

平成7年兵庫県南部地震
被害調査報告書
(第二報)

1995年3月31日

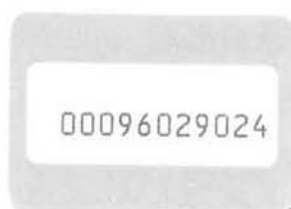
in 鹿 島

震災文庫 11-²⁰⁰₋₂

平成7年兵庫県南部地震
被害調査報告書
(第二報)



1995年3月31日



鹿島

平成7年兵庫県南部地震被害調査報告書(第二報) について

平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震に関する当社の『平成7年兵庫県南部地震被害調査報告書(第一報)』は、社内各部の調査担当者が見たまま感じたままをそのまま取り纏めたもので、内容の精粗については大方のご批判ご叱責を覚悟しつつ、拙速ながら2月1日に発行したものであります。

『平成7年兵庫県南部地震被害調査報告書(第二報)』は第一報で触れなかった調査項目と引続き実施中の調査・分析・検討の諸結果を現時点で取り纏めたものであります。

第二報には僅かながら当社の見解や提言も含まれております。大地の脅威、自然の摂理はもとより一知半解を許すものではなく、その意味で本報告書は速報の域を出るものではありませんが、多くの死者を含む被災者の無念を思い、来たるべき次の大震災の防止を願って一臂の労となれることを祈念いたしました。

ご高覧・ご参照いただければ幸甚に存じます。

1995年3月31日

鹿島建設株式会社
震災対策本部長

代表取締役社長 宮崎 明

1

地震動について

1.1 概要

兵庫県南部地震が発生してから2ヶ月半近く経ち、復興に向けての計画が精力的に検討され、実施されつつある現時点で、その始点となるべき地震・地震動の姿を総括的に捉え、第一次近似的にでも評価することが必要であろう。

本章では上記観点に立って、地震発生以後各研究機関の多大な努力によりもたらされた地震・地震動に関する情報を参考にし、当社の追加調査や検討結果を整理した。以下に概要を示す。

(1) 震源の特性と断層モデル

余震の分布および各研究機関より公表された観測記録を基に、初動S波や後続の卓越したS波の到来時刻や到来方向を分析し、断層破壊のシナリオを次のように推定した。

地震発生；初動S波の振幅から断層の初期破壊は余り大きくはなかった。

1回目の大破壊；初期破壊から約1秒後、破壊開始点とほぼ同じ領域で衝撃的な破壊が生じ、これが北東及び南西方向に伝播した。

2回目の大破壊；北東に伝播した破壊は、やがて（破壊開始から約3秒後）須磨区の直下で再び大きな破壊をもたらした。

この破壊過程を模式的に示せば図1.1-1のようになる。

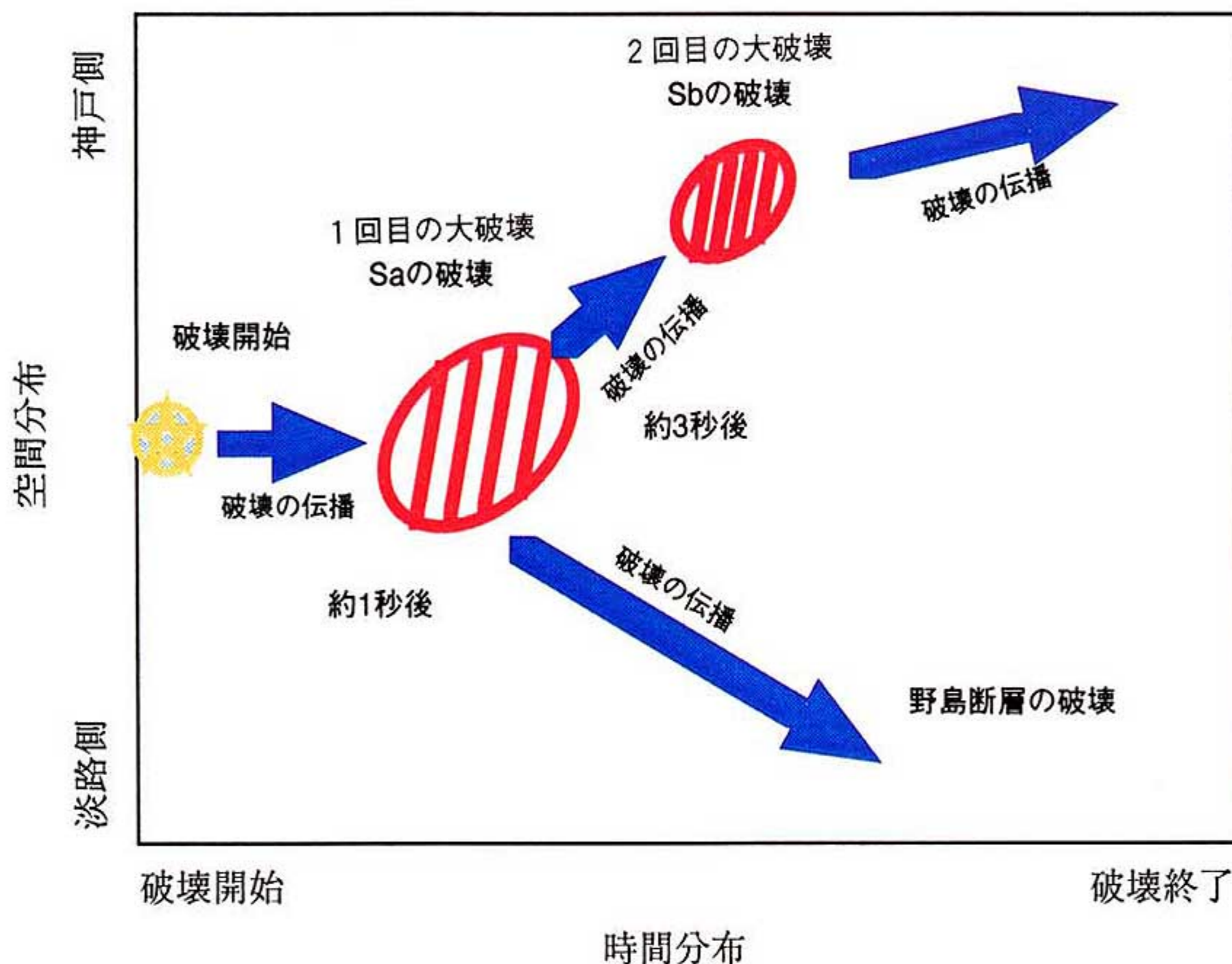


図1.1-1 震源断層破壊のシナリオ

(2) 被害調査結果から見た強震動の地域性

墓石の転倒率、寺院や神社の被害状況から地震動強さのランク分けを行い、さらに人的被害とも比較した。その結果、以下のような強震動の特徴が抽出できた。

- i) 被害が大きく地震動が強かったと推定される領域は、須磨一会下山-諏訪山-芦屋-甲陽の断層線の南ないしは東の約2.5kmの範囲に限られる。この強震域は、余震域（須磨-布引-五助橋の断層線）とは一致せず、強震分布の原因が前者の断層線を挟んだ地下構造の急変に有ることが示唆される（図1.1-2）。
- ii) 強震域の南側の境界は芦屋から神戸にかけては埋立地の境界、西宮では三角州低地の境界にほぼ一致している。このことも地震動の強さの分布が地下構造の違いに強く支配されていることを示唆している。
- iii) 地震動強さと人的被害とは対応し、地震動強さAランク（最大速度50cm/s以上と推定）では0.2%以上の死亡率となっている。

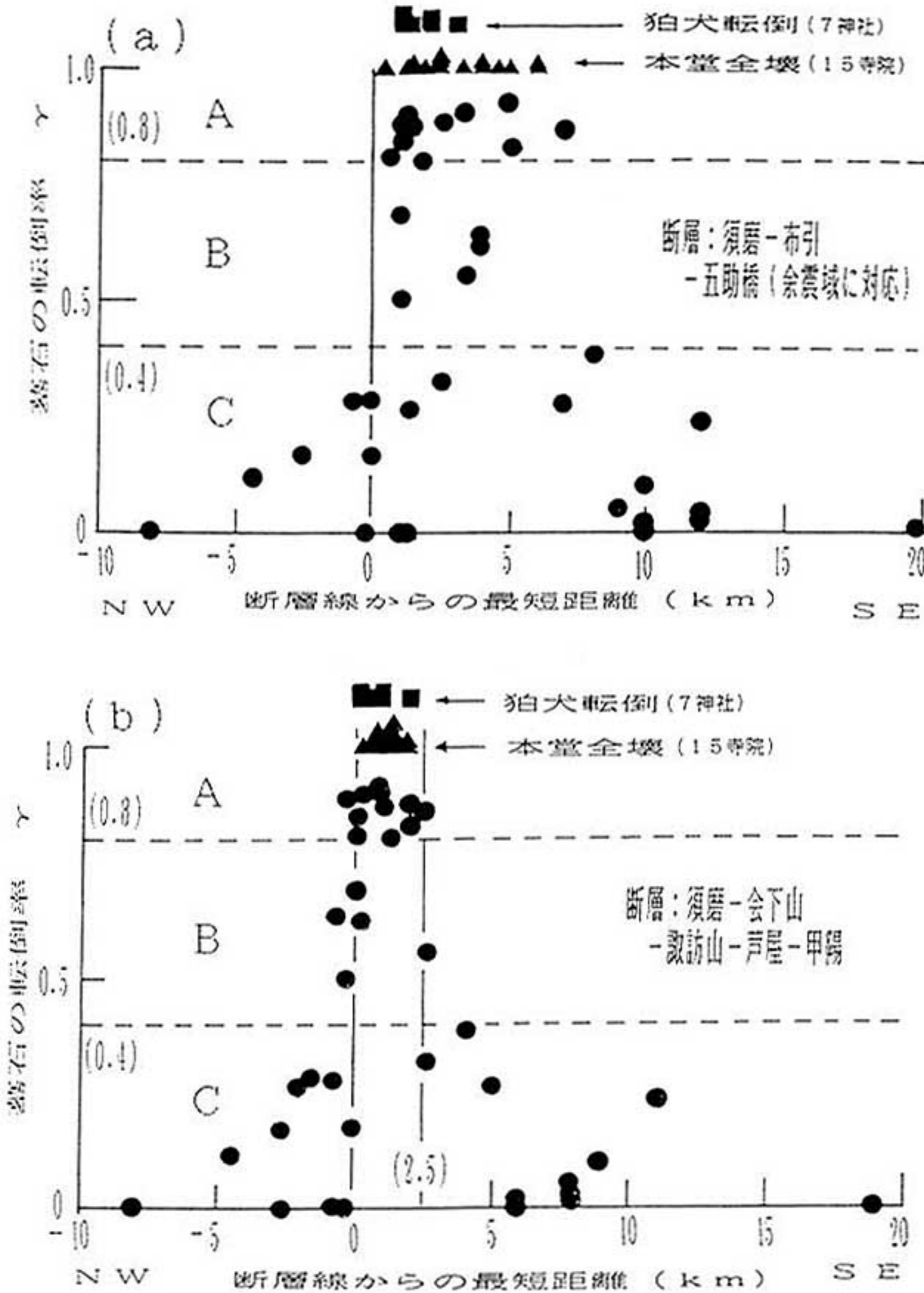


図1.1-2 断層線からの距離と地震動強さの関係

(3) 余震・微動観測に基づく表層地盤の特性

住吉川に沿った南北方向で、北の六甲山地（測点記号SKU、MTJ）から南へ住吉小学校(SME)までの約3km間で行った同時地震観測結果の分析によると、地表から、S波速度が1.3km/sの硬質岩盤*までの深さは、これより上位層の平均s波速度を0.7km/sと仮定した場合、山地からJR線付近までの1kmの間に急に深さを増し、600~700mとなっていることが推定される。

また、六甲山地から六甲アイランドに至る約6kmの常時微動観測の結果から、被害の大きい地域では周期0.4秒付近で地震動の増幅が大きくなることが明らかになった。

以上の結果を図1.1-3および図1.1-4に示す。

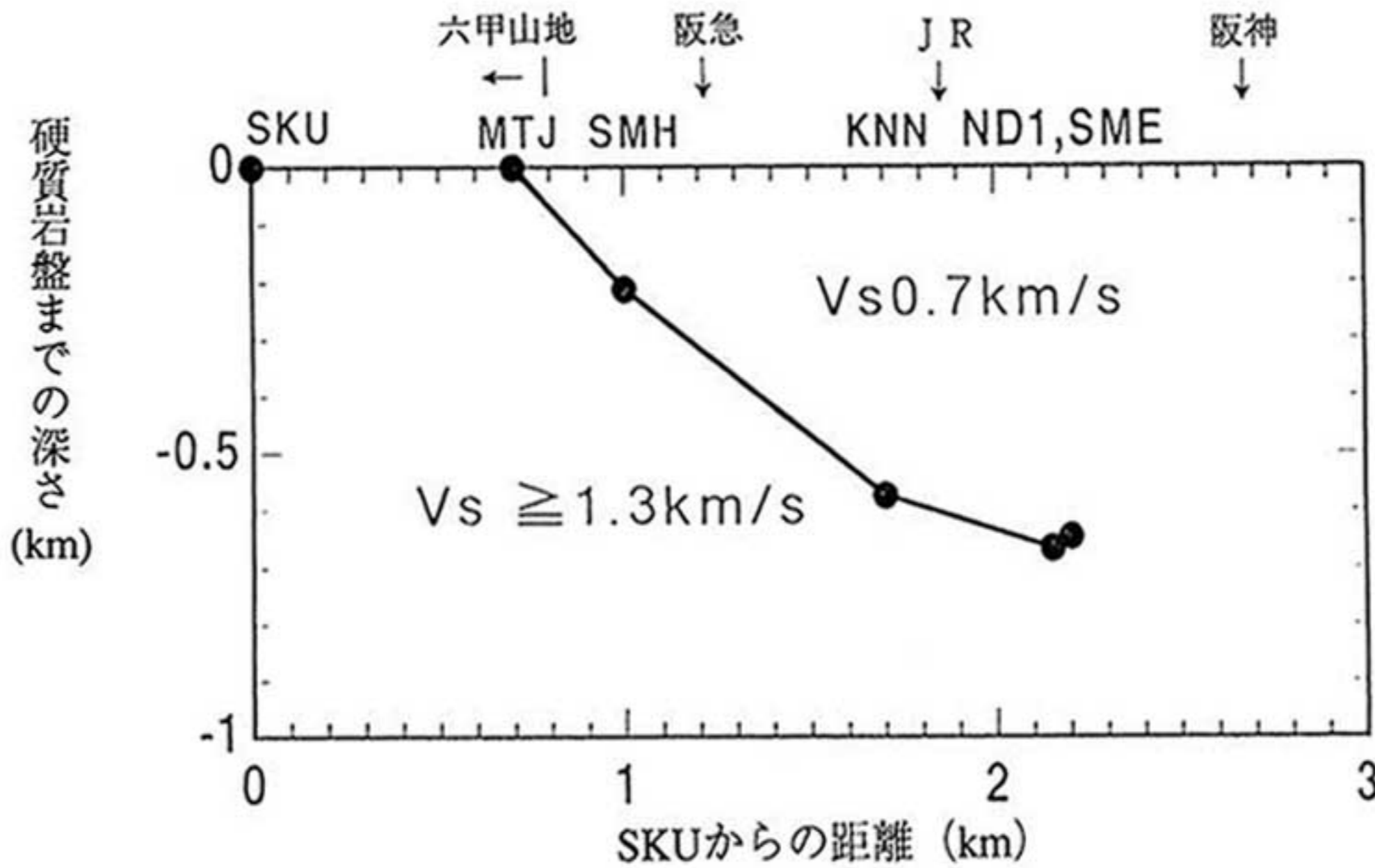


図1.1-3 地震観測から推定される硬質岩盤の深さ

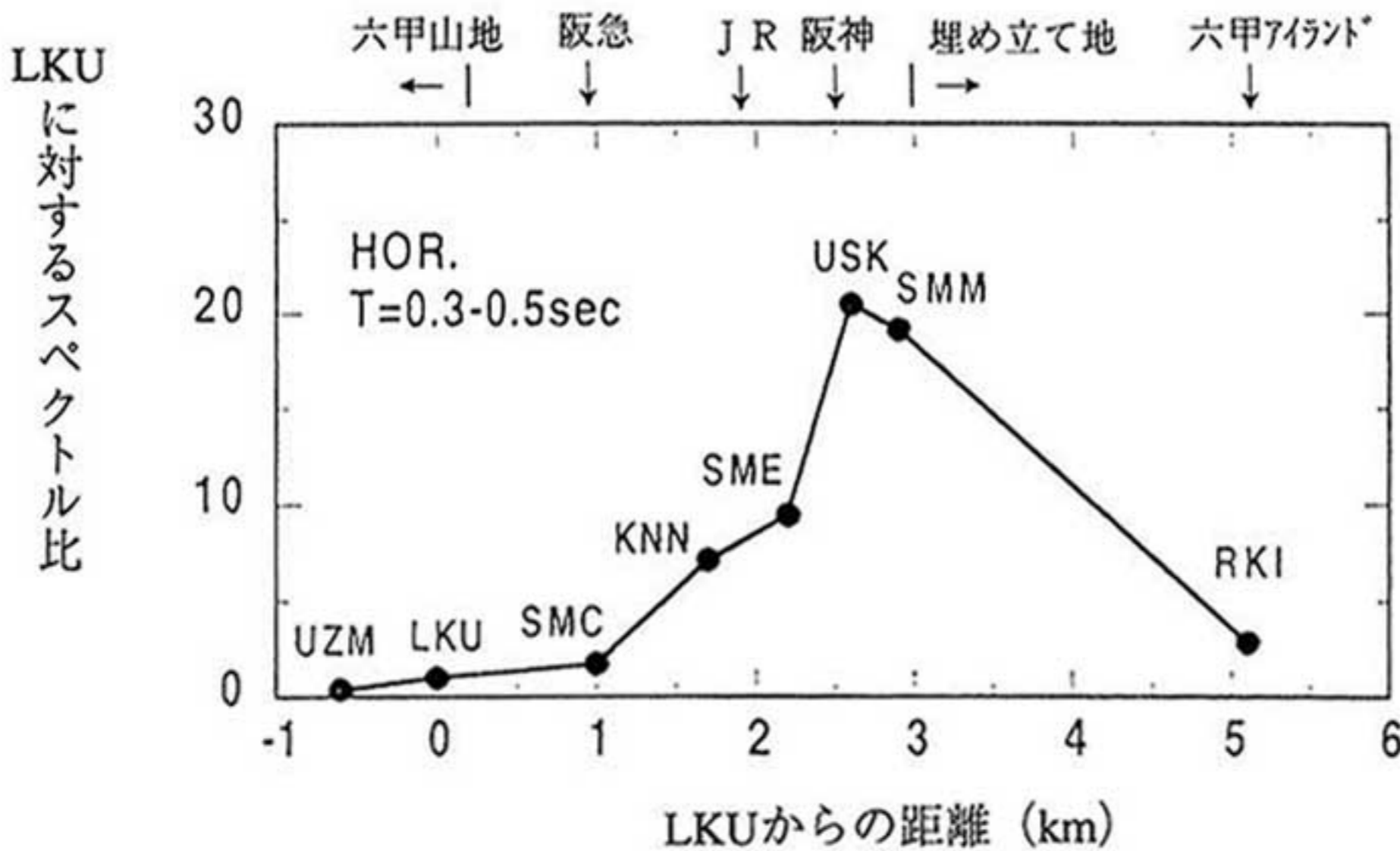


図1.1-4 微動測定から推定される地震動の増幅度（周期0.4秒付近）

* 本稿では、S波速度Vsを目安にして、基盤(Vs=3.0km/s程度)、硬質岩盤(Vs=1.3km/s程度)、軟質岩盤(Vs=0.7km/s程度)、表層地盤(軟質岩盤以浅)に大略地層区分して用いる。

(4) 基盤不整形を考慮した地震動増幅特性

神戸市中央区二宮の温泉ボーリング資料（基盤深さ724m）や大阪湾基盤岩深度図等に基づいて六甲断層系に直交する断面を対象とした模式的な2次元解析モデルを作成し、平面波入射時の地盤応答解析により基盤以浅の地震動増幅特性を検討した。その結果、最大加速度応答が六甲山地と埋立地の間で大きくなること、深い地下構造が帯状の被害分布に影響を与えている可能性があることが示唆された。

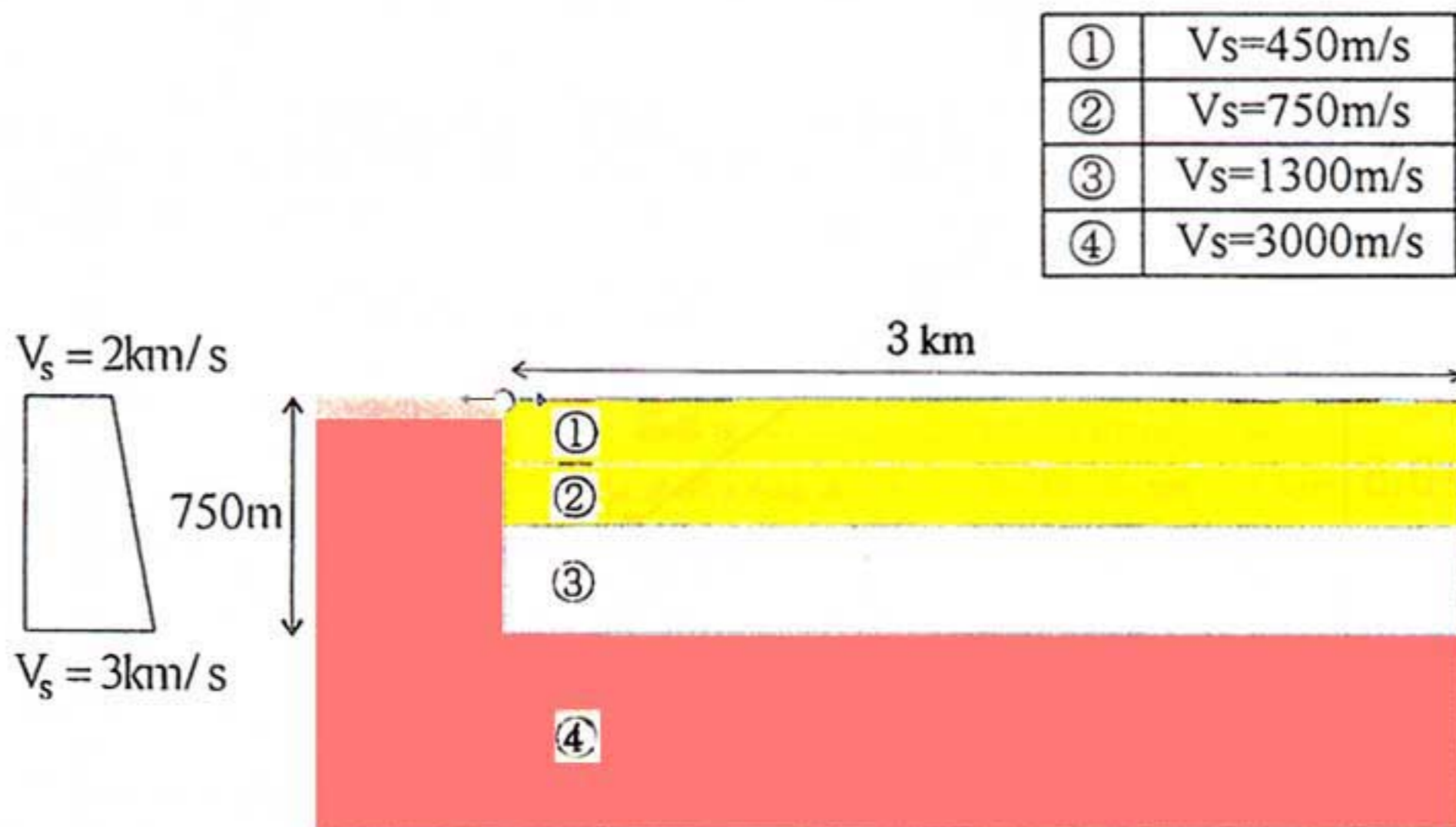


図1.1-5 2次元解析モデル

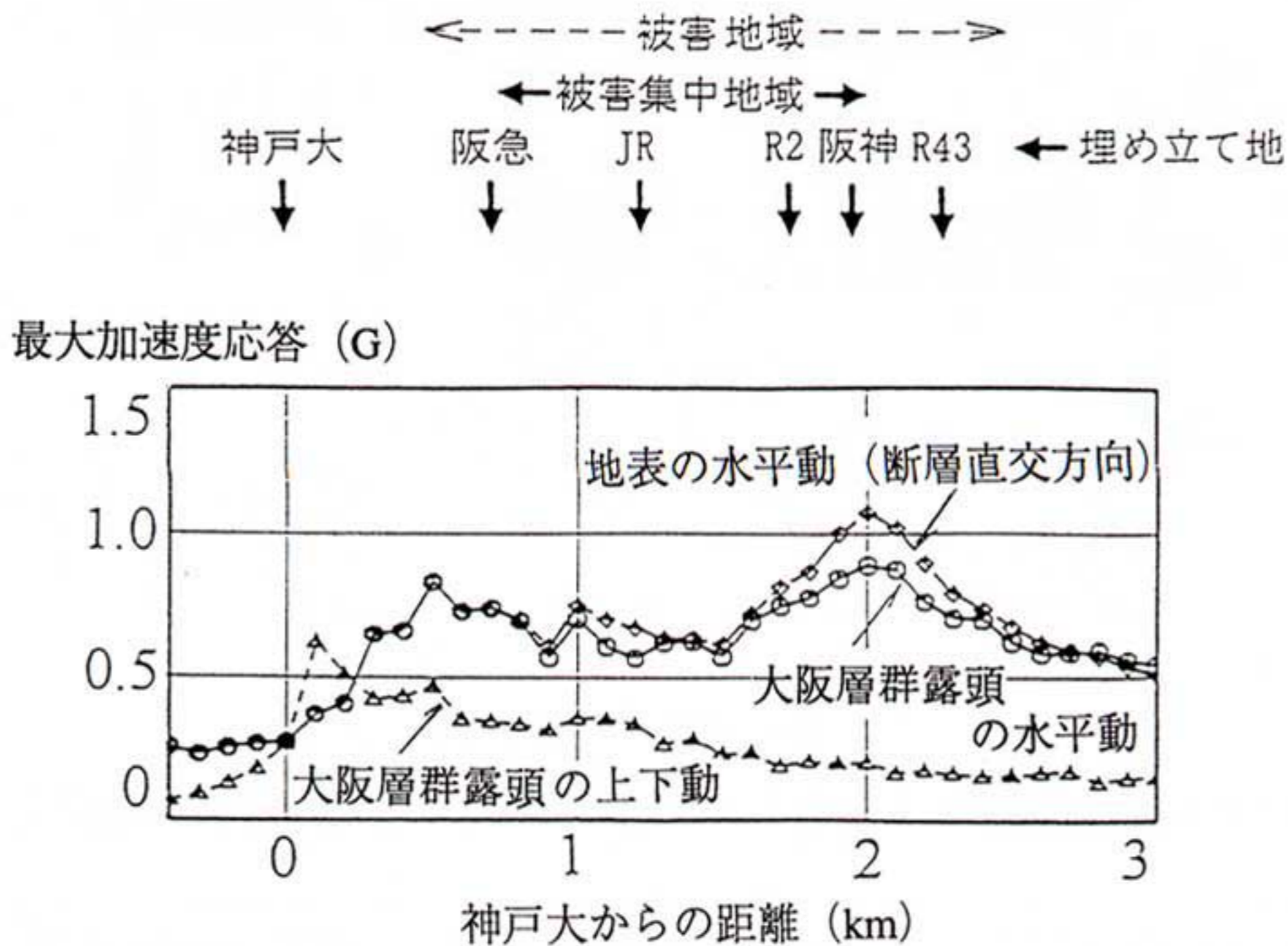


図1.1-6 最大加速度応答分布

(5) 軟質岩盤における地震動強さ

前項までの検討で、今回の地震被害は表層地盤の増幅特性や基盤地形の不整形性が大きな要因となっていることが定性的、一部定量的に説明できた。そこで、類似の内陸の活断層の地震記録が豊富にある米国西海岸の観測記録を利用し、今回の地震の軟質岩盤での地震動を推定した。その結果、以下のことが言える。

- i) 米国の記録と比較し、今回の地震が内陸の活断層の地震として特異なものではない。
- ii) 大加速度を発生する要因は、地盤や地形と言った個々の影響が大きい。
- iii) 米国の記録から求めた軟質岩盤上での地震動評価式は、今回の地震の軟質岩盤上の観測値と整合した。
- iv) この評価式で軟質岩盤上の最大加速度を広域的に求め、図1.1-7に示す。

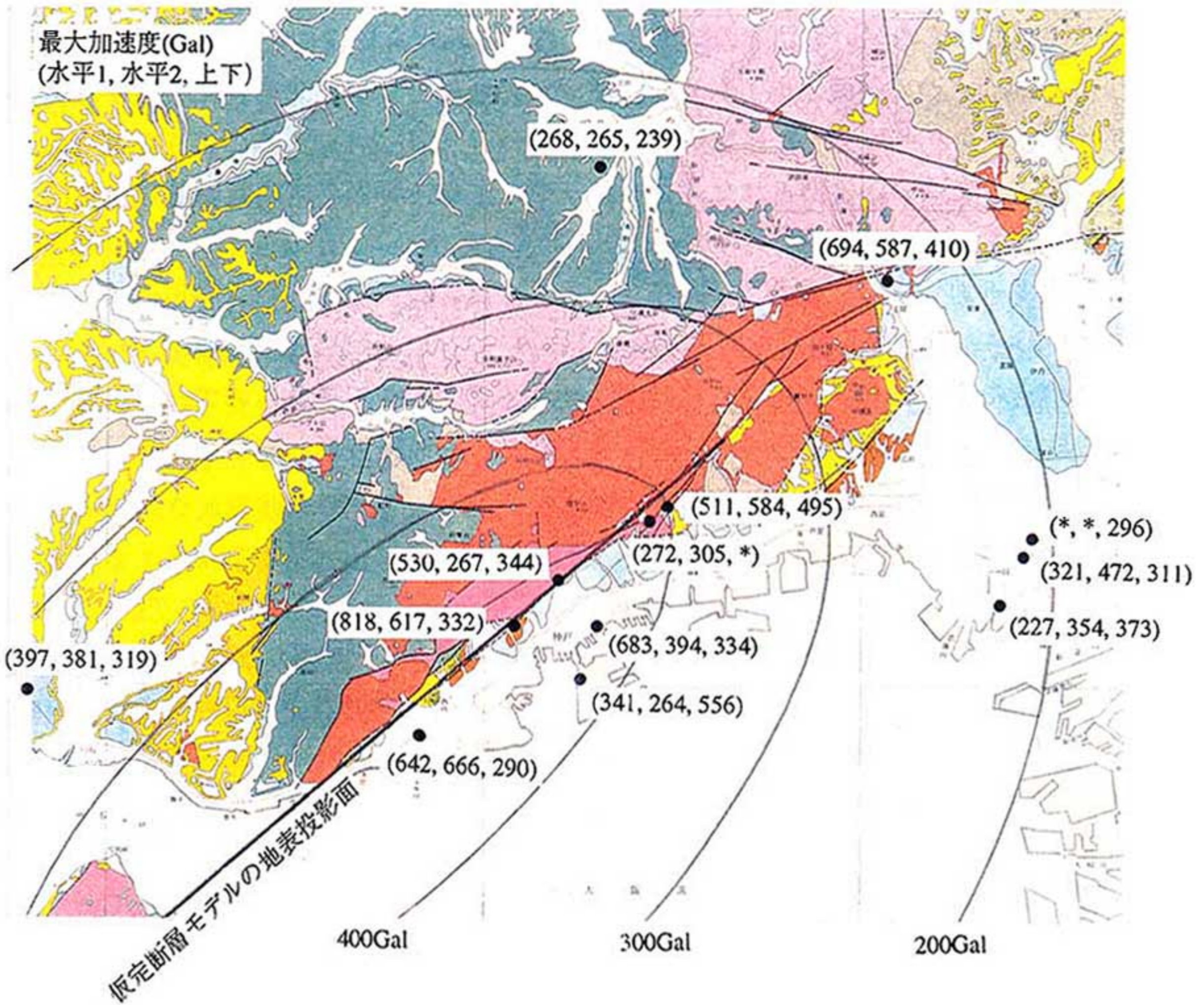


図1.1-7 軟質岩盤上の推定最大加速度のコンター

以上の検討の詳細は次節以降に示すが、冒頭に述べたように、これらは現時点での初期的な検討結果である。今後も、より精度の高い推定を行うべく引き続き検討する予定である。

1.2 震源の特性と断層モデル

1.2.1 はじめに

兵庫県南部地震は、気象庁の決定するマグニチュード (MJMA) が7.2、地震のエネルギーに忠実なモーメントマグニチュード (M_w) で6.9と決定されており、決して未曾有の大地震ではない。例えばいわゆる直下型地震と呼ばれる都市近傍で発生した地震に限ってみても、1927年の北丹後地震 ($M_w=7.0$)、1943年の鳥取地震 ($M_w=7.0$)、1948年の福井地震 ($M_w=6.9$) などが同規模の地震として挙げられる (モーメントマグニチュードの値はいずれも Kanamori, 1973)。これらの地震と今回の地震との大きな違いは、地震そのものではなく、近代的な観測設備によって、非常に質の高いデータが数多く得られていることであろう。これら国内外の観測記録を用いて、この地震の震源モデルが既にいくつか提案されている。

例えば遠地地震の記録を用いた解析例としては、菊地 (1995) によるモデルが代表的である。このモデルでは、震央距離 $30^\circ \sim 100^\circ$ の世界各地の観測記録を用いて破壊過程を点震源の時空間分布として近似的に求めている。その結果として破壊開始点をほぼ中心として、北東-南西方向にそれぞれ10~15kmずつの破壊が進行したほぼ横ずれの断層と、更に北東側に破壊が枝分かれするように進行したかなり逆断層的な断層が求められている (図1.2-1)。このような遠地地震の記録を用いたものは、震源から放出されたエネルギーや、主な断層面の走向傾斜等は比較的良く表すことができるとされている。

一方、比較的近地地震の記録を用いたモデルとしては、梅田 (1995)、香川 (1995) などいくつかのモデルが95春季地球惑星科学関連学会のポスターセッションに報告されている。

これらの震源モデルの確定にはさらに時間を要することが予想されるので、本稿では、阪神・淡路地域における地震動特性の理解に早急に資するため、地震波形と簡単な走時計算によって、簡易断層モデルを示す。

1.2.2 初期断層モデル

想定する断層は、最終的には個々の活断層と整合させることが望ましいが、そのためには多くのデータと詳細な検討が必要である。しかし、地震基盤上の地震動分布をおおよそ求める上では、数十~数百mの精度での断層モデルの決定は必ずしも重要なことではない。そこで、現在までに観測されている余震の震源域 (京都大1995, 図1.2-2) から震源断層の初期モデルを設定する。余震の震源域は、本震の破壊開始点 (いわゆる震源) から北東に約35km、南西に約15kmのあわせて約50kmに及ぶ。また、本震の破壊開始点の深さは気象庁の観測では約14kmとされており、淡路島北淡町の地震断層の露出から推測できるように南西側の方が浅いと思われる。余震の震源分布も南西側の方が浅く、北東に少しずつ深くなっている傾向が読みとれる。ここでは便宜的に余震の震央分布から長さ約50km、幅約20kmの長方形を初期モデル (図1.2-3) とし、その破壊の過程を強破壊領域の分布という観点から検討する。

* 遠地地震の場合、震央距離は地球の中心 (地心) からの角距離として表現する。

1.2.3 地震動波形の特徴

本震地震波形はいくつかの機関から公開されている。その中からデジタルデータを用いて作図したものを図1.2-4に、JR総研から公表されている波形図を図1.2-5に、それぞれ水平成分の地震動波形を示す。なお、縦軸は速度記録が公開されているものは速度で、加速度記録が公開されているものは加速度で表している。また、JR総研の報告書からは変位波形を採り上げた。

これらの記録を見ると、比較的周期の長い（1sec程度）S波が、最初に到達したS波の後に2回発生していることが判る。そこでまずこの大振幅のS波に着目して震源の中でどの領域が最も大きな振幅をもたらしたのかを検討する。なお、本報告では便宜的にこの二つのS波をSa波、Sb波と呼ぶこととし、最初に到達したS波（破壊開始点で発生したS波）をS1と呼ぶこととする。もちろん、これらS1、Sa、Sb以外にも、いくつかのS波のフェーズを見ることができるとは別途検討対象とし、本稿では言及しない。

1.2.4 断層モデルの検討

1.2.2で設定した初期モデルの中で、Sa波、Sb波を発生した震源の破壊領域を各々Ea、Ebと呼ぶこととする。これらの領域の位置は、Sa波、Sb波の振動方向及び、破壊開始点で発生したS1波との到達時間差によって、概略的に決定することができる。

そこで、S波は進行方向に直交するという性質を利用して、その振動方向から発震源の位置を求める手法が、例えば香川（1995）などで指摘されている。ここではSa及びSbの各々の軌跡をデータが公開されているものに関しては計算して求め、波形図が公表されているものに関しては概略的な値を求めて、強破壊領域EaとEbを推定した。その結果を図1.2-6と図1.2-7に示す。軌跡からは領域Eaは破壊開始点を含む比較的広い領域が推定され、領域Ebは破壊開始点からほぼ北東に5km程度の位置の比較的小さな領域に良く決まる。このEaの位置は、例えば梅田（1995）がブライトスポット（衝撃的な地震動を発生した領域）であると主張する強破壊領域に一致する。従ってこの領域で大きなエネルギーが放出された可能性はかなり高い。

一方、S1、Sa及びSbの到達時間差から求められる強破壊領域はどうであろうか。図1.2-4と図1.2-5に示されている記録を見ると、S波初動S1と、最初の大振幅であるSaのフェーズとは、いずれの観測点の記録においても時間的に接近しており（約1秒以内）、例えば神戸海洋気象台の記録ではS1とSaに明瞭な区別を付けることができない。このことは

- 1：破壊開始点での破壊開始と時間的にかなり近いこと
- 2：破壊開始点と空間的にかなり近いこと

というSaの特徴を示していると考えられる。

一方、S1とSbの時間差に関しては、観測点毎に若干のばらつきが見られる。例えば菊地（1995）らの指摘に従って、破壊開始点から断層運動は北東—南西方向に進行したと考えると、加古川や西明石の観測点は破壊開始点から直交方向に相当する。この離れた二つの観測点でのS1とSbの時間差はいずれも3秒強であることから、

- 1：両地点からの破壊開始点までと、領域Ebまでの距離がほぼ等しいこと
- 2：破壊開始から3秒強の時間差をおいて発生した波であること

が指摘できる。

仮に入倉（1995）や笥（1995）らに従い断層運動の進行する速度（破壊伝播速度VR）が2.8km/sec程度であったとすると、3秒強の時間差は約10kmの距離に相当する。このことは軌跡から見た領域Ebの位置が破壊開始点から約5kmであることと整合的ではない。

また、断層運動の進行方向に相当する観測点では、進行方向の軸上に近いほど観測点から破壊開始点までの距離と、観測点から領域Ebまでの距離の差が大きくなり、領域Ebの方が観測点に近ければS1とSbの時間差は小さく、遠ければ大きくなるはずである。この観点から記録を検証すると、断層運動の軸上に最も近い神戸海洋気象台ではS1—Sbの時間差はほぼ2秒、最も離れているポートアイランドでは約3秒弱の時間差が観察できる。従って、領域Ebは破壊開始点よりも北東側にあることが指摘できる。さらに、入倉（1995）や笥（1995）らの報告に従い、S波速度Vsが約3.5km/secであると仮定すると、神戸海洋気象台における2秒の到達時間差を満足させるためには、以下の式

$$\frac{\text{距離の差}X}{\text{破壊伝播速度}VR(\text{km/sec})} = \frac{\text{距離の差}X}{S\text{波速度}Vs(\text{km/sec})} + \text{時間差}$$

により領域Ebが破壊開始点よりも約25km北東側になくなくてはならない。これは軌跡から求められた結果と整合的であるとは言えない。この矛盾を解明するために、SaとSbの到達時間差について着目した。

断層運動の進行方向に直交する西明石と加古川では共にSaとSbの時間差は約2秒で、領域Ebは領域Eaから北東ないしは南西方向に5kmほど離れていることが推定できる。このことは軌跡から得られる結論と整合する。一方、断層運動の軸方向の神戸海洋気象台ではその時間差は約1秒、ポートアイランドでは2秒弱であり、領域Ebは領域Eaの北東約10kmにあることが推定できる。領域Eaが観測記録の軌跡から比較的広い領域であることを考えると、この5kmと10kmという二つの値は決して矛盾するものではない。従って、強破壊領域EaとEbとの位置関係は、軌跡から推定される図1.2-6及び図1.2-7に示したものとみなして良いと考えられる。初期破壊からの時間差で強破壊領域の位置関係が評価できないということは、初期破壊と最初の衝撃的破壊Saとの間に時間的な差だけがあった可能性を示している。

以上のことを考慮し、断層破壊のシナリオを書けば次のようになる。

1.2.5 断層破壊のシナリオ

地震発生 : S1の振幅が比較的小さいことから断層の初期破壊はあまり大きくなかったことが推測できる。

Saの大破壊 : 初期破壊から約1秒の後、破壊開始点とほぼ同じ領域Eaにおいて衝撃的な破壊が発生し、この破壊は北東-南西方向に伝播した。

Sbの大破壊 : 北東方向に伝播した破壊は、やがて須磨区のほぼ直下（Eb）で再び大きな破壊をもたらした。

この破壊過程を模式的に図1.2-8に示す。

参考文献

菊地正幸：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

Kanamori, H.: Mode of strain release associated with major earthquakes in Japan, Ann.Rev.Earth Planet Sci. 1, 213

その他はいずれも95年春季地球惑星科学関連学会ポスターセッション及び講演

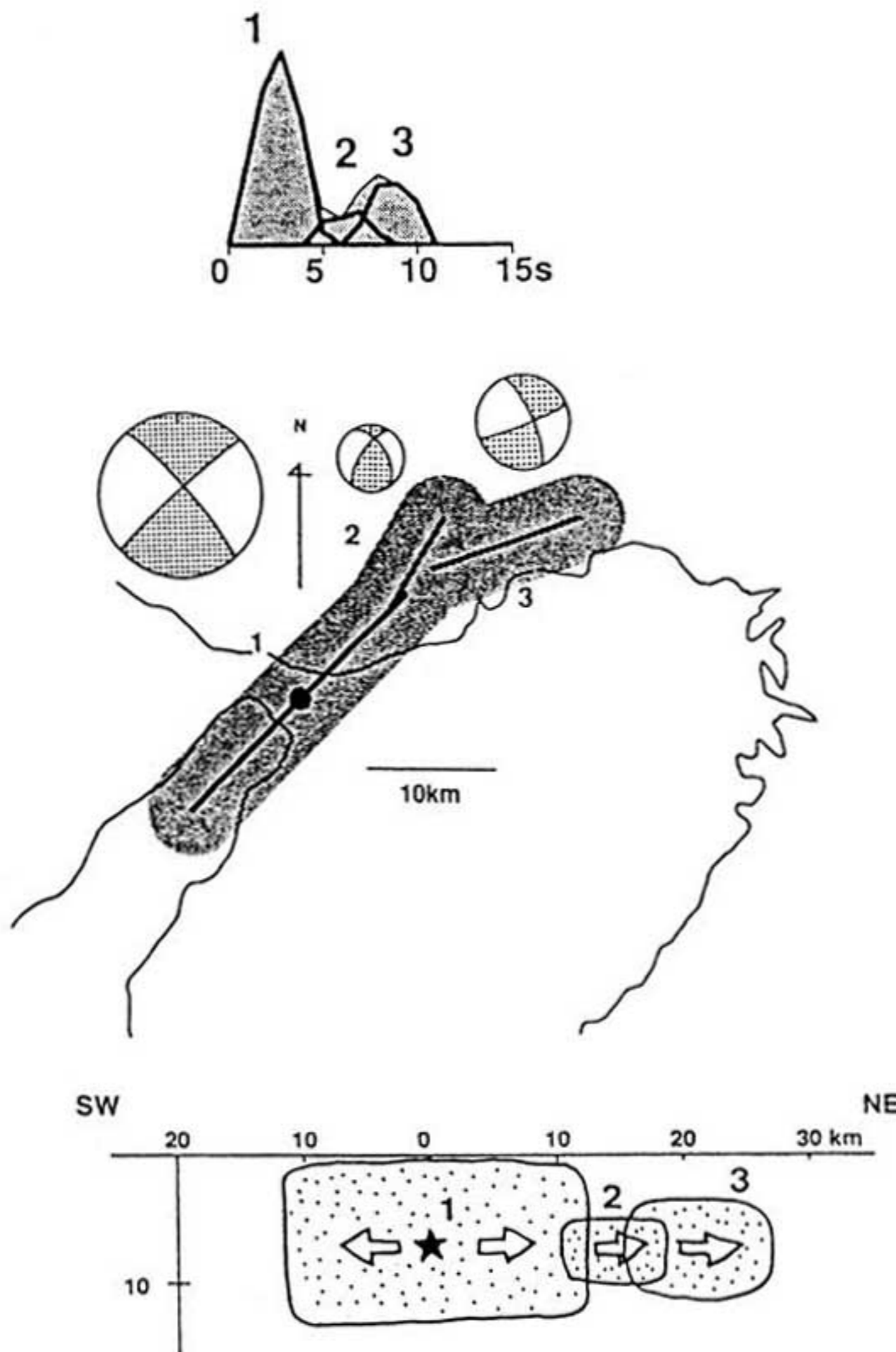


図3 遠地の地震記録の解析結果

- (a) モーメント速度関数
- (b) 断層の空間分布。丸はメカニズム図
- (c) 北東-南西断面図

図1.2-1 菊地 (1995) による断層モデル

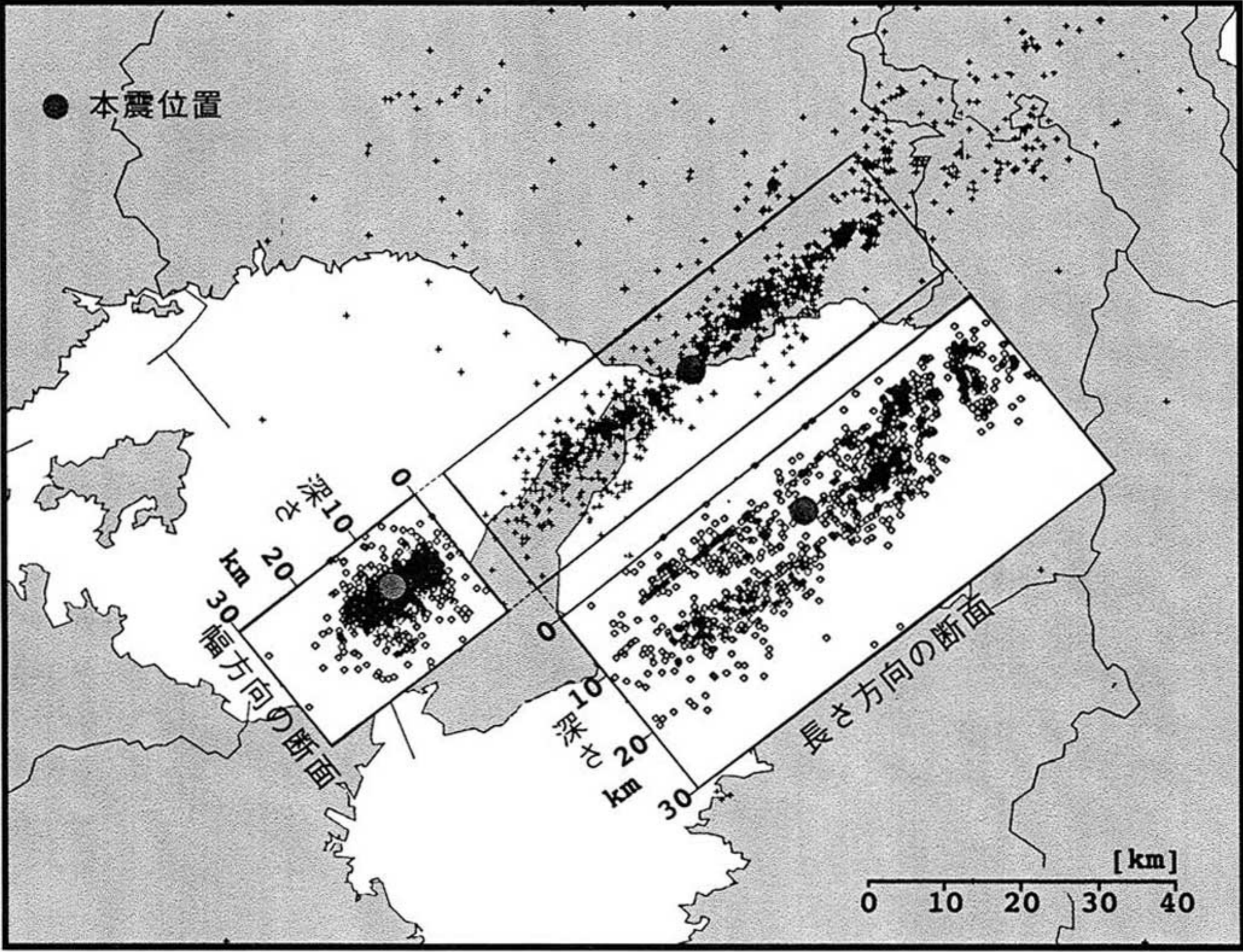
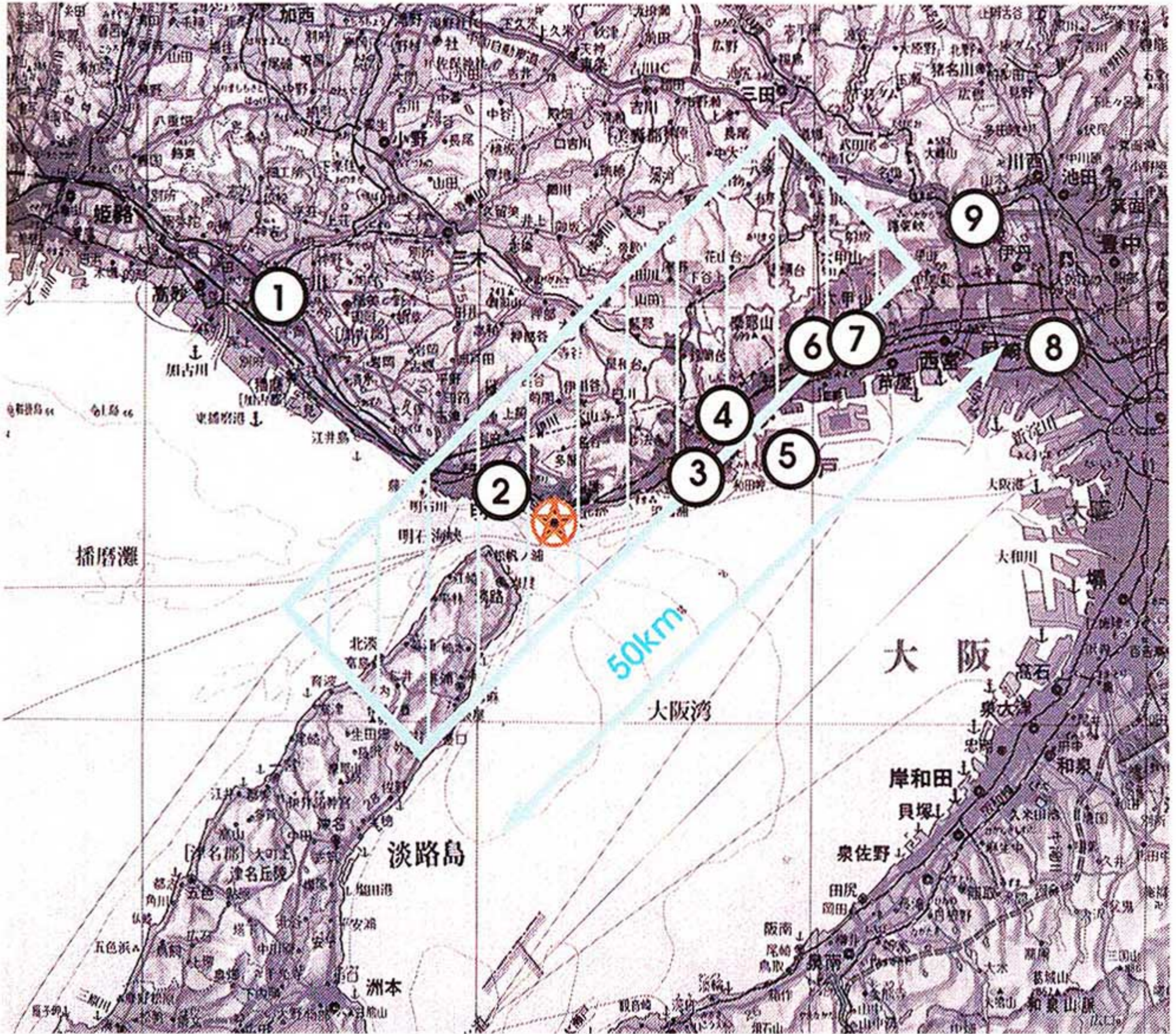


図1.2-2 兵庫県南部地震の余震の震源分布
 (京都大 (1995) に加筆)




- | | | | |
|----------------|----------------|-----------------|--|
| 1:Kakogawa | 4:Kobe Meteor. | 7:Kobe-Motoyama |  Epicenter |
| 2:Nishi-Akashi | 5:Port Island | 8:Amagasaki | |
| 3:Takatori | 6:Kobe-Univ. | 9:Takarazuka | |

図1.2-3 断層の初期モデルと波形を用いた観測点の分布

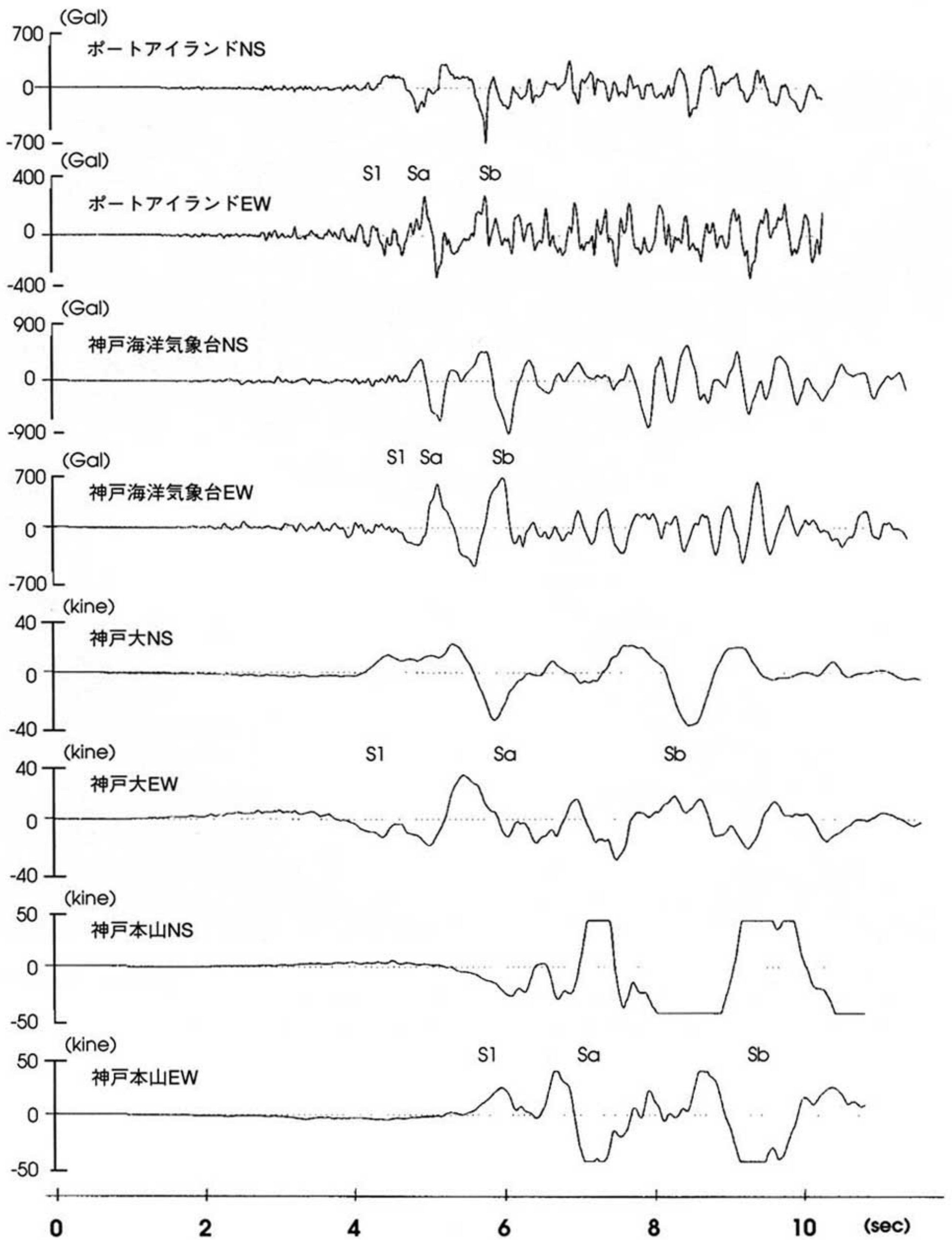


図1.2-4 観測波形 (関西地震観測研究協議会他のデジタルデータより作図)

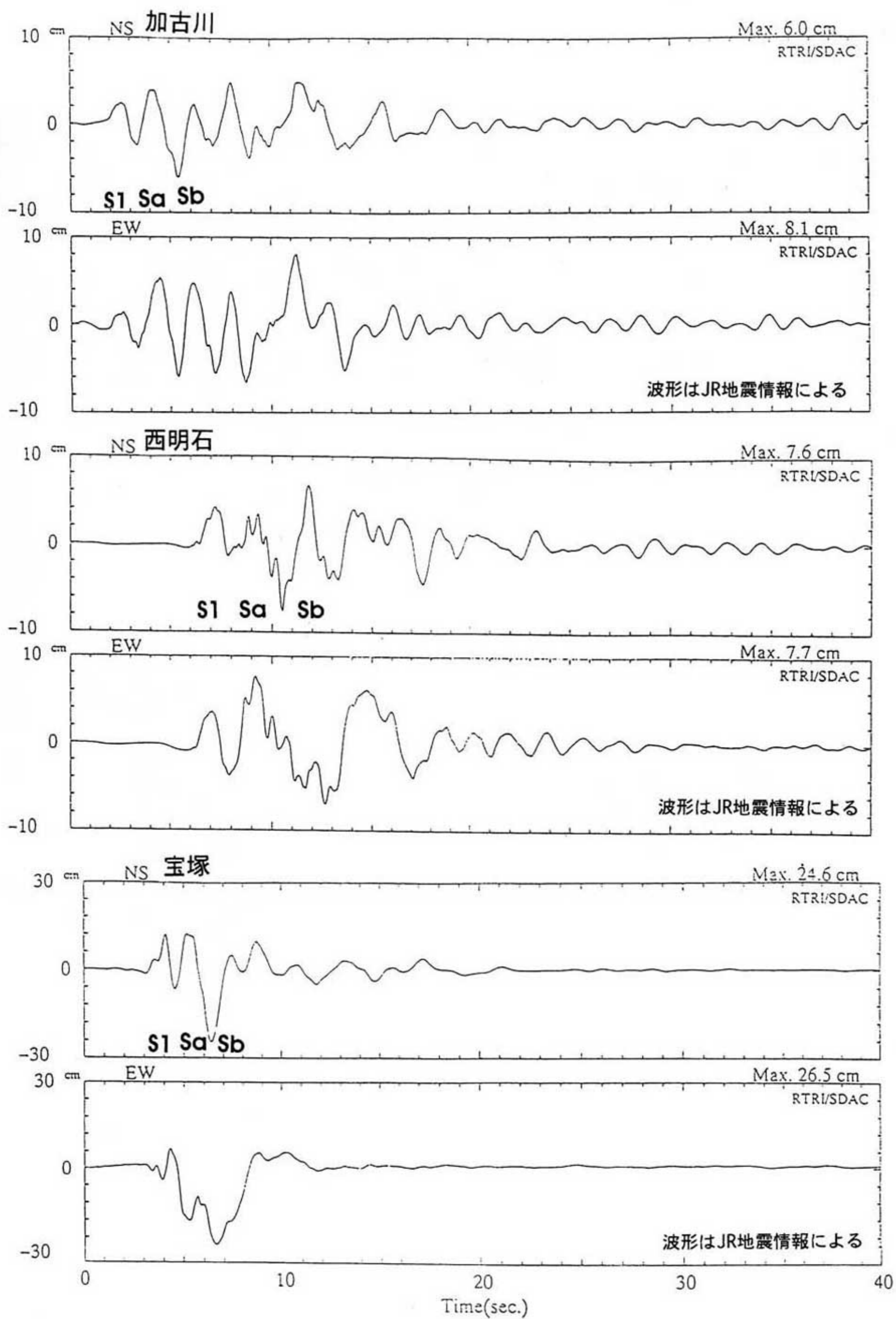


図1.2-5 観測波形

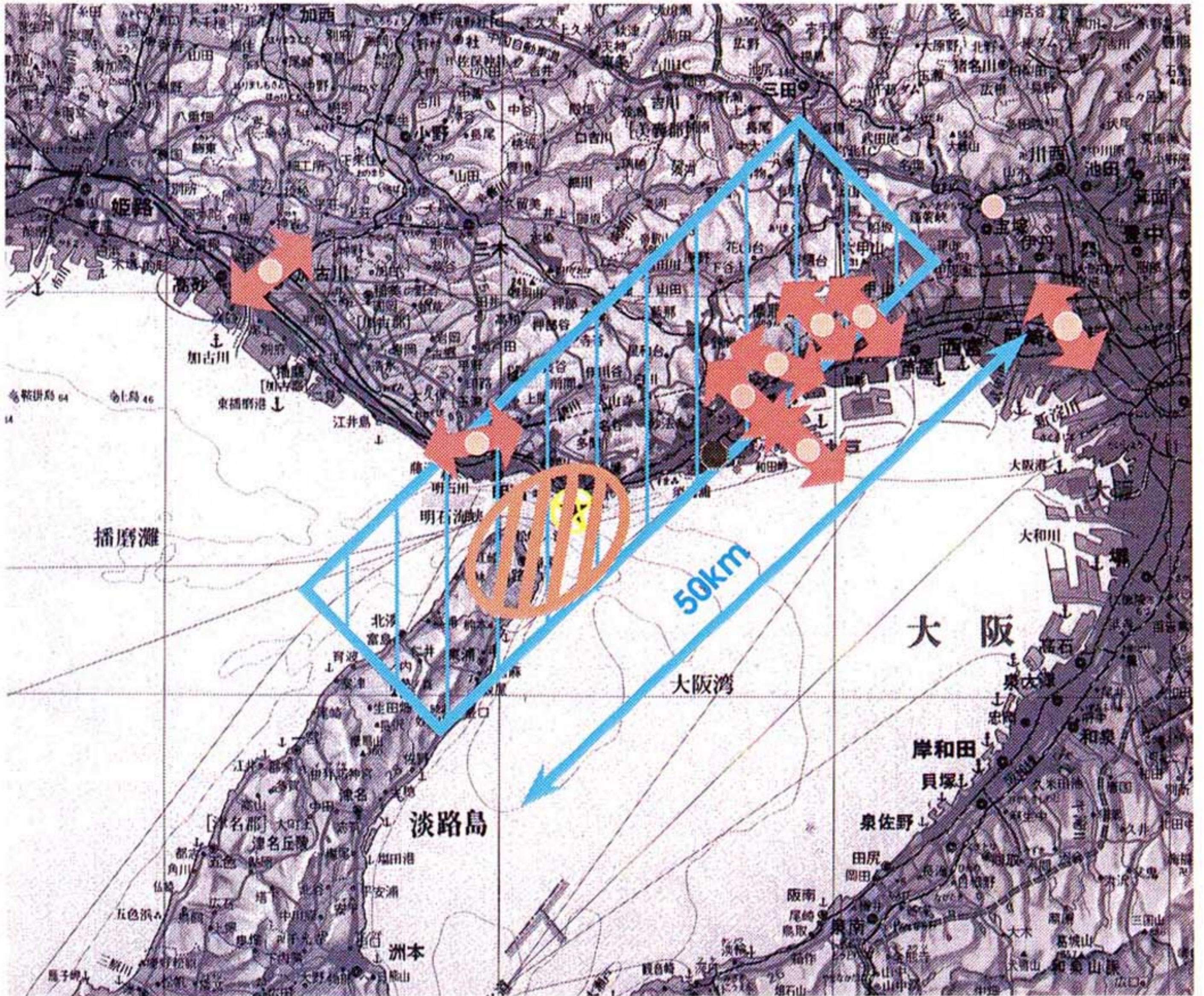


図1.2-6 Sa波の振動方向から推定される強破壊領域

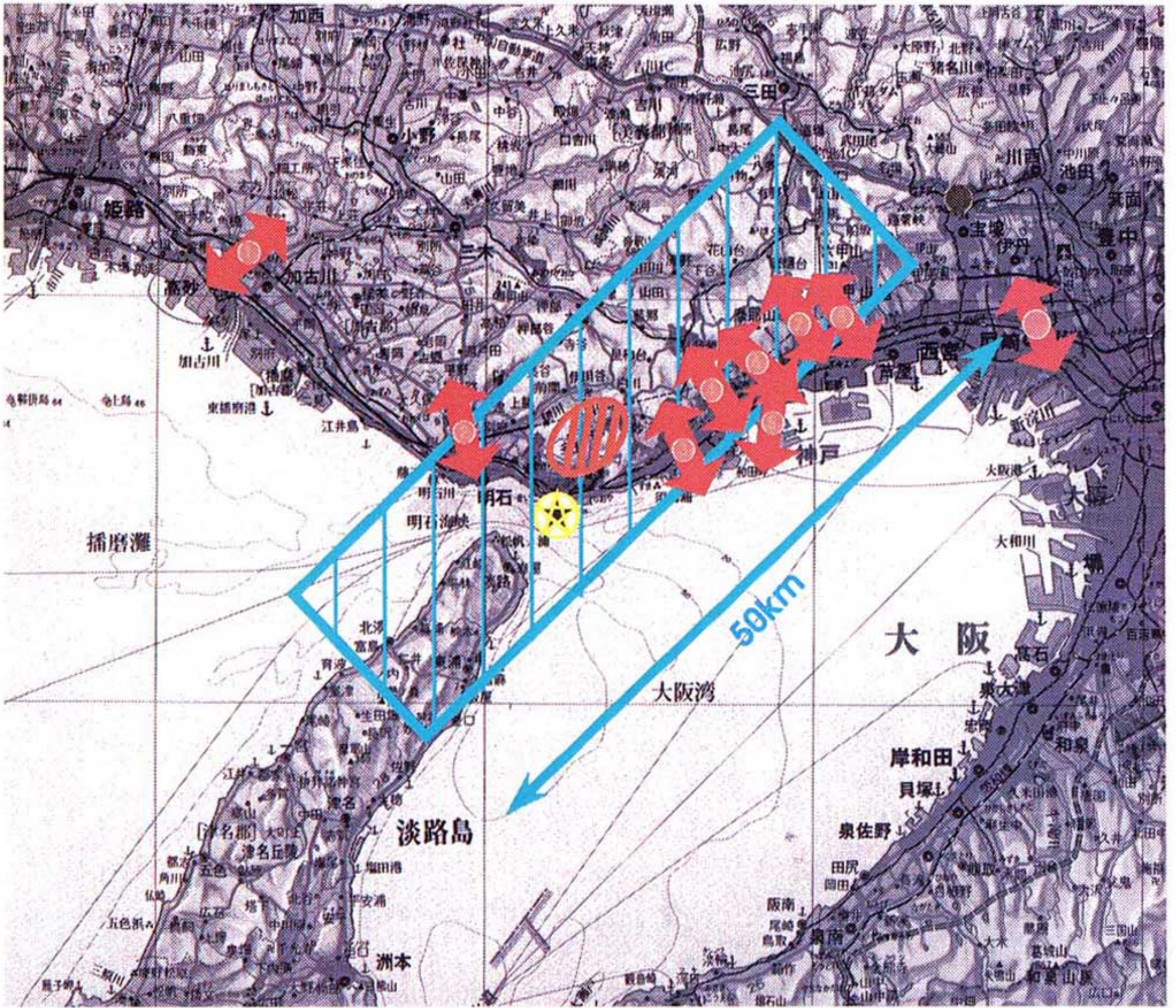


図1.2-7 S_b波の軌跡から推定される強破壊領域

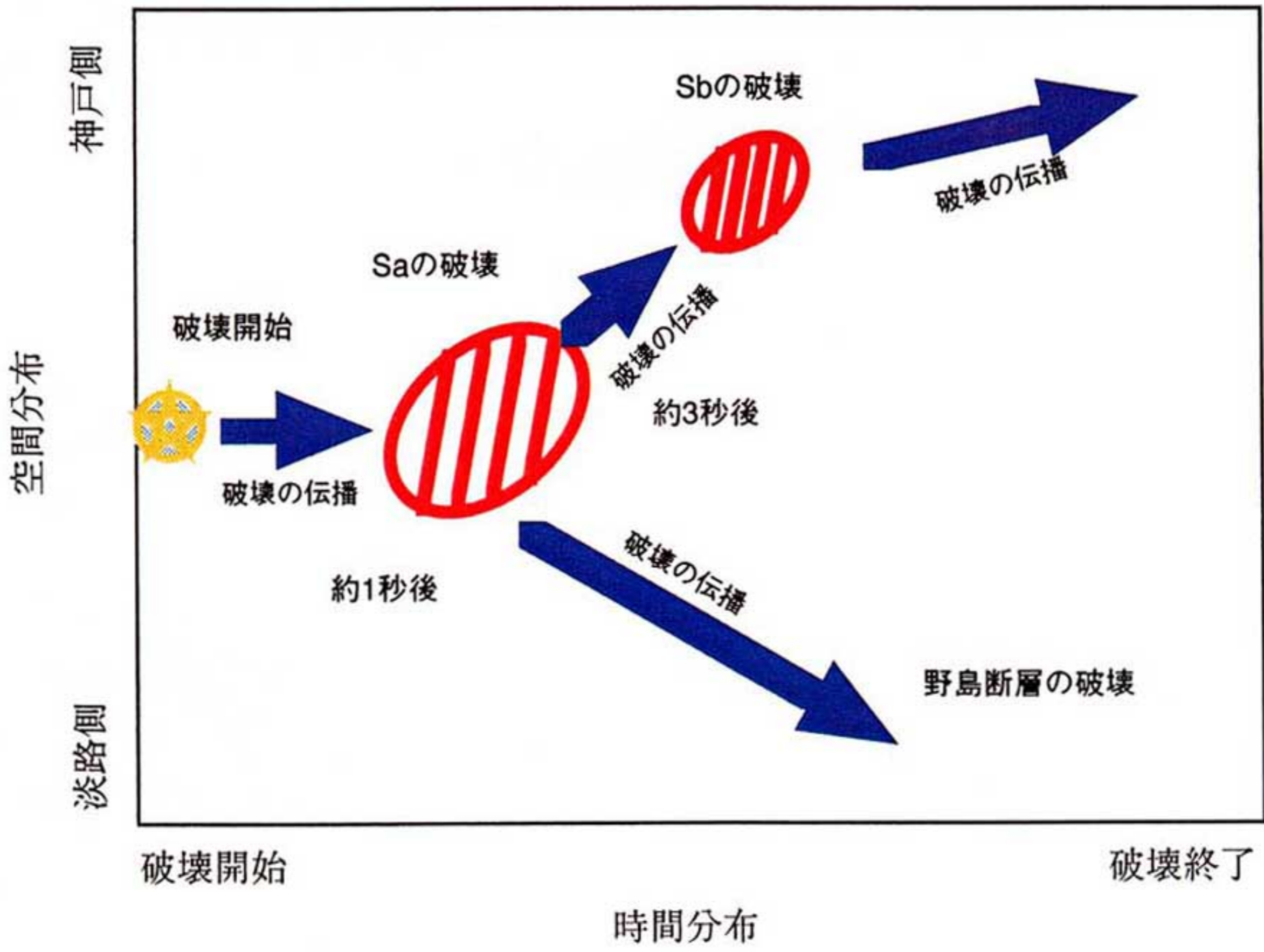


図1.2-8 兵庫県南部地震断層破壊のシナリオ

1.3 被害調査結果から見た強震動の地域性

1.3.1 はじめに

1995年1月17日の午前5時46分に発生した兵庫県南部地震は阪神地域ならびに淡路島に大きな被害をもたらした。本稿は主に地震直後の阪神地域を対象とした被害調査結果をもとに地震動強さの地域性を検討したものである。

1.3.2 調査結果

1.3.2.1 構造物被害の分布

表1.3-1に調査した地点での主な被害状況と墓石の転倒率 γ 等を示す。地域によって構造物の種類は様々で、そのことが構造物の被害状況から地震動強さの分布を推定する際の妨げとなる。そこで墓石の転倒率を基準に上記問題を考えることにした。阪神地域での地震動は、所によってはかなり強く、墓石のある寺そのものが全壊し、墓石の存在も良く分からない場合もある。このため寺の本堂が全壊していた場合には自動的に墓石の転倒率 γ を1とし括弧つきで表中に示した。この仮定は本堂が全壊ししかも墓石の転倒率が調査できたNo. 19の中勝寺の例やNo.32の福巖禅寺、No.46の浄願寺の例を見れば $\gamma=1$ にはならないまでも、いずれの場合も8割以上の転倒率を示しており、ほぼ妥当であることが分かる。また*印を付した転倒率($\gamma=0^*$)は実際に墓地に入らず外から見たかぎり転倒無しと判断したものである。

さらに、ここでの木造住宅の全壊とは築3,40年以上もたつ古いものにおいては壊れてペシャンコになった状態を指し、比較的新しいものでは2階が残っていても1階が完全に崩れた場合も含めることにした。表1.3-1はほぼ調査順に地点の状況が述べられている。調査した日付けについては表1.3-2に示す通りである。また表1.3-1の各地点については表1.3-3に示すような基準を設け、地震動強さと対応する被害状況のランク付けを行った。武村(1993)は1993年釧路沖地震の際に墓石の転倒率 γ から経験的に地震動の速度最大値を求めている。同じ方法で γ から速度最大値 V を推定するとランクAは50cm/s以上、ランクBでは40cm/s前後、ランクCでは30cm/s以下となる。これらの値は被害の状況から地震動強さを検討する際の1つの目安である。なお、地点によっては時間の都合上それほど詳細に調べていない所もあり、また建物についても内部に入って調査できたものは極く僅かであるため、表1.3-1に示す被害の様子はそのような条件下での結果である。

図1.3-1に調査地点を示す。黒枠の内部については地点数が多いため主な地点のみを示し、詳細は図1.3-2に示した。地点毎の括弧内の数字は整数が表1.3-1の地点番号、小数はその地区で調査できた墓石の転倒率 γ である。また図1.3-1、図1.3-2には表1.3-3に基づく地震動強さのランクも示されている。

以下表1.3-1と図1.3-1、図1.3-2を用いて、調査結果の要点を述べる。

(1) 宝塚市 (Nos.54-61,80)

阪急宝塚線で宝塚市に入ると、山本駅(No.54)付近より木造住宅の被害が激しくなる。特に、阪急中山駅の南側一帯(No.57)に被害が集中しており、阪急以北の高台や中国自動車道以南では被害は少ない。このことは、中山台(No.55)から宝塚市を見下した際に、阪急と中国自動車道に挟まれた地域および東の山本方面の住宅の屋根に多数の水色ビニールシートが掛かっていること

からもよく分かる。同様のことは、宝塚新大橋（No.59参照）から上流を見た際にもあり、清荒神付近と武庫山付近（No.80近傍）にびっしりと水色のビニールシートが見える。このことは、JR福知山線の車窓からの観察ではあるが、三田方面から宝塚に入ると、宝塚駅付近（No.80）で急に被害が大きくなることと整合する。一方、阪急今津線沿いに南下すると（Nos.59-61）始め被害は軽微であるが、次第にその程度を増し、仁川付近（No.11）では大きな被害となっている。以上のような被害の特徴は墓石の転倒率にもよく反映されている。

(2) 西宮市（Nos.10-12, 25, 42-52）

この地域の被害はその程度や特徴からほぼ3地区に分類される。一つは甲山山麓の比較的被害の小さい地域、もう一つはその南東に広がる被害が激甚な地域、最後が海岸に近く比較的被害が小さい地域である。最後の地域では特に海岸付近の埋立地ないしはその周辺（No.42やNo.43）で地盤の液状化によるとみられる砂の噴出が多くこのための被害は大きい、住宅の全壊等建物の構造的被害は少ない。甲山山麓の地域はNo.50、No.51の調査地点がそれにあたるが、No.51の記述にあるように、それからさらに北に広がる高台の住宅には水色のビニールシートは全く見えず、No.62地区の高台から南東を眺めた際のビニールシートの群れと好対象の様相を呈している。この差は墓石の転倒率にもよく現れている。

また、東から西宮市に近づくと豊中から西宮（Nos. 5-12）にかけては、武庫川付近（Nos.8,9付近）より急に被害が激しくなることが分かる。このことは墓石の転倒率 γ にも顕著に現れており、わずか10km程の間に0.1-0.3-0.8-1.0としだいに γ が増加する。

(3) 芦屋市から神戸市中心部（Nos.15-24, 26-32, 81-86, 98-100）

この地域は西宮市から神戸市の中心三宮までほぼ東西に鉄道や道路が平行に走っており、図1.3-3にその様子が示されている。

甚大な被害を出している西宮市の中心部から国道2号線沿いに西へ進むと芦屋市付近から電柱が倒れる被害が徐々に多くなる他、RC構造物の被害もしだいに増加する傾向が見られる。三宮駅南西地域（No.30）では特にRCの中層ビルの被害が非常に多い。このような状況から判断すると西へ行く程地震動が強くなるようにも思えるがその増加の程度はそれほど顕著ではない。むしろこの地域で注目すべき特徴は南北方向に被害の状況が急変する点である。例えば神戸大学周辺（No. 17）や御影山手（No.18）、住吉山手（Nos.81, 82）等の山地部から六甲アイランド方面の海岸地域（Nos. 21,85）までを見ると、阪急電車以北の山地部で被害は比較的軽微で、その傾向は墓石の転倒率にもよく現れている。この地域の地震動強さは、先に述べた豊中、伊丹（Nos.5-7）と同程度と推定される。これに対して阪急電車以南での被害は猛烈に大きくなる。このことはNos.19, 22, 23, 83, 84の墓石転倒率にもよく現れている。これに対してさらに南へ下り阪神電車を越えさらに阪神高速道路神戸線を越えると、道路の凹凸や建物が傾く等地変によるものとみられる被害は増えるものの建物そのものの被害は逆に減少し、特に木造住宅で全壊するものの数が急激に減少する。

同じ様な傾向は三宮付近（Nos. 28-31, 99, 100）でも顕著に見られ、この地域での山側の境界は中山手通付近、海側の境界は市役所前の公園あたりにある。いずれの例も南北に2から3km程

の間で被害の様子が一変するもので、西宮から神戸市の中心部まで東西方向には20から30kmの間で被害の状況の変化が少ないのと比べて特に注目すべき点である。

(4) 明石から神戸市西部 (Nos.33, 34, 37, 64-76, 87-97)

この地域は阪神地区の被害地域の西部に位置する。西からJR山陽線沿いにこの地域に近づくと、明石川以東の明石市 (No.66) 付近から被害が顕著になり、舞子、垂水、塩谷、須磨、鷹取 (No.67-No.72) と被害の程度が大きくなることがよく分かる。先に述べた東部の被害の様子と対比させると塩谷から須磨付近が伊丹から西宮の境界付近 (Nos.8-10) に対応するようである。墓石や社寺の被害についてもNo.67の舞子墓園、No.69の安養寺、No.70の源氏寺、No.33の法隆寺等がそのような傾向を現している。No.71の須磨寺やNo.73の妙法寺等山手で墓石の転倒率が減少することも、先に述べた他の地域の傾向と同じである。ただし、明石 (No.66) や垂水 (No.68) で、寺方の証言として聞いた墓石の転倒率がまわりの被害程度に比べやや大きいように思われる。調査の時期が遅く、既に墓石が元通りにされており真偽を確かめることが出来なかったためこれらのデータについては参考程度での取扱いとするが、地盤の震動特性等が影響している可能性もある。

神戸市西部での南北方向の被害の変化の特徴は和田岬付近 (Nos. 87-89) から神戸電鉄長田駅 (No.76) や天王町 (No.93) 等山地部にいたる線によく見られ、No.74, No.75, No.90に多い木造住宅の全壊やRC構造物の被害が市道山麓線を境にNo.76やNos.92, 93で殆ど見られなくなる。また、No.72のJR鷹取駅から地下鉄板宿駅にかけての甚大な被害とNo.73の妙法寺付近の被害の軽微さの対比も同様の傾向をよく現している。一方、No.32, No.74, No.75, No.90から逆に南下して阪神高速道路を越えNos. 87-89の和田岬付近に入ると、被害は急速に減少し、木造住宅の全壊やビルの倒壊はほとんど無くなる。ただし一部地域では構造物が傾く等の被害がある。これらの特徴は墓石の転倒率にもよくあらわれている。

(5) 神戸市西区や北区 (Nos.35, 36, 77-79)

この地域は近年神戸市のベッドタウンとして開発された地域である。No.36の西神中央駅付近を除き地下鉄や神戸電鉄の車内からの観察による結果であるが、総じて被害は軽微である。建物被害の主なものは屋根瓦がずれる被害である。また三田市では、屋根瓦の被害も殆ど見られない。以上のことは六甲山地の北側では今回の地震の被害が軽微であったことを示している。

1.3.2.2 人的被害の分布

今回の地震被害の特徴の一つとして、大きな構造物被害の他に人的被害が多いことがあげられる。特に死亡者は5000人以上に達している。神戸大学の調査によれば、死因の66%は壊れた家の下敷きで窒息ないしは圧死である (東京新聞3月16日朝刊)。ここでは1.3.2.1で調べた構造物被害や墓石転倒率の分布と比較し、強震動分布の推定に役立てるべく、死亡者の地域的分布を調べる。データとしては朝日新聞大阪版3月5日朝刊に掲載された死亡者一覧表を用いる。この表には5475名の方が記載されているが、この内死亡した場所が町単位で分かる5251名を対象とした。

図1.3-4に死亡人数を町毎に示す。この図から東灘区に赤色や紫色の40人以上の死亡者を出した

町が集中することが分かる。しかしながら、死亡者数の分布はその町の人口数とも相関していることが考えられるため、一概に地震動強さとの相関を議論できない。

そこで、平成2年度（1990年度）の国勢調査によるそれぞれの町の人口で上記死亡者数を割って、死亡率を出しその分布を図1.3-5に示す。図1.3-5と図1.3-4を比較すると、東灘区に集中していた紫や赤の分布が西宮にも点在するようになる。また、0.2%以上の領域は須磨区から西宮にかけて帯状に分布し、図1.3-2に示すランクAの黒丸の分布とよく対応する。また、図1.3-2では三宮付近の両側の生田川付近（No.27）や元町から神戸付近（No.97）でやや被害ランクが低い地域があるが、ここでの死亡率がやや小さ目になっている点も注目される。また宝塚のNo.58から60にかけてランクCの地点があるが、図1.3-5で見るとこの付近の死亡率はゼロとなっている。また同じ宝塚でランクAのNo.57付近で死亡率がまわりに比べやや高くなっていることも注目される。このように、図1.3-5に示す死亡率は総じて、図1.3-2に示す被害から求めた強震動のランクとよく対応する。

1.3.3 考察

以上のような被害の分布状況についてその原因を考えるため、図1.3-1に今回の地震の余震域を示す。また活断層の分布と被害の分布をより分かりやすく見るため図1.3-6では、図1.3-2に示す地震動強さに対応する被害ランクの分布と活断層分布を比較する。図1.3-1の余震域は本震発生後1月30日までの気象庁による余震分布から求めたものであり、図1.3-6の活断層は活断層研究会（1991）を参考におよその位置を書いたものである。気象庁の余震分布によれば余震の数はNo.29の三宮付近より西で多く、特に本震発生直後は東側に殆ど余震が無い。地震の際に動いた断層が余震分布のどの付近まで東に延びているかは良く分からないが、図1.3-1に見る余震域と活断層分布の対応から見ると従来知られている須磨－布引－五助川の各断層が余震域と良く対応する。余震域を震源域と見なすと図1.3-6に示す地震被害の大きい地域は今回の地震の震源域の南側および東側に分布し、北側および西側では被害が比較的小さかったことになる。

さらに詳細にみると神戸市の中心部に最も近い活断層は西から須磨、会下山、諏訪山、芦屋の各断層、さらに西宮では甲陽断層がこれらに続いている。被害の状況とこれらの断層の分布を比較すると神戸では須磨－会下山－諏訪山－芦屋と続く断層線の北側で被害が小さく南側で被害が大きい。また西宮では甲陽断層を境に北と南、西と東で同様の傾向を指摘することができる。

図1.3-7は図1.3-6と同様に死亡率分布と活断層分布を比較したものである。結果は図1.3-6の場合と同様で、須磨－会下山－諏訪山－芦屋と続く断層線の北側で死亡率が小さく南側で死亡率が高い。また西宮では甲陽断層を境に北と南、西と東で同様の傾向を指摘することができる。なお例外的に甲陽断層の西側に赤色の分布が見られるが、この地点は仁川百合野町で大きな崖崩れが発生したところである。

次に墓石の転倒率 γ と断層からの距離の関係を検討する。表1.3-4にもとにする転倒率のデータおよび寺での木造本堂の全壊、神社の狛犬の転倒状況をまとめて示す。備考欄で全数と書かれたものは墓地全体の墓石の状況から転倒率を評価した場合、サンプルと書かれているものは墓石数が多く一部の状況から転倒率を評価したものである。括弧内はサンプル数が分かる場合の数である。表1.3-1中の γ の値は表1.3-4の結果を有効数字1桁に丸めて示している。

表1.3-4のデータをもとに図1.3-8に活断層からの距離と転倒率の関係を示す。(a)は、須磨－布引－五助橋の各断層との最短距離を横軸にとり墓石の転倒率 γ を見た場合、(b)は須磨－会下山－諏訪山－芦屋－甲陽と続く断層（芦屋断層の北へ延びる部分は無視して東方向に甲陽断層に繋ぐ）との最短距離を横軸にとって γ を見た場合である。+は南ないし東側、-は北ないし西側で震源域から遠いNo.38や宝塚周辺の有馬－高槻構造線の影響を受けると考えられるNo.56－No.58、明石、垂水（No.66、No.68）の証言によるデータは除いた。(a)の場合 γ の値は同じ距離に対して大きくバラツキ、被害が必ずしも余震域からの距離で決まっていなかったことが分かる。これに対して(b)ではバラツキが少なく、断層線の南側ないし東側約2.5kmに地震動の強い領域が分布し、それから離れると急速に地震動の強さが減じることが分かる。また、断層線の反対側では急速に地震動の強さが減じることが注目すべき特徴である。図には本堂が全壊した寺の位置を $\gamma=1$ に対応させて示し、また欄外に狛犬が転倒した神社の位置も示している。いずれも上記2.5kmの範囲に全て入ることが分かる。つまり、表1.3-3に示すランクAの領域は断層線の南ないし東約2.5kmの範囲に限られていることがこのことから確認される。

仮に、余震域を震源域と考えれば以上の結果は地震動強さの分布が須磨－会下山－諏訪山－芦屋－甲陽の断層線を挟んだ地下構造の急変に強く依存していることを示唆している。この断層線をはさみ北ではすぐに花崗岩が露出するのに対し、南側は沖積ないし洪積の扇状地が広がっており堆積層厚が急激に増加する（例えば国土庁土地局国土調査課(1974)）。

図1.3-6、図1.3-7には国土庁土地局国土調査課(1974)を参考に埋立地盤と自然地盤の境界を一点鎖線で示されている。さらに西宮では埋立地境界の他に武庫川の三角州低地の境界も同様に示されている。芦屋から神戸にかけては埋立地の境界が、西宮では三角州低地の境界が被害の大きい地域や死亡率の高い地域を南側で分けているように見える。このことも地震動強さの分布が地下構造の違いに強く支配されていることを示している。

ただし、上記2.5kmの範囲でも先に指摘したように三宮付近の両側には構造物被害や死亡率から判断した場合、やや地震動が弱い地域が認められる。これらの原因に関してはさらに詳細な地下構造の検討が必要である。

一方図1.3-6で見ると宝塚市でランクAのNo.57の地区は、六甲断層と有馬－高槻構造線が交差する地域に対応する。被害が比較的であると見られるNo.80のJR宝塚駅付近やNo.54の山本付近も断層上にある。また図1.3-7を見ると死者が出た地域は有馬－高槻構造線に沿っているように見える。ここでも従来の断層活動により生み出された地下構造と被害との関連を検討する必要がある。

1.3.4 まとめ

墓石の転倒率をはじめ寺院や神社の被害状況等および死亡者の分布をもとに阪神地域での地震動強さの地域性を検討した。その結果以下のことが分かった。

- (1) 被害が大きく地震動が強かったと推定される領域は須磨－会下山－諏訪山－芦屋－甲陽の断層線の南ないし東約2.5kmの範囲に限られている。
- (2) この強震域は気象庁による余震域とは一致せず、強震分布の原因が上記断層線を挟んだ地下構造の急変にあることが示唆される。
- (3) 強震域の南側の境界は、芦屋から神戸にかけては埋立地の境界、西宮では三角州低地の境

界にほぼ一致している。このことも地震動強さの分布が地下構造の違いに強く支配されていることを示唆している。

本稿をまとめるにあたり気象庁はじめ各方面から貴重な情報を頂きました。厚く御礼申し上げます。

参考文献

国土庁土地局国土調査課,1974, 土地分類図(兵庫県), 日本地図センター.

活断層研究会編,1991,新編日本の活断層, 東京大学出版会.

武村雅之, 1993,1993年釧路沖地震の発生メカニズムと地震動ーやや深発地震による地震動の特徴, 第21回地盤震動シンポジウム, 3-14.

表1.3-1 調査地点の被害状況一覧 (1)

No	地域	地区	主な建物等の被害状況	社寺・墓地の状況	ランク
1	岸和田	南海岸和田駅周辺	ホテル：トイレのタイル落ちる。客室のスタンド倒れる程度 コンビニ：棚の物が一部落ちる。てんぷら鍋の油こぼれる。 (以上証言)	天満宮：灯笼倒れた形跡なし。隣家の塀の瓦2,3枚落下。狛犬転倒無し	C
2	岸和田 - 大阪市南部	岸和田-難波	古い木造家屋の瓦被害がポツポツある。テレビアンテナの転倒もある。天下茶屋-新今宮間で顕著 (南海電車車窓より)		C
3	大阪市 中心部	心済橋周辺 谷町2-4丁目	オフィスビル：窓ガラスの割れるものあり(極一部) ホテル：被害なし。座りの悪いものが倒れる程度。(従業員証言)	欣浄寺：石碑等倒れず。本堂内の花瓶が落ちた程度。家具も転倒無し $\gamma=0$ (住職証言)	C
4	淀川区 - 豊中市	阪急宝塚線 淀川以北	古い木造住宅の瓦被害目立つ。一部にモルタル壁等の被害あり。 (阪急電車車窓より)		C
5	豊中市	阪急岡町駅周辺	商店街：外壁等の被害店舗に有り	原田神社：灯笼等落下。社傾くもの有り。狛犬転倒無し 瑞輪寺墓地： $\gamma=0.1(30)$ 信行寺：仏壇の仏像移動。花立て等落下(住職証言)。本堂の壁一部落下。石碑移動。山門移動。 浄行寺墓地：本堂前の水汲み場倒壊 $\gamma=0.05(130)$	C
6	伊丹市	JR伊丹駅周辺	桑津橋(猪名川)：繋ぎ目に亀裂車両通行止め。 JR福知山線高架橋：橋脚の鉄筋露出。	本泉寺：本堂に被害。 $\gamma=0.3(250)$	C
7	伊丹市	阪急伊丹駅周辺	阪急伊丹駅：1階部分崩壊 周囲は古い木造住宅に壁、瓦等被害相当あり。酒造工場のレンガ煙突や木造の古い工場等被害の無いものもある。	西宿寺：本堂の瓦ずれる。	B

表1.3-1 調査地点の被害状況一覧 (2)

No	地域	地区	主な建物等の被害状況	社寺・墓地の状況	ランク
8	伊丹市	昆陽	木造家屋の全壊が見られるようになる。	西天神社：鳥居倒壊、転倒物多数 昆陽寺墓地： $\gamma=0.8(300)$	B
9	伊丹市	国道171号線 甲武橋	新幹線：高架橋の損壊2箇所(171号線との交差付近) 甲武橋：被害無く通行可 橋梁上から見える六甲山の山肌に地滑りの後らしい傷が多数見える(地震によるものか未確認)		B
10	西宮市	阪急甲東園駅周辺	新幹線：高架橋の落下2箇所(中津浜線および阪急交差付近) 中津浜線沿に全壊家屋多数。RC4階建マンションの1階部分崩壊 RC電柱で折れるもの有り。	松林寺：RC本堂被害無いが、境内に転倒物多数	A
11	西宮市	阪急仁川駅周辺	中津浜線沿い：住宅に全壊多数。 仁川沿いの住宅：古い木造を中心に全壊有り。塀等の倒壊多数 阪神競馬場前：川沿いで崖崩れ。住宅数棟全壊 全域に全壊家屋が所々にある。	水天宮西広寺：本堂全壊。水天宮の小さな社と鳥居は被害無し(いずれも新しい)($\gamma=1$) 貝之介墓地： $\gamma=0.6(600)$ (1/29調査)	A
12	西宮市	阪急北口駅周辺	全壊家屋多数。RC4階学校の1階が崩壊やRC中層ビルの途中階崩壊、一階崩壊等被害多数 阪急電車：夙川寄り高架が傾く	法心寺：本堂等全て全壊($\gamma=1$)	A
13	淀川区 - 尼崎	阪急神戸線 神崎川-園田	住宅の屋根や壁の被害が出始める (阪急電車車窓より)		C
14	尼崎市	阪急武庫之荘 付近	RCマンションにかなりの被害 住家被害はそれほど大きくない。 (阪急電車車窓より)		B
15	灘区	JR六甲道駅 付近	JR高架の支柱鉄筋露出等被害大 全壊家屋多数 RC電柱多数倒れる。		A

表1.3-1 調査地点の被害状況一覧 (3)

No	地域	地区	主な建物等の被害状況	社寺・墓地の状況	ランク
16	灘区	阪急六甲駅-御影駅	阪急高架無被害。木造住宅の被害は有るが、全壊は少ない。		B
17	灘区	神戸大学周辺	神戸大学：建物に顕著な被害無し 室内も本棚机ラック等で座りのよいものはあまり移動せず。 周辺住宅：木造住宅に被害は有るが、屋根等無被害のものも多い。 傾斜地のマンションで1階基礎部が崩壊し傾いたもの有り。	善光寺：本堂は壁が一部剥落。住家は住める程度の被害。古い庫裏が傾く $\gamma=0.5(40)$ 高羽墓地：上部 $\gamma=1.0$ 。下部 $\gamma=0.7$ で平均 $\gamma=0.9(250)$ 傾斜地にあり墓地の周りに地盤が崩れたところ有り	B
18	東灘区	阪急御影駅北側御影山手	御影山住宅：外見ほとんど被害無し。 御影駅北側駅前の古い木造住宅で瓦が一部ずれているものがある。	御影霊園： $\gamma=0.0(1500)$ (5%未満) 管理事務所で手が入っていないことを確認 (3/2調査)	C
19	東灘区	阪急御影駅南側	阪急電車を越えると急に被害が目立つ。 木造全壊多数 弓弦羽神社：狛犬落下せず。灯笼等半数転倒。社殿無被害。 社務所傾き被害大 (3/3調査)	中勝寺：住居を一部残し本堂等全壊 $\gamma=0.9(200)$ 石屋墓園： $\gamma=0.85(1400)$ 未復旧部調査+事務所の話 (3/2調査) 巖島神社：狛犬転倒2。鳥居落下 木造社殿は損傷無し (3/2調査)	A
20	東灘区	JR住吉駅周辺	駅前：鉄骨ビル全壊等ビルに多数の被害。住宅全壊多数。電柱折れる。 JR線高架支柱大被害。 六甲ライナー：高架被害 火災現場有り。RCスーパー崩壊	住吉神社：RCの社務所を残し社殿に大きな被害。灯笼。鳥居。土塀等多数倒壊、狛犬転倒2	A
21	東灘区	阪神電車以南魚崎西町住吉浜町	阪神高速：道路支柱の鉄筋露出。 道路の凹凸が大きい箇所増加 古い木造でも立っているものも多く中には瓦にも被害が無いものもある。 地盤の沈下 (住吉浜町) 岸壁には亀裂が多数。 六甲ライナー脱線。		B
22	東灘区	阪神魚崎-青木-深江周辺	阪神高速：高架転倒等大被害 11階建てマンションの1階部分崩壊傾く。火災現場有り。	真浄寺：本堂等全て全壊 ($\gamma=1$) 本庄墓地： $\gamma=0.9$ (AERA 2/25写真より)	A
23	東灘区	阪神芦屋-打出駅周辺	木造住宅全壊多数。中層マンション2棟1階部分崩壊。電柱折れる	如来寺：本堂等全て全壊 ($\gamma=1$) 新王寺：本堂全壊 ($\gamma=1$)	A

表1.3-1 調査地点の被害状況一覧 (4)

No	地域	地区	主な建物等の被害状況	社寺・墓地の状況	ランク
24	芦屋市	JR芦屋駅周辺	駅前ビル崩壊。芦屋駅のホームは修理中。木造全壊多数	西法寺：RC本堂無被害	A
25	西宮市	阪急夙川駅南	女子大学RC4階建て1階部分崩壊。無被害の建物もある。	阿弥陀寺および神社：本堂等全て全壊 ($\gamma=1$)	A
26	灘区	阪神西灘駅北側周辺	大石駅付近で阪神電車高架落下 商店街被害甚大 RCビルに被害		A
27	中央区	JR阪急生田川高架周辺	住宅の被害軽微 阪急JR鉄道高架にも被害無し	東福寺：釣り鐘堂の柱が一部ずれる 総じて被害軽微	C
28	中央区	新神戸駅周辺 中山手通より北	新神戸駅：ガラスが一部割れた 駅前高層ビル：ガラスが2,3枚割れた程度で、中の散乱状況も軽微 中山手通に近づく住宅被害増加	東極楽寺：屋根瓦に被害が有る程度 境内の転倒物も少ない。 大仙寺：軽微な被害あり。	C
29	中央区	三宮駅北側 中山手通より南	道路破壊。両側のビルの被害甚大 崩壊転倒多数	生田神社：拝殿倒壊。転倒物多数。 門は残る ($\gamma=1$)。狛犬転倒2	A
30	中央区	三宮駅南西部 市役所前公園より北	RC中層建物の大半に甚大な被害 高層ビルは外見上被害無し (一ヶ所ガラス破損)		A
31	中央区	メリケンパーク周辺	市役所前公園より南側では、建物被害が減少し、ビルの傾斜や地盤の液状化が見られる。		B
32	中央区 兵庫区	JR神戸駅-兵庫駅南側 阪神高速以北	古い木造の全壊がところどころにある (立っているものが多い)。 RC中層の中間階、一階崩壊の被害有り。 阪神高速：高架支柱被害 JR高架：被害無し (下が倉庫)	教務寺：木造モルタルの外壁が落ちる。ブロック塀が倒壊 稲荷神社：転倒物多数。社殿や鳥居は残る。 藤之寺：RC本堂は被害無し。 $\gamma=0.9(200)$ 恵林寺：本堂住居とも全壊。本堂は新しく鉄骨の梁が見える ($\gamma=1$) 山門は残る 福敷禅寺：本堂全壊。住居傾く。 $\gamma=0.8(150)$ 。前の木造の神社は倒壊を免れた。転倒物多数。	A

表1.3-1 調査地点の被害状況一覧(5)

No	地域	地区	主な建物等の被害状況	社寺・墓地の状況	ランク
33	長田区 兵庫区	2号線新湊川 付近	阪神高速：高架橋落下支柱鉄筋露出	法隆寺：本堂全壊。RCの部分のみ残る。(γ=1) 地震の際一瞬に本堂が床より下を残し前へ2m程飛んだ。本堂は昭和30年建築(住職証言)	A
34	長田区	JR新長田駅 周辺	駅前に火災跡 全壊家屋多数。RCの被害も多い		A
35	西区	地下鉄伊川谷 駅付近	田園の中に民家。古い民家の一部に瓦被害。(車窓より)	墓地：かなり立って居る様子 γ=0* (車窓より)	C
36	西区	地下鉄西神中 央駅付近	駅ビルはガラス一部ひび割れ。歩道の手摺一ヶ所落下。 レストランでは地震時に食器がかなり落ちたが、テーブル等大きなものが動いた形跡は無い(店長証言) 神戸西医療センターは地震直後より正常に活動(医師証言)		C
37	長田区	山陽電鉄西代 駅南東部	住宅の全壊多数		A
38	大阪一 京都間	新幹線より	高槻付近まで民家の屋根瓦の被害がある。その後、山崎付近でかなり瓦被害がある。(車窓より)	鳥飼電車基地付近の墓地に転倒は無い様子。(車窓より) γ=0*	C
39	大阪市 旭区	千林大宮	商店街で古い木造の瓦屋根の軽微な被害を1棟見つけた程度。	正厳寺：境内で倒れたものは無さそう。 善立寺：仏具で座りの悪い物が倒れた程度。春日灯籠(人の背丈程の大きさ)が転倒。土壁に小さなヒビ割(住職証言)	C
40	尼崎市	阪神尼崎駅南 側周辺	駅の売店：棚の物が一部落ちる。冷蔵庫は動かず。(店員証言) 周辺の住家に軽微な屋根瓦被害。	全昌寺：釣り鐘堂倒壊。新しい門本堂に被害無し。γ=0.03(320)。 本興寺：古い御堂が傾く。本堂の屋根被害。γ=0.04(240)	C

表1.3-1 調査地点の被害状況一覧(6)

No	地域	地区	主な建物等の被害状況	社寺・墓地の状況	ランク
41	尼崎市 西宮市	阪神武庫川駅 東側周辺	駅の売店：棚の物が落ちる。柱に捕まっていた。(高齢店員証言) 周辺の木造住家の塀や屋根に被害	円徳寺：春日灯籠が倒れる。RC本堂無被害(不明者死体安置所) 源光寺：細長い石碑た倒れる程度。木造本堂に被害無し。 武庫川駅南側墓地：γ=0*(100)(車窓より)	C
42	西宮市	阪神武庫川団 地前駅周辺	道路に砂が吹き出している。電柱で傾いているものがある。 古い木造住宅でも瓦、壁等に被害は認められない。 RC住宅、学校建物に被害無し	上田墓地：γ=0.1(300)。地盤の液状化が酷く。落ちないものの多くが最大30度程度傾いている。(3/4調査)	C
43	西宮市	鳴尾浜公園周 辺	道路に砂の吹き出しが烈しい。学校の古いブロック塀も倒れず。RC住宅に被害無し。		C
44	西宮市	阪神甲子園駅 北側	木造2階部分が倒壊した家あり。古い木造住宅で傾くものあり。 商店：棚の上の物が全て落ちる。オープン(人間の背程)の上段が倒れる(パン屋証言)	西宮鳴尾墓地：水汲み場全壊 γ=0.4(1000) 付近の寺で木造山門全壊。RC本堂無被害。	B
45	西宮市	阪神以南今津 町	高速道路：久寿川付近で高架落下住家には屋根に被害のある程度。ブロック塀も倒壊せず。古い酒蔵の屋根に被害。(特に今津臨港線付近は被害軽微、高速から阪神にかけ1階が潰れた木造やモルタル壁の剥落被害等有り)	福応神社：灯籠倒れているが鳥居は被害なし。社殿は被害無し。社務所(古い木造)は半壊。狛犬転倒無し	C
46	西宮市	阪神今津駅北 側周辺	木造住宅の1階が倒壊したもの所々にあり。	浄願寺：本堂や住居全壊。RCの建物に被害なし。γ=0.9(200)(手が入っていない事を確認)	A
47	西宮市	阪神西宮駅以 南高速以北	木造の全壊が所々に有り。4階ビルの傾くもの有り。		B

表1.3-1 調査地点の被害状況一覧 (7)

No	地域	地区	主な建物等の被害状況	社寺・墓地の状況	ランク
48	西宮市	171号線：2号線から阪急付近	171号線の両側に木造の全壊家屋多数（特にJR以北が目立つ）	市役所隣の寺院：本堂全壊（ $\gamma=1$ ）	A
49	西宮市	阪急夙川駅周辺	阪急電車：西宮寄りの高架倒壊。下の商店を押しつぶす。木造の全壊多数		A
50	西宮市	阪急苦楽園入口付近	夙川に比べ木造住宅の被害が減少		B
51	西宮市	溝池谷墓地付近	墓地付近の木造被害軽微（屋根瓦程度）。甲山方面の住宅に屋根の被害認められず。大社町バス停前でRC2階の工場全壊、他の建物の被害は軽微	溝池谷墓地： $\gamma=0.6$ (10000) 場所によって0.3-0.8程度のバラツキ有り。（手が入っていない事を確認） 積翠寺：一部木造建物傾くが、本堂は戸が外れた程度。RC建物被害無し。	B
52	西宮市	171号線広田町付近	木造家屋全壊多数。火災現場ありRC3階建てアパート一階部分壊れる。	豊乗寺：RC本堂被害無し。 $\gamma=0.9$ (150)	A
53	豊中市	服部緑地		服部霊園： $\gamma=0.2$ 7700区画中2400区画で被害がある（管理事務所談）	C
54	宝塚市	阪急山本駅周辺	古い木造の屋根に被害多数。全壊もある。（車窓より）		B
55	宝塚市	中山台	新しい住宅が多い屋根の被害も無い。古い木造も被害軽微 高台からの跳め：阪急から中国自動車道にかけて住宅の屋根被害が集中。東の山本付近にも見える		C
56	宝塚市	阪急中山駅周辺	木造住宅の被害は中山台に比べ増加。 駅売店：棚から商品落下。冷蔵庫動く。（店員証言）	中山寺：古い木造の御堂が沢山あるが全壊したものは無い。 $\gamma=0.6$ (1000)	B

表1.3-1 調査地点の被害状況一覧 (8)

No	地域	地区	主な建物等の被害状況	社寺・墓地の状況	ランク
57	宝塚市	阪急以南・JR中山駅周辺まで	木造の全壊多数。RC5階建てアパート1階崩壊傾く。	JR線南の墓地： $\gamma=1.0$ (300)。立っているものはわずか7基	A
58	宝塚市	米谷・小浜付近	木造の古いものは屋根を中心にかかなりの被害はあるが、全壊はほとんど見られない。 六甲の山肌に崩れた跡が多数見える（地震によるかどうか確認出来ず） No.9の甲武橋からの眺めと同じもの。	円慶寺（米谷）：本堂被害軽微（やや傾く） 豪撰寺（小浜宿）：土塀が一部破損本堂に被害無し。 皇太神社（小浜宿）：灯籠が落ちる鳥居、社殿無被害。狛犬転倒無し 本妙寺（小浜宿）：本堂等に被害無し。 $\gamma=0.06$ (100)（傾斜地部分ではこれ以上に倒れている）（手が入っていないことを確認）	C
59	宝塚市	宝塚新大橋から阪急逆瀬川	付近木造住宅の屋根に被害。ブロック塀等も倒れていない。 阪急逆瀬川駅周辺のビルに被害無し。 宝塚新大橋からの眺め：武庫山方面および清荒神方面に屋根被害が集中。逆瀬台から甲山にかけてはほとんど屋根の被害が見られない	法性寺：本堂の屋根が損壊。 $\gamma=0.0$ (70)	C
60	宝塚市	阪急今津線逆瀬川-小林	古い木造住宅が多く、屋根や壁にかかなりの被害はあるが全壊は少ない。木造アパートのモルタル壁の落下も多い。	平林寺：本堂等被害軽微。 $\gamma=0.3$ (400) 宝寿院：古い木造の屋根被害。その他被害無し。	C
61	宝塚市	阪急今津線小林-仁川	全壊家屋増加（特に鹿塩に入ると被害が大きくなる）	堂宣寺：屋根に被害大。本堂等は倒壊していない。 金龍寺：本堂、鐘楼傾くが全壊はしていない。	B
62	西宮市	門戸厄神周辺	木造全壊多数 新幹線：六甲トンネル入口付近で高架落下 高台からの跳め：東から東南方向に屋根被害が多数見られる。	門戸厄神：堂塔は新しく被害軽微。本堂の柱の全てに補修の跡あり（1/19の調査時には緑日でも中止され境内が危険な為入場できなかった） 神光寺：傾いた建物あり。本堂の被害軽微。隣接する木造住宅全壊	A

表1.3-1 調査地点の被害状況一覧(9)

No	地域	地区	主な建物等の被害状況	社寺・墓地の状況	ランク
63	西宮市	阪急門戸厄神駅周辺	新幹線、171号線高架被害 電柱折れる 全壊家屋多数。火災現場有り。		A
64	加古川市	J R山陽線より	古い木造家屋も含めて、屋根の被も殆ど無い 姫路ー加古川間：屋根のシートは曾根駅付近から所々に見られるが数は少ない (車窓より)		C
65	明石市	J R山陽線より：西明石	明石市に入り魚住、大久保、西明石と屋根のシートの数が増加するが、建築物の大きな被害は殆ど無い。 明石川を渡り、古い木造家屋の全壊が一軒見えた。(車窓より)		C
66	明石市	明石駅周辺	古い木造の民家や寺院の屋根の一部に被害、モルタル壁の剥落 S造やRC造の外壁の剥落 明石港：岸壁に被害なさそう。 明石城：石垣無被害、隅櫓の漆喰壁一部剥落 (J R側から) J R明石駅：売店のシャッターがぶら下がり、冷蔵庫が動く、棚の商品多数落下 (店員証言) *建物被害の割に墓石の転倒率が大きい。証言の為か、震動性状によるか不明。建物被害を重視して被害ランクを決めた。	本立寺：石鳥居無被害。古い木造水汲み場も全壊せず。RC本堂無被害 住職夫人の証言によると、墓石は8から9割方倒れた ($\gamma=0.8?$ (500)) 浜光明寺：本堂の屋根に少々被害 光明寺：住職の証言によると、墓石は9割方倒れた ($\gamma=0.9?$ (200))。前夜6時半頃ドンと衝撃的な地震を感じた。本震はガシガシと上下動を感じてすぐに終わった。家具は殆ど動かず、仏具ももとに戻せば何とも無かった。RC本堂無被害。ボーリング調査では墓地側は砂、反対側は粘土。墓地側は昔明石城の堀割り。	* C
67	垂水区	舞子ー垂水の山手	木造の全壊は無いが屋根の被害は多く全体の3割から半分位シートが掛かっている。 傾斜地のため、要壁が壊れ取りつぶされた住宅もある。 RCマンションの繋ぎ目部分に被害。	舞子墓園： $\gamma=0.1$ (6700)。動いたものを入れると全体の57%となる。(管理事務所調査結果)	C

表1.3-1 調査地点の被害状況一覧(10)

No	地域	地区	主な建物等の被害状況	社寺・墓地の状況	ランク
68	垂水区	J R垂水駅周辺	屋根の被害は多い。商店街等の被害は軽微。RC建物に被害は見あたらぬ。 *建物被害の割に墓石の転倒率が大きい。証言の為か、震動性状によるか不明。建物被害を重視して被害ランクを決めた。	青木禅寺：住職夫人の証言によると墓石の8割方倒れた ($\gamma=0.8?$ (150))。RC本堂は無被害。木造住家との繋ぎ目部分に被害。外見は被害は軽微。 洞養寺：本堂、山門は古い木造だが屋根に被害が有る程度。 海神社：社殿に被害なし。灯籠の一部が倒れている。	* C
69	垂水区	J R塩屋駅周辺	古い木造に全壊が幾つかある。 山陽電鉄：駅および線路すべて撤去し、復旧作業中。 山側の住宅の屋根に水色シート多数	安養寺：木造本堂全壊寸前。石段両側の要壁に亀裂。釣り鐘堂全壊 $\gamma=0.3$ (150) (石屋の集計) 隣の神社：社殿被害無し。鳥居健全。灯籠等転倒。石段両側の要壁に亀裂 (鳥居と石段の間が右横ズレしている様)	B
70	須磨区	J R須磨駅周辺	2号線沿や須磨寺にかけて全壊家屋多数。要壁崩壊多数。 山陽電鉄：線路や架線に被害 火災現場あり。 J R須磨駅：立橋と駅舎の繋ぎ目にひび割れ	源氏寺：本堂、山門全壊 ($\gamma=1$)。住家も傾く。	A
71	須磨区	須磨寺周辺	須磨寺に近づく、木造住宅の全壊が少なくなる。	須磨寺：山門健全。木造御堂数棟の内2棟全壊。池の護岸崩れる。 $\gamma=0.2$ (120) (大き目の墓が多い手直ししていない事を確認)	B
72	須磨区	J R鷹取駅ー地下鉄板宿駅	RC建物：アパート、マンション、寮、事務所等多数被害 (柱にせん断亀裂が入ったもの、1階が潰れたもの等) 木造建物：全壊多数で、裏道は通行できない箇所多数 火災現場有り。 J R鷹取駅：仮設ホームで営業 垂水ー塩谷ー須磨ー鷹取と被害の程度が増す。		A

表1.3-1 調査地点の被害状況一覧(11)

No	地域	地区	主な建物等の被害状況	社寺・墓地の状況	ランク
73	須磨区	妙法寺	地下鉄妙法寺駅：駅舎の壁を一部修復中。 木造住宅は所々で屋根の被害	妙法寺：古い木造建物の屋根に軽微な被害。灯籠等すわりの悪い物が一部転倒。γ=0.2(80) (山の斜面にも拘らず転倒が少ない)	C
74	兵庫区	大開付近	RCホテル1階崩れる 木造住宅の全壊多数 地下鉄：支柱崩壊のため道路陥没	兵庫宮：鳥居等転倒物多数、古い木造社務所倒壊寸前、新しい木造本殿は被害なし。	A
75	兵庫区 長田区	上沢-重池	RC市営重池高層アパート1階崩れる 木造住宅全壊多数 火災現場有り。 (神戸電鉄に近づくと被害が少なくなる)		A
76	長田区	神戸電鉄長田駅周辺	RCマンション、アパート等被害無し。 木造住宅：所々に屋根の被害がある程度で被害軽微 西方の長田区北部の住宅街も所々に屋根被害 鈴蘭台までほぼ同様(神戸電鉄車窓より)		C
77	北区	神戸電鉄より：鈴蘭台-谷上	長田-鈴蘭台より屋根のシート減少 (車窓より)	箕谷付近の寺院：木造建物被害無し、灯籠等倒れているものあり (車窓より)	C
78	北区	神戸電鉄より：谷上-有馬口	花山-六甲間で屋根のシートがやや増えるが、木造被害は総じて軽微 (車窓より)		C
79	北区 三田市	神戸電鉄より：有馬口-三田 JR福知山線：三田-宝塚	有馬口から屋根のシートの数も減少し、三田では全くない 三田から武田尾までも同様 宝塚の手前生瀬付近からシートの数が増加する。 (車窓より)		C

表1.3-1 調査地点の被害状況一覧(12)

No	地域	地区	主な建物等の被害状況	社寺・墓地の状況	ランク
80	宝塚市	JR宝塚駅周辺	家屋の屋根シート多数、全壊家屋、傾いた家屋も見える。 (車窓より) *詳しくみると更に被害が大きいかもしれない。		* B
81	東灘区	住吉山手七、八丁目・住吉台	古い木造に被害軽微 神戸大塚RCに被害無し 被害は崖崩れ、要壁崩壊等に伴う住宅被害が有る。他は一部屋根の被害 本山町岡本方面も古い木造の被害軽微。山地に軽微な崖崩れあり	住吉霊園：γ=0.3(2000-3000?) 傾斜地に多くの区画があり平均的には上記転倒率であるが0.7-1.0の地域も一部にある。造成に際し盛土と切土の差か。全数は広くて掘みにくい(手が入っていない事を確認)	B
82	東灘区	住吉山手二-六丁目	白鶴美術館：石垣一部破損、土塀瓦一部落下 古い木造住宅や土蔵で傾くものもある。門柱や屋根に被害を受けたものあり。総じて被害軽微	徳本寺：木造本堂は屋根被害。小さな木造の門?が全壊。石碑等一部転倒。住家に被害なし。	B
83	東灘区	JRと阪神電車間御影石町	木造全壊多数 RC7階建、5階建マンション1階部分崩壊(2号線沿い) JR線：石屋川付近高架橋橋脚に被害甚大 阪神電車：石屋川鉄橋付近被害甚大。付近のRC造傾く	光明寺：RC本堂被害無し 弘隆寺：木造本堂全壊(γ=1) 理性院：RC本堂火災。周辺火災	A
84	東灘区	阪神御影駅住吉駅周辺	阪神電車以南ではやや木造の全壊が減少するが所々に有り 御影駅南側で全壊多数。S造被害住吉駅南側でも古い木造全壊	禅昌寺：木造本堂傾く 常順寺：木造本堂全壊(γ=1)、門等一部木造残る 玉持院：RC本堂被害無し 金光教会：木造本堂全壊(γ=1)	A
85	東灘区	六甲アイランド	高層住宅に被害無し 六甲ライナー、道路橋に被害 岸壁はらみ出し、エプロン部沈下各所で地盤沈下が見られる。 *木造の建物等が無く被害ランクが決めにくいだが、状況はNo.21の住吉浜町に類似		* B

表1.3-1 調査地点の被害状況一覧(13)

No	地域	地区	主な建物等の被害状況	社寺・墓地の状況	ﾗﾝｸ
86	灘区	阪急王子公園 -JR灘駅	JRに近づく程木造住宅の全壊が増加する。 RC事務所ビル(山手幹線沿い)1階崩壊、RCアパート(灘北住宅)外階段に被害 灘駅前商店街:被害はあるが全壊は無い 王子公園:石垣崩落	本泉寺:RC本堂被害無し、門柱傾く程度 天理教会:RC本堂屋根瓦に被害。周りの石垣壊れる 法台寺:RC本堂被害無し	A
87	兵庫区	高松町付近	市道西出高松前池線沿いにはそれほど被害はないが、南側の金平町や吉田町の所々に全壊した木造や傾いた木造アパート等がある。 RC構造物は無被害	高松墓地: $\gamma=0.3(400)$ (復旧していたので墓石の傷より判断) 瑞龍寺:何か木造が潰れたようであるが片づけられていて不明 光明院:RC本堂被害無し 東照寺:木造旧本堂の屋根壁に被害 木造3階新本堂は無被害	B
88	兵庫区	JR和田岬駅 付近	古い木造住宅でも屋根に軽微な被害がある程度 笠松通に火災現場 三菱重工の古いS造工場もほぼ無被害 今出在家町にかけて市道沿いにやや傾いた住宅やビルがあるが、ガラス等には損傷なし	三石神社:鳥居落下、他は無被害 和田岬神社:石碑、灯籠等一部転倒 社殿無被害、狛犬転倒無し	C
89	兵庫区	中央市場周辺 から阪神高速 まで	新川橋:取付部に段差 水産会館:玄関のガラスが割れる 水産会館前喫茶店(5階建て1階):天井から吊るした照明や棚上のテレビは落ちなかった。冷蔵庫が僅かに動く。食器は棚から落ちる(店員証言) 中央市場:建物に重大な被害は無い模様 築島橋を渡ると、ビルで傾くものが多くあり、周辺地盤との間に亀裂が多数。	阿彌陀寺: $\gamma=0.5(740)$ (一部復旧しているが、復旧していない所から γ を推定)。煉瓦塼全壊。RC門本堂は無被害。井戸のポンプ転倒。 七宮神社:狛犬転倒1 灯籠等転倒していないものもかなりある。社殿は無被害	B

表1.3-1 調査地点の被害状況一覧(14)

No	地域	地区	主な建物等の被害状況	社寺・墓地の状況	ﾗﾝｸ
90	兵庫区	新開地-湊川 公園	木造住宅全壊多数 RC、S造等の崩壊多数 湊川商店街(山手幹線北側)は古いRC構造が並ぶアーケードだが被害は軽微。全て営業中 下沢通付近火災現場	放光寺:一般民家風木造平屋。屋根を中心に大きな被害 厳島神社:木造の社務所屋根を中心に被害大。RC本殿被害無し。狛犬転倒1。石櫓、灯籠等転倒多数。 妙法華寺:RC本堂無被害。玄関の石碑折れる 専念寺:木造本堂全壊($\gamma=1$)	A
91	兵庫区	荒田町	木造住宅の全壊は少なく半壊多い 上湊川高層住宅:外壁に亀裂等小被害。前のバラックも小被害 荒田公園北西角のS造に被害(解体作業) 大筋筋商店街:古い木造が並ぶが全壊は無く、営業中の店もある	佛立寺:RC本堂無被害。隣の古い木造は屋根に被害 宝治院: $\gamma=0.7(100)$ 寺の調査結果による。本堂は屋根被害傾く 荒田神社:石垣崩れる。鳥居落下。 狛犬転倒無し。社殿無被害 永昌寺:本堂は屋根被害傾く。塼に亀裂。門は無被害	B
92	兵庫区	石井町石井橋 付近	古い木造住宅にも殆ど被害なし。所々に屋根瓦の被害程度		C
93	兵庫区	天王町、千鳥 町	急傾斜地に住宅が建つが、古い木造も全く無被害。崖崩れも無い。花崗岩の露頭が見える	石井墓地: $\gamma=0.0(500)2,3$ 基背の高いものが倒れているだけ。墓石に傷もない。 妙法寺:本堂に被害無し	C
94	中央区	五宮町、市道 山麓線付近	山麓線を挟み北の方が被害が少ない。南へ下ると古い木造を中心に被害が増加する。	東福寺:木造の本堂や門は無被害無し 境内で座りの悪い物転倒	B
95	中央区	宇治川沿い (海洋气象台 の裏から馬場 町)	木造の全壊がある。 川の護岸が崩れる被害。	馬場町墓地: $\gamma=0.8(400)$ 復旧が進んでいるので、墓石の傷より判断	A

表1.3-1 調査地点の被害状況一覧(15)

No	地域	地区	主な建物等の被害状況	社寺・墓地の状況	ランク
96	中央区	下山手通りから海洋気象台	木造の全壊は少ない。特に海洋気象台周辺は屋根の被害が中心。大倉山公園に近いほど被害が大きい 下山手住宅(大倉山公園隣):12階建て3号棟の柱にせんだん亀裂 下山手カトリック教会:レンガ造り全壊 *被害分布が複雑。平均的な木造住宅の被害を重視	徳照寺:本堂倒れず。門傾く。鐘楼倒壊 熊野神社:社殿無被害。社務所は屋根の被害。鳥居落ちる。 狛犬転倒2 関帝廟:本堂等RCは屋根瓦のみ被害。狛犬転倒2	* B
97	中央区	花隈町	古い木造の全壊は殆どない。 花隈城社:石垣で緩んでいる箇所見あらず。裏の地蔵も被害なし	本寿寺:RC本堂無被害。木造の門も無被害。石碑に転倒跡有り。土塀の瓦落下せず。 福德寺:本堂一部壁が剥落他に被害無し。 $r=0.9(60)$ 墓石の傷より判断。ただし、塀が倒れ墓石に当たった影響が強い(住職証言)	B
98	灘区	阪神岩屋駅南	木造全壊多数。 2号線沿いにビルの倒壊多数 阪神高速:高架の一部落下	宝林寺:本堂全壊寸前。 敏馬神社:社殿傾く。鳥居基礎より倒れる。灯籠落下。	A
99	中央区	神戸税関前付近	市役所前の東遊園地付近より噴砂が現れ、税関前からポートアイランドへ向かうとさらに酷くなる。地盤の沈下も見られる。税関をはじめ付近のビルに大きな被害は無い。		B
00	中央区	ポートアイランド	ポータルライナーの高架が落橋 地盤の液状化によるみられる護岸のはらみ出し、地盤の不動沈下が多数みられる。 このため低層建物が傾く被害もある。木造2階の異人館は傾いているが、窓ガラスや屋根瓦の被害はない。 液状化はポートアイランドよりはげしい。		B

表1.3-2 各地域ごとの調査日一覧

月 日	調査場所
1月19日	岸和田, 大阪市中心部, 豊中-西宮 No.1 - No.12
1月20日	大阪, 尼崎, 西宮-神戸市灘区 No.12 - No.25
1月21日	神戸市灘区-長田区, 西区 No.26 - No.37
1月22日	大阪-京都間 (新幹線車窓より) No.38
1月27日	大阪市旭区大阪工大周辺 No.39
1月28日	尼崎-西宮 No.40 - No.52
1月29日	宝塚-西宮 No.53 - No.63
2月8日	明石-神戸市長田・兵庫・北区 No.64 - No.80
3月2日	神戸市東灘区(六甲アイランド) No.81 - No.85
3月3日	神戸市灘区・兵庫区・中央区 No.86 - No.98
3月4日	神戸市中央区(ポートアイランド) No.99, No.100

表1.3-3 被害ランク

ランク	墓石転倒率(r)	木造の住宅や社寺の建物被害	その他
A	$r \geq 0.8$	全壊が多数。狛犬転倒	RC建物や鉄道道路等に大被害
B	$0.8 > r \geq 0.4$	被害は多いが全壊は殆ど無い	上記のものに軽微な被害
C	$0.4 > r$	屋根瓦等軽微な被害。無被害	ガラス破損。室内散乱程度の被害

r :墓が確認出来ず、木造の本堂等が全壊している場合は($r=1$)とした。
 構造物被害:地盤の液状化等による地変で傾いただけの建物は被害の対象にしていない。

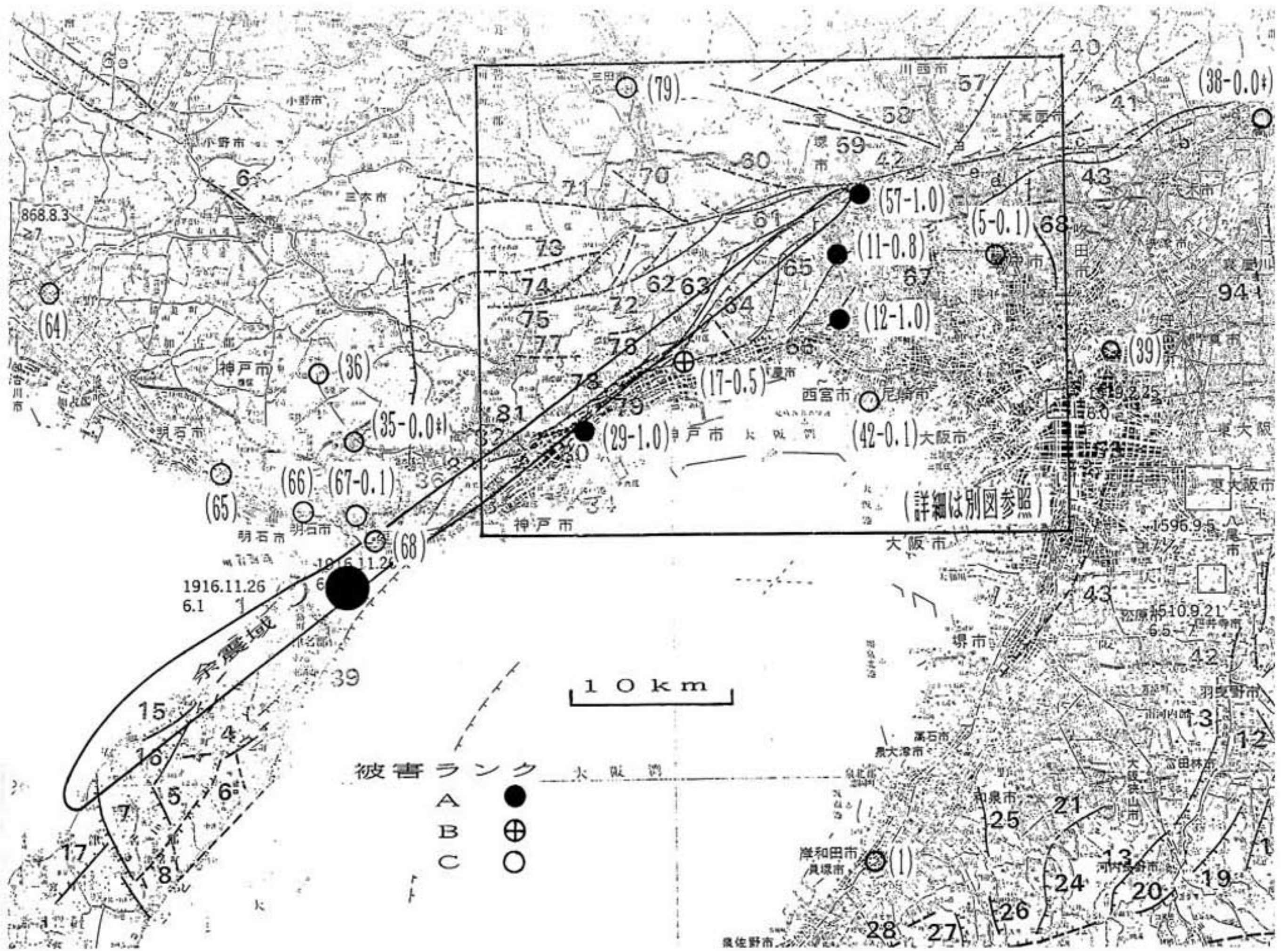


図1.3-1 調査地点と余震域。黒丸は本震の震源位置。黒枠の内部の詳細は図2参照。括弧内の整数は表1の地点番号、小数はその地区での墓石の転倒率 γ を示す。(活断層研究会(1991)の図に加筆した。)

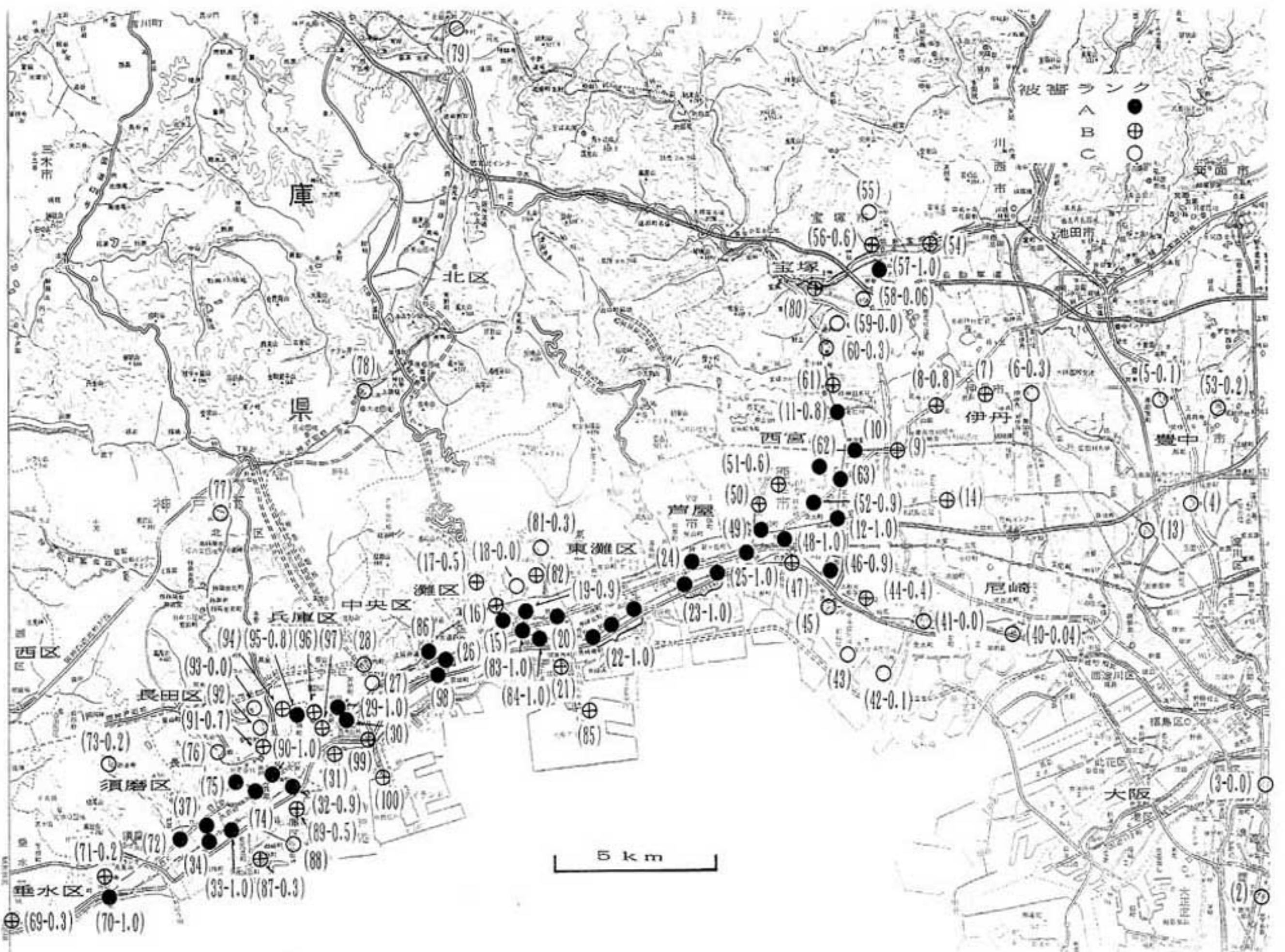


図1.3-2 調査地点および墓石の転倒状況。括弧内の数字は図1の説明参照。

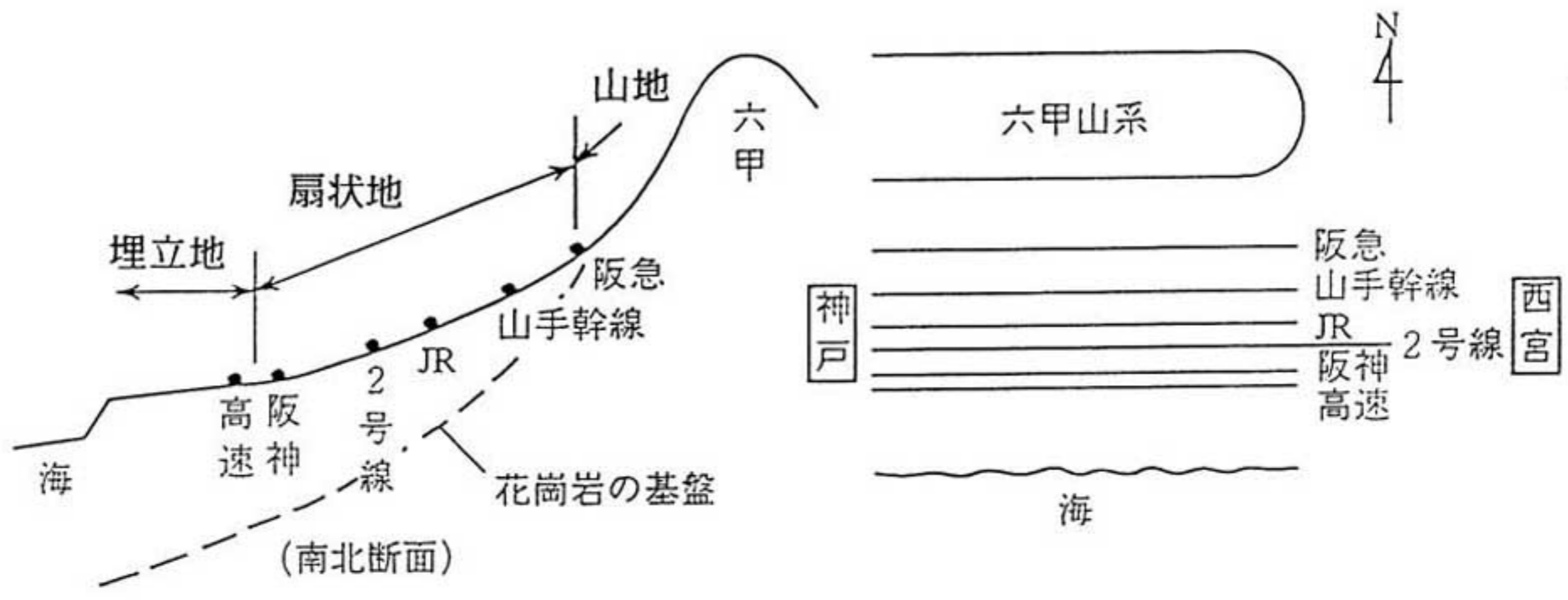


図1.3-3 西宮から神戸にかけての交通網

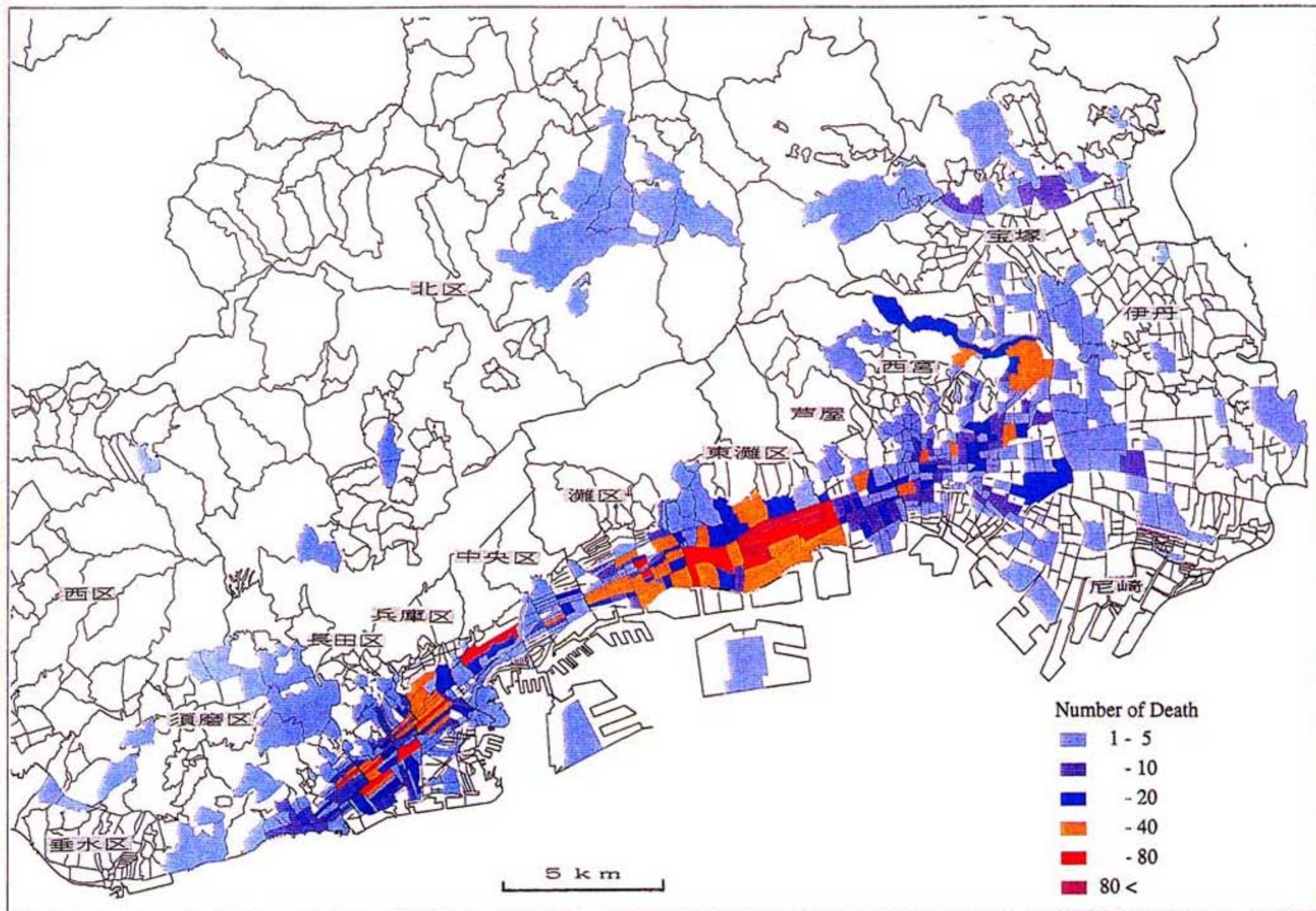


図1.3-4 町別の死亡者分布

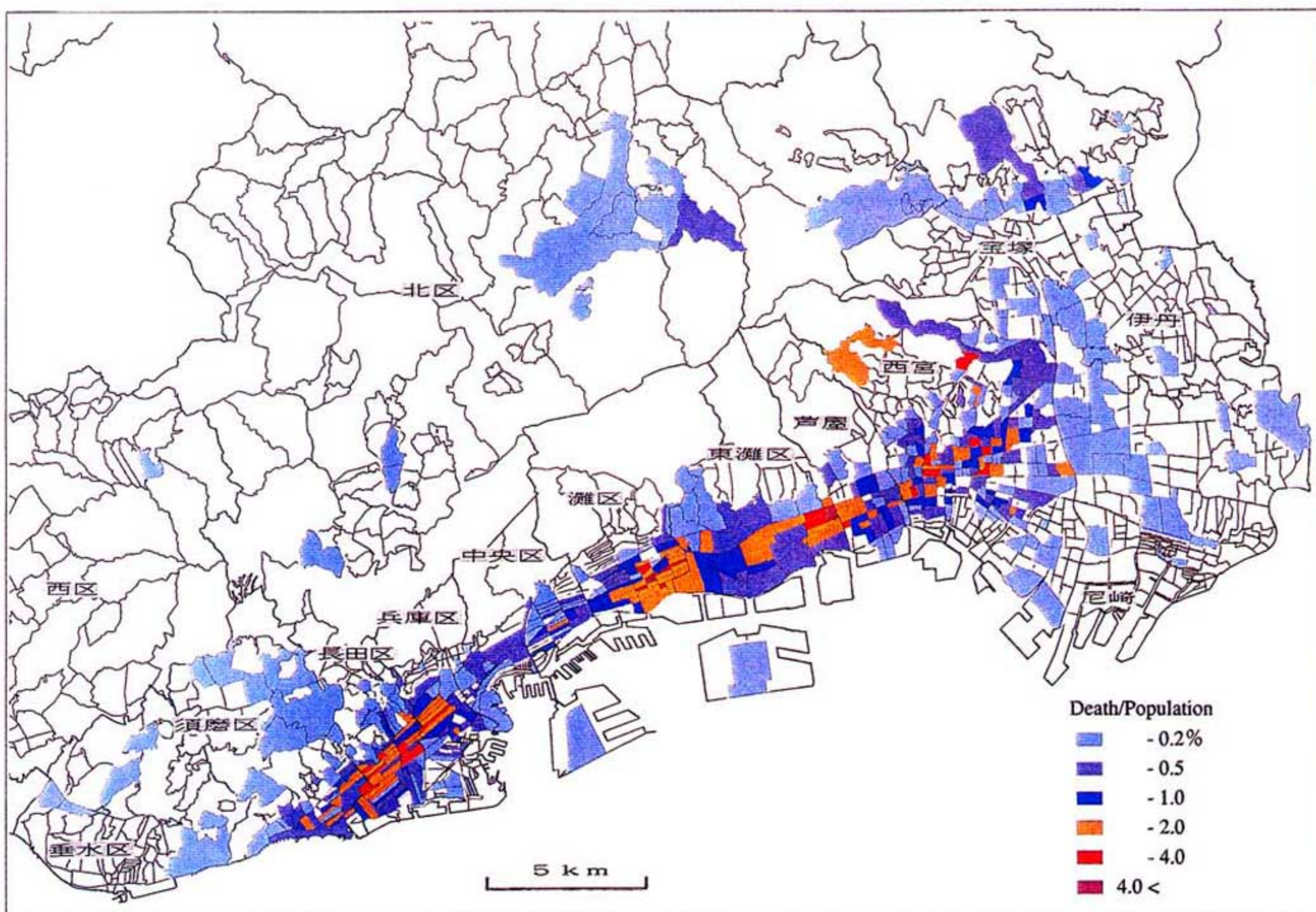


図1.3-5 町別の死亡率分布

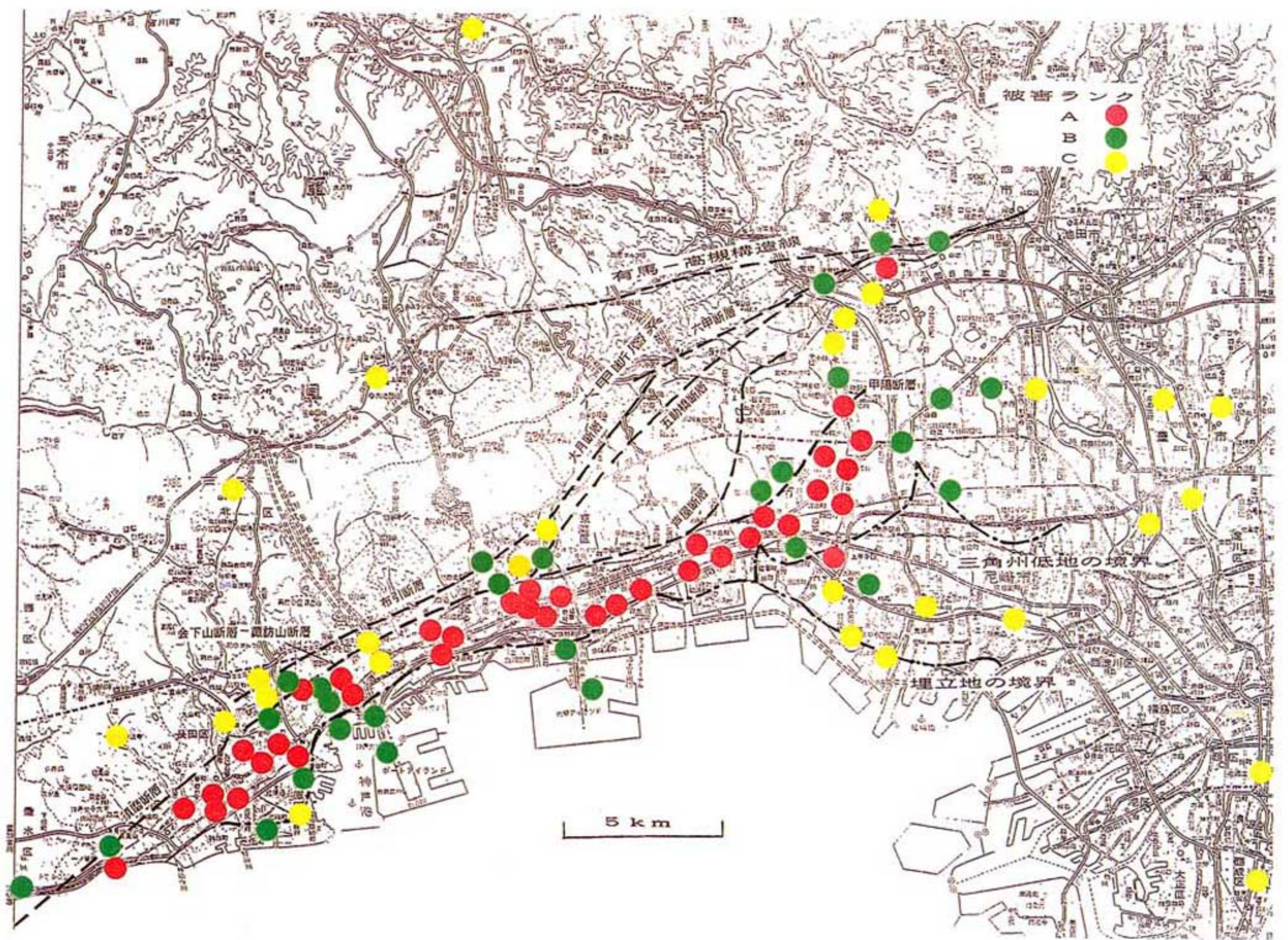


図1.3-6 被害分布と活断層および地盤構造境界。破線は活断層、一点鎖線は自然
地盤と埋立地の境界、西宮では武庫川の三角州の山側境界を示す。

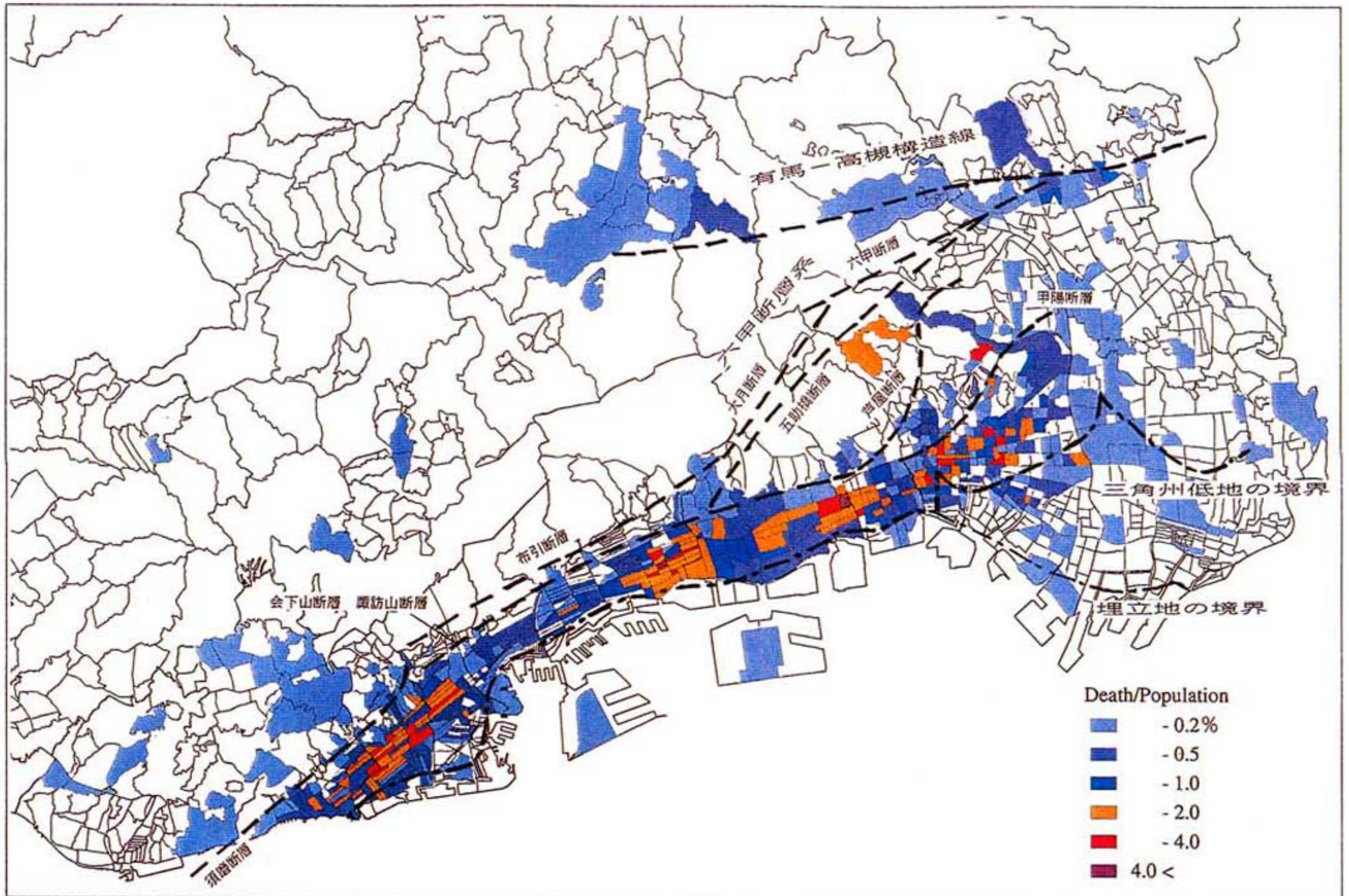


図1.3-7 死亡率と活断層および地盤構造境界。他は図6の説明参照

表1.3-4 墓石の転倒率および狛犬の転倒数と断層からの最短距離(1)

No	地点 番号	寺・神社(場所)	墓石転倒率 (全数) 狛犬転倒数	備 考	須磨-布引 -五助川 (余震域) (km)	須磨-会下 山-諏訪山 芦屋-甲陽 (km)
1	1	天満宮(岸和田市別所町)	0	狛犬	32	31
2	3	欣浄寺(大阪中央区谷二)	0.0	石碑等転倒無し	20	19
3	5	原田神社(豊中市中桜塚)	0	狛犬	10	9
4	5	瑞輪寺(豊中市中桜塚)	0.10(30)	全数	10	9
5	5	浄行寺(豊中市走井)	0.05(133)	全数	9	8
6	6	本泉寺(伊丹市伊丹)	0.26(250)	全数	7	5
7	8	昆陽寺(伊丹市寺本)	0.83(300)	全数	5	2
8	11	西広寺(西宮市段上町)	(1)	本堂全壊	4	0.8
9	11	貝之助墓地(西宮段上町)	0.62(600)	ツプル(90)	4	0.3
10	12	法心寺(西宮市高木西町)	(1)	本堂全壊	6	2
11	17	善光寺(灘区桜丘町)	0.50(36)	全数	1	-0.2
12	17	高羽墓地(灘区桜丘町)	0.88(250)	全数	1	-0.2
13	18	御影霊園(東灘区御影山手)	0.0(1500)	ツプル	1	-0.1
14	19	中勝寺(東灘区御影郡家)	0.90(200)	全数	1.5	0.3
15	19	石屋霊園(東灘区西平野)	0.85(1400)	未復旧部分調査	1	0.1
16	19	蔵島神社(東灘区西平野)	2	狛犬	1	0.1
17	19	弓弦羽社(東灘区御影郡家)	0	狛犬	1	0.1
18	20	住吉神社(東灘住吉宮町)	2	狛犬	2	0.7
19	22	真浄寺(東灘魚崎南町)	(1)	本堂全壊	3.5	1.5
20	22	本庄墓地(東灘深江北町)	0.9	AERA写真から	3.5	1
21	23	如来寺(芦屋市川西町)	(1)	本堂全壊	4	0.8
22	23	新王寺(芦屋市打出町)	(1)	本堂全壊	4.5	1.5
23	25	阿弥陀寺(西宮市郷免町)	(1)	本堂全壊	5	0.6
24	29	生田神社(中央下山手通)	(1) 2	拜殿全壊、狛犬	1.5	0.9
25	32	藤之寺(兵庫区兵庫町)	0.87(200)	全数	2.5	2
26	32	恵林寺(兵庫区兵庫町)	(1)	本堂全壊	2.5	2
27	32	福蔵禅寺(兵庫区門口町)	0.80(150)	全数	2	1.5
28	32	湊八幡社(兵庫区兵庫町)	0	狛犬	2.5	2
29	33	法隆寺(兵庫区東尻池町)	(1)	本堂全壊	1.5	1.5
30	35	伊川谷墓(西区伊川谷町)	0*	(車窓より)	-8	-8
31	40	全昌寺(尼崎市寺町)	0.03(324)	全数	12	8
32	40	本興寺(尼崎市寺町)	0.04(240)	全数	12	8
33	41	武庫川墓地(西宮東鳴尾)	0*(100)	(車窓より)	10	6
34	42	上田墓地(西宮市上田東)	0.1(300)	ツプル(80)	10	6
35	44	鳴尾墓地(西宮上鳴尾町)	0.39(1000)	ツプル(192)	8	4
36	45	福応神社(西宮今津大東)	0	狛犬	8	3.5

表1.3-4 墓石の転倒率および狛犬の転倒数と断層からの最短距離(2)

No	地点 番号	寺・神社(場所)	墓石転倒率 (全数) 狛犬転倒数	備 考	須磨-布引 -五助川 (余震域) (km)	須磨-会下 山-諏訪山 芦屋-甲陽 (km)
37	46	浄願寺(西宮津門呉羽)	0.86(200)	ツプル(125)	7	2.5
38	48	市役所横(西宮六湛寺町)	(1)	本堂全壊	6	1.5
39	51	満池谷墓地(西宮市奥畑)	0.64(10000)	ツプル(175)	4	-0.8
40	52	豊乗寺(西宮市広田町)	0.92(150)	全数	5	0.9
41	53	服部霊園(豊中市広田町)	0.24(>10000)	ツプル(62)7700区画 中2400強区画被害	12	11
42	56	中山寺(宝塚市中山寺)	0.64(1000)	ツプル(151)	-	-
43	57	今里町墓地(宝塚市今里)	0.97(274)	全数	-	-
44	58	皇大神社(宝塚市小浜)	0	狛犬	-	-
45	58	本妙寺(宝塚市小浜)	0.06(100)	全数	-	-
46	59	法性寺(宝塚市伊子市)	0.0(70)	全数	1.5	-2.5
47	60	平林寺(宝塚市社町)	0.27(400)	ツプル(87)	1.5	-2
48	67	舞子墓園(垂水区舞子綾)	0.12(6700)	管理事務所調査結果	-4	-4
49	70	安養寺(垂水区塩屋町)	0.29(150)	石屋の集計	-0.8	-0.8
50	71	源氏寺(須磨区須磨寺町)	(1)	本堂全壊	0.5	0.5
51	72	須磨寺(須磨区西須磨)	0.17(120)	全数	0	0
52	73	妙法寺(須磨区妙法寺)	0.17(80)	ツプル(59)	-2.5	-2.5
53	81	住吉霊園(東灘区住吉台)	0.28 (2-3000?)	ツプル(211)、0.7以上 の区画もある	0	-1.5
54	83	弘隆寺(東灘区御影石町)	(1)	本堂全壊	2	1
55	84	常順寺(東灘区御影本町)	(1)	本堂全壊	2.5	1.5
56	84	金光教会(東灘住吉宮町)	(1)	本堂全壊	2.5	1
57	87	高松墓地(兵庫区高松町)	0.32(400)	ツプル(132)傷による	2.5	2.5
58	88	和田岬神社(兵庫和田宮)	0	狛犬	3	3
59	89	阿弥陀寺(兵庫区中之島)	0.55(740)	ツプル(88)	3.5	2.5
60	89	七宮神社(兵庫区七宮町)	1	狛犬	3	2
61	90	蔵島神社(兵庫区永沢町)	1	狛犬	2	1
62	91	専念寺(兵庫区中道通)	(1)	本堂全壊	1.5	1
63	91	宝治院(兵庫区荒田町)	0.68(100)	寺の調査	1	0.1
64	91	荒田神社(兵庫区荒田町)	0	狛犬	1	0.1
65	93	石井墓地(兵庫区天王町)	0.0(500)	全数	0	-0.8
66	95	馬場墓地(兵庫区馬場町)	0.81(400)	ツプル(80)傷による	0.7	0
67	96	熊野神社(中区中山手通)	2	狛犬	1	0.2
68	96	閼帝廟(中央区中山手通)	2	狛犬	1	0.3
69	97	福德寺(中央区花隈町)	0.87(90)	塀が倒れた影響あり	1.5	1

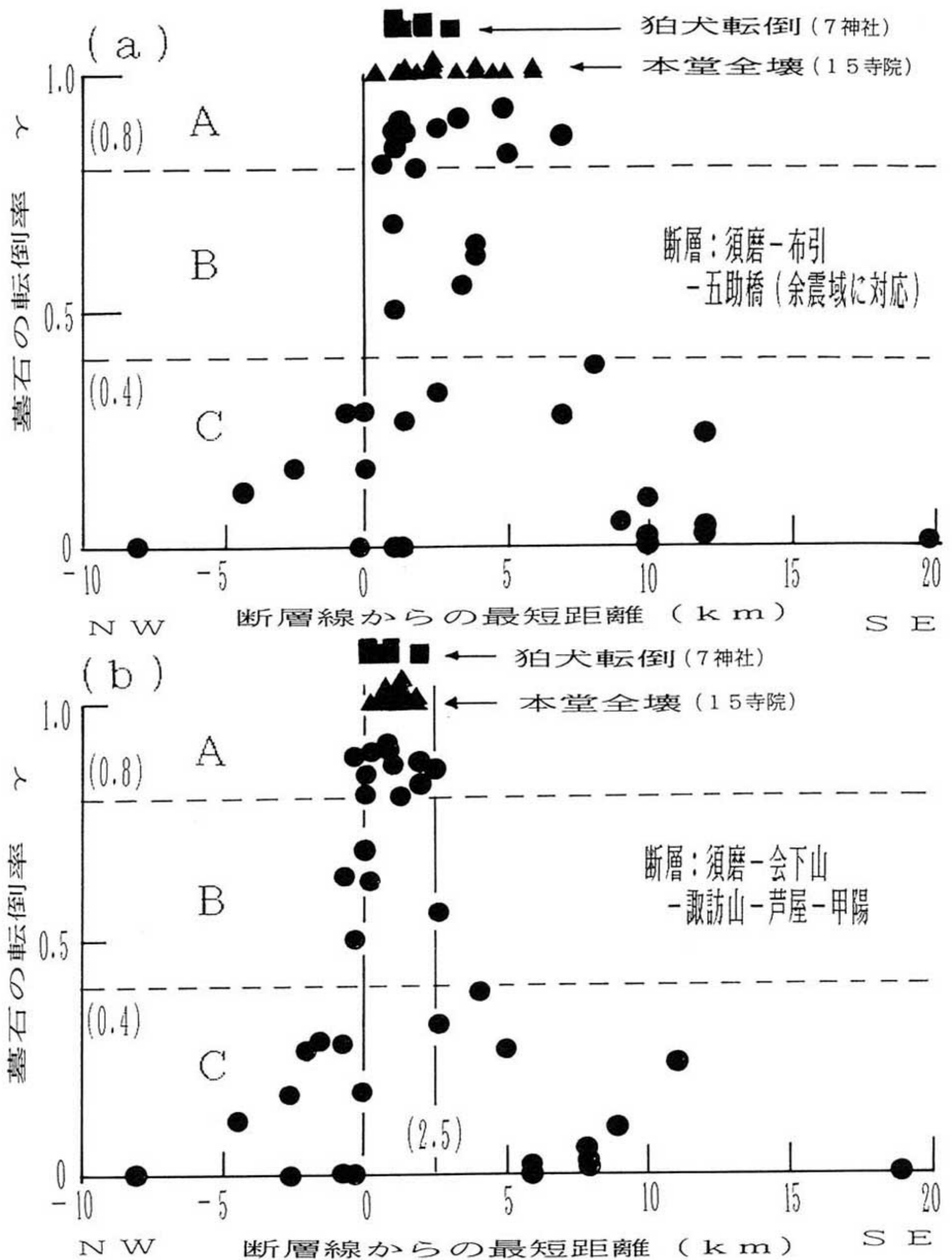


図1.3-8 断層線からの最短距離と墓石の転倒率、本堂が全壊した寺および狛犬が落下した神社の位置。

1.4 余震・微動観測に基づく表層地盤の特性

1.4.1 はじめに

今回の地震では被害分布が南北に大きく変化しており、地盤の震動特性に関係があるとの指摘があった（例えば、鹿島、1995）。この被害分布や地盤特性についての検討を行うことを目的として神戸市東灘区の住吉川にそって南北に縦断するように地震観測を行った。観測は文部省突発災害調査研究補助金による研究グループが主体となる「住吉リニアアレイ地震観測グループ」の共同アレイ観測に参加する形で実施し、観測の一部を分担した。住吉リニアアレイ地震観測グループ（以下、住吉観測グループ）は松波京大教授が代表となり、京大防災研、東京工大、秋田大、東京学芸大、電中研、および当社が参加している（松波、1995）。

この報告では観測を担当した地点で得られた地震記録および共同観測終了後に独自に行った微動観測記録を中心にして行った初期的な検討結果についてまとめたものである。

1.4.2 地震観測

1.4.2.1 地震観測の概要

共同地震観測は図1.4-1に示すように被害が多かった東灘区の住吉川に沿う12地点で行われた。このうち、LKU、KNN、SMEの3地点での地震観測を担当した。観測は1995年2月20日から3月3日まで行った。観測点のうち、MTJとLKUは六甲山地に入った地域である。また、ND1より南の地域が平地であり、被害が多い地域となっている。一方、SMHとKNNの間では被害は中間程度である。LKU（神戸大住吉寮）は標高180mの山地に位置しているが、崖付近のボイラー室内に機器を設置した。なお、LKUでは数メートル離れた屋外に固有周期1秒の地震計が置かれた。LKU周辺には斜面に多くの木造家屋があり、一部の屋根瓦に被害があった。KNN（甲南小）では、1階の資料室内に機器を設置した。この観測点周囲では全壊した木造家屋もいくつかあり、墓石の転倒率は5割程度であった。SME（住吉小）では、プールのポンプ室内に機器を設置した。この周辺は被害が非常に多い地域である。

観測には小型長周期地震計（PELS）を固有周期10秒に設定して用いた。地震計からの速度出力は10Hzのハイカットフィルターで濾過され、直流アンプで増幅された後、デジタルレコーダー（DRF1）に0.01秒間隔で記録した。トリガーはNS成分の振幅で判定し、90秒間記録を行った。遅延時間は5ないし10秒とした。

1.4.2.2 観測記録および初期解析

観測された記録は表1.4-1に示すごとくで、合計37地震である。SMEでは2/26から付近で全壊家屋の解体作業が行われ、観測が難しくなった。得られた記録の最大速度も表には示されている。多くは数十mkine（1mkineは1cm/sの1/1000）で、最大でも約200mkineの速度振幅である。これらの地震の震源情報については現在一部のみがわかっている。そこで、観測記録のS-P時間を読みとってみた。図1.4-2には3地点での記録のS-P時間の分布が示されている。LKUでは多くが2秒以下であり、LKUの付近で発生した地震が主体である。また、SMEとKNNの記録のS-P時間はほぼ同様の分布を示し、LKUに比べてやや大きくなっている。

観測記録の例として、図1.4-3には2/21 6:37の地震の速度記録が示され、図1.4-4には2/24 8:03

の地震の記録が示されている。6:37の地震は比較的S-P時間が長く、明瞭にP波とS波の区別がつく。KNNとSMEではS波初動の到着の前に顕著な位相が上下成分に認められる。しかし、LKUには認められない。S-P時間が異なる8:03の地震の記録にも同様の位相が認められる。これらの後続位相とS波初動との走時差は2つの地震ではほぼ等しいことから、堆積層の構造に起因するS波からP波への変換波であると解釈できる。基盤面での変換波とすれば、KNNですでに堆積層が厚く存在していると考えられる。今後、詳細に検討すれば、堆積層の構造に関する知見が得られると期待される。2つの地震の記録のスペクトルは図1.4-5および1.4-6に示されている。地震の規模が小さいために長周期成分の振幅は小さい。観測点ごとのピーク周期の違いはあまり明瞭ではない。

多くの地震の震源の位置は現在のところわかっていないので、S-P時間によって震源距離の差を考慮して、各観測点での最大速度値の比較を行う。つまり、SMEとKNNでの最大速度をLKUでのそれと除して、S-P時間の比を掛けて、振幅比とした。図1.4-7には水平および上下成分の振幅比を示している。水平についてはNS、EWの平均値とした。平均的には堆積層上では山地のLKUの3倍程度の振幅である。詳細にみれば、水平成分ではSMEは3.9倍、KNNでは2.5倍であり、SMEの方がより増幅していると考えられる。このことはKNN周辺に比べてSMEの周辺で被害が大きいことと対応していると考えられる。また、上下成分についてはKNNの方が大きくなっている。KNNでは観測上の都合から建物1階の床に地震計を設置した。床面の影響を知るために、その地点から2mほど離れた建物外部に地震計を設置して、微動の比較観測を行った。その結果によれば、水平成分ではほとんど両者のスペクトルは同じであった。しかし、上下成分では周期0.3秒より短周期で床の影響が認められ、地震観測が行われた室内の方が大きい振幅となる。KNNの地震記録で上下成分の振幅比を解釈する際には、この影響を除く必要があると考えられる。

1.4.2.3 住吉リニアアレイによる観測記録の解析

合同観測の結果は別途発表される予定である。ここでは、解析結果の一例としてS波初動の走時について検討結果について述べる。図1.4-8は3/2 6:24の地震に対する各地点で得られたNS成分の速度を示している。京大防災研による震源の自動決定によれば、この地震はM3.4、深さ12.5kmで、淡路島北部に震央を有した地震である。アレイに対してほぼ直交する方位となり、各観測点での震央距離の差は約1km以内である。各記録の振幅は任意のスケールであるが、時間は相対的に合わせてある。S波初動の波形は観測点ごとの卓越する周波数が異なっている。しかし、いずれのS波初動の立ち上がりは明瞭であり、●で示した時刻が読みとったS波初動の到着を示している。北にある観測点(LKU、MTJ、SMH)に比べて、南にある観測点(KNN、ND1、SME)では、S波初動の走時が遅れていることがわかる。特に、SMHとKNNの間で急激に走時遅れが大きくなっている。

各観測点での走時遅れを定量的に評価するために、S波初動の理論走時を計算した。計算には図1.4-9に示したS波速度構造(Iwata et al., 1995)を用いた。震源深さ12.5kmの場合のS波の理論走時が図1.4-10に示されている。現在のところ、記録の絶対時刻が不明であるので、観測点の中で比較的堅固な地盤上(本稿では硬質岩盤とよぶ)にあると考えられるMTJで観測走時と理論走時が一致すると仮定して、各観測点でのS波初動の観測走時を理論走時と比較した(図1.4-11)。最も北に位置しているLKUは観測走時と理論走時が一致しており、MTJと同様に硬質岩盤

以浅の層はほとんど存在しないと考えられる。MTJの約0.3km南にあるSMHでは理論走時に対する観測走時の遅れは0.3秒となっている。さらに、南の観測点での走時遅れは約1秒となっている。理論走時の計算に用いた地下構造モデルの第1層のS波速度は1.3km/sと仮定されている。したがって、観測走時の遅れはS波速度のより小さい層が各観測点の直下に存在することに起因すると考えられる。

硬質岩盤以浅の層では、S波初動が鉛直に伝播し、かつ、この層の平均的なS波速度が0.7km/sであると仮定して、各地点での硬質岩盤以浅の層の厚さを推定した。図1.4-12は推定される硬質岩盤以浅の層の深さを示している。MTJとKNNの約1kmの間での硬質岩盤以浅の層は急に層厚を増して、KNN以南ではおよそ600~700mの厚さとなっていると考えられる。この硬質岩盤以浅の層の構造の特徴は地質的には六甲山地ではほぼ露頭している花崗岩層が断層状に急に落ち込んでいることに対応していると考えられる。

1.4.3 微動観測

1.4.3.1 微動観測の概要

共同地震観測終了後3月4日に住吉川にそって微動観測も実施した。観測には地震観測で用いた機器をそのまま用いた。観測点の位置は図1.4-13に示されている。観測点のうちで地震観測が行われたLKU、KNNの2地点では3月4日の9時から13時まで1時間おきに連続観測を実施した。その他の地点では、10分間の観測を1度だけ行った。

1.4.3.2 微動観測の結果

微動データを解釈する際には、微動のスペクトル特性の安定性を調べる必要があるので、先ず連続観測の結果について検討を行った。その際、スペクトル計算には327.68秒のデータを用い、0.1HzのPARZENウィンドウにより平滑化した。また、水平成分は2成分の相乗平均値とした。

図1.4-14にはLKUで得られたフーリエスペクトルが示されている。周期4秒のピークが水平・上下とも安定して認められる。一方、周期1.5秒付近のピークは測定時間によって振幅が変動している。同様の傾向は図1.4-15に示したKNNでのスペクトルについても認められる。さらに、KNNでは周期1秒の短周期成分も時間により変動している。これら2地点のスペクトル比を時間を合わせて計算し図1.4-16に示す。周期0.3秒から周期6秒の帯域でのスペクトル比は時間によらず安定していることがわかる。この周期帯域での水平成分のスペクトル比はあまり顕著にピークは認められない。一方、微動の上下成分では周期2秒付近にピークがある。

次に、移動観測点での観測結果について検討する。図1.4-17には微動のNS成分の記録の例が示されている。UZMからSMCまでは振幅は小さく、KNNから南の観測点では振幅が大きくなっている。しかし、六甲アイランドにあるRKIでは、短周期成分がなくなり、周期約1秒の成分が卓越している。図1.4-18には移動観測点での記録のフーリエスペクトルが示されている。各観測点で共通して周期4~5秒にピークが認められる。さらに、最も北にあるUZMを除く観測点では周期約2秒にもピークがある。UZMのスペクトルは図1.4-14に示したLKUのスペクトルと周期0.4秒より長周期の帯域ではほぼ一致している。

LKUでは1時間おきに観測が行われているので、各移動観測点での観測時刻と最も近い時刻に

得られたLKUでの記録に対するスペクトル比を計算し図1.4-19に示す。六甲アイランド (RKI) では、明瞭なピークが周期約1秒に認められる。その他の観測点では明瞭なピークは認められない。被害の大きい地域に属するUSKやSMMでは周期1秒以下でスペクトル比が大きくなっている。周期1秒より長周期では、南に位置している観測点ほどスペクトル比が大きくなっている。そこで、周期0.3秒から0.5秒、および周期2から5秒の周期帯域のスペクトル比の平均値を計算し図1.4-20に示す。図の横軸は連続観測が行われた観測点であるLKUからの距離を示している。周期0.3~0.5秒のスペクトル比はKNNからSMMの間で大きくなっている。この周期帯域は木造家屋の固有周期に近いものであり、この地域で被害が大きいこととよく対応している。一方、周期2~5秒のスペクトル比はUZMからSMCの間ではほぼ1倍であり、その南のKNNから徐々に大きくなり、六甲アイランドではスペクトル比が最大となっている。これは定性的に基盤が南に向かって深くなることと解釈できる可能性がある。しかし、前述したようにS波初動の走時解析では基盤の急激な落ち込みが認められており、やや長周期微動のスペクトル比がそのまま基盤の深さと対応するとは断言できず、断層状の基盤構造の影響が入っている可能性も考えられるため、地下構造との比較は今後の課題としたい。

1.4.4 まとめ

地震被害の分布を理解することを目的として、神戸市住吉において地震および微動の観測を行った。得られた地震記録は0.2kine以下と振幅レベルの小さいものではあるが、初動や顕著な後続位相に着目して、地下構造との関係について若干の検討を行った。また、微動観測結果からは被害の大きい地域で周期0.4秒付近の地震波の増幅が大きいことが明らかとなった。なお、本稿は観測データの初期解析にとどまっており、詳細な検討は今後行いたい。

なお、地震観測に際しましては、住吉リニアアレイ地震観測グループ（代表者：松波京大教授）の方々、および神戸大住吉寮、甲南小学校、住吉小学校の関係者に多大なご協力を頂きました。記して感謝いたします。

参考文献

Iwata et al., 1995, Aftershock Observations at Higashinada Ward, Kobe City, submitted to Natural Disaster Science

鹿島, 1995, 平成7年兵庫県南部地震被害調査報告書 (第1報)

住吉リニアアレイ地震観測グループ, 1995, 神戸住吉での南北縦断リニアアレイによる地震・常時微動の合同観測, 95年春季地球惑星科学関連学会ポスターセッション

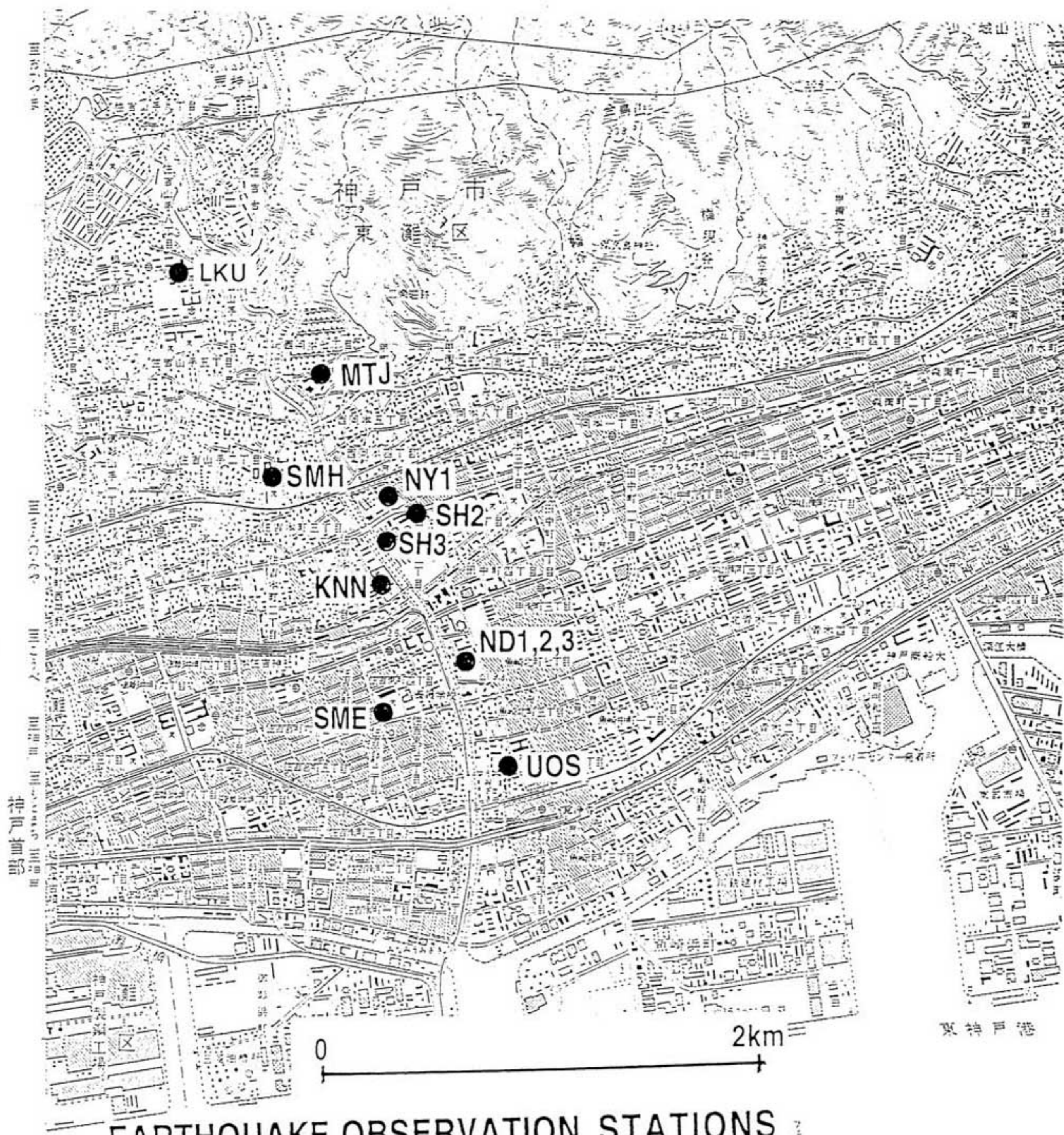


図1.4-1 住吉リニアアレイ地震観測グループによる観測点

表1.4-1 観測された地震記録の諸元

DATE	TIME	Vmax at LKU (cm/sec)			Vmax at KNN (cm/sec)			Vmax at SME (cm/sec)		
		NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD
1995/02/19	20:27	0.014	0.017	0.007				0.020	0.018	0.005
1995/02/20	00:57	0.009	0.008	0.004				0.024	0.025	0.008
	05:43	0.013	0.025	0.009				0.051	0.053	0.018
	07:07	0.008	0.011	0.016						
	15:10	0.015	0.022	0.007	0.010	0.011	0.011	0.023	0.019	0.005
	19:08	0.095	0.159	0.047	0.230	0.107	0.070	0.204	0.132	0.058
1995/02/21	03:53	0.017	0.015	0.005	0.017	0.032	0.017	0.032	0.048	0.012
	06:37	0.014	0.052	0.016	0.077	0.080	0.049	0.083	0.064	0.012
	07:15	0.007	0.013	0.004	0.022	0.025	0.013	0.037	0.024	0.007
	12:34	0.064	0.074	0.038	0.179	0.086	0.085	0.220	0.131	0.056
	12:46	0.016	0.019	0.010	0.049	0.024	0.027	0.064	0.034	0.023
	14:18	0.010	0.021	0.004	0.011	0.019	0.008	0.014	0.019	0.005
1995/02/22	05:56	0.005	0.013	0.003				0.016	0.009	0.004
	22:28	0.018	0.017	0.008						
1995/02/23	01:27	0.014	0.009	0.004	0.024	0.016	0.014	0.021	0.023	0.008
	17:56	0.016	0.012	0.003						
1995/02/24	08:03	0.108	0.080	0.040	0.066	0.088	0.057	0.152	0.236	0.062
	12:15	0.018	0.018	0.007						
	16:41	0.014	0.017	0.005	0.015	0.030	0.018	0.025	0.026	0.010
1995/02/25	04:44	0.057	0.062	0.040	0.169	0.094	0.160	0.198	0.128	0.081
	05:03	0.011	0.013	0.006		0.016	0.010	0.016	0.023	0.004
	12:59	0.021	0.045	0.016		0.060	0.040	0.077	0.086	0.013
1995/02/26	08:48							0.014	0.010	0.003
	10:23	0.007	0.007	0.008		0.023	0.016	0.035	0.060	0.016
	23:55	0.009	0.010	0.003						
1995/02/27	18:35	0.013	0.022	0.009	0.013	0.018	0.018			
	22:17	0.046	0.025	0.006	0.027	0.023	0.022			
	22:45	0.034	0.022	0.005	0.015	0.017	0.011			
	23:27	0.011	0.006	0.003						
1995/03/01	11:56	0.006	0.010	0.004	0.012	0.011	0.100			
	13:17	0.008	0.005	0.003						
	22:31	0.011	0.018	0.007	0.037	0.021	0.013	0.038	0.024	0.018
1995/03/01	02:46	0.011	0.018	0.007						
	04:15				0.010	0.008	0.007			
	06:24	0.022	0.028	0.008	0.047	0.031	0.026	0.031	0.028	0.017
1995/03/02	00:15	0.009	0.010	0.003	0.013	0.019	0.007			
	23:01	0.011	0.013	0.013	0.010	0.006	0.013	0.020	0.018	0.011

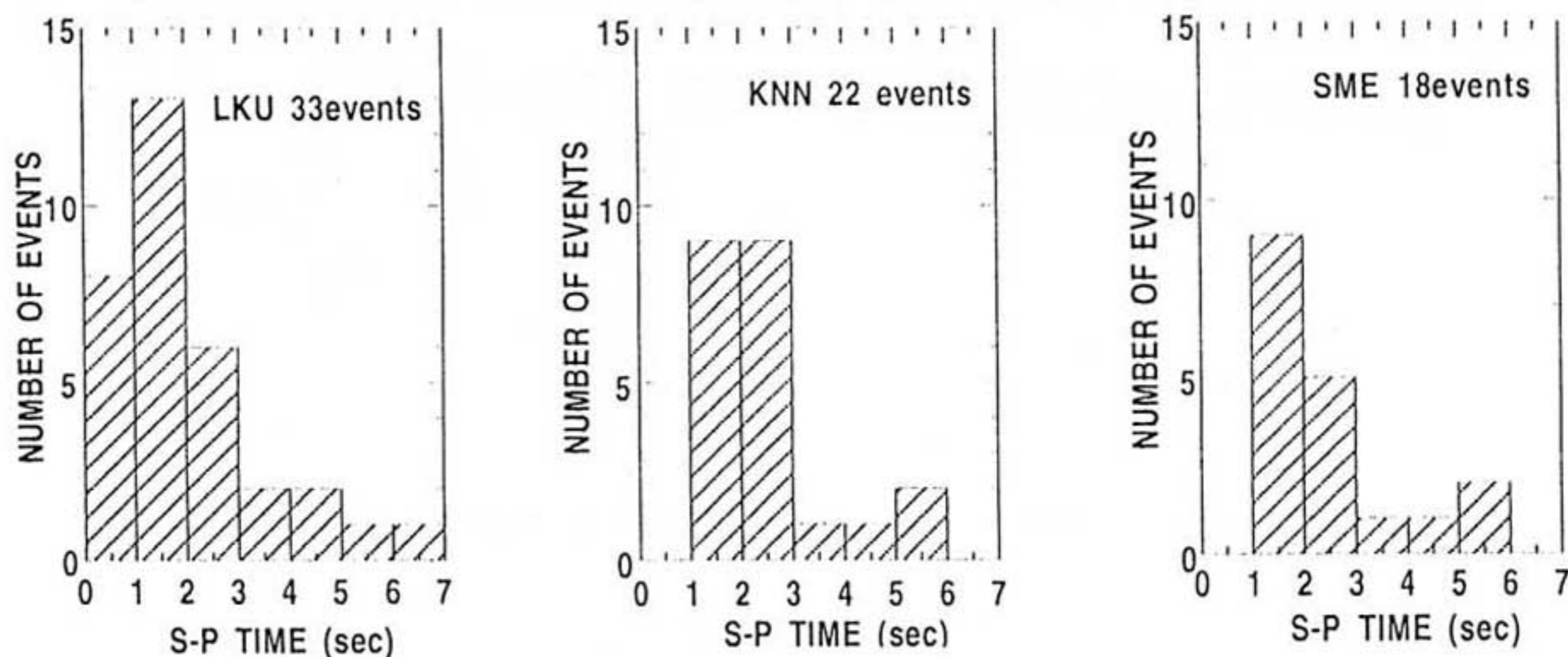


図1.4-2 LKU、KNN、SMEでの地震記録のS-P時間の分布

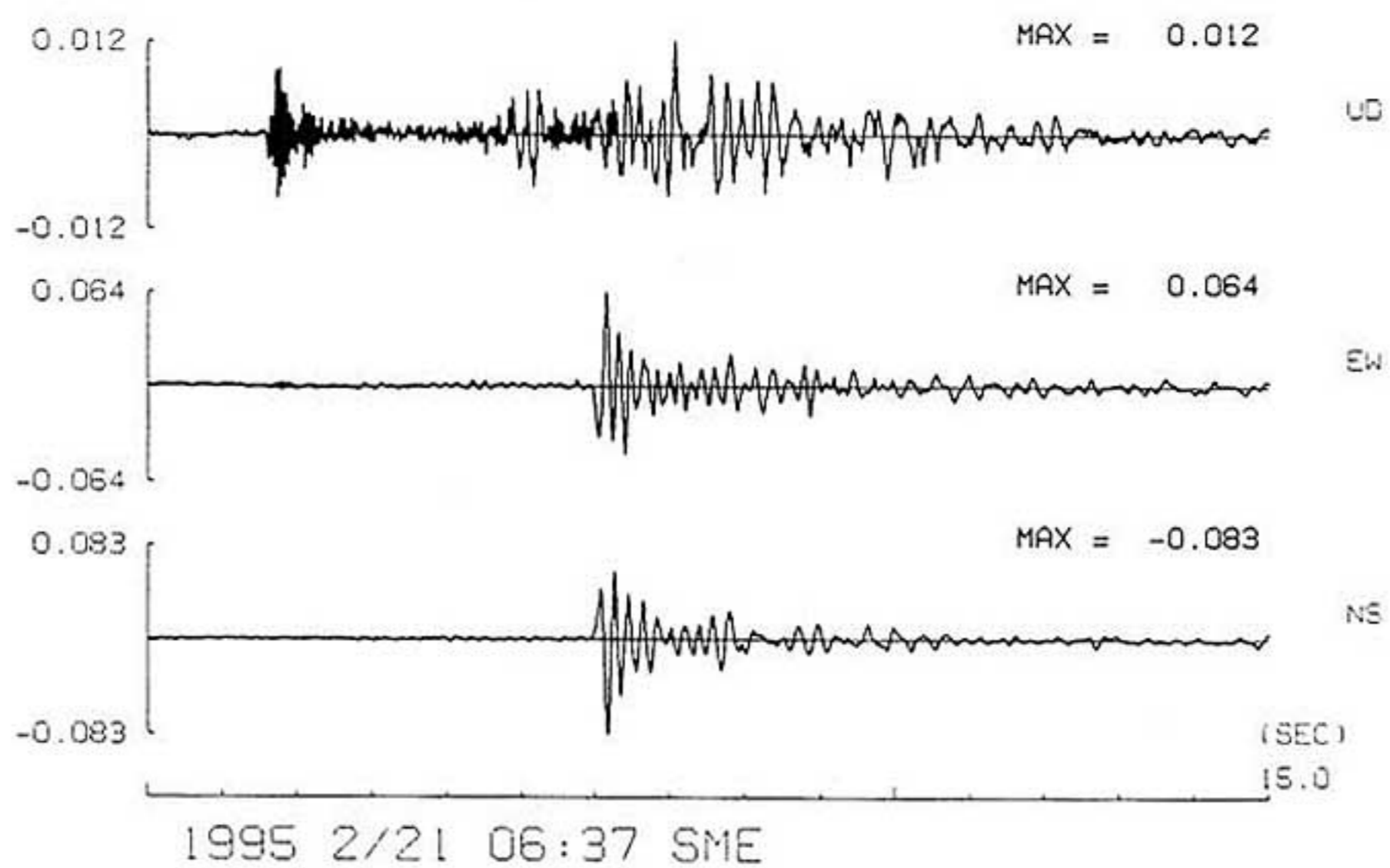
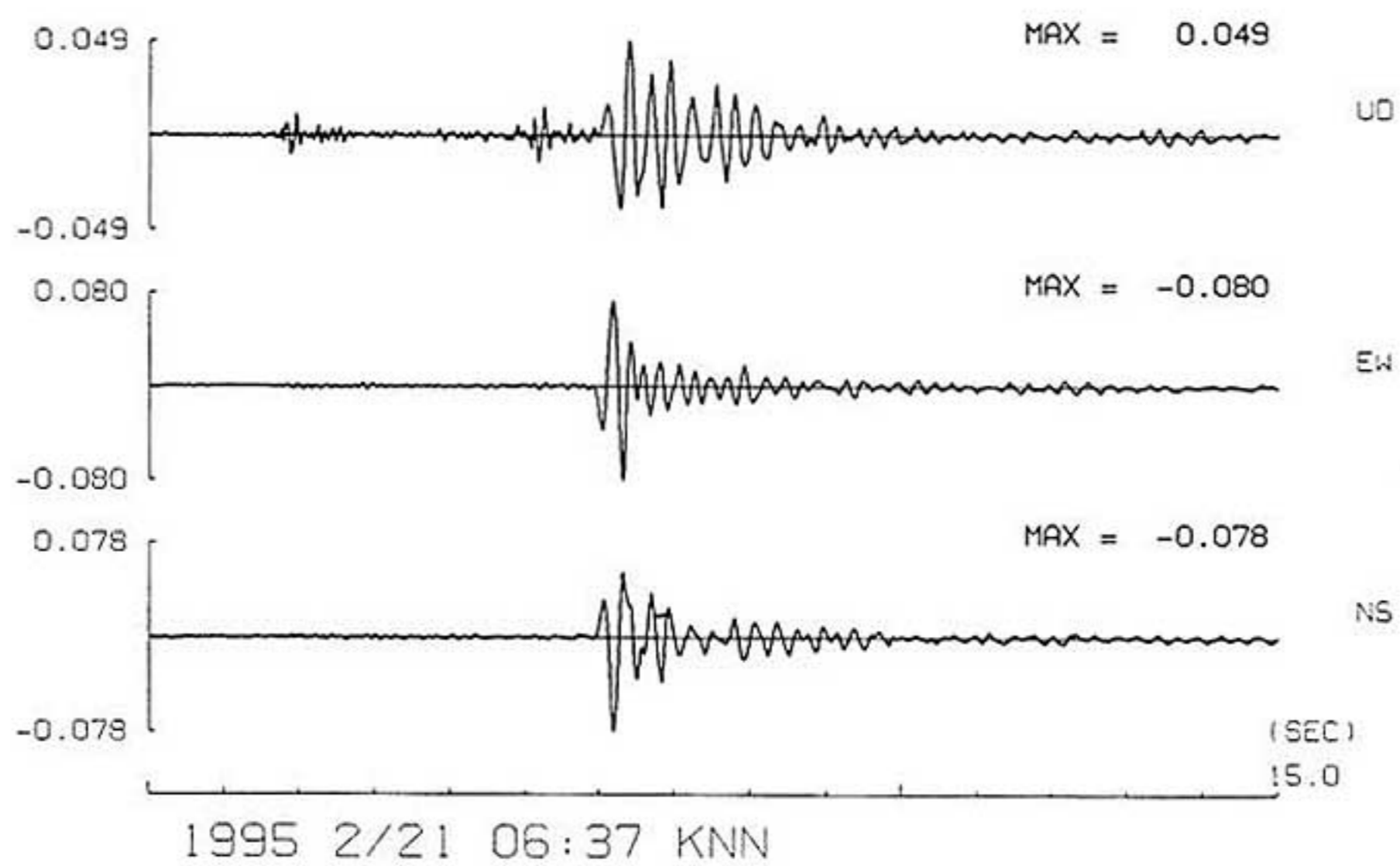
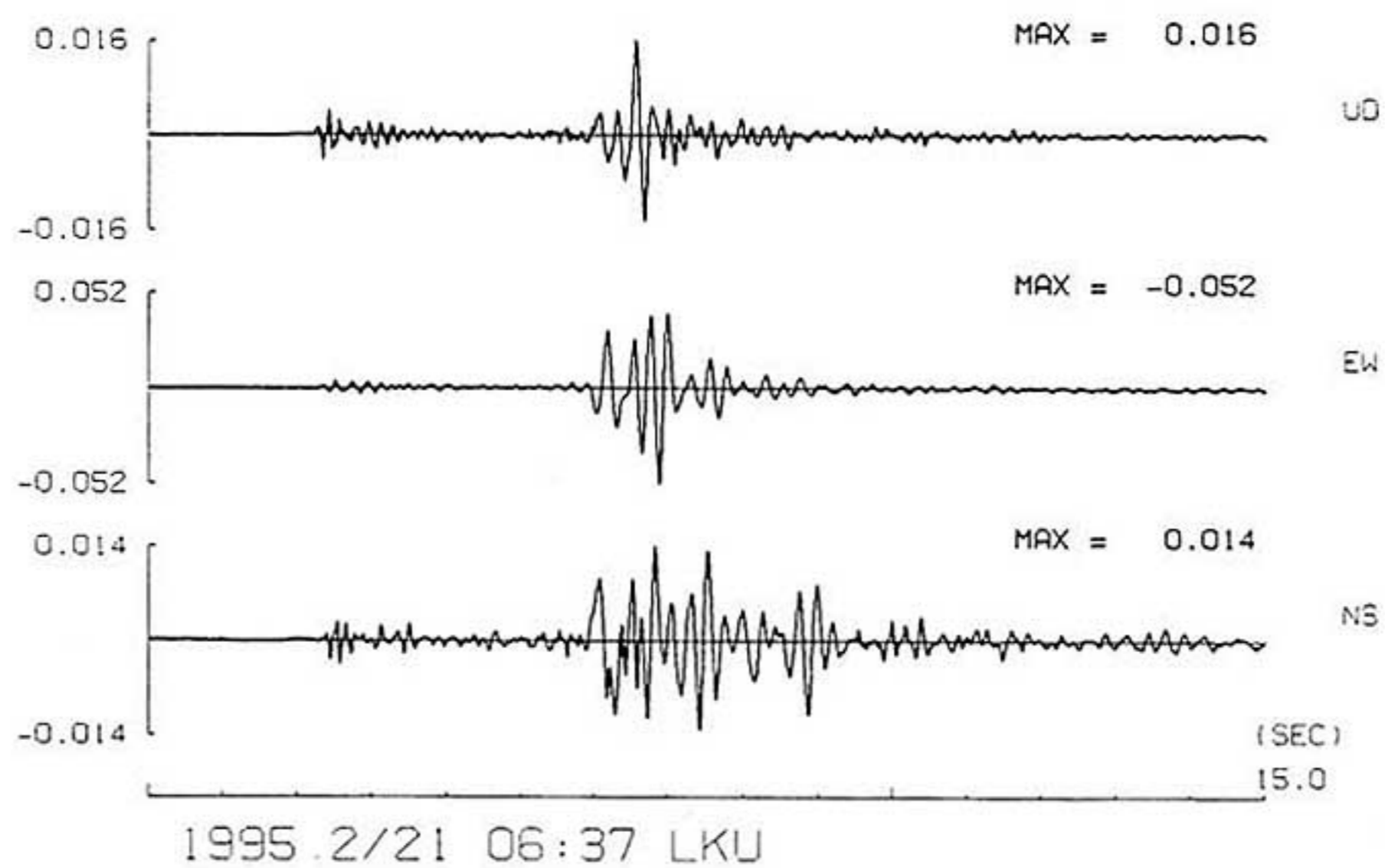


図1.4-3 1995年2月21日6時37分の地震の速度記録
振幅は各成分で正規化され、単位はcm/s

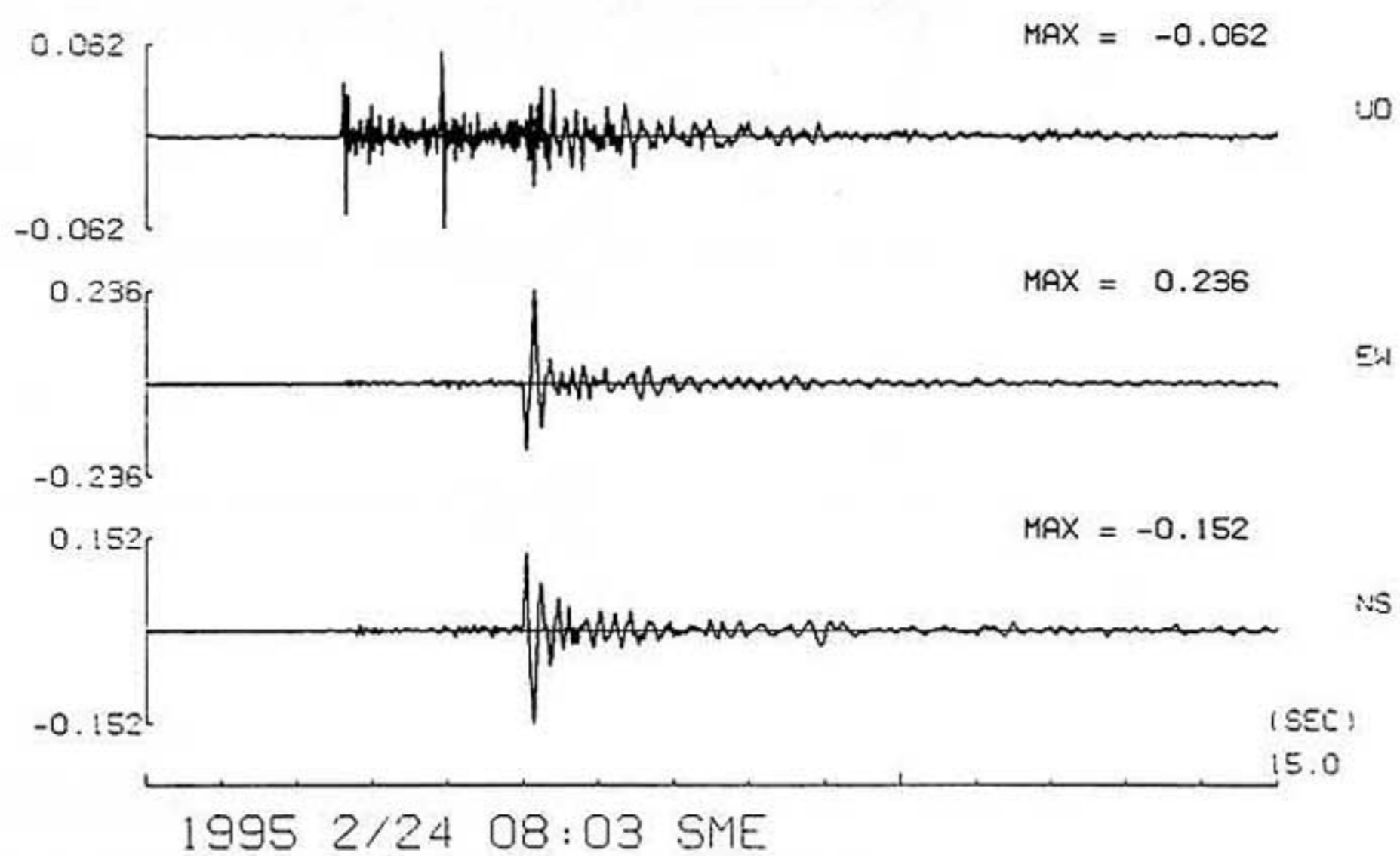
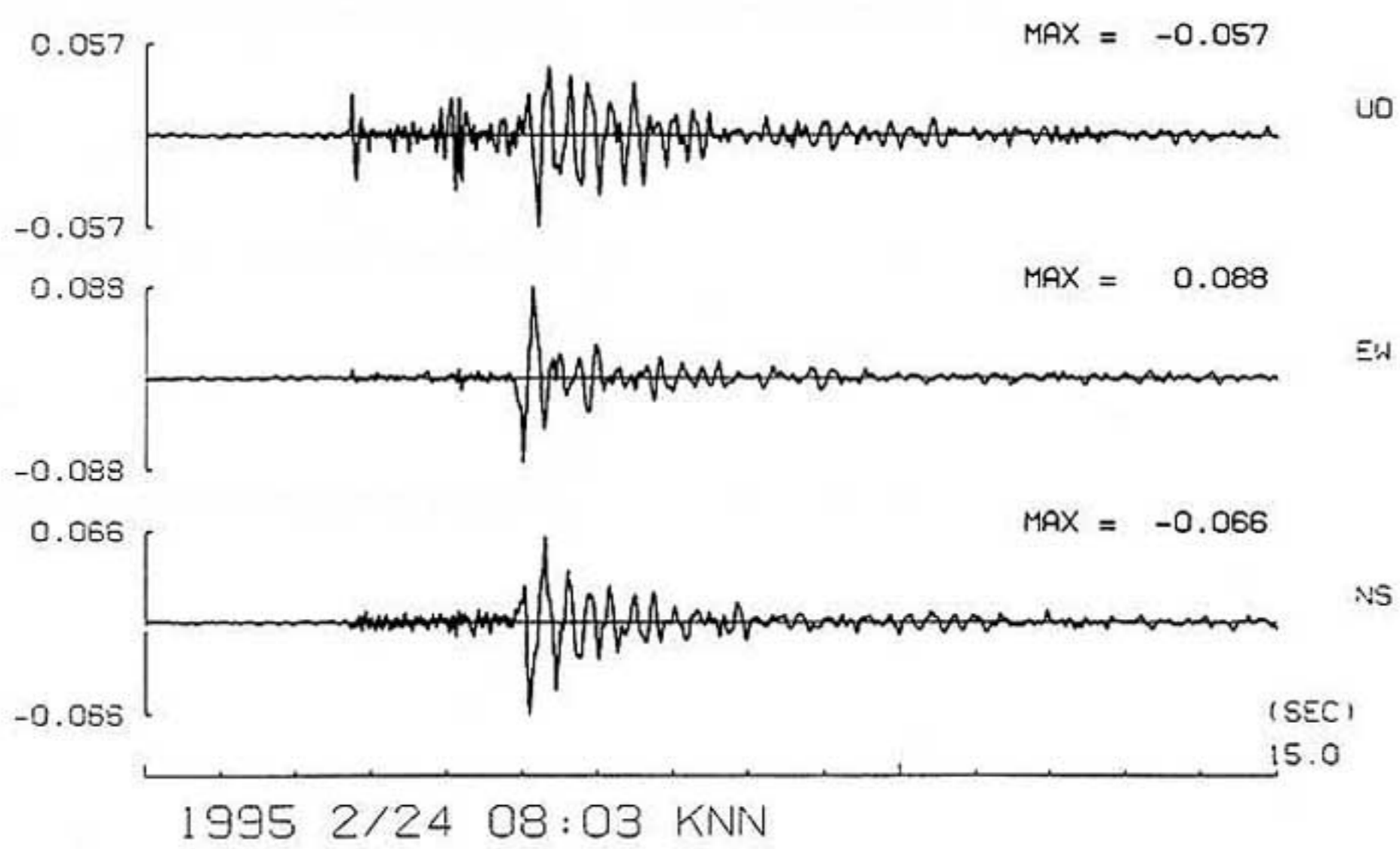
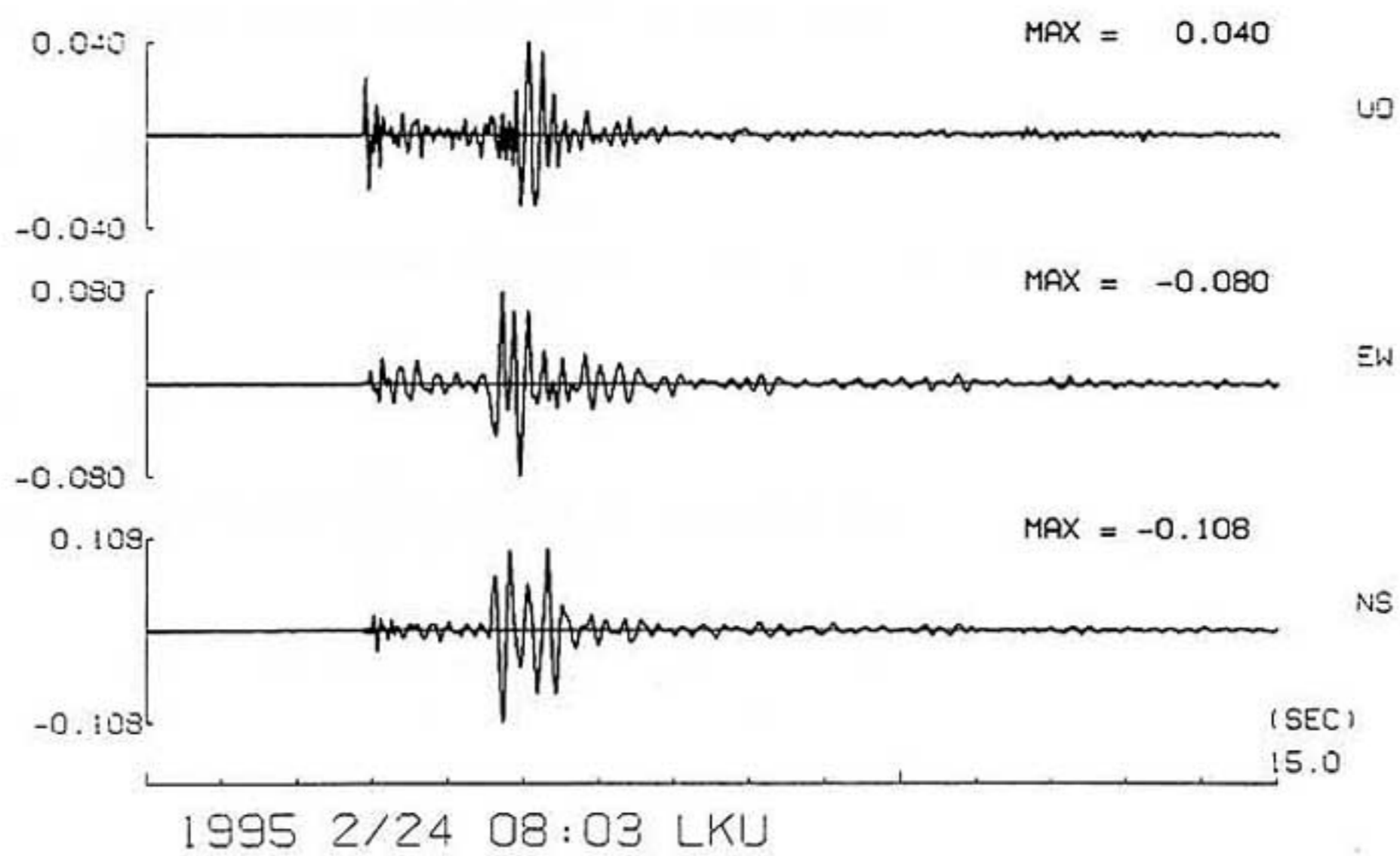
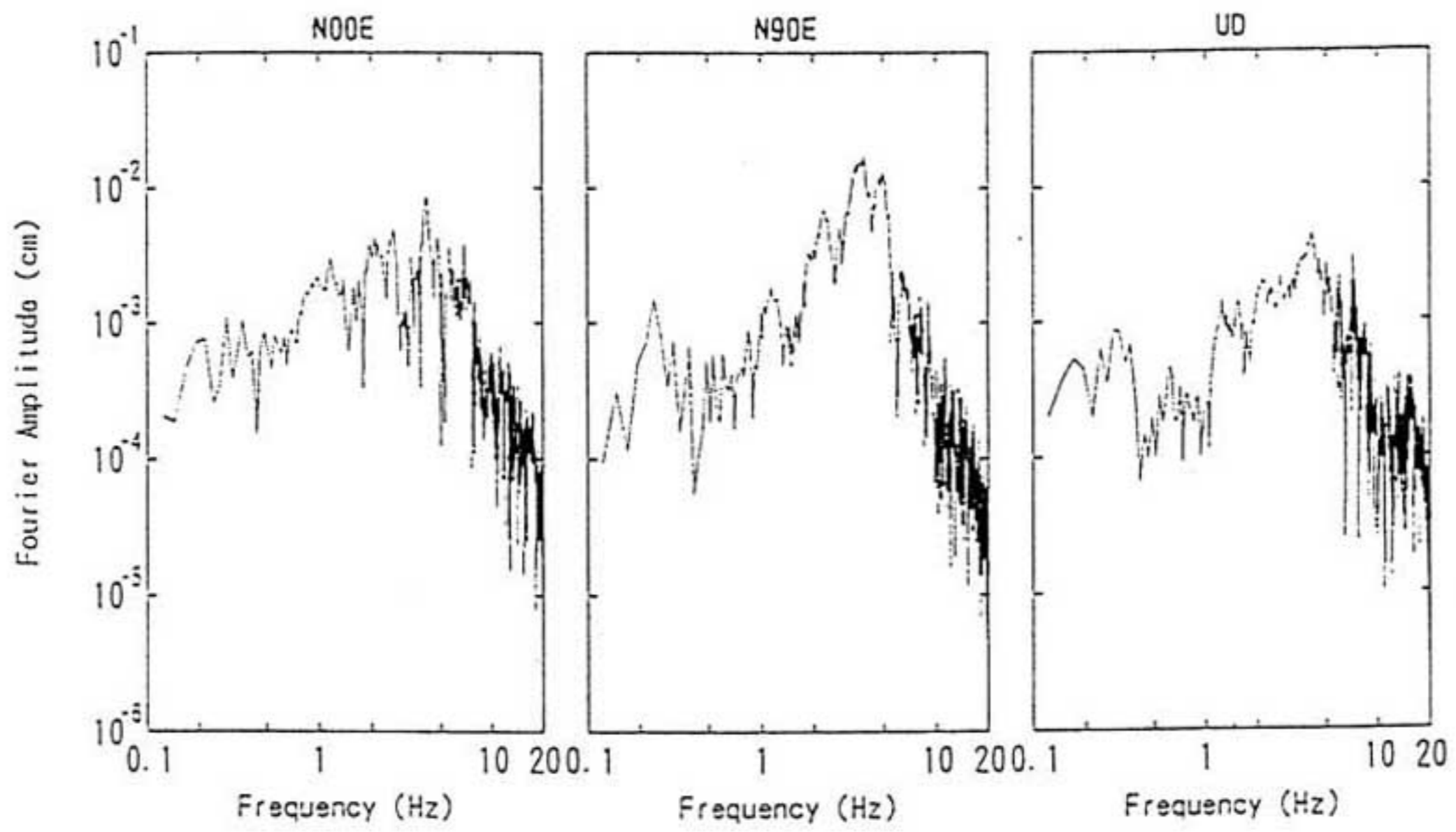
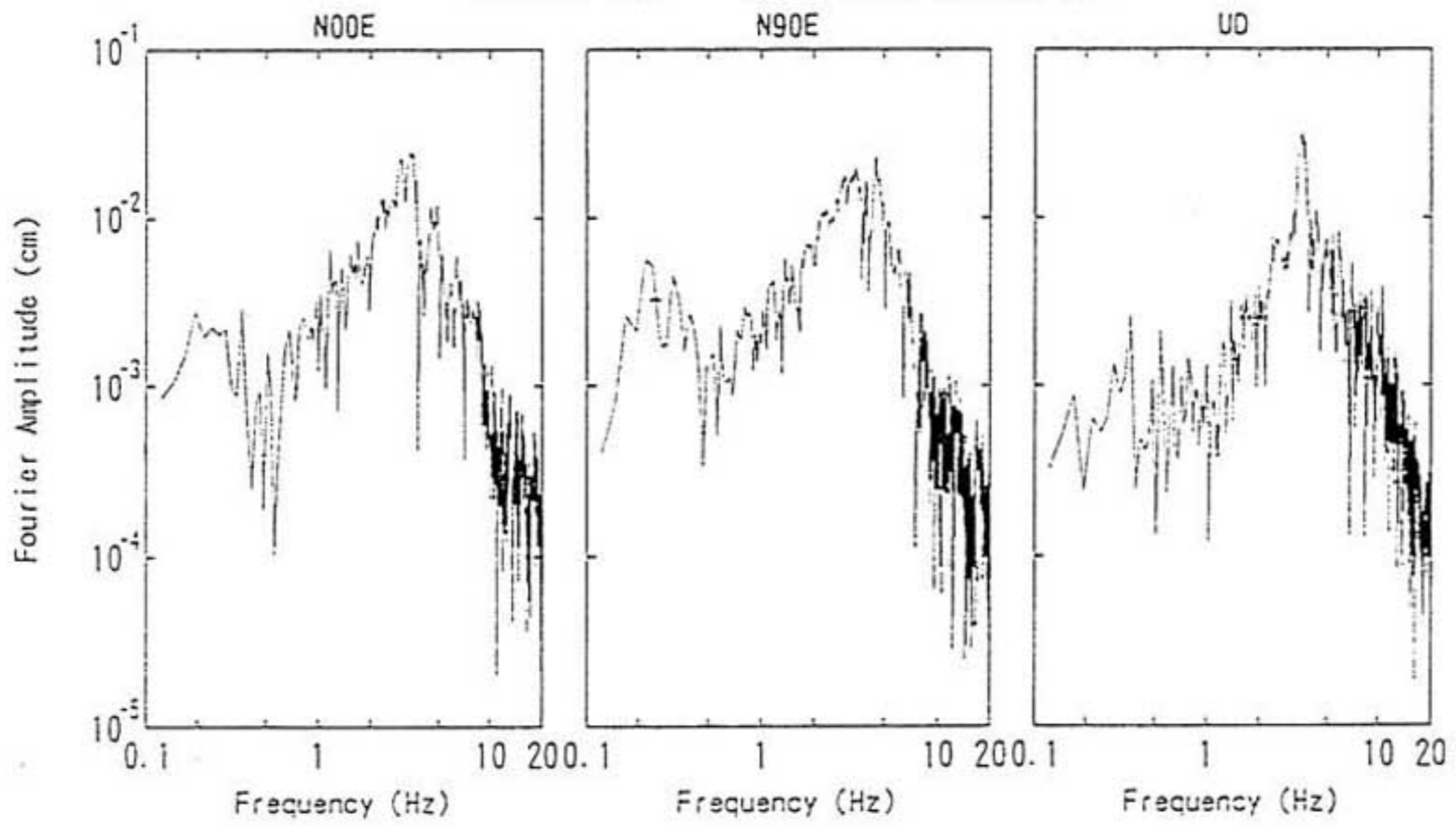


図1.4-4 1995年2月24日8時03分の地震の速度記録
振幅は各成分で正規化され、単位はcm/s

KOBE UN LONG '95 FEB. 21 06:36 VEL



KOHNAN SHO '95 FEB. 21 06:36 VEL



SUMIYOSI SHO '95 FEB. 21 06:36 VEL

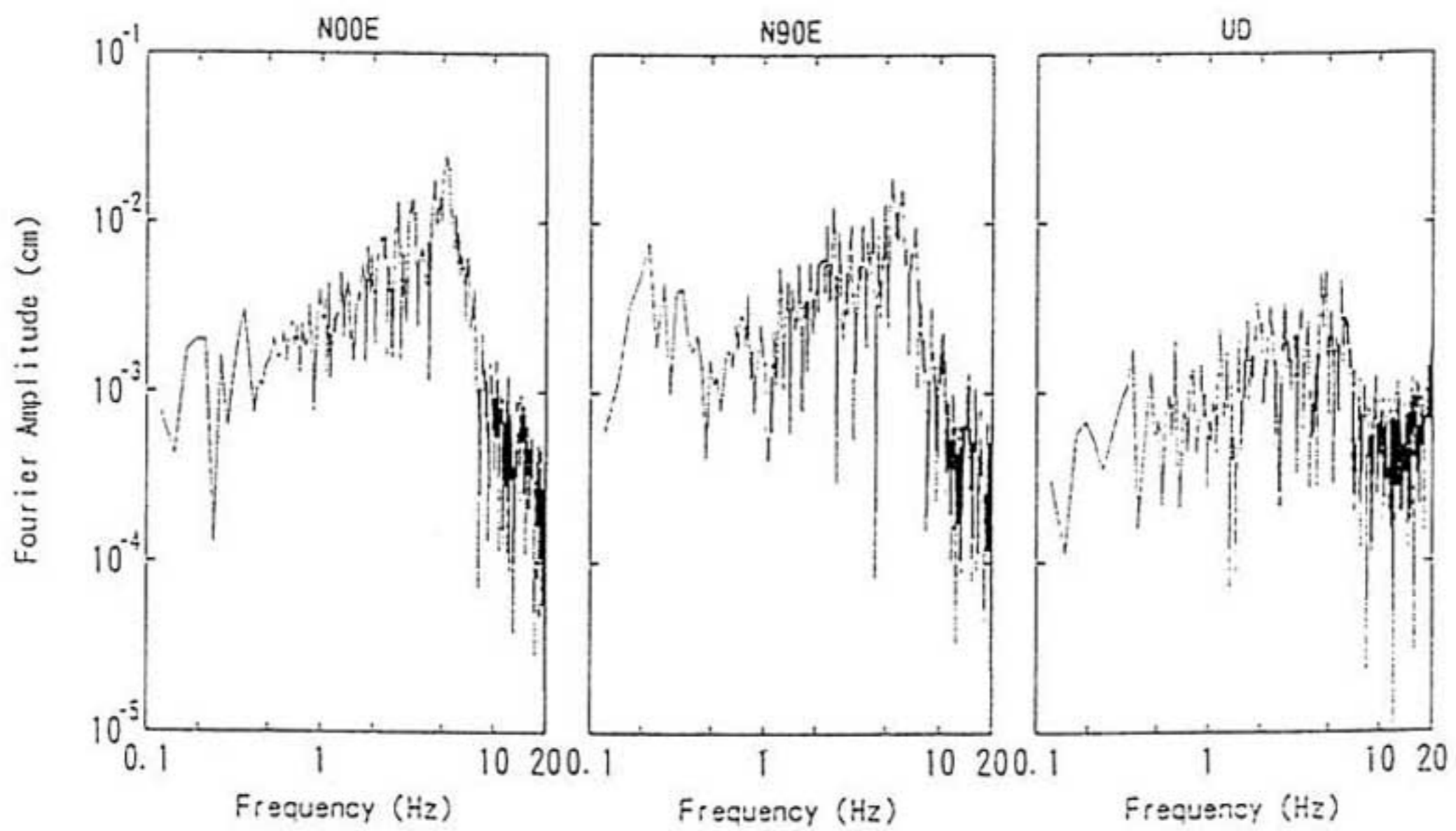


図1.4-5 1995年2月21日6時37分の地震の速度フーリエスペクトル

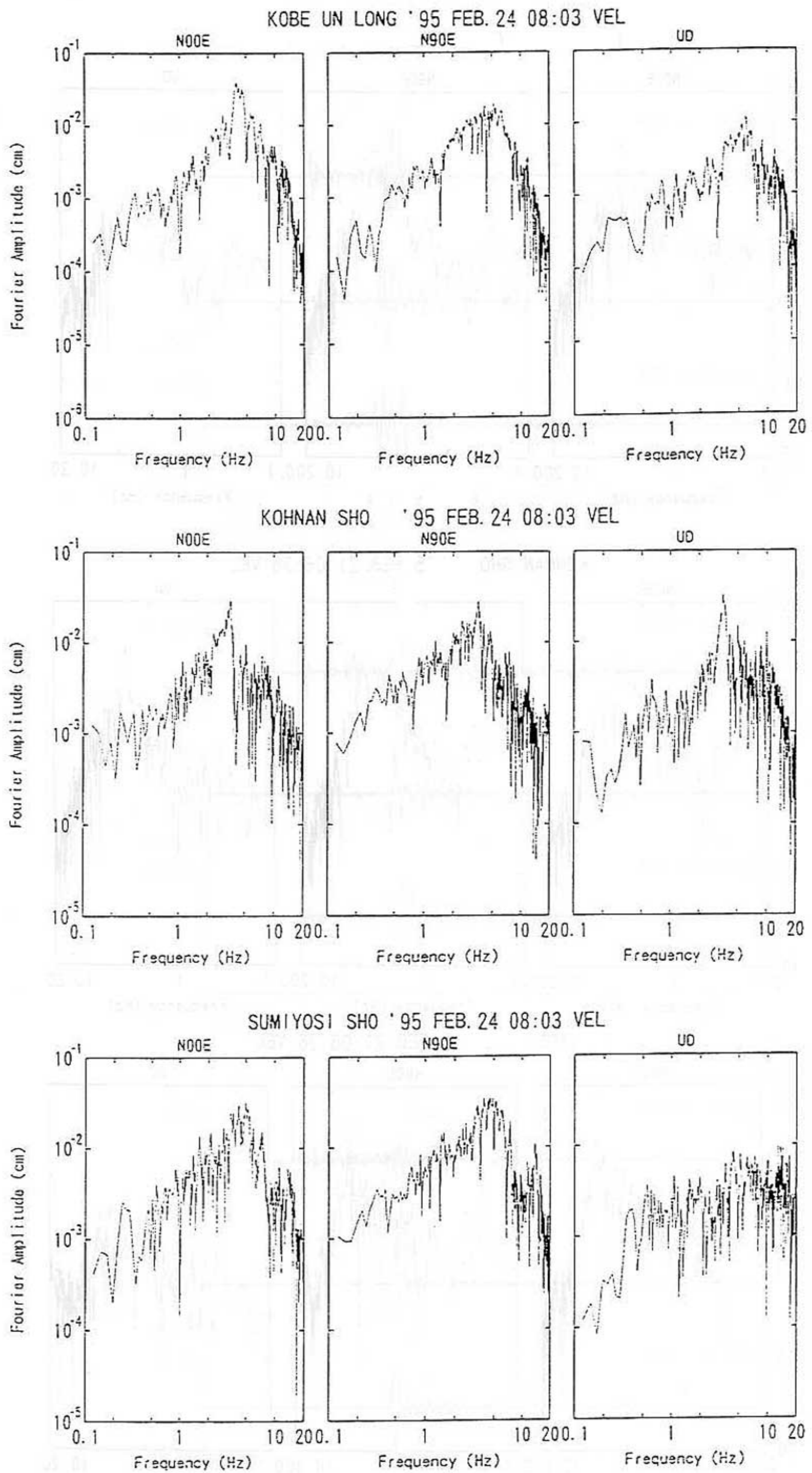


図1.4-6 1995年2月24日8時03分の地震の速度フーリエスペクトル

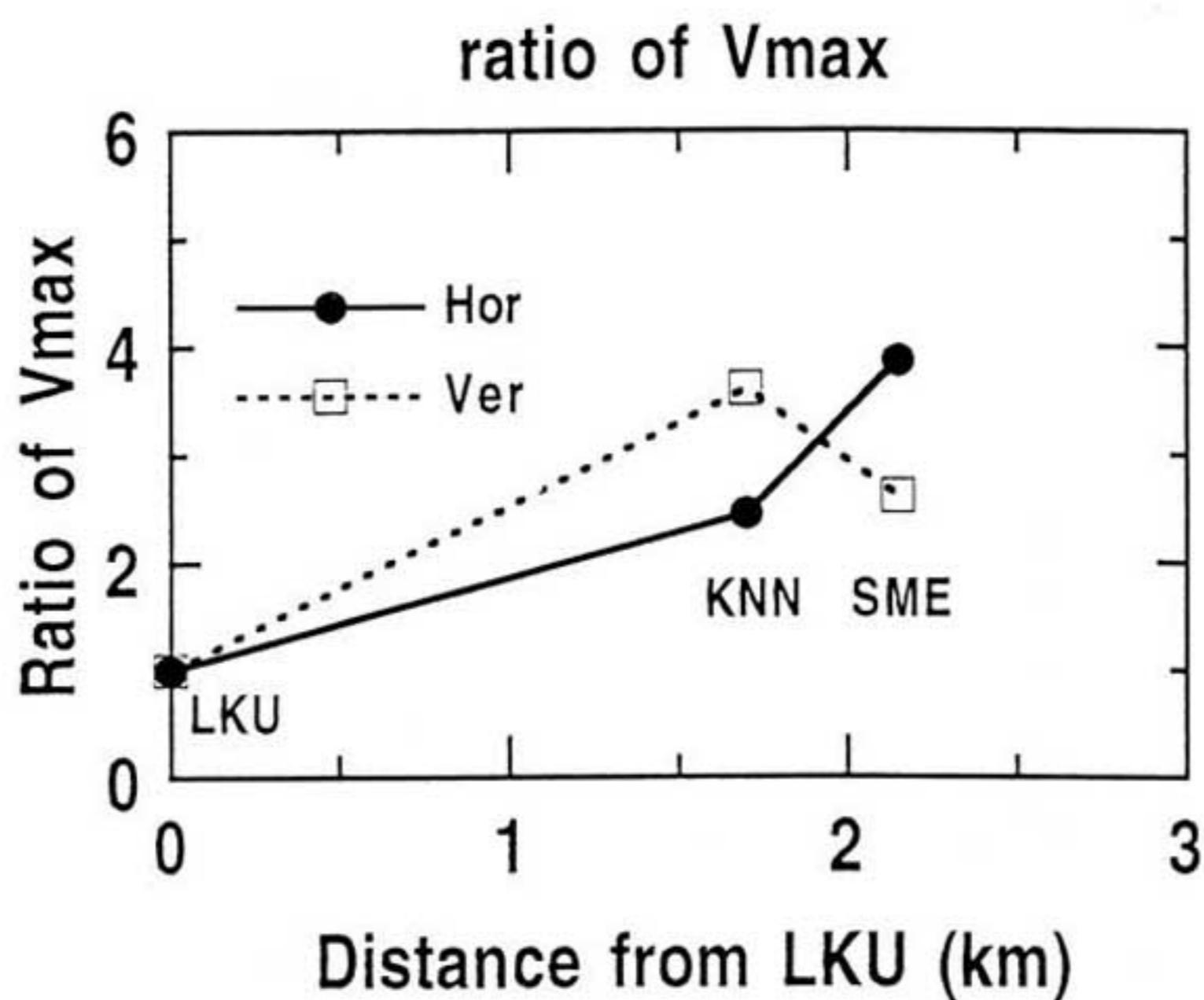
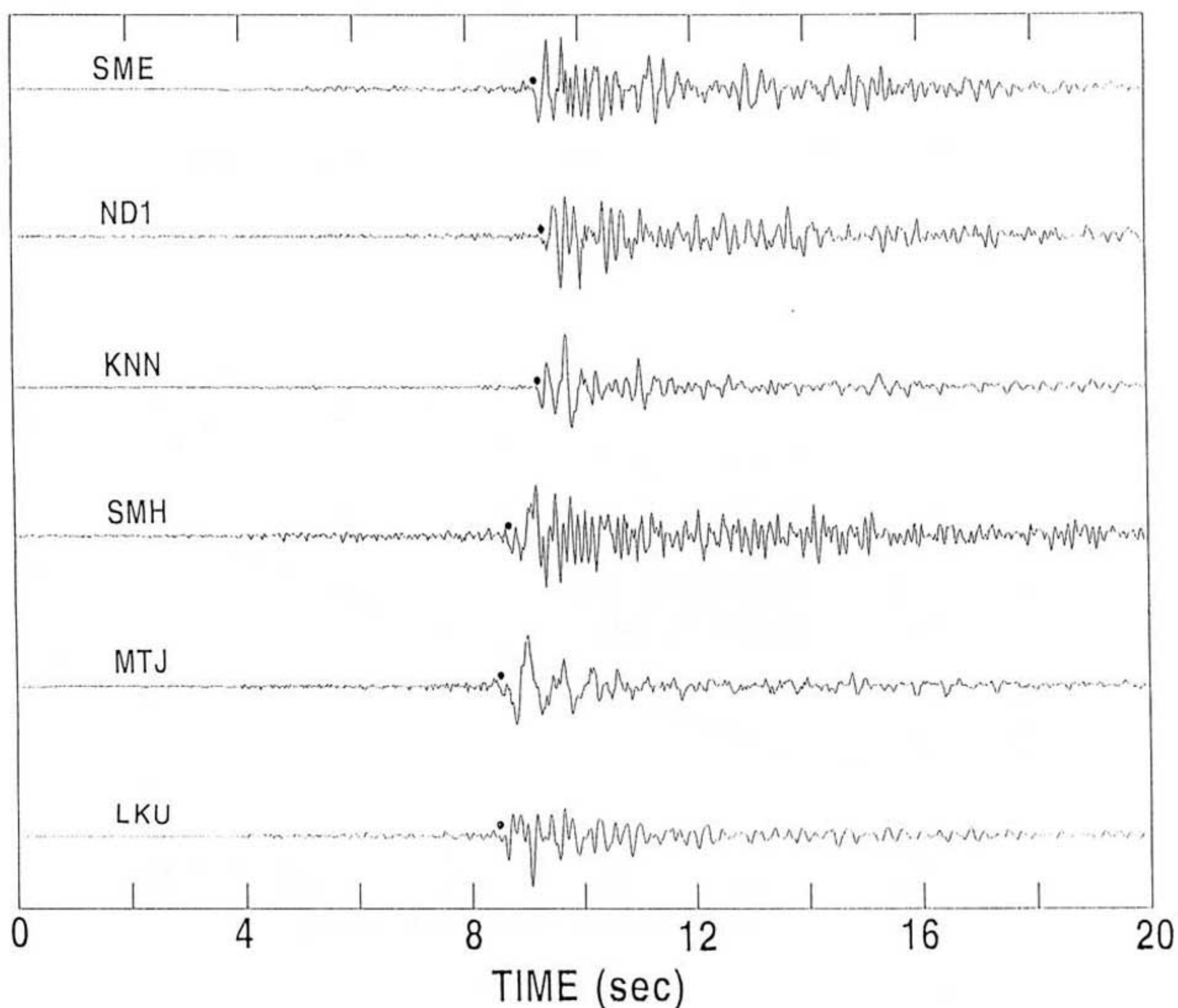


図1.4-7 LKUに対するKNNおよびSMEでの最大速度振幅の比



1995/03/02 06:24 NS-comp.

図1.4-8 住吉リニアアレイ地震観測グループによる観測記録の例
1995年3月2日6時24分の地震

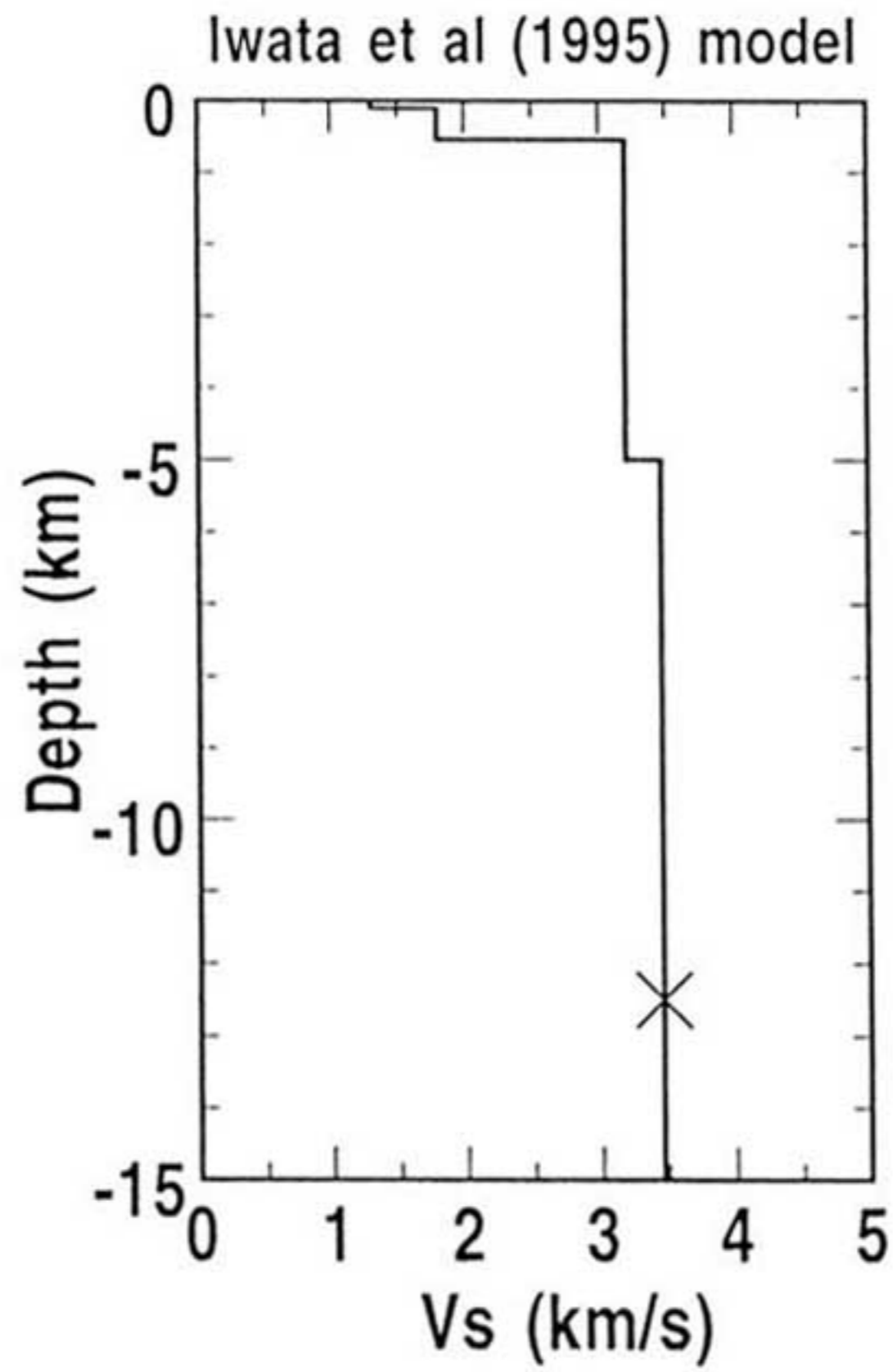


図1.4-9 走時解析に用いたS波速度構造モデル (Iwata et al.1995)

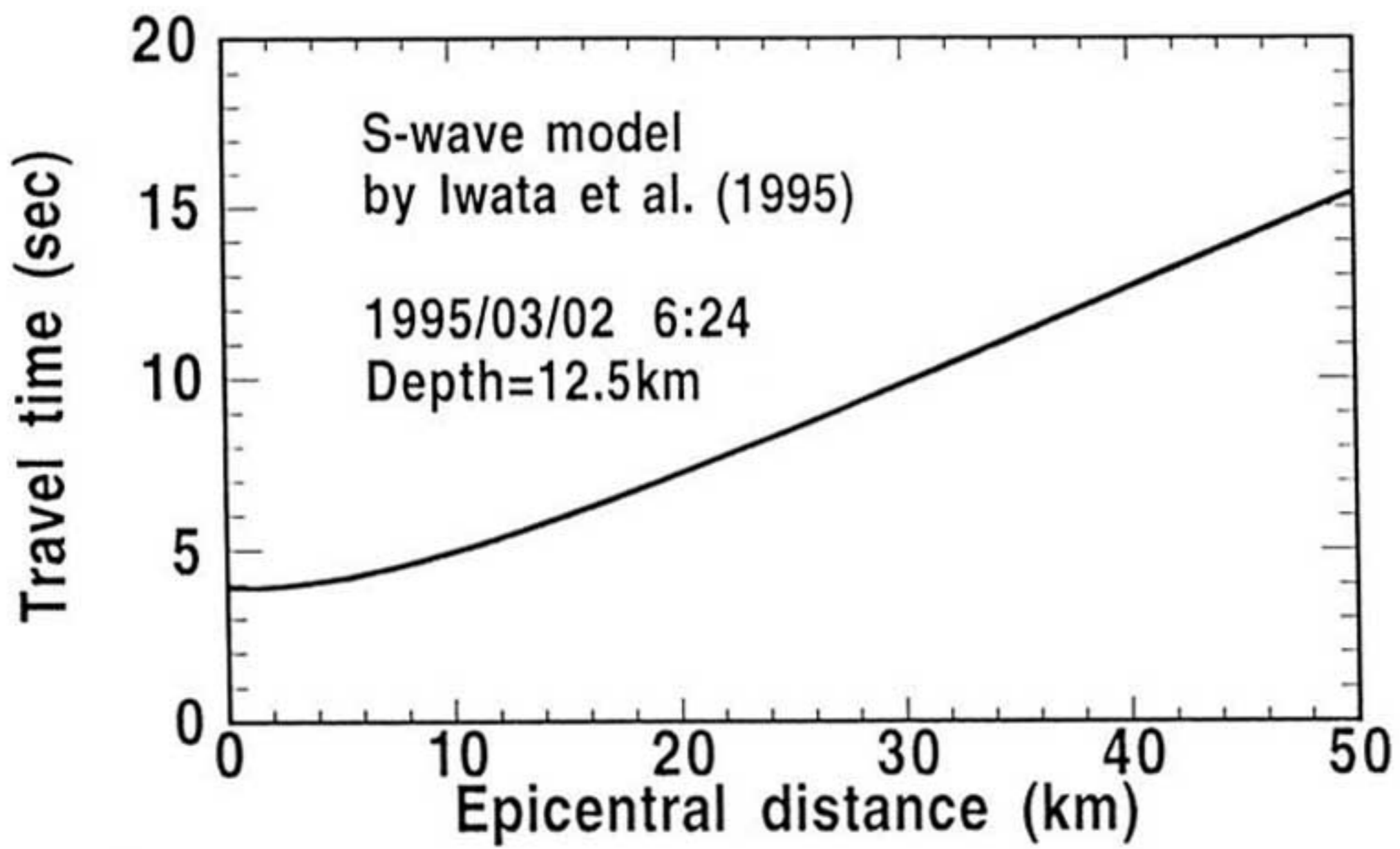


図1.4-10 図1.4-9のモデルに対するS波初動の理論走時

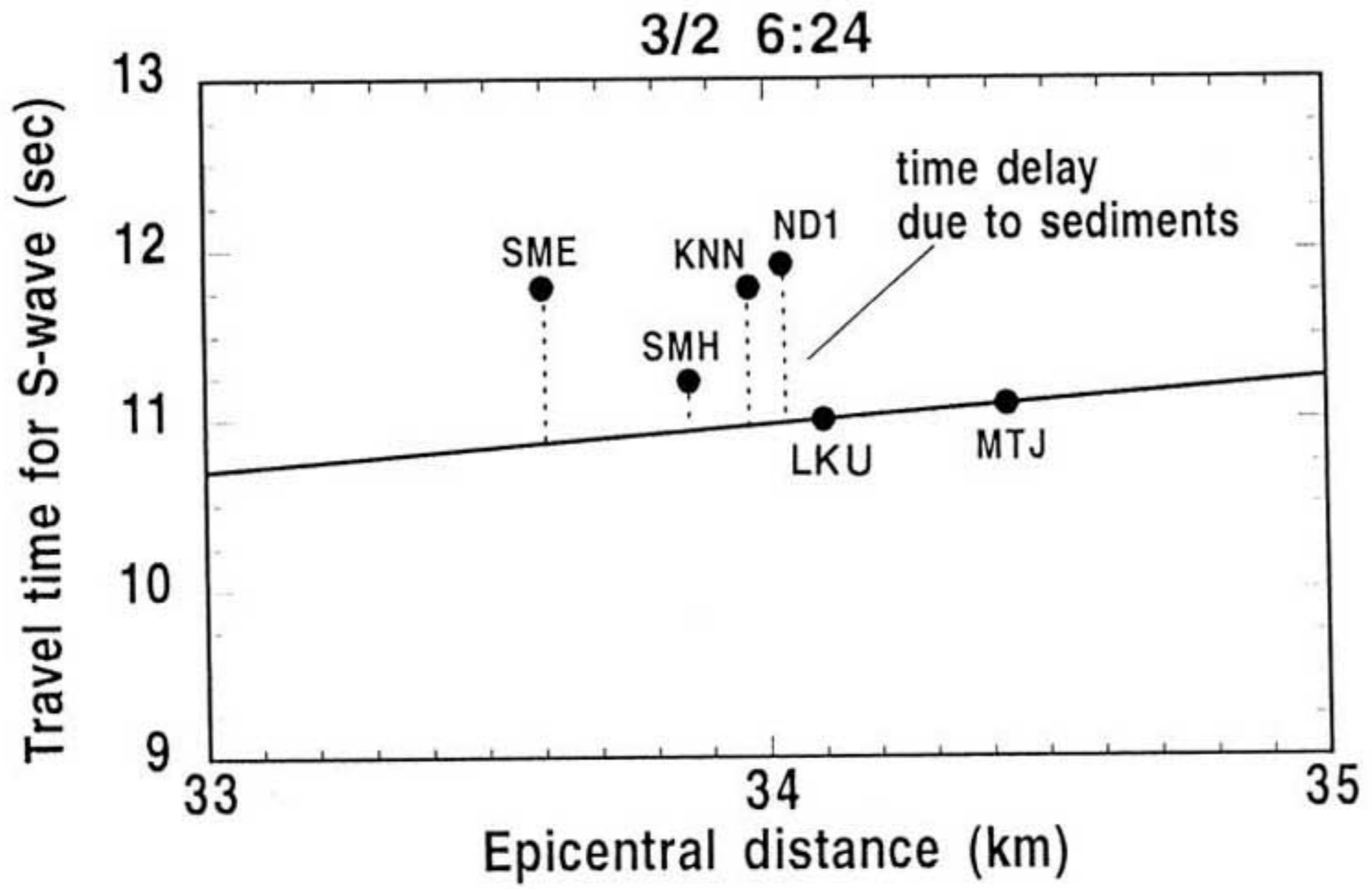


図1.4-11 S波初動の理論走時と観測走時の比較

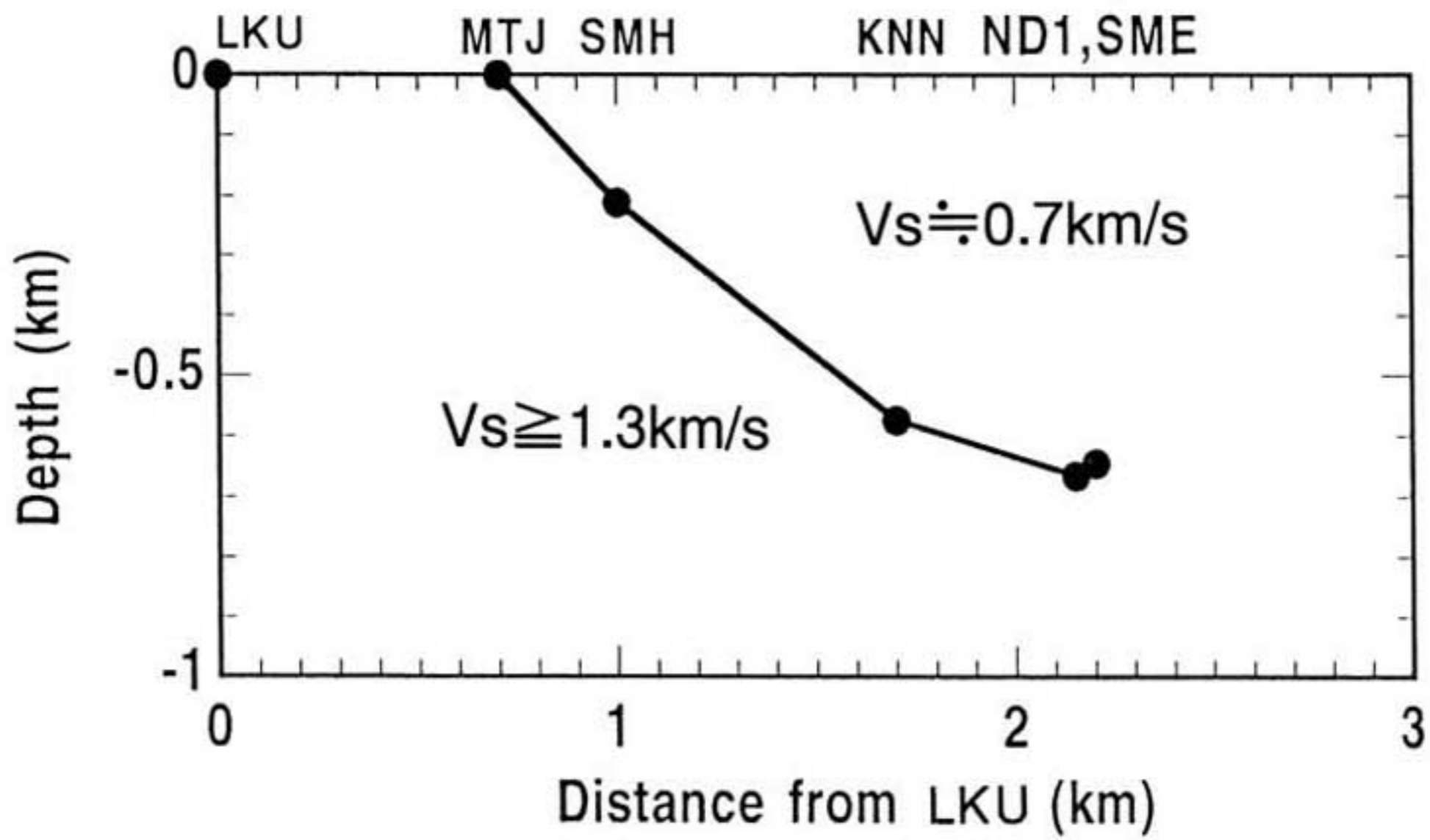
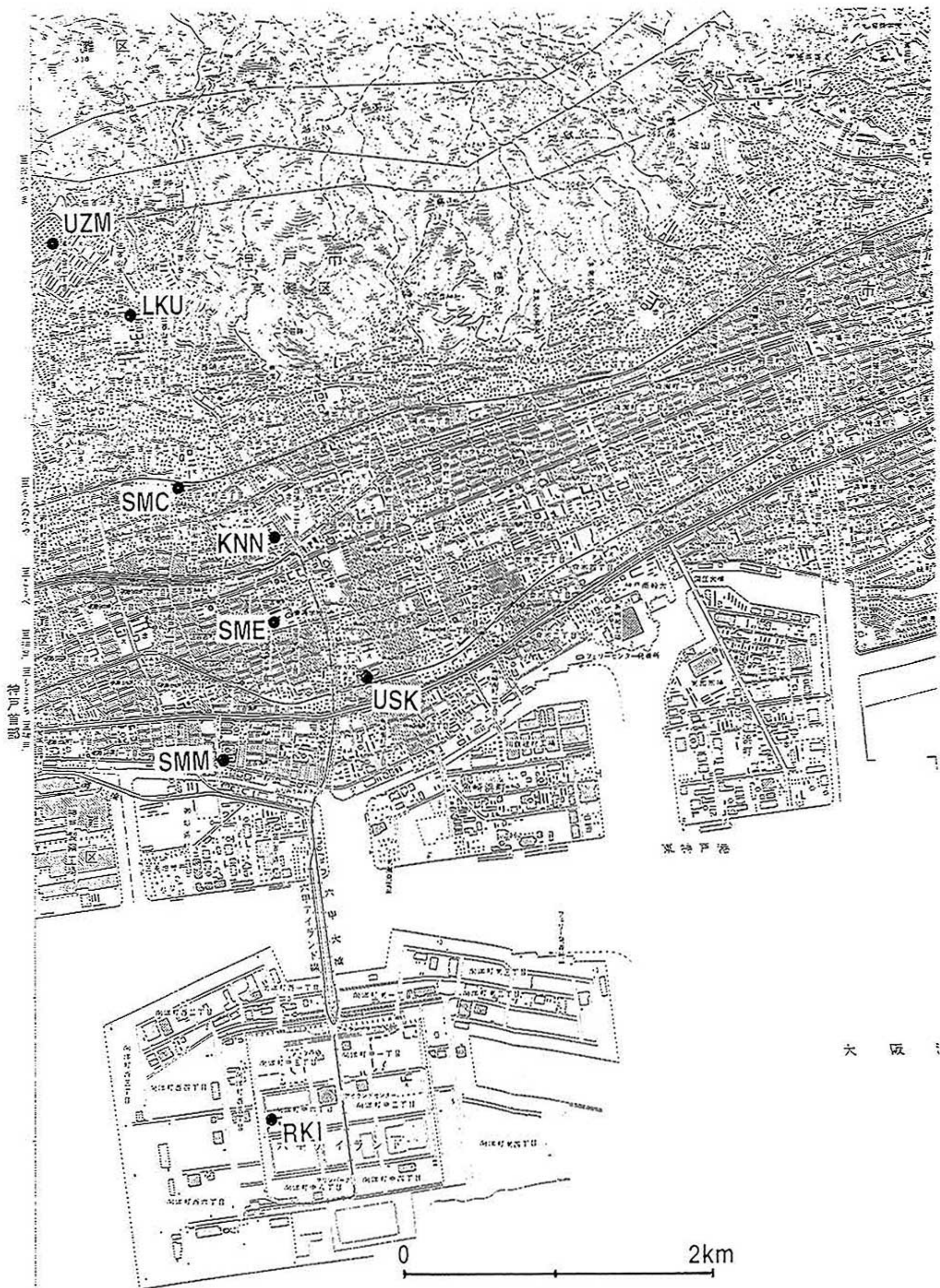
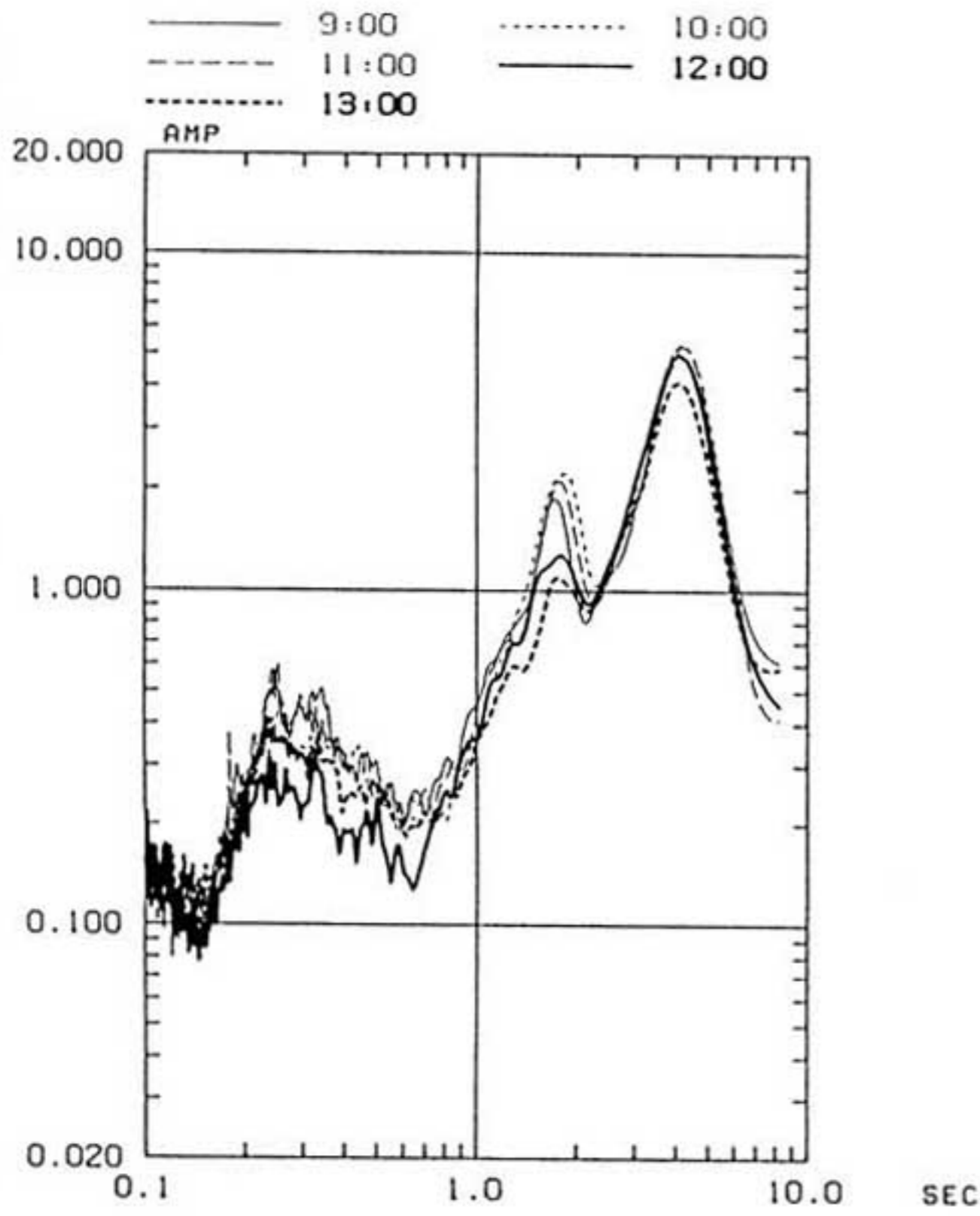


図1.4-12 S波初動走時の遅れから推定されるやや深い地質構造

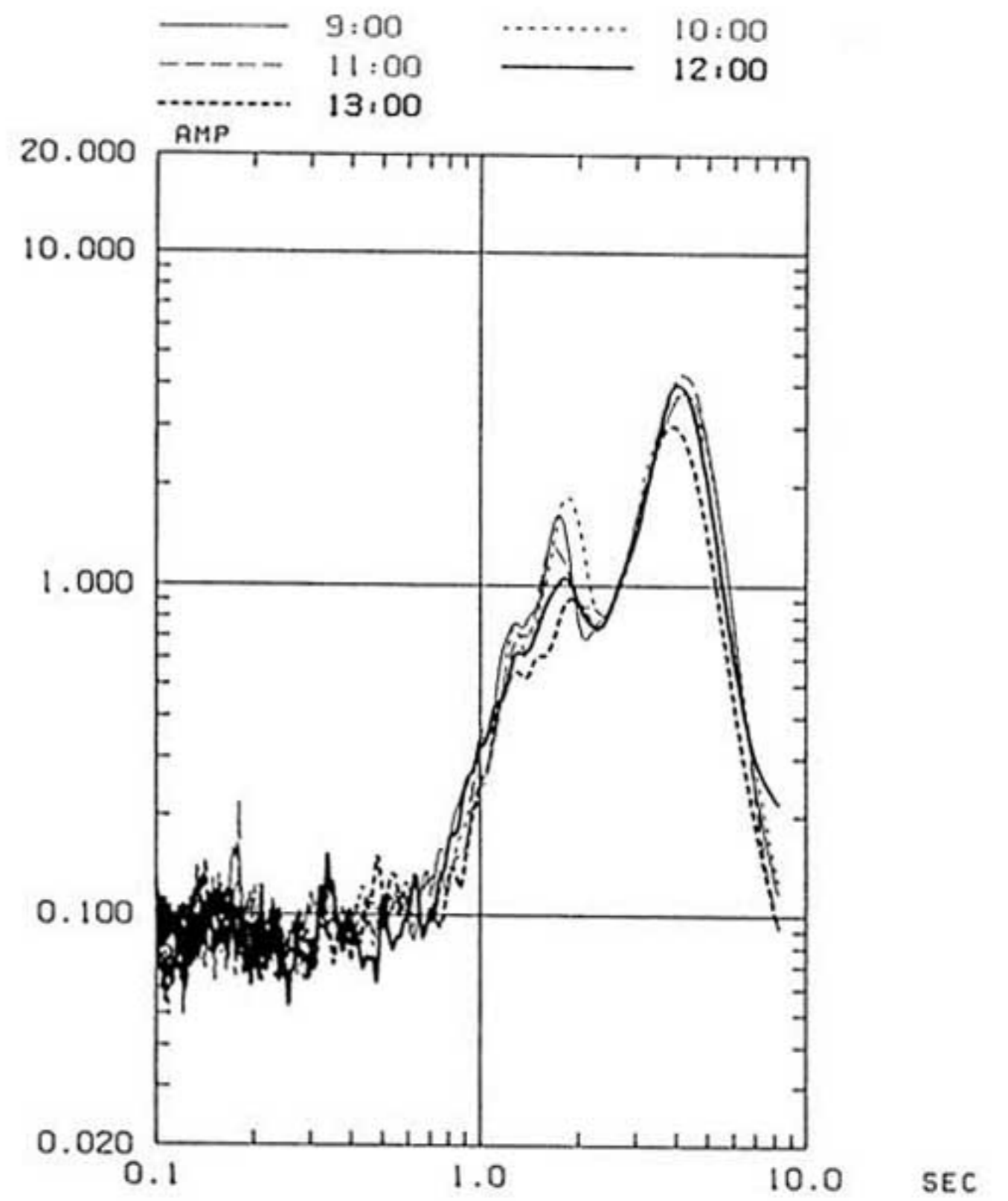


STATIONS IN MICROTREMOR MEASUREMENTS

図1.4-13 微動観測点の位置

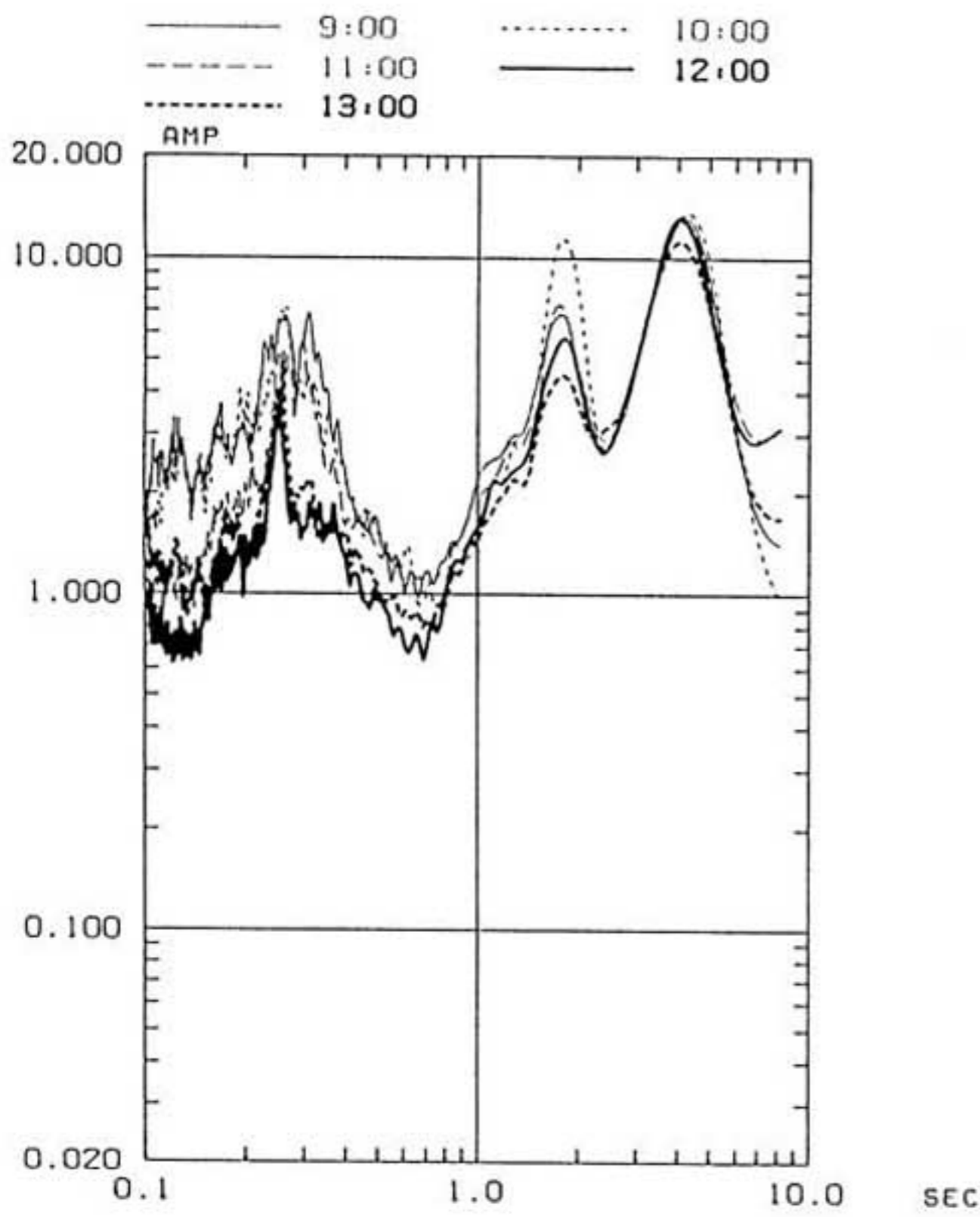


LKU 3/4 9:00-13:00 H

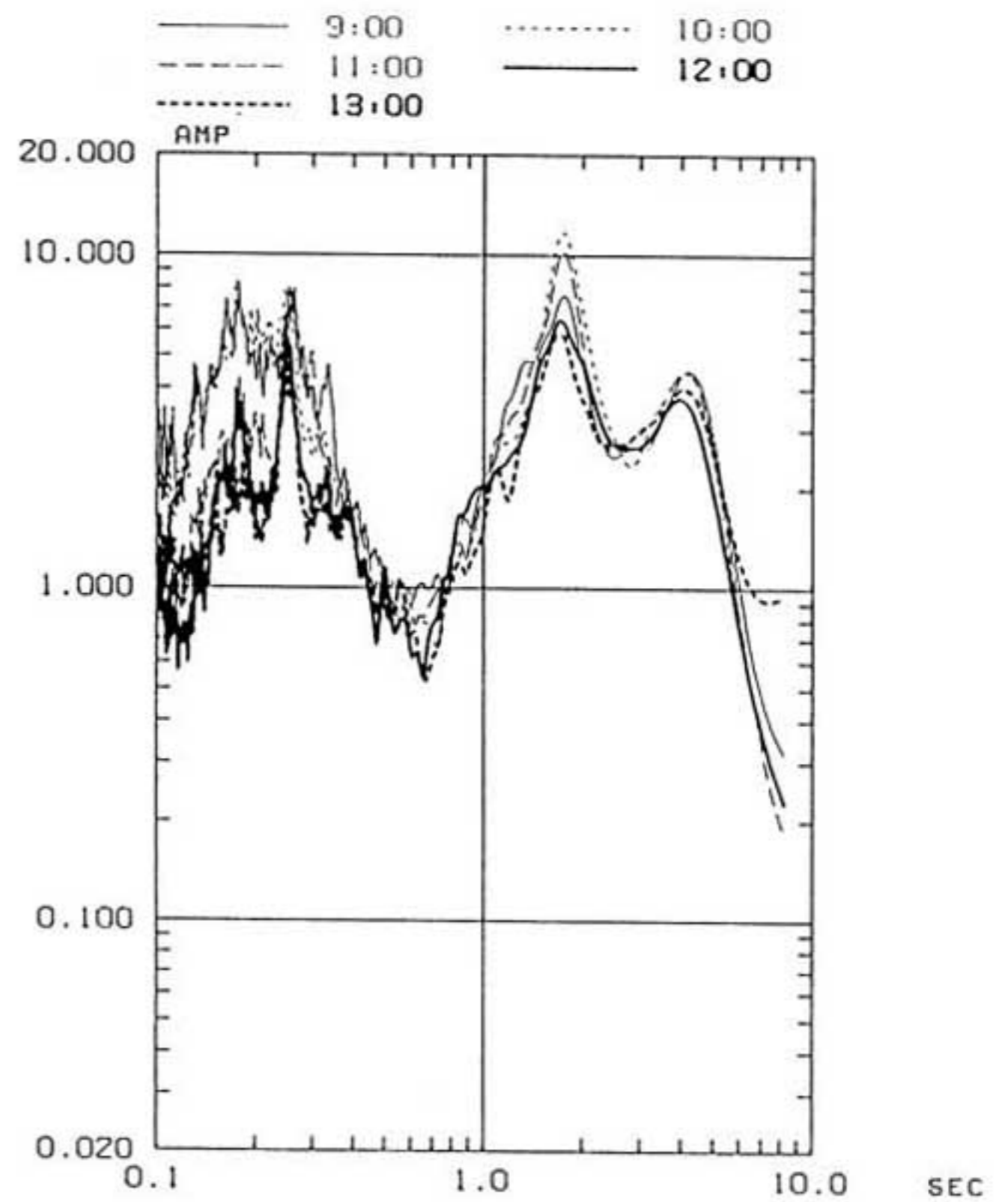


LKU 3/4 9:00-13:00 V

図1.4-14 LKUで観測された微動のフーリエスペクトル
左は水平成分、右は上下成分

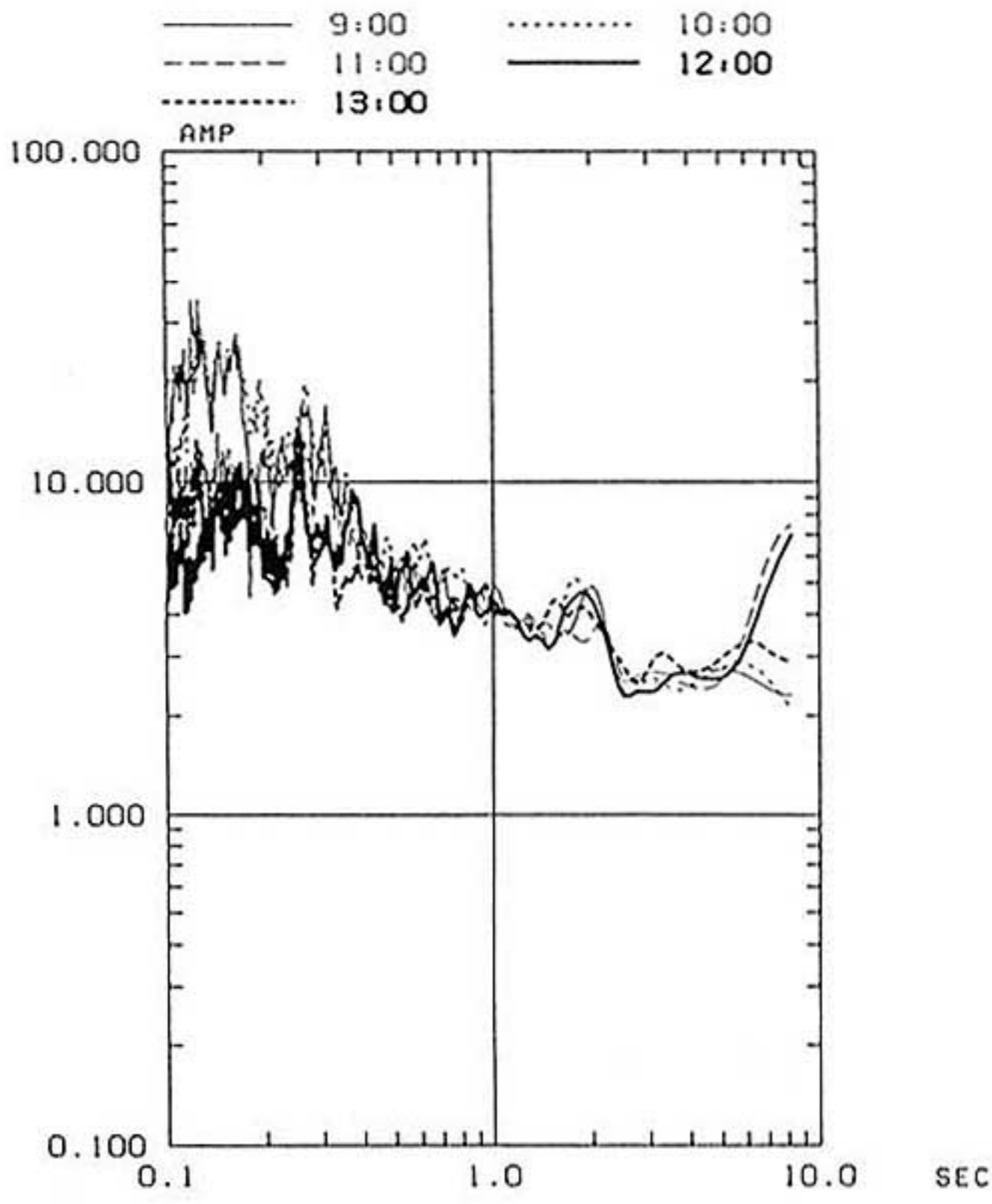


KNN 3/4 9:00-13:00 H

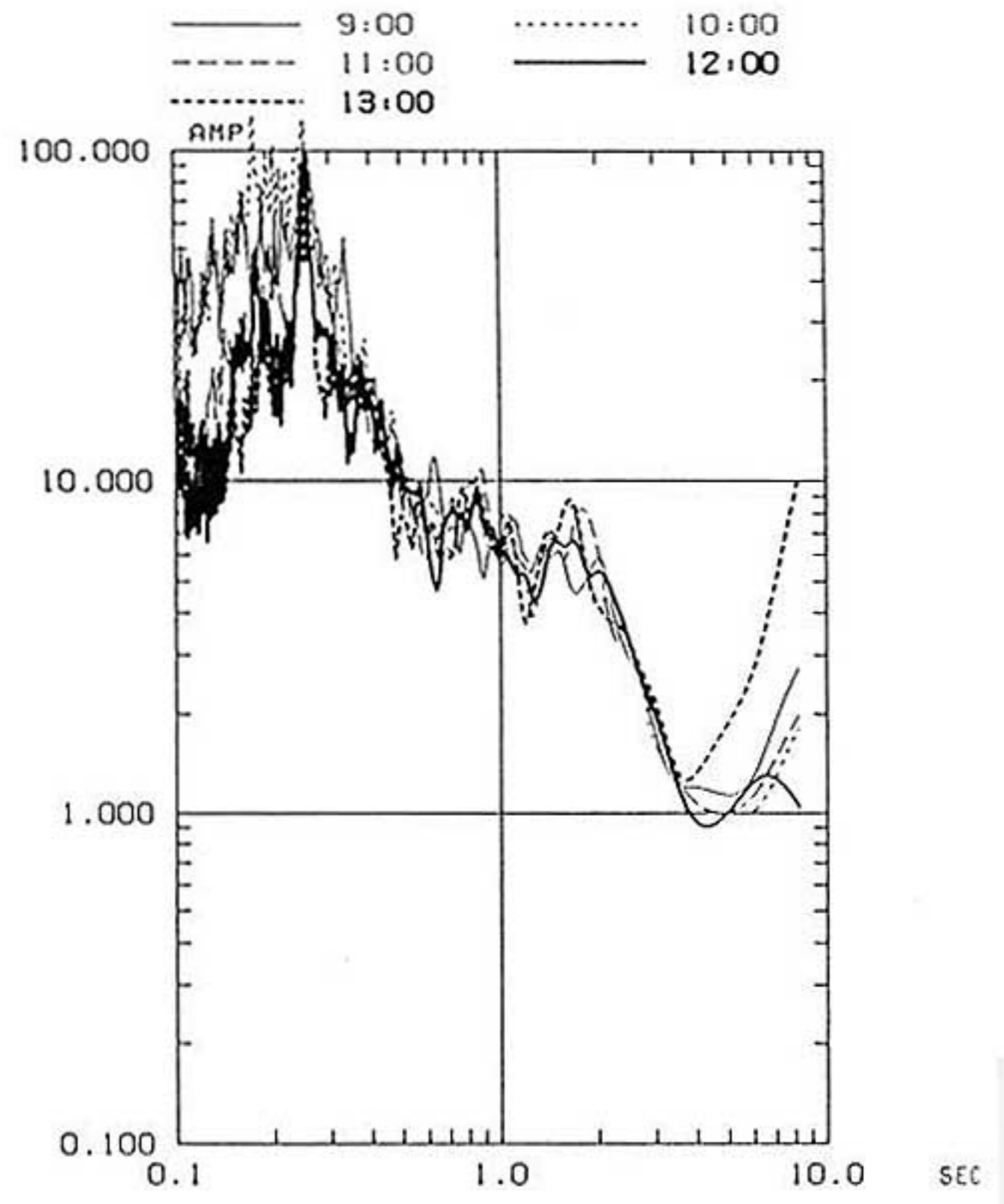


KNN 3/4 9:00-13:00 V

図1.4-15 KNNで観測された微動のフーリエスペクトル
左は水平成分、右は上下成分



KNN/LKU 3/4 9:00-13:00 H



KNN/LKU 3/4 9:00-13:00 V

図1.4-16 LKUに対するKNNでの微動スペクトル比
左は水平成分、右は上下成分

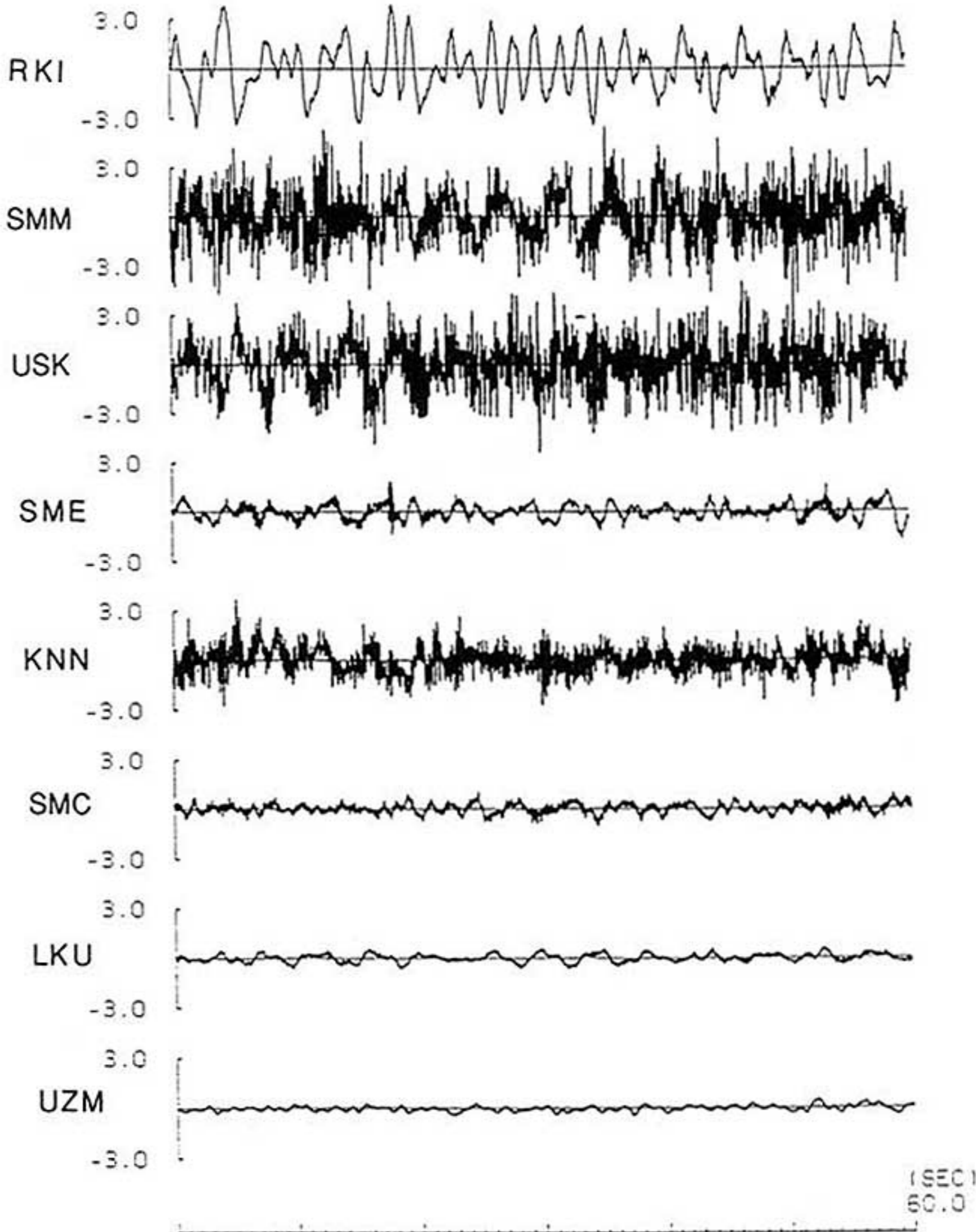
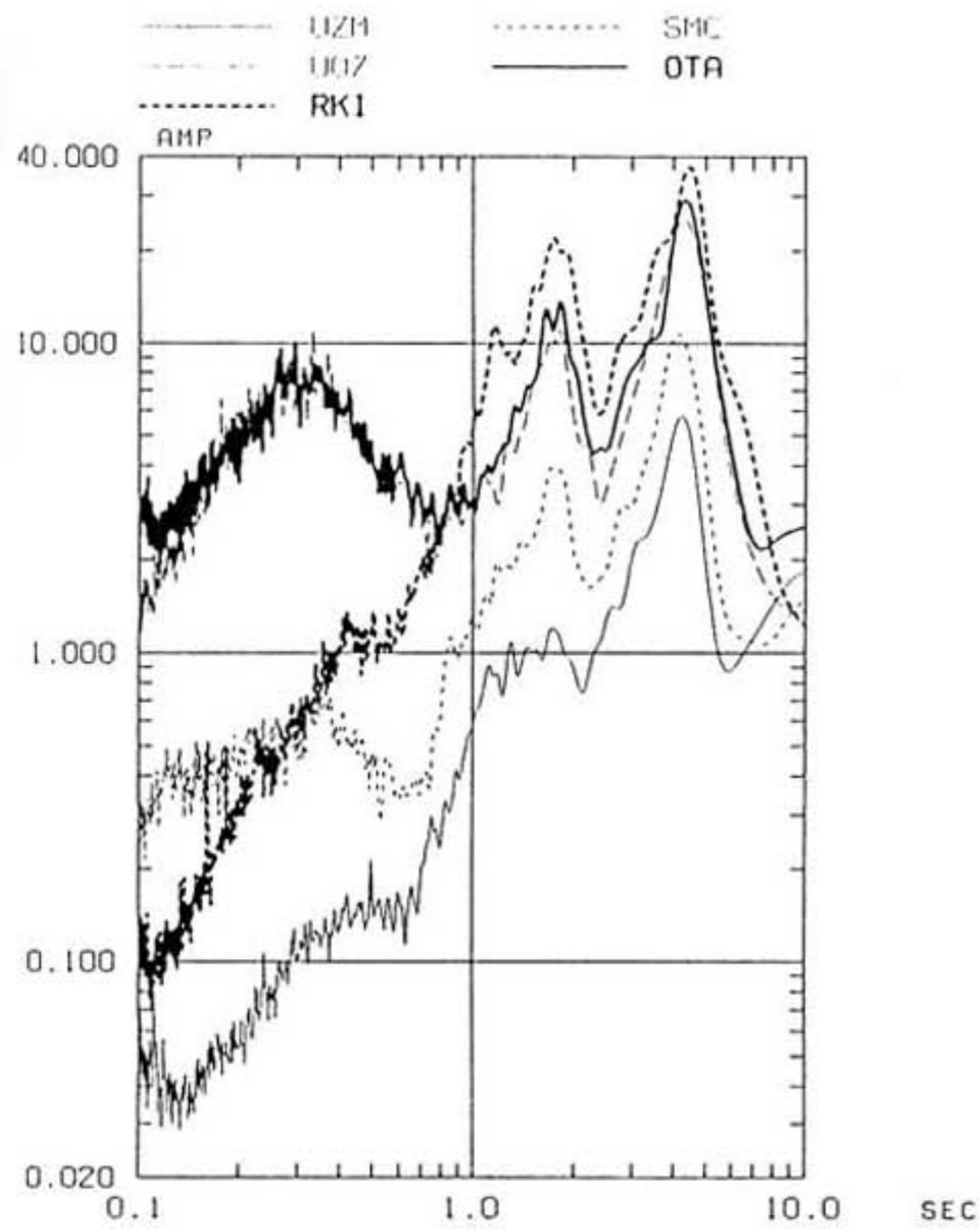
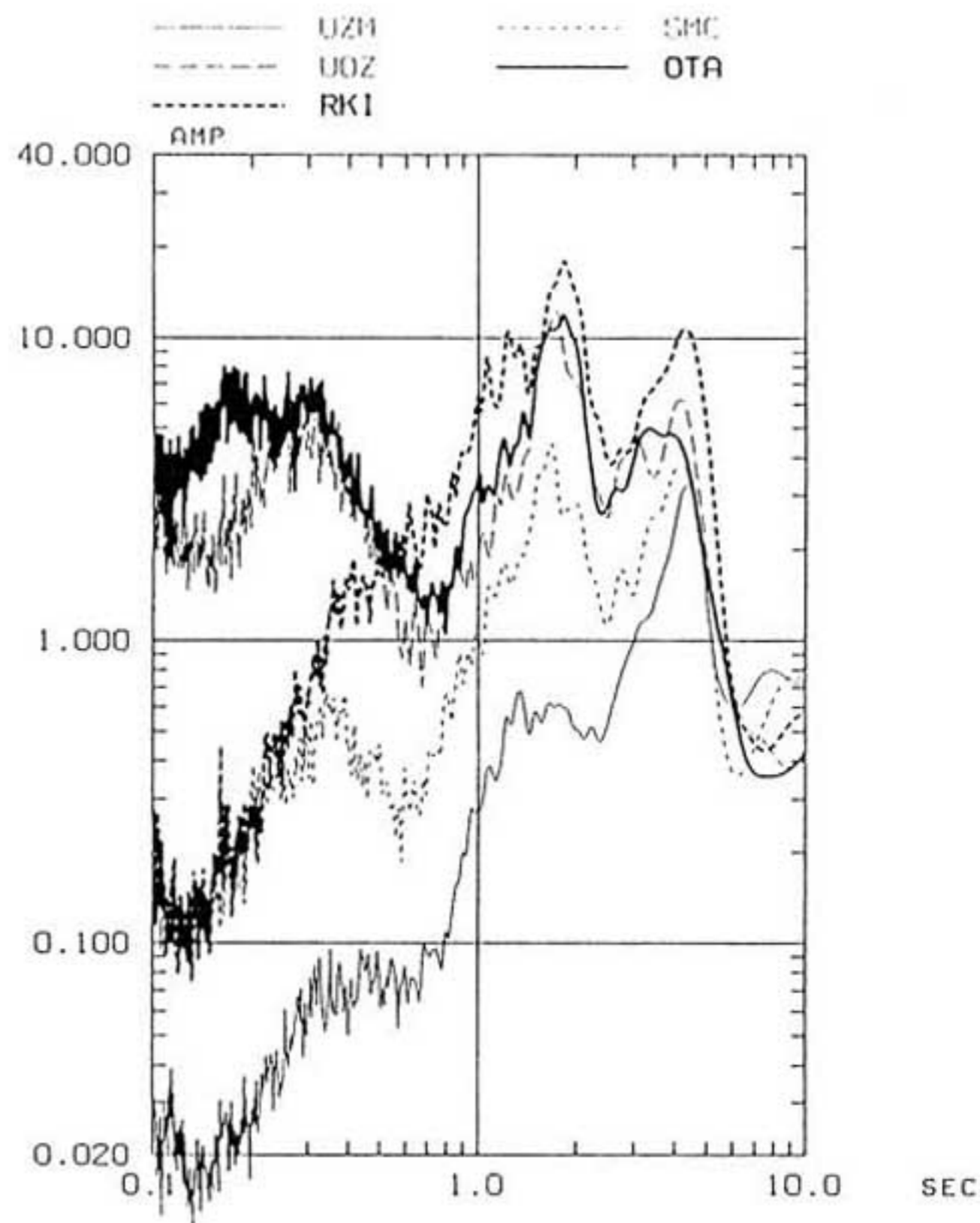


図1.4-17

移動観測点で得られた微動の記録
各波形はNS方向の速度

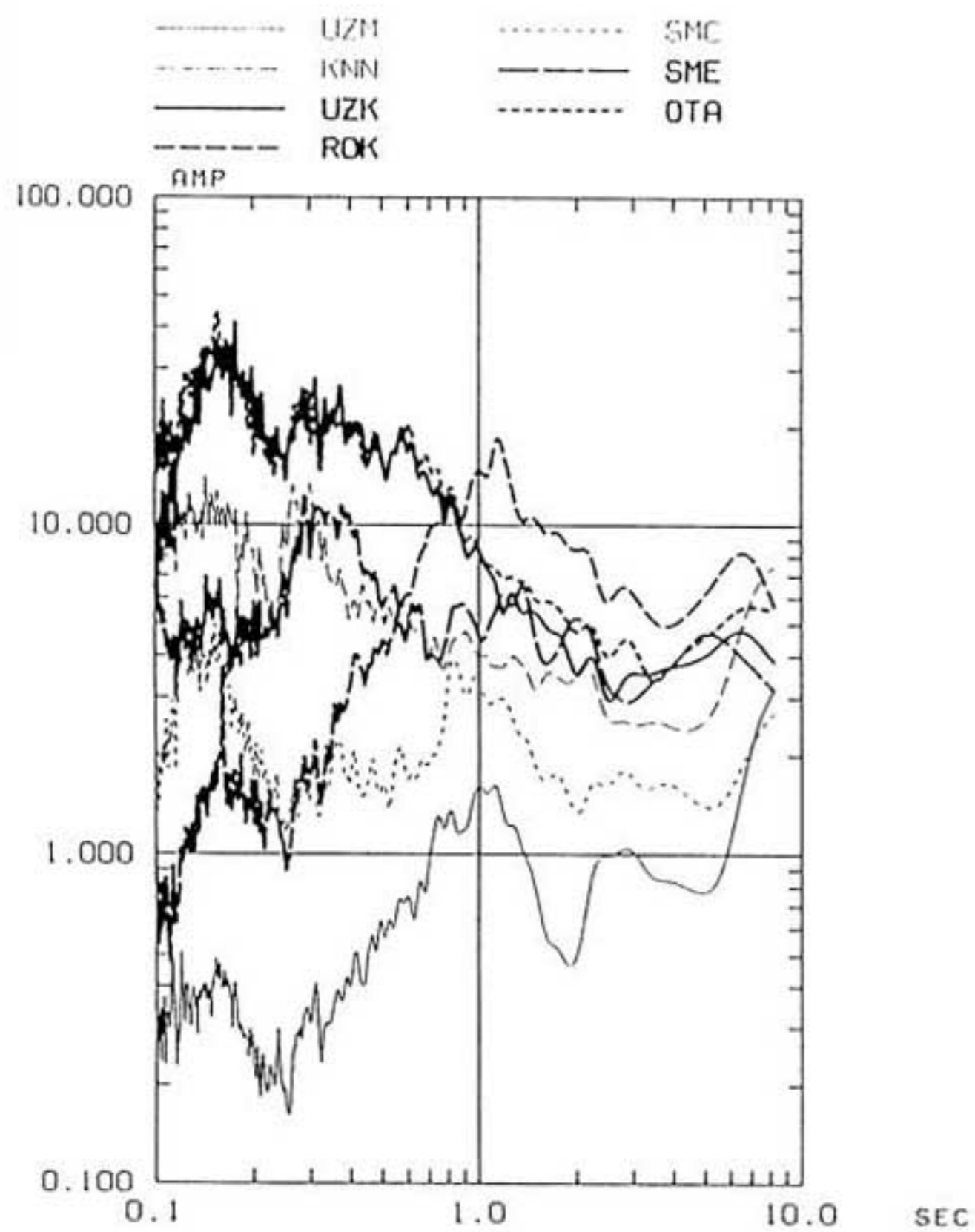


TEMP H

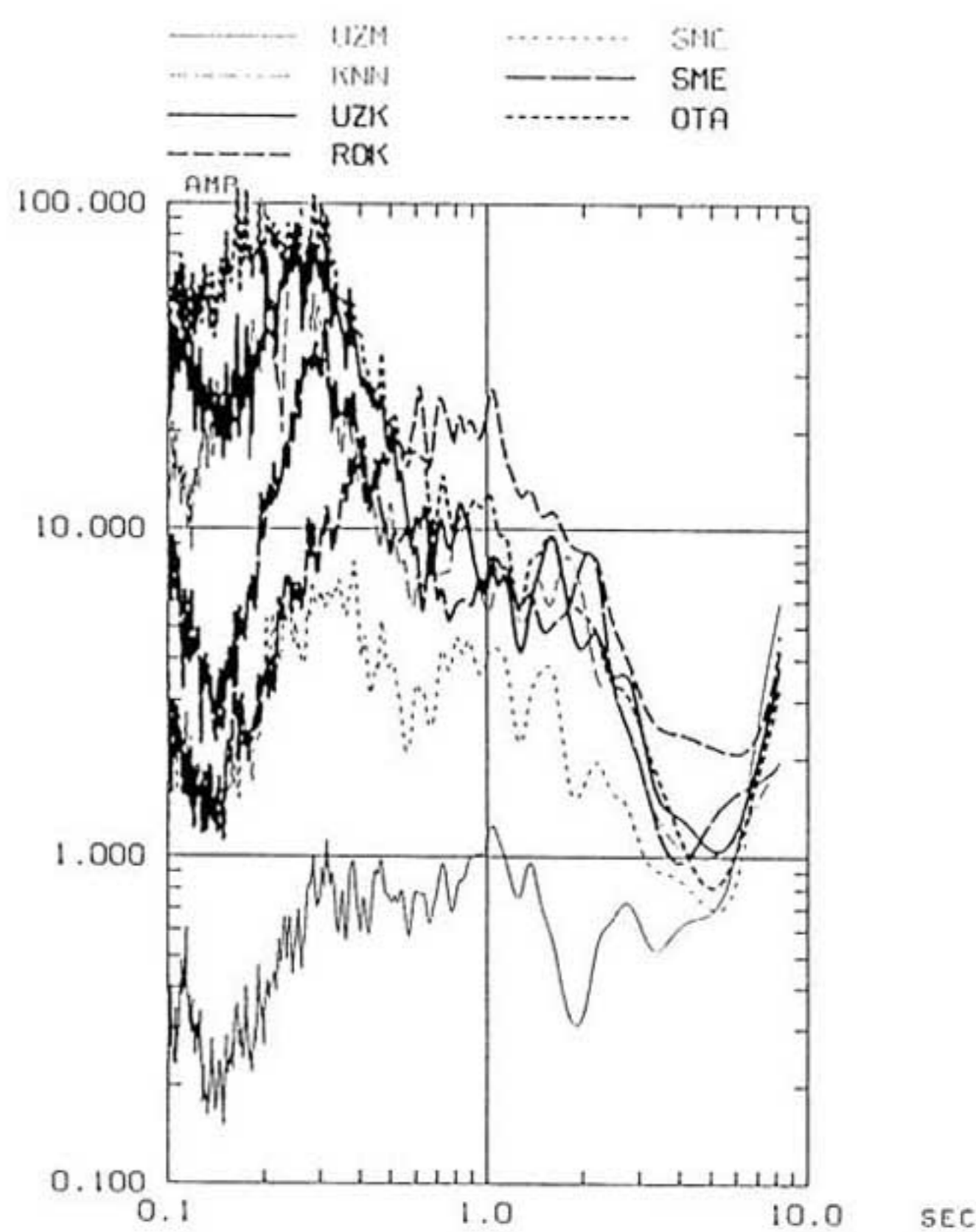


TEMP V

図1.4-18 移動観測点での微動のフーリエスペクトル
左は水平成分、右は上下成分



TMP/LKU H



TMP/LKU 3/4 9:00-13:00 V

図1.4-19 LKUに対する移動観測点での微動のスペクトル比
左は水平成分、右は上下成分

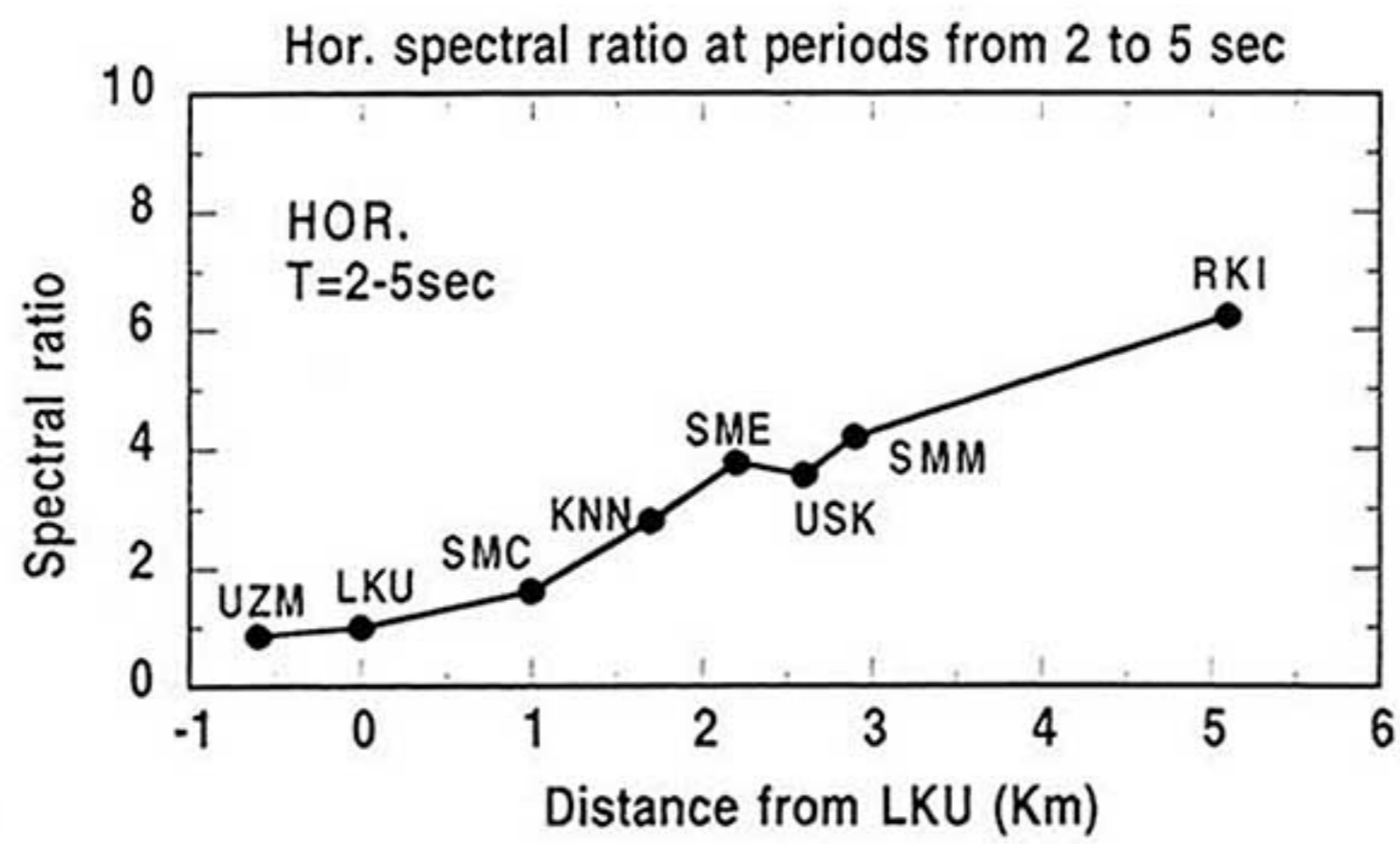
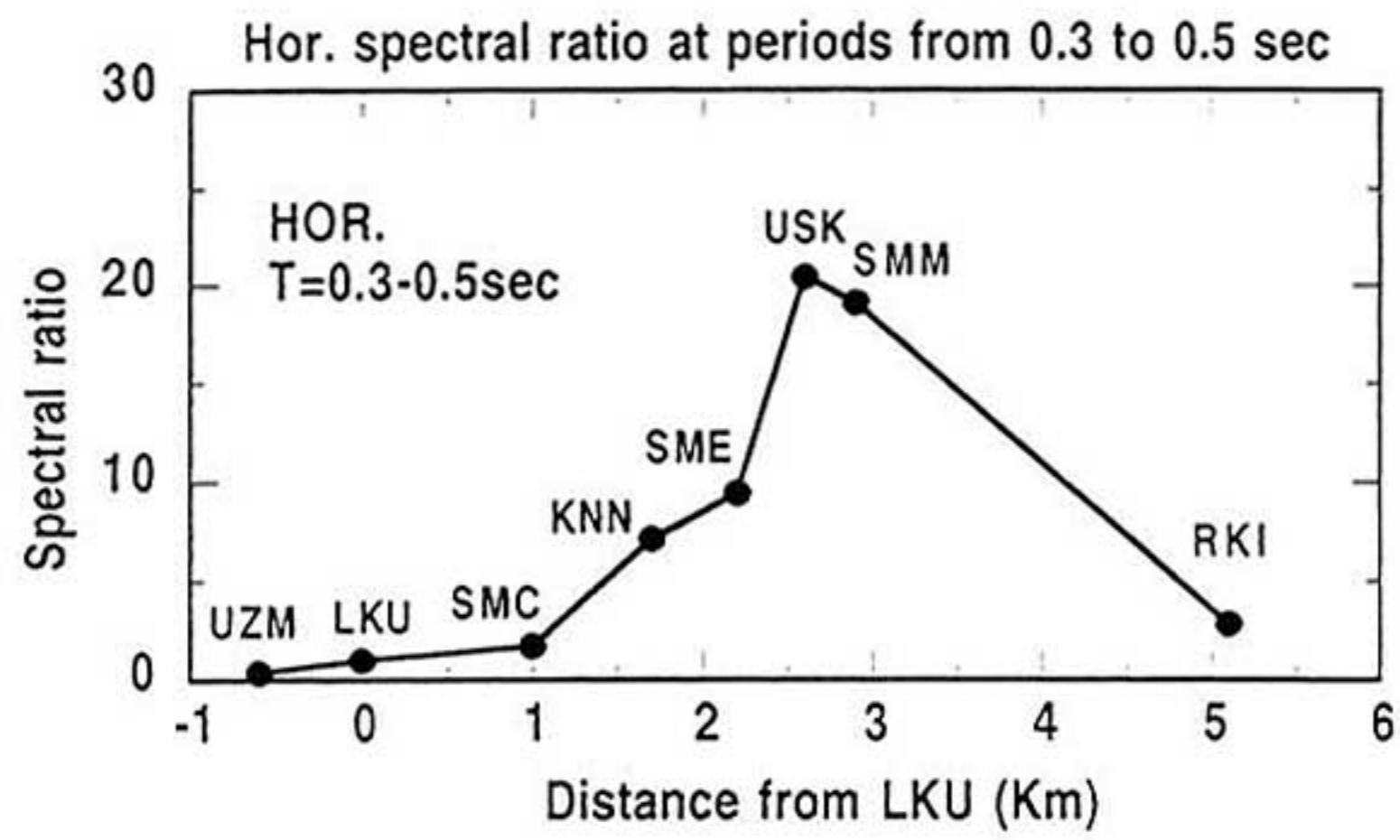


図1.4-20 周期0.3-0.5秒および周期2-5秒の周期帯域での平均スペクトル比の分布

1.5 基盤不整形を考慮した地震動増幅特性

1.5.1 はじめに

兵庫県南部地震における神戸市内の東西方向の帯状の被害分布と地震動特性との関連を論じる場合、六甲断層系に直交する断面の不整形地下構造が地震動の増幅特性に及ぼす影響を把握することが重要である。その際、地表面の地震動評価を行うには、強非線形挙動が予想される地表数10mの表層地質の影響のみではなく、基盤不整形を含む深い構造まで考慮した地盤増幅特性を検討する必要があると考えられる。また、今後各種構造物の応答を検討する上で、工学基盤層と考えられる大阪層群上部面や地震基盤における地震動特性の評価の重要性が高まると思われる。

以上のような立場から神戸市の六甲断層系に直交する基盤の不整形構造を考慮した2次元解析モデルを作成し、まず、神戸大学の地震記録を規準波として平面波入射に対する地盤応答特性を検討する。

1.5.2 平面波入射による地震動の増幅特性

1.5.2.1 解析モデルと解析手法

図1.5-1に示す大阪湾の深層反射¹⁾や六甲山周辺の温泉ボーリング²⁾、図1.5-2に示す重力異常図³⁾等の既往の調査結果から、六甲山系に直交する断面は、断層を挟んで複雑な基盤不整形構造になっているものと考えられる。特に神戸市街地(中央区二宮町)におけるボーリングで認められる基盤深度724m²⁾は、六甲山から断層を境に急激に下がり市街地から海岸線への緩い勾配で下がる基盤構造の可能性を示唆している。

モデル化に際してはこれらを考慮して、大阪層群上部、同下部・最下部、神戸層群、六甲山岩盤から成る不整形基盤構造を用いて地表応答を評価する。このとき強い非線形挙動を示すと考えられる薄い表層地盤(沖積層、洪積層)は取り除き、その影響は1次元モデルにより別途1.5.2.3で評価する。

解析モデルは図1.5-3と図1.5-4に示すような模式的な2次元構造とし、堆積層がある方向に緩い傾斜を持つモデル(MODEL-1)、これを単純化したモデル(MODEL-2)、MODEL-2と同じであるが六甲山岩盤の高さ750mでのS波速度勾配(2~3km/s)を考慮したモデル(MODEL-3)を用いる。表1.5-1に地盤物性を示す。

解析手法としてhyper element⁴⁾を用い、MODEL-1は6領域のhyper elementで、MODEL-2,3は2領域のhyper elementでモデル化する。応答計算は周波数領域で0~10Hzまで行う。全モデルに対しS波鉛直入射時の2次元面内応答を行うが、MODEL-3に対しては本震の震源位置を考慮して図1.5-4に示すように斜め45°からSH波が2次元断面に直交方向に入射したときの3次元応答を実施する。地震応答は岩盤との境界(x=0)をコントロールポイントとし、そのx方向応答を神戸大学で得られた観測記録(NS方向)と見なし、他地点の地表での応答をFFTを用いて時間領域に変換して求める。

1.5.2.2 大阪層群上部や地震基盤における地震動特性

地表面での水平、上下方向の最大応答速度分布を図1.5-5に示す。またMODEL-3を対象とした地表面での速度応答波形を図1.5-6に示す。図1.5-6にはMODEL-3の基盤以浅の堆積層部分の表面波分

散曲線も併せて示している。水平方向の最大速度分布は岩盤との境界から堆積層へ進むにつれ次第に大きくなり、 $x=0.5\sim 2.5\text{km}$ の地点で大きな増幅を示し、最大で3～4倍となる。しかし更に x 正方向に進むと小さくなり、岩盤との境界から3.0kmの地点では最大値の7割程度となる。また上下方向の最大速度分布は岩盤との境界から急激に上昇し、堆積層側に進むにつれ小さくなっていく。分布形状、増幅率の傾向は解析モデルに関わらず概ね一致しているおり、被害分布との対応を示唆するものである。またMODEL-3で六甲山岩盤のせん断波速度勾配を考慮すると、最大応答値がMODEL-2に比べ2割程度小さくなることから、堆積層地表面における最大応答値を評価する場合、神戸大学直下の岩盤の速度構造の評価が重要となる。図1.5-6の時刻歴速度波形を見ると、上下方向では岩盤との境界より表面波が励起され x 正方向に伝播していく様子が見られる。この速度はレイリー波基本モードのエアリー相における群速度(約0.24km)に対応している。一方、水平方向の最大応答値が表面波の影響の小さい最初の数秒で発生していることを考えると、最大速度の分布が表面波ではなく六甲山岩盤からの実体波の反射・透過に起因したものであることが考えられる。

次に、MODEL-3に対する斜め入射時の最大応答速度分布を図1.5-7に示す。 x 、 z 方向の最大速度応答分布は鉛直入射時とほぼ同じ傾向を示している。一方、 y 方向の最大応答速度分布は x 方向に比べ振幅は半分程度となっているが、 $x=0.5\sim 2.0\text{km}$ の地点で大きな増幅を示し、さらに x 正方向に進むにつれ小さくなる傾向は x 方向応答と同じである。

さらに、コントロールポイントの x 方向の応答を神戸大で得られた波形(NS方向)と見なしたときの入射波($2E_0$)の擬似速度応答スペクトルを、MODEL-1,2,3の鉛直入射時とMODEL-3の斜め入射時を原波と比較して図1.5-8に示す。原波では1.2秒の卓越成分が顕著であるが、入射波ではこのピークを含む0.7～3秒で3～4割減少する傾向にあり、岩盤との境界ではこの周期帯が増幅するような特性を有する構造となっていることが分かる。

1.5.2.3 表層の非線形性の影響を考慮した地表面の地震動特性

大阪層群上部に存在する洪積層や沖積層などの表層地質の非線形挙動による影響を検討するために、鉛直入射時のMODEL-3を対象として水平方向の各点において、ある厚さの洪積層と沖積層を仮定し、等価線形による1次元波動論により非線形挙動の影響を評価した。この場合、沖積層の初期S波速度は200m/s、密度は1.6t/m³とし、層厚は $x=1\text{km}$ 地点で0m、 $x=2\text{km}$ 地点で10mの深さになるように線形に変化させ、この位置から $x=3\text{km}$ 地点で23mになるように線形補間している。上部洪積層の初期S波速度は350m/s、密度は1.8t/m³とし、 $x=0\text{m}$ での層厚を0m、 $x=1\text{km}$ で10m、 $x=2\text{km}$ で30m、 $x=3\text{km}$ で53mとし、これらの間を線形補間している。入力波として(2)で得られた大阪層群上部位置での応答結果を用い、沖積層、もしくは洪積層直下の上昇波成分として規定している。沖積層は砂、上部洪積層は砂礫と仮定し、これらの非線形特性を示す $G-\gamma$ 、 $h-\gamma$ 曲線は図1.5-9に示すものを用いた。また等価線形解析に用いる等価せん断ひずみは、時刻歴応答における最大せん断ひずみの0.65倍としている。

図1.5-10には表層地質の影響を考慮した最大水平加速度分布を大阪層群上部における露頭波の最大値分布と比較して示したものである。図中には参考のために大阪層群上部における露頭波の上下加速度最大値分布も示した。この図より、表層の影響による増幅は $x=2\text{km}$ 付近で最も大きくなっ

ており、最大加速度で約20%増幅している。特に、 $x=2\text{km}$ 付近の最大加速度は表層非線形を考慮することにより1Gを超える値となる。また $x=2.5\text{km}$ 以上の埋立地ではほとんど増幅せず、 $x=3\text{km}$ 地点では逆に最大値は減少している。すなわち表層の非線形を考慮することにより、 $x=2\text{km}$ 付近での地震動の増幅が特に明瞭に現われて来ることになる。これらの結果は神戸市内東西方向の帯状の被害分布を考察する上で重要な要因であることを示唆している。

1.5.3 まとめ

神戸市の六甲断層系に直交する断面を対象とした2次元解析モデルで平面波入射時の地盤応答特性を検討し、堆積層上の地震動の増幅特性に関する定性的性質を示し、深い地下構造が帯状の被害分布に影響を与えている可能性があることを示した。また表層地盤の非線形挙動を考慮することにより、最大加速度応答が六甲山岩盤と埋め立て地の間で増幅し、海岸線近傍で減少することを示した。

今後は、より詳細に明らかになるとと思われる構造モデルの修正を含め、観測記録との対応を検討し、基盤以浅の堆積層の地盤増幅特性を定量的に検討する予定である。

謝辞

本研究では関西地震観測研究協議会による観測記録を使用させていただきました。関係者各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) 例えば、岩崎他：大阪盆地構造とその形成史、pp.119-126、関西地盤の地質構造と土質特性に関する最近の知見シンポジウム、平成4年11月
- 2) 岩見：神戸のまちと地盤、神戸新聞出版センター、昭和62年
- 3) 科学朝日緊急増刊、地震科学最前線、pp.36-37、朝日新聞社、1995
- 4) 永野、源栄：任意方位角を有する平面波斜め入射に対する2次元構造物の応答解析、日本建築学会構造系論文集（提出中）
- 5) 源栄、菅原、永野：3次元成層地盤におけるMoving Green's Functionの基本的検討、日本建築学会構造系論文集、第462号、pp51-60、1994年8月
- 6) 岩崎：阪神間の地震環境と兵庫県南部地震における強震動記録、pp.2-6、土と基礎、1995年3月

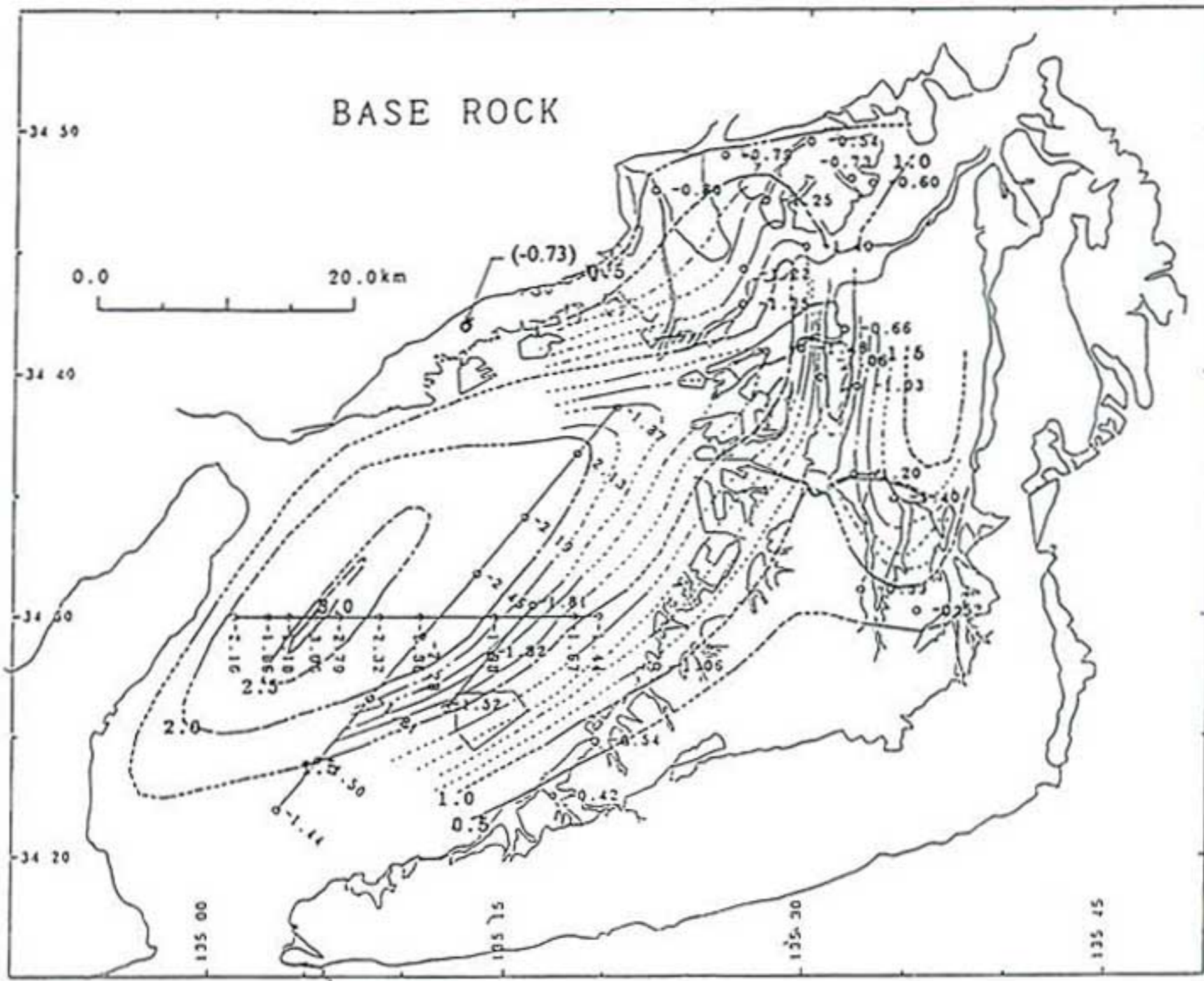


図1.5-1 大阪盆地における岩盤等深度線図（文献1）に加筆

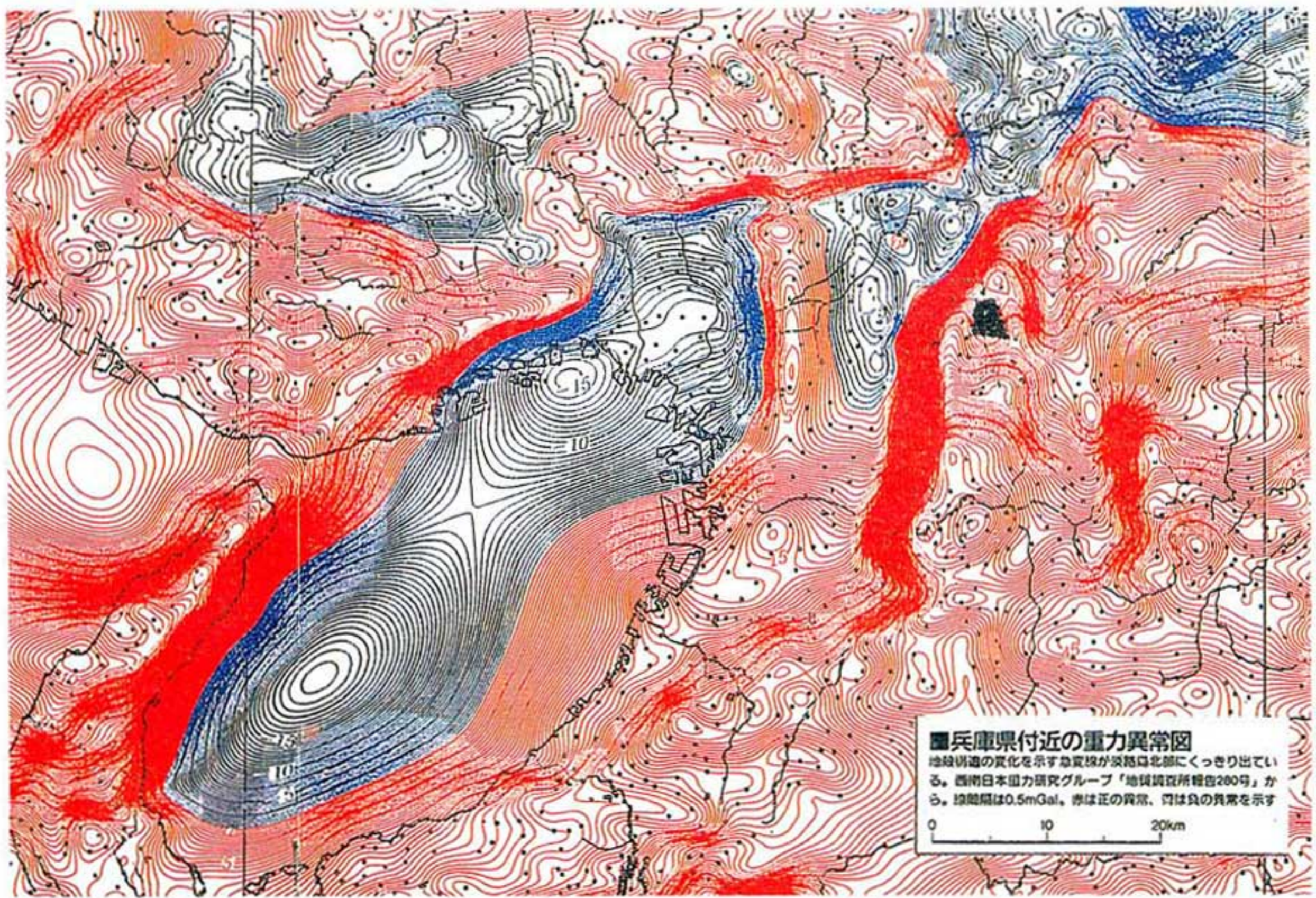


図1.5-2 兵庫県付近の重力異常図（文献3）より抜粋

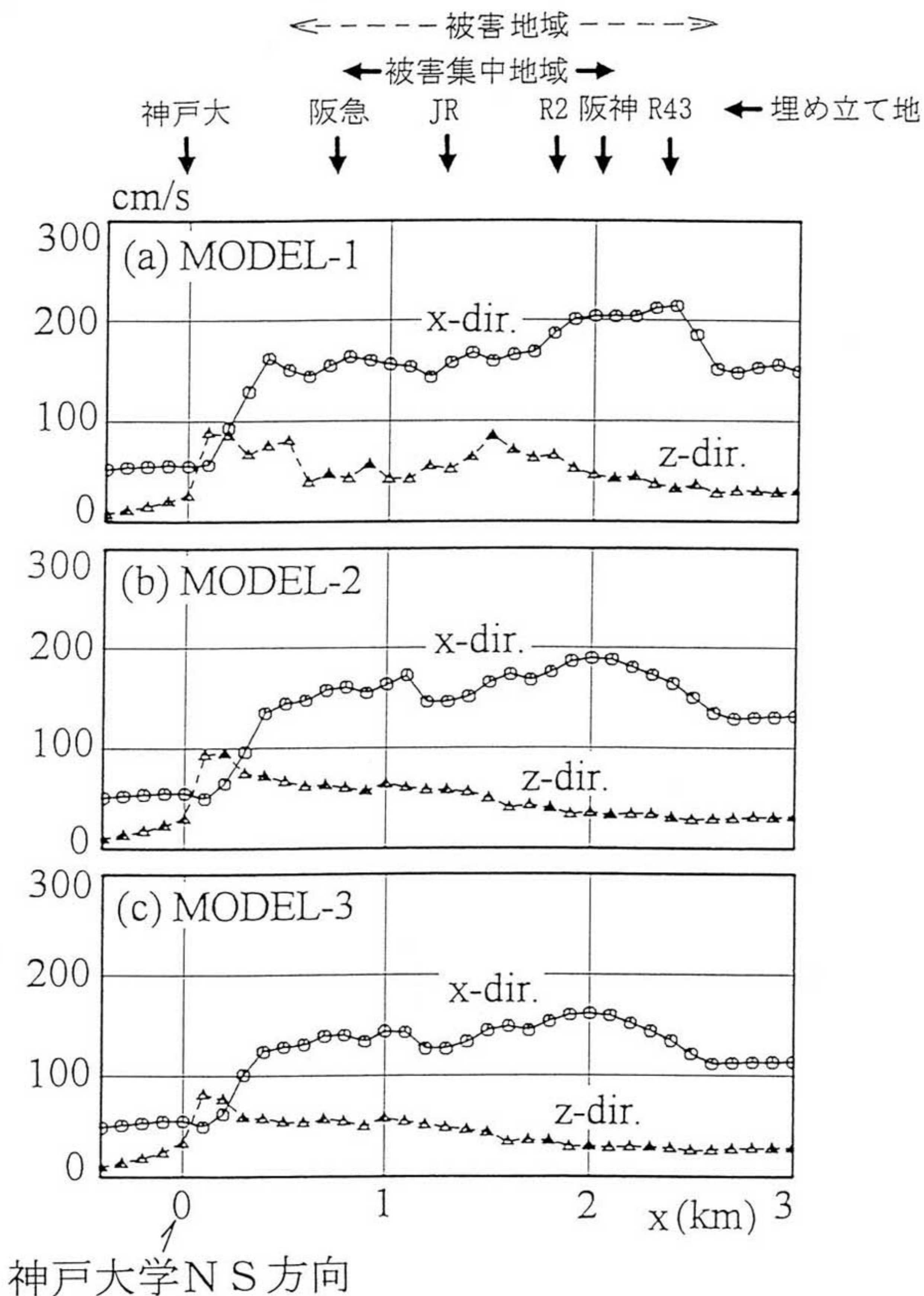
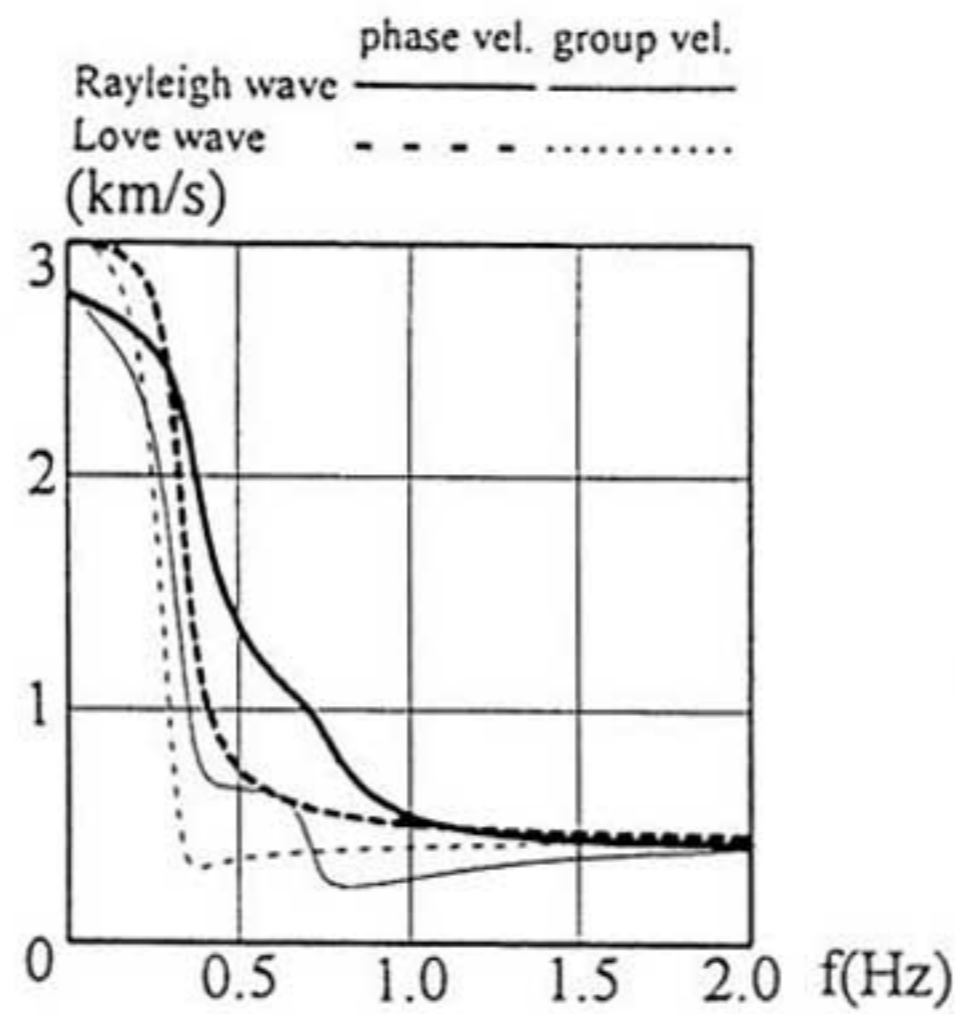


図1.5-5 最大速度応答分布 (鉛直入射時)



堆積層部の分散曲線

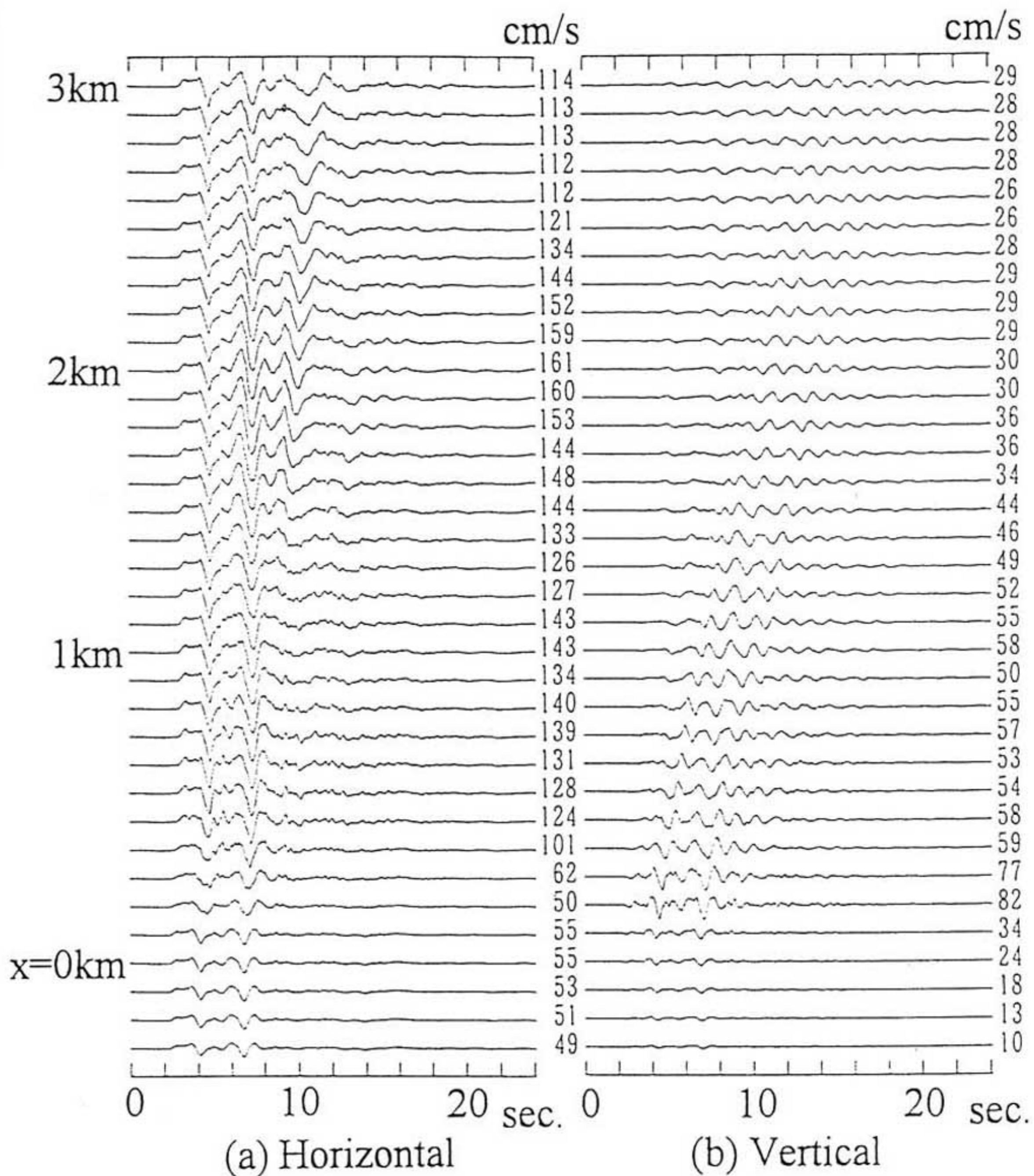


図1.5-6 基盤以浅の堆積層部の分散曲線と速度応答時刻歴波形 (MODEL-3)

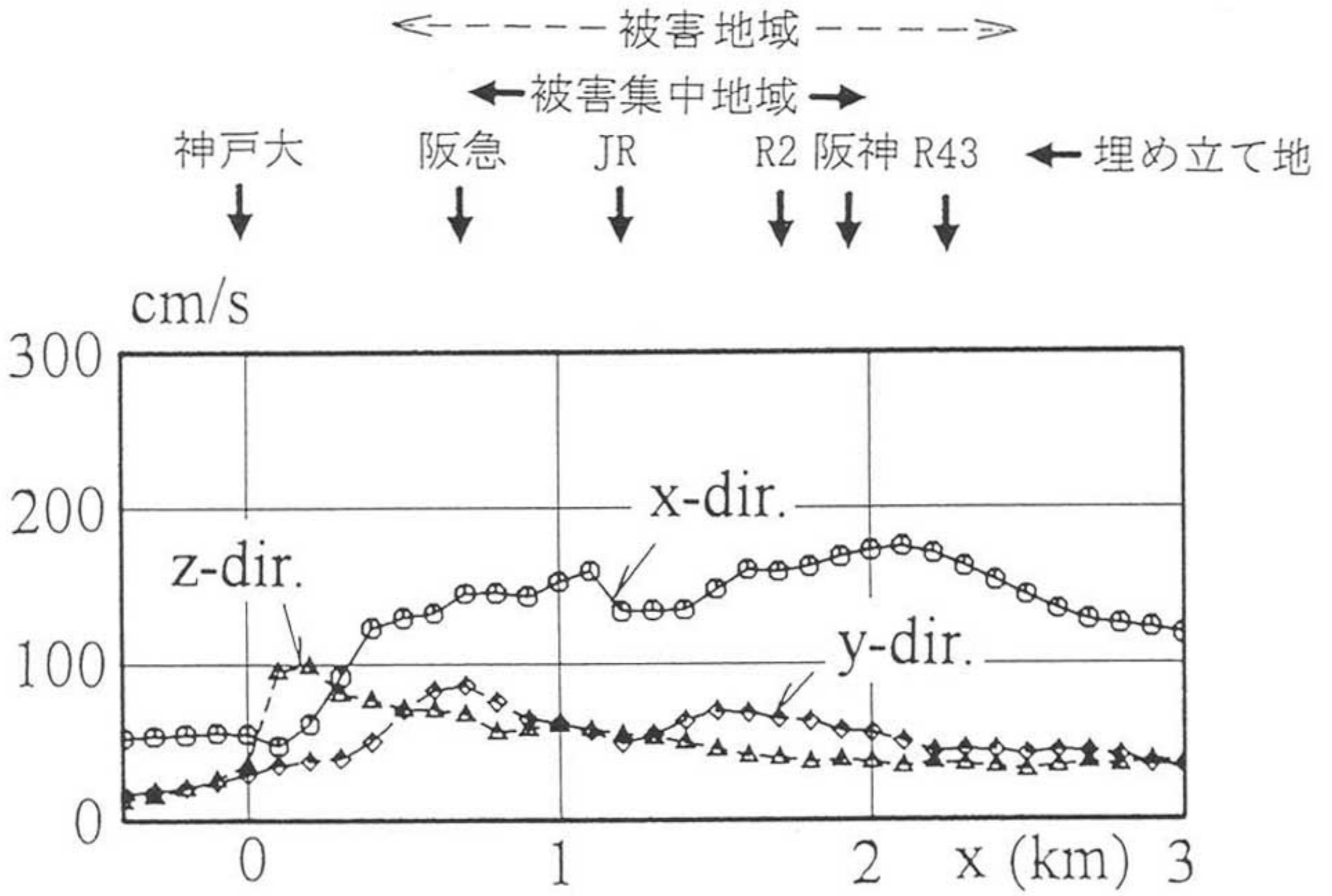


図1.5-7 斜めSH波入射時の最大速度応答分布

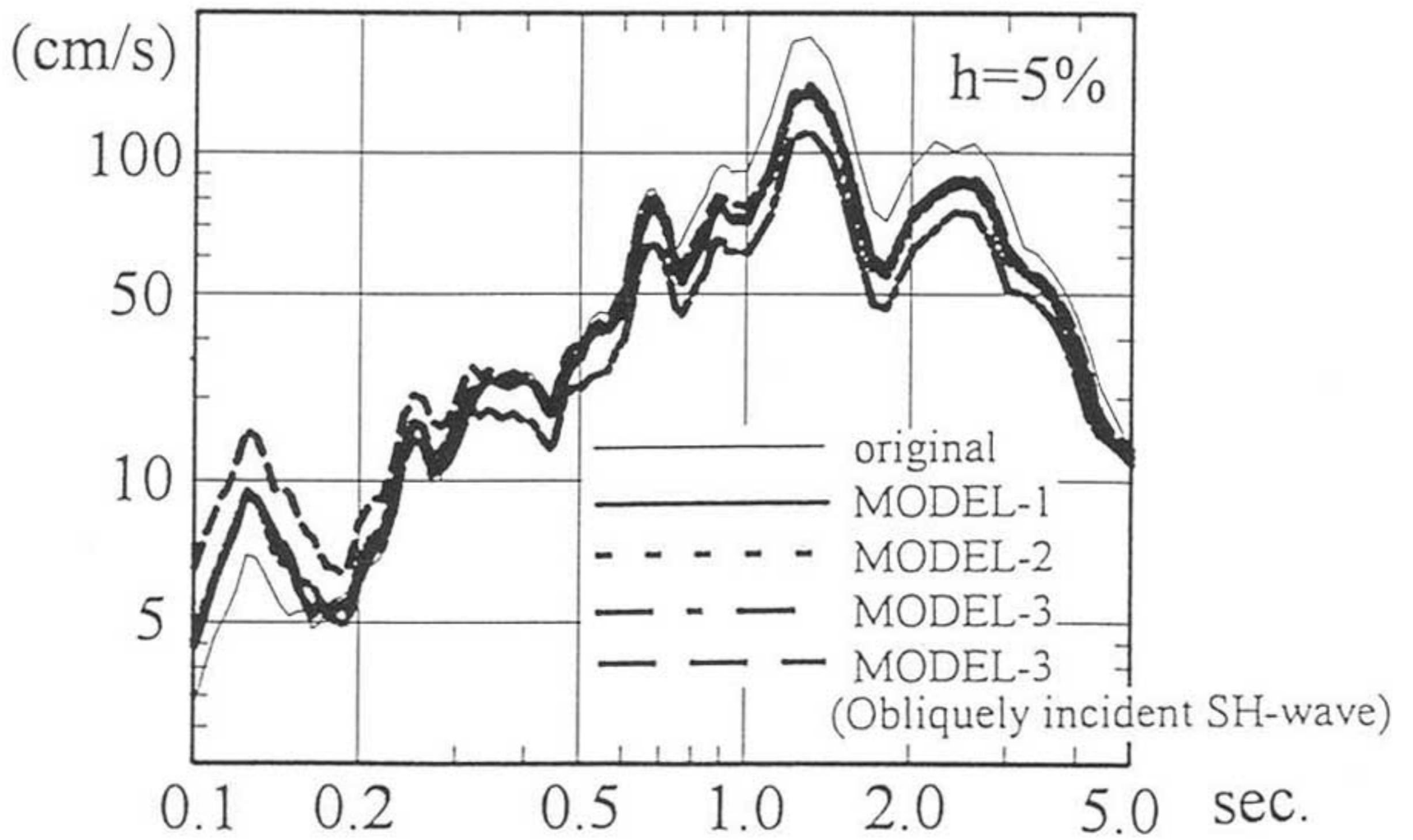


図1.5-8 基盤波の擬似速度応答スペクトル

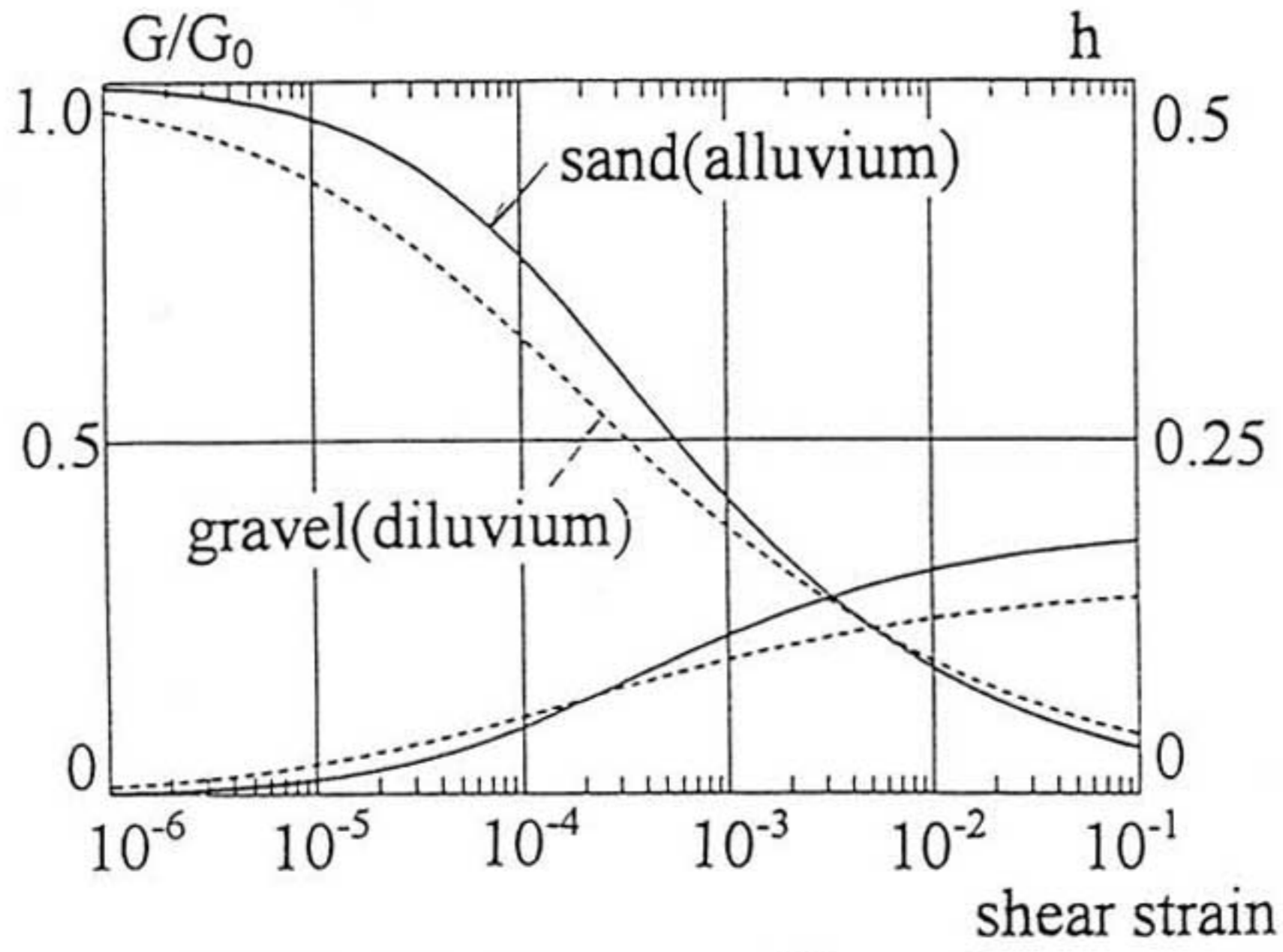


図1.5-9 表層地盤の非線形特性

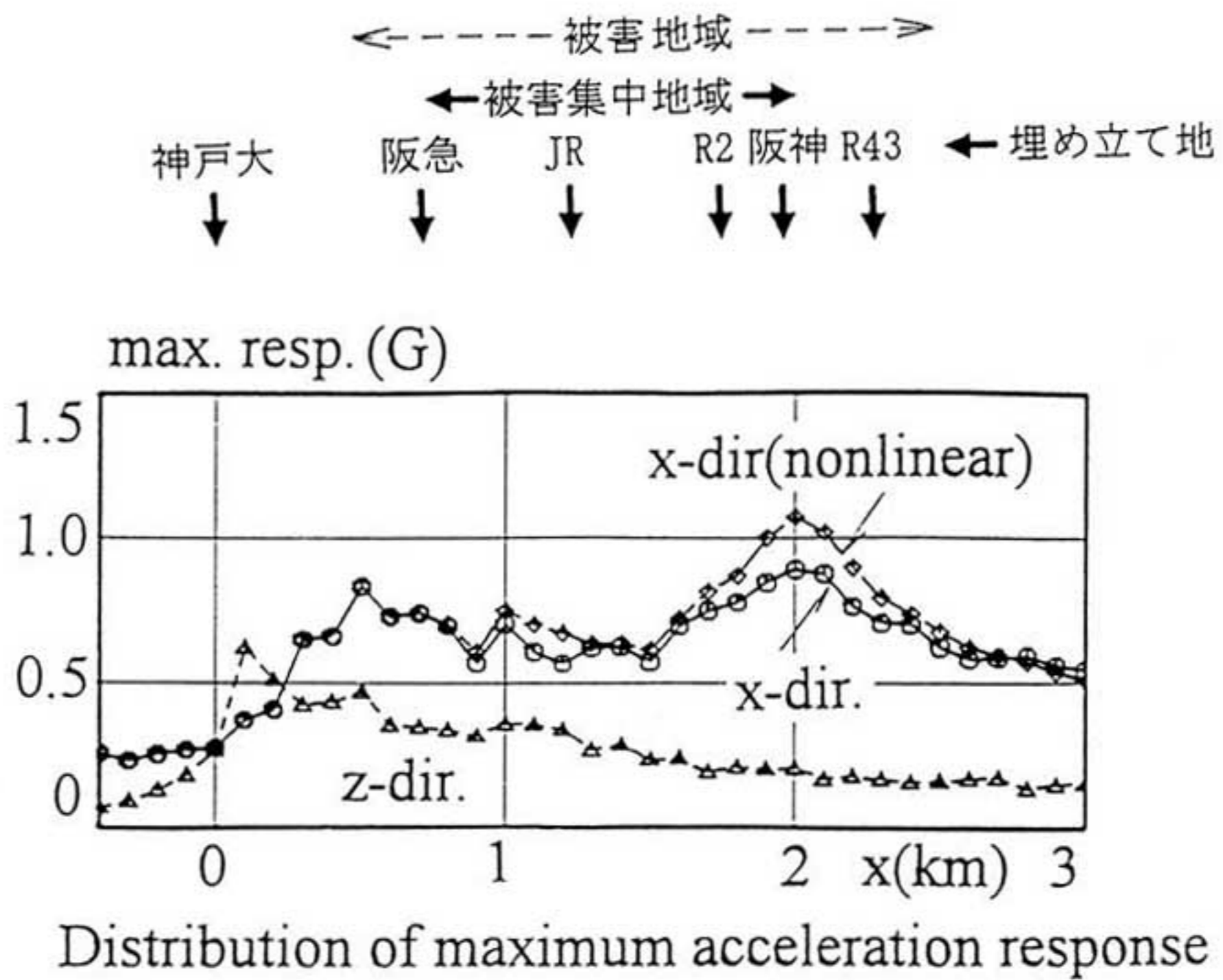


図1.5-10 表層地盤の非線形挙動を考慮したときの最大加速度応答分布

1.6 軟質岩盤における地震動強さ

1.6.1 はじめに

前項までの検討で、今回の地震が内陸の活断層の地震として特異なものでないこと、大加速度が記録された要因として、表層地盤の増幅特性や阪神地域の基盤地形の不整形性が大きいことが示唆された。そこで、今回の地震と類似の内陸の活断層の地震記録が豊富にある米国西海岸カリフォルニア州での地震記録を利用し、今回得られた大加速度記録と比較し、さらに、阪神・淡路地域の軟質岩盤における地震動（最大加速度）を推定する。

1.6.2 兵庫県南部地震で観測された大加速度記録に関する考察

1.6.2.1 既往の大加速度記録とその生成要因（大野他, 1995）

NOAAやUSGSの公開記録などから、1994年3月までに得られた国内外の500Gal以上の記録（地表レベル、建物の応答が顕著なものは除く）を調査して44地震延べ76記録を抽出した。その震源メカニズム・設置条件・地盤条件の分布を図1.6-1に、マグニチュード・距離に対する最大加速度の分布を水平・上下別に図1.6-2に示す。これらの図から以下のことがわかる。

- ・マグニチュードは3.5～7.8まで、震源距離も数km～100km程度と非常に広い範囲に分布しており、大加速度記録は必ずしも震源域の記録に限られるわけではない。
- ・震源メカニズムとしてはStrike-Slip・Dip-Slip双方が同程度に含まれている。またどのタイプの震源でも、水平動・上下動双方で大加速度が観測されており、滑り角の影響は特に認められない。
- ・設置条件としてはBuildingとShelterが多いが、Damも延べ6地点含まれている。Dam Abutmentの観測点は、Northridge地震のPacoima DamのようにDown-streamの観測点よりも大きい加速度が観測されることが多く、ダムの地形的な影響などがあるものと思われる。
- ・Soilが非常に多く、これらの観測点では表層地盤による増幅があるものと思われる。

つまり、大加速度記録はマグニチュード・距離の非常に広い範囲で観測されており、震源規模やメカニズムの影響は系統的には認められない。一方、地盤条件としてはSoilが多く、また数としては多くはないがDamの観測点も認められる。大加速度を発生する要因としては、このような地盤や地形といった個々の観測点の特性の影響が大きいのではないかと推察される。

1.6.2.2 兵庫県南部で観測された加速度最大値

兵庫県南部地震で観測された500Gal以上の大加速度を図1.6-2中に示す。観測点位置や最大加速度値については1.6.4で示す（図1.6-10）が、少なくとも断層近傍で水平動5地点、上下動1地点で500Gal以上の加速度が観測されている。

図1.6-2から、兵庫県南部地震で観測された大加速度は、最大加速度値やマグニチュード・距離に特別な点はなく、これまでに観測されていた範囲に位置することがわかる。地盤条件は未確認の地点が半分あるが、それを除けば表層地盤上のものが多く、既往の大加速度の傾向と整合している。

1.6.3 震源域での地震動スペクトル評価式

1.6.3.1 震源域での地震動スペクトル評価の考え方

地震動のスペクトルをマグニチュード・震源距離・地盤種別などを説明変数として距離減衰式の形でモデル化し、係数を統計解析によって求めることは、統計的地震動評価法と呼ばれ古くから行われてきた。この評価法は簡便でありどこでも適用できること、単純にモデル化されている割にはばらつきが小さく安定した評価ができることが主な利点である（武村, 1993）。

距離減衰式は原則として点震源を仮定した遠方場の評価となっているので、そのまま震源域の評価に用いることは出来ない。それを克服するため、Ohno et al. (1993)は等価震源距離の概念を導入している。

等価震源距離 X_{eq} とは、広がりを持つ断層をそれと同じエネルギーを放つ点震源に置き換えたときに、その仮想点震源と観測点との距離である。具体的には、断層を小領域に分けた場合の領域数を N 、領域 i のすべり量を d_i 、領域 i と観測点間の距離を X_i とするとき、各領域からのエネルギーの幾何減衰 (X_i^{-2}) をすべり量の2乗で重み付け平均することにより

$$X_{eq}^{-2} = \frac{\sum_{i=1}^N d_i^2 X_i^{-2}}{\sum_{i=1}^N d_i^2} \quad (1.6-1)$$

として求められる。この距離を用いることにより、点震源理論に基づく距離減衰式の形状を変えずに、遠方場の距離減衰式を物理的に明確な形で震源近傍での評価に拡張できる。

その場合の応答スペクトル $S(T)$ の評価式は、

$$\log S(T) = a(T)M - \log X_{eq} - b(T)X_{eq} + c(T) + \Delta s(T)\delta \quad (1.6-2)$$

となる。ここで M : マグニチュード, X_{eq} : 等価震源距離, δ は地盤層別因子であり、 $a(T)$, $b(T)$, $c(T)$, $\Delta s(T)$ はデータから推定される回帰係数である。

1.6.3.2 カリフォルニア州の震源域の記録に基づく軟質岩盤のスペクトル評価式

大野・高橋(1994)は、米国カリフォルニア州の水平496成分を用いて(1.6-2)式の係数を求め、地震動スペクトルの評価式を提案している。データベースの構成を表1.6-1に、断層位置を図1.6-3に、マグニチュードと距離の分布を図1.6-4に示す。なお地盤種別は、軟質岩盤上の表層地盤の厚さが10m程度以下のサイト（以下軟質岩盤：160成分）とそれ以外の表層地盤上のサイト（336成分）に層別し、軟弱地盤（Bay Mud等）は除外している。

カリフォルニア州では活発な断層が州の中央を走っており、震源域の記録が多く観測されている。それに基づいた地震動評価式は兵庫県南部地震の震源域の地震動評価にも有効と考えられることから、1.6.4では大野・高橋(1994)の評価式を用いて軟質岩盤でのスペクトルの推定を行う。また、周期0.02秒の加速度応答スペクトル値は近似的に最大加速度とみなせるので、その推定も行う。軟質岩盤における最大加速度の評価式を下記に示す。

$$\log A_{max} = 0.318M - \log X_{eq} - 0.00164X_{eq} + 1.597 \quad (1.6-3)$$

また、カリフォルニア州の軟質岩盤の記録（S波到達以降：いわゆる主要動部分）について求められた上下／水平スペクトル比の平均値と標準偏差を図1.6-5に示す。最大加速度比（周期0.02秒の値）の平均は0.53、周期によっては平均値で0.4～0.7であり、一般的には上下動の方が水平動

よりも小さいことがわかる。前述の通りデータベースは震源域のデータを多く含むことから、震源域だからと行って上下動が水平動よりも大きいということはないといえる。

なお震源域の大上下動記録を解析した結果、表層地盤の増幅が主な原因と指摘された例（例えばMueller他, 1982）もあり、兵庫県南部地震で上下動が大きい記録の解釈においても、地盤増幅の影響を考慮する必要があると思われる。

1.6.4では図1.6-5の上下／水平スペクトル比を用いて軟質岩盤での水平動スペクトルの推定値から上下動スペクトルを推定する。

1.6.4 兵庫県南部地震での軟質岩盤における地震動強さの推定

1.6.4.1 観測値と推定値の最大加速度の比較

菊池(1995)の断層モデルと余震分布を参考として、図1.6-6に示すような断層を仮定した。現時点ではまだ情報が限られているので、断層の位置とスケールを大まかにとらえることに重点をおいた暫定的なものであり、傾斜角も鉛直とし、エネルギーも全面から一様に放出したと仮定している。このモデルを用いて等価震源距離を計算した。

兵庫県南部地震で地震記録が得られている諸機関の観測点位置を図1.6-7に示す。これらのうち岩盤とされている3地点（新神戸、神戸大学、千早）について、等価震源距離に対する水平動最大加速度の分布を、米国カリフォルニア州の震源近傍の記録に基づく軟質岩盤での最大加速度推定値（1.6-3式）とともに図1.6-8(a)に示す。また観測値の上下／水平比の分布をカリフォルニアの軟質岩盤での平均的な上下／水平最大加速度比と共に図1.6-8(b)に示す。神戸大学の上下成分は地震計の挙動に疑問があるため解析から除いている。

これらの図から、水平最大加速度は推定値と平均±標準偏差の範囲内でよく対応しており、兵庫県南部地震はカリフォルニアの内陸の地震からみて平均的な地震といえることがわかる。上下／水平最大加速度比は平均よりもやや大きい（分母となる水平成分が小さい）1成分を除いてほぼ平均±標準偏差の範囲内であり、上下動と水平動の関係も特殊なものではないと思われる。

1.6.4.2 観測値と推定値の応答スペクトルの比較

断層近傍の神戸海洋気象台と神戸大学について、観測値と推定値の応答スペクトルの重ね書きを図1.6-9に示す。水平動の推定値は米国カリフォルニア州の震源近傍の記録に基づく応答スペクトル評価式を用い、上下動は水平動の推定値にカリフォルニアの岩盤での平均的な上下／水平応答スペクトル比（図1.6-5）をかけたものである。

推定値との比較では（推定値の信頼周期は2秒までであり、それ以上の周期は参考値）、神戸大学では短周期側でやや大きめに評価していることを除けば、ばらつきの範囲内で観測値とよく対応するのに対し、海洋気象台では周期0.3～1秒で観測値が大きくなっている。これは、神戸大学は花崗岩（風化の度合いは不明）上にあるとされているのに対して、神戸海洋気象台は表層地盤上に位置し、かつ北側が崖地となっていることから、この周期帯域で観測点近傍の地盤及び地形に起因する増幅を受けたためと考えられる。

1.6.4.3 軟質岩盤における最大加速度分布の推定

以上のように、カリフォルニアの記録に基づく地震動評価式は軟質岩盤では兵庫県南部地震の記録とよく一致することから、それを用いて軟質岩盤での地震動強さを推定することが可能と思われる。(1.6-3)式により求められた軟質岩盤における断層近傍での推定最大加速度分布を、地質図上に観測値とともに図1.6-10に示す。観測値としては、軟質岩盤のみでなく、表層地盤上の観測点の値も同時に示している。最大加速度分布の広域の推定値を図1.6-11に示す。

断層端付近では断層をどこまで延ばすかで結果は変動しうるが、断層近傍の軟質岩盤で最大400~500Gal弱程度と推定されている。地質図から分かるように、表層地盤の影響が少ないと思われる断層の北西側では推定値と観測値は良く対応するが、表層地盤の影響が大きいと思われる断層の南東側では観測値の方が大きくなっており、断層の南側の市街地では表層地盤の影響により地震動がかなり増幅されたものと思われる。

主な参考文献

- Ohno et al.(1993) Revision of attenuation formula considering the effects of fault size to evaluate strong motion spectra in near field, *Tectonophysics*, 218, 69-81.
- 大野他(1995) 大加速度の生成要因に関する考察, 日本建築学会大会梗概集 (投稿中)
- 菊地(1995) 遠地の地震記録による震源メカニズム, 1995年1月17日兵庫県南部地震調査速報会資料, 第四紀学会, 17-20.
- 武村(1993) 地震動の距離減衰と地震動予測, 第20回記念地盤振動シンポジウム, 日本建築学会, 11-16.
- Muller et al. (1982) Detailed Study of Site Amplification at El Centro Strong-Motion Array Station #6, 3rd *Microzonation*, 413-424.
- 日本建築学会(1995) 兵庫県南部地震災害調査緊急報告会資料
- 強震観測事業推進連絡会議(1995) 強震速報No.46, 1995年1月17日兵庫県南部地震
- 鉄道総合技術研究所(1995) 1995年兵庫県南部地震による最大加速度の分布及び被害について、JR地震情報No.23b.

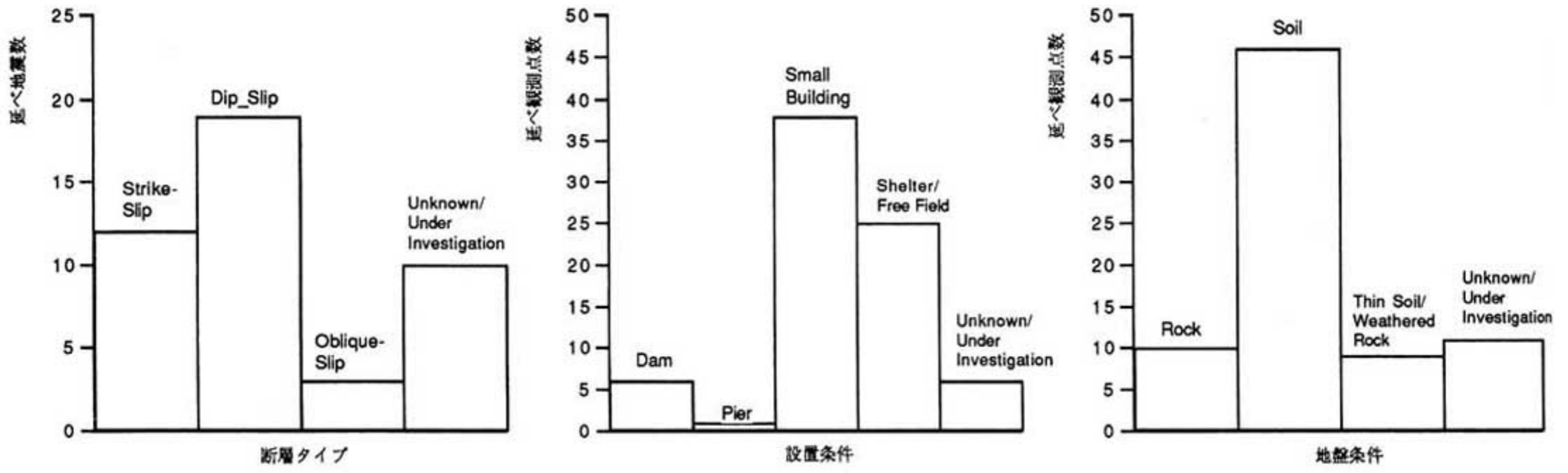


図1.6-1 500Gal以上の最大加速度を観測した地震の震源メカニズム・設置条件・地盤条件の分布 (大野他, 1995)

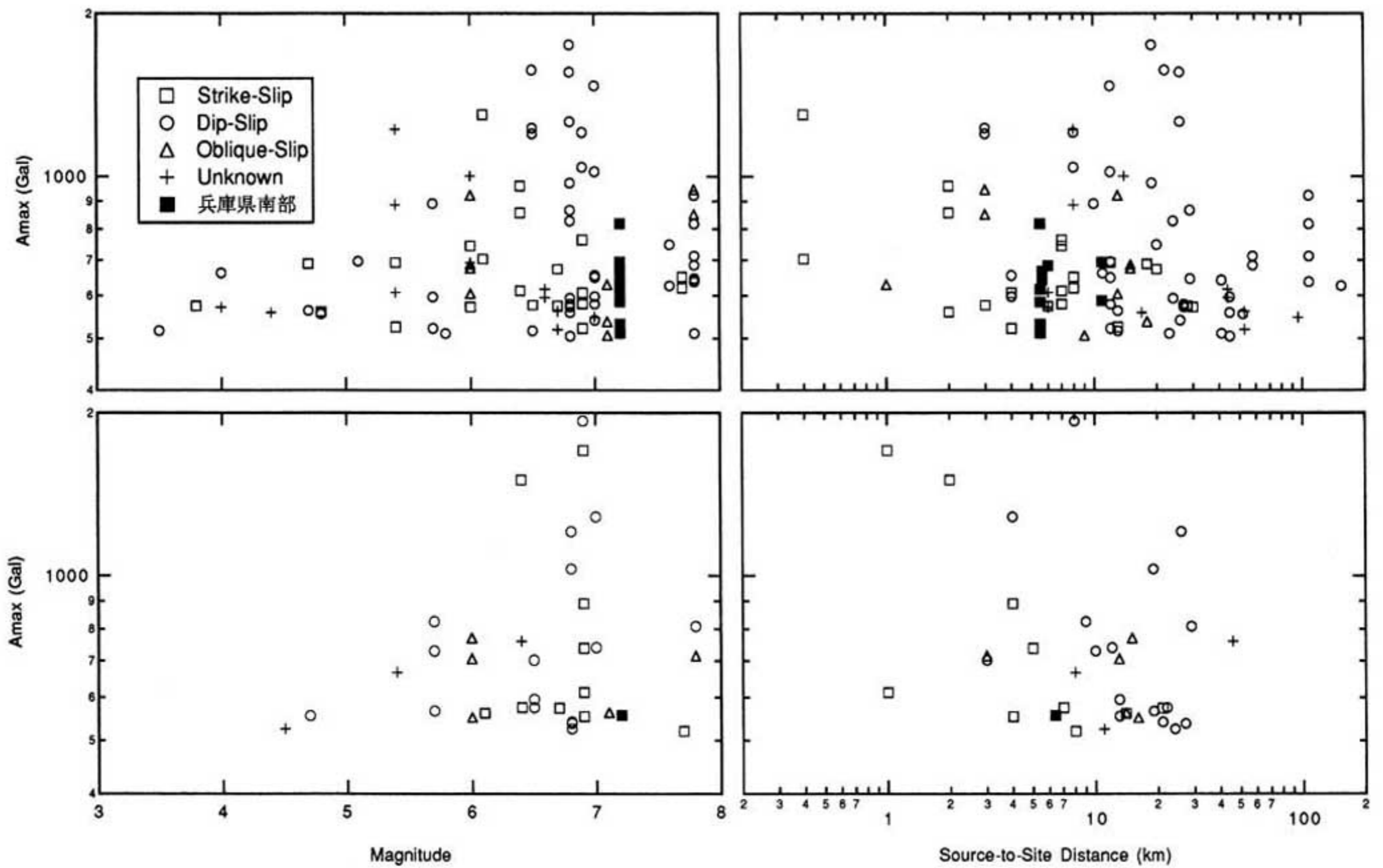


図1.6-2 マグニチュード・距離に対する500Gal以上の最大加速度の分布と兵庫県南部地震の最大加速度値 (大野他, 1995に加筆)

兵庫県南部地震の距離としては、他の記録にあわせて断層からの最短距離としている。

表1.6-1 応答スペクトル評価に用いたデータベース

No.	Earthquake Name	Origin Time (UTC)	Magnitude	Number of Comp.	
				Rock	Soil
1	1940 Imperial Valley	05/19/1940	Mw=7.0	0	2
2	Kern County	07/21/1952	Mw=7.5	0	2
3	San Francisco	03/22/1957	ML=5.3	2	0
4	Parkfield	06/28/1966	Mw=6.1	2	7
5	Borrego Mountain	04/09/1968	Mw=6.5	0	2
6	Lytile Creek	09/12/1970	Mw=5.3	4	2
7	San Fernando	02/09/1971	Mw=6.6	16	14
8	Hollister	11/28/1974	ML=5.2	2	4
9	Coyote Lake	08/06/1979	Mw=5.8	4	12
10	1979 Imperial Valley Mainshock	10/15/1979	Mw=6.5	2	46
11	1979 Imperial Valley Aftershock	10/15/1979	ML=5.0	0	32
12	Coalinga	05/02/1983	Mw=6.4	46	50
13	Morgan Hill	04/24/1984	Mw=6.2	12	22
14	North Palm Springs	07/08/1986	Mw=6.1	10	24
15	Whitter Narrows	10/01/1987	Mw=6.0	12	59
16	Loma Prieta	10/18/1989	Mw=7.0	42	42
17	Landers	06/28/1992	Mw=7.3	6	16
				160	336
				Total	496

(大野・高橋, 1994)

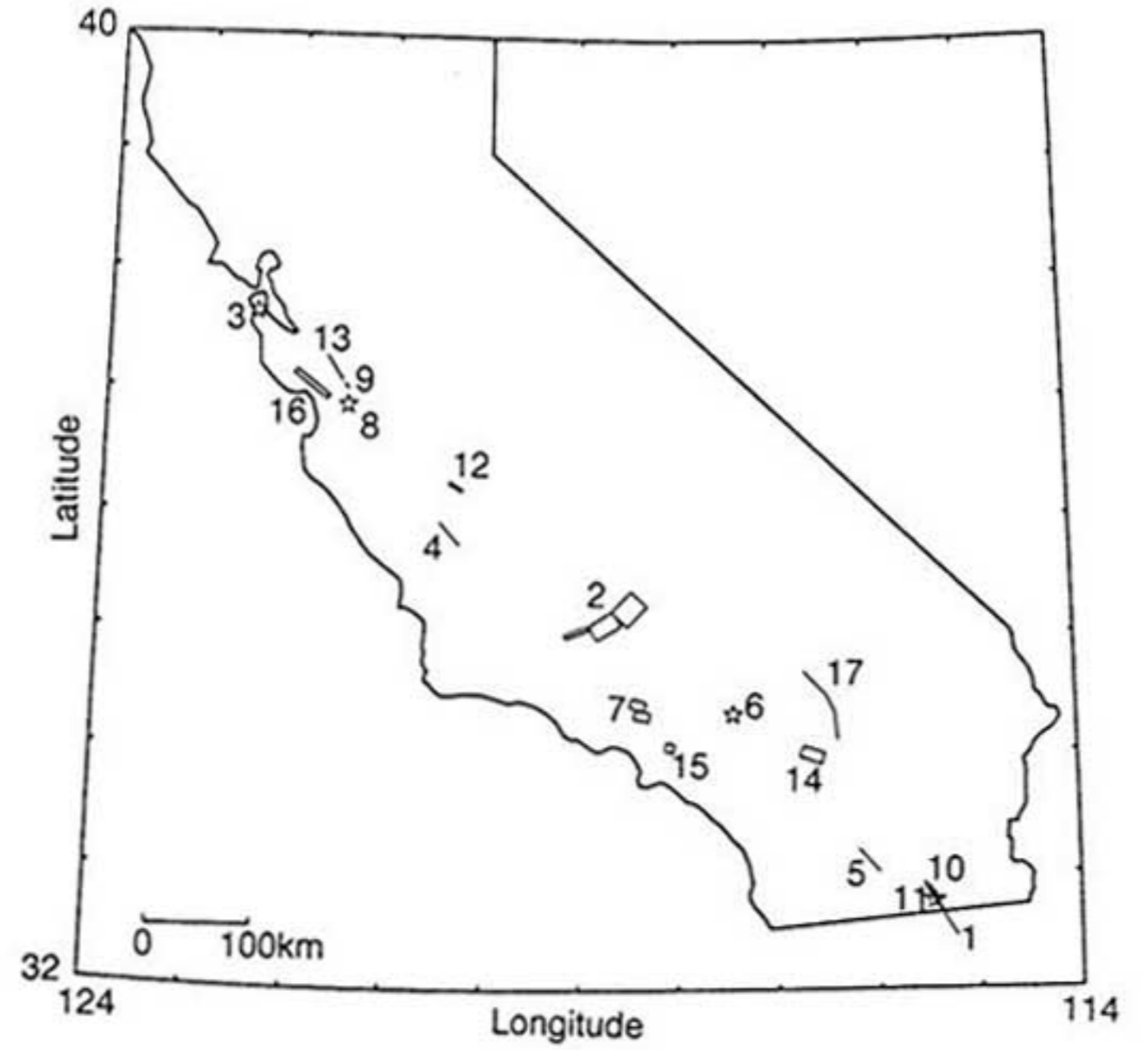


図1.6-3 距離減衰式評価に用いた米国カリフォルニアデータの断層位置 (大野・高橋, 1994)

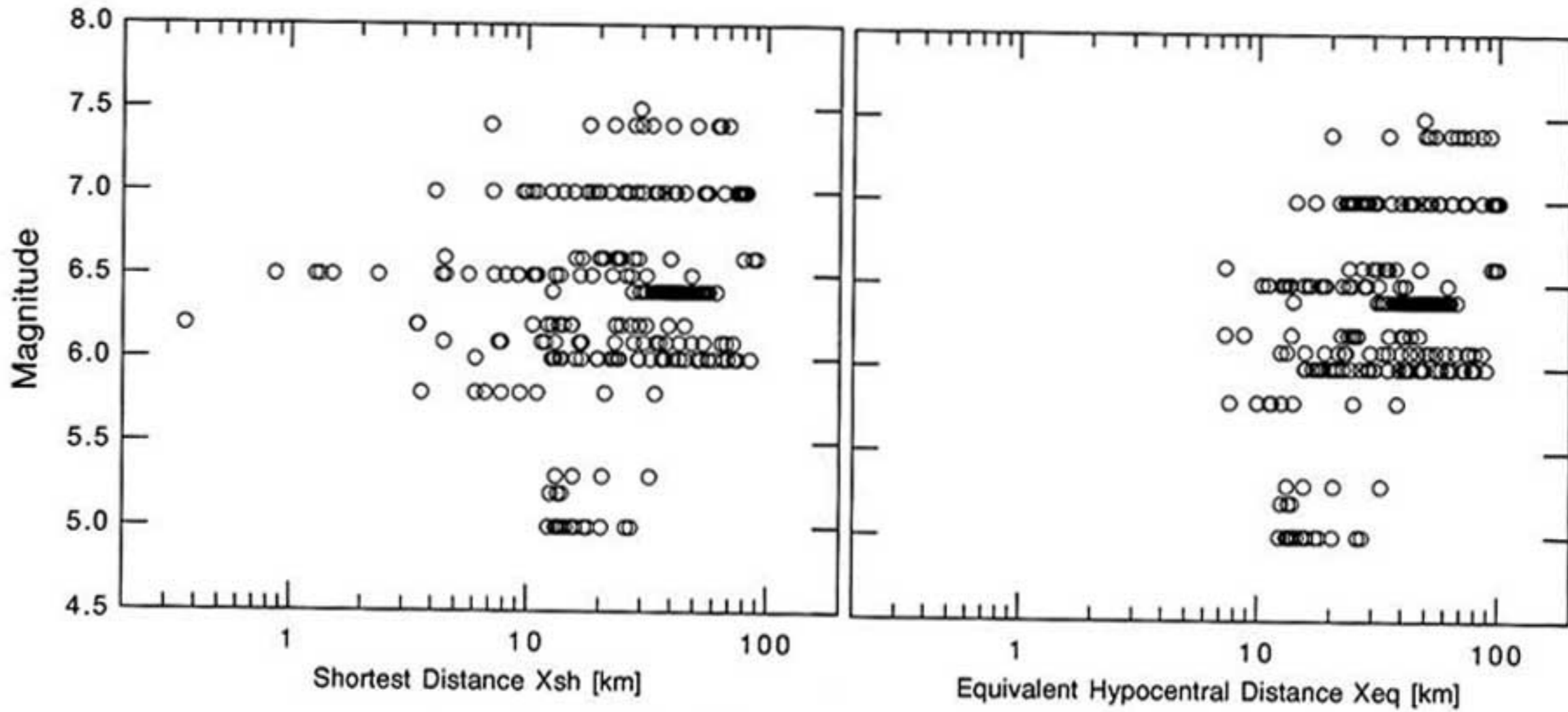


図1.6-4 距離減衰式評価に用いた米国カリフォルニアデータのマグニチュード・距離の分布 (大野・高橋, 1994)

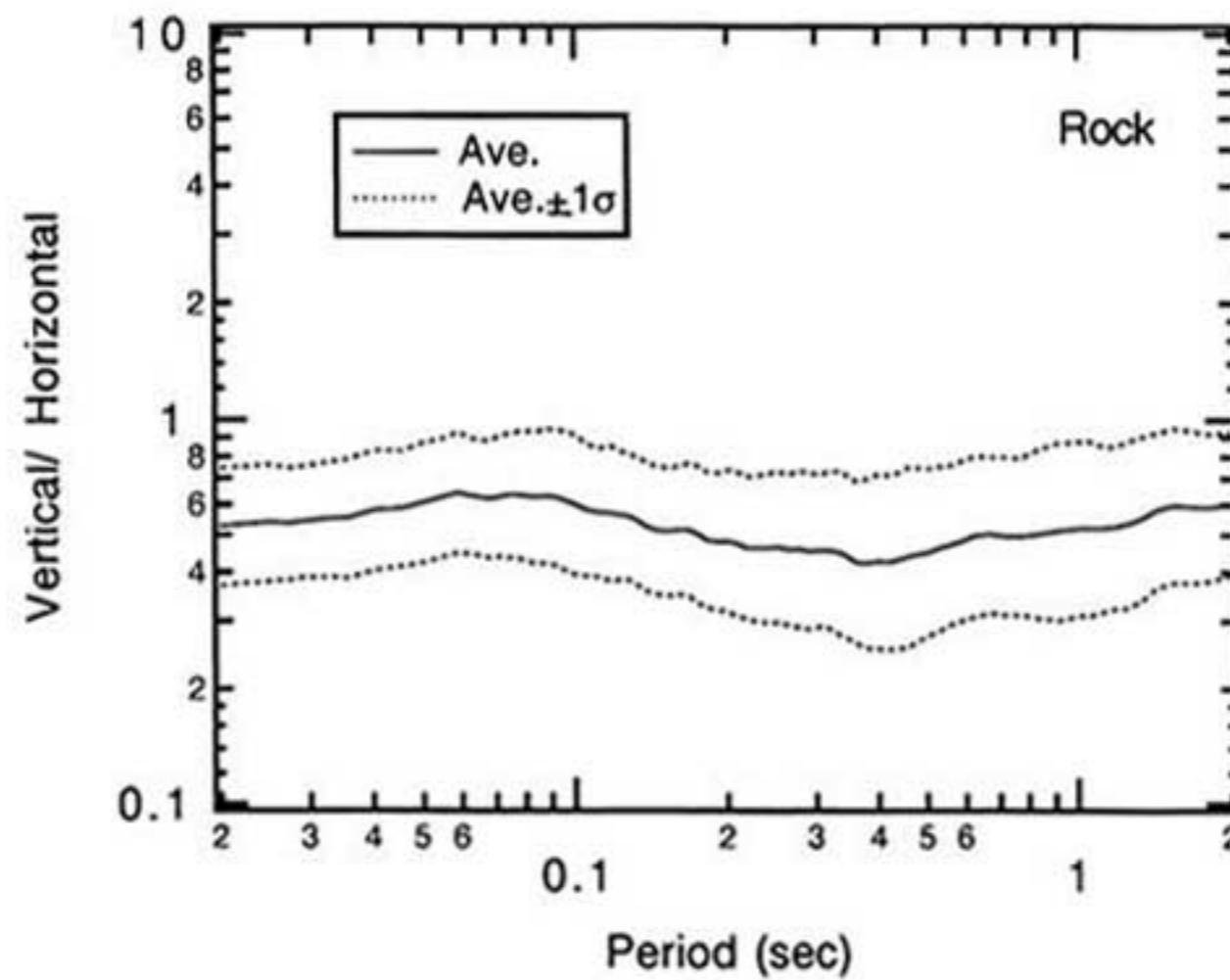


図1.6-5 距離減衰式評価に用いた米国カリフォルニアデータの平均的な上下/水平スペクトル比 (S波以降)

(菊地, 1995)

(石川、科学朝日増刊号、1995.3)

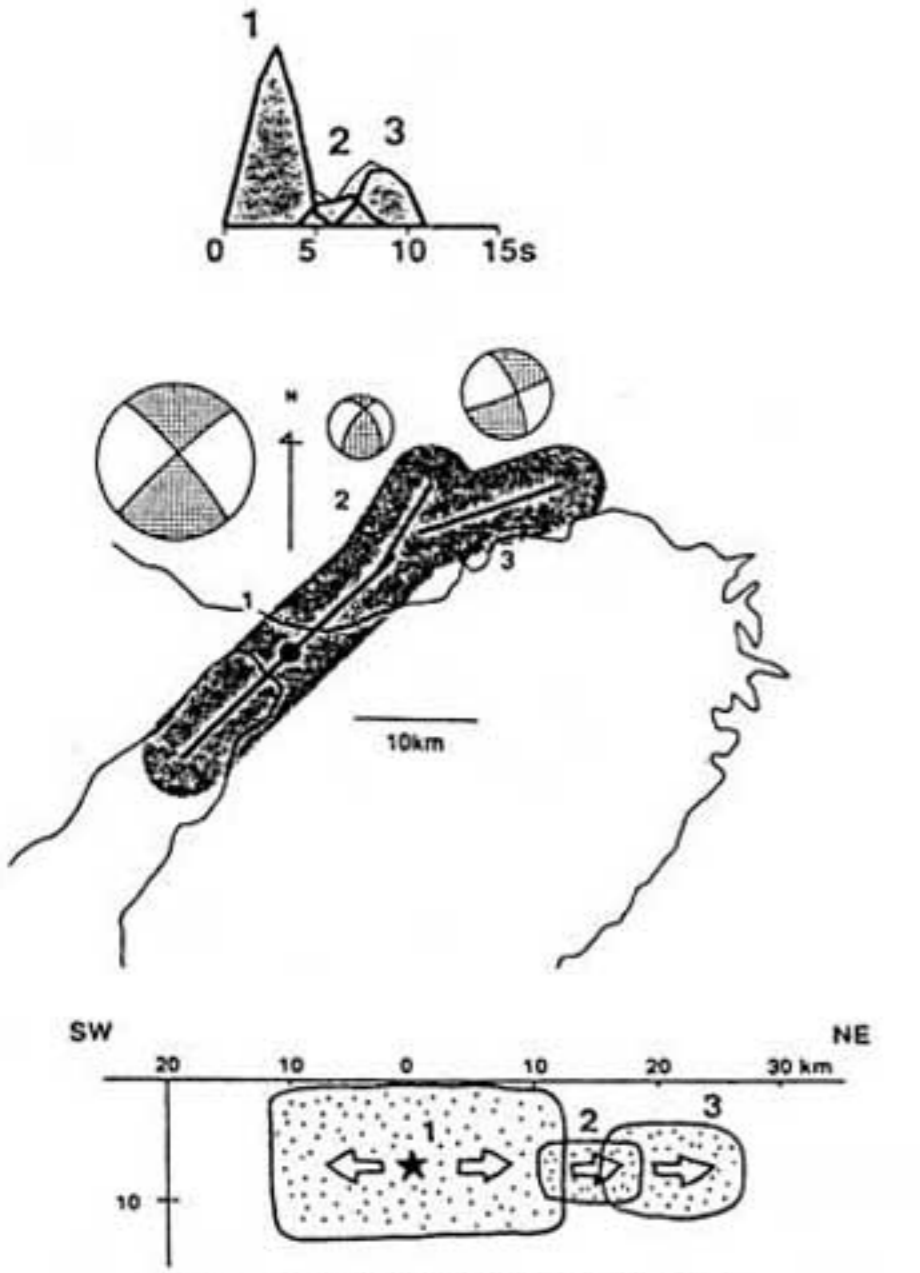


図3 遠地の地震記録の解析結果
 (a) モーメント速度関数
 (b) 断層の空間分布。丸はメカニズム図
 (c) 北東-南西断面図

■右は発生した時間と位置を直線A-Bに対して示した時空間分布図で、左は、直線A-Bにおける垂直断面図で、震源の深さを示す

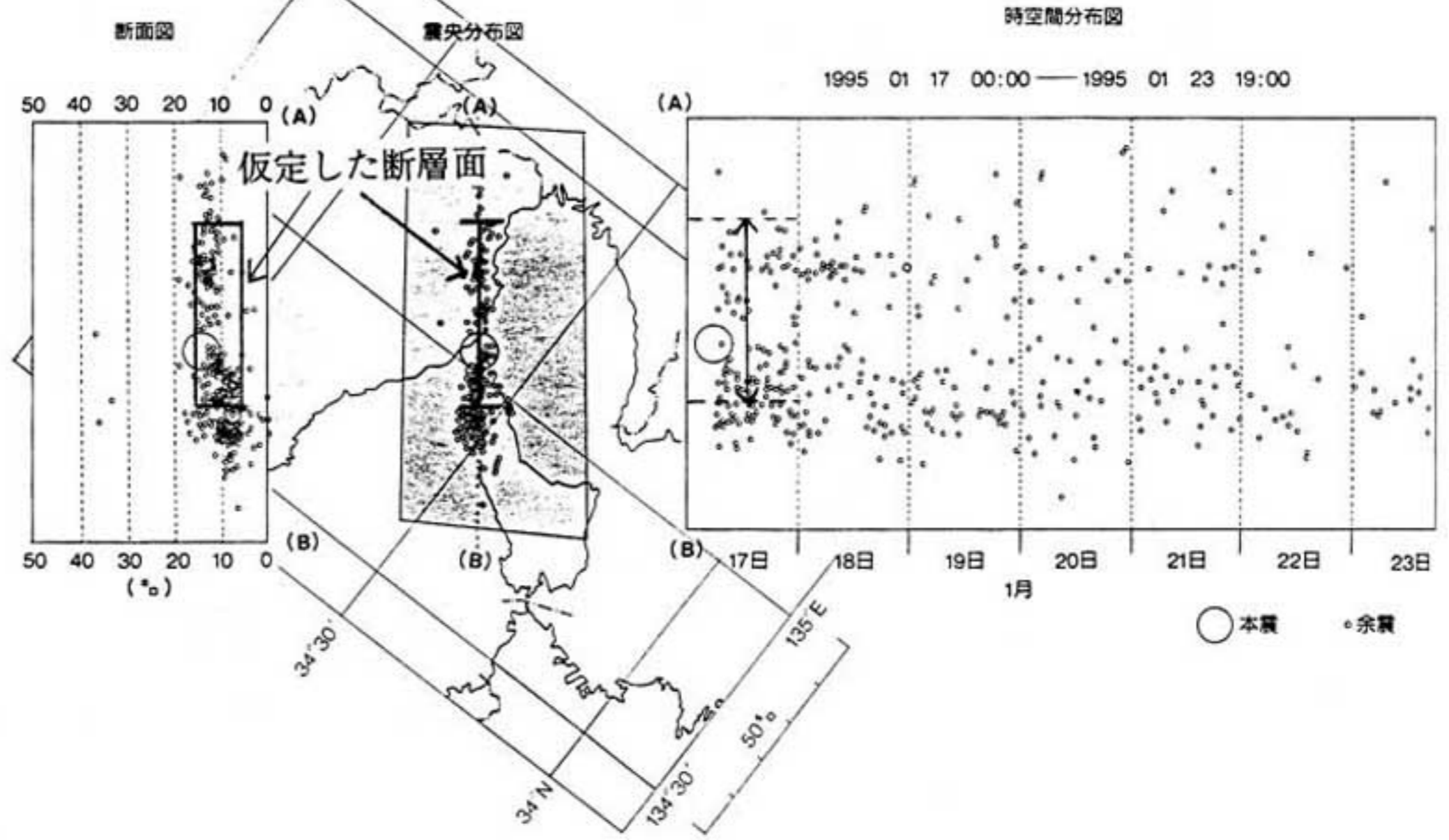


図1.6-6 兵庫県南部地震の断層モデル (菊地, 1995) ・余震分布と等価震源距離算定のために仮定した断層面

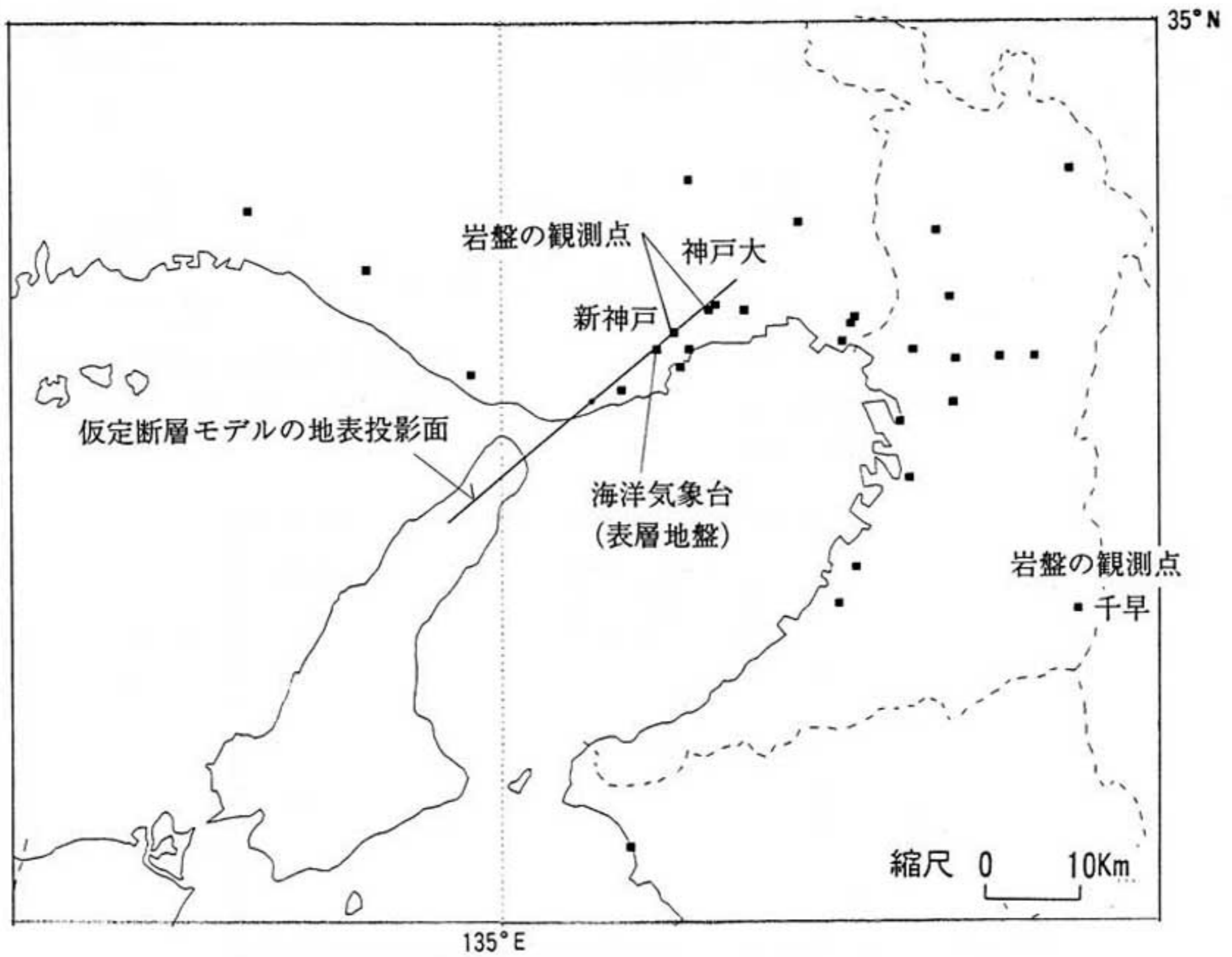


図1.6-7 兵庫県南部地震で最大加速度が得られた地点
 (気象庁・関西地震観測研究協議会・港湾技研・JR・関西電力・松村組)

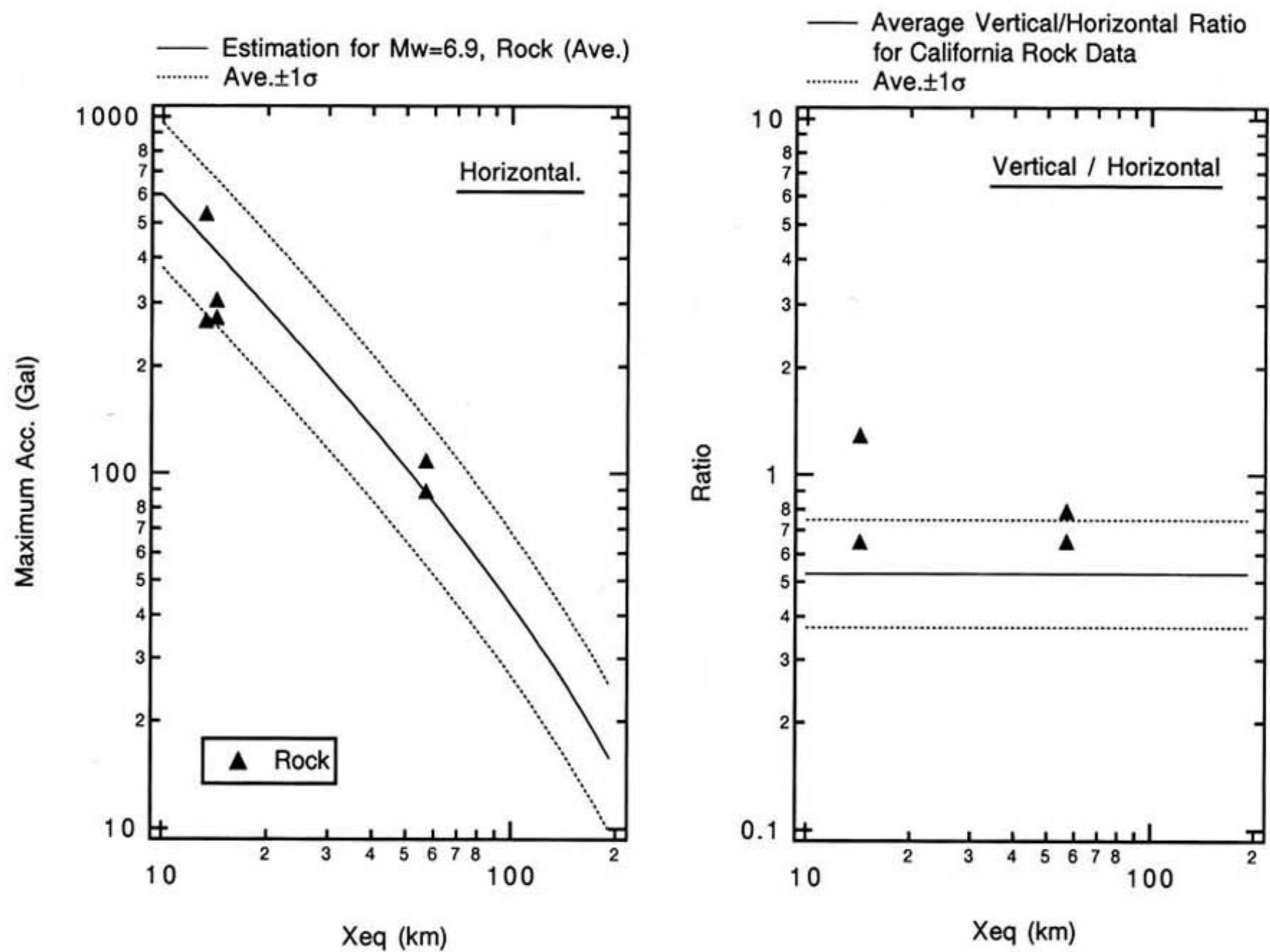


図1.6-8 図1.6-6の仮定断層面から求めた等価震源距離に対する最大加速度分布と上下／水平最大加速度比
(観測値と軟質岩盤の推定値の重ね書き)

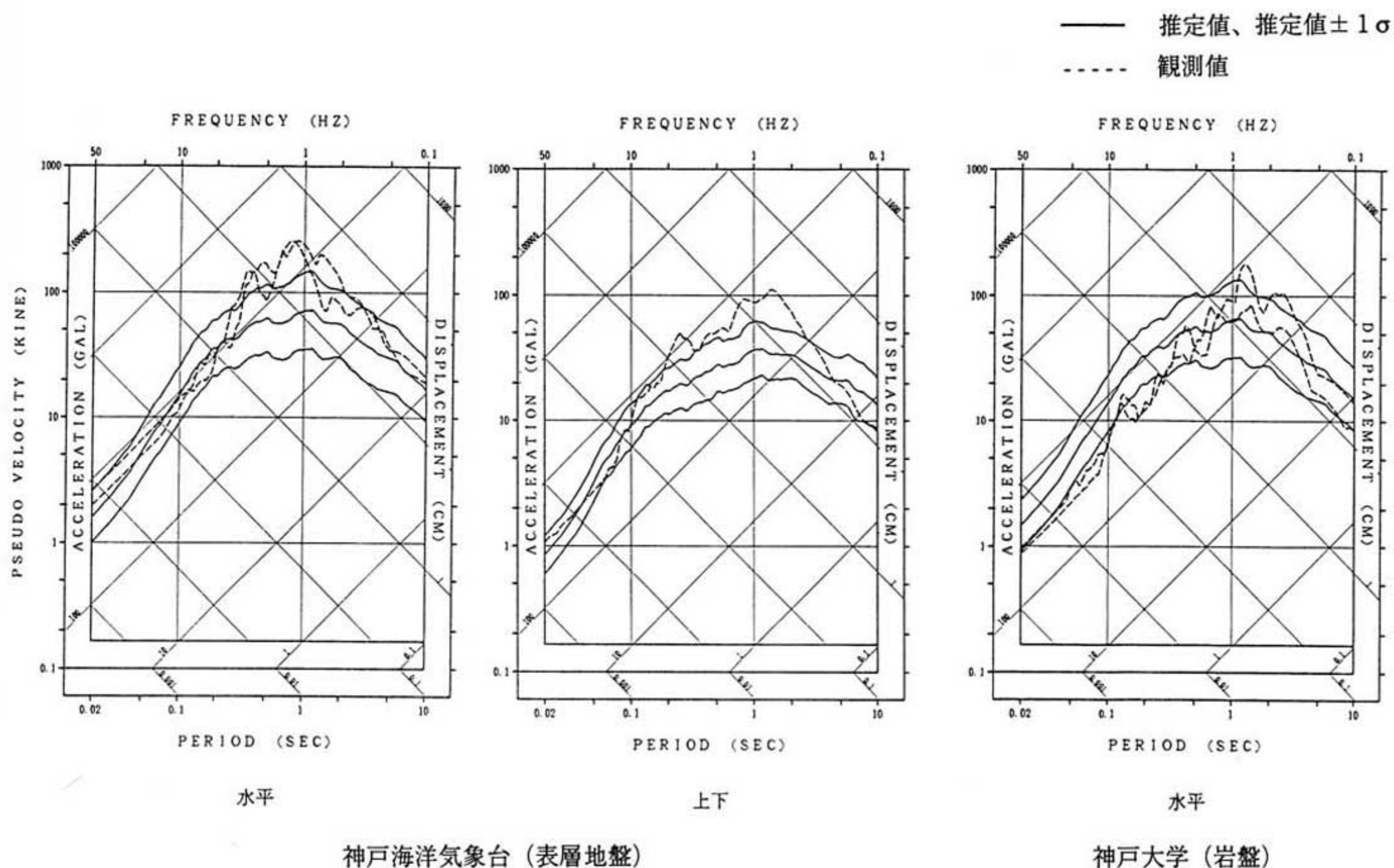


図1.6-9 断層近傍2地点の観測応答スペクトルと推定応答スペクトル (平均・平均±標準偏差)

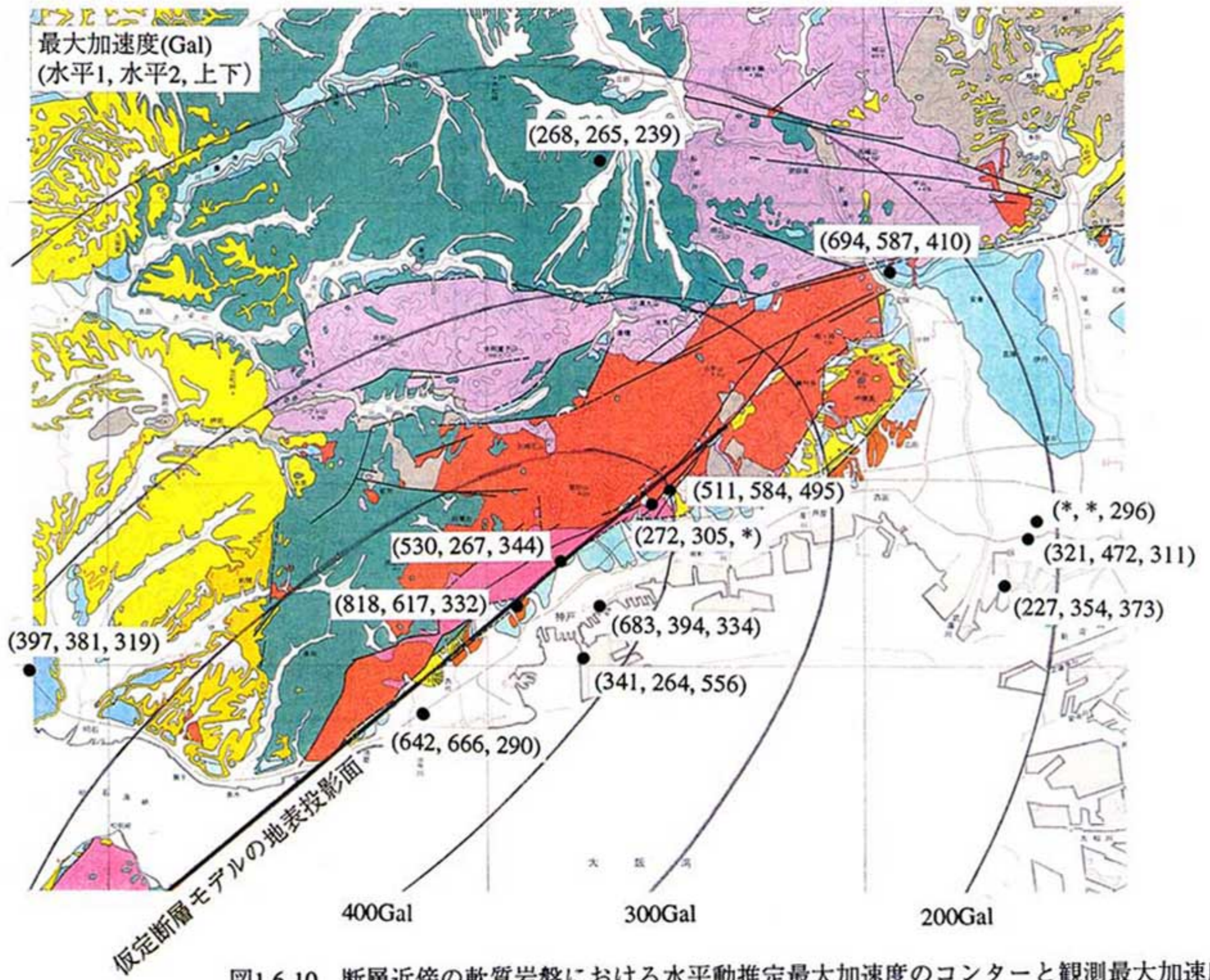


図1.6-10 断層近傍の軟質岩盤における水平動推定最大加速度のコンターと観測最大加速度
(地質図上にプロット)

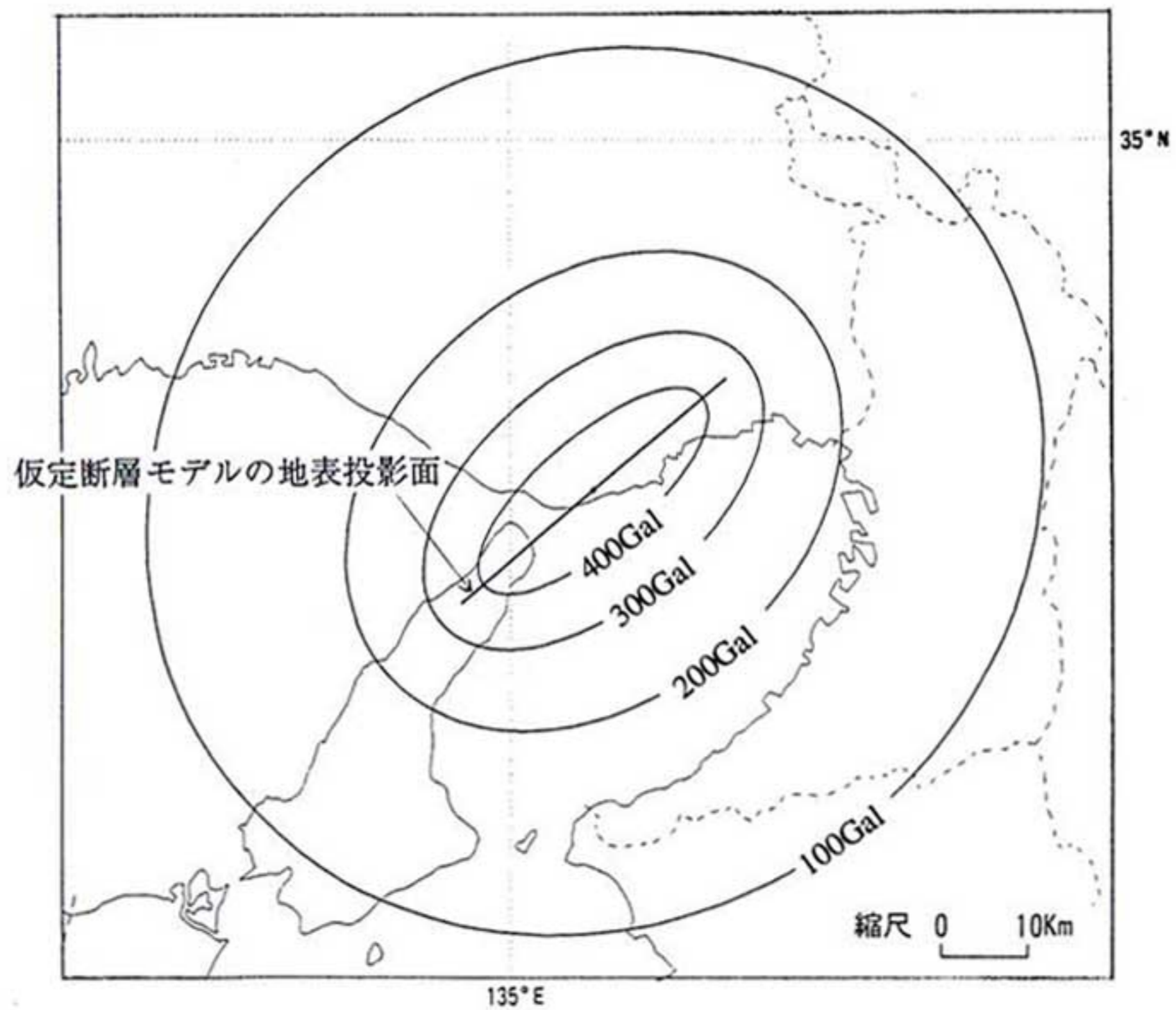


図1.6-11 軟質岩盤での水平動推定最大加速度のコンター