

神戸市内の常時微動特性と地震被害との関係

立命館大学理工学部

早川 清*

立命館大学理工学部大学院 仲野 貴裕**

神戸市内における地震被害と地盤特性との関係を検討するために、地盤の動的特性を示す指標として常時微動に着目した。すなわち、神戸の地形的特性と地盤特性とを考慮し、東灘区、灘区、中央区、兵庫区、長田区の各区において山側から海側への南北方向に測線を定め、1測線当り4～5点(計23ヶ所)の地表での常時微動を調査した。

初めに、各測点で同時観測した常時微動の上下成分、水平(NS)成分、水平(EW)成分それぞれのスペクトル分析を行って、卓越周期を求めた。次に、最近、常時微動の卓越周期をよりよく表示する手法として知られている上下成分と水平(NS)成分、水平(EW)成分とのスペクトル比を算出して卓越周期を求めた。算出した常時微動の卓越周期は、0.1"～0.3"、0.5"付近、1.0"～1.6"に分布している。これらの卓越周期で地盤特性を分類し、地震被害との関係を検討している。

1. はじめに

兵庫県南部地震による神戸市内の激甚被害地域は、海岸線にほぼ並行して東北東に延びる幅1～2km、長さ30km程度の帯状の地域に集中している。本報告では、都市直下型のこの地震による地盤に関連した地震被害を把握するために、地盤の常時微動を計測した。すなわち、神戸市の地形、地質特性を勘案して東灘区から長田区にわたり、山側から海側に向かって5つの測線を定めた。各々の測線上には4～5個の測定点を設け、上下、水平2成分の同時観測を行った。これらの測定結果から得られた卓越周期と地震動特性、地盤特性、被害率などとの関連性について考察した。

2. 神戸市の地形・地質概要¹⁾

(1) 神戸市東部の地形・地質

神戸市東部は東灘区、灘区、中央区にかけての東西約12kmの地域である。地形は急峻な山地が海岸に近接している。地質は山地を形成している基盤岩類とこれを覆う堆積層に区分されている。基盤岩類は六甲花崗岩、布引花崗閃緑岩からなる。堆積層は新生代第四期の諸層で、地質年代区分で見ると古い順に、大阪層群、高位段丘層、中位段丘層、低位段丘層、沖積層に区分されている。これらの諸層の分布域は標高的に高い方から低い方へ古い順に並んでいることが特徴である。

沖積層の地質概要は、①湾岸から阪神電鉄までは層厚10～30mまでの沖積シルト層、②阪神電鉄からJRまではN値50以上の砂礫層の上にN値7～30で層厚5～15m程度の砂、シルトの互層、③JRより六甲側ではN値50以上の中位段丘堆積物である礫質堆積物が分布している。

キーワード：常時微動， 地震被害，
地盤振動

* 立命館大学理工学部， 0775-61-2789

** 同上

(2) 神戸市西部の地形・地質

兵庫区、長田区、須磨区の神戸市西部の地形は、北側の六甲山地とそれに続く丘陵部、および市街地の中心部をなす南側の平坦地より構成されている。兵庫区から長田区にかけては、南側の平坦地は比較的広いが、須磨区の西部においては、山と海が近接しており、平坦部がほとんどなくなっている。

神戸市西部の地質は、中生代白亜紀に形成された六甲花崗岩類を基盤岩とし、鮮新統～更新統の大阪層群（粘土、砂、礫）、更新統に堆積した扇状地堆積物である段丘層および完新統の沖積層、埋立地盤から構成されている。

花崗岩類は、須磨断層などNE-SW方向の断層の北側に分布し、大阪層群および扇状地堆積物は、山麓部より南側の丘陵地に分布し、新湊川や妙法寺川によって侵食を受けている。一方、沖積層は大阪層群や扇状地堆積物を覆って、南側の平面部に広く分布し、粘土、砂、礫より構成されている。

この地域で特徴的なことは、兵庫区南部から長田区南部にかけて、砂州と思われる礫質土が広く分布しており、これより内陸部の後背湿地では、粘土層を主体とする沖積層が分布していることである

3. 常時微動の測定内容

(1) 測定場所

上述した神戸市内の地形・地質特性を考慮するとともに、带状に広がる震度7の地域を横断するように東灘区、灘区、中央区、兵庫区、長田区の各区に山側から海側への南北方向に5つの測定ラインを定め、各測定ラインに4～5の測定点、計23ヶ所の測定点を設定

した。測定位置を図-1に、またこれらの測定ラインと測点No.および測定場所名を表-1に示した。

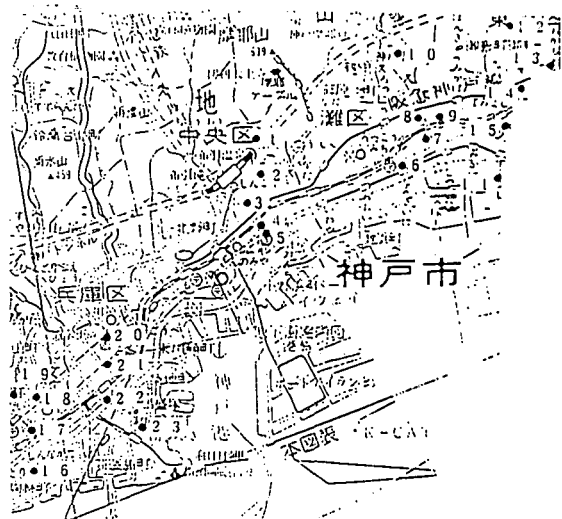


図-1 常時微動の測定位置

表-1 測定ライン・測点No.・測定場所名

測定ライン	測点No.	測定場所名
I	1	布引中学校
	2	雲中小学校
	3	若葉小学校
	4	吾妻小学校
	5	大阪ガス
II	6	新在家
	7	大和公園
	8	高德町
	9	引木田
	10	神戸大学
III	11	御旅公園
	12	住吉台
	13	阪急岡本
	14	神戸商業高校
	15	住吉小学校
IV	16	長楽公園
	17	長田工業高校
	18	長田税務署
	19	西代中学校
V	20	淡川中学校
	21	生田神社
	22	明親小学校
	23	兵庫工業高校

(2) 測定方法

測定は、平成7年3月27～29日の夜間に行った。この時期は復旧・復興事業のため、場所によっては深夜でも大型車両の交通量が多くあった。そこで、走行車両等によるノイズを避けるために、学校のグラウンド、公園などの中央部にピックアップを設置して計測した。

測定に用いた計器は、微振動計の上下方向用（UP-252：振動技研製）および水平方向用（UP-251：同上製）と専用増幅器、データレコーダ（R-81：TEAC製）であり、専用増幅器の出力からの速度記録をデータレコーダに磁気録音した。この方法で、同一地点における上下方向および水平方向（NS、EW）の3成分を約10分間計測するものとした。

4. 測定結果の解析方法

はじめに、磁気録音した速度記録をモニターし、交通機関等による直接的なノイズの含まれていないデータ部分をサンプリングした。次に、FFTアナライザー（US-6620B：ナショナル電子計測製）を用い、周波数0.5Hz～10Hzを対象としてパワースペクトル分析を行った。これらのパワースペクトル分析結果を図-2、図-3に示した。

パワースペクトルは比較しやすくするために、0.1秒を1として表示してある。

さらに、常時微動による地盤の卓越周期をより良く表示する手法として知られている上下成分と水平（NS）成分および水平（EW）成分とのスペクトル比を算出した。これらの結果のうち、各測定ラインにおける代表的な結果を

図-4に示した。

パワースペクトル分析結果およびスペクトル比の分析結果を総合的に判断して卓越周波数を求め、その逆数を卓越周期として決定した。（）内の数字は、ピークのパワーが小さいものを表している。また、No.24測点として、既存のポートアイランドでの測定結果を追加して考察した。

5. 解析結果および考察

表-2は、上述4.の解析によって得られた常時微動の卓越周期と文献²⁾に述べられている震度および表層地質名を一覧表としてまとめたものである。

(1) 常時微動と地震動の卓越周期

常時微動の卓越周期を短周期から長周期の順に列記すると、0.15"～0.20"、0.30"～0.40"、0.50"付近、1.0"付近、および1.2"～1.6"になる。

0.20"付近、0.30"付近の卓越周期はほぼ全域の測点で生じている。地下鉄部が崩壊した神戸高速鉄道大開駅周辺では、中村等³⁾によって詳細な常時微動観測が行われており、EW測線については0.4"～0.6"が、NS測線については0.3"～0.5"の卓越することが示されており、著者等の測定結果と一致している。一方、一般的な常時微動としては比較的長周期の成分である1.0"付近の卓越周期が、測定ラインIのポートアイランドだけでなく山側の全ての測点に見られることと、この卓越周期が神戸市全域においてJR神戸線より北側に生じていることが特徴的である。この長周期成分は地震動のS波成分に相当するものと考えられる。

兵庫県南部地震による強震観測結果から、江尻等⁴⁾は、図-5のように応

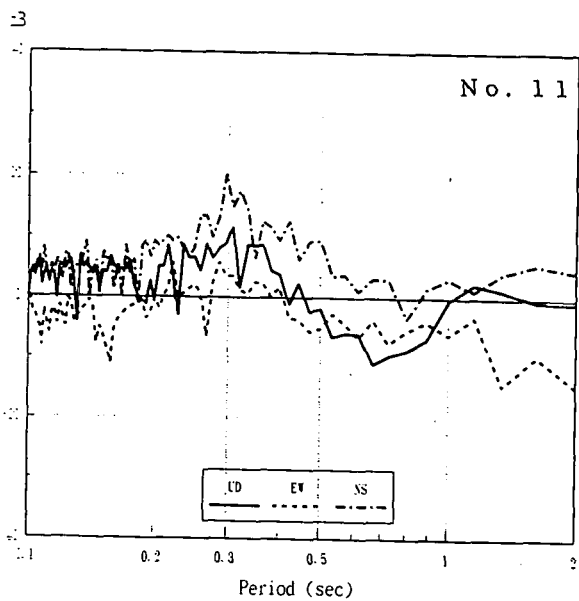
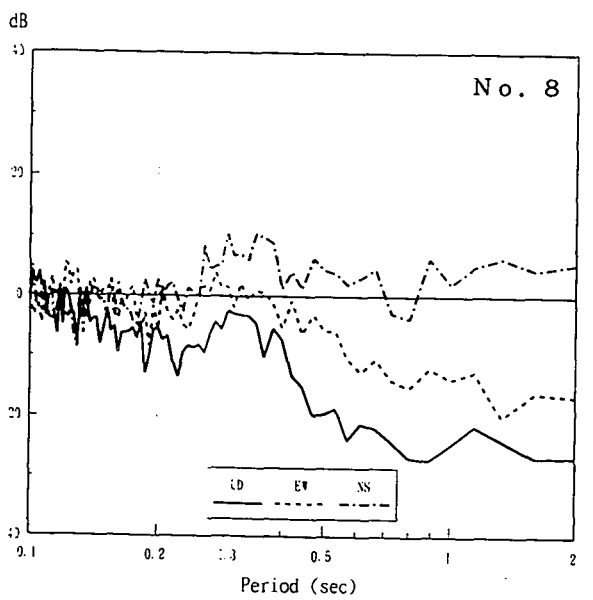
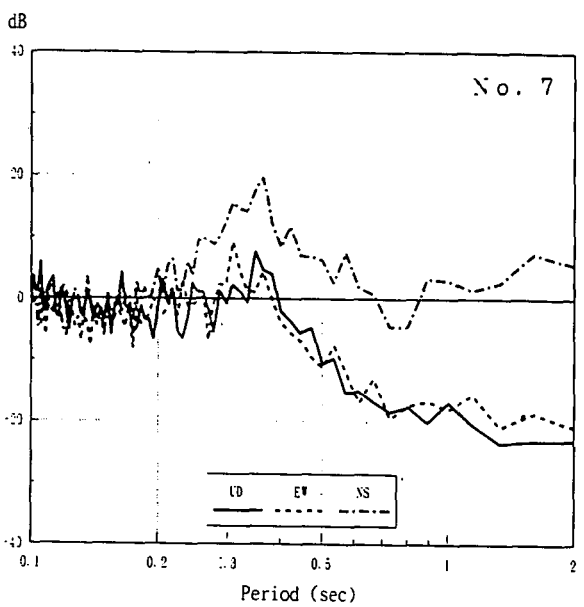
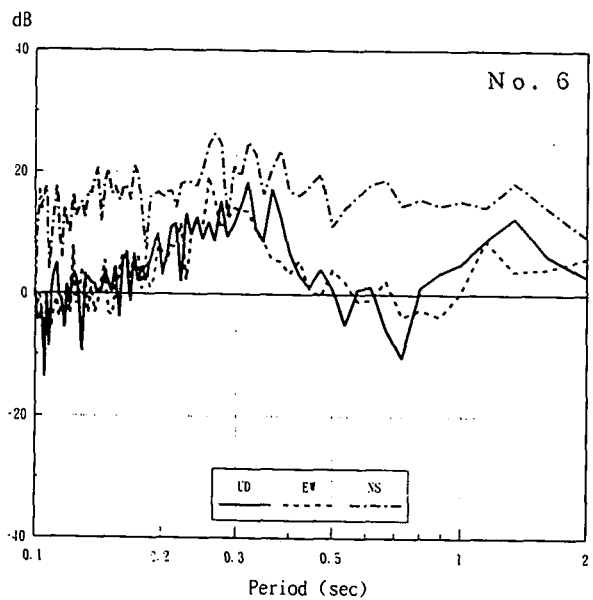
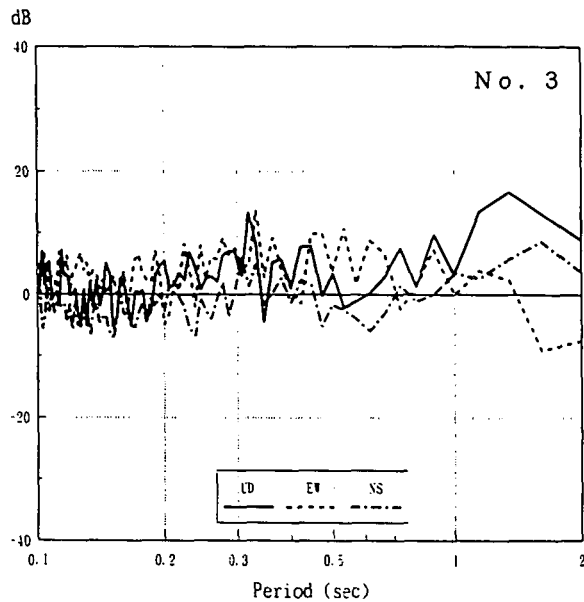
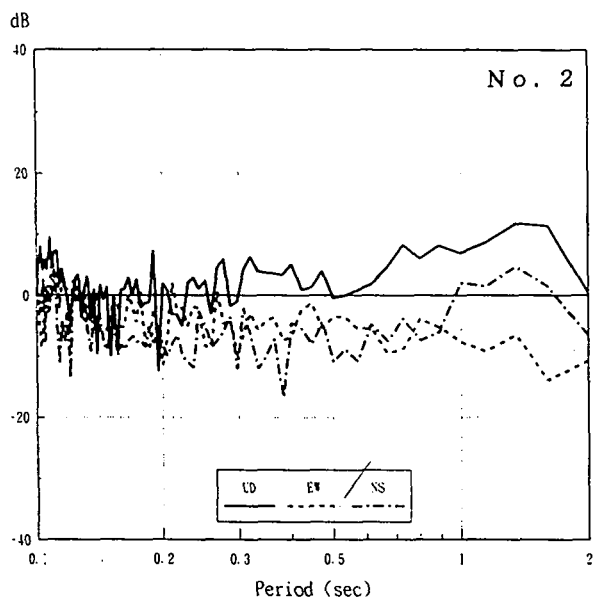


図-2 パワースペクトル分析結果

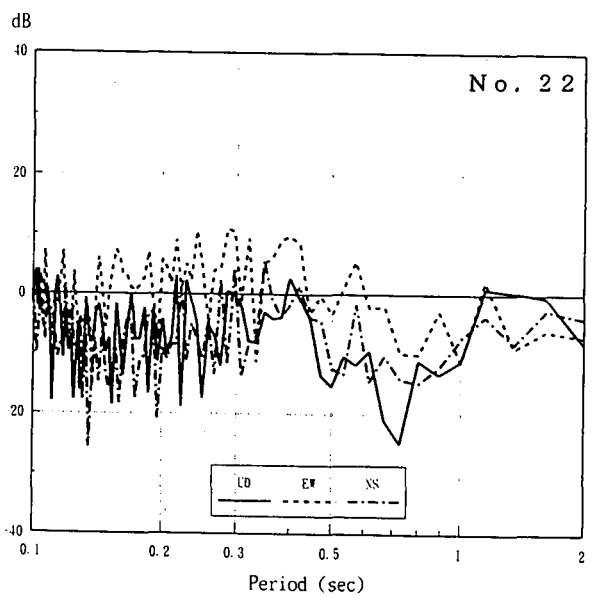
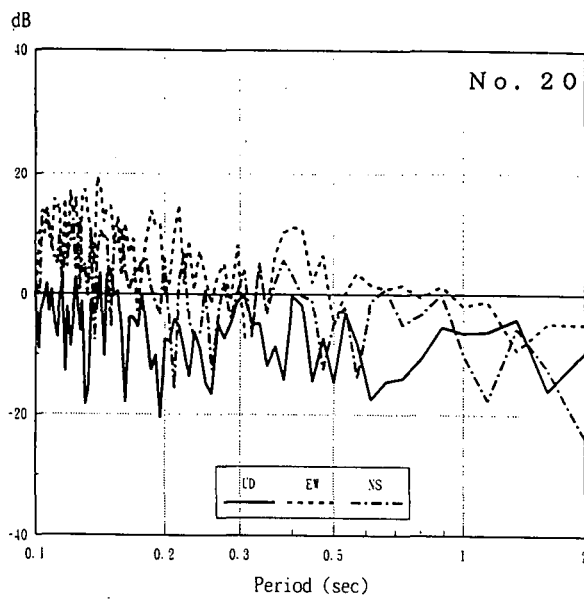
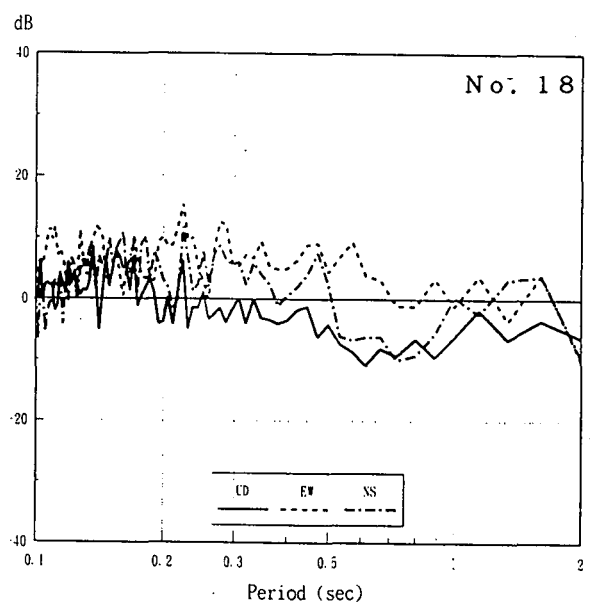
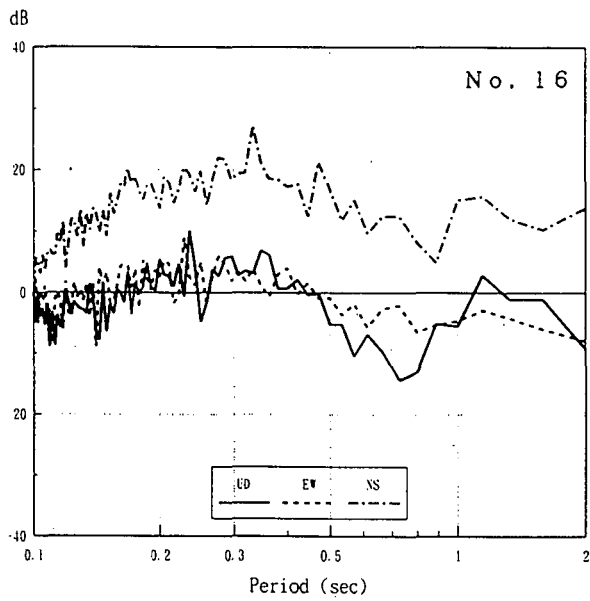
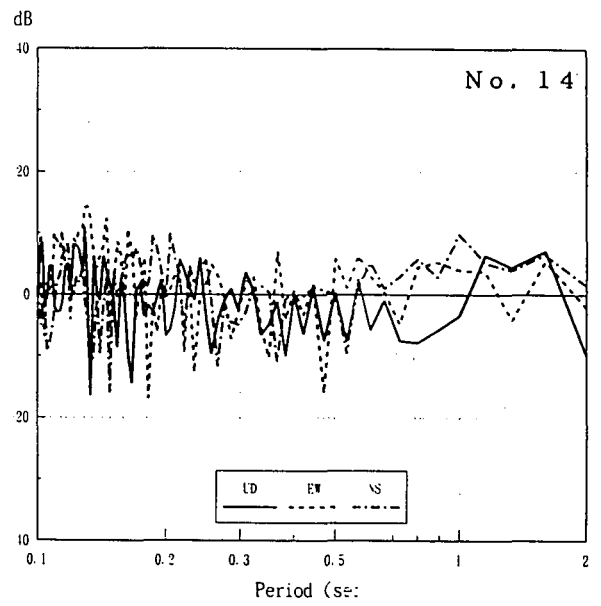
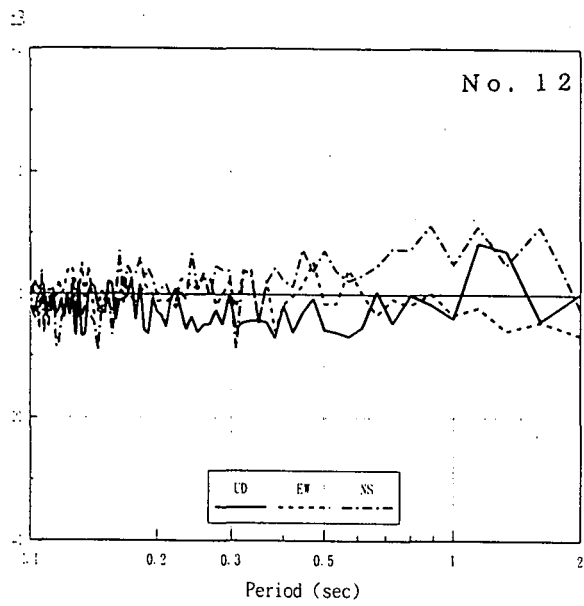
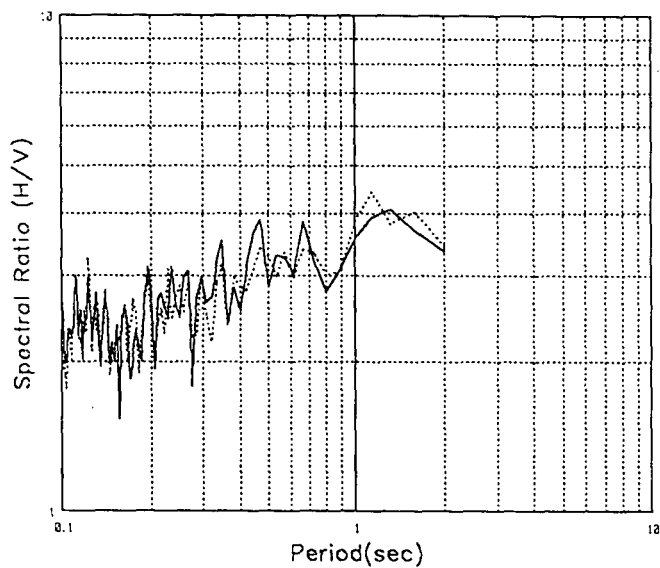
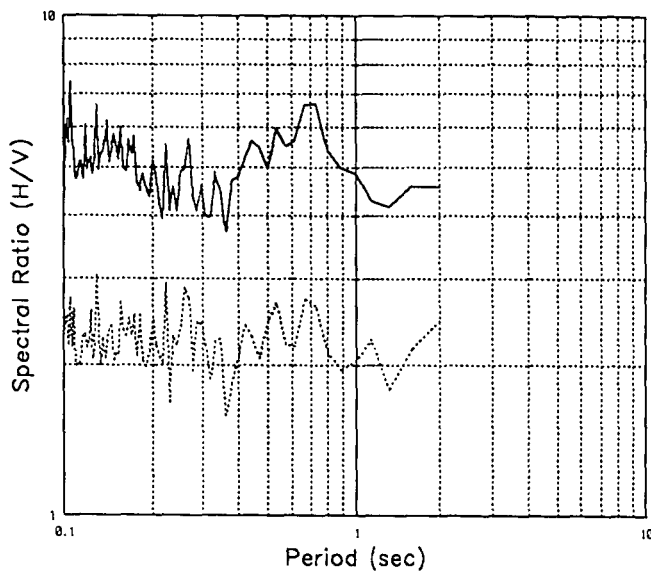


図-3 パワースペクトル分析結果

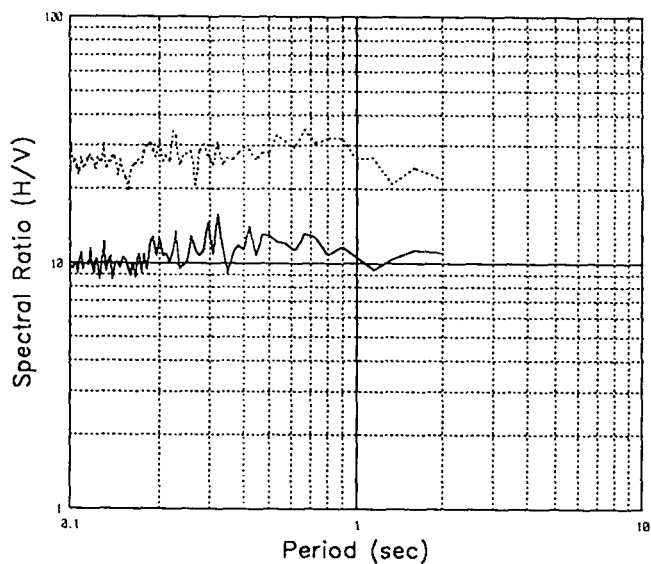
No. 5



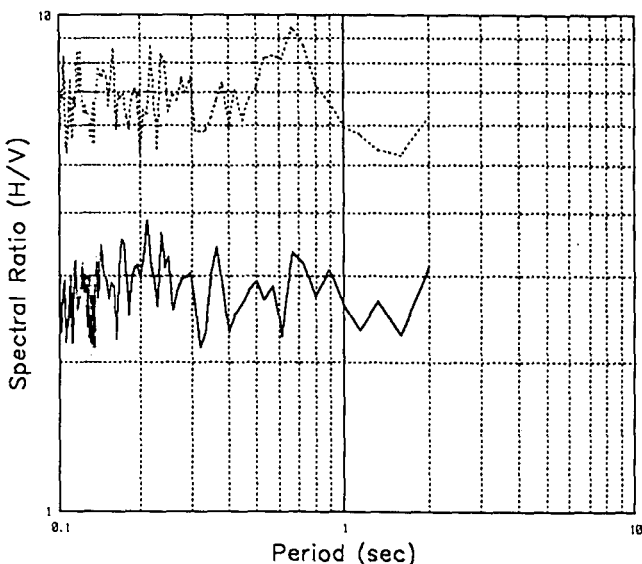
No. 6



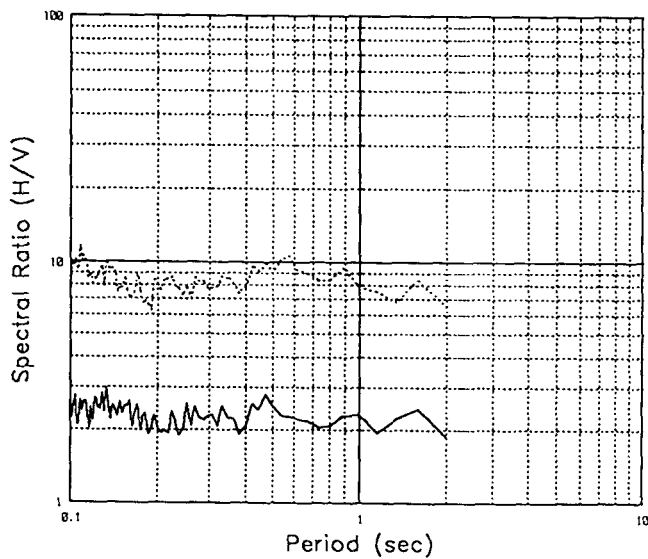
No. 11



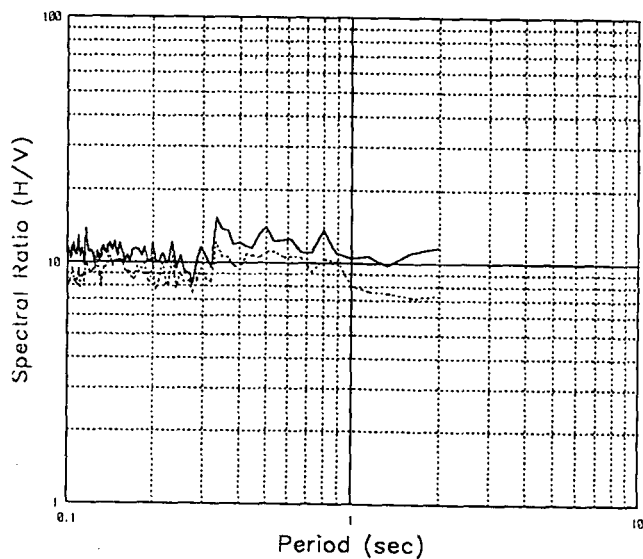
No. 15



No. 18



No. 22



..... EW成分 ——— NS成分

図-4 パワースペクトル比

答加速度スペクトルを算出している。

これらの結果を総括的に見ると、第Ⅰ種地盤であるJMA神戸、神戸大、関電新神戸では2.2"～2.5"、1.2"、0.7"～0.9"、0.3"付近が卓越しており、第Ⅱ種地盤である関電総研、大阪ガスでは1.5"、1.0"、0.5"～0.6"、0.25"が卓越している。さらに第Ⅲ種地盤のポートアイランドでは2.0"付近、0.6"～1.0"、0.3"～0.4"が卓越周期と読み取れる。

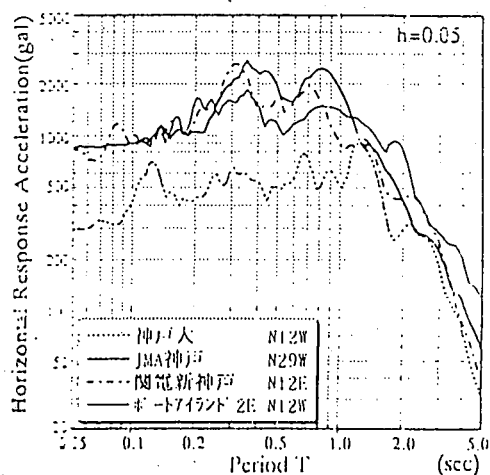


図-5 加速度応答スペクトルの比較

表-2 卓越周期・震度・表層地質名

測点No.	卓越周期(sec)	震度	表層地質名
1	1.0, 0.5, 0.2	6以下	R
2	0.14~0.3, 1.0	6以下	CL
3	0.3, 1.0	6以下	S
4	0.24, 0.9~1.6	6以下	S
5	0.2, 0.35, 1.2~1.4	6以下	ST
6	0.26	7	ST
7	0.36, 0.55	超7	S
8	(0.9, 1.6)	7	S
9	1.0, (0.36~0.46)	超7	S
10	0.36	6以下	R
11	0.18~0.31	6以下	ST
12	0.14, 0.5, 0.9~1.6	6以下	R
13	0.3, 0.8	6以下	S
14	0.14~0.2, 1.0~1.5	超7	ST
15	0.21~0.24	7	ST
16	0.23~0.26	超7	CL
17	0.23~0.33, 0.41	7	CL
18	1.6	7	CL
19	(1.3, 0.2~0.25)	超7	S
20	0.13~0.22, 0.38	6以下	S
21	(0.22~0.38)	7	CL
22	0.33, (0.8~1.1)	6以下	ST
23	0.15~0.3, 0.5	6以下	S
24	1.1~1.4	6以下	F

従って、第Ⅰ種地盤では0.3"および1.4"の卓越周期が、第Ⅱ種地盤では0.5"～0.6"と1.0"の卓越周期が、さらに第Ⅲ種地盤では1.0"付近の卓越周期が常時微動の卓越周期と一致することが理解される。

(2) 常時微動の卓越周期と被害状況との関係

表-2より常時微動の卓越周期と震度との関係を吟味してみると、以下の事項が分る。

ここで、表層地質の略号は、R：花崗岩、ST：玉石地帯、S：砂州、CL：粘土質地、F：埋立て地を示したものである。

- a) 超震度7の地域は、表層地質のS、ST地域に多い。
- b) 超震度7の地域には、1.0"付近の長周期がなく、0.2"～0.3"の短周期のみが卓越する傾向にある。
- c) 震度6以下の地域には、0.15"～0.35"、0.50"、1.0"、1.2"～1.4"と多くの卓越周期が見られる。

従って、0.3"付近の地盤の卓越周期は、木造家屋や低層のRC建物の固有周期に近く共振現象を生じて倒壊し、

周期に近く共振現象を生じて倒壊し、被害率の上昇を招いたものと推察される。

6. おわりに

本報告では、常時微動の卓越周期を地盤の動的指標として、兵庫県南部地震による被害特徴を考察した。得られた知見をまとめると、以下のようになる。

- a) 0.20"付近、0.30"付近の短周期成分はほぼ市内全域で生じているが、1.0"以上の長周期成分が中央区の測定ラインおよびJR神戸線より北側に生ずる特徴が見られた。
- b) 常時微動と地震動の卓越周期は、第I種地盤：0.3"および1.4"、第II種地盤：0.5"～0.6"および1.0"、第III種地盤：1.0"付近で良く一致した。
- c) 超震度7の地域は、表層地質のS、ST地域に多く、この地域では1.0"付近の長周期がなく、0.2"～0.3"の短周期のみが卓越する傾向にある。
- d) 震度6以下の地域には、0.15"

～0.35"、0.50"、1.0"、1.2"～1.4"と多くの卓越周期が存在することが理解された。

今回は、海域よりは陸域を中心とした測定結果の考察にとどまった。著者等は海域の埋立て地盤の7ヶ所でも常時微動観測を行っているので、これらの結果も踏まえて地震被害との関係をさらに検討していきたいと考えている。

【参考文献】

- 1) (財)建設工学研究所：阪神大震災被害状況調査報告書（概要版），pp.1～164，1995年7月
- 2) 中央開発（株）：阪神大震災災害調査報告書（第2報），1995年2月
- 3) 中村 晋他：神戸市兵庫区大開通周辺における常時微動観測，第30回土質工学研究発表会講演集，pp.105～106，1995年7月
- 4) 江尻 譲嗣他：兵庫県南部地震における地震動の諸特性，第23回地震工学研究発表会，pp.237～240，1995年7月

The relationship between the characteristics of microtremors and the earthquake damage in Kobe area

Kiyosi Hayakawa, Takahiro Nakano

We measured microtremors by a moving coil type picks at surface ground of 23 points in Kobe city. From the analysis of the power spectrum and spectral ratios between horizontal and vertical components, the predominant periods are located around 0.1～0.3sec, 0.5sec and 1.0～1.6sec.

From engineering point of view, we consider the predominant periods of microtremors and earthquake motions agree with each other.

Finally, some features of the microtremors and earthquake damage were discussed briefly.