

大飯原発差止京都訴訟弁護団

淡路島「野島断層」及び神戸「震災の帯」

見学ツアー（2016年10月30日）



1. 兵庫県南部地震の震源情報 —— 2
2. 野島断層（淡路島）————— 5
3. 震災の帯（神戸市）————— 9

資料作成 竹本修三

（大飯原発差止京都訴訟原告団長・京都大学名誉教授）

1. 兵庫県南部地震の震源情報

1.1 本震

気象庁の「阪神・淡路大震災から 20 年」特設サイトによれば、兵庫県南部地震の本震の震源情報 (http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/1995_01_17_hyogonambu/) は、下記のように記されている。

発生時刻：1995 年（平成 7 年）1 月 17 日 5 時 46 分（JST：日本時間=UTC+9）

震央：淡路島北部、兵庫県津名郡北淡町（現淡路市）（N34°36′、E135°02′）

震源の深さ：16km

地震の規模：M7.3(気象庁マグニチュード)、Mw6.9(モーメントマグニチュード)

最大震度：7（表紙写真参照）

発震機構：東西方向に圧力軸をもつ横ずれ断層型

1.2 地震断層

図 1 に、1995 年 1 月 17 日 05 時 46 分～2 月 19 日 15 時 00 分までの約 1 か月間の余震の震央分布、並びに本震（M7.3）と 3 つの余震（M4.8, M4.9, M4.9）の発震機構が示されている。この図の余震分布の並び方から見ると、地震断層は、北から時計回りにほぼ 45°ずれた右横ずれ断層であったことが理解できる。

地震前後の測地データの解析および余震の分布などから伊丹市中心部付近から淡路市北淡町まで北東から南西に伸びる長さ約 50km、深さ約 5～18km の地震断層面が考えられる。この断層面南西側の淡路島北部から始まった断層のずれは、約 10 秒間に断層全体に広がって大きな揺れを引き起こしたものと推定されている。

これより先に国土地理院（1995a）が 1883～1994 年の測地測量データから求めた中部・近畿地方の過去約 110 年間の地殻変動の解析結果 (<http://www.gsi.go.jp/cais/HIZUMI-hizumi4-100.html>) によれば、この地域では東西方向に年間 1×10^{-7} 程度の縮み変化を示している。近畿地方は東西方向の主圧力を受けて、そこで起きる地殻内断層地震は、主圧力の方向と $\pm 45^\circ$ ずれた方向に破壊面が走るのが一般的であるが、兵庫県南部地震も例外ではない。

図 1 に示されている発震機構解は、P 波初動の押し引き分布から求められたものである。図で P と書かれているのは Pressure（圧縮）の領域であり、T と書かれているのが Tension（伸長）の領域である。このなかで本震（M7.3）の発震機構解を見ると、ほぼ東西に主圧力の方向を有する横ずれ断層であったことがわかる。2 本の断層接線（nodal line）の方向

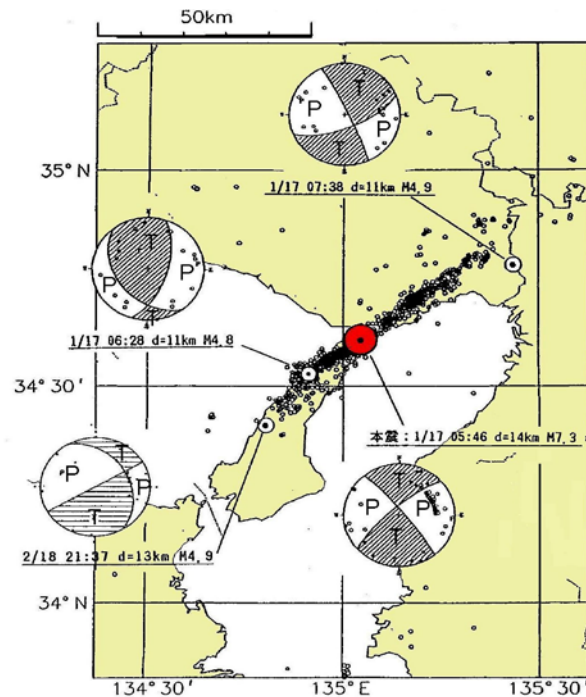


図 1 本震と 1 か月間の余震の震央分布と本震及び 3 つの余震の発震機構（大阪管区気象台・気象庁地震予知情報課、1995）。

に沿う 2 つの共役断層のうち、余震分布の走行から考えると、北東から南西方向に向かう右横ずれ断層であったことは容易に理解できる。

図 1 に示されている本震の発震機構解をさらに詳しく見ると、接点 (nodal point) は円の中心ではなくて、やや北方にずれている。このことは、兵庫県南部地震は、概ね右横ずれの水平断層として理解してよいが、一部は断層の東南側が西北側にせり上がっている逆断層の成分も含んでいる。マグニチュード (M) 4 クラスの 3 つの余震の発震機構解は、本震の場合よりやや複雑であり、右横ずれ断層を主体としつつも、逆断層型及び正断層型の成分を含んでいる。マグニチュードが 2 つ下がると、エネルギーは 1000 分の 1 になるので、細かい部分になると同じ断層面でも複雑な動きをしているということであろう。

測地データのほか、近傍の強震計や世界規模の地震計による観測データを用いて、本震は 2~5 のサブイベントからなる多重震源地震であったという研究が多く研究者によってなされている。しかし、地震断層面のなかの細かい変位量については、決定打となる解釈は得られていない。従って、神戸市域を含む地震断層面全体の平均変位は 1~2m の右横ずれ断層と考えてよいであろう。

地震に伴う地表面の変位量を求めるには GPS (全地球測位システム) を用いるのが一般的である。現在では、国土地理院により、全国に約 1300 か所の GPS 観測点 (電子基準点) が整備され、沖縄県を除くと、ほぼ 20km 間隔で監視ができるようになっているが、1995 年の兵庫県南部地震当時には、国土地理院による電子基準点網はまだ確立されておらず、GPS 観測点は、まばらな状態であった。図 2 (左側) は、近畿地方周辺の 18 か所の GPS (全地球測位システム) 観測点で得られた地震前後の水平変位を国土地理院が解析した結果を示してある。(国土地理院、1995a、<http://www.gsi.go.jp/REPORT/JIHO/vol83-3.html>)。この図は、震源から約 150km 離れた鳥取県東伯町 (図 2 (左側) の左上に示されている) を固定点、つまり、変位ゼロの点と仮定した場合の、残り 17 の観測局の相対変位を示したものである。兵庫県御津町が東に約 3 cm、大阪府箕面市が西へ約 4 cm、奈良県吉野町が西北西に約 2 cm 移動しているほか、変動量は小さいが、京都府宮津市と和歌山県海南市の間が南北に延びている傾向も見られ、東西圧縮型の横ずれ断層モデルで説明できる。

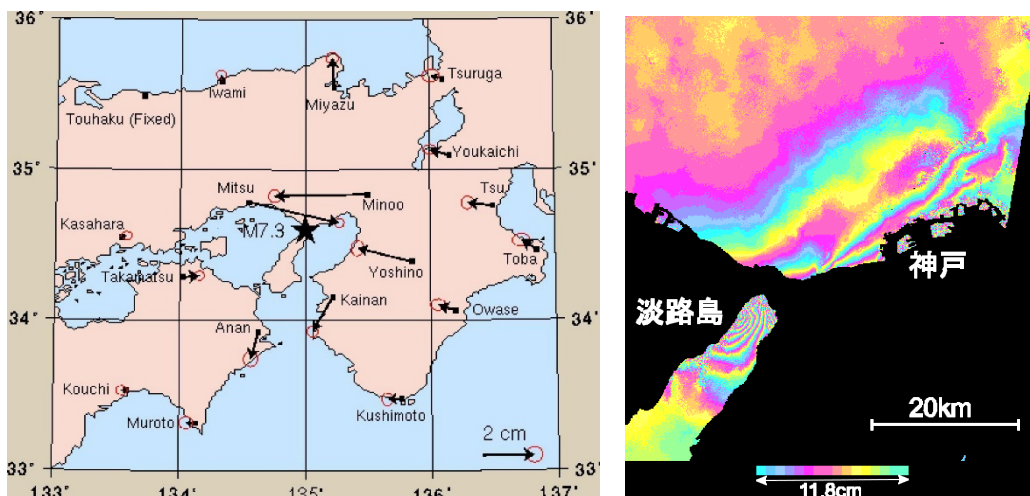


図 2 (左) 全国 GPS 連続観測システムが捉えた近畿地方のコサイスミックな地殻水平変動(国土地理院、1995a)。(右) 干渉 SAR で得られた兵庫県南部地震前後の変位パターン(国土地理院、1995b)。

兵庫県南部地震が発生した頃、にわかに注目されたのが SAR（合成開口レーダー）技術である。これはもともと密林や砂漠などのように人間が直接入って測量をするのが難しい地帯の標高を決めるのに使われていたが、干渉合成開口レーダー（InSAR: Interferometric SAR）によって、同じ地点を 2 度にわたって観測し、そのデータ処理をすることによって、2 度の観測の間の地表面の変位パターンを知ることができる。最初にこの方法で、地震前後の断層のずれの観測結果を国際誌に発表したのがフランスのマソネ（D. Massonnet）博士であった。彼は 1992 年 6 月に米国カリフォルニア州で起こったランダース地震前後の地震断層のずれを 1993 年 7 月 8 日号の Nature 誌 364 号に発表した。1993 年 12 月に神戸市のポートアイランドで 23 カ国、189 名の世界的に著名な地殻変動研究者を集めて第 8 回地殻変動国際シンポジウムがアジアで初めて開催された。われわれは、この国際シンポジウムにフランスのマソネ博士を招待講演者として招聘した。

それ以後、わが国においても干渉合成開口レーダーを用いた地震前後の地殻変動の研究が行われるようになった。国土地理院は、宇宙開発事業団が打ち上げた地球資源衛星「ふよう 1 号」に搭載された合成開口レーダーにより得られた 1995 年兵庫県南部地震の前後の繰り返し観測のデータを解析して、地震による地殻変動を面的に捉えることに成功した（国土地理院、1995b、<http://www.gsi.go.jp/REPORT/JIHO/vol83-4.html>）。この図を図 2（右側）に示してある。

このように、GPS アレイを用いた国土地理院の電子基準点網の観測データや国内外の研究機関が打ち上げている合成開口レーダーのデータを用いた地震前後の地殻変動の研究は、1995 年の兵庫県南部地震以後に盛んに行われるようになり、2016 年の熊本地震でも多いに活用された。

ところで、高校地学の教科書には、兵庫県南部地震の初動分布と推定された震源での断層運動の模式平面図として、図 3 に示した図が掲載されている。図で、(a)の初動分布の 2 つの境界線のうち、(b)の北東-南西方向の線が断層面の方向と推定されている。兵庫県南部地震の一般的な理解としては、この図の解釈で正しいと考えられる。

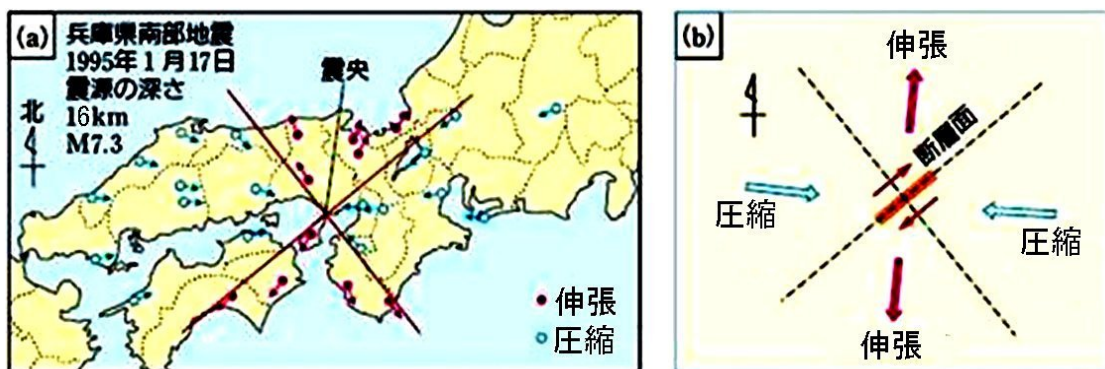


図 3 兵庫県南部地震の初動分布(a)と推定された震源での断層運動の模式平面図(b)、（啓林館、高校地学 I 教科書、2007 年版より引用）。

2. 野島断層（淡路島）

兵庫県南部地震の構成断層の1つである野島断層は、兵庫県南部地震の震源に最も近い断層であり、その全長は、淡路島の北西部・旧北淡町の北端である江崎灯台付近から富島地区までの約10kmに達する。兵庫県南部地震の際に、地表に地震断層面が現れたのは、この野島断層だけである。地震発生の際には断層の南東側が南西方向に約1~2m横ずれを示し（横ずれ断層）、同時に南東側が約0.5~1.2m隆起した逆断層となってその痕跡が残されている。しかし、兵庫県南部地震の前に、野島断層がとくに注目されていたわけではなかった。この断層が活断層という認識で地質図に示されたのは、1975年ごろであったという（尾池和夫、図解雑学『地震』、ナツメ社、2001）。



図4 野島断層上の野島断層保存館と江崎灯台の位置。

今回のツアーでわれわれが訪れようとしている野島断層保存館と江崎灯台の位置を図4に示してある。1998年に「北淡町震災記念公園（現・北淡震災記念公園）」がオープンしたが、このなかの野島断層保存館に保存されている断層の一部が1998年7月31日に国の天然記念物に指定された。

2.1 野島断層保存館

10月30日にわれわれが訪れる野島断層保存館（www.nojima-danso.co.jp/nojima.html）は、北淡町新小倉地区の右横ずれ、南東側隆起が顕著に地表に現れた140m部分を保存したものである。断層保存館内では、0.7~1.5mの右横ずれ変位と南東側が隆起した0.2~0.5mの上下変位を見ることができる。

野島断層保存館ができる前に、この場所に現れた地震断層の写真を図5に示してある（1995年1月、中田 高 撮影）。これは、上空から東を向いて撮影されたもので、右端に河野邸北東側の塀が写っている。この壁を含めて河野邸は、メモリアルハウスとして、現在も野島断層保存館の横に残されている。図5の写真で、画面中央付近を左右に走るのが兵庫県南部地震によって生じた断層面であり、左側が北東方向、右側が南西方向を示す。この写真で、断層の東側（奥側）が手前の西側に比べて、数10cm隆起して西側にせり出しているほか、画面中央付近に立っている人の近くで、2本のあぜ道が断層面に対して1m以上右ずれ変位をしていることがわかる。ここからさらに右を見ると、河野邸の塀が同じように1m程度の右ずれ変位を示している。

図6は、現在の野島断層保存館内で見ることができる地震断層の配置を示したものである。この図は、図5の写真と断層面が同じ方向を向くように描かれており、両図の右端には河野邸の塀が示されている。

図6の(1)がトレンチ部であり、そのなかの(a)が西南部、(b)が北東面のトレンチで、そこから断層面の上下の食い違いを見ることができる。(2)は直線的な低断層崖、(3)は雁行亀裂帯、(4)は主断層と副断層、(5)は道路破壊部分である。また、野島断層保存

館に隣接して河野邸の塀が残されているが、この壁は約 1m の右横ずれをしていることも見ていただきたい。



図5 野島断層保存館の位置で兵庫県南部地震により食い違いを見せた野島断層
(1995年1月、中田 高 撮影)。

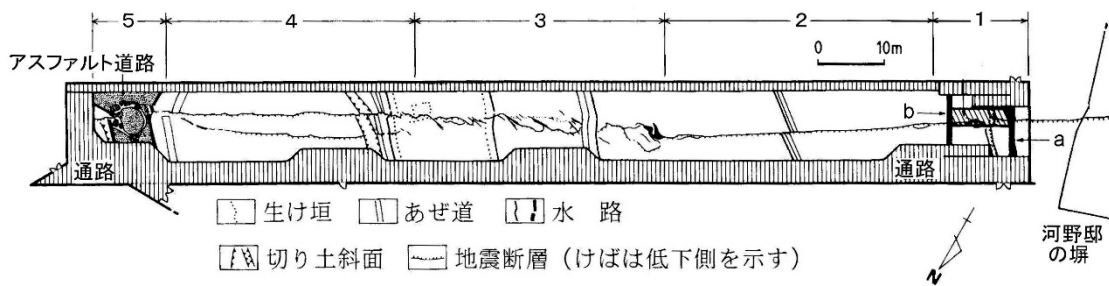


図6 野島断層保存館内の地震断層平面図
(竹村恵二・他(1998)『人と自然』No.9より引用)。

次に、図7には、野島断層保存館の北東側壁面トレンチ展示の写真が示されている。これは、図6の(1) - (b)の位置である。図7の写真を見ると、断層面を挟んで左右の岩石の色が大きく異なっているのが気になった。そこで、今年の10月に活断層問題に詳しい京大理学研究科地球物理学教室の堤 浩之 准教授を訪問し、野島断層についていろいろ話を聞くことができた。図8には北東壁面のトレンチ部工事中(1998年2月)に描かれたトレンチのスケッチ図が示されている。このスケッチ図と図7の写真を見比べると、逆断層面

の上盤である右側は、大阪層群の緑灰色砂質シルト層を中心とした地層であるのに対して、下盤である左側は、地震前にこの場所を造成したときの盛り土が2～3mにわたって堆積しているとのことであった。これで、断層面を挟んで左右の岩石の色の違いが理解できた。盛り土部分は造成時に持ち込まれた粘土塊や砂礫が雑然と堆積し、なかにはビニール袋やビール缶などの人工物も含まれていたそうである。盛り土の下部には大阪層群の粘土、シルト、砂、砂礫層の互層から成り、これらすべてを切って明瞭な断層がトレンチ面に見られるという。

図5と図7とを比較すると、断層面の特徴は損なわないように配慮されているが、表面の盛り土層の整形などにはかなり手が加えられているように思われる。



図7 野島断層保存館の北東側壁面トレンチ展示。

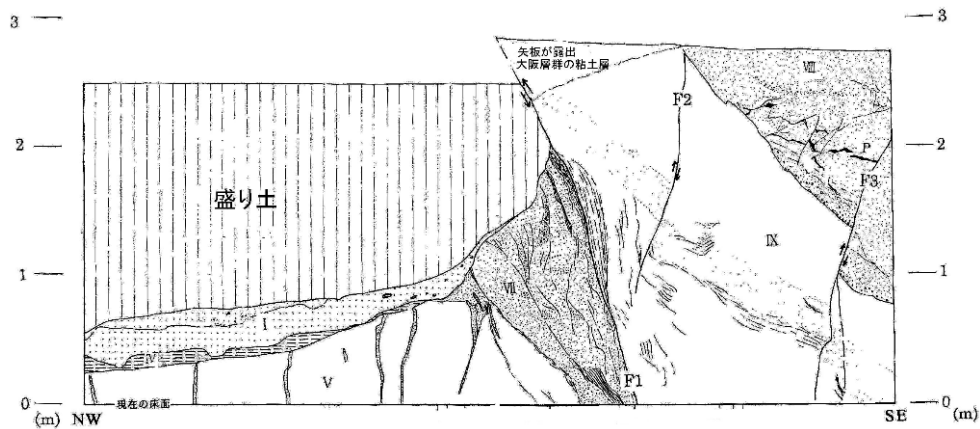


図8 トレンチ北東側壁面のスケッチ
(竹村恵二・他 (1998) 『人と自然』 No.9、57～72 より引用)。

2.2 江崎灯台

江崎灯台は、明石海峡大橋を渡って淡路島に入る直前に、進行方向右手に見える白亜の石造大型灯台である。1871年に初点灯されたこの灯台は、明治初期の大坂条約によって建設された5基の洋式灯台の最初の一つで、歴史的文化的価値が高いAランクの保存灯台および近代化産業遺産である。

県道31号線から江崎灯台へ登る石積み階段の途中に1995年兵庫県南部地震で生じた地震断層の痕跡が残されている。地震時の変位は、水平方向では右横ずれ成分（走向：N40°E）が120cm、上下成分では南東側が逆断層型の50cmの上昇を示した。



図9 (左) 江崎灯台、(右) 灯台へ登る途中の石積み階段に残る地震時の水平横ずれ変位。

江崎灯台から見える明石海峡大橋には忘れられない思い出がある。1993年12月に神戸市で23カ国、189名の地殻変動研究者を集めて第8回地殻変動国際シンポジウムが開催されたが、この国際シンポジウムの組織委員会事務局長兼実行委員長を務めた私は、兵庫県・神戸市や関西地域に本社を置く企業などに国際シンポジウムへの協力と寄付をお願いして回っていた。このとき兵庫県で対応してくれたのが、三露嘉郎・前副知事であった。三露氏は、昭和23年に京大工学部土木学科を卒業後、兵庫県に奉職し、1986～90年に副知事を務めた。1992～93年に私が兵庫県庁を何度か訪れた時代に、三露氏の中心の仕事は明石海峡大橋の建設であり、部屋には関係資料がうず高く積みまれている。その部屋で、三露氏から「神戸は、地震の影響をどの程度考えておかなければならないのですか？」と聞かれた。正直に言って、当時の私は1993年12月に神戸市で開かれた地殻変動国際シンポジウムの1年1か月後にM7.3の兵庫県南部地震が起きるとは予想していなかった。私は「神戸の近くに山崎断層という長大な活断層がありますし、その延長上で地震が起きれば、神戸市も大きな被害を受けるでしょう。明石海峡大橋の建設について、十分な耐震設計を考えておく必要があります」と答えた。三露氏は、「わかりました。日本の土木・建築技術の粋を集めて、直下型地震にも十分耐えうる大橋を作ってみせます」と言ってくれた。

1988年5月に着工した明石海峡大橋は、メインケーブルストランドの張り渡しが終わった段階の1995年1月17日に橋のほぼ直下で兵庫県南部地震発生した。この地震による橋梁構造物の損傷はなく、地盤の変位により全長が約1m伸びることになったが、大きな設計変更もなく、1998年4月5日に全長3911m、中央支間1991mで世界最長の吊り橋が開通した。このTVニュースを見て、私は安堵したが、固体地球物理学・測地学の専門家の人として、兵庫県南部地震を予測できなかった自分に後悔が残る。

3. 震災の帯（神戸市）

1995年兵庫県南部地震は、東西方向からの主圧力を受けて、東北から南西方向に走る右横ずれ断層として大方の地震学・測地学的データの説明がつく。しかし、地震断層の南寄りでは逆断層的な成分も含まれており、淡路島の野島断層では東側の地盤が西側の地盤に対してせり上がる現象が観測された。一方で北寄りの神戸市側では地表面に明瞭な断層面は現れなかった。

しかし、表紙の図に示すように、神戸市須磨区から西宮市の地上には幅1km、長さ20kmの「震災の帯」と呼ばれる帯状の被害集中域が生じ、その地域の揺れがとくに大きかった。一般には、地震断層の真上で最も強い揺れが起きると考えられるが、この地震で震度7の強い揺れに見舞われ、建物の崩壊率が30%以上に達した「震災の帯」は、神戸市側の地震断層の真上よりもやや海寄りや東寄りに出現した。この「震災の帯」は、未知の活断層によるものとする説と盆地境で生成された表面波や回折波と増幅干渉効果のためとする説があったが、現在では未知の活断層によるものとする説は、ほぼ否定されている。

いずれにせよ、「震災の帯」では、低階の木造建物の被害だけでなく、三宮周辺の中高層オフィスビル群で中間層が完全に潰れた層崩壊が特徴的である。このような例を図10①～③、図11①～②に示した。これらの写真は、神戸大学附属図書館所蔵の震災記録写真（大木本美通撮影）から引用したものである。



図10 ①神栄ビル、 ②明治生命ビル、 ③神戸国際会館。



図11 ①そごう三宮店、 ②ダイエーリビング館。

図10①の神栄ビル（中央区京町）は、3階部分が層崩壊を起し、この階がすたんとなくなり、4～7階が下に落ちている。②の明治生命ビル（中央区磯上通8丁目）は11階建ての5階、③の神戸国際会館（中央区御幸通8丁目）は一部8階建ての7階部分が層破壊を起している。また、図11の①そごう三宮店（中央区小野柄通8丁目1）と②ダイエーリビ

ング館（中央区三宮町1丁目）でも3階以上で大きな損傷を受けている。

鈴木祥之京大名誉教授の「兵庫県南部地震による建物被害（京大防災研究所年報、第38号A、1995）によれば、コンクリート系および鉄骨構造物の被害に関して、中間層の層崩壊した建物の多くは、6～12階程度の中高層建物であり、1981年に改正された新耐震設計法の基準で建てられた建物では、このような層崩壊は見られなかったという。新・旧基準の違いの1つに設計用地震層せん断力の差があり、新基準では建物高さ方向の設計用地震層せん断力係数の分布が上層部ほど大きくなるように改められたとのことである。

また、下層部は鉄骨鉄筋コンクリート造で上層部は鉄筋コンクリート造のように構造様式が中間層で変更されている建物では、その位置で層崩壊が起こった。神戸海洋気象台で観測された加速度記録の応答スペクトルによると、水平動が0.8～1.0秒付近に卓越周期があり、中高層コンクリート系建物の固有周期にあたる0.4～0.6秒付近にも卓越した成分を有しているとのことで、「震災の帯」のコンクリート系建物の層崩壊にこの振動パターンが影響しているものと考えられる。

日本地震学会HPから辿れる「強震動地震学基礎講座」の「強震動予測で対象となる周期範囲」には図12に示した構造物の固有周期が掲載されている。

構造物の設計や被害予測を行う場合に、実際の構造物には揺れやすい周期（固有周期）と揺れ方（振動モード）がある。図12によれば、木造平屋建てか二階建ての建物の固有周期は、ほぼ0.1～0.5秒までの範囲に分布している。3階あるいは4階建ての一般的な鉄筋コンクリート造の学校建物等の固有周期は、建物がどんな地盤に建っているかにもよるが、一般に0.2～0.5秒くらいである。より一般的な鉄骨造（S造）、鉄骨鉄筋コンクリート造（SRC造）及び鉄筋コンクリート造（RC造）の建物を考えてみると、固有周期は建物の高さが高くなるほど長くなり、1次固有周期T(秒)と建物高さH(m)の関係式として次式がある。

$$T=0.02H \quad (\text{S造})$$

$$T=0.015H \quad (\text{SRC造・RC造})$$

上式によれば、神戸市役所1号館（SRC造、30階建て）の高さは132mであるから、固有周期はT=1.98秒となる。三宮に近い神戸海洋気象台で観測された加速度計の卓越周期が、0.8～1.0秒付近及び0.4～0.6秒付近にある（鈴木、1995）とのことなので、神戸市役所1号館をはじめとする付近の30階以上の超高層ビルは、兵庫県南部地震の影響をほとんど受けなかった。これに対して、高さ20～30mのSRC造のビルの固有周期はT=0.30～0.45秒であり、神戸市役所2号館をはじめ、三宮一带の6～12階程度の中高層建物が大きな被害を受けた。なお、2次固有周期は、上式の約1/3、3次固有周期は約1/5となるという。

東京の新宿副都心に建ちならぶ200m級の超高層建物（S造）の固有周期は、上式から約4秒と概算できるし、明石海峡大橋やSan Francisco湾にかかるGolden Gate Bridgeでは固有周期はそれぞれ17秒、20秒に達するという。

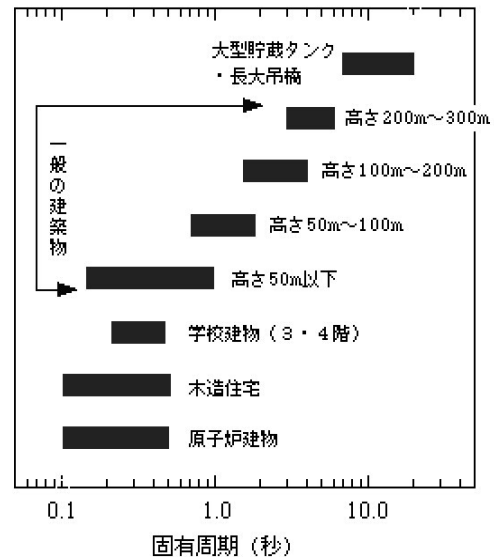


図12 構造物の固有周期。

図 12 で原子炉建物の固有周期が木造住宅とほぼ同じなのは、小さすぎるという印象があるが、日本地震学会 HP の「強震動地震学基礎講座」には次のような説明がある。

原子炉建物は、放射線や放射性物質の遮へいのために、RC 造を採用し、壁厚 1m を超える非常に剛な構造となっている。また、第三紀以前の岩盤に立地する。このため、幅、高さがともに 60m から 80m にも及ぶような巨大な構造物であるにもかかわらず、その 1 次固有周期は 0.5 秒以下となる。ここでは、現在の日本で多く採用されている原子炉建物の主なタイプである PWR 型（加圧水型）原子炉建物（以下、単に PWR 型）と BWR 型（沸騰水型）原子炉建物（以下、単に BWR 型）についてそれぞれの固有周期を紹介しておく。PWR 型は、硬い岩盤に立地し、同一基礎上に複数の建物が独立して立っている。代表的な振動モードとしては、外側の円筒形の壁とその頂部にドームを持つ PCCV（プレストレストコンクリート製格納容器）の 1 次固有周期が約 0.2 秒にあり、内側の原子炉が設置されている I/C（内部コンクリート）が卓越して振動する 1 次固有周期が約 0.1 秒にある。一方、BWR 型は、PWR 型が立地する岩盤に比較して柔らかい岩盤に立地していることが多く、さらに建物全体が一つの強固な箱のような構造をしているため、その固有周期は地盤の硬軟による影響を大きく受ける。（ただし、岩盤の硬軟で原子炉の型を決めているわけではない。）その 1 次固有周期は 0.2 秒から 0.5 秒の範囲に分布する。

このほか、兵庫県南部地震によって、高速道路、鉄道、港湾、ライフラインなど、基幹的な社会基盤施設が多数損壊したが、図 13 ①～③にその被害の一部を示しておく。



図 13 ①～③ 兵庫県南部地震に伴う高速道路や鉄道高架の被害。

兵庫県南部地震のちょうど 1 年前の 1994 年 1 月 17 日に米国カリフォルニア州ロサンゼルス市でノースリッジ地震（Mw6.7）が発生したが、この地震の直後に現地を訪問した日本の地震工学の大家が、「わが国では、このような地震被害はありません」と豪語したそうだが、その 1 年後に神戸で同じような被害を受けてしまった。

われわれは、兵庫県南部地震（M7.3）の経験をしっかり学び、大飯原発の近傍で M7 クラスの地震が起きたときの場合を考えておかなければならない。地震の際に、たとえ原子炉の安全性は確保されたとしても、取り付け道路は各地で寸断され、要員が原発にアクセスするのが困難になるであろうし、原発近傍に在住する一般住民が、現在の避難計画に基づいて避難できる保証はない。どこでも M7 クラスの地震が起こり得るわが国において原発稼働は土台無理スジであることは、最近の熊本地震を見ても明らかである。

最後に、兵庫県南部地震で多大の被害を受けた神戸市役所 2 号館の震災後の一連の写真を図 14 ①～⑥として示しておく。この一連の写真は、神戸大学附属図書館所蔵の震災記録写真（大木本美通撮影）から引用したものである。2 号館は 1957 年に新築された 8 階建の建物であったが、1995 年 1 月 17 日の地震で 6 階部分が層崩壊を起し、6～8 階部分は撤去され、新たに地上 5 階地下 1 階の高さ 24.2m の建物として蘇った。



図 14 ①、② 1995 年 1 月 18 日 震災直後の神戸市役所 2 号館



③1995 年 4 月 30 日の神戸市役所 2 号館



④1995 年 9 月 25 日 補修工事が始まった 2 号館



⑤、⑥ 1996 年 3 月 22 日 改修復興工事を終えた 2 号館（現在の姿）。

