

# 兵庫県南部地震における墓石転倒調査による 断層近傍の地震動特性

建設省土木研究所 岩下友也\*  
建設省土木研究所 中村 昭\*  
(財)ダム技術センター 松本徳久\*\*  
(株)建設技術研究所 横山真至\*\*\*

兵庫県南部地震後、野島断層近傍の淡路島北部を中心に、面的に分布する墓石の転倒状況調査を行った。①墓石の転倒率の分布、②調査墓石の幅と高さの比から推定した震度、および③転倒方向について、地形、地質および断層からの距離等の各影響要因との関係进行分析し、地震強度および主要動の方向等、断層近傍の地震動の特性について検討した。

その結果、転倒率は断層距離が大きくなるほど小さくなり、地質年代の古い地盤ほどその傾向が強い。転倒率の分布は、野島断層付近および断層の延長上に広がる平野部で大きな値を示していた。震度の推定値については、断層から15km以内では0.4~0.5程度であった。転倒方向については、方向性の明瞭な墓地を抽出するとその分布は主に平野部に集中しており、その方向は地表面の変位方向に一致している。

## 1. はじめに

内陸地震に対する構造物の耐震性を検討する場合、震源断層近傍における地震動を解明することが重要となる。そこで、1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震の際に、地表地震断層として現れた淡路島北部の野島断層近傍における地震動特性を解明することを目的として、墓石の転倒状況を調査した。

## 2. 調査概要

調査の対象地域は、主として野島断層付近の淡路島北部の北淡町、一宮町、淡路町、東浦町、津名町とした。

調査墓地数は79ヶ所（総墓石数 3,545）でありその位置を図-1に示す。

調査項目は、各墓地における各墓石の基本データ（幅、高さ、方位）、転倒墓石の転倒方向、墓地周辺の地形・地質等である。なお、墓石数の多い墓地

では、50程度以上の墓石について抽出調査を行った。また、調査の対象とした墓石は、直方体や立方体を基本とし特異な形状の墓石は除外した。

転倒の有無や転倒方向は、本調査が地震発生後約1ヶ月~1ヶ月半後の調査であったことから、墓石に何らかの人の手が加えられたものも多く、墓石の転倒傷跡や落下跡等から判定したものもあった。代表的な墓石の転倒状況を写真-1に示す。



写真-1 墓石転倒状況例（北淡町野島橋墓地）  
（転倒率100%）

キーワード：兵庫県南部地震、墓石、震度

\* 建設省土木研究所フィルダム研究室0298-64-2211

\*\* (財)ダム技術センター技術第一部03-3433-7811

\*\*\* (株)建設技術研究所大阪支社 06-944-7799

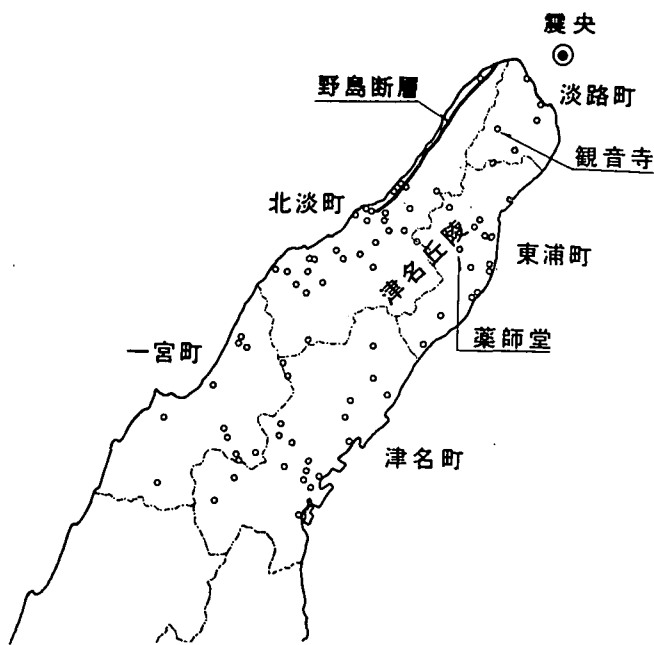


図-1 調査基地位置図(淡路島北部)

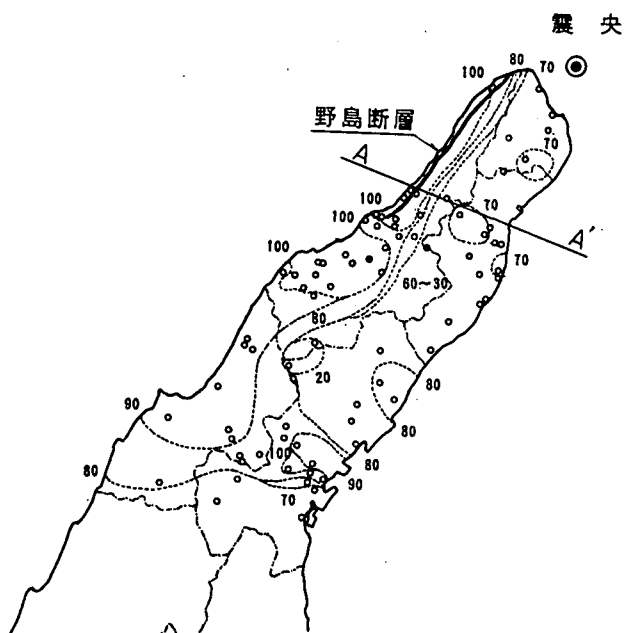


図-2 転倒率R (%)の分布

### 3. 調査結果

#### (1) 転倒率

##### a) 転倒率の地域分布

墓石転倒率Rの分布を図-2に示す。転倒率Rは野島断層付近で高く、北淡町での転倒率Rは、ほぼ100%に近い。一方、津名丘陵を越えた津名町、東浦町および淡路町での転倒率Rは低く40~70%程度である。しかし、津名町南部の平野部では、転倒率Rの高い地点が集中しているのが注目される。

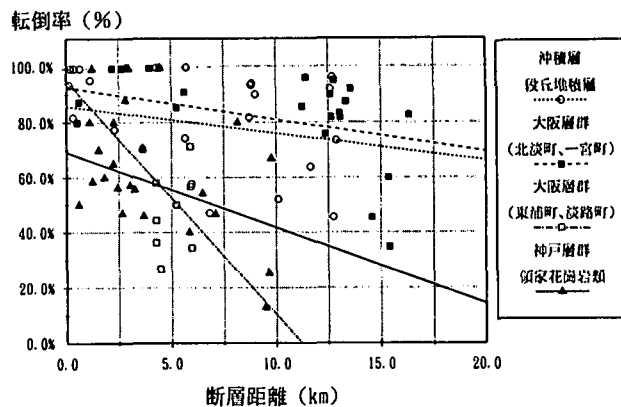


図-3 転倒率と断層距離の関係

表-1 淡路島の地質層序

時 代	岩 質	分布地域
第四紀	沖積層(a)	各河川沿い
	段丘堆積層(t)	三原町国道28号線沿い
	大阪層群(Og)	一宮町・五色町他
第三紀	神戸層群(K)	津名丘陵の山頂付近および野島断層より海岸部
	須家花崗岩類(Nrg)	津名丘陵および高標高部
白亜紀		

##### b) 転倒率と断層距離の関係

転倒率Rと図-1(あるいは図-2)に示す野島断層からの最短距離との関係を、基礎の地質区分別に分けてプロットしたものを図-3に示す。また図中の直線は、転倒率R=100%の墓地を除いた各地質区分ごとの回帰直線を示している。これより、同じ地質区分ごとにみれば、断層距離が大きくなるに従い、転倒率が小さくなる傾向がある。

##### c) 転倒率と地盤地質の関係

淡路島北部の地盤の地質区分を表-1に示す。また、その分布を図-4に示す。図-3においては、転倒率を表-1の地質区分別に表示しているが、大阪層群は、津名丘陵西側および野島断層延長方向の北淡町・一宮町・津名町に分布する墓地と津名丘陵東側の東浦町・淡路町に分布する墓地とに分けている。

東浦町・淡路町の大阪層群では、野島断層に対して直角方法で、山地形をはさんだ位置にあるため、転倒率Rが小さい。一方、北淡町および断層延長方向に広がる平野部の一宮町・津名町の大阪層群では、同じ断層距離でも大きな転倒率Rとなっている。

沖積層・段丘堆積層も同様な傾向がみられたが、ここでは全てのデータで回帰直線を求めているため

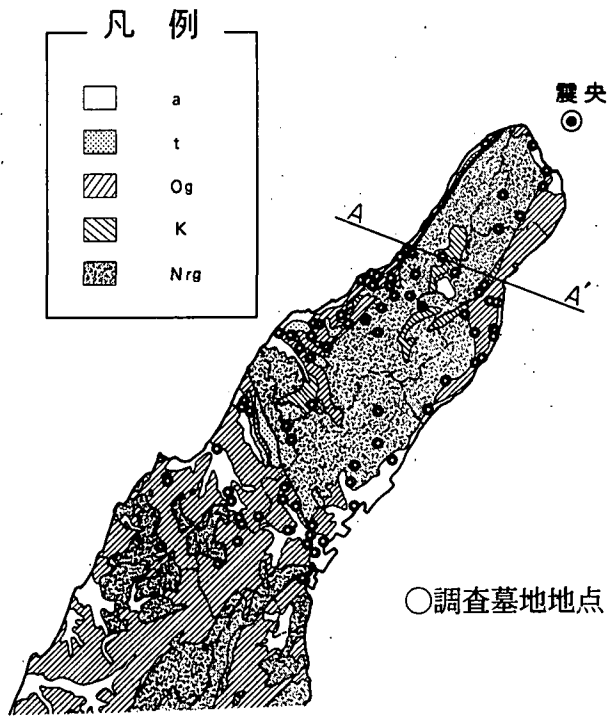


図-4 淡路島の地質分布<sup>1)</sup>および調査墓地

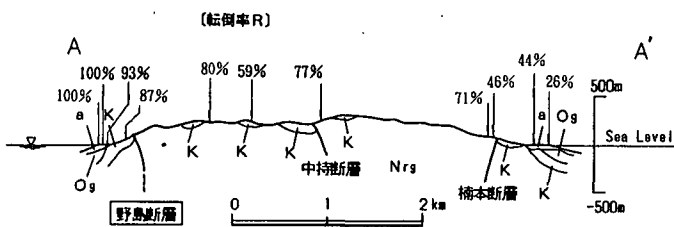


図-5 A-A' 地質断面上の転倒率 (2)に加筆)

大阪層群（北淡町・一宮町・津名町）のものより、若干低い転倒率となっている。

一方、領家花崗岩類の分布する地域では、断層から2 km以内の近距離であっても転倒率Rの低い地点が存在している。

図-5は、図-2および図-4に示す野島断層にほぼ直交する地質断面図に、近傍2 km範囲に位置する調査墓地の墓石転倒率Rを付記した。野島断層より東側の神戸層群や領家花崗岩類で、断層から離れるにつれてRが減衰していくのがわかる。また、野島断層近傍約1 kmの範囲では、断層より西側の沖積層や大阪層群・神戸層群ではほぼR=100%程度であるのに対して、東側の領家花崗岩類ではR=80%程度と差が生じている。

以上から、同じ断層距離であれば、古い地質年代の地盤の方が転倒率Rは小さく、また距離減衰は大きい傾向にある。

転倒率 (%)

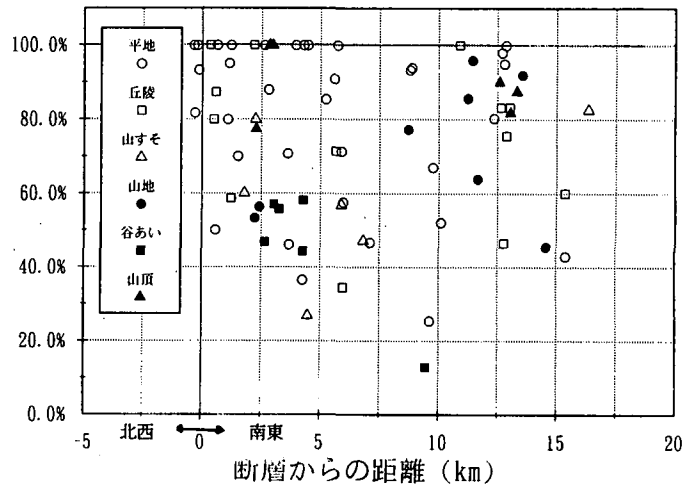


図-6 転倒率と地形の関係

#### d) 転倒率と地形の関係

転倒率Rと墓地地点の地形との関係を図-6に示す。転倒率Rが高いのは、野島断層付近の平野部および丘陵地である。また墓地数は少ないが、山頂において転倒率が高いことが注目される。一方、転倒率が低いのは、谷あいおよび山すそであった。

#### (2) 震度の推定

水平な台上の高さH、幅Bの角柱に、地震動によって水平加速度 $a_h$ （水平震度 $k_h = a_h / g$ ）、鉛直加速度 $a_v$ （鉛直震度 $k_v = a_v / g$ ）が作用した場合、角柱体の重心における鉛直下向きに作用する力と水平に働く力との合力の作用線が、底面の外に出ると、その角柱は転倒する（この場合の転倒を「ロッキング」と言う）ものと仮定するとその限界の水平および鉛直の震度 $k_h^*$ 、 $k_v^*$ は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} B/H &= a_h \cdot W / (g \cdot W \pm a_v \cdot W) \\ &= k_h^* / (1 \pm k_v^*) \dots \dots \dots (1) \end{aligned}$$

墓石の転倒から鉛直加速度と水平加速度を分離して求めることは困難であり、鉛直加速度分を水平加速度に含めた等値水平震度を $k^*$ とすると次式となる。

$$k^* \approx B/H \dots \dots \dots (2)$$

各墓地において、一つ一つの墓石に対して、横軸にH、縦軸にBをとり、転倒しなかった墓石を○、転倒した墓石を●でプロットした。代表的な墓地の例を図-7(1)、(2)に示す。

一般に、墓竿石が台石から転落する現象としては

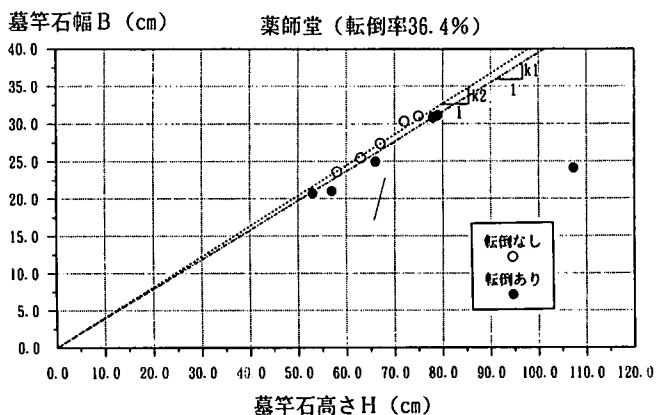


図-7(1)  $k_1$ ,  $k_2$  の算定例 (東浦町薬師堂)

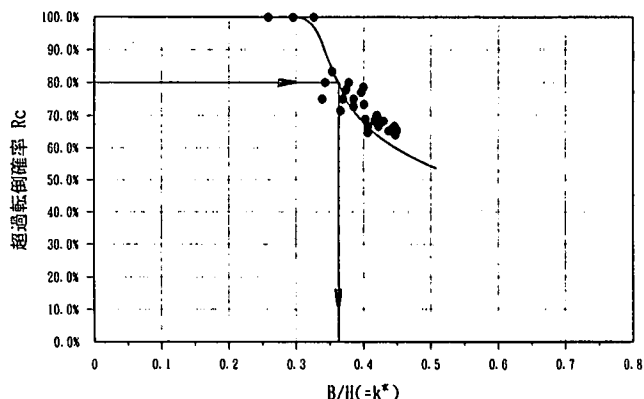


図-8 超過転倒確率分布の例 (淡路町観音寺)

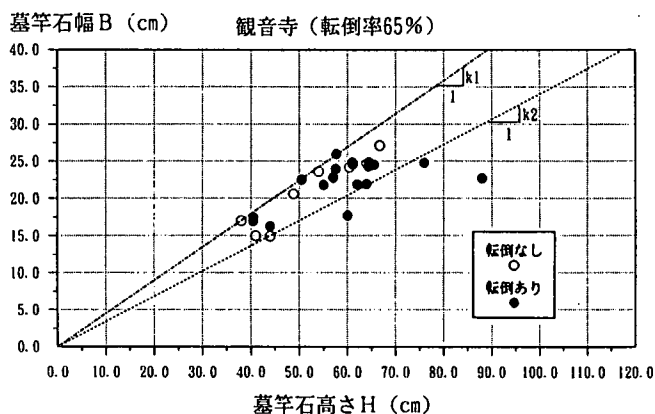


図-7(2)  $k_1$ ,  $k_2$  の算定例 (淡路町観音寺)

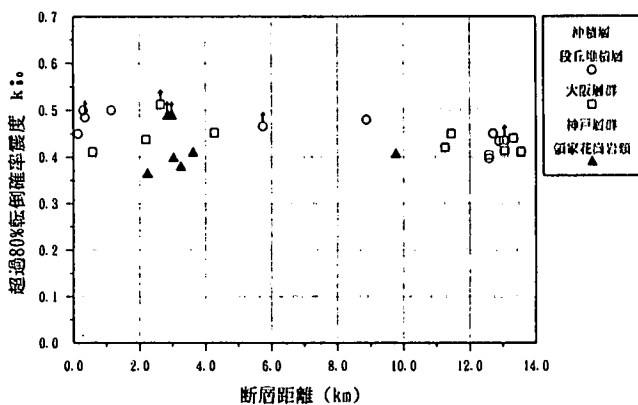


図-9 推定震度  $k^*_{80}$  と断層距離の関係

ロッキング以外にスリップして台石からはみ出し転倒したスリップ転倒、ジャンプあるいはそれらが合わさった現象による場合が考えられる<sup>3)</sup>。しかし、転倒した個々の墓石に対して、転倒に至った過程を吟味することは難しい。このため本調査では、転倒した墓石に対しては、後述する墓石の転倒方向が明瞭な28墓地に対してのみ、ロッキング転倒が卓越していた可能性が高いとして、式(2)による解析の対象とした。

転倒しなかった墓石○の  $B/H$  の最小値を  $k_2$  とすれば、それが  $k^*$  の上限値を与える。

$$k_2 > k^* \quad \text{..... (3)}$$

転倒した墓石●の  $B/H$  の最大値を  $k_1$  とすれば、それが  $k^*$  の下限値を与える。

$$k^* > k_1 \quad \text{..... (4)}$$

(3)、(4) より  $k_2 > k_1$  の場合 (図-7(1)の1墓地のみ) は次式となる。

$$k_2 > k^* > k_1 \quad \text{..... (5)}$$

しかし、実際には  $k_2 < k_1$  となる場合がほとんどであった (図-7(2))。それは、転倒形態がロッキング以外の可能性があることに加え、ロッキング

で転倒する場合に限っても、同一の  $B/H$  の墓石でも寸法や向き、地動の周波数特性や振幅により転倒し易さは異なる<sup>4)、5)</sup>。すなわち、各条件ケースにおいて  $B/H$  に対する墓石転倒に対する確率密度関数が存在すると考えられる。

そこで本論文では、式(3)～(5)の関係による決定論的手法により震度  $k^*$  を算出するのではなく、確率論的手法により  $k^*$  の推定を試みた。まず、各墓地 (転倒方向に傾向性のある28墓地) において、ある  $B/H$  の値以下の墓石の転倒率  $R_c$  (超過転倒確率または累積転倒率) を各墓石の  $B/H$  に対して算出し、その関係を求める。例えば、図-7(2)で示した淡路町観音寺では、図-8のようになる。

地震動強度と超過転倒確率分布の関係は、実験等によりある程度は推定できると考えられるが、ここでは、各墓地において超過転倒確率  $R_c=80\%$  のときの  $B/H$  (超過80%転倒確率震度  $k^*_{80}$ ) を地震強度として推定した。

#### a) 推定震度と断層距離の関係

$k^*_{80}$  と断層距離の関係を図-9に示す。ここに、墓地全体での転倒率  $R$  が100%の場合、 $k^*_{80}$  を求め

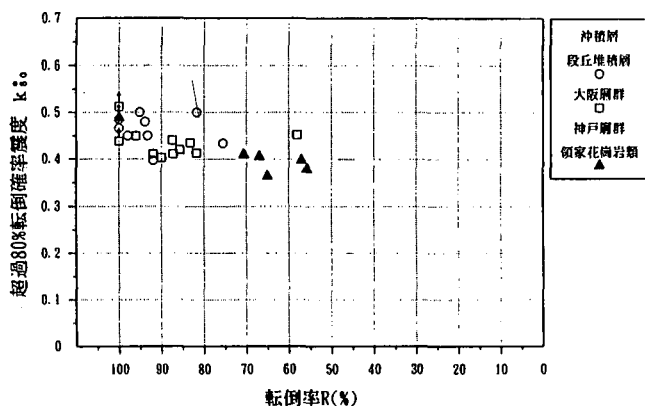


図-10 推定震度  $k^*_{80}$  と転倒率  $R$  の関係

ることが不可能であり、式(4)による下限値  $k_1$  をプロットし、矢印を添えて図-9に示した。

今回の調査範囲である断層距離15km以内の断層近傍では、 $k^*_{80}$ は0.4～0.5程度である。

### b) 推定震度と地盤地質との関係

図-9には墓地の地盤地質ごとに区分して  $k^*_{80}$  を示してある。地盤が沖積層・段丘堆積層あるいは大阪層群であるものに比べ、神戸層群・領家花崗岩類であるものの  $k^*_{80}$  の方が若干小さい傾向にあり0.4程度である。

### c) 推定震度と転倒率の関係

推定震度  $k^*_{80}$  と転倒率  $R$  の関係を図-10に示す。転倒率  $R$  が50%以上では、 $k^*_{80}$  と  $R$  の関係はほぼ直線関係にある。また地盤の地質区分ごとにみれば神戸層群や領家花崗岩類といった古い地質年代の地盤の  $k^*_{80}$  は、沖積層、段丘堆積層のものに比し、転倒率  $R$  の減少による減少勾配が若干大きい傾向にある。

## (3) 主要動の方向

墓石の転倒方向から、各墓地ごとの主要動の方向を推定した。転倒墓石の方向性が明瞭な墓地の例を図-11に示す。これは、縦軸に転倒方位(N方向から±180°の範囲で時計回りをプラス、反時計回りをマイナスで表示)をとり、横軸方向に墓地内の全ての転倒墓石に対して、転倒方位を1つ1つ順次プロットしたものである。

ある限られた範囲の方向で、プロットが集中しており、この方向を主要動の方向とした。

転倒方向が明瞭な墓地のみを抽出し(28墓地)、その方向を位置図に示すと図-12となる。方向性が

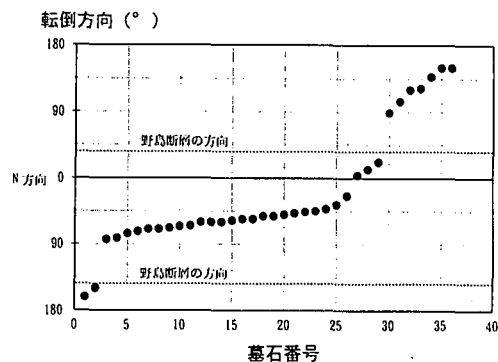


図-11 墓石転倒の方向性

(北淡町三田霊園, 転倒率95.1%)

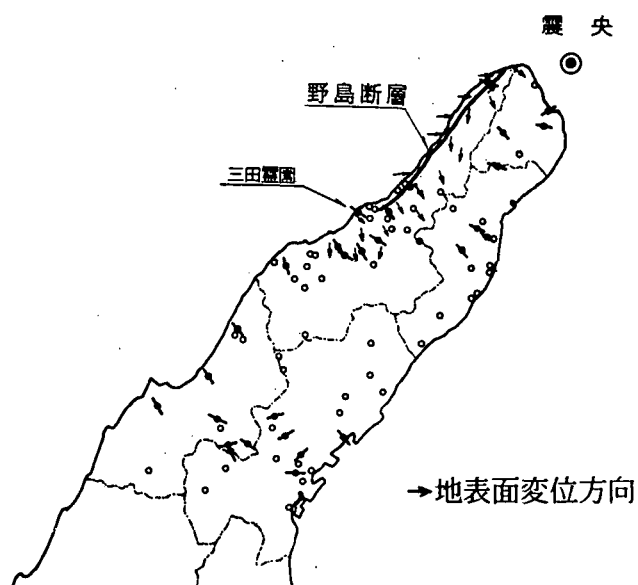


図-12 主要動の方向(墓石転倒方向)と地表面変位方向<sup>6)</sup>

明瞭な位置の分布は、主に平野部に集中している。またその方向は、国土地理院が地震前後に撮影された空中写真を用いて写真測量により計測された野島断層周辺の地表面変位方向<sup>6)</sup>(図-12に矢印で表記)にはほぼ一致している。

## 4. おわりに

兵庫県南部地震後に淡路島北部で行った墓石の転倒調査による、野島断層近傍における地震動の特性を以下に記す。

①墓石転倒率の分布は、野島断層付近および断層の延長方向の平野部で大きく、断層直交方向で津名丘陵を越えた東浦町および淡路町では小さくなっている。

②墓石転倒率は、断層距離が大きくなるほど小さくなるが、その傾向は地質年代の古い地盤ほど強くな

る。

③超過転倒確率を80%として推定した震度は、断層から15km以内では0.4～0.5程度であった。

④墓石の転倒方向から推定される主要動の方向は、地表面変位の方向とはほぼ一致する。

#### 【参考文献】

- 1)近畿地方土木地質図編纂委員会：近畿土木地質図，1981年3月
- 2)水野清秀，服部仁，寒川旭，高橋浩：明石地域の地質，地域地質研究報告第83号，1990年
- 3)田村，松田，国井，望月：1974年伊豆半島沖地震

調査報告，東京都立大学伊豆半島沖地震調査団，1974年7月

4)池上良平，岸上冬彦：昭和24年12月26日今市地震における墓石転倒より推定した地震動の加速度，地震研究所彙報，第28号，pp. 121-128，東京大学，1950年5月

5)小林啓美：単体の転倒と震度，日本建築学会研究報告第8号，日本建築学会，1950年10月

6)村上広史，星野実，田中耕平，上杉晃平：兵庫県南部地震による野島断層周辺の地表面変位計測，平成7年度秋期学術講演会発表論文集，日本写真測量学会，1995年10月

## EARTHQUAKE MOTION CHARACTERISTICS NEAR A FAULT DURING THE 1995 HYOGOKEN-NAMBU EARTHQUAKE FROM THE OVERTURNING OF TOMBSTONES

Tomoya IWASHITA, Akira NAKAMURA,  
Nori-hisa MATSUMOTO and Shinji YOKOYAMA

We surveyed how tombstones had overturned at 79 graveyards near the Nojima fault in the northern part of Awaji island during the Hyogoken-Nambu Earthquake. The survey provided [1] the distribution of the ratio of overturned tombstones, [2] the seismic coefficient calculated from the ratio of the height and width of the tombstones, and [3] the overturning direction. The results clarified the distribution of the strength of the earthquake motion and the principal direction of the motion in relation to the topography and geology of graveyard grounds.