

武蔵工業大学土木工学科 正会員 星谷 勝
清水建設(株)土木設計部 〇正会員 石井 清

1. 目的 応答スペクトルの基礎的研究として、以下の項目について検討を行った。 1 応答スペクトルのもつ情報を適確にとらえ、その情報を要約化し、応答スペクトルの形状特性をつかむこと。 2 要約された応答スペクトルの情報を用いて、応答スペクトルの特徴と地震動の特性との関係をつかむこと。

2. 解析手法 本研究では、統計手法である主成分分析法を用いて応答スペクトルのもつ情報を少数個の総合特性値として定量的に表わす。主成分分析法とは互いに相関を有する多数の特性値を互いに無相関ないくつかの総合特性値に要約する統計手法である。すなわち、本研究では、代表的な周期の応答スペクトル値を用いて、応答スペクトルの形状を代表し、これらの特性値を2, 3の総合特性値(主成分)に要約し、応答スペクトルの形状を検討することを試みるわけである。なお、主成分分析法については参考文献¹⁾にゆずる。

3. 使用地震データ 本研究で使用使用するデジタル地震記録は建設省土木研究所で公表された地震資料²⁾の中から52成分の地震記録を選択して解析に用いた。データの選択基準としては、本研究の目的から、特に地震動波形の特性に着目して、次の点を考慮した。(1) 地震動の絶対最大加速度がほぼ均等に分布していること。

(2) 地震動の継続時間がほぼ均等に分布していること。(3) 地震動のZERO CROSSING RATE がほぼ均等に分布していること。使用した地震データは上記の基準をほぼ満足していた。

4. 解析結果 応答スペクトルの代表値として減衰定数 $h=0.05$ の相対変位応答スペクトルから以下に示す固有周期 T_0 の9ケースを特性値(X_i $i=1, \dots, 9$)とした。 $(T_0=0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0, 10.0 \text{ sec})$ 地震データから解析された第1および第2主成分の計算結果を表1に示す。表1には第1主成分 $Z_1 = \sum_{i=1}^9 l_{1i} X_i$ および第2主成分 $Z_2 = \sum_{i=1}^9 l_{2i} X_i$ の各係数、因子負荷量および累積寄与率が示めされている。ここで、 X_i は特性値 X_i の大きさが等しくないで、 X_i の平均値 μ_i および標準偏差によって次のように正規化されたものである。
$$X_i = (X_i - \mu_i) / \sigma_i \quad (i=1, \dots, 9) \quad (1)$$

第1主成分の寄与率は0.60, 第2主成分までの累積寄与率は0.78となり、原データの情報の要約量としては十分であろう。なお、第3主成分以下は寄与率が小さく、主成分の意味もはっきりしなかったため、採用しなかった。

1) 主成分の意味 表1の第1主成分 Z_1 の各係数 l_{1i} および因子負荷量から第1主成分については以下のことが考察できる。i) 第1主成分 Z_1 の各係数 l_{1i} はすべて正なので、 Z_1 は X_i が大きくなれば大きくなる。また、 X_i が小さくなれば小さくなる。ii) さらに、固有周期 $T_0=0.1 \text{ sec}, 0.2 \text{ sec}$ を除けば各係数 l_{1i} は0.328~0.397とほぼ等しく、因子負荷量も0.737~0.929とかなり高い。したがって、 Z_1 は周期0.3~10.0secの各係数にはほぼ同じ重みがついていることがわかる。iii) iおよびiiから第1主成分 Z_1 は応答スペクトル全体の大きさに関係していることがわかる。次に、第2主成分については以下のことが考察できる。i) 第2主成分 Z_2 の各係数

表1 応答スペクトルの主成分

		$X_1(0.1 \text{ sec})$	$X_2(0.2 \text{ sec})$	$X_3(0.3 \text{ sec})$	$X_4(0.5 \text{ sec})$	$X_5(1.0 \text{ sec})$	$X_6(2.0 \text{ sec})$	$X_7(3.0 \text{ sec})$	$X_8(5.0 \text{ sec})$	$X_9(10.0 \text{ sec})$	累積寄与率
第1主成分	l_{1i}	0.1097	0.2759	0.3281	0.3725	0.3170	0.3973	0.3615	0.3734	0.3702	0.601
Z_1	因子負荷量	0.2552	0.6417	0.7630	0.8662	0.7371	0.9240	0.8406	0.8684	0.8608	
第2主成分	l_{2i}	0.3927	0.4417	0.4340	0.2400	0.1770	-0.2591	-0.3352	-0.3597	-0.2548	0.782
Z_2	因子負荷量	0.5010	0.5626	0.5535	0.3061	0.2257	-0.3304	-0.4275	-0.4588	-0.3250	

z_{ei} で固有周期 $T_0 = 0.1 \sim 1.0 \text{ sec}$ の各係数は正であり、固有周期 $T_0 = 2.0 \sim 10.0 \text{ sec}$ の係数は負となっている。このことから、 Z_2 は $X_1 \sim X_6$ が大きく、さらに、 $X_6 \sim X_9$ が小さくなるほど大きくなる。 ii) 因子負荷量より、 Z_2 は固有周期 $T_0 = 0.1 \sim 0.5 \text{ sec}$ および $T_0 = 3.0 \sim 5.0 \text{ sec}$ に依存度が高いことがわかる。 iii) 第2主成分 Z_2 は固有周期 $T_0 = 0.1 \sim 0.5 \text{ sec}$ および $T_0 = 3.0 \sim 5.0 \text{ sec}$ に依存し、しかも、その係数は異符号であることから、第2主成分 Z_2 は応答スペクトルの形すなわち、固有周期 $T_0 = 1.0 \text{ sec}$ 付近における折れ曲りの程度に関係していることがわかる。すなわち、第2主成分 Z_2 は第1主成分 Z_1 が同じ値ならば、 $T_0 = 1.0 \text{ sec}$ 付近における折れ曲りの程度が大きいかほど大きく、反対に、折れ曲りが小さいほど小さくなる。使用した地震データにおいて、第1主成分 Z_1 が最大なもの(No.22)および最小のもの(No.44)、また第2主成分 Z_2 が最大のもの(No.13)、中間のもの(No.14)および最小のもの(No.22)を図1に示す。図1から上記の説明が直観的に理解していただろう。

2) 使用地震データの主成分の分布。図2には使用地震データの主成分が示めされている。図2からはNo.22およびNo.23までの折れは第2主成分 Z_2 は第1主成分 Z_1 に対して右上がり分布している。また第2主成分 Z_2 は第1主成分 Z_1 が大きくなるにつれてその範囲が大きくなっている。なお、No.22およびNo.23はそれぞれ新潟地震(1964年)のN-S, E-W成分であり、記録の後半部に長周期成分の卓越した特異な波形である。さらに、主成分の分布をくわしく検討するために、以下の項目について検討を行った。

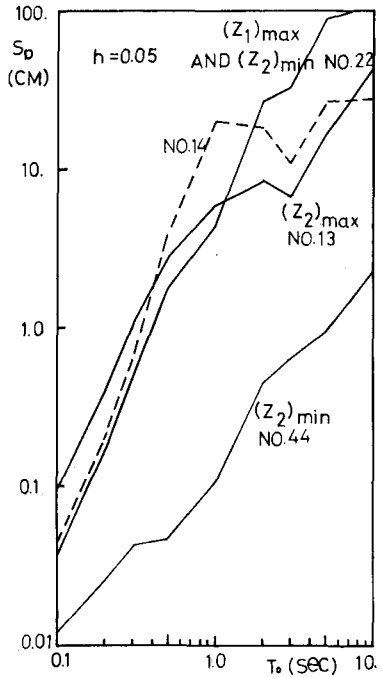


図1 変位応答スペクトル

- (1) 震源機構 マグニチュード、震央距離
 - (2) 伝播経路 表層地盤の特性
 - (3) 波形特性 絶対最大加速度、自乗平方根強度(I)、自乗平方根平均強度(Irms)、ZERO CROSSING RATE、継続時間
- 結果は次の通りである。第1主成分すなわち、応答スペクトルの大きさは、地震動の波形特性のうち、特に振幅レベルに大きく左右される。また継続時間も多少影響する。ZERO CROSSING RATEは傾向がはっきりしない。第2主成分に対しては、第2主成分が第1主成分に対して右上がりの傾向を示す他に、継続時間の影響がみられる。

また、地層地盤別の分布では、岩盤・洪積層・沖積層の順にデータのバラツキが大きくなる。表層地盤別の分布、あるいは、マグニチュード-震央距離別の分布は波形特性的分布とははっきりした傾向は示めさない。

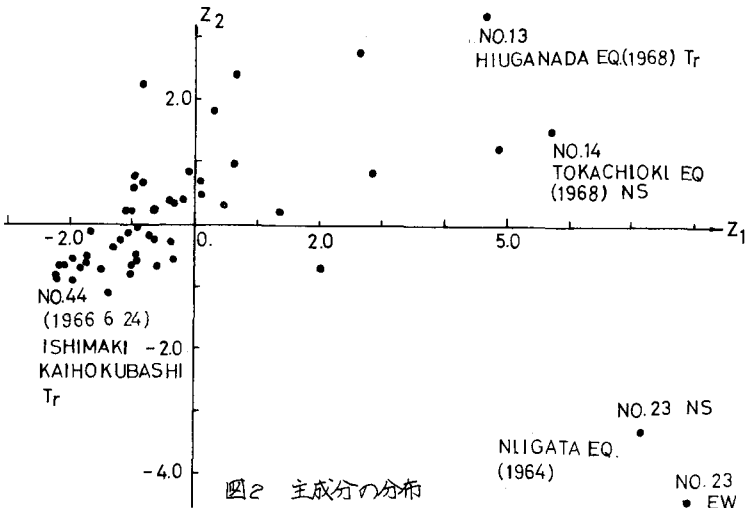


図2 主成分の分布

参考文献 1) 奥野・他著；
多変量解析法，1974年，日科
技連 2) 建設省土木研究所資
料，No.317，MARCH，
1968，No.461，MAY，
1969