

港湾技研資料

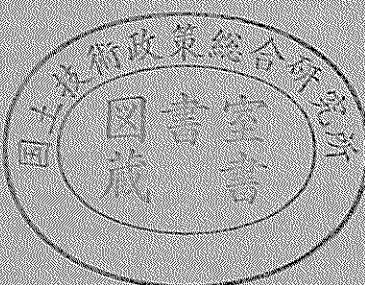
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No.733 June. 1992

土の練り返しが液性・塑性限界試験結果に及ぼす影響

小川 富美子
小林 正樹

運輸省港湾技術研究所



目次

1. まえがき..... 3

2. 試料条件を変えた液性・塑性限界試験..... 4

2.1 使用した海成粘土試料..... 4

2.2 各試料の試験条件..... 6

2.3 試料の準備操作と測定方法..... 8

2.4 データ整理..... 12

3. 各調整試料の液性・塑性限界試験結果と考察..... 13

3.1 一斉試験..... 13

3.2 練り返し試料..... 15

3.3 ベーンせん断試験..... 19

3.4 破碎試料..... 20

3.5 練り返し試料および破碎試料の粒度試験..... 21

3.6 自然試料..... 24

3.7 練り返し時間と試験結果との関係..... 29

4. むすび..... 33

参考文献..... 34

記号一覧表..... 34

Influence of Remolding of Soil on the Liquid and Plastic Limit Test Results

Fumiko OGAWA*

Masaki KOBAYASHI**

Synopsis

In order to investigate the influence of the sample preparation on the liquid and plastic limits of soil, results of consistency tests of marine clays were compared. In the tests, the procedure of sample preparation were widely varied.

It is shown that the liquid limits changes with individual sample preparation methods. In particular, the duration of the remolding of sample has a great influence on test results. It is made clear that the liquid limit decreases and the fluidity index increase with the increase of remolding duration. This tendency was confirmed by vane shear test results: the shear strength decreased with the sample remolding.

The conventional testing method of the soil consistency has no definition of the detailed sample preparation procedures such as the duration of sample remolding. Thus, different test results may be obtained even for the same sample. Clear definition of the procedure of sample preparation is urgently requested for accurate tests.

Key Words : Sensitivity, Consistency Limits, Test Procedure,
Sample Disturbance, Clay, Vane Shear Test

* Senior Research Engineer, Geotechnical Engineering Division

** Chief of Soil Mechanics Laboratory, Geotechnical Engineering Division

土の練り返しが液性・塑性限界試験結果に及ぼす影響

小川 富美子*

小林 正樹**

要 旨

土の液性・塑性限界試験を行うさいの試料条件が、試験結果に影響を及ぼすか否かを調べるため、海成粘土を用い、練り返しによる試料の調整方法を人為的に変化させて試験を行った。

その結果、練り返しによる試料調整の個人差から、液性限界の試験誤差が確認された。また、練り返し時間を段階的に変化させた試料について実施した、一連の液性・塑性限界試験結果から練り返し時間の増大とともに液性限界値は減少し、流動指数が増大することが明らかになった。この傾向は、同時に行ったペーンセン断試験結果から試料の練り返し程度が進むとせん断強さが低下することによって再確認された。

現行の試験方法は、これらの試料条件を考慮されていないので、液性・塑性限界試験の精度向上をはかる目的から問題提起を行う。

キーワード：鋭敏性，コンシステンシー限界，試験方法，試料の乱れ，粘土，ペーンセン断試験

1. まえがき

液性・塑性限界試験は、土の基礎的な性質を知る上で重要である。試験結果は他の土質定数と比較的よい相関性を示し、また塑性図による土の分類も行われることから、一般の土質調査においても需要度の高い試験種目といえる。

試験方法は、日本工業規格JIS A 1205土の液性限界試験方法、同 A 1206土の塑性限界試験方法¹⁾に規定されている。

現行の試験方法において、試験誤差を生じやすい要因を大別すると、

- a) 測定器具の条件
- b) 測定操作の個人誤差
- c) 試料条件

が挙げられる。これらの試験上の問題点について長期にわたる検討が活発に行われてきた。

通常、液性・塑性限界試験に供する試料は、日本工業規格JIS A 1201土の粒度試験及び物理試験のための試料調整方法²⁾の規定に従い試料調整を行った後、蒸留水を

加えながら練り合わされる。

細粒分の含有率が高い粘性土に対し、液性・塑性限界試験を行う場合、前記JIS規定による試料調整を行い、レキ分および粗砂分を除去しても、試料中にはなお団粒・固結状の土粒子が含まれているケースが多い。しかしこの場合でも、試料をある程度混ぜ合わせてパテ状にすれば、測定は可能である。さらにその後、練り返しを続行すると、土粒子の団粒・固結は徐々に解消して試料は次第に軟くなり、かつ均質になる。液性・塑性限界の測定は、この過程の中のどの時点においても行うことが出来る。

現行の試験方法に規定された試料条件は、この点について明確ではなく、練り返しによる試料の準備操作は、それぞれの試験者の判断により行われているのが実状である。そこで今回は、海成粘土を用い、試験の準備操作の段階で試料条件を人為的に変化させて液性・塑性限界試験を実施した。その試験結果の比較から、練り返しによる試料の準備操作の違いが、液性・塑性限界試験結果に影響を及ぼすか否かを確かめ検討を行った。

*土質部 主任研究官

**土質部 土性研究室長

2. 試料条件を変えた液性・塑性限界試験

2.1 使用した海成粘土試料

液性・塑性限界試験に使用した試料は、大阪湾、東京湾、岡山県錦海から採取された海成粘土試料である。これらの試料は、液性・塑性限界の試験条件により混合試料と自然試料に区別して使用している。

混合試料とは、採取地点、深さ、試料番号が異った試料を混合し、均質に調整した試料である。また、自然試料とは、土質調査試料として採取された採取地点、深さ、試料番号が明確な単一の試料である。

表一1および表一2に混合試料と自然試料の土粒子の密度および粒度特性を示す。今回はこれらの試料に対し、それぞれ試料条件を変化させて液性・塑性限界試験を行った。また、一部の試料についてはペーンせん断試験を実施している。

使用した海成粘土試料は、いずれも過去に土質試験を終了後、不攪乱状態のままパラフィンでシールされたもの、あるいはプラスチック容器に乱した状態で密閉し、

実験室内に保管されたものである。したがって、試料の初期状態、すなわち乱れの程度は一様ではない。しかし含水状態は、採取時のそれをほぼ保っていると思われる。以下それぞれの試料について述べる。

(1) 混合試料

表一1に示す6種の混合試料中、大阪湾他混合粘土Bは大阪湾および、東京湾の二つの土質調査区域から採取された試料を混合している。その他の5試料は大阪湾、東京湾、錦海の特定の土質調査区域から採取された試料をそれぞれ混合している。また、川崎港から採取された1試料に限り、再圧密した試料を用いている。

また、今回の6種の混合試料のうち大阪湾沖積粘土Cは、大阪湾の1箇所のボーリング孔から採取され、乱した状態で保管された軟弱な試料である。その他の5試料は、いずれも不攪乱状態で保管された試料である。

今回の試験の目的は、試料条件の違いと液性・塑性限界試験結果との関連を調べることにある。したがって、繰り返し操作による試料の変化や一連の液性・塑性限界試験の結果を比較するうえで、試料の均質性が重要な

表一1 混合試料の土粒子の密度と粒度特性

試料名	大阪湾 洪積粘土A	大阪湾他 混合粘土B	大阪湾 沖積粘土C	錦海 沖積粘土D	東京湾 沖積粘土E	川崎再圧密 粘土F
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.730	2.683	2.698	2.665	2.684	2.696
細礫分 (2~4.75mm) (%)	0	0	0	0	0	0
粗砂分 (0.425~2mm) (%)	0	0	0	0	0	0
細砂分 (0.075~0.425mm) (%)	0.4	0.5	0.2	0.1	1.0	1.6
シルト分 (0.005~0.075mm) (%)	47.1	49.2	49.8	25.9	52.0	43.4
粘土分 (0.005mm以下) (%)	52.5	50.3	50.0	74.0	47.0	55.0
分類 (三角座標)	F	F	F	F	F	F

表一2 自然試料の土粒子の密度と粒度特性

試料名	東扇島 No.1-2	東扇島 No.1-8	東京空 港1-13	錦海 651-3	錦海 651-4	錦海 651-7	錦海 651-12	錦海 651-15	関空 SCP-12	関空 SCP-13	関空 ALD-5	関空 ALD-10
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.690	2.735	2.715	2.672	2.666	2.651	2.637	2.649	2.697	2.688	2.662	2.659
細礫分 (2~4.75mm) (%)	0.1	0	0	0	0	0.1	0	0	0.3	0.2	0	0
粗砂分 (0.425~2mm) (%)	0.6	0	1.4	0.2	0.1	0	0	0.1	0.1	0.4	0	0
細砂分 (0.075~0.425mm) (%)	6.7	1.6	3.7	0.2	0.2	0.1	0.1	1.4	1.2	3.5	0.4	0.5
シルト分 (0.005~0.075mm) (%)	50.5	40.9	35.3	50.1	43.7	34.3	25.9	53.3	46.7	47.6	44.1	45.5
粘土分 (0.005mm以下) (%)	42.1	57.5	59.5	49.5	56.0	65.5	74.0	45.2	51.7	48.3	55.5	54.0
分類 (三角座標)	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F

る。このことから、混合試料を作製するさいはまず均質な試料を選択した後、沖積土と洪積土は区別して混合した。また粒度特性が近似し、試料の初期状態すなわち硬さ、乱れの度合なども、ほぼ同程度のものを組み合わせて混合している。

不攪乱試料を混合するさいには、まずそれぞれの試料を深さ方向にへらで四分し、四分した試料に対しさらに

四分法を繰り返しながら最後に1~2 cm³大のかたまりとした後均質に混ぜ合わせた。乱した試料も、同様に四分法を繰り返し一様に調整した。作製した各混合試料の含水比 w は、大阪湾洪積粘土Aが約50%、その他の5試料は、約90~95%であった。図-1a、図-1bに作製した混合試料の粒径加積曲線を示す。

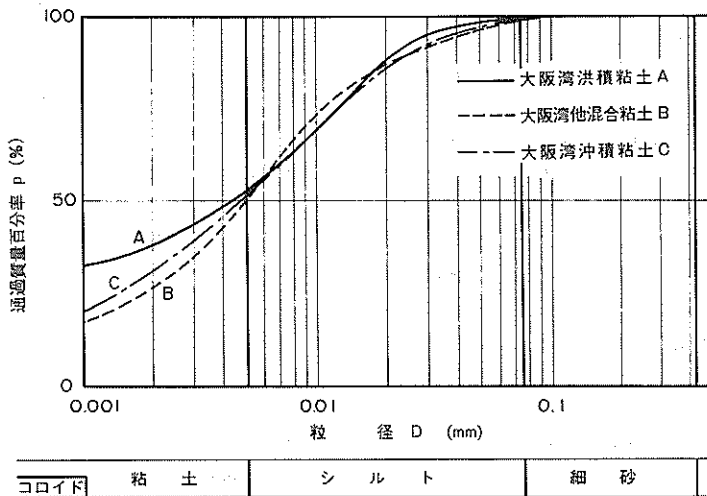


図-1a 混合試料の粒径加積曲線

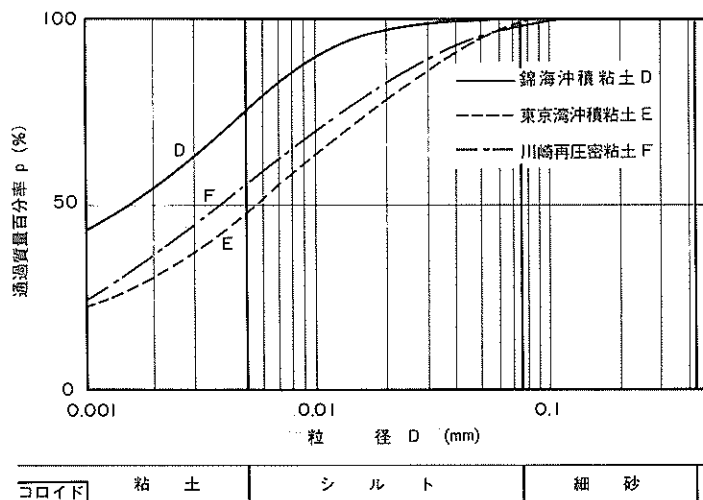


図-1b 混合試料の粒径加積曲線

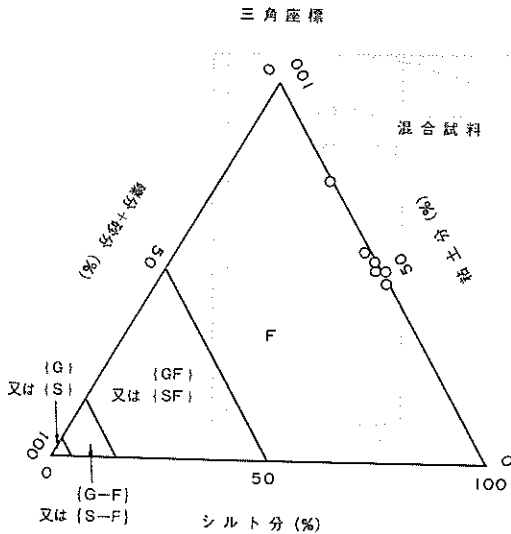
(2) 自然試料

今回使用した12の自然試料に対しては、混合試料のように前もって試料の調整を行っていない。これらの試料は、すでに定常業務として液性・塑性限界試験を終了し、プラスチック容器に保管された土質調査試料の中から、無作為に12試料を選び異った条件の追加試験を行ったものである。試料は各条件の試験を行うさいに逐次取り出して使用している。そのため厳密には、試験結果を比較するうえで試料の均質性や乱れの程度が一様ではなく、やや問題が残る。

1で述べたように液性・塑性限界試験を行う場合、日本工業規格JIS A 1201土の粒度試験及び物理試験のための試料調整方法に従った試料調整を行うことが規定されている。今回は、大阪湾洪積粘土Aおよび、大阪湾他混合粘土Bの2試料については、この試料調整を行っていない。これは、前もって行った粒度試験の結果から、425 μmふるいに残留するレキ分、粗砂分の含有率が0%であることを確認しているためである。その他の試料に対しては、規定通り試料調整を行っている。

また1回の液性限界試験に用いる試料の湿潤土質量は150 gとした。この湿潤土質量とは、試料の混合・調整を終了した時点における含水状態の質量である。

混合試料と自然試料の三角座標分類図を図一2、図一3に示す。



図一2 混合試料の三角座標

2.2 各試料の試験条件

(1) 混合試料

混合試料に対しては、一斉試験を実施したり、試験条件を人為的に変化させて、それぞれ液性・塑性限界試験および、一部にペーンせん断試験を行っている。試験条件は次の5種類であり、使用した試料名とともにその概略を述べる。

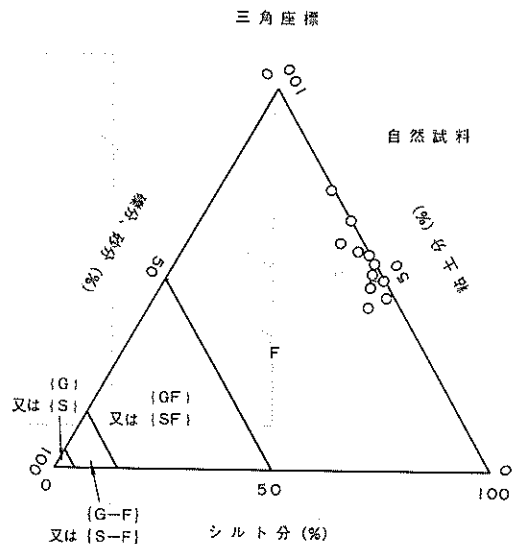
a) 大阪湾洪積粘土A

表一3に試験条件を示す。試験者a, b, c~wの23人がおのおのの判断により試料の準備操作を行い液性限界の測定を行う。次に、測定を終了した23の試料 ($R_a \sim R_w$) を1括して混ぜ合わせ ($R_a \sim R_w$) 特定の試験者が液性限界を測定する。その他、特定の試験者が試料を1時間 (R_{60}) および、3時間 (R_{180}) 繰り返しを行い、液性・塑性限界の測定を行う。

b) 大阪湾他混合粘土B

表一4に試験条件を示す。5人の試験者 (a, b, c, d, e) が各々の判断により、試料の準備操作のみを行う。準備された繰り返し試料5 (R_a, R_b, R_c, R_d, R_e) に対し、特定の試験者が液性・塑性限界を測定する。

次に、測定を終了した5試料に対し、特定の試験者がその判断により再びそれぞれ繰り返しを行い (R_a, R_b, R_c, R_d, R_e)、液性・塑性限界を測定する。その他、繰り返し時間を0 (R_0) および、3時間 (R_{180}) とした試料について、液性・塑性限界を測定する。



図一3 自然試料の三角座標

表-3 混合試料の試験条件 (大阪湾 洪積粘土A)

試料名	試料数	練り返し時間 (min)	試 験 者					
			練り返し	(人)	液性限界		塑性限界	
					測 定	(人)	測 定	(人)
$R_a \sim R_w$	23	計測なし	a, b, c~w	23	a, b, c~w	23	-	-
$R_a \sim R_e'$	1	上記一括	a, b, c~w	23	特 定	1	特 定	1
R_{60}	1	60	特 定	1	特 定	1	特 定	1
R_{180}	1	180	特 定	1	特 定	1	特 定	1

表-4 混合試料の試験条件 (大阪湾他 混合粘土B)

試料名	練り返し時間 (min)	試 験 者		
		練り返し	測 定	
			液性限界	塑性限界
R_a	計測なし	a	特 定	特 定
R_b	〃	b	〃	〃
R_c	〃	c	〃	〃
R_d	〃	d	〃	〃
R_e	〃	e	〃	〃
R_a'	計測なし	特 定	特 定	特 定
R_b'	〃	〃	〃	〃
R_c'	〃	〃	〃	〃
R_d'	〃	〃	〃	〃
R_e'	〃	〃	〃	〃
R_0	0	特 定	特 定	特 定
R_{180}	180	〃	〃	〃

表-5 混合試料の試験条件 (大阪湾 沖積粘土C)

試料名	練り返し時間 (min)	試 験 者		
		練り返し	液性限界	塑性限界
R_0	0	全試料	全試料	全試料
R_{20}	20	特 定	特 定	特 定
R_{40}	40			
R_{60}	60			
R_{120}	120			
R_{180}	180			
R_{240}	240			

表-6 混合試料の試験条件 (錦海 沖積粘土D)

試料名	練り返し時間 (min)	試 験 者		
		練り返し	液性限界	塑性限界
R_0	0	全試料	全試料	全試料
R_{60}	60	特 定	特 定	特 定
R_{120}	120			
R_{180}	180			
R_{210}	210			
R_{240}	240			
R_{300}	300			
R_{360}	360			

c) - 1 大阪湾沖積粘土C

試験条件を表-5に示す。試料の練り返し時間を0 (R_0), 20分 (R_{20}), 40分 (R_{40}), 1時間 (R_{60}), 2時間 (R_{120}), 3時間 (R_{180}), 4時間 (R_{240}) の7段階とし, それぞれ液性・塑性限界を測定する。練り返し, 測定ともに特定の試験者が行う。

c) - 2 錦海沖積粘土D

試験条件を表-6に示す。試料の練り返し時間を, 0 (R_0), 1時間 (R_{60}), 2時間 (R_{120}), 3時間 (R_{180}), 3時間30分 (R_{210}), 4時間 (R_{240}), 5時間 (R_{300}), 6時間 (R_{360}) の8段階とし, それぞれ液性・塑性限界を測定する。練り返し, 測定ともに特定の試験者が行う。

d) 東京湾沖積粘土E

試験条件を表-7に示す。練り返し時間を0 (R_0), 2時間 (R_{120}), 3時間 (R_{180}) とした2試料のうち, 1試料の最終段階1時間を, 鋼製の乳鉢を用いて土粒子を破碎 (R_{180}) し, それぞれについて液性・塑性限界を測定する。練り返し, 破碎, 測定ともに特定の試験者が行う。

表-7 混合試料の試験条件 (東京湾・沖積粘土E)

試料名	練り返し		試 験 者		
	方法	時間(min)	練り返し	液性限界	塑性限界
R_0		0	全試料 特定	全試料 特定	— 特定 — 特定
R_n	へら	計測なし			
R_{120}	//	120			
R_{180}	//	180			
R_{180}'	へら + 乳鉢	120 + 60			

表-8 混合試料の試験条件 (川崎・再圧密粘土F)

試料名	練り返し 時間 (min)	試 験 数		試 験 者	
		液性限界	ペーン	液性限界	ペーン
R_0	0	1	1	特 定	特 定
R_{180}	180	1	1	//	//

e) 川崎再圧密粘土F

試験条件を表-8に示す。練り返し時間を0 (R_0) および、3時間 (R_{180}) の2段階とし、液性限界試験の落下回数と含水比を測定した時点で、ただちにペーンせん断試験を行う。試験者は試験種目別に特定している。

(2) 自然試料

12の自然試料に対しては一律に、練り返し時間を0 (R_0)、3時間 (R_{180}) として試料の準備操作を行い、それぞれ液性・塑性限界を測定している。なお、今回用いた自然試料は2.1で述べたように、すでに定常業務としての液性・塑性限界試験を終了している。そのさいの試料の準備操作すなわち練り返しは、時間とは無関係に試験者の判断により行っている。この方法で準備、調整した試料を R_n とした。表-9に自然試料の試験条件を示す。

表に示したように、今回の一連の液性・塑性限界試験の中で自然試料に限り、試験条件により試験者および測定器が異っている。

2.3 試料の準備操作と測定方法

液性・塑性限界試験に使用した測定装置、試験用具、および基本的な試験操作は、日本工業規格JIS A 1205土の液性限界試験方法、同JIS A 1206土の塑性限界試験方法、および土質工学会基準 (JSF T141—1990) 土の液性限界・塑性限界試験方法³⁾におおむね従っている。た

だし、今回は試料条件を変化させて試験を行っているの、試料の準備段階における試験操作が規定とは異なっている。すなわち、2試料に対して一斉試験を実施したり、練り返し時間を段階的に変化させた試料、あるいは乳鉢を用いて破碎した試料などについて、液性・塑性限界試験を実施した。また、1試料に対し液性限界試験とペーンせん断試験を同時に行い試験結果を比較した。液性限界・塑性限界試験の手順、操作そのものは比較的単純なので省略し、ここでは測定器具、一斉試験、試料の練り返しなど主な試験方法について述べる。

(1) 測定器具

液性限界試験を行う場合、使用する測定器具の条件により、測定値が変動し、試験誤差を生じることが指摘されている⁴⁾。この試験誤差の要因として、次のことが挙げられている。

- a) 測定器のゴム板の硬さおよび反ばつ弾性
- b) 回転速度
- c) 黄銅皿の傾斜角
- d) 黄銅皿の落下高さ
- e) 溝切りの幅

これらの誤差要因のうち、b) 回転速度、d) 黄銅皿の落下高さ、e) 溝切りの幅などの3項目は、試験者が現行の規定に従いチェック、調整を行えば解消できる。それに対し、a) 測定器のゴム板の硬さおよび反ばつ弾性、c) 黄銅皿の傾斜角については現在明確な規定が無い。したがって、現行の試験方法によって求められた液性限界値は、それらの測定器の条件に起因する試験誤差を含んだ値であると云える。

以上のことから、同一試料を用いて一連の液性限界試験を実施し、試験結果を比較する場合、測定器具の条件の相違から生じる試験誤差の要因を極力排除して試験を行う必要がある。このことを考慮して、今回は測定器具を次のように用いている。

一斉試験、および一連の液性限界試験に使用した6台の測定器は、電動式の回転装置とカウンターを取付けた。また回転軸とハンドルの連結は鋼製の鎖を用い、ゴムバンドの弛緩による回転速度の変化を防止している。各測定器の回転速度、黄銅皿の落下高さは、十分にチェック、調整を行いJISの規格通りであることを確認している。また、溝切りの幅もチェックの上、規格に適ったもの12~3本を選択して使用した。ただし、測定器のゴム板の硬さ、反ばつ弾性、および黄銅皿の傾斜角については測定を行っていないため、この影響については明確になっていない。

しかし、今回使用した液性限界の測定装置および測定

表-9 自然試料の試験条件

試料名	繰返し時間 (min)	試験者		測定器 No.	試験者 塑性限界	
		繰返し	液性限界			
東扇島 No.1-2	R_0	0	b	b	6	b
	R_n	計測なし	a	a	7	b
	R_{180}	180	b	b	6	b
東扇島 No.1-8	R_n	計測なし	a	a	7	b
	R_{180}	180	b	b	6	b
東京空港 No.1-13	R_0	0	b	b	6	b
	R_n	計測なし	a	a	7	b
	R_{180}	180	b	b	6	b
錦海 No.651-3	R_n	計測なし	a	a	7	b
	R_{180}	180	b	b	6	b
錦海 No.651-4	R_n	計測なし	a	a	7	b
	R_{180}	180	b	b	6	b
錦海 No.651-7	R_0	0	b	b	6	b
	R_n	計測なし	a	a	7	b
	R_{180}	180	b	b	6	b
錦海 No.651-12	R_0	0	b	b	6	b
	R_n	計測なし	a	a	7	b
	R_{180}	180	b	b	6	b
錦海 No.651-15	R_0	0	b	b	6	b
	R_n	計測なし	a	a	7	b
	R_{180}	180	b	b	6	b
関西空港 SCP-12	R_n	計測なし	a	a	7	b
	R_{180}	180	b	b	6	b
関西空港 SCP-13	R_0	0	b	b	6	b
	R_n	計測なし	a	a	7	b
	R_{180}	180	b	b	6	b
関西空港 ALD-5	R_0	0	b	b	6	b
	R_n	計測なし	a	a	7	b
	R_{180}	180	b	b	6	b
関西空港 ALD-10	R_0	0	b	b	6	b
	R_n	計測なし	a	a	7	b
	R_{180}	180	b	b	6	b

器具は、特定の土質試験機メーカーから、同時に購入した同タイプの製品である。そのため、測定器のゴム板も同質のものを使用している。また、過去の使用回数は1

～2回程度で摩滅や疲労による変化が認められない。以上のことから、今回使用した測定器具の条件はほぼ同様であると考えられ、測定器の条件による試験誤差は問題

になる程大きなものではないと判断される。

また、混合試料を用いた一連の試験においては、測定操作の個人誤差を考慮して、試験者を特定している。その場合でも、使用する測定器および溝切りは念のため特定の一組を用いて測定を行っている。ただし、自然試料の液性限界の測定は工程上の都合から、試験条件により試験者および測定器が異なった。

表一10および図一4は、均質に調整された海成粘土を用いて、2人の試験者a, bがそれぞれ2台の測定器No. 6, No. 7と溝切りを組み合わせて使用し、測定した液性限界の試験結果である。平均液性限界値に対し、±0.5%程度の誤差を生じているがこの数値は、試験結果の比較に支障をきたす程大きなものではないと考えられる。

(2) 一斉試験

表一3の大阪湾洪積粘土Aを用いた液性限界一斉試験

表一10 測定器および、測定者による液性限界試験結果の比較

測定器No.	測定者	
	a	b
6	84.1	83.2
7	83.3	84.5

の試験者23人は、JISおよび土質工学会基準、土質試験実習書⁵⁾に示された試験方法を参照し、各々の判断に基づいて試料の準備操作と、液性限界の測定を連続して行っている。ただし、今回は所要時間の関係から、試験者1人当りの落下回数と含水比の測定点を、止むを得ず原則として3点とした。

このときの、測定器、溝切りはそれぞれ1組を特定して使用している。また表一4の大阪湾他混合粘土Bを用いた一斉試験は、試験者5人が前記試料と同様、各自の判断に基づいて、試料の準備操作のみを行っている。

(3) 試料の練り返し操作

一連の液性・塑性限界試験を行った練り返し試料の条件は、次の二つに大別できる。

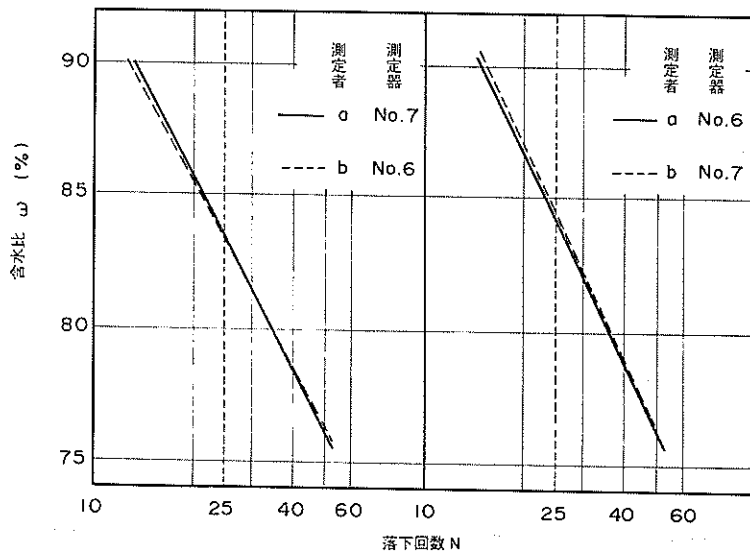
a) 試料の練り返し時間をあらかじめ設定し、それに従って準備操作を行う方法

b) 試料の練り返しをJISおよび土質工学会基準に規定された試料条件すなわち「パテ状になるまで十分に練り合わせる」「十分に練り合わせる」に従った方法

今回は、b)の方法による練り返し時間を、仮に任意時間と称することにする。

次にそれぞれの練り返し方法について述べる。

a) 試料の練り返しは硝子板上で蒸留水を注ぎながら、鋼製のへらを用いて行った。練り返し操作を開始す



図一4 測定器と測定者による流動曲線の比較

ると同時に、ストップウォッチで経過時間の計測を行っている。

繰り返し時間が30分以上の試験条件の場合には、10分～20分毎にストップウォッチを止めて休憩し、再び繰り返しを開始し、これを繰り返し行った。これは、繰り返し操作は人為的な手作業であるため、長時間の続行は困難であり、また疲労により効果が低下するためである。今回の一連の試験においては、試験結果を比較するうえで繰り返しの時間効果は一定であることが望ましい。このことから、繰り返し時間が4～6時間の試料の場合には、準備操作に止むを得ず2～3日を要したケースもある。この間、試料は乾燥を防ぐためにビーカーをかぶせて放置したがこの影響については、今回は無視し解明していない。

今回の試験条件で示す繰り返し時間とは、試料の初期状態すなわち、乱れの程度とは無関係にへらを用いて人為的に行った繰り返し操作そのものの時間に限定している。したがって厳密には、 R_{50} の試料状態は各試料により異なっている。

また、繰り返し時間の中には試料を一様に混ぜ合わせたり、硝子板の上に拡散した試料を取り纏めたりする操作も含まれている。したがって、繰り返し操作そのものの所要時間は繰り返し時間の約2分の1である。

b) 通常行われる液性・塑性限界試験試料の準備操作すなわち繰り返しは、時間とは関係なく、試験者の判断により行われている。当研究室において海成の粘性土に対し、液性・塑性限界試験を行う場合、試料の準備操作は次のように行っている。

まず、硝子板上の試料に蒸留水を十分注ぎながらへらを用いてパテ状に練り合わせる。次に425 μm 目盛のふるいを用いてゴムべらで裏ごしし、JISに規定された試料調整を行う。試料調整を行った硝子板上の試料に蒸留水を再び霧吹きで注ぎ、ビーカーをかぶせ乾燥を防ぎながら暫時放置し吸水させる。この放置時間は、他の物理試験の工程との関係から適宜行い、一定していない。次に、吸水し軟くなった試料にさらに蒸留水を注ぎ鋼製のへらを用い、団粒・固結状の土粒子を解きほぐしながら、繰り返しを行う。これは試料中に団粒・固結状の土粒子が含まれていると、液性限界を測定するさいに、黄銅皿中の試料の含水状態が不均質となり測定誤差を生じやすいためである。また、測定を開始した時点において、試料中に団粒・固結状の土粒子が含まれていると、測定操作中に蒸留水を加えたり、混ぜ合わせるにより土粒子は徐々にほぐれて粒度が変化するため流動曲線は図-5のように落下回数 N の減少にともない勾配が異ってくる。

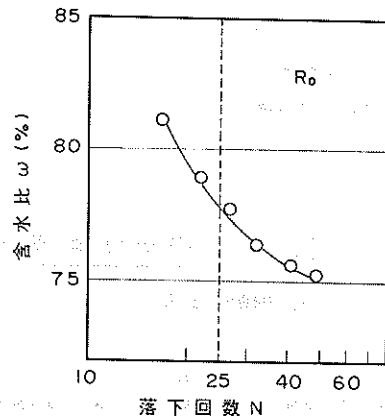


図-5 繰り返し時間0の流動曲線

規定による「十分に練り合わされた」状態とは、繰り返し中に固結した土粒子がほぐれてゆくのを目で観察されず、含水状態が均質に混ぜ合わされた状態とし、繰り返した試料がその状態とみなされた時点で準備操作を打ち切っている。当研究室が通常、海成の沖積粘性土について液性・塑性限界試験を行うさいの繰り返し時間は、経験的にほぼ1時間前後である。

なお、今回の試料条件中、繰り返し時間を設定したa)の試料については、繰り返し前に蒸留水を注ぎ吸水させる操作は行っていない。

(4) ベーンせん断試験

2.2で述べた液性限界試験とベーンせん断試験を同時に行ったさいの試料は、湿潤質量を600 g用いている。この場合の R_{150} の試料は、その他の一連の液性限界試験と同様に、質量150 gの湿潤試料4ケースについて、それぞれ3時間繰り返しを行い、均質に混合して試験に供した。また、繰り返し時間0 (R_0)の試料は、各落下回数に相当する含水状態の試料を、前もって調整し準備した後に測定を行った。この理由は、使用する試料の量が600 gと多量であることから、(3)で述べた蒸留水を加えて混ぜ合わせる操作による、粒度の変化を極力防止するためである。

ベーンせん断試験には、直径7.0 cm、深さ9.6 cmのプラスチック製の円筒容器を用い、測定用ベーンは直径1.5 cm、高さ3 cmのものを使用した。測定は、同一の供試料について行い、液性限界試験の各落下回数における湿潤土質量を測定、記録した後、ただちに、ベーンせん断試験のプラスチック容器に試料を入れてせん断強

さを測定した。最大強さを確認後、あらためて含水比を
求めるための湿潤土質量を測定している。

2.4 データ整理

液性・塑性限界試験のデータ整理は規定通り行った。

一例を図-6に示す。図中の●印は測定誤差とし、流動
曲線はこの測定値を削除して求めているが、この測定点
を削除しても流動曲線は支障なく求められる。

JIS A 1205 JSF T 141	土の液性限界・塑性限界試験 (試験結果)
-------------------------	----------------------

調査件名 錦海沖積粘土 D

試験年月日

試験者

試料番号(深さ)		R ₀		
液性限界試験		塑性限界試験		液性限界 w _L %
落下回数	含水比 w %	含水比 w %		
34	107.04	42.31		111.2
32	107.75	42.20		塑性限界 w _p %
27	110.09	41.97		42.2
24	111.72			塑性指数 I _p
20	114.17			69.0
18	115.58			
試料番号(深さ)		R ₆₀		
液性限界試験		塑性限界試験		液性限界 w _L %
落下回数	含水比 w %	含水比 w %		
46	94.16	42.17		103.8
39	97.61	42.22		塑性限界 w _p %
28	102.02	42.30		42.2
26	102.86			塑性指数 I _p
24	104.32			61.6
20	106.56			
18	108.35			
試料番号(深さ)		R ₁₂₀		
液性限界試験		塑性限界試験		液性限界 w _L %
落下回数	含水比 w %	含水比 w %		
43	94.37	42.21		102.2
36	96.20	42.60		塑性限界 w _p %
33	97.97	43.51		42.8
29	100.18			塑性指数 I _p
25	102.06			59.4
21	104.68			
16	106.43			
試料番号(深さ)		R ₁₈₀		
液性限界試験		塑性限界試験		液性限界 w _L %
落下回数	含水比 w %	含水比 w %		
33	95.12	41.08		99.5
29	97.61	40.94		塑性限界 w _p %
23	100.49	41.66		41.2
20	102.16			塑性指数 I _p
18	104.50			58.3

符記事項

●..... 削除

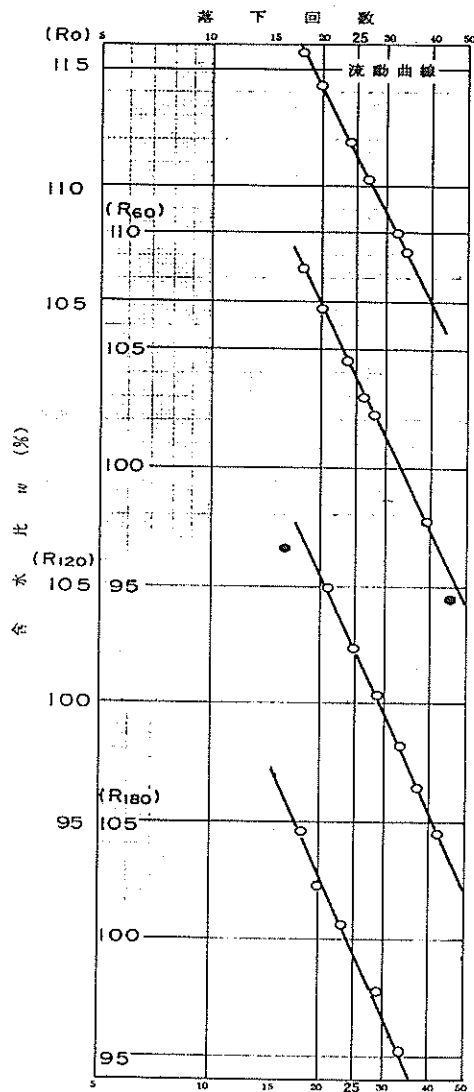


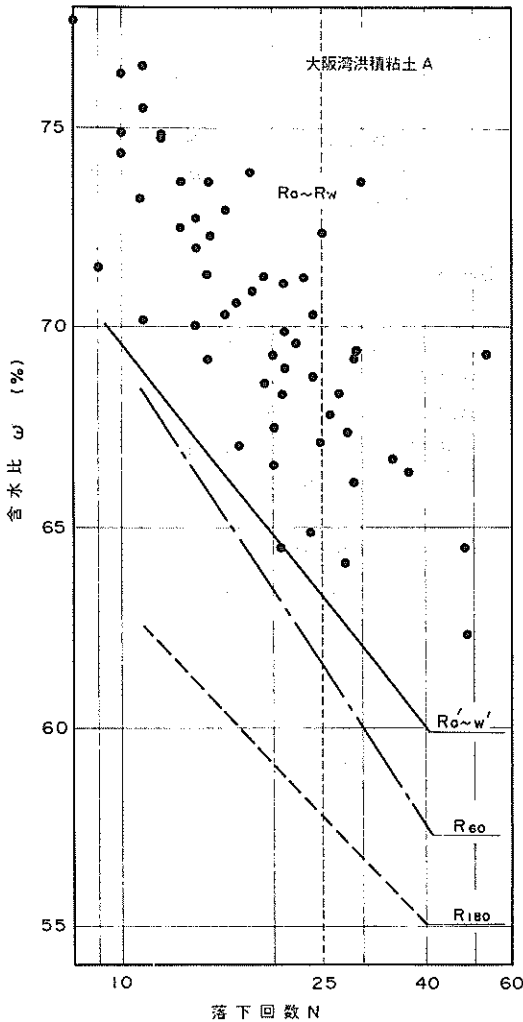
図-6 試験結果図例

3. 各調整試料の液性・塑性限界試験結果と考察

3.1 一斉試験

図一七および表一11に大阪湾洪積粘土Aの液性限界試験結果を示す。図の●印は一斉試験の測定結果で、落下回数Nに対する含水比 w をプロットしたものである。含水比 w は全体的に落下回数Nの減少につれて増大しているが、約6~7%の大きなばらつきを生じている。この図から読み取った液性限界値 $w_{L\alpha} \sim w_{L\omega}$ は、約65~71%であった。

次に、同図に実線で示した流動曲線 $R_{\alpha} \sim R_{\omega}$ は、一斉試験を終了した23の試料 $R_{\alpha} \sim R_{\omega}$ をまとめて一様に混ぜ合



図一七 液性限界の一斉試験結果 (1)

わせ、気乾により含水状態を調整した後、試験者を選定して、再び測定を行った液性限界試験の結果である。このとき、一括した試料は練り返しを行っていない。したがって $R_{\alpha} \sim R_{\omega}$ の試料条件は $R_{\alpha} \sim R_{\omega}$ のそれを平均化した試料といえる。しかし、図に示すように $R_{\alpha} \sim R_{\omega}$ の液性限界値 $w_{L\alpha} \sim w_{L\omega}$ は63.3%と $w_{L\alpha} \sim w_{L\omega}$ に較べ明かに減少している。

図一七および表一11に示すように、一斉試験から求められた液性限界値は、比較的大きなばらつきを見せた。その主な要因としては、1) 試料条件が試験者により異なること、2) 測定操作の個人誤差すなわち、黄銅皿中の試料高さ、空隙量、含水状態の均一性などの違いによると思われる。また、 $R_{\alpha} \sim R_{\omega}$ の試料条件が、一斉試験試料 $R_{\alpha} \sim R_{\omega}$ とほぼ同じと仮定すれば、液性限界の測定値が減少した要因は、試験者による測定操作の個人差と考えられる。しかし、厳密には混ぜ合わせや乾燥のための時間経過による試料の変化もあり得る。

図一七に、一点鎖線で示した R_{60} 、破線で示した R_{180} の流動曲線は、練り返しをそれぞれ1時間、および3時間行った試料について測定した液性限界の試験結果である。 R_{60} の液性限界値 w_{L60} は61.6%、 w_{L180} は57.8%と、試料の練り返し時間を延長することにより、液性限界値は徐々に減少している。大阪湾洪積粘土Aを用いた一連の試験結果から、試料条件と測定操作の個人差に起因すると考えられる、液性限界値 w_L のばらつきは約13%であった。

一方、表一11に示すように、塑性限界値 w_p は試料条件が変わっても、その差は液性限界値の変動に較べ小さい。

次に、大阪湾他混合粘土Bを用いた一斉試験の結果について述べる。この試料に対しては、2,3で述べたように、5人の試験者が前記の試験と同様に、各々の判断に基づいて、液性・塑性限界試験に供する試料の準備操作のみを行い、測定は特定の試験者が行っている。

表一11 一斉試験結果 (大阪湾 洪積粘土A)

試料名	液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_p (%)	塑性指数 I_p	流動指数 I_f
$R_{\alpha} \sim R_{\omega}$	65~71	—	—	—
$R_{\alpha} \sim R_{\omega}'$	63.3	29.0	34.3	15.97
R_{60}	61.6	28.5	33.1	19.35
R_{180}	57.8	29.2	28.6	13.67

図—8 に細い実線で試験者 5 人の繰り返し試料 (R_a, R_b, R_c, R_d, R_e) の流動曲線を示した。また、表—12 に液性限界 w_L 、塑性限界 w_p 、塑性指数 I_p 、流動指数 I_f の試験結果を示す。 $R_a \sim R_e$ 5 試料の液性限界値 w_L は 89.6 ~ 93.7% で 4.1% のばらつきを生じた。また、この流動曲線を見ると、 R_b の勾配の違いが目立ち、表—12 から流動指数は、13.67 ~ 20.86 と液性限界と同様に比較的大きなばらつきを生じていることがわかる。

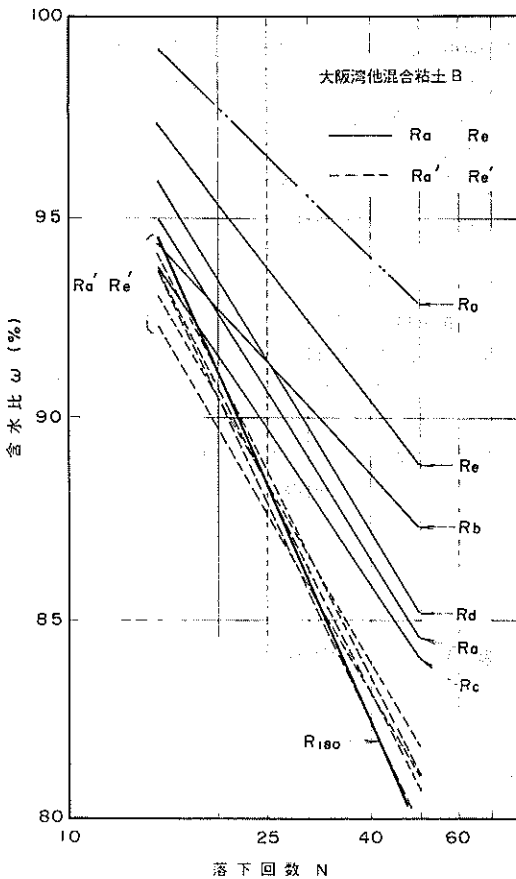
次に、同図に破線で $R_a \sim R_e$ の 5 試料の流動曲線を示す。これは図中に実線で示した 5 人の試験者が繰り返しを行った試料 $R_a \sim R_e$ について液性限界試験を終了した後、それぞれ残った 5 試料に対し特定の試験者がその判断に従って、再び繰り返しを行い液性限界を測定した結果である。1 試料について、繰り返しと液性限界試験を

繰り返し行った流動曲線 2 例を、図—9 に示す。 R_a の液性限界値 $w_{L,e}$ は、繰り返しの試験者が異なることにより 2.6% 減少し、同様に R_e の試料は、5.1% 減少している。また両試料の流動曲線の勾配、すなわち流動指数が R_a, R_e ともに増大していることがこの図から明らかである。

図—8 に実線で示した $R_a \sim R_e$ の流動曲線から、液性限界、流動指数ともに比較的大きなばらつきを見せている。これに対し、繰り返しの試験者を特定した $R_a \sim R_e$ の液性限界値は、87.5 ~ 88.6% と一様に減少しほぼ一致した。同時に流動指数 I_f は 21.68 ~ 26.79 と $R_a \sim R_e$ の値に較べ増大している。液性限界と流動指数の関係を図—10 に示した。

この一連の試験においては、液性・塑性限界試験の測定操作の個人差と、測定器具の違いによる試験誤差を排除する目的から、両者を特定して試験を行っている。このことから、図—8 の $R_a \sim R_e, R_a \sim R_e$ の流動曲線が示す液性限界試験結果の違いは、試験を行う際の試料条件、すなわち試料の準備段階における試験者の判断の違いが、試験結果に影響を及ぼすことを明白に表していると考えられる。

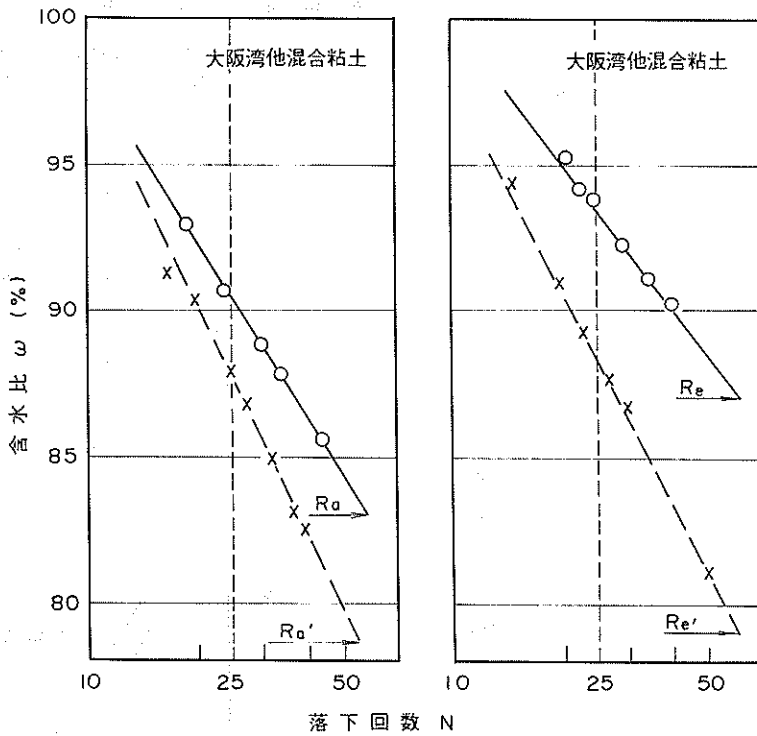
図—8 に一点鎖線で示した R_0 、および太い実線で示した R_{150} は、試料の繰り返しをそれぞれ 0 および 3 時間とした流動曲線である。 R_0 の液性限界値 w_{L0} は、96.4% と最も大きく、 R_{150} のそれは 88.2% と試料の繰り返し時間の増大により、液性限界値は 8.2% 減少している。同時に、流動指数 I_f は、 R_0 が 12.39 と最も小さく、 I_{150} は液性限界値 w_{L150} が $R_a \sim R_e$ とほぼ等しい値であるにもかかわらず



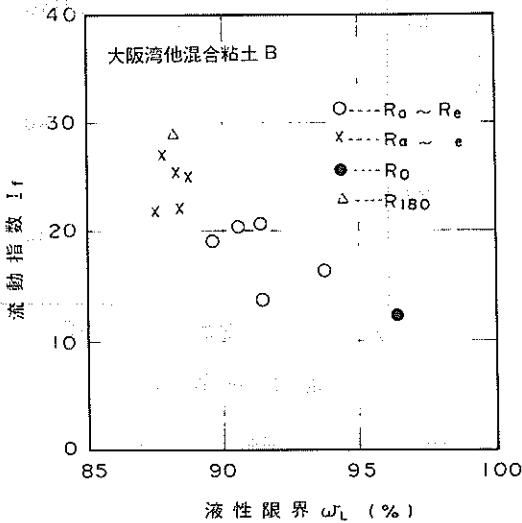
図—8 液性限界の一斉試験結果 (2)

表—12 一斉試験結果 (大阪湾 他混合粘土 B)

試料名	液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_p (%)	塑性指数 I_p	流動指数 I_f
R_a	90.5	42.0	48.5	20.27
R_b	91.4	40.4	51.0	13.67
R_c	89.6	40.7	48.9	19.06
R_d	91.4	41.1	50.3	20.86
R_e	93.7	41.1	52.6	16.58
R_a'	87.9	41.3	46.6	26.79
R_b'	88.2	40.0	48.2	25.14
R_c'	87.5	40.1	47.4	21.72
R_d'	88.4	40.5	47.9	21.68
R_e'	88.6	40.9	47.7	24.95
R_0	96.4	40.3	56.1	12.39
R_{150}	88.2	40.2	48.0	28.72



図—9 一斉試験の流動曲線例



図—10 液性限界と流動指数の関係

ならず、28.72と最も大きい結果となった。

これら一連の試験結果から、一試料の液性限界値 w_L は練り返しの程度により変動し、練り返し時間の増大とともにある程度までは減少する。また、流動指数 I_f は試料の練り返しとともにほぼ増大する傾向にあることが明らかになった。

塑性限界値 w_p は、表—12に示すように、前記の大阪湾沖積粘土Aと同様に顕著な変化は認められない。

3.2 練り返し試料

大阪湾沖積粘土C、錦海沖積粘土Dの試料については、練り返し時間を段階的に変化させて、液性・塑性限界試験を行っている。

図—11は大阪湾沖積粘土Cを用い、練り返し時間を0、20、40、60、120、180、240分の7段階として測定した液性限界試験の流動曲線である。練り返し時間の増大とともに各流動曲線の含水比は次第に減少し、曲線の勾配が増大しているのがこの図から明白である。表—13に試験結果を示す。

表中の R_{40} 、 R_{40} の試験結果は、 R_{40} の試料について液

表-13 練り返し試料の試験結果 (大阪湾沖積粘土C)

試料名	液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_p (%)	塑性指数 I_p	流動指数 I_f
R_0	87.9	37.3	50.6	15.09
R_{20}	86.7	37.7	49.0	19.20
R_{40}	85.9	37.2	48.7	19.45
R_{40}'	83.8	36.3	47.5	23.84
R_{40}''	81.8	36.2	45.6	26.12
R_{60}	84.1	36.5	47.6	21.22
R_{120}	83.2	36.2	47.0	24.15
R_{180}	82.0	35.4	46.6	25.62
R_{240}	82.7	36.3	46.4	25.58

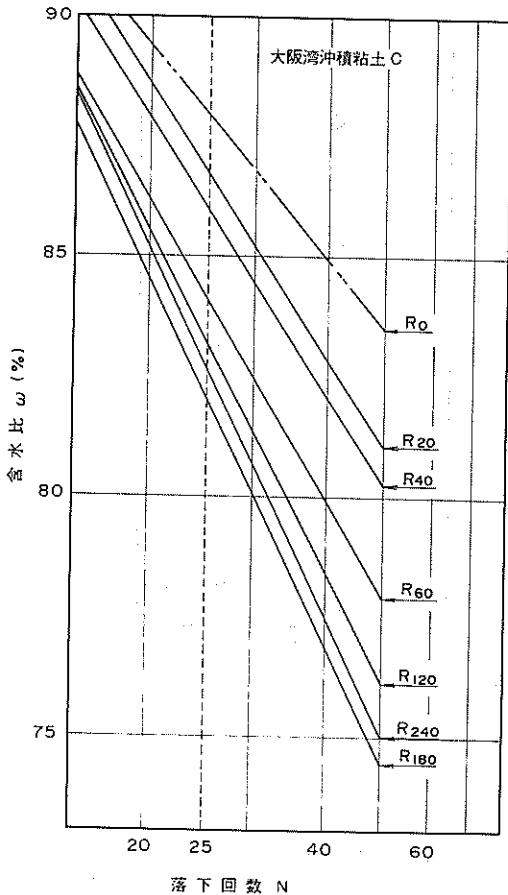


図-11 練り返し試料の流動曲線 (大阪湾)

性限界を測定後、再び練り返しと測定を繰り返し行った結果である。ただし、40分以降の練り返し時間の計測は行ってない。 R_{40} 、 R_{40}' の流動曲線を図-12に示した。

同一の供試料に対し、練り返し時間を延長することにより、液性限界値、塑性限界値、流動指数が変化しているのが、このデータからも明かである。

図-11、表-13から、練り返し時間0の液性限界値 w_{L0} は87.9%と最も大きく、練り返しを2時間行った液性限界値 w_{L120} は83.2%と4.7%減少している。しかし、それ以降は、練り返し3時間の液性限界値 w_{L180} が82.0%と w_{L120} に比べその差は1.2%と小さくなり、さらに練り返し4時間の w_{L240} は逆に0.7%増大している。この試料の最大液性限界値は R_0 の87.9%、最小液性限界値は R_{40}' の81.8%であった。

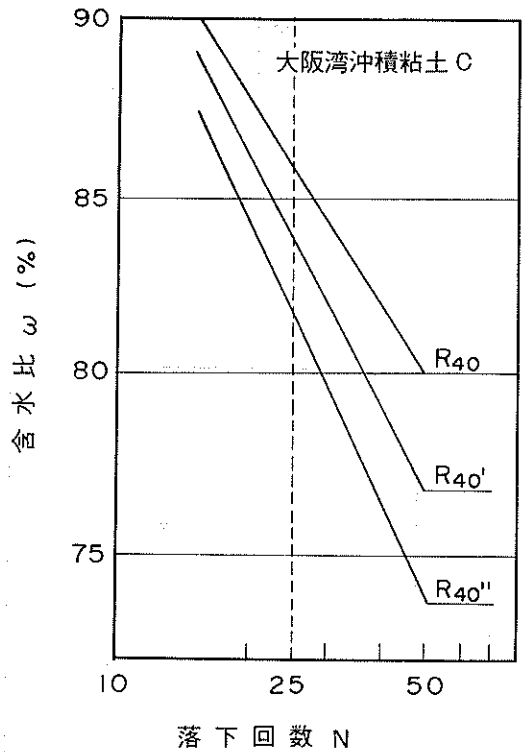
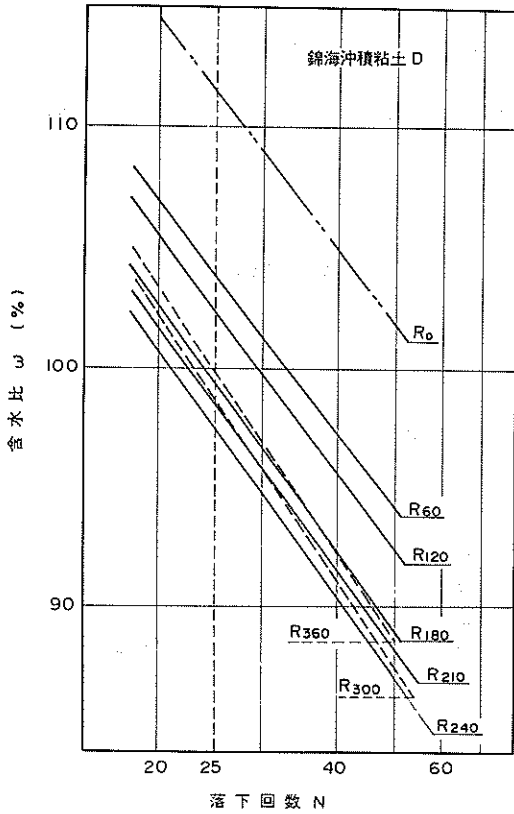


図-12 練り返し試験の流動曲線 (大阪湾)

図-13は、錦海沖積粘土Dを用い、練り返し時間を0、60、120、180、210、240、300、360分の8段階として測定を行

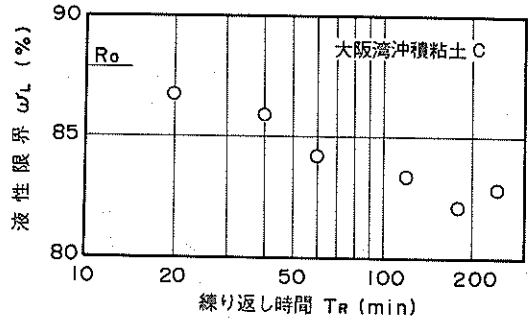


図—13 練り返し試料の流動曲線 (錦海)

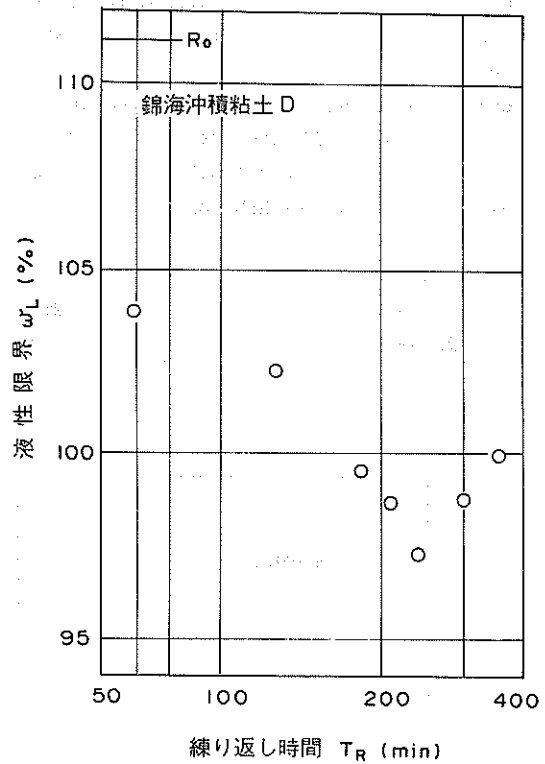
表—14 練り返し試料の試験結果 (錦海 沖積粘土D)

試料名	液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_P (%)	塑性指数 I_p	流動指数 I_f
R_0	111.2	42.2	69.0	31.41
R_{60}	103.8	42.2	61.6	31.93
R_{120}	102.2	42.8	59.4	32.76
R_{180}	99.5	41.2	58.3	34.61
R_{210}	98.5	40.6	57.9	33.76
R_{240}	97.4	39.9	57.5	39.20
R_{300}	98.7	40.2	58.5	36.37
R_{360}	99.9	40.3	59.6	36.91

った液性限界試験の流動曲線である。また、表—14に試験結果を示した。この試料においても大阪湾試料と同様に、2点鎖線で示した R_0 の液性限界値 w_{L0} が111.2%と最も大きく、1時間の練り返しを行った w_{L60} は103.8%



図—14 練り返し時間と液性限界の関係 (大阪湾)



図—15 練り返し時間と液性限界の関係 (錦海)

と w_{L0} に較べ7.4%減少している。その後、練り返し時間が3時間を越えると、その差は1%程度と小さくなり、 w_{L300} は僅かに増大して、前述の大阪湾の試料と同様の傾向を見せている。最大液性限界値は、 R_0 の111.2%、最小液性限界値は R_{240} の97.4%で両者の差は13.8%となり、大阪湾の6.1%に比較すると、その差はかなり大きな値となっている。

図—14、図—15は、大阪湾、錦海それぞれの試料の練り

返し時間 T_R と液性限界値 ω_L の関係を示した図である。これらの試験結果から、液性限界値は試料の繰り返しとともに減少するが、ある限界に達するとそれ以下にはならず、逆に僅かではあるが増大する傾向を示しているのがわかる。

また、図-11の大阪湾試料の流動曲線は、試料の繰り返しとともに、流動指数が増大する傾向を顕著に表しているといえる。表-13でも明らかなように、 R_0 の流動指数 I_{f0} が15.09であるのに対し、 R_{180} のそれは25.62と I_{f0} の約1.7倍の値を示している。しかし、図-13の錦海試料の流動曲線を見ると、繰り返し時間とともにその勾配は僅かに増大しているものの、大阪湾試料に較べるとその差は小さい。図-16に2試料の繰り返し時間と流動指数の関係を示した。

図-17に大阪湾の液性限界値 ω_L と流動指数 I_f の関係図を示す。前述のように錦海試料は流動指数にそれほど大きな変化が認められないが、大阪湾試料においては、液性限界の減少とともに流動指数が増大している傾向が顕著に表れている。

次に図-18に大阪湾、錦海の2試料から求められた塑性限界値 ω_p と繰り返し時間 T_R との関係を示した。表-13および表-14からも明らかなように、塑性限界値も液

性限界値とほぼ同様に試料の繰り返し時間とともに減少した。しかし、最大値、最小値の差は大阪湾沖積粘土Cが2.3%、錦海沖積粘土Dが2.9%と液性限界値の変動に

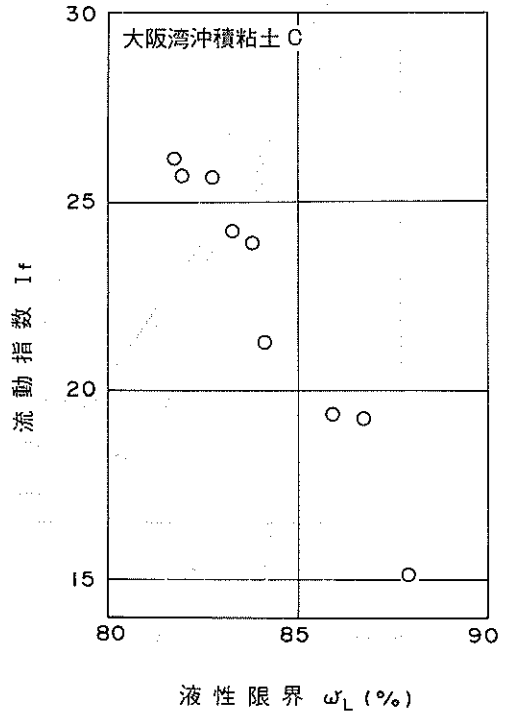


図-17 液性限界と流動指数の関係

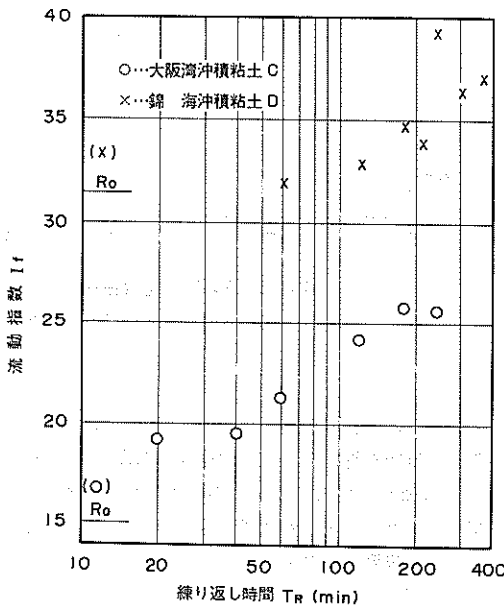


図-16 繰り返し時間と流動指数の関係

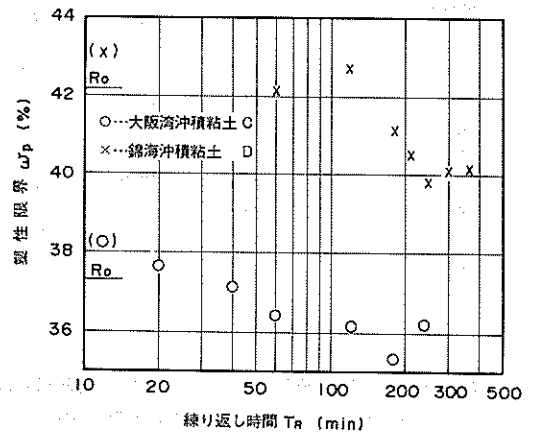
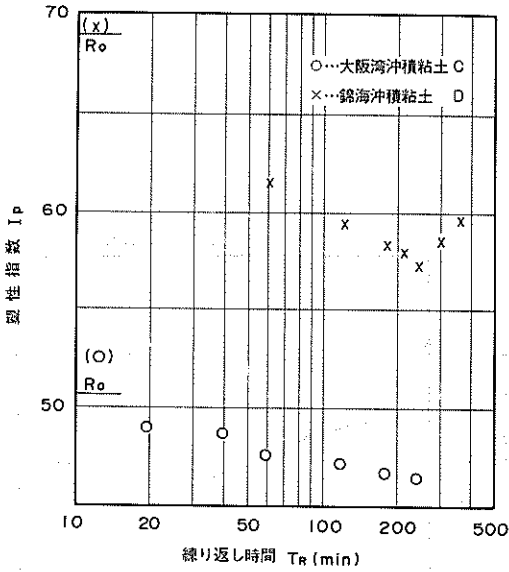


図-18 繰り返し時間と塑性限界の関係

較べれば僅少である。

とくに、横線で示した練り返し時間 R_0 の塑性限界値 w_{p0} が練り返した試料のそれに較べやや小さく求



図一19 練り返し時間と塑性指数の関係

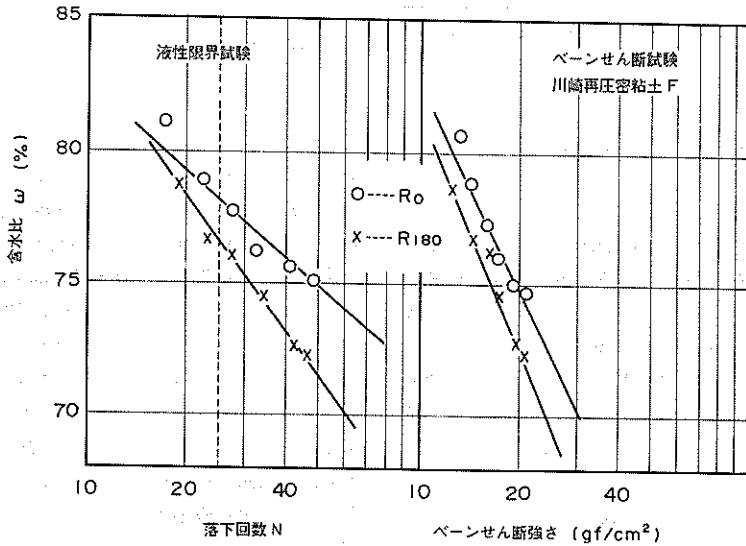
められている。この理由は、塑性限界試験がひも状にする操作を繰り返し行いながら気乾させるため、練り返し操作に近い試料の乱れが進行した結果と考えられる。

図一19は、各練り返し時間 T_R の塑性指数 I_p をプロットしたものである。液性限界、塑性限界の変動ともない当然塑性指数も、練り返し時間とともに減少している。大阪湾沖積粘土Cにおける最大・最小塑性指数 I_p の差は、4.2と比較的小さいが錦海沖積粘土Dの最大・最小値の差は、11.5と大阪湾試料に較べかなり大きな差を生じている。

3.3 ベーンセン断試験

川崎再圧密粘土に対しては、練り返し時間を0, および3時間とし、液性限界試験とベーンセン断試験を同時に行った。

図一20に、液性限界試験とベーンセン断試験の測定結果を示した。両試験とも測定結果にややばらつきがみられる。これは、ベーンセン断試験を行うために1回の測定に使用した試料の質量が600 gと多量であり、混ぜ合わせる操作が困難でやや均質性に欠けたきらいがあることに起因すると考えられる。試験結果を表一15に示した。練り返し時間0, および3時間の液性限界値 w_{L0} , w_{L180} の差は、1.5%とこれまでの試料に比較すると小さい。この理由は、再圧密を行う前に425 μm 目盛のふるいを用いて試料調整を行い、ある程度土粒子が分散している



図一20 ベーンセン断試験と液性限界試験結果

表-15 液性限界および、ペーンせん断試験結果

(川崎 再圧密粘土F)

試料名	液性限界 w_L (%)	流動指数 I_f	含水比 w (%)	せん断強さ (gf/cm^2)
R_0	78.2	11.19	78.2	15
R_{180}	76.7	17.02	76.7	15

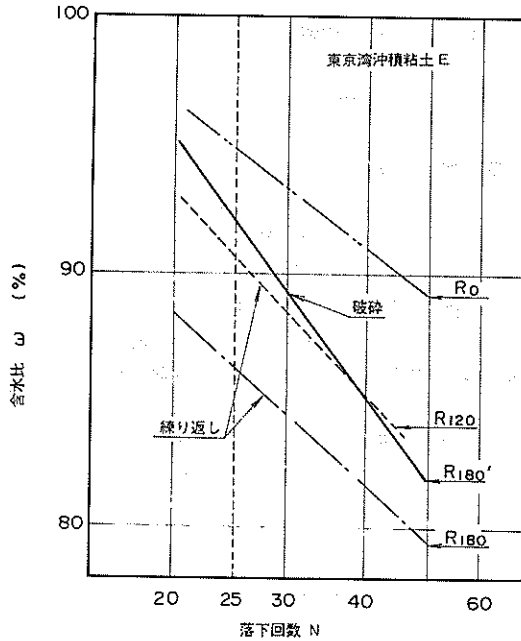


図-21 破碎試料の流動曲線

ことと、載荷期間が短いため自然試料に較べ乱れが生じ易いことから繰り返しが容易で、 R_0 と R_{180} の試料状態にそれほど大きな違いがないと考えられることによる。図-20から、液性限界試験の落下回数25回の含水比に相当するペーンせん断強さは、 R_0 、 R_{180} ともに約15 gf/cm^2 であった。この試験結果からも繰り返し時間により、試料のせん断強さが低下していることが確認された。

3.4 破碎試料

混合試料を用いたこれまでの試験結果から、繰り返し時間とともに液性限界は減少するが、ある限界に達するとそれ以下にはならず、逆にわずかに増大する傾向が認められた。この要因は不明である。しかし、鋼性のへら

表-16 破碎試料の試験結果 (東京湾 沖積粘土E)

試料名	液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_P (%)	塑性指数 I_p	流動指数 I_f
R_0	95.2			18.74
R_n	90.8	42.2	48.6	22.68
R_{120}	90.7			26.57
R_{180}	86.3	40.6	45.7	22.75
R_{180}'	92.1	41.8	50.3	33.84

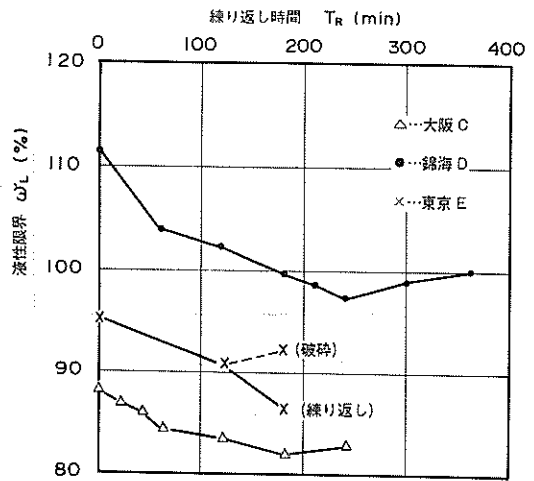


図-22 繰り返し時間と液性限界の関係 (破碎試料)

を用いて試料を長時間繰り返すことによる、土粒子の破碎はおおいに懸念されるところである。そこで東京湾沖積粘土Eに対しては、繰り返し試料と破碎試料について液性・塑性限界試験を行い試験結果を比較した。

図-21に流動曲線を、表-16に試験結果を示す。図、および表の R_{180}' は、繰り返しを2時間行った後、鋼性の乳鉢を用いて1時間破碎した試料である。破碎試料の液性限界値 w_{L180}' は、繰り返し試料の w_{L180} に較べ5.8%大きく求められている。図-22に繰り返し時間 T_R に対する液性限界値 w_L を、大阪湾、錦海試料と併示した。大阪湾、錦海試料の液性限界値が、繰り返し時間3時間、および4時間以降増大する傾向を見せた。図-21、図-22の東京湾試料も、土粒子を人為的に破碎することにより、液性限界値は増大し、へらによる繰り返し試料 R_{180} とは明らかに異なった結果が得られている。

しかし、破碎試料の試験一例では十分とはいえず、また練り返し試料の試験結果も、長時間におよぶ手作業のため、練り返しの時間効果に疑問が残る。これらのことから、大阪湾、錦海2試料の液性限界値が、練り返し時間3時間および4時間で増大した要因が、土粒子の破碎に直接結びつくか否かはなお不明である。

以上、この破碎試料の試験結果から明確な結論は得られていないが、これまでの試験から明かになった、練り返しとともに液性限界値が減少した時間内においては、少なくとも土粒子は破碎していないのではないとも考えられる。

3.5 練り返しおよび破碎試料の粒度試験

次に練り返しや、破碎操作による試料の変化を調べるために行った粒度試験について述べる。

今回は、一連の液性・塑性限界試験に使用した混合試料および自然試料に対し、次の3種の試料条件で比重浮ひょうを用いた粒度試験を実施している。

- (1) 練り返し時間 0 (R_0)
- (2) 練り返し時間 3時間 (R_{180})
- (3) 任意の練り返し時間 (R_n)

ただし試料不足、その他の理由から数試料の R_0 の試験を行っていない。

表—17に混合試料、表—18に自然試料の粒度試験結果を示す。また、図—23、図—24に大阪湾と錦海試料の粒

径加積曲線2例を示した。3種の試料条件中、 R_0 および R_{180} の試料は、425 μm 目盛のふるいを用いて試料調整を行っている。しかし R_n の試料は、試料調整を行っていないので、比較のため425 μm 以上の粒子をのぞき、補正計算を行いその通過質量百分率を用いている。

これらの粒度試験結果の図表から R_0 と R_{180} の粒度を比較すると、東扇島No.3の9.7%を除き、大部分の練り返し3時間の粘土含有量が、練り返し時間0のそれよりも平均5%程度増大している。しかし、全体的に粘土含有量が比較的高い試料の割には、この差はそれ程大きなものとはいえない。また、図—24の錦海試料は、練り返しを行った R_n の粘土含有量が65.5%であるのに対し、練り返しを行わない R_0 のそれが68.3%と、試験結果が逆転している。同様に関西空港ALD—10は R_0 から最も大きな粘土含有量が得られている。このような試験結果の矛盾は、次の理由によると考えられている。

海成粘土に対し、比重浮ひょうを用いた粒度試験を行う場合、試料中に含まれる塩分により土粒子は凝集する。このため、凝集を防止するための希釈による脱塩は不可欠な試験操作である⁹⁾。特に粘土含有量が比較的大きな試料の場合には、数回の脱塩操作が必要となる。したがって今回のように、練り返しの程度がそれぞれ異なった試料は、脱塩のための浸水やガラス棒による攪拌操作を繰り返すことによって次第に土粒子が分散し、 R_0 と R_{180}

表—17 練り返し試料の粒度特性 (混合試料)

試 料 名	粒 度 特 性		
	細砂 (%)	シルト (%)	粘土 (%)
大阪湾 洪積粘土 A	R_0	—	—
	R_n	0.4	47.1
	R_{180}	0.2	42.0
大阪湾他混合粘土 B	R_0	—	—
	R_n	0.5	49.2
	R_{180}	0.3	48.4
大阪湾 沖積粘土 C	R_0	0.3	49.7
	R_n	0.2	49.8
	R_{180}	0.4	43.8
錦 海 沖積粘土 D	R_0	0.5	30.5
	R_n	—	—
	R_{180}	0.1	25.9
東京湾 沖積粘土 E	R_0	—	—
	R_{180}	1.0	52.0
	R_{180}'	1.2	51.3

表-18 練り返し試料の粒度特性 (自然試料)

試料名			粒 度 特 性		
			細砂 (%)	シルト (%)	粘土 (%)
東扇島	No.1-2	R_0	—	—	—
		R_n	6.7	50.9	42.4
		R_{180}	3.2	45.0	51.8
東扇島	No.1-8	R_0	—	—	—
		R_n	1.6	40.9	57.5
		R_{180}	1.1	37.6	61.3
東京空港	No.1-13	R_0	2.4	37.4	60.2
		R_n	3.8	35.8	60.4
		R_{180}	1.0	36.7	62.3
錦海	No.651-T3	R_0	—	—	—
		R_n	0.2	50.2	49.6
		R_{180}	0	39.0	61.0
錦海	No.651-T4	R_0	—	—	—
		R_{180}	0.2	43.7	56.1
		R_{180}	0.2	34.6	65.2
錦海	No.651-T7	R_0	0.1	31.6	68.3
		R_n	0.1	34.3	65.6
		R_{180}	0	28.0	72.0
錦海	No.651-T12	R_0	—	—	—
		R_n	0.1	25.9	74.0
		R_{180}	0	23.8	76.2
錦海	No.651-T15	R_0	1.5	53.7	44.8
		R_n	1.4	53.4	45.2
		R_{180}	0.6	49.4	50.0
関西空港	SCP 12	R_0	0.3	48.9	50.8
		R_n	1.2	46.9	51.9
		R_{180}	0.1	44.1	55.8
関西空港	SCP 13	R_0	—	—	—
		R_n	3.5	47.9	48.6
		R_{180}	0.2	48.8	51.0
関西空港	ALD T5	R_0	1.0	42.2	56.8
		R_n	0.4	44.1	55.5
		R_{180}	0.1	43.1	56.8
関西空港	ALD T10	R_0	0.9	42.3	56.8
		R_n	0.5	45.5	54.0
		R_{180}	0.2	45.8	54.0

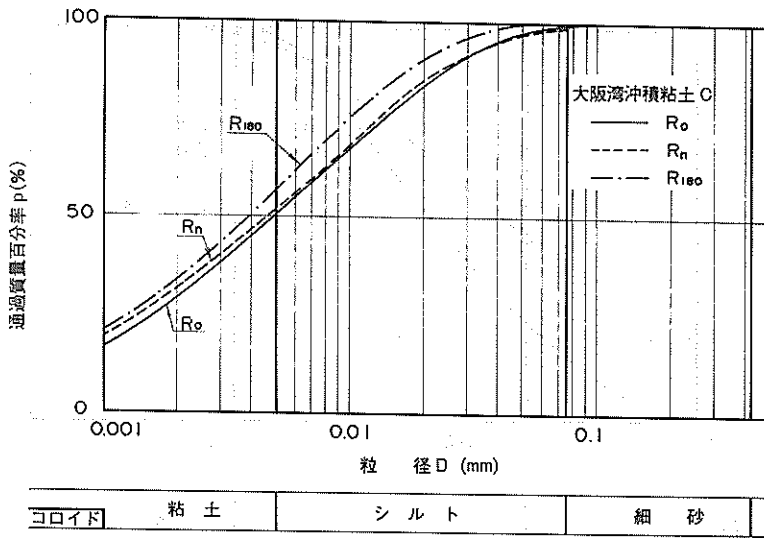


図-23 繰り返し試料の粒径加積曲線例 (大阪湾)

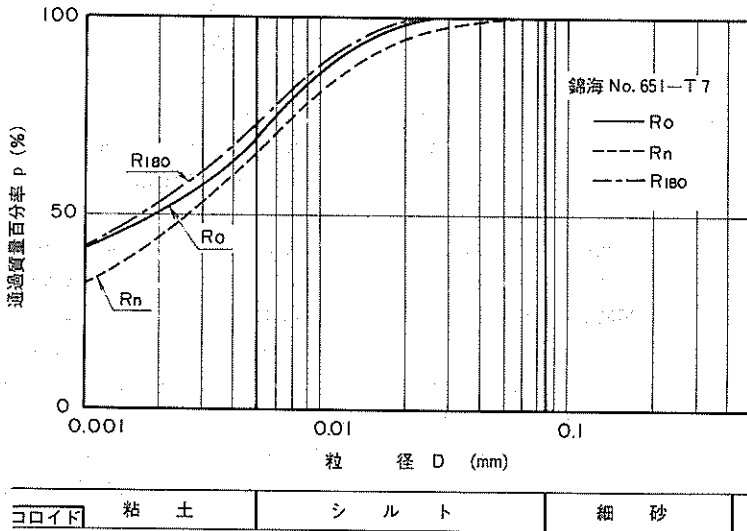
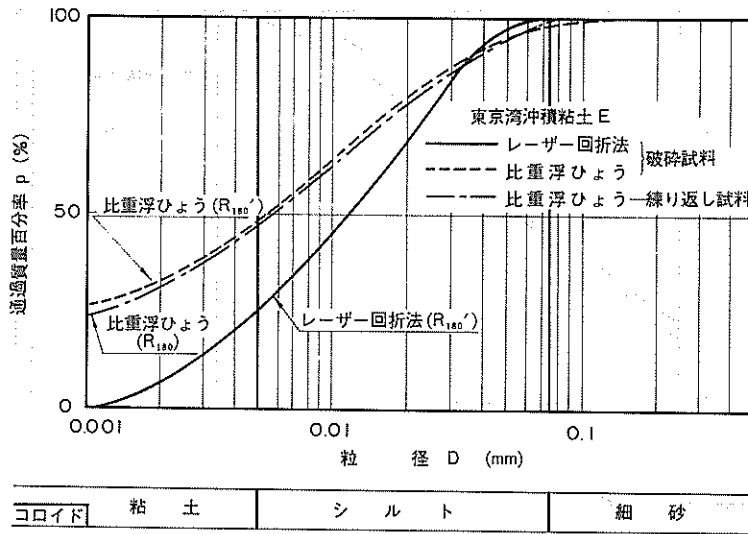


図-24 繰り返し試料の粒径加積曲線例 (錦海)

の粒度の差が小さくなる。このことから、現行の試験方法による粒度試験では測定に精度に限界があり、一連の試験から求められた粒度特性は、今回の液性・塑性限界を測定した試料条件とは直接的に対応していない。特に繰り返し操作を行わない、団粒・固結状の土粒子を含ん

だ試料の粒度特性を把握することは困難と考えられる。

また、脱塩によって比重を測定する懸濁液の塩分濃度が、ある程度までは低下しても、なお肉眼では観察しにくいほどの凝集もあり得る。今回はこれらのことを含めた上で、3時間繰り返しを行った試料 (R_{180}) および、



図—25 レーザー回折法による粒径加積曲線（破碎試料）

任意の練り返し時間 (R_n) から得られた粒度試験結果を採用している。

図—25の粒径加積曲線は東京湾沖積粘土Eの破碎試料に対し、比重浮ひょう法の他にレーザー回折法による粒度試験を試みた測定結果である。この図から、破碎試料の粒度は、粘土分約25%、コロイド分0%と比重浮ひょう法の練り返し試料 R_{180} 、 R_{180} に較べ極めて小さく求められている。この測定結果は、海成粘土の場合は、試験の初期操作である土粒子を分散させることが困難なために、レーザー回折法を用いても精度よい試験結果が得られないことを表している。

また、試料の塩分含有とは無関係に、人為的、機械的に行った破碎試料は砂の場合においても、土粒子は極めて凝集性が強く、比重浮ひょうを用いた粒度試験が行えないケースが多々ある。これらのことから、今回は破碎試料においてもその粒度を把握することができない結果となった。

3.6 自然試料

2.2(2)で述べたように、12の自然試料は地盤調査の基礎データとして試験者aが、時間とは無関係に試料を観察しながらその判断により練り返しを行い (R_n)、液性限界の測定を行っている。今回はその試料の残りをを用いて、練り返し3時間 (R_{180}) および0 (R_0) の順に練り返しと、液性・塑性限界の測定を行った。 R_0 、 R_n 、 R_{180} の3種の試料についての試験結果を表—19に示す。表中、

4試料の R_0 の試験結果が欠落しているが、これは試料不足のための試験が行えなかったことによる。以下にそれぞれの試験結果を述べる。

(1) 液性限界試験

図—26は、各試料の R_0 、 R_n 、 R_{180} の液性限界値 w_{L0} 、 w_{Ln} 、 w_{L180} を粘土含有量に対して図示したものである。図の w_{L0} と w_{L180} を結んだ直線の長さは、練り返し時間0～3時間における1試料の液性限界値が変動する範囲を表している。粘土分が50%の錦海No.651—15の変動値が4.3%と比較的小きな値であるのに対し、粘土分76%の錦海No.651—12は21.9%と大きな誤差を生じている。この図から、液性限界の増大に伴い、変動する液性限界の幅も増大していることが分かる。

また、図の w_{L0} と w_{L180} の直線上の×印は、 w_{Ln} を示したものである。試験者の判断により任意の練り返し時間で測定を行った液性限界値 w_{Ln} は、粘土分72%の錦海No.651—7を除き、 w_{L0} と w_{L180} のほぼ中間か、やや w_{L180} に近い測定値が得られている。

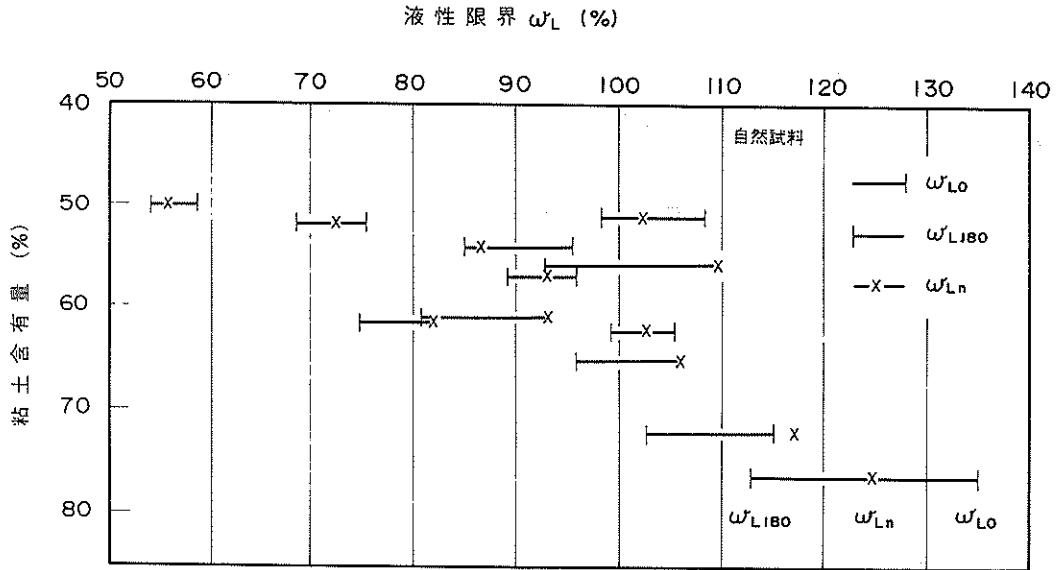
図—27a, b, cに3試料の流動曲線を示した。これらの図から、aの錦海No.651—12の w_{Ln} は、 w_{L0} と w_{L180} のほぼ中間にある。また、bの関西空港ALD—10の w_{Ln} は、 w_{L180} に近接し、その差は1.6%と小さい。これら2試料の試験結果に対し、cの錦海No.651—7は、 w_{Ln} が w_{L0} よりも過大に求められ、流動曲線の勾配も R_0 が R_n よりも大きく、a, bの2試料とは傾向が異なっている。

通常、液性・塑性限界試験を行う場合、試験者は試料の繰り返しを行わないで測定を行うことはありえない。また表-19の流動指数を見ると、前述の混合試料の傾向

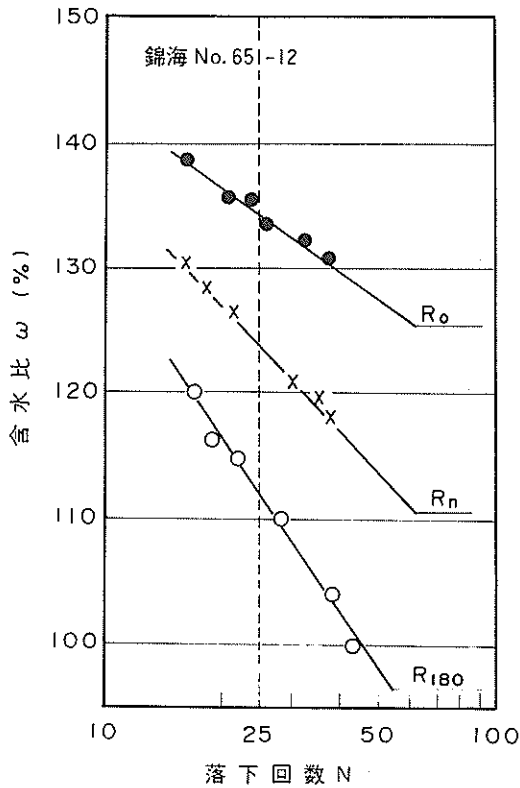
とは相違し、繰り返し時間との関連は一樣ではない。これらのことから、今回の自然試料は、2.1 (2)で述べたように前もって試料調整を行っていないため、試料によ

表-19 自然試料の試験結果

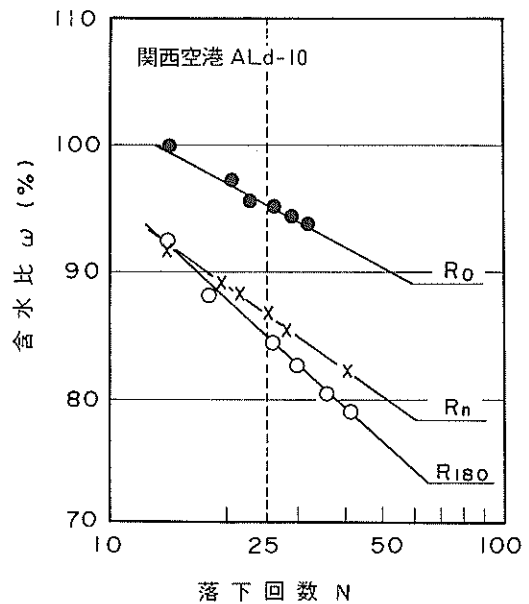
試料名			繰り返し時間 (min)	液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_P (%)	塑性指数 I_p	流動指数 I_f
東扇島	No.1-2	R_0	0	75.4	37.0	38.4	20.31
		R_n	計測なし	72.4	35.3	37.1	13.40
		R_{180}	180	68.5	36.9	31.6	19.60
東扇島	No.1-8	R_n	計測なし	82.0	35.6	46.4	20.99
		R_{180}	180	74.6	36.6	38.0	23.55
東京空港	No.1-13	R_0	0	105.1	47.1	58.0	20.17
		R_n	計測なし	102.4	48.7	53.7	32.14
		R_{180}	180	98.9	47.2	51.7	27.61
錦海	No.651-3	R_n	計測なし	92.9	32.5	60.4	19.20
		R_{180}	180	80.5	33.5	47.0	26.80
錦海	No.651-4	R_n	計測なし	105.5	37.8	67.7	23.60
		R_{180}	180	95.6	38.1	57.5	26.80
錦海	No.651-7	R_0	0	114.7	41.3	73.4	33.73
		R_n	計測なし	116.5	41.4	75.1	26.82
		R_{180}	180	102.0	41.1	60.9	42.63
錦海	No.651-12	R_0	0	134.3	50.4	83.9	22.75
		R_n	計測なし	123.9	47.5	76.4	32.91
		R_{180}	180	112.4	47.6	64.8	46.81
錦海	No.651-15	R_0	0	58.8	25.4	33.4	8.40
		R_n	計測なし	55.7	25.0	30.7	14.80
		R_{180}	180	54.5	25.3	29.2	13.90
関西空港	SCP-12	R_n	計測なし	109.5	41.8	67.7	17.00
		R_{180}	180	92.7	38.7	54.0	28.10
関西空港	SCP-13	R_0	0	108.0	42.5	65.5	12.53
		R_n	計測なし	102.3	42.8	59.5	13.70
		R_{180}	180	98.1	41.9	56.2	29.43
関西空港	ALD-5	R_0	0	95.5	40.3	55.2	31.14
		R_n	計測なし	92.6	40.1	52.5	24.75
		R_{180}	180	89.1	40.6	48.5	23.59
関西空港	ALD-10	R_0	0	95.2	40.0	55.2	16.41
		R_n	計測なし	86.5	38.3	48.2	20.74
		R_{180}	180	84.9	39.5	45.4	28.33



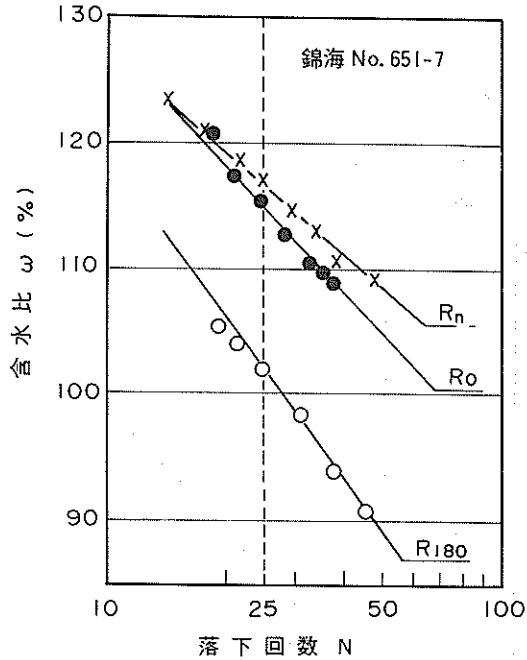
図—26 粘土含有量と液性限界試験結果



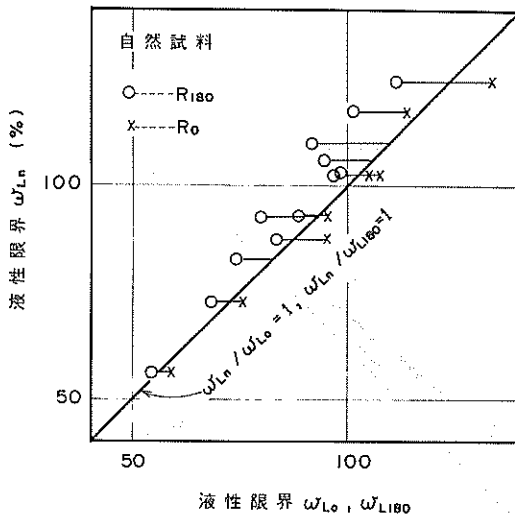
図—27a 自然試料の流動曲線例



図—27b 自然試料の流動曲線例



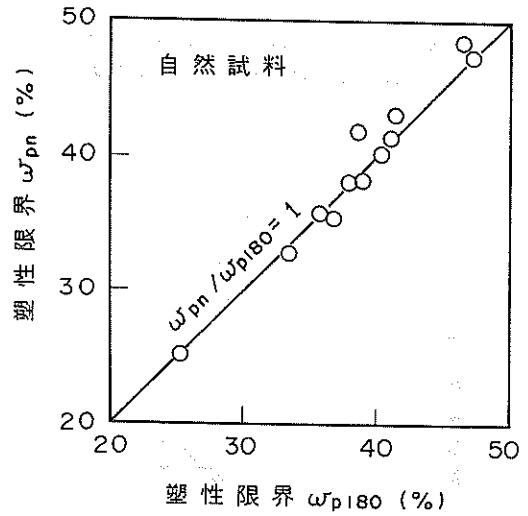
図—27c 自然試料の流動曲線例



図—28 自然試料の液性限界

ては練り返しを行う前はかなり乱されており、特に R_0 の試験結果に誤差を生じたと考えられる。

図—28に、練り返し時間0および3時間の液性限界値 ω_{L0} 、 ω_{L180} と任意の練り返し時間で測定した液性限界



図—29 自然試料の塑性限界

値 ω_{Ln} の関係図を示す。図の斜線は ω_{L0} 、 ω_{L180} と ω_{Ln} の比が1であることを示している。前述の錦海試料を除き、各試料の液性限界値は $R_0 \rightarrow R_n \rightarrow R_{180}$ の順に減少している。

(2) 塑性限界試験

表—19の試験結果が示すように、塑性限界 ω_{pn} は、練り返し時間による明確な差は認められない。これは前述のように、今回用いた自然試料がかなりの乱れを生じていたこと、さらに3.2で述べたように塑性限界の試験操作そのものが試料の乱れを促進させるため、 R_0 の測定結果は実際には求め得ないと考えられる。

図—29に練り返しを3時間行った塑性限界値 ω_{p180} と、任意の練り返し時間で行った塑性限界値 ω_{pn} の関係図を示した。この図から、 ω_{pn} のばらつきは試料の不均質、測定操作上の誤差などによるものとほぼ同程度のものと考えられる。

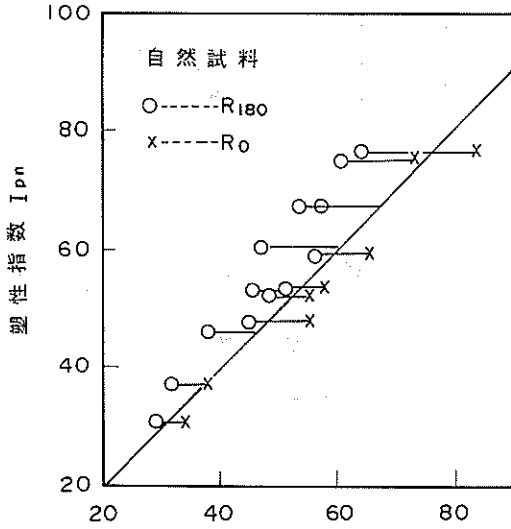
(3) 塑性指数

前述の塑性限界値 ω_{pn} が試料条件の影響を受けず、それほど大きな差を生じていないことから、自然試料の塑性指数 I_p の練り返しによる変動は、液性限界値 ω_L の変動とほぼ等しい結果が得られている。

図—30に、液性限界と同様に練り返し時間0および3時間の塑性指数 I_{p0} 、 I_{p180} と、任意時間による練り返しから求められた塑性指数 I_{pn} の関係図を示した。塑性指数の増大とともに最大値、最小値の差も増大し、錦海No. 651—15の変動値が4.2であるのに対し、錦海No.651—

12は19.1と繰り返しにより大きな差を生じている。

また図-31は、自然試料の試験結果を塑性図上にプロットし、土質分類への影響を調べたものである。この図

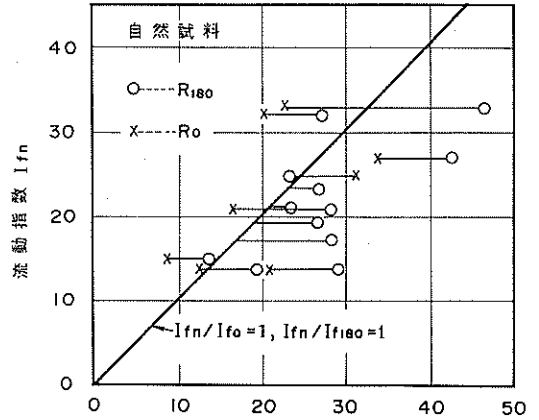


塑性指数 I_{p0}, I_{p180}
 図-30 自然試料の塑性指数

から、塑性図上の各プロットは $R_0 \rightarrow R_n \rightarrow R_{180}$ とほぼA線に沿って移動していることがわかる。したがって、分類名はほとんど変化せず、A線に近接している試料が (C'H) から (CH) に変わる程度である。

(4) 流動指数

図-32に繰り返し時間0, および3時間の流動指数 I_{fn}



流動指数 I_{f0}, I_{f180}
 図-32 自然試料の流動指数

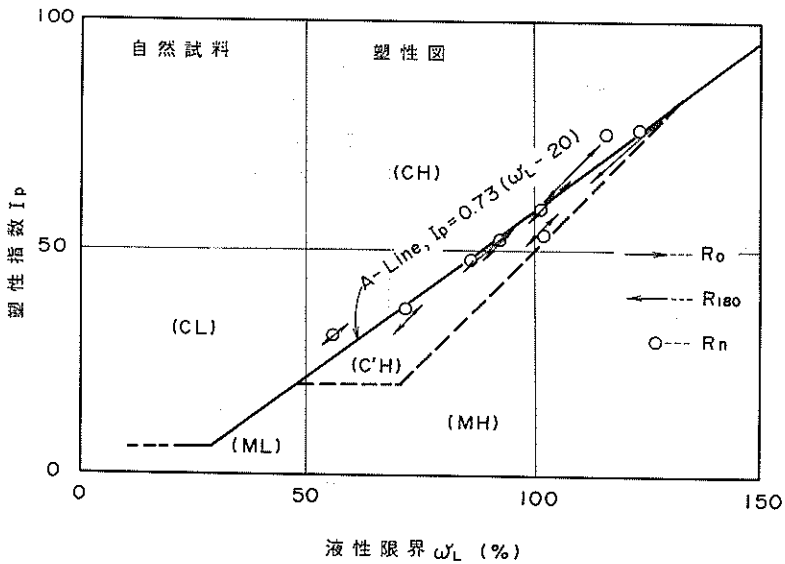
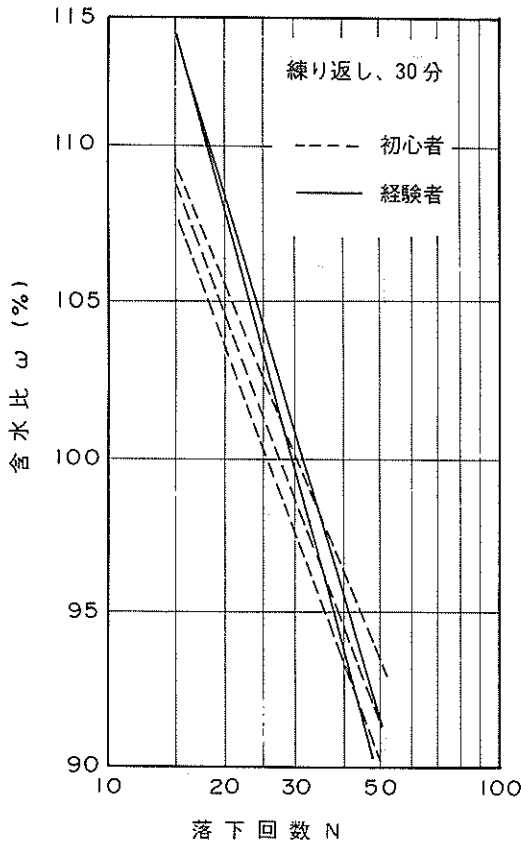


図-31 自然試料の塑性図

I_{180} と、任意の繰り返し時間から求められた流動指数 I_n の関係図を示した。 R_{180} の流動指数 I_{180} は3時間の繰り返しにより、錦海の1試料を除き増大する傾向を見せている。図—27a, 27b, 27cの流動曲線も試料によりそれぞれ勾配は異なるが、液性限界値の減少に伴い流動指数は増大している。しかし、この傾向は、表—17の R_0 , R_n , R_{180} を見ると必ずしも一様ではなく、かなりのばらつきを生じている。これは、前述の液性限界の試験結果からも明らかのように、試料の初期状態が一様ではなく、乱れの程度が異なっていたことに起因する結果と考えられる。

図—33は、均質に調整した試料を、初心者と経験者が30分繰り返しを行い測定した液性限界試験の流動曲線である。この結果からも、流動指数 I は、試料状態をかなり鋭敏に反映する指数であると考えられる。図—33からも明らかのように、試料条件により流動指数の増大は、他の定数の変動よりもきわめて顕著に表れている。



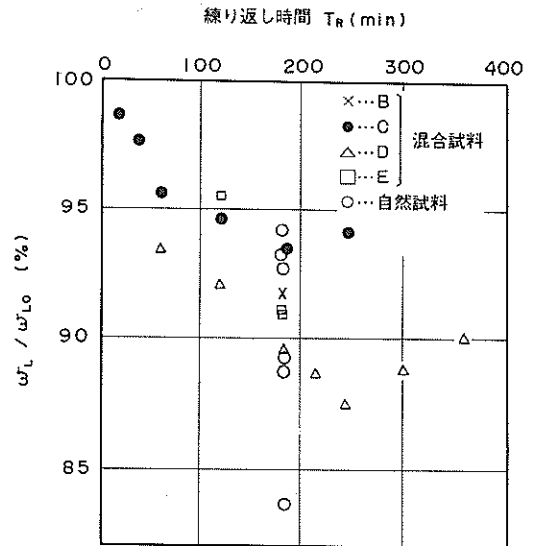
図—33 繰り返し操作の個人差

3.7 繰り返し時間と試験結果との関係

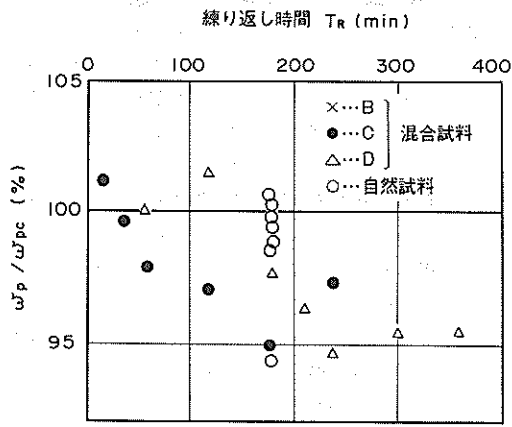
2.1で述べたように、今回の一連の試験には不攪乱試料と、乱された試料を用いている。また、調整方法も異なっていることから混合試料、自然試料ともに初期状態すなわち R_0 の試料条件は一様ではない。また、大阪湾、錦海の2試料に対しては4~6時間の繰り返しを行った試料から最小液性限界値が得られているが、その他の試料については最小液性限界値を確認するほど長時間の繰り返しを行っていない。さらに現行においては、試料の乱れの程度を測定するのは困難である。これらのことからここでは、止むを得ず厳密な試料条件を無視し、単純に各繰り返し時間における試験結果を R_0 の値に対する比で求めて、繰り返し時間との関係を図示した。

図—34に液性限界、図—35に塑性限界、図—36に塑性指数、図—37に流動指数をそれぞれ示す。これらの結果をまとめると、繰り返し時間1, 2, 3時間の液性限界、塑性限界、塑性指数の減少あるいは増大する試験誤差の比は表—20となる。

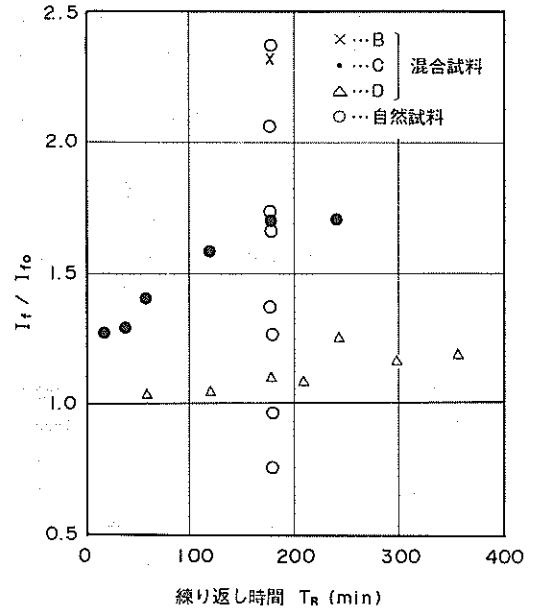
図—38, 図—39, 図—40に、各混合試料、自然試料の繰り返し時間0 (R_0)と3または4時間 (R_{180} , (R_{240})から求められた液性限界 w_L 、塑性指数 I_p 、流動指数 I_f とそれぞれの粘土含有量との関係を求め図示したものである。なおこのときの粘土含有量は、425 μ m目盛ふるいを用いた試料調整後、3時間繰り返しを行った試料



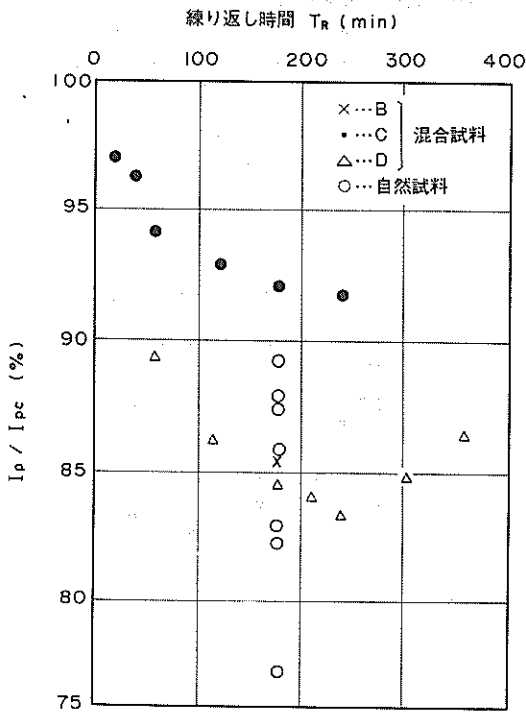
図—34 繰り返し時間に対する液性限界の比



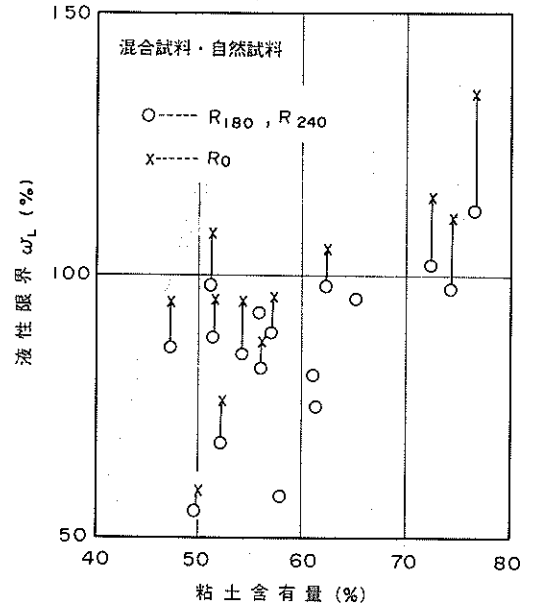
図—35 練り返し時間に対する塑性限界の比



図—37 練り返し時間に対する流動指数の比



図—36 練り返し時間に対する塑性指数の比



図—38 粘土含有量と液性限界の関係

表-20 各練り返し時間の試験誤差

練り返し時間 (時間)	R_0 の試験結果に対する比			
	液性限界 W_L (%)	塑性限界 W_P (%)	塑性指数 I_p	流動指数 I_f
0	100	100	100	1.0
1	93~97	98~100	89~94	1~1.4
2	89~95	97~100	86~93	1~1.6
3	84~94	94~100	77~92	1~2.4

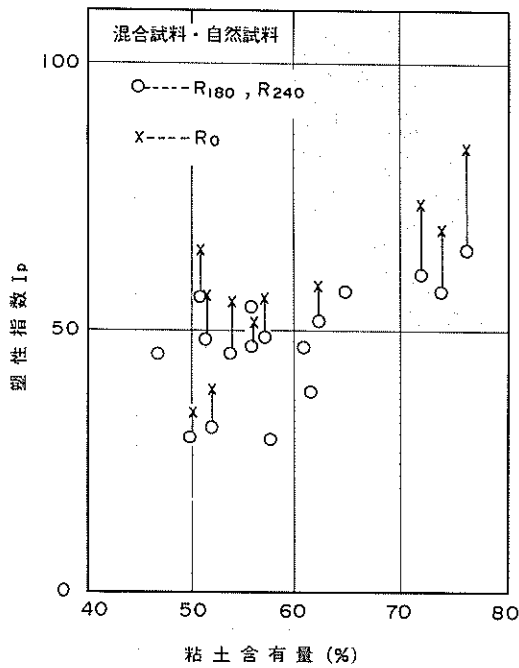


図-39 粘土含有量と塑性指数の関係

(R_{180}) について測定した粒度試験の結果を用いている。これらの図が示す粘土含有量と液性限界, 塑性指数, 流動指数との相関関係はそれほど明確とはいえない。しかし, それぞれの試験結果は粘土含有量の増大とともにほぼ増大している。また, 練り返しによる最小値, 最大値の差は, 粘土含有量が70%以上の粘性土に特に大きく表れている。

次に, 図-41に各混合試料, 自然試料の練り返し時間

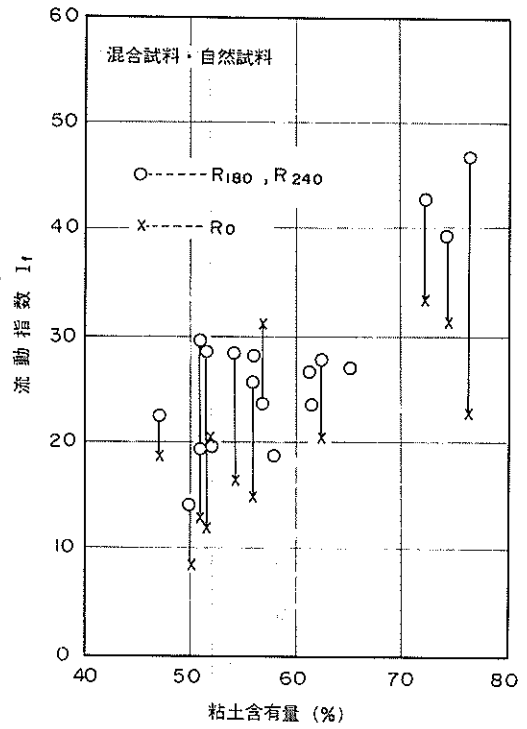


図-40 粘土含有量と流動指数の関係

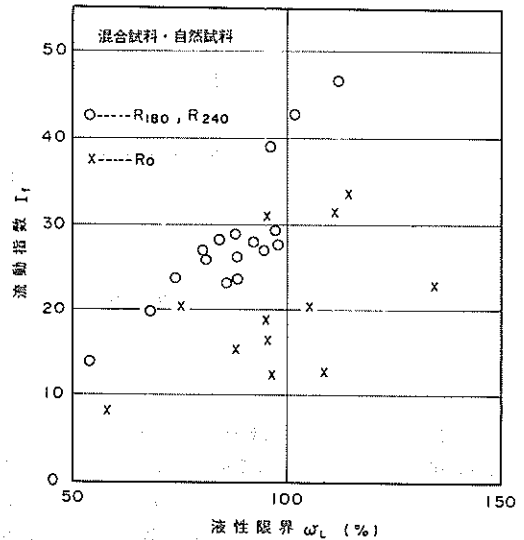
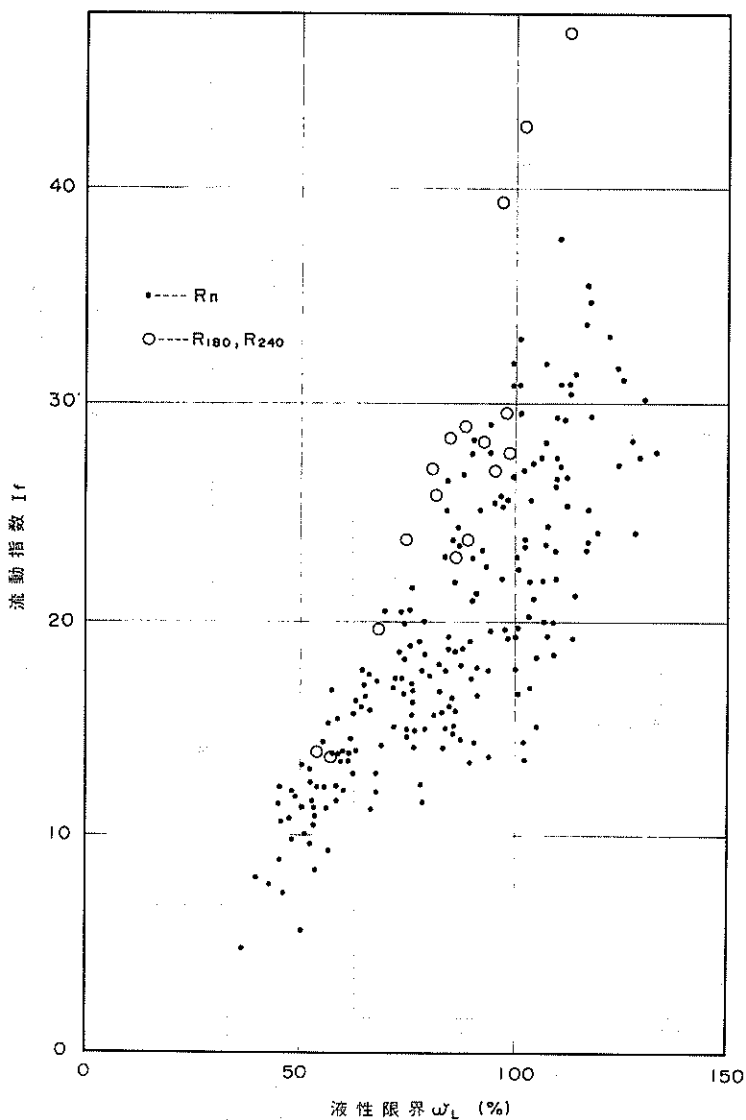


図-41 液性限界と流動指数の関係



図—42 液性限界と流動指数の関係 (港湾沖積試料)

0 (R_0) と3または4時間 (R_{180} , R_{240}) から求められた液性限界値 ω_L とその流動曲線から求められた流動指数 I_f の関係を示した。×印で示した R_0 の点が大きくばらついているのに対し、○印で示した R_{180} , R_{240} の測定値は、液性限界 ω_L の増大に伴い流動指数 I_f も増大する傾向を見せている。

図—42の●印は、当研究室が過去に実施した土質試験

データから求めた液性限界と流動指数の相関関係を示したものである⁷⁾。このときの液性限界試料は、繰り返し時間とは無関係に、試験者の判断により準備操作が行われている (R_n)。図の流動指数は液性限界とともに増大しているが、液性限界が100%の流動指数は13~33とかなり大きなばらつきを見せている。このばらつきの要因は、2.1で述べた測定器具の条件、測定の個人誤差、試

料条件などの他に試料自体の要因、たとえば鉱物質の違いや塩分含有による含水比その他の誤差なども含まれている。

同図に今回の一連の試験から得られた図—41の最小液性限界値と流動指数を○印で示した。各液性限界値に対する流動指数は、 R_0 のプロット範囲のほぼ上限に位置し、比較的良好な相関関係を有している。

4. むすび

海成の混合試料および、自然試料を用い、試料の準備段階における試験操作を、人為的に変化させて測定した液性・塑性限界の試験結果から次の結論が得られた。

(1) 2種類の試験条件で実施した一斉試験の結果からは、次のことが明かになった。

a) 試料の準備操作と測定を各自の判断で行うと、試料の練り返しの程度の違いおよび測定操作の個人差が要因となり、液性限界は約10%の試験誤差を生じた。

b) 試料の準備操作を複数の試験者が行った場合、それぞれの判断の相違から試料条件が異なるため、この影響により液性限界の測定結果に誤差を生じる。

(2) 海成粘土の液性限界値は、練り返し時間の増大とともに減少する。練り返しを3時間行った試料の液性限界値は、練り返しを行わないそれに対し、約4～22%減少した。

また、練り返し時間が0と3時間の試料から求められた液性限界値 w_{L0} と w_{L30} の変動の幅は、液性限界値および粘土含有量にほぼともなって増大する。練り返しを1時間前後行った試料の液性限界値 w_{L1} は w_{L0} と w_{L30} の間か、やや w_{L30} に近い値である。塑性限界値 w_{p1} は、試料の練り返しによる顕著な差は認められない。

塑性指数 I_p は液性限界とともに、練り返し時間の増大とともに約4～19減少した。

また流動指数 I_f は液性限界値 w_L の減少とともに増大する。練り返し時間0 (R_0) の流動指数 I_{f0} に対し、3時間練り返しを行った試料 (R_{180}) のそれ (I_{f180}) は

最高2.4倍であった。

(3) 破碎試料の液性限界値 w_{L180} は、練り返し試料に比べ約6%増大した。

しかし、一連の試験に使用した条件が異なった各試料の粒度特性は明確には求められていない。

(4) 練り返しを0および3時間行った試料のペーンせん断強さと液性限界の試験結果の比較から、試料の練り返しによるせん断強さの低下が確認された。液性限界のペーンせん断強さは 15 gf/cm^2 であった。

(5) 3～4時間練り返しを行った今回の混合試料、自然試料から求められた最小液性限界値 w_L と、その流動指数 I_f は、比較的良好な相関性を示した。これを、練り返し時間を考慮しないで行った既往の試験結果の相関図と照合すると、流動指数 I_f は試験結果のばらつきの上限の値となる。

以上、今回の一連の試験結果から、試料の練り返しの程度によって、液性限界が変化することが確認された。通常、液性限界の定義としては、塑性体として最小のせん断強さを示す状態にあるときの含水比とも言われている。⁸⁾ しかし、最小のせん断強さを示す状態とはどのような状態であるかは具体的に示されていない。

また、練り返しによって液性限界が減少する要因として、土塊の構造破壊、摩滅や破碎による土粒子の形状変化、吸着水の影響などの複雑な要素が考えられる。しかし、今回はそれらの中のひとつも解明していない。

一方、1で述べた現行のキヤサグランデ法による試験誤差を解消する手段として、現在多くの検討が進められている。しかし、フォールコーン試験や、ペーンせん断試験を採用しても、試料条件は無関係ではあり得ない⁹⁾。同時に土質試験の機械化、省力化が進められている現状では、試料の準備操作に長時間を費やすことは実働上不可能であり、現実に即さない。

以上のことから、液性限界試験試料の準備操作は、試験上の問題点として、今後の検討を必要とする課題と考えられる。

(1992年3月31日受付)

謝 辞

この資料をまとめるにあたって、適切な御意見、御指導をいただいた土田孝滑走路研究室長、オールドドミニオン大学、石橋勲教授に深く謝意を表します。また、試料作成その他種々御助力をいただいた土性研究室水上純一研究官、ベーンセン断試験を担当頂いた地盤調査研究室榊原基生研究員、物理試験に御助力を頂いたダイヤコンサルタント(株)今井祥江氏に心から感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本工業規格：土の液性・塑性限界試験方法，JIS A 1205，1990年6月，pp.1～4
- 2) 日本工業規格：土質試験のための乱した土の試料調整方法，JIS A 1201，1990年6月，pp.1～4
- 3) 土質工学会：土質試験の方法と解説，土の液性限界・塑性限界試験方法，1990年3月，pp.71～79
- 4) 風間秀彦・下辺悟：液性限界試験結果に及ぼす測定器と個人差の関係，第25回土質工学研究発表会講演集，1990年6月，pp.269～272
- 5) 土質工学会編：土の試験実習書，液性限界試験，1983年4月，pp.33～37
- 6) 小川富美子・石井一郎：間隙水中の塩分が粒度試験結果に及ぼす影響について，港湾技研資料，No.564，1986年9月，pp.1～30
- 7) 港湾技術研究所：土性研究室資料，1990年
- 8) 例えば，土質工学会編：土質試験法，液性限界・塑性限界試験，1984年9月，pp.2-6-2
- 9) 三笠正人・藤原照幸：繰り返しによる液性限界の低下について，第26回土質工学研究発表会講演集，1991年7月，pp.265～266

記号一覧表

I_f	: 流動指数	wL_{240}	: 試料 R_{240} の液性限界
I_{fn}	: 試料 R_n の流動指数	wL_{300}	: 試料 R_{300} の液性限界
I_{f0}	: 試料 R_0 の流動指数	wL_{360}	: 試料 R_{360} の液性限界
I_{f50}	: 試料 R_{60} の流動指数	w_p	: 塑性限界
I_{f180}	: 試料 R_{180} の流動指数	w_{pn}	: 試料 R_n の塑性限界
I_p	: 塑性指数	w_{p0}	: 試料 R_0 の塑性限界
I_{pn}	: 試料 R_n の塑性指数	w_{p180}	: 試料 R_{180} の塑性限界
I_{p0}	: 試料 R_0 の塑性指数	τ	: せん断強さ
I_{p180}	: 試料 R_{180} の塑性指数		
N	: 落下回数		
R_a	: 試験者 a の繰り返し試料		
$R_{a'}$: 試料 R_a を特定試験者が繰り返した試料		
R_b	: 試験者 b の繰り返し試料		
$R_{b'}$: 試料 R_b を特定試験者が繰り返した試料		
R_c	: 試験者 c の繰り返し試料		
$R_{c'}$: 試料 R_c を特定試験者が繰り返した試料		
R_d	: 試験者 d の繰り返し試料		
$R_{d'}$: 試料 R_d を特定試験者が繰り返した試料		
R_e	: 試験者 e の繰り返し試料		
$R_{e'}$: 試料 R_e を特定試験者が繰り返した試料		
$R_a \sim R_w$: 試験者 $a \sim w$ 23人の繰り返し試料		
$R_a \sim w'$: 試料 $R_a \sim R_w$ を一括した試料		
R_n	: 任意繰り返し時間の試料		
R_0	: 繰り返し時間0の試料		
R_{20}	: 繰り返し時間20分の試料		
R_{40}	: 繰り返し時間40分の試料		
R_{60}	: 繰り返し時間1時間の試料		
R_{120}	: 繰り返し時間2時間の試料		
R_{180}	: 繰り返し時間3時間の試料		
R_{210}	: 繰り返し時間3.5時間の試料		
R_{240}	: 繰り返し時間4時間の試料		
R_{300}	: 繰り返し時間5時間の試料		
R_{360}	: 繰り返し時間6時間の試料		
$R_{40'}$: 試料 R_{40} を再び繰り返した試料		
$R_{40''}$: 試料 $R_{40'}$ を再び繰り返した試料		
T_R	: 繰り返し時間		
wL	: 液性限界		
$wL_a \sim wL_w$: 試料 $R_a \sim R_w$ の液性限界		
$wL_a \sim w'$: 試料 $R_a \sim w'$ の液性限界		
wL_n	: 試料 R_n の液性限界		
wL_0	: 試料 R_0 の液性限界		
wL_{120}	: 試料 R_{120} の液性限界		
wL_{180}	: 試料 R_{180} の液性限界		

港湾技研資料 No.733

1992. 6

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 ニッセイエプロ株式会社

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.

Copyright © (1992) by P.H.R.I.
All right reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.H.R.I.

この資料は、港湾技術研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複写は、港湾技術研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。