

## 1991年周防灘地震 (M=5.9) について

## On the 1991 Suounada Earthquake (M=5.9)

山本 哲朗\* (Tetsuro Yamamoto)

鈴川 俊道\*\* (Toshimichi Suzukawa)

大原 資生\*\*\* (Sukeo Ōhara)

1991年10月28日に周防灘地震(M=5.9)が発生した。震源は山口県小野田市本山岬の南端から西南西方向に約3.3kmの海底部(深さ25km)であり、震央位置は津布田断層に沿っている。

著者らは今回の地震気象を入手するとともに、地震によって生じた墓石の移動量と方向、地盤の被害について調査し、以下の知見を得た。調査は震央から半径12km以内にある宇部、小野田両市を中心として行った。震央から半径7.6kmの範囲内での地震動は北西方向に卓越していた。宇部市ではとくに地盤がよくない地域で2~3の小規模の地盤の陥没と地割れが確認された。地盤陥没は石炭採掘後の古洞や立坑の真上で発生しており、過去に石炭採掘が行われた当地域の地震災害の地域的特徴である。今後、菊川断層~津布田断層に沿った位置に震央をもつM=6クラスの地震が発生した場合には宇部・小野田両市ではこのような地盤陥没が多発すると考えられ、その問題に対して調査、対策が必要であることを指摘した。

キーワード：宇部／小野田／陥没／菊川~津布田断層／地割れ／周防灘地震／地動／古洞 (IGC: B4)

## 1. まえがき

1991年10月28日に周防灘地震 (M=5.9) が発生した。山口県宇部市、小野田市、防府市に面した周防灘西側地域では679年以降でも最大でM=4級の地震しか発生しておらず<sup>1)</sup>、今回の地震は当地域で発生するものとしては最大級のものとなった。震度は福岡IV、下関III、山口III、広島II、徳島I、米子Iなどであった。

震源は小野田市本山岬の南端から西南西方向に約3.3kmほどの海底部の深さ25kmのところである。その位置は津布田断層<sup>2)</sup>にごく近接している。この津布田断層から菊川断層<sup>3), 4)</sup>の南端に沿う地域ではとくに1979年以降は地震活動が活発となっているように見受けられる。

今回の地震は土木構造物などに顕著な被害を発生し始めるといわれている限界の地震 (M=6) よりも若干規模が小さく、そのため山口県下を初め周辺各県下での地震による被害は人的にも物的にも僅少であった。

われわれは地震が発生した直後から12日間にわたって地震気象を入手したり、地盤の被害状況および墓石の転倒や移動状況について調査した。その範囲は宇部、小野田両市を中心とし、震央から半径約12km内の地域であった。その結果、規模は小さいものの、宇部市内の3箇所で地盤陥没および2箇所で地割れが発生していることを確認することができた。

宇部市内でみられた地盤の陥没はいずれも古洞および立坑の真上にある地盤が陥没して発生したものである。これはかつて広範囲な炭鉱採掘が行われたこの地域での地震災害の地域的な特徴といえる。今回の地震によって陥没および地割れを発生した地域では常時でもそれらが発生しており、いずれも地盤がきわめて軟弱なものであった。

本報告では最初に今回の地震の概要についてのべる。その後、墓石の移動量などから求めた地盤の変位方向、地盤の被害状況についてのべることにする。

## 2. 地震の概要

\*山口大学工学部社会建設工学科 助教授、\*\*宇部興産コンサルタント(株) 課長、  
\*\*\*宇部工業高等専門学校 校長

今回の地震の諸元はTable 1、震央位置はFig.1に示す。その規模はM=5.9である。

Table 1 Dimension of the 1991 Suonada earthquake.

Date	10:9,12.4 October 28
Epicenter	N.L.33° 55.1' E.L.131° 9'
Depth(km)	25
Magnitude	5.9

Fig.1には1971年1月～1991年10月までの約21年間に山口県およびその周辺で発生した地震の分布図<sup>5)</sup>を示しているが、これからわかるように今回発生した地震は周防灘のとくに西部域で発生した地震としては最大級の規模のものであった。またこの地域で発生する地震の震源深さは30km以下と比較的浅いのが特徴である。

福岡管区気象台による震度分布はFig.2に示す<sup>5)</sup>。

この地震の震央は小野田市本山岬の南端から西南西の方向約3.3kmの位置で、陸地にきわめて近かったため、地震発生とともに宇部、小野田両市を中心として大規模の地鳴りが発生した。

Fig.1にみられるように今回の地震の震央は位置的には菊川断層の延長線上にある津布田断層<sup>2)</sup>のごく近傍にある。なお、北西から南東方向に延びる、菊川断層の南半分から津布田断層に沿って最近、

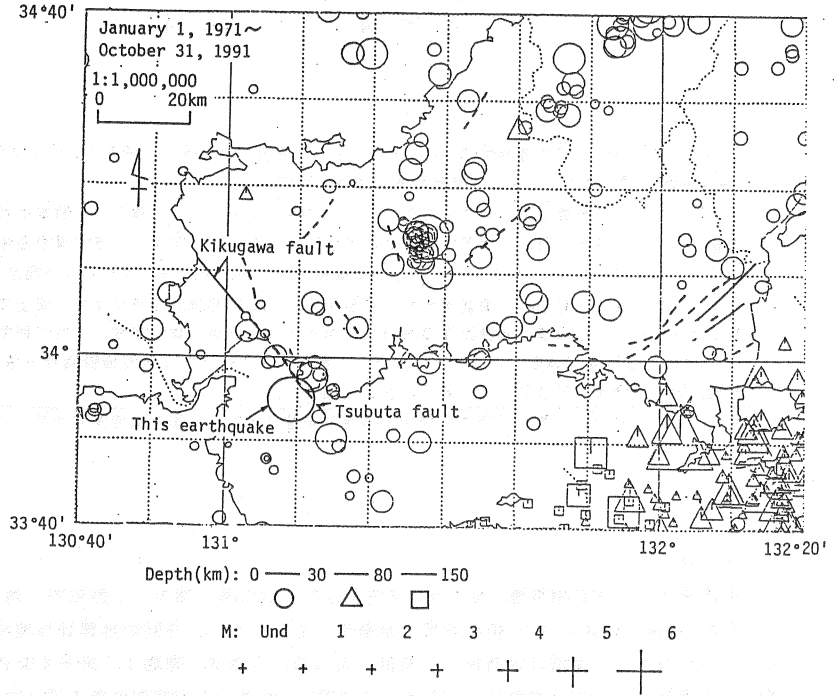


Fig.1 Map showing the epicenter of the earthquake occurred in Yamaguchi prefecture for January 1, 1971 to October 31, 1991(From JMA Fukuoka).

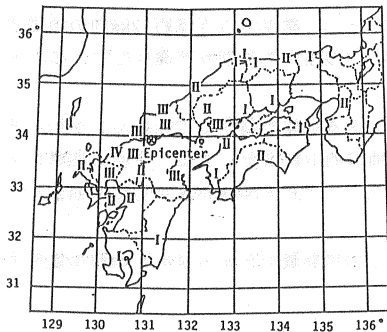


Fig.2 Isoseismal map for this earthquake (From JMA Fukuoka).

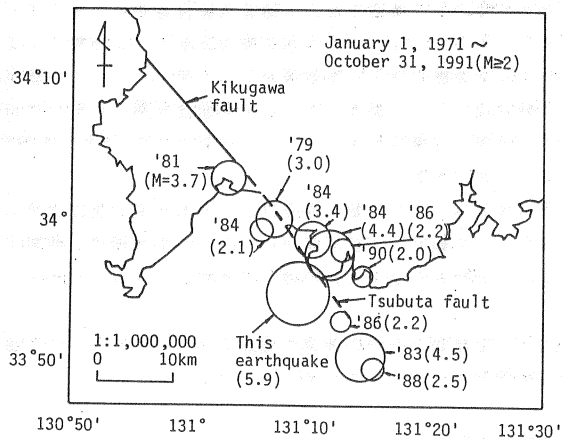


Fig.3 The epicenter of the earthquake(M≥2) occurred along the Kikugawa and Tsubuta faults(January 1, 1991 to October 31, 1991).

地震が頻発している。Fig.3には1971年以降この断層に沿って発生したM=2以上の地震についてその発生年とマグニチュードを示す。これよりある地震の震央位置はその前に起こった地震の震央とは最大でも20km程度しか離れていないことがわかる。Table 2はFig.3の地震の回数を年ごとにまとめたものである。Table 2から1979年以降は隔年ごとに最低一回の地震が発生していることがわかる。

この菊川断層の位置図については文献3)、4)、また津布田断層は文献2)から転記した。津布田断層は先第三紀層に属する津布田・本山岬線の旧構造線古傷が古第三紀の宇部層群が堆積した(約3,700万年前)後に再度活動して生成されたといわれている<sup>2)</sup>。その活動時期は洪積世後期あるいは沖積世初期であることが確認されている<sup>6)</sup>。このように、今回の地震の震央は活断層と認定されている菊川断層の延長線上にあり、活断層と考えられる津布田断層のごく近傍にあるように見受けられる。

Fig.4は下関地方気象台(震央距離 $\Delta=20.6\text{km}$ )<sup>7)</sup>で得られた地震気象であり、地下室に設置した87型電磁式強震計で得られたものである。これより地動の最大水平加速度は64galと求まる。

Fig.5は島地川ダム(新南陽市、 $\Delta=63.8\text{km}$ )<sup>8)</sup>の堤頂でSMAC-Q型強震計によって得られた地震気象で、最大の水平加速度は71galである。また、このダムのすぐ側にあるリムトンネル内で得られた最大の水平加速度は29gal程度であった。同ダムは重力式コンクリートダムで高さ89m、長さ240mである。堤頂部での地震動は約2.3倍に増幅されていることがわかる。

末武ダム(下松市、 $\Delta=69.0\text{km}$ )および荒谷ダム(山口市、 $\Delta=46.4\text{km}$ )に据え付けの地震計は20gal以下の加速度では作動、記録しないように調整されており、今回は作動していないことから<sup>9)</sup>、両ダムのある地域での地動加速度は少なくとも20gal以下ということになる。

今回の地震によって生じた被害のうちで地盤関係分は次節で詳しくのべることにし、それ以外の主なものは次のとおりまとめられる。

宇部市では銀行の壁掛け時計が落下し、一名の方が負傷した。またJR宇部線が約10分間停車した。さらに人家の外壁の一部が剝離したり、亀裂が入ったり、瞬間湯沸器のボイラーが一時停止するなどの被害が発生した。

福岡県ではデパートやタワーのエレベーターが停止したり、新幹線が一時運転を見合わせたり、ビルの外壁の一部が落下した。

Table 2 Number of earthquake(M $\geq$ 2) occurred along the Kikugawa and Tsubuta faults(January 1, 1971 to October 31, 1991).

Year	1971~1978	1979	1980	1981	1982	1983	
Number	0	1	0	1	0	1	
1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
3	0	2	0	1	0	1	1

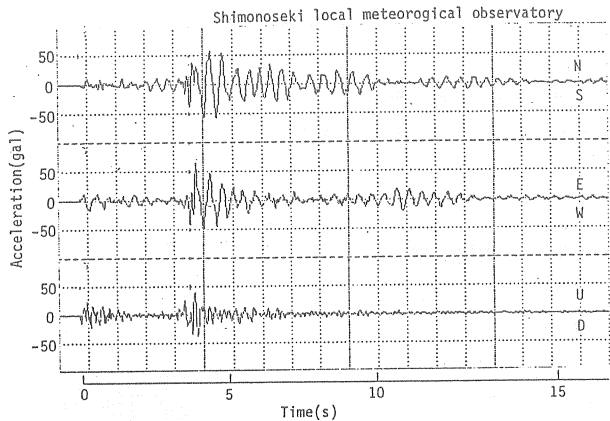


Fig.4 Ground motion at Shimonoseki local meteorological observatory.

### 3. 地盤の被害

#### 3.1 地盤の変位方向

1987年山口県中部地震(M=5.2)の際<sup>10)</sup>と同様に地震によって生じた墓石の転倒、移動量の調査を行い、地盤が変位した方向を求めてみた。

墓石の移動量およびその方向はそれぞれ仏石の中心の移動前の点(0)と移動後の点(0')を結ぶ線分の長さとその線分の向きから求めた(Fig.6)。それらはFig.6に示すように、仏石の二隅で上石に対するその相対変

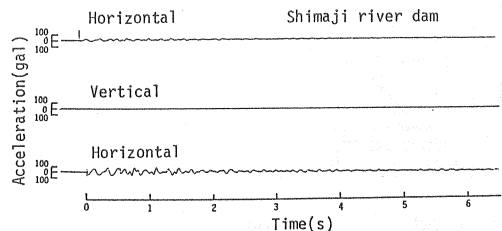


Fig.5 Acceleration obtained at the Shimaji river dam.

位xおよびy方向の変位量から得られた。仏石の方向は方位磁針で測定した。これらの測定結果はTable 3に示す。この表には調査地点と仏石の大きさも示されている。

調査した地点(1~10)はすべて震央から半径12km以内にあり、その位置はFig.7の震央を含む宇部・小野田両市の地図に○印で記入されている。

このうち小野田市波瀬崎(地点4)でみられた墓石が転倒した状況をPhoto.1、移動した例をPhoto.2に示す。

Table3にみられるように、同一地点での数基の仏石の移動方向は必ずしも一致しなかったが、移動方向が卓越している方向を仏石の移動方向と決め、それと逆の方向をもってその地点での地盤の変位方向とした。そうにして求めた地動方向をFig.7の測定点○の横に矢印で示した。墓石の移動が認められなかった地点は○印には矢印は付けていないが、それらは震央を中心とし、半径(R)=7.6kmの円外にあることがFig.6から読み取れる。

Fig.7からR=7.6kmの円内にある地域

Table 3 Results of survey of gravestone.

No.	Place	Dimensions of gravestone(cm)			Amount of movement of gravestone(cm)		Moved direction of gravestone	Moved distance of gravestone(cm)	Date of survey
		Width (B)	Length (L)	Height (H)	(x <sub>1</sub> , y <sub>1</sub> )	(x <sub>2</sub> , y <sub>2</sub> )			
1	Nabekura (Ube)	No movement						0	Oct.28
2	Nakagawa (Onoda)	No movement						0	Oct.28
3	Osue (Onoda)	28.0	30.4	78.4	(0.3,0.3)	(0,-12.0)	E	1.2	Nov.3
		30.0	30.0	77.1	(0.5,-0.2)	(0.4,-10.0)	E0.4° S	0.4	
		27.5	26.0	68.8	(0.8,-0.7)	(2.3,1.2)	N60.2° E	2.3	
		27.6	26.3	68.4	(1.5,0.2)	(1.3,0.4)	N28.0° E	1.5	
		27.1	25.7	69.8	(0.6,0.5)	(0.3,0.5)	N57.4° E	0.5	
		21.3	19.8	54.0	(0,-0.9)	(0,-0.9)	N33.6° W	0.9	
28.5	30.0	76.4	(1.2,0.7)	(1.2,0.7)	S11.8° E	1.5			
4	Hazenoseki (Onoda)	φ=17.5	21.3	24.2	51.8	Fall			Nov.3
		21.3	24.2	57.3	(-1.5,1.3)	(-1.5,1.3)	S40.9° E	2.0	
		38.2	36.7	104.4	(-3.0,3.0)	(-3.0,3.0)	S45.0° E	0.4	
		28.0	28.1	73.2	(1.2,1.0)	(1.2,-1.2)	Rotation	0	
		24.5	23.1	57.7	(0,-0.3)	(0,-0.3)	W	0.3	
		29.8	29.0	114.0	(-2.9,-1.3)	(-3.5,2.8)	S37.0° E	1.5	
27.2	25.5	71.3	(0.3,-0.4)	(0.5,-0.3)	N42.8° W	0.6			
5	Tsumazaki (Ube)	27.0	30.2	74.8	(1.5,-1.5)	(1.3,-1.4)	S49.0° E	2.2	Nov.9
		27.5	27.4	63.5	(0.7,0.2)	(0.8,0.5)	S5.1° W	0.8	
		25.3	25.0	60.7	(-0.5,0)	(-0.5,0)	N10.0° W	0.5	
		28.5	29.7	76.5	(0,-0.6)	(0.5,0)	S55.3° E	0.4	
		27.2	25.3	63.7	(3.5,0.2)	(3.0,-1.8)	S29.5° E	2.8	
		31.5	30.8	77.3	(0.1,-0.7)	(0.8,-0.6)	S73.4° W	0.8	
6	Nakayama (Ube)	No movement						0	Nov.10
7	Iamadachyo (Onoda)	No movement						0	Nov.10
8	Go (Onoda)	No movement						0	Nov.10
9	Nawajigahana (Onoda)	No movement						0	Nov.10
10	Kariya (Onoda)	24.1	22.7	84.0	(2.0,0)	(2.4,-4.3)	N40.0° W	1.8	Nov.10
		21.9	20.2	52.5	(0.7,-0.2)	(0.5,-1.1)	N8.6° W	0.7	
		18.4	19.7	72.8	(2.0,-0.2)	(0.2,-2.0)	N55.4° E	1.8	
		28.5	29.9	75.8	(-0.8,0.5)	(-0.8,0.5)	S17.8° W	0.8	

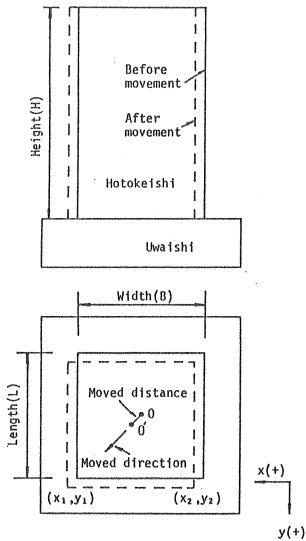


Fig.6 Definition of moved direction and distance of gravestone.

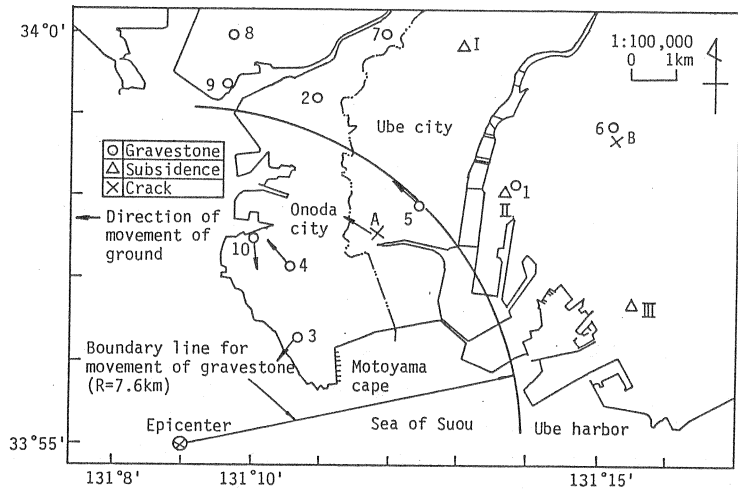


Fig.7 Map showing the moved direction of ground, and the places that the ground subsidences and cracks occurred.

の地動は北西方向に卓越していたことがわかる。この方向は各地点と震央とを結ぶ方向とほぼ直交しており、S波地動方向と一致している。ただ震源にもっとも近い小野田市大須恵では、他の地点での変位方向と直交する南西方向に地動の向きが卓越していた。

Fig.7で小野田市東須恵（地点A）については、後でのべる地割れが観察されたが、この敷地内にある鉄骨造の土木コンサルタントの建物の明確な震動方向（N60°W）から求めた地盤の変位方向が示されている。



Photo.1 Fall of gravestone at Hazenosaki(place 4).

### 3. 2 地盤陥没および地割れ

宇部および小野田両市には石炭採掘後の古洞が縦横無限に分布しており、そのため常時でも地盤の陥没がかなりの頻度で発生している。今回の地震によってそういった古洞および立坑上にある地盤の陥没の発生が助長された。その地点（I、II、III）は Fig.7に示した。その規模と発生日時は Table4にまとめられている。地点 I、II は古洞上に、地点 III は立坑上にある。この立坑は深さ46.7 mにも達し、粗砂、ボタ土などを用いてゆるい状態で埋め戻されている。いずれの箇所も常時、陥没が繰返して発生している地域であるが、Table4にみられるように、今回の地震によって生じた陥没の大きさは最大で幅5m、深さは約2mで、規模は比較的小さい。

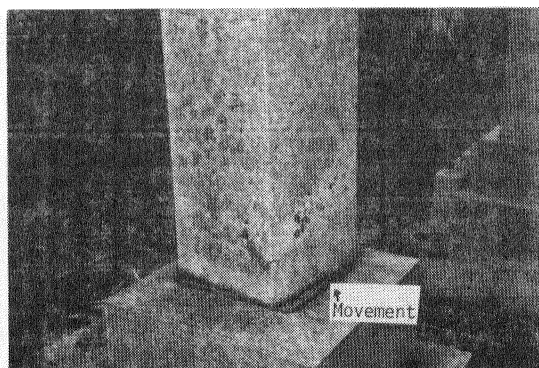


Photo.2 Movement of gravestone at Hazenosaki(place 4).

Photo.3は宇部市居能町（地点II）で発生した地盤の陥没の状況の写真を示す。この地点はこれまで地震が発生しない場合にも繰返して陥没が発生し、ここに立地する木造民家およびレンガ積み塀にはかなり破損が生じている。

地割れは宇部市で2箇所ほど確認したが、その位置はFig.7中にA、Bで示し、その大きさはTable5に示した。これから今回の地割れは長さ1m、幅0.2~0.5cm程度で、小規模であることがわかる。東須恵（地点A）の長さ11mの地割れは先ののべたように、土木コンサルタントの建物の震動によって発生した。この敷地内の地割れの状況はPhoto.4に示す。地割れの長手方向にほぼ平行した向き（N60°W~S60°W）、とくにN60°Wの方向に建物がきわめて強く揺動した。この方向は墓石の移動方向から得られた地盤の卓越した変位方向（NW方向）にかなり近い。この敷地内の地盤柱状図をFig.8に示す。深さ14.9mまでにある表層土はN値が0~8の埋土、砂およびシルトの軟らかい土から構成されているので、その対策として建物の基礎には杭基礎が用いられている。

Table 4 Ground subsidences occurred by this earthquake.

No.	Place	Dimensions of Subsidence(m)			Date of occurrence
		Width (B)	Length (L)	Depth (D)	
I	Konan (Ube)	4.5	4.0	2.3	Immediately after earthquake
II	Inou (Ube)	5.0	4.0	2.2	pm:12:10, Oct.29
III	Iigashi-shinkawa (Ube)	3.7	1.2	2.1	Immediately after earthquake

Fig.8の表層土を構成する各土層のN値を単純に平均して得られたN=3をもって表層土のN値とし、これと式（1）

Table 5 Cracks occurred by this earthquake.

No.	Place	Dimensions of crack	
		Width(B) (cm)	Length(L) (m)
A	Higashi-sue (Ube)	0.2~0.7	1.4
		1.0	11.7
B	Nakayama (Ube)	0.2	0.8

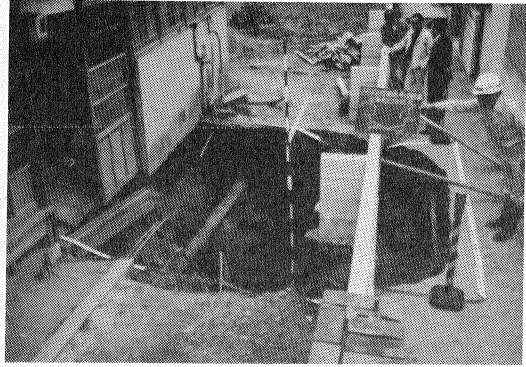


Photo.3 Ground subsidence occurred at Inou(place II).

の今井の式<sup>11)</sup>から地盤のせん断弾性係数Gを求めて、通常の一次元波動伝播式から今回の地震で東須恵に生じた地盤加速度を計算してみた。

$$G=94.0 \cdot N^{0.715} \quad (1)$$

簡単のため、宇部地域の全般的な震度がⅢとなっていることから、この地域の基盤層の入力加速度を25galと考えた。周期はこの地点の基盤層はN値が50以上の砂岩層であることを考慮して経験的に0.2秒とした。

その結果、地盤表面での水平加速度は85galと求まった。地震時にはこの敷地内の建物の揺れによって内部の壁に数本の亀裂が発生し、また建物と地盤との間には長さ11mにわたって最大で幅1cm程度の隙間(地割れ)が発生したことから、この程度の地動加速度がごく短時間には東須恵に生じたと考えられる。

宇部市中山(地点B)で発生した地割れ地点を含む一帯は過去にも規模は小さいものの、常時地すべりが発生している地域である。この地域の地盤はおおむね深さ3mまでは頁岩が著しく風化した土(N値=2~3)、さらに7mまでは同岩がやや風化した土(N値=20)、7m以深は頁岩(N>50)から成り表層土のN値がかなり小さい。

同地点では長さ90cmの庭石が高さ約70cmの石垣の上から落下し、また木造民家の内部の土壁には数本の亀裂が発生した(Photo.5)。

以上にのべたように地盤の陥没と地割れはとくに地盤条件が良くないところに発生し、今回の地震によってそれらが助長されたことが特記される。今後、この地域に被害を発生する地震としては菊川断層～津布田断層に沿った位置に震央をもつM=6級の地震が考えられるが、それが発生した場合には、宇部市および小野田市では古洞の存在に起因する地盤陥没による被害が今回とは比較にならぬほどに多くの箇所が発生することが杞憂される。今後、両市での地震による地盤の陥没は地域的な災害の問題としてとらえ、今後それに対する調査と対策が必要であろう。



Photo.4 Crack occurred at Higashisue(place A).

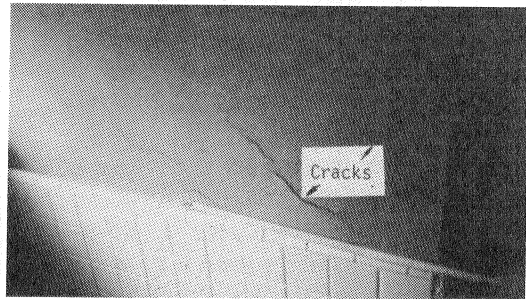


Photo.5 Crack occurred in mud of house at Nakayama(place B).

4. まとめ

1991年10月28日、周防灘西側で発生する地震としては最大級のものである周防灘地震 (M=5.9) が発生した。

われわれは地震直後から地震気象の資料を収集する一方、墓石の移動量、地盤の被害に関する調査を行い、次にまとめる知見を得た。

1) 震央は小野田市本山岬の南端から西南西方向約3.3kmにあり、菊川断層の延長線上にある津布田断層のごく近傍にあった。

2) 地動の水平加速度は下関地方気象台で64gal、島地川ダム堤頂で71galが得られた。

3) 墓石の移動は震央から半径7.6km以内の地域で確認された。

4) 墓石の移動方向と震源近くの建物の揺れの方向から震源近くの宇部・小野田両市の地盤の変位は北西方向に卓越していた。その方向は各地点のS波の方向と一致している。

5) 宇部市でいずれも小規模の地盤の陥没が3箇所および地割れが2箇所ほど確認されたが、それらの地盤条件は良くはなかった。すなわち、前者は古洞および立坑上の地盤で発生し、後者はN値が0~3の非常に軟弱な地盤において起こった。陥没の幅は最大で5m程度、深さは約2m程度であり、地割れは長さ1m、幅0.2~0.5cm程度のものであり、いずれも規模は小さい。

6) 今後も菊川断層~津布田断層に沿った位置に震央を有するM=6クラスの地震の発生が考えられるが、その場合には、5)の結果から考えて宇部市、小野田市では古洞、立坑の存在に起因する地盤陥没の被害が多発することが予想されるので、この問題に対して調査、対策が必要であろう。

最後に、地震気象は下関地方気象台の日吉昭伸氏、島地川ダム管理支所の音田育宏氏、過去の山口県下の地震図は福岡管区気象台から快く御提供して戴いた。音田氏には地震計の設置場所に案内をして戴くなど労を煩わせた。また県からは県下の今回の地震気象の記録状況を御教え戴いた。

墓石の調査に際しては、未曾有の大災害を引き起こした1991年9月27日の台風によって被害を受けた墓石ではなく、地震によって明らかに移動したものを対象としたが、その判断には墓地に近接する寺院の方からの貴重な証言が役立った。ここに記して以上の方々に対して厚く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 福岡管区気象台(1991): 1991年10月下旬「管区内地震活動図」補足。
- 2) 瀬戸弘之(1972): 宇部炭田(とくに海底)における新知見について、岩井淳一教授記念論文集、pp. 295~308。
- 3) 活断層研究会編(1991): 新編日本の活断層分布と資料、東京大学出版会、pp.334。
- 4) 山口地学会編(1984): 山口県地学のガイド、コロナ社、pp.271。
- 5) 福岡管区気象台(1991): 1971年1月1日~1991年12月31日までの山口県及びその周辺の地震活動図(平面及び断面図)。
- 6) 松本隆一・柴田哲晴(1959): 宇部炭田津布田断層帯について、日本鉱業会誌、pp.845~848。
- 7) 下関地方気象台(1991): 1991年周防灘地震気象。
- 8) 島地川ダム管理支所(1991): 1991年周防灘地震気象(島地川ダム)。
- 9) 山口県土木建築部(1991): 私信。
- 10) 大原資生・山本哲朗(1988): 1987年山口県中部地震について、山口大学工学部研究報告、39巻、1号、pp.149~158。
- 11) 土質工学会編(1982): 土質工学ハンドブック、pp.367~368。

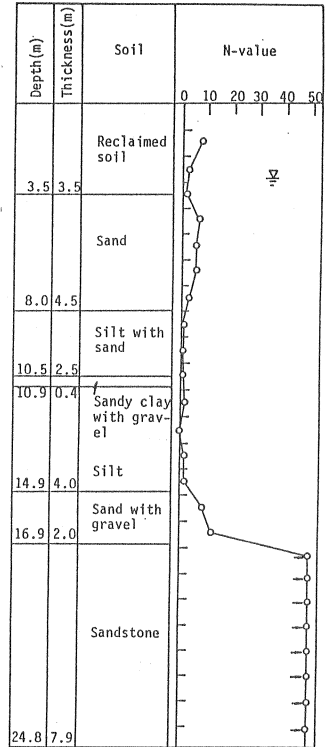


Fig.8 Soil profile at Higashi-sue(place A).