

く(5) 地震動記録データベースの構築とその有効性に関する検討

東京大学大学院

○ 重 華南

東京大学生産技術研究所

片山 恒雄

1. はじめに： 地震動研究の基礎データとして、近年蓄積されてきた高密度の7ル地震記録、比較的広域の多地点で得られた多数の記録がいろいろな形で使われているが、量が多く、しかも質が異なる多点記録を一括利用できる解析システムはまだ整備されていない現状にある。複雑な地震動特性を多くの側面から総合的に解明するためには、このような多点記録に対応できるシステムを構築することが必要となり、その前段階として多量の記録を効率よく管理・検索するデータベースが求められている。この様な背景に立って、筆者らは地震動データベースを構築した。以下では、まずデータベースの構成や特徴について述べ、さらにそれを利用して地震動データの主成分分析を行い、本データベースの有効性を例示する。

2. データベースの概要

2.1 システム構築の目的： 地震、観測点、観測成分、記録の特性値など地震記録に関連する項目は、1つの記録においても、何十にも及び、記録が多くなれば、その量は膨大になる。これら膨大なパラメータから、解析目的と規準に合った記録全部を漏れなく選択するには多大の労力が必要であり、幾つかのパラメータを指定して解析の対象とするデータを順序よく効率的に抽出することが、本検索システム構築の目的の1つである。

個別に取られた記録と異なり、多点記録に対しては、解析結果を総合的に検討しなければ、その意味が失われてしまう。記録数や解析の種類が多ければ多いほど、複雑な地震動を解明するうえで有力な情報が得られるが、それだけ解析条件と結果の整理は難しくなる。解析が終わった時点で、結果と解析条件を新たにデータベースに加え、研究の効率化及び一貫性の向上を図ることが本システムのもう1つの目的である。

多点記録を対象とする場合には、抽出したデータや解析した結果はともに極めて多量となる。このような大量のデータを図で表示したり、それらに統計処理を加えたりすることにより、総合的にデータを把握することが本システムの第3の目的である。

2.2 データの配置： 本システムでは、各種のパラメータを重複して収録することを避けると同時にシステムの拡張と追加などが容易に行えるように、全パラメータを次の6つのテーブルに分類した(図1参照)。

①地震データを収録する地震テーブル【EQ1】；②観測点の位置及び地盤特性に関するデータを収録する観測点テーブル【OBS】；③各観測点における計器の配置、観測方向及び、計器の特性に関するデータを収録する観測成分テーブル【CMP】；④地震波を収録する磁気テープとフロッピーを管理するテーブル【MTFL】；⑤地震波記録のパラメータを収録するテーブル【ACC】；⑥解析結果を収録するテーブル【ANL】

性質の異なるパラメータごとに別々のテーブルを用意したことにより、地

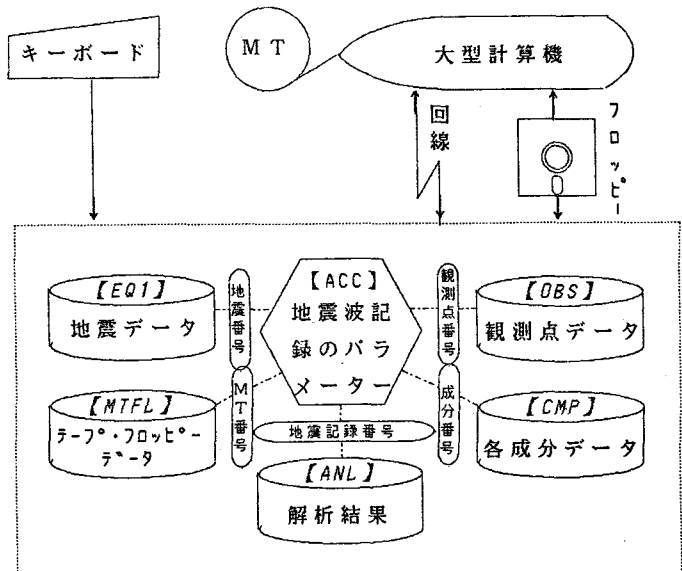


図1 データの配置

震波記録の属性や特性を記述するパラメータを個々の記録に対応させて収録しておく必要がなくなり、メモリを大幅に節約することができる。例えば、50回の地震で1000成分の地震波記録を収録した場合、地震のマグニチュード、発震時刻などは、記録数の1000ではなく、地震回数の50だけを地震テーブルに収録しておけばよい。また、新たにデータを加える場合、新しいテーブルを増設することにより、混乱が避けられる。各テーブルの間は、図1に示した各番号により、地震波記録を中心とするリレーション関係になっている。

2.3 本システムの特徴：本システムの特徴は以下のようにまとめられる。

①完全なメニュー方式で、データベース使用の堅苦しさを感じないですむ；②メニュー方式にも拘らず、任意出力の項目・数段階の順番・数多くの限定条件を簡単に設定できるので、自由な検索が行える；③数多くのデータに行列演算・統計演算が容易に加えられ、簡単な指定により、結果を理解、判断しやすい図面の形で出力し、収録することができる；④NEC製PC98シリーズの全機種に使用できる。⑤出力先及びフォーマットをともに、メニューで選択できるようになっている。例えば出力をそのままグループの文章ファイルに落とすことができるので、報告書作成時等に省力化が図れる。

2.4 検索方法： 検索する際に、必要となる情報のほとんどは入力画面に日本語で表示されているため、メニューに沿って、検索条件を入力すればよい。一般に、検索は次の3つの設定により行われる。

- ①出力項目の選択：多数の項目の中から、出力を必要とする項目を選択する（図2参照）。
- ②出力を順序づける判断項目の選択：選択した項目の値の大きさの順に検索出力を行う。この値が等しいときは2番目、3番目の順序づけ項目を選ぶことができる（図3参照）。
- ③検索範囲を限定する項目と条件の選択：

9番目の出力項目を選択して下さい ①出力項目

1. マグニチュード 2. 震央距離 3. 震源深さ 4. 地盤種別 5. 最大加速度 6. 最大速度
7. 最大変位 8. 卓越周波数

出力項目を選択して下さい。(ESC→前メニュー)

地震番号	観測点番号	成分番号	気象庁震度	震央距離
最大加速度	最大速度	最大変位	卓越周波数	継続時間
地震日付	発震時刻	震央北緯	震央東経	震源深さ
マグニチュード	記録総数/1EQ	観測点緯度	観測点経度	観測点海拔
地盤卓越周期	基盤深さ	観測点名	地盤種別	埋設点番号
記録成分	ID(1-10参照)	埋設高度	埋設方向	計器周期
計器減衰	地震計名	FLAG		

出力項目の設定メニュー

次項目選択 本項目の取消

図2 出力項目選択メニュー

出力項目 ②順番設定

1. マグニチュード 2. 震央距離 3. 震源深さ 4. 地盤種別 5. 最大加速度 6. 最大速度
7. 最大変位 8. 卓越周波数 9. 気象庁震度

1番目の優先順位とする項目を選択して下さい

優先順位とする項目を選択して下さい。(ESC→Pass)

地震番号	観測点番号	成分番号	気象庁震度	震央距離
<input type="checkbox"/> 最大加速度	最大速度	最大変位	卓越周波数	継続時間
地震日付	発震時刻	震央北緯	震央東経	震源深さ
マグニチュード	記録総数/1EQ	観測点緯度	観測点経度	観測点海拔
地盤卓越周期	基盤深さ	観測点名	地盤種別	埋設点番号
記録成分	ID(1-10参照)	埋設高度	埋設方向	計器周期
計器減衰	地震計名	FLAG		

並べ方を選択して下さい

小→大 本項目の取消

設定メニュー

次項目選択

図3 出力順番設定メニュー

出力項目 ③しぼる条件

1. マグニチュード 2. 震央距離 3. 震源深さ 4. 地盤種別 5. 最大加速度 6. 最大速度
7. 最大変位 8. 卓越周波数 9. 気象庁震度

4番目の条件を付る項目を選択して下さい

1. 記録成分 指定文字無UD AND 2. 記録成分 指定文字無Z AND 3. ID(1-10参照)=00

条件を付る項目を選択して下さい。(ESC→Pass)

地震番号	観測点番号	成分番号	気象庁震度	震央距離
最大加速度	最大速度	最大変位	卓越周波数	継続時間
地震日付	発震時刻	震央北緯	震央東経	震源深さ
マグニチュード	記録総数/1EQ	観測点緯度	観測点経度	観測点海拔
地盤卓越周期	基盤深さ	観測点名	地盤種別	埋設点番号
記録成分	ID(1-10参照)	埋設高度	埋設方向	計器周期
計器減衰	地震計名	FLAG		

付ける条件を選択して下さい。

<input type="checkbox"/>	≠	指定文字有	<	指定文字無	≤	7-9有り	>	7-9無し
--------------------------	---	-------	---	-------	---	-------	---	-------

本項目の取消

指定値(或は文字)：MX

次の条件との関係を選択して下さい。

<input type="checkbox"/> 無し	AND	OR
-----------------------------	-----	----

図4 しぼる条件の設定メニュー

必要に応じて項目に条件をつけることにより、多量のデータの中から、出力する件数をしぼることができる（図4参照）。図5はマグニチュードから気象庁震度階までの9つのパラメータを、最大加速度の大きい順に各観測点の地表面で最大変位を示した水平成分に限る条件（図2.3.4参照）で出力した例である。

M	震央距離	震源深さ	地盤	最大ACC	最大VEL	最大DIS	卓越FRE	震N
6.0	17.6000	22	2	569.37	54.991	131.95	2.7300	4
6.1	22.8000	80	3	111.70	10.601	23.272	1.9300	4
6.1	51.7000	80	3	102.48	10.814	31.801	1.2200	4
.....								
6.8	346.600	2	1	2.4180	0.5890	1.8760	0.5600	1

図5 検索の1例

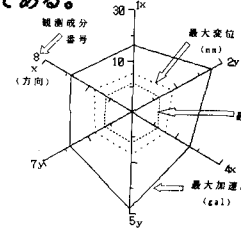


図6 同一観測点の水平地震動成分のパラメータ（1つの地震）

2.5 データの解析と図示：

検索や計算された結果に対して、回帰、相関、行列演算（乗算、逆行列、固有値解析など）を行うことができる。さらに、データセットを多種類の図で表示できる。解析と図示は決まった方式によらず幾つかの基本機能を自由に利用して行う。満足な結果が得られたのち、操作の手順（マクロ命令）をシステムに覚えさせることができる。このような学習機能により、2回目の類似操作は、変わったところだけ設定すればよい。簡単な利用から複雑な処理への移行は容易である。またデータを分析した結果と作成した図形を保存する必要があるときには、分析と図形の作成の手順だけを収録すればよい。表1はシステムの分析機能を使用し、地盤上で記録された記録の各種パラメータ間の線形相関を出力した例である。図6は1つの地震に対する同一観測点の異なる観測成分の最大加速度、最大速度及び最大変位を示したものである。

表1 地震動記録特性値相関係数 (P=9;N=235)

	M	震央距離	震源深さ	地盤種別	最大ACC	最大VEL	最大DIS	卓越FRE	震度
M	1.00	0.84	0.55	-0.03	-0.04	0.09	0.16	-0.45	0.52
震央距離		1.00	0.76	-0.02	-0.12	-0.02	0.03	-0.30	0.30
震源深さ			1.00	0.04	-0.03	-0.01	0.00	-0.06	0.29
地盤種別				1.00	0.04	0.06	0.06	-0.05	0.06
最大ACC					1.00	0.95	0.90	0.04	0.22
最大VEL						1.00	0.98	-0.11	0.27
最大DIS							1.00	-0.17	0.28
卓越FRE								1.00	-0.26
震度									1.00

3. 地震動データセットの主成分分析

3.1 分析の目的と手法の概要： 分析の目的はデータセット全体の中において個々の地震動記録の性格づけをすることである。このためには、多数の地震動記録からなるデータセットの特性を分かりやすく要約し、平均的な性質と比べてある記録がどのような位置にあるかを評価することが必要となる。

互いに相関のあるp個の特性値のもつ情報を、互いに無相関なm個 (m<p) の総合特性値に要約する手法として主成分分析がある。主成分の概念だけを簡単に述べておく。個々のデータがp個の特性値をもつデータセットのm (m<p) 個の主成分は、p個の特性値のm通りの重みつき平均として表現される。元の特性値が標準化されている場合、それぞれの特性値の分散は1であるから、データセットがもつ総分散はpになる。分散の大きい主成分から順に第1主成分、第2主成分、...と定義される。k番目の主成分に含まれる情報量はその主成分の分散vkで表され、比 vk/p は第k番目の主成分の情報量がデータセットの全体が持つ情報量の何割に当たるかを示す。多くの場合、第1主成分と第2主成分だけでデータセットの情報量の半分以上も占めるため、第1主成分と第2主成分を平面上にプロットすれば、それぞれのデータの個性が比較的明確に現れる。

3.2 分析例1： 表1に示した9つの特性値をもつデータセットを対象に主成分分析した結果を第1主成分（全体情報量の35%）と第2主成分（全体情報量の30%）にしぼって検討してみる。第1主成分に対する相関係数を横軸、第2主成分に対する相関係数を縦軸にとって9つの特性値項目をプロットしたものが図7である。第1主成分は最大変位S、最大速度V、最大加速度Aと強い正の相関を有し、地震動の強さを表す総合特性値といえる。第2主成分

は震央距離D、マグニチュードM、震源深さPと強い負の相関を有し、その負の方向は近くて浅い小型地震を代表する。このように各主成分の意味を明らかにした上で、それぞれの地震動記録の特性の主成分平面における分布を示したものが図8である。1つの記録だけが主成分平面の上で飛び離れている。この記録は、近くて浅い小型地震による極めて強い地震動記録であることが分かる。例えば、地震動記録を用いて各種の回帰式を求めたりする場合に、少なくともこのような特異なデータをどう扱うかは慎重に考える必要がある。

3.3 分析例2: 図9は前出図8の左上の部分拡大したものである。この図によれば地震番号32、13、30に対応する記録はほとんど図の右上に集中している。これら3つの地震データはすべて380km以上の震源深さをもつ。また、図の最左端のデータは極めて弱い地震動記録に対応している。前述の特異な記録、震源深さ380km以上の記録及び加速度の極めて小さいものを落としたデータセットの主成分分析結果は図10である。この図10を図7と比べると、第1主成分と最大加速度Aの相関が0.72から0.35まで小さくなり、逆にマグニチュードとの相関は0.58から0.81まで大きくなったことが分かる。図7では近くにかたまっていた最大加速度A、最大速度Vと最大変位Sは、図10ではかなり離れており、データセットの取り方によっては、これら3つの特性値が、必ずしもお互いに高い相関をもたないことを意味している。

以上2つの分析例から分かるように比較的等質なデータセットに少数の異質なデータを混ぜると、データセット全体の特性がかなり変化する。このことは、地震動特性の統計解析を行う場合、用いるデータセットの特性を十分吟味する必要があることを示唆している。

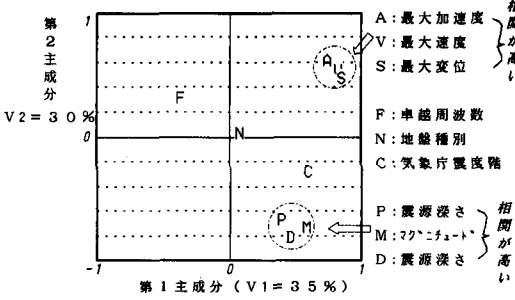


図7 第1と第2主成分に対する因子負荷量(3.1の例)

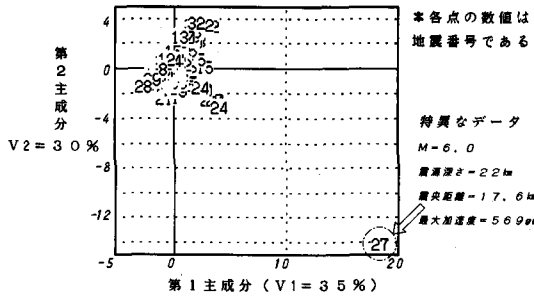


図8 地震動記録の主成分に対する散布図(3.1の例)

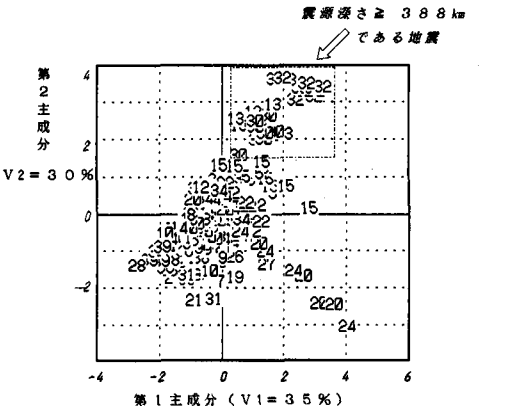


図9 地震動記録の主成分に対する散布図(図8の一部)

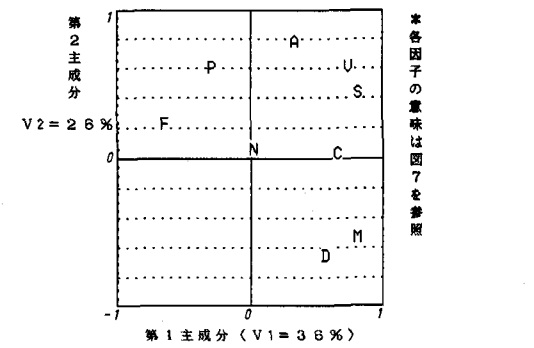


図10 第1と第2主成分に対する因子負荷量(3.2の例)

4. あとがき: 地震動記録データが蓄積されるにつれて地震動記録データベースの整備の重要性は大きくなりつつある。地震動の研究では、目的に応じてデータセットを自由に選ぶことが必要となる。したがって、地震動記録のデータベースの構築に当たっては、使いやすさと同時に自由度を追求しなければならない。ここで紹介したデータベースには改善すべき点が多く、今後さらにデータと機能の充実に努力して行きたい。