

## 兵庫県南部地震の強震記録にみられる地震動特性

若松 邦夫 江尻 譲 嗣  
野畑 有秀 奥田 暁

## 概 要

1995年兵庫県南部地震の際には、震源域を含め数多くの強震記録が観測された。この報告は、これらの強震記録にみられる最大加速度の距離減衰特性、震源域での強震動特性、構造物の耐震性能からみた地震動強さの評価および大阪で観測された地震動の特徴等についてまとめたものである。その結果、最大加速度の距離減衰特性や水平動に対する上下動の最大加速度比等、おおむね既往の研究結果から解釈できるものも多くあり、今回の地震が特別な地震ではなかったと考えることもできる。しかし、震源近傍の地震動は断層面上の破壊強度の不均質な分布やディレクティビティの影響を強く受け、断層と観測点の位置関係により地動の強さおよび周期性が大きく変化することが認められた。さらに今回は震度Ⅶの激震を記録した極めて強い地震であったが、必ずしも広い周期領域に渡って大きなパワーをもつ地震ではなかったこと、大阪地方においては強い後揺れが認められたことも地震動の強さを評価する上で注意すべきであろう。

## 1. はじめに

1995年兵庫県南部地震の際には、広範囲で数多くの強震記録が得られた。特に、大被害をもたらした震源域における強震動が十分とは言えないまでも複数の地点で観測されたのは、恐らく我が国では初めてのことでありと思われる。この報告は、これらの強震記録にみられる特性を、震源のメカニズムや地下構造、表層地質等と関連付けて解釈し、今回の地震による強震動がどのような性質を有していたものであったかを述べるとともに、地震動予測や構造物の耐震設計に対して留意すべき基本的な地震動特性について示したものである。

## 2. 最大加速度・速度の分布と距離減衰特性

Fig.1, 2には、兵庫県南部地震の際に岩盤または硬質地盤上の強震計により観測された地震動の最大水平加速度 (PHGA) ならびに最大水平速度 (PHGV) の距離減衰を示す。図中には、アメリカのカリフォルニアの硬質地盤における観測記録を基に Joyner & Boore (1981) <sup>1)</sup> が求めた距離減衰曲線 (以下 JB 式) による推定値も併せ示した。推定値の実線はモーメントマグニチュード  $M_w$  6.9 の時の平均値であり平均値の上下の波線は  $\pm 1\sigma$  の偏差を示している。横軸は断層線からの最短距離で、震源断層をインバージョンにより求められた震源モデル等 <sup>2)</sup> を参考に延長約 40km の直線として求めたものである。断層両端の緯度、経度は  $(34.52^\circ, 134.90^\circ)$ 、 $(34.73^\circ, 135.25^\circ)$  とし

た。今回の地震では、震源域で最大加速度で 800gal、最大速度で 100kine を越える強震動が観測されているが震源断層近傍の観測値は、JB 式による推定値のばらつきの範囲内に納まっており今回の地震の際に生じた地震動の最大値が、内陸型活断層で発生した既往地震に比べ特別大きいものではなかったことがわかる。Fig.3 には、強震計により観測された地震動の最大水平加速度の強度別の地域分布を示した。震源断層近傍では特に断層の走行 (ほぼ北東-南西) に沿って加速度が大きく 400gal を越える記録が観測されている。また走行の北東方向の延長線上では京都付近までとかなり遠方まで 250gal を越える記録が観測されていることがわかる。この現象は、局所的な地盤条件や地形効果等による影響も当然考えられるが、今回の地震の震源メカニズムが淡路島北部を震源とした断層面がほぼ鉛直面の右横ずれ断層で走行方向延長線上の地域に SH 波を卓越させやすいこと、さらに遠地観測記録からインバージョン手法により推定された震源断層の破壊伝播様式は、断層破壊が震源から南西方向に約 10km、北東方向に約 30km 進んだバイラテラル破壊で、これにより断層破壊が進行する走行方向延長線上の地域の地震動がディレクティビティ (指向性効果) の影響を強く受けて大きくなった等の理由から解釈可能である。そこで、以下では強震観測記録を用いてこれら地震動強度の地域的偏りにディレクティビティが及ぼした影響を定量的に評価することを試みる。この地震の際に 240 地点の地盤上で観測された最大加速度から地域ごとの平均的な距離減衰曲線を求め、それらを比較することにより地震動強度の地域

的相異を評価する。距離減衰曲線作成に用いた最大加速度観測値は、水平2成分の内大きい方または2成分の合成値 (PHGA) と鉛直成分 (PVGA) であり、それらをさらに観測地点の地盤条件により STIFF と SOFT (それぞれ道路橋示方書 (1990)<sup>3)</sup> に規定される I 種および II, III 種地盤に相当) に分類した。Fig.3 に示す境界線でエリア分けを行い、断層線の延長方向のエリアを A、断層線直交方向のそれを B とした。距離減衰式は、水平鉛直とも同形の (1) 式を用いた。

$$\log \text{PGA} = -\log X_{\text{eq}} - b \cdot X_{\text{eq}} + c \dots\dots\dots (1)$$

これは、最大加速度の距離減衰特性に関する項を幾何

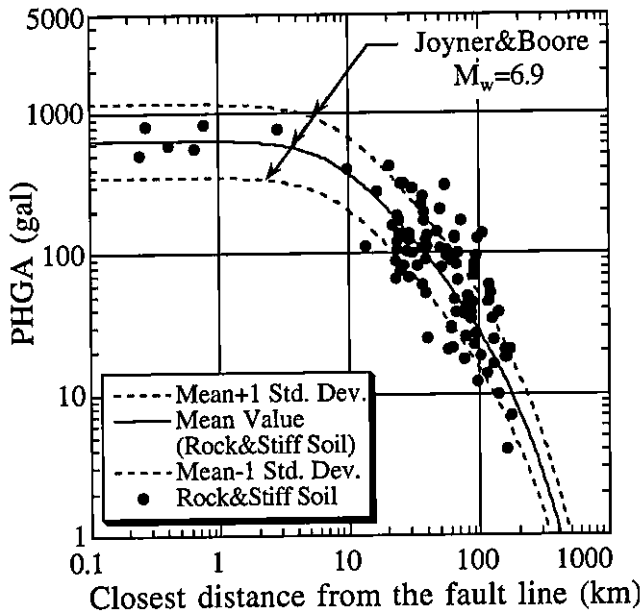


Fig.1 最大水平加速度の距離減衰特性  
PHGA Attenuation on Rock&Stiff Ground

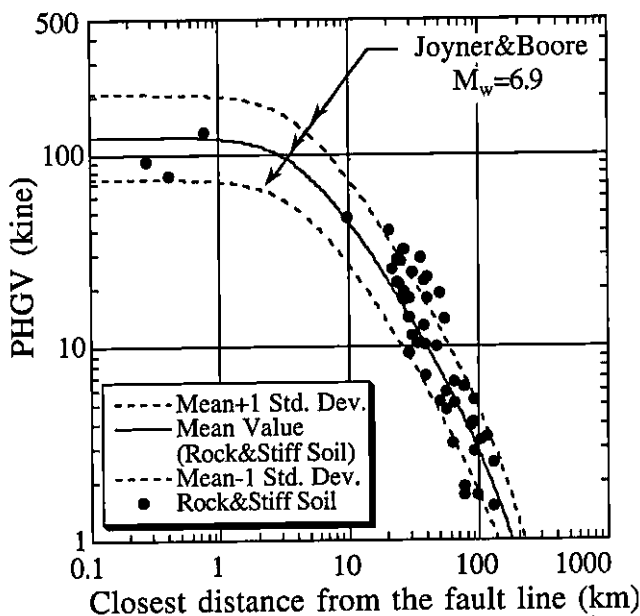


Fig.2 最大水平速度の距離減衰特性  
PHGV Attenuation on Rock&Stiff Ground

減衰項と伝播経路媒質のVsやQ値等の材料特性に依存した内部減衰項に分離したもので全無限媒質に点震源を置いた場合として理論的に誘導できる。式中のXeqは、等価震源距離<sup>4)</sup>と称されるもので、断層面の空間的広がりや断層面上での局所的な破壊強度やすべり量の相異が断層近傍の地震動に及ぼす影響を、距離の概念として取り込むために提案されたもので、これを震源距離や断層最短距離等のかわりに用いることにより (1) 式の形で最大地動の距離減衰特性を断層近傍から遠方まで統一的に説明可能となる。長さ40km、幅15kmの鉛直断面の断層を仮定し、断層面上のすべり量は一様として40×15=600個の1km四方サイズのセグメントに分割した後、それを基に各観測点までのXeqを求めた。(1) 式中の係数bは、ディレクティビティの影響の比較的小さいエリアBにおけるSTIFF地盤上の観測記録から水平・鉛直成分それぞれについて求めた。Fig.4, 5には、回帰分析により求められたそれぞれSTIFF地盤上の水平・鉛直のA, B両エリアの距離減衰の比較を示す。Fig.4の水平では、エリアAの方がBよりもPHGAが50%程度大きくなりディレクティビティの影響が現われている。小山 (1987)<sup>5)</sup> は、震源から放射されるエネルギーの総和を基に短周期地震動へのディレクティビティの影響を理論的に定式化している。それによればバイラテラル破壊の場合、エリアAの方がBよりも最大で50%程度地震動強度が大きくなるという結果を得ており、ここでの結果はこれと良い一致を示す。Fig.5の鉛直は、水平に比較して距離減衰の勾配が若干大きいですが、全体的傾向はほぼ水平と同様の傾向を示す。ただし、断層近傍のPVGAは、PHGAより小さく約2/3の大きさとなっている。断層近傍での地震動強度は、水平で700~900gal、鉛直で500~700gal程度と推定される。Fig.6には、水平鉛直比の距離減衰を示す。STIFF地盤に注目すれば水平鉛直比が1.0以下の観測値は数例にすぎず、地震直後の鉛直動が水平動に比較して極めて大きかったという指摘は観測記録からは支持されない。SOFT地盤では水平鉛直比が1.0以下の観測値が比較的多数見られるが、これ

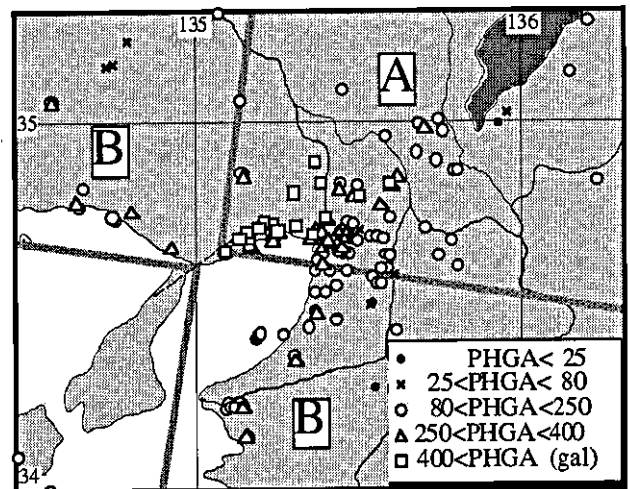


Fig.3 最大水平加速度の地域分布  
Regional Distribution of the PHGA Records

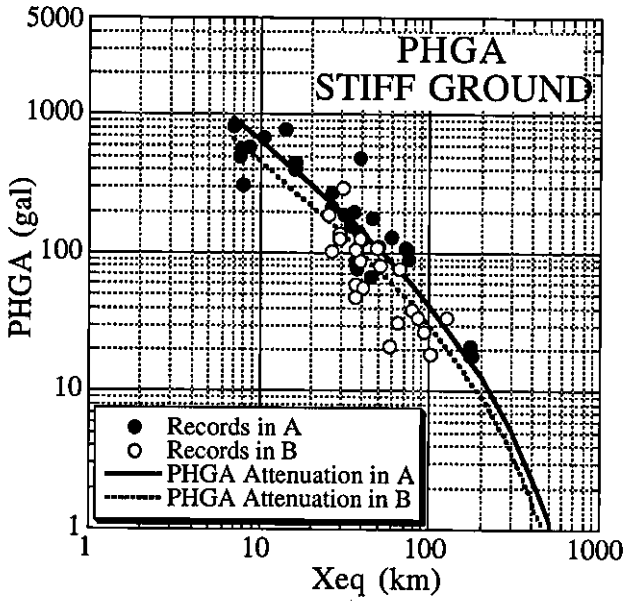


Fig. 4 最大水平加速度の距離減衰特性の比較  
Comparison of PHGA Attenuation between Area A and B

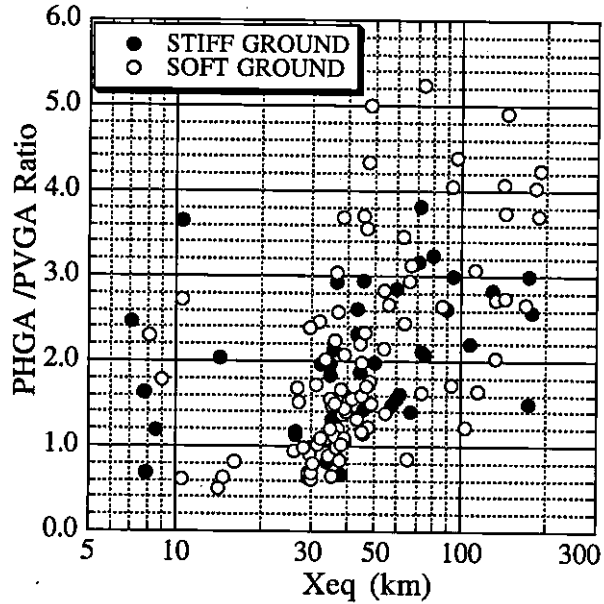


Fig. 6 水平/鉛直最大加速度比の比較  
Comparison of PHGA/PVGA Attenuation

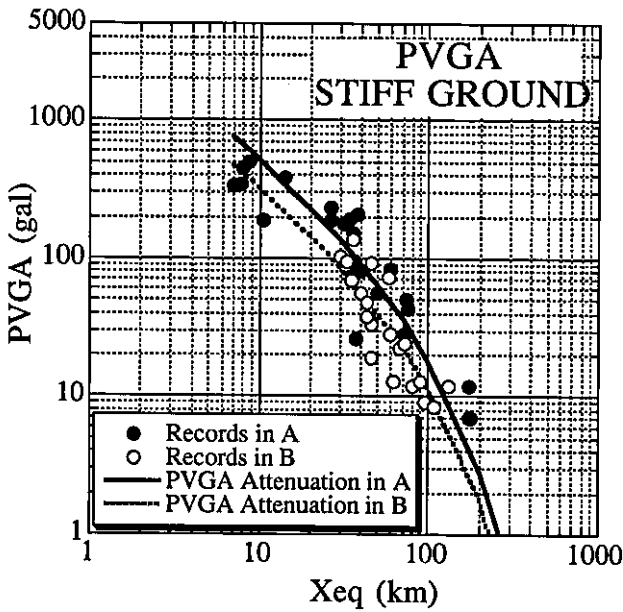


Fig. 5 最大鉛直加速度の距離減衰特性の比較  
Comparison of PVGA Attenuation between Area A and B

らのほとんどが表層軟弱地盤の液状化や強非線形化<sup>9)</sup>のために水平動が増幅せず相対的に鉛直動が大きく見えているためである。

### 3. 震源域での強震動特性

ここでは、震源近傍の観測記録を基に、記録に見られる震源メカニズムや移動震源効果の影響を明らかにするとともに、震源域の記録を設計やシミュレーション等に用いる場合の注意点などについて触れる。なお本章は文献<sup>9)</sup>

から一部を抜粋したものである。

#### 3.1 破壊過程の影響

多数の研究者によるインバージョン等の結果<sup>8), 9)</sup>から、今回の地震は複数の強い破壊を伴ったマルチプル・ショックであったことが報告されている。

震源域における強震記録の内、新長田から本山までの断層近傍のT方向の変位波形をFig.7に示す(観測点位置はFig.9参照)。図中、絶対時刻が記録されているものは、神戸海洋気象台(以下、気象台)、神戸大、本山およびポートアイランド(以下、PI)の4地点である。その他の記録については、初動がほぼ直線上に並ぶようにペーストアップした。同図からすべての測点について共通に対応付けられる訳ではないが、四つの特徴的な位相を確認することができる。まず、①、①'の位相は、新長田でやや明確ではないものの気象台から本山まで明瞭に位相を追跡することが出来る。これらは、淡路島北端付近における第一の破壊に対応するものと思われる。②の位相は、振幅はやや小さいが気象台から新神戸変電所へかけて同位相で認められ、新長田では逆転している。位相の向きから判断すると、破壊は新長田と気象台の間で起こったものと考えられ、①、①'の位相とはほぼ同程度の速度で東北東に進んでいる。この破壊は振幅から判断するとやや小さかったようにみえる。また、③の破壊は、神戸大の西方で起こり、東の方向へ破壊が進んだ可能性が強い。すなわち、神戸大の東西の振幅を比較すると、神戸大から本山へかけては東方へ行くに従って大きな振幅の成長を示すが、NTT神戸や気象台では振幅は小さく位相が反転し、新長田では位相の対応も困難である。このように強いダイレクティブティの効果が認められる。既往の研究結果においても、強い破壊は3回(菊地<sup>8)</sup>によると、淡路島

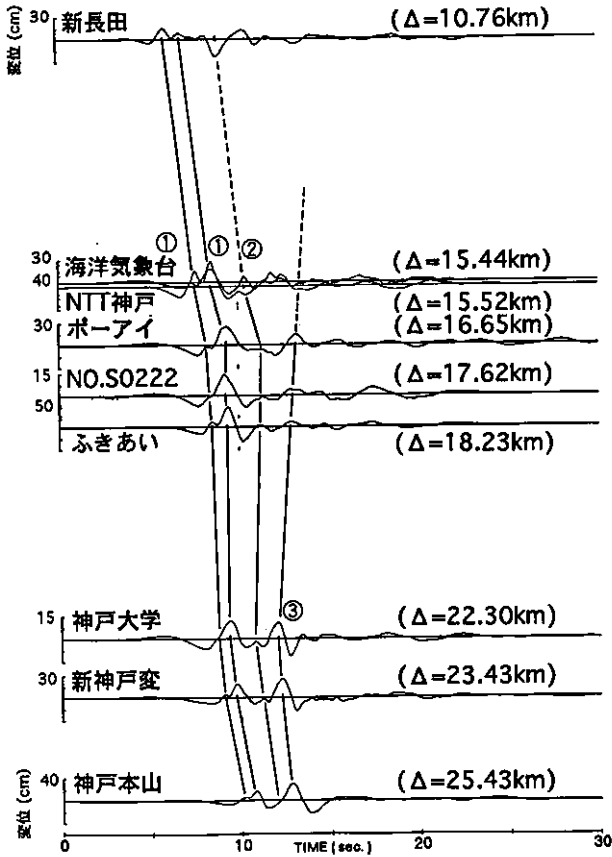


Fig. 7 震源域におけるT方向変位波形のペーストアップ  
Paste Up of Displacement Component of Tangential Component for Epicenter in Near Source Region

北端と気象台の付近および神戸大の近辺である。また、入倉<sup>9)</sup>によれば、淡路島北端と鷹取の付近および神戸大の近辺である。) 起こったことが報告されており、ここに示した解釈はそれらの結果とおおよそ対応しているものと考えられる。このように震源域の地震動は、断層面上の破壊強度の不均質な分布やディレクティビティの影響を強く受け、断層面と観測点の位置関係によって、その形状および強さが大いに異なることが分かる。このことは、断層近傍の波形を一義的に特定することはできないことを意味している。

### 3.2 スペクトル特性および粒子軌跡

Fig. 7に示した新長田から本山に至る9観測点(液状化したと思われる記録を除く)の波形の主要動15秒間に対する速度応答スペクトルを示したのがFig. 8である。同図から、周期特性に関して以下のような二つの特徴が認められる。一つは、各観測点において周期1秒付近に共通したピークが認められることであり、震源特性(特に、淡路島北端で発生した第一の破壊[Fig. 7中①, ①']の影響が強いと思われる。)によるものと考えられる。もう一つは、周期2秒程度以上の成分であり、各観測点でそれぞれ卓越する周期の異なっているのが認められることである。堆積層上の観測記録についてはその増幅による影響も

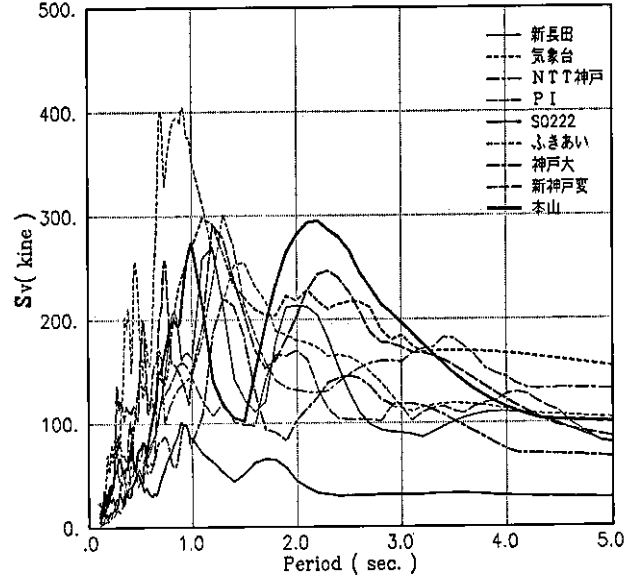


Fig. 8 震源域のT方向の加速度波形に対する速度応答スペクトル (h=2%)  
Velocity Response Spectra (h=2%) of Observed Earthquake Records in Near Source Region

入っていると思われるが、この卓越周期の違いは前項に示したように三つの破壊の発生時刻と位置、それらと観測点との相対的な位置関係に強く依存し、結果として各観測点ごとに固有の時間差をもって各イベントが記録され、スペクトルにもその影響が現われたと解釈される。すなわち、Fig. 8に見られるように、③の破壊が神戸大より西方でおきたため、本山は神戸大より若干短周期側にピークがあり、神戸大より西方に位置する観測点においては、神戸大よりさらに長周期にピークが認められるという具合である。このように、震源域の強震記録は極めて複雑であり、震源域の記録を設計や他サイトのシミュレーション等に用いる場合は注意が必要であると思われる。

次に、デジタル値が公開されている各観測点の水平面内の変位波形による粒子軌跡をスケールを統一してFig. 9に示した。同図に見られるように、各観測点の軌跡はほぼ断層線に直交する方向に最大振幅を示しており、strike-slipが卓越した震源メカニズムの影響が顕著に認められる。振幅については液状化したと思われるサイト(神戸港工事事務所、神戸港第8突堤および東神戸大橋)を除いても各観測点に大きな差が認められ強い地域性のあることが分かる。しかしながら全体的に見ると、岩盤の露頭する山側で小さく、堆積層の厚い海側で大きな振幅を示している傾向はある程度認められ、堆積層による増幅効果が見られる。なお詳細な振幅値の比較については、建物の拘束効果等を含めて今後検討する必要があると思われる。

### 3.3 上下動について

上下動については当初、特殊な被害形態との関連から、一部の記録に見られた大きな加速度値が注目された。こ

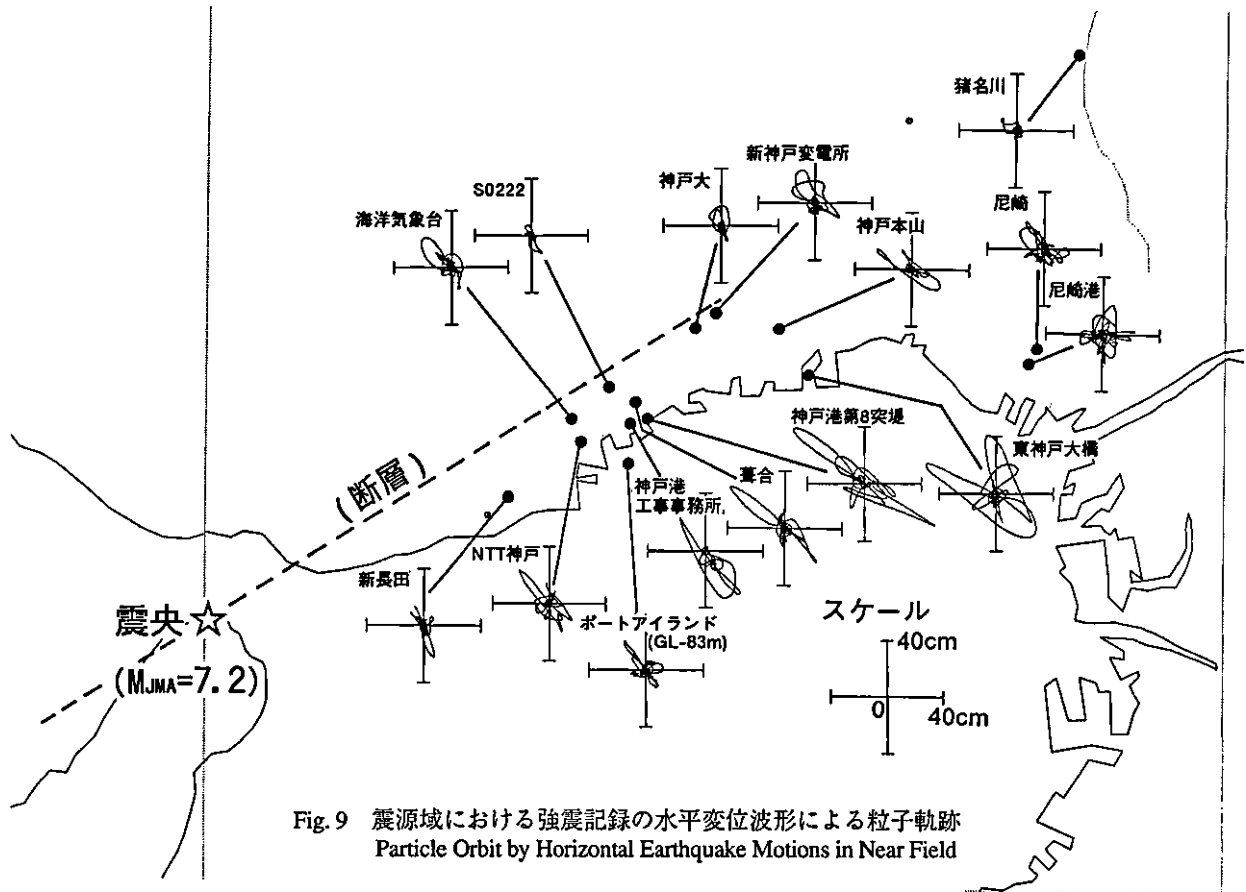


Fig. 9 震源域における強震記録の水平変位波形による粒子軌跡  
Particle Orbit by Horizontal Earthquake Motions in Near Field

ここでは、その発生要因について若干の検討を試みた。

Fig. 10 (a) ~ (d) に示したのは、硬質地盤で唯一水平成分より上下成分が大きな加速度値を示した神戸大における、(a) : T方向の変位波形、(b) ~ (d) : T方向、震源方向(以下、R方向)および上下方向の加速度波形である。神戸大の上下動記録は地震前に大きなオフセット電圧が生じていたため、1回目の破壊に対応したところで一部スケールアウトしている。しかし、最大値を示すところはスケールアウトしているところではなく、この部分の波形による議論は意味を持つものと思われる<sup>11)</sup>。Fig. 10 (a), (d) に見られるように、上下方向の最大加速度の生起時刻は、2回目(②)の破壊によるS波部分と3回目(③)の破壊によるS波部分との中間である。この事実からすると、最大値を示した部分は、1回目および2回目の破壊によるS変換P波の上に3回目の破壊によるP波が加算されたのではないかと推測される。Fig. 10 (e) は、R方向と上下方向の加速度波形のモーションプロダクトである。同図に見られるように、全体的には必ずしも明瞭なP波特性を示していないが、上下動で最大加速度を示した時刻は明らかにP波特性を呈しており、震源メカニズムからは理解し難いが、生起時刻から判断すると3回目の破壊による直達P波の影響が強いものと思われる。以上のことから、マルチプル・ショックの震源近傍において上下動加速度が大きくなった現象は、S変換P波に震源からのP波が加わり、さらに観測点の極表層の地盤条件(本サイトは表層に不飽和風化花崗岩が存在すると言われてい

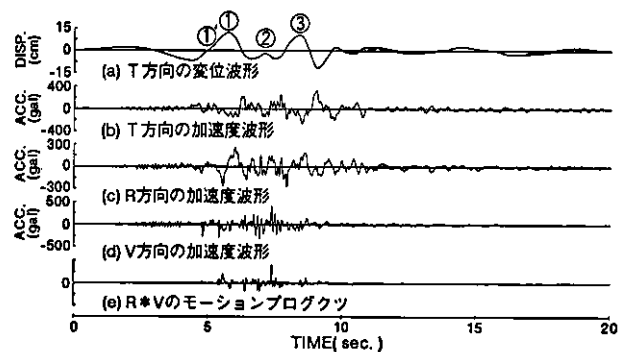


Fig. 10 神戸大における変位波形(T方向), 加速度波形(T,Rおよび上下成分)および加速度波形のモーションプロダクト(R×V)  
Displacement Wave (T), Acceleration Wave (T, R and V) and Motion Products (R × V) of Acceleration Records

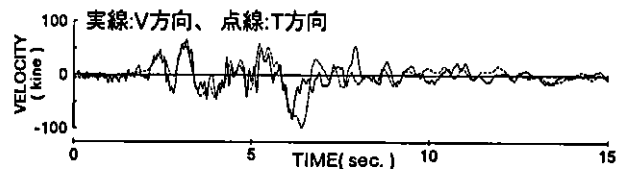


Fig. 11 新神戸変電所におけるT方向と上下方向の速度波形の比較(上下方向の振幅は3倍に拡大, スケールはT方向波形に対応)  
Comparison between the T and V-component of Velocity Record at Shinkobehendensho. Scale of Vertical Component is Magnificated in 3 Times

る)が重なって生じたのではないだろうか。少なくとも、このようなマルチプル・ショックの地震においては、いわゆるS波主要動部の所で上下動が大きな値を示す可能性のあることは指摘できるであろう。なお、ここで示した現象はあくまでも地表面におけるものであり、建物の応答からすれば支持層の震動特性が重要となるため、このような現象をすぐに設計に考慮すべきかどうかは別の問題である。

また、もう一つの上下成分の特徴として以下のようなことが指摘できる。神戸大から北東へ1km程離れた新神戸変電所のT方向と上下方向の速度波形を重ねてFig. 11に示した。上下成分の振幅は3倍に引き伸ばしてある。同図より、上下成分の波形は短周期成分を除けばT方向の波形に極めて良く一致している。本観測点は六甲山に近い位置にあるが、ある程度周期の長い上下成分に関しては基盤が傾斜していることによるS波の斜め入射で説明できるものと考えられる。震源近傍で且つ断層に比較的近い観測点の上下動は、このような効果が顕著に認められ、これも上下成分の最大加速度を大きくした一因になっているものと思われる。ただし、海側の記録に対してはこのような傾向は認められず、厚い堆積層を有する地下構造の違いを反映しているものと推察される。

#### 4. 近年観測された強震記録との比較

1993年釧路沖地震、1994年三陸はるか沖地震、そして1995年兵庫県南部地震と、日本国内でかなりの強震記録が得られている。また、アメリカでも1989年Loma-Prieta地震、1994年Northridge地震等かなりの強震記録が得られている。ここでは、これらの強震記録の内、比較的高加速度の波についての比較・検討を行う。

速度波形の2乗パワーが最大になる方向における波形の弾性入力エネルギースペクトル(減衰10%)をFig. 12に示す。兵庫県南部地震のほぼ岩盤上での記録、神戸大、S0222では周期0.4秒以上で約100cm/secでフラットな傾向を持つが、その他の観測点では、各観測点ごとに異なった周期帯(0.8秒以上)で約3~4倍の振幅が見られる。これは、振幅を増幅させる地盤構造が存在していたことを示唆するものである。一方、他の地震では、SYLMARの記録を除いて短周期側で増幅し、1秒以上では、ほぼ兵庫県南部地震の岩盤と同程度に収束している。すなわち、兵庫県南部地震での岩盤外の記録は、他地震の高加速度を記録した波に比べ、若干長周期側にパワーを有した記録波であることが言える。

Fig. 13には、塑性率3における必要耐力スペクトルを示した。復元力モデルはDegrading Tri Linearで $Q_c/Q_y=1/3$ とし、 $K_y/K_o=1/3$ 、 $\alpha=1/100$ としたものである。減衰は3%の瞬間剛性比例型とした。横軸の周期は、初期剛性を基に記したものであり、降伏周期は約1.8倍、 $\mu=3$ の等価周期で約3.2倍程度となる。同図より、以下の点が指摘できる。周期0.3秒以下では釧路が、0.3~0.5秒では神戸が、それ以上の周期帯では、SYLMARが構造物への影響が大き

い。自由地盤と見なされるこの3波は、短周期でのベースシアは0.8~1.2程度といずれも高く、現状考えられている必要保有耐力の約2倍以上になっていることがわかる(Dsを約0.4として見込む<sup>12)</sup>)。ただし、建屋内で観測されたS0222および長田の記録との比較では、この周期帯でかなりの差があり、記録には、最大加速度だけでなく非線形応答に対しても影響する相互作用効果が含まれていることを示唆している。したがって、設計入力としての波形の妥当性を検討するためにも得られた観測記録の設置状況の確認が非常に重要な課題となる。

2章では、最大加速度に関する水平動と上下動の比較を行ったが、ここでは、周期領域での水平と上下の関係について概観する。Fig. 14には、上下/水平(2方向ベクトル

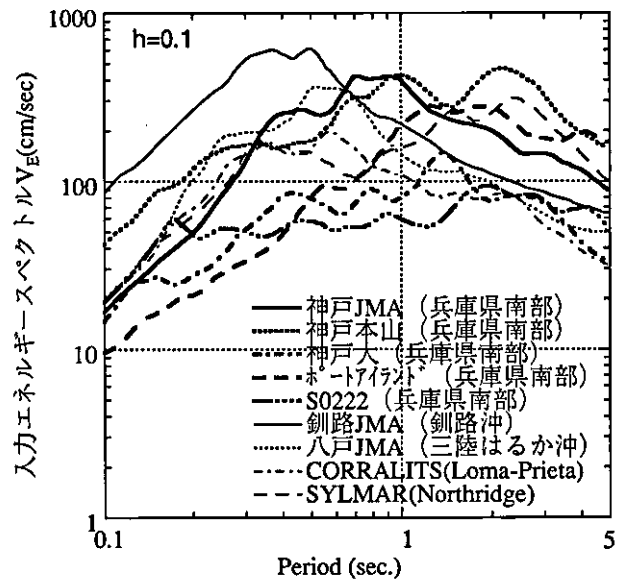


Fig. 12 エネルギースペクトル Energy Spectra

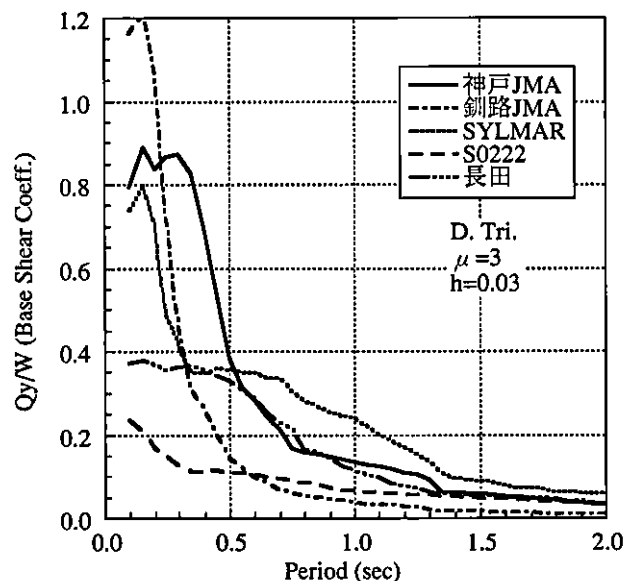


Fig. 13 必要耐力スペクトル Yield Shear Force Spectra

最大値)の加速度応答スペクトル比を示す。軟弱地盤非線形性の影響のあるポートアイランド地表の記録を除くと、兵庫県南部地震も他地震と同様、周期0.2秒程度から落ちはじめ、ほぼ水平に対して1/3~1/5程度の値となる。ただし、兵庫県南部地震の記録では、長周期領域で、他地震より若干大きめの値となっている。これは、前章で示したように、速度記録で水平と上下の相関が非常に良く、振幅を約3倍すれば波形上で重なる現象に対応している。このような上下動が、水平・上下の連成が問題となるであろう長大構造物、超高層建築物等に及ぼす影響については、今後の検討課題の一つでもある。

### 5. 大阪地域と震源近傍の地震動特性の比較

今回の地震において大阪では震度IVが報告されるなど、隣接する阪神地域と大阪地域とでは、全体的な被害の程度に大きな違いが見られた。一方で超高層ビルなどの長周期構造物では、いずれの地域においても倒壊などの甚大な被害は報告されていない。これらの点を地震動特性の面から考察する。

Fig.15に示す震源近傍ならびに大阪地域の観測点における地震動として、Fig.16に、①神戸海洋気象台、②神戸大学、③大阪市大正区(地表面)、④大阪市大正区(洪積層中:Vs=360m/s,表層地盤1次周期1秒)、それぞれでの加速度観測波形を示す。また、Fig.17に、それらの2次元フーリエスペクトルの比較を示す。

Fig.16から、大阪地域では、加速度最大値は相対的に小さかったものの震動継続時間はかなり長かったことが読み取れる。Fig.17では、1秒よりも短周期側でのパワーが大阪地域は震源近傍の約半分であるのに対して、2秒から3秒付近よりも長い周期領域側では、両者がほぼ同程度ないし大阪地域が上回っている。

これら長周期側の増幅の正体としては、従来から言わ

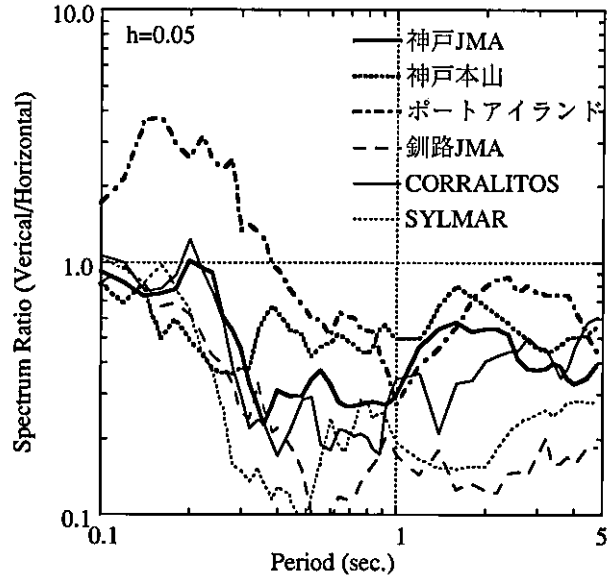


Fig. 14 上下/水平スペクトル比  
Ratio of Vertical Spectrum to Horizontal Spectrum

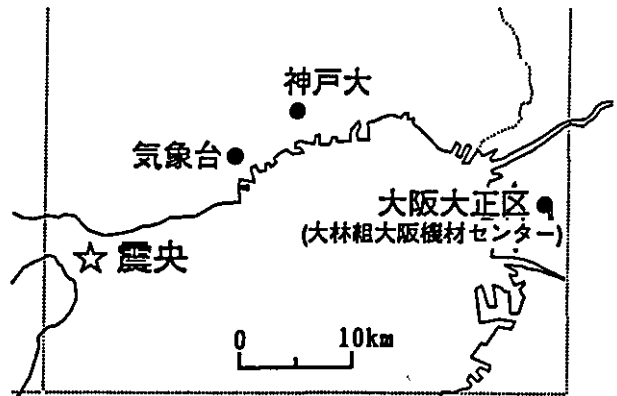


Fig. 15 震源近傍と大阪地域の地震観測点位置  
Observatories Location in Kobe and Osaka

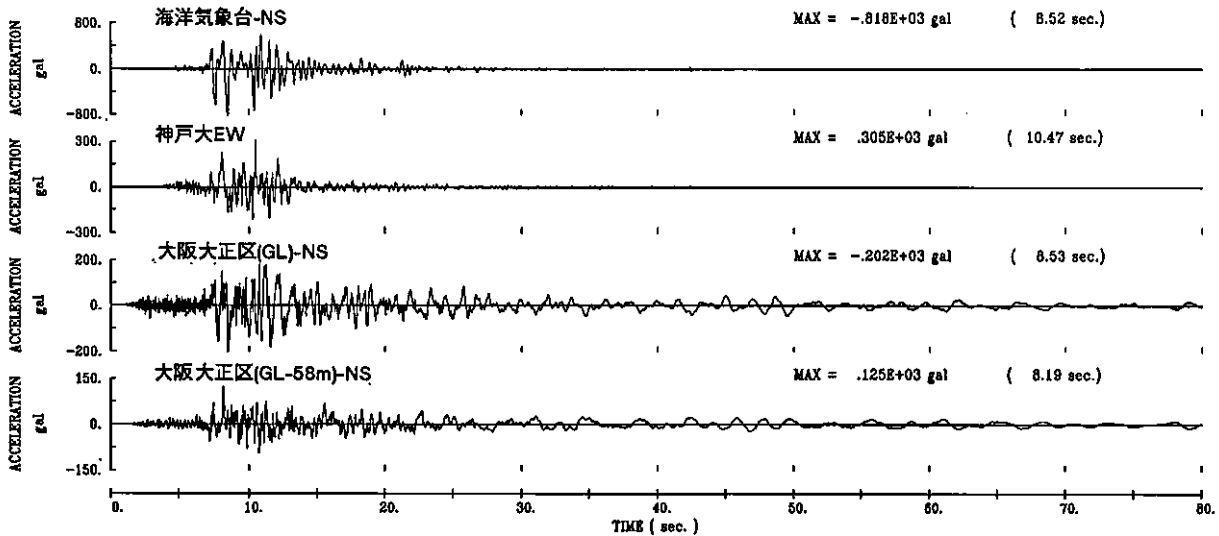


Fig. 16 各観測点における本震の加速度観測波形 (大阪市大正区の震央距離は4.5 km)  
Acceleration Waveforms of Main Shock

れている大阪平野の堆積層に起因した長周期表面波が指摘される。つまり、主として短周期側の強震動により、震源近傍において甚大な被害がほぼ瞬間的に生じたあとも、大阪地域では、長周期側の地震動がしばらく継続していたことを示す。

また、Fig.18とFig.19は、今回の地震以前の4年間に大阪および神戸の気象台で定常的に観測された様々な震源条件の地震記録に見られる、みかけ卓越周期(水平動変位最大振幅を与える周期)の度数分布である<sup>13)</sup>。ほぼ同じ地震を観測していながら、神戸の気象台は周期がまちまちであるのに対して、大阪の気象台は選択的に、4秒前後で揺れていることが読み取れる。大阪地域は潜在的に、長周期で揺れやすいことがうかがえる。

以上、入力地震動の面から見た今回の直下型地震の特徴は、海溝型巨大地震に比べてエネルギーが小さく、震源特性からも長周期地震動が励起される要因が充分には揃わなかったと思われる。なお、長周期地震動については、今後も慎重に検討する必要があると思われる。

## 6. おわりに

震源近傍で得られた強震記録の特徴およびこれらの強震記録を設計やシミュレーション等に用いる場合の問題点について述べた。今回の地震は、震源が浅かったことから極めて甚大な被害を生じたが、震源近傍も含めた地震動の特性、例えば、最大加速度の距離減衰特性、水平動に対する上下動の最大加速度比、大きな上下動を生じた要因等、おおむね既往の研究結果から解釈できるものも多くあり、今回の地震が特別な地震ではなかったと考えることもできる。しかし、震源近傍の地震動は断層面上の破壊強度の不均質な分布やディレクティブティの影響を強く受け、断層と観測点の位置関係により地動の強さおよび周期性が大きく変化することが認められた。極めて強く複雑な特性をもつ震源域の地震動をどのように設計に取り込んで行くか今後の大きな問題である。さらに今回は震度Ⅶの激震を記録した極めて強い地震であったが、必ずしも広い周期領域に渡って大きなパワーをもつ地震ではなかったことも地震動の強さを評価する上で注意すべきであろう。

## 謝 辞

本研究では、『気象庁の観測記録』、『関西地震観測研究協議会の観測記録』、『同協議会を通じて公開されている神戸市、建設省土木研究所、関西電力株式会社、大阪ガス株式会社および株式会社竹中工務店の観測記録』、『日本電信電話株式会社<sup>14)</sup>、住宅・都市整備公団<sup>15)</sup>および運輸省港湾技術研究所から御提供いただいた観測記録』、並びに『J R<sup>16)</sup>の観測記録』を使用させていただきました。記して感謝いたします。

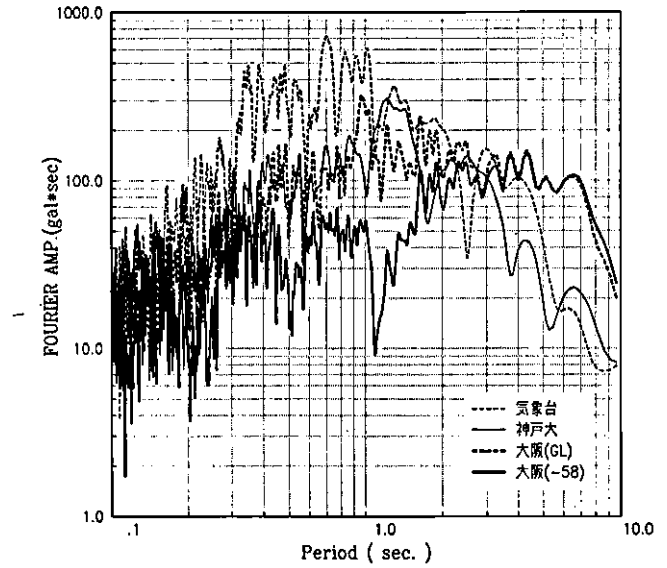


Fig. 17 2次元フーリエスペクトルの比較  
Fourier Spectra of Main Shock

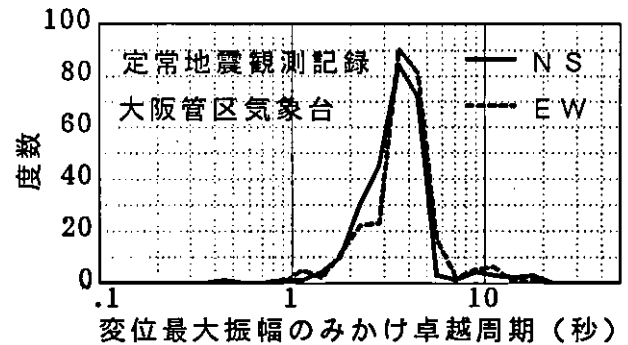


Fig. 18 大阪で観測される地震動のみかけ卓越周期  
Predominant Period Histogram Observed  
at JMA Osaka

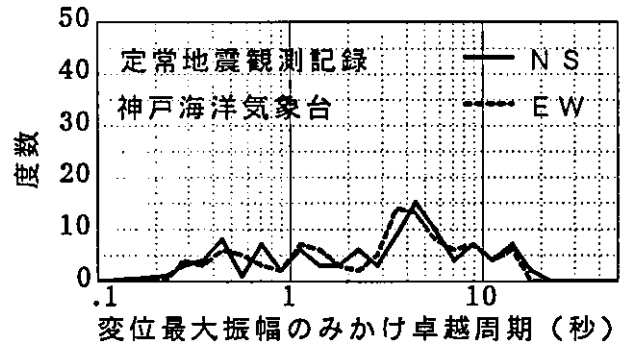


Fig. 19 神戸で観測される地震動のみかけ卓越周期  
Predominant Period Histogram Observed  
at JMA Kobe



参考文献

- 1) Joyner, Boore : Peak Horizontal Acceleration and Velocity from Strong Motion Records from the 1979 Imperial Valley -California- Earthquake, BSSA, Vol.71, No.6, p.2011~2038, (1981)
- 2) 菊地 : 遠地実体波による震源のメカニズム, 月刊地号外, No.13, p.47~53, (1995)
- 3) (社) 日本道路協会 : 道路橋示方書・同解説, 耐震設編, (1990)
- 4) Ohno, Ohta, Ikeura, Takemura : Revision of Attenuation Formula considering the Effect of Fault Size to Evaluate Strong Motion Spectra in near Field, Tectonophysics, 218, p.69~81, (1993)
- 5) 小山 : 短周期地震波の方位依存性, 地震, 第2輯, Vol.40, p.397~404, (1987)
- 6) Ejiri・Sawada・Goto・Toki : Peak Ground Motion Characteristics, Special Issue of Soils and Foundations, JGS, p.7~13, (1996)
- 7) 若松 : 震源域での強震動; 第23回地盤震動シンポジウム, 日本建築学会, (1995.10.13)
- 8) 例えば, 菊地 : 遠地の地震記録による震源メカニズム; 兵庫県南部地震調査報告会記録, 第四紀学会, (1995)
- 9) 例えば, 入倉 : 兵庫県南部地震の強震動の特徴; 平成6年度文部省科学研究費研究成果報告書(平成7年兵庫県南部地震とその被害に関する調査研究, 課題番号06306022) 研究代表者 藤原悌三, (平成7年3月)
- 10) 香川, 入倉 : 平成7年兵庫県南部地震で得られた神戸市域の強震観測記録の検討; 第23回地震工学研究発表会講演概要, (平成7年7月)
- 11) 西川, 山村, 藤堂 : 被害地域における強震動の特徴; 第2回多次元入力地震動と構造物他次元挙動に関するシンポジウム, (1996.2)
- 12) 赤沢, 中島 : 兵庫県南部地震記録を用いた構造物の応答スペクトル特性; 日本建築学会大会学術講演梗概集 B-2, (1995.8)
- 13) 奥田, 野畑, 若松, 安井 : 気象庁地震観測点の揺れ易さについて, 大林組技術研究所報, No.51, p.1~6, (1995)
- 14) 関, 土肥, 赤木, 二宮, 奥田 : 兵庫県南部地震におけるNTT建物の地震記録について(その1) - 広域地震観測による記録の分析 - ; 日本建築学会大会学術講演梗概集 B-2, (1995.8)
- 15) 日下部 : 地震入力観測調査(その21) 報告書; 平成6年度住宅・都市整備公団報告書, (平成7年3月15日)
- 16) 中村 : 1995年兵庫県南部地震の地震動記録波形と分析 V1.1; JR地震情報, No.23c, (財) 鉄道総合技術研究所ユレダス推進部, (1995年2月15日)