである。

カードの種類	カラム	変数型	変数名	内 容	default 値
A	1 ~ 3	英字	—	END と記入	—

3.2 模擬地震波の作成例

本コードにより高温工学試験研究炉敷地のための基準地震動 S_2 の模擬地震波について検討した例を示す。

基準地震動 S_2 に考慮する地震として次の 3 つを想定した。

$S_2 - 1$ 活断層による地震 ($M = 7.5$, $d = 100 \text{ km}$)

$S_2 - 2$ 地震地体構造上考慮する地震 ($M = 7\frac{3}{4}$, $d = 50 \text{ km}$)

$S_2 - 3$ 直下地震 ($M = 6.5$, $X = 10 \text{ km}$)

これらの地震諸元に大崎スペクトルを適用し、包絡スペクトルを求めた結果を Fig. 3.2 に示す。

模擬地震波を作成する際の応答スペクトルは上記のスペクトルのコントロールポイント 5 つを直接入力とした。

位相特性は一様乱数で与え、Seed は 27000 とした。

地震波の継続時間及び包絡関数を求めるためのマグニチュードは 7.75, 時間刻みは 0.01 秒、収束判定の範囲は周期 0.02 ~ 2.0 秒とした。

Fig. 3.3 に WAGEN への入力データを示す。

Fig. 3.4 には出力結果を示す。所定の収束条件に対して 3 回の繰返し計算により収束している。

Fig. 3.5 に WAGEN の図化出力結果を示す。作成した模擬地震波の最大加速度は約 343 gal となっている。

謝 辞

本報告書の作成およびコード整備にあたっては、建設部鈴木偉之氏、東電設計時田一雄氏及び高温工学試験研究炉設計室プラントグループ諸氏に貴重な御助言を頂きました。末筆ながらここに感謝の意を表します。

3.2 模擬地震波の作成例

本コードにより高温工学試験研究炉敷地のための基準地震動 S_2 の模擬地震波について検討した例を示す。

基準地震動 S_2 に考慮する地震として次の 3 つを想定した。

$S_2 - 1$ 活断層による地震 ($M = 7.5$, $d = 100$ km)

$S_2 - 2$ 地震地体構造上考慮する地震 ($M = 7\frac{3}{4}$, $d = 50$ km)

$S_2 - 3$ 直下地震 ($M = 6.5$, $X = 10$ km)

これらの地震諸元に大崎スペクトルを適用し、包絡スペクトルを求めた結果を Fig. 3.2 に示す。

模擬地震波を作成する際の応答スペクトルは上記のスペクトルのコントロールポイント 5 つを直接入力とした。

位相特性は一様乱数で与え、Seed は 27000 とした。

地震波の継続時間及び包絡関数を求めるためのマグニチュードは 7.75, 時間刻みは 0.01 秒、収束判定の範囲は周期 0.02 ~ 2.0 秒とした。

Fig. 3.3 に WAGEN への入力データを示す。

Fig. 3.4 には出力結果を示す。所定の収束条件に対して 3 回の繰返し計算により収束している。

Fig. 3.5 に WAGEN の図化出力結果を示す。作成した模擬地震波の最大加速度は約 343 gal となっている。

謝 辞

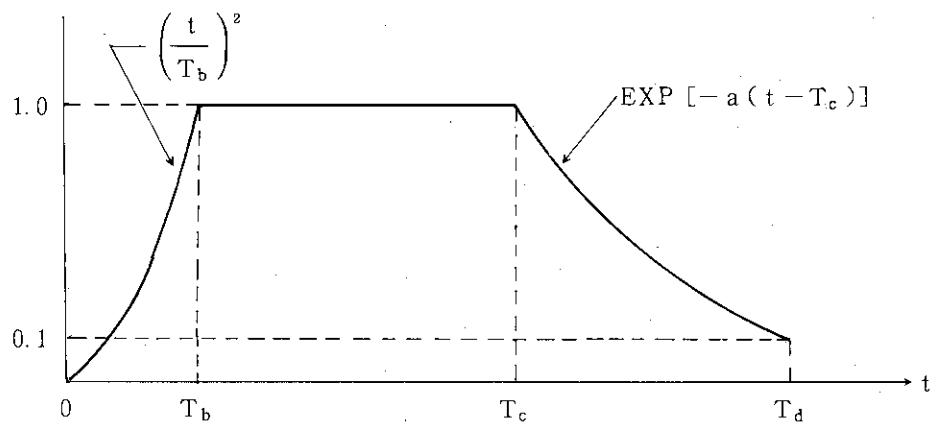
本報告書の作成およびコード整備にあたっては、建設部鈴木偉之氏、東電設計時田一雄氏及び高温工学試験研究炉設計室プラントグループ諸氏に貴重な御助言を頂きました。末筆ながらここに感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 大崎順彦：「設計用入力地震動」コンクリート工学, Vol. 19, No. 7, pp. 11～16, 1981
- (2) 原子力安全委員会：「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」, 昭和 56 年 7 月 20 日
- (3) 金井清他：「Expectancy of Maximum Velocity Amplitude of Earthquake Motions at Bed Rock」, 東京大学地震研究所彙報, Vol. 46, 1968
- (4) 津村建四郎：「東京大学地震研究所関東地震 50 周年論文集」, 1973
- (5) T. Hisada, Y. Ohsaki, M. Watabe and T. Ohta, 「Design Spectra for Stiff Structures on Rock」, Proc. Int. Conference on Microzonation for safer Construction, Vol. II, 1978
- (6) 大崎順彦：「原子力発電所設計用の基準地震動評価に関するガイドライン — 主として大崎スペクトルについて — 」, ORI 研究報告 84-01, 1984
- (7) 渡部丹, 藤堂正喜：「設計用模擬地震動に関する研究 その 3 耐震設計用 3 次元模擬地震動の作成」日本建築学会論文報告集, 第 321 号, pp. 17～27, 1982
- (8) 大崎順彦：「地震動のスペクトル解析入門」鹿島出版会, 1983
- (9) 柴田明徳：「最新 耐震構造解析」森北出版, 1981
- (10) Nigam, N. C. and Jennings, P. C. : 「Calculation of Response Spectra from Strong Motion Earthquake Records」, BSSA, vol. 59, No. 2, pp. 909-912, 1964

Table 1.1 Features of WAGEN

Description	
Total points of wave	≤ 4100
Max Number of Iteration	≤ 1000
Design Response Spectrun	Response Spectrum proposed by Dr. Ohsaki, or arbitrary Spectrum
Phase Characteristics	Uniform random number or phase of observed earthquake
Condition of Convergence	Condition by Watabe ⁽⁷⁾ et al
Damping Factor of Response Spectrum	arbitrary value. (default value 5%)
Maximun Velocity	value proposed by Kanai ⁽³⁾
Duration Time	value proposed by Hisada ⁽⁵⁾
Calculation of Response Spectrum	Duhamel Integration or Direct Integration



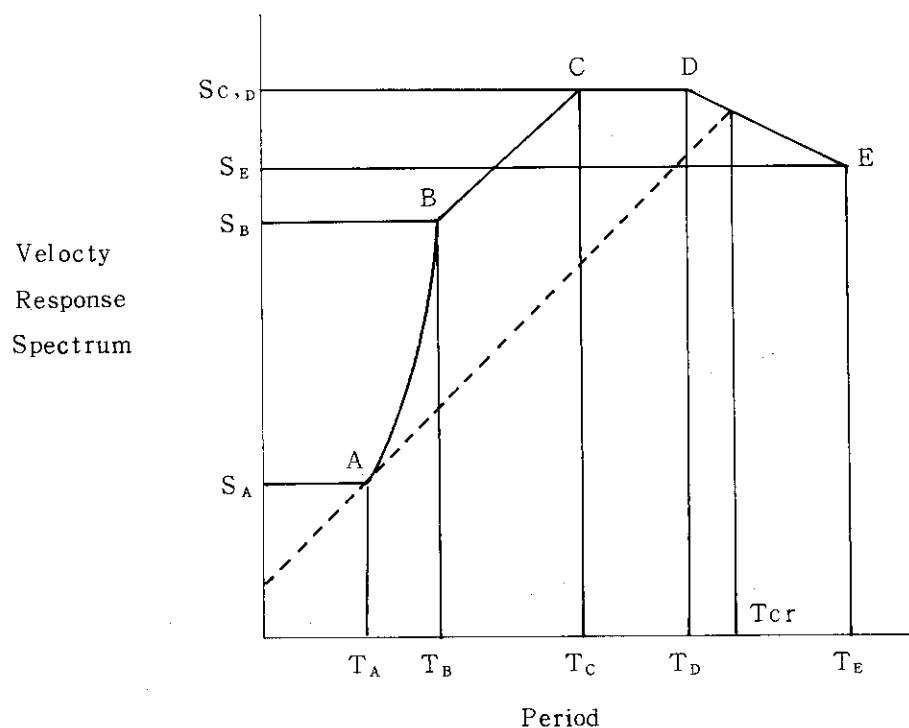
$$\frac{T_b}{T_d} = 0.16 - 0.04(M - 6)$$

$$\frac{T_c}{T_d} = 0.54 - 0.04(M - 6)$$

where M : Magnitude

$$a : \frac{\ell_n 10}{T_d - T_c}$$

Fig. 2.1 Envelop Function (Jennings Type)



Earthquake	Magnitude	Epicentral Distance (km)	Control Points									
			A		B		C		D		E	
			T _A	S _A	T _B	S _B	T _C	S _C	T _D	S _D	T _E	S _E
Near	8	25	0.02	0.6	0.10	10	0.30	30	0.50	30		12
	7	10		0.7	0.10	11	0.23	24	0.45	24		7
	6	5		1.2	0.10	17	0.13	21	0.35	21		3
Intermediate	8	120	0.02	0.5	0.20	18	0.35	32	1.00	32		26
	7	45		0.5	0.13	11	0.33	28	0.80	28	2.0	19
	6	15		0.6	0.10	10	0.25	24	0.60	24		12
Far	8	350	0.02	0.5	0.22	26	0.37	44	1.20	44		42
	7	150		0.5	0.14	15	0.35	38	0.90	38		32
	6	60		0.6	0.10	10	0.33	33	0.70	33		20

Notes (1) Value "S" is normalized for Maximum Velocity 10 cm / sec

(2) Value "S" is presented for damping factor 5 %

Fig. 2.2 Response Spectrum proposed by Dr.Ohsaki

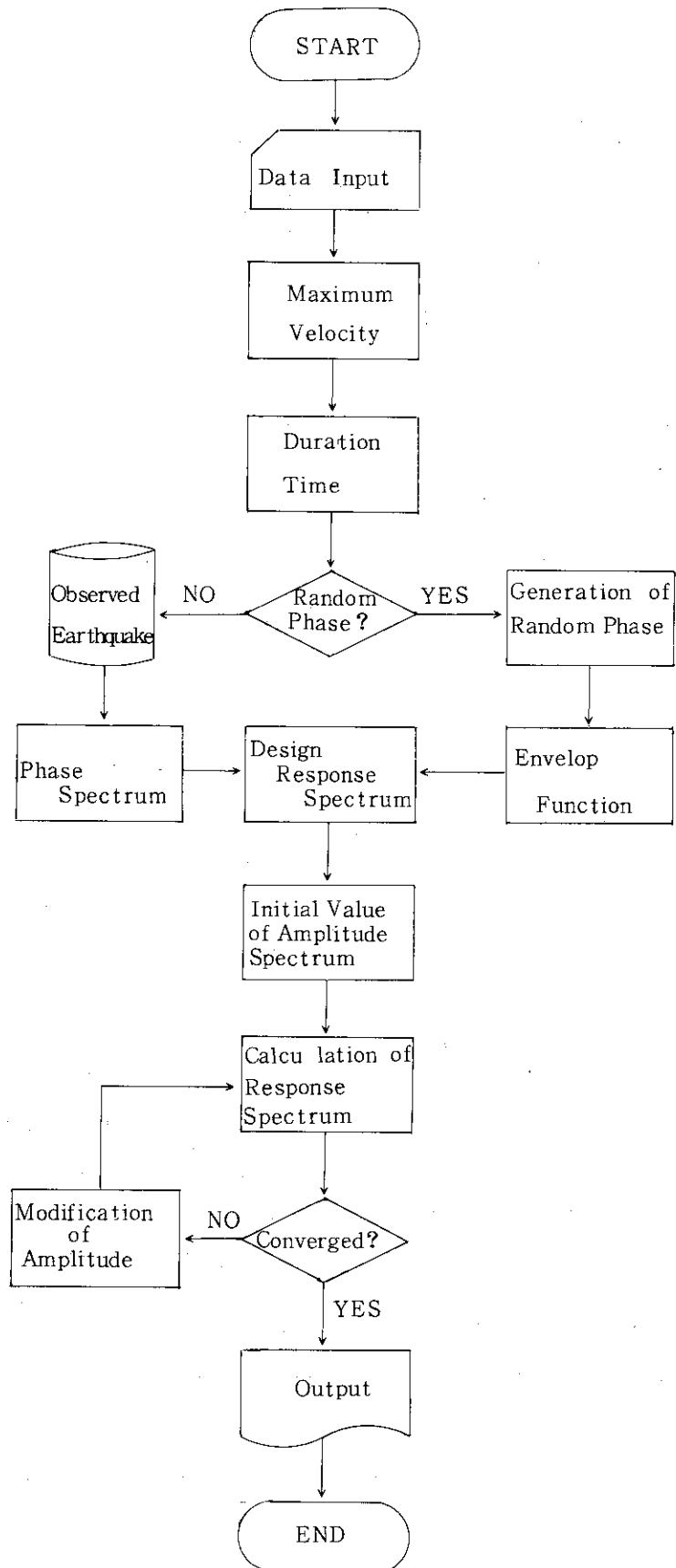


Fig. 2.3 Fundamental Flow

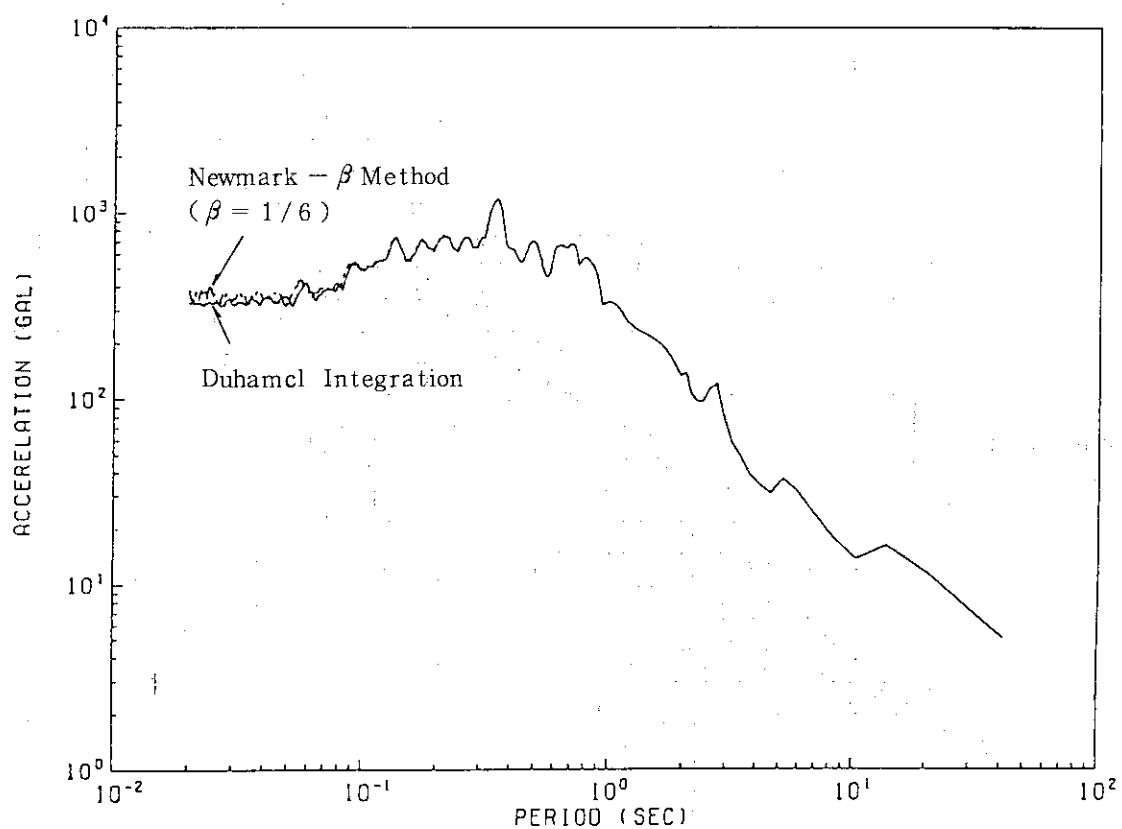


Fig. 2.4 Comparison of Response Spectrum Calculation (TAFT 1952 EW)

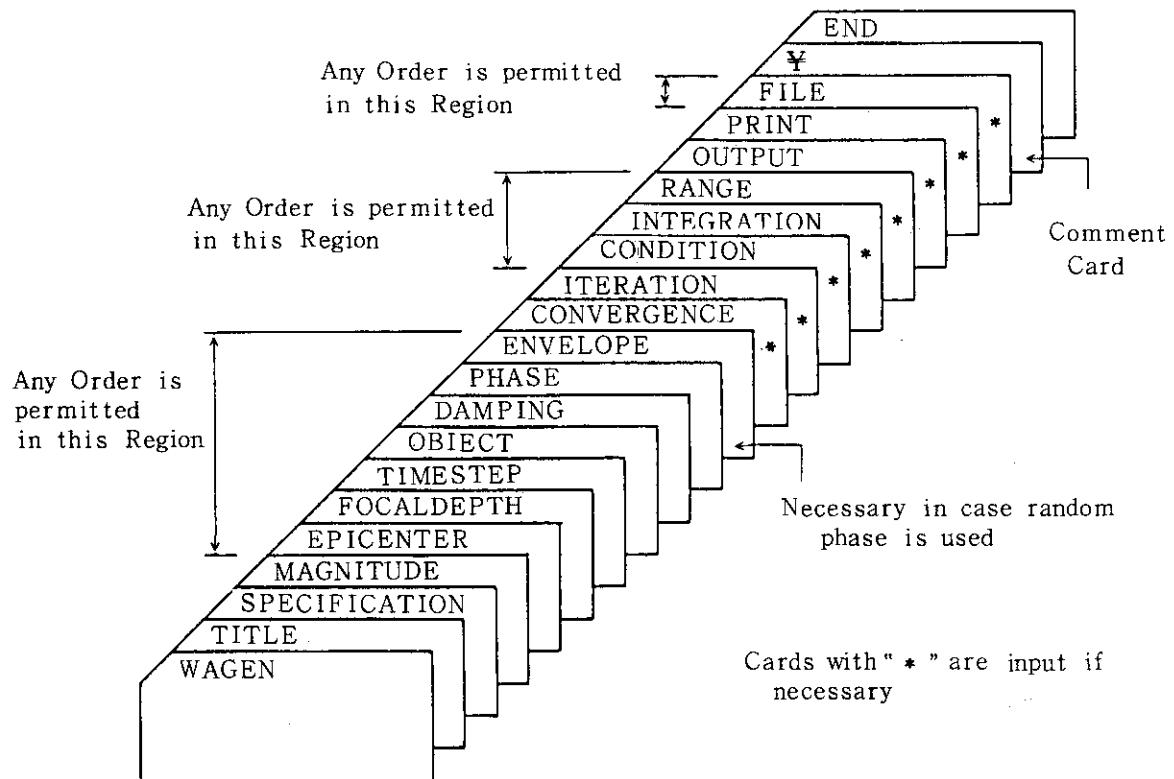
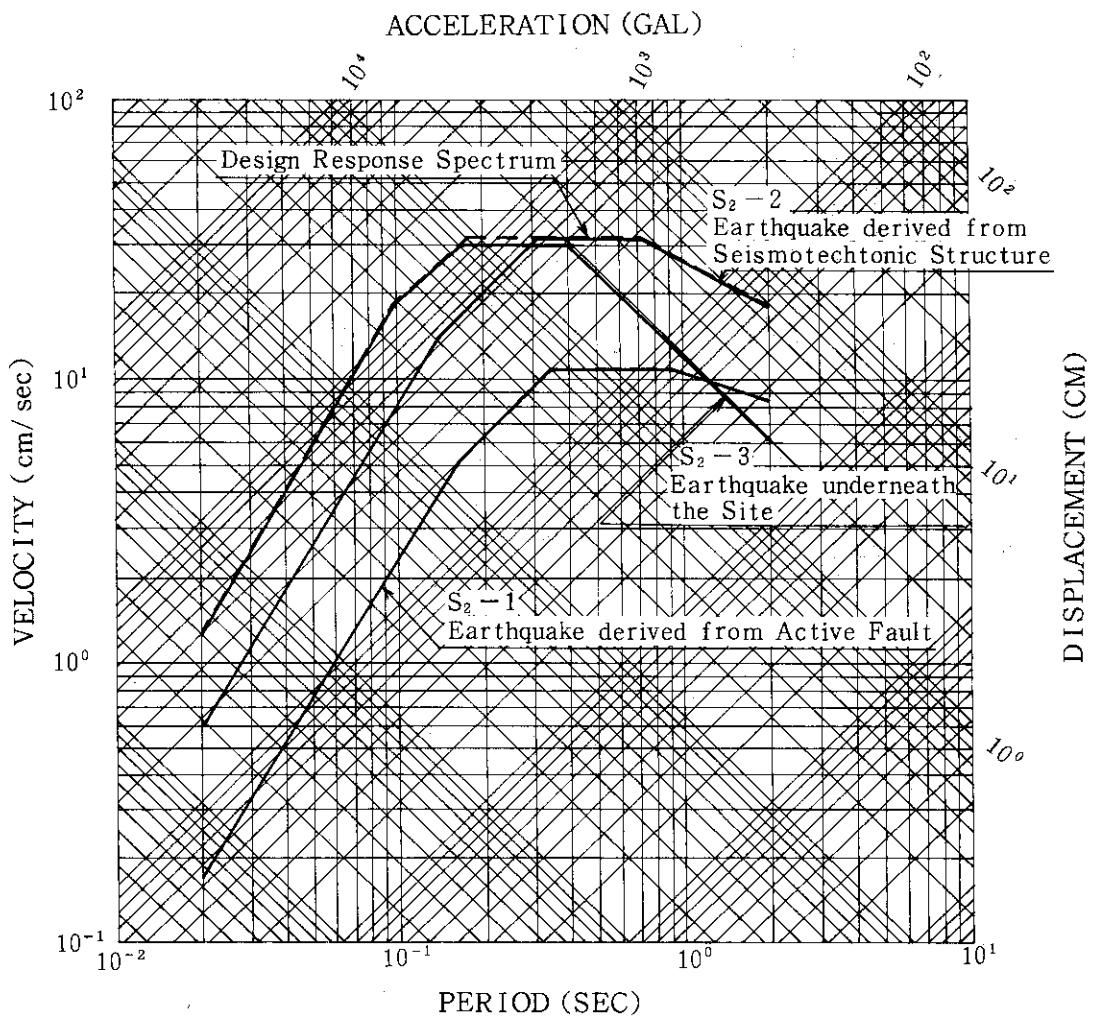


Fig. 3.1 Constitution of Input Data



	Control Points				
	A	B	C	D	E
T (sec)	0.02	0.10	0.19	0.72	2.00
S_v (cm/sec)	1.21	18.13	31.64	31.64	18.18

Fig. 3.2 Design Response Spectrum

W A G E N I N P U T D A T A

0----+---1----+---2----+---3----+---4----+---5----+---6----+---7----+---8

1 WAGEN
2 TITLE RANDOM PHASE (S2) 27
3 SPECIFICATION
4 TIME STEP 0.01
5 MAGNITUDE 7.75
6 EPICENTER 50.0
7 FOCALDEPTH 30.0
8 OBJECT INPUT ACCELERATION
9 0.02 0.10 0.186 0.72 2.00
10 1.210 18.13 31.64 31.64 18.18
11 DAMPING 0.05
12 PHASE RANDOM 27000
13 ENVELOPE JENNINGS
14 CONVERGENCE
15 INTEGRATION NIGAM-JENNINGS
16 CONDITION WATABE
17 ITERATION 50
18 RANGE PERIOD 0.02 2.00
19 OUTPUT ECHO
20 FILE WAVE
21 END

Fig. 3.3 Input Data for WAGEN

RANDOM PHASE (S2) 27

MAGNITUDE ----- 7.750 (-)
 EPICENTRAL DISTANCE ----- 50.000 (KM)
 HYPOCENTRAL DISTANCE ----- 58.310 (KM)
 FOCAL DEPTH ----- 30.000 (KM)
 DURATION TIME ----- 42.511 (SEC)

TIME STEP ----- 0.010 (SEC)
 NUMBER OF TIME STEPS ----- 4251 (-)
 NUMBER OF TIME STEPS FOR FFT ----- 8192 (-)
 DURATION TIME FOR FFT ----- 81.920 (SEC)

OBJECT SPECTRUM ----- INPUT ACCELERATION
 PHASE SPECTRUM ----- RANDOM
 DAMPING ----- 0.050 (-)
 ENVELOPE FUNCTION ----- JENNINGS

MAXIMUM VELOCITY ----- 0.0 (KINE)
 CONTROL POINT OF OHSAKI SPECTRUM
 PERIOD (SEC) ----- 0.0200 0.1000 0.1860 0.7200 2.0000
 ACCELERATION (GAL) ----- 1.2100 18.1300 31.6400 31.6400 18.1800

INTEGRATION METHOD ----- NIGAM-JENNINGS
 CONVERGENCE CONDITION ----- WATABE
 NUMBER OF ITERATION ----- 50
 RANGE OF INTEREST ----- 0.488 50.000 (HZ)
 ----- 0.020 2.048 (SEC)

RANDOM PHASE (S2) 27

ITERATION HISTORY

ITERATION NO.	RELATIVE ERROR	STANDARD DEVIATION	MAXIMUM ACCERELATION
	(-)	- (-)	(GAL)
1	-0.86166	0.03211	49.78184
2	-0.06962	0.05016	323.83570
3	-0.01859	0.03713	343.24559

Fig. 3.4 Output from WAGEN

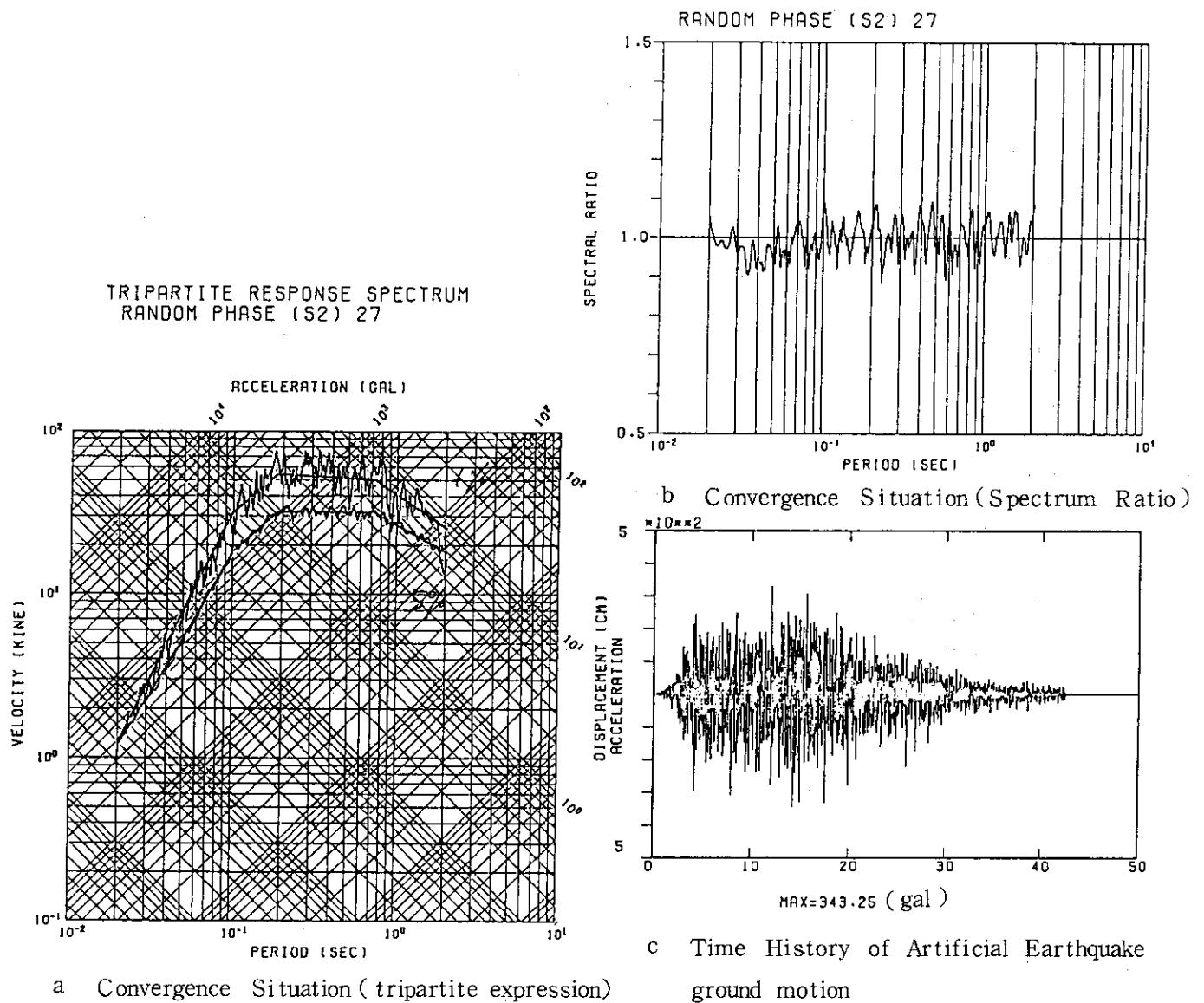


Fig. 3.5 Graphic output from WAGEN