

1995年兵庫県南部地震の地震断層と地形から見た被害状況

はじめに

1. 淡路島の地震断層と被害
2. 神戸側の地震断層と被害

むすびにかえて

松田 馨 余*

要 約

1995年兵庫県南部地震の被害状況を現地調査した結果を述べた。淡路島内の建物被害の特徴は、地震断層の出現は断層の直上を除けば被害とは密接に関連せず、地盤の影響が強く反映されていることであった。神戸側に震災の帯が出現した理由と地震断層についての調査結果を紹介し、それに筆者らの調査結果を付け加えた。顕著な被害が直線的に配列することは、地震断層そのものの直接的影響とは断定できないが、震源断層に雁行するいくつもの断層もしくは亀裂が地盤の変位をともなう被害を発現させたためであると解釈した。さらに、地形と被害との関係の概要を述べた。

はじめに

近畿地方には近畿トライアングルと呼ばれる地殻運動の活発な地域がある。この三角地帯の底辺にあたるのは四国の吉野川低地の北縁を限り、淡路島の南縁を通り、紀ノ川の谷をたどって紀伊半島を横断し、渥美半島に達する中央構造線である。北東の辺は敦賀湾から琵琶湖の北東を通り伊勢湾へと抜ける。北西の辺は野坂山地、比良山地、六甲山地、淡路島に続く山地の南東縁である。この北西辺の南部に沿って六甲-淡路島活断層系が位置し、南は中央構造線、北は有馬-高槻構造線に接している。

中央構造線は北側の領家帯と南側の三波川帯を分ける日本の地体構造の主要な境界であると同時に

に、日本最大の活断層として知られている。有馬-高槻構造線も六甲山地内の他の断層とは異なり、南側の花崗岩体と北側の有馬層群との境をなす地体構造の境界ともいべき構造線であるという(藤田、1995)。中央構造線と有馬-高槻構造線はほぼ東西にのび、どちらも右ずれを示している。これらに挟まれるように分布する六甲-淡路島活断層系は東西圧縮の応力場の中にあり、北東-南西の走向を示す。中央構造線の平均変位速度は四国では1000年につき7m程度であるが、紀伊半島では2~3mで四国に比べてかなり遅い。この差は六甲-淡路島活断層系の活動により補われていると見られ、活発な活動を繰り返す原因と考えられている。

兵庫県南部地震はこの六甲-淡路島活断層系が活動したものである。菊地(1995)は遠地で観測

* 東京都立大学都市研究所非常勤研究員・関東学院大学経済学部

された実体波から震源のメカニズムを解析し、この地震が3個のサブイベントからなり、震源の深さは8km、全体の破壊継続時間が約11秒であることを明らかにした。まず、淡路島北部付近から始まった破壊が、北東(神戸側) - 南西(淡路島側)方向の両側に進行した。断層の型は右ずれである。ついで、この断層の北東より(神戸側)で、北西 - 南東圧縮型と右ずれ型の断層が形成された。最初のイベントに比べて、2番目と3番目のイベントは規模が小さく、断層が動いた範囲は、淡路島で大きく、神戸側では小さかった。その結果、淡路島では震源断層が地表付近まで達して、典型的な地震断層を出現させたが、神戸側では地表に達しなかったとしている。

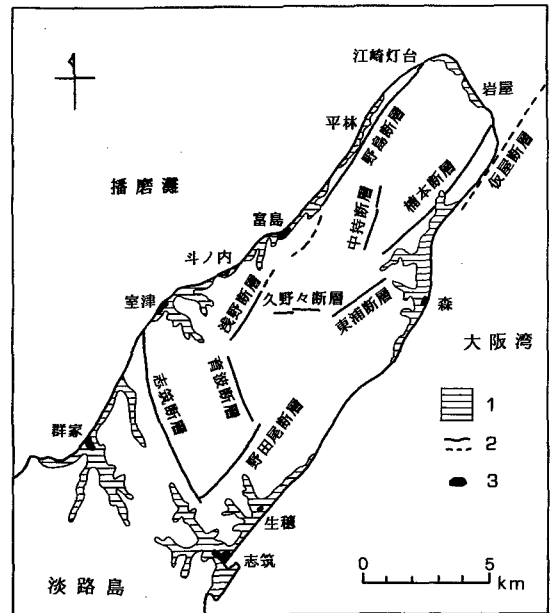
この報告では、このようなメカニズムによって発生したとされている兵庫県南部地震による被害を、断層と地形・地質(地盤)条件から考察することにする。

1. 淡路島の地震断層と被害

1. 1 野島地震断層

図1に淡路島北部の断層と被害集中域を示した。淡路島では活断層と指摘されていた野島断層沿いに明瞭な地震断層が出現し注目を集めた。地震断層の出現は1978年の伊豆大島近海地震以来である。ここでは、既存の野島断層と区別するために、出現した地震断層を野島地震断層と呼ぶことにする。野島地震断層については国の機関や大学の研究者により詳細な調査が行われている。それらの結果から野島地震断層の特徴をまとめると以下になる(林ほか、1995; 田中ほか、1995; 太田ほか、1995など)。

①野島地震断層は既知の野島断層が再活動したものである。既知の活断層が活動し、地震断層を出現させたのは1974年の伊豆半島沖地震以来のことである。野島断層は活断層研究会(1991)によれば、淡路島の西岸を北東 - 南西に延び、長さ7km、確実度I、活動度B級とされている。水野ほか(1990)によれば、平均変位速度は右横ずれ0.9~



1: 低地、2: 断層、3: 被害集中地域
断層は藤田・前田(1984)と水野ほか(1990)より編集。

図1 淡路島北部の断層の分布と被害集中地区

1.0m/1000年、垂直変位0.4~0.5m/1000年であるという。地震後に行われたトレンチ調査では、過去の活動を示す地層のずれや、それを覆う地層の存在が明らかになった。地層に含まれていた土器片や堆積物の年代測定から、一つ前の地震は12世紀以降、二つ前の地震は6~7世紀と推定されている(鈴木ほか、1995)。

②野島地震断層は淡路島北端の江崎灯台下の海岸から北淡町富島まで9kmにわたって追跡でき、この間では既知の野島断層にほぼ沿っている。走向はN40~50°Eで、一部西上がりのところもあるが、東上がりである。さらに、南方の一宮町枯木まで、断続的に開口亀裂などが存在し、地震断層である可能性が高い。江崎灯台の北東へは、明石海峡内で延長と見られる断層の露頭が見つまっているが、本土側には達していないようである。

③野島地震断層の変位量は大きいところと小さいところが交互に現れ、五つのセグメントに分かれる。これは断層破壊が継続的に進行したことを示しており、記録された地震動のパルスと対応するとされている。最大の変位量は、北淡町野島平

林付近に見られ、水平変位量は右ずれ1.9m、垂直変位量は東上がり1.2mである。なお、地質調査所の報告では最大変位量はそれぞれ1.7mと1.3mであるという。

佐藤・杉原(1995)は三角点のGPS測量により地殻変動を測定し、北淡町富島北方の小倉以南では明瞭な地震断層が地表に現れなかったが、水越撓曲に対応する地下の断層が野島地震断層と同様に右ずれを起こしていることを明らかにした。しかし、震源断層運動は志筑断層までは到達していないという。また、余震観測結果には、一宮町神見町付近および北淡町富島付近から北西に延びる余震活動の集中域が現れており、二つの共役断層の存在が予想されている(溝上ほか1995)。

1. 2 淡路島内の被害

淡路島内には野島地震断層が出現したが、断層直上の施設を除いては、地震断層の近くで被害が著しいわけではなく、地震断層と被害の間には直接的な対応関係はない。木造家屋の倒壊が著しいのは後述するように海岸部の低地であるし、墓石の倒壊率も断層近傍で高くなるわけではない。これは地震断層沿いの地域は丘陵地の縁にあり、地震断層上に軟弱地盤が存在しないためと考えられる。地震断層が明瞭に現れた北淡町小倉では、関西国際空港建設用に表層部が採掘され、比較的新鮮な岩盤が現れていた。そこでは、地震断層上の住家は基礎が破壊され、玄関や窓の開閉が不可能なほど家屋全体が著しく変形していたが、地震断層から数m離れた建物は被害を受けていない。このような被害形態は、1974年の伊豆半島沖地震の際に地震断層直上で見られたのと同じである(松田・田村、1974)。堆積物が薄く、かつ、粗粒である谷底低地に立地していた石廊崎の集落では、地盤の振動により家屋が破壊されるのではなく、地震断層上の家屋の基礎が地盤の変形により直接引きちぎられるように変形した。それに対して、厚い砂質堆積物から地盤が構成されている人間集落では、被害が集落全体に広がっていた。

地震断層直上の被害が目立ったのは、野島の桃林寺近くの送電線鉄塔の被害である。地震断層が

鉄塔の脚の間を通ったため地盤が変形し、脚が曲がってしまい、撤去された。前例のない被害である。水路、道路、護岸などの線状の施設も断層上で変形を受けている。

淡路島でも木造家屋が多数破壊され、震度Ⅶとされた地区が点在する(図1)。震度Ⅶは福井地震後にもうけられた震度階であるが、地震計で計測されるのではなく、被災地の状況から判定される。家屋の30%以上が倒壊した場合に震度Ⅶとされる。今回は気象庁が現地調査を実施し、鉄筋コンクリート造の半壊は木造の全壊に換算するなどの修正をして判定した。淡路島では北淡町と一宮町の海岸低地の他に、東海岸の津名町の一部も震度Ⅶと判定された。

北淡町富島の集落は海食崖下の海岸低地に細長く立地し、野島地震断層の延長上に位置している。地震断層は集落の東北端まで追跡され、集落の中心部へと延びるように見えるが、集落の中は建物の被害が激しく、確認されていない。集落の中央に小さな川があり、その周辺部で被害が著しく、被害には軟弱地盤の影響が考えられる。富島は南西縁(岡畑)まで海岸低地が続くが、西部での被害は目立たない。

北淡町で富島について被害が目立つのは室津である。とくに、集落北東部の室津川左岸の河口付近に被害が集中している。被害の集中地区は周辺よりも地盤高が低くなっており、軟弱地盤が分布している。集落の南西部では被害は軽微である。南東部は隆起波食台と崖錐状の地形上に立地しており、地盤は良好である。富島と室津に挟まれた斗ノ内でも被害が集中している地区が存在する。

一宮町では神見町より北の地域で震度Ⅶと判定されている地区が存在する。より南の明神では被害は少なく、古い家屋に全壊しているものがいくつか見られる程度である。神見町の西のはずれの段丘上に平見山法華寺があり、その墓地では、底辺16.5cm、高さ45.0cmと底辺19.0cm、高さ57.0cmの墓石が転倒していたが、底辺25.0cm、高さ63.0cmの墓石は転倒していなかった。したがって、墓地には360gal程度の加速度が働いたと推定できる。法華寺の西には平見神社があり、鳥居が倒壊

していた。

一宮町で被害がもっとも集中していたのは、神見町の北西に位置する郡家である。被害は集落の中心部で顕著で、この地区は郡家川の低地のほぼ中央に位置している。軟弱地盤の存在が被害を大きくしていると考えられる。

淡路島東岸の津名町では志筑の志筑川沿いの低地の一部で、住家がまとまって倒壊している。この地域は周辺部よりも低く、軟弱地盤が形成されている。しかし、被害の集中地区は志筑川の低地から南東に延び、海岸部まで達している。この地区は砂州の上に立地し、低地よりも高く、海岸部まで緩く傾斜している。被害の集中地域は砂州を狭い幅で横断し、ごく限られており、奇異な感じを受ける。被害を受けた建物は調査時点では撤去されていたため、どのような構造の家屋かは直接判定できないが、周辺に残っている住家を見る限り、他の地区の木造家屋と同じ構造の古い家屋である。また、集落の中心部から北西に全壊家屋が集中する地区が延びていたが、この地区も古い木造住宅が集まっていた地区である。

淡路島内の建物被害の特徴は、地震断層が出現したにも拘わらず、地震断層の直上を除けば、地震断層の出現は被害とは密接に関連しないこと、ならびに、小河川の河口部の低地で被害が著しく、隆起波食台上や台地・丘陵地など標高が高い地域での被害が目立たないことである。すなわち、建物被害には地盤の影響が強く反映されている。倒壊している住家は、古いものがほとんどで、新しい住家の被害は少ない。

2. 神戸側の地震断層と被害

2. 1 帯状に出現した顕著被害地域

コンクリート造や鉄骨造の建物を含めて、被害の著しい地域が神戸側に出現した。この地域は、神戸市の須磨海岸から、神戸市の中心部を抜け、芦屋市を通り、西宮市に至る約25kmにわたって帯状に分布する。この帯状の地域では幅約1kmの範囲内では木造家屋の倒壊率は30%を越えるし、と

ころによっては70~80%に達し、阪神電鉄大石駅の東側ではほぼ100%に達している。これが震災の帯といわれる地域で、気象庁では震度Ⅶの地域としている。

震災の帯が出現した理由についてはいくつかの説が出されている。その代表的なものは以下の四つである。

①この帯状の地域に沿って地下に伏在断層があり、それが活動した。

今回の建物の被害状況は、遠方の大地震時の場合のように、建物が何回か揺すられ、次第に振幅が大きくなって、弾性変形の域を越えて、塑性変形するというものではない。被災者は家屋が瞬間的に倒壊したと述べている。家屋には揺れ初めの1~2秒の間に大きな変形が現れて、そのまま破壊したと考えられるし、倒壊の方向も地域毎にまとまっているという(桜井、1995)。木造家屋では2階部分が投げ出されるように倒壊し、道路を塞いでいるものが目立った。これらの現象からは、地盤が急激に動いたために、家屋がその動きについていけずに倒壊したと認められる。したがって、一瞬のうちに家屋が倒壊したために多数の圧死者を出したと考えられる。

震災の帯の一部は地盤の良好な扇状地や台地の部分にも広がっている(池田、1995)、その出現を地盤条件からだけでは説明できない。淡路島の小倉付近のように新鮮な岩盤が地表に露出している地域では、地震断層ははっきり現れやすい。しかし、神戸市側のように最上部に軟弱な粘土や砂層が堆積している場合には、地表面まで食い違いが達せず、亀裂や小さなずれが現れるだけで、地震断層を確認することは困難なことが多い。島崎(1995)は地表には現れなかったが地震断層が伏在している可能性を示唆し、それを神戸-西宮断層と呼んでいる。伏在断層説は、池田(1995)による墓石のずれから推定された地震動の初動の方向調査結果と調和的である。また、石井ほか(1995)は地下水温の調査から神戸の低地の地下に伏在断層の存在が推定されることを指摘している。

②地震波が六甲山地の硬い岩盤に跳ね返り、いわゆるなぎさ現象が発生した。

神戸の市街地は北に六甲山地を背負っており、基盤岩は急傾斜して南側に下がっている。したがって、その上に分布する軟弱地盤の層厚が山側に向かって急激に薄くなる。このような地盤条件のところでは、入射した地震波が屈折して集中したり、地震波のエネルギーが集中する。その結果、帯状に被害集中域が発生した、とするものである。同様な被害状況が1985年のメキシコ地震でも出現している。メキシコ市は周辺部を山地に取り囲まれた湖を埋積した低地に立地しており、軟弱地盤の薄い山地よりに被害集中域が出現し、注目を浴びた。

③地盤により地震波が増幅された。

震災の帯の北側の境界は、低地と台地の境界にほぼ一致し、帯状の地域は地盤が悪い。そのため、軟弱地盤により地震波が増幅されたとするものである。この説は余震観測結果から導かれている。1月25日に発生したマグニチュード4.7の地震の際に東灘区と芦屋市で観測された加速度記録では、震災の帯の中に設置された地震計の加速度は、北側に設置された地震計のそれより数倍から10倍以上大きくなった(瀬野、1995; 入倉、1995)。この余震の震央や観測点に対する方位は本震と全く異なるのに、震災の帯の中では地震波が増幅されている、というのが根拠である。

軟弱地盤がより厚い海岸部が震災の帯に含まれない理由については、本震の時には軟弱地盤では非線形変化が起り、それによる減衰で被害が小さかったと解釈されている。また、震災の帯の南側の境界は旧海岸線にあたり、砂堆が形成されていたために、ごく表層部の地盤は比較的良好であったし、埋立地では木造家屋が少なかった上に、建設されている建物は軟弱地盤に対する対策がとられていたことも、被害を軽減したとされている。

④震災の帯の中には、既存不適格の中高層建物や古い木造家屋が残っていた。

震災の帯は古い市街地と一致している。ここでは古い木造住宅が多く残っていたが、再開発が行われていなかった。本来なら建て替えられていなければならないはずの木造家屋が集中して残されていた。また、耐震基準が改定された1981年以前

に建設された中高層建物が多数存在し、それらが被害を受けている。木造家屋では新しいものは軽微な被害で済んでいるものが多数存在したし、被害を受けていない木造家屋の隣で倒壊している中層建物が見られた。

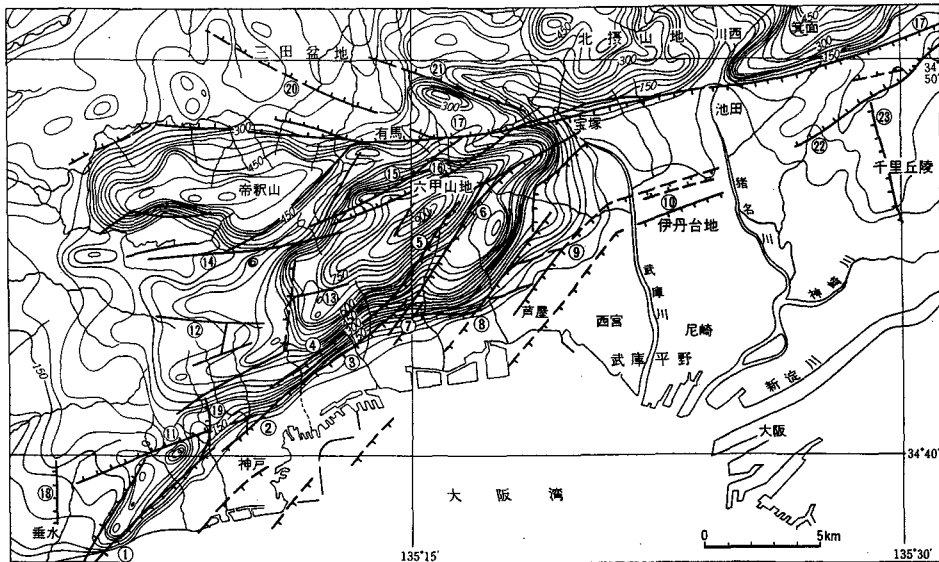
これらが震災の帯の出現のおもな理由であるが、一つの理由のみで説明できるものではなく、いくつかの条件が重なっていると考えられる。

2. 2 活動したと思われる断層

神戸側では地震断層は確認されていない。1974年の伊豆半島沖地震では、南伊豆町の石廊崎では地震断層の露頭が集落の両端に出現し、その間は雁行する亀裂で追跡できた。一方、人間では集落の両端で断層の露頭が見つかったにも拘わらず、集落の中には追跡できなかった。石廊崎の集落が立地しているのはリニアメント上の谷底低地で堆積物は薄かった。それに対して、人間の集落は砂丘を整地したところにあり、地盤は破壊されていたが、地割れなどは現れなかった(松田・田村、1974)。伊豆半島沖地震で出現した地震断層の変位量は今回の半分程度であったが、数mの軟弱地盤があるだけでも地震断層は地表面には現れにくいらしい。しかし、神戸側でも地震断層に関連する現象が確認されている。

六甲山地と周辺の活断層を図2に示した。神戸市側の断層活動については明確ではないが、いくつかの断層は活動したと思われる状況がある。もっともはっきりしているのが須磨断層である。国土地理院の水準点の測量によって、須磨断層の両側で26cmの垂直変位が観測されている(多田ほか、1995)。中田ほか(1995)は須磨浦公園入り口の南西の国道で数cmの右ずれをとまなう亀裂を見つけている。この亀裂は敦盛塚の前を横切り、塚の頭部は南西方向に飛んでいるという。跳び石は地震断層の近傍で見られ、その発生には大きな加速度が必要であるので、地震断層の一部が現れたと考えられる。

岩渕ほか(1995)は、海上保安庁の海底変動調査の報告をしている。この調査では江崎灯台の沖、垂水沖、須磨沖に計3本の断層の存在が確かめられ、



基図は30m間隔の接峰面等高線。太線は(活)断層、点線は推定(活)断層。
 ①須磨断層、②会下山断層、③諏訪山断層、④布引断層、⑤大月断層、⑥五助橋断層、
 ⑦渦ヶ森断層、⑧芦屋断層、⑨甲陽断層、⑩伊丹断層、⑪高取山断層、⑫万福寺断層、
 ⑬北摩耶断層、⑭山田断層、⑮射場山断層、⑯湯槽谷断層、⑰六甲断層、⑱高塚山断層
 ⑲丸山断層、⑳鈴蘭台断層、㉑名塩断層、㉒小野原断層、㉓仏念寺断層。

図2 六甲山地と周辺の活断層(岡田(1995)による¹⁰⁾)

さらに、大阪湾断層に関連する断層も再調査された。江崎灯台沖の断層は野島断層の延長部と考えられているが、その延長は神戸側には到達していない。垂水沖の断層は動いたとしても数cm程度で、陸上への延長は確かめられていない。それに反して、須磨沖の断層の陸上への延長部では、アスファルト上にプレッシャーリッジをともなう最大約60cmの右ずれ変位を持つ地割れがあり、この走向が海域で見られる断層の走向と調和的であるという。したがって、須磨断層の延長部が今回活動したとして差し支えないであろう。

溝上ほか(1995)は余震域が野島断層と六甲断層系に沿う二つの地域からなることと、両者が明石海峡を挟んで、約2km右にステップしていることを指摘した。建設中の明石大橋の橋台の間隔が明石側と淡路島側で1.1m延びており、海峡中に建設されている主塔が淡路島側で南西に約0.9m、神戸側で東へ約0.2mずれていることから、主塔の間を通り、野島地震断層と須磨断層を結ぶ断層を想

定している。梅田(1995)も地震断層のステップについては同様な考え方であるが、淡路島側の主塔と橋台のずれの動きの向きが多少異なることから、明石海峡内に2本の断層を想定している。

国土地理院の測量結果では、淡路島では野島断層に沿って南東側が隆起したが、神戸側では逆に北西側が隆起したことが示されている。この変動は淡路島と六甲山地の形成過程に現れた変動と調和する。多田ほか(1995)は国土地理院の観測結果を解析し、神戸側では地震断層が地表に現れていないが、水平変動の結果からは六甲断層系が右ずれを起こしたこと、野島地震断層は神戸側に延びていないこと、水準測量結果からは須磨断層を挟んで上下変動がみられるので須磨断層が神戸側の震源断層であること、水準路線は六甲断層を横断するが上下変動に不連続は見られなかったこと、などを指摘している。また、これらの測量結果から、神戸市街地の地下では震源断層の上面は地下2~3kmにあり、地表面には顔を出さなかったとし

ている。同じ測量結果には、神戸市中央区付近に2~5cmの隆起が記録されている。神戸市内では隆起と沈降が複雑に分布し、断層運動も複雑であることも指摘されている(橋本、1995)

以上のように、明石海峡で野島地震断層から須磨断層にステップした震源断層は、さらに六甲断層系のどれかにステップしている。基準点測量や水準測量、さらに人工衛星搭載の合成開口レーダーによる地殻変動の解析結果からは、その断層では、垂直変位よりも水平変位が卓越し、芦屋からの延長部は、五助橋断層もしくは大月断層に連なって、有馬-高槻構造線にいたるといふ考えが、大勢を占めている。

一方、神戸側では複数の活断層が活動したとする報告がある。前述してきた報告がおもに関東の大学や国の機関に所属する研究者による調査結果であるのに反して、その多くが地元の研究者であることは興味深い。

前田・宮田(1995)は震災の帯の地域内でも建物被害が著しい地域と比較的軽い地域が東西方向に交互に現れること、鉄道や高速道路の橋脚や橋桁の被害も建物被害の著しい地域に重なること、市街地内には石垣・コンクリートの擁壁・側溝などを切る右ずれ成分を持つ剪断が多数見られ、それらが北東-南西に延びること、電柱と地面との間隙が2cm以上のコンタも北東-南西に延び、間隙の大きい地域と小さい地域が東西に交互に現れること、などを指摘している。彼らは、これらの現象が地域的に重なり合い、六甲山地から南西に延びる芦屋断層ならびに五助橋断層の延長上に位置することを明らかにし、この二つの断層の他に2本の断層が市街地の地下に存在する可能性があるとして述べた。なお、彼らはこれらの断層が地震断層として次々に動いたのではなく、側震断層として動き、地盤の影響も加わって、震災の帯が形成された、としている。

平野・藤田(1995)は六甲山地の活断層の調査結果を報告している。それによれば、芦屋断層では、甲南女子大学正門前、森北町6丁目住宅地、高橋川橋詰で15~20cmの右ずれ、ならびに、数cmの上下変位が見られる。五助橋断層では、住吉霊

園、芦屋市奥池などで、同様な右ずれをともなう変位地形が発生し、大月断層石切道の工事用道路のアスファルト路面が切断している。ただし、諏訪山断層と布引断層ではその直上には変位地形は認められなかった、という。平野・藤田(1965)の報告に対して、岡田(1995)は地滑り性の地形変位の可能性も否定できないとしている。

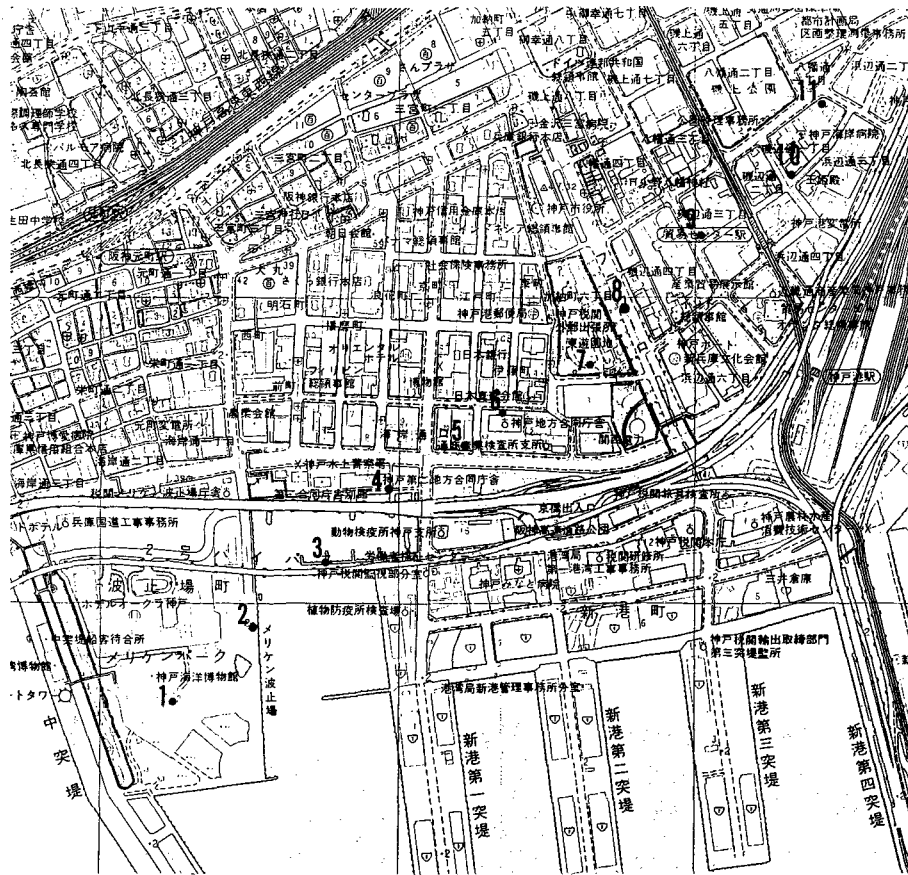
甲陽断層では道路の破損と系統的な変位が報告されているし、その延長では阪急電鉄の線路が変位している。また、釜井ほか(1995)は斜面災害の調査から、断層のずれを示す証拠はないが、甲陽断層や芦屋断層に沿って比較的大きな地滑りが分布する傾向を指摘している。

以上のような報告があるが、筆者が追跡した地表面にみられた変位について記載しておきたい。三宮付近を調査した筆者と榎井(パシフィックコンサルタンツ)は図3に示す地点で地盤の変位を示唆する現象を確認した。各地点の状況を以下に記載する。

地点2:メリケンパークの東側護岸が、天皇歌碑がある付近で著しく破壊され海に崩れ込んでいる。液状化をともなった被害であるが、天皇の歌碑周辺部は液状化だけにしては石積みがばらばらになっており、上下にゆすられて破壊された形跡が見られる。この北側の公園の入り口付近でも護岸が破壊されているが、液状化にともなう滑りの状況を呈しており、壊れ方が天皇歌碑付近とは異なる。なお、地点2の南西への延長部(地点1付近)には多数の亀裂が集中し、液状化した砂が噴き出していたが、断層との関連は分からなかった。

地点3:阪神高速道路3号神戸線の下に建設されていた突堤と高速道路の橋脚を結ぶ小さな渡り廊下の接合部。つなぎ目に造られていた小さな階段が右ずれを起こし、約3cmずれている。また、突堤の先端部の継ぎ目がずれて、約10cm口を開いている。

地点4:神戸第2地方合同庁舎。庁舎の南東隅の基礎が破壊されている。建物周囲の地盤が沈降し、建物が抜け上がっている。入り口の屋根を支える柱が東にずれて(右ずれを起こして)、入り口がゆがんでいる。また、この建物のすぐ南側の護岸が、



注) 基図には国土地理院発行の1万分の1地形図「三宮」の一部を使用した。

図3 神戸市中央区南部で見られた特徴的被害の位置

35cmの右ずれを起こし、ボルトが飛び出している。

地点5: NTT神戸ネットワークセンター。南側の海岸通りに面する塀が約30cmの右ずれを起こしている。上下のずれは計測できなかった。同じ敷地の東側のフェンスが10cmの右ずれを起こし、上下にも北上がりで数cmずれている。この2点をむすぶ線を横切る配管が著しく破壊されていたし、建物の基礎も破壊されているように見える。また、建物全体がゆがんでしまったようで、屋上に設置されていたアンテナ用の鉄塔が撤去された。

地点6: 神戸地方合同庁舎。北側の地盤が著しく沈下し、建物が抜けあがっている。周辺の道路の破壊も著しく、プレッシャーリッジ状を呈していた。

地点7: 加納町の東遊園地、地下が駐車場になっている。

①遊園地南西部の歩道のコンクリート縁石が、右ずれ13cm、北上がり49cmを示す。

②南東部の駐車場入り口横の縁石が、右ずれ20cm、北上がり40cmを示す。公園南東端にある駐車場の入り口の建物が抜け上がっている。

①と②を結ぶ走向はN75°W。

同公園の西側隅にも走向がほぼ南北の東上がりの変位が見られ、公園中央部の西側入り口の南側石垣が25cm左ずれを起こしている。したがって、南側に現れたものと共役の関係にある。しかし、この公園の地下は駐車場となっており、駐車場の施

設の上にはかなり盛土がなされている。右ずれと左ずれを示す線は公園の南西隅で交わり、そこでは両者は回り込むようにつながっている。

誤解を避けるために記すが、筆者は東遊園地に出現した地表面の変位を地震断層が地表に出現したものとまでは考えていない。それは、4月24日の午後、市職員とともに地下駐車場を調査し、地下2階部分も調べたが、コンクリート造の施設自体には顕著な被害が認められなかったからである。施設自体が破断されて、変位していれば断層が通ったことが確認できるが、確認できなかった。したがって、盛土が地下駐車場の施設（壁）に沿って滑ったために、地表面に変位が現れた、と考えている。ただし、駐車場は地下2階で、掘削して建設されているため、基礎構造になっていない。そのため、地盤の変位ともなう被害が現れにくかったということは考えられる。また、地下駐車場の中央に近いところの地表面の変位はその後大きくなり、敷石の波打つような変形が大きくなっていった。その北東への延長部に位置するフラワーロード（地点8）では、道路を横断する顕著な亀裂が路面に見られた。したがって、公園内に出現した地表面の変位は断層と見なすことは出来ないが、地下駐車場の下の地盤に食い違いが発生し、それを補償するために、周囲の地盤の変形が次第に大きくなった、という解釈は成り立つ。

地点9：三宅興産ビル。抜け上がり、周辺部の道路の変形が著しい。

地点10：国際プラザビル。三宅興産ビルと同様に抜け上がり、周辺部の道路の変形が著しい。北側に隣接していたビルは取り壊されていた。

地点11：三信ビル。抜け上がり基礎が痛んでいる。

地点11の北東の延長部では、げた履きビルの1階がつぶれていた。さらにその延長部は新生田川にぶつかる。新生田川の護岸には一部亀裂があるが、河床には変化は見られず、それ以上は追跡できなかった。

これらの地点はほぼ直線状に分布し、約1.5kmにわたって追跡できる。被害形態も振動被害や液状化ともなうもののみとは考えにくい。走向は

N45°～55°Eで、図2に示す他の断層の走向とほぼ一致するし、池田ほか（1995）による墓石から推定された伏在活断層のやや北側に位置し、前田・宮田（1995）による電柱の調査から得られた五助橋断層の延長部にほぼ一致する。

以上のような地表面での変位や被害分布の特徴の他にも、1階部分が著しく破壊されたビル、校庭での亀裂、道路の変形、河川の護岸や河床の亀裂、などが直線的に並ぶことが報告されている。このような直線的な配置は地震断層そのものの直接的影響とは断定できないが、少なくとも地震断層の活動にともない雁行状に生じた亀裂の影響と見て良いのではないだろうか。

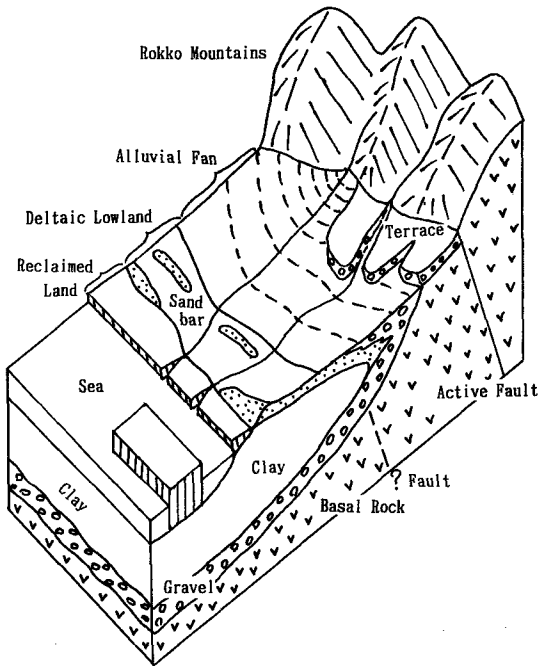
須磨断層より北東側では地表には地震断層が現れなかったという考え方が大勢を占めている。しかし、北東-南西の走向を持つ活断層が次々に活動したとは考えにくい、震源断層に雁行するいくつもの断層もしくは亀裂が地盤の変位をとまらう被害を発現させ、その結果、顕著な被害が直線的配列をしたと解釈できる。

2.3 地形条件と被害の特徴

神戸市では六甲山地とそれに続く丘陵地が北部に位置し、山麓は断層に限られている。断層崖の下には扇状地が形成されている。扇状地は、完新世に形成された新期扇状地と最終氷期に形成された古期扇状地、ならびに、より古い時代に形成された高位扇状地からなる。古期扇状地は新期扇状地より傾斜が急で粗粒の礫で構成され段丘化している。高位扇状地も粗粒の礫から成り、古期扇状地より高い。段丘化した古期扇状地は河川に開析されて、その前面には新期扇状地が広がる。新期扇状地は傾斜が緩く、砂質堆積物からなるところが広い。より下流部は三角州低地となり、自然堤防や後背湿地が発達する。扇状地と扇状地の間は相対的な低地となり、細粒の堆積物が分布している。三角州低地の旧海岸線付近には砂州や砂堆が形成され、一部は礫質の堆積物からなる。これらの低地を流れる河川は天井川と化しており、芦屋川などでは鉄道が川底をくぐっている。埋立地は明治26年（1893年）以来拡張され続け、古くは

海岸線沿いの浅海に造成されていたが、最近では大規模に海中に造成されている。人工島となっているポートアイランドなどの大規模事業では、「山、海に行く」と称された。

図4はこれらの特徴を持つ神戸市の地形と低地の地盤条件を極く簡略化して示したものである。六甲山地と丘陵地を構成している花崗岩や大阪総群は基盤岩として一括してあるし、高位扇状地は略してある。



注) 神戸市の地形と地盤をわかりやすく表現するために極く簡略化して示したものである。大阪層群は基盤に一括し、古い扇状地起源の丘陵地性の地形は省略してある。

図4 神戸市の地形と地盤の模式図

神戸市の市街地は初期には三角州低地内の砂州や砂堆を中心に立地していたが、低地が市街地化しつくされると扇状地や段丘上に進出した。明治末期には標高70~80m付近にまで達し、急傾斜地に立地する都市の先駆けとなった。市街地は神戸港背後から長田方面の丘陵地へと進行し、第二次大戦後には六甲山地南麓の断層崖を越えて、山地へと進出した。関東地方では多摩丘陵の開発が

1960年代以降急速に進んでいるが、神戸での丘陵地の開発ははるかに古く、第二次大戦以前から行われている。「都市、山に登る」と評されるように、神戸市では市街地が急傾斜地に拡大した結果、これまでの1938年、1961年、1967年などに降雨による土砂災害を経験している。そのため、地震よりも大雨による崖崩れに注意が払われていた。

山地を構成する花崗岩は風化が進み、節理も発達している。今回の地震では山腹の崩壊とともに、落石が多発し、谷が埋められた。一部には直径数mに達する岩塊が節理の部分から切り離されて落下した。岩塊は伊豆半島沖地震でも見られたように、斜面から飛び出している。落下した岩屑は谷を埋めており、雨季に土石流が発生することが懸念される。クラックも至る所にみられ、雨水の浸透が心配されている。

山麓から新时期扇状地までは、多少の違いはあるが傾斜地になっている。段丘化した古期扇状地は傾斜が比較的緩く、地盤も堅固であるので一般に被害は少ない。人工島建設のために表土を削り、その跡を造成した地区にはほとんど被害は見られない。

斜面崩壊でもっとも被害が大きかったのは、西宮市仁川百合野町である。ここでは斜面の上部が造成され、阪神水道企業団甲山事業所が建設されていた。事業所の施設自体は切土された部分に建設されていたが、その前面の盛土されたテニスコートの部分を頂部にして地滑り性崩壊が発生した。空中写真で見ると、滑り面は盛土部のみでなく、自然斜面に達している。崩壊した部分は高さ約25m、幅約150mである。崩壊した土砂は仁川の谷を乗り越え、対岸に達し、粉体流となって谷を流下した。そのため、両岸にあった住宅11戸が巻き込まれ、34人が犠牲になった。

この他にも斜面に切り盛りをして造成された住宅地では擁壁の崩壊が多発している。東灘区の岡本から西岡本にかけても斜面崩壊の寸前に達しているような状況にあり、雨季に地滑り性崩壊が発生することが懸念された。地震直後には、降雨にともなう土砂崩れを警戒して、48か所、約6600人の住民に避難勧告が出された。また、宅地造成地

には各所で地滑りが発生した。

前述した震災の帯は、一部は台地上にのるが、おもに扇状地と三角州地帯を覆っている。砂礫からなる扇状地の扇端部は約6000年前の縄文海進の極相期には海岸線付近に位置していた。海岸線はその後次第に後退し、三角州地帯が形成された。したがって、三角州地帯には海底に堆積した軟弱地盤が分布する。埋立が行われる前の旧海岸線付近では沖積粘性土は10m程度の厚さがあり、海側で厚くなる。

三角州地帯では、砂州や砂堆が形成されており、扇端部から延びる河川は天井川になっている。砂州や砂堆の上では木造家屋の被害は周辺より小さく、天井川の堆積物がそのまま残されてその上に宅地化が進行した芦屋川や住吉川の周辺でも被害が少ない。天井川を構成しているのは中世末以降に堆積した砂礫で、それが砂州や砂堆の砂と同様な働きをしたと考えられている(高橋、1995)。天井川の堆積物からはずれている地域では被害が大きい。また、天井川の堆積物を排除していた地域でも被害が大きいという。たとえば、生田川の流路を付け替え、天井川の砂礫を取り除いて造成されたフラワーロードの周辺、旧湊川の天井川の堆積物を取り除いている新開地の南東部分である。

三角州地帯には最終氷期に形成された谷が埋積され、埋没谷となっており、そこでも被害が大きくなる傾向があるという。石川ほか(1995)は旧生田川沿いで被害が大きいのは、この地域には埋没谷があり、沖積層とその下位の段丘堆積物の層厚が周辺部より厚いために解釈している。三角州地帯では埋立地と同様に液状化による被害が目立った。

埋立地は人工島を含めて液状化現象による被害が著しかった。護岸が海側に滑り出し、内側に海水が入り込んでいる。護岸近くに駐車していた自動車が多数海中に滑り落ちたし、クレーンの橋脚が線路から脱輪したり、折れ曲がった。ポートアイランドと六甲アイランドでは地盤の沈下量は最大3mに達している。護岸が15m海岸側に移動した埋立地もあるという。液状化は護岸の滑りや盛土の沈下をもたらしているばかりでなく、新港第

8突堤東側の建屋ではコンクリート製の柱を同じ方向に折っていた。

震災の帯内でも被害状況に差があることが指摘されている(石川、1995;吉岡ほか、1995など)。石川(1995)は木造家屋の全壊率が50%以上で、鉄筋コンクリート造建物の被害も多い地区を超震度Ⅶ地区として図化している。その結果によると、超震度Ⅶ地区は、標高5~20mの緩扇状地や三角州低地に島状に分布するという。その地区の地盤には地域的な特徴があり、西部域(長田町)では三角州低地内の後背湿地でN値5以下の粘性土が厚い(4m以上)地域、中央部域(中央区)では沖積層と段丘堆積物の合計の層厚が周辺より厚い(20m以上)埋積谷の地域、東部域(東灘区)では更新世後期末期以降の緩扇状地(新时期扇状地)を形成する砂質土と細粒土(N値15以下)を主体とする地域、であるという。

むすびにかえて

阪神・淡路大震災の被害のメカニズムはまだその全貌が明らかになっていない。しかし、周期の長い(1秒程度)大きな加速度が働いたことが元凶であることは間違いない。そのような地震動の発生は、震源断層の動きと伝搬途中の地盤構造との競合によるものである。震災の帯の出現を震源断層の動きだけで説明することが出来ないことは、淡路島の被害分布が物語っている。野島地震断層が出現した小倉付近の住宅地では表面の風化層が取り除かれており、断層をまたいでいた建物は別として、断層の極く近傍でも被害が少なかった。また、地盤構造だけからでも同様に説明できないことは、神戸側の被害から明らかである。神戸側では、震災の帯内にみられた被害程度の差として地盤の影響が現れている。

これに加えて、被災建物の条件がある。被害状況をいくつかの形態に分類し、建物の構造別、建築年代別に整理することも必要であろう。これら諸々の影響を分離し、関与した要因の重みを解析できればと考えている。

研究費の一部に福武科学振興財団の助成金を使

用した。記して謝意を表したい。

文 献 一 覧

- 1) 池田碩 (1995)「阪神大地震と地形災害」、『地理』Vol.40、No.4、98-105.
- 2) 池田安隆ほか (1995)「墓石のずれから推定される初動分布と伏在地震断層の挙動」、『1995年1月17日兵庫県南部地震調査速報会記録』45-46.
- 3) 石井武政ほか (1995)「地下水調査から推定される神戸市周辺の潜在断層」、『地質ニュース』491、29-32.
- 4) 石川浩次 (1995)「兵庫県南部地震による建造物の被害と地形・地質および地盤条件」、『地質ニュース』491、17-23.
- 5) 石川浩次ほか (1995)「兵庫県南部地震の神戸の地盤と被災状況調査」、『応用地質』Vol.36、No.1、62-80.
- 6) 入倉孝次郎 (1995)「1995年兵庫県南部地震による強震動」、『月刊地球』号外No.13、54-62.
- 7) 岩渕洋ほか (1995)「兵庫県南部地震による海底変動の調査」、『地質ニュース』490、44-49.
- 8) 梅田康弘 (1995)「1995年兵庫県南部地震の破壊成長過程-地震のブライトスポットと跳び石-」、『地質ニュース』490、50-55.
- 9) 太田陽子ほか (1995)「1995年兵庫県南部地震の際に出現した野島地震断層と被害状況」、『地学雑誌』104、143-155.
- 10) 岡田篤正 (1995)「六甲-淡路島活断層系と兵庫県南部地震」、『地理』Vol.40、No.4、86-97.
- 11) 活断層研究会 (1991)『新編日本の活断層-分布図と資料』東京大学出版会、437pp.
- 12) 釜井俊孝ほか (1995)「1995年兵庫県南部地震による阪神都市地域の斜面災害」、『応用地質』Vol.36、No.1、47-50.
- 13) 菊地正幸 (1995)「遠地実体波による震源のメカニズム」、『月刊地球』号外No.13、47-53.
- 14) 額瀨一起 (1995)「兵庫県南部地震による地震動の特徴」、『地質ニュース』491、2-8.
- 15) 桜井孝 (1995)「震害状況から推定される断層変位運動」、『応用地質』Vol.36、No.2、40-62.
- 16) 佐藤隆司・杉原光彦 (1995)「三角点のGPS測量による1995年兵庫県南部地震にともなう地殻変動の測定」、『地質ニュース』490、41-43.
- 17) 嶋本利彦 (1995)「“震災の帯”の不思議」、『科学』Vol.65、No.4、195-198.
- 18) 鈴木康弘ほか (1995)「野島断層のトレンチ発掘調査」、『日本地理学会予稿集』48、22-23.
- 19) 高橋学 (1995)「古環境からみた阪神大震災-過去の土地条件を知る」、『地理』Vol.40、No.4、114-117.
- 20) 多田堯ほか (1995)「1995年兵庫県南部地震の測地学的断層モデル」、『月刊地球』号外No.13、136-140.
- 21) 中田高ほか (1995)「1995年兵庫県南部地震の地震断層」、『地学雑誌』104、127-142.
- 22) 橋本学 (1995)「兵庫県南部地震による地殻変動と断層運動の推定」、『地質ニュース』490、33-40.
- 23) 林愛明ほか (1995)「兵庫県南部地震により淡路島に生じた野島地震断層の調査」、『地学雑誌』104、113-126.
- 24) 平野昌繁・藤田崇 (1995)「1995年阪神大震災に伴う地盤災害-とくに断層に沿う変位地形について」、『地球科学』Vol.29、No.2、77-84.
- 25) 藤田和夫 (1995)「近畿の第四紀テクトニクスからみた兵庫県南部地震-神戸の地震に“六甲変動”を見た-」、『地質ニュース』490、7-13.
- 26) 藤田和夫・前田保夫 (1984)「須磨地域の地質」、『地域地質研究報告、5万分の1地質図幅』地質調査所、101pp.
- 27) 前田保夫・宮田隆夫 (1995)「神戸-西宮間における活断層の観察」、『1995年1月17日兵庫県南部地震調査速報会記録』43-44.
- 28) 松田馨余・田村俊和 (1974)「1974年伊豆半島沖地震の地震断層とそれにともなう被害」、『地学雑誌』83、270-276.
- 29) 水野清秀ほか (1990)「明石地域の地質」、『地域地質研究報告、5万分の1地質図幅』地質調査所、90pp.
- 30) 溝上恵ほか (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に伴う断層系」、『月刊地球』号外No.13、39-46.

- 31) 吉岡敏和ほか(1995)「兵庫県南部地震に伴う阪神地区の被害分布と微地形」、『地質ニュース』491、24-28.

Key Words (キー・ワード)

1995 Kobe Event (1995年阪神・淡路大震災), Nojima Earthquake Fault (野島地震断層), Heavily Damaged Zone (震災の帯), Active Fault (活断層), Landform Condition (地形条件)

Earthquake Fault and Damage of the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake

Iware Matsuda*

*Center for Urban Studies, Tokyo Metropolitan University
Comprehensive Urban Studies, No. 57, 1995, pp. 5- 18

The Hanshin District lies between the Takatsuki - Arima Tectonic Line and Median Tectonic Line. Many active faults called the Rokkou - Awajishima Fault System connect them. The Fault System caused the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake. Though a typical earthquake fault appeared along the Nojima Fault in Awajishima, most of damages were due to site effects.

The heavily damaged zone appeared in the Kobe and Ashiya Cities. Geological and Geomorphological conditions, a hidden active fault under the recent deposits, movement of the southern extension of active faults lying in the Rokko Mountains, reflection of seismic waves from the basal rock and existence of old buildings are pointed out for the reasons of appearance of the heavily damaged zone. The main cause has not been made clear, but the heavily damaged zone might have been resulted from complex effects of these reasons.