

Title	表面断層と起震断層からみた 1995 年兵庫県南部地震による変位場の特性に関する一考察
Author	平野, 昌繁
Citation	人文研究. 49 卷 2 号, p.65-85.
Issue Date	1997
ISSN	0491-3329
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	Publisher
Publisher	大阪市立大学文学部
Description	

Placed on: Osaka City University Repository

表面断層と起震断層からみた1995年兵庫県南部地震 による変位場の特性に関する一考察

平野 昌 繁

1. はじめに

西南日本内帯においては、微小地震の起震力から求めた最大主応力は東西であり(HUZITA *et al.*, 1973), とくに六甲山地の剪断節理の研究も東西圧縮のもとでの横ずれ共役面が主体となっていることを示す(HIRANO, 1969・平野, 1971)。あるいは測地学的なデータ(田中ほか, 1972)についても、東西方向の短縮と南北方向の伸びを示すという点で同様である。これらの先行する研究に加えて、1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震においても、それは東西方向の圧縮力のもとでの横ずれ断層の形成に対応する横ずれ型発震機構を示した(菊池, 1995)。

地震に対応して地表には、系統的横ずれ変位を伴う断層あるいは地盤の広域の変位が生じた。しかしながら、とくに神戸地域の地表に生じた変位・変状については、それをテクトニックな横ずれ変位とする考え(平野・波田, 1995)と、単なる地すべりであるとする考え(熊木ほか, 1995など)があり、必ずしも意見の一致をみていない。しかもその調査にあたっては、調査者の問題意識、六甲山地の断層系に関する知識、調査に要した日数や対象地域の広狭などの問題が関係して、必ずしも単純に比較できない面があって水かけ論に終わりがかねない。

そこで本稿では視点を変え、断層運動にともなって生じた地表の水平変位に注目し、その特性について検討する。地震に関連した断層に伴われる横ずれ変位の分布は、地域あるいは関与する断層によって、それぞれ一定の特徴を示す。いいかえれば、地下で地震をおこした「起震断層(seismic fault)」あるいは地表に生じた「表面断層(surface fault; 地表断層ということもある)」は、それぞれ固有の変位場を伴っている。

地震に関連した活断層付近のひずみないし変位場の特性については、すでに田中(1976)において議論されている。ここでは、兵庫県南部地震で活動した野島断層・甲陽断層などに伴われる水平変位場を、CHINNERY(1961, 1970)のモデルを用いて評価した。それによると、兵庫県南部地震による断層の変位像について、極めて興味深い事実が明らかとなった。その結果について以下に報告する。

2. GPS測量による水平変位の特性

兵庫県南部地震によって、各種の変位・変状が地表に生じた。それには主に3つあり、第1は基準点の変位で示される広域的なもの、第2は活動した断層に伴われる系統的な造構変位、第3は丘陵地の盛土地盤や港湾部の埋立地における側方流動、である(平野・波田, 1997)。

このうち、とくに断層運動に伴われる地盤の広域的かつテクトニックな変位については、国土地理院による基準点(三角点)の地震の前後におけるGPS測量結果の比較により、あるいは水準測量結果の比較によって、明らかとなっている。そのうち特に水平変位について、三角点の変位として求められたものを国際航業(1995)がまとめた結果の概要を図-1に示す。

余震分布の軸として推定される「起震断層」の北西側にあたる神戸側では、図-1において基準点が系統的に北東方向へ水平移動している。変位量は南西部分(明石海峡方面)で大きく(最大80cm以上)、北東部分(宝塚方面)に向かうにつれて小さく(10~20cm)なる。それに対して、淡路島北部の野島断層の南東側においては概ね南方向に地盤は変位し、最大変位量は野島断層の近くで1.2mに達する。

基準点以外にも、明石海峡大橋あるいは阪神高速5号湾岸線の橋脚について、一定方向への系統的な水平変位が生じていることが、それらの構造物のGPS測量で明らかになった。このように、従来は基準点の少なかった海岸部あるいは海底部における地盤の変位状況が得られたことは、兵庫県南部地震による地殻変動の特性を明らかにする上で極めて重要である。

明石海峡大橋については、明石側の1A(Aはanchorの略)と2P(Pはpierの略)が、隣接する明石地域の陸上の基準点と同じく北東方向へ約80cm移動しているのに対して、淡路よりの3Pと4Aはそれとは異なる方向に移動していて、3Pは北西方向へ、4Aは淡路島陸上部の基準点と同じく南南西に、それぞれ動いている(山縣, 1995)。この事実は、明石海峡大橋が

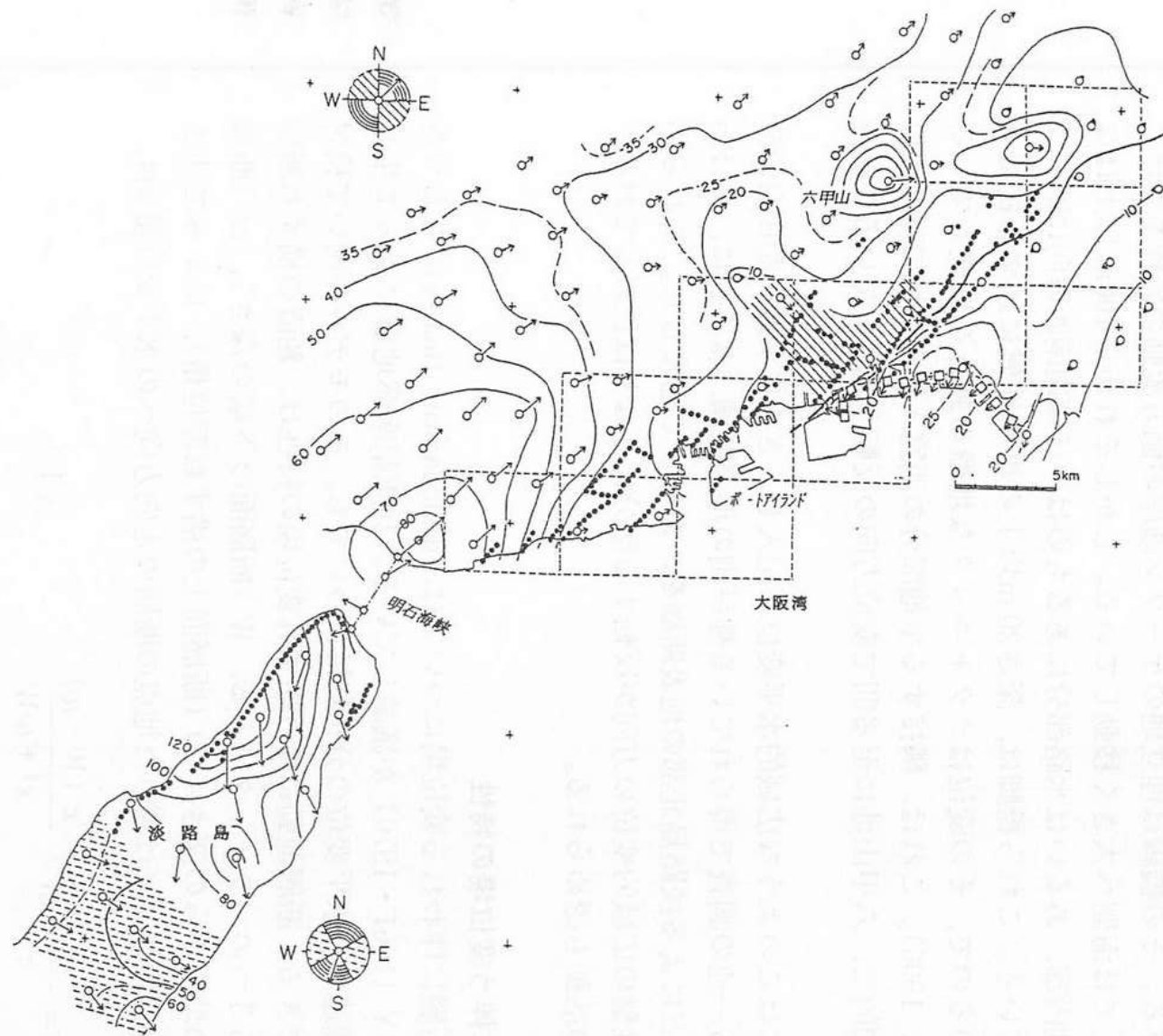


図-1 兵庫県南部地震による地盤の水平変位の分布と表面断層。平野・波田(1997)による。水平変位については、矢印で変位方向を、10cmコンターで変位量の概要を、それぞれ示す。ただし、○印は基準点の、□は橋脚などの、位置と変位にそれぞれ対応。点線は地表面の系統的横ずれ変位にもとづいて追跡された表面断層。

顕著な断層をまたいでいる可能性を示唆する。

阪神高速 5 号湾岸線は、神戸市東灘区の六甲アイランドから東側にある大阪湾北岸の埋立地を連ねるようにして武庫川河口に至り、さらに南東の大阪方向へ延びる。その橋脚は埋立地のケーソン護岸の側方流動の影響を受け、護岸の近くでは海側へ大きく移動している。しかしそれから 100m 以上はなれた埋立地内部、あるいは水路部分にあるものは、ほぼ南南西方向に 20~30 cm 移動している。これら橋脚は、深さ 20 m 以上の洪積地盤に達する杭で支えられているので、その変位はテクトニックな地盤の動きを反映している(阪神高速, 1996)。これは、隣接する平地部分の西宮・尼崎地域の基準点の動きと調和的で、六甲山地に至る間で変位方向の反転が起こっていることを示す。

図-1にはこのような広域的な水平変位を記入し、さらに平野・波田(1995)などによる一連の調査で得られている神戸側の地表断層、ならびに、林ほか(1995)などによる淡路島北部の地表断層を、あわせて記入した。これらの断層は、地盤の広域変位の方向が反転する部分にしばしば位置しており、共役断層の活動も認められる。

3. 断層に伴う変位場の特性

横ずれ断層に伴われる変位場については、dislocation theoryにもとづき CHINNERY (1961・1970) が議論している。兵庫県南部地震によって生じた断層に関連した水平変位の分布特性についても、そのモデルを用いて検討する事ができる。断層運動に伴う横ずれ変位場の特性は、鉛直の横ずれ断層面に対する 3つのパラメータである、 W (断層面の下端の深さ)、 w (断層面の上端の地表からの深さ)、 D (断層面上の横ずれ変位量)、によって決まり、断層から距離 x だけ離れた地点の断層の走向方向への水平変位量 v は、

$$v = \frac{D}{\pi} \tan^{-1} \frac{x(W-w)}{x^2 + wW} \quad (1)$$

で与えられる。とくに断層面が地表に達している ($w=0$) 場合には、(1) は

$$v = \frac{D}{\pi} \tan^{-1} \frac{W}{x} \quad (1')$$

となる。

兵庫県南部地震に関係した断層に伴われる変位場の特性を求めするため、断層の一般走向を設定し、それからの距離 x にある基準点などの水平変位量 V に対して、断層に平行した成分を、

$$v = V \cos \theta$$

によって求めた。ただしここで、 θ は水平変位ベクトルと断層のなす角である。

このようにして、距離 x による v の変化をそれぞれの断層について図上計測で求め、それに対して適合性のよいモデル曲線を与えるパラメータの値を求めた。ただし、断層位置の決定や方位・距離の測定誤差に加えて、変位量にかなりのバラツキがあるので、あくまで概要としての議論であることはいうまでもない。

3 a. 野島断層

野島断層については、図-1に示されるようなその南東側の基準点の大きな水平変位と、かなりの隆起が知られている。さらに、基準点のない野島断層の北西側についても、その後の空中写真測量による地上目標物の変位（星野ほか、1995・1996）が求められている（図-2A）。それによれば、野島断層を境にその北西側はほぼ東へ変位して沈降し、南東側はほぼ南へ変位しつつ隆起していて、広域的な地盤の変位方向が明瞭に変化している。

地表に生じた野島断層の走向は多少変化するが、とくに図-2Aの範囲にある野島平林付近におけるその一般走向に対して、各基準点およびいくつかの地上目標物の断層までの距離 x と変位量 v を計算した。その結果、変位 v と距離 x の関係は(1')で近似できて、パラメータの値は

$$W = 3 \sim 5 \text{ km}, \quad w = 0, \quad D = 2.4 \text{ m} \quad (2a, b, c)$$

となる（図-2B）。このように $w = 0$ 、すなわち地下 $3 \sim 5 \text{ km}$ から上にある断層面は地表面に達しており、地表にはほとんど連続的かつ顕著な右横ずれ変位が生じたと言える。

ただし、強い構造物では変位量が小さいことも指摘されており（平野・波田、1996b）、方位関係によってはそれはさらに強調される。ちなみに、野島平林における高圧線鉄塔と隣接する舗装道路の変位をみると、図-3に示

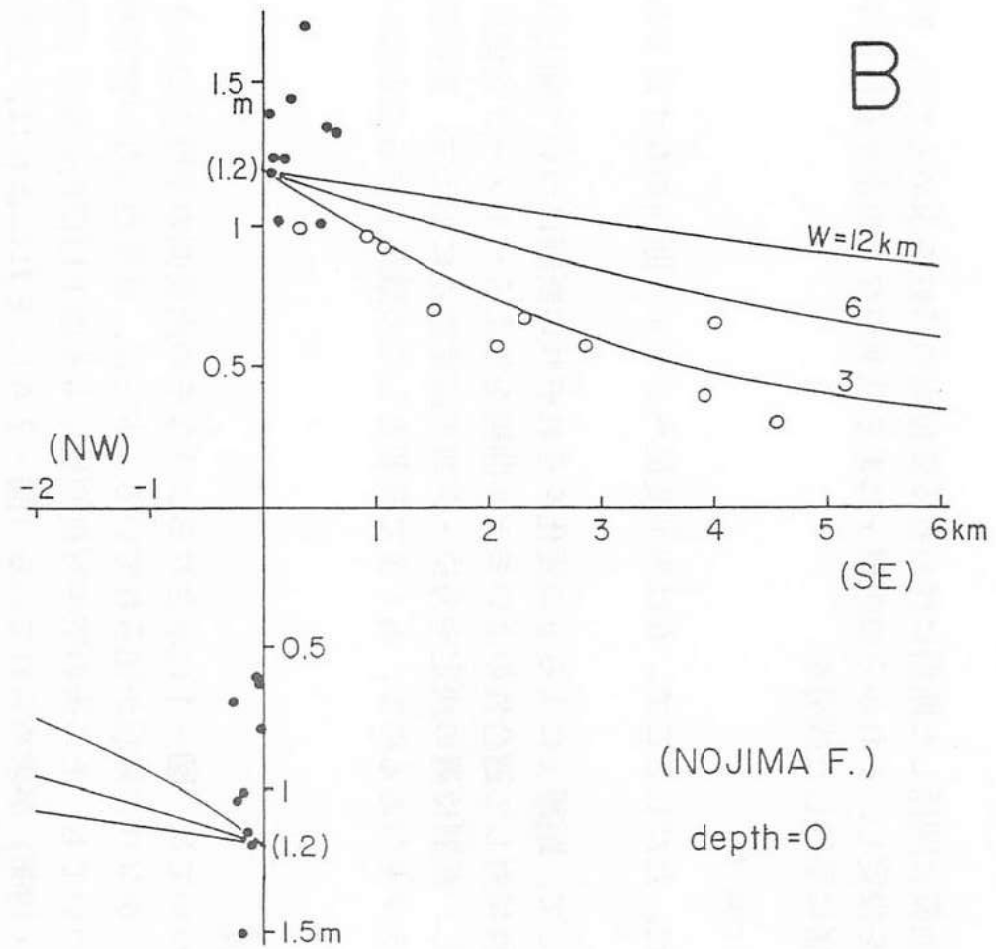
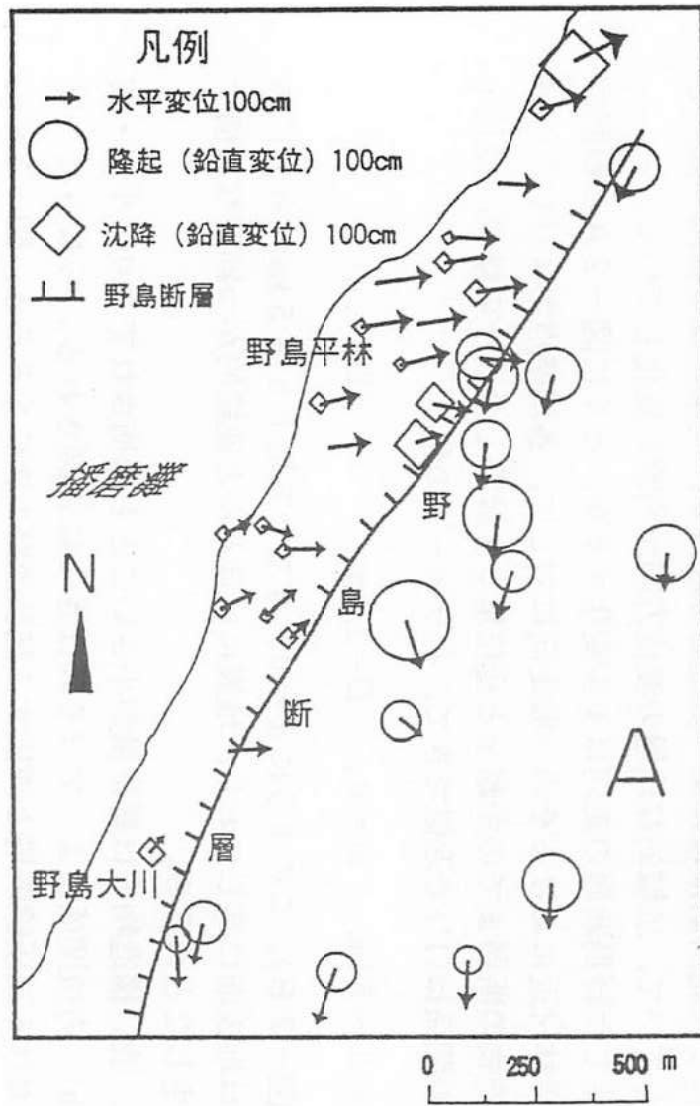


図-2 空中写真測量で求めた野島断層をはさむ地盤の変位 (A : 星野ほか, 1996) と, 兵庫県南部地震による地盤の水平変位量の分布にもとづく野島断層のパラメータ (B)。ただし, ○印は基準点の, ●印は地上目標物の, それぞれ水平変位量を示す。

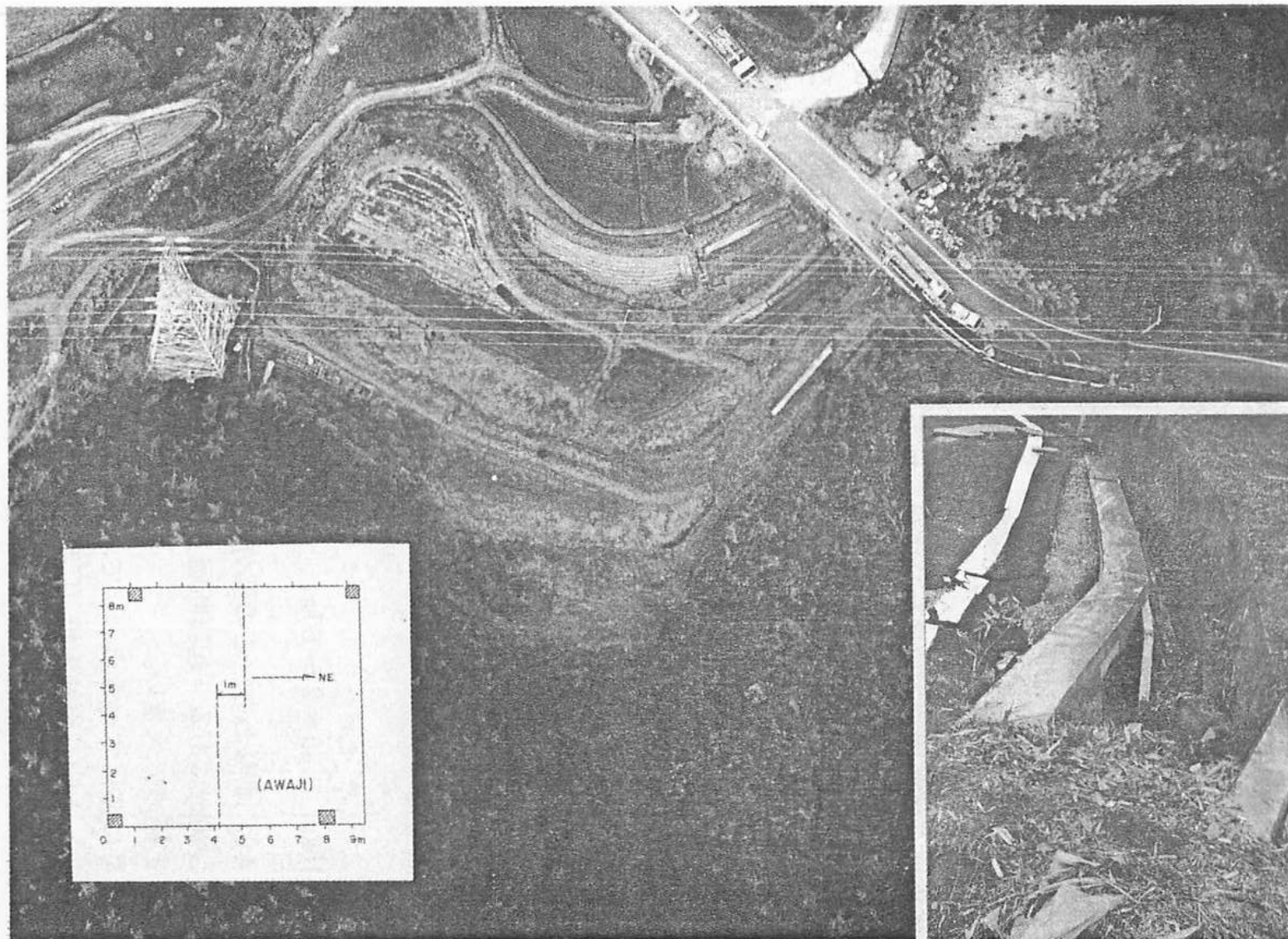


図-3 野島断層上における高圧鉄塔の基礎と道路の右横ずれ変位量の比較。
高圧鉄塔の基礎の変位（左下）は、大阪教育大学石井孝行氏による未公表測量データをまとめたもの。右下は、道路側溝の破損・変位の状況。

すように、断層の直上にあつて約1 mの右横ずれ変位によってねじれた高圧線鉄塔に対し、断層と鋭角で交わる強い舗装道路においては、路側の排水溝が約25 cm、道路本体は約10 cmのみかけの右横ずれ変位を示すのみである。

3 b. 神戸西部地域

神戸市街地西部からその北西に広がる地域については、基準点が広域にわたつて北東方向に移動している(図-1)。それに加えて明石海峡大橋の橋脚についても、1 Aと2 Pは明石側の陸上の基準点と同様の水平変位を示す。これらの水平変位量を対象として変位場を与えるパラメータを計算することができる。

ただしこの場合に断層の方位については、地表で確認された系統的横ずれ変位の連続する方位ないし余震の分布軸の平均方位(およそ $N50^{\circ} E$)に取るものとして、神戸市街地西部で特に変位の集中する断層を地表で確定するのは難しいので、断層の位置については選択の余地がある。しかし、「和田岬」と「東須磨」の三角点が北東方向に20 cm~30 cm移動しているので、それよりも南東側に断層を想定する(モデル1)のがひとつの考え方である。断層の位置についてはもうひとつ、「和田岬」と「東須磨」の基準点の変位を無視して余震震央の集中軸に一致するようにとる(モデル2)こともできる。さらに、野島断層と甲陽断層をつなぐ部分を主たる変位領域とみて、両者をつなぐ $N60^{\circ} E$ 方向の線に沿つた変位場(モデル3)についても検討した。

このように考えて、3通りのモデルについて計算した。そのいずれのモデルにおいても播磨灘沿いの海岸部と市街地中央よりとでやや異なるが、一般には

$$W=15\text{ km}, \quad w=2\sim 6\text{ km}, \quad D=1.6\sim 3.2\text{ m} \quad (3a, b, c)$$

となる(図-4)。すなわち、この部分における地盤の変位場の特性は、深さ5~15ないし20 kmにある「起震断層」によるもので、変位量(食い違い量)も最大約3 mと極めて大きい。

ただし、とくに注目すべき点として、とくに南西部の播磨灘海岸に近い部分のもの(○印)と明石海峡大橋(□印)については w が小さくなることで、とくにmodel 3においては、むしろ全般傾向とは異なる浅い断層による変位場と考えられなくはないことである。この点から、この変位場は「起震断層」に加えて部分的に地表付近に達した断層の組合せによって生じたも

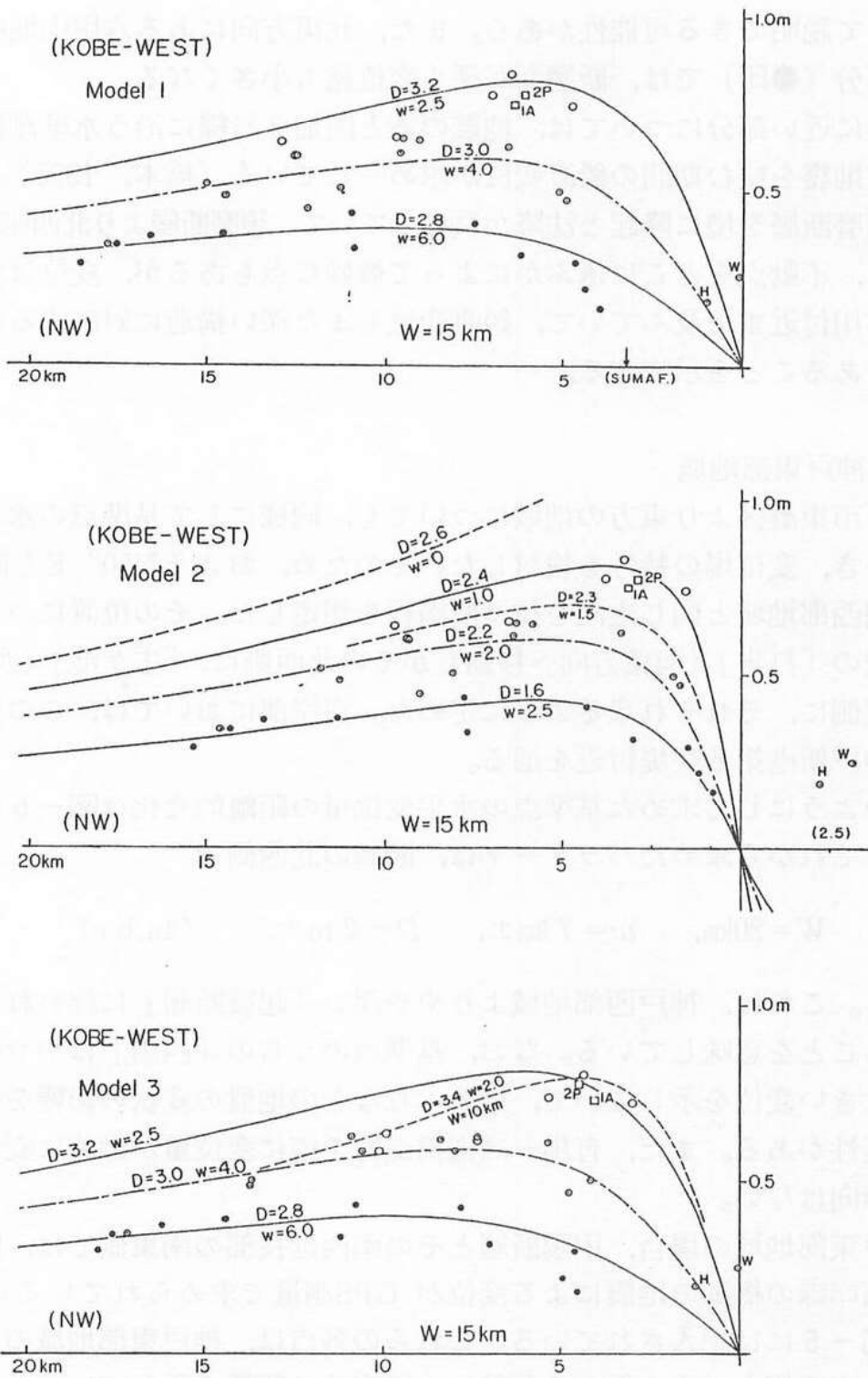


図-4 兵庫県南部地震による地盤の水平変位量の分布にもとづく神戸西部の断層パラメータ。播磨灘海岸沿い(○印, ただし明石海峡大橋は□), 中央部(●印), 北東部(●印), の3つに分けて示す。

のとして説明できる可能性がある。また、北東方向にある六甲山地中央部に近い部分（●印）では、断層面が深く変位量も小さくなる。

海岸に近い部分については、地震のあと国道2号線に沿う水準測量が行なわれ、地震を挟む期間の鉛直変位が求められている（橋本，1995）。その結果、須磨断層を境に隆起と沈降が反転していて、須磨断層より北西側の隆起・傾動は、不動点をどこに選ぶかによって微妙な点もあるが、変位は少なくとも加古川付近まで及んでいて、鉛直変位もまた深い構造に対応する広域的なものであることを示唆する。

3 c. 神戸東部地域

神戸市東灘区より東方の地域についても、同様にして基準点の水平変位にもとづき、変位場の特性を検討した。そのため、およそN50° E方向の神戸市街地西部地域と同じ走向を持つ断層線を想定した。その位置については、基準点の「打出」（南東方向へ移動）がその北西側に、「主ヶ池」（西へ移動）が南東側に、それぞれ来るように定めた。海岸部においては、この推定断層線は神戸新港第8突堤付近を通る。

このようにして求めた基準点の水平変位量の距離的变化は図-5に示す通りで、それから求めたパラメータは、断層の北西側で

$$W=20\text{km}, \quad w=7\text{km}\pm, \quad D=2\text{m}\pm \quad (4a,b,c)$$

となる。これは、神戸西部地域よりやや深い「起震断層」に伴われる変位場であることを意味している。なお、基準点のうちの「西山」はやや特異な著しく大きい変位を示していて、地すべりなどの地盤の変状の影響を受けている可能性がある。また、有馬-高槻構造線を境に変位量が顕著に変化するという傾向はない。

神戸東部地域の場合、甲陽断層とその南西延長部の南東側では、阪神高速5号湾岸線の橋脚の地震による変位がGPS測量で求められているので、それも図-5には記入されている。これらの各点は、神戸東部地域の「起震断層」の南西側とは全く異なる距離-水平変位の関係を示していて、図の破線に対応するパラメータは、

$$W=5\text{km}, \quad w=2.5\text{km}, \quad D=2.4\text{m} \quad (4a',b',c')$$

である。ただしこの点については、 D が大きすぎるという問題点のみならず、

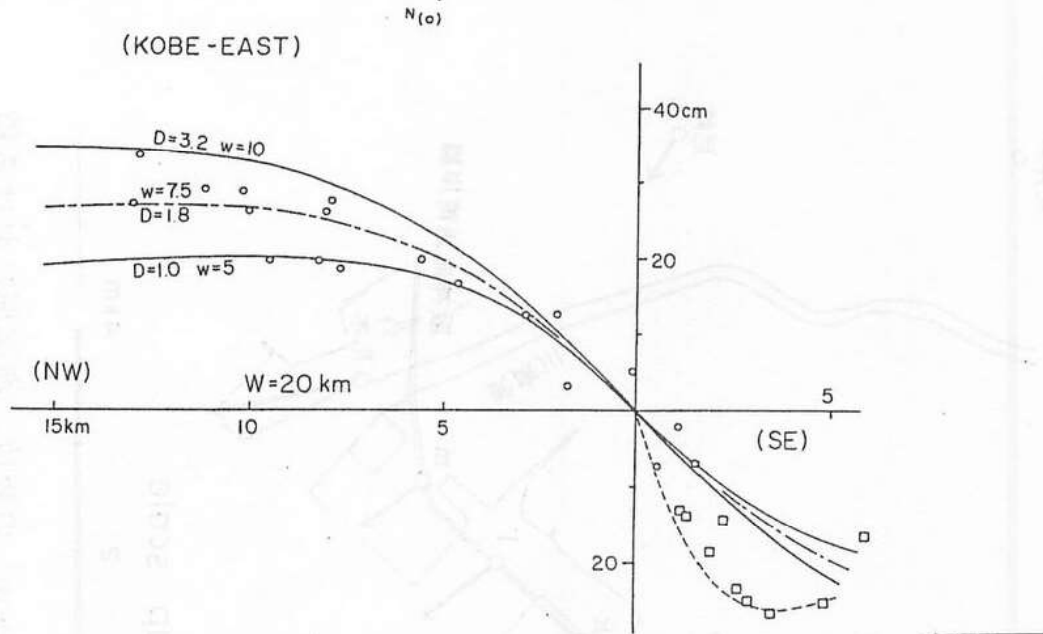


図-5 兵庫県南部地震による基準点 (○印) の水平変位量の分布にもとづく神戸東部地域の断層パラメータ。断層の南東側については、比較のため阪神高速湾岸線の橋脚の水平変位 (□印) を書き加えてある。

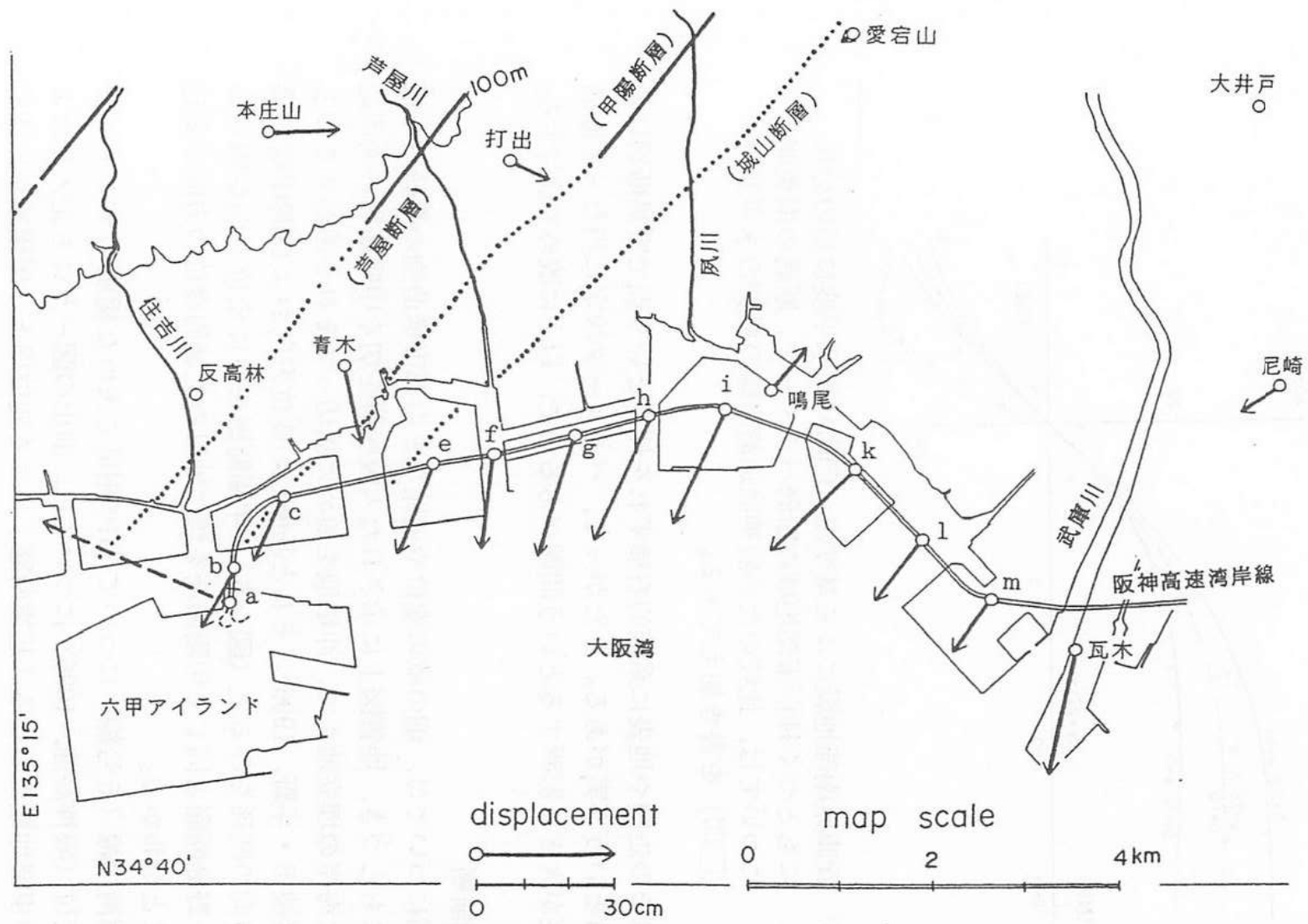
甲陽断層はその走向や地表に系統的右横ずれを伴うという点で野島断層に類似しているという事実がある。したがって、パラメータ決定に当たって断層位置の設定が大きく影響するという問題があるので、以下に改めて検討する。

3 d. 甲陽断層

甲陽断層については、畑の畝の変位や道路などの都市構造物の系統的右横ずれ変位にもとづき、地質図上に示された大阪層群を切る甲陽断層の南西端からさらに海岸の埋立地まで、沖積地を斜めに横切ってそれを追跡することができる (波田・平野, 1996)。それと基準点の変位方向および湾岸線の橋脚の変位方向の関係をみると (図-6), 甲陽断層を境に変位方向が明らかに反転し、野島断層と同じく甲陽断層を境に地盤の広域の変位の方向が変化していることがわかる。

阪神高速湾岸線 (5号線) について GPS測量で求めた橋脚のテクトニックな水平変位 (阪神高速, 1996) については、前出の図-5にも記入したように、神戸東部地域における「起震断層」による変位場と、甲陽断層に伴われる別の性質のものが重なっているのではないかと推定される。そのため、適合度のよい単一の曲線を求めるのは必ずしも容易ではないが、2つの変位

(76)



図一6 甲陽断層周辺の基準点 (○印) および高速道路橋脚 (同 a~m) の変位。海岸部における橋脚の変位については、阪神高速 (1996) によるテクトニックなものについて、埋立地あるいは水路の区間ごとの平均値で示す。断層のうち実線部は地質調査で確認されている部分、点線部は兵庫県南部地震により地表に生じた系統的右横ずれ変位にもとづいて追跡された部分。

場の重なりを考えずに処理すると、甲陽断層に対するパラメータはモデル1・モデル2のいずれにおいても

$$W = 3 \sim 5 \text{ km}, \quad w = 0.5 \pm, \quad D = 0.8 \sim 1.2 \text{ m} \quad (5a, b, c)$$

程度となる(図-7)。ここで、水平変位量は野島断層の1/3~1/2であるが、断層面の先端が浅く見て地表下200m、一般には地表下500m前後に達していることが注目される。

兵庫県南部地震による断層変位に関連して、神戸地域の地表には断層変位は生じなかったという考えも表明されている(熊木ほか, 1995など)が、甲陽断層が地下200~500mに達しているという上記の変位場に関する結果からみて、場所によっては断層変位が地表に達することは十分考えられる。その結果、都市構造物の弱い部分を選びつつ地表に断続的かつ系統的な右横ずれ変位が生じたと判断される。とくに注目すべき被害状況として、甲陽断層の延長部分を横切る箇所で阪神高速3号線の橋脚が倒壊している。なお、図-

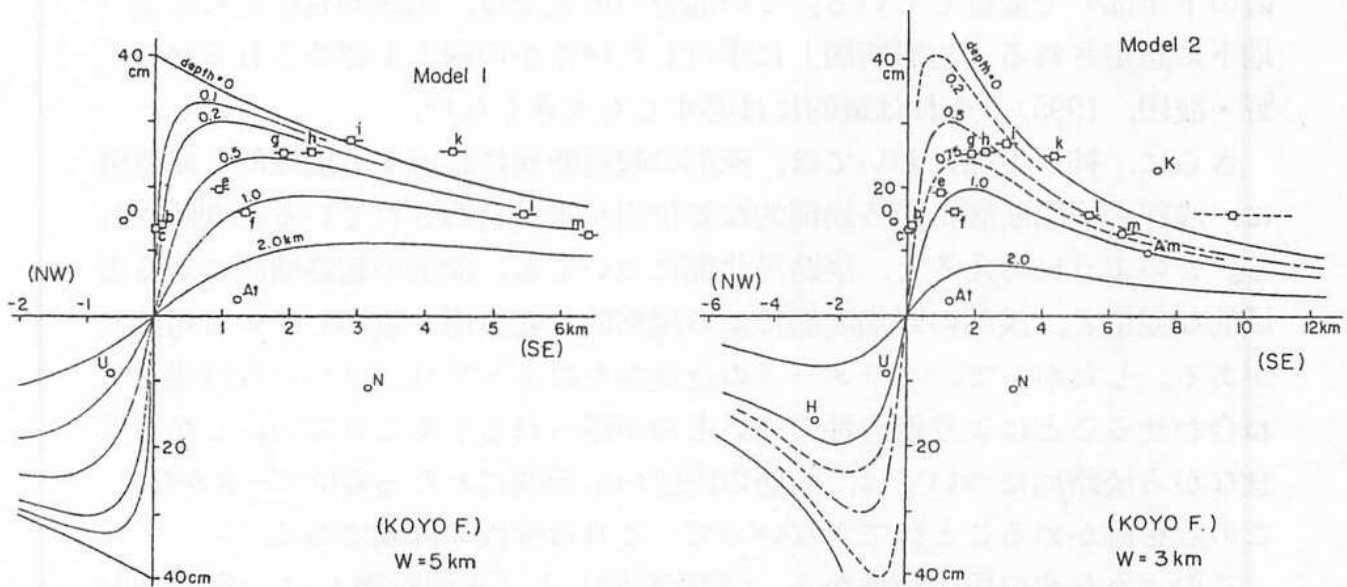


図-7 兵庫県南部地震による地盤の水平変位量の分布にもとづき、2つのモデルについて求めた甲陽断層のパラメータ。ただし、橋脚の変位のうちiとkは起震断層による広域変位場の影響を受けていると判断して処理。

6における埋立地部分にある「鳴尾」の基準点（図-7では記号Nで示す）は、橋脚の系統の変位とは反対に北東方向へ動きつつ大きく沈下しているのので、その北東にある水路側へ側方流動している可能性がある。

4. 変位場からみた起震断層と表面断層

以上の結果から、野島断層・甲陽断層のいずれについても、変位場の特性は地下5kmより浅い部分における断層の変位によって説明できる。それに対して神戸西部の断層は深さ3~15km、神戸東部では7~20kmで生じており、余震の分布とも対応する「起震断層 (seismic fault)」としての特性を示す。このように、野島断層・甲陽断層と神戸西部および東部の断層では、変位場を定義するパラメータが全く異なっている。この事実は、地表面で見られる「表面断層 (surface fault)」の成因について極めて重要な問題を提起する。

すなわち、野島断層と甲陽断層は、変位場を定義するパラメータより、断層変位が0~5kmまでの深さ（コンラッド不連続面より上の上部地殻のさらに上半部）で生じ、顕著かつ系統的な右横ずれ変位が地表面で確認されている。それに対して神戸地域の断層は、深さ3~15kmないし20kmの間（上部地殻の下半部）で変位している。この部分の地表では、系統的右横ずれ変位が地下に想定される「起震断層」に平行した何本かの線上で認められるが（平野・波田, 1995）、それは量的には必ずしも大きくない。

さらに、神戸東部においては、深部の起震断層に起因する広域的な変位場に、浅部の甲陽断層に沿う局所的な変位場が重ね合わされていると判断される。このように考えると、淡路島北部についても、深部の起震断層による広域的な変位と、浅部の野島断層による局所的な変位場が重複している可能性がある。したがって、パラメータの選びかたによっては、2つの変位場を重ね合わせることにより適合性の高いものが得られるかもしれない。しかし残念ながら淡路島については、断層の両側の広範囲にわたる変位データがなく、この点を確かめることはできないので、これは今後の課題である。

このような変位場の特性から、「起震断層」と「表面断層」は一定の平面的および立体的な相互関係を有していると考えられる。それは兵庫県南部地震について、図-8に示したようなものとなる。すなわち、上部地殻下半部である地下5~15ないし20kmで「起震断層」が生じ、それに対応して上半部が変位して、「起震断層」の両端付近の地表に顕著な「表面断層」が生じたことになる。

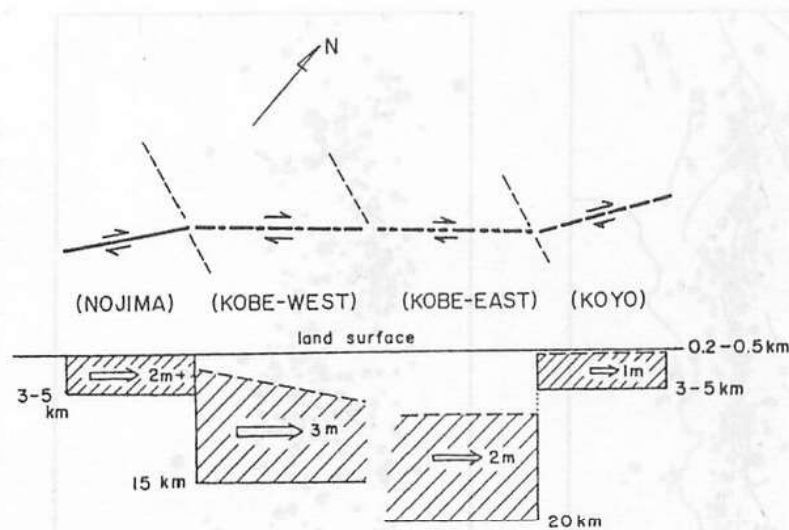
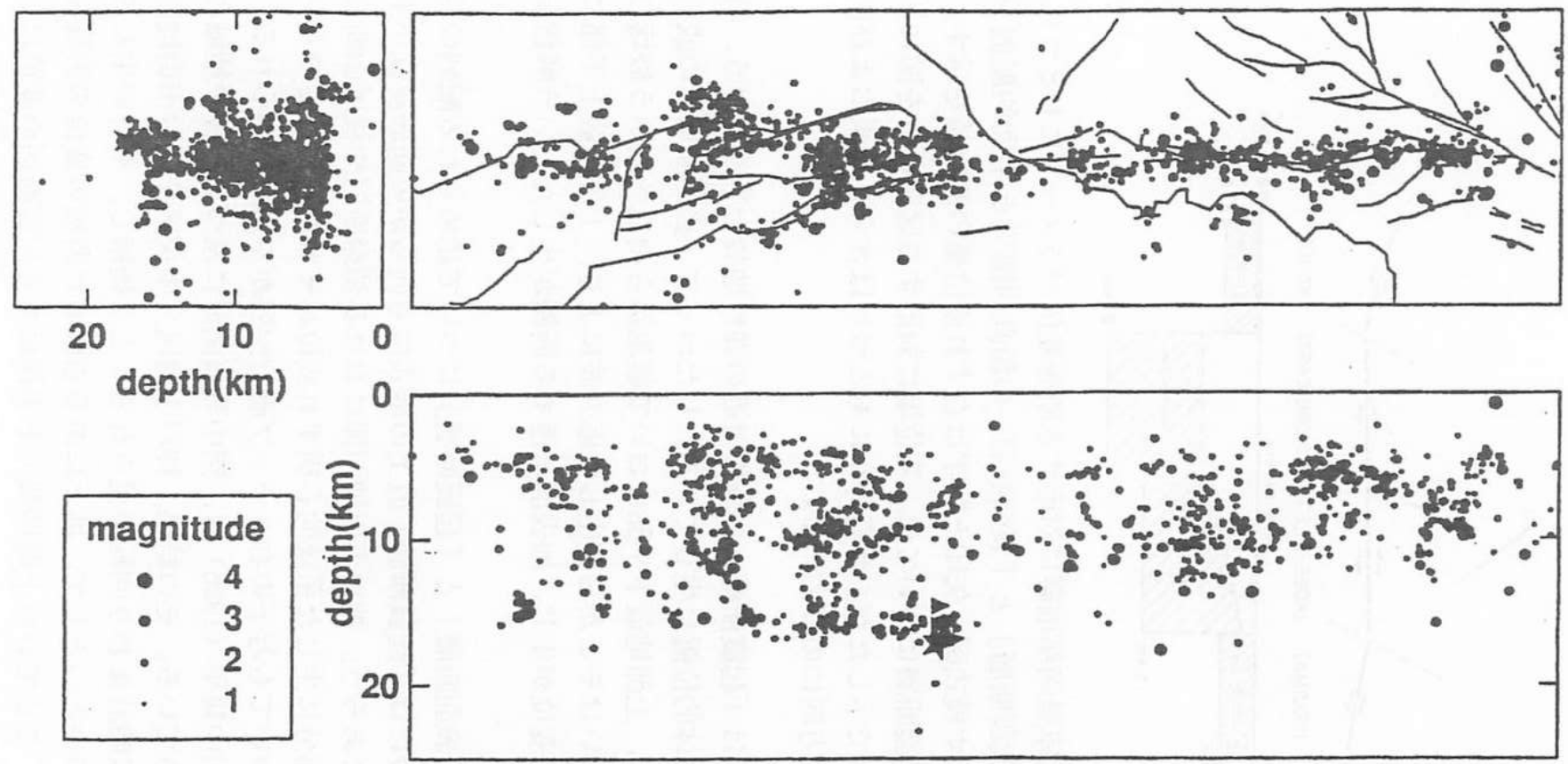


図-8 兵庫県南部地震に対応する断層変位パラメータにもとづく、「起震断層」と「表面断層」の鉛直的關係と平面的配置を示す模式図。矢印と数字は右ずれ変位量の概略値を示す。起震断層については、変位場に対応する区間のみを図に斜線で示したが、余震分布にもとづけばさらに北東および南西方向にのびている。

「表面断層」は「起震断層」の両端付近の弾性地殻上半部という、特定の平面的および立体的位置に生じている。したがって「表面断層」の成因に対する説明として、上部地殻下半部において震源から両端へ向かう破壊の進行に伴う変位あるいはそこから発生した応力波により、上部地殻上半部においても類似の断層変位が生じ、地表面に達する断層が生じたという解釈が可能となる。

このような「表面断層」と「起震断層」について認められる配列の特徴からいえば、一般には「起震断層」直上の地表にも何らかの断層変位が生じると考えるべきであろう。神戸市街地西部における須磨断層や横尾山断層、あるいは沖積層部分に生じた系統的右横ずれ変位はそれを裏付けものといえるが、これらについても若干の右ステップ雁行配列がやはり認められる。この点に関連して田中耕平(1996)は、空中写真測量に基づいて神戸地域の地表面の変位を求めている。その結果、神戸市灘区・中央区を含む市街地部分で地表面の顕著な時計まわり回転が見られることを指摘し、その生じる可能なメカニズムのひとつとして、地下にある右横ずれ断層の変位の影響を指摘した。これは、ここでいう上部地殻の下半部にある起震断層の変位にもかか



(80)

図-9 兵庫県南部地震の余震分布の例。NAKAMURA & ANDO (1995)による。右上に水平分布を示し、右下は余震軸（起震断層面）に沿う断面を、左上は余震軸に直交する断面を、それぞれ示す。深さ3 km以浅ではほとんど余震がおこっていない。明石海峡下の震源および震央位置を★印で示す。

ならずその上の上部地殻上半部で断層変位が必ずしも生じない空白域が生まれる場合のひとつの変位状況として、検討に値する。

一般に「地震断層」とよばれる地震に伴って地表面に生じる断層について、このような変位場の特性にもとづいて区別される「起震断層」と「表面断層」が、結合して生じたものと考える必要がある。ただし、西南日本の地下の標準的応力状態から明らかなように、最上部はスラストに対応する応力配置であるので、東西圧縮力のもとで地表付近では局部的に南北性のスラストが生じることがあるかもしれない。しかし地表付近では局部的な不均質性や異方向性が大きく、既存の構造線などの影響を強く受ける。したがって現実には、むしろ上部地殻上半部における横ずれ断層が地表でもより普遍的に見られ、それは部分的に逆断層としての特徴を伴うことになる、というのが実態であろう。

これに関連する議論として田中(1976)は、1930年の北伊豆地震で生じた丹那断層のその後の継続的変位について、変位場に対応するパラメータが

$$W = 2 \text{ km}, \quad w = 0, \quad D = 0.7 \text{ m}$$

程度であるとし、それに対してエネルギー的には長さ46km、深さ $W = 9.2 \text{ km}$ 、 $D = 3.1 \text{ m}$ の断層面を想定すべきである、としている。すなわち、地震のあと地表で継続的に観測された変位場は「表面断層」に固有のものであり、地震のエネルギーはそれより深くに達する「起震断層」に対応する、という2面性が見られたことになる。

地下の起震断層については、余震の分布からそれを推定することができる。兵庫県南部地震の余震分布についてはいくつかの図が示されているが、図-9にはNAKAMURA & ANDO (1995)により深さに関する精度が良いとされるJHD法を用いて決定された結果を示す。この図における震源の深さ分布をみると、断層の南西部(野島断層近傍)、中央部(神戸市街地部分)、北東部(甲陽断層付近)のいずれにおいても、深さ約3kmより浅い部分では余震がほとんどない。この事実もまた、深さ約3kmを境として破壊あるいは断層運動のメカニズムが異なる事を示している。

5. まとめ

兵庫県南部地震によって、地表には系統的な地盤の水平変位や断層変位が生じた。そのような水平変位場の特性にもとづいて、コンラッド不連続面よ

り上にある弾性的な地殻の下半部（深さ約 5 kmから15ないし20km）における破壊・変位による「起震断層」と、上部地殻の上半部（約 5 km以浅）の変位により地表に変位・変状をもたらした「表面断層」を、区別することができる。

ここで、地質調査によってその存在がすでに知られていた断層を「地質断層 (geologic fault)」と呼んで区別すると、地震によって活動し系統的な造構変位を地表にもたらす「表面断層」は、「地質断層」のうちの「起震断層」に近い位置にあるものである。したがって、新しい堆積物に被われて「地質断層」の存在が知られていなかった部分においても、「起震断層」の近くではそれが活動して「表面断層」が生じ、それにもとづいて「地質断層」の存在を知ることができる。

地質調査によって存在が知られていた淡路島北部の野島断層、六甲山地東部の甲陽断層は、それに伴われる変位場の特性より、深さ 5 km以浅の上地殻上半部が変位したために生じた「表面断層」である。その活動が地表に系統的な右横ずれ変位をもたらした。ただし、前者においては変位面は地表まで達していて食い違い量も 2.4 mと大きいのに対し、後者では変位面は平均的には地表下200~500 mにとどまり、食い違い量も約 1 mと小さい。都市構造物による地表の被覆の程度の違いに加えて、この差が地表における系統の変位の量や連続性に反映された。

それに対して神戸市街地西部および東部の水平変位場の特性は、今回の地震に対応する弾性的地殻の下半分に生じた「起震断層」に伴うものとして説明される。「起震断層」の直上にある神戸市街地西部では、地表において系統的な右横ずれ変位が生じている。しかしながら神戸市街地の東部では、系統的横ずれ変位が必ずしも明瞭なくかつ地表に顕著な回転変位がみられる場所がある。東部では西部にくらべて起震断層がやや深い位置にあることを併せ考えると、これについては右横ずれ「起震断層」上にある弾性的地殻の上半部における非破壊的な変位像である可能性がある。

野島断層・甲陽断層という顕著な「表面断層」は、「起震断層」の両端付近に位置していて、右ステップ雁行配列を示す。いわゆる「地震断層 (earthquake fault)」は、地震に伴って地表に生じた変位を一括したものである。そのためそれは、中央部にある「起震断層」直上の地表に見られる断層変位とその両端にある「表面断層」の組み合わせからなる一定の平面パターン（右横ずれでは逆S次形）を示し、かつそれは地下において一定の立体構

造を伴うものであると考えられる。

とくに地表面で認められる断層の雁行配列は、地下の断層の上にある剪断帯でみられる Riedel shearとはメカニズム及び規模において全く別のものである。そして、右横ずれ起震断層に対して右ステップ雁行を示す「表面断層」が生じている。地表で認められる断層の配列について、このような観点から再検討を試みるなら、それを起震断層に伴われる特定の圧砕岩の存在とあわせ検討することにより、地下3～20kmにある起震断層について、近代における地震観測データがない場合にも、その存在を予知できる可能性が生まれるであろう。

謝辞：本論をまとめるにあたって、元京都大学の田中 豊・大阪土質試験所所長の岩崎好規・カリフォルニア工科大学のJonasan Bray, の諸氏との議論は極めて有意義であった。また、現地調査においては、神戸大学の波田重熙・大阪教育大学の石井孝行・大阪工業大学の藤田 崇, の諸氏には色々とお世話になった。とくに石井孝行氏には、未公表測量データの提供を受けた。末筆ながら記して、感謝の意を表したい。

引用文献

- CHINNERY, M.A.(1961) The deformation of the ground around surface fault, Bull.Seis.Soc.Amer., vol.51, 355-372.
- CHINNERY, M.A.(1970) Earthquake displacement fields. Earthquake displacement fields and the rotation of the earth(L.MANSIMHA *et al.*, eds.), 17-38.
- 波田重熙・平野昌繁 (1996) 断層の活動と変位地形—甲陽断層を中心として—, 京大防災研都市耐震センター研究報告, 別冊18号 (京大防災研都市施設耐震システム研究センター), 53-66。
- 阪神高速道路公団 (1996) 埋立地盤の橋梁基礎構造物に関する震災調査研究—兵庫県南部地震による阪神高速5号湾岸線の被災記録—, 163p。
- 橋本 学 (1995) 兵庫県南部地震の概要, 国土地理院時報, No.83, 6-14。
- HIRANO, M.(1969) Joint system of the Rokko Mountain Range—Tectonics of uplifted massif in the Kinki district, Japan(1)—, Jour.Geosci., Osaka City Univ., vol.12, 25-44(with 1 plate).
- 平野昌繁 (1971) 花崗岩の節理を中心とした深成岩体の brittleな変形・破壊を考えるうえでの問題点, 地質学雑誌, vol.77, 257-263。
- 平野昌繁 (1991) 造構応力と起震力—造構節理と微小地震—, 構造地質 (構造地質研究会誌), 第37号, 51-62。
- 平野昌繁・波田重熙 (1995) 神戸地区 (地震断層と地殻変動), 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—地質・地盤と災害—」報告書

(364p), 116-159, 口絵⑫-⑮。

- 平野昌繁・波田重熙 (1996a) 1995年兵庫県南部地震によって生じた地表断層の構造地質学的意義, 京大防災研都市耐震センター研究報告 (京大防災研都市施設耐震システム研究センター), 別冊18号, 37-51。
- 平野昌繁・波田重熙 (1996b) 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, 日本地形学連合編「兵庫県南部地震と地形災害」, 古今書院(182p), 7-27。
- 平野昌繁・波田重熙 (1997) 兵庫県南部地震による海岸の変化, 月刊地球, 第19巻第9号 (総特集: 最近地質時代の地球環境), 582-588。
- 星野 実・村上広史・鈴木勝義・福島康博・水越博子・山後公二・田中耕平・上杉晃平 (1995) 平成7年兵庫県南部地震による淡路島野島断層周辺の地表面変位と地形, 野本地理学会予稿集, 48, 20-21。
- 星野 実・村上広史・水越博子・山後公二 (1996) 兵庫県南部地震による野島断層周辺の地表面変動, 地理評, 69A-No.7, 483-492。
- HUZITA, K., KISHIMOTO, Y., and SHIONO, K. (1973) Neotectonics and seismicity in the Kinki area, Southwest Japan. *Jour. Geosci., Osaka City Univ.*, vol.16, 93-125 (with 2 plates).
- 菊池正幸 (1995) 1995年兵庫県南部地震の震源メカニズム, 「阪神大震災」緊急合同報告会資料集, 日本地質学会ほか, 117-120。
- 熊木洋太・宇根 寛・国土地理院災害地理調査班・脇坂安彦・佐々木靖人・太田陽子・戸田 茂 (1995) 六甲山地周辺地域の活断層と地変, 1995年1月17日兵庫県南部地震調査速報会記録, 51-52。
- 国際航業 (1995) 兵庫県南部地震による (平成7年1月17日) 国土地理院基準点の変動, 社内技術資料, 1p。
- 林 愛明・井宮 裕・宇田進一・飯沼 清・三沢隆治・吉田智治・清松保貴・和田卓也・川合功一 (1995) 兵庫県南部地震により淡路島に生じた野島断層の調査, 地学雑誌, 104巻, 113-122。
- 松田時彦 (1967) 地震の地質学, 第2輯, vol.20, 230-235。
- NAKAMURA, M. and ANDO, M. (1995) Aftershock distribution of January 17, 1995 Kobe earthquake determined by JHD method, *Jour. Phys. Earth* (in press) .
- 田中耕平 (1996) 1995年兵庫県南部地震による地表面変位量図, 防災科学技術研究所, 53p。
- 田中 豊 (1976) 活断層付近のひずみ・変位の時間的空間的分布, 地質学論集第12号 (「断層と地震」, 日本地質学会, 198p), 89-98。
- 田中 豊・林 守孝・加藤正明・藤田和夫 (1972) 六甲断層破碎帯における地殻変動の連続観測 (第1報), 京大防災研年報, B-15, 29-41。
- 山縣 守 (1995) 兵庫県南部地震と明石大橋の橋脚の動き, 1995年度構造地質研究会夏の例会講演 (口頭発表)。

An investigation on the characteristics of the displacement field associated with the 1995 Hyogoken-nanbu earthquake with reference to surface fault and seismic fault

Masashige HIRANO

Abstract

Ground displacements by the 1995 Hyogoken-nanbu earthquake have been detected by various methods. Especially the horizontal displacement of the bench marks for triangulation has been obtained by GPS measurements before and after the earthquake by Geographical Survey Institute. The data show the movement of the fault blocks separated by conjugate faults into the particular directions. Systematic displacement of the piers of express way or bridge also gives a same tendency as that of the bench marks supplementarily at the bay area.

The displacement field given by these data defines the fault parameters concerning the fault activity by the earthquake, on the basis of the dislocation theory. The displacement fields associated with such surface faults as Nojima fault in Awaji and Koyo fault at the eastern Rokko have been brought by the fault plane shallower than 5km and almost approaching to the land surface. From this point of view, the displacement field of surface fault is quite different form that associated with the seismic fault in Kobe which gives the fault parameters corresponding to the aftershock distribution spreading from 3km to ca. 20km in depth.

The surface faults situate at the land surface near the terminals of the subsurface seismic fault, and show the right-step echelon arrangement. The surface fault was presumably resulted from the selective movement of the known geologic faults without remarkable rupturing along them. The activity of surface faults must be evoked by the movement of the deep sheeted seismic fault. This means the existence of some layered structure in the elastic crust above the Conrad discontinuity. The mechanical difference and spatial separation of the surface fault from the seismic one are important to understand the systematic offsets or break-age observed at the land surface especially in Kobe area.