

1987年山口県中部地震について

大原資生*・山本哲朗**

On the 1987 Yamaguchiken-Chube Earthquake (M=5.2)

Sukeo ŌHARA and Tetsuro YAMAMOTO

Abstract

On December 18, 1987, an earthquake (M=5.2) of which the epicenter was located about 10km north of Yamaguchi city occurred. We refer to this earthquake as the 1987 Yamaguchiken-Chube Earthquake.

In this report, first, an outline of this earthquake and damages of the grounds and structures, etc. are described briefly.

Second, studies on the slope stability analysis, the condition on the fall of gravestones, and the acceleration of the ground during the earthquake were performed. As a result, it was shown that the peak surface acceleration developed in Yamaguchi city was in the range of 150-220gal.

1. 緒言

山口県には年平均3回程度の有感地震が発生し¹⁾,また過去には Fig. 1 に示すように, 1898年の萩沖の地震(マグニチュード M=6.8)を初めとして, 比較的規模の大きい地震がいくつか発生している。

1987年11月18日未明に山口市の北東10kmの位置に震源をもつM=5.2の内陸直下型の地震が起きた。本文において, われわれはこの地震を「1987年山口県中部地震」と呼ぶことにする。

震度階は山口市で最高のIVであった。

この地震による負傷者は2名出たが, いずれも器物の落下によるもので, 各種の構造物, 地盤などの被害は軽微なものであった。

本報告では最初に今回の地震およびそれによる被害のあらましを簡単にのべた。さらに, 地震後に震源付近を含む, かなり広範囲の墓石の転倒および移動状況の調査を行い, また斜面のすべり崩壊に対する安定計

算を行った。これらの結果にもとづいて, 地震時に地盤に生じたと考えられる加速度の大きさおよび地盤の動いた向きを推定した結果などをのべた。

2. 地震の概要

1987年11月分の気象庁震源速報によると, 今回の山口県中部地震は直下型で11月18日0時57分22.4秒に発生し, マグニチュードMは5.2である。震源の位置は山口市の北東約10km, 北緯34°14.31', 東経131°27.45'の位置である。震源の深さは8.38kmである。

震央の位置は Fig. 1 の中に黒丸印で示している。この図には, 1676年~1984年間に山口県に発生した地震の中で山口県内に震源をもち, さらに地震の大きさおよび震源地がわかっているものを文献²⁾からとり出して示した。白丸印の上の数値は地震のMの値を, また下の数値は地震の発生した年を表す。

Fig. 1 からわかるように, 今回のようなMの比較的大きい直下型の地震は, 1941年に発生したM=6.2の阿武郡須佐町に震源をもつ地震以来のものである。

震度階は山口市でIV, 下関市でIII, 大分, 萩, 福岡, 熊本, 浜田, 松山, 宇和島でII, 佐賀, 広島でIであっ

*宇部工業高等専門学校

**工業短期大学部土木工学科

た。

本震以後11月24日までの余震の発生状況は、Fig. 2 に示す³⁾。なお、本震から11月29日の14時15分までの余震の発生数は、本震も含めて45回にも達したとのことである⁴⁾。

次に山口県内で得られた2, 3の地震記象についてのべることにする。

Fig. 3 は下関地方気象台のある5階建ての鉄筋コンクリート造の建物の地下室で得られた地震の変位波形の記録を示す。この記録は倍率100倍の変位型地震計によって得られたものである。この記録に見られるように、東西および南北方向の変位振幅は、記録紙幅以上の値に達している。

なお、同じ建物の5階にある機械式の変位型地震計(倍率1倍)で測定した変位振幅は0.6mmであった。

山口市の北東約4kmにある重力式の荒谷ダムの堤頂で測定した、ダムの堤軸および直角方向、上下方向の加速度振幅の最大値はそれぞれ66gal, 146gal, 113gal

であった⁵⁾。このダムの堤高は56m, 堤頂長は160mである。

さらに、新南陽市にある島地川ダム(堤高: 89m, 堤長: 240m)で得られた加速度振幅の最大値は15galであった⁶⁾。

3. 地震による被害

通常、地震のMが6以上になると、地盤、土木構造物を含めた各種の構造物の震害が急激に大きくなることがわかっている。

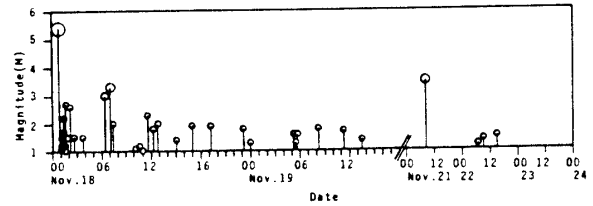


Fig. 2 Condition of aftershocks (From JMA Fukuoka).

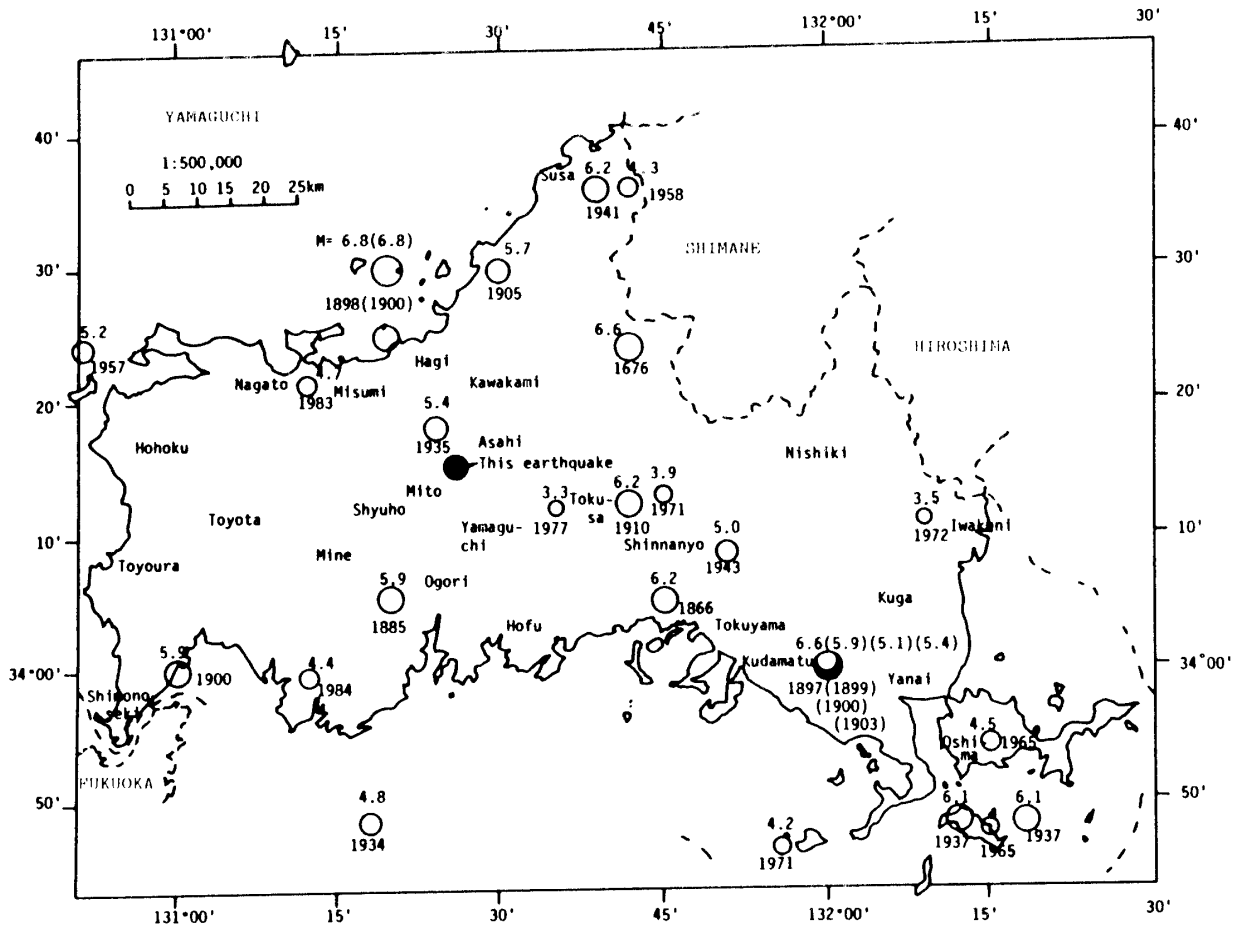


Fig. 1 Map showing the magnitude and epicenter of the earthquake occurred in Yamaguchi for the years 1676 through 1984 (From Yamaguchi prefectural government).

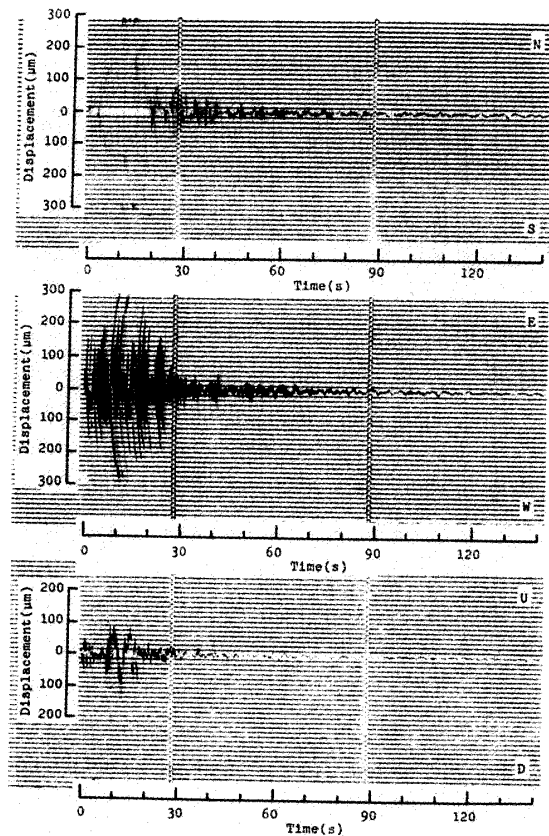


Fig. 3 Ground motion at Shimonoseki local meteorological observatory.

今回の地震は $M=5.2$ であったので、山口市で負傷者が2名出た他は、地震による被害は比較的軽微であった。ここでは、被害が比較的によく発生した、山口市の被害を中心として、それらのいくつかを列挙しておく。

デパート内のシャンデリア、陳列物の落下(山口市)、地割れ(山口市亀山町亀山公園 (Photo. 1) : 幅約6 cm, 長さ2~3 mの亀裂が数本, 美東町川上上 (Photo. 2) : 幅2.5 cm, 長さ6 mの亀裂が一本, 山口市緑ヶ岡団地 : 幅8~9 cmの亀裂), 木造家屋の全壊(吉敷郡滝河内), コンクリート造りの建物の壁に生じた亀裂(亀山公園 (Photo. 3)), 木造家屋の壁に生じた亀裂(山口市黒川 (Photo. 4)), 石積み造り基礎の石の移動(旭村深瀬 (Photo. 5)), 窓ガラスの破損(山口市), 水道管の継ぎ手部分の破損(山口市)。

その他、特に震源地の南方では墓石、石碑、石燈籠の転倒および移動の被害が多く見られたが、これについては次節でのべることにする。

4. 地震によって生じた墓石の転倒・移動の調査および墓石の移動から推定した地盤の動いた向き

地震が発生した翌日11月19日から12月13日の間、延

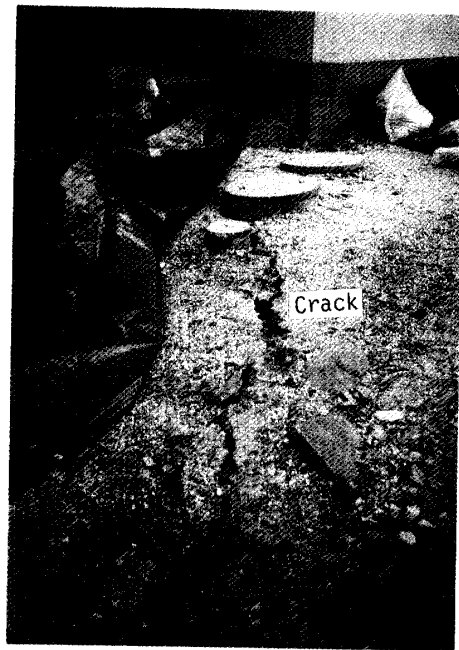


Photo. 1 Crack in the ground at the Kameyama Park (From Yamaguchi Prefecture).

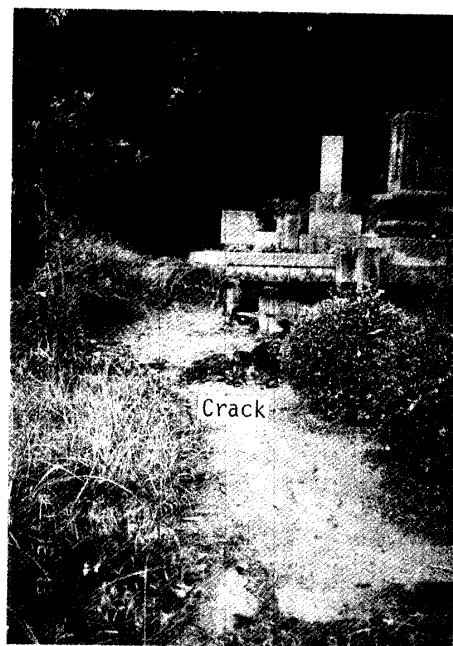


Photo. 2 Crack in the ground at ㊸ Kawakamiki.

べ日数6日にわたって、地震によって生じた墓石の転倒および移動状況を調査した。調査の目的は地震によって地盤が動いた方向および地盤に生じた加速度を求めることである。

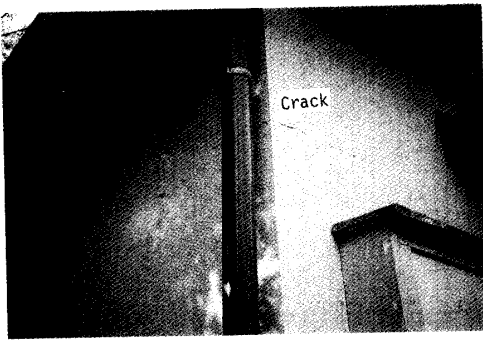


Photo. 3 Crack in the concrete structure at the Kameyama Park (From Yamaguchi Prefecture).

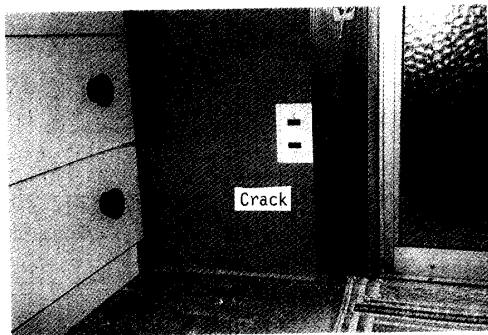


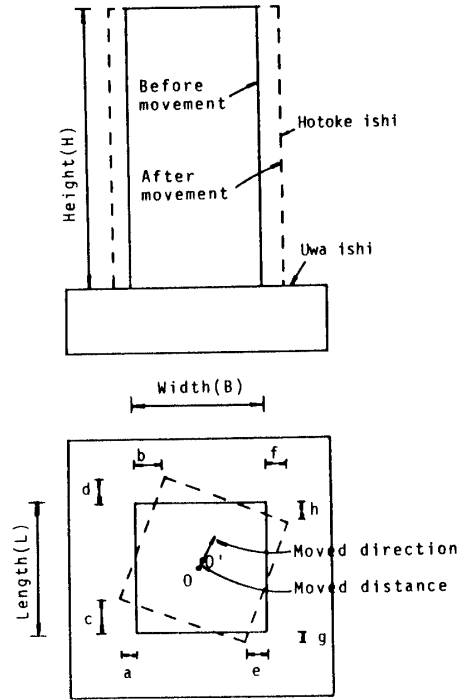
Photo. 4 Crack in the wooden house at ① Kurokawa.



Photo. 5 Movement of the masonry foundation at ② Fukase.

調査の対象とした墓地は、震源地の周囲にある国道および県道沿いにある、墓石が5基以上ある墓地ならびに寺院内の墓地である。すなわち、調査地域は旭村、山口市、吉敷郡、美東町、阿東町、小郡町、阿知須町、徳地町、宇部市である。

Table 1 は各調査地ごとに調査日、墓石の大きさ、墓石が移動した量および向きをまとめたものである。この表の中での①黒川、②長登および③銭谷の墓地は



Symbols a, b, c, d, e, f, g, h indicate amount of movement of gravestone in the positive values.

Fig. 4 Definition of dimensions, moved direction and distance of gravestone.

平坦な地盤上にあったが、その他は粘土質地盤からなる山腹の斜面上にあった。調査地は Fig. 5 の地図に示されている。

Table 1 中の a, b……h は、Fig. 4 に示すように、墓石の四隅の移動した長さをもって表され、金尺を用いて測定した。

また、地震による墓石の移動量、移動方向は Fig. 4 に示したように、地震前後の墓石の中心の移動量およびその方向をもって定義した。移動方向は、あらかじめ移動前の位置での墓石の向きを磁石によって測っておくことで求めた。

墓石が転倒したものは、Table 1 に Fall と記入した。

Photos. 6 (a) ~ 6 (e) は墓石が転倒、移動あるいは破損した例の写真である。Photo. 6 (a) の③中尾西の墓地に見られるように転倒した墓石は古いもので、単に墓石を上石にのせただけの形式のものであった。この種の墓石の転倒は①黒川、②幸山町、③植竹、④大石でも見られたが、特に①黒川の墓地では79基中、7基の墓石に転倒が生じた。これに対して、墓石を下石にモルタルで固着した形式の新しい墓石には移動が全く認められない場合があった。その顕著な例は⑤銭谷の墓地で見られた。

Table 1 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 (D)	Height (H)	a	b	c	d	e	f	g	h				
1	Kurokawa (Yamaguchi)	10.0	17.0	45.0	Fall									S 40.0°W	—	Dec. 2
		16.7	23.9	55.0	Fall									N	—	
		13.0	20.5	49.2	Fall									N 10.0°W	—	
		22.0	15.2	55.8		-1.0	-2.0	-5.0	-1.4	-0.8	-2.6	-4.0	-3.8	S 34.0°E	1.8	
2	Kozanchyo (Yamaguchi)	21.1	21.5	53.0	0.8	1.8	0.3	0.1	0.4	1.5	1.2	1.5		N 78.6°W	0.8	Dec. 5
		28.0	27.7	71.8	1.8	0.7	1.0	1.0	0.8	1.0	0.5	0.2		N 88.7°W	0.7	
		27.6	27.4	70.8	0.7	0.7	0.5	0	1.5	0.2	0.4	1.0		S 14.8°E	0.4	
		30.5	30.3	81.0	0.4	0.8	0.2	0.2	0.4	0.5	0	0.3		N 4.8°E	0.2	
		27.3	27.1	72.5	1.7	1.0	1.4	1.0	1.7	0	1.1	1.5		N 49.3°W	0.6	
		27.3	27.3	69.7	0.5	0	0.4	0.3	1.2	0.7	0.3	0.9		S 42.2°E	0.6	
		27.5	26.8	116.4	1.5	1.5	2.0	1.0	1.5	1.7	1.3	1.5		S 30.3°W	0.1	
		27.6	27.2	69.7	1.5	1.0	0.2	0	1.2	0.7	1.9	2.0		S 37.1°E	0.6	
		28.3	29.0	68.5	1.0	-1.0	-0.9	0.9	1.0	-1.0	0.9	0.9		S 59.5°W	0.7	
		29.9	28.0	82.3	1.5	1.0	1.3	0.6	1.5	0.8	0.7	1.0		N 76.2°W	0.5	
		45.5	42.8	121.6	-1.5	0	-1.2	-1.3	-0.3	0.5	-0.5	-0.2		S 41.4°E	1.0	
		24.3	15.2	59.0	1.5	0.8	1.1	1.0	1.2	0.5	1.5	1.7		S 89.8°W	0.9	
		25.8	26.0	63.6	0	0.5	0.7	0.3	0.9	0.8	0.6	0.3		N 33.0°E	0.3	
		24.3	22.6	54.5	Fall									N 60.0°E	—	
3	Kawakami (Ube)	No movement											0	Dec. 6		
4	Furogasako (Ube)	No movement											0	Dec. 6		
5	Okayama (Ajisu)	No movement											0	Dec. 6		
6	Maeda (Ube)	No movement											0	Dec. 8		
7	Okada (Yamaguchi)	No movement											0	Dec. 8		
8	Maruoki (Yamaguchi)	No movement											0	Dec. 8		
9	Kurokawa (Yamaguchi)	22.6	21.5	63.9	0.3	-0.3	-0.7	-0.7	0.3	-0.3	0.7	0.7		S 80.0°W	0.7	Dec. 8
		24.0	15.8	58.5	-1.8	-0.3	-0.2	0	-1.0	-0.5	-2.9	-2.0		S 39.4°E	1.7	
		25.9	18.1	60.4	-0.4	0	0.1	0.3	-0.5	-0.2	-0.8	-0.5		S 37.9°E	0.7	
10	Sakurabatake (Yamaguchi)	16.0	12.7	39.8	1.2	3.0	4.3	3.2	1.5	1.7	1.0	2.0		N 33.3°E	1.5	Dec. 8
		26.0	16.2	60.8	1.5	-0.2	1.0	1.0	1.0	-1.0	-2.0	-2.0		N 64.2°E	1.8	
		27.0	27.0	69.2	-1.0	0.4	0.2	0.1	-1.4	0.2	-1.0	-0.8		N 56.3°E	1.0	
		19.0	10.8	45.7	1.8	-1.8	1.9	1.9	1.8	-1.8	-1.9	-1.9		N 12.8°E	2.6	
		24.1	23.0	62.8	0	0	0.5	0.5	0	0	-0.5	-0.5		N 15.0°E	0.6	
		27.5	26.7	72.3	-0.8	0.1	-0.7	-1.1	-0.4	0.4	0.4	0.5		N 7.9°E	1.0	
28.7	13.0	59.0	0.2	1.5	0.1	0	0	1.0	2.4	3.0		S 33.0°W	1.4			
11	Niho (Yamaguchi)	28.3	28.1	68.9	-1.2	0	0	-0.8	-0.1	-0.8	-1.0	-0.1		S 23.5°E	0.1	Dec. 8
		24.5	24.5	63.8	0.2	0	1.0	1.0	0.3	-0.5	-1.1	-1.5		N 54.3°E	1.4	
12	Nihoichi (Yamaguchi)	No movement											0	Dec. 8		
13	Nihokongo (Yamaguchi)	No movement											0	Dec. 8		
14	Nihokatsurazaka (Yamaguchi)	No movement											0	Dec. 8		
15	Notani (Tokuji)	No movement											0	Dec. 8		
16	Daidoki (Tokuji)	No movement											0	Dec. 8		
17	Watarikawa (Ato)	No movement											0	Dec. 8		
18	Hayashi (Ato)	No movement											0	Dec. 8		
19	Sasanami (Asahi)	No movement											0	Nov. 19		
20	Domaekuchi (Asahi)	No movement											0	Dec. 8		

21	Nagase (Asahi)	No movement										0	Dec. 8		
22	Yamatekami (Ogori)	No movement										0	Dec. 8		
23	Naganobori (Mito)	16.4	13.4	43.2	1.5	4.0	4.0	2.6	3.6	1.8	3.0	3.5	S 81.9°W	0.2	Dec. 10
		18.7	15.5	46.8	1.9	2.3	2.3	2.0	2.0	1.8	2.8	3.1	S 69.1°W	0.4	
		20.2	16.7	51.4	0	0	2.0	2.0	0	0	-2.0	-2.0	N 85.0°W	2.0	
		21.7	18.1	53.0	0.5	-0.5	1.0	1.0	0.5	-0.5	-1.0	-1.0	S 46.5°W	1.2	
		33.5	25.7	38.2	3.1	3.0	4.0	3.5	3.3	2.2	3.5	3.6	S 39.6°W	0.4	
24	Naganobori (Mito)	No movement										0	Dec. 10		
25	Uetake (Hrto)	24.5	22.3	62.5	3.5	-3.5	0.8	0.8	3.5	-3.5	-0.8	-0.8	S 60.0°W	3.6	Dec. 10
		35.0	31.1	92.8	2.5	2.7	2.0	2.0	2.8	2.1	4.0	4.0	N 25.3°W	1.0	
		30.6	30.5	80.0	3.0	3.5	3.7	3.0	3.7	3.0	2.6	3.0	S 11.3°W	0.3	
		31.0	28.1	79.6	-0.4	1.0	0.2	0.3	-0.6	0.8	0.3	0.3	S 23.3°W	0.8	
		27.5	27.5	73.0	-0.5	2.5	-2.0	2.5	0	2.0	3.7	4.0	S 68.5°W	1.0	
32.0	27.6	85.0	1.2	1.5	0.8	1.0	1.3	0.8	2.0	2.0	S 85.0°W	0.4			
26	Sasagatoge (Mito)	No movement										0	Dec. 10		
27	Nihotsukami (Ogori)	21.4	19.8	52.5	0.5	-0.5	1.0	1.0	0.5	-0.5	-1.0	-1.0	N 14.2°E	1.1	Dec. 13
		21.1	21.1	78.5	2.0	-2.0	-0.8	-0.8	2.0	-2.0	0.8	0.8	N 42.6°W	2.0	
		24.4	17.5	59.6	-0.5	-1.0	-1.1	-1.0	0	-1.2	-1.0	-1.2	N 24.0°W	0.5	
		24.4	18.2	59.7	-0.8	-0.5	-1.0	-1.2	-1.4	-0.5	-1.2	-1.0	N 19.6°E	0.2	
		21.5	20.6	83.0	0.8	-0.8	0.5	0.5	0.8	-0.8	-0.5	-0.5	N 71.9°W	1.0	
24.2	24.1	59.8	0.6	-0.6	-1.4	-1.4	0.6	-0.6	1.4	1.4	S 33.4°W	1.5			
28	Sahata (Yoshiki)	27.4	25.6	72.4	-0.4	0.4	0.5	0.5	-0.4	0.4	-0.5	-0.5	S 85.0°W	0.6	Dec. 13
		27.2	27.3	70.2	-1.0	-0.1	0.5	0	-0.8	-0.2	-1.9	-1.9	S 60.2°W	1.2	
		30.5	30.5	76.0	0.4	0.4	-2.3	-2.5	0.2	0.5	3.2	3.2	S 50.5°W	2.8	
		27.2	27.4	71.2	0.3	-3.3	0	0.1	0.4	-3.5	-3.0	-2.6	N 84.1°E	2.2	
		27.4	27.1	7.3	-1.8	1.8	-0.2	-0.2	-1.8	1.8	0.2	0.2	N 13.4°W	2.0	
29	Takigochi (Yoshiki)	25.8	25.8	64.1	-2.3	-2.5	-2.2	-2.7	-1.9	-2.8	-2.9	-2.0	N 18.4°E	0.2	Dec. 13
		27.2	27.3	70.8	-1.5	-0.5	-2.0	-2.0	-1.8	-0.8	-0.8	-0.8	S 73.3°W	0.7	
		27.5	27.5	72.4	0.2	-1.3	-1.1	-1.0	0	-1.3	0	-0.2	S 85.8°W	0.8	
30	Nakaonish (Yoshiki)	23.0	22.2	78.7	-4.0	-1.0	-1.8	-2.2	-3.5	0.5	-0.7	-0.2	S 7.5°E	2.1	Dec. 13
		24.0	23.9	63.4	-2.5	0	-4.4	-5.0	-2.5	-0.7	1.0	1.7	S 5.8°W	3.0	
		27.3	27.4	76.0	-2.0	-1.0	-1.3	-1.5	-2.0	-1.0	-2.0	-1.6	N 2.1°E	0.6	
		27.3	27.5	71.7	0.5	-0.5	0	0	0.5	-0.5	0	0	N 30.0°W	0.1	
		30.5	30.3	78.7	-3.5	-3.9	-0.8	-1.2	-1.8	-2.8	-3.7	-3.5	N 12.6°E	0.7	
		27.1	26.9	75.3	0.5	-0.5	0.5	0.5	0.5	-0.5	-0.5	-0.5	N 19.8°E	0.7	
		23.0	22.3	91.0	-1.8	0.2	-1.5	-1.5	-1.2	-0.5	0	0	S 13.0°W	1.0	
28.5	28.6	59.8	Fall									?	-		
31	Takatsu (Asahi)	No movement										0	Dec. 13		
32	Fukase (Asahi)	No movement ?										0	Dec. 13		
33	Kurogatani (Asahi)	22.7	15.5	51.9	0	0	0.5	0.5	0	0	-0.5	-0.5	N 70.0°W	0.6	Dec. 13
34	Yokose (Asahi)	No movement										0	Dec. 13		
35	Zeniya (Mito)	No movement										0	Dec. 13		
36	Kawakamikami (Mito)	31.2	27.5	81.6	-1.5	2.4	1.5	1.0	-1.5	1.5	0.5	0.5	S 33.1°E	1.5	Dec. 13
		29.7	29.5	79.2	0	1.0	0.8	0.5	0.3	0.5	0.3	0.3	S 30.4°E	0.3	
		30.5	30.4	78.5	4.0	4.5	5.0	3.5	4.0	3.0	3.0	3.0	N 42.3°E	1.4	
		20.7	17.3	49.8	0.8	-0.8	1.0	1.0	0.8	-0.8	-1.0	-1.0	N 40.9°E	1.2	
		30.2	30.4	80.0	-0.4	0.4	-1.4	-1.4	-0.4	0.4	1.4	1.4	S 52.0°W	1.4	
37	Oishi (Mito)	24.3	23.6	62.9	-0.2	-0.2	-0.8	-0.8	-0.2	0.2	0.8	0.8	S 24.5°W	0.8	Dec. 13
		27.7	25.3	69.5	-0.9	-0.2	-0.8	-1.3	-0.8	0	0.2	0.5	S 11.9°W	1.0	
		21.2	18.8	50.8	-1.5	-0.5	-0.5	-0.5	0	-0.5	0	0	S 15.1°W	0.6	
		20.6	20.5	51.3	Fall									?	



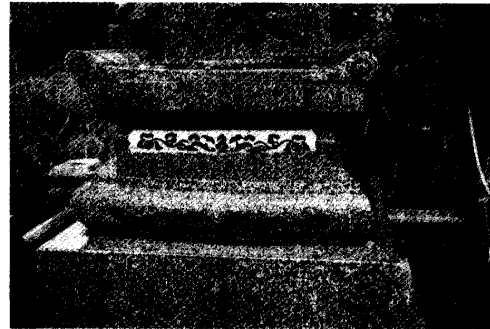
(a) ③⑩ Nakaonishi.



(d) ② Kozanchyo.



(b) ②③ Naganobori.



(e) ②⑤ Uetake.



(c) ②③ Naganobori.

Photo. 6 Examples of fall and movement of gravestones.

Photo. 6 (c) は Photo. 6 (b) と同じ場所の②③長登の墓石に見られた、上石の下にある、下石が移動した例を示したものである。この種の下石の移動による破損は②⑤植竹、②⑧佐畑の墓地でも見られた。Photo. 6 (e)は②⑤植竹での陶器製の墓石が破損した例を示す。

以上のべたことから、今回の地震による墓石の被害は①黒川、②幸山町、③長登、⑤植竹、⑧佐畑、⑩中尾西で顕著であった。特に、⑧佐畑では石燈籠がすべて転倒などの被害を受けた。

上でのべたように、墓石の下石への据付けの方法によって墓石の転倒・移動状況が異なってくるのがわかったので、移動量、移動方向を調べるための墓石としては、墓石の底面が滑らかであり、墓石と下石との間の固着の度合が小さく、比較的大きく移動したもの

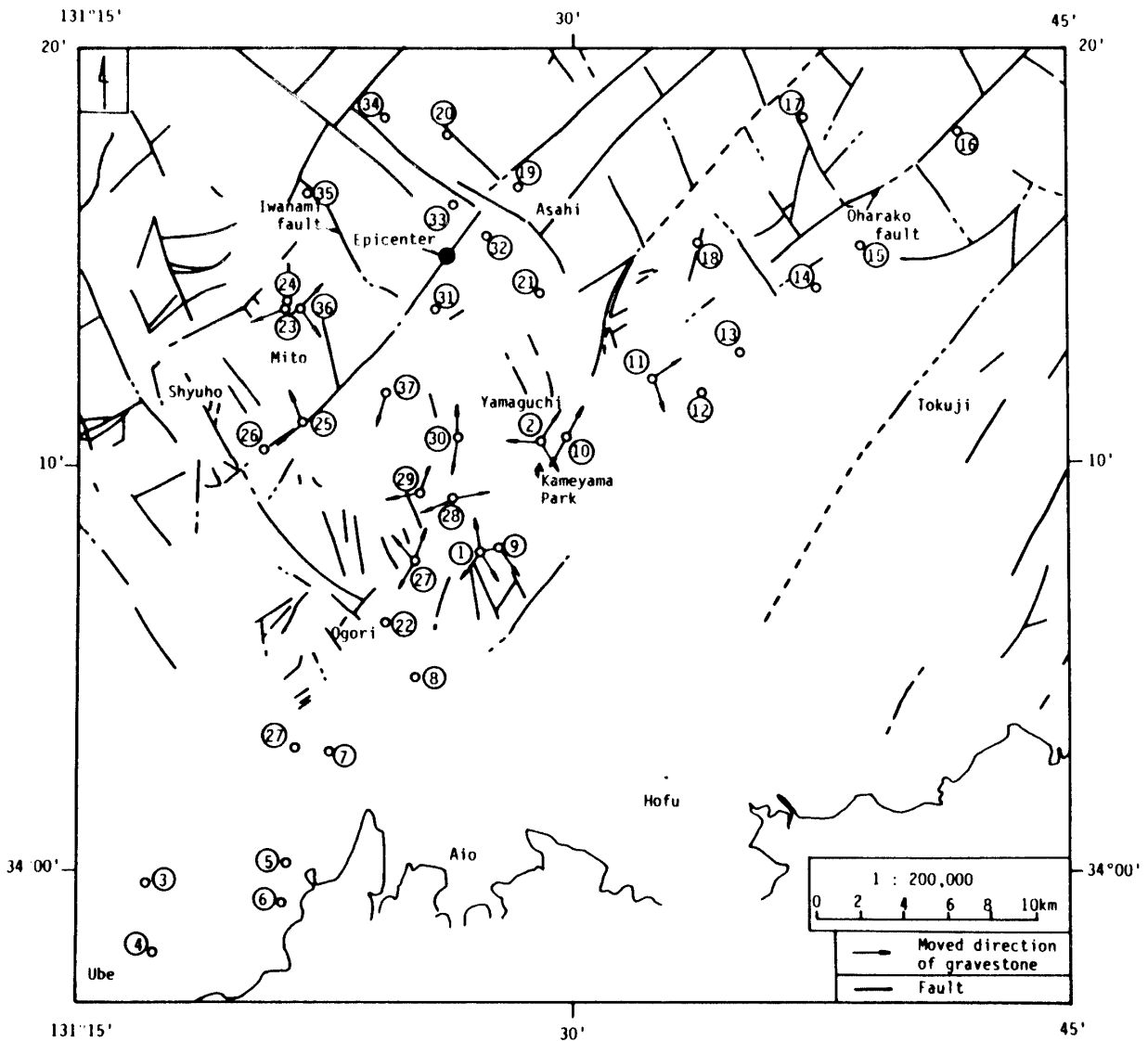


Fig. 5 Moved direction of gravestone.

に限定した。

次に、地震によって移動した墓石については、その移動量を方位図にスカラーで表し、それぞれの調査地における墓石の平均的な移動方向を求めることにした。この方向は地震によって生じた地盤の変位した向きとの逆方向を与えるものと考えられる。

以上の方法で求めた墓石の移動方向を各調査地ごとに示した図が、Fig. 5である。図中、墓石が移動しなかった場合には調査地点に○印だけが描かれている。同図には、現在までに確認されている断層線⁷⁾および今回の地震の震央も示されている。

Fig. 5からわかるように、今回行った調査範囲内では、震央の北側にある墓石には動きが全く認められなかった。また、全体的にみて墓石の移動した向きは、

北東、南西方向およびそれらとほぼ直交する2つの方向の計4つあることがFig. 5から読みとることができる。そこで、Fig. 5中の全部の墓石の移動した向きを用いて4つの向きのそれぞれの平均値を求めることで、その4つの向きを決めた。その結果、その向きはN35.2°E, S47.3°W, N41.2°W, S32.4°Eと求めることができた。すなわち、地震動を受けた地盤は、P波、S波による動きによってこれら4つの方向に動いたものと考えられる。

このうち、N35.2°E-S47.3°Wの方向は、震央の位置する断層線の向き、すなわちN35°E-S43°Wの方向に一致するようである。しかし、今回の墓石の移動方向の決定方法ならびに移動方向のばらつきなどを考慮すると、今回の地震とこの断層との関連性については

明らかではなく、今後、この断層の調査をも含めた、より詳細な調査が必要と考えられる。

なお、Fig. 5の中では、その断層名を記入した大原湖断層および岩波断層だけが活断層といわれている²⁾。

5. 地震時に地盤に生じた加速度

ここでは地震によって生じた墓石の転倒および斜面のすべりに対する条件を検討することで、地震時の地盤の加速度の大きさを求めてみた。

まず、墓石の転倒に対する条件式(1)を用いて地震時に地盤に生じた水平震度 k_h を求めることにする。計算に用いた墓石は、Table 1の①黒川の墓石の中で、底面の仕上げがよく、さらに転倒したもの(幅 $B=10.0$ cm, 長さ $L=17.0$ cm, 高さ $H=45.0$ cm)である。ただし、計算では鉛直震度 $k_v=0$ と仮定した。

$$B/H = k_h / (1 - k_v) \quad (1)$$

計算によって得られた地盤の k_h は0.222, すなわち水平加速度は約220gal となった。

次に、山口市亀山公園で見られた斜面のすべりによって生じた崩壊に対する安全率から、地震時の地盤の加速度を求めることにする。

Fig. 6に示すように、斜面④、⑤の2箇所で崩壊があり、Fig. 7には斜面④のすべり面の位置および土質定数が示されている。ボーリング位置 BV(A)-1, 2はFig. 6に示されている。斜面④の、のり肩では、地割れおよび建物内の亀裂が生じたが、その写真はそれぞれ Photos. 1, 3に示した。

地震力による斜面のすべりに対する安全率を計算する式(2)を用いて、斜面が崩壊する時、すなわち安全率 F が1.0となる場合の地震の水平震度 k_h を求めることにした。

$$F = \frac{(N - T \cdot k_h) \cdot \tan \phi + c \cdot l}{T + N \cdot k_h} \quad (2)$$

ここで、 N, T : すべり面に働く全垂直力および全水平力, ϕ, c : 土の内部摩擦角, 粘着力, l : すべり面の長さ。

斜面④で深さ11.5m までにある砂質シルトは $\phi \approx 30^\circ$, $c=9.8kPa$ であるが、著者の一人の地震時土圧に関する研究成果⁹⁾によって、地震時には ϕ は小さくなるのがわかっているので、計算では一応 $\phi=25^\circ$ として計算を行ってみた。

その結果、④、⑤斜面がすべりを生じる時の水平震度 k_h は、それぞれ0.156, 0.042となった。すなわち、④、⑤斜面にはそれぞれ153gal, 42galの加速度が生じたことになり、25m程度しか離れていない④、⑤斜面

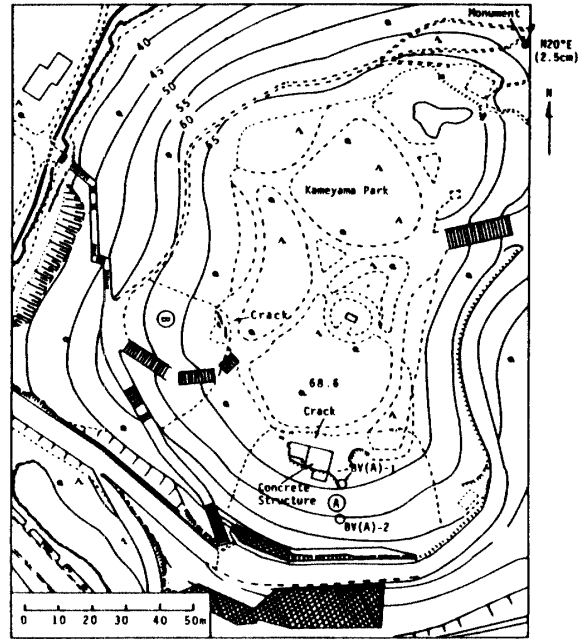


Fig. 6 Locations of slopes A, B and cracks in the ground at the Kameyama Park.

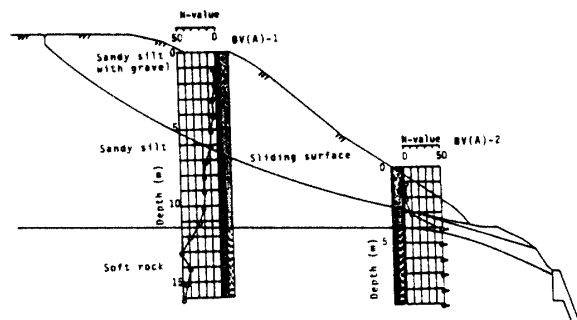


Fig. 7 Sliding surface and N-value of the ground in slope A.

での加速度が4倍近くも異なる結果となったが、これは次のように考えられる。

Fig. 6の右上にある石碑は、地震によって $N20^\circ E$ の向きに約2.5cm動いた。この方向は斜面④のすべり面の方向にほぼ一致し、また斜面⑤のすべり面の方向にはほぼ直交することとなる。したがって、斜面⑤は斜面④に比べて、せん断波による地盤の動きが斜面の崩壊に寄与する度合いが大きいため、小さい加速度でもって地盤は破壊したものと考えられる。いずれにしても、地震時には、この地盤には150gal程度の加速度が一時的に作用したものと考えられる。

次に、Fig. 7の土質柱状図にもとづいて、亀山公園の地盤がFig. 8の右上に示す、2層の地盤からなると仮定して、下層の地盤に正弦波地動が入力した場合の

地盤の変位増幅比 ξ を式(3)を用いて計算した。

$$\xi = \left| \frac{y_1}{y_2} \right| = \frac{1}{\sqrt{\cos^2\left(\frac{2\pi}{T}\right)\left(\frac{H_1}{V_1}\right) + \alpha_1^2 \sin^2\left(\frac{2\pi}{T}\right)\left(\frac{H_1}{V_1}\right)}} \quad (3)$$

ここで、 y_1, y_2 : 上層, 下層地盤の変位振幅, $\alpha_1 = \rho_1 V_1 / \rho_2 V_2$, ρ_1, ρ_2 : 上層, 下層地盤の密度, V_1, V_2 : 上層, 下層地盤のせん断波の速度, H_1 : 上層地盤の厚さ, T : 正弦波地動の周期。

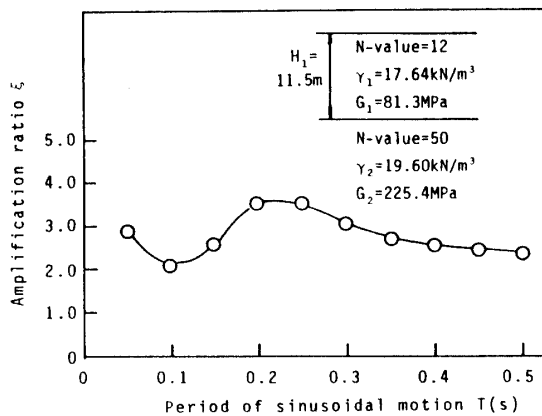


Fig. 8 Amplification ratio of the Kameyama Park ground subjected to sinusoidal motion.

Fig. 8 に示した, 地盤のせん断弾性係数 G は次の大田らの式⁹⁾から求めた。

$$G = a \cdot N^b \quad (4)$$

ここで、 $a = 139$, $b = 0.72$, N は標準貫入値である。

Fig. 8 は地盤動の周期 T と増幅率 ξ の関係を示す。この図から、 ξ は 2.0~3.5 であり、地震時に砂質シルト地盤の変位はかなり増幅されたものと考えられる。

以上の検討から、山口市の 2 地域における地盤の加速度は一時的には 150~220gal に達したとの結果が得られたが、この加速度は震度階では V での加速度 (80~250gal) の範囲に入る結果となった。しかし、黒川の本造の家屋の壁に亀裂が生じたこと、亀山公園内のコンクリート造りの建物の壁に亀裂が生じたこと、また、荒谷ダムでは 146gal の加速度が得られたことを考えに入れば、ここの計算で得られた山口市の加速度値は、一応妥当なものと考えられる。

6. 結 論

本報告では最初に今回の山口県中部地震およびそれによる被害の概要を簡単にのべた。

次に地震後、延べ 6 日間にわたって地震によって生じた墓石の転倒および移動状況の調査などを行い、地震によって地盤の動いた向き、ならびに地盤の加速度値を推定してみた。その結果、全体的にみて地盤が動いた向きは N35.2°E-S47.3°W 方向、およびそれとほぼ直角な方向の N41.2°W-S32.4°E 方向の 2 方向と求められた。

また、山口市の地盤の加速度としては 150~220gal が得られた。この加速度値は震度 V (強震) に相当する、加速度 80~250gal の範囲にあることになる。この地震によって建物の壁に亀裂が生じたことを考慮すると、山口市ではこの程度の加速度が一時的には生じたものと考えられる。

最後に、本報告をまとめるに当たっては、下関地方気象台防災業務課、山口県庁都市計画課・道路課・河川開発課・消防防災課・砂防課、島地川ダム管理事務所、宇部セントラルコンサルタント (株) の諸氏から貴重な資料の提供および有益な御助言をいただいた。また、調査の一部は本学学生奥井明彦、新田裕彦両君によって行われた。ここに記して厚く謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 宇佐美龍夫・木村敏夫：理科年表読本・地震と火山、丸善株式会社, pp. 27, 1980
- 2) 山口県総務部消防防災課：山口県における過去 300年の地震記録, 1984
- 3) 福岡管区気象台：臨時管内地震活動図 1987年11月18日・山口県旭村の地震 (M: 5.4), 1987
- 4) 下関地方気象台：私信
- 5) 山口県河川開発課：私信
- 6) 山口県島地川ダム管理事務所：私信
- 7) 高橋・村上・三上：1/5万山口県地質図, 山口県, 1968
- 8) 大原資生・前原博・永田洋文：地震時主働土圧について, 土と基礎, Vol. 18, No. 2, pp. 27-35, 1970
- 9) 石原研而, 土質動力学の基礎, 鹿島出版会, pp. 195, 1976

(昭和63年2月9日受理)