

## 汚水桝の変位からみた兵庫県南部地震 による神戸市東部の地盤変状

Ground displacement from house inlets in the urban area of east Kobe  
during the 1995 Southern Hyogo Prefecture Earthquake

苦瓜泰秀\*・宮田隆夫\*\*  
Yasuhide Nigauri\*, Takao Miyata\*\*

**Abstract:** Subsurface displacement pattern in the urban area of east Kobe during the 1995 Southern Hyogo Prefecture Earthquake ( $M_{JMA}7.2$ ) was obtained from the deformation of 735 house inlets, having an inner diameter of 35 cm. We estimated impulsive force from a slip-page of each house inlet. The distributions of large impulsive force draw spots and lines. Almost all spots were situated on the soft ground such as valley floors, margins of fluvial fans, back marshes and old ponds. Some linear distributions were located along the old rivers. The other linear distributions were located closely along the concealed faults, which extend southwestward from the pre-existing active faults (e.g., Gosukebashi Fault, Ashiya Fault and Koyo Fault) in the east Rokko Mountains and along the northwest-striking conjugate faults. Judging from those features, we consider that the large impulsive force was caused by two factors; ground condition and buried active faults.

**Key words:** *the 1995 Southern Hyogo Prefecture Earthquake, urban area of east Kobe, deformation of house inlet, spotted distribution of impulsive force, linear distribution of impulsive force.*

### はじめに

1995年1月17日に発生した1995年兵庫県南部地震は、明石海峡の地下14kmを震源とするマグニチュード( $M_{JMA}$ )7.2の都市直下型地震であった。本震及び余震の発震機構は、東西圧縮の右横ずれ断層型を示している。また本震の断層破壊は、六甲一淡路断層帯に沿って長さ約50kmにわたって広がっている(入倉, 1995)。この地震では初めて震度7が適用されたが、その分布は、神戸側では「震災の帯」(嶋本, 1995)というかたちで現れた。これは地震波のフォーカシング(例えば、中川ほか, 1995; 入倉, 1995)で説明されている。しかしこの地域の中の地面の動きを見ていくと、必ずしも一様ではない。この原因については、(1)市街下の

伏在(=潜在)断層の断層運動の影響が認められる(例えば、嶋本, 1995; 宮田・前田, 1996; 平野・波田, 1996)、(2)それが認められない(例えば、吉岡ほか, 1996)という考えがある。とくに神戸市東部地域では、余震分布と震度7の地域のずれが大きく、この地域の地面の変位を知ることは、被害の原因を探る上でも重要である。そこでこの地震によって著しくずれ動いた市街地の汚水桝を調べて、地面の変位を明らかにした。調査は、1995年10月から約一か月間行った(第1図)。以後、市街地全域(須磨区から東灘区)の地面の動きを明らかにし報告した(Nigauri and Miyata, 1996; 苦瓜・宮田, 投稿中)。ここでは、まだ「震災の帯」の形成について意見が分かれている神戸市灘区から東灘区までの地域の、汚水桝の変形と地形・地盤及び市街下の伏在断層との関係を議論する。

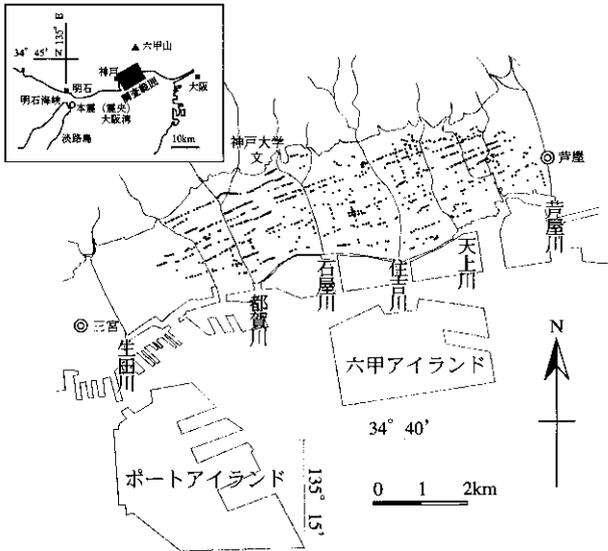
1996年12月27日受付。1997年3月1日受理。

\*神戸大学大学院自然科学研究科地球惑星科学専攻  
Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science and Technology, Kobe University, Rokkodai-cho, Nada-ku, Kobe, 657 Japan

\*\*神戸大学理学部地球惑星科学科  
Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Science, Kobe University, Rokkodai-cho, Nada-ku, Kobe, 657 Japan

### 神戸市東部の地形・地盤

本地域は、洪積及び沖積段丘、扇状地、扇状地性低地、河川沿いに自然堤防や後背湿地、海岸部に砂堆な



第1図 調査地域(神戸市灘区～東灘区)と調査した汚水樹の分布。

どの地形がみられる(国土地理院, 1965, 1966). 藤田・笠間(1971)によると, 段丘はいずれも山麓扇状地的な性質をもち, 急峻な山地部から運ばれた花崗岩の角礫ないし亜角礫を, 粗い砂が充填したものが多い. これをやや開析して現在の川が流れ, ほとんどが天井川となっている. 下流部では扇状地が複合して, 細長い海岸平野をつくっている. 海岸平野の沖積層はボーリング資料によると, 下部に基底砂礫層, 中部に海生貝化石を含むシルト混じり粘土層, 上部に砂礫層という堆積サイクルをもつ. この沖積層は, 山地に近づくにつれて粗粒堆積物が多くなり, 水平方向にも層相が変化する地盤構成となっている(岩崎, 1995).

### 汚水樹の変位と測定

神戸市の公道用汚水樹(内径35cm)はコンクリートの管を積み重ねた構造である. 下部には水平方向の取付管が接続してある. 各管のジョイントはモルタルで接続されてあるだけなので, 激しい力が加わると, 汚水樹の上部の管は下部の管の影響を受けずに容易に移動すると思われる. 地震で動いた汚水樹を上からのぞくと, ずれた部分が三日月状に見える. そのずれが最大となる方向に激しい力を受け, ずれ動いたと考えられる. 測定数は全市街地では1277個であるが, 神戸市灘区から東灘区は735個である.

汚水樹がずれ動いている場合に, 地表からずれが生じている箇所までの深さ  $d$  [cm] と, ずれの大きさ  $s$  [cm] を測定する. ただし汚水樹が変形する所は, その最も弱いジョイント部であるので深さ  $d$  はそれに規定される. 735個の汚水樹のうちずれが確認されたのは437個であり, ずれの平均の大きさは約1.3cmであった. また最大のものは10cmであった. また  $d$  の

大きさは, おおむね40-60cm に分布している. したがってここで対象としている変位は地下数10cm より上の相対変位である.

### 変位した汚水樹の解析方法

実際に変位したのは汚水樹だけではなくその周囲の地面も含まれると考えられるので, 汚水樹とその埋め戻し部分を円筒状の系と仮定して解析を行った. 汚水樹の変位の解析方法は, 別報(苦瓜・宮田, 投稿中)に記載されているので, ここでは簡単に述べる. 系の底面積を  $A$  [cm<sup>2</sup>], 高さを  $d$  [cm], 密度を  $\rho$  [g/cm<sup>3</sup>] とする. この円柱が地震による撃力(impulsive force)を受けて  $s$  [cm] 移動した場合, 初速度  $v_0$  [cm/s] は, エネルギーと仕事の関係より,  $v_0 = (2\mu gs)^{1/2}$  で与えられる. ここで  $\mu$  は系の摩擦係数,  $g$  は重力加速度にそれぞれ当たる. 撃力の大きさ  $\Delta p$  は力積で与えられ,

$$\Delta p = \int F dt = mv_0 = \rho Ad(2\mu gs)^{1/2} = C d s^{1/2} \dots (1)$$

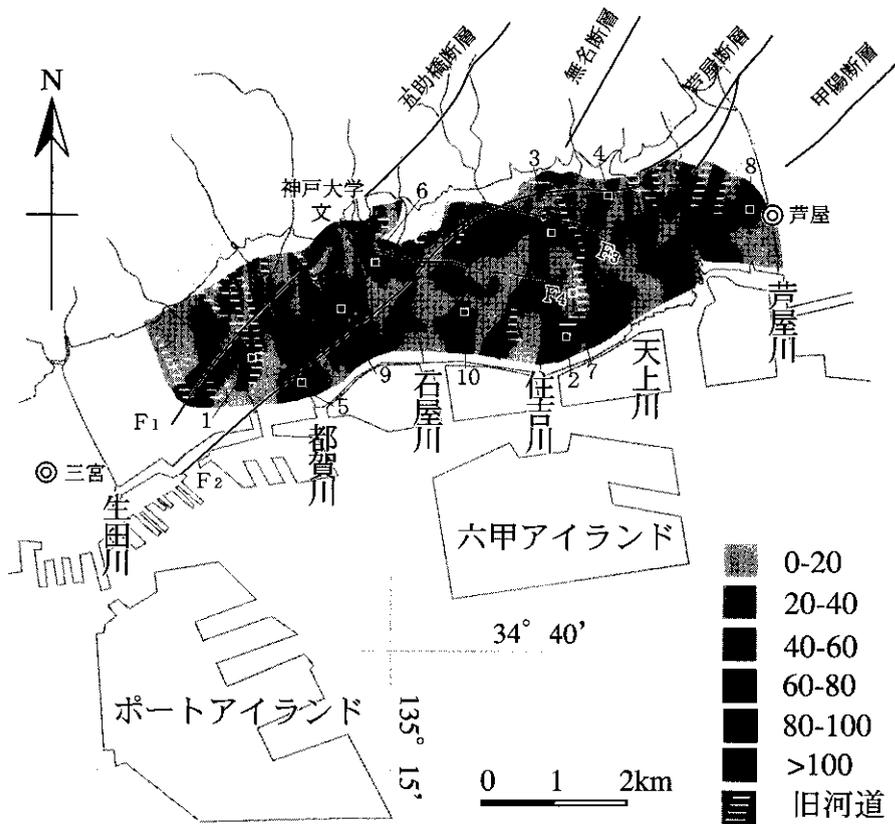
となり,  $\Delta p$  は  $d \times s^{1/2}$  に比例している. ただし質量  $m$  [g] は  $m = \rho Ad$  で与えられるので,  $C$  を定数とする. ここでは  $\Delta p$  の傾向をみるために, (1)式の  $d \times s^{1/2}$  を求め第2図に示した.

### 解析結果

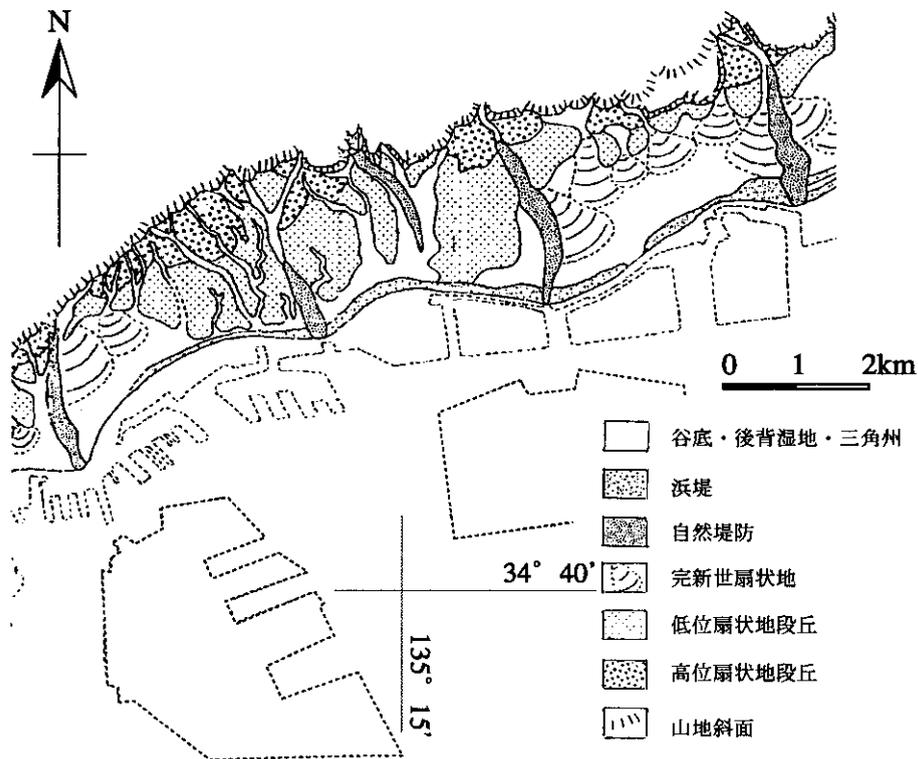
第2図は灘区～東灘区における変位した汚水樹から求めた撃力 ( $d \times s^{1/2}$ ) のランク分けされた強さの分布を示す. 第2図において, 以下の2点が明らかになった. (1) 数値 ( $d \times s^{1/2}$ ) が100以上の所はスポット状にいくつも現れる. (2) 数値が60以上の激しい力を受けた所は線状の分布をする. その線は北東-南西, 北西-南東, 南北方向を示すものがみられる.

### 考 察

汚水樹の変位から求めた撃力値100以上のスポット状の分布には, 本地域の地形区分(第3図, 吉岡ほか, 1996; 田中・沖村, 1996), 土地条件図(国土地理院, 1965, 1966), 明治18年2万分の1仮製地形図(国土地理院, 1885)と比較すると, そのいくつかが扇状地の解析谷や末端部(第2図における地点1, 2), 扇状地に囲まれた湿地帯(地点3, 4), 後背湿地(地点5), 旧ため池(地点6)に現れている. これらの地域は一般に軟弱地盤と呼ばれており, 地震動が大きかったことがうかがえる. しかし, 第2図において地点7と地点8は, いずれも完新世扇状地にあたる場所であるが, 撃力の強さが著しく異なっている. また地点9と地点10は, いずれも安定した地盤とみなされる低位扇状地段丘の上にあるが数値は大きい. このような特徴は地



第2図 兵庫県南部地震で神戸市灘区-東灘区地域の地表が受けた撃力分布。凡例の数字は撃力の傾向を示す値( $d \times s^{1/2}$ )。断層  $F_1$  及び  $F_2$  は藤田・佐野(1996)、断層  $F_3$  及び  $F_4$  は平野・波田(1996)、無名断層は宮田ほか(1996)、旧河道は田中・沖村(1996)による。



第3図 阪神地区微地形区分図(吉岡ほか, 1996による)。

形区分・地盤の違いを原因とする考えでは十分説明されていない。

次に、北東-南西方向の撃力の線状分布を地形分類(田中・沖村, 1996)と比較すると、石屋川と住吉川を横切るものは、旧河道及びその延長上に一致しているように見える。その分布は建物被害の分布とも調和している(田中・沖村, 1996)。また、南北方向の線状の分布は、都賀川、住吉川、天井川に沿ってみられる。そのほとんどが河川や旧河川の分布に調和している。したがって、撃力の線状分布は、旧河道のような線状に続く地形・地盤条件を反映していると考えられる。

第2図に示された北東-南西方向の線状分布の中には、五助橋断層(杉村, 1981によれば渦ヶ森断層につながる)、芦屋断層、甲陽断層に沿う南西延長部に現れているものがある。それらは六甲山の既知の活断層の延長方向にあたるので、活断層存在の影響が絡んでいる可能性がある。これらの線状の分布特性は、電柱が傾いてアスファルトとの間に生じたすき間の大きさの測定による「電柱の動き」(宮田・前田, 1996)に見られる分布特性と基本的に調和している。六甲山地の既知の活断層、とくに五助橋断層(渦ヶ森断層に続く)に沿う南西延長部では、地形区分の上で違いがあるにもかかわらず地面の動きが線状に現れていると判断される。

市街下の伏在(=潜在)断層については、兵庫県南部地震後、反射法地震探査(遠藤ほか, 1995; 岩崎, 1995; 藤田・佐野, 1996)によって明らかにされている。その一部は国土地理院(1996)の都市圏活断層図「神戸」にも示された。藤田・佐野(1996)は、灘区・東灘区において少なくとも2つの伏在する活断層( $F_1$ ,  $F_2$ )を地質図に示した(第2図)。断層 $F_1$ は五助橋断層の南西延長部に、断層 $F_2$ は東端部を除いて“無名断層”(宮田・前田, 1996)の南西延長部にほぼ相当すると考えられる。第2図に示された伏在断層( $F_1$ ,  $F_2$ )と汚水桝の変位から求められた撃力の線状分布パターンとの位置関係をみると、撃力の線状分布の位置は断層のトレースより100~300mほど南側にずれている(第2図)。この位置のずれについては、基盤に見つかった北西方向に傾斜する断層 $F_1$ ,  $F_2$ の地表への投影の仕方によって考えられるが、断層の上盤と下盤とでの堆積物の厚さが異なり、波の伝播の違いが生じている可能性も考えられる。

さらに、北西-南東方向の撃力の線状の分布は、五助橋断層などの北東-南西方向の断層とは共役関係にある本山断層及び住吉断層(平野・波田, 1996)(第2図の $F_3$ ・ $F_4$ )に平行して現れている。しかし撃力が最大となるところは、断層のトレースより100~300mほど南にずれている。このずれについては、断層 $F_1$ ・ $F_2$ と撃力分布とのずれと同様の関係が予想されるが、上記の共役断層が地震探査によって確認されていない

ので今後の課題である。

## 結 論

汚水桝の変位の解析から次のことが明らかになった。

1) 神戸市灘区から東灘区において、地面が大きく変位した所は、スポット状あるいは線状に分布する。それらの多くは、扇状地の開析谷、扇状地の末端部、扇状地間の湿地帯、後背湿地、旧ため池、旧河道などの軟弱地盤の場所と調和している。

2) 大きな撃力値が示す北東-南西方向の線状分布の中には、市街下の伏在断層に沿うものがある。ここでは異なる地盤の中を線状に分布することから、地盤の違いだけでは十分説明できない。

以上のことから、今回の地震に伴う本地域における地面の動きは、微地形や地盤の違いによるところと、市街下の伏在断層の活動によるところとを分けてみていく必要があると考える。

## 文 献

- 遠藤秀典・渡辺史朗・牧野雅彦・村田泰章・渡辺和明・ト部厚志, 1995, 兵庫県神戸市及び芦屋市における伏在断層と基盤構造. 物理探査, **48**, 439-450.
- 平野昌繁・波田重熙, 1996, 六甲山地南東部の断層の活動と変位地形. 地質環境と地球環境シリーズ3 阪神・淡路大震災 都市直下型地震と地質環境特性, 東海大学出版会, 101-121.
- 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, 14-26.
- 藤田和夫・佐野正人, 1996, 阪神・淡路大震災と六甲変動. 科学, **66**, 793-805.
- 入倉考次郎, 1995, 兵庫県南部地震の震源断層, 強震動と被害の特徴. 物理探査, **48**, 463-489.
- 岩崎好規, 1995, 阪神・淡路大震災と地盤. 「阪神・淡路大震災のそこの知りたい—斜面崩壊の分布とその特徴」講話会, 5-16. 地盤工学会関西支部.
- 国土地理院, 1885, 仮製地形図「六甲山, 神戸, 西宮町, 今津村」(2万分の1). 建設省国土地理院.
- 国土地理院, 1965, 土地条件図「大阪北西部」(2.5万分の1). 建設省国土地理院.
- 国土地理院, 1966, 土地条件図「神戸」(2.5万分の1). 建設省国土地理院.
- 国土地理院, 1996, 都市圏活断層図「神戸」(2.5万分の1). 建設省国土地理院.
- 宮田隆夫・洪景鵬・前田保夫, 1996, 兵庫県南部地震で再検討が必要となった東六甲山地の断層系. 日

- 本地質学会第103年学術大会講演要旨, 240.
- 宮田隆夫・前田保夫, 1996, 地盤変状からの潜在活断層. 地質環境と地球環境シリーズ3 阪神・淡路大震災 都市直下型地震と地質環境特性, 東海大学出版会, 135-146.
- 中川康一・大阪市立大学阪神大震災学術調査団, 1995, 大阪周辺地域での震害と地盤構造. 「阪神大震災」緊急合同報告会資料集, 92-108.
- Nigauri, Y. and Miyata, T., 1996, Ground motion inferred from deformed manholes in Kobe. The Proceedings of the Sixth Symposium on Geo-environments and Geo-technics, 97-102.
- 苦瓜泰秀・宮田隆夫, 1995年兵庫県南部地震による神戸市街地の汚水柵の水平剪断. 地質学雑誌(投稿中).
- 嶋本利彦, 1995, “震災の帯”の不思議. 科学, **65**, 195-198.
- 杉村新, 1981, 兵庫県震災対策調査報告書一六甲山周辺の活断層. 兵庫県, 26p.
- 田中眞吾・沖村孝, 1996, 建築物被害の状況と地形—とくに神戸市東部から阪神間について—. 兵庫県南部地震と地形災害, 古今書院, 82-94.
- 吉岡敏和・宮地良典・寒川旭・下川浩一・粟田泰夫・水野清秀・奥村晃史・井村隆志・佃栄吉・松山紀香, 1996, 1995年兵庫県南部地震に伴う神戸・阪神地区の被害と六甲断層系の活動. 地質調査所月報, **47**, 5-22.