

## 平成7年兵庫県南部地震による被害集中地帯とその周辺 における短い測点間隔の繰り返し水準測量

渡辺和明\*・遠藤秀典\*\*・渡辺史郎\*\*\*・牧野雅彦\*\*\*・  
村田泰章\*・卜部厚志\*\*\*\*

WATANABE Kazuaki, ENDO Hidenori, WATANABE Shiro, MAKINO Masahiko, MURATA Yasuaki and URABE Atsushi (1996) Repetitious leveling of short interval points across the severely damaged zone caused by the 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol.47(2/3), p.165-173, 7 figs., 2 tables.

**Abstract** : The first order leveling in an area between Suma ward in Kobe city and Nishinomiya city has been conducted to investigate the vertical movement of the crust in the severely damaged zone caused by the 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake. The main lines of the leveling nets were established in a north-south direction across the damaged zone, and measurement points were placed at short intervals of about 25 m. Each leveling net was connected with the nearest point of the first order benchmarks through the east-west line. Most of the measurements were conducted in March, 1995. Measurements of part of the nets were repeated in July, 1995.

The results show vertical movements occurred at many points. These movements show short and local snatches of variation, medium continuous variations among several points, and a long range of uplift or subsidence.

There are only a few examples of repetitious leveling at short intervals of about 25 m, with a line length of several km. Our results show that the leveling of short interval points is useful in the study of vertical movements in the crust.

### 要 旨

平成7年兵庫県南部地震による被害集中地帯の地震後の地盤の変動について検討するため、兵庫県神戸市須磨区から西宮市に至る地域で水準の繰り返し観測を行った。測量路線は被害集中地帯を横断する南北方向に設定し、精密な変動傾向をつかむために測点間隔は約25mとした。また、各路線は東西方向の路線により水準点に結合している。これらの測点の大部分は1995年3月に設置し、

1級水準測量を行い、それらの一部について7月に繰り返し水準測量を行った。この結果、多くの場所で上下変化が認められた。これらの変化の中には、変化が連続しない局所的な変化、数地点で連続する変化及びより広範囲に渡る変化が認められた。約25mの短い測点間隔で路線長が数km以上に達する繰り返し水準測量はこれまで例が極めて少ない。今回得られた結果は、局所的な変化の検出とともに、より広域的な変動の空間的な分布の特徴・傾向について検討する上でも極めて有効な方法であ

\* 地質情報センター

\*\* 環境地質部

\*\*\* 地殻物理部

\*\*\*\* 環境地質部, (現 香川大学)

Keywords : 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake, first order leveling, repetitious leveling, vertical movement, measurement

ることを示している。

### 1. はじめに

平成7年兵庫県南部地震では、海岸付近の埋立地から山地にかけて多くの亀裂や段差を生じた。これらの地盤の地震後の変動について検討するため、約25mの短い測点間隔からなる水準路線の繰り返し観測を行った。

1995年2月に神戸市中央区生田川から灘区石屋川までの地域を対象に測点を設置し水準測量を行った。その後3月には調査地域を神戸市須磨区から西宮市に至る地域に拡大した。それらの路線の一部について1995年7月に水準測量を行い、3月の観測結果と比較した。

この結果、多くの場所で上下変化が検出された。それらにはスパイク状の局所的な変化、数地点で連続する数10mから100m程度の区間の変化とともにより広範囲に渡る変化が認められた。

本稿では、これらの観測路線の配置、測点の設置方法及び観測方法を述べ、1995年3月と7月の観測結果による上下変化の分布について報告する。

### 2. 調査方法

#### 2.1 観測路線及び測点の配置

観測路線の位置を第1図に示す。調査の対象範囲は神戸市須磨区から西宮市に至る地域である。主要な路線は、測点間隔を約25mとしたほぼ南北方向の路線であり、倒壊物の影響の少ない河川や公園周辺の道路上に主に設定した。いずれも、被害集中地帯を横断し、海岸付近の低

地から丘陵・山地に渡っている。また、これらの各路線は、測点間隔約100mの東西方向の路線により最寄りの水準点に結合している。

各路線は西から第1-8ブロックに区分し、路線番号をつけている(第1図)。これらのうち南北方向の路線の概略の地域、測点番号及び路線長は第1表のとおりである。

#### 2.2 測点の設置方法

測点の設置は、測量に支障のない場所で、歩道など道路端のコンクリートあるいはアスファルト上のできるだけ安定した場所に、ドリルで穴をあけて金属鉈を打ち込む簡便的な方法で行った(第2図)。また、一部は既存の神戸市公共基準点(第3図)を測点として使用した。

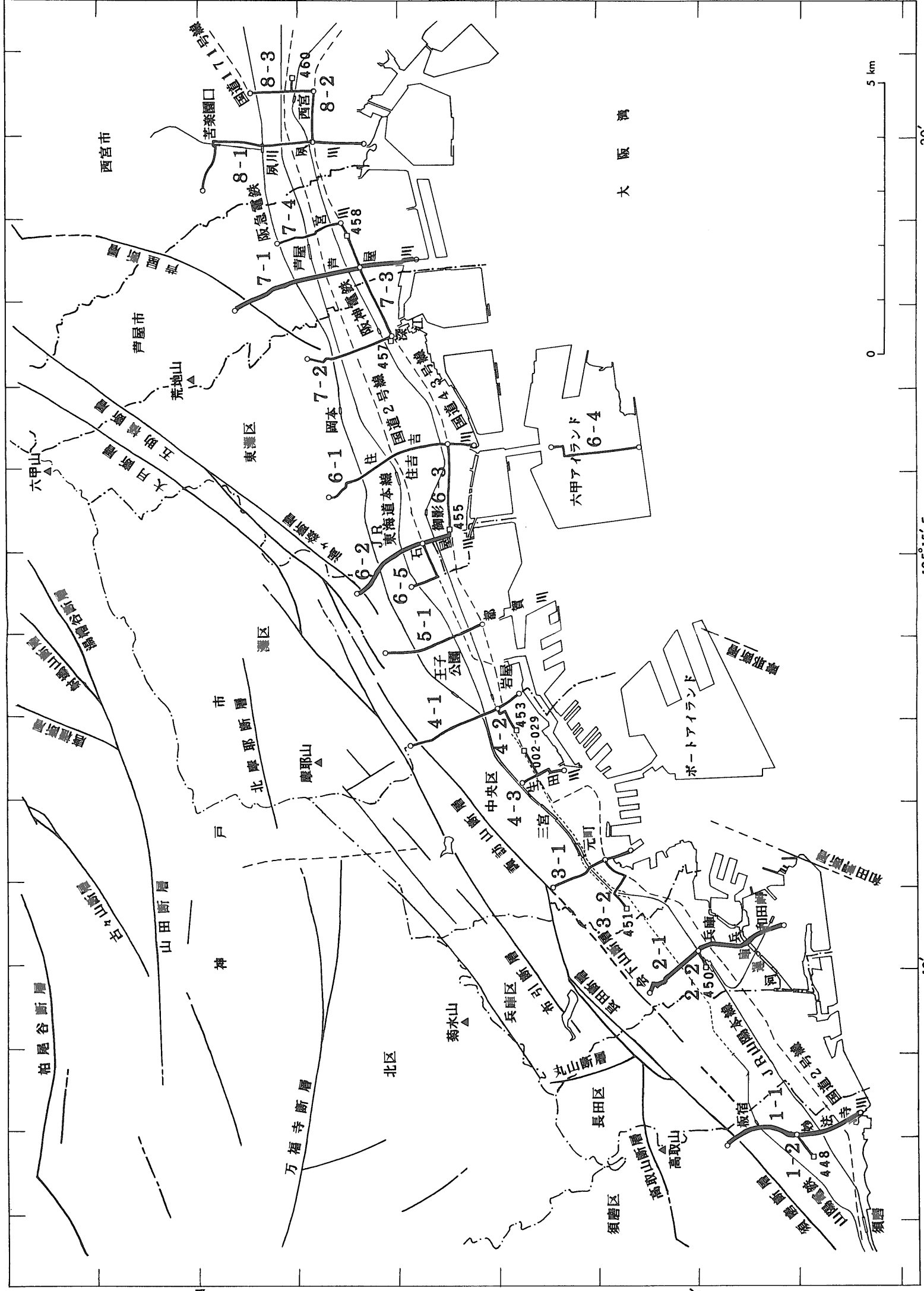
設置した金属鉈は、地表に出る頭部の直径が9mm、地中打ち込み部分長40mm、径4mmである。測点の信頼性を高めるために、10点ごとに頭部径20mm、打ち込み長60mm、径10mmの大型サイズの金属鉈を使用した。

#### 2.3 観測方法

各路線の観測時期と観測方法を第2表に示す。1995年2月の観測では、地震直後の道路上への倒壊家屋の影響や交通渋滞などを考慮し、迅速・簡便性を重視し2級標尺を用いた。読定にはWILD社製の1級水準儀N3を用いたが、これらによる測量は建設省公共測量作業規定では3級水準測量相当である。その後の検討結果から、今回の調査目的である地盤の微小な変化について検討するためには観測精度に問題があることが明らかになった。

第1表 南北方向の路線の概略地域、測点番号及び路線長。  
路線長には視準距離の和を示している。

路線名	地 域 (測点番号)	路線長(km)
1-1	神戸市須磨区、妙法寺川沿い；河口(0)～須磨断層越え(80)	2.749
2-1	神戸市兵庫区；JR和田岬駅(0)～JR兵庫駅東～会下山公園(103)	3.167
3-1	神戸市中央区；ポートタワー(0)～JR元町駅西～諏訪山断層越え(46)	1.688
4-1	神戸市中央区・灘区；神戸製鋼所～国道2号線南(0)～諏訪山断層越え(71)	2.541
4-3	神戸市中央区、生田川沿い；阪神高速3号線生田川出入口(1)～JR東海道本線南(20)	0.839
5-1	神戸市灘区、都賀川沿い；国道43号線(0)～篠原北町(31)	約2.1
6-1	神戸市東灘区、住吉川沿い；河口(0)～西谷川分岐(98)	3.170
6-2	神戸市灘区、石屋川沿い；国道43号線(200)～渦ヶ森断層越え(290)	2.407
6-4	神戸市東灘区、六甲アイランド；最南の岸壁(0)～アイランド北口駅(58)	1.725
7-1	芦屋市、芦屋川沿い；河口(0)～芦屋断層越え(137)	3.810
7-2	神戸市東灘区；阪神電鉄深江駅(216)～芦屋断層(280)	1.894
7-4	芦屋市、宮川沿い；国道43号線(407)～JR芦屋駅東～阪急電鉄越え(450)	1.650
8-1	西宮市、夙川沿い；河口(0)～阪急電鉄苦楽園口駅～樋ノ池町(128)	4.176
8-3	西宮市、国道171号線沿い；国道43号線との交差点(301)～阪急電鉄越え(338)	1.086



第1図 水準測量路線位置図。

○印間の実線が水準測量路線、1-1から8-3はそれらの路線名、これらのうち太い実線の部分が第4図に変化したことを示した路線。□は不動とした基準点でその番号を合わせて示す。断面の位置及び名称は、藤田・笠間(1982, 1983)及び藤田・前田(1984)に基づく。



第2図 金属板測点の例。  
中央のボール直下に測点。路線1-1の測点No.40。



第3図 神戸市公共基準点の例。  
中央のコンクリート升の中の金属標が測点。路線2-1の測点No.60。

よって本稿では3級水準測量相当の観測結果については議論しない。また、簡易水準測量は重力測定点の標高値を決定するために行った。

微小な変動を精度良く解析するために、1995年3月以降の測量は、いずれも1級水準測量で行った。使用した機器類及び観測方法は建設省公共測量作業規定に基づいた。なお、ここに述べる1級水準測量はいずれも国際航業(株)が担当した。

1995年3月と7月の両時期に使用した1級水準儀及び1級標尺は、上下変化の比較精度を高めるために、観測路線区間ごとに同一とした。本稿で報告する4路線のうち2-1路線の測点No.60-103間では、WILD社製の1級水準儀N3、同社製の1級標尺GPL3 No.4307 A・Bを使用した。そのほかの区間にはCARL ZEISS JENA

第2表 各路線の観測時期と観測方法。

1級：1級水準測量，3級：3級水準測量相当，簡易：簡易水準測量

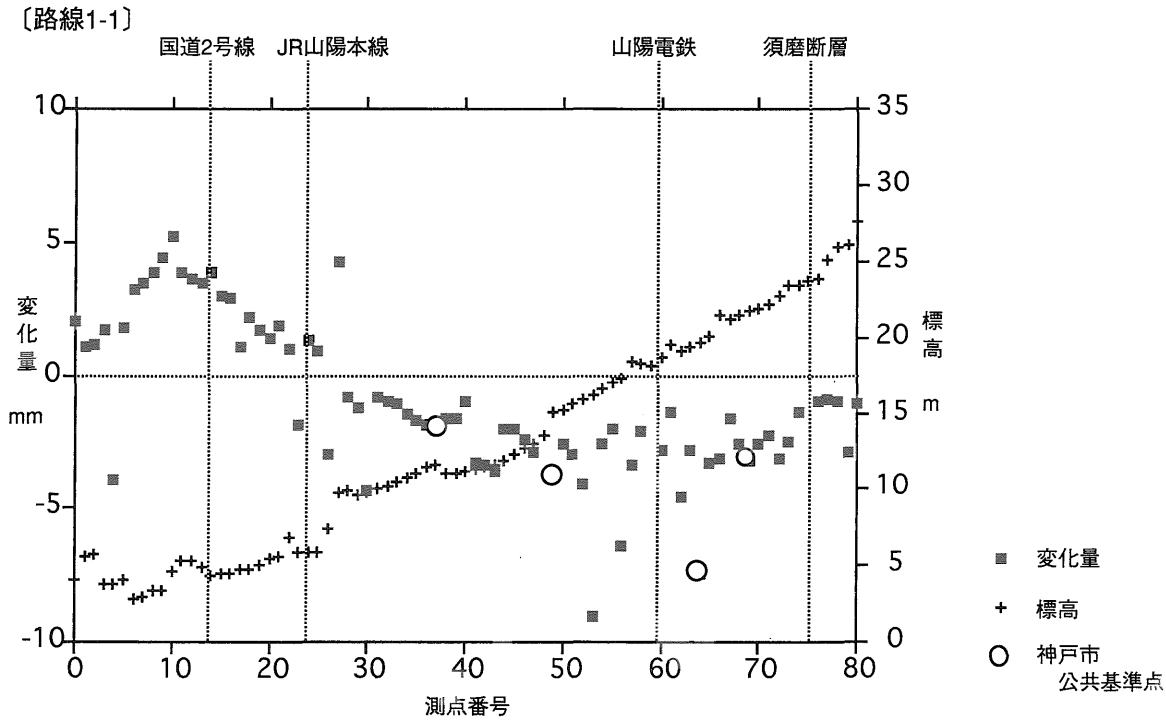
路線名	観測時期（1995年）		
	2月	3月	7月
1-1		1級	1級
1-2		1級	1級
2-1		1級	1級
2-2		1級	1級
3-1		1級	
3-2		1級	
4-1	3級	3級	1級
4-2	3級		1級
4-3	3級	3級	
5-1	簡易		
6-1		1級	
6-2	3級	1級, 3級	1級
6-3		1級	
6-4		1級	
6-5	簡易		
7-1		1級	1級
7-2		1級	
7-3		1級	
7-4		1級	
8-1		1級	
8-2		1級	
8-3		1級	

社製1級水準儀NI002 A，ソキア社製1級標尺GS1 No.35, 36を使用した。

観測は水準点からの開放型の往復観測とした。1級水準測量における測点間の往復観測の較差制限は $2.5\text{ mm}\sqrt{S}$ （S：路線距離でkm単位）であり、25m区間では0.39mmが制限値となるが、本調査では10点ごと約250m区間における制限値を上限としている。標高の基準には、地震後の国土地理院観測の一等水準点成果を固定値として使用し、各測点の標高値を求めた。

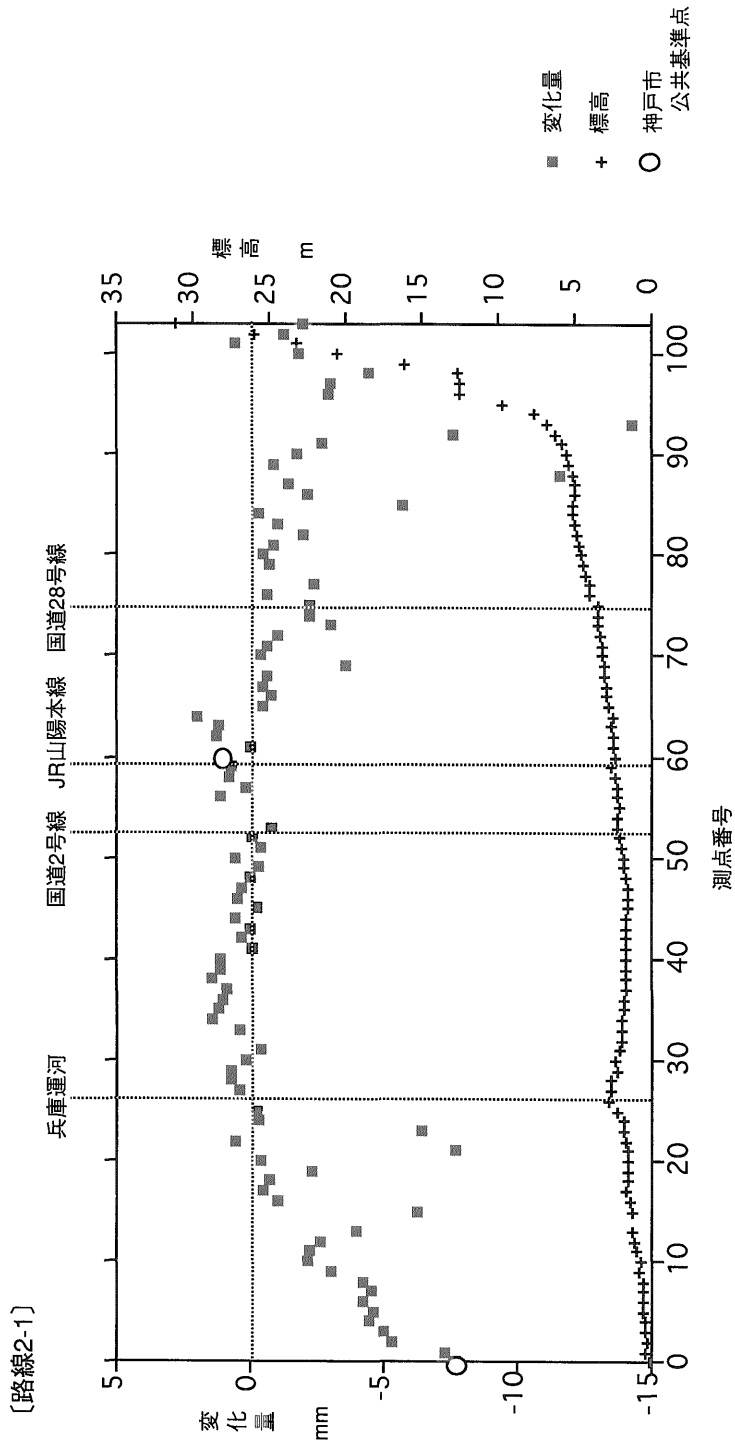
### 3. 観測結果

1995年3月と7月の両時期に観測した4路線の各測点の標高値の差から求めた上下変化の分布図を第4-1から4-4図に示す。これらの図では、各路線に結合している水準点を不動とした場合の相対的な変化の分布を示している。本図には標高分布を合わせて表示した。なお、道路工事等によって測点が失われた地点や変化量が著しく大きな地点は図示していない。

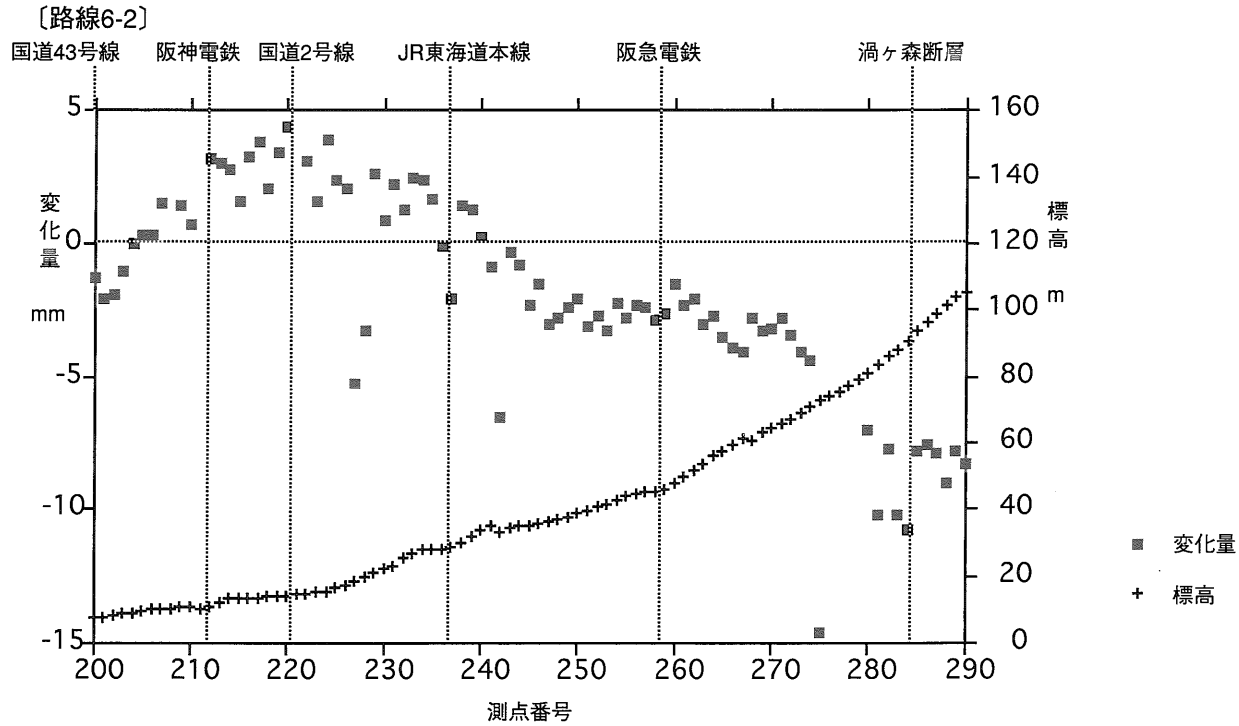


第4-1図 路線1-1の1995年3月から7月までの変化量及び標高分布。

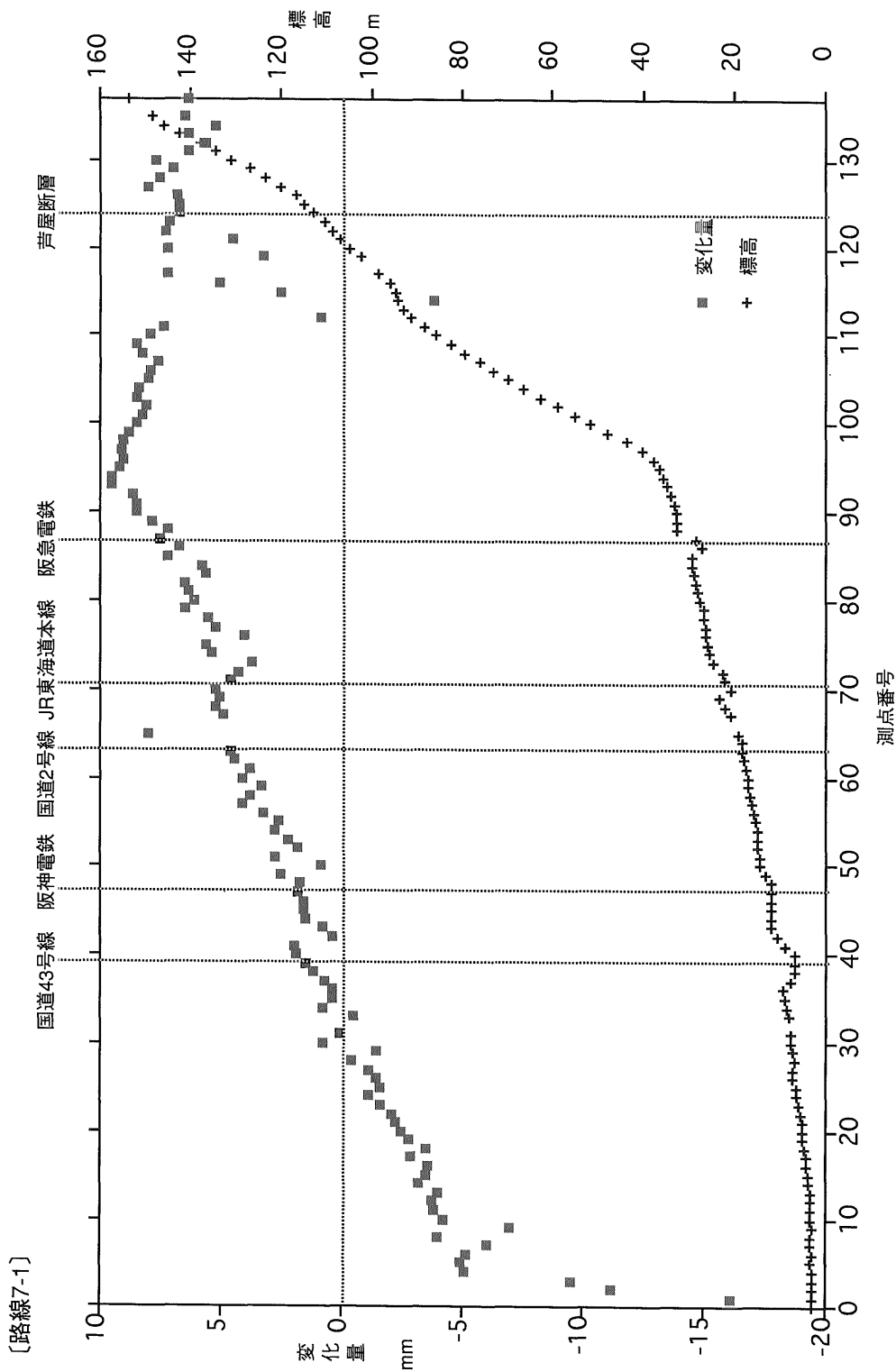
第4-1から4-4図の変化量と測点番号のスケール比は同一。



第4-2図 路線2-1の1985年3月から7月までの変化量及び標高分布



第4-3図 路線6-2の1995年3月から7月の期間までの変化量及び標高分布



第4-4図 路線7-1の1995年3月から7月までの変化量及び標高分布



### 3.1 路線 1-1

神戸市須磨区の妙法寺川に沿う、河口付近のフェリー一発着所北側から須磨断層 (藤田・前田, 1984) を越えた位置までの路線である (第 1 図)。

第 4-1 図では、妙法寺川の河口付近から国道 2 号線の南側付近にかけて山側ほど相対的に大きく隆起する連続的な変化の分布がみられ、変化量の差は最大約 5 mm に達する。そして JR 山陽本線を越え、路線方向が南北から北東-南西方向に変化するあたりまで、山側ほど相対的に大きく沈下する連続的な変化が認められる。この間では局所的な変化は少ない。

その北側は南側比べ局所的な変化が増えているが、全体的に一様の変化量を示している。

須磨断層付近では相対的に断層の南側が沈下、北側が隆起する微少変化がみられる。これは国土地理院が行った国道 2 号線沿いの 1 級水準測量結果 (多田, 1995) による地震前後の変動の分布傾向と同様な傾向である。

### 3.2 路線 2-1

神戸市兵庫区の JR 和田岬駅付近から JR 元町駅の西側を通り、会下山断層 (藤田・笠間, 1983) の南側までの路線である。

第 4-2 図では、兵庫運河付近より南側の埋立地で、海側の測点ほど相対的に大きく沈下する変化の分布傾向が認められる。

兵庫運河付近から国道 28 号線付近まではほとんど局所的な変化が無く、小ブロック単位で数地点で連続して相対的に沈下または隆起している傾向がみられる。その北側ではあまり連続しない変化が分布し、全体として山側ほど相対的な沈下の量がやや大きくなっている。

### 3.3 路線 6-2

神戸市灘区・東灘区境界の石屋川沿いの路線であり、国道 43 号線付近から渦ヶ森断層 (藤田・笠間, 1983) を越えた位置に至る。

第 4-3 図では、国道 43 号線の北側付近は海側ほど相対的に大きく沈下する傾向にある。阪神電鉄石屋川駅付近から JR 東海道本線付近までは相対的隆起部になっているが、ばらつきが多く数地点で連続する変化はあまりみられない。JR 東海道本線付近から阪急電鉄との中間地点付近までは、山側ほど相対的に大きく沈下する変化の分布を示している。その北側の渦ヶ森断層付近までは、数地点で連続する変化で、全体として変化量が一定である。渦ヶ森断層付近では、ブロック状に相対的に沈下していることを示している。

### 3.4 路線 7-1

芦屋市の芦屋川に沿い、芦屋川河口付近から芦屋断層 (藤田・笠間, 1982) を越えた位置までの路線である。

第 4-4 図では、他の路線に比べ広範囲に連続する変化が顕著にみられる。河口付近から阪急電鉄芦屋川駅付近までは、山側ほど相対的に大きく隆起する連続的な変化の分布傾向がみられ、その変化量の差は約 15 mm にも及ぶ。その北側は一部を除いて南側とは逆に山側ほど相対的に隆起量が小さくなる連続的な変化の分布傾向を示す。この分岐点がほぼ地形傾斜変換点に対応していることが興味深い。

一方、芦屋川の河口付近では、3 地点で連続して海側ほど沈下量が大きくなる傾向を示している。この付近は、液状化によって護岸が沈下するなど、地盤の変位を生じた場所で、それらの地盤の地震後の変化を示していることと推定できる。

## 4. 観測結果の検討

### 4.1 測点について

地盤の微小な変化について検討するためには、測点自体が安定している必要がある。このため、公共基準点のようにコンクリート柱などを地面に埋め込んだり、それらを升などで保護して測点を設置する方法がある。しかし、用地の確保や設置作業に時間がかかるなどの問題があるとともに、測点が安定するまでに一定の期間が必要である。今回の観測では、地震発生直後からの地盤の変動について多地点でできるだけ早く観測を開始するため、数 cm の長さの金属鉋を打ち込んだ簡便な方法で行った。このような測点を用いた観測について検討する。

路線 1-1 及び路線 2-1 では、所定の規格で地下に埋設・保護されているコンクリート柱製の神戸市公共基準点を測点に含んでいる。これらを含めた観測結果 (第 4-1, 4-2 図) では、路線 1-1 の測点番号 64 の変化を除くと、今回用いた金属鉋測点と公共基準点との間で、上下変化はほぼ連続的で大きな違いがないことがわかる。路線 1-1 の測点番号 64 の地点は周囲に比べて大きく沈下しているが、この地点は道路の角にあり、その上を車両が通行する状態になっている。また、隣接した建物が全壊し、1995 年 3 月にはその撤去などの作業、7 月には建築のための作業が行われており、それらの影響による変化が観測されたと推定できる。

したがって、観測結果には測点の設置方法による大きな違いは認められず、今回行った金属鉋測点による地盤変動観測が有効であることを示す。

#### 4.2 測量精度について

建設省公共測量作業規定における1級水準測量では、水準儀から標尺までの視準距離を最大50mまでとしている。本観測における視準距離は、南北路線で約10-20m以下である。短い測点間隔では、観測の際に標尺の目盛りを読み取る視認性が良くなり精度が高くなる。

一方、短い測点間隔とすることにより、一定区間距離における観測回数は多くなる。このため、1観測区間ごとに累積するような誤差が含まれる場合には、全体として誤差が大きくなることも考えられる。今回の場合、多くの路線において固定点は1地点のみであり、開放型の観測で行っている。このため、このような誤差の有無について検証することは難しい。

そのため、本観測では、各路線区間ごとに測定機器を同一のものとして、それぞれの機器がもつ微妙な特性の影響についてもできるだけ受けないようにした。したがって、それぞれの区間における観測値の差による上下変化については精度の高いものになっている。

#### 4.3 短い測点間隔の繰り返し水準測量について

各路線とも全体として±10mm程度の上下変化が認められる。これらの変化の中には、変化が連続しないスパイク状の局所的な変化、数地点で連続する路線区間長数10mから100m程度の変化及びより広範囲に渡る変化が認められる。このような変化の連続性については、今回行った25m間隔のような短い測点間隔の観測によって識別できる。

これらのうち、局所的な変化を生じた場所では、復旧工事などが行われている場所に対応することが多く、測点が人為的な影響を受けていることを示している。そのような場所についても多数の測点による観測結果から識別できることを示している。

数地点に連続する変化は、海岸付近では、液状化を生じた場所に対応している場合が多く、それらが地震後もある程度不安定な状態になっていることを示している。その他の場所における変化については、全体的な変化の中の一部なのか、あるいは別の要因によるものか、今後の観測結果と合わせて検討する必要がある。

広域的な変化では、隆起部や沈降部の位置を詳しく明

らかにできる。また、路線7-1(図4-4)に認められるように、全体的に傾動しているとも解釈できる変化の分布の特徴や傾向について明らかにできることを示している。

約25mの短い測点間隔で、路線長が数kmに達するような1級水準測量はこれまで例が極めて少ないが、今回得られた結果は、局所的な変化の検出とともに、変動の空間的な分布の特徴・傾向について詳しく検討する上で極めて有効な方法であることを示している。

#### 5. おわりに

本報告で紹介した1995年3月から7月までの期間の広域的な変化は、予想以上に大きいものであった。これらの変化の継続性、及びその他の路線における変化の分布についても明らかにするため、1995年10月には観測路線を多くし、繰り返し水準測量を行っている。また1996年1・2月にも実施する予定である。さらに一部の測点では、GPSによる観測を行い、水平成分の変化についても検討できるようにしている。今後、それらの結果と合わせて、地盤変動の進行についてより具体的に明らかにするとともに、変動を生じた要因についても究明したいと考えている。

#### 文 献

- 多田 堯(1995) 1995年兵庫県南部地震の地殻変動と測地学的断層モデル. 日本地質学会シンポジウム「阪神・淡路大震災と地質環境」論文集, p.7-10.
- 藤田和夫・笠間太郎(1982) 大阪西北部地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 112 p.
- (1983) 神戸地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 115 p.
- ・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, 101 p.

(受付:1995年11月30日;受理:1996年1月30日)