



兵庫県南部地震で変形したマンホールの解析 : 渦ヶ森活断層沿いを例に

宮田, 隆夫
川村, 昌子

(Citation)

神戸大学都市安全研究センター研究報告, 8:347-353

(Issue Date)

2004-03

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.24546/00422494>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/00422494>



兵庫県南部地震で変形したマンホールの解析 — 渦ヶ森活断層沿いを例に —

Analysis of co-seismic deformed manholes in Hyogoken-Nanbu (Kobe) Earthquake — An example of the Uzugamori active fault —

宮田隆夫¹⁾
Takao Miyata
川村昌子²⁾
Masako Kawamura

概要: 1995 年兵庫県南部地震で神戸市は下水道施設に甚大な被害を受けた。地震発生後、下水道施設の被害調査が行われた。本研究では神戸市が行なった管渠被害調書の中からマンホールの被害についての資料を解析した。その結果、渦ヶ森断層とその南西延長沿いで破損したマンホールのおもな変位は北西-南東方向であることが判明した。このマンホールの変位は、電柱の倒れた方向、汚水橋の変位方向、墓石・灯籠の転倒方向、空中写真から得られた地表面の変位方向などともよく一致しており、神戸市街下を走る北東-南西走向の六甲断層系（渦ヶ森活断層を含む）の右横ずれ（断層運動）によって引き起こされたと結論できる。

キーワード: 1995 年兵庫県南部地震, 変形マンホール, 渦ヶ森断層, 地震性地盤変位, 神戸市街地

1. はじめに

1995 年兵庫県南部地震 (Mj7.3) は大都市を襲った直下型の地殻内地震であった。いくつかの箇所に設置されていた強震計記録から地震時の強震動の様子が明らかにされているが、少ない観測点のため地震発生時の地表面の状況を十分知ることはできなかった。これを補うために、神戸市街地に広域にかつ高密度に配置された構造物の被害状況から都市域の地震動分布を推定することが試みられた。電柱の倒れた方向 (宮田・前田, 1998) や、汚水橋の変位方向 (苦瓜・宮田, 1997, 1998), 木造家屋の倒壊方向 (松田・竹村, 1998), 分布の上でやや限られるが墓石・灯籠の転倒方向 (横山・菊山, 1998) など。それらの研究によると、震度 7 地域の内部でもその被害程度状況にはばらつきがあることが分かった。次章で述べるように、木造家屋の倒壊方向を除くと、それらの構造物は主に北西-南東方向に強く動かされている。一方、マンホールは都市域において、その構造が一定の規格を持ち、広域にわたって高密度で存在し、かつ地下 4, 5m の深さまで設置されているので、地下の地盤変位に関する情報が得られると考えた。そこで本研究では、兵庫県南部地震による変形マンホールに注目し、地下の地盤変位を明らかにした (川村・宮田, 2003; 宮田・川村, 2004)。なお、変形したマンホールを含む地盤については神戸 JIBANKUN (神戸地盤の会, 1999), 阪神地区微地形区分図 (国土庁, 1999) を利用した。

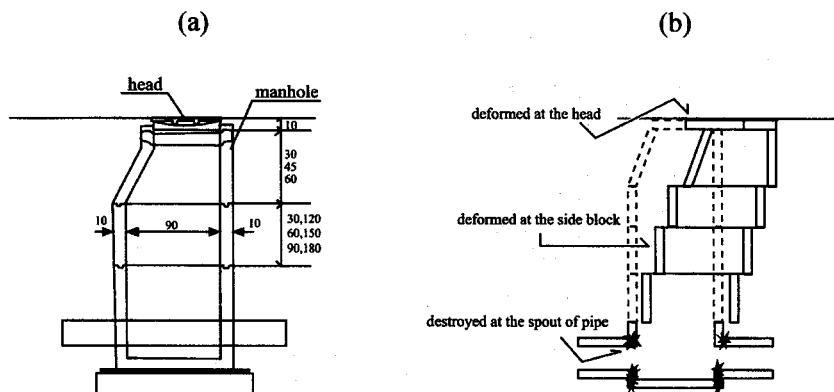


図-1 (a) マンホールの断面, (b) 兵庫県南部地震で変形したマンホールの概念図
(神戸市建設局, 1995 による)

2. 研究の背景

(1) 電柱の倒れ方

神戸市須磨区から東灘区までの地域において地震によって傾いた電柱とアスファルトとの間に出来たすき間の方向と幅が調査された(宮田・前田, 1998). これら電柱の傾きが大きかった地域は, “震災の帯”(嶋本, 1995)とほぼ一致する. ただし, 倒れた電柱の程度も震災の帯内部で一定ではなく, すき間の大きいところと小さいところが混在している. すき間の大きさについて重みをつけて統計処理をすると, 北西方向, 南東方向, 北北東方向, 南南西方向の4つの方位が卓越している. 前2者と後2者はそれぞれ六甲断層系の走向($N50^{\circ}E$)とほぼ直交する方向とほぼ平行な方向である.

(2) 汚水枡の変位

各家庭から排出される汚水が本管に流れ込む途中に設置されている公道用汚水枡の被害状況を調査した(苦瓜・宮田, 1997, 1998). 汚水枡は積み重ねられた2つのコンクリート製管の上に金属製の蓋が乗った構造をしている. この2つのコンクリート管はモルタルで接続されており, 横方向からの強い衝撃によって容易にずれる. このずれの方向と大きさが調べられた. 変位した汚水枡はある地域に集中して分布し, 地盤の軟弱な地点を除けば伏在活断層の存在が指摘されている地点で多くの汚水枡が変位している. また, 汚水枡が受けた撃力の方角を撃力の大きさに重みをつけて統計処理すると, 北西方向が卓越している. これは六甲断層系とほぼ直交する方向である.

(3) 航空写真から得られた地表面の変位

兵庫県南部地震発生前後の空中写真から, 空中三角測量法により地盤の変位が解析された(田中, 1996). 得られた地表面の変位した方向を統計的に処理すると, 北西方向, そして南東方向が卓越している. これは他と同様に六甲断層系の走向とほぼ直交した方向である.

(4) 木造家屋の倒壊方向

木造家屋の倒壊の多く見られた淡路島北部から宝塚にわたる範囲において, 木造家屋の倒壊とその方向の分布の調査が行われた(松田・竹村, 1998). 彼らによると, 木造家屋の倒壊には一定のパターンが見られ, 特に二階建ての家屋で二階以上がそのまま残され, 一階が横から押された形で倒れたものが多かった. 倒壊家屋は神戸市須磨付近から宝塚市にかけて幅1~2kmの断続した細長い帯状の地帯に集中して分布している. その倒壊家屋の多く分布する帯は三宮から芦屋川付近においては $N70^{\circ}\sim 75^{\circ}E$ 方向の伸びを示す. この地域では全体の85%が南北方向に倒れていたが, そのうちの70%強が北へ向かって倒れており, 残りの10%強が反対に南に倒れていたという. この卓越した北方向への倒壊は, この地域の北を走る六甲断層系の走向に対して大きく斜交している.

(5) 墓石・灯籠の転倒方向

横山・菊山(1998)のヒストグラムによると, 墓石, 灯籠の転倒方向は, 淡路島北部で北東-南西方向の野島地震断層に直交する北西方位が優勢であり, 神戸市の須磨区から東灘区にかけての地域で, 北東-南西方向の六甲断層系に直交する北北西と南南東方位が優勢である. 芦屋市から西宮市にかけての地域は, 六甲断層系が北東-南西方向から北北東-南南西方向に変化するところで, 卓越転倒方向は断層の走向の変化に伴って, 北西と西方位が優勢であるという.

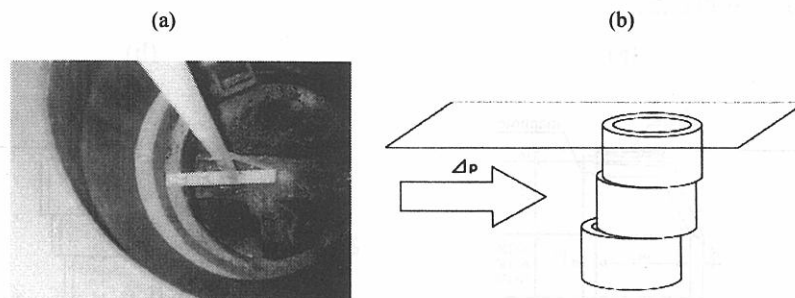


図-2 (a) 兵庫県南部地震によるマンホールの変形(神戸市建設局, 1995による). 2つのジョイントに変位が見られる. 底部に管路の方向が読み取れる. (b) 2つのジョイントでの変形モデル. Δp は撃力.

3. 解析方法

(1) マンホールの変位方向の判定

神戸市水道局の調査結果には被害を受けたマンホールについて、その存在箇所、被害を受けた深さ、変形したものについてはそのずれ変形の大きさが記載されている。その中に、マンホールの設置箇所や被害状況を示す写真が添付されている。今回は、この写真を解析し、マンホールのずれ動いた方向（変位方向）とずれた量（変位量）とを求めた。

一般的には地図上の北を 0° としてそこから東回りに角度を測るが、今回は計算を簡単にするために最初からx-y座標上でずれ変位方向を読んだ。マンホールは下水道管路の分岐点等に設置されているものであり、その下部には模式図からも分かるとおり下水を流すための管路が通っている。写真に写っている管路の方向を地図上の管路の方向と一致させることによって、マンホールの変位方向を求めた。

まず、管渠調査書からずれ変形を受けたマンホールを確認し、調査書に振られた工事番号と調査書の中で変形を受けたマンホールに通して振られた番号から市内のどの位置にあるかを確認する。地図には変形を受けたマンホールの位置とそれを通る管路が記載されているので、真東を 0° としてそこから反時計回りに管路の伸びる方向を読んだ。この角度を α とする。次にずれ変形を受けたマンホールの内部を撮影した写真からマンホールブロックのずれた方向を読み取る。こうして得た地図上での管路の延長方向（ α ）と管路とマンホールブロックがずれ変形を受けた方位の間の角度（ θ ）を合わせ、マンホールブロックの変位方向を求めた。

(2) 撃力

苦瓜・宮田(1997, 1998)の解析法にしたがい、地震性変形マンホールの受けた強い水平剪断を評価した。マンホールは地震による強い水平剪断を受けて、その周辺にある土塊とともに変形したとみなすことができる。そこで、マンホールを中心とした、ある大きさの系を考え、この系において、マンホールとその周辺にある土塊とをともに動かし、マンホールとそれを取り巻く埋め戻し土塊にずれをもたらし水平力を求める。水平剪断はマンホールブロックのつなぎ目で発生している。この水平剪断の生じた面よりも上のブロックを上部構造、下のブロックを下部構造と呼ぶ。上部構造が動く直前の水平力の釣り合いを考えると、水平力は、

$$F = cA + \mu mg \quad (1)$$

と表される。ただし、 c は埋め戻し土の強度定数（強度定数は、圧縮力が作用しないときでも存在する、接触面に沿った単位面積あたりの接着力）であり、 μ は埋め戻し土（砂・礫）の摩擦係数、 g は重力加速度である。 A は汚水井の設置に必要な面積（直径90cmの円）から空洞部の面積を差し引いた面積であり、 m は移動した上部構造に相当するマンホールおよび埋め戻し土の質量である。マンホールブロックはそれぞれモルタルで接続されているので、その結合力は無視でき、また、その周囲は砂・礫からなる接着力のない埋め戻し土なので $c = 0$ と近似できる。したがって、(1)式の F は μmg で表される。

水平力（ F ）の大きさを求めたいが、 F は時間の関数であり、その時間についての情報を得ることがむずかしい。しかし水平力の時間変化が明らかになっていない場合でも、 F が加わる前後のマンホールの状態から、運動量の変化である力積（ Δp ）を使って議論することは可能である。力積は力が時間 $t = 0$ から $t = \tau$ まで加わっていたとすれば、

$$\Delta p = \int F(t) dt \quad (2)$$

の式で与えられる。マンホールを変形させた力を力積に換算して、マンホールの変形について評価する。きわめて短い時間 τ に加わった力積は、撃力（impulsive force）と呼ばれる。力積（ Δp ）は運動量の変化であるから、上部構造の質量（ m ）と与えられた初速度（ v_0 ）の積である。さらに、マンホールブロックの変位量を s とすると、エネルギーと仕事の関係（ $1/2 mv_0^2 = \mu mgs$ ）より、

$$\Delta p = mv_0 = m\sqrt{2\mu gs} \quad (3)$$

となる。(3)式において、マンホールの蓋の質量は埋め戻し土の質量に比べて十分に小さいので、 m はマンホールブロックおよび埋め戻し土の体積と密度の積で近似できる。さらにその形状が管状であるので、体積はマンホールの設置に必要な面積（ A ）と地表面からマンホールがずれた面までの深さ（ d ）によって決まる。

次に、(3)式の重力加速度(g)は一般に上下動によって変化する。海洋気象台、本山尼崎で観測された地震波データ(例えば、岩崎, 1995)によると、水平動の変位記録において最大のパルスが現れているときにマンホールが変形したと考え、そのときにおける上下動の加速度は、どの地点も200から250 galの範囲に含まれている。また、震源域近くでは強震動特性に硬質地盤(段丘)と軟弱地盤(沖積低地)の最大地震動の差があまり認められないので、上下動がマンホールにもたらした影響は調査地域において一様であると仮定することができる。

以上のように ρ , A , μ はこのマンホールにおいてほとんど一定とみなすことができるので、 Δp はずれた面までの深さ(d)とマンホールブロックの変位量(s)の平方根の積($d\sqrt{s}$)で表される。この $d\sqrt{s}$ はマンホールの上部構造にかかった単位面積あたりの撃力の程度を示していることになり、系に依存しない。よって、研究地域におけるマンホールの規格が一定であることから、 $d\sqrt{s}$ を使って、撃力を比較することができる。

4. 結果と議論

神戸市灘区・東灘区で397個の変形を受けたマンホールについて検討し、そのうちの115個のデータを利用することが出来た。図-3は変形したマンホールの200m四方ごとの度数分布を示す。一方、図-4はマンホールの受けた撃力の平均値を示している。

変形を受けたマンホールと撃力の分布の特徴について簡単に述べる。研究地域は、兵庫県南部地震において特に被害の大きかった“震災の帯”(震度7地域)と呼ばれる地域に含まれる。しかし、変形を受けたマンホールやそこから推定される撃力の分布は一定ではなく、場所により程度に差があることが分かる。その分布はおおむね伏在活断層に沿って南西-北東方向にのびており、とくに、西から岩屋付近(地点1)、大石付近(地点2)、JR六甲道駅付近(地点3)、御影付近(地点4)、高羽町付近(地点5)、渦ヶ森付近(地点6)で多くのマンホールが変形を受けている。撃力の分布についてもほぼ同様のことがいえる。

地点1: JR灘駅の南側で阪神岩屋駅周辺にあたる。平野部の扇状地の末端部にあたり、低位段丘層(国土地理院, 1996)、もしくは沖積層(神戸地盤の会, 1999)として記載されておりどちらかといえば地盤は弱い。また、この地域の東側は旧河道にあたる(国土庁, 1999)。地形としては緩やかに南東方向に向かって傾斜しており、これが地震動の増幅に関わったとは考えにくい。阪神線以南の低位な地域は標高が海面より低いゼロメートル地帯であるが、変形マンホールはむしろそれより北側に多く存在する。この地域の中央を南西から北東に向かって別の伏在活断層が伸びており、変形マンホールはそれに沿って分布するようにみえる。変位の方向はおおよそ断層と直交する方向が卓越している。

地点2: 都賀川下流域の東側、阪神大石駅付近にあたり、沖積層に覆われている(藤田・笠間, 1983)。この地域もほぼ中央を伏在活断層が南西から北東に向かって通過しており、変形マンホールはその両側で見つかっている。都賀川による自然堤防、扇状地ではあまり変形マンホールは存在せず、多くは断層より南側の砂地に存在している。また、この地点ではほとんどのマンホールが断層と直交方向に変位している。

地点3: JR六甲道駅付近にあたる。低位段丘層によって覆われており、南東方向に向かって緩やかに傾斜している。この地域ではマンホールはずれ変形よりも破壊を受けたものが多く、そのため変形マンホールは想定される数よりも少ない。この地域では東側を伏在活断層が南西から北東方向に向かって通っている。変形マンホールはその北西側の旧河道付近に数多く存在しているが、撃力の値は伏在活断層付近でより大きくなっている。六甲道駅北西のボーリングデータによると、この付近は砂層であり地下5m付近までやわらかい層のままである。一方、六甲道駅南側の伏在活断層が通過しているとされている箇所付近は砂層、砂礫層の互層にシルト層が時おり挟み込まれている。地下約4mまでにある程度の硬さを得ている。この2点を比較して、南側のほうが強い撃力を得られたことについては、地質以外の原因を考える必要がある。

地点4: 石屋川の最下流域にあたり、そのすぐ西側を通る高羽川との間にはさまれている。扇状地、沖積層からなるとされている。変形マンホールはより地盤の悪い砂地、もしくは石屋川の周辺で多く見られる。他の地点と比べると撃力の加わった方向に統一性は余り見られない。

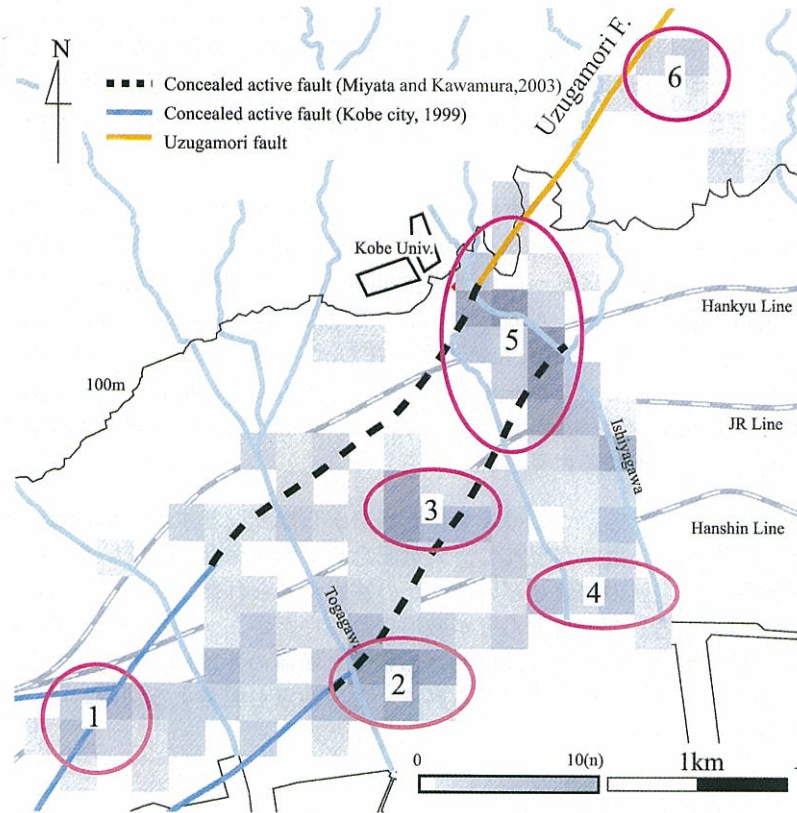


図-3 変形マンホールの200m四方ごとの度数分布. 番号は多くのマンホールが変形を受けている地点を示す.

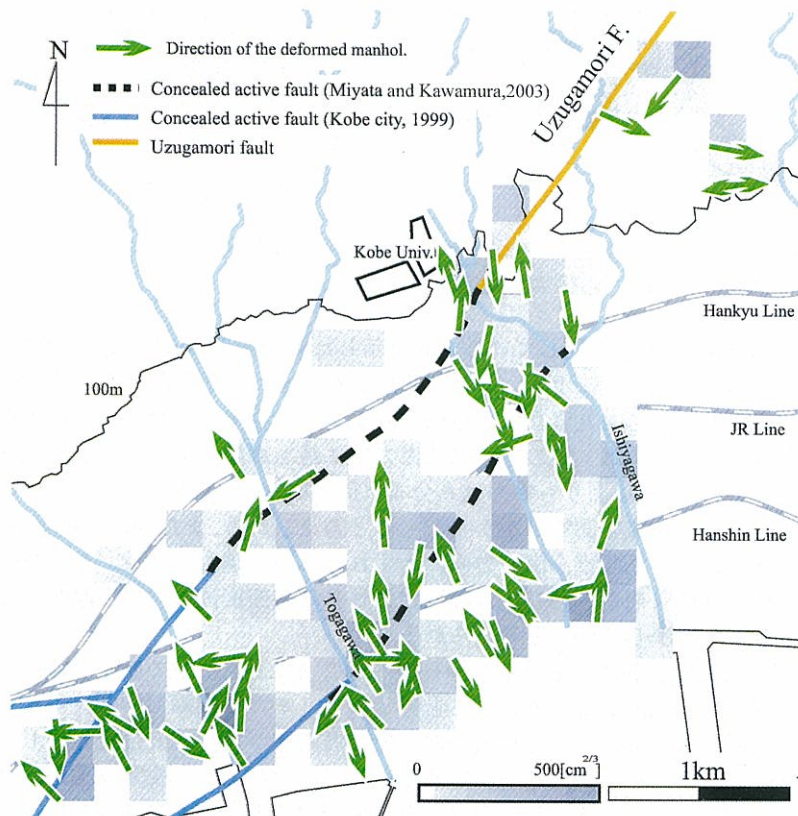


図-4 撃力の分布とマンホールブロックのずれた方向.

最も南で変形を受けたマンホール近傍の地質は 2m ほどの砂層の下に 10m ほどの砂礫層が続き、その下は再び砂層になっている。地上から 10m の深さまでやわらかいままで、非常に軟弱な地盤であるといえる。先ほどのポイントより北側の阪神沿いでも約 5m までが砂層、約 1m の砂礫層をはさみ、その下はシルト層の混じった砂層が続いている。地下 8m までやわらかいままで、それより下部も安定した硬さを有せず、このあたりも未固結の層であることが分かる。この地点は直接の地震による衝撃ではなく、軟弱な地盤による影響を強く受けたものと考えられる。

地点 5：石屋川の中流域、これより北は花崗岩が露出した六甲山地であり、この地域は扇状地との境界にあたる。石屋川は比較的幅の広い天井川であり、その両側に扇状地が広がる。変形マンホールは扇状地に多く存在しているが、兵庫県南部地震後に見つかった伏在活断層、とくに南側の並走する伏在活断層の付近に多く見られる。南側の断層で変形マンホールの集中している地点には、埋め立てられ溜池が存在している。ただし、そのすぐ南にも同様に埋め立てられたため池が存在し、この付近ではマンホールの変形は見られない。そのため、溜池の存在のみによってマンホールの変形を説明することは出来ない。北側の渦ヶ森断層とその伏在部分に沿っても変形したマンホールが見つかる。後者の変形マンホールは埋め立てられた溜池や旧河道などの比較的地盤の弱いところに見られる。

地点 6：この地点は渦ヶ森にあたる。ここはおもに花崗岩からなり、基本的には地盤のよい地域である。かつて、この地点には渦ヶ森断層の露頭が現れて、天然記念物として保存されている。兵庫県南部地震において渦ヶ森断層に沿う地域には家屋の破壊などいくつかの被害が見られた。この断層に沿って数はすくないがマンホールも被害をうけている。そのほとんどが破壊されていたが、一つだけ南西方向にずれ変形を受けていたものがあり、その動きは兵庫県南部地震における横ずれ断層の変位に調和的である。渦ヶ森断層から南東方向に離れた地点でもマンホールの変形が見られる。この地点も並走する別の断層が関係している可能性があり、今後の地質調査が待たれる。

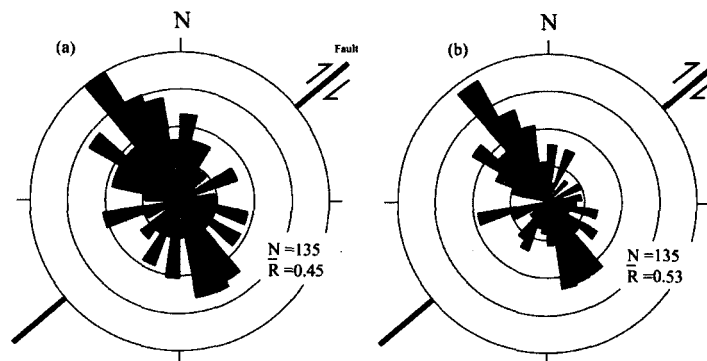


図-5 マンホールの変位方向を示すローズダイアグラム。(a) 撃力の大きさを重みにつけない場合、(b) 撃力の大きさを重みにつけた場合 (川村・宮田, 2003)。

図-5a は 200m 四方で衝撃が最も卓越している方向を示した図である。これらのマンホールの衝撃を受けた方向を図-5a のローズダイアグラムに示す。これに撃力で重みをつけると図-5b のようになる。この図から北北西、およそ六甲断層系の走向と直交する方向に向かって一番多くのマンホールが衝撃を受けたことが分かる。図-5b によると変形マンホールのずれは北西方向に最も卓越しており、次に正反対の南東方向にも卓越している。度数分布 (図-5a) よりも撃力重み分布 (図-5b) の方がより卓越方位への集中度が高く、この方位に対して他に較べてより強い衝撃がかかったものと考えられる。また、撃力重み分布に関しては北西、南東方向のほかに断層系と平行な北東、南西方向にもずれ変形が卓越している。これらは強震動記録やコンビニエンスストアの床の動き (菊地, 1995) から推定される地表面変位の方向と調和的であり、直下における断層運動に伴う地震動を反映していると考えられる。

Aki (1968) には横ずれ変位を起こす断層が断層破壊を起こした場合、その直上で観測される地震動は断層 (すべりの方向) と直交する成分がより大きいことを示した。また、額額 (1996) はカリフォルニアでの内陸地震と比較して兵庫県南部地震のように堆積層の下で地震断層が横ずれ変位を起こした場合、地震波と断層破壊の伝播速度の違いから、地震動が地震断層面上の地表面で断層と直交する方向に増幅されることを示した (directivity)。マンホールのずれ変形の卓越方向も同様に地下の断層の変位を反映したものであるといえる。

5. 結論

- (1) 1995 年兵庫県南部地震によって変形を受けたマンホール資料を解析した結果、神戸市灘区（市街地）においてマンホールの著しい被害はおおむね伏在活断層に沿う形で分布していることが判明した。また、マンホールの受けた撃力は同様の地盤状態でも活断層近傍においてより大きいことがわかった。以上のことから、「震災の帯」のようではない被害状況は、地質、地盤の影響だけでなく伏在活断層の存在も重要であると考えられる。
- (2) 変形したマンホールの多くは伏在活断層の走向(N50°E)と直交方向にずれて、変形したことが判明した。これは、本調査地域が地震発生時に増幅された地震波(directivity)の影響を強く受けたことを示しており、地下で断層運動が生じたことを示唆している。
- (3) 変形マンホールの平均変位ベクトルを深さごとに分けることによって、地下数メートルまでの地震による撃力の方向を知ることが出来る。これによると、地表面と比較して地下1 mではより強く断層変位による影響を受けていることがわかる。よって、地震時の地盤運動を把握するのに変形マンホールは、マンホールの設置密度、規格の統一性、また構造物としての安定性という観点からも評価基準として有用である。

謝辞

本研究を進めるにあたり神戸市建設局下水道河川部から下水道の復旧に関する資料を提供していただいた。また、本研究の一部は神戸大学都市安全研究センターの研究助成を受けて行った。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- Aki, K., 1968, Seismic displacement near a Fault. *Jour. Geophys. Res.*, **73**, 5359-5376.
- 藤田和夫・笠間太郎, 1983, 神戸地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1図幅), 地質調査所, 1-115.
- 岩崎好規, 1995, 1995 年阪神大震災の強震動記録。1995 年 1 月 17 日兵庫県南部地震, 「1995 年 1 月 17 日兵庫県南部地震調査速報会」記録, 日本第四紀学会・第四紀研究会連絡委員会, 21-25.
- 川村昌子・宮田隆夫, 2003, 兵庫県南部地震による変形マンホールの解析。第 13 回環境地質学シンポジウム論文集, 413-416.
- 菊地正幸, 1995, 兵庫県南部地震の震源断層。科学, **65**, 569-572.
- 国土地理院, 1996, 都市圏活断層図「神戸」。国土地理院。
- 国土庁, 1999, 阪神地区微地形区分図。国土庁。
- 神戸地盤の会, 1999, 神戸の地盤データベース「神戸 JIBANKUN」。神戸市。
- 神戸市, 1996, 阪神・淡路大震災と神戸の活断層。神戸市。
- 神戸市建設局, 1995, 管渠被害調査。神戸市。
- 額綱一起, 1996, カリフォルニアの被害地震と兵庫県南部地震。科学, **66**, 93-97.
- 松田高明・竹村厚司, 1998, 1995 年兵庫県南部地震における木造家屋の倒壊方向。地質学論集, n. 51, 67-77.
- 宮田隆夫・川村昌子, 2003, 神戸市東部, “渦ヶ森断層”と“王子断層”の再検討, 日本地質学会予稿集, 2003 年度秋季大会(静岡), p. 76.
- 宮田隆夫・川村昌子, 2004, 兵庫県南部地震によるマンホールの変形と断層の影響。構造地質シンポジウム講演要旨集, S-9.
- 宮田隆夫・前田保夫, 1998, 1995 年兵庫県南部地震による神戸市街地の地盤変状。地質学論集, n. 51, 89-101.
- 苦瓜康秀・宮田隆夫, 1997, 汚水枡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。構造地質, n. 42, 63-67.
- 苦瓜康秀・宮田隆夫, 1998, 汚水枡の水平剪断から推定した 1995 年兵庫県南部地震による神戸市街地の撃力分布。地質学雑誌, **104**, 199-209.
- 嶋本利彦, 1995, “震災の帯”の不思議。科学, **65**, 195-198.
- 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, 1-53.
- 横山俊治・菊山浩喜, 1998, 墓石・灯籠の転倒方向からみた 1995 年兵庫県南部地震の水平地震動の方位と地表変状の方向規制。地質学論集, n. 51, 78-88.

筆者: 1) 宮田隆夫, 神戸大学理学部, 教授; 2) 川村昌子, 神戸大学大学院自然科学研究科, 学生(現在, 富士通サポート&サービス㈱)

Analysis of co-seismic deformed manholes in Hyogoken-Nanbu (Kobe) Earthquake — An example of the Uzugamori active fault —

Takao Miyata
Masako Kawamura

ABSTRACT

The Mj 7.3 Hyogo-ken Nanbu Earthquake hit a Japanese mega-city, Kobe on 17 January, 1995. Although the surface rupture accompanied with this earthquake appeared on the northern Awaji Island, one did not appear obviously in the urban area of Kobe, at which was suffered from the severe damages recorded the 7th degrees of seismic intensity. Some observations and analyses after the earthquake made clear that the earthquake faults moved right-laterally about 30 km in length in the Kobe side. On the other hand, some concealed active faults were discovered in the urban area of Kobe according to the various geophysical survey data after the earthquake, for example, the seismic reflection and GPR data. In this study, we discussed the effects of the Uzugamori active fault for the strong ground movement in the urban area of Kobe, based on an analysis of the deformed manholes.

The following results were obtained. (1) The deformed manholes in the urban area of Kobe were almost existent on and near the Uzugamori active fault and another sub-parallel concealed (hidden) active fault. (2) Most of them were slipped almost perpendicular to the concealed active faults. It indicates that they were affected amplified seismic wave (directivity) in this area and the faults moved underground at the earthquake. (3) Because the manhole is installed high-densely in a city, and it has a standardized form and the stability of structure, the analysis of co-seismic deformed manholes is very useful in understanding the ground movement during an earthquake in the urban area where the active fault is hidden under the ground surface,