Urban Earthquake Hazard Research Center
UEHR Report No.E18 March 1996

都市耐震センター 研究報告

別冊第18号

地質環境の変遷と地震動予測に関する研究会報告書
—震災の帯の成因について—

Geo-Environmental Change and Prediction of Earthquake Ground Motions: Workshop Report
– Cause of Belt-like Damage Zone in the Hanshin-Awaji Great Earthquake Disaster –

楡井　久・赤松　純平　編
Hisasi NIREI and Junpei AKAMATSU: editors

March 1996

平成8年3月

京都大学防災研究所
都市施設耐震システム研究センター

Disaster Prevention Research Institute
Kyoto University

断層の活動と変位地形
—甲陽断層を中心として—

波田　重熙（神戸大学大学教育研究センター）
平野　昌繁（大阪市立大学文学部地理学教室）

FAULT ACTIVITY AND SURFACE OFFSETS ASSOCIATED WITH THE 1995 SOUTHERN HYOGO PREFECTURE EARTHQUAKE
—Special reference to the Koyo Active Fault—

Shigeki HADA* and Masashige HIRANO**
*Research Institute for Higher Education, Kobe University
**Department of Geography, Osaka City University

ABSTRACT

The killer earthquake that devastated the southern part of Hyogo Prefecture, Southwest Japan, had a magnitude of 7.2 and caused the death of more than 6,300 peaple. Hypocenter was located at a depth of 14 km in the Akashi Straits between Honshu and the Island of Awaji. Aftershock epicenters show zonal distribution aligned in a NE-SW direction covering both Awaji and Honshu sides with local concentrations and branching, and lies along vertical plane within the depth of 15 km. Although a distinct NE-SW oriented earthquake fault-trace appeared along the Nojima active fault on the Island of Awaji which lays in the southwestern side of the epicenter, evidences concerning the existence of the surface faults on the Honshu side was not clear at first glance and many people believed at first that no surface breakage associated with the earthquake occurred along most of the pre-existing Quaternary faults in the Rokko range. However, there are sufficient field evidences in harmony with geodetic and seismic data showing that the rupture of faults appeared or almost reached to the land surface in Honshu side, too.

Actually, the surface faulting appeared not only on several pre-existing Quternary faults in the Rokko range like the Koyo Fault, but also on their southwestern extension towards an alluvial plain of an urban areas where not enough evidences indicating the existence of active faults have been confirmed before the earthquake. Systematic offsets in the urban area, however, made clear that the 1995 earthquake cumulated a permanent displacement

on the known active fault again this time and many of the known active faults extend straight towards even under the alluvial deposits. Displacements caused by fault activity are detected by offsets as much as the order 10-20 cm of furrows in a field, road, drainage trench, and other artificial structures in the urban area. Most of the faults are of NE-SW trending and right-lateral in their sense of displacement. Surface deformations along surface fault lines trending WNW-ESE direction with left-lateral sence were newly noticed in the urban area. This means that the conjugate set of a strike-slip fault system was generated by the compressive force oriented in a nearly E-W direction the same as the compressive stress axis which focal mechanism shows. While our experience of this time clearly demonstrate that science cannot pre-empt the forces of nature, it can certainly provide ways of reducing its impact by the precise studies just after the event.

1．はじめに

1995年兵庫県南部地震によって，震源の南に位置する淡路島では右ずれ変位量が最大2メートルに達する明瞭な地震断層（とくに野島断層）が出現した。これに対して，六甲山地の主要な断層（例えば諏訪山断層）についてそのような顕著な変位が認められなかったことや，都市部の人工構造物に発生した変位・変状に対する評価も関係して，神戸側の断層の活動はどうであったか評価が分れている。しかし，今回の地震は，活断層が縦横に走っている地域の大都市直下の地殻内で発生した，横ずれ共役断層運動に対応する直下型地震である。平野（1971）は，六甲山地の断層が東西圧縮力のもとで形成された共役断層群からなることを明らかにしていた。また，藤田・岸本（1972）も近畿・中部地方には東西圧縮の造構応力下で形成された活断層が数多く分布し，そのような圧縮作用が20～30万年前から強化され現在に及んでいることを指摘していた。さらに，笠間・岸本（1974）は，神戸市街地部分のボーリングデータにおける大阪層群の不連続や市街地における構築物の破断分布のデータなどに基づき，六甲山地の活断層系の一部は市街地の沖積地に延長しているとして，そのような活断層群が実在する神戸地域で都市直下型の大地震が将来発生する可能性があり，その時には断層付近で亀裂・変位がおこり，壊滅的な被害を受けるであろうことを指摘していた。そのような研究に基づき，大学の授業などでは将来近畿地方でも活断層が動いて地震が発生する可能性を強調してきたが，それでも今回のような形でそれが現実のものとなるとは思ってもいなかった。われわれは，何はともあれ神戸で一体何が起きたのかを明らかにしなければならないと考えた。すなわち，今回の地震によって発生した都市部の変位・変状のデータを記録することは，人工構造物に被われた都市部における断層調査の方法論として重要であるばかりでなく，今後の都市防災を考えるならば，日本の大都市が立地する沖積層の下あるいはその沿岸部における活断層の実態を明らかにするための極めて重要な作業であると考えられた。以下にわれわれが地震直後から実施した神戸の市街地における変位・変状の追跡調査の結果について述べ，神戸地域でも断層の変位が地表に達していた可能性が高いことを

指摘する。

2．造構的枠組みと調査方法

今回の地震の震源過程の解析によれば（菊池，1995），淡路側ばかりでなく神戸側でも少なくとも2回のサブイベントが発生し，4象限型発震機構をもつ破壊が震源の北側から北東方向へ進行したことが明らかにされている。地下の破壊域に対応する余震域も，淡路島から神戸地域を経て宝塚市に至るN 50-60° Eの方向の顕著な線状の分布をしている（溝上ほか，1995）。これに対する測地学的データである長期的歪に関しては，近畿地方では一般的に東西圧縮歪が卓越していて，神戸地域でも東西圧縮状態で横ずれ断層が形成される応力条件下にあったことになるが，震源域では南北伸張歪がみられ特異な歪場にあったことを示している（橋本ほか，1995）。一方，地震前後の地盤の系統的変位に対応する右横ずれ断層モデルも提示されている（多田，1995）。

したがって，これらの地下にある右横ずれ起震断層面上の変位がいかに上方へ伝播し，とりわけそれが人工構造物に被われた神戸地域では地表においてどのような実態を示すに至ったかが重要である。それに直接関係するのが地表の変位・変状のデータである。このような観点から，今回の地震による六甲山地の断層活動と，それに伴われる都市構造物の変位あるいは変状の現地調査を地震直後から実施した。踏査にあたっては，国土地理院の1／1万地形図を用い，航空写真を併用しつつ，まず既存の活断層に沿う帯状地帯を千鳥式に横切りつつ山地部から都市部に向かって調べ，系統的変位が確認された場合には改めてそれの追跡調査を行った。山地部から調査を始めたのは，六甲山地域で確認されている断層が平野部へどのように延びるか必ずしもよくわかっていなかったことと，沖積層の部分では地盤特性によって被害の程度や被害域が拡大することは確実で，したがって断層に伴う変状を追跡する場合に市街地ではむつかしいケースが多いと考えられたからである。さらに万全を期するため，系統的変位が見られない地域についても，踏査ルートが一定以上の密度となる程度に非存在確認調査を行った。

今回の地震によって，地表にはさまざまな変位・変状が生じており，その中には傾斜地の地すべり・崩壊や港湾部における岸壁中央部の海側への大規模な張り出しなど，地盤形状に対応した重力方向への局所的な変状も多数存在する。また，より小規模な地盤の側方への移動も方々で観察された。これに対して，すでにいろいろな機会に述べてきたように（平野・波田，1995a，b；波田・平野，1995a，b；など），今回地表に永久的な変位をもたらした変状は，断層の走向と運動センスの組み合わせが系統的であること，発生位置が山地部分で知られていた「活断層」の市街地への延長線上あるいはその近くに配置するという地理的特質を有すること，および，尾根や谷・河川のみならず道路などの人工構造物をしばしば斜めに横切って延長すること，などの基本的特性を有している。このような特性によりこれらの水平変位は，震動によるランダムな変位が永久的に残ったとするには余りにも系統的であり，それをもたらしたのは一定方向への変位を伴う包括的な意味での「断層の活動」であると考えざるを得ない。このような変位を，淡路島の自然地形あるいは道路を変位させているものと同じ意味で「広義の変位地形」と呼ぶことにする。

以下では，断層活動に伴う広義の変位地形と関連した変状地の確認作業の内容を「甲陽断層」を中心に記述する。甲陽断層は，六甲山地東南部にあって北東－南西方向に延びる平らな面をもつ階段状の地形を規定する北東－南西方向の活断層群の中にあって，六甲山地と大阪盆地の境界を画する重要な活断層である。物理探査の結果から断層を境にして基盤の花崗岩類が少なくとも400メートル程度食い違うと推定されていた（藤田・笠間，1971；など）。

3．甲陽断層に沿う変位地形

北は宝塚市の小林聖心女子学院から西宮市，芦屋市を経て，南は神戸市東灘区の海岸部までの約10キロメートルにわたる線上で甲陽断層に沿う広義の変位地形を追跡することができた。この間の約30ケ所で地盤の相対的な横ずれ変位量を確認できたが，雁行状に変位が乗り移ったり，擁壁，路面，側溝の強度の関係で地表の変状が途切れる部分が含まれる。調査の結果をまとめたのが図1である。網目模様の太線は，「西宮市及び隣接地域地質図」（藤田ほか，1966）に示された甲陽断層およびそれに伴われる断層を示す。以下に，北から主要な地点の現地調査の結果を述べる。

3．1．　宝塚市小林聖心女子学院から宝塚ゴルフ場

変位を確認している北端にあたる小林聖心女子学院では，N10°Eの方向の亀裂が地面に生じ，その線上の側溝で1～2センチ右ずれを認めた。また，この線上に地盤の沈下や建物の倒壊が著しく，とくに日本建築では柱が上下方向に瞬間的に引きちぎられたり，地面の回転運動（？）によって捩じられて縦方向に引き裂かれている。南へN20°Eの方向にある宝塚ゴルフ場横の擁壁と側溝も約2.5センチ右ずれしている。その南に位置する仁川高丸の住宅地は一面に堅固な人工構造物で敷き詰められていて，変位を確認することはできなかったが，中位段丘が発達する高台の南部になると再びＮＮＥ－ＳＳＷ方向の線上に変状が顕著となり，仁川町六丁目の道路側溝で3.5センチの右横ずれが確認された。斜面ではあるが，3.5センチの垂直変位も伴っている（西側が相対的に上昇）。

3．2．　西宮市仁川百合野町から上ヶ原山田町

仁川を越えた仁川百合野町では，伊藤克己氏（猪名川中学校教諭，私信）によると，既存の地質図（藤田ほか，1966；藤田・笠間，1982）に示された甲陽断層の位置に限って全壊家屋や道路の亀裂が発生しているという。この延長上の神戸市水道局上ヶ原浄水場にかかる斜面でも，小規模な斜面の崩壊による変状が重なっているが，道路の変状は右横ずれが卓越することを示していて家屋も特有の被害を被っている。ここに限らず沖積層や人工地盤以外の地質からなる地域では，壊滅的な被害を被っている家屋は系統的な変位を示す線上に限定される傾向が強い。浄水場では変位を測定できる場所はないが施設一帯の損傷がおびただしく，N50°Eの方向に延びる杉型の雁行状亀裂などによって地盤の横ずれ変位が発生した場所を推定できる。既存の地質図には2本の断層が示されているが，今回横ずれ変位を生じた場所も2列存在するように見える。それより北側の地塊で大惨事となった仁川百合野町の地すべりが発生した。また，それとペアをなすように南側の地塊でも浄水場に大規模な被

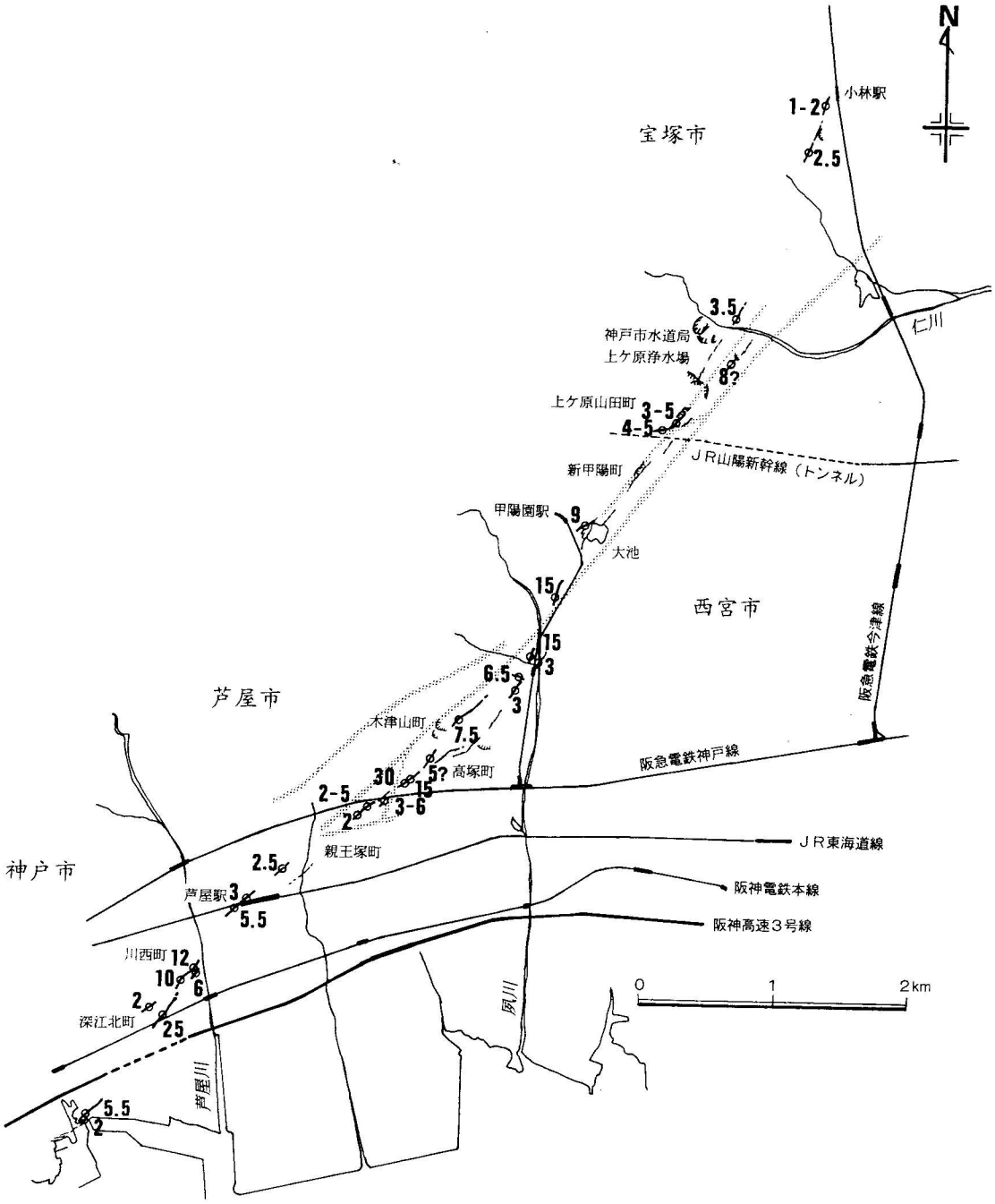

図１：兵庫県南部地震による甲陽断層およびその延長部に沿う「造構変位（広義の変位地形）」確認地点と変位量の分布。数値は主として見掛けの変位量をセンチで示す。網目模様の太線は藤田ほか（1966）による「甲陽断層」およびそれから派生する断層を示す。

害を与えた地すべりが反対方向に発生している。今回の地震に伴って発生した地すべりでは，断層線に沿う地盤の移動センスと地すべりが発生した斜面の地形配置の間に一定の法則性が認められるケースがよくある（平野・石井，1995）。すなわち，北東－南西方向の右ずれの変位を示す断層では，北西側では北東に面した斜面で，また，南東側では南西に面した斜面で，各々断層による地盤の移動方向に誘発されるように地すべりが発生している。

浄水場の南西延長の上ヶ原山田町では約220メートルにわたって亀裂がほぼ連続して発生していて（噴砂現象を伴う），畑の畦，駐車場の白線やコンクリート壁において４～５センチの系統的な右ずれを確認できた。注目されるのは，亀裂の走向が北から南へN30°E，N50°E，東西，N85°Wと連続的に変化することである。亀裂の南端部には新幹線のトンネルがあり，トンネルの南側では変状の顕著な部分は左雁行状に東側へ乗り移り，さらに南西方向へと延びる。既存の地質図によれば甲陽断層から派生する断層が亀裂の方向に描かれているが（図１），堅固なトンネルの存在が地表における変状に影響を与えている可能性もある。

3．3．　西宮市新甲陽町から木津山町

この区間では新甲陽町から甲陽園小学校にかけてＮＥ－ＳＷ方向に延びる地帯の，大池周辺や谷部の人工的改変を加えた地盤での変状が著しい。したがって，それらの影響を受けていない変位に注目する必要がある。甲陽園小学校では校舎の接合部が９センチ右ずれしている。その南西の夙川学院のグラウンドに亀裂が発生し，それに続く南側の道路もずれておりセンターラインによって15センチの右ずれを確認した。地表の変状の著しい部分はそこから阪急苦楽園口駅付近で夙川を横切り，南越木岩町から松ヶ丘町・木津山町に延びていて，諸所で数センチの右ずれが確認される。大きいものでは，木津山町で道路の白線によって7.5センチの右ずれを確認した。南越木岩町で地盤の側方への移動と噴砂現象，また，木津山町の斜面では広い範囲で地すべりが発生した。

3．4．　西宮市殿山町から高塚山町

そこから変位を示す地点は，雁行状に乗り移るように夙川小学校から西宮市殿山町，高塚公園に至る。この部分については，山科（1995）も数センチ～10センチ程度の系統的な右ずれが追跡されることを報告し，地震断層としている。高塚公園では小規模な地すべりが発生したが，その南側の地面に亀裂が生じて線上のブロックが15センチ，石垣や側溝が30センチ右ずれしている（写真１）。ずれの方向は，地すべりブロックの移動方向にほぼ直交する。高塚公園から南西に直線状に延びる顕著な破壊域は，さらに阪急電鉄神戸線の線路も屈曲させながら南へ延びて，夙川ビューハイツのジョイント部，駐車場の白線や擁壁などで２～５センチの右ずれが確認された。さらに南へと２センチ程度の右ずれを示す亀裂が延びるが，芦屋市翠ケ丘町から親王塚町にかけてひろがる堅固なマンション群の部分でそれは途切れる。

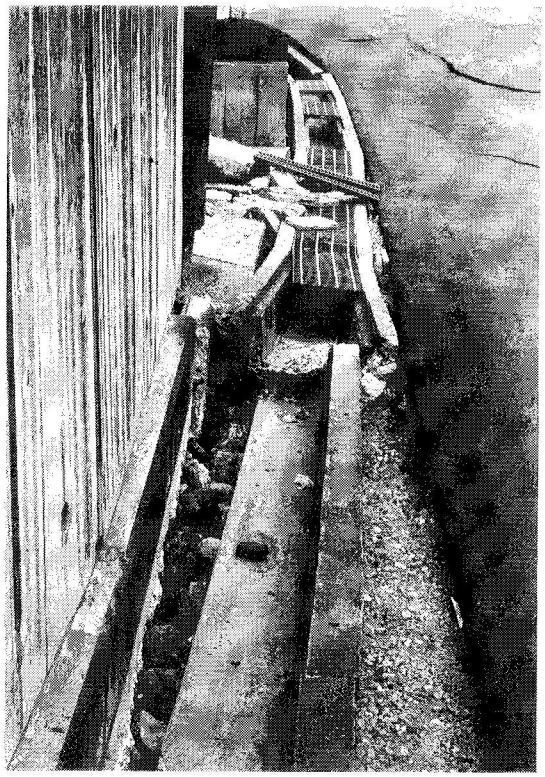

写真１：西宮市高塚公園横の道路側溝の右横ずれ変位。

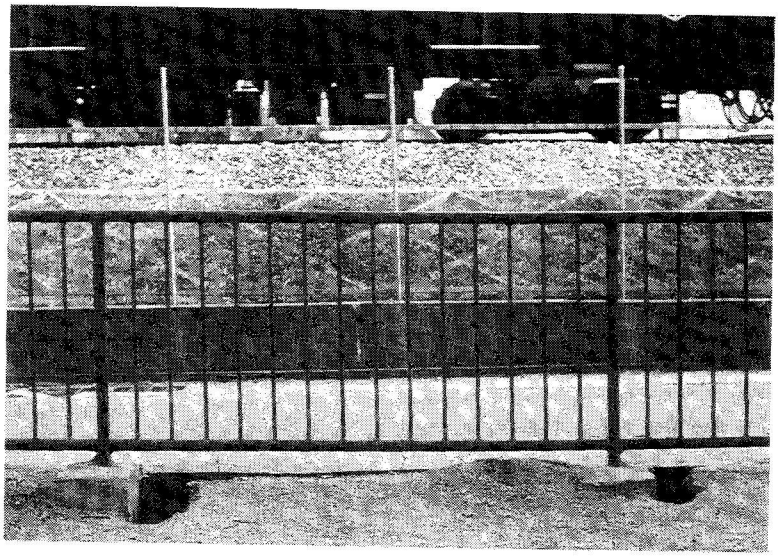

写真２：神戸市深江北一丁目の白井池南側にある鉄製の柵のコンクリート製の基礎にできた規則的な隙間（本文参照）。