

シラスのり面崩壊に関する要因分析

FACTORS ANALYSIS ON THE COLLAPSE OF THE ROAD SIDE SLOPE IN THE VOLCANIC SOIL DISTRICT IN SOUTHERN KYUSHU

持永 竜一郎*・福山 俊郎**

By Ryuichiro Mochinaga and Toshiro Fukuyama

1. はじめに

シラス土壌に対して、従来、種々の角度から調査、研究が行なわれているが、未解決の問題点が相当多く残されているように思われる。この研究は、在来の研究方法と異なって、多数の現地調査データを用いて、シラスのり面の崩壊について統計的考察を行なったものである。

解析にあたり、まず、単純集計とクロス集計とによってデータを整理したのち、崩壊の種類、原因、位置などを属性として、数量化理論による第Ⅲ類、および、第Ⅱ類分類法を用いて、おのおのの要因との関連を求めた。

データとしては、日本道路公団福岡支社によって調査された「シラスのり面調査カード集」(昭和 45 年 7 月に実測されたもので、その報告書の一部として、支社に保管されている)を使用した。この調査は、九州縦貫自動車道鹿児島線、宮崎線の予定ルートを中心とした幅 10 km 地帯の国道、および主要地方道における、のり高 5 m 以上のシラスのり面について行なわれたものである。調査件数は 301 個であり、そのうち切り取りのり面の数は 242 個であった。この研究は切り取りのり面に対して

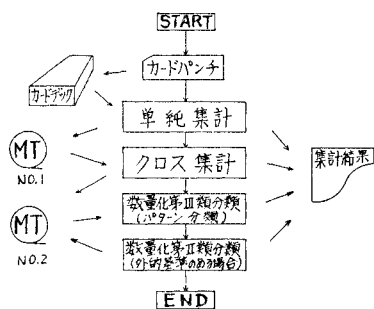


図-1 解析の流れ図

のものである。

図-1 は解析の流れを示す。

2. 単純集計、およびクロス集計

はじめ、item の数は 101 個であったが、それらを整理して、結局 62 の item について集計し、おのおのの

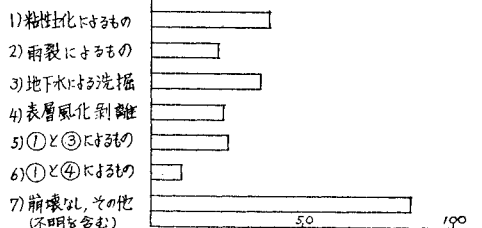


図-2 崩壊の種類

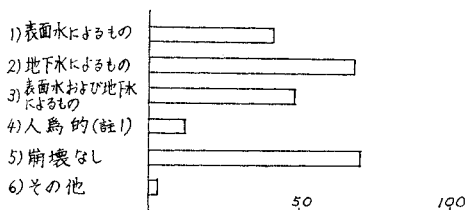


図-3 崩壊の原因

注 1: 人為的とは土取場または人工洞孔などを原因とするものをいう

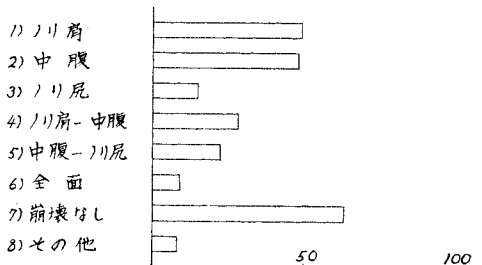


図-4 崩壊の位置

* 正会員 日本道路公団名古屋支社 東名阪道路工事々務所
長 (元福岡支社建設第 2 部特殊設計課長)
** 正会員 (株)福山コンサルタント代表取締役

category の range や sampling のかたよりなどを検討した。

図-2~4 におもな属性の頻度分布を示す。

クロス集計については、第II類分類のところであわせて述べることにする。

3. 数量化理論第 III 類分類 (パターン分類)

この理論については、文献 1) および 2) で説明してあるので、ここではその応用についてのみふれる。

解析にあたり、要因を大別して、1) 周辺の状況に関するもの、2) 土質に関するもの、および 3) 幾何構造に関するものの3つの group とし、属性として、1) 崩壊の種類、2) 原因、および 3) 位置の3つの group について解析を行なったが、この研究では、そのうちの土質に関するパターン分類を例にとった。

要因として、降雨条件を当然取り入れなければならないが、崩壊の属性と降雨条件とを関連させた資料の取り方がむずかしいので、この研究では取扱わなかった。また、シラス層の下に存在している基盤の破碎帯などの存在条件をとり入れることは、方法論としては可能であるが、調査に相当の手数を必要とするので、今回は対象にしえなかったが、次の機会にはぜひ取り入れたいと思う。

表-1 として示される score 表は、固有方程式の固有ベクトルの値を正規化して、固有値の大きい順序に I 軸、II 軸、および III 軸として表わしたものである。これにより、各要因の item, category の、おのおのの座標位置が、3次元空間上に定められる。

各要因についての3次元座標で、相互の距離が近いほど、その要因の間の関連が深いわけであるので、その距離の大きさを10の等位にわけて、その1位のものを太線で、2位のものを細線でつないでみると、おのずから要因間の group 分けが明らかになる。それを示したものが図-5である。ここでは A, B, および C の3つの group にわけて考えることにする。

一方、属性としての崩壊の種類、原因、または位置ごとに調査資料を分類して、その1つの category に関する、たとえば、のり肩で崩壊した資料だけを選びだし、各資料のもつ要因の score を軸ごとに集計し、その要因の item 数で割って正規化して、たとえば I-II 軸平面に斜影すれば、その group の分布がわかる。

図-6 は、それぞれの崩壊の性状を分類する category group の重心を図示したものであって、図-5 と同一の縮尺でえがかれている。A, B, および C group の囲いは、図-5 とまったく同一のものである。

ここで、図-5 と図-6 とから、崩壊の属性とその

表-1 土質に関する要因の Score 表

番号	Item	Category	I 軸	II 軸	III 軸	
1	1	周辺の自然勾配	0~1.0	-0.3461	0.5035	0.0744
	2	"	1.0~1.5	0.5872	-0.2492	-0.7888
	3	"	1.6~1.7	-0.1346	-0.3900	0.0315
	4	"	1.8~2.4	0.7838	-0.6161	0.3353
	5	"	2.5~2.9	0.4410	-0.0226	-1.2900
	6	"	3.0	0.8076	-0.2265	0.0537
	7	"	3.1 以上	0.1677	0.1012	0.6395
	8	"	不明	1.1787	0.3640	0.3229
2	9	のり肩の凹凸	凹	0.5252	0.1087	0.6281
	10	"	凸	0.4642	-0.0612	0.2352
	11	"	平坦	-0.0498	-0.1507	0.2774
3	12	地層分類	軽石流	0.6677	-0.1550	0.3617
	13	"	降下軽石	-0.3355	4.9665	1.1584
	14	"	2次シラス	0.2228	-0.5196	-1.1628
	15	"	溶結凝灰岩	-0.7059	-2.0709	-3.3721
	16	"	ローム	-1.6055	0.1033	-0.7070
	17	"	その他	-2.1444	-0.8076	1.3201
4	18	土質の硬さ	0~5 cm	0.4167	-0.4518	-1.2795
	19	"	6~7	0.8606	0.5549	-0.1822
	20	"	8~9	0.6846	0.0546	-0.7032
	21	"	10~14	0.5496	-0.9646	1.2873
	22	"	15~24	0.2771	-0.5353	0.9520
	23	"	25 cm 以上	-0.3185	0.7980	-2.3856
	24	"	不明	-2.1108	1.1079	1.0430
5	25	固結程度	良	0.6606	0.0835	-0.6228
	26	"	中	0.4437	-0.8173	1.3405
	27	"	悪	-0.3076	0.9955	-1.4518
	28	"	不明	-2.1049	0.0164	1.8702
6	29	粗質部の粒度	粗	0.6575	0.7897	0.6077
	30	"	中	-0.6032	0.7173	-0.1926
	31	"	細	-0.3835	-0.7595	-0.9419
	32	"	不明	-2.3186	-0.2904	1.8817
7	33	れき種	軽石	0.3593	0.2406	0.6170
	34	"	軽石, 安山岩	0.7669	-0.2836	-0.2808
	35	"	その他	-1.5290	-0.5728	-0.7590
8	36	れき(φ)最大	0~40 mm	0.0157	0.6850	-0.1543
	37	"	40~70	0.2644	-0.6577	0.4030
	38	"	70~100	0.5401	-1.0999	0.1389
	39	"	100~200	0.8036	0.3012	0.6791
	40	"	200 mm 以上	0.9321	0.1799	-0.7889
	41	"	不明	-2.4191	-0.6858	-0.5599
9	42	混れき率	0~10%	0.3031	-0.7191	0.0186
	43	"	10~20	0.5457	-0.5278	0.6310
	44	"	20~25	0.6729	-0.1231	-0.3438
	45	"	25~35	0.9804	0.0112	0.0777
	46	"	35~40	0.2806	3.0481	0.3500
	47	"	40% 以上	-1.8918	-0.6985	-0.3744
10	48	層厚	0~5 m	-0.1656	0.1994	-0.2724
	49	"	5~7	0.4200	-0.6050	0.9098
	50	"	7~10	0.5345	-0.7273	0.4255
	51	"	10~15	0.8182	0.1223	-0.5394
	52	"	15~30	0.8204	-0.3020	-0.2317
	53	"	30 m 以上	1.0327	0.6783	-0.8362
	54	"	不明	2.3188	0.8270	-2.1049

要因の関係を、関連づけてみよう。

たとえば、図-5 における B group の中の、11) のり肩の凹凸、平坦、3) および、7) 周辺の自然勾配 1.6~1.7、または 3.1 以上、および 48) 層厚 0~5 m と、

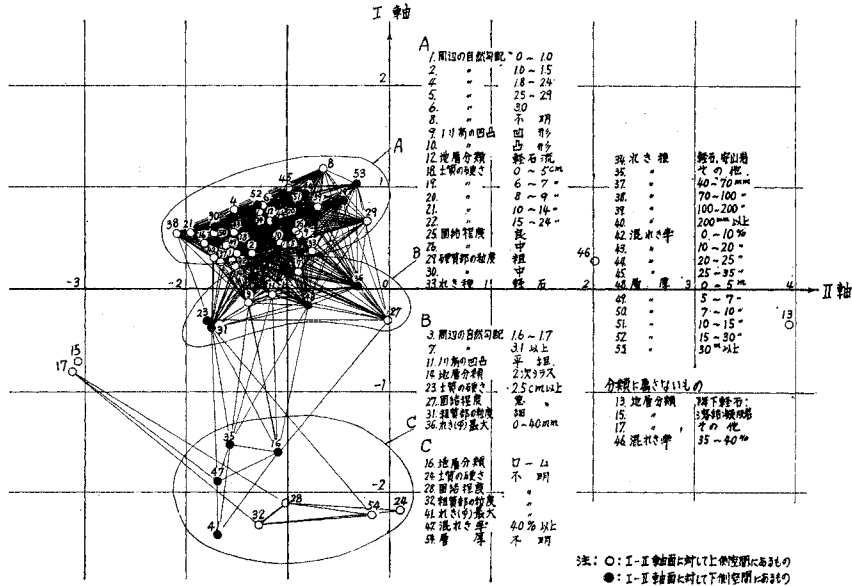
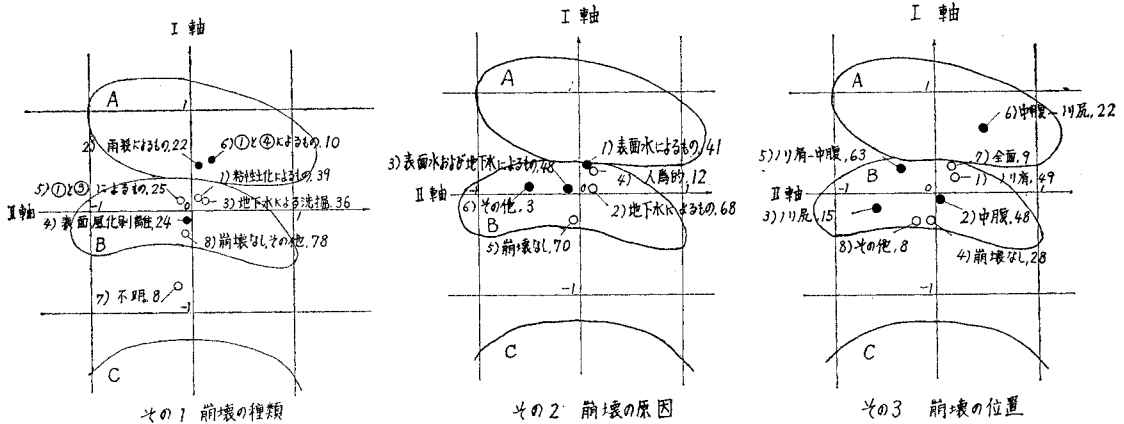


図-5 主として土質に関する要因の分布パターン図



注 ○：I-II 軸面に対して上側空間にあるもの
●：I-II 軸面に対して下側空間にあるもの

図-6 土質による崩壊のパターン図

図-6 その1、崩壊の種類で、1) 粘性土化によるもの、3) 地下水による洗掘、5) 粘性土化型、および地下水による洗掘の組み合わせた崩壊のしかた、同図その2、崩壊の原因で、3) 表面水および地下水、および2) 地下水によるもの、最後に同図その3、崩壊の位置におけるB groupの2) 中腹、というようなcategoryが、それぞれ原点に近接して見いだされる。これらの図面において、相互の距離が近いほど、統計的に有意であるということから、今後これらの諸categoryは、それぞれ関連が深いものと判断してよいわけである。

また、これらの図において、それぞれの方向になんらかの意味を見つけることができる。たとえば、図-6に

おいて、崩壊の特性は、上下軸に対して、よく分離されているので、I軸は崩壊に関係した軸と考えられる。I軸に関して負の値が大きくなるほど、崩壊が少ないと読み取れるからである。

そこで、この図からおのおのgroupの特徴をさぐってみよう。

C groupは、地層はロームであるが、土質硬さや、固結程度、粗質部の粒度、れき径の最大値、および層厚など不明のものが多い。これは、C groupでは崩壊が非常に少ないため、以上の要因についてよく調べられなかったため、不明と表現されていると観察される。

B groupは、2次シラス的で、周辺の自然勾配は比較

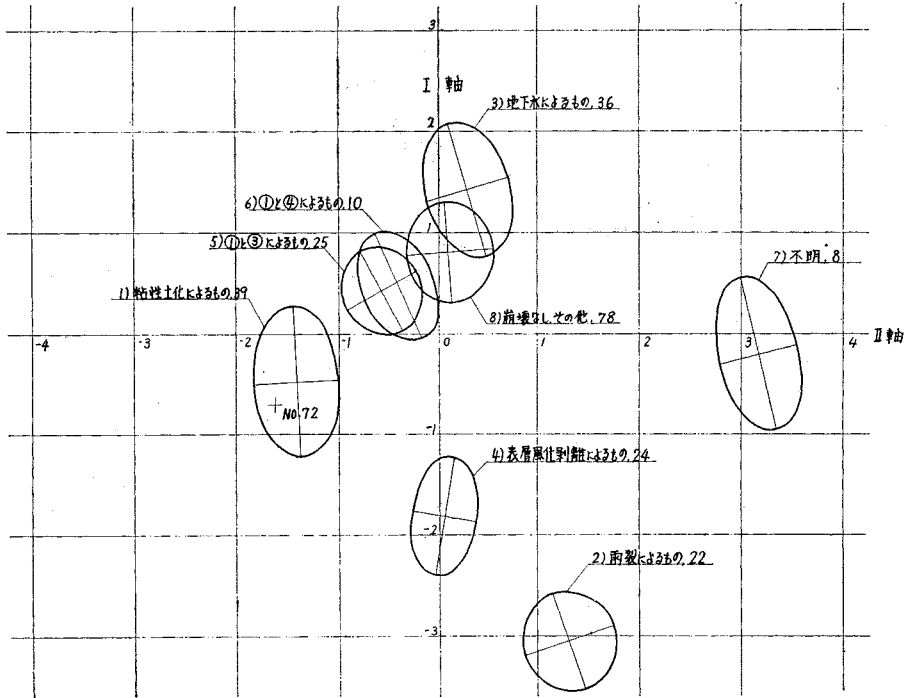


図-7 崩壊の種類の中だ円

的ならかで、のり肩の凹凸は平坦であり、土質の硬さは 25 cm 以上であって、固結程度がよくない。ここで使用した土質硬さとは、この調査で便宜的に行なったものであって、径 2 cm、長さ 37 cm の先のとがったがねをハンマーで 10 回たたいたときの貫入量 (cm) を示す。

A group は、その他の要因をもつもので、はっきりした特徴がつかめない。

これらのことから、C group はまずまず安全圏にあり、B group では崩壊しにくいということが目だが、崩壊する場合には、次のような特徴が見られる。すなわち、地下水を原因とする崩壊の位置は、のり尻か中腹、またはその両者の組み合わせといったものが多く、表面水を原因とするものは、粘性土化型崩壊を起こし、その位置はのり肩であることがわかる。

4. 数量化理論による第 II 類分類 (外的基準が category で与えられた場合) と A² 検定

この方法は、予測、推定しようとするものを外的基準 (いままで、属性とよんでいたもの) として、それらを最もよく判断するように、要因の数量化を行なおうとするものである。第 II 類分類の理論の説明については、文献 1)、および 2) に記載されているので、ここではその

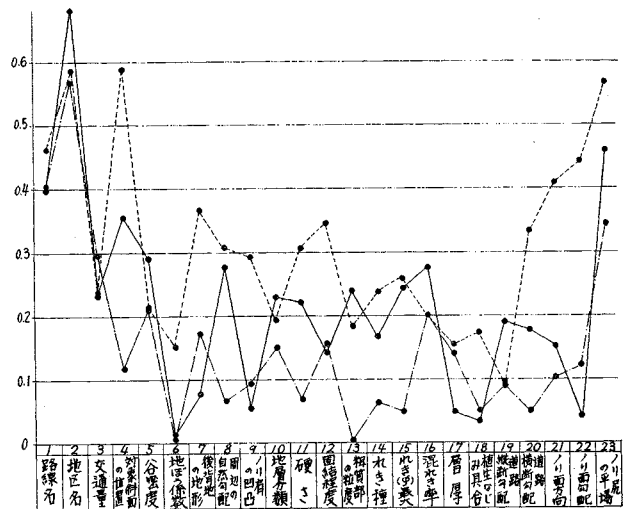


図-8 崩壊の種類の変相関図

結果のみについて述べることにする。

この研究では、外的基準として、崩壊の種類、原因、および位置を取り、要因としては 23 個の item (131 個の category) を取り扱ったが、score 表としては、その代表例として、崩壊の種類に関するもののみをあげた。表-2 がそれである。

次に、3つの外的基準について集中だ円を求めたうち、崩壊の種類に関するものが、図-7 である。図-8 には、崩壊の種類を外的基準としたときの各要因の偏相

関係係数を表示した。

しかし、これからは item 間の関連の度合いはわかるが、item, category 相互間の相関性を知りえない。そのため、次のような計算を試みた。

いま、図-9 に示すように、それぞれの要因の度数をベクトル x および y とし、クロス集計した際の度数をマトリックス z で表わし、式(1)の計算を行なう。

表-2 崩壊の種類に関する Score 表

番号	Item	Category	I 軸	II 軸	III 軸	番号	Item	Category	I 軸	II 軸	III 軸			
1	1	路線名	国道10号線	0.675	1.183	1.171	10	50	地層分類	軽石流	0.785	0.715	0.370	
	2	"	" 3 "	2.143	3.006	0.106		51	"	降下軽石	0.347	0.894	0.567	
	3	"	" 268 "	1.558	1.195	2.381		52	"	2次シラス	1.157	0.911	0.533	
	4	"	" 221 "	1.569	0.608	1.109		53	"	溶結凝灰岩	1.144	2.626	2.957	
	5	"	国道220および269号線	1.869	1.875	0.854		54	"	ローム	1.220	1.186	1.056	
	6	"	県道架野-加治木線	0.362	0.111	1.099		55	"	その他	0.079	0.180	0.070	
	7	"	県道鹿兒島-蒲生線	0.230	1.054	0.672		11	56	土質の硬さ	0~5cm	0.447	0.305	1.577
	8	"	その他	0.079	0.180	0.070			57	"	6~7	0.139	0.515	1.918
2	9	地区名	東市来, 伊集院, 鹿兒島	2.416	0.442	2.900	58		"	8~9	0.696	0.902	1.889	
	10	"	蒲生, 国分	2.279	0.457	2.401	59		"	10~14	0.555	0.113	1.968	
	11	"	霧島	2.670	0.303	3.200	60	"	15~24	0.329	0.297	1.556		
	12	"	加久藤, 小林	0.922	0.783	1.120	61	"	25cm以上	0.770	0.522	0.202		
	13	"	野尻, 高岡, 田野高城, 高崎	2.768	2.571	2.308	62	"	不明	0.079	0.180	0.070		
	14	"	都城, 笠木	0.079	0.180	0.070	12	63	固結程度	良	0.844	0.780	1.851	
3	15	交通量	台/日	1.966	1.417	0.066		64	"	中	0.131	0.018	1.742	
	16	"	0~1000	0.766	1.423	1.150		65	"	悪	1.325	0.311	1.260	
	17	"	1000~1500	0.364	0.515	0.080		66	"	不明	0.079	0.780	0.070	
	18	"	1500~1900	0.430	0.013	0.712	13	67	粗質部の粒度	粗	0.726	2.283	0.467	
	19	"	1900~2000	1.159	0.955	2.125		68	"	中	1.076	3.057	0.462	
	20	"	2000~2600	1.878	0.091	0.196		69	"	細	0.097	2.708	1.215	
	21	"	2600~5500	2.214	1.604	0.147		70	"	不明	0.079	0.180	0.070	
	22	"	5500台/日以上	0.079	0.180	0.070	14	71	れき種	軽石	1.157	1.099	0.892	
4	23	対象斜面の置	頂部	0.747	0.611	1.621		72	"	軽石, 安山岩	1.121	0.570	1.296	
	24	"	中腹	1.176	0.076	1.302		73	"	その他	0.079	0.180	0.070	
	25	"	山麓	1.215	0.387	0.758		15	74	れき(φ)最大	0~40mm	1.725	1.350	1.075
	26	"	谷部, その他	0.079	0.180	0.070	75		"	40~70	1.674	1.240	1.364	
	5	27	谷密度	0本	0.190	0.687	0.392		76	"	70~100	0.253	1.890	0.886
		28	"	1~4	0.069	0.799	0.378		77	"	100~200	1.777	1.008	1.528
29		"	5~9	0.510	2.122	0.513	78	"	200mm以上	1.394	1.200	1.191		
30		"	10~19	0.120	0.584	0.475	79	"	不明	0.079	0.180	0.070		
31		"	20本以上	0.079	0.180	0.070	16	80	混れき率	0~10%	0.749	0.121	0.740	
6		32	地ほう係数	0~1000m ²	0.276	0.428		0.390	81	"	10~20	0.913	0.647	1.147
	33	"	1000~1500	0.003	1.009	0.390		82	"	20~25	0.249	0.005	0.835	
	34	"	1500~10000	0.918	0.081	0.861		83	"	25~35	1.401	0.765	0.268	
	35	"	10000m ² 以上	0.079	0.180	0.070		84	"	35~40	2.558	0.911	0.047	
	7	36	後背地の地形	+ 勾配	0.181	0.544		0.464	85	"	40%以上	0.079	0.180	0.070
		37	"	- 勾配	0.341	0.041	0.241	17	86	厩厚	0~5m	0.612	0.452	1.096
38		"	平坦	0.079	0.180	0.070	87		"	5~7	1.242	0.705	0.327	
8		39	周辺の自然勾	0~1.0	0.381	0.594	0.037		88	"	7~10	1.703	0.575	1.411
		40	"	1.0~1.5	0.882	0.277	1.001		89	"	10~15	0.774	0.134	0.151
		41	"	1.6~1.7	0.011	1.059	0.251		90	"	15~30	1.541	0.765	0.713
	42	"	1.8~2.4	0.700	0.601	0.410	91		"	30m以上	0.513	0.825	1.890	
	43	"	2.5~2.9	1.367	2.235	0.289	92	"	不明	0.079	0.180	0.070		
	44	"	3.0	0.181	0.635	0.144	18	93	植なじみ具合	良	0.048	1.049	0.371	
45	"	3.1以上	0.684	1.064	0.106	94		"	中	0.569	1.081	0.595		
46	"	不明	0.079	0.180	0.070	95		"	悪	0.721	0.738	1.031		
9	47	のり肩の凹凸	凹形	1.651	1.133	0.221		96	"	なし	0.827	0.247	0.829	
	48	"	凸形	0.942	0.780	0.186		97	"	不明	0.079	0.180	0.070	
	49	"	平坦	0.079	0.180	0.070		19	98	道路縦断勾配	0~1%	0.465	0.056	0.448
	9	50	地層分類	軽石流	0.785	0.715	0.370		99	"	1~3	0.764	0.559	0.733
		51	"	降下軽石	0.347	0.894	0.567		100	"	3~6	0.455	0.256	0.288
		52	"	2次シラス	1.157	0.911	0.533		101	"	6%以上	0.313	0.298	1.151
53		"	溶結凝灰岩	1.144	2.626	2.957	102	"	勾配なし, その他	0.079	0.180	0.070		

表-2 つづき

番号	Item	Category	I 軸	II 軸	III 軸	番号	Item	Category	I 軸	II 軸	III 軸		
20	103	道路横断勾配	+ 勾配	0.660	0.548	0.829	22	116	のり面勾配	0~0.1	0.643	0.176	1.996
	104	"	- 勾配	0.915	0.197	0.345		117	"	0.1~0.2	0.099	0.016	0.198
	105	"	水	1.004	0.210	0.652		118	"	0.2~0.3	0.696	0.902	0.239
	106	"	なし, その他	0.079	0.180	0.070		119	"	0.3~0.4	0.614	0.650	0.178
21	107	のり面方向	北	0.957	0.201	0.716	120	"	0.4~0.5	0.700	1.137	0.483	
	108	"	北 東	1.201	1.389	0.425	121	"	0.5~0.7	0.933	0.837	0.172	
	109	"	東	0.062	1.262	0.640	122	"	0.7~1.2	0.318	0.895	1.061	
	110	"	南 東	0.766	1.653	0.140	123	"	1.2 以上	0.350	0.426	0.173	
	111	"	南	0.303	0.905	0.738	124	"	不 明	0.079	0.180	0.070	
	112	"	南 西	0.024	1.645	0.612	23	125	のり尻の平場	0~1m	1.105	1.082	0.328
	113	"	西	1.479	1.004	0.038		126	"	1~3	1.198	1.557	0.230
	114	"	北 南	0.865	2.050	0.228		127	"	3m 以上	0.404	0.572	1.307
	115	"	不 明	0.079	0.180	0.070		128	"	な し	0.079	0.180	0.070

	要 因 A	計
要 因 B	2 0 5 3	99
	1 0 0	23
	0 0	...
計	25	...

図-9 クロス表

表-3 崩壊の種類と地区名

その1) クロス表

崩壊の種類	地区名						合 計
	1 東市来、鹿兒島、伊集	2 蒲生、国分	3 霧 島	4 加久藤、小林	5 野野、高城、高岡、高田	6 都城、笠木	
1 粘性土化によるもの	18	5	8	4	1	3	39
2 雨裂によるもの	12	4	4	2	0	0	22
3 地下水による洗掘	6	8	2	8	6	6	36
4 表層風化はく離	10	4	3	0	4	3	24
5 (1)と(3)によるもの	7	4	3	4	2	5	25
6 (1)と(4)によるもの	7	0	3	0	0	0	10
7 不 明	0	1	0	1	3	3	8
8 崩壊なし, その他	21	13	8	16	14	6	78
合 計	81	39	31	35	30	26	242

その2) A 表

崩壊の種類	地区名						合 計
	1 東市来、鹿兒島、伊集	2 蒲生、国分	3 霧 島	4 加久藤、小林	5 野野、高城、高岡、高田	6 都城、笠木	
1 粘性土化によるもの	5.0	-1.3	3.0	-1.6	-3.8	-1.2	0.1
2 雨裂によるもの	4.6	0.5	1.2	-1.2	-2.7	-2.4	0
3 地下水による洗掘	-6.1	2.2	-2.6	2.8	1.5	2.1	-0.1
4 表層風化はく離	2.0	0.1	-0.1	-3.5	1.0	0.4	-0.1
5 (1)と(3)によるもの	-1.4	0	-0.2	0.4	-1.1	2.3	0
6 (1)と(4)によるもの	3.7	-1.6	1.7	-1.5	-1.2	-1.1	0
7 不 明	-2.7	-0.3	-1.0	-0.2	2.0	2.1	-0.1
8 崩壊なし, その他	-5.1	0.4	-2.0	4.7	4.3	-2.4	-0.1
合 計	0	0	0	-0.1	0	-0.2	-0.3

図-10 崩壊の原因とりのり面勾配 (Aマトリックスの図化)

$$A = z - \frac{1}{N} xy^T \dots\dots\dots (1)$$

このAマトリックスは、もし、xとyに特別な関係がなければ、当然0に近づく性質のものである。そのことがAマトリックスが要因のcategory間の関係の度合いを示すことになる。図-10は属性を崩壊の原因とし、要因をのり面勾配としたときのAマトリックスを図示したものである。

いま、Aマトリックスの各エレメントの2乗のマトリックスA²をつくり、行、および列について和を求め

その3) A² 表

崩壊の種類	地区名						合 計
	1 東市来、鹿兒島、伊集	2 蒲生、国分	3 霧 島	4 加久藤、小林	5 野野、高城、高岡、高田	6 都城、笠木	
1 粘性土化によるもの	24.5	1.7	9.0	2.7	14.7	1.4	5.4
2 雨裂によるもの	21.5	0.2	1.4	1.4	7.4	5.6	37.5
3 地下水による洗掘	36.6	4.8	6.8	7.8	2.4	4.6	63.0
4 表層風化はく離	3.9	0	0	12.1	1.1	0.2	17.3
5 (1)と(3)によるもの	1.9	0	0	0.2	1.2	5.4	8.7
6 (1)と(4)によるもの	13.3	2.6	3.0	2.1	1.5	1.2	23.7
7 不 明	7.2	0.1	1.1	0	4.0	4.6	17.0
8 崩壊なし, その他	26.1	0.2	4.0	22.3	18.8	5.7	77.1
合 計	135.0	9.6	25.3	48.6	51.1	28.7	298.3

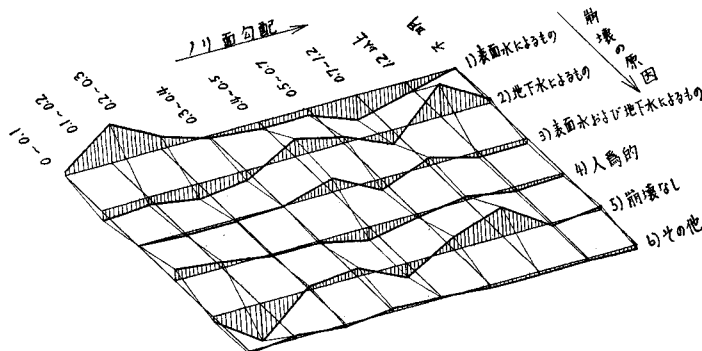


表-4 崩壊の種類と対象斜面の位置

その1) クロス表

崩壊の種類		対象斜面の位置				合計
		1 頂部	2 中腹	3 山麓	4 谷その他	
1	粘性土化によるもの	14	18	4	3	39
2	雨裂によるもの	2	9	6	5	22
3	地下水による洗掘	14	15	3	4	36
4	表層風化はく離	5	15	2	2	24
5	(1)と(3)によるもの	10	8	6	1	25
6	(1)と(4)によるもの	4	1	4	1	10
7	不明	3	2	2	1	8
8	崩壊なし, その他	30	24	18	6	78
合計		82	92	45	23	242

その2) A 表

崩壊の種類		対象斜面の位置				合計
		1 頂部	2 中腹	3 山麓	4 谷その他	
1	粘性土化によるもの	0.8	3.2	-3.3	-0.7	0
2	雨裂によるもの	-5.5	0.6	1.9	2.9	-0.1
3	地下水による洗掘	1.8	1.3	-3.7	0.6	0
4	表層風化はく離	-3.1	5.9	-2.5	-0.3	0
5	(1)と(3)によるもの	1.5	-1.5	1.4	-1.4	0
6	(1)と(4)によるもの	0.6	-2.8	2.1	0.1	0
7	不明	0.3	-1.0	0.5	0.2	0
8	崩壊なし, その他	3.6	-5.7	3.5	-0.4	0
合計		0	0	-0.1	0	-0.1

その3) A² 表

崩壊の種類		対象斜面の位置				合計
		1 頂部	2 中腹	3 山麓	4 谷その他	
1	粘性土化によるもの	0.6	10.1	10.6	0.5	21.8
2	雨裂によるもの	29.8	0.4	3.6	8.5	42.3
3	地下水による洗掘	3.3	1.7	13.7	0.3	19.0
4	表層風化はく離	9.8	34.5	6.1	0.1	50.5
5	(1)と(3)によるもの	2.3	2.3	1.8	1.9	8.3
6	(1)と(4)によるもの	0.4	7.9	4.6	0	12.9
7	不明	0.1	1.1	0.3	8.1	1.6
8	崩壊なし, その他	12.8	32.0	12.2	2.0	59.0
合計		59.1	90.0	52.9	13.4	215.4

て, それぞれの列間効果, 行間効果を示すものとする。表-3~6 における(その3)が A² マトリックスである。

A² の和の大きい行, または列の item は, 統計的に有意性があり, A の正負が, 統計量の性質を示すと解釈される。以下, これを A² 検定と仮称する。

これらの手法を利用して, クロス集計の結果を判断しようとするものである。

(1) 第 II 類分類と A² 検定の結果に関する考察

以上の結果から, 次のようなことが考察される。

a) 崩壊の種類について

偏相関係数の平均値が大きくて, 工学的に興味あるのから4つをとると, 次のようになる。

- 1) 地区名(路線名も, これについて相関係数が高いが, ここでは省略する)
- 2) 対象斜面の位置
- 3) 谷密度
- 4) 混れき率

崩壊の種類と, これらの要因のそれぞれとの間で, A 検定を行なうと, 次のことがわかる。

地区名についての, 表-3 を見ると, 東市来, 伊集院, および鹿児島地区の A² 値の和が 135.0 で最大である

表-5 崩壊の種類と谷密度

その1) クロス表

崩壊の種類		谷密度					合計
		0 本	1 4	5 9	10 19	20 本以上	
1	粘性土化によるもの	1	4	5	9	20	39
2	雨裂によるもの	3	1	2	4	12	22
3	地下水による洗掘	1	8	1	8	18	36
4	表層風化はく離	3	0	3	8	10	24
5	(1)と(3)によるもの	4	5	1	7	8	25
6	(1)と(4)によるもの	1	1	1	0	7	10
7	不明	1	3	0	3	1	8
8	崩壊なし, その他	17	17	6	12	26	78
合計		31	39	19	51	102	242

その2) A 表

崩壊の種類		谷密度					合計
		0 本	1 4	5 9	10 19	20 本以上	
1	粘性土化によるもの	-3.7	-2.0	2.1	1.2	4.4	2.0
2	雨裂によるもの	0	-2.8	0.2	-1.0	2.1	-1.5
3	地下水による洗掘	-3.3	2.6	-1.6	1.0	3.9	2.6
4	表層風化はく離	-0.7	-4.7	0.7	1.9	-2.2	-5.0
5	(1)と(3)によるもの	0.9	1.1	-0.9	1.9	-2.3	0.7
6	(1)と(4)によるもの	-0.3	-0.6	0.2	-2.1	2.8	0
7	不明	0.1	1.8	-0.6	1.5	-2.0	0.8
8	崩壊なし, その他	7.1	4.5	-0.1	-4.4	-6.7	0.4
合計		0.1	-0.1	0	0	0	0

その3) A² 表

崩壊の種類		谷密度					合計
		0 本	1 4	5 9	10 19	20 本以上	
1	粘性土化によるもの	14.0	3.9	4.4	1.4	19.3	43.0
2	雨裂によるもの	0	7.8	0	0.9	4.4	13.1
3	地下水による洗掘	10.8	6.8	2.6	0.9	15.4	36.5
4	表層風化はく離	0.5	21.7	0.5	3.7	4.8	31.2
5	(1)と(3)によるもの	0.8	1.2	0.8	3.5	5.2	11.5
6	(1)と(4)によるもの	0.1	0.4	0.1	4.4	7.9	12.9
7	不明	0	3.4	0.3	2.2	4.2	10.1
8	崩壊なし, その他	49.7	20.1	0	19.1	45.3	134.1
合計		75.9	65.3	8.7	36.0	106.5	292.4

表-6 崩壊の種類と混れき率

その1) クロス表

崩壊の種類	混れき率	1	2	3	4	5	6	合 計
		0 ~ 10 %	10 ~ 20 %	20 ~ 25 %	25 ~ 35 %	35 ~ 40 %	40 % 以上	
1 粘性土化によるもの		6	7	10	7	5	4	39
2 雨裂によるもの		3	6	3	6	3	1	22
3 地下水による洗掘		13	7	6	3	5	2	36
4 表層風化はく離		4	5	2	5	4	4	24
5 (1)と(3)によるもの		7	6	5	4	1	2	25
6 (1)と(4)によるもの		0	4	4	1	0	1	10
7 不明		2	1	1	1	1	2	8
8 崩壊なし, その他		20	12	17	12	4	13	78
合計		55	48	48	39	23	29	242

その2) A 表

崩壊の種類	混れき率	1	2	3	4	5	6	合 計
		0 ~ 10 %	10 ~ 20 %	20 ~ 25 %	25 ~ 35 %	35 ~ 40 %	40 % 以上	
1 粘性土化によるもの		-2.9	-0.7	2.5	0.7	1.3	-0.7	0
2 雨裂によるもの		-2.0	1.6	-1.4	2.5	0.9	-1.6	0
3 地下水による洗掘		4.8	-0.1	-1.2	-2.8	1.6	-2.3	0
4 表層風化はく離		-1.5	0.2	-2.8	1.1	1.7	1.1	-0.2
5 (1)と(3)によるもの		1.3	1.0	0	0	-1.4	-1.0	-0.1
6 (1)と(4)によるもの		-2.3	2.0	2.0	-0.6	-1.0	-0.2	-0.1
7 不明		0.2	-0.6	-0.6	-0.3	0.2	1.0	-0.1
8 崩壊なし, その他		2.3	-3.5	1.5	-0.6	-3.4	3.7	0
合計		-0.1	-0.1	-0.2	0	-0.1	0	-0.5

その3) A² 表

崩壊の種類	混れき率	1	2	3	4	5	6	合 計
		0 ~ 10 %	10 ~ 20 %	20 ~ 25 %	25 ~ 35 %	35 ~ 40 %	40 % 以上	
1 粘性土化によるもの		8.2	0.5	5.1	0.5	1.7	0.5	16.5
2 雨裂によるもの		4.0	2.7	1.9	6.0	0.8	2.7	18.1
3 地下水による洗掘		23.2	0	1.3	7.9	2.5	5.4	40.3
4 表層風化はく離		2.1	0.1	7.6	1.3	3.0	1.3	15.4
5 (1)と(3)によるもの		1.7	1.1	0	0	1.9	1.0	5.7
6 (1)と(4)によるもの		5.2	4.1	4.1	0.4	0.9	0	14.7
7 不明		0	0.3	0.3	0.1	0.1	1.1	1.9
8 崩壊なし, その他		5.2	12.1	2.3	0.3	11.7	13.3	44.9
合計		49.6	20.9	22.6	16.5	22.6	25.3	157.5

ことから、これらの地区は崩壊に関連が深いと考える。ついで、これらの地区においては、地下水による洗掘の A² 値は 36.6 で最大であって、A 値は負であることから、この種の崩壊は少ないと判断されるが、次に、崩壊なしの A² 値の和が 26.1 として、第 2 位であって、かつ A 値が負であることから、この地区は一般に崩壊しやすいといえる。加久藤、小林、野尻、高岡、田野、高城、および高崎地区では A² 値が大きく、かつ A 値が正であることから、崩壊が少ないが、地下水による洗掘の A² 値が、かなり大きく、かつ A が正ということから、この種の崩壊がいくらか見られるとよい。

対象斜面の位置についての表-4 から見ると、中腹地帯は地層の風化はく離による崩壊が多く、頂部に雨裂によるものが少ない。山麓では粘性土化、および地下水による洗掘が比較的少ない。

谷密度についての表-5 から見ると、20 本以上もあるところでは、粘性土化によるものと、地下水による洗掘が著しい。0 本のところでは、どの種類も少なく、1~4 本のところも、それについて少ない。

混れき率が 0~10% と少ないものは、地下水による洗掘が目立つ。

b) 崩壊の原因について

偏相関係数が大きくて、工学的に興味のある要因の 4 つをとると、次のようになる。

- 1) 路線名 (地区名も相関係数がこれについて高いが省略する)
- 2) 植生なじみ具合
- 3) 地層分類
- 4) のり面方向

路線名について見ると、県道鹿児島一蒲生線においては、表面水による崩壊が多く、地下水による崩壊が少ない。

植生なじみ具合から見ると、よいものはどんな原因に関しても崩壊しにくい。

植生がないものは、表面水によるもの、または、人為的、その他による崩壊が目立っている。

軽石流の地層は、崩壊しやすく、表面水によるものが多い。ついで、2 次シラスの地層が崩壊しやすく、これは表面水によるものは少なく、地下水によるものが多い。

のり面方向別に見ると、北面のものは、地下水のみによる崩壊が少なく、表面水によるものが多い。北東に面したものは崩壊が少ない。

c) 崩壊の位置について

偏相関係数が大きくて、興味あるものを 4 つをとると、次のようになる。

崩壊の種類については、クロス表、A 表、および A² 表について説明したが、紙面の都合で、以下は表を省略して、観察結果だけを示すことにする。

- 1) 路線名 (次に、地区名の相関係数が高いが、ほぼ路線名に関連するので、ここでは省略する)
- 2) のり面方向
- 3) 後背地の地形
- 4) 地層分類

外的基準を崩壊の位置とし、上の 4 つの要因間のクロス表について、A² 検定を行なった結果、次のようなことが観察される。

まず、路線名については、A² 表から、10 号線は A²

値の和が 86.8 で最大である。その列で中腹が 34.3 で最大値を示し、のり肩が 18.4 でそれにつづく。

しかも、A 表で、中腹は +5.9 で、のり肩は +4.3 である。また、全面崩壊は A² 値は 17.4 と大きい、A 値は -4.2 である。これらのことから、次のようにいえる。10 号線においては、中腹で崩壊している例が多く、のり肩崩壊がそれにつづき、全面的崩壊の例は少ない。

また、同様に、県道栗野一加治木線は全面崩壊が多いと判断される。

のり面方向との関係を見ると、西向きものは全面崩壊しやすく、のり肩からは崩壊しにくい。南面は中腹で崩壊しやすいようである。

次に、+勾配では全面的に崩壊しやすく、平坦地では崩壊しにくい。-勾配は例も少なく、別に特徴が見えない。

地層分類から見ると、軽石流のところは崩壊しやすく、全面的に崩壊するものが一番多く、ついで、のり肩から崩壊するところが目立っている。

d) 崩壊とのり面勾配について

崩壊と特に関係のある勾配は 0.1~0.2、および 0.7 以上である。

勾配 0.1~0.2 の A² の合計値が一番大きく、またその列の中では表面水による崩壊の A² が一番大きくて、かつ A 値が正であることから、崩壊の原因は表面水であることがいえる。同様に、種類としては粘性土化型崩壊が多く、崩壊の位置については、のり肩、またはのり肩と中腹の複合形態が崩壊しやすいことがわかる。

同様に、勾配 0.7~1.2 において、崩壊なしが多くなり、特に表面水に対して強いことがわかる。そして、崩壊の種類としては、地下水による洗掘が考えられ、粘性土化型、および雨裂によるものはあまり見られない。崩壊の位置としては、のり肩崩壊は非常にまれである。

0.4~0.5 勾配では、雨裂による崩壊が多く、粘性土化型崩壊は少ない。

(2) のり面崩壊性状の予測

第Ⅱ類分類の結果を利用して、この地帯に新設されるシラス切土のり面について、のり面崩壊のありかたを予測することができる。

以下、のり面崩壊の種類のあるかたの予想を例によって説明しよう。

まず、表-2 から、予想しようとする資料の category の score を I 軸、および II 軸について求めて、それを表-7 のようにまとめる。ここで軸ごとの合計を求め、その値を図-7 に記入する。図中 No. 72 と示しているのがそれである。

表-7 資料の崩壊の種類、確率指数計算表

項 目		I 軸	II 軸	III 軸		
Item	Category					
1	路 線 名	2	国道 3 号線	-2.1433	3.0067	0.1064
2	地 区 名	1	東市来, 伊集院 鹿兒島	-2.4155	0.4420	2.8991
3	交 通 量	6	2 600~5 500	1.8777	0.0987	-0.1962
4	対象斜面の位置	1	頂 部	-0.7470	-0.6110	1.6214
5	谷 密 度	5	20 本 以 上	0.0787	-0.1804	-0.0700
6	地 ぼ う 係 数	1	0~1 000 m ²	0.2764	-0.4277	-0.3902
7	後背地の地形	1	+ 勾 配	-0.1814	-0.5435	0.4635
8	周辺の自然勾配	8	不 明	0.0787	-0.1804	-0.0700
9	のり肩の凹凸	2	凸 形	0.9417	-0.7795	-0.1858
10	地 層 分 類	1	軽 石 流	-0.7851	0.7153	0.3703
11	土質の硬さ	2	6~7 cm	0.1385	0.5153	-1.9179
12	固 結 程 度	1	良	0.8443	-0.7797	1.8508
13	粗質部の粒度	1	粗	-0.7258	-2.2821	-0.4672
14	れ き 種	2	軽石, 安山岩	1.1206	-0.5703	1.2963
15	れき(φ)最大	5	200 mm 以上	1.3942	1.2003	1.1910
16	混れき率	3	20~25	-0.2479	-0.0052	-0.8845
17	層 厚	4	10~15	0.7738	-0.1340	-0.1508
18	植生なじみ具合	4	な し	-0.8265	0.2466	0.8288
19	道路 縦断勾配	5	勾配その他なし	0.0787	-0.1804	-0.0700
20	道路 横断勾配	4	なし, その他	0.0787	-0.1804	-0.0700
21	のり面方向	5	南	-0.3030	-0.9053	-0.7382
22	のり面勾配	2	0.1~0.2	-0.0993	-0.0156	-0.1979
23	のり面の平場	4		0.0787	-0.1804	-0.0700
合 計				-0.7141	-1.7408	4.2433

もし、I 軸、および II 軸による集中だ円図だけでは、よい結果が得られないときは、I 軸~III 軸、または II 軸~III 軸の集中だ円図を用いることになるが、手法はまったく同様にすればよいので、ここでは省略する。

判別法は、文献 1) に付録として掲載されているように点 No. 72 と、各集中だ円の形と、中心位置の関係から、x_j および σ_{oj} を求めて、表-8 に示すように確率指数を計算する。

表-8 資料の崩壊の種類、確立指数計算表

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	順	
	N	x	x ^{1/2}	σ _o	σ _o ^{1/2}	$\frac{x_j^{1/2}}{\sigma_o^{1/2}}$	1-⑥	P	位	
崩壊の種類	①粘性土化	44	0.53	0.73	0.75	0.87	0.44	0.56	24.6	1
	②雨 裂	23	--	--	0.50	0.71	0.90	0.10	2.3	6
	③地下水	40	--	--	0.68	0.83	0.90	0.10	4.0	4
	④風 化	47	--	--	0.60	0.78	0.90	0.10	4.7	3
	⑤①+③	25	--	--	0.44	0.66	0.90	0.10	2.5	5
	⑥その他	98	--	--	0.55	0.74	0.90	0.10	9.8	2

この表において「粘性土化型崩壊」の確率が最大であるので、これが予想される崩壊を示すことになる。実は、こののり面は、今回の調査資料 No. 72 のものであって、調査表には「粘性土化型崩壊」と記録されている。

計算のはじめにあたっては、崩壊の種類は未知とされていたのであるから、この予想が適中したことになる。

5. あとがき

本論文に示す解析によって、南九州のシラスのり面について、興味ある結果が得られたと考える。少なくとも従来の研究に対して、1つの新しい手段が与えられたものと思われる。

多くの得られた結果のうちで、ここでは主として、崩壊の種類、原因、および位置を選んで、各要因間の関連性を追求したものである。

パターン分類では、地下水の洗掘と、表面水による崩壊の性質が判明し、崩壊の種類と原因、および位置の間関係が相当明白になったものと思う。

第Ⅱ類分類と A^2 検定では、崩壊の種類、原因、および位置に関し、どのような要因が関連するものであるかを示すとともに、将来、シラスのり面が造成されたときの崩壊に対する予測が可能であることを示した。

この論文は、日本道路公団福岡支社から(株)福山コンサルタントに発注された「シラスのり面崩壊要因分析調査」の内容の一部であるが、これを発表することを許可されたことに対して、当局にお礼を申し上げる。

参 考 文 献

- 1) 松尾寿一・島 常信・福山俊郎：道路橋施工実績調査資料の解析，土木学会論文報告集第 176 号，pp. 1~11，1970. 4
 - 2) 林知己夫（統数研）：市場調査の計画と実際，日刊工業新聞社，1967 年 (1971. 6. 14・受付)
-