



墓石の転倒方向から推定した兵庫県南部地震の水平動分布

川崎, 輝雄
成瀬, 敏郎
野村, 亮太郎
佐藤, 隆春
大矢, 真也

(Citation)

兵庫地理, 41:1-7

(Issue Date)

1996-03-31

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90002402>



墓石の転倒方向から推定した兵庫県南部地震の水平動分布

川崎 輝雄 成瀬 敏郎 野村亮太郎
佐藤 隆春 大矢 真也

I. はじめに

地震に対する観測網が充分でなかった時代や地域では、従来、転倒した墓石をもとに地震動の最大加速度などが推定されてきた（例えば、大橋ほか，1978）。1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震の場合、各地に設置された強震計によって観測され、その地震動の解析が進んでいる。しかし、今回の地震でも、墓石や灯籠、電柱を指標として、初動や地盤、伏在地震断層等について検討されている（池田ほか，1995；高林，1995；宮田・前田，1995；川崎ほか1996）

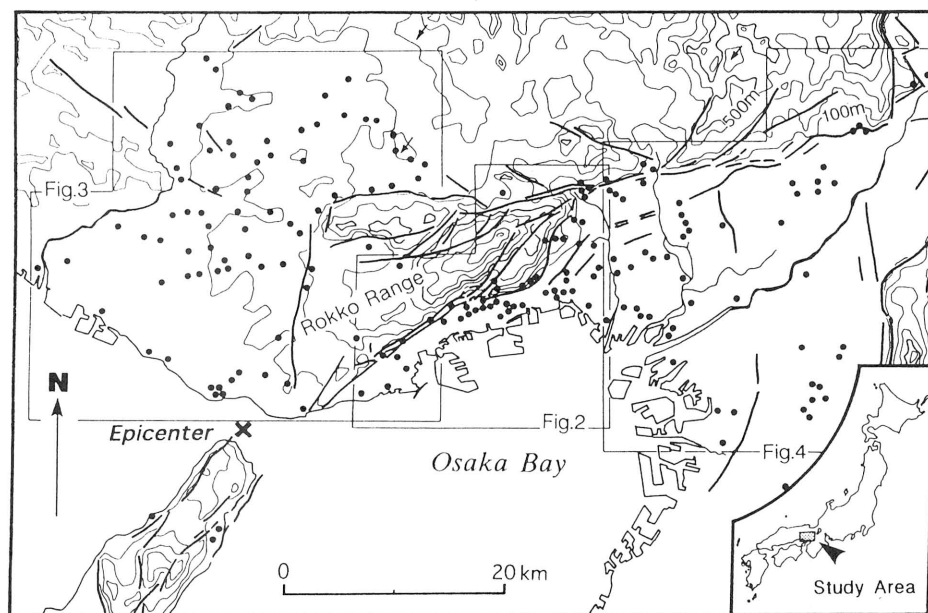
筆者らは、墓石の転倒方向について調査を行った。本稿では、その転倒方向の分布から、

本地震による主な水平動を検討する。さらに、推定された水平動について、各地で記録された地震動の最大加速度をもとに検証する。

II. 調査方法

調査は地震発生当日から開始し、4月初旬までに行った。調査範囲は第1図の通りである。調査した墓地の総数は188地点、測定した墓石は延べ約2300基であった。このうち、六甲山地南麓の調査は野村・川崎・大矢が、三木市を中心とする六甲山地以西・以北の地域は成瀬が、武庫川以东の大阪平野周辺は佐藤が、それぞれ担当した。

調査対象とした墓石は、主に次の3タイプ



第1図 調査地域

● 測定地点
〃 活断層（活断層研究会(1991)を一部簡略化）

である。すなわち、(1)角石塔型、(2)円筒状の僧侶墓石、(3)長針状の戦没者墓石である。このほか、一部の墓地では、五輪筒型の墓石や石灯籠も含めた。角石塔型は底面が正方形であり、その石間はモルタルやセメントによって接着されたものが多い。一方、僧侶墓石の底面は円形であり、戦没者墓石の場合、底辺に対する高さの比が大きく、また、共にその多くは接着されていない。したがって、転倒方向に対する自由度は、角石塔型に比べ、後者の2タイプの方が高いと考えられる。

現地では、転倒した墓石一基ごとにその落下方向を測定した。区画が定められた墓地では、区画線の方位をクリノメータにより測定し、それを基準として転倒方向を決定した。この方法は迅速に測定する上で有効であった。

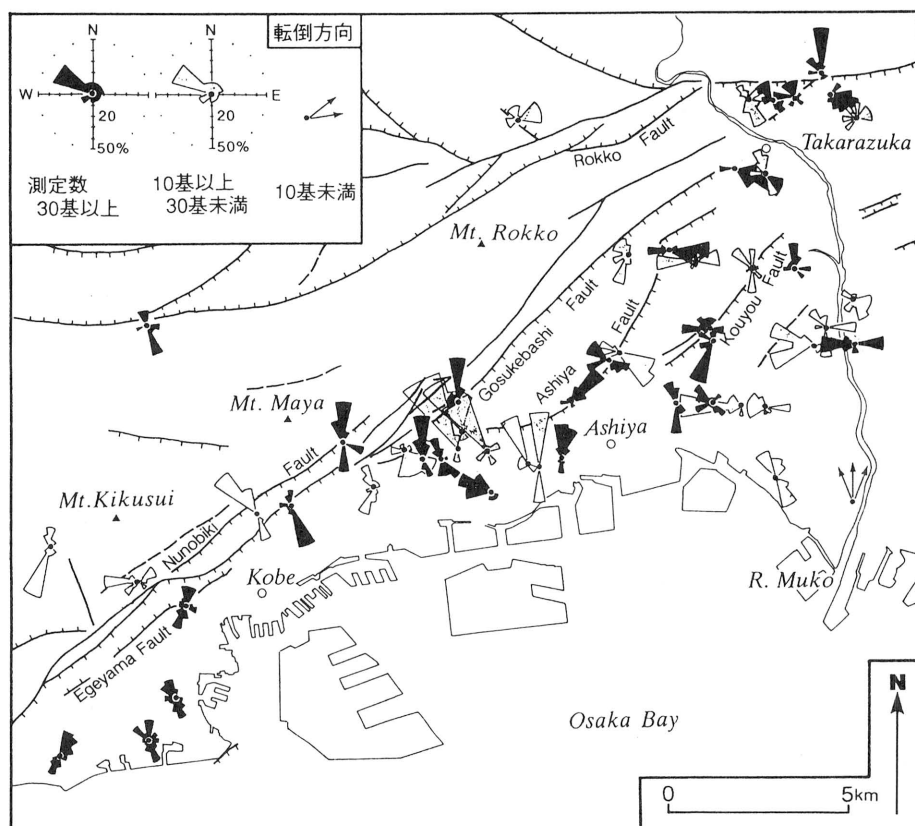
なお、本震によって転倒寸前の状態にあった墓石が、余震によって転倒した可能性もあるが、ここではその数は少ないと考えた。

るが、ここではその数は少ないと考えた。

以上のような調査方法にもとづき、各墓地における墓石の転倒方向を求め、1/25,000地形図上にプロットした。各墓地の転倒方向は、それぞれの測定数にもとづき、以下のように3段階に分けて図示した。すなわち、測定数が10基未満の場合、個々の転倒方向を矢印ですべて示した。10基以上の場合、転倒方向を16方位（一部、12方位）に分類し、その割合をローズダイアグラムで示した。10～29基の墓地は灰色の、30基以上の墓地は黒色のローズダイアグラムでそれぞれ表してある。

Ⅲ. 調査結果

以下、(1)六甲山地南麓（神戸市～宝塚市間）、(2)六甲山地以北・以西（加古川市～三田市間）、(3)大阪平野周辺（武庫川以東～高槻市間）の3地域における転倒方向について、



第2図 六甲山地南麓における転倒方向

それぞれ記載する。

1. 六甲山地山麓

本地域の分布は、第2図の通りである。一墓地における測定数は、通常20基以上であり、角石塔型の占める割合が高い。転倒方向は、芦屋市付近を境としてやや異なる。

芦屋市以西から神戸市間の墓地では、NNW-SSE方向あるいはN-S方向への転倒が卓越しており、それぞれ両方向にピークがあることが多い。結果として、転倒方向が会下山断層・諏訪山断層・布引断層・五助橋断層などの主要断層に対し、ほぼ直交するような分布となっている。また、多くの墓地で、墓石台座部の表面に断続する擦傷を確認したが、これらは塔身部が振り子のような運動後に転倒したことを示すものと考えられる。

芦屋市から宝塚市間における山麓部でも、芦屋断層や有馬-高槻構造線とほぼ直交する

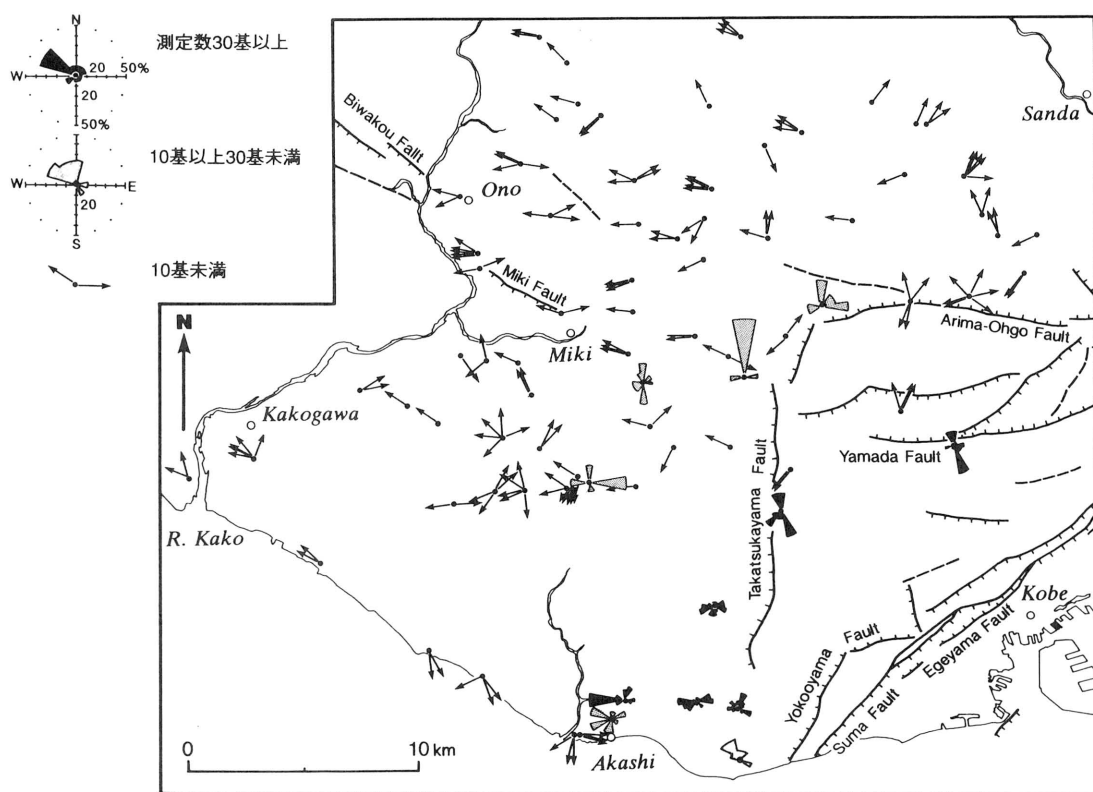
方向に転倒している。しかし、このような傾向は平野部ほど不明瞭となり、甲陽断層以东から武庫川下流域にかけてはE-W方向が卓越している。

2. 六甲山地以北・以西

第3図に本地域の転倒方向を示す。一墓地における転倒数は10基未満と少なく、その大半が僧侶墓石や戦没者墓石であった。ここでは、卓越する転倒方向から3地区に細分できる。

六甲山地以北の第三紀丘陵が広がる地区では、墓石の多くがほぼN-S方向に転倒しており、縁辺部ではN側への転倒が顕著であった。いずれも、山田断層など東西方向に平行して伸びる複数の断層と直交するような分布となっている。

高塚山断層およびその延長線から西側の地区では、全体としてE-W方向が卓越してい



第3図 六甲山地以北・以西における転倒方向

る。特に、三木市や小野市では、ほぼ一様に ESE-WNW 方向に揃っており、このうち WNW 方向への転倒が優勢であった。これらは、三木断層や琵琶甲断層などの山崎断層系と平行とした結果となっている。

三木市以南における転倒は、E-W 方向がやや優勢ではあるが、それ以外の方向へも多く混在している。震源に近い明石市周辺の海岸部では、明瞭な傾向を読みとることはできない。

3. 大阪平野周辺

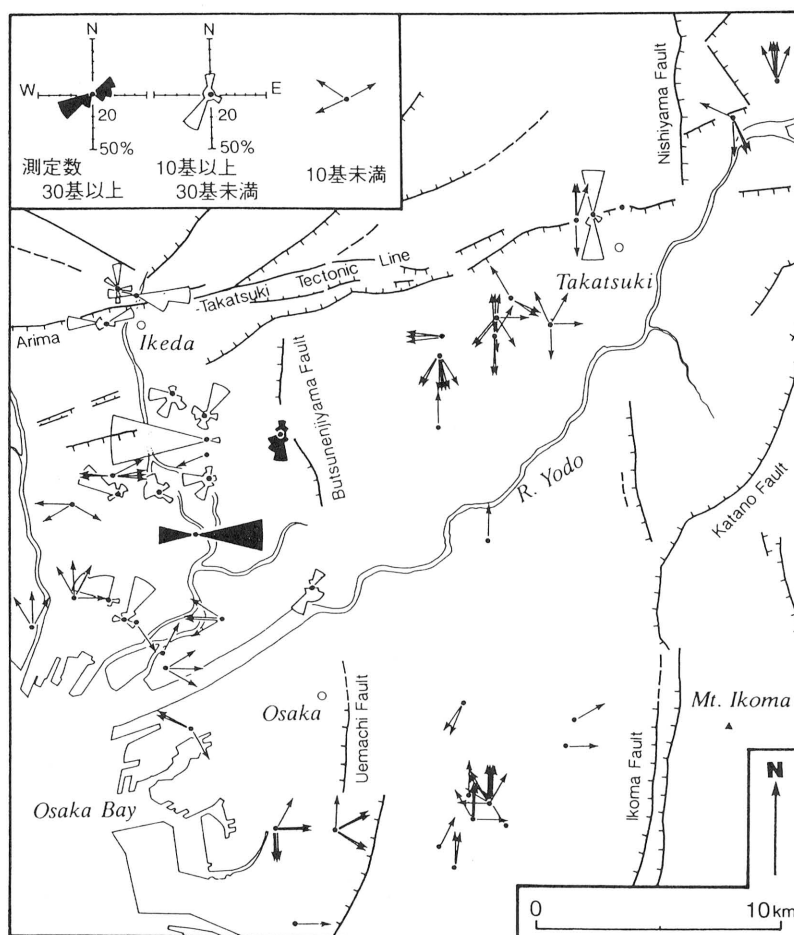
本地域の分布は、第4図の通りである。一墓地における転倒数は、猪名川以西を除き、一般に少なく、本図中央部の守口市・摂津市

付近では墓石の転倒をほとんど確認できなかった。

高槻市周辺では、N-S 方向の転倒が卓越しており、有馬-高槻構造線と直交するような分布となっている。また、生駒山麓から上町断層間の大阪市東部でも N 方向への転倒が多かった。

これに対し、仏念寺山断層以西の地域、すなわち、猪名川下流域や伊丹台地から前述の武庫川間では E-W 方向への転倒がやや顕著である。池田市では、沖積平野上で E-W 方向への転倒がみられるものの、山麓部の段丘面上では N-S 方向が混在していた。

大阪湾岸部における転倒方向は、特定の傾向はなく、各墓地によって異なっている。



第4図 大阪平野周辺における転倒方向

4. 調査結果のまとめ

これらの分布をあきらかにするため、各墓地において最も割合の高い転倒方向を第5図に示した。測定数の少ない墓地については、隣接する墓地毎にまとめた。その結果、以下のAからEの5地区に区分することができる。すなわち、

A地区：NNW-SSE・N-S方向（六甲断層系とほぼ直交）

B地区：N-S方向（主要な断層とほぼ直交）

C地区：E-W方向（山崎断層系とほぼ平行）

D地区：E-W方向

E地区：N-S方向

である。これ以外の地区では特定の転倒方向はみられない。

IV. 考 察

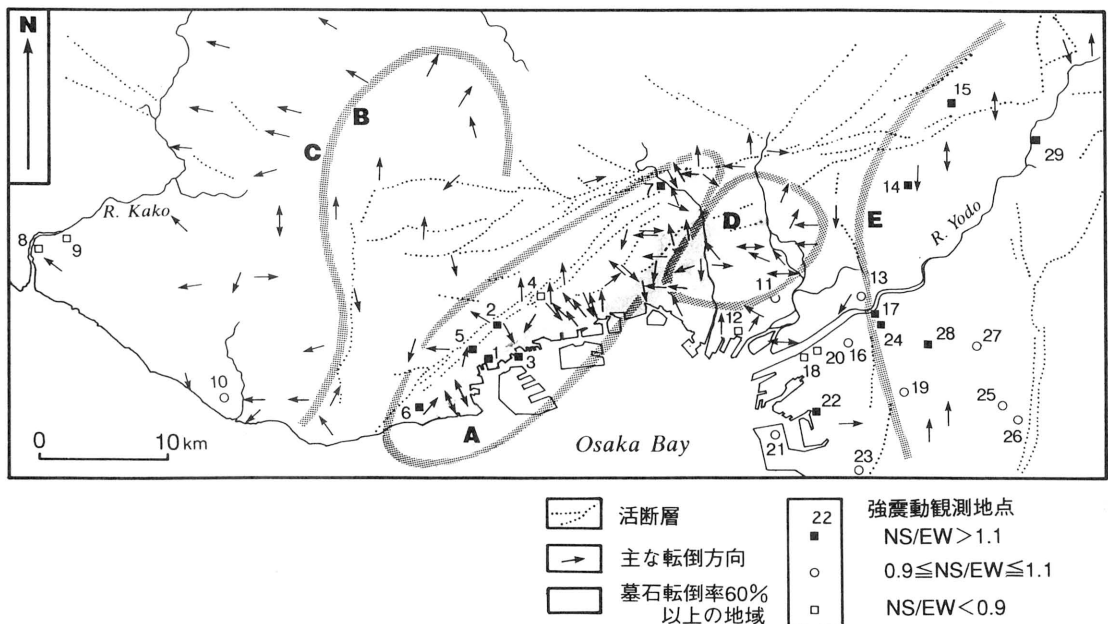
以上のように、墓石の転倒方向は地域的にまとまっており、転倒にかかる力が地域的にほぼ同様であったことがわかる。そこで、これらの分布をもとに本地震の水平動について

考察する。

地震動に伴って転倒した墓石のほとんどは、塔身部の底面を支点として転倒・落下したものと考えられる。一部の墓石については、初期の上下動に伴い、塔身部が台座上を滑り脱落したケース等も考えられるが、その割合は無視できるものとして考察を進める。

各地で観測された本地震の地震波形から、S波到着時刻以降の揺れが極端に大きくなっている。僧侶墓石や戦没者墓石など石間を接合されていないものは、このS波によって転倒した可能性が高い。これに対して、角石塔型の転倒にはモルタルの剥離を要するなど、必ずしも強震の初動に伴ったものとは限らない。激震域における台座部の傷や、両側にピークを持つ転倒方向は、塔身部が台座上で振り子状の運動をした後に転倒したことを示唆している。

したがって、B・C・E地区における水平動は、僧侶墓石や戦没者墓石の占める割合が高いことから、初期の水平動は墓石の転倒方向と逆であったと推定できる。南北、あるいは断層と直交する方向に強く揺れたA・B地



第5図 転倒方向と最大水平加速度の関係

区の水平動は、角石塔型が多いことから、その初動についてはあきらかにできない。

次に、各地で観測された水平動の最大加速度値－ここでは、N-S成分のE-W成分に対する最大加速度比(NS/EW比)－をもとに検証する。表.1は、各地での地表付近における3成分の最大加速度であり、観測点の

あきらかなものについては、その番号を第5図中に示した。

A地区は、墓石転倒率が60%以上の範囲(川崎ほか, 1996)を含み、墓地の被害が最も大きかった。そのNS/EW比は、神戸大学工学部(第4地点)の観測記録を除き、いずれも1.12~2.45であることから、N-S方向

No.	観測機関	設置地点	設置箇所	N-S	E-W	U-D	NS/EW
1	港湾技術事務所	神戸市 神戸港工事事務所構内	地表	502	205	283	2.45
2	鉄道総合研究所	神戸市 J R 新神戸駅	地表	530	267	344	1.99
3	港湾技術事務所	神戸市 第八突堤	突堤	683	394	334	1.73
4	関西地震観測研究協議会	神戸市 神戸大学工学部	その他	270	305	447	0.88
5	日本気象協会	神戸市 中央区海洋气象台	1F	818	617	332	1.33
6	(財)鉄道総合研究所	神戸市 J R 鷹取駅	地表	635	553	175	1.15
7	(財)鉄道総合研究所	宝塚市 J R 宝塚駅	地表	595	530	377	1.12
8	松村組技術研究所	神戸市 北区	基盤	272	265	232	1.03
9	土木研究所	加古川市 加古川大堰付近	地表	144	211	264	0.68
10	(財)鉄道総合研究所	加古川市 J R 加古川駅	地表	165	262	98	0.63
10	(財)鉄道総合研究所	明石市 J R 西明石駅(新幹線)	地表	397	381	264	1.04
10	(財)鉄道総合研究所	姫路市 J R 姫路駅	地表	82	125	48	0.66
10	(財)鉄道総合研究所	朝来郡 J R 生野駅	地表	36	53	20	0.68
11	建設省	尼崎市 J R 尼崎駅	地表	300	273	307	1.10
12	港湾技術事務所	尼崎市 尼崎工場構内	地表	321	472	311	0.68
12	土木研究所	尼崎市 高架橋付近	地表	294	265	324	1.11
13	(財)鉄道総合研究所	大阪市 J R 新大阪駅	地表	200	213	155	0.94
14	日本電信電話株式会社	吹田市 NTT豊中支店万博別館	1F	266	125	103	2.13
14	(財)鉄道総合研究所	吹田市 新大阪変電所(東海道新幹線)	地面	218	217	56	1.00
15	関西大学工学部建築学科	高槻市 霊仙寺町関大キャンパス	盛土	117	85	53	1.38
16	日本電信電話株式会社	大阪市 NTTデータ堂島ビル	1F	125	125	113	1.00
16	土木研究所	大阪市 淀川堤防(大淀)	地面	199	224	244	0.89
17	土木研究所	大阪市 淀川大堰付近	地面	138	119	101	1.16
18	関西地震観測研究協議会	大阪市 福島	その他	180	212	195	0.85
19	関西地震観測研究協議会	大阪市 阿倍野	地表	217	226	136	0.96
20	竹中工務店	大阪市 北区Bビル	地面	182	267	302	0.68
21	大阪工業大学工学部建築学科	大阪市 住之江区N点	地面	76	77	-	0.99
21	大林組	大阪市 都島区M集合住宅	1F	60	86	42	0.70
22	大林組	大阪市 大正区大阪機材センター	地面	195	140	122	1.39
23	大林組	大阪市 住吉区我孫子寮	1F	107	115	92	0.93
23	住宅都市整備公団関西支社	大阪市 此花区	地面	222	267	255	0.83
24	大阪工業大学工学部建築学科	大阪市 旭区D点	地面	189	155	126	1.22
25	大阪工業大学工学部建築学科	東大阪市 池島町P点	地面	152	145	101	1.05
26	大阪工業大学工学部建築学科	東大阪市 上六万寺町U点	地面	110	104	55	1.06
27	関西地震観測研究協議会	東大阪市 弥栄	その他	155	145	127	1.07
28	関西地震観測研究協議会	東大阪市 森河内	その他	210	123	159	1.70
29	土木研究所	枚方市 淀川堤防付近	地面	217	193	71	1.12

表. 1 兵庫県南部地震の各地における最大加速度

の水平動が強かったことを示している。C地区では、姫路など隣接域の観測地を含め、その比は0.63~0.68であり、E-W方向の水平動が強かったことがわかる。両地区とも、転倒方向から推定される地震動と一致している。

このほか、大阪湾岸部では、特定の転倒方向がみられなかったように、そのNS/EW比も0.68~1.39と場所によって幅がある。また、淀川以南のE地区では、両者の相関は不明瞭である。

以上のように、転倒方向から推定された水平動分布は、観測された水平成分の最大加速度比と矛盾しておらず、これを支持している。

V. まとめと課題

兵庫県南部地震による墓石の転倒方向から、阪神間周辺の水平動を大きく5つの地区に区分することができた。すなわち、激震域の六

甲山地南麓では、主な断層と直交するようにほぼN-S方向が卓越している。六甲山地北部や有馬-高槻構造線に沿ってもN-S方向がみられた。他方、六甲山地以西や伊丹台地周辺ではE-W方向への転倒が多かった。以上のような転倒方向の分布は、各地の地震動記録とはほぼ一致していることから、本地震時における水平動を反映するものと考えてよい。

今回の調査では、淡路島の地表地震断層(野島断層)付近において十分な資料を得ることができなかった。したがって、このような分布が、地震断層の直接的な影響によるものなのか、あるいは地震波が伝播する際に、地形・地盤構造の影響を受けた結果であるのかなどの問題に対して、合理的な解釈を出すには到っていない。今後、地質・地盤構造など諸分野における研究成果と併せて検討して行く必要がある。

謝辞

野村亮太郎先生は、1995年4月23日、不慮の事故により亡くされました。研究に取り組む先生の真摯なお姿を偲び、心よりご冥福をお祈りいたします。

参考文献

- 池田安隆・東郷正美・澤祥・加藤茂弘・隅元 崇(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。日本第四紀学会。45-46。
活断層研究会(1991):『新編日本の活断層-分布と資料-』。東京大学出版会。437p。
川崎輝雄・野村亮太郎・大矢真也(1996): 墓石の転倒からみた兵庫県南部地震の被害分布とその地形環境。地理学評論。69。39-50。

- 宮田隆夫・前田保夫(1995): 兵庫県南部地震でみえてきた五助橋断層の延長問題。「兵庫県南部地震の地震断層と基盤災害-構造地質からの検討-」講演要旨集。構造地質研究会。23-26。
大橋昭光・岩崎敏男・川島-彦(1978): 墓石の転倒状況から推定した1978年伊豆大島近海地震の地震動強度。土木技術資料。20(11)。9-14。
高木茂夫(1995): 墓石、石灯籠の倒壊方向と回転方向。「阪神大震災」緊急合同報告会資料集、「阪神大震災」緊急合同報告会世話人会。51-55。

- (かわさき てるお・神戸大学大学院)
(なるせ としろう・兵庫教育大学)
(のむら りょうたろう・神戸大学(当時))
(さとう たかはる・大阪府立三国丘高校(定))
(おおや まさや・神戸大学大学院)