

1997年鹿児島県北西部地震・同第2北西部地震による被害調査

The Disasters Induced by the 1997 Kagoshimaken-hokuseibu and Daini-hokuseibu Earthquakes

山本哲朗	Tetsuro YAMAMOTO	(山口大学工学部)
岡林 巧	Takumi OKABAYASHI	(鹿児島工業高等専門学校)
久保敬作	Keisaku KUBO	(有)久保興業
松本 直	Nao MATSUMOTO	(山口大学大学院博士前期課程)
郷 健一	Kenichi GOU	(山口大学工学部学生)
宮部智之	Tomoyuki MIYABE	(山口大学工学部学生)

1997年3月26日に鹿児島県北薩地方の阿久根市に震源をもつ鹿児島県北西部地震 (M6.5) が発生した。ついで、5月13日には、その近くに震源をもつ同第2北西部地震 (M6.3) が発生した。われわれは両方の地震における地震動の大きさと向きを調べるため、阿久根市、出水市、川内市、宮之城町、東郷町および鶴田町において墓石の転倒・移動状況を調査した。また液状化および斜面崩壊といった地盤被害、土木構造物等の被害を調査した。さらに、いくつかの被害地盤の現場から採取した土試料の諸性質を求めた。本文は第1部で前者の地震、第2部で後者の地震でのそれらの結果を述べる。さらに、最初の地震被害が2度目の地震によって拡大した様子を述べる。

キーワード：地震、震害、液状化、斜面安定、しらす、まさ土 (IGC:E-8)

第1部 鹿児島県北西部地震による被害調査

1. 地震概要

1997年3月26日17時31分、阿久根市赤瀬川に震源をもつ M=6.5 の地震が発生した (図-1)。震央は北緯 31° 58.2'、東経 130° 21.7' にあり、中央構造線の南方に位置する。深さは約 12km である。この構造線上では過去にえびの地震 (M=6.1, 1968)、鹿児島県大口市に震源をもつ地震 (M=5.7, 1994) といった被害地震が発生している¹⁾。

この地震の際の九州地方各地の震度分布を図-1に示す²⁾。阿久根市赤瀬川および宮之城町屋地で震度 5 強が観測されたのを初めとして、枕崎市高見町から熊本市京町までの広範囲において震度 4 が観測された。

気象庁によって得られた川内市における加速度波形を図-2に示した³⁾。この3成分の加速度の最大値および科学技術庁防災科学研究所によって得られたそれらと⁴⁾を比較したのが表-1である。加速度の測定位置等に違いはあるが、両者の機関で得られた川内市での

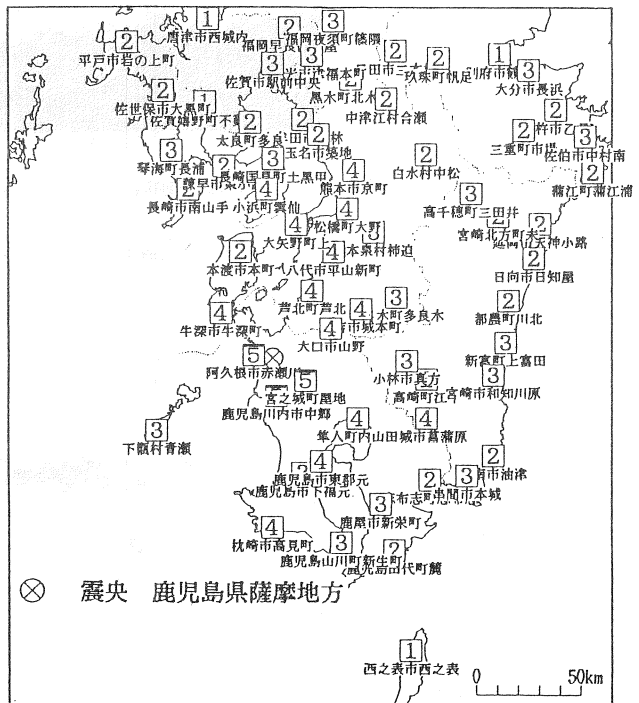


図-1 九州地方の震度分布 (下関地方気象台による)

表-1 地震動の最大加速度

地震発生日時 および 観測地点	地震 成分	最大加速度 (gal)	
		科学技術庁	気象庁
3/26 出水市	NS	727.25	—
	EW	541.83	—
	UD	246.03	—
3/26 川内市	NS	210.58	435
	EW	224.02	364
	UD	110.64	128
3/26 宮之城町	NS	433.90	—
	EW	493.24	—
	UD	145.93	—

最大加速度値には2倍近くの違いが見られる。

図-3には余震の活動状況、また図-4には余震の震央分布を示した²⁾。この中で規模の大きいものとしては、4月3日(M=5.5)、4月5日(M=4.9)および4月9日(M=4.9)の3つの余震が挙げられる。

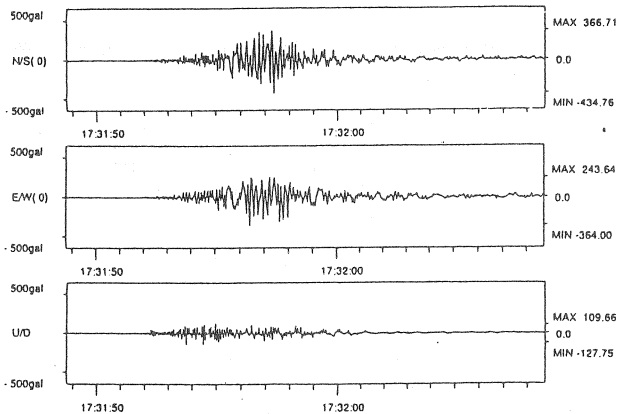


図-2 川内市での地震記録(気象庁による)

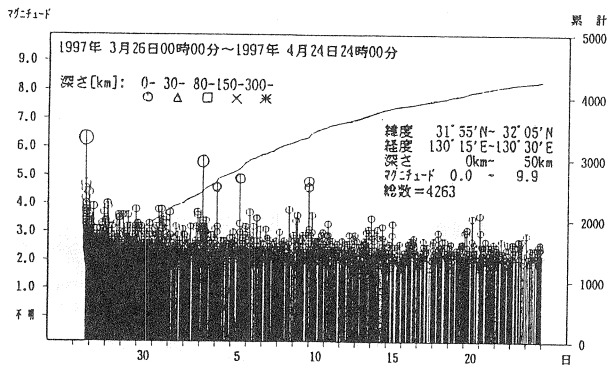


図-3 余震活動状況(下関地方気象台による)

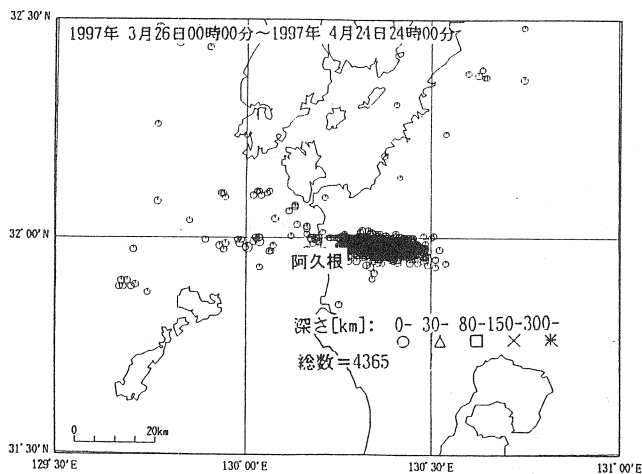


図-4 余震の震央分布(下関地方気象台による)

2. 調査地およびその地質概要

地震動および地震被害の調査は、4月2日および5月

11、12日の3日間にわたり、図-6に示す阿久根市、出水市、川内市、宮之城町、東郷町、鶴田町の3市3

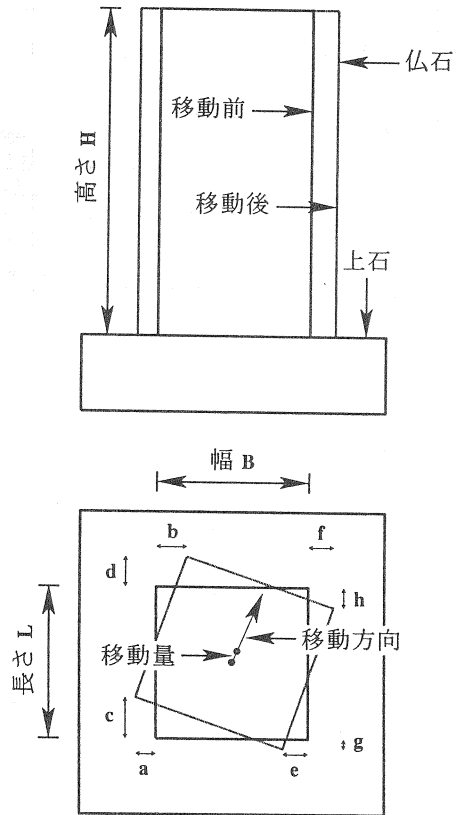
町を中心として行った。これらの市町の地質概要を簡単に述べておく⁵⁾。阿久根市は北部に第四紀堆積岩類、南部に中生代四万十層群が分布する。出水市は北部には第四紀沖積層・扇状地堆積物、南部には四万十層群が支配的である。川内市は新第三紀古期火山岩類が卓越し、川内川沿いに第四紀沖積層が卓越する。東郷町およびその南部の鶴田町には、四万十層が優位に分布する。宮之城町は広範な第四紀しらす内に新期火山岩類が飛び石状に分布する。

3. 墓石の転倒・移動状況からみた地震動

地震動の大きさとその卓越した方向を明らかにするために、地震動によって生じた墓石の転倒および移動状況を調べた。墓石の移動量と方向は図-5に示すように、仏石の4隅での $x \cdot y$ 方向の変位および墓標面の向きを測定することで求めた。その詳細は文献 6) あるいは 7) を参照されたい。すべての地点における墓石の転倒・移動状況の結果は調査日の順に表-2に示す。表中、転倒した墓石についてのみ示した B/H は昔から水平地震動の震度 k_h を表す指標として用いられてきた。転倒した墓石の B/H は測定地点ごとにやや異なるが、宮之城ではその値は 0.22 から 0.38 の範囲にあることが分かる。

なお、墓石の転倒は宮之城町泊野(写真-1)、之井出原、楠八重および井出原に代表されるような丘陵地を開削してその前方が斜面になっている墓地で顕著に見られた。これに対して、田畑や河川沿いの周辺の平地部での墓地、たとえば川内市向田墓地あるいは仏石を上石に接着している新しい型の墓石の多い薩摩町金山等の共同墓地では墓石の転倒はもちろんのこと、移動もほとんど生じていない場合が数多く見られた。

図-6は各地点での卓越した地震動の向きをベクトル表示した結果である。その向きは表-2中の墓石の移動した向きと正反対の方向を示す。なお、図中、○印は墓石の顕著な移動、□印は僅かな移動、△印は転倒、◇印は移動の生じなかったことを示す。図-6から地震動の向きは、2つの方向に卓越しているのが分かる。一つは東郷、鶴田および宮之城北部での北東～南西方向であり、もう一つは宮之城南部での南東～東南東方向である。地震動の卓越方向の違いは地震の発生機構あるいは地盤種の違いを反映した結果と考えられるが、この詳細は資料不足もあって現段階では不明である。



上図のa～hは正の値を示す。

図-5 仏石の移動量および方向の測定法



写真-1 墓石の転倒例(宮之城町泊野; No.2)

表-2 各地点の墓石の移動量および方向

No	地点名	市町名	墓石の寸法 (cm)			B/H	墓石隅角部の移動量 (cm)								墓石移動 方向	墓石移動 量 (cm)	調査日
			(B)	(D)	(H)		a	b	c	d	e	f	g	h			
1	高峯	宮之城	-	-	-	-	転倒								N30.0° E	-	4月12日
2	泊野		-	-	-	-	転倒								S15.0° W	-	
3	市野		25.0	25.0	70.0	-	僅かな移動								N15.0° W	-	
4	井出原		31.0	31.0	82.0	0.38	転倒								S15.0° W	-	
			17.0	17.0	50.0	0.34	転倒								S15.0° W	-	
			17.0	17.0	48.0	0.35	転倒								S15.0° W	-	
5	虎井		31.0	31.0	76.5	-	0.6	0.7	1.3	1.4	0.8	0.6	1.0	0.7	N73.6° E	1.4	4月13日
			25.0	25.0	70.0	-	-2.0	-3.0	-16.5	-16.5	-1.9	-3.0	-15.3	-15.0	N32.9° E	16.0	
			24.0	21.8	69.3	-	2.5	-2.0	-1.8	-1.9	3.0	-1.5	2.0	3.5	S72.0° W	0.8	
			43.5	43.2	32.5	-	-1.0	-1.0	-7.8	-7.8	-0.6	-0.2	-9.1	-9.1	S29.4° W	8.3	
6	宗功寺	32.0	31.5	80.0	-	-2.1	3.2	9.2	22.0	-8.5	15.5	-14.0	-2.5	S64.9° W	4.5		
		24.0	23.5	103.5	-	-2.5	6.0	7.0	9.0	1.5	9.5	-2.0	-0.5	N34.9° W	5.3		
7	大薄	51.0	51.0	18.0	-	-3.0	-3.0	-2.0	-2.0	-3.0	-3.0	-2.0	-2.0	S51.0° E	3.8		
8	湯田原	63.0	50.0	190.0	-	-26.0	3.5	18.0	27.5	-14.0	16.0	-19.0	-9.5	N23.1° E	6.8		
		60.5	53.0	192.0	-	-20.0	3.0	7.0	13.5	-13.0	8.0	-20.0	-15.0	N53.0° W	5.2		
9	湯田宮下	鶴田	-	-	-	-	転倒								N8.00° W	-	4月13日
10	流水	26.0	25.6	70.5	-	-1.0	-1.0	-0.5	-0.5	-1.0	-1.0	-0.5	-0.5	S4.00° W	1.0		
11	向田	川内	28.0	27.0	73.0	-	移動なし								-	-	5月11日
12	武本	出水	22.0	20.6	64.0	-	-8.4	4.8	3.0	8.2	-3.8	9.2	-12.0	-6.2	N88.7° E	1.8	
		25.0	23.8	66.3	-	-0.4	-2.0	-1.6	-2.4	-0.1	-2.0	0.6	0.2	S23.6° W	1.6		
13	丸岡	19.0	18.0	72.0	0.26	転倒								-	-		
14	上植村	18.5	18.5	67.0	-	移動なし								-	-	5月12日	
15	下ノ	25.0	25.0	67.0	-	僅かな移動								-	-		
16	馬渡	19.5	19.5	64.0	-	僅かな移動								-	-		
17	横伏敷	25.4	25.4	66.0	-	僅かな移動								-	-		
18	正幸田	26.0	26.0	66.0	-	移動なし								-	-		
		8.0	13.8	55.0	-	移動なし								N26.0° W	-		
19	竹子	溝辺	19.0	19.0	53.0	-	-1.2	0.7	0	0.8	-1.2	-0.6	-1.7	-1.1	S36.0° W		0.9
		15.0	21.0	60.0	-	移動なし								-	-		
20	石井口	17.5	17.5	76.0	-	-0.3	0.3	-0.5	-0.6	-0.6	0	-0.9	-0.6	N2.00° W	0.9		
		25.8	25.8	66.0	-	僅かな移動								-	-		
21	金山	26.0	26.0	74.0	-	移動なし								-	-	5月12日	
22	永野新地	18.0	18.0	73.0	0.25	転倒								S32.0° W	-		
23	新地	17.2	17.2	67.0	-	移動なし								-	-		
24	求名	18.5	18.5	56.0	0.33	転倒								N66.0° W	-		
		23.5	23.5	56.0	-	-2.4	-1.2	-0.4	-0.4	-2.4	-0.9	-1.6	-1.5	N57.0° W	2.0		
25	柏原	12.5	12.5	56.0	0.22	転倒								N80.0° E	-		
26	三腰	16.0	16.0	63.0	0.25	転倒								-	-		
27	楠八重	22.0	22.0	66.0	0.33	転倒								-	-		
28	浅井野	18.0	18.0	53.0	0.34	転倒								-	-		
29	一ツ木	24.0	24.0	69.0	0.35	転倒								-	-	5月12日	
30	山崎	17.5	17.5	63.0	-	-1.8	-0.3	-0.4	0	-1.2	0.7	-2.4	-2.1	S77.0° E	1.4		
31	南瀬	23.0	23.0	66.0	-	-0.2	0.8	-0.4	-1.2	-0.1	1.2	-1.5	-2.2	N64.0° E	2.0		
32	五社下	24.0	24.0	70.0	0.34	転倒?								-	-		
33	今村中	22.0	22.0	60.0	-	4.9	5.2	-4.6	1.5	-3.6	2.7	-1.5	-1.2	N3.00° W	2.2		
34	祿礼北	種脇	21.0	21.0	76.0	-	0.5	-0.1	-0.8	-0.8	0.4	-0.4	-0.4	-0.2	S78.5° E		1.0
35	平田	祁答院	17.5	17.5	71.0	-	4.5	1.7	-2.6	-2.4	4.2	1.5	0	0.6	S76.0° E		3.3

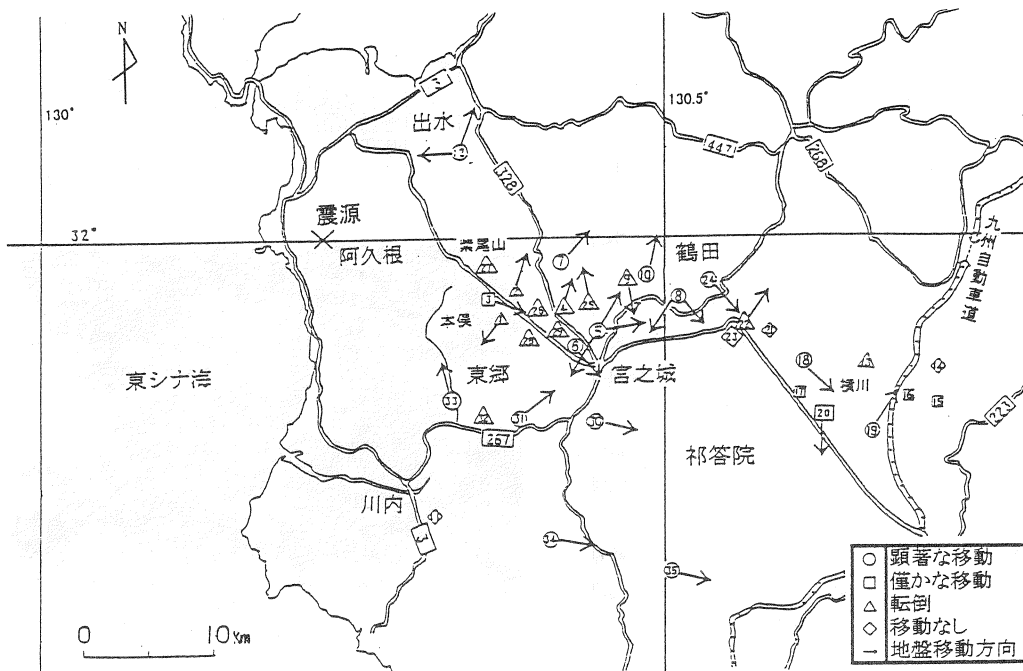


図-6 墓石の移動方向から推定した地震動の卓越した方向

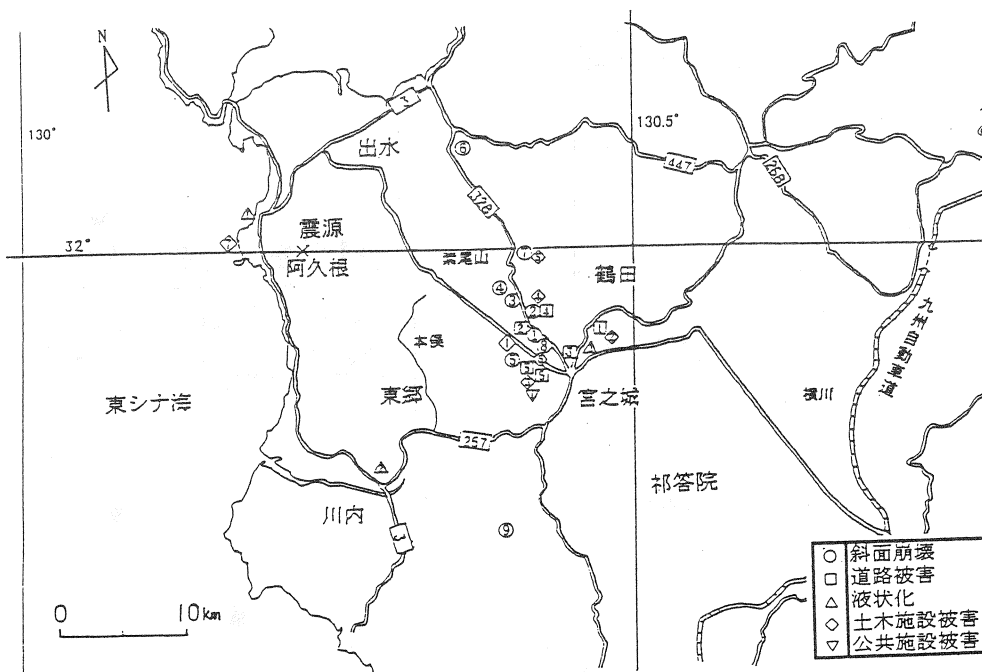


図-7 各種の地震被害の発生地点

4. 地震被害

地震によって生じた地盤被害を初めとして、道路、土木構造物等の被害を調査した。斜面崩壊の調査は主

に宮之城町から川内市に抜ける国道 328 号沿いの斜面について行った。以下に各被害ごとにその状況を述べる。

a) 液状化

表-3に示すように、阿久根港晴海埠頭のさら地等3箇所ですらす等の液状化が発生したことが明らかにされた。それらの地点は図-7に△印で示す。

阿久根港で液状化したしらす埋め立て地盤の噴出時の様子を写真-2に示す。川内市の民家の床下でもしらすの噴砂が確認されたが、こういう場所での噴砂事例はきわめて珍しい。

X線回折試験によって阿久根港で噴出した土は、しらすであることを確認したが、その物理的性質を表-4に、粒度曲線を図-8に示す。また繰返し三軸試験から得られたその液状化強度曲線を図-9に示す。その結果と同図に併記した豊浦砂(Dr=60.4%)の液状化強度曲線を比較して分かるように、しらすの液状化強度は砂に比べてそれほど大きくはない。また、このしらすの圧密排水条件で行われた一面せん断試験の結果を図-10に示す。この試験で得られたしらすの内部摩擦角は、三軸試験で得られた数種類のしらすに比べて約5~10°ほど大きい⁸⁾。

表-3 液状化発生地点

No	地点名	市町名
1	阿久根湾埋め立て地	阿久根
2	御陵下町	川内
3	時吉	宮之城

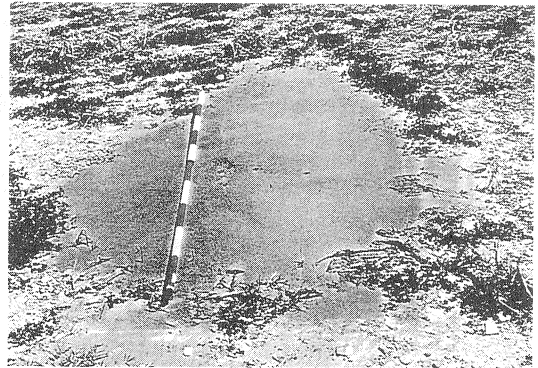


写真-2 しらすの噴出現象 (阿久根市; No.1)

表-4 阿久根で噴出したしらすの諸物理的性質

土質名	G _s	U _c	D _{max} (mm)	D ₅₀ (mm)	FC (%)	F _{clay} (%)	w _L (%)	w _p (%)	I _p	土質分類
しらす	2.36	2.20	5.00	0.095	36.1	0.0	-	NP	NP	SM

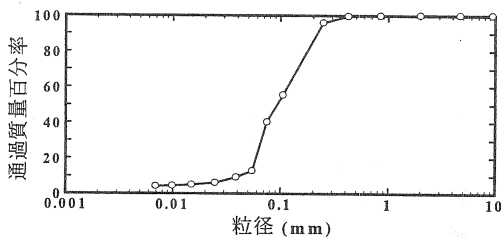


図-8 阿久根で噴出したしらすの粒度曲線

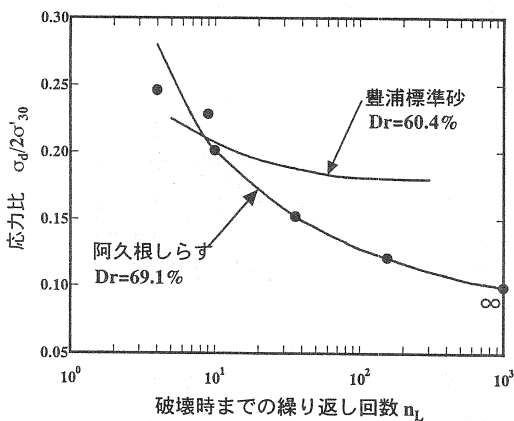


図-9 阿久根で噴出したしらすの液状化強度曲線

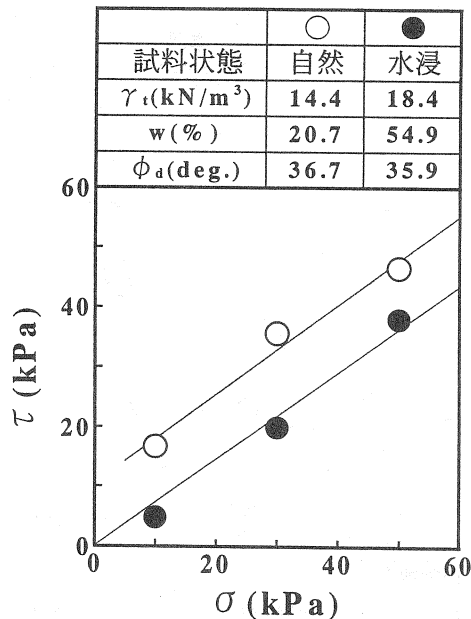


図-10 阿久根で噴出したしらすの一面せん断試験の結果

b) 斜面崩壊

表-5に斜面崩壊の発生地点と規模を示す。これらのうち尾座原、鹿之原、登尾、武本および大紫尾峠の斜面崩壊は、国道328号沿いの山腹で発生したものである。図-7に崩壊した地点を○印で記入した。この国道沿線から遠望される山腹には、その規模がきわめて大きい斜面崩壊が4箇所発生していた。表-5の中で崩壊規模を記入していないものはやむを得ない理由でそれを測定することができなかったためである。崩壊の発生した斜面の土質は本調査範囲内ですら、まさ土および砂岩風化土の3つに大別された。それらの地質は、しらすは第四紀、まさ土は新第三紀黒雲母花崗岩、砂岩は中生代四万十層群である。なお、表中、四万十層群と記して岩石名を同定していないのは岩石の採取ができなかったことによる。

しらす斜面の代表的な崩壊例として、宮之城町平川Aの場合を写真-3に示す。しらす斜面の崩落面の形状は“おわん”ないし“スプーン”状であり、これはしらす斜面の崩落面の特徴といわれている。

まさ土斜面の崩壊の代表例として宮之城町市野Eの場合を写真-4に示す。この例も含めてまさ土斜面の崩壊のすべては、表層すべりによるものであった。

崩壊したしらす斜面およびまさ土斜面はその多くが切土斜面であるが、その勾配は60度以上であり、特にしらす斜面では勾配が80~90度と垂直に近いことが注目される。われわれが山口県下で調査した豪雨によって崩壊したまさ土切土斜面の多くは、勾配が45度から50度程度にある⁹⁾。

表-5 斜面崩壊

No	地点	市町名	地質・土質	崩壊規模					調査日
				勾配 α (度)	長さ L (m)	高さ H (m)	幅 W (m)	深さ D (m)	
1	平川A	宮之城	しらす	80~90	-	30.0	90.0	-	4月12日
2	尾座原		溶結凝灰岩	-	-	-	-	-	
3	鹿之原		砂岩	-	-	-	-	-	
4	(1) 登尾A		砂岩	-	-	-	-	0.6	
	(2) 登尾B		砂岩	58.0	-	20.0	17.0	-	
5	(1) 市野A		花崗岩	67~70	-	30.0	15.6	-	
	(2) 市野B		花崗岩	74.0	-	-	26.0	0.5	
	(3) 市野C		花崗岩	68.0	-	-	16.0	1.5	
	(4) 市野D		花崗岩	58~60	-	-	65.0	1.0	
	(5) 市野E		花崗岩	50.0	30.0	-	13.3	-	
6	武本	出水	しらす	-	-	-	-	4月13日	
7	大紫尾峠	宮之城	四万十層群	-	40.0	-	-	-	
8	平川B		四万十層群	-	-	-	-	5月12日	
9	武田		樋脇	しらす	-	-	-	-	

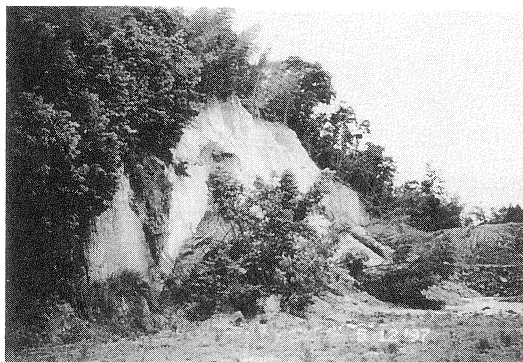


写真-3 しらす斜面の崩壊状況
(宮之城町平川A; No.1)



写真-4 まさ土斜面の崩壊状況
(宮之城町市野E; No.5(5))

砂岩からなる斜面の崩落した代表例として、宮之城町登尾 B での崩壊状況を写真-5に示す。これは砂岩の岩塊がその下位の砂岩基盤の節理面に沿ってすべりを起こしたものである。節理面の勾配は 57 度である。このすぐ近傍の尾座原では風化土を含む溶結凝灰岩の岩塊の崩落が発生した。ここは落石の危険性の高い箇所であり、今回の崩落によって、ロックネット工およびコンクリート吹き付け工に中規模の破損が生じた。

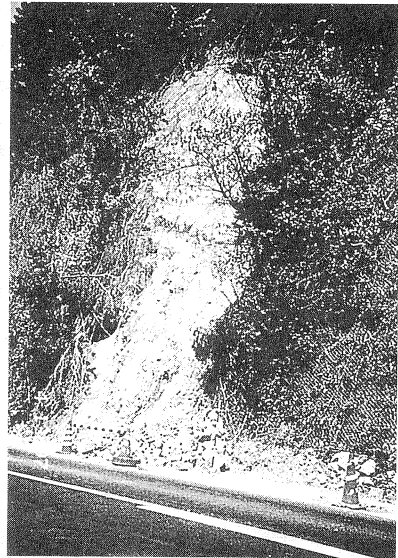


写真-5 砂岩斜面の崩壊状況
(宮之城町登尾 B ; No.4 (2))

斜面崩壊の現場のいくつかから土試料を採取し、その諸物理的性質および一面せん断試験によってその強度定数を調べた。その結果を表-6にまとめた。前述したように、このしらすの内部摩擦角はこれまで三軸試験で得られたいくつかのしらすの値に比べて数度大きい。まさ土は自然状態および水浸状態とも山口県内の広島型・領家型のまさ土⁹⁾よりも内部摩擦角がやや大きく、さらに見かけの粘着力が大きいことが特記される。

表-5中に示した斜面崩壊以外にも、その一部区間が通行止めになった国道 504 号沿い等に大規模な斜面崩壊や落石が発生していることを付記しておく。

表-6 崩壊斜面の表層土の諸性質

地点名	土質名	G _s	U _c	D _{max} (mm)	D ₅₀ (mm)	FC (%)	F _{clay} (%)	w _L (%)	w _p (%)	I _p	土質分類	自然状態		水浸状態	
												φ _d (deg.)	c _d (kPa)	φ _d (deg.)	c _d (kPa)
平川A	しらす	2.41	19.23	15.50	0.16	31.9	3.4	-	NP	NP	SM	48.4	-	50.1	-
尾座原	溶結凝灰岩風化土	2.46	18.79	13.90	0.38	19.2	0.0	-	NP	NP	SM	-	-	-	-
市野A	まさ土	2.66	10.94	5.00	0.68	6.3	0.2	-	NP	NP	S-M	53.2	14.3	50.1	6.4
市野B	まさ土	2.64	13.57	9.30	0.68	11.1	3.0	-	NP	NP	S-M	-	-	-	-
市野C	まさ土	2.60	1.45	13.30	1.00	5.5	0.0	-	NP	NP	S-M	-	-	-	-
登尾A	砂岩風化土	2.59	33.96	18.75	1.15	17.2	3.5	35.3	26.6	8.70	SM	-	-	-	-

c) 舗装道路の亀裂

国道 328 号のアスファルト道路や舗装して間もない農道アスファルト道路にきわめて数多くの亀裂が発生した。それらの状況は一括して表-7に、またその箇所は図-7に口印で示した。まさ土斜面崩壊の現場に近い市野でのアスファルト農道に見られた被害を写真-6に示す。その亀裂は長さ 42.0m、幅 2.9m、深さ 0.75m にも及んだ。道路の亀裂は走行車線と並行して発生し

ているところが圧倒的だが、北原農道に見られたように盛土の地割れの延長が車線に直交して亀裂として現れているところもあった。

表-7 舗装道路の被害

No	地点名	町名	代表的な破損状況			備考	調査日
			長さ L(m)	幅 W(m)	深さ D(m)		
1	湯田	宮之城	-	0.15	-	多数の亀裂, 陥没	5月12日
2	北原		21.00	0.15	-	同上	
3	虎居		6.75	0.55	0.12	約20ヶ所の亀裂, 陥没	
4	尾座原		-	-	-	2ヶ所の亀裂	
5	市野		42.00	2.90	0.75	3ヶ所の亀裂, 陥没	
6	一ツ木		-	-	-	亀裂	

d) 土木構造物被害

土木構造物の被害状況は表-8にまとめた。それらの発生した箇所は図-7に◇印で示す。このうち、晴海町岸壁でのエプロン部のコンクリートの亀裂による破損や傾斜は甚大であった。その様子の一端を写真-7に示す。また写真-8に示すように、宮之城町久木野Aでは、組み込み式の新しい型の井桁擁壁がその中央上部の一部で若干破損した。これは後述するように、鹿児島県第2北西部地震の際に壊滅的な破損に至った。一方、この近くにある通常の古い形式の井桁擁壁には、今回の地震では全く被害は認められなかった。

その他の被害としては、鶴田町湯田でのブロック塀の破損が認められた。宮之城町湯田においては、橋梁の道路取り付け部でコンクリートの段差が見られた。



写真-6 道路の被災状況 (宮之城町市野; No.5)

表-8 土木構造物の被害

No	地点名	市町名	被害状況	調査日
1	久木野A	宮之城	井桁擁壁のわずかな破損	4月12日
2	湯田	鶴田	ブロック壁の転倒	
3	宗功寺	宮之城	井桁の倒壊	4月13日
4	尾座原		吹き付けコンクリートの崩壊 落石防止ネットの崩壊	
5	大紫尾峠	出水	ブロック壁の倒壊 落石防止ネットの破損	
6	三腰野	宮之城	ブロック壁の破損	5月12日
7	阿久根港	阿久根	岸壁の被害	

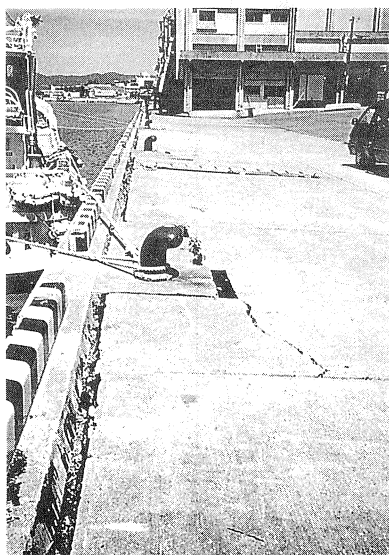


写真-7 岸壁の被災状況 (阿久根市; No.7)

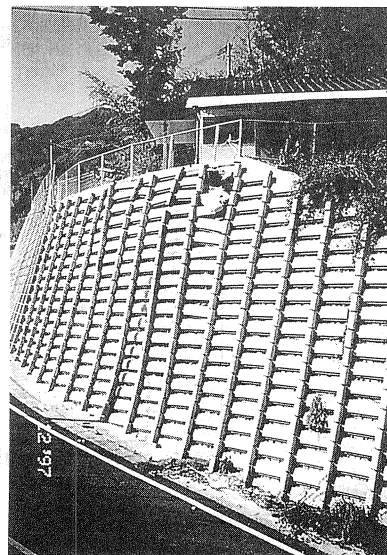


写真-8 井桁擁壁の破損状況
(宮之城町久木野A; No.1)

c) 家屋等被害

家屋の屋根瓦の破損が湯田地区に集中して発生した。その周辺地区でもその被害が散見された。また、宮之城町虎居にある鉄筋コンクリート造りの歴史研修センターの周囲の地盤が、最大で 10cm 程度沈下した。その状況を写真-9 に示す

5. まとめ

墓石の転倒・移動状況から、宮之城町を中心とした地域の地震動の方向は、2 方向に卓越するという結果が得られた。地震災害は地盤の液化化・斜面崩壊、道路亀裂、土木構造物の破壊、屋根瓦の破損など、多岐にわたって発生した。斜面崩壊は、その土質がしらす、まさ土、砂岩およびその風化土ということに起因した特有の崩壊形式でもって発生した。

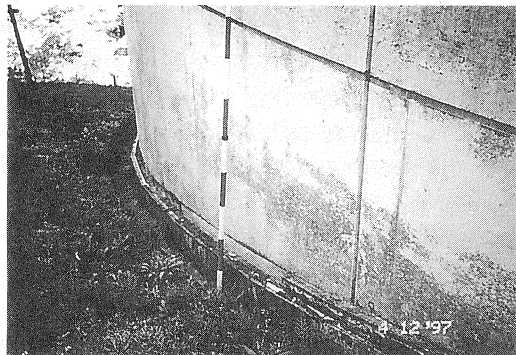


写真-9 歴史研修センターの被災状況 (宮之城町虎居)

第2部 鹿児島県第2北西部地震による被害調査

1. 地震概要

1997年5月13日14時38分に阿久根市赤瀬川に震源をもつM=6.3の地震が発生した。震央は3月26日の地震のほぼ南にあり、北緯31°56.6′、東経130°18.3′に位置する。深さは約9kmである。

九州各地の震度分布は図-11に示すが、宮之城町

屋地および川内市中郷で震度5強を初め、熊本県松橋町大野から枕崎市高見町にかけて震度4が観測された。

この地震の際に気象庁によって得られた川内市での加速度記録を図-12に示した。これらの加速度の最大値および科学技術庁防災科学研究所で得られたそれらを比較したのが表-9である。図-13には余震の活動状況、また図-14にはその震央分布を示す²⁾。

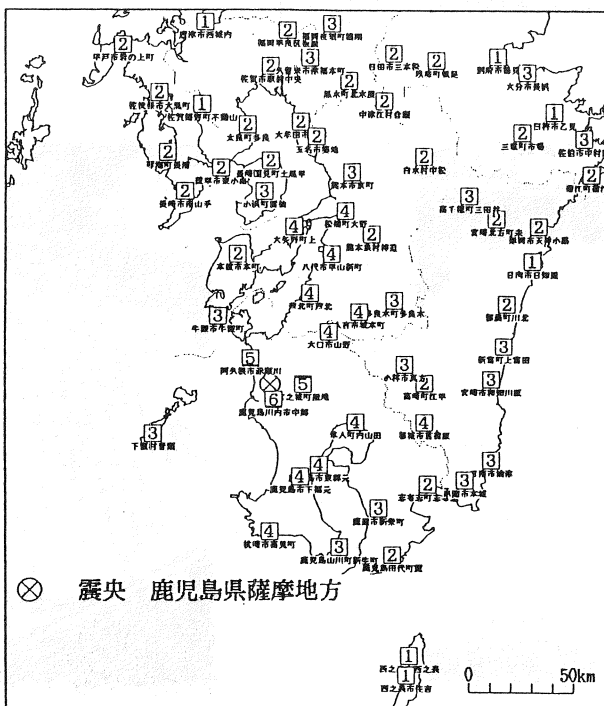


図-11 九州地方の震度分布 (下関地方気象台による)

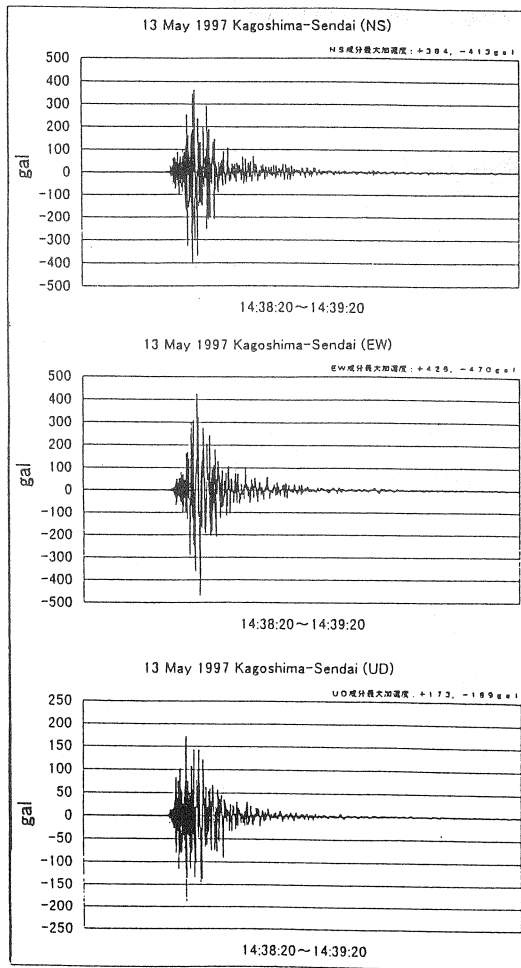


図-1.2 川内市での地震記録(気象庁による)

表-9 地震動の最大加速度

地震発生日時 および 観測地点	地震成分	最大加速度 (gal)	
		科学技術庁	気象庁
5/13 出水市	NS	728.19	—
	EW	443.02	—
	UD	189.06	—
5/13 川内市	NS	300.88	413
	EW	317.51	470
	UD	149.71	189
5/13 宮之城町	NS	902.34	—
	EW	901.10	—
	UD	287.59	—

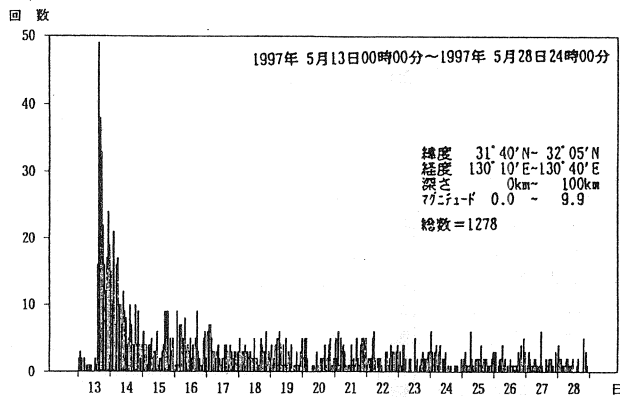


図-1.3 余震活動状況(下関地方気象台による)

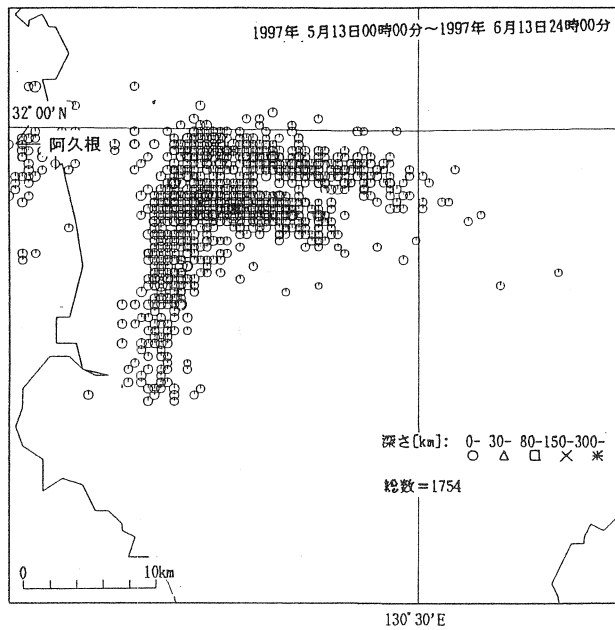


図-14 余震の震央分布 (下関地方気象台による)

表-10 各地点での墓石の移動量および方向

No	地点名	市町名	墓石の寸法 (cm)			B/H	墓石隅各部の移動量 (cm)								墓石移動方向	墓石移動量 (cm)	調査日
			(B)	(D)	(H)		a	b	c	d	e	f	g	h			
1	求名	薩摩	18.5	18.5	56.0	0.33	転倒								N29.0° E	-	6月7日
2	三腰野	宮之城	16.0	16.0	63.0	0.25	転倒								-	-	
3	大正		29.0	29.0	76.0	0.38	転倒								N52.0° W	-	
4	楠八重		22.0	22.0	66.0	0.33	転倒								-	-	
5	一ツ木		24.0	24.0	69.0	0.35	転倒								N42.0° E	-	
6	山崎城		17.5	17.5	63.0	-	移動なし								-	-	
7	諏訪	出水	26.0	26.0	72.0	-	1.2	0.6	0.5	0.5	1.0	0.5	0.7	0.6	N49.0° E	1.3	6月8日
8	称礼北	樋脇	27.0	27.0	72.0	-	1.3	1.0	0.0	0.0	1.0	0.5	0.6	0.6	S6.00° W	1.5	
9	向田	川内	28.0	27.0	70.5	-	移動なし								-	-	
10	平佐		-	-	-	-	転倒								-	-	
11	京泊		23.0	23.0	65.0	-	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	N53.0° E	1.1	
12	五代		28.0	28.0	72.0	-	0.7	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	S37.0° E	1.5	
13	大小路	30.0	30.0	77.0	0.39	転倒								-	-		
14	今村中	東郷	22.0	22.0	60.0	-	3.0	2.4	-0.8	-0.9	2.8	2.8	-0.4	-0.3	S89.0° W	3.0	
15	五社下		24.0	24.0	70.0	-	-0.7	-0.4	0.7	0.7	-0.6	-0.4	0.4	0.4	S69.0° W	0.9	
16	南瀬		23.0	23.0	66.0	-	0.7	0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.7	-0.6	N27.0° W	1.1	
17	山崎		宮之城	24.0	24.0	70.0	-	移動なし								-	-
18	柏原	12.5	12.5	56.0	0.22	転倒								-	-		
19	湯田原	24.0	24.0	67.0	-	1.6	-2.6	-3.2	-2.4	1.6	-2.5	1.2	1.8	N46.0° W	1.2		
20	山ノ追	東郷	24.0	24.0	64.0	0.38	転倒								S84.0° E	-	
21	尾口		-	-	-	-	移動なし								-	-	
22	浦田		24.0	24.0	66.0	-	僅かな移動								-	-	
23	山田		-	-	-	-	僅かな移動								-	-	
24	白男川	17.0	17.0	50.0	0.34	転倒								-	-		
25	龍光寺	出水	27.0	27.0	71.0	-	-1.7	-1.8	3.0	3.4	-1.5	1.8	-0.5	0.3	S74.0° E	1.5	
26	的場元		30.0	27.0	78.0	-	-2.4	-0.6	3.2	3.4	0.4	1.7	2.0	2.1	N1.00° W	2.7	

2. 墓石の転倒・移動状況からみた地震動

6月7日から9日までの3日にかけて地震によって生じた墓石の転倒および移動状況を調べた。調査範囲は前回の地震の場合とほぼ同様にした。すべての墓石の移動量等の測定結果は表-10に示す。これから転倒した墓石の場合、 $B/H=0.22\sim0.39$ となっており、少なくともその数値以上の震度が、それぞれの地点で発生したものと推定することができる。墓石の転倒を初めとする墓石の被害の顕著であった地点とそうでない地点との差異は、前回の地震の場合とさきわめて似通って

いた。この差が顕著に見られた例として、同じ川内市内にあり、1.5km程度しか離れていない2箇所の墓地が挙げられる。すなわち、川内川沿いの沖積低地での向田の墓石は移動していないのに対して、山麓にある平佐の墓石は壊滅的な転倒や破損を生じた。

図-15は表-3中の各地点の地動の向きを示した結果である。これから宮之城から東郷にかけて東西方向の地震動、それらの周囲で南南東～南西の地震動が卓越しているように見受けられる。

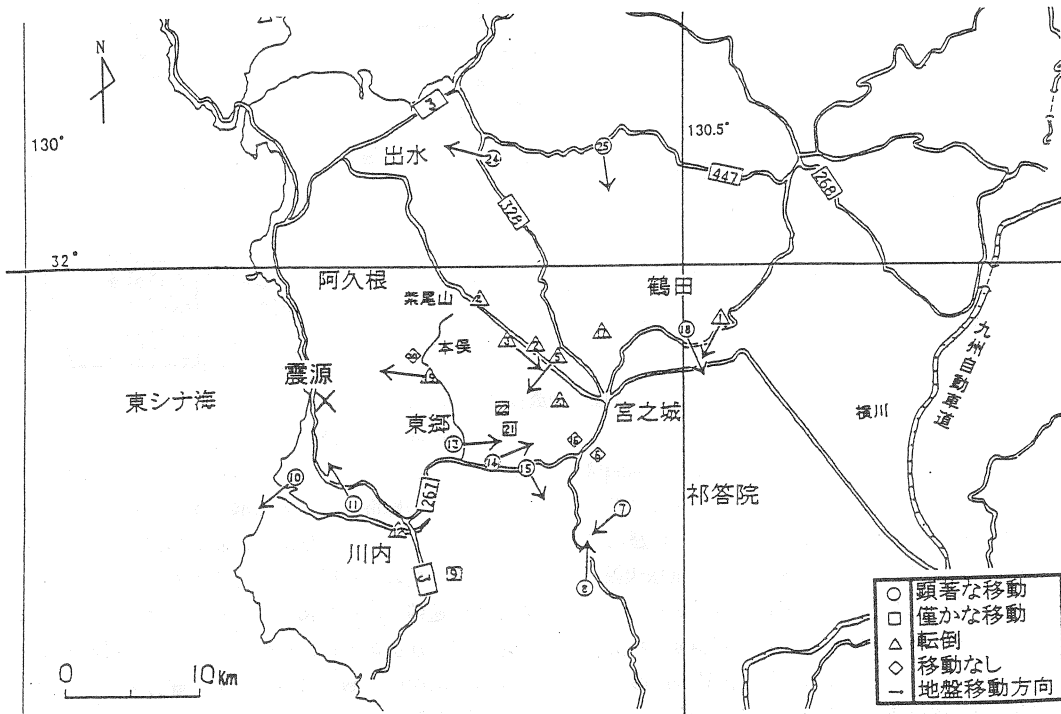


図-15 墓石の移動方向から推定した地震動の卓越した方向

3. 地震被害

地震による地盤被害を初めとする各種の被害を調査した。調査箇所は前回調査したところの他に、斜面崩壊の多発した東郷町を追加した。以下に各被害種別による状況を述べる。

a) 液状化

今回の地震では表-11に示すように、5箇所でも液状化が発生した。それらの地点は図-16に△印で示す。このうち、阿久根および川内ではしらすの再液状化が発生した。

表-11 液状化発生地点

No	地点名	市町名
1	阿久根湾埋め立て地	阿久根
2	御陵下町	川内
3	川内川堤防左岸	
4	出水干拓東工区(水田)	出水
5	愛宕	入来

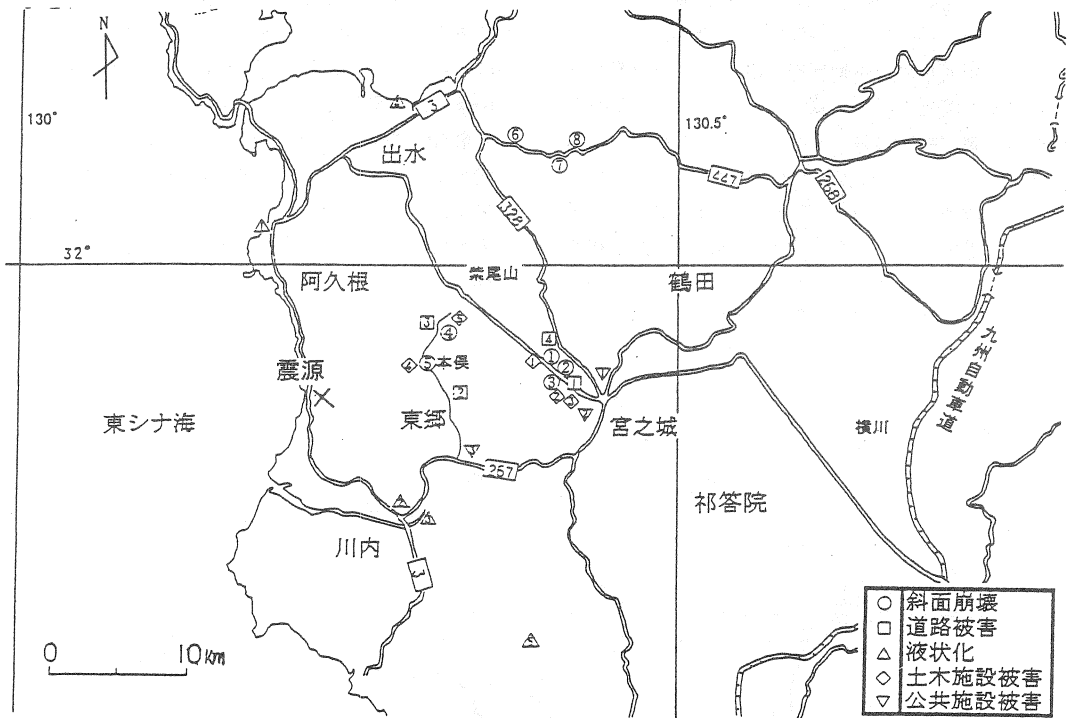


図-16 各種の地震被害の発生地点

b) 斜面崩壊

国道の一部が不通のため調査できなかった斜面崩壊地点を除いたすべての調査結果は表-12にまとめた。前回の地震で崩壊の見られた斜面は、今回の地震によってその程度の違いはあるが、いずれもその崩壊規模が拡大した。それらの再崩壊した斜面の典型例として、平川 A でのしらす斜面と登尾 B での砂岩斜面の状況をそれぞれ写真-10、11に示した。後者の崩壊では岩塊が国道 328 号線車線の中央部にまで到達している。

今回の地震では東郷町本俣の山間部に位置する総延長 3km の小道沿いで、合計 20 箇所の斜面崩壊が発生した。いずれも礫混じり土の表層崩壊による。写真-12に見られるように、崩壊した斜面の前面にある民家がきわめて危険な状態になったこともあって、当地区の住民は避難生活を余儀なくされるに至った。当地区は地すべり溪流地の指定を受けている。東郷町本俣で崩壊した斜面の表層土についてその礫分を除去した土の諸性質を表-13に示した。

表-12 斜面崩壊

No	地点	市町名	地質・土質	崩壊規模					調査日	
				勾配 α (度)	長さ L (m)	高さ H (m)	幅 W (m)	深さ D (m)		
1	(1) 久木野A	宮之城	しらす	60.0	-	8.0	12.7	-	6月7日	
	(2) 久木野B		花崗岩	55.0	-	17.0	17.5	-		
2	泊野		花崗岩	55.0	-	17.0	17.5	-		
3	(1) 本俣A		砂岩	44.0	-	7.0	7.0	0.4		6月9日
	(2) 本俣B		礫岩	77.0	-	12.5	40.4	-		
	(3) 本俣C		砂岩	-	-	-	-	-		
4	(1) 藤之木A	東郷	砂岩	62.0	10.0	-	14.5	-		
	(2) 藤之木B		砂岩	52.0	-	5.0	10.0	-		
	(3) 藤之木C		砂岩	50.0	-	9.0	18.9	-		
	(4) 藤之木D		砂岩	72.0	-	8.0	124.7	-		
5	炭頭	出水	四万十層群	-	-	-	-	-		
6	大川内		四万十層群	-	-	-	-	-		
7	鮎川		四万十層群	-	-	-	-	-		

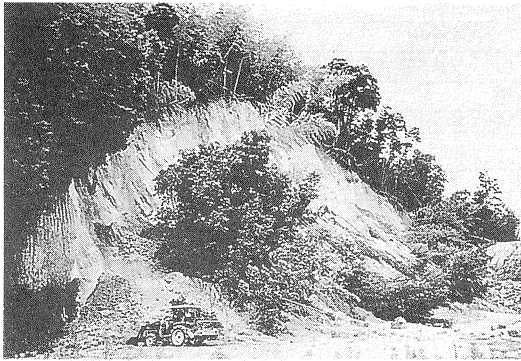


写真-10 しらす斜面の再崩壊状況
(宮之城町平川 A; No.1)

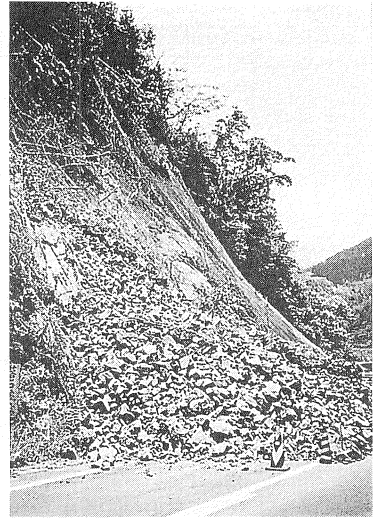


写真-11 砂岩斜面の再崩壊状況
(宮之城町登尾 B; No.4(2))

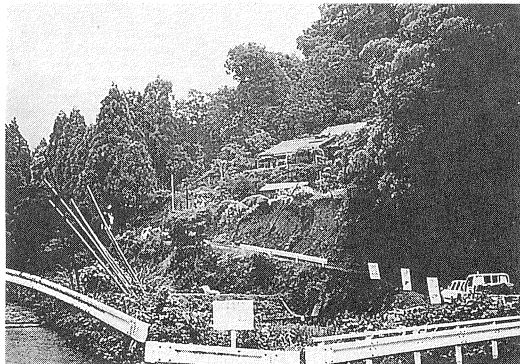


写真-12 砂岩斜面の崩壊状況
(宮之城町本俣 C; No.3(3))

表-13 東郷町本俣の斜面土の諸性質

土質名	Gs	Uc	D _{max} (mm)	D ₅₀ (mm)	FC (%)	F _{clay} (%)	w _L (%)	w _p (%)	I _p	土質分類	自然状態		水浸状態	
											φ _d (deg.)	c _d (kPa)	φ _d (deg.)	c _d (kPa)
礫岩風じ土	2.61	31.8	9.20	0.13	42.9	7.0	32.0	22.5	9.50	SM	42.9	0.6	41.9	0.0

表-14 舗装道路の被害

No	地点名	町名	代表的な破損状況			備考	調査日
			長さ L(m)	幅 W(m)	深さ D(m)		
1	泊野	宮之城	15.50	—	—	亀裂	6月7日
2	藤川	東郷	15.90	0.15	0.27	亀裂	6月8日
3	本俣	東郷	—	—	—	約10ヶ所の亀裂, 陥没	6月9日
4	なべ山	宮之城	—	—	—	亀裂, 陥没	

c) 地割れ

後述する宮之城高校のグラウンドに延長 195m の大規模な地割れが発生した。

d) 舗装道路の亀裂

舗装道路の被害の調査結果を表-14にまとめた。発生地点は図-16に□印で示す。今回の地震では東郷町にその被害が集中した。例えば藤川ではアスファルト舗装道路に最も大きいもので長さ 15.9m、幅 0.15m、

深さ 0.27m の亀裂が発生した。

前回の地震によって発生した国道 328 号道路の亀裂のほとんどは、地震後に補修等がなされていたため、今回の地震によってどの程度亀裂が拡大したかを明確にすることはできなかった。

農道での亀裂については地震後の降雨の影響もあって、今回の地震で前回に見られた亀裂がどの程度拡大したかは明確にすることはできなかった。

表-15 土木構造物の被害

No	地点名	市町名	被害状況	調査日
1	久木野A	宮之城	井桁とブロック積擁壁の崩壊	6月7日
2	三腰野		井桁の崩壊	
3	一ツ木		ブロック積擁壁の崩壊 吹き付けコンクリートの剥離	
4	尾口	東郷	吹き付けコンクリートの剥離	6月9日
5	本俣		ブロック積擁壁の崩壊	

e) 土木構造物被害

土木構造物被害の状況は表-15にまとめた。それらの発生箇所は図-16に◇印で示す。このうち、写真-13に示すように、前回の地震で軽微な被害を受けた宮之城町久木野Aでの井桁擁壁が壊滅した。一方、これに連結したブロック積擁壁には僅かな亀裂が入る程度であった。

その他の被害としては、宮之城および東郷でそれぞれブロック積擁壁および斜面吹き付けコンクリートに小規模の破損が見られた。

写真-13 井桁擁壁の再破損状況
(宮之城町久木野A; No.1)

表-16 公共施設の被害

No	施設名	町名	被害状況	調査日
1	宮之城農業高校	宮之城	柱のせん断破壊, 多数の壁の亀裂	6月7日
2	宮之城高校		柱の大規模なせん断破壊, 座屈地割れ	
3	東郷小学校	東郷	ブロック積擁壁の破損	6月8日

f) 公共施設被害

表-16に示すように、合わせて3つの高校および小学校校舎が被災した。特に、鉄筋コンクリート3階建ての宮之城町宮之城高校および宮之城農業高校の建物は甚大な被害を受けた。それらの位置を図-16に▽印で示す。写真-14に宮之城高校の1階の鉄筋コンクリート柱の座屈による破壊状況を示す。また写真-15にその柱の代表的な崩壊状況を示す。鉄筋はφ=10mmの丸鋼である。その被害状況から、帯筋は十分でないように見受けられた。また東郷小学校のブロック積擁壁に小規模の破損が発生した。

甚大な被害の発生した両校舎に近隣する一階建ての木造あるいは鉄筋コンクリート造りの民家には、少なくとも外観からは被害が発生しておらず、建物の種類による地震被害の違いが明瞭に見られたことは耐震工学上、非常に興味深い。

g) 家屋被害

家屋や屋根瓦の破損が集中していた地域は見られな

写真-14 宮之城高校の被災状況
(宮之城町屋地; No.2)

いが、震源から約 50km もあるような場所でも屋根瓦が破損してブルーシートを屋根に覆っている家屋が点在していた。

4. まとめ

今回の地震によって、その種類を問わず前回の地震被害が拡大した。阿久根・川内両市ではしらす地盤等の再液状化が観察され、また東郷町では著しい斜面崩壊が発生した。宮之城町では新形式の井桁擁壁が壊滅した。なお、3階鉄筋コンクリート造の校舎が壊滅的な被害を被ったのに対し、それと近接する通常の木造ないし鉄筋コンクリート造の民家等が被害を受けなかった点および山腹の墓地は顕著な被害を受けたのに対し、低地部の墓地は被害を受けなかった点は、耐震工学上、興味ある事象であり、今後、その理由づけを行いたい。

48日という非常に短い期間内に発生したM=6.5と6.3の2つの地震の被害調査から、最初の地震での被害が2度目の地震によって明白に拡大されていく事例を直視することができた。そのことを、今後の耐震工学の研究に活用したい。

被害者の方々には、地震被害から物心両面とも一日も早く立ち直られる日がくることを願って止まない。この原稿を執筆している最中に、梅雨時の集中豪雨によって鹿児島県で土石流による犠牲者が出たこと等の大惨事が報道された。犠牲になられた方々のご冥福をお祈りします。自然災害の驚異は筆舌に尽くされない、という思いで一杯である。

謝辞

今回の被害調査では、一般の皆さん、阿久根市、宮之城町を初めとする官公庁の職員の皆さん、宮之城歴史研究センターの職員の方々から貴重な情報や助言を頂きました。また下関地方気象台の野見山 深氏には地震資料の入手に際して一方ならぬお手間をおかけした。これらの方々に深甚な謝意を表します。最後に墓石の調査をとおして、鹿児島県民は墓石に毎日のように生花を供えておられ、先祖を敬虔する精神が強いということを肌で感じたことを付記しておく。

参考文献

- 1) 宇佐美達夫：新編日本被害地震総覧（増補改訂版 416-1995）、東京大学出版会、1996。
- 2) 下関地方気象台：資料、1997。
- 3) 気象庁：資料、1997。
- 4) 科学技術庁防災科学研究所：インターネット資料、

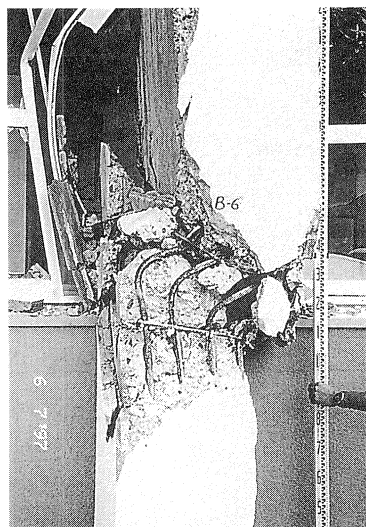


写真-15 宮之城高校の鉄筋コンクリート柱の破壊
(宮之城町屋地；No.2)

1997。

- 5) 鹿児島県：鹿児島県地質図縮尺10万分の1、1990。
- 6) 大原資生・山本哲朗：1987年山口県中部地震、山口大学工学部研究報告、Vol.39、No.1、pp.149-158、1988。
- 7) 山本哲朗・鈴川俊道・大原資生：1991年周防灘地震(M=5.9)について、地盤と建設、Vol.9、No.1、pp.155-161、1992。
- 8) 春山元寿：cとφを考える7. シラス、土と基礎、Vol.23、No.6、pp.67-74、1975。
- 9) 山本哲朗・高本直邦・松本 直：山口県内の白亜紀花崗岩類からなる斜面の豪雨時崩壊について、降雨と地震から危険斜面を守る地盤工学に関するシンポジウム発表論文集、pp.11-16、1997。