

第2章 兵庫県南部地震

2.1 地震の概要

平成7年1月17日午前5時46分に明石海峡付近を震源とするマグニチュード7.2の地震が発生した。この地震による被害は広範囲に及んだが、特に神戸市・芦屋市・西宮市・宝塚市などの阪神地域と淡路島北部では、建築物、土木構造物、都市施設などが激甚な被害を被った。気象庁はこの地震を「平成7年（1995年）兵庫県南部地震」と命名したが、その被害の大きさから、政府や報道機関などでは「阪神・淡路大震災」とも称されている。

(1) 震度分布

図2.1-1は気象庁発表による各地の震度を示したものである。神戸と洲本で震度6、京都、豊岡、彦根で震度5となったのをはじめ、関東北部から九州南部まで広い地域で有感となった。さらに、その後の現地調査により、図2.1-2に黒く示す神戸市須磨区から西宮市にかけての長さ約20km、幅約1kmの帯状の地域と宝塚市、淡路島の北淡町、一宮町、津名町の一部などで震度7の激震と発表された。震度7の地域が非常に狭く帯状に分布し、いわゆる「震災の帯」を形成したことが特徴として挙げられる。

一方、中央開発¹⁾²⁾は、独自の調査によりさらに詳細な震度分布図を作成した（図2.1-3）。この中には、震度7の地域のうち特に被害の激しい地域を「震度超7」と定義してその分布も示されている。気象庁、中央開発いずれの震度分布図によっても、狭い地域に被害が集中したことをはっきりと読み取ることができる。この「震災の帯」の形成理由については、地震直後からさまざまな説が唱えられたが、これらについては次節2.2で触れることにする。

(2) 余震分布

本震発生直後の余震の発生位置は本震の断層面とよく対応していることが知られており、余震の分布を調べることで本震の震源断層の位置を知る手がかりとなる。図2.1-4は、兵庫県南部地震発生から1カ月間の余震の震源分布³⁾を示したものである。余震は淡路島北西部から西宮市北部にかけての50km余りにわたり線状に分布していることがわかる。余震の深さは概ね5km~20kmの範囲に限られており、北東側では浅いものが少なくなる傾向を示す。一方、時空間分布からは、本震の震源付近では余震の数が少ないことがわかるが、これは、本震時の断層運動により、いわゆる「壊れ残り」がほとんど残らなかったためと考えられる。

(3) 活断層

図2.1-5は、神戸周辺の活断層の分布^{4),5)}を示したものである。神戸周辺には数多くの活断層が分布していることが以前から知られており、そのことはこの図からも明らかである。今回の地震では、淡路島西岸の野島断層で地表に1 m以上のずれが出現したが、神戸市側では地表面に達するずれは確認されていない。しかしながら、図2.1-4の余震分布との対応から、神戸側においても大月断層、五助橋断層、会下山断層、諏訪山断層などから構成される「六甲断層帯」が活動したことはほぼ間違いない。

「日本の活断層⁹⁾」によれば、野島断層および六甲断層帯を構成する活断層の活動度はいずれもB級（平均変位速度が1,000年あたり0.1~1.0mのもの）と評価されており、地震の平均的な繰り返し間隔は少なくとも1,000年以上と推定される（平均変位速度を1,000年あたり0.5mと仮定し、1回の地震により断層に2 mの変位が生じるとすれば、地震の平均的な繰り返し間隔は4,000年になる）。この繰り返し期間は一般の構造物の耐用年数と比較してはるかに長く、この意味で兵庫県南部地震は、このような低頻度巨大災害に対して耐震設計上どのように対処すべきかについて課題を残した地震といえる。

(4) 震源過程

震源過程の解析とは、得られた地震動波形をもとに震源断層においてどのような破壊が生じたかを同定するもので、新聞等で最初に公表されたのは菊地⁶⁾による結果（図2.1-6）である。これは、世界各地の記録に基づく結果で、明石海峡を中心とする長さ20km余りの右ずれの主破壊と、神戸側の2つのサブイベントからなっている。その後、神戸周辺の強震記録を用いた解析も実施され、さらに詳細な震源過程が明らかになりつつある。図2.1-7~図2.1-9はそれらの解析結果の例^{7)~9)}である。これらの解析結果の意味するところは、以下のようにまとめられる。

- ・断層面は北東から南西に走るほぼ鉛直の右横ずれ断層である。
- ・断層のずれは淡路島側では地表面近く、神戸側では深いところで大きい。
- ・断層面の北東側は神戸市から芦屋市付近まで達しているが、断層運動自体は明石海峡付近と比較してかなり小さい。
- ・強震動の主要な成分は明石海峡付近で発生したと考えられる。

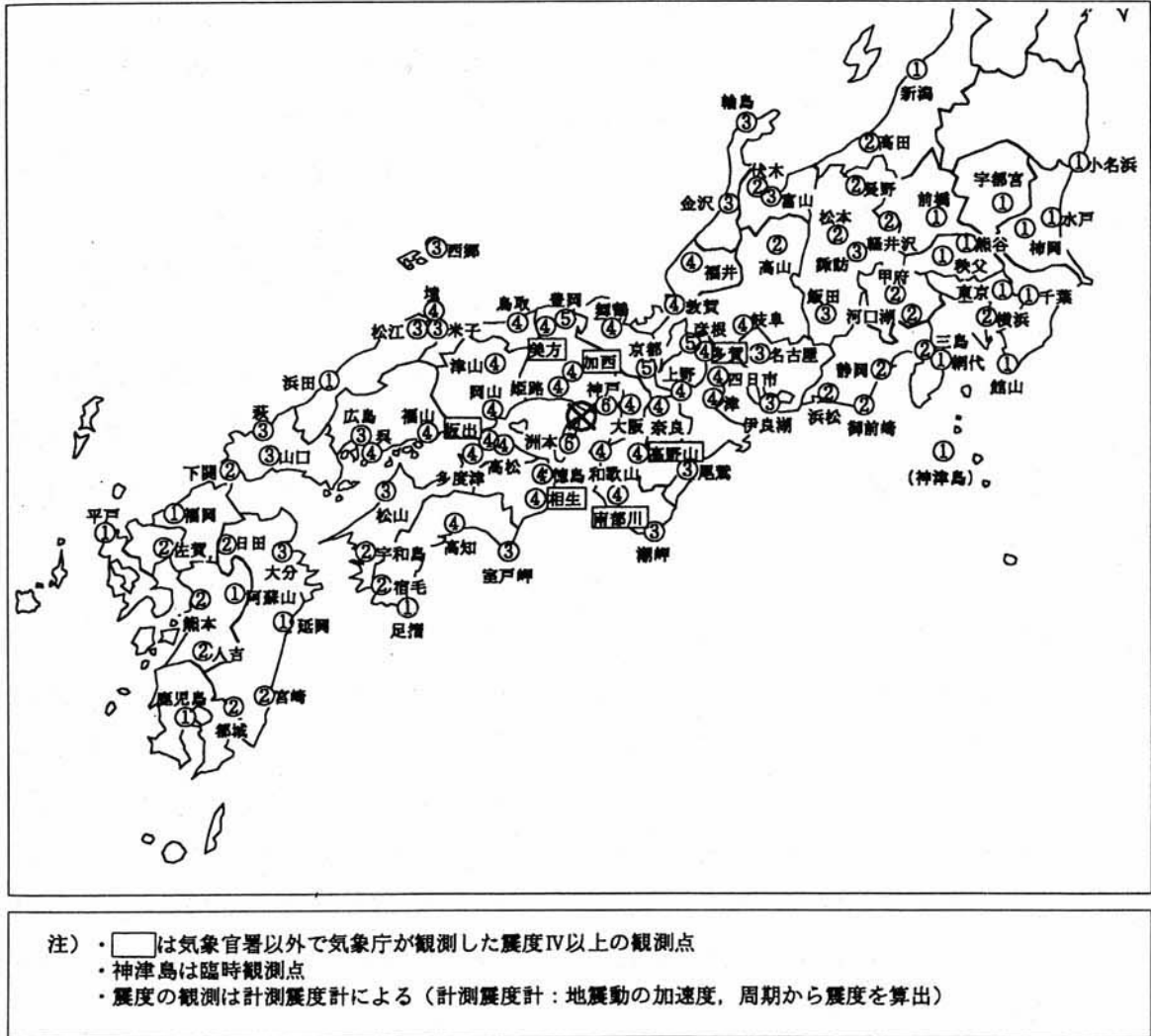


図2.1-1 兵庫県南部地震による各地の震度

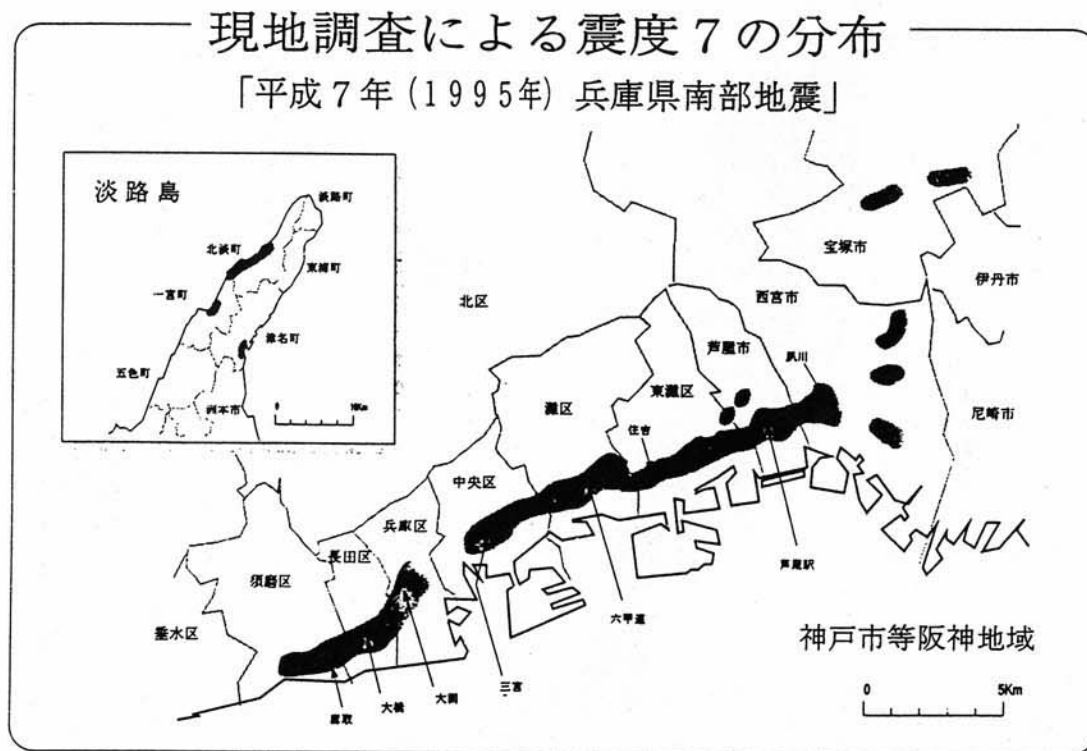


図2.1-2 気象庁による震度7の分布

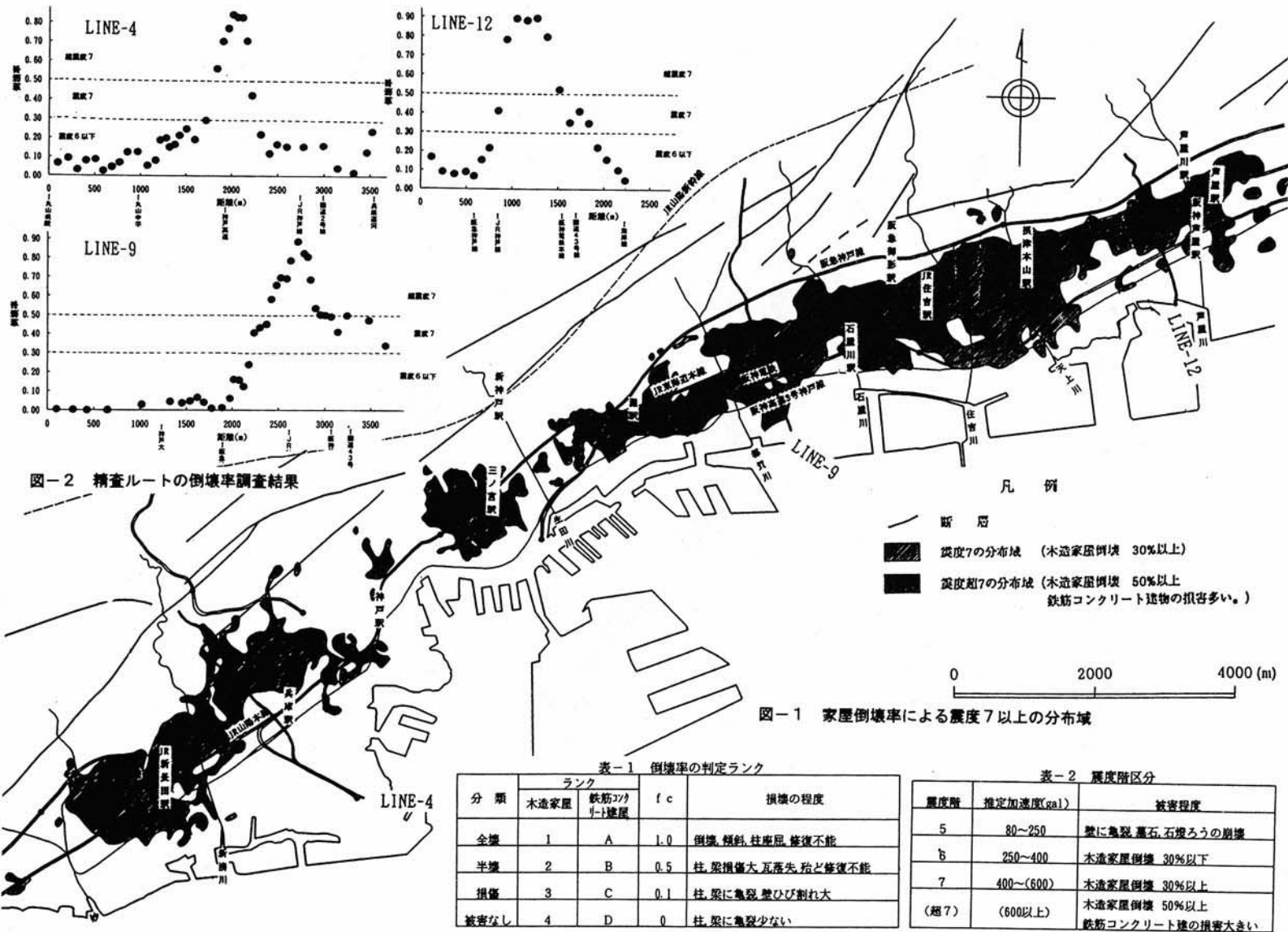


図2.1-3 中央開発による震度分布²⁾

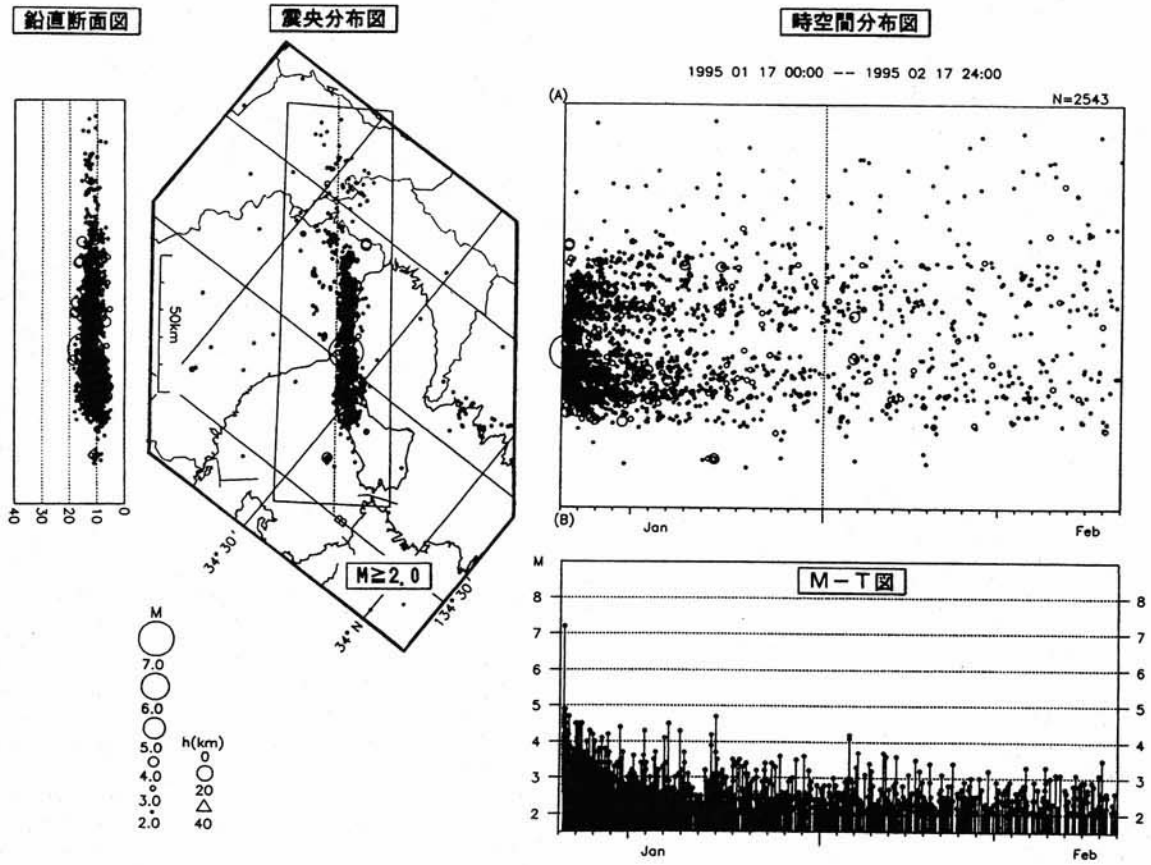


図2.1-4 本震発生から1カ月間の余震分布³⁾

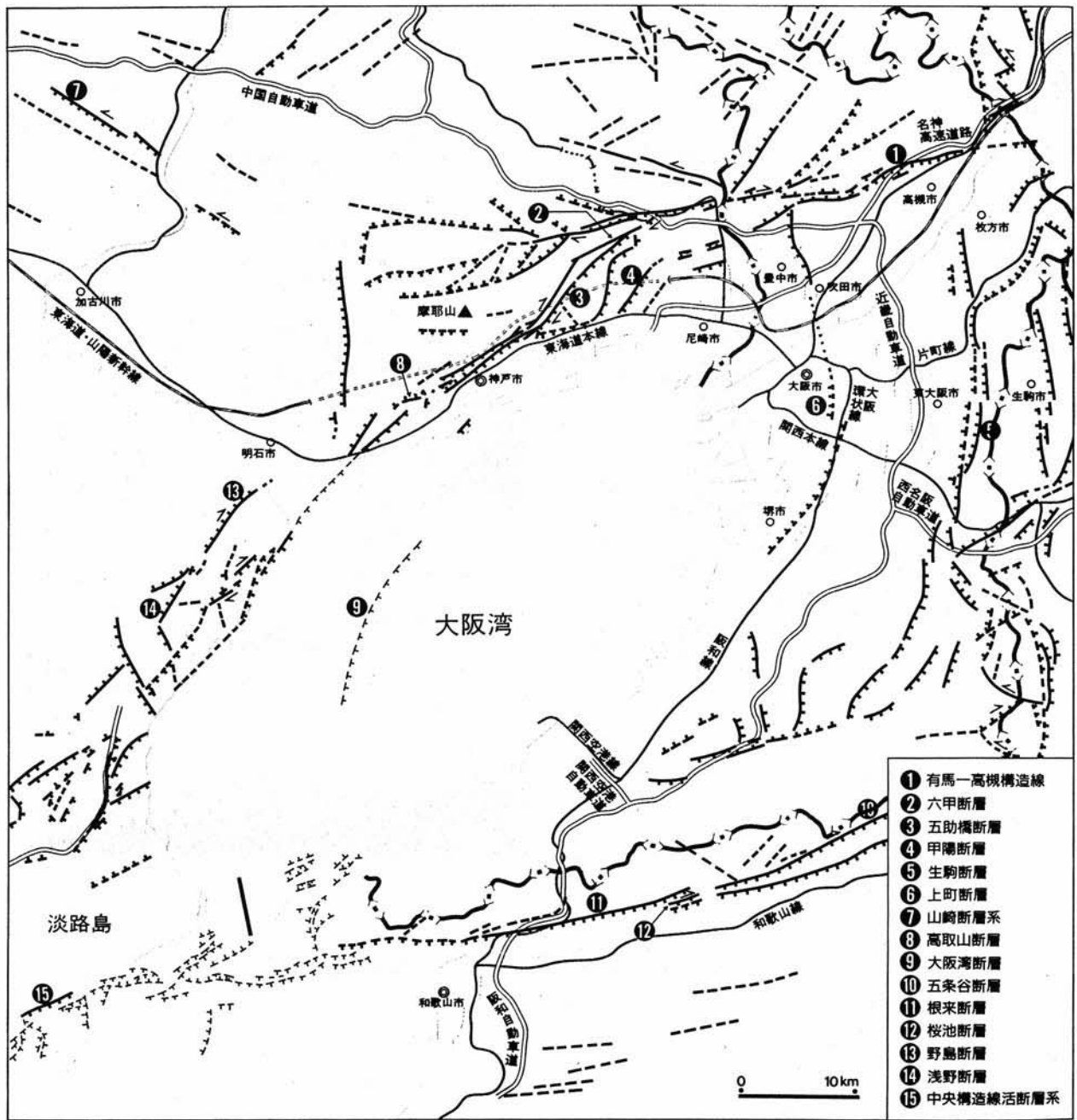


図2.1-5 神戸周辺の活断層分布⁴⁾ (元データ⁵⁾)

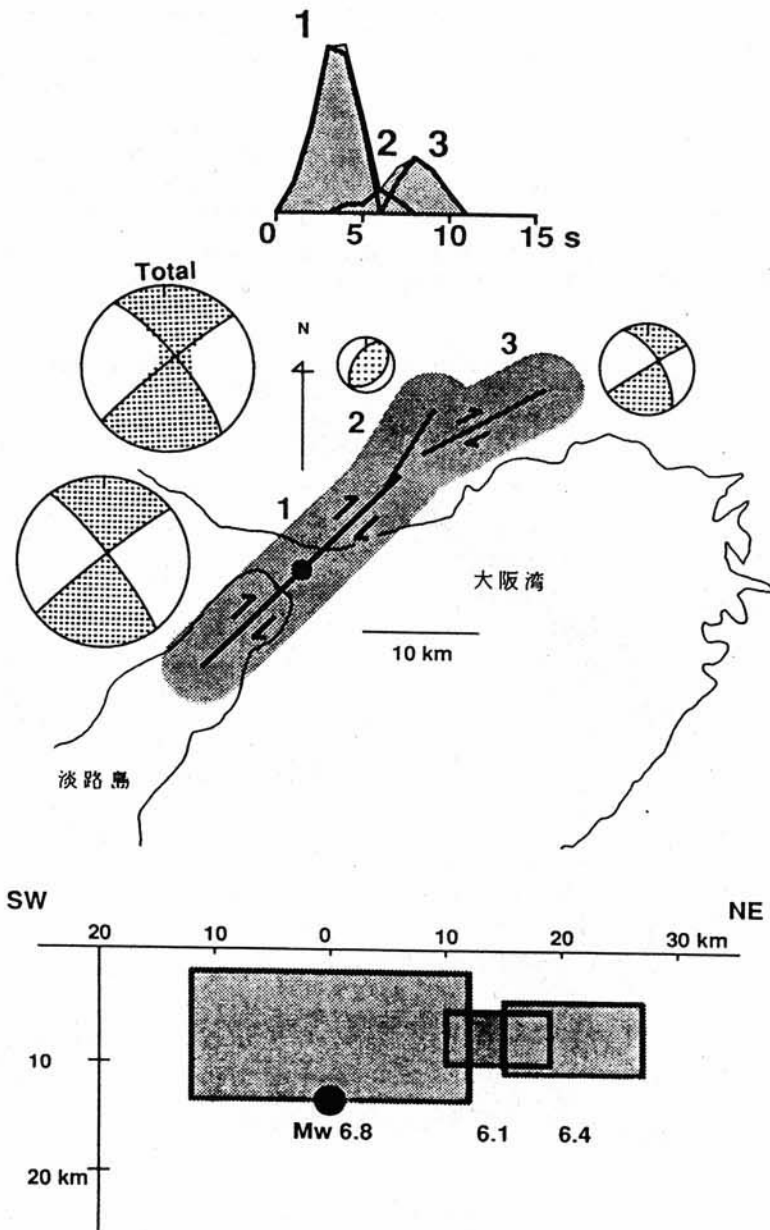


図3 兵庫県南部地震の震源モデル。(上) 震源時間関数。(中) 3つのサブイベントのメカニズム図(下半球等積投影)と断層線の空間分布(下) 北東-南西断面図。

図2.1-6 兵庫県南部地震の震源モデル⁶⁾

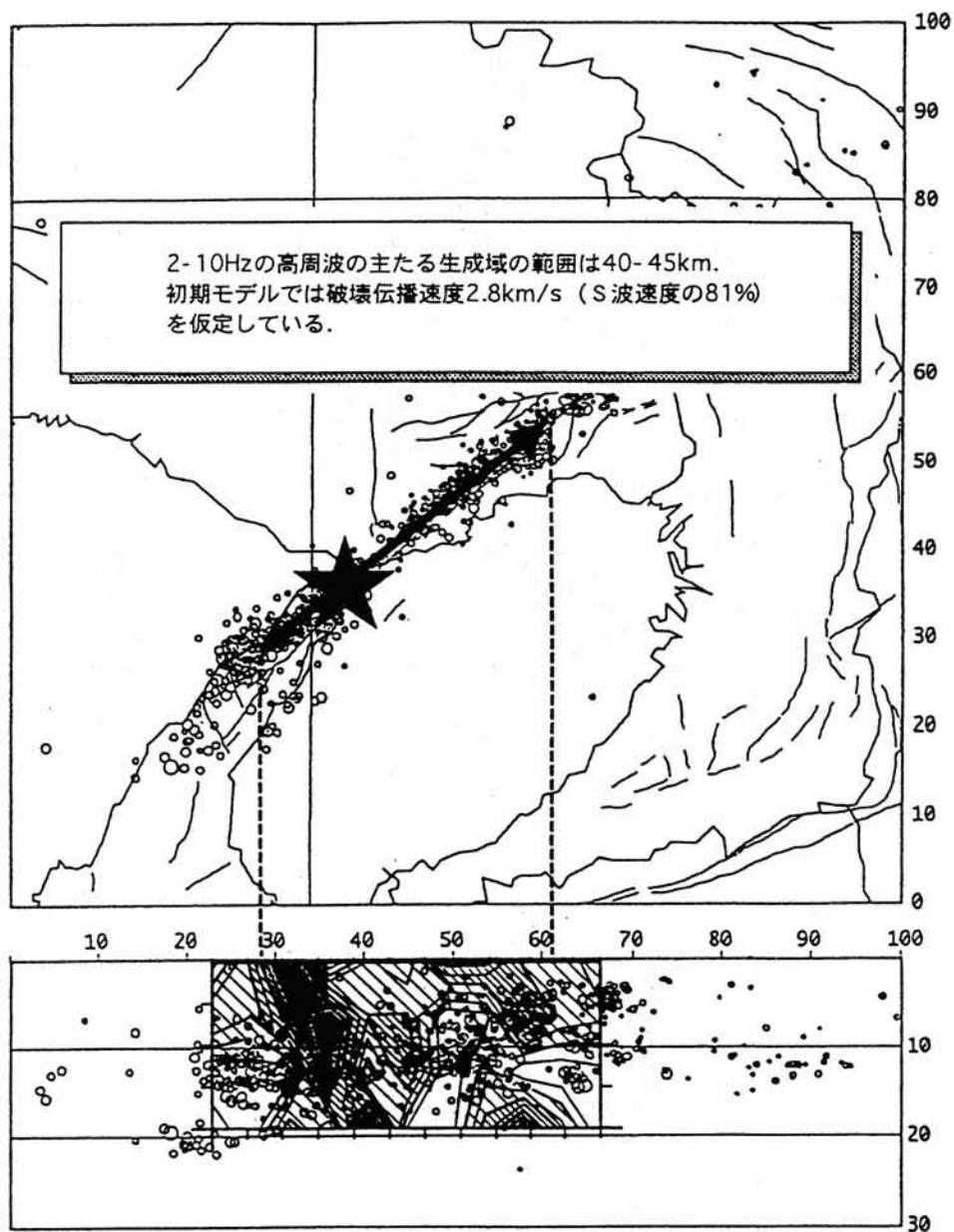


図2.1-7 兵庫県南部地震による高周波の発生領域の推定結果⁷⁾

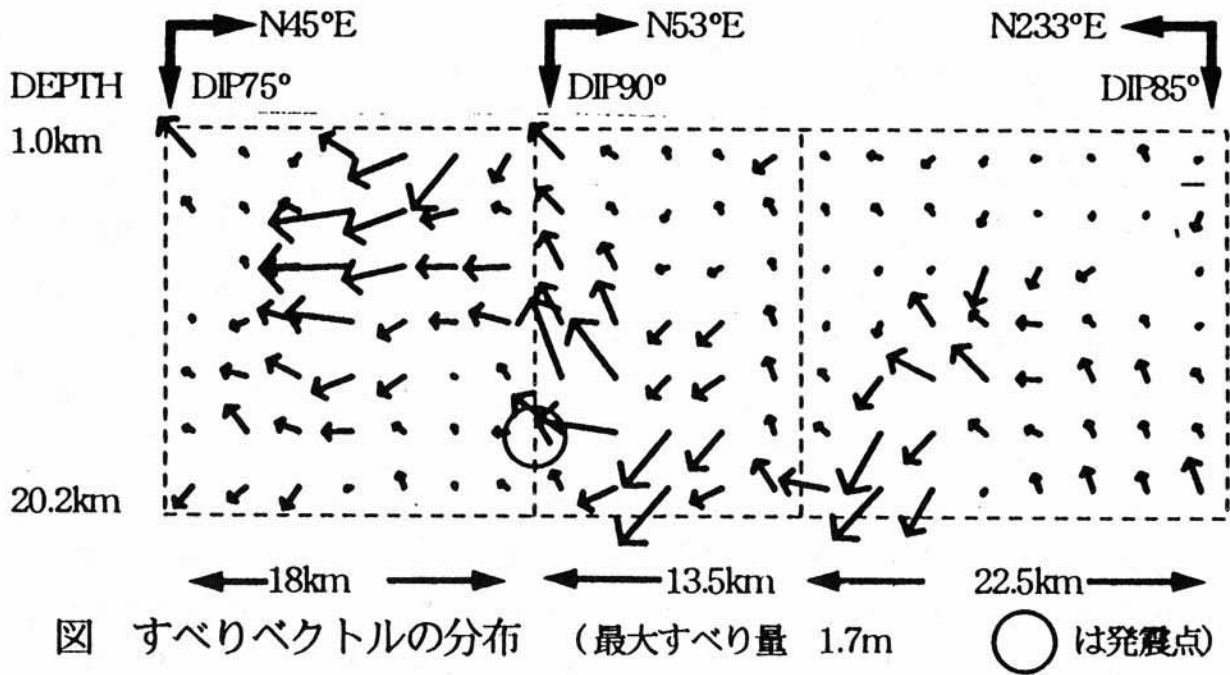


図2.1-8 兵庫県南部地震のすべりベクトルの推定結果⁸⁾

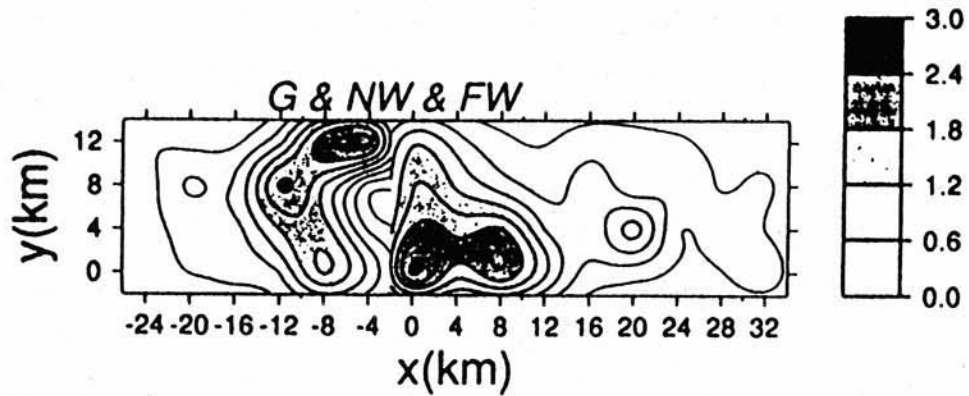


図3.すべり量分布(m単位). x=-26から-2kmまでが淡路側.

図2.1-9 兵庫県南部地震のすべり量分布の推定結果⁹⁾

2.2 地震動

(1) 強震観測記録

神戸市周辺は、関東地方と比較して地震計の設置台数がきわめて少なかったと言われている。その中で、関西地震観測研究協議会は3年前から組織的に強震計を配置しており、兵庫県南部地震では震源域の直上である神戸大学をはじめとして貴重な強震動が記録され、その波形がいち早く公開されたことは特筆される。図2.2-1は、関西地震観測研究協議会による観測速度波形¹⁰⁾である。これらの記録のうち、尼崎と震災の帯に近い神戸（本山）では水平成分が最大速度が40kineで振り切れている。一方、ほぼ岩盤上に設置された神戸大学においてはNS成分の最大速度が55kineに達しており、洪積・沖積層上の地点では表層地盤による増幅効果によりさらに振幅が大きかったことが示唆される。気象庁も神戸市中央区にある神戸海洋気象台で得られた強震記録ををはじめとして各地の記録を公開した。図2.2-2は、神戸海洋気象台の観測波形で、南北成分の最大加速度は818gal、最大速度は91kineで、振幅の大きい部分の継続時間はせいぜい10秒程度である。図2.2-3¹¹⁾には、神戸周辺の主な観測点位置とその地点の加速度波形をまとめて示す。

図2.2-4は、水平最大加速度の分布¹²⁾を示したものである。地点ごとに地盤条件が異なるために一概には論じられないが、震源から見て断層が破壊した方向である東北東方向で相対的に最大加速度が大きく、顕著な地域性が認められる。なお、これまでに公表されている最大加速度で最も大きいものは大阪ガス葺合の833galであり、最大加速度で見る限り釧路沖地震の際に釧路地方気象台で得られた919galをやや下回っている。最大速度に関しては、JR鷹取駅で100kineを超えるものが観測されている。

図2.2-5は、断層からの距離と最大加速度および最大速度の関係¹³⁾を示したものである。兵庫県南部地震で観測された最大振幅の値は既往の距離減衰式で推定されるものと整合しており、兵庫県南部地震の地震動が特別に大きかったわけではないことがわかる。

図2.2-6は神戸市内で得られた主な観測記録の加速度応答スペクトルを示したものである¹⁴⁾。神戸海洋気象台、関西電力新神戸変電所、大阪ガス葺合の3地点では、水平成分の加速度応答がかなり広い周期帯域で1,000galを超えており、周期によっては3,000galもの応答値を示している。残りの3地点のうち、神戸大学は岩盤上での記録であるため他地点よりも小さい値となっていると思われ、ポートアイランドと東神戸大橋は地盤の強非線形化の影響で水平成分の短周期成分が低減していると考えられる。一方、図2.2-7は、神戸海洋気象台の擬似速度応答スペクトルを既往の観測記録のものと比較したものである¹⁵⁾。水平成分については、周期0.7秒以下の領域では1993年釧路沖地震の際の釧路地方気象台や1994年のNorthridge地震のTarzanaの記録の応答スペクトルの方が大きい、周期1～2秒の範囲では神戸海洋気象台の応答スペクトルが最も大きくなっている。上下動に関しても、概ね同様の傾向が認められる。ただし、釧路沖地震と兵庫県南部地震

による被害を比較した場合、全体としては兵庫県南部地震の被害の方がはるかに大きい
が、上記の記録が得られた両気象台の建物はいずれも比較的軽微な被害を受けただけで
あり、2つの記録のスペクトル特性の違いを直ちに被害の大小と結びつけることはでき
ない。また、図2.2-6からもわかるように、兵庫県南部地震では震度7の領域内では記録
はほとんど得られていない。震災の帯の中では今回得られた観測記録よりもさらに強い
地震動に見舞われたであろうことを念頭に置いてこれらの記録を見る必要がある。

なお、上下動に関しては当初、特殊な被害形態との関連から、水平動の最大加速度と
の比(V/H)が1.0を超える地点がいくつかあることが注目され、上下動が被害の主犯で
はないかとの説も出た。しかしながら、その後の検討によれば、上下動が水平動を上回っ
ている地点の多くは埋め立て地盤や液状化サイトあるいは建物の地下の観測点であり、
地盤の非線形性や相互作用の影響による結果であろうと考えられている^{13),15)}。

(2) 液状化

図2.2-8は、神戸周辺の液状化地点の分布図¹⁰⁾であるが、液状化地点の判読は航空写真
に基づいて行われており、実際の液状化の範囲はさらに広いと思われる。この図からも
明らかなように、臨海部では広範囲で液状が発生しており、護岸や港湾施設、埋設管な
どに甚大な被害をもたらした。また、建築構造物等にも地盤沈下や側方流動に起因する
被害を受けたものが少なからず認められたが、これらの地域では震動そのものに起因す
ると思われる建物の被害はきわめて少なかったといわれている。

埋立地盤であるポートアイランドでは、神戸市開発局により地震計が設置されており、
兵庫県南部地震では地表/地中同時記録が得られた。図2.2-9は成分ごとの観測記録¹⁶⁾を
示したものであるが、水平成分については地表の最大加速度が地中のものよりも明らか
に小さくなっており、後続動部では振幅がなくなっている。一方、上下動の振幅は地表
に行くほど増大しており(GL-16mのスパイク状の信号は実際の地動ではないと思われ
る)、結果的に地表面では水平動の最大加速度を上回っている。ポートアイランドでは、
至る所で大量の噴砂が見られ、数十cm~数mにおよぶ沈下が生じたことから、地表付近
における水平成分の最大加速度の低減は液状化によるものと考えられている。また、図
2.2-10のように液状化解析により観測記録が非常によくシミュレートできる¹⁶⁾ことから、
このことは解析面からも裏付けられている。

(3) 震災の帯における地震動の強さ

すでに述べたように、兵庫県南部地震では、特に激しい被害が幅1~2kmの細長い帯

状に分布し、いわゆる「震災の帯」を形成した。今回の地震では貴重な強震記録が多数得られたものの、震災の帯の中ではほとんど記録が得られていない（JR鷹取駅のみ）ため、震災の帯の中ではどのような強さの地震動であったのか、また震災の帯の形成原因がどこにあったのかについて、観測記録に基づいた説得力のある説明はされていない。

このような状況下で、震災の帯の形成原因については、未知の伏在断層の存在、表層地質との関連、表層地盤による増幅、深い地下構造による増幅など、さまざまな説が唱えられた。これらのうち伏在断層説については、余震の発生位置と震度7の領域が明らかにずれていること（図2.2-1¹³⁾）や地震後に実施された地下探査の結果などから、現在ではほぼ否定されている。一方、地盤の影響については問題が複雑であり、さまざまな観点から観測や解析が実施されている。

常時微動観測結果例えば^{17), 18)}からは、六甲山側の岩盤地点に比べて堆積層上の地点の方がはるかに振幅が大きくなることが示されている（図2.2-12¹⁸⁾）。同様に、余震観測からも堆積層上の観測点の波形が基盤上のものに比べて著しく増幅していることが示されており、この増幅特性は1次元波動論でほぼ説明できるとの結果が得られている¹⁹⁾。

表層地盤の影響としては、海側ほど堆積層が厚くなる神戸特有の構造による「なぎさ現象」が指摘され、表層地盤の不整形性を考慮した解析²⁰⁾も実施されている。一方で、さらに深い地盤構造の影響が支配的であると指摘するものもある^{21), 22)}。文献²²⁾では、図2.2-13に示すような既存断層による基盤（花崗岩）の段差を考慮した2次元モデルを用いて六甲山側から海岸に至る大阪層群上面での地震動の分布を推定している。その結果によれば、断層からの距離が1 km前後の領域で水平動の最大振幅が最も大きく、最大加速度で800～1,200gal、最大速度で120～150kineとなっている（図2.2-14）。なお、地表面では大阪層群より上部の地盤の非線形増幅の効果により、最大値分布はかなり異なったものとなることが推測される。

また、(2)において触れたように、臨海部では液状化が発生しており、地表面の地震動の短周期成分が相当に低減されたことは間違いなく、図2.2-15²³⁾でも被害の大きかった地域と液状化したと推定される地域がほとんど重ならないことが示されている。このことから、被害の大きかった地域の海側の境界の形成要因の一つとして、液状化を含む表層地盤の強非線形挙動が関与しているものと考えられる。

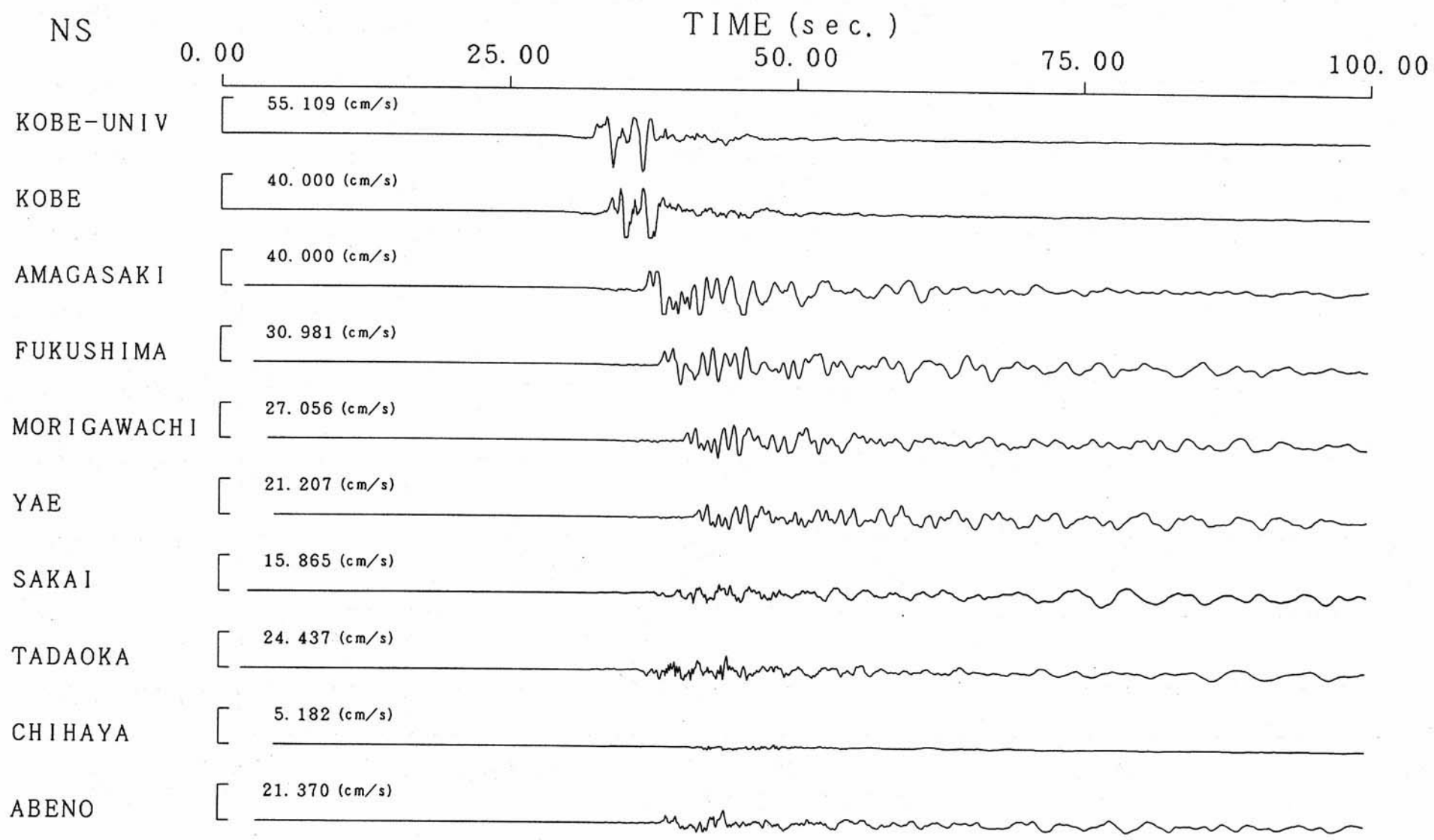


図2.2-1 関西地震観測研究協議会の観測波形¹⁰⁾ (その1 NS成分)

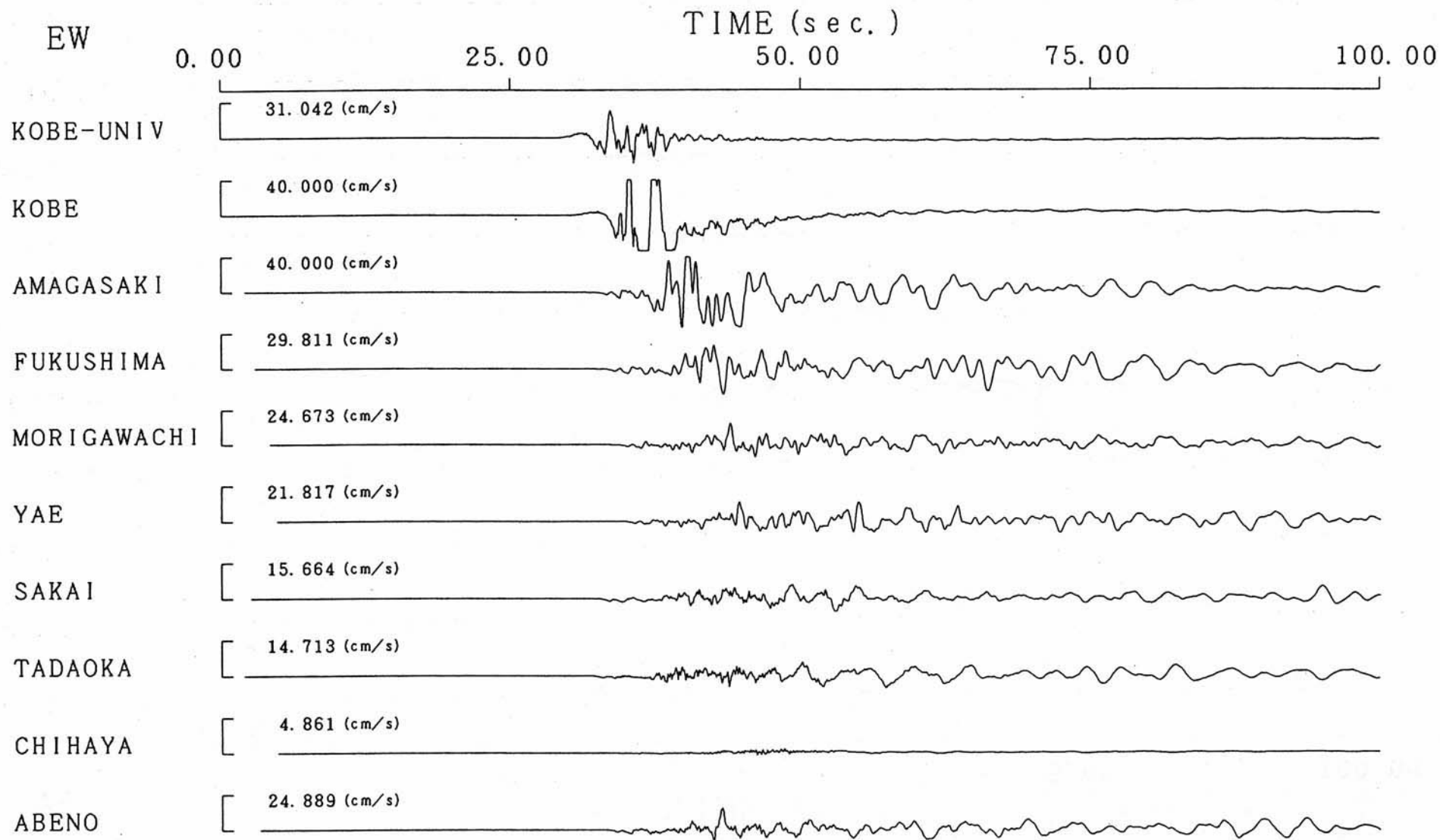


図2.2-1 関西地震観測研究協議会の観測波形¹⁰⁾ (その2 EW成分)

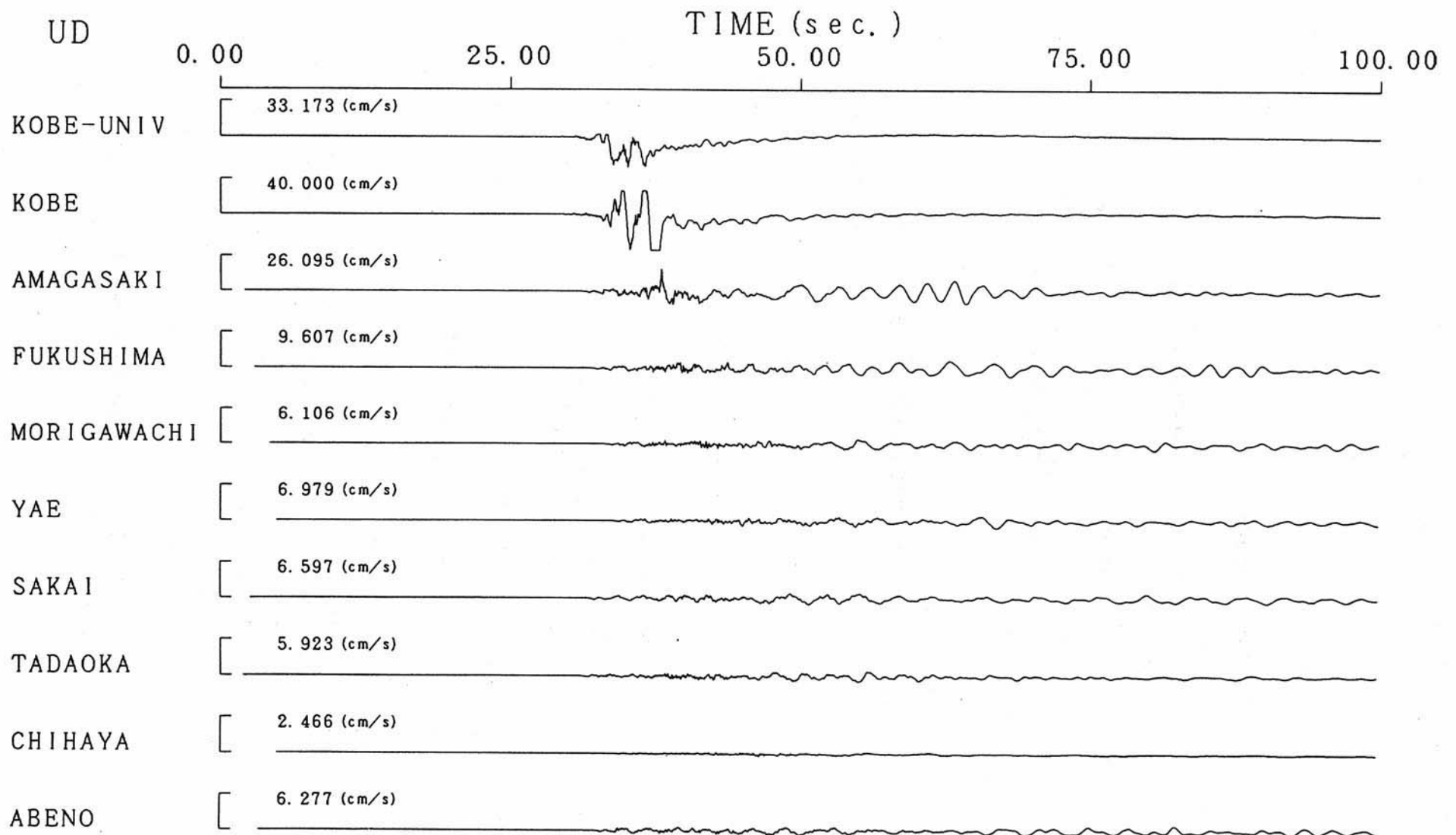


図2.2-1 関西地震観測研究協議会の観測波形¹⁰⁾ (その3 UD成分)

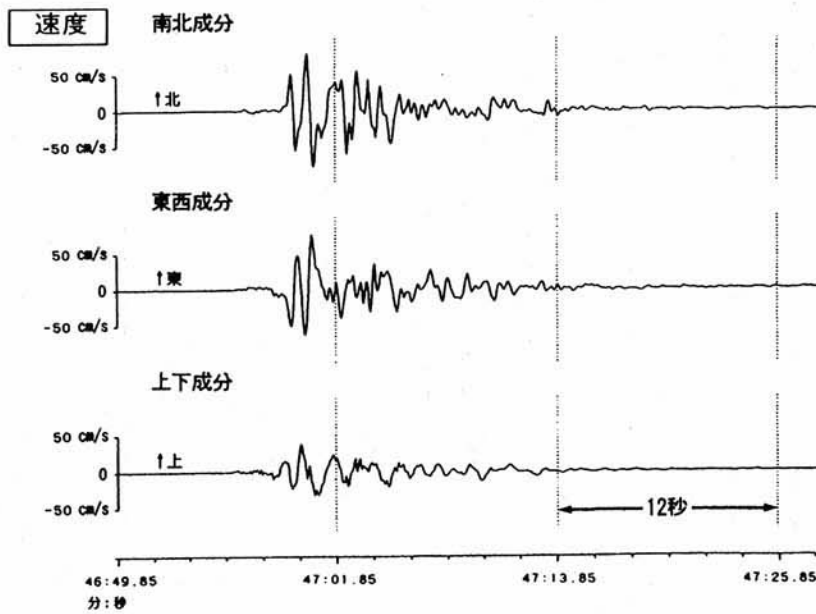
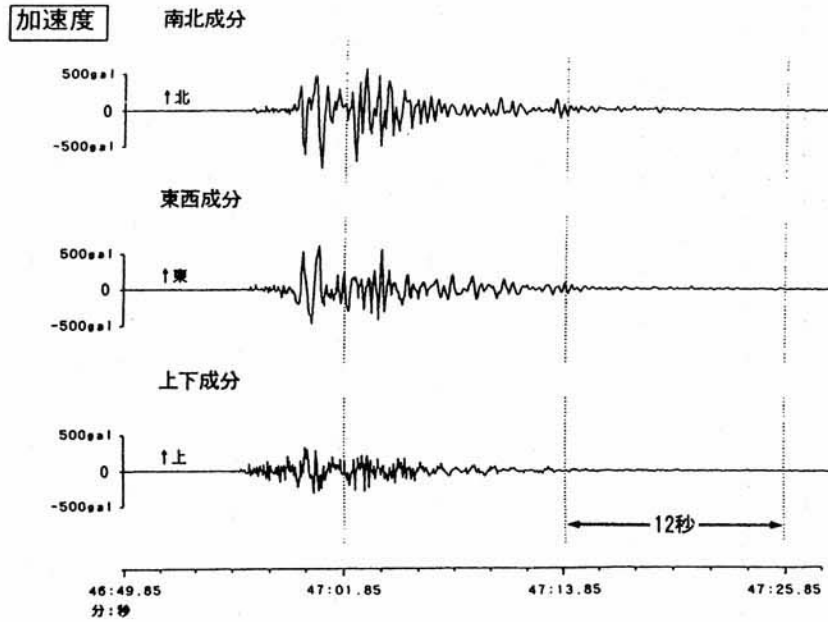


図2.2-2 神戸海洋気象台の観測波形

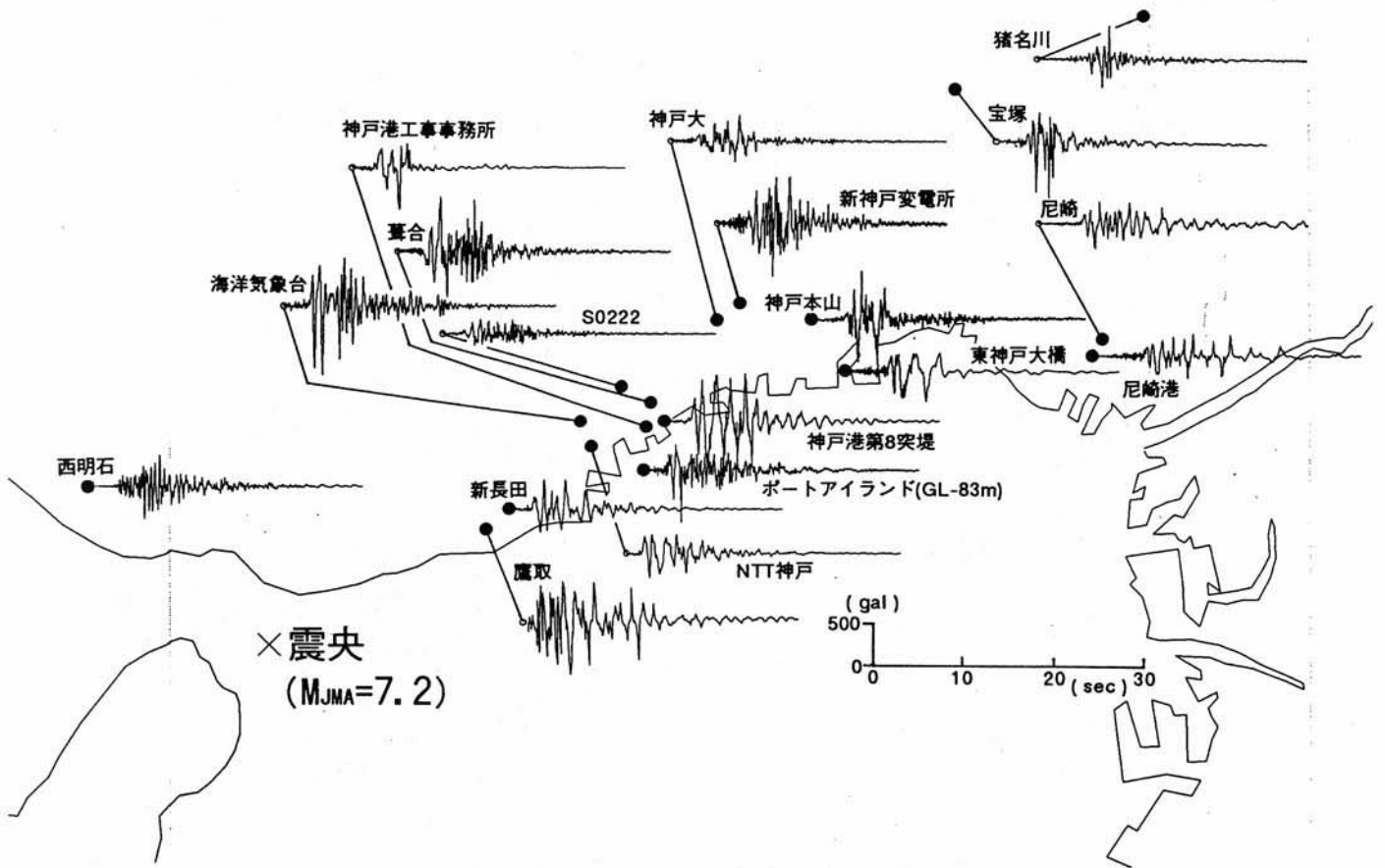


図2.2-3 神戸市周辺の観測点位置と加速度波形¹¹⁾

(西明石、鷹取、宝塚はNS成分、他は震源方向直交(T)成分)

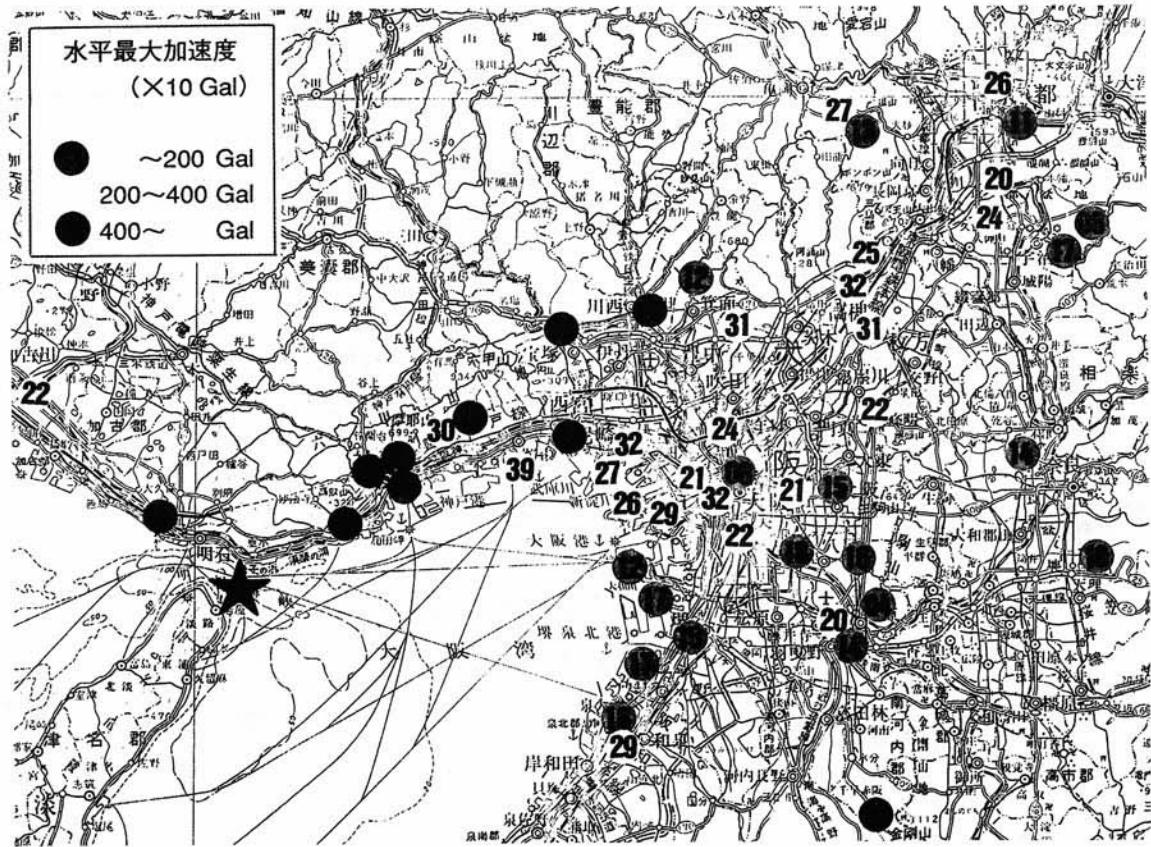


図2.2-4 各地点の水平最大加速度分布¹²⁾

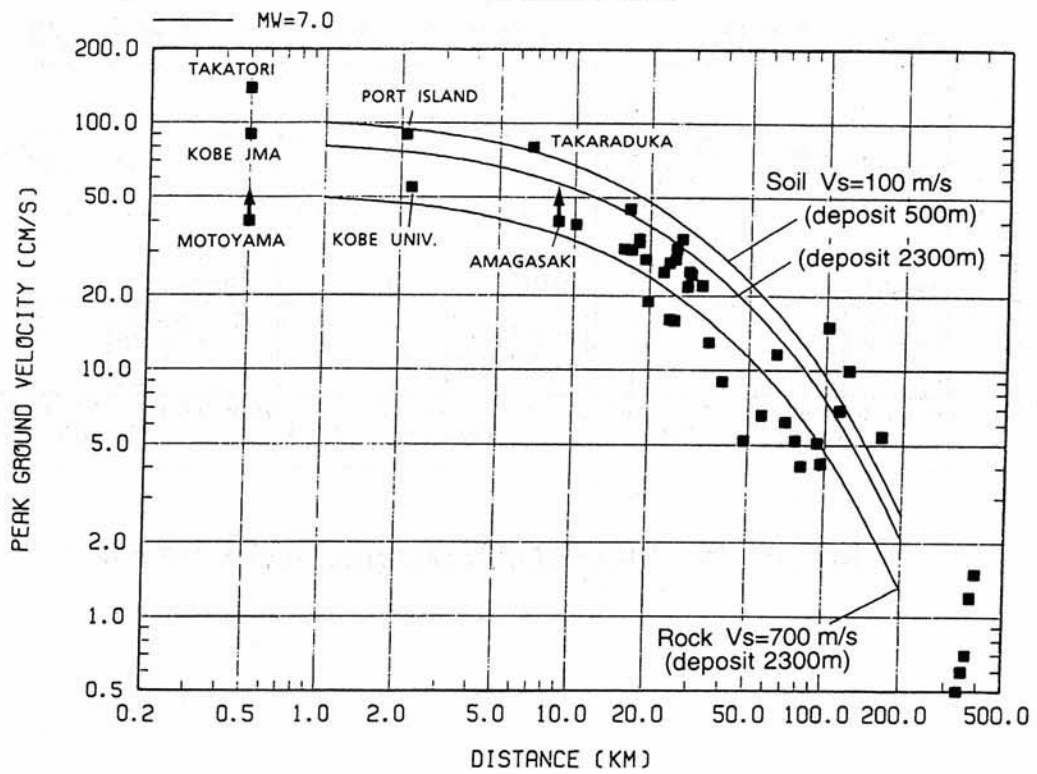
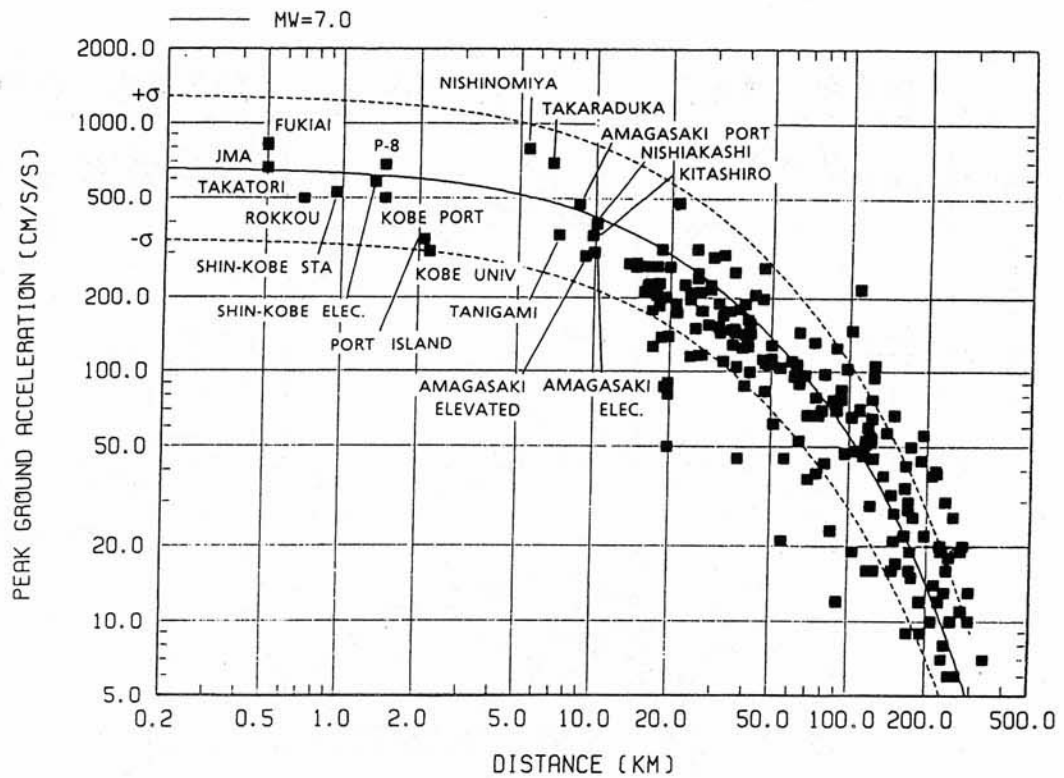


図2.2-5 断層からの距離と最大加速度（上）および最大速度（下）の関係¹³⁾

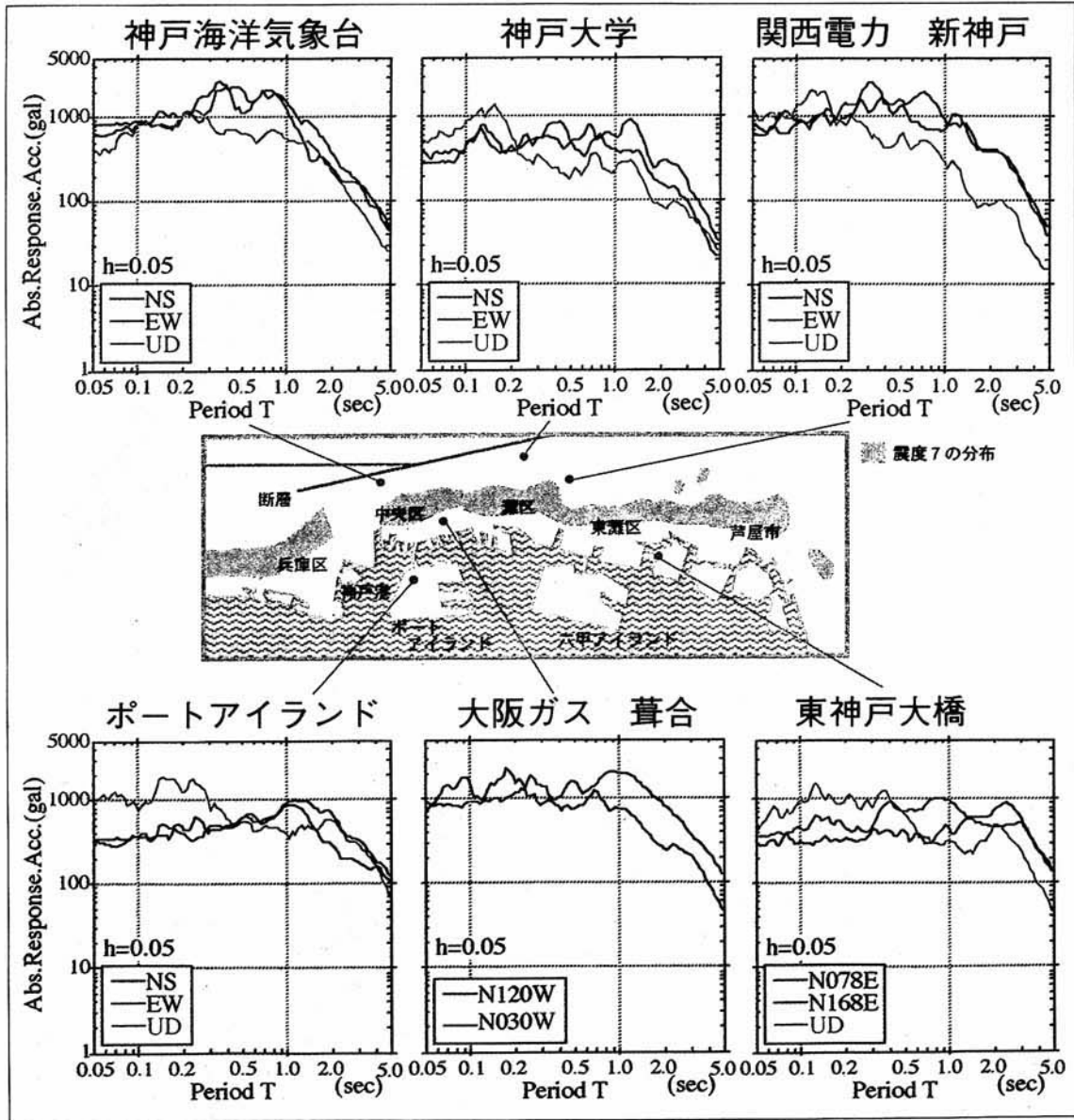
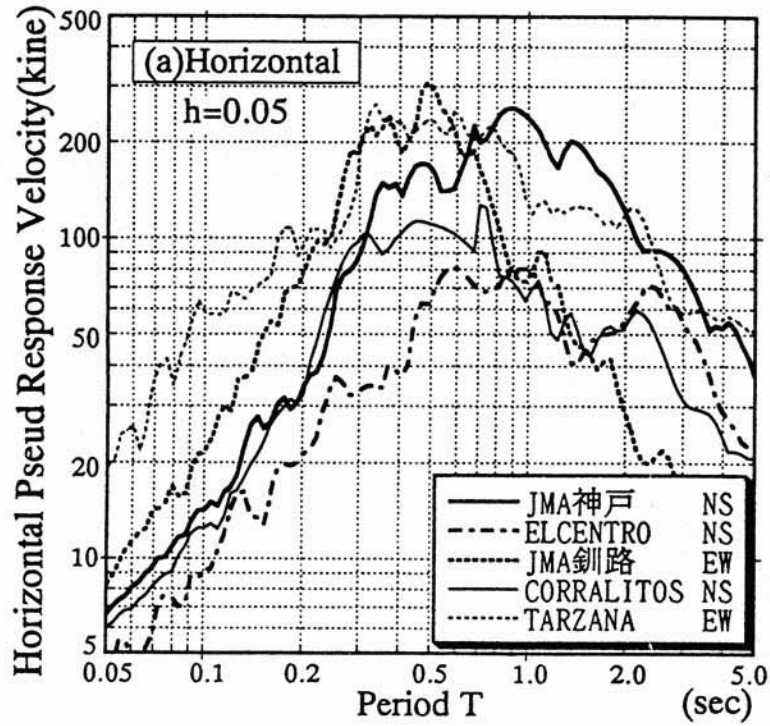
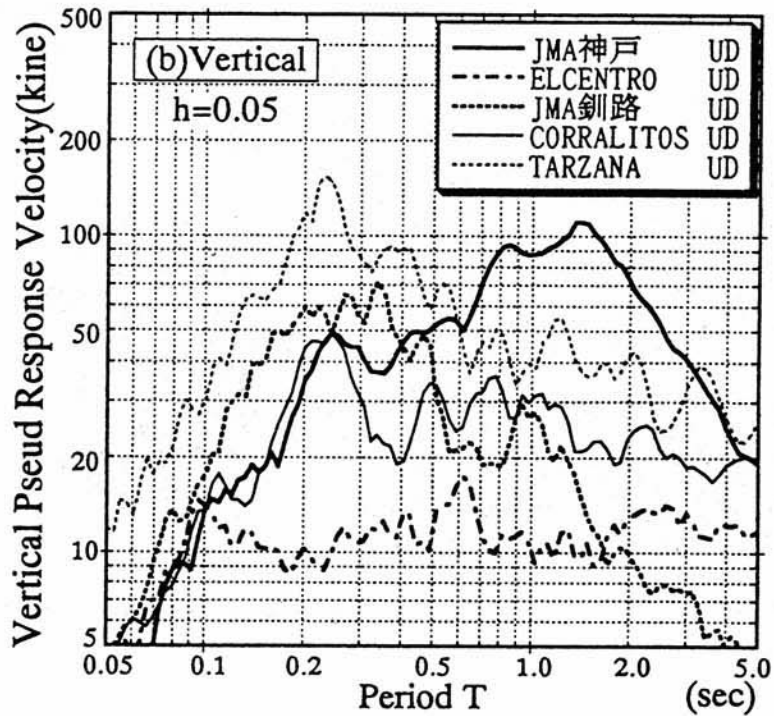


図2.2-6 神戸市周辺の観測記録の加速度応答スペクトル¹⁴⁾



(a) 水平成分



(b) 上下成分

図2.2-7 神戸海洋気象台と既往の強震記録の擬似速度応答スペクトルの比較¹⁵⁾

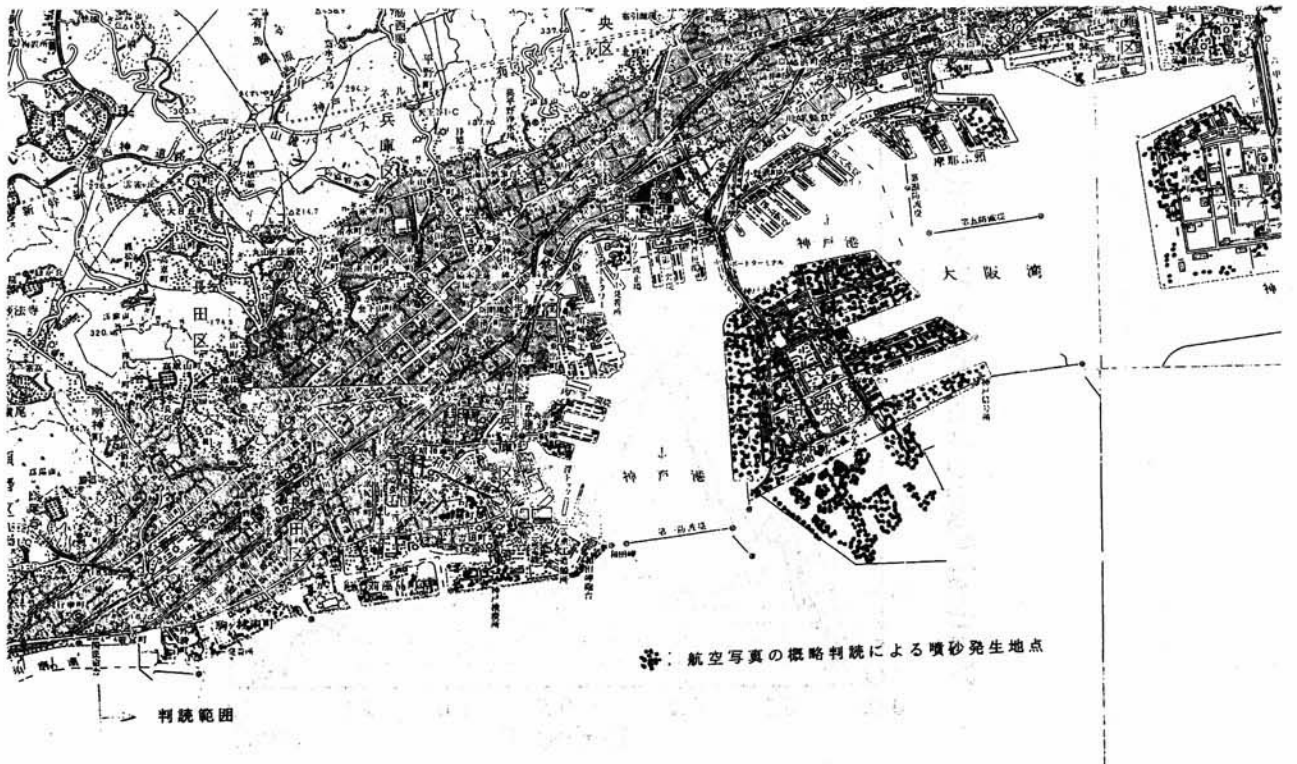


図2.2-8 航空写真から判読した液状化地点の分布¹⁰⁾

表1 地盤構造と地震計設置位置(▶が地震計設置位置)

No.	深度 (m)	主な土質		P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)	平均 N 値	密度 (t/m ³)
▶ 1	0.0~2.0	砂礫	埋立土砂	0.26	0.170	5.2	1.80
2	2.0~5.0	砂礫					
▶ 3	5.0~12.6	砂礫					
▶ 4	12.6~19.0	礫混じり砂		1.48			1.80
▶ 5	19.0~27.0	粘土	沖積粘土層 Ma13	1.18	0.180	3.5	1.50
▶ 6	27.0~37.0	砂		1.33	0.245	13.5	1.85
▶ 7	37.0~50.0	礫混じり砂、砂	第1洪積砂礫層	1.53	0.305	36.5	1.85
▶ 8	50.0~61.0	砂		1.61	0.350	61.9	1.85
▶ 9	61.0~83.0	粘土	洪積粘土層 Ma12		0.303	11.7	1.80
▶ 10	83.0~	礫混じり砂	第2洪積砂礫層	2.00	0.320	68.0	1.90

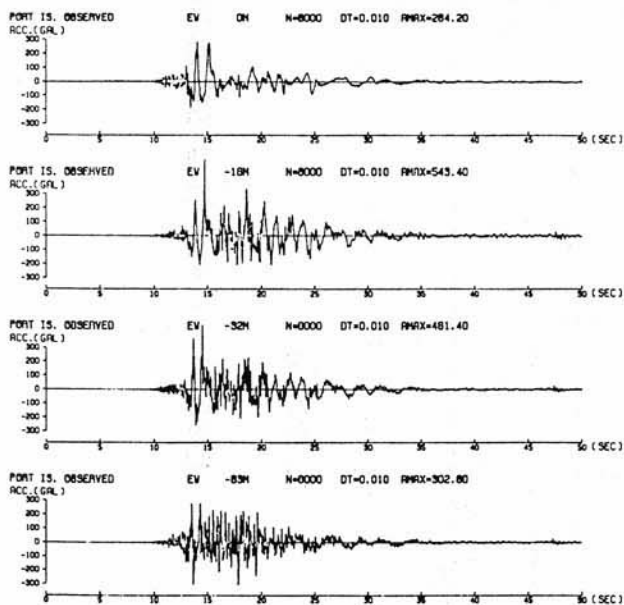


図3 EW成分の地中と地表の加速度波形

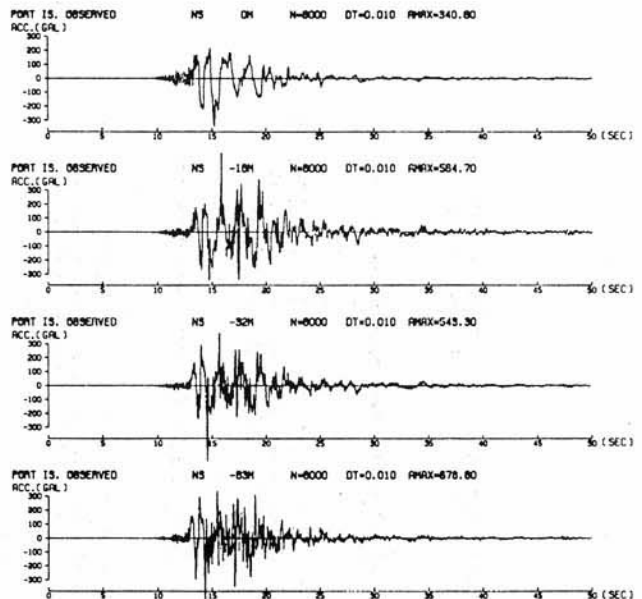


図2 NS成分の地中と地表の加速度波形

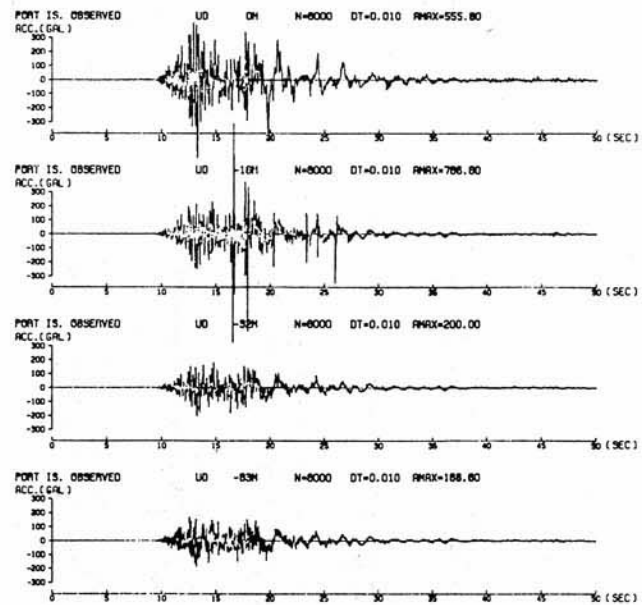
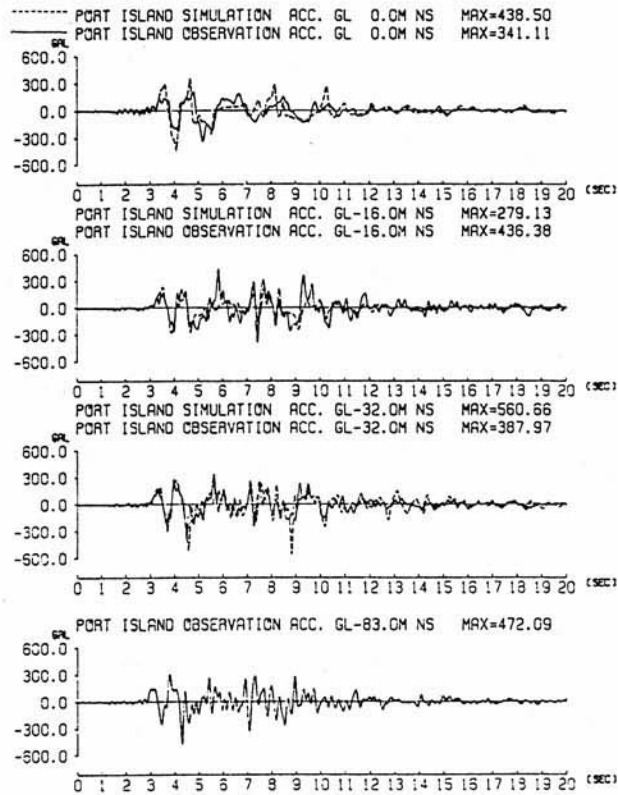
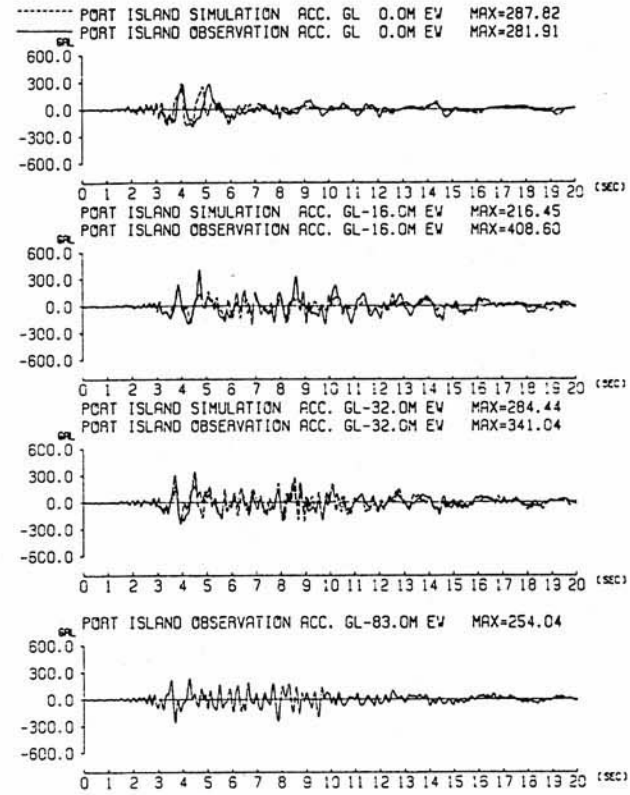


図4 UD成分の地中と地表の加速度波形

図2.2-9 ポートアイランドにおける地震計設置位置と観測記録¹⁶⁾



(a) NS成分



(b) EW成分

図2.2-10 液状化解析による観測記録のシミュレーション結果¹⁶⁾



図-1 Port Island Lineの常時微動測定位置

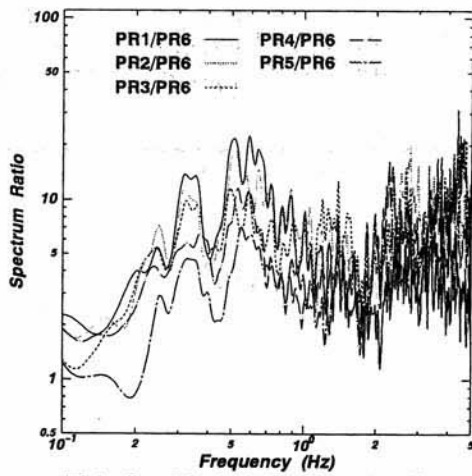


図-2 Port Island Lineのスペクトル比

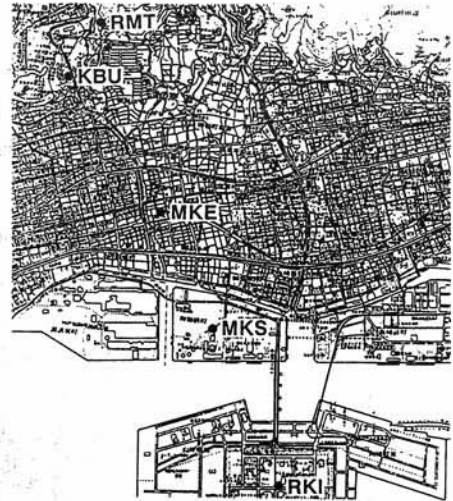


図-3 Rokko Island Lineの常時微動測定位置

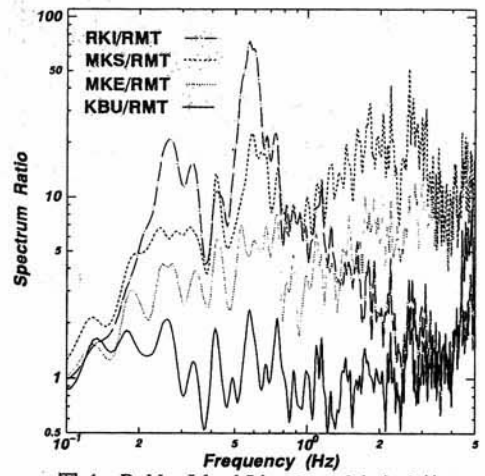


図-4 Rokko Island Lineのスペクトル比

図2.2-12 常時微動測定結果のスペクトル比¹⁸⁾

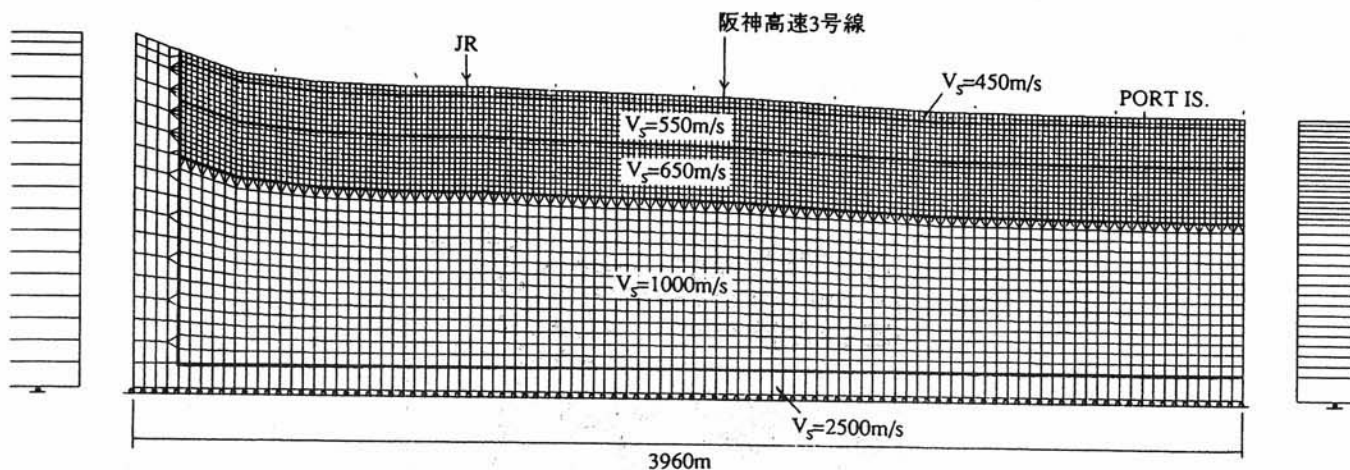


図2.2-13 三宮付近における地震動シミュレーションのための2次元FEMモデル²²⁾

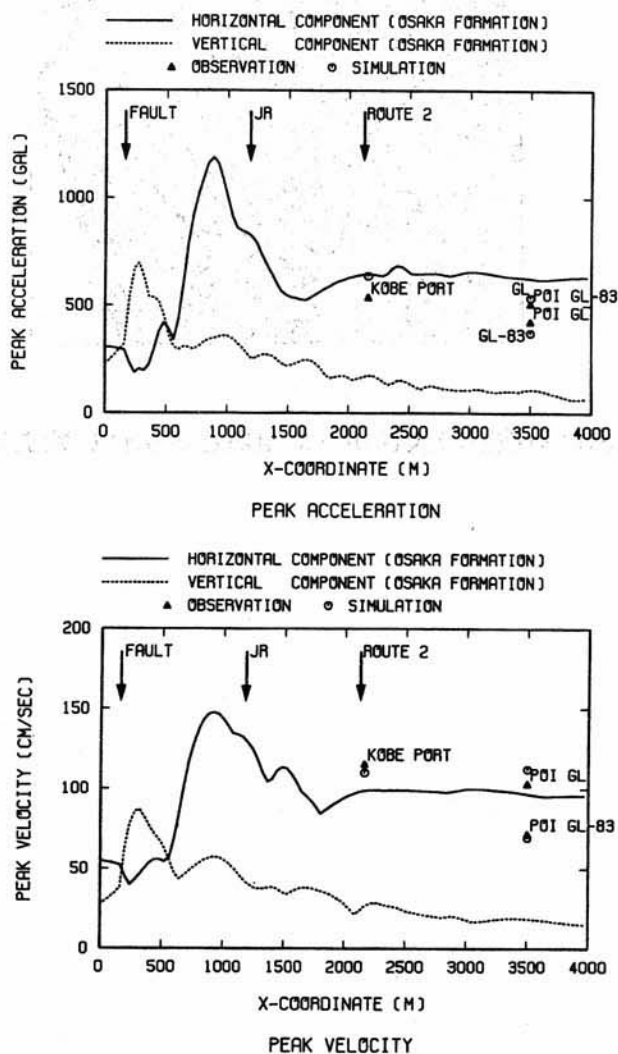


図2.2-14 シミュレーションによる最大地動の分布²²⁾

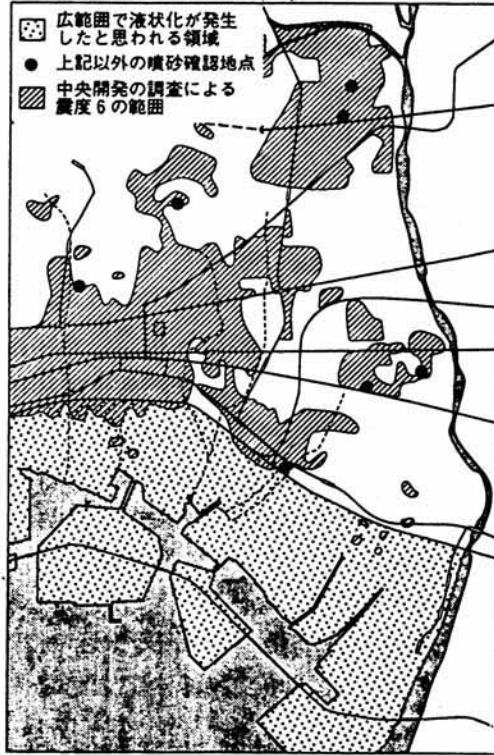


図2.2-15 西宮市における被害の大きかった地域と液状化が発生したと推定される領域の比較²³⁾

<第2章 参考文献>

- 1) 中央開発株式会社：阪神大震災災害調査報告書，平成7年3月。
- 2) 小野諭・石川浩次・溝口昭二：1995年兵庫県南部地震による建物等被害度について，土木学会第50回年次学術講演会講演概要集 第1部(B)，I-474，pp.948-949，1995.9.
- 3) 吉川澄夫・伊藤秀美：1995年兵庫県南部地震の概要，1995年兵庫県南部地震—近代都市直下に起こった大地震の報告—，月刊地球，号外No.13，海洋出版株式会社，pp.30-38，1995.8.
- 4) イミダス編集部：日本列島・地震アトラス「活断層」，イミダス特別編集，集英社，1995.5.
- 5) 活断層研究会編：新編日本の活断層—分布図と資料—，東京大学出版会，1991.
- 6) 菊地正幸：遠地実体波による震源のメカニズム，1995年兵庫県南部地震—近代都市直下に起こった大地震の報告—，月刊地球，号外No.13，海洋出版株式会社，pp.47-53，1995.8.
- 7) 入倉孝次郎：1995年兵庫県南部地震による強震動，1995年兵庫県南部地震—近代都市直下に起こった大地震の報告—，月刊地球，号外No.13，海洋出版株式会社，pp.54-62，1995.8.
- 8) 関口春子ほか：強震動記録の波形インバージョンによる兵庫県南部地震の破壊域と破壊過程，日本地震学会講演予稿集，1995年度秋期大会，A75，1995.9.
- 9) 吉田真吾ほか：強震計記録、遠地実体波、地殻変動データの同時インバージョンによる兵庫県南部地震の震源過程，日本地震学会講演予稿集，1995年度秋期大会，A76，1995.9.
- 10) 土木学会：阪神大震災震害調査緊急報告会資料，1995.2.
- 11) 若松邦夫：震源域での強震動，第23回地盤震動シンポジウム—1995年兵庫県南部地震で試された地盤震動研究—，日本建築学会，pp.11-20，1995.10.
- 12) 土木学会兵庫県南部地震震災調査団：阪神・淡路大震災・緊急報告会開催される，土木学会誌，1995年3月号，pp.2-11，1995.3.
- 13) 福島美光・入倉孝次郎：1995年1月17日兵庫県南部地震における最大振幅の距離減衰，日本建築学会学術講演梗概集，B-2（構造II），pp.149-150，1995.8.
- 14) 土岐憲三・後藤洋三・江尻讓嗣・澤田純男：兵庫県南部地震の震源特性と地盤震動特性，土木学会誌，1995年9月号，pp.32-43，1995.9.
- 15) 江尻讓嗣・後藤洋三・土岐憲三：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講演概要，土木学会耐震工学委員会，pp.237-240，1995.7.
- 16) 川瀬博・佐藤智美・福武毅芳・入倉孝次郎：兵庫県南部地震による神戸市ポートアイランドでのポアホール観測記録とそのシミュレーション，日本建築学会構造系論

- 文集, 第475号, pp.83-92, 1995.9.
- 17) 岡本昌治・大場新太郎：神戸市の市街中心部における微動特性, 日本建築学会学術講演梗概集, B-2 (構造II), pp.179-180, 1995.8.
 - 18) 太田外氣晴・竹原崇夫：神戸市における地盤の常時微動と表層地盤の特性, 日本建築学会学術講演梗概集, B-2 (構造II), pp.181-182, 1995.8.
 - 19) 川瀬博・佐藤智美・松島信一・入倉孝次郎：余震観測記録に基づく兵庫県南部地震時の神戸市東灘区における本震地動の推定, 日本建築学会構造系論文集, 第476号, pp.103-112, 1995.10.
 - 20) Adam M. and H. Takemiya : Soil Amplification by Topographies During Hyogoken Nanbu Earthquake, 第23回地震工学研究発表会講演概要, 土木学会耐震工学委員会, pp.245-248, 1995.7.
 - 21) 川瀬博・林康裕：兵庫県南部地震時の神戸市中央区での基盤波の逆算とそれに基づく強震動シミュレーション, 日本建築学会構造系論文集, 1996年2月号掲載決定.
 - 22) 永野正行・源栄正人：神戸市の基盤不整形構造を考慮した地盤震動特性に関する解析的検討 (その1 平面波入射による地震動の増幅特性), 日本建築学会学術講演梗概集, B-2 (構造II), pp.171-172, 1995.8.
 - 23) 奥村俊彦・石川裕：兵庫県南部地震における西宮市内の被害とその特徴, 第23回地震工学研究発表会講演概要, 土木学会耐震工学委員会, pp.581-584, 1995.7.