

本特集は、近代都市にさわめて甚大な人的・物的被害をもたらした阪神・淡路大震災を深刻かつ真剣に受けとめ、今後の大きな教訓とするため、①地震の特性、②地震被害の特性、③建造物の耐震性、④インフラシステム機能の信頼性、⑤社会経済システムと震災、⑥復興計画・防災計画、に大別し、それぞれの専門分野の方々から個人の立場から、被害の原因、問題点、教訓、復旧復興への提言、今後の耐震・防災のあり方等について述べていただくものです。

土木学会誌編集委員会

兵庫県南部地震の震源特性と地盤震動特性

A Brief Review of Source Effects and Local Site Effects during Hyogo-ken Nanbu Earthquake

フェロー	工博	京都大学教授	工学部交通土木工学教室	土岐 憲三	Kenzo TOKI	
	正会員	工博	大林組技術研究所	後藤 洋三	Yozo GOTO	
	正会員	工修	大林組技術研究所	江尻 譲嗣	Joji EJIRI	
	正会員	工修	京都大学助手	工学部交通土木工学教室	澤田 純男	Sumio SAWADA

はじめに

1995年1月17日5時46分に明石海峡付近を震源としてマグニチュード7.2の地震が発生した。この地震の地震動が強烈を極め、多くの犠牲者を出したことは周知の通りである。

なぜこのような被害が発生したのかを解明するには、地震動の特性を理解することが重要である。幸いにして関西地域においても数多くの強震計が稼働しており、貴重な記録が得られている。しかし被害がかなり限られた狭い地域に集中しており、強震計の密度はそれをカバーできるほど密ではないので、今回の地震被害のすべてを十分説明できるような地震動特性の解明は、得られた記録だけからは困難である。そこで本稿では、本震観測記録に加え、地震後に行われた余震観測、地盤構造探査およびこれらの解析結果から、震源特性と地盤震動特性について現在明らかになってきたことを概観し、地震動の特徴と被害の関係について考察を進める。

震源特性と最大加速度分布

(1) 震源断層

近畿地方には六甲断層系、生駒断層系、有馬—高槻構造線、花折断層系、山崎断層系等多数の活断層があることはよく知られているが、これらの活断層のほとんどは活動度がB級（平均変位速度が0.1m/1000年のオーダー）で活動周期は数千年程度と考えられている。今回の地震を引き起こした六甲断層系は数多くの活断層から成っているが、活動的なものでもB級で、数千年に一回の地震が今回発生したと考えることができる¹⁾。しかし、生駒断層系や花折断層系などでは数百年から千数百年前に活動したことがほぼ確認されていたのに対し、六甲断層系は最後の活動時期が明らかになっていなかった。また図-1の上図には、1976年1月16日から1995年1月15日までの震央分布を示しているが、この中から六甲断層系に対応する部分だけを抽出し鉛直断面を描いたのが図-1の下図である。このように、今回の地震で活動した部分は地震がほとんど発生していない

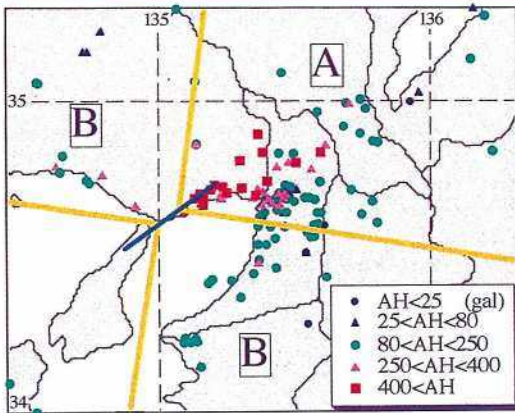


図-4 水平最大加速度分布と解析に用いた領域分割

明らかになってきたためである。

(3) 最大加速度分布

図-4は、強震計で観測された地震動の水平最大加速度値(AH)の分布を示している^{9),10)}。震源断層近傍では特に断層線(ほぼ北東—南西)に沿って加速度が大きく400 galを越える記録が観測されている。また京都付近で250 gal以上の最大加速度が観測されるなど、断層線の北東方向の延長線上ではかなり遠方まで大きな地震動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、震源特性のひとつであるディレクティブティ効果(指向性効果)で説明することができる。ディレクティブティ効果は、断層の破壊が進む方向に大きな地震動が放出される現象で、ドブラー効果に似ているが振幅が大きくなるだけで観測される周波数はほとんど変化しないので、地震学の分野では区別してこう呼ばれている。すなわち、今回の地震では断層のほぼ中央の明石海峡付近から両側に破壊が進行したため、断層線の延長方向にはディレクティブティ効果で大きな地震動が放出されることが理論的に説明できる。図-5は、釜江・入倉の統計的波形合成法¹¹⁾を用いて、今回の地震断層から発生した地震基盤面上での地震波動のシミュレーションを行ったものである^{12),13)}。赤色の濃い部分が伝播する波動エネルギーの大きな部分を示しており、断層線の延長線方向に大きな波

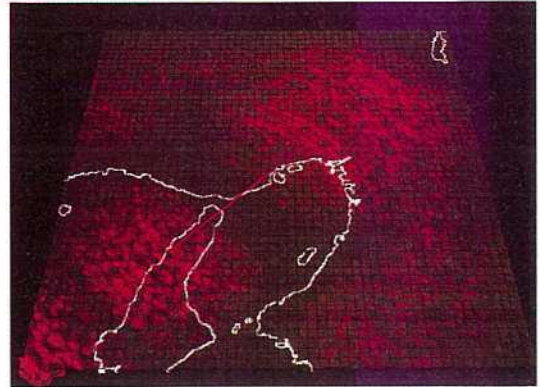


図-5 シミュレーションによる地震動強度分布

動エネルギーが伝播していることが確認できる。

(4) 距離減衰特性と震源特性

今回の地震の最大加速度が、たとえばカリフォルニアの地震に対するJoyner and Broorによるアテニュエーション式¹⁴⁾や、日本の地震に対するFukushima and Tanakaの距離減衰曲線¹⁵⁾と調和的で、いわば典型的な内陸地震の地震動強さであったことはすでに報告されている^{8),16)}。しかし、前節で述べたように、今回の地震動の分布には偏りがあり、これらと震源断層から北東方向に伸びた地震被害分布との間には相関があることがわかってきた。そこで本節では、この地震の際に約240地点の地盤上で観測された最大加速度値から地域ごとの平均的距離減衰特性を求め、それらを用いて地震動の地域的偏りの定量的評価を試みる。

解析に用いた最大加速度観測値は、水平2成分のうち大きい方または2成分の合成値(AH)と鉛直成分(AV)であり、さらに観測点の地盤条件によりSTIFFとSOFT(それぞれ道路橋示方書¹⁷⁾に規定されるI種地盤と、IIおよびIII種地盤に相当)に分類した¹⁸⁾。図-4に示すオレンジ色の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、断層線直交方向をBとした。

最大加速度Aの距離減衰式として、水平鉛直成分とも同形の式(1)を用いた。

$$\log A = -\log X_{eq} - B \cdot X_{eq} + C \dots \dots \dots (1)$$

これは最大加速度の距離減衰特性に関する項を幾何減衰項と内部減衰項に分離したもので、全無

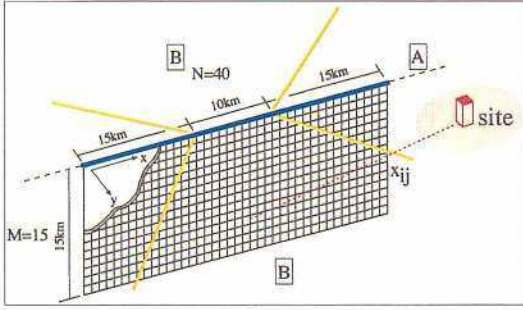


図-6 等価震源距離の概念図

限媒質に点震源を置いた場合について理論的に誘導される。式中の X_{eq} は等価震源距離と呼ばれ、これを一般的な震源距離や断層最短距離等の代わりに用いることにより、断層近傍から遠方まで統一に取り扱うことが可能となる¹⁹⁾。図-6には X_{eq} の概念図を示したが、断層の南西端地表面(北緯 34.52, 東経 134.90)を原点とし、40×15 kmの断層面を 1 km 四方のセグメントに分割して、各セグメントにおける解放地震モーメントは等しいとして、各セグメント中心から観測点までの距離 X_{ij} から次式により求めた。

$$\frac{1}{X_{eq}^2} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \frac{1}{X_{ij}^2}}{N \times M} \dots\dots\dots (2)$$

式(1)の係数のうち、伝播経路の内部減衰を表す係数 B は、比較的震源近傍から遠方までデータがあり、かつサイト効果の差が小さいと思われるエリア B の STIFF 地盤上の記録から求め、この値を他のケースに適用することで、係数 C にディレクティビティや表層地盤の増幅の影響を反映させることとした。表-1にはエリア・地盤条件・水平鉛直別の回帰係数と回帰式に対する標準偏差を示した。求められた水平成分に対する係数 B の値は、Joyner and Boore に示された係数 0.00255 とほぼ等しく、標準偏差は Joyner and Boore の 0.26 より小さくなっている。鉛直成分の係数 B は水平成分の約 2 倍の大きさに、距離減衰が大きい傾向にある。STIFF 地盤の水平成分について求められた回帰式と観測値の比較を示したのが図-7である。エリア A の最大加速度は、

表-1 回帰分析によって求められた距離減衰式の係数

Area	Ground	Component	Coefficient B	Coefficient C	Coefficient S (Std. Dev)
A	Stiff	AH	0.0021244	3.8340	0.18637
		AV	0.0050384	3.7588	0.24821
	Soft	AH	0.0021244	4.0408	0.20988
		AV	0.0050384	3.9473	0.23238
B	Stiff	AH	*0.0021244	3.6834	0.20030
		AV	*0.0050384	3.5556	0.19311
	Soft	AH	0.0021244	3.8833	0.14979
		AV	0.0050384	3.7785	0.24268

エリア B のほぼ 1.5 倍程度であることがわかる。図-8～9には、求められた回帰式を、断層線から観測点までの最短距離を横軸として示した。回帰式は実線(上限:Upper)と破線(下限:Lower)の2本が描かれているが、これは X_{eq} と断層最短距離の関係が、断層線と観測点の相対的位置関係により異なるためである。断層最短距離で整理すると、遠方では A, B 両エリアの差が目立たないが、20 km 以下の断層近傍では A エリアの方が B エリアよりも大きくなる。図-8(a)に STIFF 地盤の水平成分について示しているが、回帰式は断層近傍まで観測値をよく説明していることがわかる。さらに、断層近傍では最大加速度が飽和して上限を持つ傾向が見られ、距離が短くなるにつれて約 700～900 gal に漸近している。図-8(b)に示した SOFT 地盤では、STIFF 地盤に比べて

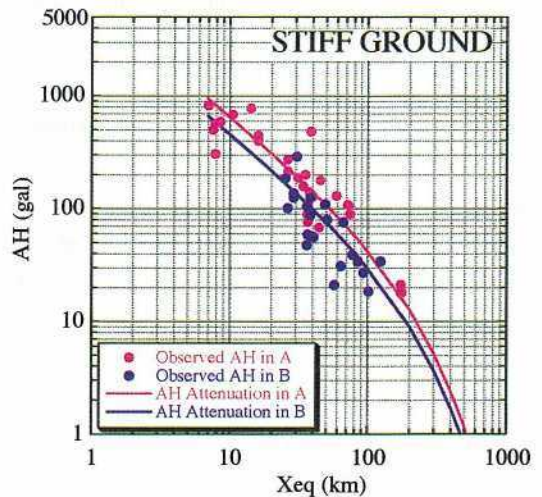
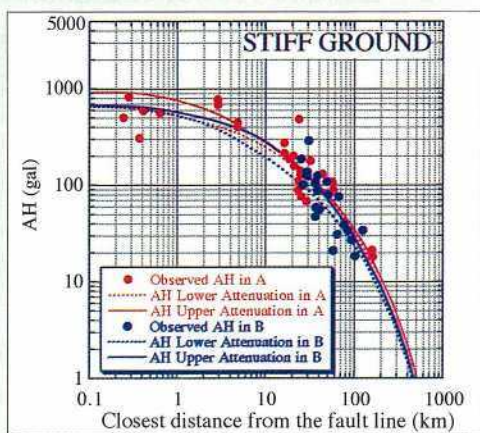
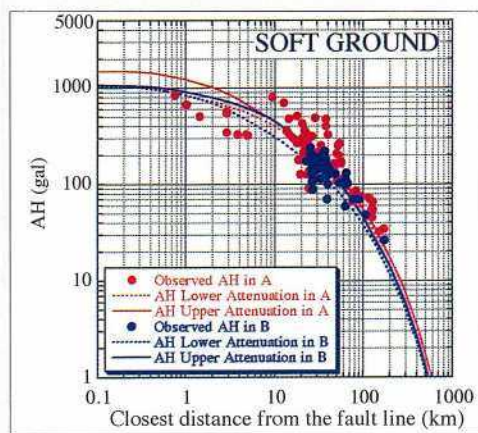


図-7 等価震源距離に対する最大加速度 (STIFF 地盤, 水平成分)

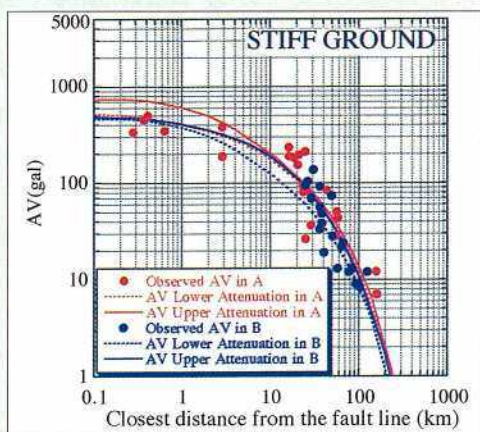


(a) STIFF 地盤

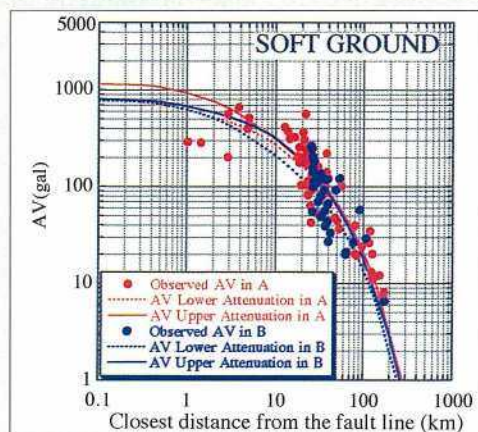


(b) SOFT 地盤

図-8 断層最短距離と最大加速度の関係 (水平成分)



(a) STIFF 地盤



(b) SOFT 地盤

図-9 断層最短距離と最大加速度の関係 (鉛直成分)

約 50% 程度大きい、断層から 10 km 以内の極近傍では、ほとんどの記録が回帰式の下側にプロットされている。これは地盤の非線形性の影響で加速度が小さくなったものと考えられる。

さらに、エリア B のうち断層から南東方向のエリア B と北西方向のエリア B' の違いについて検討する。図-10 にこれらのエリアの SOFT 地盤上で観測された最大加速度と等価震源距離の関係を示す。ただし埋立地で観測されたデータは除いている。求められた回帰曲線はほとんど同一であ

り、断層から南東方向のエリアと北西方向のエリアに特に違いは見受けられない。すなわち、断層の南側に被害が集中したことから、断層の南側の方が地震動が大きかったのではないかという考えは、観測記録からは支持されない。

(5) 鉛直地震動の特性

今回の地震では、かなり大きな鉛直地震動が数多く観測されて注目されている。これらの記録を検討すると、鉛直地震動の最大値を与えている時刻は、水平地震動の最大の時刻とほぼ同じで、鉛

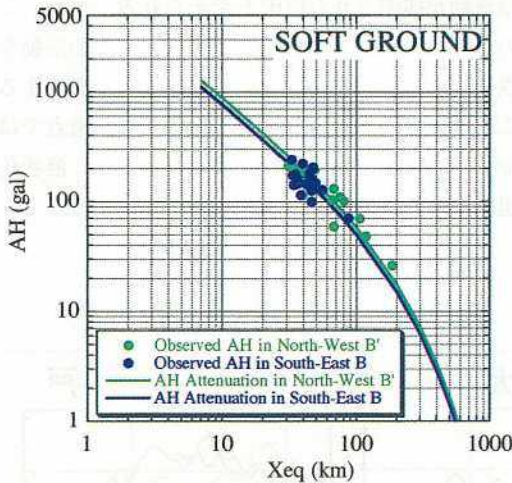


図-10 断層の南東方向と北西方向の地震動の違い

直地震動が観測点のごく近傍までS波として伝播してきて、観測点直下の地盤でP波に変換されたS-P変換波であることが推察される。

前節で求めた回帰式のSTIFF地盤上の鉛直成分について示した図-9(a)では、遠方における距離減衰の勾配は水平成分より若干大きいものの、全体的な傾向はほぼ水平成分と同様の傾向を示している。断層近傍のAVは、AHより小さく約2/3の大きさとなっている。図-9(b)に示したSOFT地盤上の鉛直成分の距離減衰特性においても、断層から10 km以内で若干小さい記録が存在するが、かなり回帰式に沿って分布しており、水平成分ではほとんどの記録が回帰式より小さいことを考慮すると、鉛直成分は地盤の非線形性の影響が小さいことがわかる。図-11には水平鉛直比を等価震源距離に対して示したが、等価震源距離が40 km付近から急激に水平鉛直比が小さくなっている。

図-12は、ポートアイランドで観測された地下83 mにおける記録を入力として、非線形波動シミュレーションを実施して地表面の地震動を推測し、地表記録と比較した結果である²⁰⁾。図-12(a)および(b)は地盤を線形弾性体と仮定した場合で、(a)の鉛直動についてはシミュレーション波形と観測波形がよく対応しているが、(b)の

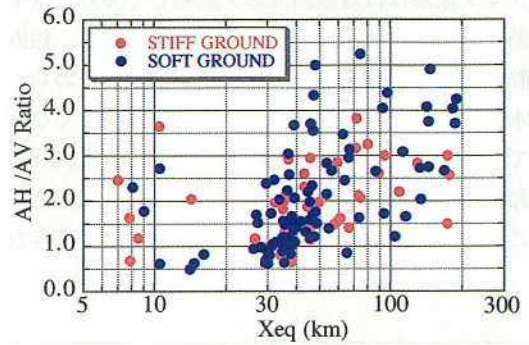


図-11 等価震源距離に対する水平鉛直比

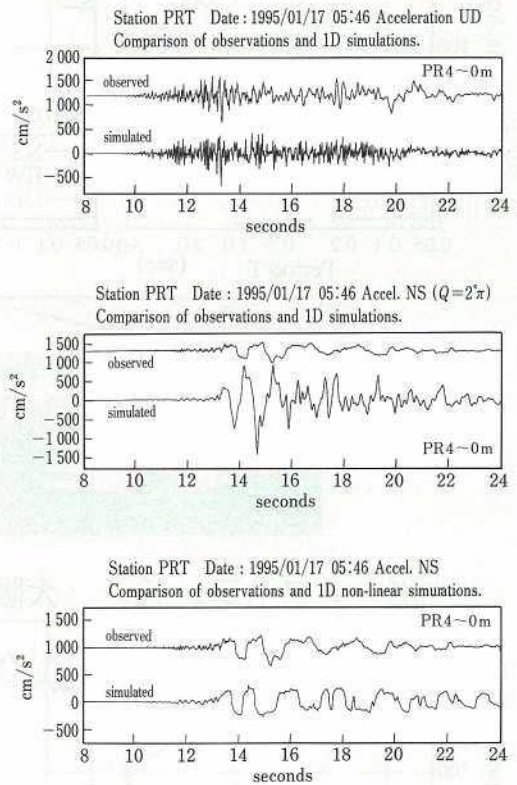


図-12 ポートアイランドの観測記録波形と解析波形の比較²⁰⁾

水平動についてはシミュレーション波形は観測波形よりかなり大きい。そこで、土の応力-歪モデルとして双曲線型のHDモデルを用いて非線形解析を行った結果を図-12(c)に示す。シミュレー

シオン波形はほぼ観測波形を説明しており、水平動については非線形による効果が大きい、鉛直動は線形で説明できることがわかる。すなわち、水平動は震源断層に近くなって振幅が大きくなっても、地盤の非線形効果によって頭打ちになるが、鉛直動は震源断層に近づくにつれて大きくなる。これが今回震源断層近傍で水平動に比べて大きな

鉛直動が観測された原因と考えられる。また、この解析に用いた非線形モデルは液状化時の挙動を説明できるモデルではなく、単に地盤が降伏することだけを表現するモデルであり、この地点では少なくとも本震の主要動における挙動は、液状化現象を考えなくとも説明できることになる。

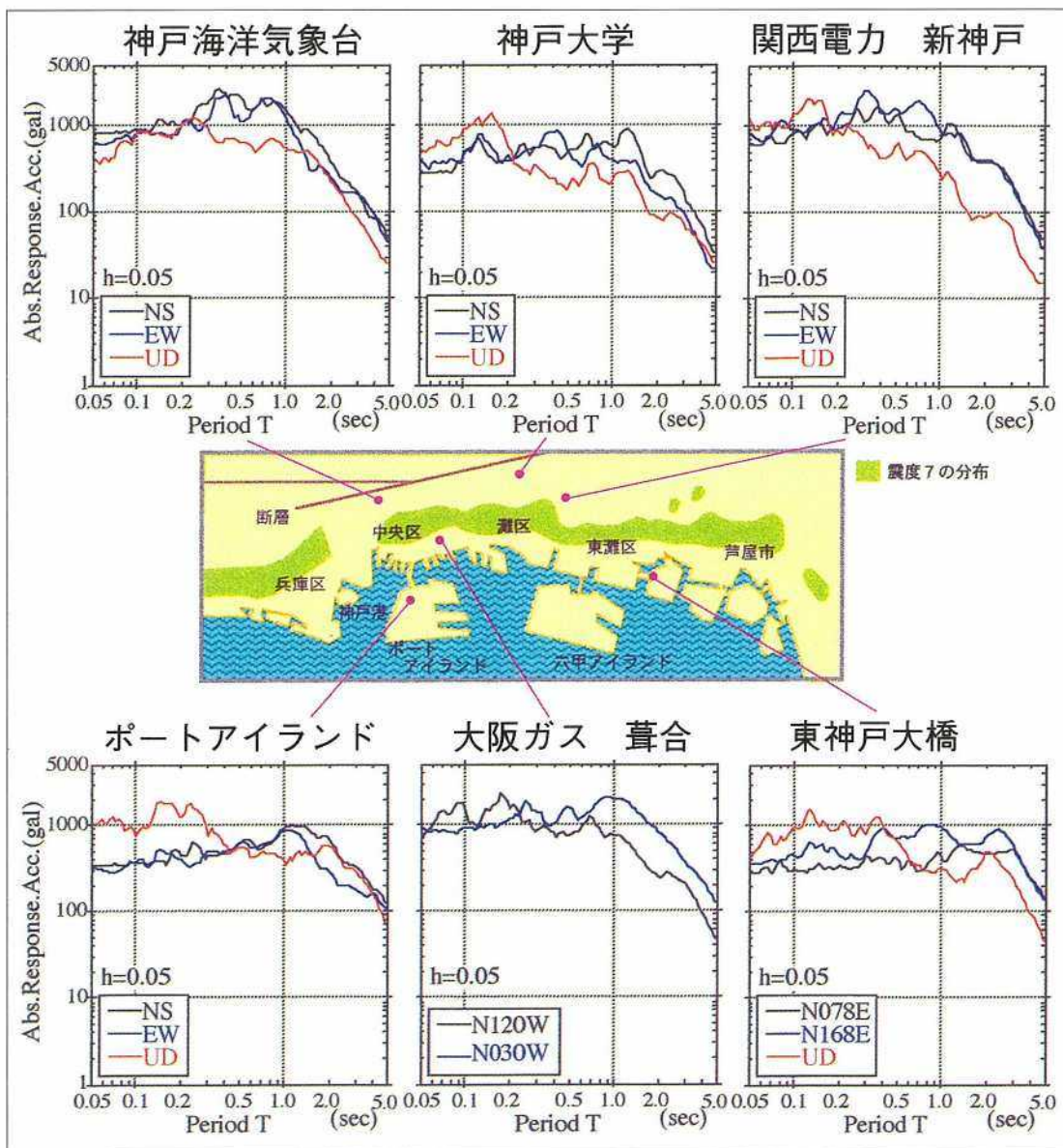
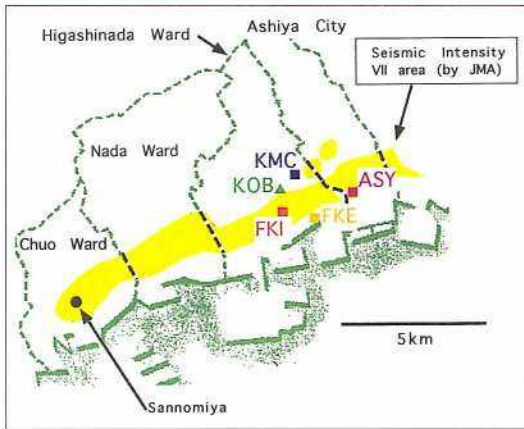


図-13 神戸市周辺で観測された記録の加速度応答スペクトル

図-14 余震観測点の位置²⁾

地震被害と地盤震動特性

(1) 神戸地域における地震動のスペクトル特性

今回の地震被害の地域分布の特徴のひとつとして、臨海部埋立地等の軟弱地盤における構造物の被害が液状化等の地盤変状に起因するものを除けば比較的軽微であったことがあげられる。しかし、埋立地や港湾よりやや六甲山よりの相対的に地盤の良いJR東海道線沿線に被害が集中し、震度7の地域が帯状に分布した。

このような震度7の領域で観測された地震記録はJR鷹取駅の記録のみであるが、この付近で被害が最も激しかったのはJR新長田駅の北側であり、鷹取駅は震度7の地域内とはいえそこから若干距離があり、この記録が震度7の地域の地震動を代表すると考えるには無理がある。また、この記録と対比すべき記録が鷹取駅の周辺で得られていないので、特に震度7の地域では他の地域に比べてどのように地震動が違うのかを示すことは難しい。一方、神戸市灘区から芦屋市にかけての震度7の地域には本震の記録がないが、この地域を取り巻くようにいくつかの記録が得られている。これらの記録の減衰5%の絶対加速度応答スペクトルを図-13に示す。

第I種地盤の神戸海洋気象台は洪積地盤、神戸大学は風化花崗岩、関西電力新神戸は表層に薄い

盛土はあるがその下は風化花崗岩となっている。これらの応答スペクトルは他の地盤種別のものと比較して0.25~1.0秒の短周期成分が卓越している。神戸大学のスペクトルは他の2地点のものよりかなり小さいが、これは地震計が地中のトンネルに設置してあることや、この地点の地盤が他の観測点に比べてかなり硬いことによるためと考えられる。一方、神戸海洋気象台は丘陵の上にあることから、地形によって地震動が影響を受けている可能性がある。しかしながら、これらのスペクトルの水平成分には共通して周期0.3~0.5秒(2~3Hz)にピークを持つことがわかる。次に、震度7の地域とそれほど地盤構造が変わらないであろうと推測される第II種地盤上の大阪ガス葺合観測点での応答スペクトルは、1秒前後に卓越周期がある。第III種地盤に相当するポートアイランドおよび東神戸大橋では、いずれの観測記録もやはり1秒前後に卓越周期があるが、周期1秒以下の短周期成分が小さいのが特徴的で、地盤の非線形性の影響を受けていると考えられる。

(2) 余震記録に見られる増幅特性

余震は本震ときわめて似た震源メカニズムを持ち、かつ本震断層面上で起こるため、本震記録が観測されなかった地点の地震動を推測する際の重要な資料となる。地震直後から数チームの余震観測班が現地に入り、数十地点において余震観測を行っている。ここでは、神戸市東灘区付近において観測された余震記録²⁾を示す。図-14は余震観測点の位置を、図-15には1月25日に発生したマグニチュード4.7の余震の際に観測された加速度波形を示している。図中のKOB地点は、関西地震動観測研究協議会の神戸本山観測点で、本震記録は振り切れているため正確にはわからないが、およそ60kine程度の最大速度であったと考えられている²⁾。図-15からわかるように震度7の領域内にあるFKIとASYでは特に大きな地震動が観測されており、KOB地点の振幅のおよそ3倍以上になっていることがわかる。図-16にはFKIのKOBに対するフーリエスペクトル比を示すが、ほとんどの余震で2~3Hzで大きく増幅さ

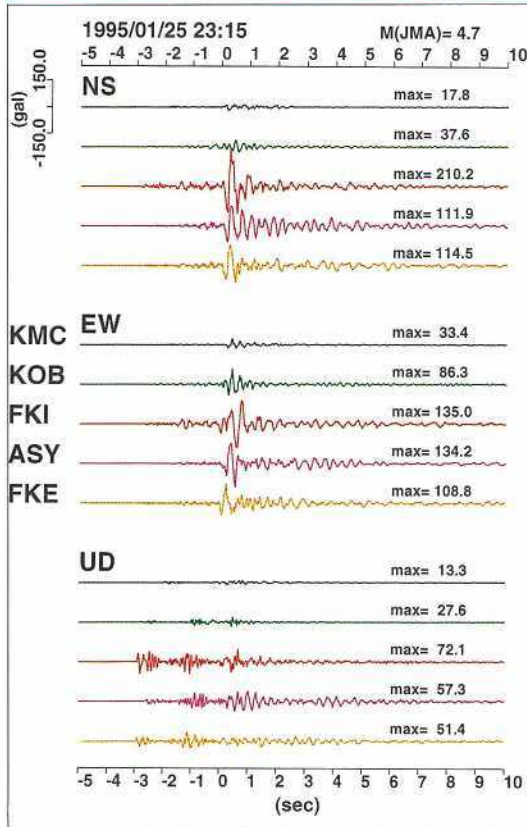


図-15 余震記録波形 (1月25日マグニチュード4.7)²²⁾

れているが、余震の大きさや震源位置によって、かなり変動することがわかる。

このように震度7の地域は、本震の際にも他の地域に比べてかなり地震動が大きかったと予測される。以下の節で、このような地震動の増幅が何に起因するものなのかを、

- 深い地盤構造による地震動の増幅
- 浅い地盤構造による地震動の増幅

に大きく分類して検討する。

(3) 深層地盤構造による地震動の増幅

深部地盤構造が地震動に大きな影響を与え、地震被害を考える上で重要であることは、1985年メキシコ・ミチョアカン地震の際に震源から400 kmも離れたメキシコ市に大きな被害が発生したことから認識が深まり、日本においても大都市の深部地盤構造調査が実施され、かつ広帯域地震計による地震観測が行われてきた。しかし深部地盤

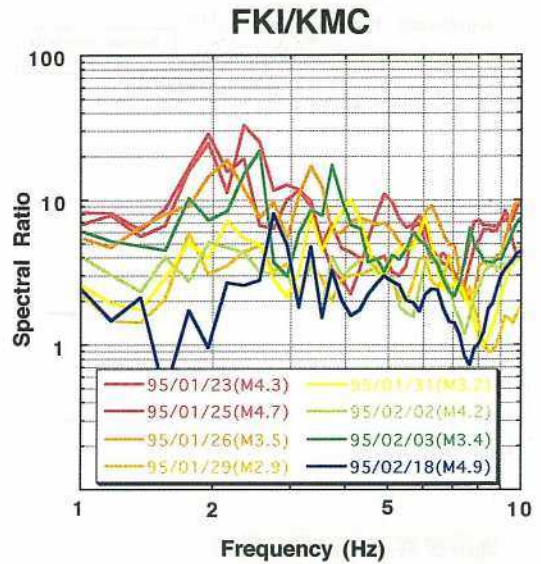


図-16 FKI観測点のKOB観測点に対するフーリエスペクトル比²²⁾

構造によって増幅される地震動は、周期数秒以上のやや長周期の地震動が支配的であるとの考えが一般的であったが、今回の地震で深部地盤構造がかなり短周期の地震動の増幅を引き起こすことが注目されつつある。

大阪堆積盆地構造の概略は、発破による屈折法探査²⁴⁾や、エアガンなどを震源とする反射法探査²⁵⁾などから、大阪湾の中央部で岩盤までの深さが3 km程度、大阪市の湾岸部で1.5 km程であることがすでに明らかにされていた。しかしながら盆地構造のエッジの部分があるどのような構造になっているかについて、大阪盆地の東端である生駒山側で調査が実施されていたが²⁶⁾、六甲山側では地震以前は実施されていなかった。

地震後いくつかの研究機関によって急遽大阪盆地の六甲山側のエッジ構造に対する反射法探査がインパクト震源を用いて行われた。図-17に探査測線の位置を示す²⁷⁾。図-18(1)~(3)には探査の結果得られた深度断面を示す²⁸⁾。図の赤青の線が地層境界を表しており、深さ1000 mまで縦横比1:1で図示している。図-18(2)は神戸大学付近を通る石屋川測線の探査結果であるが、

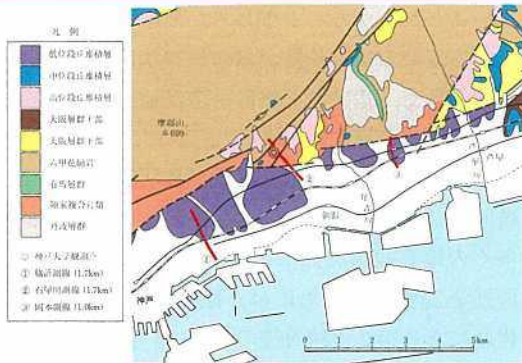


図-17 反射法探査測線の位置

阪急線のすぐ南に落差の大きな逆断層があり、断層の北側では岩盤が深さ 300 m 程であるのに対し、断層の南側では少なくとも 800 m 以上の深さであることがわかる。しかも断層の南側の地層はほぼ水平に堆積しており、断層を境に堆積層からいきなり岩盤となっていることが推察される。図-18 (3) の関西地震動観測研究協議会の神戸本山観測点付近を通る岡本測線についても、(2) の石屋川測線とはほぼ同様の結果が得られている。これらの断層による変位は深さ 100 m 程度より浅い地層には変位を与えていないので、現在は活動していない古い断層と考えられる。この断層は、前述したように今回の地震でも活動していないと考えられるが、大規模な断層によって堆積層が急激に深くなる、いわゆる不整形構造によって地震動の増幅が起こったと考えられる。すなわち、断層によって急激に堆積層が深くなっている場合には、岩盤を伝播する地震動が回り込んで堆積層に横から入射するため、フォーカシング現象が断層近くで起こり地震動が増幅される。図-19 には境界要素法によるシミュレーションの結果を示すが、断層の近くで非常に大きな振幅となることが示されている²⁹⁾。

一方、図-18 (1) に示した王子公園付近を通る脇浜測線では、急激に岩盤深度が変化するような断層は見え、山側から徐々に岩盤が深くなっていることがわかる。この地域は三宮と灘区の中間の被害が比較的少なかった地域で、このような

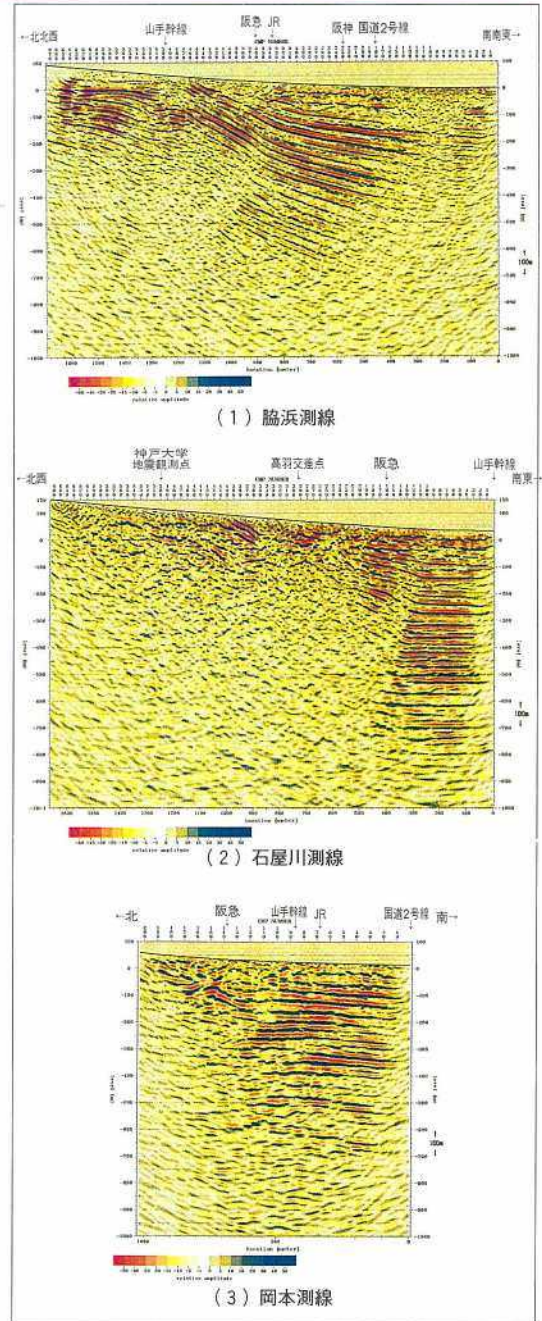


図-18 反射法探査によって得られた深度断面

深部地盤構造の違いと被害の関係については、今後の研究課題であろう。

(4) 浅層地盤構造と地震被害

神戸地域の浅層地盤構造は、N 値 50 以上のい

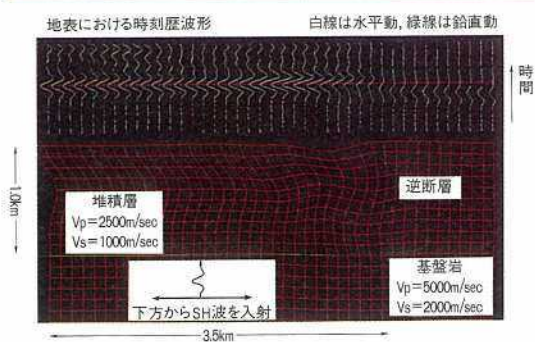


図-19 境界要素法によるシミュレーション結果²⁹⁾

わゆる基盤層が山側から海側に向かって徐々に深くなっているが、さらに詳細に見ると、その中に小さな窪みがある。図-20は、木造家屋の被害率等から地域の震度分布を詳細に求め、この結果とN値が50以上の基盤の等深度図を重ね合わせたものである³⁰⁾。震度7の地域においてもその領域内で局地的に被害の程度が異なっており、特に被害の大きい地域分布と基盤深度とは比較的对応が

良いことがわかる。すなわち、被害が特に集中している地域では、基盤がおぼれ谷状になっている場合が多く、基盤の不整形構造が地震動の増幅を引き起こした可能性が高い³¹⁾。ここで言う基盤は、神戸市周辺の代表的ボーリング柱状図にみられる層厚約20m程度の第1洪積層を指しているが、多くの地震観測記録にみられる1~1.5秒の卓越周期を説明するためには、臨海部で深さ約80m程度にある第2洪積層等のやや深い構造も今後考慮する必要があると思われる。

おわりに

本稿では、公開された地震観測記録に基づいて、加速度最大値について距離減衰特性を調べ、特に震源特性のひとつであるディレクティビティ効果が加速度最大値の分布に大きな影響を与えたことを示した。しかし、地震動は当然周波数特性を持つものであるから加速度最大値だけで地震動特性を把握することは困難であり、今後スペクトルに

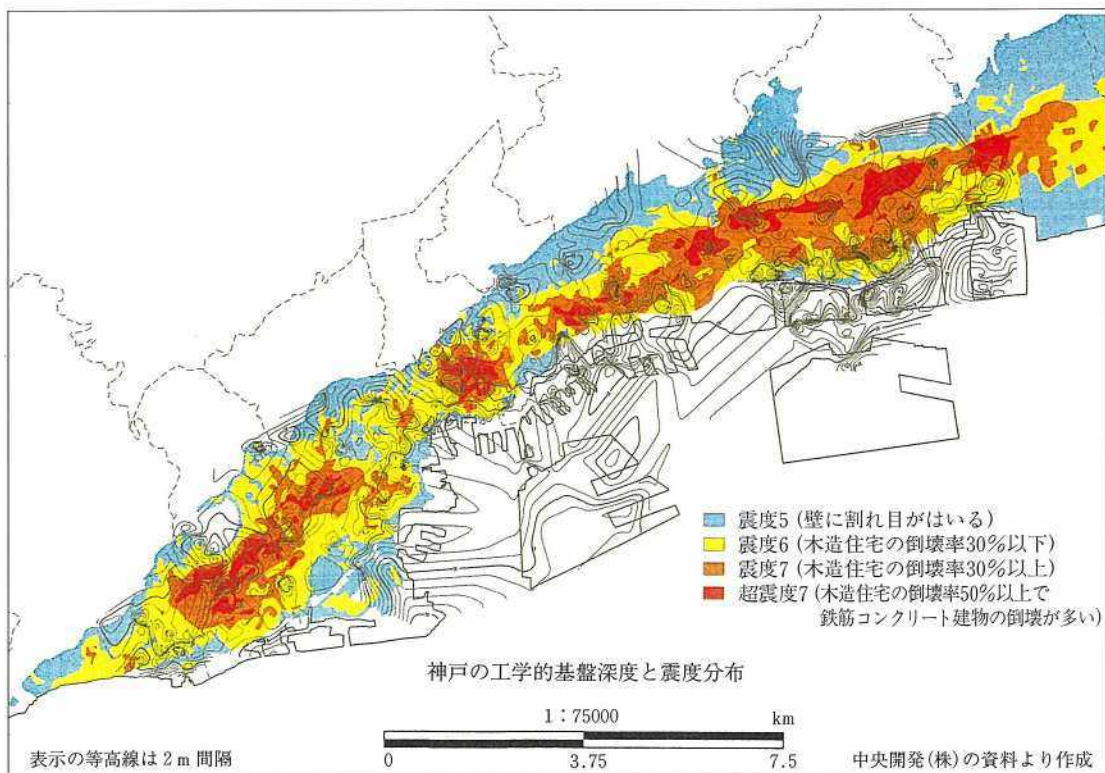


図-20 震度と基盤深度の比較³⁰⁾

対する検討を行って、周波数特性を含めた多角的な地震動特性の評価を進めていくことが急務である。

また、震度7の地域の地震動が他の地域に比べてかなり大きく、それが深層地盤および浅層地盤構造による増幅によることが明らかになってきたが、実際にどの程度の大きさであったかは、よくわかっていない。今回の地震被害の経験を今後の耐震設計に生かしていくためには、まずこれらの地域の地震動を再現するとともに、このような地域の複雑な地盤構造の増幅特性を的確に評価できる地震動予測手法を開発していかなければならない。

参考文献

- 1) 活断層研究会：日本の活断層，東京大学出版会，1991。
- 2) 石川有三：日本列島内陸部の地震活動空白域，月刊地球，Vol.12, No.6, pp.355-361, 1990。
- 3) 日本地質学会：阪神大震災 緊急報告会資料集，PP.117-122, 1995.3。
- 4) (社)土木学会：阪神大震災災害調査 緊急報告会資料，1995。
- 5) 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，Vol.80, No.3, pp.2-11, 1995。
- 6) 高田至郎・沖村孝・李騰雁：地震動と被害特性，土木学会誌，Vol.80, No.6, pp.50-57, 1995。
- 7) H. Sekiguchi, R. Kakehi and K. Irikura: Waveform Inversion of Strong Ground Motion for Fault Rupture Process of the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake, J.P.E (submitted).
- 8) 藤原徳三(研究代表者)：平成7年兵庫県南部地震とその被害に関する調査研究，平成6年度文部省科学研究費(総合研究A)研究成果報告書，1995。
- 9) 関西地震観測研究協議会：第5回総会資料，1995.5。
- 10) 強震観測事業推進連絡会議：強震速報No.46，科学技術庁防災科学技術研究所，1995.2 他各観測機関資料。
- 11) 釜江克宏・入倉孝次郎・福知保長：地震のスケーリング則に基づいた大地震時の強震動予測，日本建築学会構造系論文報告集，pp.1-9, 1991。
- 12) 金田義行・表祐太郎・桑原徹・並木和人・平岡邦興：兵庫県南部地震調査報告—地震学・地質学的検討一，(株)大林組技術研究所報告書，1995。
- 13) 江尻譲嗣：地震断層と地盤構造を考慮した入力地震動の設定，大林組技術研究所報告書，1993。
- 14) W. B. Joyner and D. M. Boore: Peak Horizontal Acceleration and Velocity from Strong Motion Records from the 1979 Imperial Valley -California- Earthquake, BSSA, Vol.71, No.6, pp.2011-2038, 1981。
- 15) Y. Fukushima and T. Tanaka: A New Attenuation Relation for Peak Horizontal Acceleration of Strong Earthquake Ground Motion in Japan, BSSA, Vol.80, No.4, pp.757-783, 1990。
- 16) 江尻譲嗣・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，1995.7(投稿中)。
- 17) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説・耐震設計編，1990.2。
- 18) 土質工学会：関西地盤，関西の大深度地盤の地質構造とその特性の研究會，1992。
- 19) S. Ohno, T. Ohta, T. Ikeura and M. Takemura: Revision of Attenuation Formula considering the Effect of Fault Size to Evaluate Strong Motion Spectra in near Field, Tectonophysics, 218, pp.69-81, 1993。
- 20) J. Agirre and K. Irikura: Preliminary Analysis of Non-linear Site Effects at Port Island Vertical Array Station during the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake, J. of Natural Disaster Science, Vol.16, No.2, 1995。
- 21) 江尻譲嗣・後藤洋三：ポートアイランド鉛直アレー地震記録を用いた基盤入射波分離の試み，土木学会第50回年次学術講演会，1995(投稿中)。
- 22) T. Iwata, K. Hatayama, H. Kawase, K. Irikura and K. Matsunami: Aftershock Observation at Higashinada Ward, Kobe City, J. of Natural Disaster Science, Vol.16, No.2, 1995。
- 23) 山下典彦・土岐憲三・澤田純男：兵庫県南部地震の神戸本山における振切れ記録再現に関する基礎的検討，土木学会第50回年次学術講演会，1995(投稿中)。
- 24) 香川敬生・澤田純男・岩崎好規・江見晋：発破実験より推定される大阪堆積盆地構造，地震第2輯，第43巻，pp.527-537, 1991。
- 25) 岩崎好規・香川敬生・澤田純男・松山紀香・大志万和也・井川猛・大西正純：エアガン反射法地震探査による大阪湾の基盤構造，地震第2輯，第46巻，pp.395-403, 1994。
- 26) 堀家正則・竹内吉弘・鳥海勲・藤田崇・横田裕・野田利一：生駒山地と大阪平野境界部における反射法地震探査，地震第2輯，第48巻，pp.37-50, 1995。
- 27) 市原実・吉川周作・三田村宗樹・水野清秀・林隆夫：大阪とその周辺の第四紀地質図，アーバンクボタ，30号，1991。
- 28) 遠藤秀典・渡辺史郎・牧野雅彦・村田泰章・渡辺和明・卜部厚志：阪神地域の地下地質構造と被害分布，日本地質学会環境地質研究委員会，阪神淡路大震災と地質環境，1995。
- 29) 阪神コンサルタント：平野端部の形状が地震動に与える影響，1995。
- 30) 五十嵐俊一・盛口洋・久川詠子・鈴木崇伸・伯野元彦：地盤の不整形性による鉛直地震動の励起と構造物被害，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，1995。
- 31) 江尻譲嗣・後藤洋三：基盤不整形の影響の設計震度スペクトルへの導入に関する基礎的検討，土木学会論文集，No.501, 1-29, pp.173-182, 1994.10。