

JAERI-M

5559

ETUDE - 1 : F F Tによる地震スペクトルおよび相関関数計算プログラム

1974年2月

幾島 毅

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

ETUDE-1 : FFTによる地震スペクトルおよび
相関関数計算プログラム

日本原子力研究所・動力炉開発管理室

幾 島 毅

(1974年1月21日受理)

地震波および構造物の地震応答の解析のため、計算プログラムETUDE-1が開発された。この計算プログラムの特徴はつぎのようなものである。

- (1) 計算できる項目は、フーリエ・スペクトル、パワ・スペクトル、クロス・パワ・スペクトル、自己相関関数、相互相関関数および伝達関数である。
- (2) 計算には高速フーリエ・変換(FFT)を使用している。
- (3) 入力データ形式は、カード、磁気テープおよびディスクのいずれによつても処理可能であり、またカードから入力する場合、データ形式は任意のものでよい。
- (4) 生のデータによる計算、または正弦波補間されたデータによる計算、いずれかを選択することができる。
- (5) 積分時間間隔を自由に選択できる。
- (6) 計算結果はグラフィック・プロッタによつて表示することができる。

この計算プログラムはFORTRAN IVによつて書かれており、FACOM 230-60によつて計算できる。

ETUDE-1: A Computer Program for Calculation of Spectrum
and Correlation of Seismic Using FFT

Takeshi IKUSHIMA

Office of Power Reactor Projects, Tokai, JAERI
(Received January 21, 1974)

A computer program ETUDE-1 has been prepared for analyzing seismic response of structures. Features of the program are as follows: (1) Calculable items are Fourier spectrum, power spectrum, cross-power spectrum, auto-correlation function, cross-correlation function and transfer function. (2) Numerical analysis is performed through the fast fourier transformer(FFT). (3) Any form of input data can be taken as the input, for example, in the forms of input data cards, tape and disk. In the case of data cards, data FORMAT is free from its format. (4) Either calculation by raw data or calculation by sine-interporated data can be performed. (5) Integral time mesh can be chosen without any restriction. (6) Calculation results can be represented with a graphic plotter. The program is written in FORTRAN IV and can be used with FACOM 230-60.

目 次

1. 緒 言	1
2. 理 論	1
2.1 高速フーリエ変換	1
2.2 パワ・スペクトルとクロス・パワ・スペクトル	3
2.3 伝 達 開 数	3
2.4 相 関 関 数	4
3. 計算プログラム	5
3.1 計算プログラムの特徴	5
3.2 計算プログラムの構成	5
3.3 入力および出力形式	6
3.4 計 算 例	7
4. 謝 辞	16
5. 参 考 文 献	16

1. 緒 言

地震応答解析および振動実験を行つた場合、時系列のデータが得られ、このデータによつてスペクトル解析、相関関数などを得ようとすることが多い。地震解析以外にも時間依存の現象の解析にはスペクトルおよび相関を求める必要がある。求めようとするスペクトルおよび相関にはつぎのものがある。

- (1) フーリエ・スペクトル
- (2) パワ・スペクトル
- (3) クロス・パワ・スペクトル
- (4) 自己相関関数
- (5) 相互相関関数
- (6) 伝達関数

(1) 著者が数年来、解析を進めているブロック状炉心の地震応答解析では、1組の計算によつて少くとも10000個程度またはそれ以上のデータが得られる。このデータから必要をスペクトルおよび相関関数を効率よく得ることが必要であつた。このため、高速フーリエ・変換⁽¹⁾を使用した、スペクトルおよび相関関数を計算するプログラムを開発した。

この計算プログラムを使用することによつて、多量のデータの解析が短時間でできる。この報告書は計算プログラムの概要と計算例について述べたものである。

2. 理 論

2.1 高速フーリエ変換

高速フーリエ変換⁽⁵⁾ (Fast Fourier Transform : FFTと略記)とは、フーリエ変換を効率的に行う方法である。N個のデータ系列 $\{x_n\}$ ($n=0, \dots, N-1$)のフーリエ変換

(Discrete Fourier Transform : DFTと略記)は

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \exp(-ik \frac{2\pi}{N} n) : (k=0, \dots, N-1), \quad (2.1)$$

であり、 X_k の逆フーリエ変換(Inverse Discrete Fourier Transform : IDFTと略記)は

$$x_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k \exp(ik \frac{2\pi}{N} n) : (n=0, \dots, N-1), \quad (2.2)$$

で表わされる。(2.1)式または(2.2)式を直接計算するとき、データ系列 x_n と指数計算との積の計算に冗長なものがある。FFTの計算はこの冗長な積の計算を取除いたものである。

FFTのアルゴリズムはCooleyとTukeyとによつて、データ数Nを $N=2^p$ の場合のアルゴリズムを示した。このためFFTアルゴリズムはCooley-Tukeyアルゴリズムと呼ばれることがある。このアルゴリズムについて以下に説明しよう。式(2.1)のうち

$$W = e^{-i \frac{2\pi}{N}}, \quad (2.3)$$

1. 緒 言

地震応答解析および振動実験を行つた場合、時系列のデータが得られ、このデータによつてスペクトル解析、相関関数などを得ようとすることが多い。地震解析以外にも時間依存の現象の解析にはスペクトルおよび相関を求める必要がある。求めようとするスペクトルおよび相関にはつぎのものがある。

- (1) フーリエ・スペクトル
- (2) パワ・スペクトル
- (3) クロス・パワ・スペクトル
- (4) 自己相関関数
- (5) 相互相関関数
- (6) 伝達関数

(1) 著者が数年来、解析を進めているブロック状炉心の地震応答解析では、1組の計算によつて少くとも10000個程度またはそれ以上のデータが得られる。このデータから必要なスペクトルおよび相関関数を効率よく得ることが必要であつた。このため、高速フーリエ変換⁽¹⁾を使用した、スペクトルおよび相関関数を計算するプログラムを開発した。

この計算プログラムを使用することによつて、多量のデータの解析が短時間でできる。この報告書は計算プログラムの概要と計算例について述べたものである。

2. 理 論

2.1 高速フーリエ変換

高速フーリエ変換⁽⁵⁾ (Fast Fourier Transform : FFTと略記)とは、フーリエ変換を効率的に行う方法である。N個のデータ系列 $\{x_n\}$ ($n=0, \dots, N-1$)のフーリエ変換

(Discrete Fourier Transform : DFTと略記)は

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \exp(-ik \frac{2\pi}{N} n) : (k=0, \dots, N-1), \quad (2.1)$$

であり、 X_k の逆フーリエ変換(Inverse Discrete Fourier Transform : IDFTと略記)は

$$x_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k \exp(ik \frac{2\pi}{N} n) : (n=0, \dots, N-1), \quad (2.2)$$

で表わされる。(2.1)式または(2.2)式を直接計算するとき、データ系列 x_n と指数計算との積の計算に冗長なものがある。FFTの計算はこの冗長な積の計算を取除いたものである。

FFTのアルゴリズムはCooleyとTukeyとによつて、データ数Nを $N=2^s$ の場合のアルゴリズムを示した。このためFFTアルゴリズムはCooley-Tukeyアルゴリズムと呼ばれることがある。このアルゴリズムについて以下に説明しよう。式(2.1)のうち

$$W = e^{-i \frac{2\pi}{N}}, \quad (2.3)$$

とおくと、式 (2.1) はつぎのように書きかえられる。

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n W^{kn} \quad (2.4)$$

N が任意因数に分解できるときにも以下の議論は成立つが、いま $N=2^3=8$ のときについて考えてみる。 k, n を2進数で表わすと、

$$\left. \begin{aligned} k &= k_2 k_1 k_0 = 2^2 k_2 + 2 k_1 + k_0 \\ n &= n_2 n_1 n_0 = 2^2 n_2 + 2 n_1 + n_0 \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

$$\begin{aligned} kn &= 2^3 \left\{ 2 k_2 n_2 + (k_2 n_1 + k_1 n_2) + \frac{1}{2} (k_2 n_0 + k_1 n_1 + k_0 n_2) \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{2^2} (k_1 n_0 + k_0 n_1) + \frac{1}{2^3} k_0 n_0 \right\} \end{aligned} \quad (2.6)$$

$W^N = 1$ であるから、

$$W^{kn} = W^4 (k_2 n_0 + k_1 n_1 + k_0 n_2) + 2 (k_1 n_0 + k_0 n_1) + k_0 n_0 \quad (2.7)$$

となり、式 (2.4) はつぎのようになる。

$$\begin{aligned} X_{k_2 k_1 k_0} &= \sum_{n_0=0}^1 W^{4k_2 n_0} \sum_{n_1=0}^1 W^{2k_1 n_1} \sum_{n_2=0}^1 W^{4k_0 n_2} x_{n_2 n_1 n_0} \\ &\quad \times W^{k_0 (2n_1 + n_0)} \sum_{n_2=0}^1 W^{4k_0 n_2} x_{n_2 n_1 n_0} \end{aligned} \quad (2.8)$$

ここで、

$$X_{k_0 n_1 n_0}^{(1)} \equiv W^{k_0 (2n_1 + n_0)} \sum_{n_2=0}^1 W^{4k_0 n_2} x_{n_2 n_1 n_0} \quad (2.9)$$

$$X_{k_0 n_1 n_0}^{(2)} \equiv W^{k_1 2n_0} \sum_{n_1=0}^1 W^{4k_1 n_1} X_{k_0 n_1 n_0}^{(1)} \quad (2.10)$$

$$X_{k_0 k_1 k_2}^{(3)} \equiv \sum_{n_1=0}^1 W^{4k_2 n_0} X_{k_0 n_1 n_0}^{(2)} \quad (2.11)$$

とおけば、 $X_k = X_{k_2 k_1 k_0}$ は

$$X_{k_2 k_1 k_0} = X_{k_0 k_1 k_2}^{(3)} \quad (2.12)$$

から得られる。

2進数 $k_0 n_1 n_0, k_0 k_1 n_0, k_0 k_1 k_2$ をそれぞれ p, q, r として式 (2.9) ~ (2.12) の関係を具体的に示せば Table 2.1 のようになる。

$N=2^3$ のときも、式 (2.8) ~ (2.12) と全く同じ関係が得られ、 W^T の値の計算や逆2進順序から2進順序への変換の計算などを別にすれば、直接DFTによる場合の N^2 項の積和の計算がFFTでは式 (2.9) ~ (2.11) に対応する式でそれぞれ $2N$ 個合計 $2NS = 2N \log_2 N$ の項数の計算となつて、計算時間は大幅に短縮される。

Table 2.1 $N = 2^3$ のときのFFTアルゴリズム

x_n	$X_p^{(1)}$	$X_q^{(2)}$	$X_r^{(3)}$	X_k
x_0	$x_0 + x_4$	$X_0^{(1)} + X_2^{(1)}$	$X_0^{(2)} + X_1^{(2)}$	$X_0^{(3)}$
x_1	$x_1 + x_5$	$X_1^{(1)} - X_3^{(1)}$	$X_0^{(2)} - X_1^{(2)}$	$X_4^{(3)}$
x_2	$x_2 + x_6$	$(X_0^{(1)} - X_2^{(1)})W^0$	$X_2^{(2)} + X_3^{(2)}$	$X_2^{(3)}$
x_3	$x_3 + x_7$	$(X_1^{(1)} - X_3^{(1)})W^2$	$X_2^{(2)} - X_3^{(2)}$	$X_6^{(3)}$
x_4	$(x_0 - x_4)W^0$	$X_4^{(1)} + X_6^{(1)}$	$X_4^{(2)} + X_5^{(2)}$	$X_4^{(3)}$
x_5	$(x_1 - x_5)W^1$	$X_5^{(1)} + X_7^{(1)}$	$X_4^{(2)} - X_5^{(2)}$	$X_5^{(3)}$
x_6	$(x_2 - x_6)W^2$	$(X_4^{(1)} - X_6^{(1)})W^0$	$X_6^{(2)} + X_7^{(2)}$	$X_3^{(3)}$
x_7	$(x_3 - x_7)W^3$	$(X_5^{(1)} - X_7^{(1)})W^2$	$X_6^{(2)} - X_7^{(2)}$	$X_7^{(3)}$

2.2 パワ・スペクトルとクロス・パワ・スペクトル

信号 x_n のパワは式 (2.2) から

$$\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |X_n|^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \left| \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{ik \frac{2\pi}{N} n} \right|^2 \tag{2.13}$$

で与えられ、スペクトルの各成分のパワ $|X_k|^2$ の総和の $1/N^2$ に等しい。したがって信号 x_n のパワの周波数成分の構成は $|X_k|^2$ をみればよい。この値

$$S_k^{XX} = X_k^* X_k = |X_k|^2 \tag{2.14}$$

を信号 x_n のパワ・スペクトルと呼ぶ。

ここで、 X_k^* は

$$X_k^* \equiv \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{ik \frac{2\pi}{N} n} \tag{2.15}$$

である。

式 (2.14) を2つの信号 x_n, y_n に拡張したもの、

$$S_k^{XY} = X_k^* Y_k \tag{2.16}$$

がクロス・パワ・スペクトルである。

2.3 伝達関数

FFTによつて入力信号 x_n と出力信号 y_n から伝達関数を求めるには、それぞれのスペクトル X_k, Y_k とすれば、つぎの式によつて求めることができる。

$$W_k = \frac{Y_k}{X_k} \tag{2.17}$$

伝達関数 W_k をクロス・パワ・スペクトルを利用することによつても得られる。式 (2.14)

(2.16) から、

$$W_k = \frac{X_k^* Y_k}{X_k X_k} = \frac{S_k^{XY}}{S_k^{XX}} \quad (2.18)$$

によつて求めることができる。

2.4 相関関数

自己相関関数 R_m^{XX} および相互相関関数 R_m^{XY} はつぎの式によつて求められる。

$$R_m^{XX} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_n^* x_{n+m} \quad (m = 0, \dots, N-1) \quad (2.19)$$

$$R_m^{XY} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_n^* y_{n+m} \quad (m = 0, \dots, N-1) \quad (2.20)$$

ここで、 x_n, y_n は $n \geq N$ の n に対して値が零になるものとする。

$$\hat{x}_n = \begin{cases} x_n : n = 0, \dots, N-1 \\ 0 : n = N, \dots, 2N-1 \end{cases} \quad (2.21)$$

$$\hat{y}_n = \begin{cases} y_n : n = 0, \dots, N-1 \\ 0 : n = N, \dots, 2N-1 \end{cases}$$

とおき、 \hat{x}_n, \hat{y}_n のフーリエ・スペクトルをそれぞれ \hat{X}_k, \hat{Y}_k としクロス・パワ・スペクトルを \hat{S}_k^{XY} とすると、

$$R_m^{XY} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_n^* y_{n+m} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \hat{x}_n^* \hat{y}_{n+m} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \left(\frac{1}{2N} \sum_{p=0}^{2N-1} \hat{X}_p e^{ip \frac{2\pi}{2N} n} \right)^* \times \left(\frac{1}{2N} \sum_{q=0}^{2N-1} \hat{Y}_q e^{iq \frac{2\pi}{2N} (n+m)} \right) = \frac{1}{N} \frac{1}{2N} \sum_p \hat{S}_k^{XY} e^{ik \frac{2\pi}{2N} m}$$

よつて

$$R_m^{XY} = \frac{1}{N} F^{-1} S_k^{XY} \quad (2.22)$$

ここで、 F^{-1} は逆フーリエ変換である。同じように R_m^{XX} はつぎの式によつて求められる。

$$R_m^{XX} = \frac{1}{N} F^{-1} S_k^{XX} \quad (2.23)$$

3. 計算プログラム

3.1 計算プログラムの特徴

この計算プログラムの主要な特徴は、汎用性と便利さを兼ねそなえていることである。これは、入力波の形式を自由に取れ、しかも入力データはインプット・カード、磁気テープおよび磁気ディスクのいずれからも読み込ますことができ、さらに入力データは等時間間隔のものでなくても処理できるように考慮されている。この計算プログラムは、すでに作成された地震応答解析プログラム^{(2)~(4)}の結果の処理にも便利をよりに作成されており、地震応答解析プログラムの応答値は磁気テープまたは磁気ディスクに保存され、スペクトルおよび相関解析プログラムのために使用される。

計算プログラムは計算機使用時間の節約を計るため、計算は高速フーリエ変換を使用している。この高速フーリエ変換は計算機の記憶容量を少なくするように作られており、計算機の有効使用が計られている。

入力データおよび計算結果はグラフィック・プロッタによつて描くことができ、計算結果の整理のはん雑さを無くしている。

計算結果のうちスペクトルおよび伝達関数は、周期または振動数のいずれかによつて表示することができ、利用の便利を計っている。

これらの特徴を列記すればつぎのようにまとめることができる。

(1) 計算できる項目はつぎのものである。

フーリエ・スペクトル

パワ・スペクトル

クロス・パワ・スペクトル

自己相関関数

相互相関関数

伝達関数

(2) 入力データ形式は、カード、磁気テープおよび磁気ディスクのいずれでもよい。カードから入力する場合、データ形式は任意のものでよい。

(3) 計算は生のデータまたは正弦波補間されたデータのいずれでもできる。

(4) 積分時間間隔は入力データにかかわらず、自由に決定できる。ただし、この場合、データは正弦波補間される。

(5) データをある区間にわたつて平均化して、そのデータを使用して計算できる。

(6) 入力データおよび計算結果はグラフィック・プロッタによつて表示することができる。

3.2 計算プログラムの構成

この計算プログラムはメイン・プログラムと24個のサブ・プログラムから構成されている。計算プログラムの構成図は Fig. 3.1に、計算の流れ図は Fig. 3.2に示されている。メイン・プログラムおよびサブ・プログラムはそれぞれつぎのようである。

- (1) MAIN: サブ・プログラム INPUT を呼び、問題の大きさによつて計算準備をする。
- (2) MAINX: それぞれのサブ・プログラムを制御し、計算を続行する。
- (3) HEADE1: 計算プログラム名を印刷する。
- (4) INPUT: 問題のタイトル、問題の大きさおよびオプションを読み込む。
- (5) DT SERE: 入力データの読み込みとそのデータの処理をする。
- (6) READW: 入力データ (FORMAT はプログラムの指示に従う) を読み込み、このデータをストアする。
- (7) SEDATA: 入力データ (インプット FORMAT に従う) を読み込み、このデータをストアする。
- (8) SEIWAV: 入力データを正弦波補間し、データを作りなおす。
- (9) INTERP: 正弦波補間の計算を行う。
- (10) VIEWSS: 入力データを描く。
- (11) TYPE1: 入力データを描く。
- (12) TYPE2: 入力データを描く。
- (13) VIEWWAV: 入力データを描く。
- (14) HSFFTS: 第1番目の入力波のフーリエ・スペクトル、パワー・スペクトルおよび自己相関関数を計算する。
- (15) HSFFT2: 第2番目の入力波のフーリエ・スペクトル、パワー・スペクトルおよび自己相関関数を計算する。
- (16) CPCCTF: クロス・パワー・スペクトル、相互相関関数および伝達関数の計算をする。
- (17) FOUR2S: 高速フーリエ変換の計算をする。
- (18) VIEWFT: スペクトルを描く。
- (19) VIEWFFT: 相関関数を描く。
- (20) VIWTRF: 伝達関数を描く。
- (21) VIEWST: プロッタのオープンをする。
- (22) TITL EE: 問題のタイトルを描く。
- (23) SCALEX: グラフを描く場合のデータ・スケールリングをする。
- (24) FINE: プロッタのクローズをする。
- (25) MSG: エラー・メッセージを出す。

3.3 入力および出力形式

3.3.1 入力形式

入力形式は Table 3.1 に示されている。入力データの種類は大別すれば、つぎのものから成立っている。

- (1) 計算時間 (sec)
- (2) 積分時間間隔 (sec)
- (3) データの平均のための時間間隔
- (4) 最大入力加速度

- (5) 入力データの形式とその処理
- (6) 計算実行の種類
 - (i) フーリエ・スペクトル
 - (ii) パワ・スペクトル
 - (iii) 自己相関関数
 - (iv) クロス・パワ・スペクトル
 - (v) 相互相関関数
 - (vi) 伝達関数
- (7) グラフィック・プロットに対する制御量
- (8) 入力波データ

入力データの1例は Table 3.2 に示されている。

3.3.2 出力形式

出力形式は1例として Table 3.3 に示されているように、つぎの項目から成立っている。

- (1) 3.3.1 に述べた入力データ
- (2) 地震波の基準化
- (3) 計算結果
 - (i) フーリエ・スペクトル
 - (ii) パワ・スペクトル
 - (iii) 自己相関関数
 - (iv) クロス・パワ・スペクトル
 - (v) 相互相関関数
 - (vi) 伝達関数
- (4) 計算結果のグラフィック・プロット

3.4 計算例

計算例は多目的高温ガス実験炉の原子炉格納容器の地震応答解析⁽⁴⁾の応答値を計算した。計算結果は Table 3.3 および Fig. 3.3 に示されている。

Table 3.1 Input list

Card No.	FORMAT	Variables	Descriptions
1	I1	LAST	Option for calculation continue. = 0 : Calculation continue. = 1 : Calculation stop.
	18A4	TITLE	Problem identification.
2	3F10.0	TFIN	Final time of calculation (sec).
		DT	Integral time mesh (sec).
		PMESH	Interval time for data averaging (sec).

Card No.	FORMAT	Variables	Descriptions
3	I 1	IPLT1	Option for plot. = 0 : Don't plotted. = 1 : Calculation results are plotted.
	I 5	IPLT2	Length of time axis, IPLT2 (mm/sec).
4	2F10.0	WITHX	Length of period or time axis, WITHX (mm) If this column is blank, WITHX = 200 mm Length of spectrum or correlation axis, WITHY (mm). If this column is blank, WITHY = 200 mm
5	F 10.0	GALMAX	Maximum acceleration (gal). If this column is blank or zero, multiplication factor of acceleration is 1.
6	15I3	IOPT(1)	Option for data interpolation. = 0 : Data are not interpolated. = 1 : Data are interpolated with sine wave.
		IOPT(2)	Option for input data device. = 0 : Data are read from input cards. = 1 : Data are read from disk or tape No. IOPT(4).
		IOPT(3)	Option for input data format. = 0 : Data cards are read according to program FORMAT. = 1 : Data cards are read according to input FORMAT.
		IOPT(4)	Data from disk or tape No. IOPT(4) (IOPT(4) = 2,3,4,8), standard seismic wave data is disk No.8.
		IOPT(5)	No - meaning.
		IOPT(6)	If many points data are stored in file No. IOPT(4), this option is used. IOPT(6) is number of points.

Card No.	FORMAT	Variables	Descriptions
		IOPT(7)	Selection option for calculation point from many points data. IOPT(7) is selected number from many points.
		IOPT(8)	Calculation option for fourier spectrum. = 0 : Don't calculated. = 1 : Fourier spectrum is calculated.
		IOPT(9)	Calculation option for power spectrum. = 0 : Don't calculated. = 1 : Power spectrum is calculated
		IOPT(10)	Calculation option for auto-correlation function. = 0 : Don't calculated. = 1 : Auto-correlation function is calculated.
		IOPT(11)	Calculation option for cross-power spectrum, cross-correlation function and transfer function. = 0 : Don't calculated. = 1 : Those term are calculated.
		IOPT(12)	No-meaning.
		IOPT(13)	No-meaning.
		IOPT(14)	No-meaning.
		IOPT(15)	Representation option for spectrum and correlation. = 0 : Period (sec). = 1 : Frequency (Hz).
7	13	IPLT3	Plot option for fourier spectrum. = 0 : Don't plotted. = 1 : Fourier spectrum is plotted.
		IPLT4	Plot option for power spectrum. = 0 : Don't plotted = 1 : Power spectrum is plotted.
		IPLT5	Plot option for auto-correlation function = 0 : Don't plotted. = 1 : Auto-correlation function is stored.

Card No.	FORMAT	Variables	Descriptions
8	I 4 18 A 4	NSES NAME(I) (I=1,18)	Identification number of stored data in file IOPT(4). Data name.
9	I 4, 6 X I 1, 9 X F 10. 0 10 A 4	NREC IWAVE D TW FMT (I) (I=1,10)	Recorded number of data. Option for input data. = 1 : Input data are card 10 A, 10 C. = 2 : Input data are card 10 B. Time interval of data. Only usable, if IWAVE is 1. Input data FORMAT. Only usable, if IOPT(3) is 1. If IOPT(2) is 1, card 9 is omitted.
10 A	10X, 5F10.3	WAVEIN(I) (I=1,NREC)	Acceleration (gal). Only usable, if IOPT(2) is 0, and IOPT(3) is 0.
10 B	3X, 4 (F 7.4, F 9.6)	TWAVE(I) WAVEIN(I) (I=1,NREC)	Time (sec). Acceleration (g). Only usable, if IOPT(2) is 0 and IOPT(3) is 0.
10 C	FMT	WAVEIN(I) (I=1,NREC)	Acceleration (gal). Only usable, if IOPT(2) is 0, IOPT(3) is 1. If IOPT(2) is 1, cards 10 A, 10 B, or 10 C are Omitted.
<p>Following cards 11~16 are necessary, if cross-power spectrum, cross-correlation function and transfer function are calculated (IOPT(4) is 1).</p>			
11	F 10. 0	GALMAX	Meaning is same as card 5.

Card No.	FORMAT	Variables	Descriptions	
12	15I3	IOPT(1)	Meaning is same as card 6.	
		IOPT(2)		
		IOPT(3)		
		IOPT(4)		
		IOPT(5)		
		IOPT(6)		
		IOPT(7)		
		IOPT(8)		
		IOPT(9)		
		IOPT(10)		
		IOPT(11)		Calculation option for cross-power spectrum. = 0 : Don't calculated. = 1 : cross-power spectrum is calculated.
		IOPT(12)		Calculation option for cross-correlation function. = 0 : Don't calculation. = 1 : Cross-correlation function is calculated.
IOPT(13)	Calculation option for transfer function = 0 : Don't calculated. = 1 : Transfer function is calculated.			
IOPT(14)	Option for repeated calculation. = 0 : Don't calculation. = 1 : Repeated calculation.			
IOPT(15)	Meaning is same as card 6.			
13	6I3	IPLT 3	Meaning is same as card 7.	
		IPLT 4		
		IPLT 5		
		IPLT 6	Plot option for cross-power spectrum. = 0 : Don't plotted. = 1 : Cross-power spectrum is plotted.	
		IPLT 7	Plot option for cross-correlation spectrum = 0 : Don't plotted. = 1 : Cross-correlation spectrum is plotted.	

Card No.	FORMAT	Variables	Descriptions
		IPLT 8	Plot option for transfer function. = 0 : Don't plotted = 1 : Transfer function is plotted.
14	I 4 18 A 4	NSES NAME (I)	} Meaning is same as card 8.
15	I 4, 6 X I 1, 9 X F 10.0 10 A 4	NREC IWAVE DTW FMT (I)	} Meaning is same as card 9.
16 A	10 X, 5 F 10.3	WAVEIN(I)	Meaning is same as card 16 A.
16 B	3 X, 4 (F 7.4, F 9.6)	TWAVE (I) WAVEIN(I)	} Meaning is same as card 16 B.
16 C	FMT	WAVEIN(I)	Meaning is same as card 16 C.
If IOPT(0) is 1, Cards 11 ~ 16 are repeated.			

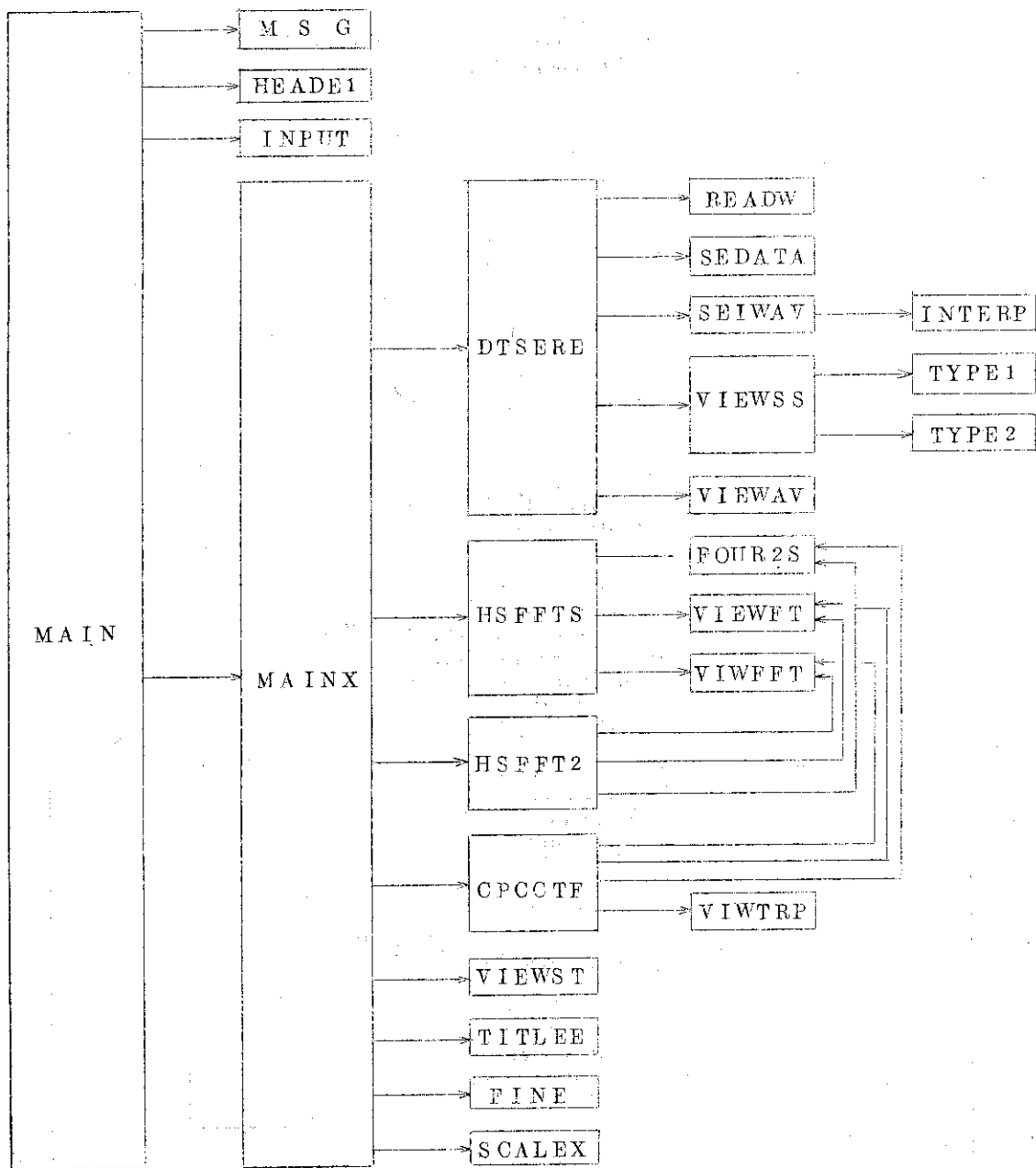


Fig. 3.1 Structure of calculation program ETUDE-1

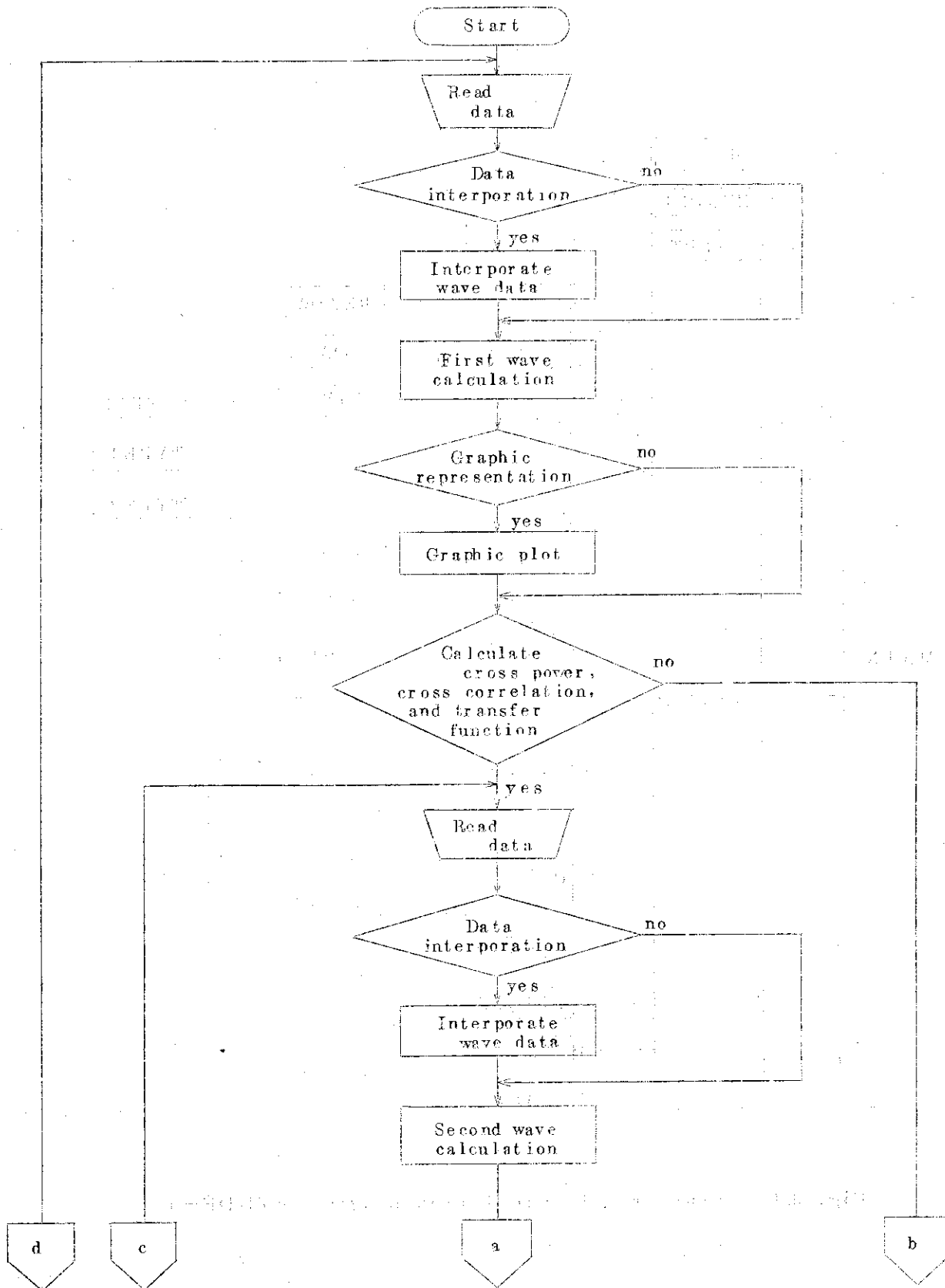


Fig. 3.2(1) Flow sheet of calculation

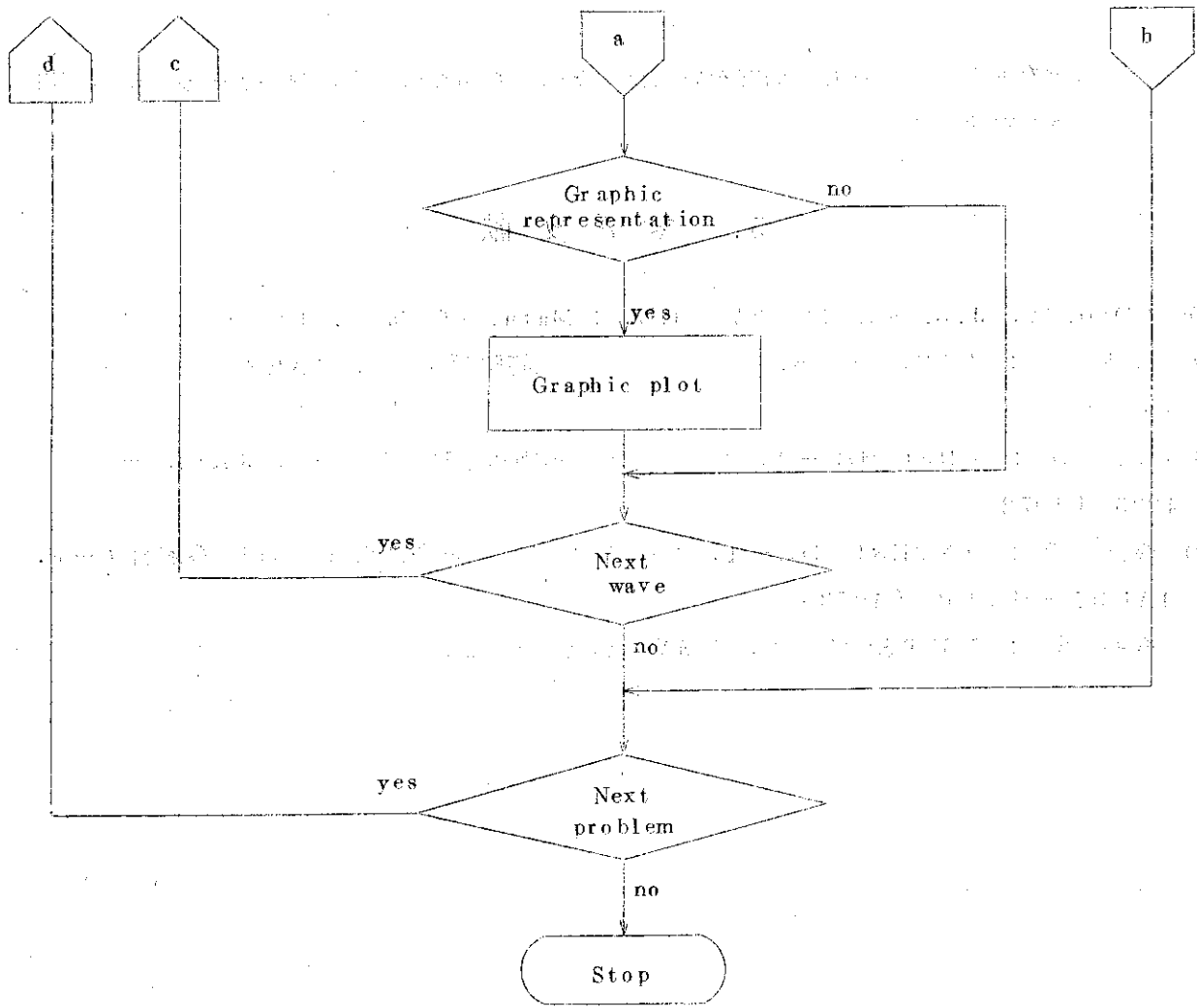


Fig. 3.2 (2) (Continued)

4. 謝 辞

この報告書をまとめるに際して助言をいただいた動力炉開発管理室熱中性子炉設計班長下川純一博士に深く感謝します。

5. 参 考 文 献

- (1) COOLEY, J.W. and TUKEY, J.W.: Math. of Comp. 19 -- 90, (1965)
- (2) 幾島 毅 : VIBSES - 6, 多質点系の地震応答解析コード, JAERI-M 4806 (1972)
- (3) 幾島 毅 : PRELUDE - 1, ブロック炉心の地震応答解析コード, JAERI-M 4905 (1972)
- (4) 幾島 毅 : INTERLUDE - 1, モード展開法による多質点系の地震応答解析コード, JAERI-M 5166 (1973)
- (5) 今井 聖 : FFTとその応用, IMV講習会 (1972)

4. 謝 辞

この報告書をまとめるに際して助言をいただいた動力炉開発管理室熱中性子炉設計班長下川純一博士に深く感謝します。

5. 参 考 文 献

- (1) COOLEY, J.W. and TUKEY, J.W. : Math. of Comp. 19 -- 90, (1965)
- (2) 幾島 毅 : VIBSES - 6, 多質点系の地震応答解析コード, JAERI-M 4806 (1972)
- (3) 幾島 毅 : PRELUDE - 1, ブロック炉心の地震応答解析コード, JAERI-M 4905 (1972)
- (4) 幾島 毅 : INTERLUDE - 1, モード展開法による多質点系の地震応答解析コード, JAERI-M 5166 (1973)
- (5) 今井 聖 : FFTとその応用, IMV講習会 (1972)

Table 3.2 Input list of sample problem

```

.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8
RESPONSE SPECTRUM EL CENTRO 40NS (MAX. 0.326 G)
10.27 0.01
1 20
  300.0 200.0
180.0
0 1 0 2 1 6 6 1 1 1 1
1 1 1
999 HTGR CONTAINER SEISMIC RESPONSE
0.0
0 1 0 2 1 6 5 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1
999 HTGR CONTAINER SEISMIC RESPONSE
1 LAST CARD
    
```

Table 3.3 Output list of sample problem

```

RESPONSE SPECTRUM EL CENTRO 40NS (MAX. 0.326 G)
** INPUT DATA **
1 PAGE/ 1 CASE

1. OPTION          FOR CALCULATION          FOR PLOTTING
DATA DEAL          NOT INTERPOLATION          PLOTTING          REPRESENTATION
INPUT DATA FROM  DISK/TAP          PLOTTING LENGTH  2D (MM/SEC)
INPUT DATA CARD  NO FORMAT          FOURIER SPECTRUM REPRESENTATION
DATA FROM DISK/TAPE NO. 2          POWER SPECTRUM  REPRESENTATION
DATA FROM DISK/TAPE 6 POINT DATA          AUTO-CORRELATION REPRESENTATION
SELECT NO. FROM MANY POINT 6
FOURIER SPECTRUM          EXECUTE
POWER SPECTRUM            EXECUTE
AUTO-CORRELATION          EXECUTE

2. TIME            DURATION TIME 10.2700 (SEC)
                   COMPUTE INTERVAL TIME 0.0100 (SEC)

3. INPUT WAVE      WAVE NAME
                   HTGR CONTAINER SEISMIC RESPONSE
                   GAL MAX          180.0 (GAL)

** EARTHQUAKE WAVE **
2 PAGE/ 1 CASE

HTGR CONTAINER SEISMIC RESPONSE
UPPER LIMIT OF AMPLITUDE (GAL) 180.000
MAXIMUM AMPLITUDE OF DATA (GAL) 179.848
MAGNIFICATION 1.001
    
```


** INPUT DATA **

Table with 10 columns labeled ACC(GAL) and 20 rows of numerical data, representing input data for case 3.

** INPUT DATA **

Table with 10 columns labeled ACC(GAL) and 20 rows of numerical data, representing input data for case 4.

** INPUT DATA **

Table with 10 columns of ACC(GAL) values ranging from approximately -489.1845 to 406.2784. The data is organized in 10 columns, each representing a different set of acceleration measurements.

** FOURIER SPECTRUM **

Table with 10 columns of PERIOD(SEC) and ACCEL.(GAL) values. Each row represents a specific period and its corresponding acceleration magnitude across the ten data series.

** AUTO-CORRELATION FUNCTION **

30 PAGE / 1 CASE

Table with 10 columns: TIME(SEC), CORRELATION, TIME(SEC), CORRELATION, TIME(SEC), CORRELATION, TIME(SEC), CORRELATION, TIME(SEC), CORRELATION. Contains 40 rows of data pairs.

** AUTO-CORRELATION FUNCTION **

31 PAGE / 1 CASE

Table with 10 columns: TIME(SEC), CORRELATION, TIME(SEC), CORRELATION, TIME(SEC), CORRELATION, TIME(SEC), CORRELATION, TIME(SEC), CORRELATION. Contains 40 rows of data pairs.

JAERI-M 5559

** AUTO-CORRELATION FUNCTION **

32 PAGE / 1 CASE

TIME(SEC)	CORRELATION	TIME(SEC)	CORRELATION	TIME(SEC)	CORRELATION	TIME(SEC)	CORRELATION	TIME(SEC)	CORRELATION
9.0000	0.0029	9.0100	0.0026	9.0200	0.0022	9.0300	0.0015	9.0400	0.0003
9.0500	-0.0012	9.0600	-0.0030	9.0700	-0.0047	9.0800	-0.0057	9.0900	-0.0058
9.1000	-0.0047	9.1100	-0.0026	9.1200	0.0002	9.1300	0.0031	9.1400	0.0037
9.1500	0.0072	9.1600	0.0074	9.1700	0.0061	9.1800	0.0035	9.1900	0.0002
9.2000	-0.0031	9.2100	-0.0059	9.2200	-0.0074	9.2300	-0.0077	9.2400	-0.0065
9.2500	-0.0040	9.2600	-0.0010	9.2700	0.0021	9.2800	0.0045	9.2900	0.0059
9.3000	0.0061	9.3100	0.0031	9.3200	0.0032	9.3300	0.0010	9.3400	-0.0011
9.3500	-0.0028	9.3600	-0.0037	9.3700	-0.0039	9.3800	-0.0034	9.3900	-0.0025
9.4000	-0.0014	9.4100	-0.0004	9.4200	0.0004	9.4300	0.0010	9.4400	0.0014
9.4500	0.0017	9.4600	0.0019	9.4700	0.0022	9.4800	0.0014	9.4900	0.0014
9.5000	0.0038	9.5100	-0.0002	9.5200	-0.0012	9.5300	-0.0022	9.5400	-0.0029
9.5500	-0.0031	9.5600	-0.0027	9.5700	-0.0017	9.5800	-0.0003	9.5900	0.0002
9.6000	0.0025	9.6100	0.0033	9.6200	0.0035	9.6300	0.0030	9.6400	0.0019
9.6500	0.0034	9.6600	-0.0011	9.6700	-0.0022	9.6800	-0.0029	9.6900	-0.0030
9.7000	-0.0024	9.7100	-0.0014	9.7200	-0.0001	9.7300	0.0011	9.7400	0.0020
9.7500	0.0024	9.7600	0.0023	9.7700	0.0017	9.7800	0.0008	9.7900	-0.0003
9.8000	-0.0012	9.8100	-0.0017	9.8200	-0.0019	9.8300	-0.0016	9.8400	-0.0010
9.8500	-0.0002	9.8600	0.0005	9.8700	0.0011	9.8800	0.0013	9.8900	0.0012
9.9000	0.0004	9.9100	0.0004	9.9200	-0.0002	9.9300	-0.0005	9.9400	-0.0008
9.9500	-0.0008	9.9600	-0.0006	9.9700	-0.0003	9.9800	-0.0000	9.9900	0.0002
10.0000	0.0003	10.0100	0.0004	10.0200	0.0003	10.0300	0.0002	10.0400	0.0001
10.0500	-0.0000	10.0600	-0.0001	10.0700	-0.0001	10.0800	-0.0001	10.0900	-0.0001
10.1000	-0.0000	10.1100	-0.0000	10.1200	0.0000	10.1300	0.0000	10.1400	0.0000
10.1500	0.0000	10.1600	0.0000	10.1700	0.0000	10.1800	0.0000	10.1900	0.0000
10.2000	0.0000	10.2100	-0.0000	10.2200	-0.0000				

* AUTO-CORRELATION FUNCTION END *

** CROSS POWER SPECTRUM **

33 PAGE / 1 CASE

PERIOD(SEC)	P-SPECTRUM	PERIOD(SEC)	P-SPECTRUM	PERIOD(SEC)	P-SPECTRUM	PERIOD(SEC)	P-SPECTRUM	PERIOD(SEC)	P-SPECTRUM
0.0100	0.0000	0.0100	0.0000	0.0100	0.0000	0.0100	0.0000	0.0100	0.0000
0.0101	0.0000	0.0101	0.0000	0.0101	0.0000	0.0101	0.0000	0.0101	0.0000
0.0102	0.0000	0.0102	0.0000	0.0102	0.0000	0.0102	0.0000	0.0102	0.0000
0.0103	0.0000	0.0103	0.0000	0.0103	0.0000	0.0103	0.0000	0.0103	0.0000
0.0104	0.0000	0.0104	0.0000	0.0104	0.0000	0.0104	0.0000	0.0104	0.0000
0.0105	0.0000	0.0105	0.0000	0.0105	0.0000	0.0105	0.0000	0.0105	0.0000
0.0106	0.0000	0.0106	0.0000	0.0106	0.0000	0.0106	0.0000	0.0106	0.0000
0.0107	0.0000	0.0107	0.0000	0.0107	0.0000	0.0107	0.0000	0.0107	0.0000
0.0108	0.0000	0.0108	0.0000	0.0108	0.0000	0.0108	0.0000	0.0108	0.0000
0.0109	0.0000	0.0109	0.0000	0.0109	0.0000	0.0109	0.0000	0.0109	0.0000
0.0110	0.0000	0.0110	0.0000	0.0110	0.0000	0.0110	0.0000	0.0110	0.0000
0.0111	0.0000	0.0111	0.0000	0.0111	0.0000	0.0111	0.0000	0.0111	0.0000
0.0112	0.0000	0.0112	0.0000	0.0112	0.0000	0.0112	0.0000	0.0112	0.0000
0.0113	0.0000	0.0113	0.0000	0.0113	0.0000	0.0113	0.0000	0.0113	0.0000
0.0114	0.0000	0.0114	0.0000	0.0114	0.0000	0.0114	0.0000	0.0114	0.0000
0.0115	0.0000	0.0115	0.0000	0.0115	0.0000	0.0115	0.0000	0.0115	0.0000
0.0116	0.0000	0.0116	0.0000	0.0116	0.0000	0.0116	0.0000	0.0116	0.0000
0.0117	0.0000	0.0117	0.0000	0.0117	0.0000	0.0117	0.0000	0.0117	0.0000
0.0118	0.0000	0.0118	0.0000	0.0118	0.0000	0.0118	0.0000	0.0118	0.0000
0.0119	0.0000	0.0119	0.0000	0.0119	0.0000	0.0119	0.0000	0.0119	0.0000
0.0120	0.0000	0.0120	0.0000	0.0120	0.0000	0.0120	0.0000	0.0120	0.0000
0.0121	0.0000	0.0121	0.0000	0.0121	0.0000	0.0121	0.0000	0.0121	0.0000
0.0122	0.0000	0.0122	0.0000	0.0122	0.0000	0.0122	0.0000	0.0122	0.0000
0.0123	0.0000	0.0123	0.0000	0.0123	0.0000	0.0123	0.0000	0.0123	0.0000
0.0124	0.0000	0.0124	0.0000	0.0124	0.0000	0.0124	0.0000	0.0124	0.0000
0.0125	0.0000	0.0125	0.0000	0.0125	0.0000	0.0125	0.0000	0.0125	0.0000
0.0126	0.0000	0.0126	0.0000	0.0126	0.0000	0.0126	0.0000	0.0126	0.0000
0.0127	0.0000	0.0127	0.0000	0.0127	0.0000	0.0127	0.0000	0.0127	0.0000
0.0128	0.0000	0.0128	0.0000	0.0128	0.0000	0.0128	0.0000	0.0128	0.0000
0.0129	0.0000	0.0129	0.0000	0.0129	0.0000	0.0129	0.0000	0.0129	0.0000
0.0130	0.0000	0.0130	0.0000	0.0130	0.0000	0.0130	0.0000	0.0130	0.0000
0.0131	0.0000	0.0131	0.0000	0.0131	0.0000	0.0131	0.0000	0.0131	0.0000
0.0132	0.0000	0.0132	0.0000	0.0132	0.0000	0.0132	0.0000	0.0132	0.0000
0.0133	0.0000	0.0133	0.0000	0.0133	0.0000	0.0133	0.0000	0.0133	0.0000
0.0134	0.0000	0.0134	0.0000	0.0134	0.0000	0.0134	0.0000	0.0134	0.0000
0.0135	0.0000	0.0135	0.0000	0.0135	0.0000	0.0135	0.0000	0.0135	0.0000
0.0136	0.0000	0.0136	0.0000	0.0136	0.0000	0.0136	0.0000	0.0136	0.0000
0.0137	0.0000	0.0137	0.0000	0.0137	0.0000	0.0137	0.0000	0.0137	0.0000
0.0138	0.0000	0.0138	0.0000	0.0138	0.0000	0.0138	0.0000	0.0138	0.0000
0.0139	0.0000	0.0139	0.0000	0.0139	0.0000	0.0139	0.0000	0.0139	0.0000
0.0140	0.0000	0.0140	0.0000	0.0140	0.0000	0.0140	0.0000	0.0140	0.0000
0.0141	0.0000	0.0141	0.0000	0.0141	0.0000	0.0141	0.0000	0.0141	0.0000

Table with 10 columns: PERIOD(SEC), P-SPECTRUM, PERIOD(SEC), P-SPECTRUM, PERIOD(SEC), P-SPECTRUM, PERIOD(SEC), P-SPECTRUM, PERIOD(SEC), P-SPECTRUM. Header: ** CROSS POWER SPECTRUM **. Page: 34 PAGE / 1 CASE.

Table with 10 columns: PERIOD(SEC), P-SPECTRUM, PERIOD(SEC), P-SPECTRUM, PERIOD(SEC), P-SPECTRUM, PERIOD(SEC), P-SPECTRUM, PERIOD(SEC), P-SPECTRUM. Header: ** CROSS POWER SPECTRUM **. Page: 35 PAGE / 1 CASE.

** CROSS POWER SPECTRUM **

36 PAGE/ 1 CASE

Table with 10 columns: PERIOD(SEC), P-SPECTRUM, PERIOD(SEC), P-SPECTRUM, PERIOD(SEC), P-SPECTRUM, PERIOD(SEC), P-SPECTRUM, PERIOD(SEC), P-SPECTRUM. It lists cross power spectrum data for various periods.

* CROSS POWER SPECTRUM END *

** CROSS CORRELATION FUNCTION **

37 PAGE/ 1 CASE

Table with 10 columns: TIME(SEC), CORRELATION, TIME(SEC), CORRELATION, TIME(SEC), CORRELATION, TIME(SEC), CORRELATION, TIME(SEC), CORRELATION. It lists cross correlation function data for various time intervals.

** CROSS CORRELATION FUNCTION **

40 PAGE / 1 CASE

TIME(SEC)	CORRELATION	TIME(SEC)	CORRELATION	TIME(SEC)	CORRELATION	TIME(SEC)	CORRELATION	TIME(SEC)	CORRELATION
9.0000	0.0202	9.0100	0.0218	9.0200	0.0198	9.0300	0.0149	9.0400	0.0082
9.0500	0.0012	9.0600	-0.0046	9.0700	-0.0082	9.0800	-0.0094	9.0900	-0.0084
9.1000	-0.0052	9.1100	-0.0036	9.1200	-0.0014	9.1300	-0.0001	9.1400	0.0003
9.1500	0.0002	9.1600	-0.0001	9.1700	-0.0000	9.1800	-0.0000	9.1900	-0.0001
9.2000	0.0002	9.2100	-0.0001	9.2200	-0.0010	9.2300	-0.0026	9.2400	-0.0047
9.2500	-0.0070	9.2600	-0.0089	9.2700	-0.0094	9.2800	-0.0096	9.2900	-0.0080
9.3000	-0.0050	9.3100	-0.0015	9.3200	0.0020	9.3300	0.0048	9.3400	0.0066
9.3500	0.0070	9.3600	0.0060	9.3700	0.0038	9.3800	0.0007	9.3900	-0.0028
9.4000	-0.0060	9.4100	-0.0084	9.4200	-0.0097	9.4300	-0.0094	9.4400	-0.0076
9.4500	-0.0050	9.4600	-0.0015	9.4700	0.0018	9.4800	0.0042	9.4900	0.0053
9.5000	0.0050	9.5100	0.0035	9.5200	0.0014	9.5300	-0.0006	9.5400	-0.0023
9.5500	-0.0032	9.5600	-0.0022	9.5700	-0.0027	9.5800	-0.0017	9.5900	-0.0007
9.6000	0.0001	9.6100	0.0006	9.6200	0.0010	9.6300	0.0015	9.6400	0.0022
9.6500	0.0031	9.6600	0.0039	9.6700	0.0044	9.6800	0.0043	9.6900	0.0034
9.7000	0.0018	9.7100	-0.0003	9.7200	-0.0024	9.7300	-0.0041	9.7400	-0.0050
9.7500	-0.0050	9.7600	-0.0039	9.7700	-0.0020	9.7800	0.0001	9.7900	0.0019
9.8000	0.0011	9.8100	0.0035	9.8200	0.0031	9.8300	0.0021	9.8400	0.0007
9.8500	-0.0037	9.8600	-0.0019	9.8700	-0.0027	9.8800	-0.0030	9.8900	-0.0029
9.9000	-0.0022	9.9100	-0.0011	9.9200	0.0002	9.9300	0.0015	9.9400	0.0024
9.9500	0.0028	9.9600	0.0024	9.9700	0.0015	9.9800	0.0002	9.9900	-0.0010
10.0000	-0.0019	10.0100	-0.0022	10.0200	-0.0020	10.0300	-0.0013	10.0400	-0.0004
10.0500	0.0005	10.0600	0.0011	10.0700	0.0014	10.0800	0.0013	10.0900	0.0009
10.1000	0.0003	10.1100	-0.0002	10.1200	-0.0006	10.1300	-0.0008	10.1400	-0.0007
10.1500	-0.0005	10.1600	-0.0003	10.1700	-0.0000	10.1800	0.0001	10.1900	0.0001
10.2000	0.0001	10.2100	0.0000	10.2200	-0.0000				

* CROSS-CORRELATION FUNCTION END. *

** TRANSFER FUNCTION (GAIN) **

41 PAGE / 1 CASE

PERIOD(SEC)	(GAIN)	PERIOD(SEC)	(GAIN)	PERIOD(SEC)	(GAIN)	PERIOD(SEC)	(GAIN)	PERIOD(SEC)	(GAIN)
0.0100	0.0	0.0100	0.0	0.0100	0.0	0.0100	0.0	0.0100	0.0
0.0101	0.0	0.0101	0.0	0.0101	0.0	0.0101	0.0	0.0101	0.0
0.0102	0.0	0.0102	0.0	0.0102	0.0	0.0102	0.0	0.0102	0.0
0.0103	0.0	0.0103	0.0	0.0103	0.0	0.0103	0.0	0.0103	0.0
0.0104	0.0	0.0104	0.0	0.0104	0.0	0.0104	0.0	0.0104	0.0
0.0105	0.0	0.0105	0.0	0.0105	0.0	0.0105	0.0	0.0105	0.0
0.0106	0.0	0.0106	0.0	0.0106	0.0	0.0106	0.0	0.0106	0.0
0.0107	0.0	0.0107	0.0	0.0107	0.0	0.0107	0.0	0.0107	0.0
0.0108	0.0	0.0108	0.0	0.0108	0.0	0.0108	0.0	0.0108	0.0
0.0109	0.0	0.0109	0.0	0.0109	0.0	0.0109	0.0	0.0109	0.0
0.0110	0.0	0.0110	0.0	0.0110	0.0	0.0110	0.0	0.0110	0.0
0.0111	0.0	0.0111	0.0	0.0111	0.0	0.0111	0.0	0.0111	0.0
0.0112	0.0	0.0112	0.0	0.0112	0.0	0.0112	0.0	0.0112	0.0
0.0113	0.0	0.0113	0.0	0.0113	0.0	0.0113	0.0	0.0113	0.0
0.0114	0.0	0.0114	0.0	0.0114	0.0	0.0114	0.0	0.0114	0.0
0.0115	0.0	0.0115	0.0	0.0115	0.0	0.0115	0.0	0.0115	0.0
0.0116	0.0	0.0116	0.0	0.0116	0.0	0.0116	0.0	0.0116	0.0
0.0117	0.0	0.0117	0.0	0.0117	0.0	0.0117	0.0	0.0117	0.0
0.0118	0.0	0.0118	0.0	0.0118	0.0	0.0118	0.0	0.0118	0.0
0.0119	0.0	0.0119	0.0	0.0119	0.0	0.0119	0.0	0.0119	0.0
0.0120	0.0	0.0120	0.0	0.0120	0.0	0.0120	0.0	0.0120	0.0
0.0121	0.0	0.0121	0.0	0.0121	0.0	0.0121	0.0	0.0121	0.0
0.0122	0.0	0.0122	0.0	0.0122	0.0	0.0122	0.0	0.0122	0.0
0.0123	0.0	0.0123	0.0	0.0123	0.0	0.0123	0.0	0.0123	0.0
0.0124	0.0	0.0124	0.0	0.0124	0.0	0.0124	0.0	0.0124	0.0
0.0125	0.0	0.0125	0.0	0.0125	0.0	0.0125	0.0	0.0125	0.0
0.0126	0.0	0.0126	0.0	0.0126	0.0	0.0126	0.0	0.0126	0.0
0.0127	0.0	0.0127	0.0	0.0127	0.0	0.0127	0.0	0.0127	0.0
0.0128	0.0	0.0128	0.0	0.0128	0.0	0.0128	0.0	0.0128	0.0
0.0129	0.0	0.0129	0.0	0.0129	0.0	0.0129	0.0	0.0129	0.0
0.0130	0.0	0.0130	0.0	0.0130	0.0	0.0130	0.0	0.0130	0.0
0.0131	0.0	0.0131	0.0	0.0131	0.0	0.0131	0.0	0.0131	0.0
0.0132	0.0	0.0132	0.0	0.0132	0.0	0.0132	0.0	0.0132	0.0
0.0133	0.0	0.0133	0.0	0.0133	0.0	0.0133	0.0	0.0133	0.0
0.0134	0.0	0.0134	0.0	0.0134	0.0	0.0134	0.0	0.0134	0.0
0.0135	0.0	0.0135	0.0	0.0135	0.0	0.0135	0.0	0.0135	0.0
0.0136	0.0	0.0136	0.0	0.0136	0.0	0.0136	0.0	0.0136	0.0
0.0137	0.0	0.0137	0.0	0.0137	0.0	0.0137	0.0	0.0137	0.0
0.0138	0.0	0.0138	0.0	0.0138	0.0	0.0138	0.0	0.0138	0.0
0.0139	0.0	0.0139	0.0	0.0139	0.0	0.0139	0.0	0.0139	0.0
0.0140	0.0	0.0140	0.0	0.0140	0.0	0.0140	0.0	0.0140	0.0
0.0141	0.0	0.0141	0.0	0.0141	0.0	0.0141	0.0	0.0141	0.0

JAERI-M 5559

** TRANSFER FUNCTION (GAIN) **

				44 PAGE / 1 CASE			
PERIOD(SEC)	(GAIN)	PERIOD(SEC)	(GAIN)	PERIOD(SEC)	(GAIN)	PERIOD(SEC)	(GAIN)
0.0833	12.1076	0.0839	11.0773	0.0846	9.4478	0.0853	9.9868
0.0866	7.9405	0.0875	7.5230	0.0883	7.9682	0.0890	7.3178
0.0906	6.7673	0.0914	6.4227	0.0923	3.9838	0.0931	5.5620
0.0963	6.1321	0.0977	4.6343	0.0986	4.4119	0.0995	4.9266
0.0994	3.9480	0.1004	4.8350	0.1014	3.1211	0.1024	1.9130
0.1065	1.8574	0.1056	1.5419	0.1067	2.5967	0.1078	3.3091
0.1101	2.9670	0.1113	3.2684	0.1125	2.1979	0.1138	2.8044
0.1164	2.2358	0.1177	2.5723	0.1191	2.6498	0.1205	2.1088
0.1234	2.1582	0.1249	2.1653	0.1264	2.4530	0.1280	1.7288
0.1313	1.6845	0.1330	2.0736	0.1347	2.1041	0.1365	1.8057
0.1403	1.9654	0.1422	2.7278	0.1442	2.1878	0.1463	1.8599
0.1506	1.4554	0.1528	1.9511	0.1552	1.7486	0.1579	1.5152
0.1625	1.5464	0.1657	1.4191	0.1679	1.6601	0.1707	1.2736
0.1766	0.9555	0.1796	1.8024	0.1820	1.5140	0.1862	1.2292
0.1932	1.3802	0.1949	1.2081	0.2008	1.4258	0.2048	1.2623
0.2133	1.5074	0.2179	1.1076	0.2226	1.3539	0.2276	1.1755
0.2381	1.2714	0.2438	1.1158	0.2498	1.2449	0.2560	1.3032
0.2695	1.1545	0.2765	1.1095	0.2844	1.1998	0.2926	1.0872
0.3103	1.1567	0.3260	0.9582	0.3303	1.0944	0.3413	1.0326
0.3657	1.0974	0.3749	0.8843	0.3938	0.8312	0.4096	1.0904
0.4452	0.9429	0.4655	1.0669	0.4876	1.1017	0.5120	0.8721
0.5699	0.9525	0.6024	1.0184	0.6400	1.0404	0.6877	0.9455
0.7877	1.0491	0.8533	1.1409	0.9209	1.0851	1.0240	0.9528
1.2800	1.0893	1.4629	0.9628	1.7067	0.9712	2.0480	1.2141
3.4133	1.2849	5.1200	0.4769	10.2400	1.2310		2.8600

* TRANSFER FUNCTION (GAIN) END *

** TRANSFER FUNCTION (PHASE) **

				45 PAGE / 1 CASE			
PERIOD(SEC)	PHASE(DEG)	PERIOD(SEC)	PHASE(DEG)	PERIOD(SEC)	PHASE(DEG)	PERIOD(SEC)	PHASE(DEG)
0.0100	-346.0599	0.0100	75.1388	0.0100	-55.4869	0.0100	-82.9609
0.0101	-98.8109	0.0101	-116.4103	0.0101	-65.3470	0.0101	-33.8229
0.0101	20.8565	0.0101	72.4825	0.0101	-160.9553	0.0101	-23.7149
0.0102	49.8956	0.0102	70.7774	0.0102	59.8434	0.0102	44.8795
0.0102	67.5245	0.0102	96.8735	0.0102	82.1562	0.0102	45.9502
0.0103	-58.8896	0.0103	-133.4610	0.0103	-298.4735	0.0103	-45.9497
0.0103	-81.0120	0.0103	-89.8826	0.0103	-298.4005	0.0103	-74.6629
0.0104	-27.9397	0.0104	-8.2920	0.0104	4.2293	0.0104	8.9342
0.0104	63.2993	0.0104	89.5795	0.0104	74.0604	0.0104	59.7175
0.0105	125.7325	0.0105	118.1273	0.0105	126.7582	0.0105	58.7182
0.0105	36.6281	0.0105	-7.3346	0.0105	-22.0155	0.0106	-23.6079
0.0106	-59.5478	0.0106	-53.5503	0.0106	-190.1556	0.0106	-78.0388
0.0106	-25.0412	0.0106	42.0877	0.0107	-94.1782	0.0107	-18.9845
0.0107	54.7909	0.0107	149.2215	0.0107	12.6302	0.0107	40.0513
0.0107	53.4662	0.0108	57.2255	0.0108	128.3324	0.0108	68.9072
0.0108	-29.4554	0.0108	-10.2399	0.0108	2.1624	0.0108	-59.1197
0.0109	-88.8477	0.0109	-144.4048	0.0109	-81.0815	0.0109	-59.7526
0.0109	-19.2197	0.0109	-30.4200	0.0109	-60.0499	0.0110	-32.8145
0.0110	30.5333	0.0110	127.5384	0.0110	41.3661	0.0110	77.9408
0.0110	93.2198	0.0110	61.6951	0.0111	54.8423	0.0111	64.1949
0.0111	-28.3736	0.0111	857.2106	0.0111	39.1966	0.0111	-7.9058
0.0112	-61.3184	0.0112	-197.6368	0.0112	-91.5904	0.0112	-127.2257
0.0112	-14.9592	0.0112	-57.0742	0.0112	-81.6340	0.0113	-61.7348
0.0113	8.2558	0.0113	39.7640	0.0113	60.2336	0.0113	48.6664
0.0113	205.4360	0.0114	85.3448	0.0114	155.7484	0.0114	60.5440
0.0114	-179.2959	0.0114	177.7864	0.0114	95.2726	0.0114	28.5103
0.0115	-58.6106	0.0115	-98.2330	0.0115	-54.4295	0.0115	-51.6457
0.0115	-47.8402	0.0115	-12.2461	0.0116	-37.8570	0.0116	-17.0787
0.0116	-25.0851	0.0116	-6.1030	0.0116	-21.9073	0.0116	12.3410
0.0117	64.8502	0.0117	169.4969	0.0117	58.1447	0.0117	60.0028
0.0117	13.1877	0.0117	-36.2253	0.0118	41.9845	0.0118	11.6460
0.0118	-87.4097	0.0118	108.3397	0.0118	87.5355	0.0118	-45.1319
0.0119	-72.6752	0.0119	-62.8018	0.0119	-53.6009	0.0119	-31.6618
0.0119	17.9590	0.0119	31.5880	0.0120	29.0802	0.0120	27.7763
0.0120	83.2021	0.0120	137.3494	0.0120	46.2494	0.0120	66.8818
0.0121	61.3916	0.0121	62.9462	0.0121	55.4886	0.0121	13.0657
0.0121	-60.3462	0.0122	-132.3289	0.0122	-95.8220	0.0122	-75.0759
0.0122	-38.0599	0.0122	34.5377	0.0122	-125.5101	0.0123	-64.2961
0.0123	-15.4985	0.0123	-20.1350	0.0123	-0.2481	0.0123	30.1901
0.0124	67.2693	0.0124	87.4370	0.0124	54.2387	0.0124	34.5956
0.0124	-26.8343	0.0125	-190.1049	0.0125	103.5971	0.0125	64.7877
0.0125	-41.0123	0.0125	-144.2897	0.0125	73.8347	0.0126	-33.2580
0.0126	64.5356	0.0126	-118.0933	0.0126	-78.9427	0.0126	-55.0827
0.0127	-8.0942	0.0127	9.0762	0.0127	-15.5503	0.0127	24.9794
0.0128	16.8743	0.0128	-9.4760	0.0128	24.0434	0.0128	44.3707
0.0128	37.6108	0.0128	261.8761	0.0129	107.3474	0.0129	61.2545
0.0129	-53.9079	0.0129	-165.8088	0.0129	-106.3510	0.0130	-122.7934
0.0130	-101.9386	0.0130	-49.1921	0.0130	-110.8340	0.0130	-55.5276
0.0131	35.4042	0.0131	-64.7684	0.0131	-30.3399	0.0131	-8.4593
0.0132	89.6968	0.0132	57.2040	0.0132	44.2498	0.0132	32.6050
0.0132	70.6872	0.0133	313.4793	0.0133	107.1498	0.0133	73.4690
0.0133	61.4723	0.0134	-30.5118	0.0134	92.1336	0.0134	-14.0188
0.0134	-65.5085	0.0134	-54.9517	0.0135	-74.7703	0.0135	-51.4765
0.0135	-53.2764	0.0135	-92.0406	0.0135	-43.9775	0.0136	-3.9277
0.0136	57.8850	0.0136	846.2520	0.0136	-2.3609	0.0137	33.0375
0.0137	81.1302	0.0137	97.4421	0.0137	85.8112	0.0137	43.9453
0.0138	-145.9552	0.0138	173.5760	0.0138	50.4392	0.0138	-3.0204
0.0139	-63.2568	0.0139	-232.4126	0.0139	-87.1665	0.0139	-82.4749
0.0140	-37.5890	0.0140	-20.5282	0.0140	-50.3858	0.0140	-7.4306
0.0141	55.0637	0.0141	51.6840	0.0141	25.0010	0.0141	43.4007

Table with 10 columns: PERIOD(SEC), PHASE(DEG), PERIOD(SEC), PHASE(DEG), PERIOD(SEC), PHASE(DEG), PERIOD(SEC), PHASE(DEG), PERIOD(SEC), PHASE(DEG). Header: ** TRANSFER FUNCTION (PHASE) **. Page: 46 PAGE / 1 CASE.

Table with 10 columns: PERIOD(SEC), PHASE(DEG), PERIOD(SEC), PHASE(DEG), PERIOD(SEC), PHASE(DEG), PERIOD(SEC), PHASE(DEG), PERIOD(SEC), PHASE(DEG). Header: ** TRANSFER FUNCTION (PHASE) **. Page: 47 PAGE / 1 CASE.

JAERI-M 5559

** TRANSFER FUNCTION (PHASE) **

PERIOD(SEC)	PHASE(DEG)	PERIOD(SEC)	PHASE(DEG)	PERIOD(SEC)	PHASE(DEG)	PERIOD(SEC)	PHASE(DEG)	PERIOD(SEC)	PHASE(DEG)
0.0933	-439.1680	0.0939	-248.2818	0.0886	-361.8227	0.0853	-274.2620	0.0861	-203.2942
0.0888	-172.0442	0.0975	-207.6206	0.0883	-167.8253	0.0890	-117.2502	0.0948	-112.7732
0.0906	-167.0265	0.0914	-46.2272	0.0923	-60.6058	0.0931	24.3179	0.0939	-80.7835
0.0988	-52.3012	0.0957	-90.5203	0.0966	-69.6113	0.0975	-47.9338	0.0985	-31.3287
0.0994	-46.9399	0.1004	-29.0353	0.1014	-28.1444	0.1024	143.5258	0.1034	-31.9018
0.1045	-40.0923	0.1056	-9.7827	0.1067	-26.9911	0.1078	-35.6753	0.1089	21.3802
0.1101	-34.7692	0.1113	-8.3289	0.1125	-4.7225	0.1138	-42.2433	0.1151	8.5318
0.1144	-12.3842	0.1177	-24.8589	0.1191	-0.6088	0.1205	-12.6054	0.1219	-19.0534
0.1234	5.3323	0.1240	-21.4022	0.1254	-0.3527	0.1280	-17.7805	0.1296	-11.6877
0.1311	-2.2497	0.1330	-16.4727	0.1367	11.7368	0.1385	-14.5547	0.1384	-7.4825
0.1402	7.2410	0.1422	82.2404	0.1442	3.1792	0.1463	14.1226	0.1484	33.3928
0.1506	24.3208	0.1528	-24.1704	0.1552	1.5870	0.1575	1.7777	0.1600	-14.0796
0.1625	6.4033	0.1652	-4.2445	0.1679	-15.9686	0.1707	-3.2052	0.1736	-9.8389
0.1766	29.7157	0.1794	-9.3590	0.1829	-1.5897	0.1862	9.0902	0.1896	-6.1206
0.1932	3.3404	0.1969	-3.6661	0.2008	-3.4318	0.2048	2.8889	0.2090	-5.0391
0.2133	4.2793	0.2179	-4.9275	0.2226	-0.1736	0.2276	1.6317	0.2327	-3.2842
0.2361	0.4441	0.2438	0.7863	0.2498	-4.5353	0.2560	0.9872	0.2626	-2.2391
0.2695	3.3738	0.2762	-3.2710	0.2844	0.3718	0.2926	1.0918	0.3012	-4.7529
0.3102	6.4324	0.3200	-7.8503	0.3303	14.5780	0.3413	-3.7765	0.3531	-1.9365
0.3657	5.2749	0.3743	-0.1642	0.3838	-7.0213	0.4096	-5.8943	0.4267	2.7255
0.4452	0.7691	0.4452	-2.2277	0.4476	2.2219	0.5170	1.4979	0.5389	-0.3977
0.5689	5.2949	0.6024	-7.4720	0.6400	1.9321	0.6827	8.4352	0.7314	-0.6149
0.7877	-7.5573	0.8543	3.0528	0.9269	9.6827	1.0240	4.7725	1.1378	-3.4636
1.2800	-0.0366	1.4125	2.8801	1.7067	-4.1762	2.0480	3.3148	2.5600	-12.2859
3.4131	0.1266	5.1700	-52.1662	10.7400	9.7841				

* TRANSFER FUNCTION (PHASE) END *

48 PAGE/ 1 CASE

LAST CARD

49 PAGE/ 1 CASE

JOB IS NORMALLY FINISHED.

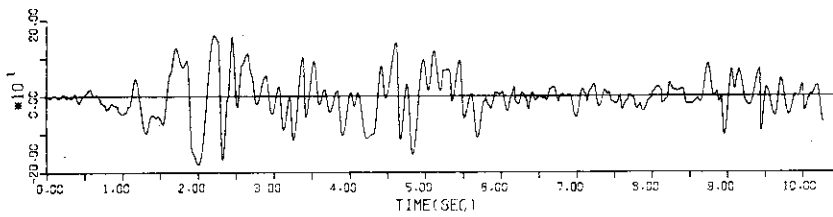
* END OF FORTRAN * 77

Fig 3.3 Spectrum and correlation of HTGR Container

ORIGINAL SEISMIC WAVE

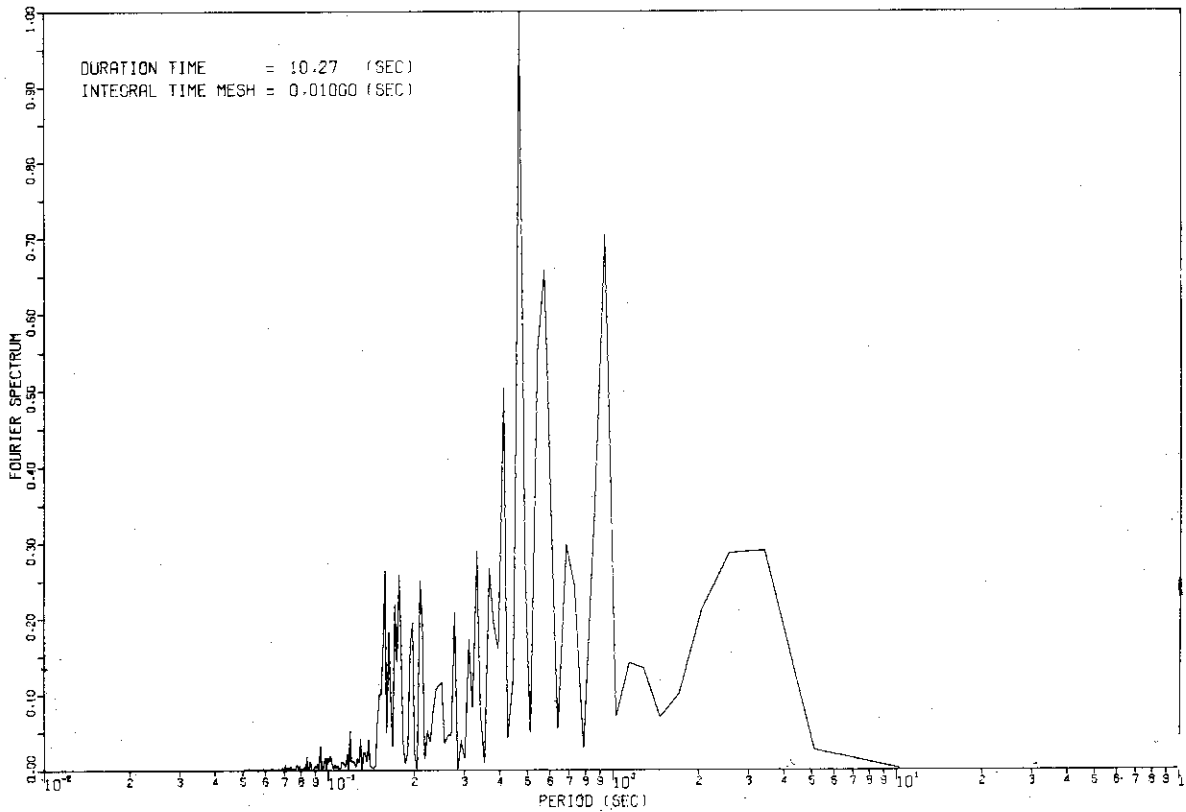
EL. CENTRO 40NS

GALMAX = 180. (GAL)



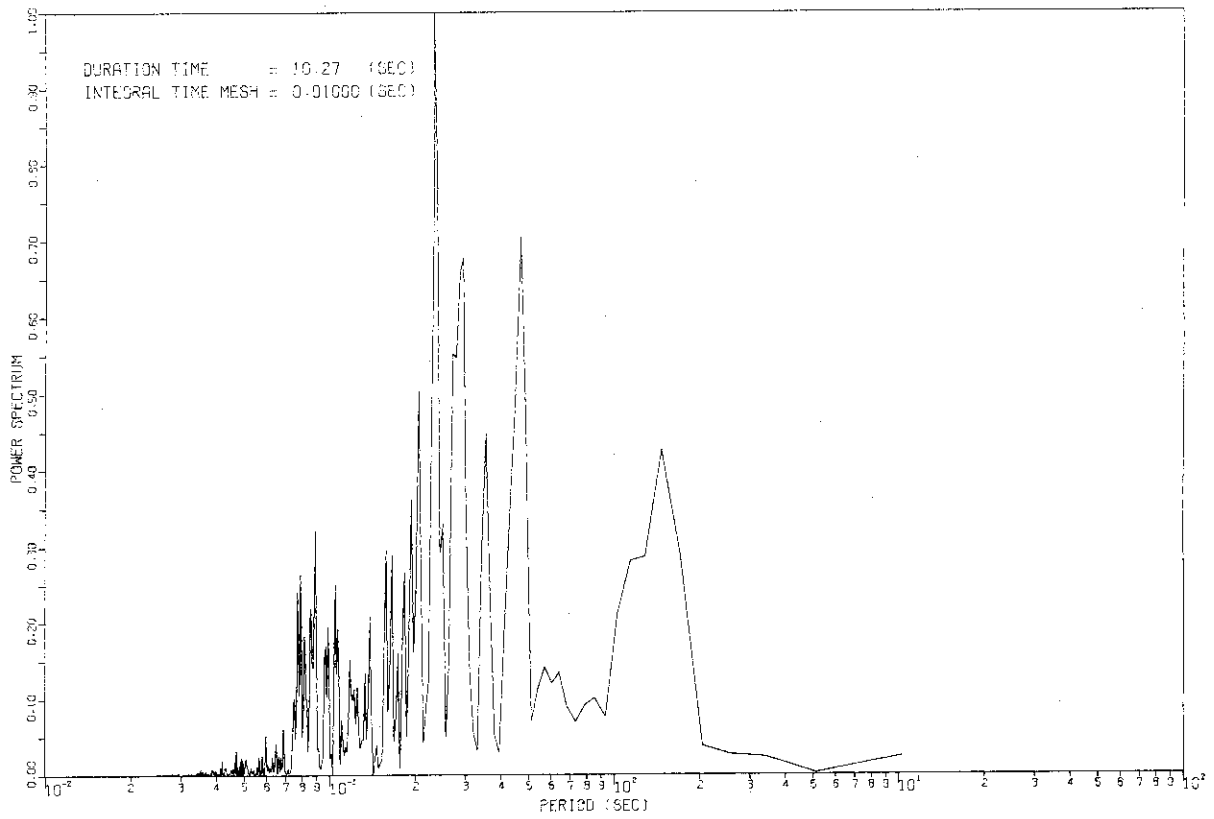
RESPONSE SPECTRUM EL. CENTRO 40NS (MAX. 0.326 G)

FOURIER SPECTRUM



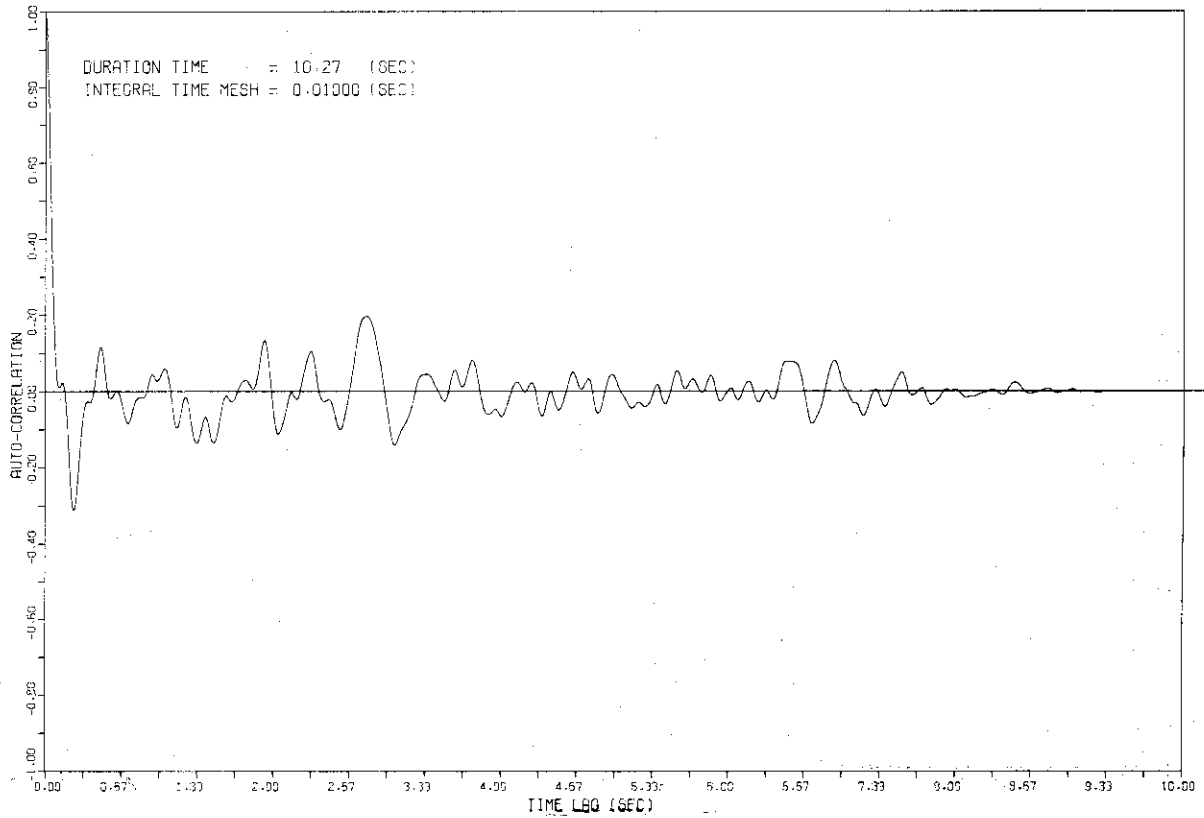
RESPONSE SPECTRUM EL CENTRO 40NS (MAX. 0.326 G)

POWER SPECTRUM



RESPONSE SPECTRUM EL CENTRO 40NS (MAX. 0.326 G)

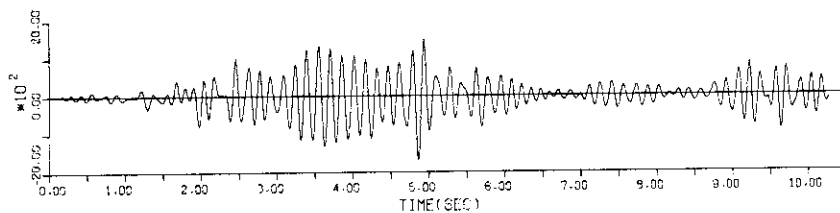
AUTO-CORRELATION FUNC.



ORIGINAL SEISMIC WAVE

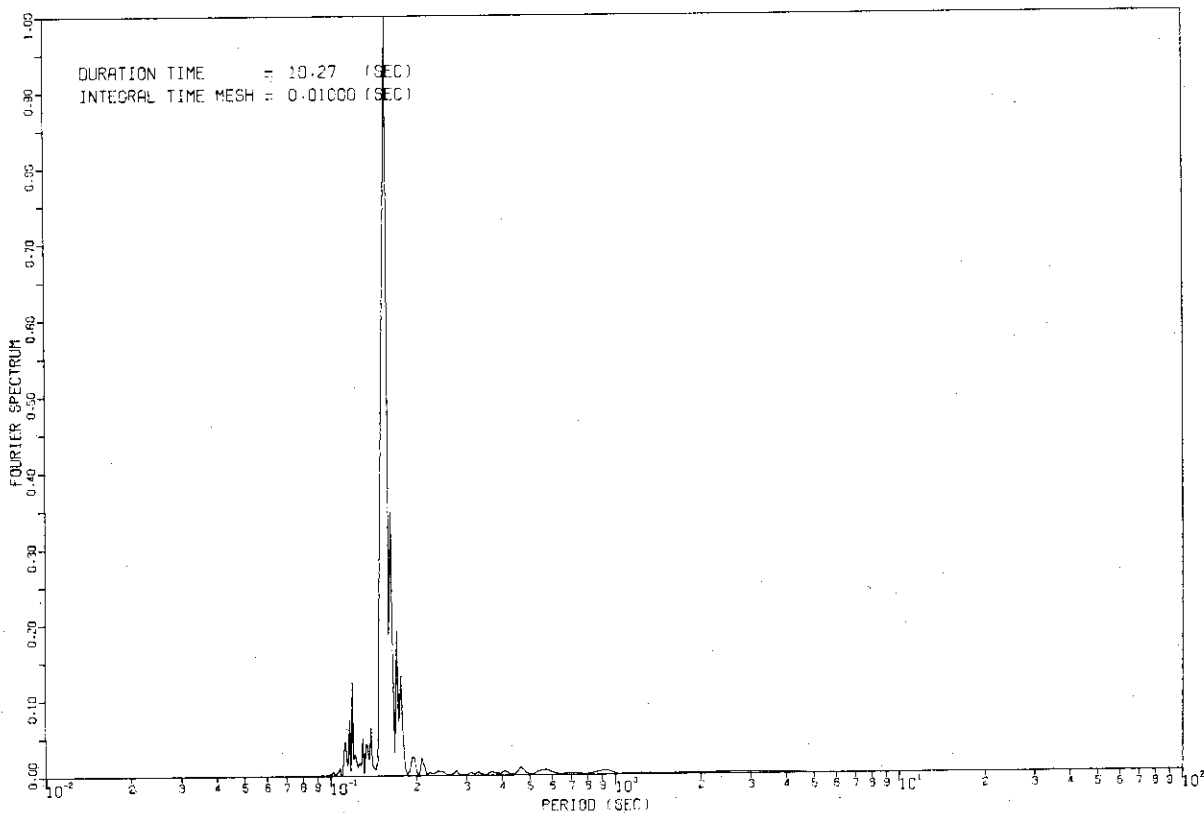
EL. CENTRO 40NS

CALMAX = 1689. (GAL)



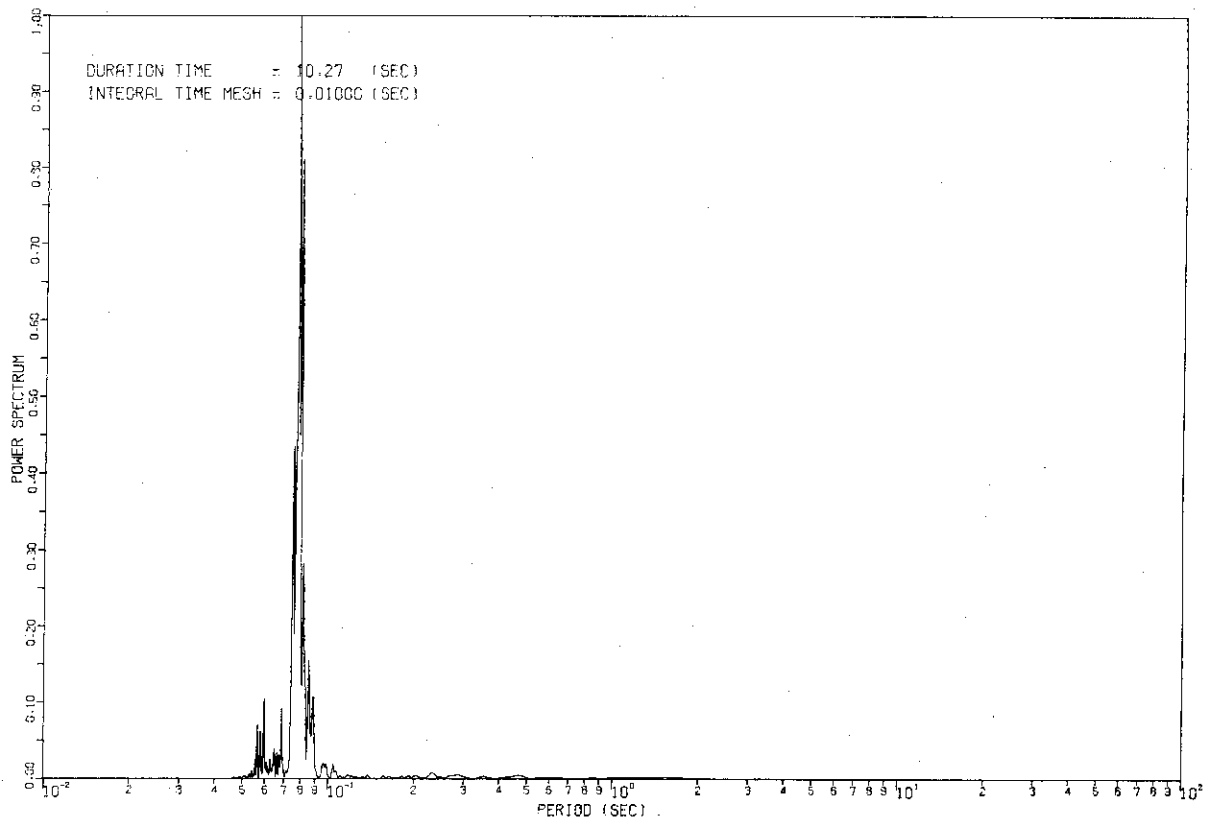
RESPONSE SPECTRUM EL. CENTRO 40NS (MAX. 0.325 G)

FOURIER SPECTRUM



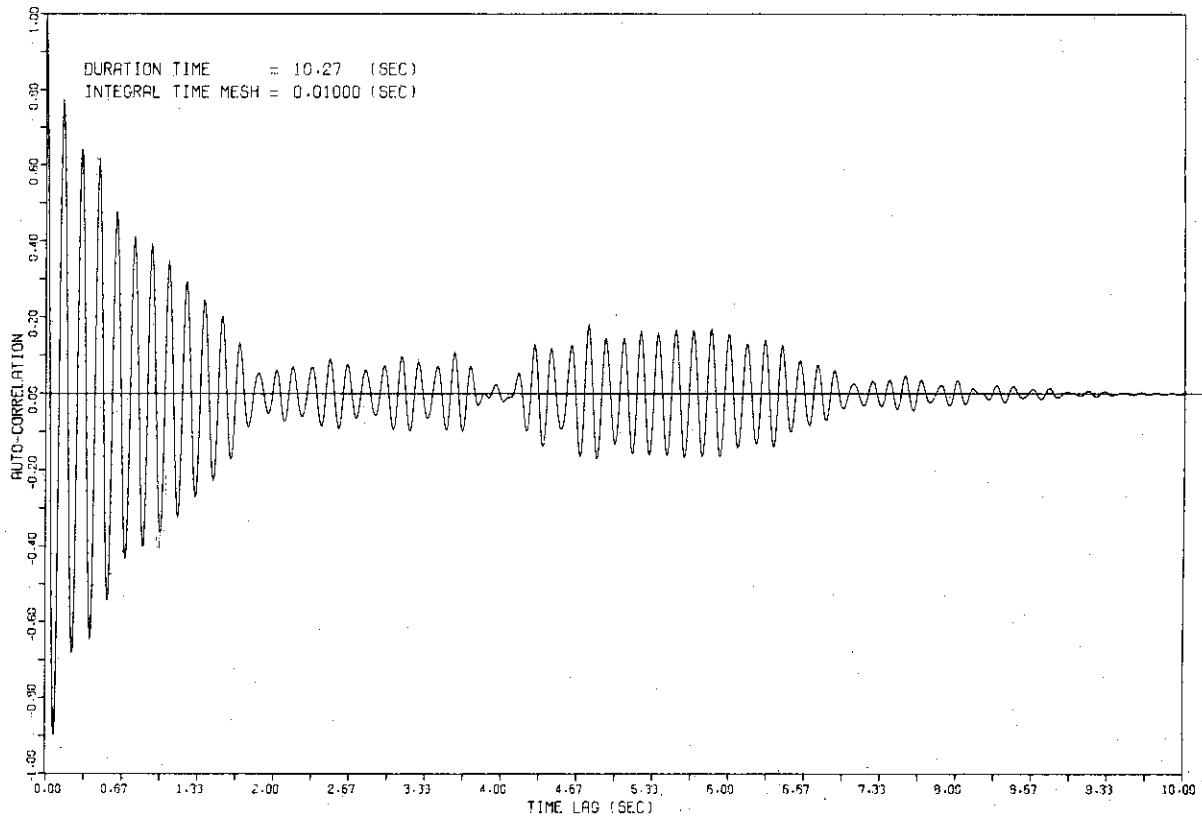
RESPONSE SPECTRUM EL. CENTRO 40NS (MAX. 0.326 G)

POWER SPECTRUM



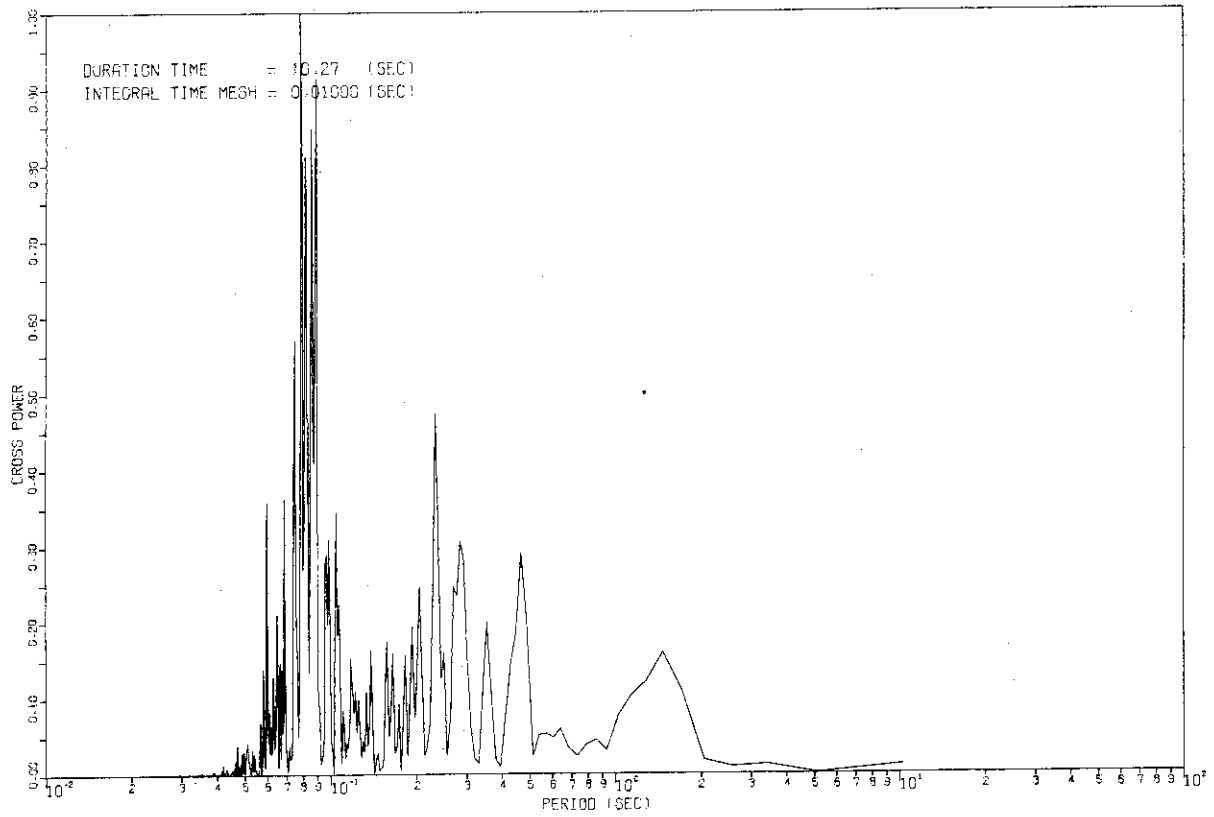
RESPONSE SPECTRUM EL. CENTRO 40NS (MAX. 0.326 G)

AUTO-CORRELATION FUNC.



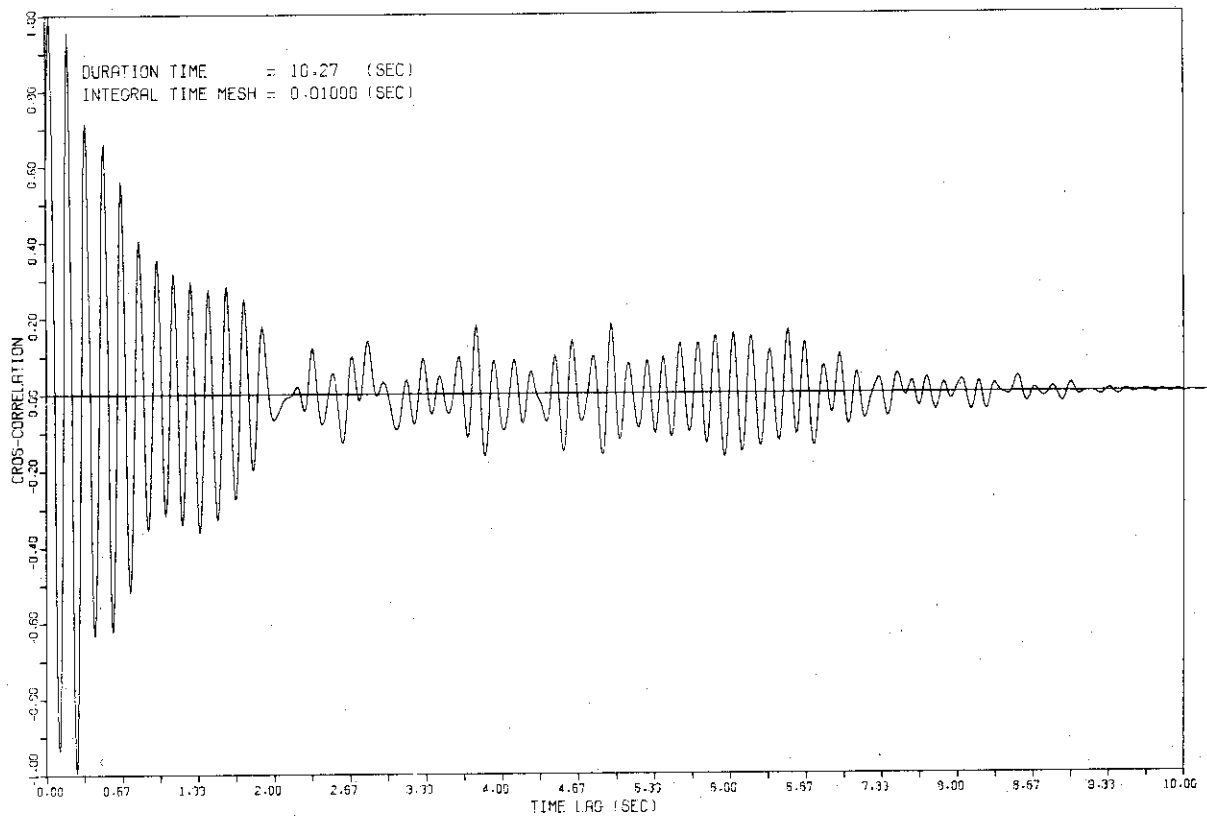
RESPONSE SPECTRUM EL CENTRO 40NS (MAX. 0.326 G)

CROSS POWER SPECTRUM



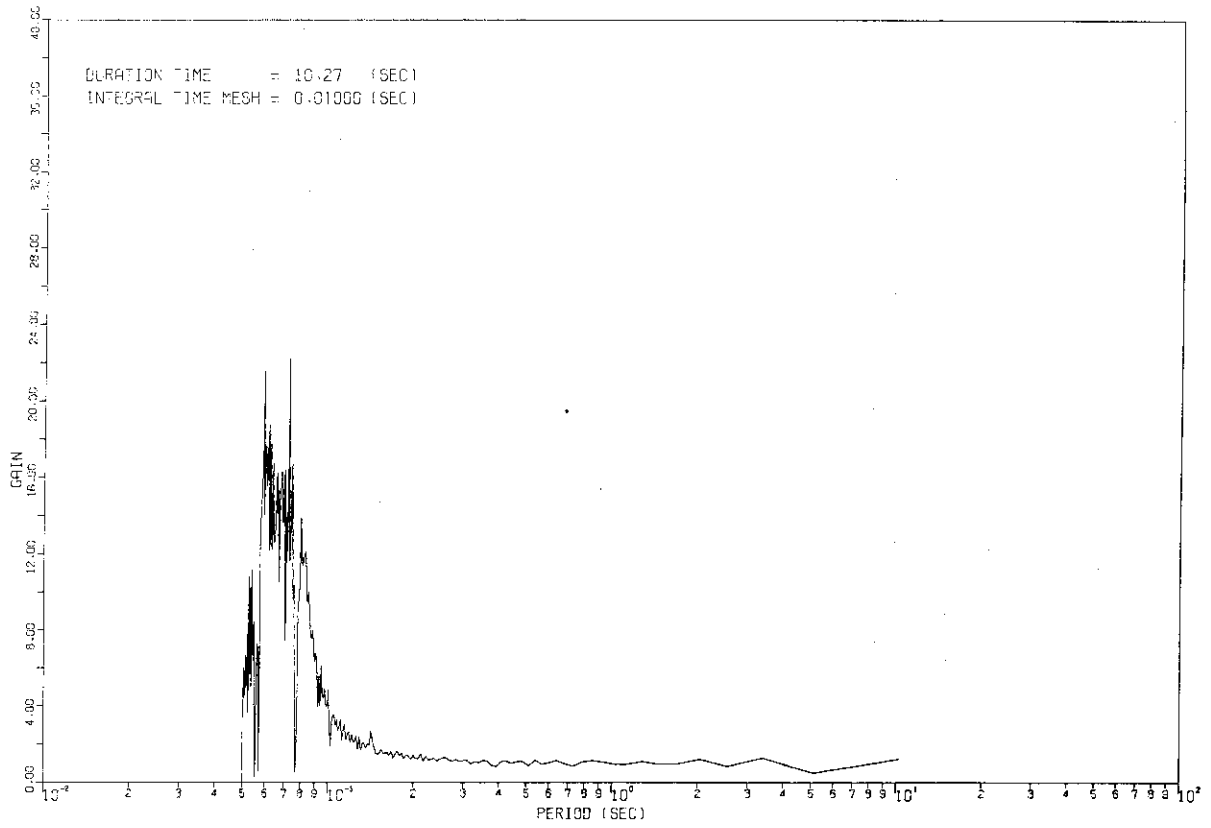
RESPONSE SPECTRUM EL CENTRO 40NS (MAX. 0.326 G)

CROSS-CORRELATION FUNC.



RESPONSE SPECTRUM EL CENTRO 40NS (MAX. 0.326 G)

TRANSFER FUNCTION (GAIN)



RESPONSE SPECTRUM EL CENTRO 40NS (MAX. 0.326 G)

TRANSFER FUNCTION(PHASE)

