3．5．　芦屋市親王塚町から川西町

北東方向から延びてきた系統的な変位を示す部分は，真っすぐ延ばすとこの間でＪＲ東海道本線，国道２号線，芦屋川を斜めに横切ることになる。甲陽断層に限らず，とくに河川の護岸や強固な建造物で被覆された場所などでは，変位を確認できる場所が散点的となり，系統的な変位を発生した場所がどこへ延びるのかを特定することがむつかしいことがある。そのようなケースの議論については，次項でまとめて述べる。芦屋川を横切って川西町に入ると再び建造物の損傷がおびただしくなり，宅地の擁壁などで右ずれを確認できる。最大のものは約12センチであった。

3．6．　神戸市東灘区深江北町から海岸部

川西町からの大きな被害地域は，南西に神戸市東灘区深江北町一丁目，深江本町一丁目・二丁目，深江南町四丁目を経て神戸商船大学方向に延びる。深江北町一丁目の白井池のある公園では，池を横切って南北方向に架けられた橋の北の取付け部分がはずれて，橋は南側の地盤と共に25センチ右横ずれした。北東方向から直線状に延びてきた破壊域が池北側の護岸を破壊しながら橋の下を通過して南西方向に延びているためで，池の南側では右ずれを示唆する杉型の雁行状（左雁行）地割れがN55°Eの方向に発達している。この亀裂に平行な方向に設けられた公園南側の鉄製の柵では，コンクリート製の足の東側の土が盛り上がり西側に規則的に隙間ができているのが観察された（写真２）。これは，北東－南西に延びる断層のとくに南側の地盤が瞬間的に南西方向に移動したことを強く示唆している。同様の現象は，系統的な変位地形が明瞭に追跡されている「渦ケ森断層」に沿っても観察された（平野・波田，印刷中）（図２）。すなわち，神戸市東灘区親和女子高校の西側に渦ケ森断層に関るとみなされる亀裂が生じていて，道路に沿うネットフェンスの基礎がこの亀裂を境にして，北側では基礎の北側に隙間を生じているのに対して，南側ではそれが逆転するのが観察された。石垣も捩じれるように押し出されている。地盤が亀裂を境に右横ずれしたことを明瞭に示している現象である。

深江本町では東西方向に延びる阪神高速３号線が橋脚の破損によって北側へ横倒しになったが，われわれの調査によれば，甲陽断層の延長部は横倒しになった部分の西端近くを斜めに横切る。したがって，長大構造物である高架橋部分には東西方向に圧縮力がかかる状態になっていたはずで，その点は被害写真の破壊状況とも一致する。それに対して，甲陽断層の場合は前述した白井池の変状から判断して，断層より南側の地盤が顕著に南西方向に移動していたと考えられることから，横倒しになった部分の橋脚は南西側に移動する地盤によって南へ足を払われるように移動した可能性があり，このことが北西側へ加わった慣性力と相まって高速道路が北側へ倒壊した原因の一つと考えられる。変位地形としては，深江南町四丁目の小公園の入口で5.5センチ，深江大橋の北詰で２センチの右ずれが認められるのが最南端のものである。神戸商船大学の校庭には杉型の雁行状亀裂が噴砂現象を伴って発生している。

以上のように，今回系統的な変位を示した場所は，既知の甲陽断層の断層線とほぼ一致する場合と，それから少し離れた位置に出現する場合とがある（図１）。既知の断層に沿って今回の地震でも

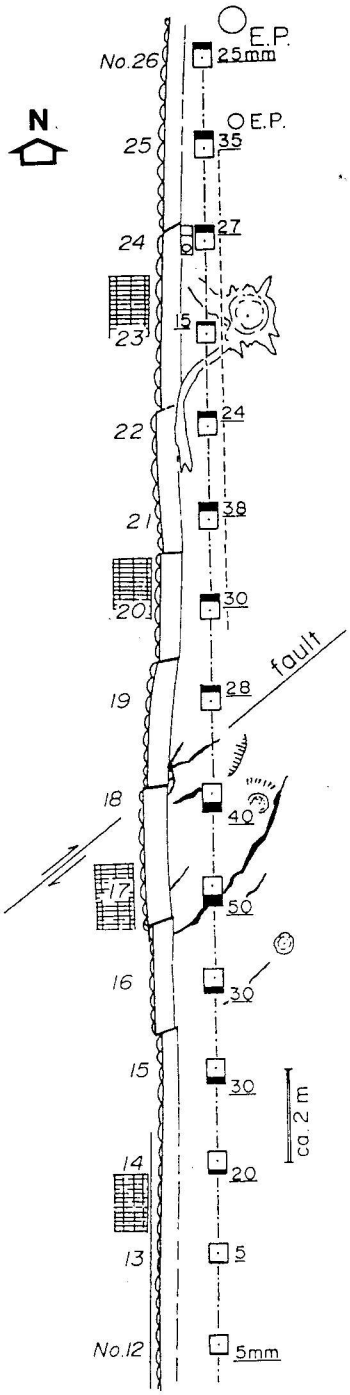

図２：渦ケ森断層に沿う神戸市灘区親和女子高校西側のネットフェンスの基礎にできた系統的な隙間（黒く塗りつぶした部分。数字はその大きさを示す）。亀裂を境に隙間の位置が逆転している（平野・波田，印刷中より）。

系統的な変位・変状が発生したということは，今回の地震によっても甲陽断層が永久変位を累積する形で活動したことを意味する。また，これまで活断層に関してデータがなかった沖積層が広がる市街地でも，甲陽断層を真っすぐ延ばした位置に顕著な系統的な変位を示す場所が直線上に配列することが明かとなったことは大層重要である。公表されつつある大阪湾における弾性波探査の結果を参照すると，甲陽断層の延長部分はさらに延びて海底の断層につながっている可能性が高い。

４．広義の変位地形以外の地表の系統的変状

このような直下型地震を前提とした都市部における断層の調査については，地下埋設物の存在に関わって垂直変位の発生がしばしば認められる中にあって，横ずれ断層の系統的な変位を裏付ける都市構造物の水平変位が造構変位として極めて重要である。しかし，都市域では断層の活動に伴われる系統的な変位の分布は必ずしも完全に連続するわけではない。ところが，市街地の道路や建造物に広義の変位地形が認められない場合でも，横ずれ断層の変位による水平加速度に関わるとみなされる特徴的な破壊の様式が明らかになってきた。断層により地盤に水平変位が生じるときには，変位の開始時と停止時に大きな水平加速度が発生する。この時水平加速度の方向が逆となるが，断層の変位と構造物の特性の関係で構造物の破壊方向についてこの２つのいずれかの区別ができる。

すなわち，たとえば神社の手水盤や墓石の場合には，竿石の下にある台座のように重量があるにもかかわらず弱い水平の結合部をもつものは，水平移動開始時の水平加速度で取り残され，変位の方向と反対の位置に残っている（断層の直上で大きな垂直方向の加速度が同時に働いている）。例え

ば，今回新しく神戸市東灘区住吉地区でみつかった系統的な左横ずれの変位を示す変状地は神戸市東灘区魚崎灘高校の南の墓地へと延びるが，そこでは亀裂などは発生していない。しかしながら，墓石竿石の下の台座が変状地の延長線を境に逆方向に移動しているのが観察された（平野・波田，印刷中）（図３）。この場合台座部分は地盤の動きに対して慣性により取り残されたもので，このような現象は地盤の変位した方向や，横ずれ断層の位置を特定する場合の指標となることを示している。先に示した基礎の浅いネットフェンスの基部の動き方も（図２）同様の様式で，地盤の変位を記録している。

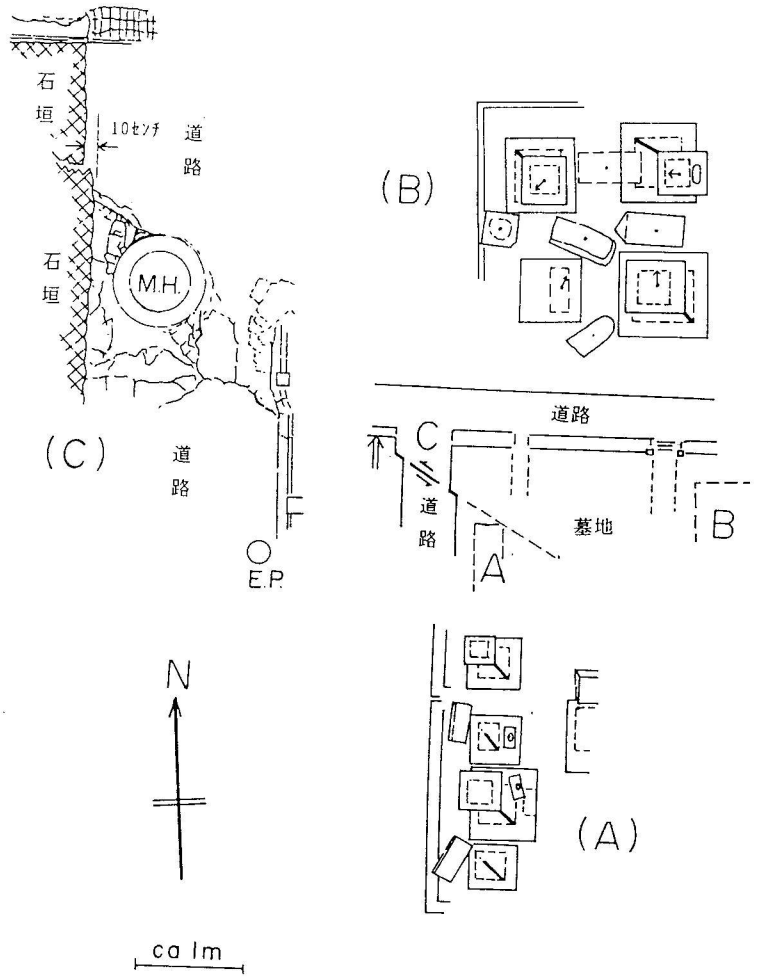

図３：神戸市東灘区魚崎灘高校南の墓地周辺における左ずれを示す広義の変位地形。墓石Ａブロック（記号Ａ），同Ｂブロック（記号Ｂ），変位地形（記号Ｃ）の相互の位置関係を中央に示す。墓石部分に記入した太矢印の方向に地盤が変位した（平野・波田，印刷中より）。

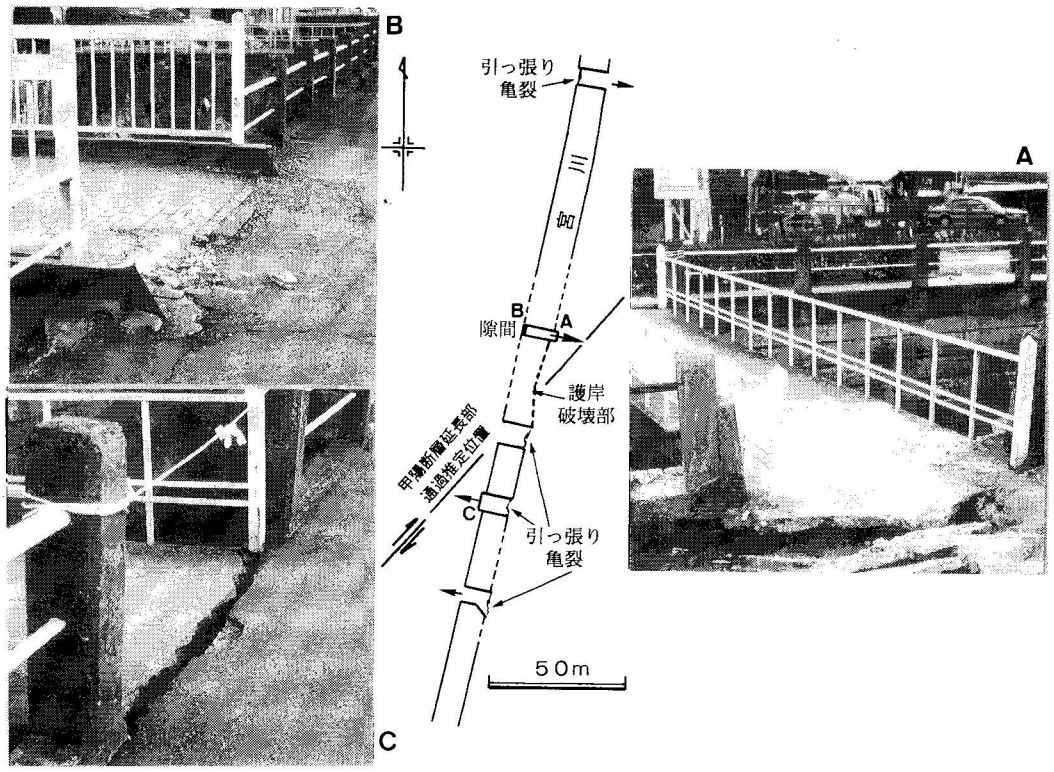

図４：芦屋市大原町の宮川に架かる橋の変状（本文参照）。

これに対して，深い基礎を持ちかつ強い結合を持つものでは，変位開始時には地盤と一緒に運動し，運動停止時の加速度でその上部が破壊しているケースが多い。強いビルディング，高架橋，斜面などがこれである。この場合，上部構造はあたかも失速するような形で，変位の方向に掘り出されて破壊している。甲陽断層の近傍で発生した仁川百合野町と上ケ原浄水場の地すべりはこのようなケースにあたるとみられる。ところで先に述べたＪＲ芦屋駅をはさむ南北両側の地帯のように，河川の護岸や強固な建造物で被覆された場所では広義の変位地形を確認できる場所が散点的になる。そのようなケースでも，例えば，芦屋市大原町では，南北方向に流れる宮川沿いでそこに架かる橋の移動方向が逆転しているのが観察され（図４），追跡している広義の変位地形の延長部分がどこへ延びてきているのかを推定することができた。そこでは護岸がひどく破壊されている部分を境に，その北側に架かる橋は東側に乗り上げ西側の付け根部分に隙間ができているのに対して，その南側の橋ではその様子が逆になっていた（図４中の写真）。この場合，地表での地盤の変位は凹型をなす川幅が縮むことで吸収されるが，その上に架かる橋はそうはいかず，また，地盤の変位方向に失速するように破壊した結果，一方にのし上げもう一方には隙間ができるように変形したもので，そのような変位の仕方がある場所を境に逆転しているということは，その場所を境に地盤が逆方向にずれるように変位したを示していると見なすことができる。この場合は，右横ずれ運動が発生したことになる。なお，甲陽断

層の延長部が通過すると推定された位置近傍に架かる鉄製の橋は，取り付け部が損傷しているものの，どちらへも移動はしていない。同様な現象が，今回顕著な変動を示した淡路島の「野島断層」に沿う北淡町小倉で観察された。小倉では，地表に右横ずれ1.4メートル，縦ずれ55センチの断層が生じた（林ほか，1995）。

その断層が南北方向のアスファルト道路を斜めに横切る場所がある。断層より北西側では，道路東側の側溝がつぶれるように変形してアスファルト路盤がのし上げていて，反対側の西側のアスファルト路盤と側溝の間には隙間ができている。ところがこの様子は，断層より南東側では全く逆になる。地盤の右横ずれ断層運動によく対応している。

このように2つの破壊様式を判別することにより，変位地形が明瞭でない場合，とくに沖積層の厚い市街地でも，変位のセンスが逆転する部分として，追跡している広義の変位地形を連ねた変状地が通過する位置を推定することができる。

5．まとめ

このような調査を神戸・阪神間で実施した結果，多くの既存の活断層に沿って同様の系統的な右ずれ変位を確認することができた。さらに，従来地質図に断層が記載されていなかった市街地でも，右横ずれ変位を示す場所が明瞭に北東―南西方向の線上に配列することや（例えば，城山断層とした部分），一般に連続性はよくないがそれらと共役な関係にある北西―南東方向の左横ずれ変位を示す変状がやはり線上に配列することも明かとなった。そこで，広義の変位地形を連ねる線として，阪神間の市街地直下にある「今回活動した断層」を認定することができる。その結果をまとめたのが図5である。

一般に「変位地形」というとき，地質時代における変位の累積性が問題となり，さらに六甲山地山麓の2,000m以上に達する厚い堆積物があってもなお基盤の変位が地表に達するかどうか，という互いに関連する問題がある。しかし，基盤の変位は何本かの平行する断層群によって分担されており，かつ個々の断層については例えば甲陽断層は明瞭に大阪層群上部を切っており，神戸市域の地下に推定された六甲山地の断層の南西延長部は厚い堆積層を変位させているので（笠間・岸本，1974），厚い堆積層といわれているものの大部分には地質時代を通じて変位を累積してできた断層がすでに存在していたということになる。したがって，これまでに累積的変位を受けずに今回初めて変位した堆積層部分というのは，地表付近の沖積層最上部のみにすぎないと見なすべきである。この地域の沖積層最上部は，歴史時代になって条里制が施行されるなどおよそ1,000年にわたる人工改変を受けていて本来の地形的特徴が失われている場合も多いが，それでもここに示した活動した断層上またはその近傍で，河川の系統的横ずれあるいはそれと調和的な地性線（傾斜変換線など）の存在が認められる場合がある（平野・波田，1995b）。また，地表への変位の伝播については，最上部の堆積層が比較的厚く存在し，断層変位が地表に達しなかったのではないかと見なされる場合もあるが，そのようなケースでも地表を覆う各種の継ぎ目をもつ都市構造物に系統的な変位が生じていることから，軟弱な堆積物中である程度延性的に平滑化された変位が再び地表の構造物中で鋭角的な脆性破壊をもたらすケースも考えられる。

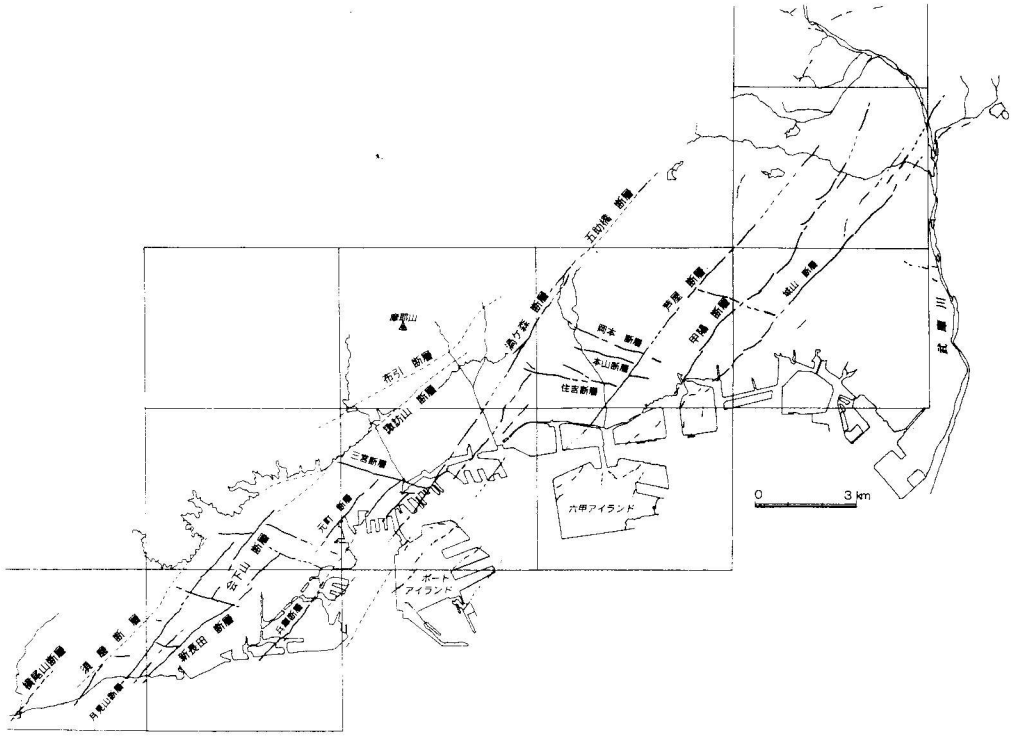

図５：六甲山地の南および東麓の神戸地域において，兵庫県南部地震により活動した断層群の広域的分布。平成７年12月27日現在の調査資料に基づく。枠組みは国土地理院の1/1万地形図の範囲を示す。細波線部分は従来知られている活断層で今回活動の痕跡が認められないもの。

ところで，国土地理院による基準点の地震発生前後の変位のデータを再整理したものによると（平野・波田，1995b 参照），南西方向への変位量が急激に変化する部分が淡路島の対岸の神戸市須磨区から長田区へ延びることや，変位方向が芦屋市南部―宝塚市をつなぐ北東―南西の線を境に逆転していることが読み取れる。さらに，神戸市街地東部ないし芦屋市域で北西―南東方向の変位を示す領域が認められる。このような地殻変動のデータと以上述べてきた神戸側の地表の変位・変状のデータは，変位量の急変位置や変位方向の変換位置が北東―南西方向の断層の分布と一致する点や，北西―南東方向の変位を示す領域に左ずれ断層が存在する点で極めて整合的であるといえる。

どれが起震断層であるかは別として，淡路島の野島断層が地震断層と認定されるのであれば，今回の地震に伴って活動した断層の変位が神戸側でもきわどく地表に到達していた可能性は極めて高いと考えられる。神戸側の地表の変位量は淡路側に比べて一般に一桁小さいが，それでも明瞭な地震断層とされる野島断層における富島より南の部分や，淡路島の東側で今回動いた楠本断層における大磯の変状に比べると，神戸側の方がより明瞭で連続性がよいといえる。地震を起こした断層が地下で活動することによって，その活動は一帯の活断層にも及び沖積層をも変位させることを，今回の地震は明瞭に示している。

参考文献

波田重熙・平野昌繁（1995a）：兵庫県南部地震による六甲山東南部の断層の活動と変位量，構造地質研究会夏の例会講演要旨集，31-33.

波田重熙・平野昌繁（1995b）：兵庫県南部地震による六甲山東南麓における断層の変位，日本第四紀学会講演要旨集，100-101.

橋本　学・多田　堯・村上　亮・藤原　智・斎藤　隆（1995）：1995年兵庫県南部地震前後の地殻変動，地質ニュース，(490)，巻頭.

平野昌繁（1971）：花崗岩の節理を中心とした深成岩の brittle な変形・破壊を考える上での問題点，地質雑，77，257-263.

平野昌繁・波田重熙（1995a）：神戸市街地西部の断層の活動と変位地形，シンポジウム「阪神・淡路大震災と地質環境」論文集，79-84.

平野昌繁・波田重熙（1995b）：神戸地域，兵庫県南部地震ー地質・地盤と災害ー報告書，日本応用地質学会阪神・淡路大震災調査委員会，116-159.

平野昌繁・波田重熙（印刷中）：六甲山地の地形構造と兵庫県南部地震による断層の活動，日本地形学連合，古今書院.

平野昌繁・石井孝行（1995）：兵庫県南部地震による断層の活動と斜面崩壊，土木工学会関西支部講話会，講演要旨集.

藤田和夫・笠間太郎（1971）：六甲山地とその周辺の地質［神戸市および隣接地域地質図（５万分の１）説明書］，神戸市企画局，58pp.

藤田和夫・笠間太郎（1982）：大阪西北地域の地質，地域地質研究報告（1/5万地質図幅），地質調査書，112pp.

藤田和夫・笠間太郎・前田保夫・田中（山下）操・平野昌繁（編集）（1966）：西宮市及び隣接地域地質図，西宮市役所.

藤田和夫・岸本兆方（1972）：近畿地方のネオテクトニクスと地震活動，科学，42，(8)，422-430.

笠間太郎・岸本兆方（1974）：神戸と地震，神戸市総務局・土木局，48pp.

菊池正幸（1995）：遠地実体波による震源のメカニズム，地球，号外（13），47-53.

溝上　恵・中村正夫・瀬戸憲彦（1995）：1995年兵庫県南部地震の震源域周辺における連動性地震活動と断層系，地球，号外（13），38-46.

林　愛明・井宮　裕・宇田進一・三沢隆治（1995）：野島地震断層の性状，応用地質，36，(1)，41-46.

多田　堯（1995）：1995年兵庫県南部地震の地殻変動と測地学的断層モデル，兵庫県南部地震シンポジウム論文集，7-10.

山科健一郎（1995）：1995年兵庫県南部地震の神戸側の地震断層，兵庫県南部地震シンポジウム論文集，41-44.