

企 画 室
禁 持 出

港 湾 技 研 資 料

TECHNICAL NOTE OF
PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 22

七尾港府中波除堤の沈下に関する調査……………松 本 一 明

本邦沖積粘土の液性限界一点法における

$\tan \beta$ について……………柳瀬重靖・松本一明・石塚忠久

昭和 41 年 1 月

運輸省港湾技術研究所



港湾技研資料 No. 22

目 次

七尾港府中波除堤の沈下に関する調査	1 ~ 18
本邦沖積粘土の液性限界一点法における $\tan \beta$ について	1 ~ 25

七尾港府中波除堤の沈下に関する調査

目 次

1. ま え が き	1
2. 波除堤の経緯	1
3. 構 造 様 式	1
4. 予 備 調 査	2
1) 七尾港の地勢	2
2) 既往調査資料	2
5. 調査位置および調査方法	5
6. 土質試験概要	5
7. 土 質 概 況	5
8. 施工前の地盤性状	6
9. 堤体下の地盤性状	6
10. 圧密試験結果	9
11. 圧密による強度増加について	10
12. 沈下について	10
13. ボーリング結果からみた波除堤の経緯	19
14. 調査結果のまとめ	19
15. あ と が き	19

七尾港府中波除堤の沈下に関する調査報告

松 本 一 明

1. ま え が き

七尾港府中波除堤は、図1-1に示す如く能登半島東南に湾入する七尾湾南湾の矢田新開（一）3.5米物揚場の前面に位置しており、延長約330米で、構造は、基部に置換と粗朶沈床を併用したケーソン混成堤である。工期は10年間に亘つて築造されたものであるが、初期施工区域では、今回の調査までに沈下量が最大約2mにおよび満潮時には海中に没する部分もあり、波除堤としての機能を減じている。従つて、この波除堤の復旧（嵩上等）のための設計資料とすることを主目的として調査を行ない、その結果から次の事項について検討を加えてみた。

1. 沈下要因の究明
2. 沈下の実測値と計算値の比較
3. 圧密による強度増加
4. 粗朶沈床の圧縮性

このように施工後12年余を経過してから、堤体直下の土を採取して試験し、その値によつて沈下などに関する究明を行なつた調査例は少いのでここに報告する。

2. 波除堤の経緯

この波除堤は、昭和27年度から昭和36年度に亘り、第一港湾建設局、七尾港工事々務所の直轄工事として施工されたもので、大体に於いて、混成堤の下部、即ちマウンド築造の翌年度に上部のケーソンを据付ける施工方法（順序）がとられた。マウンド築造後放置した一年間およびケーソン据付後の沈下が甚しく大きいので、重量軽減のためケーソンの中詰は水のみとし一部のケーソンは蓋（厚さ25cm）で覆っている。このため伊勢湾台風には数個のケーソンが多少滑動して法線はずれたこともある。沈下観測はケーソン据付以来ケーソンの天端で行なつている。即ち施工後5年間はおおむね毎年一回測定し、以後10年迄に1回測定されている。沈下量はマウンドだけのとき約70cm、ケーソン据付から調査時点までに約130cm 生じているが詳細については後述する。

3. 構造様式

構造様式は図3-1に示す標準断面の如く、混成堤で

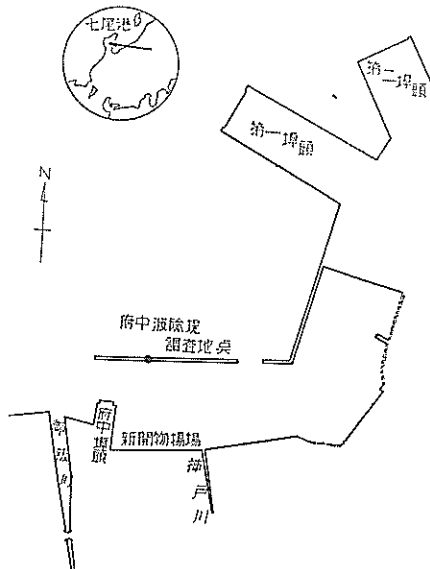


図1-1 位置図

* 構造部土質試験課

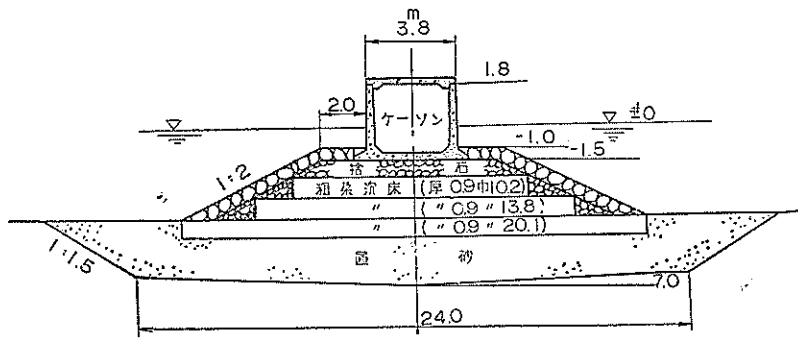


図 3-1 波除堤標準断面図

軟弱地盤 ($C \approx 0.05 \sim 0.07 \text{ kg/cm}^2$) の上層 3m を床掘して (一) 7m まで砂で置換し、その上に堤体の自重軽減とそれに伴う建設費の節減並びに、たわみ性基礎として上載荷重を均等に分布させるために厚さ 90cm の粗梁沈床 3 枚を重ねた。粗梁沈床の沈石として、上部は栗石を使用し、中間部および下部は土丹を詰めたものである。更にもその上部に厚さ 70cm の捨石をしてケーソンを据付けた構造である。ケーソンの天端高は施工当初 +1.0m である。

4. 予備調査

1) 七尾港の地勢

七尾港は能登半島東南の屈折した湾曲部にあり、前面

に能登島を擁し、東南遙かに石動山脈を負い連脈東北に突出し、又南西より東北にのびた邑知地溝帯 (図 4-1) の出はずれに位置している。地質は附近一帯、新生界に属し、山地は新第三系に、低地は新生統に属しており、羽咋より七尾に至る間、即ち邑知地溝帯は典型的な地溝帯を形成している、以上から七尾港海底中、特に地溝帯の出はずれに位置する府中矢田新開物揚場前面の海底地盤が最も軟弱であると考えられる。

2) 既往調査資料

本調査位置附近の既往の調査としては、昭和 24 年度に行なわれた地下水電気探査法による調査と、昭和 26~28 年に行なわれたパーカッション方式による撓乱試料採取のボーリングとである。この結果から土質断面想定図を

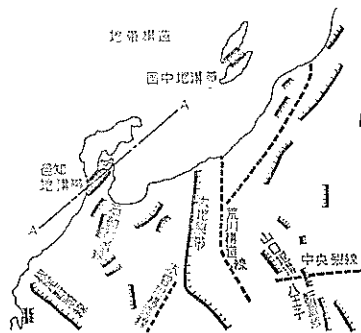
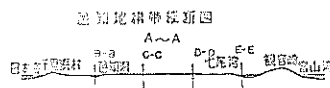


図 4-1 地帯構造図

画けば図4-2に示す如くである。また物理的性質については表4-1に示す。この物理的性質は当時のことであるから試験方法がすべて略式によられているため不正

確ではあるが、本調査のための概略の予備知識とすることができた。

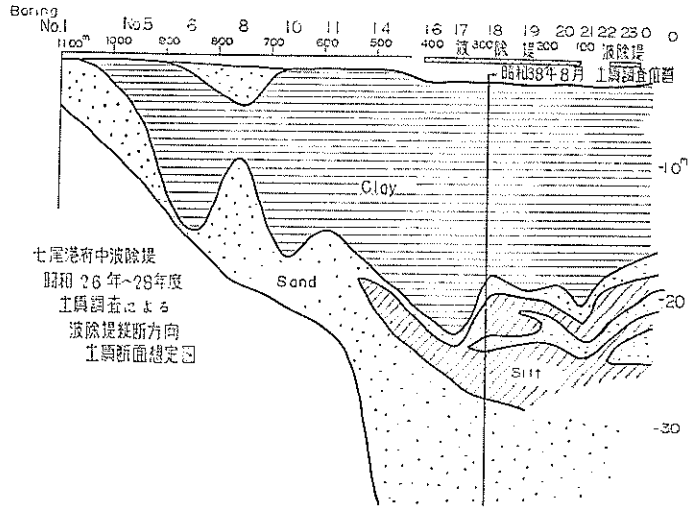


図4-2 土質断面想定図

表4-1 土質試験結果表

TABLE No. 1		INDEX PROPERTIES OF SOIL													TEST No. 1		DATE: 昭和38年			
試料番号	含水比 (%)	液性比 (%)	塑性比 (%)	有機比 (%)	飽和度 (%)	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	液性指数	塑性指数	液性指数	塑性指数	液性指数	塑性指数	土の粒徑分析試験					その他	備考
														2mm以上	0.075mm	0.025mm	0.0075mm	0.0025mm		
17-1066	12.6	2.714	3.42			8.7	3.7	5.0		1.15	6.3	0	4	24	63	4	5			
2106	14.0	2.271	3.18			9.9	4.6	5.3		1.8	7.4	0	6	35	51	7	1			
3146	12.6	2.348	2.96			7.8	4.4	3.4		2.4	7.5	0	14	22	56	7	1			
4196	5.3	2.416	1.28			4.4	3.0	1.4		1.6	23.1	3	30	19	41	6	1			
5213	9.4	2.367	2.22			8.3	4.2	4.1		1.3	5.1	1	5	12	74	6	2			
6216	5.8	2.407	1.64			5.6	3.7	1.9		1.6	6.1	1	4	28	60	5	2			
7224	7.9	2.370	1.87			6.9	3.9	3.0		1.3	4.1	0	5	18	73	3	1			
8228	7.6	2.351	2.26			7.2	3.6	3.6		1.7	10.3	1	9	24	52	12	2			
9263	4.8	2.355	1.14			5.5	2.8	2.7		0.7	6.2	1	6	38	50	4	1			
10319	5.0	2.463	1.23			4.7	2.7	2.0		1.2	13.7	2	7	45	37	6	3			

5. 調査位置および調査方法

調査位置は現在までに12年余を経過した初期施工区域から、最大沈下量を生じている箇所を選び、ボーリングは沈下の検討に必要な最少本数3本とした。すなわち、堤体中心点 (No. 1)、堤体法尻点 (No. 2) および、堤体荷重の影響を受けていない点 (No. 3) である。この調査位置については、図1-1に併示した。また深度は既往データ等より判断して(-)30m までとした。

調査方法は、粘性土においては運研61式工法 (Drill Pipe Method) により連続サンプリング (1mにつき1本) を行ない、砂質土層では標準貫入試験を原則として、1.5m に1回実施した。なお、堤体中心点のボーリングに際しては、ケーソン一隅と捨石の一部を取除いてから実施した。このとき使用したサンプラーは、固定ピストン式のサンプラーである。

運研61式工法によつた理由としては、前述3カ所の微少な強度変化を掴む必要性から、できるだけ自然状態に近い試料を得なければならないからである。ここに運研61式を要約すれば、試料採取後の引抜時に試料底面に生ずる負圧をコーパレルの周面を洗滌することによつて除去し、引抜時の負圧の影響による乱れを防ぐ工法である。

本調査は昭和38年8月に実施したものである。

6. 土質試験の概要

サンプリングした土は原位置の状態に最も近い状態で試験するため採取後直ちに全試料について七尾港工事々務所の試験室に於いて次の試験を実施した。

1) 一軸圧縮試験

2) 含水量試験

3) 単位体積重量試験

その他の試験は港研の実験室において次の通り実施した。

A. 物理的試験

1) 土粒子の比重試験

2) 粒度分析試験

3) 液性限界試験

4) 塑性限界試験

物理的試験はボーリング No. 2 については No. 1 との距離も近く物理特性は同一と考えられるので省略した。

B. 力学的試験

1) 圧密試験

2) 一面セン断試験

力学的試験のうち圧密試験は沈下の解析に最も重要な試験であるから (-) 17m までの第1粘土層から各孔共2カ所と、それ以下の第2粘土層では、1~2カ所について実施した。また、一面セン断試験は圧密による強度増加について検討するため試験条件を圧密非排水として各孔から1~2カ所実施した。

この土質試験の実施表を表6-1(a)(b)(c)に示す。

7. 土質概況

図7-1の土質柱状図に示すようにボーリング No.1, No. 2, No. 3 共、表層から、約 (-) 17m まで軟弱な粘土層が続いているが、それ以下約 (-) 20m までは、シルト質砂の層である。その下約 (-) 23m ぐらいまでは、No. 1, No. 2 は粘土質シルトであり、No. 3 は No. 1 および No. 2 とは多少相違し、シルト質砂の直下から約 (-) 22m までは砂礫層である。それ以深、約 (-)

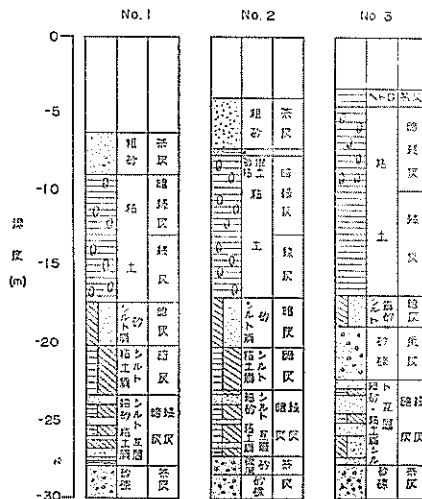


図7-1 土質柱状図

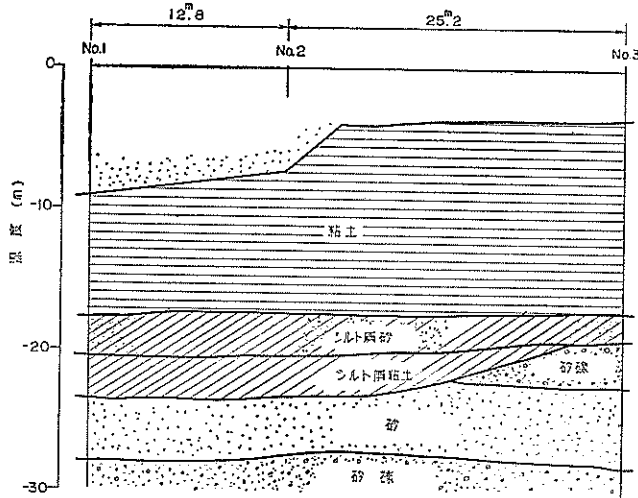


図7-2 土質断面推定図

28mまでは3孔共50~60cmの細砂と粘土質シルトの互層が続き以下砂礫層となつている。この砂礫層は2mだけしか確認していないが、既往データおよびボーリングの状況から判断して、これ以下に圧密沈下を起す層があるとは考えられないので、本調査の目的からして(一)30m以下の成層状態の詳しい確認はあえて行なわなかった。これら、3孔を結んだ土質断面想定図は図7-2に示すように、ボーリングを行なつた範囲においては、粘土層はほぼ水平の層状をなしている。

8. 施工前の地盤性状

本来ならば、波除堤施工以前に行なわれた土質調査および試験を基準として、今回の結果を検討すべきであるが、当時の土質調査および試験精度から考えて、現在と比較できる正確なデータはない。そこで今回は今までに荷重の影響を全然受けていない地盤を施工前の地盤と仮定することにした。その地盤について表8-1および図8-1に示す。この表および図に示すように物理的諸性質を(一)17mまでの第1粘土層についてみると、粘土含有量が45~55%で、土粒子の比重(G_s)は2.66~2.74の範囲であり、自然含水比(w)は113~146%と大きく、間隙比(e)は、ほとんど3.5以上を示し、最大は3.95と非常に大きい。また、単位体重量は1.28~1.46(t/m^3)で、(一)17mまでの粘土層の平均値は1.386と小さい値を示している。液性限界(w_L)は115~157%の範囲にあり、一部を除いて自然含水比とおおむね同一の値を示している。塑性限界(w_p)は35~47%である。従つて塑性指数は80~110%と割合塑性度の高いことを示している。また、液性指数をみても0.8~1.05

と一般的な値にくらべて大きく、いわゆる不安定な土であるといえる。

第2粘土層については、粘土含有量が35%程度のシルト質粘土で、自然含水比は、おおむね52~73%、間隙比は1.5~1.8、単位体積重量は1.57~1.65(t/m^3)と比較的硬い土であることを示している。また土粘土の比重は第1粘土層の値と同一の範囲内にある。液性限界は65~85%、塑性限界は23~43%で塑性指数は42%、液性指数も、おおむね0.4~0.6と一般的な値を示している。

次に力学的性質のうち、一軸圧縮強さ(qu)は、海底面附近(-3.35m)では $qu=0.2(t/m^2)$ 第1粘土層の下端(-17.0m)では $qu=2.7(t/m^2)$ で、その中間はほぼ直線的に増加している。この一軸圧縮強さおよび物理的性質等からみて、はなはだ軟弱な地盤であるといえる。一方、第2粘土層は、砂または、シルトに挟まれた層であるため(一)25m附近で $qu=7.5(t/m^2)$ と急に大きくなっている。

9. 堤体下の地盤性状

堤体下については、前述したように堤体中心点および法尻点の2箇所をボーリングしたが距離的に近く図7-1の土質柱状図でもわかるように同一と考えられるので、物理的性質を求める試験は前述したように堤体中心点のみとし、法尻点は省略した。

圧密過程中的堤体下地盤の物理的性質を施工前の地盤(堤体荷重の影響を受けていない地盤)と比較してみると、表9-1および図9-1に示すように自然含水比(w)は、第1粘土層上部で35%小さく、中央部で10%、下部では20%程度小さくなっている。また、間隙比に

表8-1 土質試験結果(施工前)

TABLE NO. 3

INDEX PROPERTIES OF SOIL

試料番号	含水比 w (%)	液性比 γ	塑性指数 G _s	液性指数 G _{max}	e	Sr	W _L (%)	W _p (%)	I _p	I _h	I _c	土質分類				その他	備考
												砂質	シルト	粘土	その他		
3-0052	113.32	1.443	2.746	3.112	3.059	101.7	115.80	34.88	80.92	0.659	0.031						
1056	123.60	1.459	2.728	3.372	3.181	106.0	119.70	45.73	73.97	1.033	0.053						
2070	146.49	1.404	2.691	3.942	3.724	105.9	141.20	43.04	98.26	1.053	0.053						
3079	139.30	1.280	2.660	3.679	3.552	93.1	135.30	42.50	92.60	1.032	0.032						
4089	133.51	1.404	2.663	3.555	3.429	103.7	138.00	46.88	101.12	0.857	0.143						
5100	134.68	1.411	2.671	3.601	3.447	104.5	157.30	41.25	116.05	0.805	0.195						
6113	136.52	1.330	2.672	3.648	3.712	97.2	155.10	37.95	117.14	0.841	0.154						
7129	131.52	1.328	2.681	3.562	3.674	96.0	136.00	40.50	95.10	0.553	0.047						
8145	123.71	1.448	2.698	3.338	3.168	105.4	129.70	46.77	82.93	0.828	0.072						
9158	124.28	1.354	2.703	3.358	3.477	96.6	129.10	44.55	84.55	0.843	0.057						
10171	85.59	1.599	2.708	1.602	1.500	106.8											
	59.14	1.724					44.00	21.83	22.17								W=59.14~1023.8
11183	33.89	1.782	2.697	0.914	1.026	89.1											W=1.724~1.528
12189		2.720															
13230	71.32	1.646	2.720	1.940	1.831	105.0	89.82	42.45	47.37	0.609	0.399						
14237		2.671					99.23	38.02	61.21								
(上) 15252		2.682	1.452	1.466	97.0	76.80	34.00	42.80	0.444	0.556							
(下) 53.01	1.604	2.743	1.454	1.522	95.5	64.50	35.84	28.56	0.599	0.401							
(上) 16262		2.666	1.500	1.510	99.3	82.40	37.02	44.48	0.412	0.588							
(下) 56.26	1.660	2.686	1.517	1.539	98.6	55.70	27.94	27.76	1.020	0.026							
4m		2.683					89.70	39.96	49.74								
1955-1956 (N:33)		2.716															

七尾港町中環状掘削 No.253

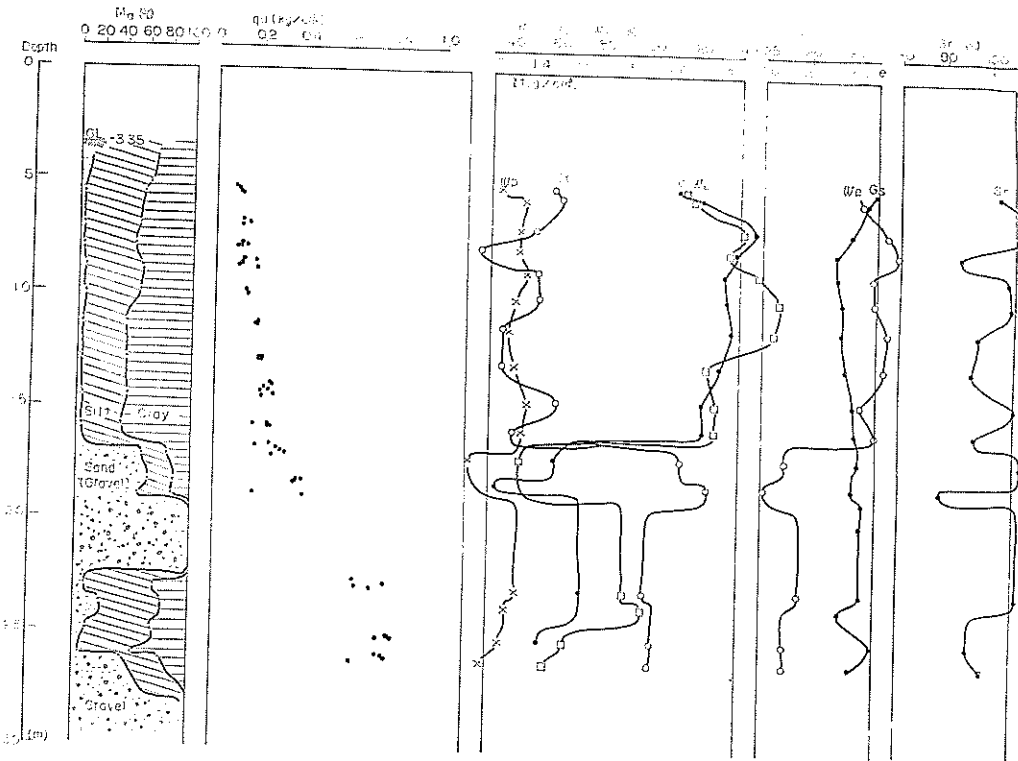


図8-1 土性図(施工前の地盤)

表 9-1 土質試験結果 (堤体下)

TABLE NO. 1

INDEX PROPERTIES OF SOIL

試料番号	含水比 w (%)	液性限界 L (mm)	塑性指数 Ip (%)	液性指数 I _p	塑性指数 Ip	液性指数 Ip	液性指数 Ip	液性指数 Ip	液性指数 Ip	土の分類 (JIS)				その他	備考 Remarks
										砂 (%)	シルト (%)	粘土 (%)	その他 (%)		
1-1108	58.05	1.470	2.668	2.616	2.595	100.8	137.90	37.10	100.60	0.605	0.395				
2119	113.54	1.451	2.709	3.076	2.997	103.0	130.04	36.21	93.83	0.824	0.171				
3130	119.50	1.353	2.681	3.204	3.349	95.7	143.00	43.73	99.27	0.763	0.237	3.8	41.2	55.0	Clay
4142	106.77	1.472	2.684	2.866	2.720	103.5	120.80	39.24	88.56	0.842	0.158				
5152	105.63	1.440	2.684	2.835	2.833	100.1	114.40	33.29	81.11	0.892	0.108				
6162	108.29	1.414	2.679	2.901	2.945	98.5	124.20	42.11	82.09	0.806	0.194	5.0	41.8	53.2	Clay
7172	97.18	1.537	2.712	2.635	2.479	106.3	84.50	29.24	55.26	1.225	0.225				
(上) 8182	37.26	2.710	1.010	1.021	0.989	88.9				0.921	0.079				
(下) 9192	23.97	1.841		0.549	0.825	78.7	38.80	19.35	19.45	0.238	0.712				(規程外)
10202	35.44	1.802	2.701	0.957	1.030	82.9									
(上) 11210	47.01	1.743	2.710	1.274	1.286	99.1	67.70	20.01	47.69	0.566	0.434				Clay Silt
(下) 12222	59.85	1.638	2.709	1.622	1.644	93.7				0.883	0.117				
13232	36.88	1.579		0.999	1.362	73.3	64.80	22.66	41.82	0.332	0.668				
(上) 14237	69.84	1.583	2.684	1.848	1.863	99.2	85.30	42.27	43.03	0.617	0.383	2.5	62.2	35.3	Silt Clay
(下) 15249	73.78	1.601	2.674	1.973	1.902	103.7	84.40	26.95	57.45	0.815	0.185				
16261	51.20	1.720	2.652	1.358	1.332	102.0									
(上) 17272	2.706	1.501	1.550	95.6	71.10	39.27	31.83	0.503	0.494			6.2	56.8	37.0	Silt Clay
(下) 18284	85.38	1.652	2.711	1.499	1.545	97.0	75.90	37.79	38.11	0.462	0.538	7.0	65.5	26.5	Clay Silt
19296	51.85	1.739	2.727	1.414	1.393	102.5									(規程外)
(上) 20308	55.77	1.705		1.549	1.506	102.8	86.55	33.16	53.39	0.442	0.558	11.7	51.8	36.5	Silt Clay
(下) 21320	51.52	1.756													(規程外) 40cm Silt
22332	35.40	1.861													25cm Sand

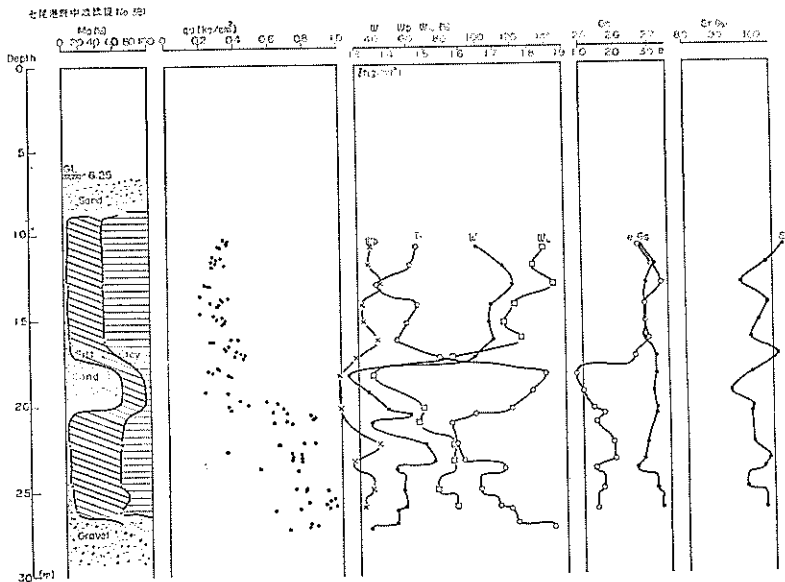


図 9-1 土性図 (堤体下)

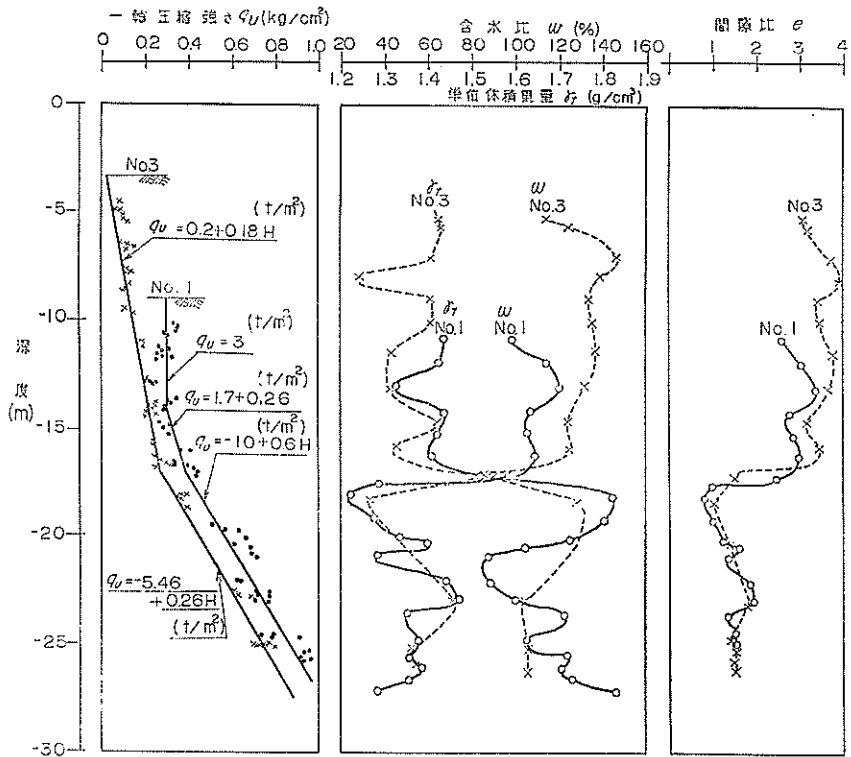


図 9-2 法性質の比較図

についても、上部 1.0、中央部 0.4、下部 0.6 とそれぞれ小さくなっており、含水比、間隙比共、圧密の進行過程を明らかに示している。第 2 粘土層については、前述のような顕著な差はみられない。

一方、一軸圧縮強さ (q_u) は、堤体中心点では置砂の下端 (-)9.0m から (-)14m まで粘土層中央部でやや小さい弓状を呈し、 q_u 値は大体 3 (t/m^2) である。それ以下では、(-)17m のところで、 $q_u=3.8(t/m^2)$ とその間直線的に増加している。また、堤体法尻点においては、置砂下 (-)7.5m で $q_u=1.2(t/m^2)$ で、それ以下直線的に強度が増し、(-)17m では $q_u=3.8(t/m^2)$ となっており、(-)13m ~ (-)17m では、堤体中心点とほぼ同じ強度を示している。第 2 粘土層については堤体中心点の (-)25m 付近で、 $q_u=8.7(t/m^2)$ 、堤体法尻点の (-)25m 付近で、 $q_u=7.7(t/m^2)$ と急に大きくなっている。これらを施工前の地盤（堤体荷重の影響を受けていない地盤）と比較してみればわかるように圧密による強度増加を明確に示している。これを図 9-2 に示す。

10. 圧密試験結果

圧密試験の過程において圧密時間と変位量の関係が一

般的な土には見られない傾向を示した。すなわち一般的な土の圧密試験における 90% 圧密に要する時間 (t_{90}) は 1 ~ 10 分の範囲にあるが、波除堤関係の土は自然地盤および荷重により圧密を受けた土の両者共、圧密先行荷重附近を過ぎてから 90% 圧密に達する時間が、急に長くのびている。その時間は圧密進行中の堤体下では、圧密を受けていない地盤の約 3 倍を要している。この傾向をねり返し (Remold) を受けた土の圧密と比較してみると、ねり返した土は圧密荷重の小さい間は 90% 圧密に要する時間が長く 50 ~ 80 分を要し、圧密終期の段階では 1 ~ 15 分と 90% 圧密に要する時間だけは、一般的な自然状態の土と同程度となり、ちょうど逆の傾向を示している。これらから判断してこの土は、圧密に対して特異な性質をもっているものと考えられる。したがって圧密係数も当然小さく堤体下地盤の圧密時間も長くなることが考えられる。以上 3 者、すなわち「波除堤関係の土」、《堤体荷重の影響を受けていない地盤 (No. 1)、堤体法尻下 (No. 2) および堤体中心直下 (No. 3)》と本調査に直接関係ないが、「ねり返しを受けた土」および「一般的な乱されない土」について比較したものを表 10-1 に示す。

表 10—1 圧密荷重と圧密度90%に達するに要する時間の関係

圧密荷重 p (kg/cm ²)	圧密試験における圧密度90%に達する時間 t_{90} (分)								
	波除堤の土			練返した土			乱さない土		
	No. 1	No. 2	No. 3						
0.075	27.9	5.5	2.9	84.0	61.2	62.5	2.3	2.2	2.0
0.151	36.8	7.3	5.2	36.7	30.6	23.0	2.7	3.2	1.5
0.377	45.0	12.9	6.8	21.0	22.4	24.0	2.0	2.6	1.3
0.753	100.0	40.0	36.0	15.2	20.3	15.2	2.1	3.8	1.5
1.507	89.0	46.8	31.2	9.5	14.0	5.3	3.6	4.1	1.7
3.014	61.0	36.7	24.6	6.8	10.5	6.0	5.7	9.3	2.0
6.027	55.0	28.7	18.4	5.0	7.8	4.2	5.3	4.2	1.7
9.041	72.5	40.0	25.8	3.4	6.0	4.8	2.5	2.3	3.3

11. 圧密による強度増加について

圧密に伴う粘着力の増加割合 (c/p) の推定をするために試験条件を圧密非排水として一面セン断試験を行なった。その結果を図 11—1 に示す。この図から $c/p=0.36$ を得る。これは 100% 圧密に対応する値であるから 80% の圧密度についてみれば

$$(c/p)U=80\%=0.36 \times 0.80=0.29 \text{ となる。}$$

したがって、この値を強度増加の計算に採用する。

今、堤体下の強度増加について Terzaghi の Isochrone と地中応力分布を Boussinesq の方法を用いて求めた値が、一部を除いて比較的良好に qu 値と一致している。この関係を図 11—2 に示す。この一部の小さい値は、強度が増加しなかったのではなく、むしろ、サンプリング時

の何らかの影響による強度の減少があったものと考えられる。

12. 沈下について

沈下を波除堤全体についてみると、図 12—1 に示すような傾きをしている。

これは、混成堤の下部すなわちマウンドを施工した翌年度に上部のケーソンを据付ける。このケーソンの据付には、マウンド部施工の時間的ずれによる不等沈下をマウンドの捨石天端を修正して行なうので、圧密スタートのずれによる影響が現われて、このような傾きになったものと考えられる。

沈下の実測値によれば、マウンド施工後ケーソン据付までの期間に約 70cm、ケーソン据付から調査時点まで

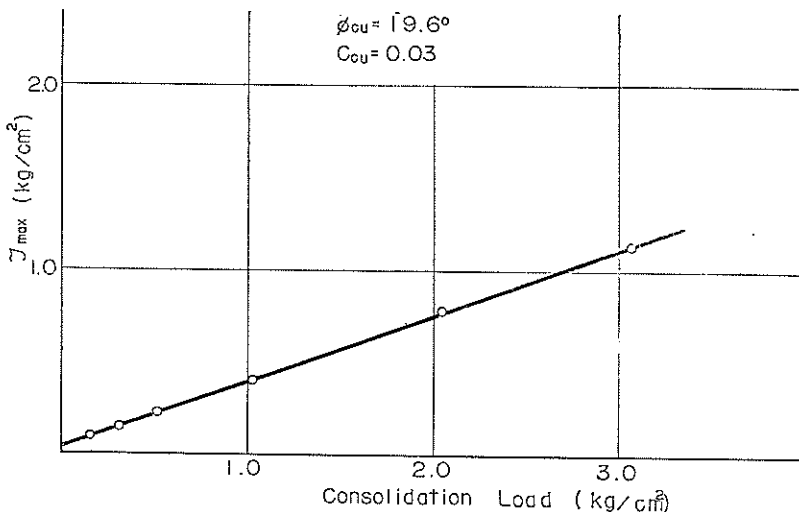


図 11—1 一面セン断試験結果

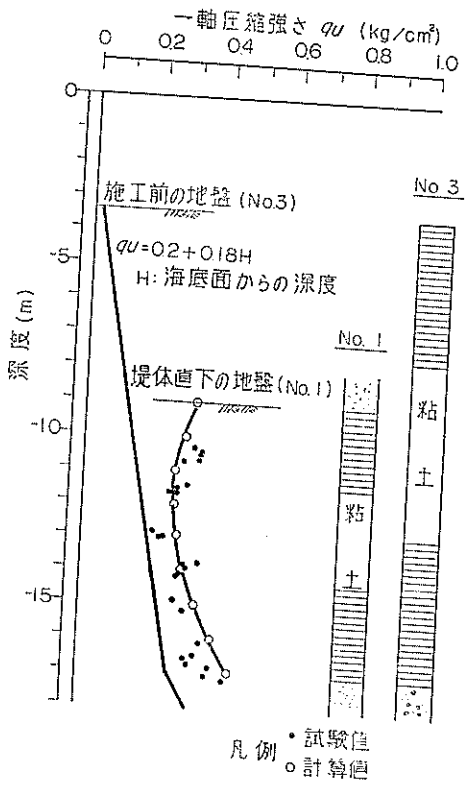


図 11-2 圧密による強度増加

に約 130cm の沈下を生じており、総沈下量は 200cm となっている。この沈下の要因として次のものが考えられる。

1. 粘土層の圧密
2. 粘土のフロー
3. 置換砂の粘土層表面へのめり込み
4. 粗粒沈床の圧縮
5. その他

これら沈下の要因として考えられるもののうち、まず粘土層の圧密沈下について、圧密試験結果から得た諸数値を用いて計算し、それに基づいて粗粒沈床などの各々について検討してみた。

1. 粘土層の圧密

粘土層の圧密沈下の計算に必要な圧密諸係数および計算条件を次に示す。

圧密諸係数については、 $p-C_0$ および $p-m_0$ を深度別にプロットしたものを図12-2、12-3、12-4、12-5 にそれぞれ示す。

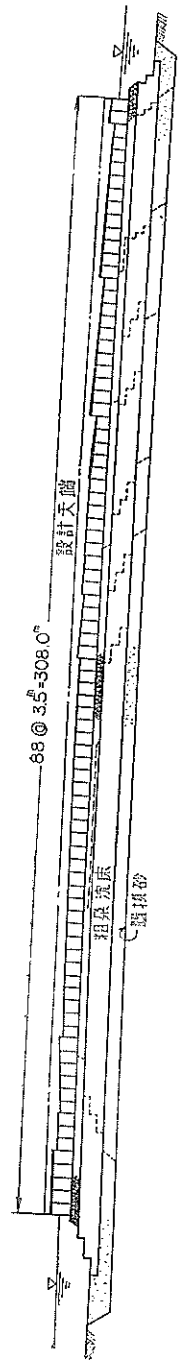


図 12-1 波除堤の沈下状況図

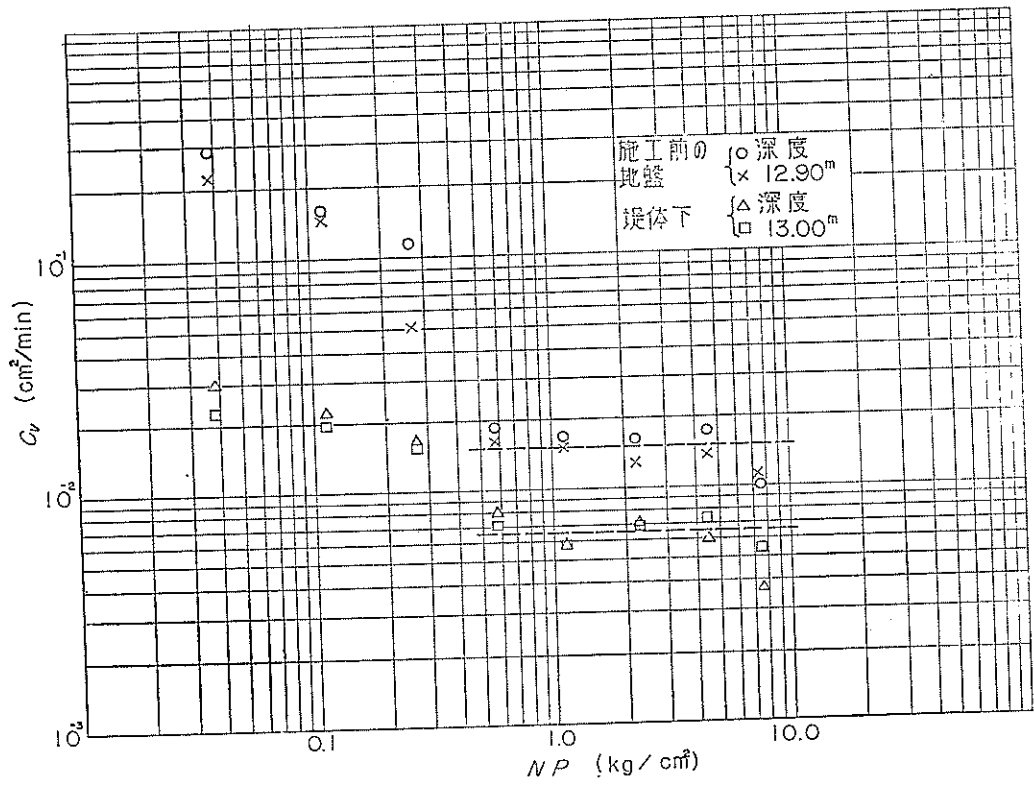


図 12-2 NP- C_v の関係

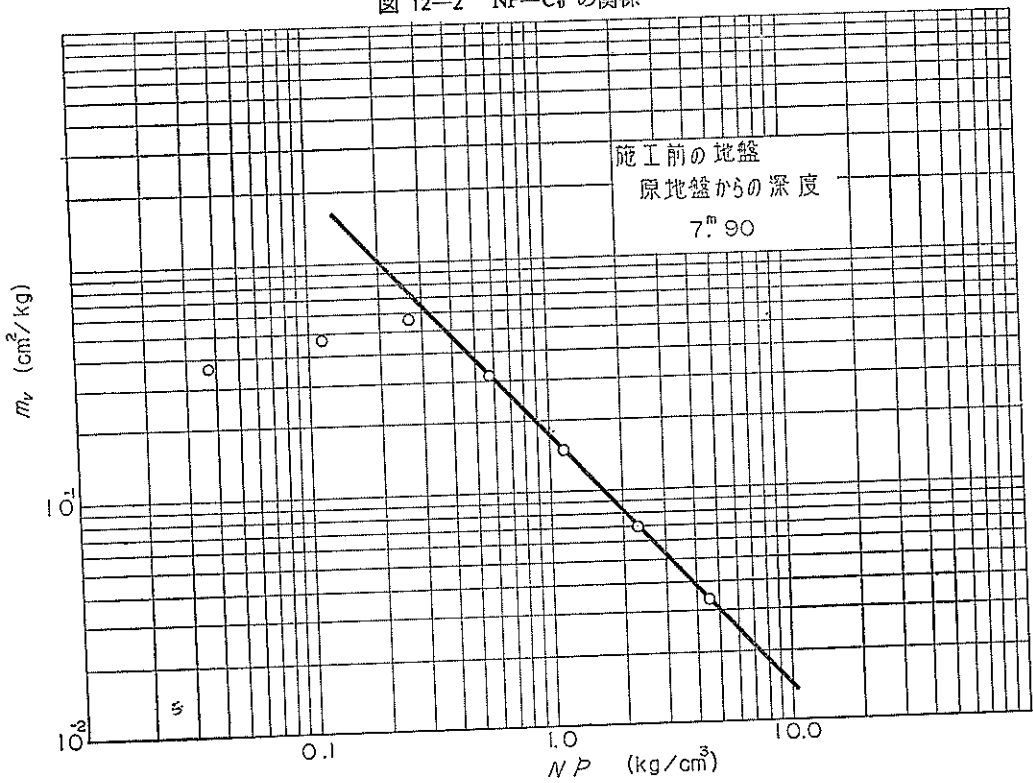


図 12-3 NP- C_v の関係

V $\tan \beta$ を求めるための計算

流動曲線の傾度 $\tan \beta$ は、両対数グラフにプロットした流動曲線から $N=25$ に対応する w と任意の N に対

応する w を求めて、(1) 式によつて得る。その $\tan \beta$ と液性限界に対する相関図を画くと図 4・1~4・6 のように、それらの間には相関々係がない。

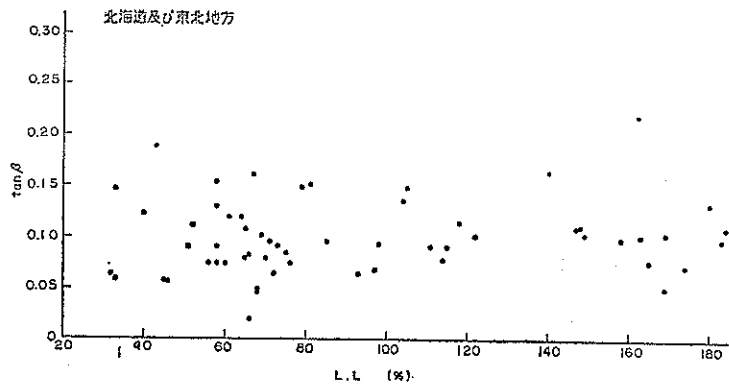


図4・1 液性限界 (L.L) と流動曲線の勾配 ($\tan \beta$) の関係

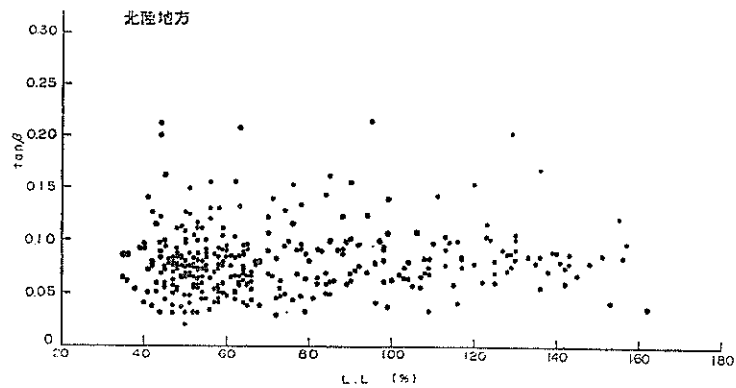


図4・2 液性限界 (L.L) と流動曲線の勾配 ($\tan \beta$) の関係

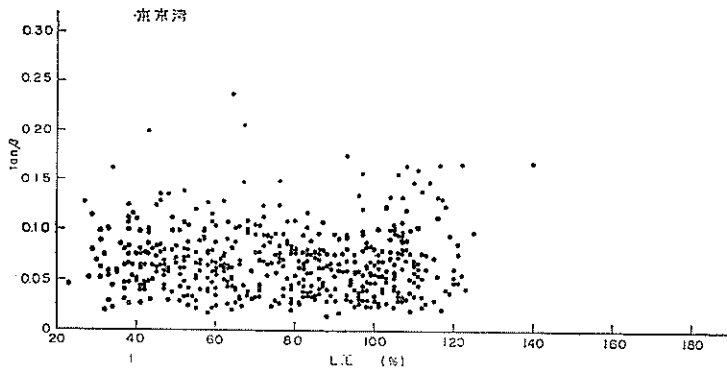


図4・3 液性限界 (L L) と流動曲線の勾配 ($\tan \beta$) の関係

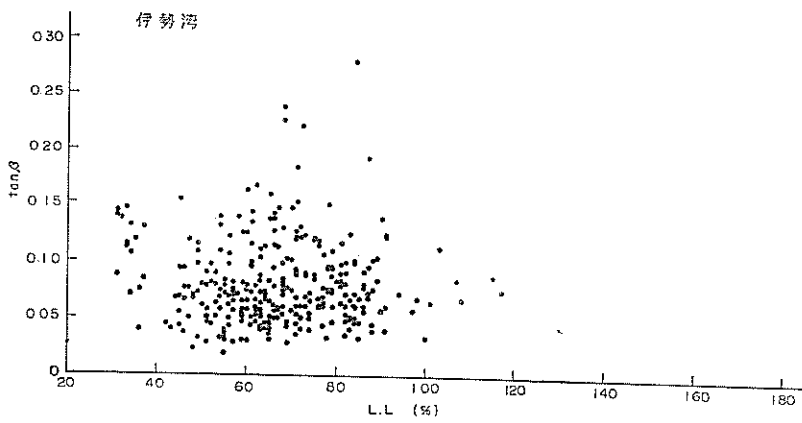


図4・4 液性限界 (L L) と流動曲線の勾配 ($\tan \beta$) の関係

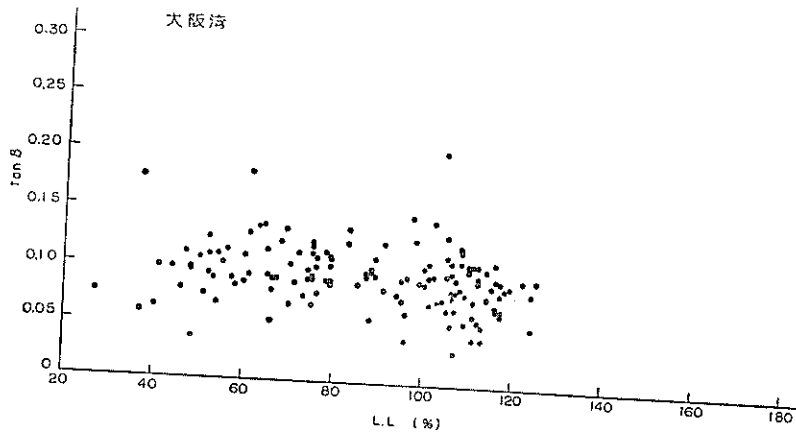


図4・5 液性限界 (L.L.) と流動曲線の勾配 ($\tan \beta$) の関係

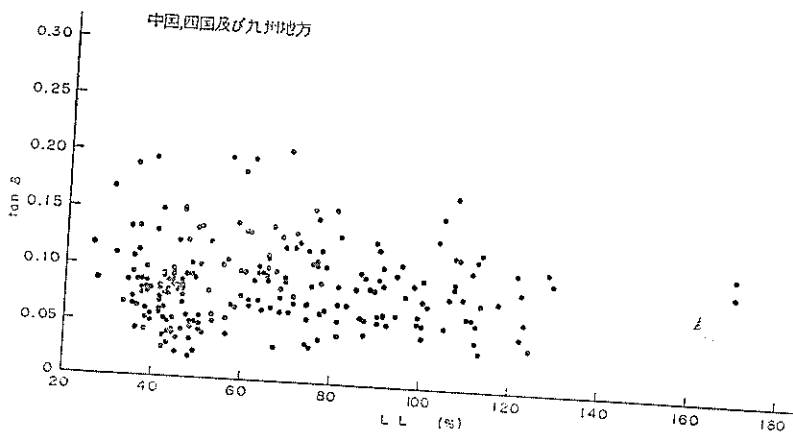


図4・6 液性限界 (L.L.) と流動曲線の勾配 ($\tan \beta$) の関係

$\tan \beta$ の相対度数の分布を全資料および、地域別（6地域）に、液性限界の範囲を 50% 以下、50~70、70~90、90~110、110~130、130~150、150 以上のグループに分割した場合と、範囲を区切らないで一つにした場

合の4種類について検討してみた。この相対度数分布のうち、全資料を一括して液性限界をグループに分割したものと分割しなかつたもの、更には、地域別の分割しないものについて図5・1~5・14に示す。

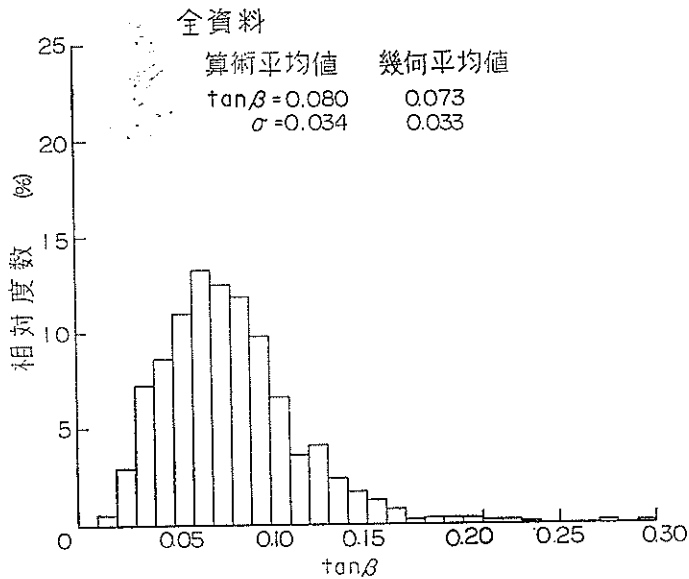


図 5・1 全資料, $\tan \beta$ の値のヒストグラム

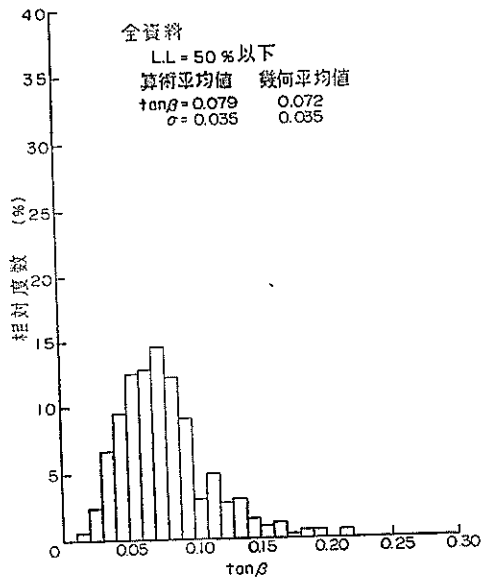


図 5・2 全資料の液性限界範囲別 $\tan \beta$ の値のヒストグラム

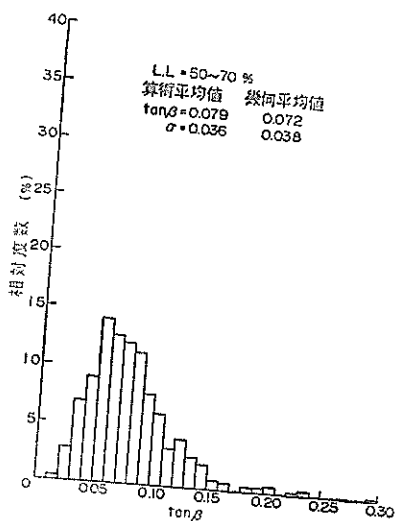


図 5.3 全資料の液性限界範囲別 $\tan\beta$ の値のヒストグラム

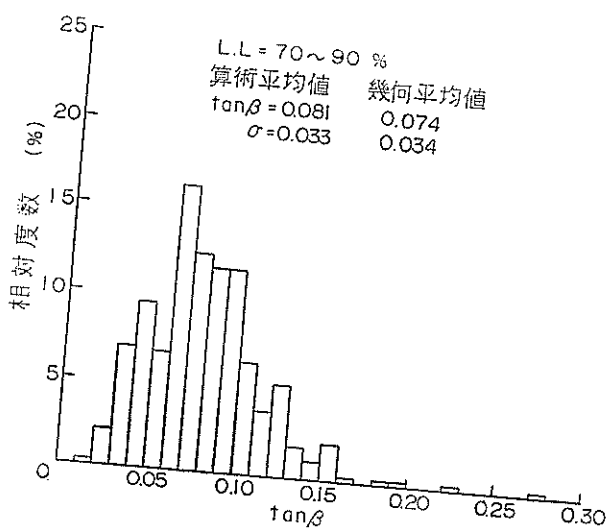


図 5.4 全資料の液性限界範囲別 $\tan\beta$ の値のヒストグラム

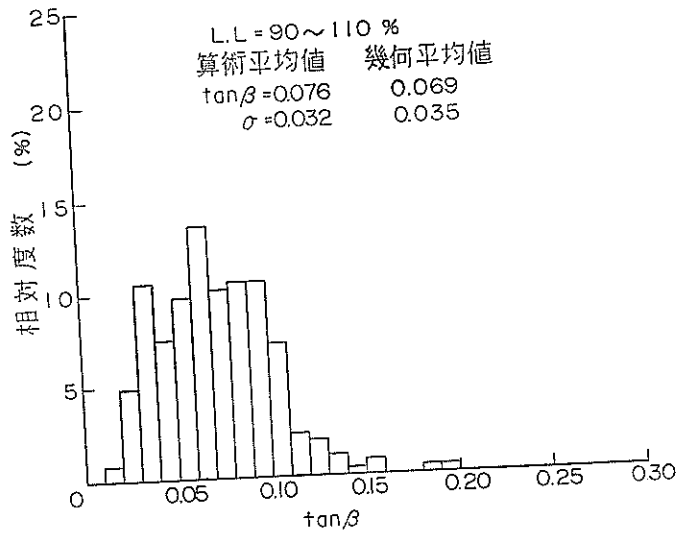


図 5・5 全資料の液性限界範囲別 $\tan\beta$ の値のヒストグラム

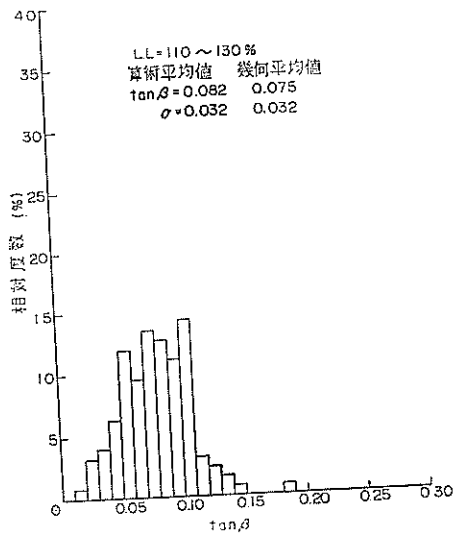


図 5・6 全資料の液性限界範囲別 $\tan\beta$ の値のヒストグラム

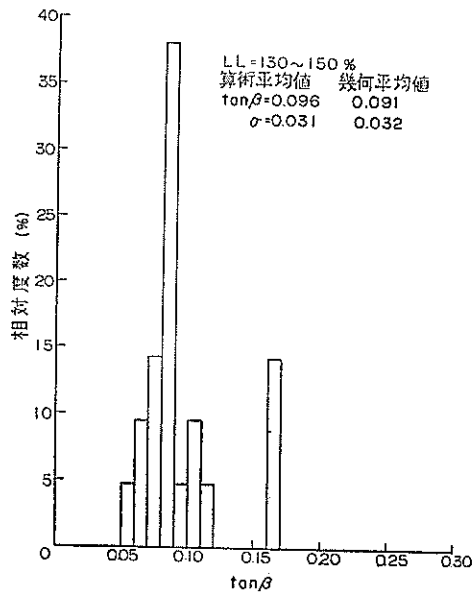


図 5・7 全資料の液性限界範囲別 $\tan \beta_2$ の値のヒストグラム

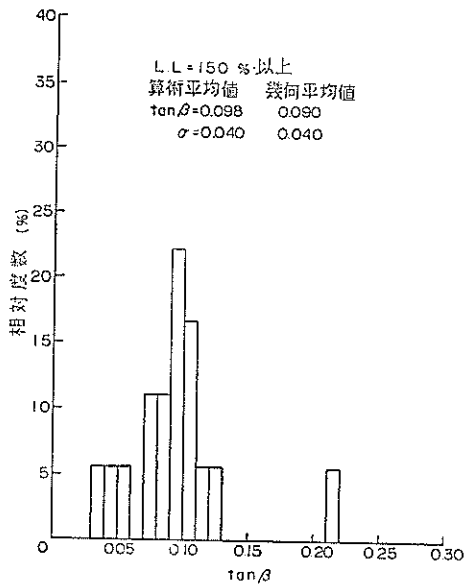


図 5・8 全資料の液性限界範囲別 $\tan \beta$ の値のヒストグラム

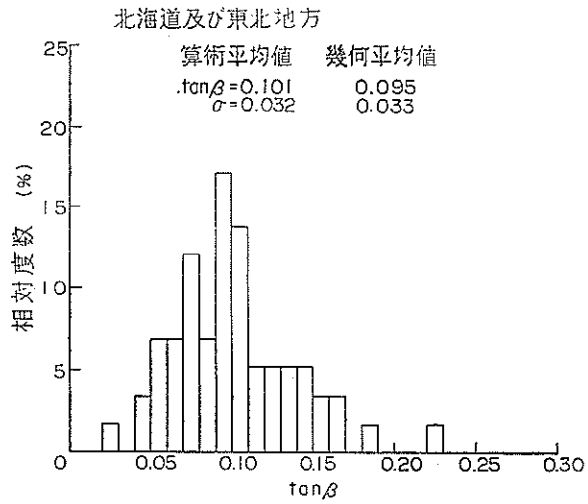


図 5・9 地域別, $\tan\beta$ の値のヒストグラム

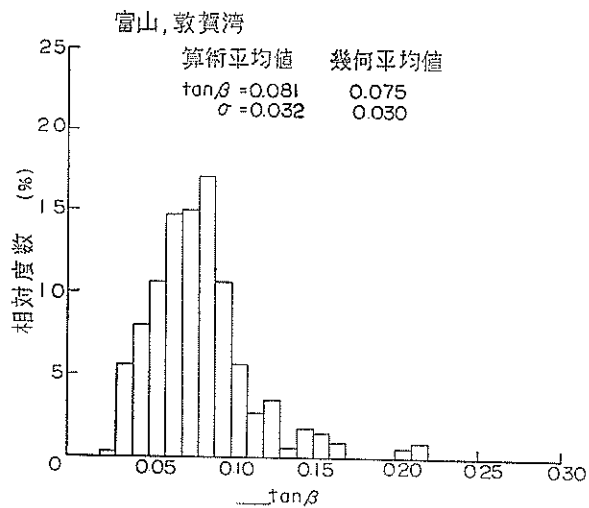


図 5・10 地域別, $\tan\beta$ の値のヒストグラム

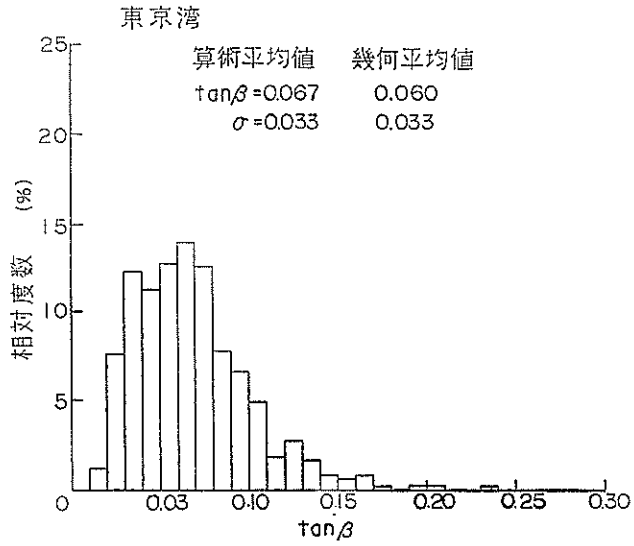


図 5・11 地域別, $\tan\beta$ の値のヒストグラム

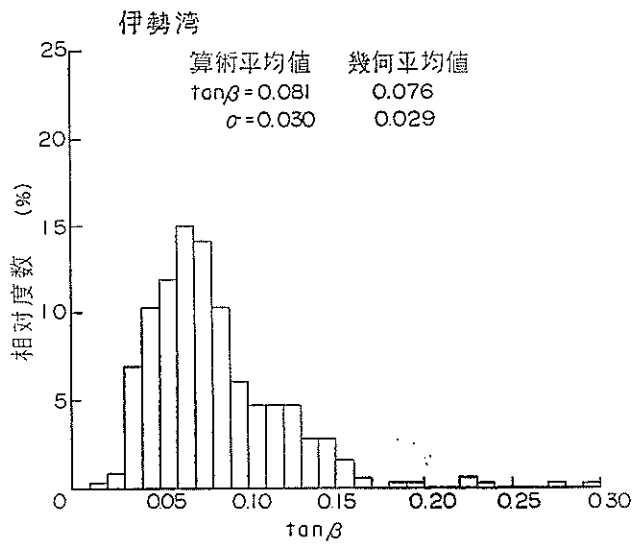


図 5・12 地域別, $\tan\beta$ の値のヒストグラム

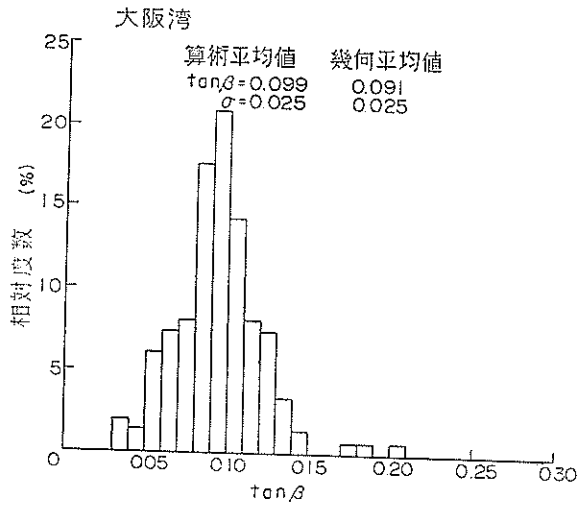


図 5・13 地域別, $\tan \beta$ の値のヒストグラム

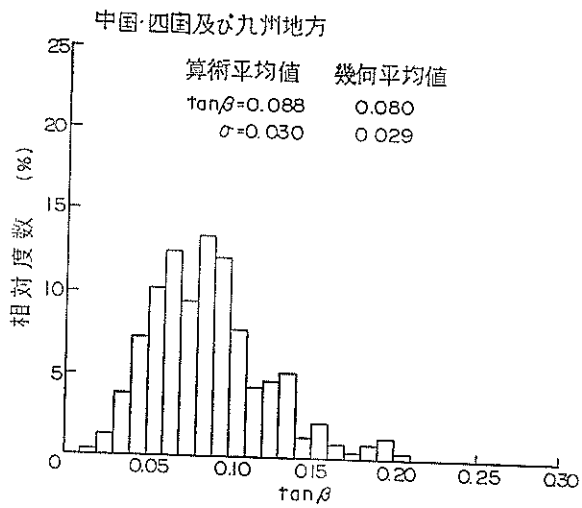


図 5・14 地域別, $\tan \beta$ の値のヒストグラム

表 3・1 $\tan \beta$ の代表値と標準偏差

\bar{x} : 算術平均値
G : 幾何平均値

wL の 範囲 地名	50% 以下		50 ~ 70		70 ~ 90		90 ~ 110		110 ~ 130		130 ~ 150		150% 以上		wL 全体の 場合		
	$\tan \beta$ の 代表値	標準偏差	$\tan \beta$ の 代表値	標準偏差	$\tan \beta$ の 代表値	標準偏差	$\tan \beta$ の 代表値	標準偏差	$\tan \beta$ の 代表値	標準偏差	$\tan \beta$ の 代表値	標準偏差	$\tan \beta$ の 代表値	標準偏差	$\tan \beta$ の 代表値	標準偏差	
全資料を 一括した 場合	\bar{x}	0.079	0.035	0.079	0.036	0.081	0.033	0.076	0.032	0.082	0.032	0.096	0.031	0.098	0.040	0.080	0.034
	G	0.072	0.035	0.072	0.038	0.074	0.034	0.069	0.035	0.075	0.032	0.091	0.032	0.090	0.040	0.073	0.033
北海道及 び東北地 方	\bar{x}	0.105	0.050	0.094	0.037	0.099	0.029	0.101	0.027	0.097	0.013	0.123	0.025	0.107	0.044	0.101	0.032
	G	0.093	0.051	0.086	0.037	0.096	0.028	0.095	0.034	0.096	0.016	0.120	0.025	0.100	0.045	0.095	0.034
北陸地方	\bar{x}	0.079	0.034	0.076	0.031	0.085	0.037	0.082	0.032	0.093	0.035	0.084	0.023	0.078	0.032	0.081	0.032
	G	0.073	0.033	0.070	0.029	0.079	0.034	0.077	0.032	0.089	0.030	0.082	0.023	0.072	0.031	0.075	0.030
東京湾	\bar{x}	0.071	0.032	0.067	0.033	0.065	0.027	0.065	0.033	0.074	0.040					0.067	0.033
	G	0.064	0.032	0.060	0.034	0.060	0.024	0.057	0.034	0.063	0.041					0.060	0.033
伊勢湾	\bar{x}	0.086	0.035	0.078	0.041	0.084	0.038	0.076	0.030	0.080	0.005					0.081	0.030
	G	0.078	0.034	0.070	0.041	0.083	0.038	0.070	0.030	0.080	0.005					0.076	0.029
大阪湾	\bar{x}	0.090	0.033	0.104	0.025	0.116	0.020	0.096	0.029	0.081	0.019					0.099	0.025
	G	0.083	0.034	0.101	0.024	0.095	0.020	0.091	0.030	0.078	0.019					0.091	0.025
中国, 四 国及び九 州地方	\bar{x}	0.081	0.036	0.097	0.041	0.091	0.032	0.092	0.031	0.082	0.030					0.088	0.030
	G	0.073	0.036	0.089	0.041	0.085	0.032	0.087	0.031	0.074	0.026					0.080	0.029

相対度数の分布から代表値を求める方法としては、算術平均、幾何平均、モード(並み数)、およびメデイアン(中位数)がある。この中から標準偏差(σ)が最小となる方法をとるべきであるが、これまでに提案されている実験式と比較する関係などから、文献例¹⁾にならつて算術平均と幾何平均によつて計算した。このときの資料の分割および液性限界の範囲は、前記の通り4種類について行なつたものである。その $\tan \beta$ の代表値と標準偏差(σ)を表3・1に示す。この表からわかるように、算術平均と幾何平均値の標準偏差には、ほとんど差異はなく、何れを採用してもよいと思われるので、文献通り²⁾幾何平均によつて求められた $\tan \beta$ の値を採用した。ここに $\tan \beta$ の値を表4・1に示す。ただし、この値は、液性限界の範囲に関係なく、全資料および、地域別についてのものである。

表 4・1

	資 料	$\tan \beta$
1	全資料	0.073
2	北海道および東北地方	0.095
3	北陸地方	0.075
4	東京湾	0.060
5	伊勢湾	0.076
6	大阪湾	0.091
7	中国・四国および九州地方	0.080

VI 実験式の精度

一点法により求める液性限界の精度を高めるためには、標準法による液性限界のときの落下回数、すなわち、25

回付近に試料を調整する方がよいことは液性限界の性格上明らかである。この落下回数(N)の違いによつて、標準法の試験値(w_{LS})に対する一点法の試験値(w_{LO})の誤差率(e_r)がどのように変化するか検討してみた。この誤差率は(4)式によつて求めた。

$$\text{誤差率 } e_r = \frac{(w_{LS}) - (w_{LO})}{(w_{LS})} \times 100 \dots\dots (4)$$

誤差率(e_r)は落下回数(N)の範囲を、7以下8~12、13~17、18~22、23~27、28~32、33~37、38~42、43~47、48~52、53~57、58~62の12グループに分け、おのおののグループの中から5個の資料を抽出して求めた。これを全資料および、地域別にプロットしたものを図6・1~6・7に示す。この図によれば、誤差率(e_r)は、落下回数 $N=25$ 付近が最も低く、 N が多くなつても、少なくなつても増加する傾向にあるが、 $N=20\sim30$ の範囲であれば、2%以内、それ以外でも、おおむね5%以内におさまっている。特に全資料のみについてみると、 $N=20\sim50$ の範囲でも誤差率(e_r)は2%以内になつて

いる。液性限界(w_L)の範囲を50%以下、50~120%、および120%以上の3段階に分けて、落下回数(N)と誤差率(e_r)の関係を全資料に一括したものについて示したのが、図6・8である。図のように、液性限界(w_L)50%以下および、120%以上についてみても、落下回数(N)が20~30の範囲では1%以内に入っている。とくに、液性限界(w_L)が50%以下の場合は、1%以内におさまる落下回数(N)の範囲は20~40になつて

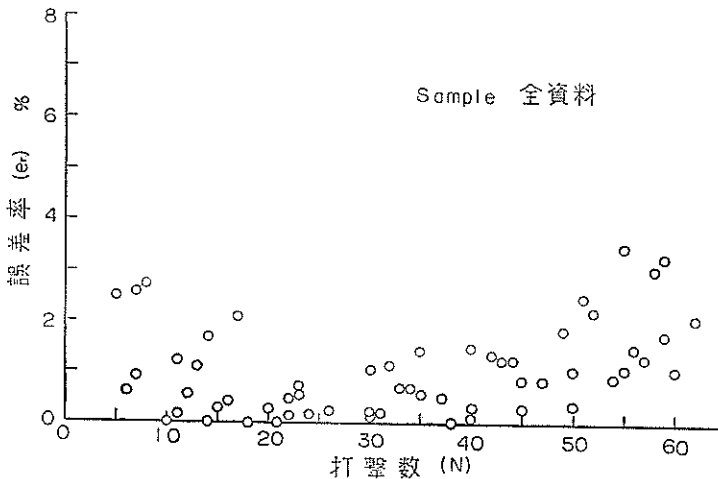


図 6・1 全資料打撃数と誤差率の関係

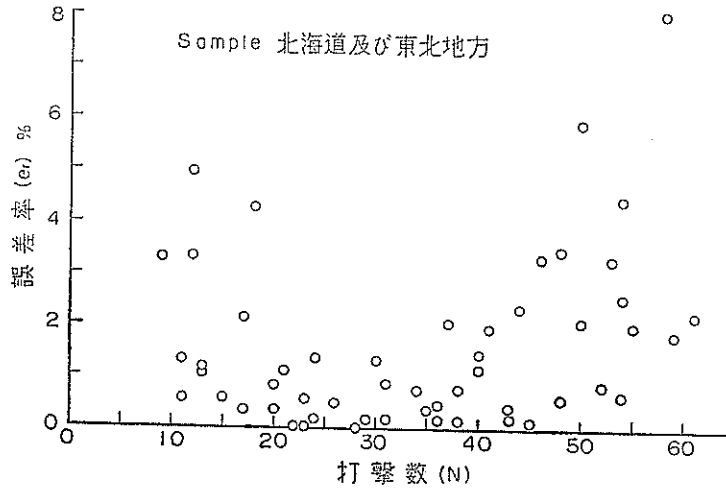


図 6・2 地域別, 打撃数と誤差率の関係

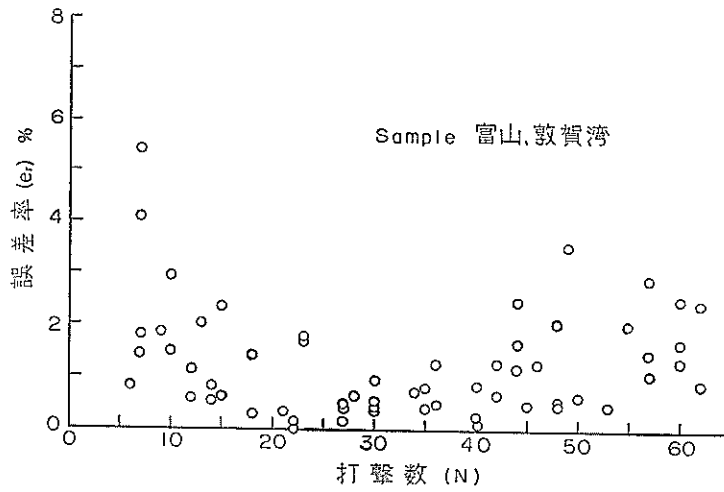


図 6・3 地域別, 打撃数と誤差率の関係

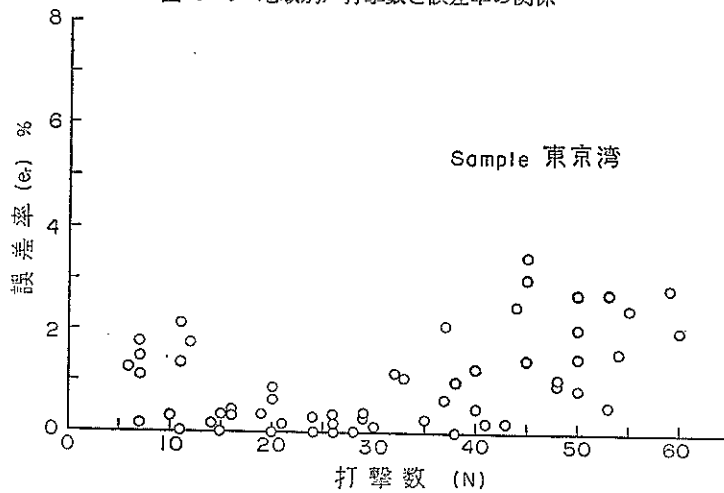


図 6・4 地域別, 打撃数と誤差率の関係

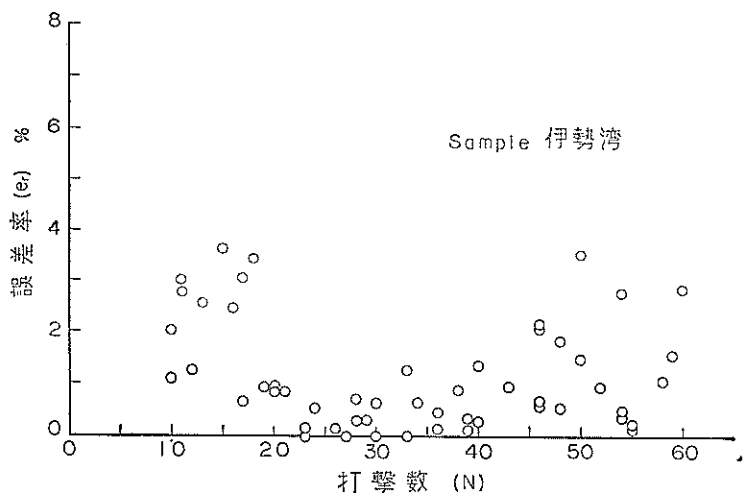


図 6・5 地域別, 打撃数と誤差率の関係

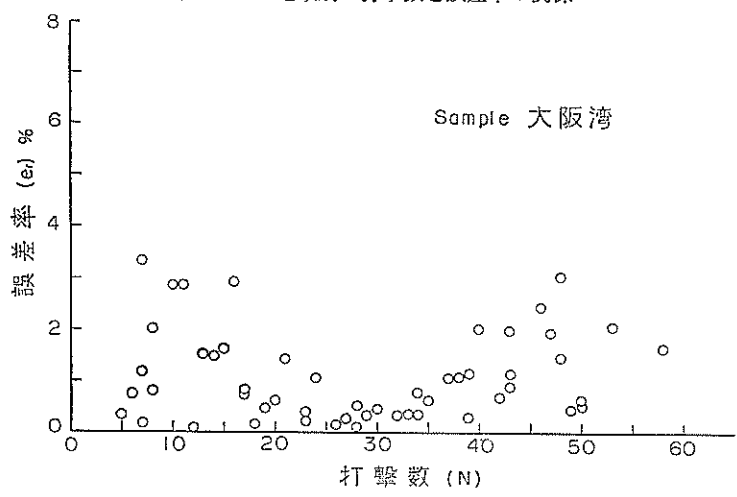


図 6・6 地域別, 打撃数と誤差率の関係

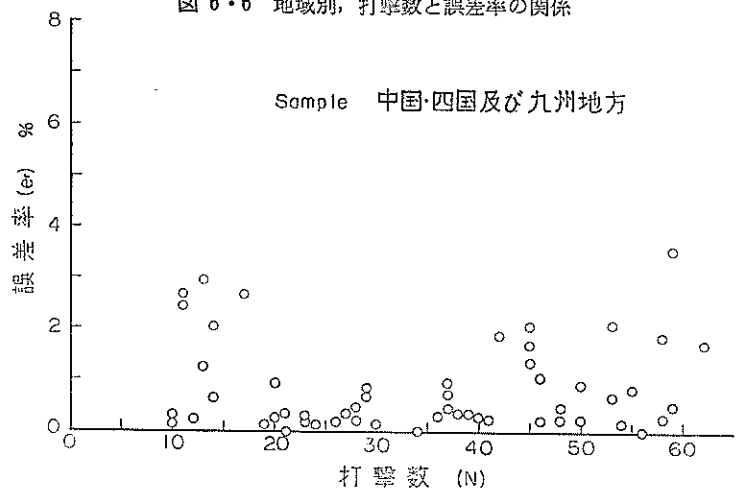


図 6・7 地域別, 打撃数と誤差率の関係

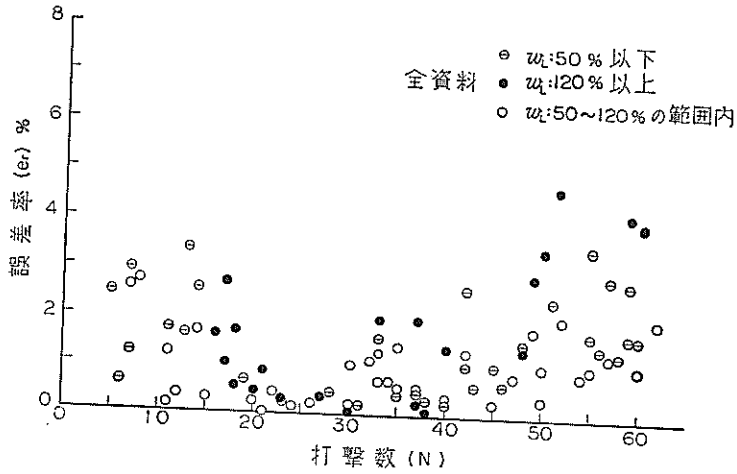


図 6・8 全資料，液性限界範囲別の打撃数と誤差率の関係

統計々算に使用しなかつた土について，標準法と一点法の比較を行なつた。検討した地域のすべてについては，データを得ることができなかつたが，北海道および東

北地方，東京湾，中国・四国および九州地方の3カ所について地域別および全資料の実験式に対する検討を行なつた。これを図 7・1~7・4 に示す。

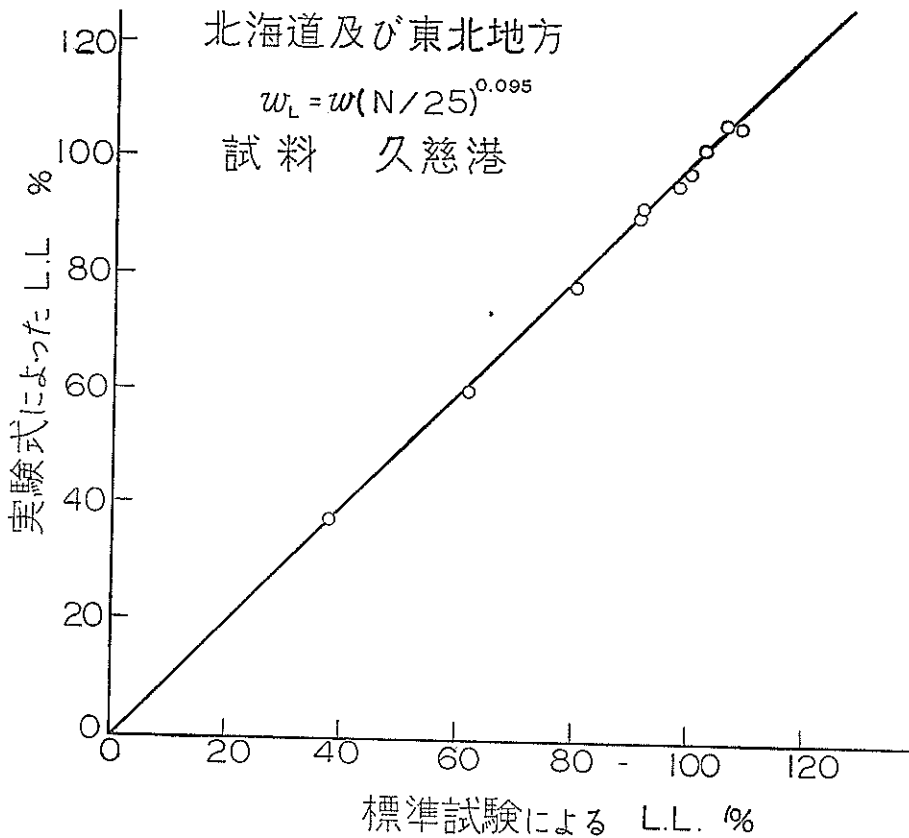


図 7・1 地域別の標準法と一点法の比較

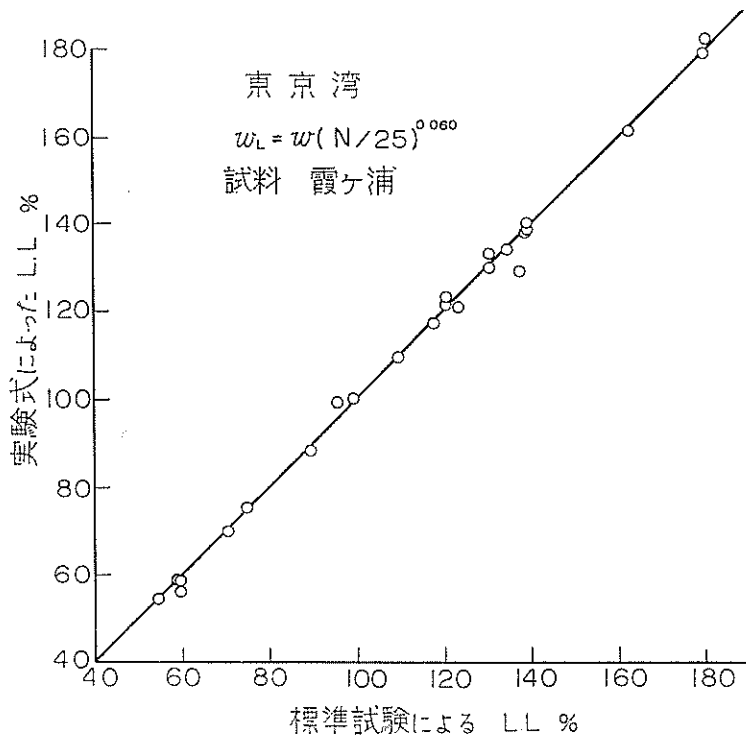


図 7・2 地域別の標準法と一点法の比較

中国・四国及び九州地方

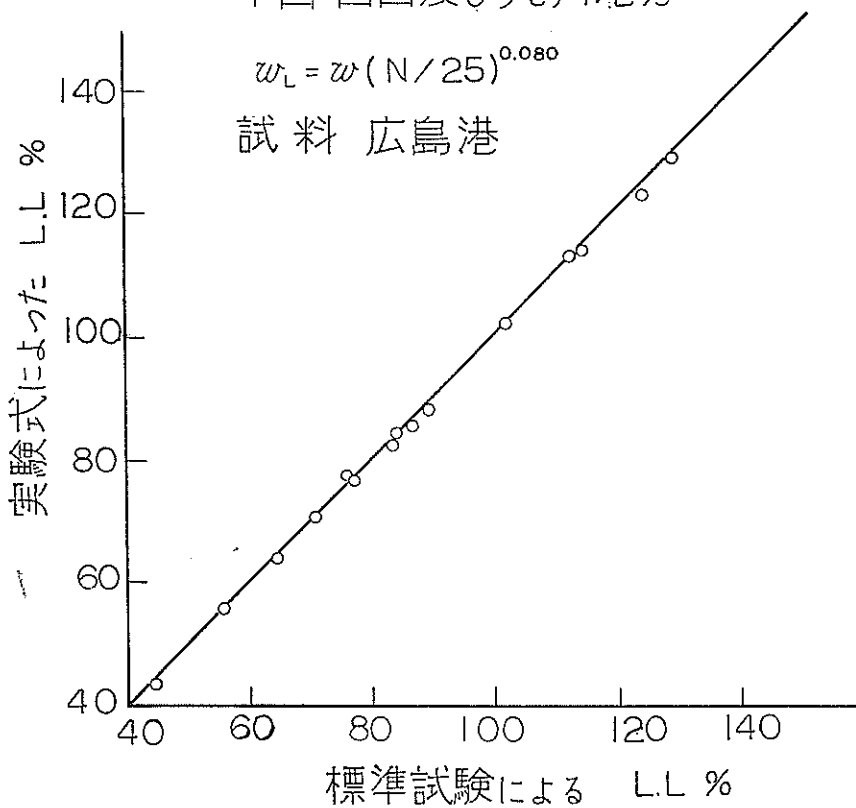


図 7・3 地域別の標準法と一点法の比較

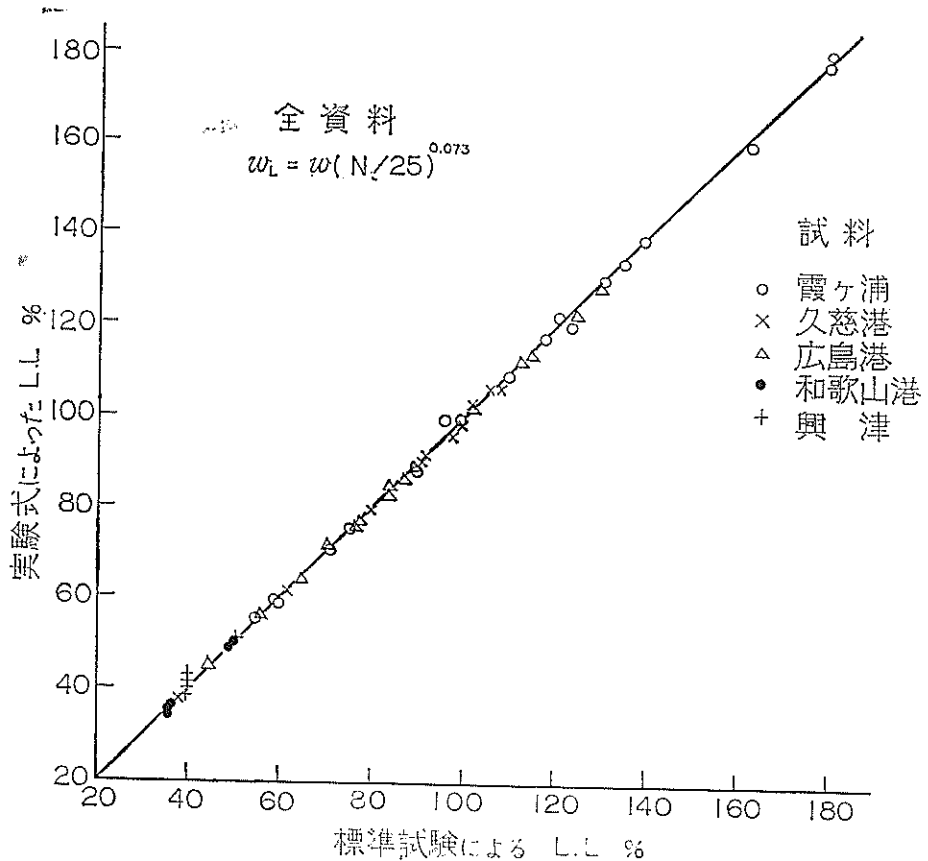


図 7.4 全資料の標準法と一点法の比較

この図中で、東京湾の実験式の検討に使用した資料は淡水湖の霞ヶ浦のものである。塑性図によると、そのほとんどが有機物を含まぬ粘土の分類に入っているが、灼熱減量は 15% 程度で含水量は 150~180% と大きく、有機物の混入量が多いことが想像される。ただし、有機物の量は、正確には測定されていない。

有機質土は、一点法には適用できないと云われているが¹⁾、この霞ヶ浦の場合は、ほかの試料と同様によく一致している。なお、有機質の土についての詳細な検討は、今後の研究に待つこととする。

VII む す び

1. 全資料一括についての実験式を用いても実用上十分な精度を得られると考えられる。
2. 試料の調製は、落下回数 (N) を 20~30 の範囲になるように行えば精度が向上する。
3. 液性限界が 50% 以下および、120% 以上の土に対しても、上記 2) に従えば十分精度のよい結果を得る。

VIII あと が き

現在、統計的な計算が終つたばかりであり、まだ不十分な点も多々あると思われるが、得られた実験式は、十分実用できるものと思われる。

今後とも、データを増して行くことと、有機質については、更に研究を続けて行く予定である。

終りに、この統計計算に必要な資料の蒐集に御協力下さった。各建設局の調査設計事務所および、第 5 港湾建設局の設計室並びに、北海道開発局の港湾建設課に対し深甚なる謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) Papers on Soils 1959 Meetings 1959 ASTM
- (2) 藤本 広：液性限界一点決定法のための実験式「土と基礎」Vol. 12, No. 9, 1964. 9.
- (3) 土質工学会編：土質試験法 1964. 3.

(昭和 41 年 1 月 31 日 受付)