

えびの地震と地盤災害

土質工学会シラス研究委員会

1. 概 説

昭和 43 年 2 月 21 日いらい、宮崎県西部県境にあるえびの町と、それに隣接する鹿児島県側の吉松町の一帯に発生した一連の地震は、「えびの地震」と名付けられた。そのうちおもな地震は次のようなものである。

- | | |
|------------------------|--------|
| 1. 昭43.2.21 08時21分 震度5 | } えびの町 |
| 2. 同 10時45分 6 | |
| 3. 同 2.22 19時19分 4 | |
| 4. 同 3.25 0時59分 4 | |
| 5. 同 1時21分 5 | |

第2回目の地震のマグニチュードは 6.3 と、またそのときの九州における震度分布は、図-1 に示すように発表されている。

つぎにえびの地震の震央はえびの町中央から南方 7.8 km の飯盛山といわれ、震源域は 径約 10 km というせまさであり、また震源の深さも数 km の浅さであり、群発地震の様相を呈している点でも特徴のあるものである。その後えびの町飯野で観測される地震周期は 0.07 秒ないし 0.12 秒である（東大地震研、下鶴大輔教授のご好意による）。えびの地震が火山性のものか、あるいは、構造的のものかどうか、また 4 月 1 日の 1968 年

日向灘沖地震（マグニチュード 7.7）と関係のあるものかどうかについてもまだ定説はないようである。

前述の両町一帯は、国見山系と霧島山系にはさまれて図-2 に示すように、一つの盆地状平地をなしているが、この平地は、比較的弱いチュウ積シラス層からできているだけでなく、その周辺をシラスの山で囲んでいる点が大きな特徴である。災害は建築物をはじめ、山崩れ、堤防、橋リョウ、道路、鉄道および農林にわたり、被害

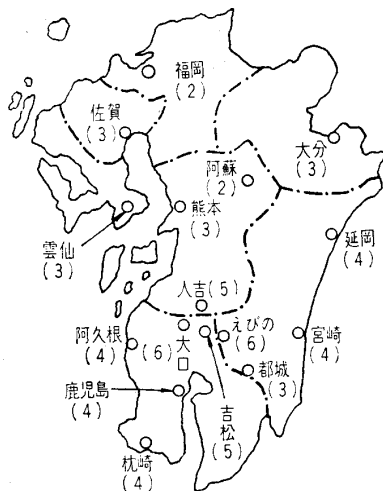


図-1 震度6のときの九州各地の震度分布（福岡管区気象台による）

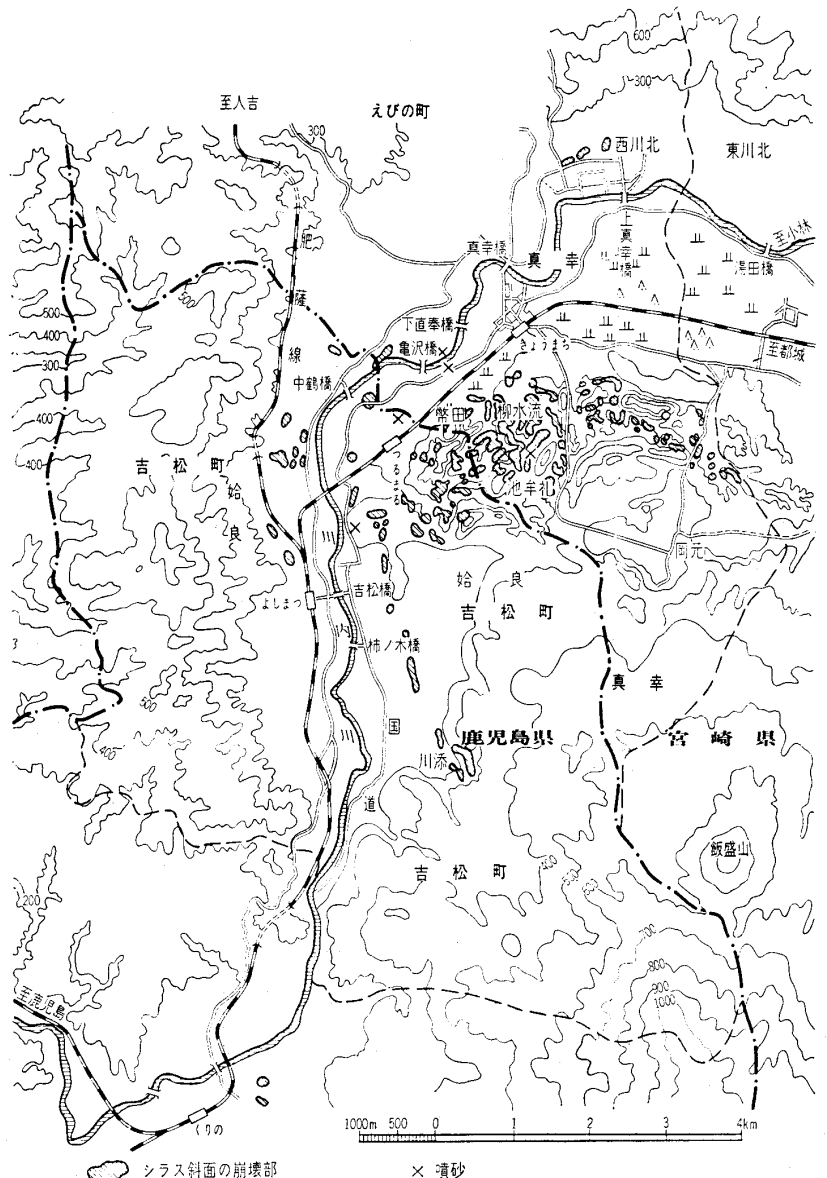


図-2 えびの・吉松両町一帯の地形その他（木村，春山ほか）

総額は 40 数億円に上っているが、災害のほとんどがシラスの弱さに起因している。なお本文では鉄道関係の災害調査に及ぶ余裕がなく、いちおう除外せざるを得なかった。

2. 地 質

2.1 地質の概説

(1) 地質構成 えびの・吉松地域は、いわゆる“加久藤層群”に属する“シラス類”を主とする累層と、これを覆う砂層・ローム層・霧島新期溶岩類からなり、これらは鮮新世後期、洪積世、チュウ積世であるが、基盤は、やや古い霧島古期溶岩類，“古期安山岩類”（新第三紀），さらに古い“四万十累帯”（古第三紀以前）の砂岩・ケツ岩からなっている。

(2) 地質構造 a) 霧島火山のいちじるしい火山構造線（SE-NW）上に当たる。b) 加久藤層群は概してほとんど緩傾斜できわめて平静な構造を示す。しかし、柳水流・池牟礼地域では局部的にはなはだしくシュウ曲して、小断層もあり地層のジョウ乱しているところもある（図-3）。c) 霧島火山東方地域の軽石流の一つに、古く霧島火山北西地域から噴出したと考えられるもの（種子田，1963）があるが、この噴出源として一応飯盛山・柳水流地区を含むカルデラを考えることもできるようである。

2.2 震害が地質に規制されていること

(1) 震源は飯盛山付近（広くみても北方加久藤盆地にわたる範囲内）の地下 1~10 km にあるという。この震源地区内でも、震害は場所によっていちじるしく違う。これは地質の相違に対応する。

震害のひどかった柳水流・池牟礼地域は前述の洪積・チュウ積層からなる地盤の軟弱地帯であり、しかも局部的には過去において地層が断たれ傾動している。中でも加久藤層地域および加久藤層が地下浅く潜在するところが震害はいちじるしく、チュウ積層の厚いところでは、いちじるしい現象はみられない。

飯盛山の北裾に連なる地域は、溶岩類に覆われているが、ここも震害がきわめて軽微であった。また加久藤盆

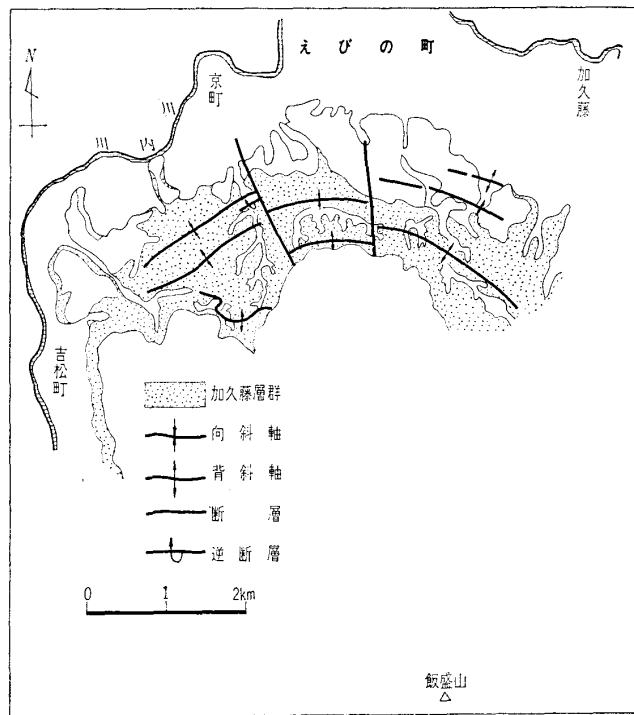


図-4 加久藤層群の地層状態（種子田）

地の北縁は基盤の古期火山岩類が露出しており、川内川北岸は基盤が地下浅いところにあるらしいが、ここも震害は軽微であったが、なお検討の必要がある。

(2) 加久藤層群は、柳水流・池牟礼地域では、シュウ曲・小断層により地層が乱れている。大局的には、向斜・背斜の軸が、飯盛山に凹部を向けた弧状を呈するようである。「地震のゆれ」の方向と、この軸との間に何かの関係があるかどうか資料不十分である（図-4）。

(3) 震害の種類と地質との関係については、次のように要約される。家屋の倒壊は、チュウ積面・大溝原面（ともに砂・レキ層地域であるが、加久藤層が浅所に潜在するところである）でいちじるしく、山腹の崩壊は“シラス類”（下浦層・昌明寺層、いずれも加久藤層群に属する）にいちじるしい。大溝原層も崖端でかなり崩壊している。また霧島古期溶岩塊が転落して死者1を出した（吉松町中津川）。チュウ積面では地割れ、噴砂の現象がみられる。地割れの方法はチュウ積層・大溝原レキ砂層の分布形態といくらか関係があるらしいが、基盤の断層の有無または発生を示すようなものはない。

2.3 シラス類の性状

加久藤層群は、シラスまたはシラス様の地層を主とする累層である。シラス類は、場所により軽石片の大きさ・量がかなり違うが、この地域では、軽石片・石質片ともに少ない場合が多い。これが“微細”の感を与える。しかし、4 mm 以上の軽石片・石質片を除いた部分は必ずしも微細ではない。顕微鏡観察によっても、また粒度の機械的分析によってもこのことはわかる。

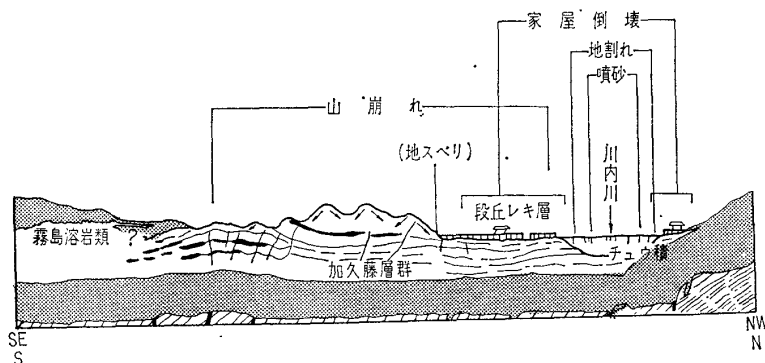


図-3 震害地域の模式的な地質断面図（種子田）

シラスの粒度分布の特徴は、加積曲線がゆるく傾き、凹凸を示すことであるが、加久藤層群の“シラス類”は加積曲線がやや急傾斜で、かつスムーズである。これはシラス類としては比較的良好な淘汰作用を受けていることを示す。微粒子は比較的に少ない。一方軽石片（塊レキ）が不規則な形の集合体をなしていることが少なくない。おそらく、主として始良火山源軽石流の水中タイ積層であるだろう。ほとんどガラス片からなっているが、多少のケイ藻を含むことは注目に値する。

これらの性質が地震に対して“シラス類”を弱くし、その崩壊を容易にしているのであろう。要するに、えびの地震の災害は、地質と地形に規制され、さらに「霧島火山の構造」と関係が深い。

3. 土質と基礎

土質工学的観点からは災害は次の6項目が問題点として取りあげられる。すなわち、(i) シラス層の山腹崩壊、(ii) 河川堤防のキレツと沈下、(iii) 噴砂、(iv) 道路舗装面のキレツと沈下、(v) 擁壁や石積みの崩壊、(vi) 構造物の基礎地盤としての安定性、(vii) 地表面の変動である。このうち橋りょう関係は 4. に譲ることにする。

3.1 斜面崩壊

(1) 概 要

今回の地震による斜面崩壊の大部分は、一次的タイ積とみなされる昌明寺および下浦タイプのシラス層の山腹崩壊や、切取り斜面の崩壊である。場所的には図-2に示すように、吉松町東部の楠辺・大平地区からえびの町南部の柳水流・幣田・池牟礼地区にかけてのシラス山地に集中している。しかし川内川北岸に沿う吉松町中野・山下・般若寺ならびにえびの町岡松・昌明寺・川西・川北および大明司一帯には点々と崩壊跡が見られる程度である。そのほか川内川亀沢橋上流左岸のシラス層まじり溝園層（粘土質）の崩壊があり、また国道 268 号線の県境付近の切取り斜面や楠辺から幣田にかけてみられる農地土手のローム層の崩壊があげられる。

以上の崩壊はそのほとんどが 2 月 21 日の地震による急激な崩壊で、とくにシラス山地の山腹崩壊の形態は、気象作用を受けやすい山腹斜面の表層に近い部分が平面

腐植質層・黒色	20~30cm	腐植質層・黒色	20~30cm	腐植質層・黒色
細砂・シルト質層あるいは段丘砂レキ層	20~50cm	細砂・シルト質層褐色	20~50cm	段丘砂・レキ層黒褐色
シラス層白色		シラス層・白色ないし淡褐色（下浦型）		シラスを含む砂層・白ないし褐色
時としてこの層の上位に水平方向の成層が見られる。		溝園層		溝園層
		シラス層・白色（昌明寺型）		シラス層・白色（昌明寺型）

(a)は吉松町鶴丸の奥地、(b)、(c)はえびの町幣田および柳水流に多い

図-5 土層断面の概念図（木村，春山）

的に揺り落とされたといった形状のものが多い。

これら被災地域の地形は開析がかなり進み、谷が複雑に入りこんでおり、谷に面する山腹のコウ配は鹿児島県内各地のいわゆるシラス台地の辺縁部よりゆるく 30°~60° の範囲である。

鹿児島県内では、一般にシラス層の上位には黒色火山灰層や新規ローム層が厚く、普通 5 m ぐらいタイ積しているが、被災地域ではこれらの層はほとんど見られなかった。図-5 に被災地の土層断面の概念を示す。ところによっては第2層の細砂・シルト質層、あるいは段丘砂レキ層を欠いている。

上述の山腹崩壊とは様相を異にしたものとして、えびの町柳水流～幣田間の段丘部にみられる崩壊がある。これは地スベリ性の崩壊形状を見せている。この段丘部のスベリ面にはレキ層が介在しているが大部分は水成のシラス混じりの層で、北側水田面からの比高は 20~30 m である。なお、このスベリ面のレキ層下部に暗青緑色の粘土層が露出しており、その下部が直径 1~2 m の開口部をみせて陥没している。この粘土層が地スベリ性崩壊を促したことは明らかである。

斜面崩壊とくにシラス層の山腹崩壊は宮崎県林務部管内だけでも 328 箇所、崩壊面積は 74.81 ha に達している。これらの崩壊面は、その後 3 月 25 日の地震（震度 5）で一部変動した箇所もある。その後一応安定を保っているが、シラスは水にきわめて弱いというのに、このたびの地震によって被災地の山腹傾斜地は、至る所地盤にキレツが入り、ゆるめられているから雨期にはさらに大きく水の働き場を与えているような危険な状態にある。したがって現状のままでは、降雨による侵食崩壊や崩落

表-1 崩壊地のシラスの物理的性質（木村，春山，難波）

No.	位 置	地 質	土粒子の比 重	湿潤密度 (g/cm ³)	乾燥密度 (g/cm ³)	間ゲキ比	含水比 (%)	飽和度 (%)	透水係数 (cm/sec)
1	(鹿) 吉松町鶴丸松ヶ田	?	2.39						
2	(宮) えびの町加久藤西長江浦	昌明寺型(?)	2.38	1.264	0.892	1.664	41.7	59.6	10 ⁻³ ~10 ⁻⁴
3	" " " 東川北	昌明寺型	2.33	1.222	1.034	1.253	18.2	33.4	
4	" " " 桃ヶ迫	昌明寺型	2.38						
5	" " " 下浦	下浦型	2.51						
6	(鹿) 鹿児島市鴨池町唐湊 I	入戸軽石流	2.42	1.257	1.063	1.280	18.3	34.6	10 ⁻³ ~10 ⁻⁴
7	" " " " II	"	2.43	1.300	1.018	1.387	27.4	48.0	10 ⁻³ ~10 ⁻⁴

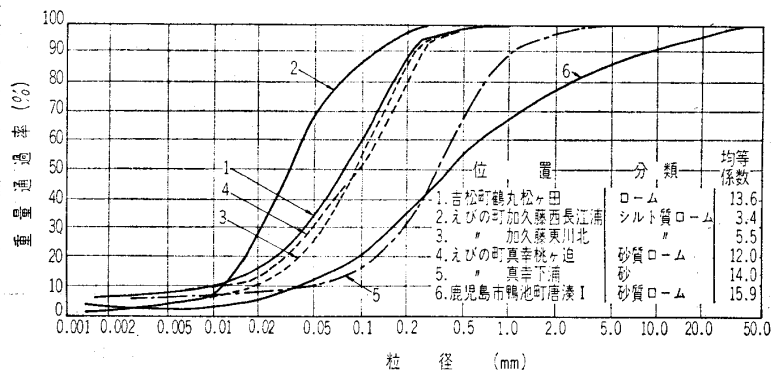


図-6 崩壊地のシラスの粒度 (木村, 春山)

したシラスの流出という二次的な災害がさらに拡大されることが明らかである。

(2) 崩壊斜面のシラスの物理的性質

ガケ崩れなどを起こした地域の白色砂質のタイ積層は、鹿児島県内に広く分布する軽石流の非溶結部である入戸シラスとは岩相をいじりしく異にしている。

物理的性質は表-1に示すようにえびの地区シラスは入戸シラスより、ゆるくタイ積し、水分を多く含んでいる。粒度は図-6のようにえびの地区シラスは入戸シラスより細粒で、粒径がそろっている。山中式土壌硬度計で被災地シラスの硬度を測定したところ、えびの地区シラスは入戸シラスより硬度が低い。さらに吸水膨張および乾燥収縮の性質とも入戸シラスより大きい。このことは、雨期にシラスが軟化し流失されやすいことを意味する (西, 木村, 1954)。

(3) シラス斜面と耐震性

このような、塊状スベリでも回転スベリでもない崩落破壊の安定計算方法も、一つの課題である。斜面の表面に、植生あるいは何らかの人工的保護を施して、侵食を十分に防止できることを条件として、ある程度ゆるやかな傾斜によるシラスの切土斜面を採用するのがよいと考える。このような垂直でないシラス斜面の検討は、耐震を考えたものでなかったが、すでに鹿児島のグループでなされていた。この工法は後述の農林災害の部分で述べる。この方式による斜面設計のため、乱さないシラスのせん断抵抗、とくに動的せん断抵抗の研究を進めるべきである。現在すでにこの研究は一部の委員が始めている。また強さを実用的に判定するのに役立つような、シラスの工学的分類法の確立も必要である。能戸委員は、シラス斜面の層理のあるもの (Bとする) とないもの (NBとする) ならびに細粒子ないし中粒子のもの (Fとする) と粗粒子のもの (Cとする) との4とおりの組み合わせによって崩

壊に対する強さの順序が決まるのではないかと考えたが、だいたいこの分類はあてはまるようである。それによれば、地震に対し、シラスの斜面の強さは NB-F, B-F, B-C, NB-C の順序である。また斜面設計法としては在来的な耐水式のガケの下に崩落土のタイ積に備えて余地を準備することも考えられるが、この方法では図-7 からわかるように、かなり広い面積が必要であるばかりでなく、崩落は必ずさらに進行して、結局はコ (姑) 息的对策にすぎないだろう。

3.2 河川堤防その他築堤のキレツと沈下

川内川の堤防の被災箇所は、8箇所である。延長計 3,810 m であり、護岸工では被災箇所 7 箇所、延長計 780 m である。大部分の被災堤防は、2月の地震後いち早く堤体土の入換えと再転圧が行なわれ、3月の地震では新しい損害はなかった。

堤防の損害は、ほとんどが天端の中央部またはノリ肩に近い部分に入った堤軸方向のキレツである。キレツ幅は広いもので数 cm、深さは数 10 cm に達するものがあった。なお、湯田橋上流の右岸堤防で、図-8 に示すように堤防側の犬走りに沿って落差 20 cm 程度の大きなキレツ (延長 12~13) が認められた。これは犬走り以下の部分の護岸損壊にともなうスベリ性の崩壊によるものと考えられる。

河川堤防以外では、国鉄吉都線京町~鶴丸間の盛土区間に沈下を生じ軌道の不陸を生じた。

3.3 噴砂

えびの地震では各所にシラスの噴砂がみられた。すべて2月21日の地震時に発生したものであるが、柳水流

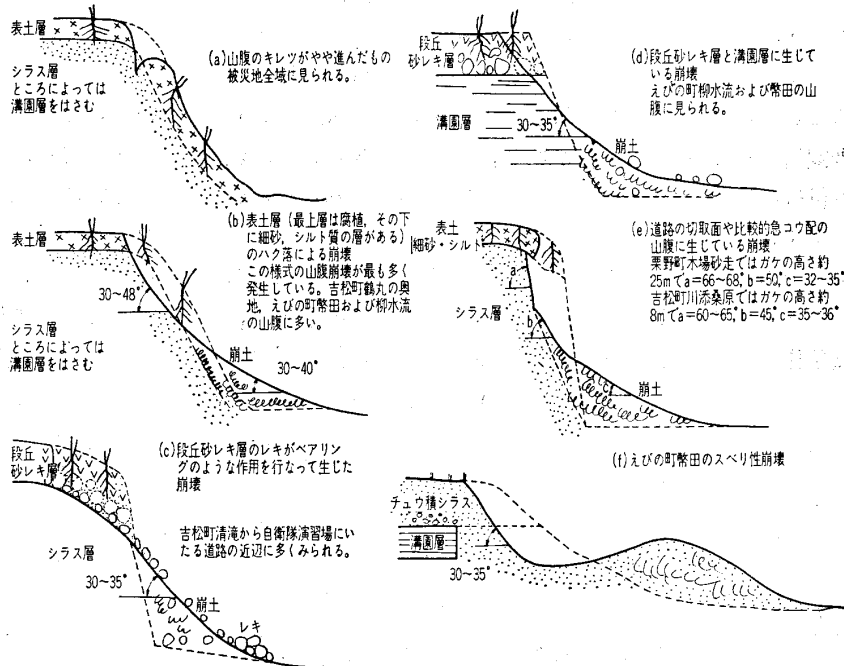


図-7 山腹崩壊の形状 (木村, 春山)

～幣田の水田では3月25日の地震(震度5)後にも、第1回目の噴砂個所から再度噴砂したことがわかっている。

えびの地震での噴砂は図-9(a)に示すようなたんぼにおけるものと、川内川の川原におけるものとは図-9(b)に示すように噴出物がだいぶ異なっている。亀沢橋

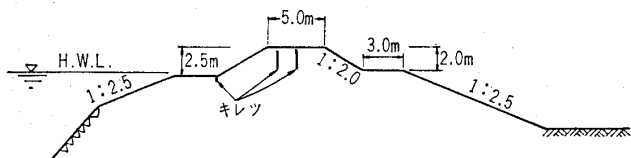
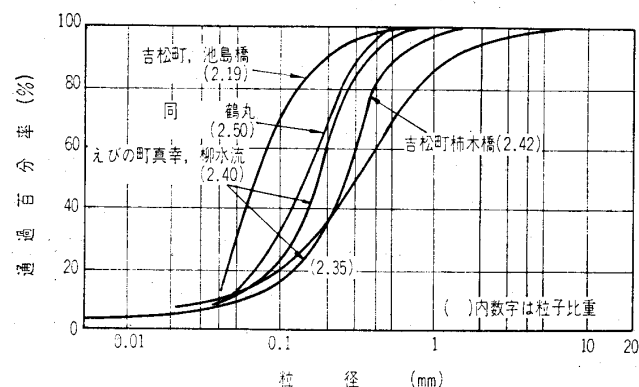
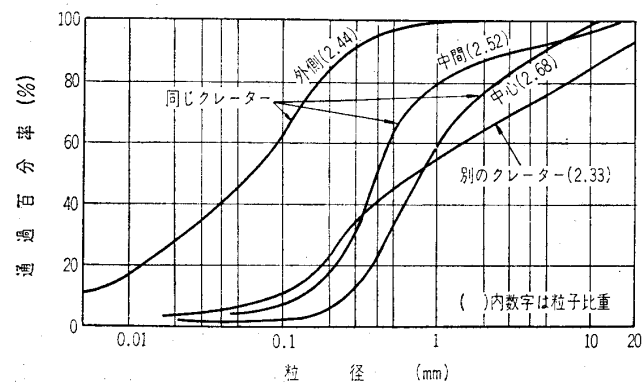


図-8 川内川堤防の標準断面(藤本)



注 鶴丸, 柳水流: たんぼ, 柿木橋(川内川), 池島橋(支川): 川原におけるもの
(a)均等係数の小さい噴砂



注 亀沢橋(川内川)付近の広い川原におけるもの

(b)均等係数の大きい噴砂

図-9 噴砂シラスの粒度(山内ほか)

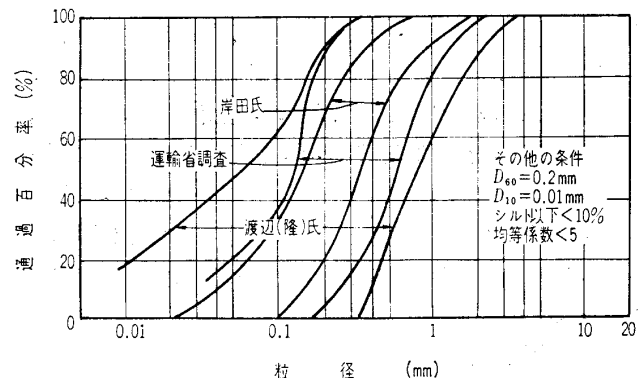
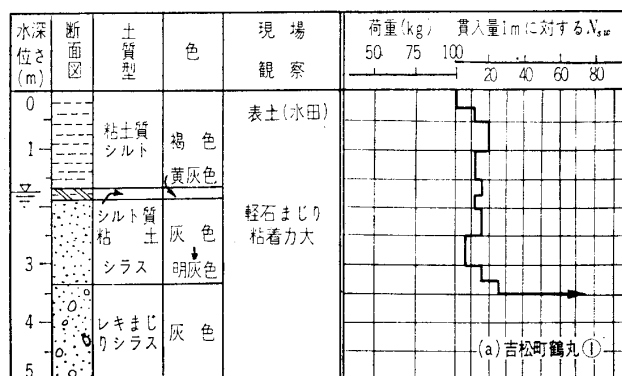


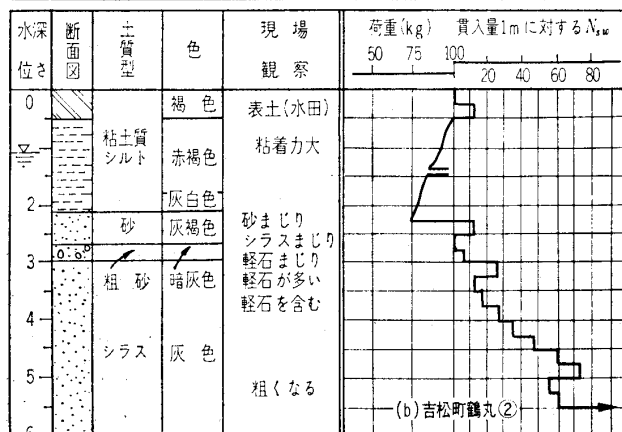
図-10 新潟地震の経験から考えられた流動しやすい砂の粒度

付近の川原では径 30 mm もの軽石を含んでいるが、これは河原の材料の特徴として丸みを帯びていて卵状である。噴出物全体としてはたしかにシラス状に見えるのであるが、この種の川床タイ積のものは正確にはシラスとはいえないだろう。いずれにせよ、噴砂したものと地中の母材とは必ずしも一致しないのであろうが、参考に新潟地震の場合の調査から流動しやすいと考えられる砂の粒度を示したのが図-10である。

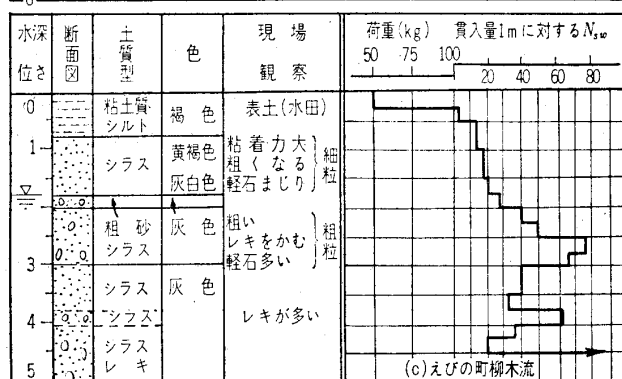
えびの地震で起きた噴砂個所の地盤調査結果は、図-11に示すとおりであり、たんぼの下で地下水の深さが 1.05 m のところで、深さ 2.95 m 以下にタイ積しているシラスが噴き出し、また別のところでは地下水の深さが 1.75 m のところで深さ 3.00 m 以下にあるシラスが噴き出している。いずれも地震による表土の地割れ目を通して噴出していることが実際に掘り起こしてみ確認された。地中シラスの N_{sw} から換算される標準貫入 N



(a) 吉松町鶴丸①



(b) 吉松町鶴丸②



(c) えびの町柳木流

図-11 シラスの噴砂個所の地盤(山内ほか)

値は最大約7程度である。

シラスは新潟におけるような普通の砂と比べて、粒子の性質がかなり異なっているため、チュウ積シラス地盤では新潟地震におけるような砂の流動化がより起こりやすいのか、起こりにくいのかかわかっていなかった。山内ら(1962)が前にこの問題を繰返しの高速載荷による三軸圧縮試験で調べ、図-12に示すように、“普通の砂では密度さえ高ければ、流動化は起こらないが、シラスは相対密度100%でもそれが起こる”という結果を得た。これはシラスの骨組が繰返し荷重のもとで崩れやすいことに起因するもので、大きな軽石は別として、単に比重の小さいため浮き上がりによって噴砂したものではないと考えている。シラスあるいは砂質火山灰土に即したこの種の報告はほかに行なわれていない。

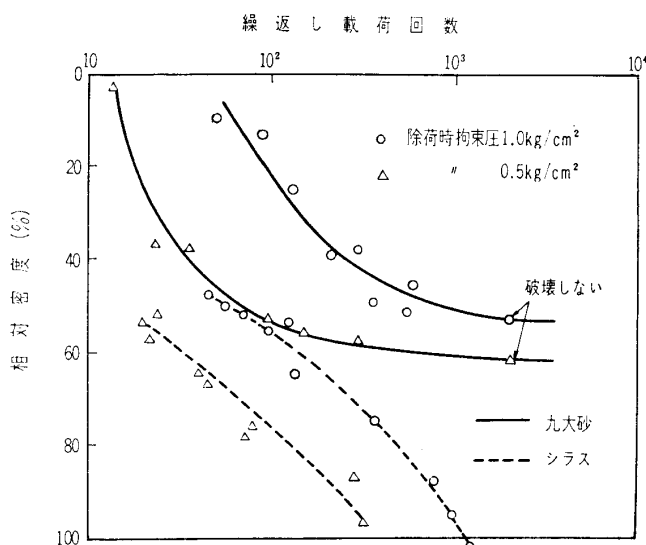


図-12 シラスおよび普通砂による供試体の流動化破壊の比較(山内ほか)

この噴砂は、もちろん新潟地震の場合のような広い面積にわたって流動化したものとはかなり様相を異にしているが、ともに粒状体の流動化によるものであることは変わりがない。噴砂そのものがとくに珍しいというのではなく、シラスが他の砂をおいて選択的に噴砂したという実験室の結果とも関連づけられる現象の意義に注意したい。このようなことから鹿児島市のような他の地域の深いチュウ積シラス地盤、あるいは北海道の臨海用地におけるような砂質火山灰土地盤での構造物の耐震設計上、重要な示唆を与えるのではないかと考えていたが、その後十勝沖地震では八戸市、函館市で砂質火山灰土の流動化による災害がみられた。

3.4 道路舗装面のキレツと沈下

道路関係の被害、とくに舗装面のキレツと沈下は、地盤条件の悪い柳水流～幣田～亀沢間の国道268号線に多くみられた。道路の舗装構造は旧道路面を基層とした厚さ5cmのアスコン簡易舗装で、おもなキレツは路線方向に沿って発生していた。また路肩部分が両側に押し出

されたようになって、舗装縁部との間にさけ目の生じているのが目立った。

吉松～麓間でRCボックスカルバートの両側の石積み(高さ100～170cm)が崩壊した。これは単純な石積みの崩壊でなく、カルバートの振動の影響を受けているようであった。

橋リョウの取付部の盛土はほとんど沈下している。コンクリート舗装の被害はみかけなかったが、これは京町付近にこの種の舗装が少ないせいもある。一般に盛土区間は両側切り区間や市街部に比べて被害がいちじるしい。

3.5 擁壁、石積みの崩壊

重力式のコンクリート擁壁が少ないため、このタイプの被害は見られない。しかし石積み、ことに空石積みは高さにかかわらず崩壊していた。柳水流～幣田間では、セメントコンクリートブロックの護岸の沈下例がみられた。橋台の被害としては、橋台自体が沈下している例はほとんどなく、袖部や護岸工の石積みのキレツやはらみ出しと橋台の前傾がみられた程度である。しかし、橋台が前傾する場合には橋ケタがストラットとして作用しているようである。

3.6 地表面の変動

吉松大西・楠辺からえびの町柳水流・池牟礼にかけてのシラス山地の谷間の水田にキレツや噴砂がいちじるしい。中には30cm近くの落差を示すキレツもあった。また水田の隆起したところもある。

4. 橋リョウ

2月21日地震の震央と推定されている地域の西縁にそって川内川が南下している。その流路約15kmの間の9つの道路橋についての調査結果を述べる。

メタルのプレートガーダーが2橋、PCのスラブが1橋、他の6橋はポストテンションのPCケタ、いずれも単純支承、二等橋である。

4.1 湯田橋の被害

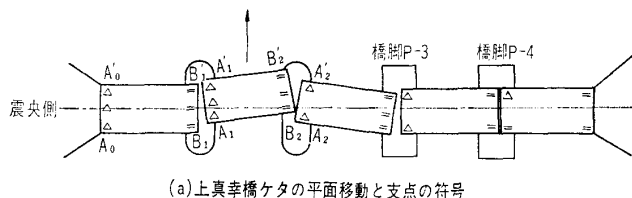
14径間のPCスラブ橋であるが、左岸(震央側)から数えて13番目のケタだけが橋軸と直角方向に、左端で約2cm下流に、右端で約7cm上流にずれているが、それ以外のスパンには損傷がない。左右のアプローチ、ことに左岸のそれは約15cm沈下しているが、橋台や橋脚には沈下移動偏倚等まったく認められない。14スパンのうち、震央から遠い第13番目のケタだけがいく分の被害を受けていること、これがこの橋の被害の特徴である。

4.2 上真幸橋の被害

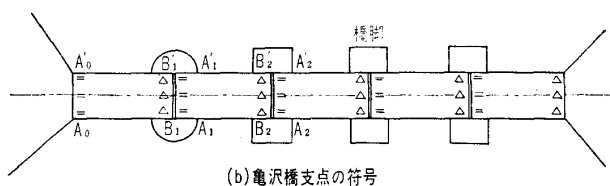
有効幅	3.50 m
スパン	5×28.06 m

構 造 3×PC-Tバリ

橋台、橋脚ともに沈下も偏倚も認められない。アプローチは盛土で、左岸の橋台付近で約 10 cm、右岸で約 5 cm 沈下しているが、これはおよそ盛土高に応じて、調査区域全般にわたってみられたことである。そこで以下主として各ケタの移動と、支承部の破壊状態について述べる（図-13(a)、写真-1）。



(a)上真幸橋ケタの平面移動と支点の符号



(b)亀沢橋支点の符号

図-13 川内川における2つの橋リョウ（久原）

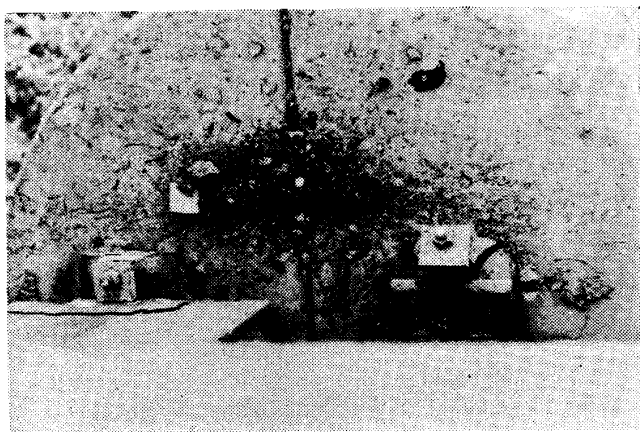


写真-1 上真幸橋第2橋脚支承（上流側）

ケター1：外見上まったく被害はない。ケタの移動も、支承の損傷もほとんどみられない。

ケター2：左端（震央側）は約 7 cm 下流方向へ、右端は約 40 cm 下流方向へ移動している。

支承-A₁（上流側、固定）シュー（沓）はボルトの付根付近から約 45° 方向に破断しており、ボルトとその周辺の一部を写真-1 のように橋脚上のもとの位置に残してシューの本体と、底板とは密着したままケタと共動している。

支承-A'₁（下流側、固定）ボルトが切断、シューと底板とは密着したままケタと共動している。

支承-B₂（上流側、可動）シューは A₁ と同じように破断しているが、底板とケタとの碇着も破れてたがいにすべったため、シューの切れ目の幅は（40 cm でなく）1 cm 位にとどまっている。残ったボルトの頭が、ケタの移動と反対の上流側に曲がっており、上下流方向に交互に激しい力が作用したことを示している。

支承-B'₂（下流側、可動）ボルトが切断しシューは橋脚上を移動しており、同時に、底板とケタとの碇着が破れ、ケタの底板と接するあたりが欠け落ちている。

ケター3：左端（震央側、固定）が約 5 cm、右端が約 3 cm 下流へ、ケタ全体が、右岸へ 約 2 cm 移動している。

支承-A₂, 支承-A'₂ 底板突起部以下「耳」とよぶ。またシューの突起を「鼻」とよぶことにする一が切断されているが、シューは動いていない。底板とケタとの碇着は破れていることが、付近のケタのキレツから明瞭である。

支承-B₃ シューは動いていないが、底板とケタとがたがいにすべっている。

支承-B'₃ シュー底板とケタとが共動して橋脚上を約 2 cm 右岸へ、約 3 cm 下流へ移動している。

ケター4：ほとんど移動していないが、左側の支承には幾分の損傷がみられる。

支承-A₃ 底板の「耳」キレツ

支承-A'₃ シューの周辺モルタルが、脱落した程度で、ほとんど無傷といえる。

支承-B₄ シュー周辺のモルタルにキレツ

支承-B'₄ 支承 B₄ と同様である。

ケター5：ケター4 よりさらに完全に無傷に近い。

支承のモルタルのはげ落ちの程度も少なく、ケタの移動はまったくない。

上真幸橋の被害の特徴は：ケタの移動が橋軸と直角方向にはなはだしいこと：ケター2 の移動が極端に大きく、それがケター3、ケター4、ケター5 へと次第に減ってゆき、あたかもケター2 の動きがケター3 以下を引きずったような形跡を示していること：ケター1 がほとんど震害のコン跡もないということ：である。また、支承金物とコンクリートとの碇着が失われたものが多く、いったん両者の碇着が破れると、コンクリートと金物との間の滑動の方が金物と金物との間の滑動量よりもはるかに大きいことを示している。

4.3 亀沢橋の被害

有効幅	3.50 m
スパン	5×26.20 m
構造	3×PC-Tバリ

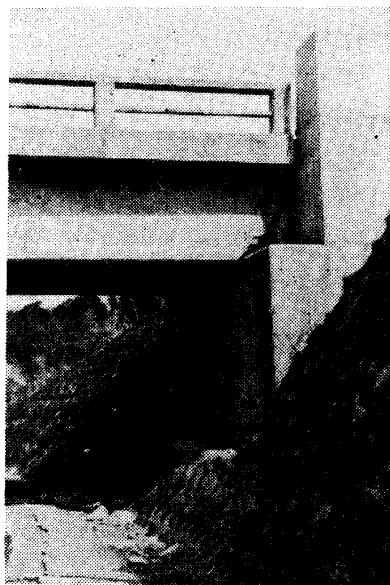
調査区域のほぼ中央に位し、9橋の中で最も被害が激しく、43年7月現在なお通行禁止になっている。

ケター1：主ケタは三本とも橋台上で、腹部のほぼ半分以下が、45° 方向に粉碎されており、ケタは約 20 cm 下がって橋台と横ケタが接触している。おそらく主PCのコーンも、粉碎に近い状態にあるものと思われる。橋台と、ケタ左端との間が、約 10 cm 離れているが、これは橋台の移動によるものと考えられる。ケタ下面の橋

台の欠落もいちじるしい。

支承— A_0 (上流側, 可動) 支承— A_0' (下流側, 可動)

ケタ, 橋台ともに, 激しく損傷しているにもかかわらず, シューはボルトが切断されないままに橋台上に残っている。底板は破砕されたコンクリートの中に巻き込まれているものと考えられる。激しい上下動を主とする振動で, ケタと橋台との強い上下のぶっかかり合い, シューと底板との容易な絶縁, それがこの支承部の損傷の原因ではなからうか (図—13(b), 写真—2)。



写真—2 亀沢橋左岸橋台 (下流側より)

支承— B_1 (上流側, 固定) 支承— B_1' (下流側, 固定)

ともに, シューの周辺のモルタルが, はげ落ちた程度で, シュー, 底板ともに無傷である。ケター1 の水平移動も全然認められない。ケター2, ケター3 は支承ともほとんど異常がない。

ケター4: ケタ自体の損傷はなく, 移動もしていないが, 橋脚—4 上ではかなり激しい衝撃のあとがみられ, 橋脚の支承下部の欠け落ち, シューのボルトの切断がみられる。

支承— A_3 (上流側, 可動) 支承— A_3' (下流側, 可動)
両方ともまったく損傷はない。

支承— B_4 (上流側, 固定)

シューの固定用モルタルは飛散し, ボルトは切れている。しかしシューの「鼻」は健在であるし, シューそのものはピアのコンクリート中に埋込まれて動いた様子はない。しかし, シューとコンクリートとの間に明らかにスキが見えるし, 付近のピアコンクリートの欠け落ちから, シューとピアとの碇着はすでに破れているものと推定される。底板とケタとの碇着については, 外見上は異常がない。

支承— B_4' (下流側, 固定) ボルトは切れていないが, 橋脚が欠けているので, 大体 支承— B_4 と同じ程度の損

傷であろう。

ケター5: ケタはほとんど移動していないが左側の支承 (可動端) 上にケタコンクリートのヒビワレがある。

支承— A_4 (上流側, 可動) 支承— A_4' (上流側, 可動)
いずれも, 支承— B_4 , — B_4' 程度の損傷を受けておりピアのコンクリートもかなり欠落している。底板とケタとの碇着は失われているものと推定される。

支承— B_5 (上流側, 固定) 支承— B_5' (下流側, 固定)
両者とも全然異常は認められない。

亀沢橋の被害についてその特徴を要約すると, ケタの損傷が激しいのに, ケタの移動量が比較的小さいこと: 左岸橋台上および橋脚—4 上においてだけ激しい損傷がみられ, 他の支点では損傷らしいものがなく, その相違が極端であること, ケタの一端の激しい被害に比べ, スパンの他端の被害が皆無に近いこと: である。すなわち亀沢橋は, 左岸橋台と, 橋脚—4 において主として上下動の激しい入力を受けたものと推定され, 他の諸橋の被害といちじるしい対照を示している。

上真幸橋, 亀沢橋に比べてはるかに被害程度が小さい他の諸橋の調査結果については, いちいち述べることを省略し, 一括して要約すれば次のようなことである。

(i) ケタはほとんどが平面的に多少の小移動を主として橋軸方向に起こしている。そのため見通しが多少ジグザグになり, ケタ端面の衝突によってランカンの小欠け落ち, 路面舗装の継目の隆起等が見られるものがあるが, 上真幸, 亀沢の両橋に比べれば損傷の程度は軽い。

(ii) ケタ自体の損傷は, 柿木橋左岸橋台上の一個所だけである。

(iii) シューのスベリ出しと破壊が, 中鶴橋および下真幸橋でかなり見られる。いずれも上流方向への滑動である。

(iv) 橋台, 橋脚ともに, 沈下も偏倚も認められないが, 付近の盛土の沈下のため, ノリ面保護の石積みやコンクリートがそこなわれているのは多い。

(v) 柿木橋と葉広田橋のいずれも左岸 (震源側) 側の橋台で, 本体と橋脚との境界に沿う縦方向の小キレツが生じているが, それ以外には, 下部構造自体の損傷はない。

4.4 要 約

以上の調査結果にもとづいて, 激震地付近の道路橋にみられるえびの震害のいくつかの特徴を要約すると次のようになる。

(i) 下部構造自体の, またケタ自体の被害はない。被害はすべて支承部と関連して, 支承付近だけに生じている。

(ii) 下部構造は, 池島橋の橋脚を例外とすれば, ほとんど沈下も偏倚もしていない。したがっていわゆる二

次的震害はない。

(iii) 主として激しい上下動を受けたものと、主として激しい横方向振動をうけたものがある。前者の場合は損傷がケタの一方側に限られ、後者の場合は他方にも及んでいる。

(iv) 左岸（震央側）橋台からの入力が激しいものとそうでないものがある。

(v) 右岸橋台からの入力はほとんどない。

(vi) 一橋について大体一本の橋脚から、激しい入力認められる。それは必ずしも左岸に近い橋脚でなく、むしろ右岸に近い橋脚である。

(vii) メタルのプレートガーダーの2橋には、いずれも被害がない。

4.5 橋リョウ基礎工の震害

川内川に架設された橋リョウで、その基礎工に被害を受けていると認められるものは一件もなく、橋リョウはすべて上部構造のみが被災していた。これらの橋リョウ架設地点の基礎地盤の条件は一般に 1~2m の砂レキ層の下がシラス層と推定されていて、橋台や橋脚の基礎グイあるいは井筒は大部分のものが、シラス層内に 10m 程度根入れされている。これに対して川内川支流の池島川に架設されている池島橋は、同じような地盤条件であるが、基礎グイが 5m になっているためか 図-14 に示したように P_1 橋脚が 30cm 真直ぐに沈下している。この沈下はシラス層の流動化によるのではないかと考えられるが、 N 値の資料がないので断言できがたい。なお同橋の P_2 橋リョウの周辺に半径 6~7m のキレツがみられたが、これは橋リョウ施工時の掘削埋戻土の揺りこみによる沈下と思われる。

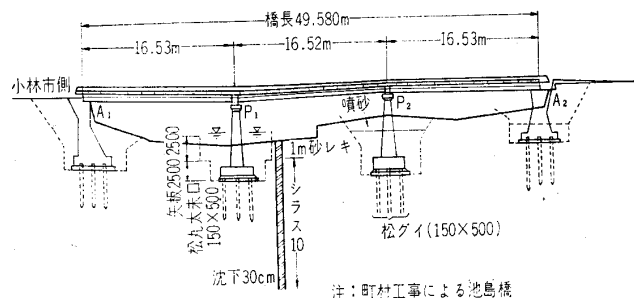


図-14 川内川支川にかかる橋リョウの被災（藤本）

5. 農 林

5.1 災害状況

(1) 耕地

鹿児島県吉松町における耕地被害分布を示せば、図-15 のとおりである。宮崎県側の分布については資料不足のため掲載できない。

次に各工種別の災害状況についてであるが、宮崎県のものについては資料の入手が遅れ、その詳細について現地で調査できなかったため、以下の記述はすべて鹿児島

県のものについてである。

(i) 用水路および排水路 水路の災害は水路それ自体の破壊、キレツのほかに、水路に隣接する上方ノリ面のガケ崩れの土砂による埋没が多い。

また水路の材質によっても、その被災の状況が異なるわけであるが、鉄筋コンクリートはほとんど被害が見られないのに比べ、ブロック張石積み、無筋コンクリートにおいては、その材質、工法の違いというより、その路線の構成地盤の違いの方が被災程度を大きく左右しているように思われた。

また特殊なものとして鶴丸地区においては、管水路が地下 70~130cm に埋設されていたにもかかわらず、石綿パイプにキレツが入り、またコンクリート製のジョイントから屈折するなどで漏水がはげしく給水の用をなさなくなったものもある。

(ii) 農道：被害のほとんどが路肩の崩れであり、盛土の場合、より被害が大きい。またその大部分が縦方向にキレツが発生している。

(iii) 頭首工：取入れゼキそのものは破壊されていないが、上流部河床との間にキレツを生じたり、上下流の護岸の破壊したものが見られる。

(iv) 揚水機場：これも揚水機それ自体より、むしろ

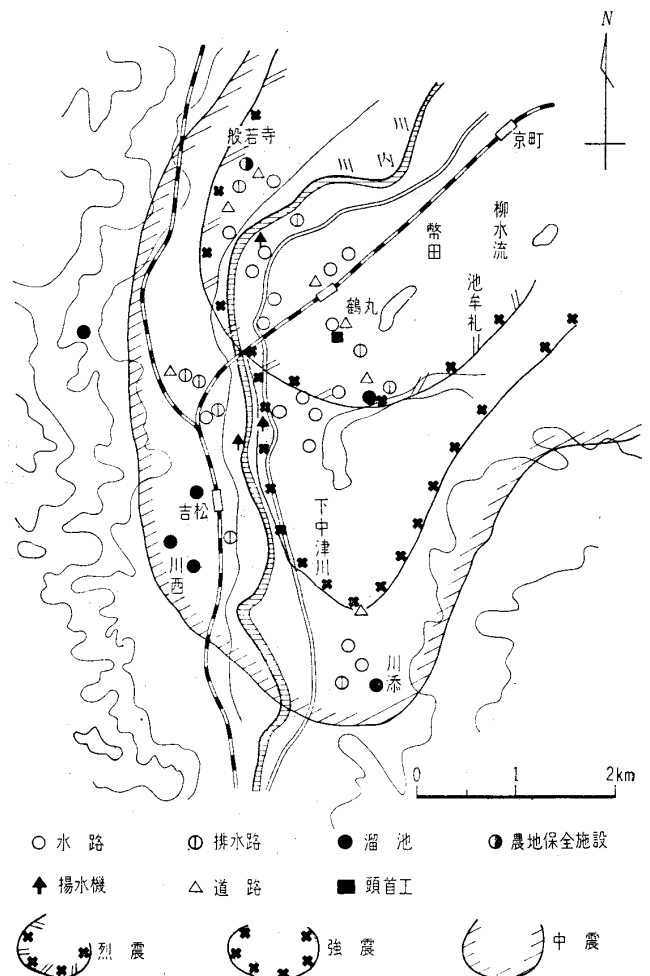


図-15 吉松町における耕地災害分布図（河原田，難波）

表—2 えびの地震山腹崩壊面積（両県林務部調べ）

地 域	宮崎県えびの町		鹿児島県吉松町		同 栗野町		震 度
	個所	面積(ha)	個所	面積(ha)	個所	面積(ha)	
2月21～22日発生の地震	323	66.61	112	26.2	2	1.5	21日2回にわたって5～6, 22日5
3月25日発生の地震後	328	74.81	115	27.4	2	1.5	6日3～4, 被害なし, 25日5

機場周辺のブロック積みの崩壊、床版の沈下が大部分であり、ただ1箇所揚水機と吸水鋼管の接合部において管が切断したのが見られた。

(v) ため池：ほとんどが5～6m以下の低いアースダムであり、天端面からのキレツ、余水吐入口の側壁および斜樋のキレツが被害のおもなものである。また一部に埋設されたコンクリート箱型余水吐にキレツの入ったものや、内ノリ面に沿って張られたコンクリートにキレツの入っているのが見られた。

(vi) 農地保全施設：これはガケ崩れによる農地の崩壊埋没で、農道、水路の埋没と現象的には変わるところはない。

このほか宮崎県内には耕地面の陥没、キレツ、噴砂なども見られたが、その被害面積等についてはまだ資料が得られていない。

以上のような現在目に見える被害のほかに耕地災害にはいわゆる機能災害というものがあり、たとえば外見には水田面にはなんの変化も認められないにもかかわらず、深部の不透水層にキレツが入ったりしているために水田用水量が増加したり、揚水機場そのものは被害がなくても地盤沈下によって揚程が増加し、地形の変化によって集水面積が増大したりするために揚水機的能力不足が起こることなどが、ほかの地震災害に起こっており、今後の地震においても当然考えておかねばならない。

(2) 山 地

山地における崩壊の発生個所は、図—2に示すようにえびの町加久藤地区東川北から栗野町永谷にいたる範囲にあり、えびの町真幸地区の下浦から、三吉にいたる山腹、柳水流から池牟礼にいたる溝添川流域、幣田から桃ヶ迫にいたる大丸川流域、および吉松町鶴丸の石小川流域では、山腹崩壊と地割れがとくにはなほだし、また吉松町中津川から川添にいたる山腹では山腹崩壊、地割れに加えて落石がはなほだし。

これらの崩壊地の植生は、一般に10～15年生の雑木林、あるいは杉の幼令林である。これら植生の根系は表土層内にとどまってシラス層内にはあまり侵入せず、表土とシラスとを緊結していない。このため初めの烈震で表土層がゆるんでハク落し、その後は裸出されたシラスが地震のたびごとに崩落して、ガイスイをますます大きくしたと考えられる個所が多い。

崩壊面積は表—2に示すとおりである。これらの大部分は川内川左岸側に集中し、右岸側にはきわめて少な

い。また地質的にみると崩壊はシラス層だけに起こっているというものでなく、段丘砂レキ層や溝園層においてもはなほだし起こっており、結局地質的に若い地層は非常に弱いことを表わしている。

地形的には、一般に凹凸のない単調な山腹の斜面や、山の突出部に多く発生している。崩壊を起こしていない斜面はコンケープな形をした部分で、山腹のコウ配が、40°～50°でも植生の根系が地中深く侵入して表土とシラス層を緊結しているところにみられる。

山腹崩壊の形状は図—7で示したとおりである。そのほか、吉松町川添地区の山腹斜面には大転石が露出しているところが多く、地震によって直径約2mの大岩まで落下し、家屋の倒壊、さらに尊い人命まで奪った。いまなおこの危険が非常に大きい。

5.2 災害対策

(1) 耕 地

各工種別にその対策を述べる。

(i) 用水路および排水路：水路の埋没したものは、その崩壊土の除去が主な工事となるが、この際上部ガケの処理として擁壁設置、ノリ面保護および水路の鉄筋コンクリート（三面張）による復旧を行なう。

(ii) 農道：肩崩れ、キレツは土砂の充テン、側溝の新設を行なうほか、上下部のノリ面には擁壁の設置、ノリ面保護を行なう。

(iii) 頭首工：水路護岸のキレツの小さいものは、目地の修復を行なうが、大部分は石積みの積みかえを行なう。またキレツ部は止水壁を入れて充テン修復する。

(iv) 揚水機場：機場周辺の石積みの積み換え、床版の張り換え、鋼管の取り換えを行なう。

(v) ため池：ため池は目に見えない堤体のキレツにより漏水が予想されるので、大部分はグラウト注入により復旧するが、一部には堤体の全面的改築をする。またコンクリート部のキレツは接着剤により新しく張りつけるコンクリートとの密着に慎重を期する。

また現在は、被害を受けているとはいえないが、雨期をひかえての水による崩壊土の流送は当然予想されるので、これによる耕地の埋没被災は目にみえている。災害復旧は稲の植付けに間に合わせるだけでなく、災害防除という意味からも急務の問題である。

(2) 山 地

過去に全く同じ場所に何回も地震が発生し、震源がほぼ一定していることを考えると、えびの地区山腹崩壊地

一帯は今後も地震災害が繰返される危険が予想される。

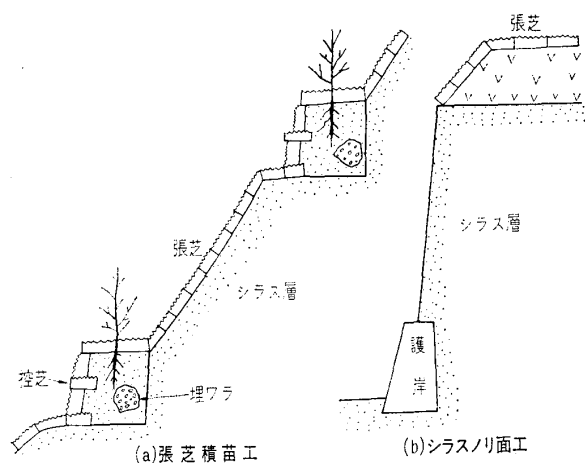
この被災地区に発生した多数の崩壊地は、ばく大な土砂の供給源となっており、ひとたび大豪雨に見まわれると下流地域の田畑、宅地などは一朝にして埋め尽くされる危険を多分にはらんでいるので、これらの復旧工事はできるだけ早急に行なわれることを望むもので、応急措置としてはヘリコプターによる種子吹付けなども考えられる。

前述のように、いままでのシラス地帯の災害対策は主として豪雨の際の雨水処理で事足りていたが、被災地域のように地震と台風常襲地帯となると、地震と水の両方に対する長期対策を考えなければならない。水に対しては台地の水のコントロールを十分に行なって、台地から河川に水を安全に導く谷頭工、また溪床に崩壊土砂が多量にタイ積しているところでは、土砂流下防止のための砂防ダムの築設などは、昭和 24 年シラス地帯大災害以来、今日まで約 20 年間にわたって鋭意工夫研究された工法で、一応かなりの成功を収めているので、大体においてこの工事方針で進められてよいと思う。ただし、地震地帯であるので、砂防ダムを初めとして、その他の土木的構造物に対しては、とくに耐震性を考慮に入れた設計施工がなされることを望むものである。

山腹崩壊地は水対策だけであれば、図—16 (b) のようにシラスガケ上層のローム層は 1 割にノリ切して張芝しその下のシラス層は崩壊したままの形で放置するか、あるいはさらに垂直に近くノリ切し、もしガケ下の溪床に水衝のおそれがあるところでは護岸をすればよかったけれども、被災地域では急傾斜なガケほど地震に弱くもろく崩れた個所が多い。またこの同じ地域で安定している山腹はどのような状態であるかをみると、大体 $30^{\circ} \sim 50^{\circ}$ の傾斜で、森林で被覆されているところである。

以上のことなどから、地震によって発生した山腹崩壊地を将来このような安定な状態に導くよう山腹工事を行なったらよいと思う。

図—16 (a) は一試案に過ぎないが、土砂の流出を防



図—16 シラス斜面工の試案 (木村)

ぎ、ノリ面の安定を計る土木的工種を取り入れた確実な工法として、崩壊地斜面に同高線状に階段を作り積苗工を施しこの階段によって山腹を流下する雨水を中絶して、流下速度を減殺し、この流速の抑制によって侵食防止と水分を地中に浸透保留させる二つの効果を望むものである。

またシラス層は養分が全く欠乏しているセキ (瘠) 悪地であるから、施肥や埋ワラなどをして植物の生育を促進し、ノリ面の早期緑化を計る。

ただシラス地帯での積苗工の欠点は、雨裂侵食が階段間のノリ面およびノリ尻付近の階段に無数に生じ、ことに切取った土または崩土がタイ積した場所はいちじるしく流失されやすいので、この侵食を防ぐために、さらに地表に露出面がないように張芝などで全面被覆する。少なくとも侵食されやすいノリ面とノリ尻付近の階段は必ず被覆するようにする。

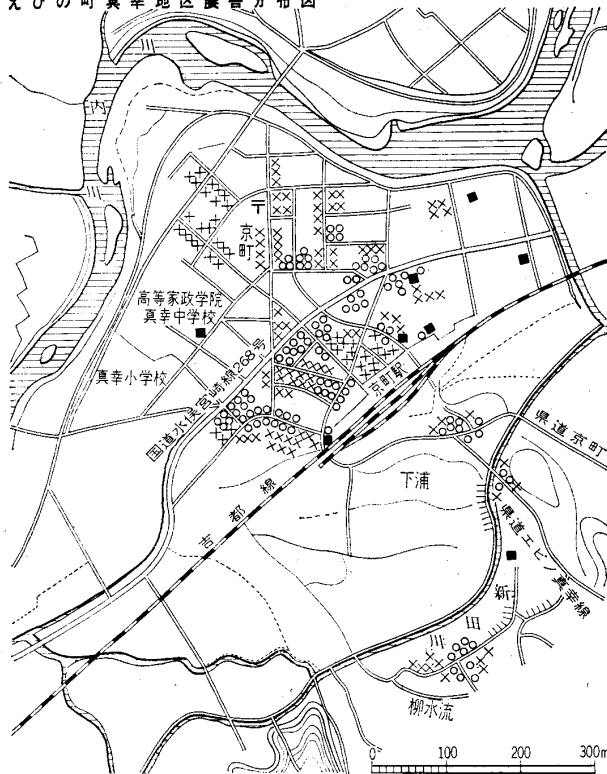
以上が一応の対策であるが、地震によって被災地域の山腹には、無数のキレツが入り、地盤がゆるんでいるので、施工後も今後の地震や豪雨で破壊されるところのことが予想される。いつまでも荒廃したまま放置することなく、各崩壊個所の状況に応じて、それに適応する工事をできればこの雨期までに施工完了することが望ましい。しかし実際問題としては、まず緊急を要するものから早急に着工し、それでもなお、雨期までに間に合わなければ、危険地帯の住家について、当局は移住勧告するばかりでなく、必要があれば移住についての便宜も計るべきである。

6. 建築物

地震の規模、震害地域の地勢等については別に報告されるので、これらの件についてはなるべく重複を避け、建築面からみた、えびの地震における建物の被害状況について報告する。建物の被害はほぼ吉都線京町駅を中心とする真幸地区と吉松駅東側および鶴丸地区に集中している。およその被害家屋の分布状況は図—17 に示すとおりであり、被害集計結果は表—3 に示す。これらは、いずれも「えびの地震調査報告書」熊本大学右田研究室によるものである。

建物が受けた加速度の大きさを推定するために、墓石の転倒状況から推算した加速度の大きさは、次表に示す程度でこれによると、重力の加速度単位で 0.3 程度となる。ただし上下方向の振動は無視し、墓石が静的に横力をうけて転倒する時の値で推算してある。次に真幸地区吉松・鶴丸地区での各建物構造別の被害では、鉄筋コンクリート造にもキレツが生じた例がかなりあるが、倒壊あるいは大被害となったものは存在しない。ブロック構造では倒壊例もあり、倒壊しないまでもキレツなどいず

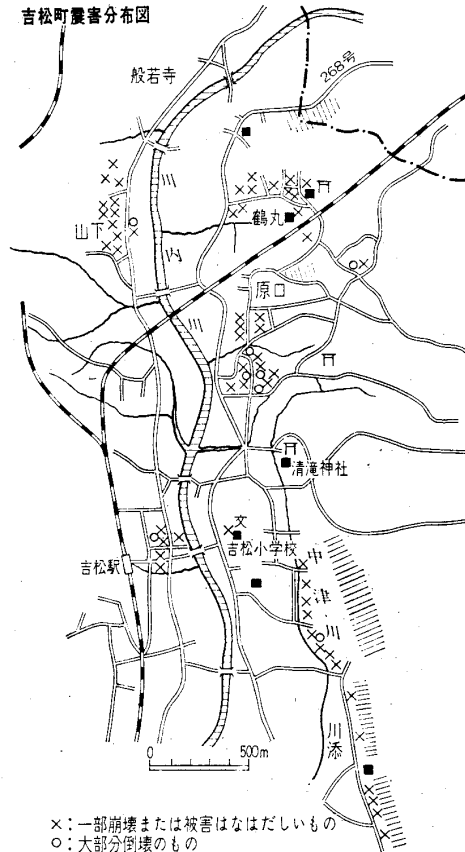
えびの町真幸地区震害分布図



×：一部崩壊または被害はなはだしいもの
○：大部分倒壊のもの

図一七 (a) えびの町真幸地区の建築物の震害分布 (右田ほか)

吉松町震害分布図



×：一部崩壊または被害はなはだしいもの
○：大部分倒壊のもの

図一七 (b) 吉松町の建築物の震害分布 (右田ほか)

表—3 えびの地震における建築物の被害 (右田ほか)

	宮崎県えびの町		鹿児島県吉松町		鹿児島県吉松町以外		熊本県	
	A	B	A	B	A	B	A	B
死者 (人)			2		1			
負傷者 (人)	31	3	9	1			1	
家屋全壊 (戸)	412	6	34	17				
同半壊 (戸)	675	37	156	281	2			
同一部破損 (戸)	2130	56	1498		8		6	
非住家被害 (戸)	928	42	783	113	15		20	
道路損壊 (箇所)	90	6	32	18	4		5	
橋損壊 (箇所)	9	5	3	4	1			
崖崩 (箇所)	80	7	11	7	1		5	1
通信線被害 (回線)	100	2		2			2	
堤防被害			3		1			
被害世帯 (戸)	3027		1688		10		7	
被災者総数 (人)	12681		6568		30		31	
被害額 (万円)	483.282		162.718	27.962	2.762		319	

A：2月21日～2月25日までの地震被害状況

B：3月25日の地震被害状況

但し被害件数は朝日・毎日・熊本日日新聞等が県警および災害対策本部で調べたものをまとめた。

表—4 墓石等から推定した震度 (右田ほか)

場所	震度	各地区推定震度範囲
鶴丸地区墓石	0.330	吉松地区 0.25～0.32
清滝神社墓石	0.248	
中津川地区墓石	0.322	
島内地区墓石	0.376	えびの真幸地区 0.30～0.38
京町駅前鉄骨造	0.295	

れも多少の被害をうけている。ブロックベいは各所で倒壊あるいはクレツを生じ、無被害のものはほとんど存在しない。木造は物件数も多く、被害家屋が続出し、かなりの倒壊または傾斜などジン大な被害を受けた (表—4)。しかしながら、大きな被害を受けた建物あるいは倒壊した建物は、それぞれ弱点をもつものであり、この程度の地震であれば、耐震的な考慮を払うことにより、被害をかなり軽減せしめうるものと考えられる。すなわちブロック造等では平面計画が悪いとか材料強度が不十分、あるいは施工が悪い等であり、木造でも、屋根が重い、壁がない、床が高く土台がない、材料が腐朽し耐

力がない等、建物それ自身に耐震的な欠陥があり、倒壊の危険性を内蔵していたといえることができる。いま、長崎造船大学俵野助教授の調査から真幸地区の被害建物統計を引用させていただければ表—5のような結果で、(半壊+全壊)戸数÷(相対全戸数)=107/628=0.17となり、(全壊戸数)÷(相対全戸数)=25/628=0.04、すなわちかなりの被害を受けたものの%は約17%、全壊家屋の比率は約4%と算定される。震源が比較的浅かった

ため被災範囲は局地的となったが、続発地震のため被害が増大した傾向が認められた。

7. 結 び

この報告は 去る 4 月 19 日福岡市で土質工学会九州支部が行なった“えびの地震と地盤災害”と題するパネル討論の内容を骨子として作成したものであるが、原稿の準備はだいたい後記のように、委員が分担執筆し、それを、山内(委員長)が編集した。しかし去る 3 月上旬に行なわれた支部派遣のえびの地震調査グループには当委員会委員だけでなく、一部の支部幹事が加わり、調査と討議に参加されていることを述べておきたい。

えびの地震が局所的で、しかも辺りな地域に発生したものであるのに比べて、その後起きた十勝沖地震が地理的条件の重要性と規模の大きさのため各方面の関心がそれに移ったようにみえる。しかし、ともに火山灰土地帯に起きた大地震である点で土質工学的に関心がもたれるべきものである。山内は東北の範囲で十勝沖地震災害の跡を調査する機会を得たが、災害の様相はかなり異なっているようにみえた。すなわち砂質火山灰土の災害では原理的に共通性がみられるが、十勝沖地震で災害が集中したローム質火山灰土の盛土の崩壊、あるいはそれに

表—5 各年度別建設建物とその被害戸数(俣野ほか)

建設年度	建設戸数	全壊	半壊
26	49	3	9
27	54	5	6
28	43	2	14
29	52	0	6
30	55	1	0
31	48	1	5
32	56	2	6
33	21	0	0
34	25	0	4
35	22	1	5
36	22	1	3
37	29	2	5
38	18	0	1
39	46	1	5
40	18	2	3
41	36	2	6
42	34	2	4
合計	628	25	82

起因したものは、えびの地震では明らかに特例的なものであった。

この報告の作成には、前述のように土質工学会九州支部の行事が大いに役立っている。当時の水野高明支部長ならびにこの報告を委員会の名で提出することを承認してくださった現高田雄之支部長を初め、また調査全般について多大の援助を与えられた建設省川内川工事事務所ならびに鹿児島国道工事事務所あるいはそれぞれ討議と討論に参加された支部幹事および会員の方々にあわせて深ジンの謝意を表するものである。

* 付記：本報文の執筆分担は次のとおりである。

- 1) 地質：種子田定勝(九大・理・地質、教授)
- 2) 土質と基礎：藤本廣(宮大・工・土木、助教授)、山内豊聡(九大・工・土木、助教授)、4) の執筆者
- 3) 橋リョウ：久原中吾(宮大・工・土木、助教授)、藤本廣
- 4) 農林：木村大造(鹿大・農・林学、教授)、河原田礼次郎(鹿大・農・農工、助教授)、難波直彦(鹿大・農・農工、助教授)、春山元寿(鹿大・農・林学、助手)
- 5) 建築：佐治泰次(九大・工・建築、教授)

引 用 文 献

- 1) Taneda, S. (1954) : Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ., Ser. D, 4, 167~177.
- 2) 西 力造, 木村大造 (1954) : 日本林学会大会講演集 No. 63, 232~233.
- 3) Taneda, S. (1957) : Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ., 6, 91~105.
- 4) Taneda, S. et al. (1957) : Do., 6, 107~127.
- 5) 種子田定勝 (1963) : 地質, 68, 328; 火山第 2 集, 8, 43.
- 6) 山内豊聡, 豊田奉節, 落合英俊, 村田秀一 (1967) : 第 22 回土木学会年次学術講演会講演概要, III-43.
- 7) 熊本大学工学部右田研究室 (1968) : えびの地震調査報告書
- 8) 長崎造船大学建築学科えびの地震調査団 (1968) : えびの地震調査報告書

(原稿受付, 1968.8.13)

※

※

※