

地質学・地震学的に見た兵庫県南部地震

桑原 徹 金田 義行
並木 和人

概要

兵庫県南部地震は、1995年1月17日午前5時46分、淡路島の明石海峡海底下約18kmを初期破壊点とする震源断層によって発生した、マグニチュード7.2の直下型地震である。ここでは地質学・応用地質学・地震学・物理探査などの理学的な立場から、地質および地下構造特性、活断層の特性と活動履歴、地震の震源メカニズムと直下型地震における地震波の入射方向、および地震動シミュレーションについて述べ、最後に地盤の不整形性、伏在活断層、S波構造などにかかわる深部地下構造調査とその工学的評価の重要性を訴えたものである。

今回の大震災を契機として、地質的には関西地区の活断層の活動履歴が具体的に明らかになりつつあり、また防災調査としては極めて大規模な深部地下構造調査が実施された。また地震学的には、震源断層モデルは複断層モデルにより表現され、これに基づいて地震動シミュレーションが実施され、可視化により実際の地震動との比較検討が可能となった。

1. はじめに

兵庫県南部地震は、1995年1月17日午前5時46分、淡路島岩屋沖海底の深さ約18kmを初期破壊点とする震源断層によって発生した、マグニチュード6.9 (MW)、7.2 (MJ) の直下型地震である。本震は、神戸地域ならびに淡路島北淡町などで震度7を記録し、神戸海洋気象台では800galを越す加速度を記録した激震であった。その結果、6千余名の犠牲者を出し、大都市部を襲った地震としては関東地震以来の最大級の被害地震である。

ここでは特に地質学・応用地質学・地震学・物理探査の立場から、調査しかつ最新の知見をまとめた上で、深層地下構造探査に基づいた入力地震動評価の重要性について述べた。

2. 震源地域のテクトニクスと地盤の不整形性

2.1 地形・地質概要

大阪・神戸地域の地形的特徴は、Fig.1に示すように、大阪平野と大阪湾からなる楕円形の沈降帯が、それを囲む隆起帯(大阪の金剛山地、神戸の六甲山地、淡路島の先山および論鶴羽山地、和歌山の和泉山地)により囲まれていることである¹⁾。これらの沈降帯には主に第四紀層(大阪層群など)が最大層厚2,000mにわたり堆積し、一方隆起帯には基盤をなす花崗岩などが分布している²⁾(Table 1)。このような地質構造は、第四紀地質学(微化石層序、地質年代、大深度ボーリングコアなどの研究)・構造地質

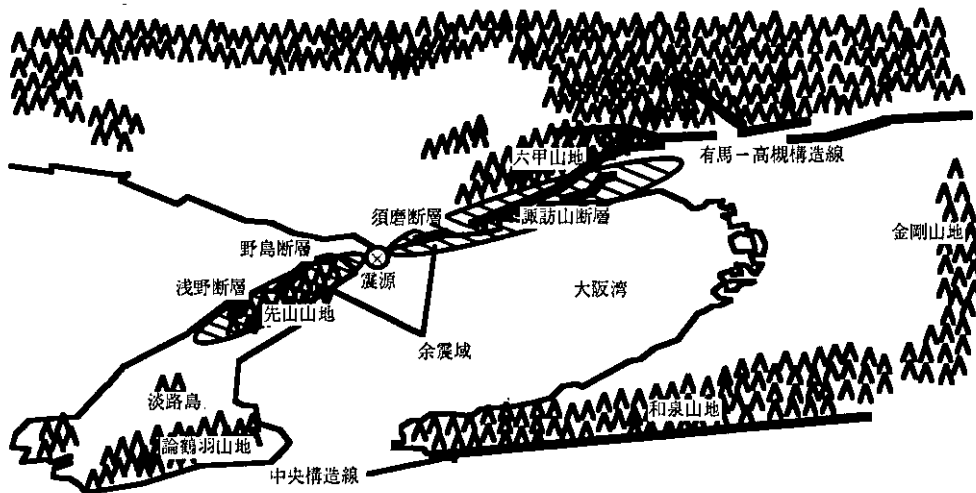


Fig.1 阪神・淡路地域の地形的特徴
Topography in Hanshin-Awaji Area

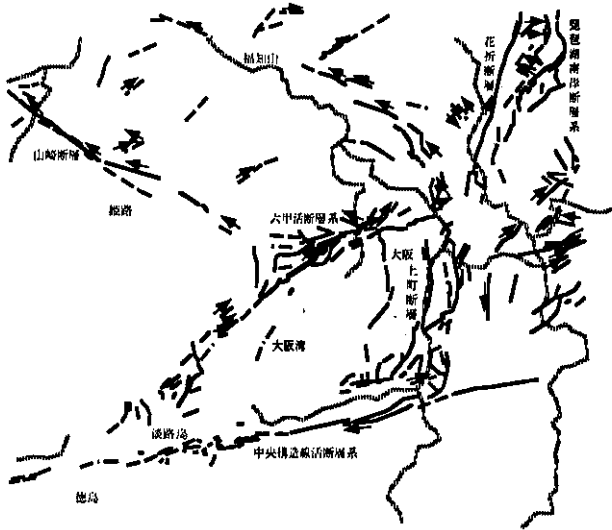


Fig.2 阪神・淡路地域の活断層分布
Active Faults in Hanshin-Awaji Area

学(地質構造, 活断層, 広域応力場などの研究), 地球物理学(発震機構, 震源位置決定, 震源断層モデルなどの研究)およびプレートテクトニクスなどの研究結果の結論として, 約100万年前から現在に至る東西方向の圧縮応力による断層活動により形成されたと考えられている²⁾。したがってこれらの沈降帯と隆起帯の境界は, いずれも断層, すなわち活断層により区切られている。Fig.2に示すように, 本地域にはこのような活断層は極めて多く, 六甲活断層系・中央構造線活断層系などと呼ばれる活断層群が確認されている³⁾。

2.2 本地域の活断層の概要

神戸地域では, 断層活動の時期は少なくとも100万年前以降に始まり, 互助橋断層・芦屋断層・甲陽断層の順に, 北西から南東方向へと活動域が移動していった傾向がある²⁾。甲陽断層の活動は50万年前以降に活発化した。各断層に沿った変位速度は大きくとも年平均mm/年のオーダーで, 0.1mm/年のオーダーが多い。しかし各断層変位の総和として六甲断層系と大阪平野の間に見られる変位量は, 少なくとも1mm/年以上で, 日本の活断層の中でも大きな変動量をもつことは確実である。本地域の活断層は, 変位速度からいえば大部分B級に属するが, それらの総和としてはA級の運動をしている²⁾。一方で, 淡路島の野島断層・楠本断層はB級~A級の活動度を示す。本地域での歴史地震とのかかわりは, 古文書・古墳・遺跡を利用した調査(古地震学・地震考古学⁴⁾)により, 従来慶長伏見大地震(1596, M7.0)が六甲活断層系の東部で発生した直下型地震と考えられている。今回の兵庫県南部地震は, 400年の間をおいてこの六甲活断層系の西部で発生したものである。

2.3 第四紀層の分布特性

神戸・大阪地域の第四紀層は, 新しいものから古いもの

Table 1 阪神・淡路地域の地質構成
Stratigraphy in Hanshin-Awaji Area

地層構成	大阪・神戸地域	淡路島
第四紀層 (土砂)	沖積層	
	段丘礫層	明美層
	大阪層群	明石層
第三紀層 (軟岩)	神戸層群	岩屋層
基盤層 (硬岩)	六甲花崗岩	岩屋花崗岩
	布引花崗岩	洲本花崗岩
	砂岩・粘板岩 ・チャート	

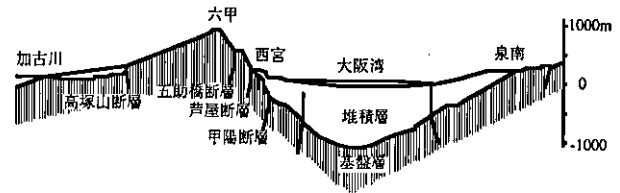


Fig.3 地層の模式断面図
Representative Geological Profile in
Hanshin - Osaka Area

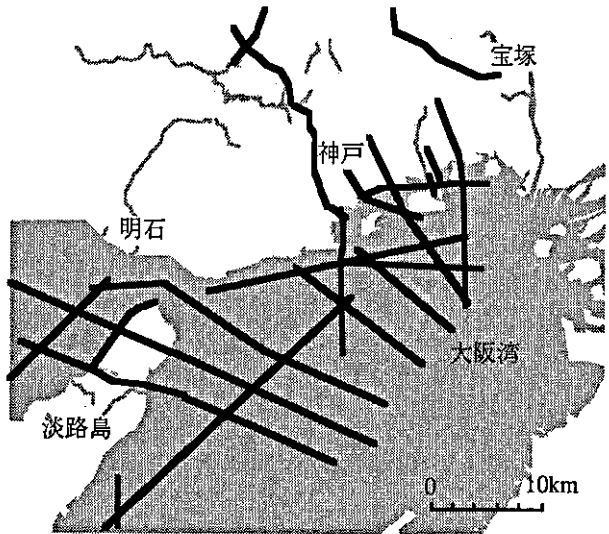


Fig.4 深層反射法探査測線位置図
Line Map of Seismic Reflection Survey

へ順に, a) 沖積層である砂州・砂堆・自然堤防とその後背湿地・崖錘, b) 低位段丘(砂レキ層), c) 中位段丘(砂レキ層), 高位段丘(砂レキ層), および d) 大阪層群からなる²⁾。これらの模式的な断面図をFig.3に示す。淡路島の第四紀層も, 基本的には神戸・大阪地域と同様である。淡路島の大阪層群には断層運動に伴う湾曲構造なども認められる。山地の縁をくぎる断層崖の前面には, 扇状地性の河成段丘が広く発達し, 野島断層の西海岸では, 海成段

丘面も分布している。また兵庫県明石地区では明石レキ層が特徴的である。

2.4 大深度ボーリングによる地質構造

大阪周辺では約30本の温泉ボーリング（掘削深度1,000～1,500m, スライム）と約20本の深層ボーリング（掘削深度200～900m, コア採取）がある。これらの結果によると⁵⁾、基盤まで達したボーリングは20本以上で、そのうち1,000mを越えて基盤に達したものが約10本あり、平野部における大阪層群の基盤深度は1,300～1,500mに及ぶことが明らかになった。また沈降帯の中心部に向かうにつれて基盤深度は深くなり、大阪湾海底下での大阪層群は、後述する反射法探査などから、2,000mを超えることが推定されている。

2.5 深部地下構造探査

震災以降淡路島・神戸地域を中心に大学・研究機関および自治体により、陸域および海域において反射法による地下構造探査が実施されている^{6)～8)}。Fig.4に主要測線の位置を示す。探査結果の詳細な解析は今後の課題ではあるが、反射記録からは、甚大な被害が生じた「震災の帯」直下では明瞭な伏在断層は検出できなかった。一方海域では大阪湾断層の重要性がますます高まってきたように思われる。地震断層が地表に現れた野島断層周辺では、反射法をはじめとした多くの物理探査が実施され、地下深部での野島断層の延長形態が確認されている。また神戸市街地では、反射法探査と高密度の精密重力測定を行い、伏在断層や基盤構造を調査し、地盤の不整形性の把握に成果を上げている。

3. 活断層の特性と活動履歴

3.1 兵庫県南部地震にかかわる地震断層

震源および余震域では、断層の変位や形態が詳細に調査された^{9)～15)}。淡路島では島の西側で知られていた野島断層が約9kmにわたり変位を生じたが、震源により近い島の東側の楠本断層・東浦断層・仮屋断層では変位を生じていない。また神戸側では、六甲山地と低地を境する活断層として須磨断層・会下山断層・諏訪山断層・五助橋断層・芦屋断層・甲陽断層などがある。GPSなどの広域測地データによると、これらの断層が変位したとされているが、地表踏査の結果ではこれらの断層の変位は確認できない。また神戸市街地ではいわゆる「震災の帯」と結びつけて新たな地震断層の報告がしばしばなされたが、これらは表層の地滑りに伴う横ずれの割れ目とする意見が大勢である。また既存の芦屋断層・甲陽断層などが動いたとする報告もあるが、やはり地滑りに伴う横ずれとする意見が多い。このような混乱の原因としては、土地の人工的改変により既存断層の位置がわからなくなっていること、連続性・変位の向きなどに関して断層変位と地滑り変位が識別しにくいこと、構造物上で見られる変位が断層によるものかどうか判然としないこと、などによるものと



Photo 1 野島断層の変位状況
Nojima Fault and its Fault Plane in Osaka Group



Photo 2 野島断層の全景
Surface Fractures of Nojima Falut



Photo 3 野島断層の露頭
Nojima Fault and its Fault Clay in Granite

考えられる。淡路島東側の楠本断層や神戸側の諏訪山断層などについても現地調査を実施したが、動いた形跡はなく付近の被害も少ない。

3.2 淡路地区の活断層

(1) 野島断層と東浦断層 野島断層の代表的な場所として北淡町の富島・平林・江崎灯台がある。Photo 1は富島の断層露頭の写真である。ここでは野島断層は大阪層群の中を通過している。断層直上にある一般家屋は壁のき裂以外は大きな損傷はない。ここでの変位量は右ずれ1.5m, 東側隆起0.5mである。断層面には横ずれを示す線状構造が認められるが、断層粘土などは認められず、既往の断層面の再活動というよりも、今回の地震による新しい断層面であると判断できる。Photo 2は富島のやや北で見られる野島断層である。連続した開口き裂が特徴的である。Photo 3は平林における断層露頭の写真である。ここでは野島断層は基盤の花崗岩類と大阪層群の境界で、断層面の花崗岩は厚さ数mの白色および黒色の断層粘土を生じており、この中に断層変位を示す横ずれの線状構造が多数認められる。このような断層粘土は1回の断層活動で形成されるものではないので、既存の断層面に沿って今回の変位が生じたことを示している。ここでは右ずれ1.7m, 東側隆起1.3mという最大の変位量が見い出されている。江崎灯台では右ずれ1.2m, 東側隆起0.7mの変位があり、右ずれを示す副次的な割れ目も構造物中に見られる。

(2) 野島断層の物理探査結果 トレンチ調査地点の確定、および深部断層構造と浅部断層構造の関係を把握する点から、各種の物理探査が実施されている^{6), 16)}。すなわち弾性波探査(屈折法・P波およびS波反射法探査)、電気探査(比抵抗2次元および3次元探査・I P強制分極法)、電磁探査(パルスおよび連続波による地下レーダー調査・VLF法)、微重力探査などが実施され、有効な成果をあげている。

(3) 野島断層と東浦断層のトレンチ調査 野島断層では5箇所トレンチ調査が実施され、その内4箇所今回の地震に先立つ、約2,000年前に活動したと判断される断層活動が認められた¹⁷⁾。東浦断層でも室町時代以降の最新の断層活動とより古い活動が確認された。

3.3 阪神・大阪地区の活断層

有馬-高槻-六甲断層帯も震災後のトレンチ調査により、断層帯の大阪側が1596年慶長の伏見桃山の地震を引き起こしたとされている¹⁷⁾。これらの調査結果から断層の活動周期は、大阪側(断層帯東部)では1,000~5,900年間隔、神戸淡路側(断層帯西部)では800~1,400年間隔とみなされ、いわゆる要注意断層としての適否が議論され、除外してもよいのではないかという意見もある¹⁸⁾。

3.4 京都地区の活断層

琵琶湖周辺には、1596年慶長の伏見桃山の地震の際の液状化などの地震の痕跡が多数見られるので、震源断層

は琵琶湖西岸断層あるいは花折断層との意見もある¹⁷⁾。花折断層は、最近のトレンチ調査によると、過去2,000年間は活動していないことが確認された¹⁹⁾。

今回の震源地域を含む関西地域には、野島断層を含む有馬-高槻-六甲断層帯・山崎断層・上町断層・花折断層・琵琶湖西岸断層・中央構造線などの活断層が知られている。震災後のトレンチ調査などにより、各活断層の活動履歴が具体的に明らかにされつつあり、今後のデータの集積により断層活動の時空的関係が解明されることが期待される。

3.5 断層のセグメント

野島断層は、その変位分布から三つの区間(セグメント)に分けられている。最近の地震学の研究では、震源断層面での不均質性(バリア, アスペリテイ)が知られている。このような不均質の実態は、多重エシェロン断層系におけるギャップや屈曲であり、これらが地震の発生と深く関係しているとされている。すなわち断層系の幾何学的な形態が、地震の発生様式を支配していると考えられる。実際の震源断層でも破壊の発生は、断層系の末端や屈曲部で発生し、ギャップで終わることが知られている²⁰⁾。今回の地震では、余震分布が震源位置を境にして、神戸側と淡路島側でクラック状にずれているが、これはいわゆる断層のプル・アパート(Pull Apart)現象とも考えられる。このことは従来断層系単位で調査し評価してきた活断層の運動を、断層系のセグメントで評価する必要があることを示している。野島断層自体は、震源断層そのものというよりも、派生的に生じた副次的な断層の地表への出現と考えられる。この意味から野島断層の三つのセグメントは、後述される菊地モデルの三つの震源断層とはスケールが異なる議論であるが、表層地盤の変位という観点から、今後検討する価値のあるものと考えられる。

4. 震源断層の地震学的検討

4.1 発震機構

兵庫県南部地震は、気象庁速報によれば、震源位置34.36°N 135.02°E 深度17.9 km, メカニズムは右横ずれ成分卓越、とされている。従来の大地震では、震源が比較的遠方(数10 km以遠)に位置していることが多く、地震波の放射パターンも一般的なダブルカップルを想定したものとなっている。しかしながら今回のような直下型では、地震に伴う断層破壊の形成過程の影響は無視できない。特に地震波の成分を3成分(R: radial (P波), T: transverse (SH波), V: vertical (SV波))に分けて、震源を右横ずれ断層と考えると、T成分は断層に沿った方向により卓越したものとなり、その直交方向ではあまり卓越しない^{21), 22)}。またRおよびV成分は、断層破壊方向に対し45°方向の卓越パターンを示す。すなわち直下型地震では、地震動の強さの分布は表層地盤の条件が最も大きく影響することはいうまでもないが、断層破壊の方向と構造物の相対的な位置関係にも大きく依存するもの

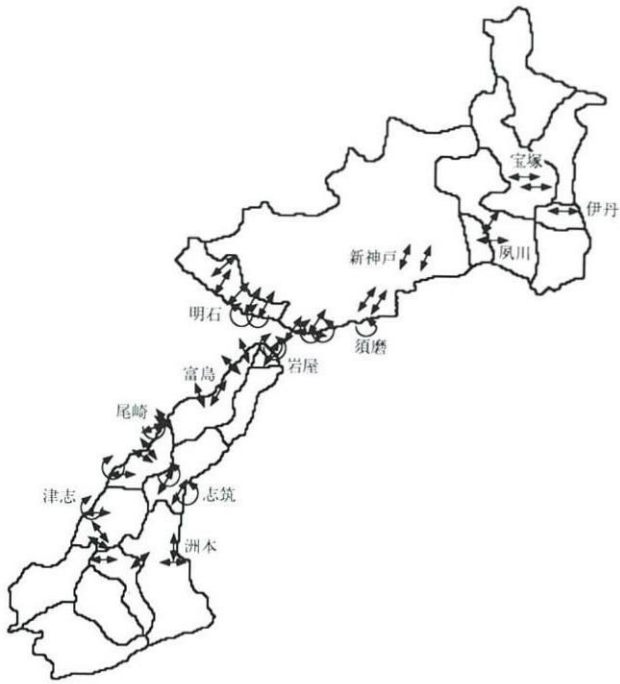


Fig.6 墓石等の変位・回転方向
Directions of Displacement and Rotation of Tomb Stones

と考えられる。たとえば、断層破壊方向に位置する神戸市地域において、大きな地震動が各機関により観測されているが、西明石では最大水平加速度は、震源との距離が鷹取（最大水平加速度616gal）、新神戸（同561gal）、宝塚（同601gal）と比較して近いにもかかわらず、481galと相対的には小さいことが分かる（Fig.5）。もう一方の断層破壊の方向に位置する淡路島北淡町は、大きな被害を受けているが、初期破壊のほぼ真上に位置する岩屋地域では、若干の被害はあるものの、神戸地域あるいは北淡町周辺の被害の比ではない。このように、震源近傍に位置しているにもかかわらず被害の程度が異なることは、後述の表層地盤の影響あるいは構造物の耐震強度のばらつき等の影響も要因の一つであるが、直下型地震で考慮すべき地震波の放射パターンも大きな影響を及ぼしていると推定できる。ちなみに横ずれ断層の初期破壊の直上では、理論的には大きな地震動は生じない。この放射パターンの影響は、北海道東方沖地震の津波被害でも検証されており²³⁾、断層面の方向や傾斜による津波の発生パターンの違いが、その後の被害程度に大きく影響している。

4.2 地震波の入射方向

ここでは地震波の入射方向について検討する。地震の押し引き分布は、しばしば墓石の転倒方向から判断されている。従来海溝型地震の押し引き分布はよく研究されてきたが、今回のような直下型の横ずれ断層近傍の詳しい押し引き分布、すなわち地震波の入射方向はほとんど調査されていない。そこで墓石の変位・回転方向から、断層近辺の地域ごとの地震波入射方向を推定し、構造物被害との関連性についても検討した。なお墓石の変位・回転状況の例をPhoto 4, 5に示す。次に調査結果から推定され

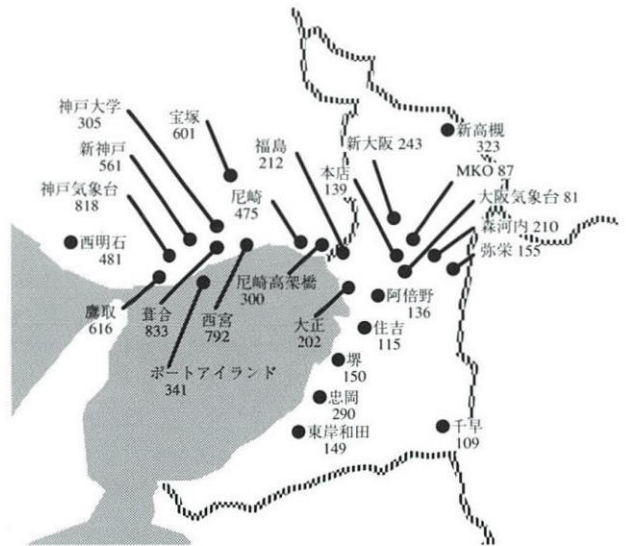


Fig.5 地震動の強度分布
Distribution of Seismic Intensity



Photo 4 墓石等転倒状況
Dislocation Map of Tomb Stones

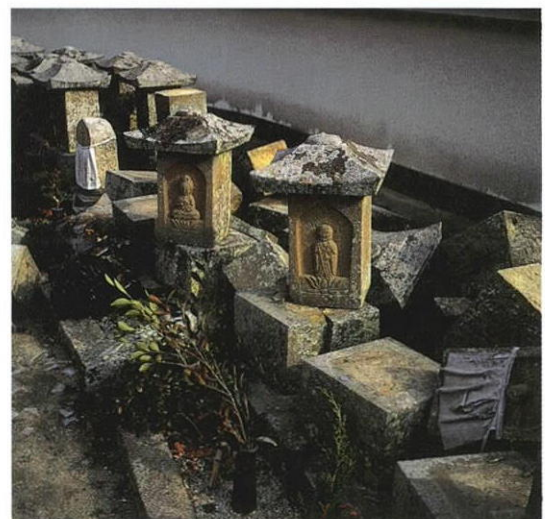


Photo 5 墓石等転倒状況
Dislocation Map of Tomb Stones

た各地点の最大地震動の入射方向について述べる (Fig.6)。

(1) 阪神地域東部 (宝塚市・伊丹市・西宮市) 神社仏閣等の建造物の動きから推定される最大地震波の入力方向は、東西方向から地震波が入射していると考えられる。余震観測から推定される震源断層は、複断層の議論は別として、ほぼ北東-南西方向に分布している。右横ずれ断層を想定すれば、断層の走行方向にSH波が卓越し、断層の東側にあたる宝塚市・伊丹市・西宮市地域では、SH波の振動はより南北成分を有することになる。したがって東西成分が卓越している説明としては、SH波とSV波を考えた場合、断層破壊が終了した位置で卓越すると考えられる stopping phase の影響により、SH波とSV波がともに卓越し、かつ表層の影響で入射角が大きくなり、SH波とSV波の合成波として東西成分が卓越することになる。

(2) 淡路島地域 (北淡町・一宮町・淡路町・洲本市・西淡町・東浦町) この地域では一宮町最明寺の鐘楼が北西に飛ばされたことに象徴されるように、北西-南東 (北淡町・一宮町) 振動が卓越している。このことは、余震分布から推定される北東-南西の断層の走行から、SH波が卓越した場合、地震波の入射方向は北淡町・一宮町では、断層走行に直交する、北西-南東方向が主要動の方向となる。また断層の東側にあたる洲本市では、東西方向が卓越することになる。実際洲本市の月夜大師や西来寺等の墓石の転倒・傾きから、東西方向からの地震波が卓越することが検証されている。断層の初期破壊地域に近い岩屋では大きな被害は少なく、円徳寺や観音寺の本堂が北北西から北西にずれていることから、この地域では北北西-南南西の地震動が大きかったことを示唆しており、SV波の可能性が高い。このように直下型地震の場合、震源の相対的な位置関係によって、卓越する地震動の大きさならびにその方向が顕著に変化していることが分かる。

(3) 阪神地域西部 (明石市・神戸市) 明石地域は震源に近いにもかかわらず、比較的被害は少ない。これは、横ずれ断層の走行に対し直交方向に位置しており、被害の大きかった地域との表層地盤の差を考慮しなければ、前述の横ずれの破壊方向に沿ってより地震動が増大し、その直交方向では相対的に地震動が小さいという理論的な推定と合致した結果を示している。

神戸地域では、墓石・神社仏閣の転倒・倒壊方向は北東-南西方向が卓越している。余震分布から推定される断層は、六甲山系に沿って破壊されたと考えられる。また右横ずれ断層を仮定すれば、地盤の変位は六甲山系側は北東へ、海側は南西にずれている。断層破壊の進行方向に対してSH波が卓越するというこれまでの議論からすると、断層の東側にある神戸地域ではSH波の振動方向は、北西-南東と考えられる。したがって、被害状況から北東-南西方向の力が卓越することを説明するには、SV波が考えられる。すなわち断層東側のSV波の振動方向は北東-南西となるが、この地域でSV成分が卓越することは、山側からの反射の影響などを考慮しなければ説明は

難しい。むしろ地震動というよりも、北東-南西方向からの広域の変位を生じさせた強い力により、構造物が大きな被害を受けたと考えられる。最後に、余震観測の結果から、神戸地域で最も被害の大きかった鉄道沿いの「震災の帯」にあたる地域で得られた加速度は、山側の観測点での記録の約3倍程度大きいことが分かり²⁴⁾、地震動に対する地盤の影響の大きさが実証された。

4.3 震源モデル

Fig.7は、各大学の臨時観測によって記録された1月27日から2月22日の間の余震分布である²⁵⁾。余震分布からは、ほぼ北東-南西方向に沿って断層の存在が推定される。特徴的な点は、初期破壊が生じた岩屋沖付近が余震の空白地域となっている点である。これは、この付近ではかなり破壊が進んでおり、余震を発生させ得る剛性を有していないのではないかと考えられる。発震機構からは、右横ずれ成分が卓越する。破壊は、定性的には初期破壊点から、一方は六甲山麓に向かう北東方向に、他方は淡路島北淡町方向に破壊が進んだと考えられ、三つの断層が連鎖的に動くとすれば世界各地で観測された長周期地震記録が説明出来るとしている²⁶⁾ (Fig.8)。最近の解析では、主に断層のアスペリティやディレクティビティ等を考慮した、逆解析による複数の震源モデルが提案されている^{27)~29)}。

4.4 地震動シミュレーション

ここでは、横浜市大・菊地教授による震源モデル²⁶⁾を用いた地震動シミュレーション結果を示す。用いた断層パラメータをTable2に示す。地震動シミュレーションの手法は、京大・入倉教授が提案した波形合成法^{30)~32)}を用いた。Fig.9に兵庫県南部地震による阪神地域の地震基盤上の地震動伝播 (加速度) の様子を示す。図中の赤色は水平動 (SH波成分)、青色は鉛直動 (SV波成分) が卓越した地震動に対応する。横ずれ断層による断層破壊方向

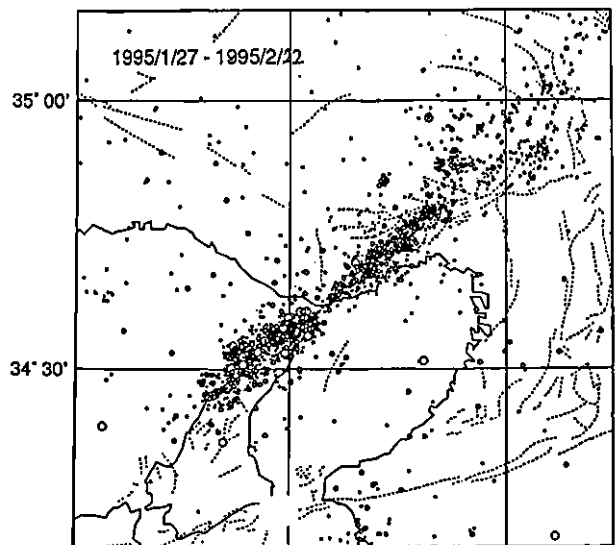


Fig.7 兵庫県南部地震の余震分布²⁵⁾
After Shock Activity

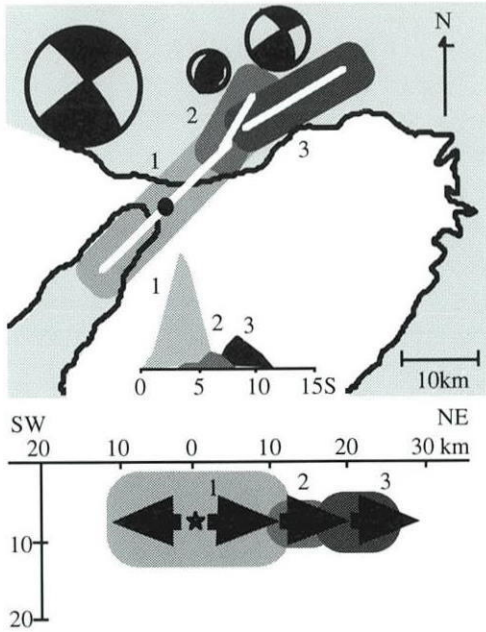


Fig.8 横浜市立大学・菊地教授の震源断層モデル
Earthquake Faults Model (after Kikuchi, 1995)

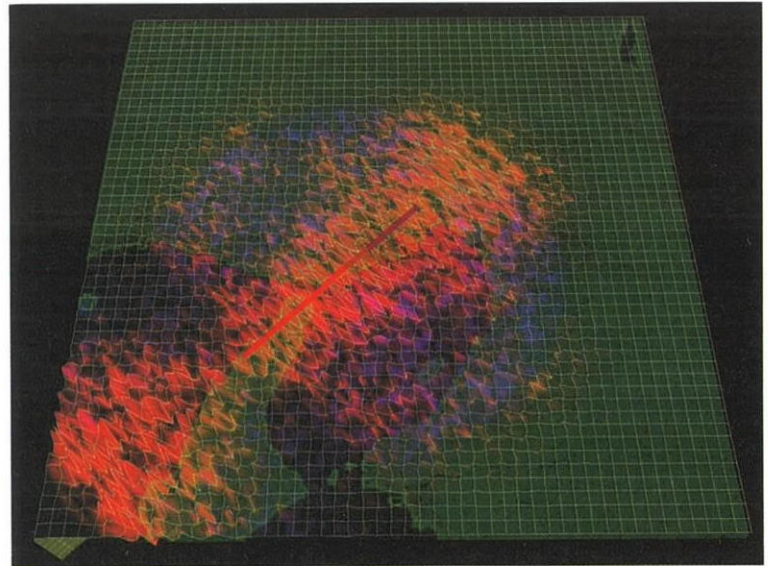


Fig.9 シミュレーションによる地震動の伝搬状況
Seismic Wave Propagation by Numerical Simulation

Table 2 地震動シミュレーションに用いた断層パラメータ
Fault Parameters on Seismic Simulation

断層 No.	メカニズム (走行、傾斜、滑り角)	モーメント $\times 10^{19} \text{Nm}$	継続時間 S	断層面積 km^2	ずれ (水平、垂直) m
①	(231, 87, 172)	1.89(Mw 6.8)	0 - 6	24 \times 12	2.1 (2.1, 0.3)
②	(207, 54, 88)	0.21(Mw 6.1)	4 - 9	9 \times 5	1.6 (0.1, 1.6)
③	(238, 88, 155)	0.56(Mw 6.4)	6 - 11	12 \times 6	2.6 (2.4, 1.1)
平均	(233, 86, 167)				2.1 (2.0, 0.5)
総和		2.51(Mw 6.9)	0 - 11	40 \times 10	

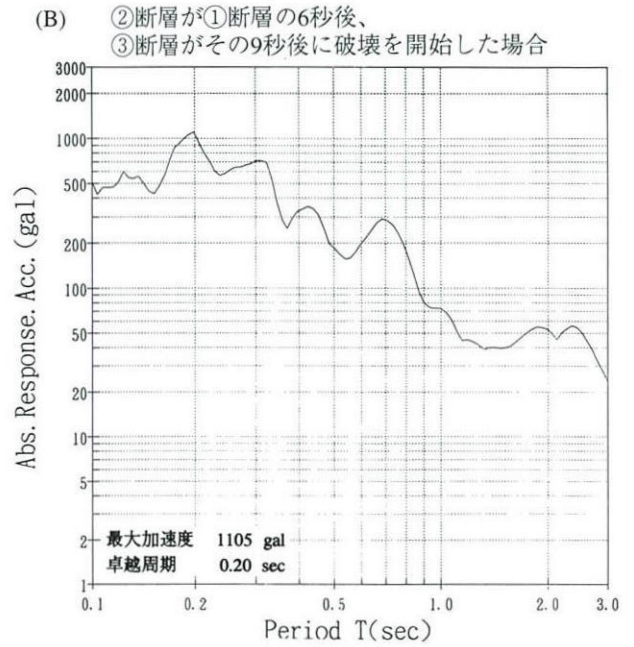
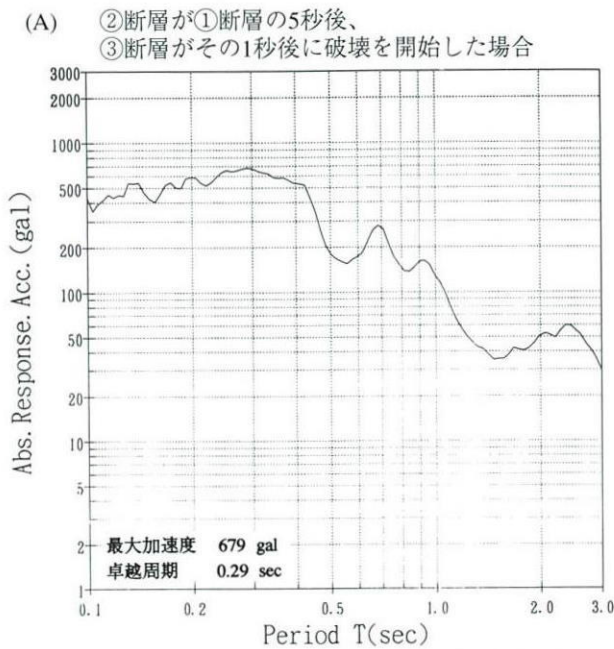


Fig.10 断層破壊時刻の違いによる地震応答スペクトルの比較例
Effect of Rupture Time of Faults on Seismic Spectra

への大きな発振パターンが、顕著に示されている。第2断層および第3断層は、第1断層の破壊開始時刻よりそれぞれ4秒後、6秒後に破壊が開始したとして、地震動をシミュレーションしている。複断層による地震動シミュレーションでは、詳細な断層パラメータが必要となり、その一つに断層破壊時刻がある。3断層がどのような時間差で破壊を開始したかがシミュレートされた地震動に大きく影響する。Fig.10にその比較例を示す。破壊開始時刻の差により、最大加速度や卓越周期に大きな差が生じることが分かる。したがって、今後の地震動予測では、このような評価も重要と考えられる。

5. おわりに

本研究は、現地調査結果も踏まえて、活断層評価などの地質的検討および地震波の入射方向に関して分析を行い、併せて地震動シミュレーションの結果について述べた。

今回の大震災を契機として、地質学的には関西地区の活断層の活動履歴が具体的に明らかになりつつあり、また防災調査としては反射法探査などの極めて大規模な深部地下構造調査が実施された。地震学的には、震源断層モデルは複断層モデルにより表現され、これに基づいて地震動シミュレーションが実施され、可視化により実際の地震動との比較検討が可能となった。

震災後、行政や諸学会から各種の提言がなされている。

建設省では「設計地震力設定における地点特有の地震環境の考慮」を³³⁾、日本建築学会では「地震危険度、地盤、地形を考慮した地域係数の導入」や「断層近傍の地震動の性質を含めた設計用地震動」を³⁴⁾、また土木学会では「震源断層近傍地での地震動の考慮」などを³⁵⁾提言している。また応用地質学会からは、1) 基礎科学としての活断層・地震断層の調査評価から、防災工学・耐震工学的立場のための調査評価手法の確立、2) 動的地盤図の作成、3) 人工改変地盤の分布図作成、4) 地震直後の過渡的な地質現象の調査手法、5) 地震と地下水特性の調査手法・観測体制・評価手法などが今後の課題としてあげられている³⁶⁾。また防災と活断層との係わり合い³⁷⁾や、いわゆる「活断層法」に関する提言がなされており¹⁵⁾、開発に際してこの概念を参考にした自治体もある。

今後とも耐震設計の第一段階においては、従来の手法により設計用入力地震動が作成される。一方で第二段階では、当社の意見広告（日経新聞95/8/31）ばかりではなく以上のような提言にもうたわれているように、深部地下構造（不整形性・伏在断層・S波構造など）を反映させた地震動シミュレーションの実施や入力地震動の作成技術の高度化が極めて重要となろう（Fig.11）。深部地下構造の探査技術としては各種あるが、防災調査としては今回初めて大規模に実施された反射法探査は最適な調査手法である。このような観点から、今後も地下構造の工学的評価技術を向上させてゆく必要があると考えられる。

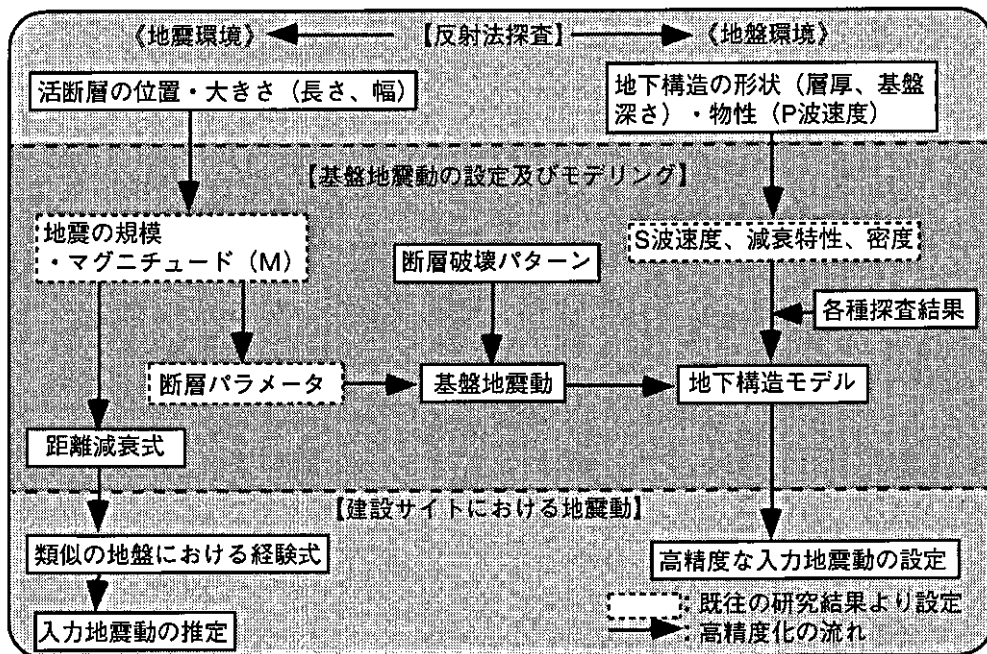


Fig.11 震源断層と深層地下構造を考慮した地震動設定のフロー
Flow Chart of Determination of Seismic Design Motion Based on the Fault Model and Geological Structure

参考文献

- 1) 藤田和夫：1/200,000近畿地方第四紀地質図，土質工学会関西支部・関西地質調査業協会編著，新編 大阪地盤図・付図-1，(1987)
- 2) 通産省工業技術院・地質調査所：地域地質研究報告（5万分の1図幅），大阪西北部地域の地質（1982），神戸地域の地質（1983），須磨地域の地質（1984），大阪西南部地域の地質（1985），明石地域の地質（1990），洲本地域の地質，（1992）
- 3) 活断層研究会 編：新編 日本の活断層，付図-I（1/100万分 日本活断層図），東京大学出版会，（1991）
- 4) 寒川 旭：地震考古学，中公新書，256p，（1992）
- 5) 市川 実：大阪とその周辺地域の第四紀地質図，および同地質図について，アーバンクボタ30号，（株）クボタ，（1991）
- 6) 物理探査学会：物理探査学会・第94回学術講演会・講演論文集，シンポジウム「物理探査でみる阪神・淡路地域の地下構造」，p.423~464，（1996）
- 7) 地質調査所：地質調査所月報告，Vol.47，No.2/3，p.79~164，（1996）
- 8) 平田 直，他：淡路島横断反射・散乱法地震探査（TASP）（2），地球惑星科学関連学会1996年合同大会予稿集，A21，p.11，（1996）
- 9) 日本第四紀学会・第四紀研究連絡委員会：1995年1月17日兵庫県南部地震調査速報会記録，90p，（1995）
- 10) 東京地学協会・発行：地学雑誌，Vol.104，No.1，口絵およびp.113~155，（1995）
- 11) 日本応用地質学会；応用地質，Vol.36，No.1，2，3，5，（1995），同 Vol.37，No.1，（1996）
- 12) 日本応用地質学会：「阪神大震災」中間報告会（人工改変と地震災害）予稿集，131p，（1995）
- 13) 日本応用地質学会・阪神淡路大震災調査委員会：兵庫県南部地震（一地質・地盤と災害）報告書，364p，（1995）
- 14) 日本地質学会・環境地質研究委員会：シンポジウム「阪神・淡路大震災と地質環境」論文集，258p，（1995）
- 15) 日本地形学連合編：兵庫県南部地震と地形災害，古今書院，182p，（1966）
- 16) 電力中央研究所発行：電力中央研究所報告，1995年兵庫県南部地震における断層，地震動，被害に関する調査研究，総合報告U 29，p.6~36，（1996）
- 17) 地質調査所：地球惑星科学関連学会1996年合同大会予稿集，A21-05，C11-11，12，13，C11-P17，（1996）
- 18) 松田時彦：活断層からの地震予測 一要注意断層の問題点一，地球惑星科学関連学会1996年合同大会予稿集，A21-06，（1996）
- 19) 岡田篤正：花折断層のトレンチ調査結果の速報，京都新聞記事，（1996）
- 20) 山崎晴雄；日本の活断層研究の現状と展望，地学雑誌，Vol.103，No.7，p.780~798，（1994）
- 21) Keiiti Aki & Paul G. Richards；QUANTITATIVE SEISMOLOGY Theory and Methods，Vol.1 and Vol.2，W.H.FREEDMAN AND COMPANY，932p，（1980）
- 22) 金森博雄編；地震の物理，岩波地球科学選書，岩波書店，275p，（1980）
- 23) 中村浩二，荒井賢一：北海道東方沖地震時にオホーツク海沿岸で観測された津波，地震，Vol.48，p.451~462，（1996）
- 24) 工藤一嘉，他：兵庫県南部地震の強震動と地盤による影響，一神戸市西部地区における余震観測と詳細被害調査一，日本地震学会講演予稿集，1995年秋期大会，A99，（1995）
- 25) 平田 直，他（緊急地殻活動調査グループ）：1995年兵庫県南部地震緊急地殻活動調査による余震観測，日本地震学会講演予稿集，1995年秋期大会，A36，（1995）
- 26) 菊地正幸：遠地実体波による震源のメカニズム，月刊地球，号外No.13，p.47~53，（1995）
- 27) 関口春子，他：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年秋期大会，A75，（1995）
- 28) 吉田真吾，他：強震動記録，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年秋期大会，A76，（1995）
- 29) 井出 哲，他：1995年兵庫県南部地震の震源過程1，日本地震学会講演予稿集，1995年秋期大会，A77，（1995）
- 30) 釜江克宏，他：特定サイトにおける強震動予測，日本建築学会論文集，No.409，p.11~25，（1990）
- 31) 釜江克宏，他：地域的な震源スケーリング則を用いた大地震のための設計用地震動予測，日本建築学会論文集，No.416，p.57~70，（1990）
- 32) Irikura, K.：Prediction of strong acceleration motion using empirical Green's function, Proc. 7th. Japan Earthq. Symp., p.151~156，（1986）
- 33) 建設省：平成7年阪神・淡路大震災建築震災調査委員会最終報告，（1996）
- 34) 日本建築学会：第一次提言「建築および都市の防災性向上へ向けての課題／阪神・淡路大震災に鑑みて」，（1995）
- 35) 土木学会：土木構造物の耐震基準等に関する「第二次提言」，（1996）
- 36) 小島圭二：兵庫県南部地震報告会に於ける「日本応用地質学会からの提案」，応用地質，Vol.37，p.73~76，（1996）
- 37) 松田時彦：活断層，岩波新書，242p，（1995）