

液性塑性両限界の同時測定法に関する研究(第5報)

きた 北 郷 繁*
 さ 佐 とう 藤 まさ 正 よし 義**

1. ま え が き

第1報から第4報^{1)~4)}までは、いわゆるフォールコーン法によって液性限界をきめることを主たる目的とする実験についての報告であった。第4報の末尾に、副次的な研究対象として、はじめて、本文で報告しようとする標題の方法の可能性をのべた。すなわち、液性および塑性両限界の中間において数個の貫入試験を行ない、含水比と貫入量との関係直線を双方に延長して、基準貫入量に対応する含水比を2つの限界とする方法であって、第4報では3つの土についての予備実験から、この方法が検討に値するものであることを示した。それで、本報告では以下にのべるような実験を行なって、この方法が実用の可能性のあることを示そうとするものである。

なお第4報^{注)}では、コーンの貫入量と粘土の非排水強さとの相関にも言及して、フォールコーン法が一軸圧縮試験の代り得るかどうかを論じており、本報告のための実験にもこれを含んだのであるが、紙数の関係からこの事項は別の機会にゆずることにする。

2. 実験の目的

まえがきにのべた測定の原理からして、少なくとも次の4項目を検討する必要があることは自明であり、当然本実験の目的となった。

2.1 含水比(ω)とコーン貫入量(p)の相互関係

ω と p の関係は、第4報までの、液性限界だけを対象とした場合は、 $\omega \sim \log p$ を直線としてきた。これはちょうどカサグランド法に発するJIS法において、サラの落下回数を N とするとき $\omega \sim \log N$ を直線とするのと軌を一にしている。またこのことは、正規圧密粘土の非排水強さを τ とするとき $\omega \sim \log \tau$ を直線とするラットレジの提案にも対応する。

しかし、以上の半対数表示は測定の対象とする含水比の範囲が比較的にせまいときの話であって、それが塑性

注)「本文の一部は土木学会第24回年次学術講演会において発表済みのものである。

* 北海道大学工学部土木教室教授・工博

** 北海道札幌土木現業所

のほとんど全域にわたるような場合に、はたして正しいかどうか疑問であり、第4報においては、3つの土についての予備実験において $\log \omega \sim \log p$ による方がより直線をなすことを示し、また ω と τ の関係も両対数表示が妥当であることを例証した。

よって本項では、これを確認するために、多数の土の実験資料にもとづき、 ω と p の表示方法として半対数と両対数のいずれをとるべきかを比較する。

2.2 基準貫入量の決定

JIS法における $N=25$ の25に対応する貫入量であって、液性限界だけを対象とした今までの実験結果によれば、先端角が 90° で全重が100 grのコーンでは10 mm前後の値がそれであった。いま $\bar{p}_{LL}$ 、 $\bar{p}_{PL}$ を液性、塑性の両限界に対する基準貫入量とすると、二つの限界は図-1のようにして決定される。これら二つの貫入量は、JIS法で定まる限界(ω_{LL} 、 ω_{PL})にできるだけ一致する結果を与える量であることが望ましい。そうでないとJIS法によってきた今までの土性指示量と共通性がなくなるからである。もっとも第3報でのべているように、JIS法の $N=25$ というのは、少なくとも強度の面からみれば、確たる根拠のあるものではなく、便宜的な数値であるように見られるから、 ω_{LL} や ω_{PL} にどの程度の厳密さを求めるかによっては、 $N=25$ を絶対視する必要はなく、したがって $\bar{p}_{LL}$ 、 $\bar{p}_{PL}$ にもなにがしかの余裕があってもよいと考えられる。

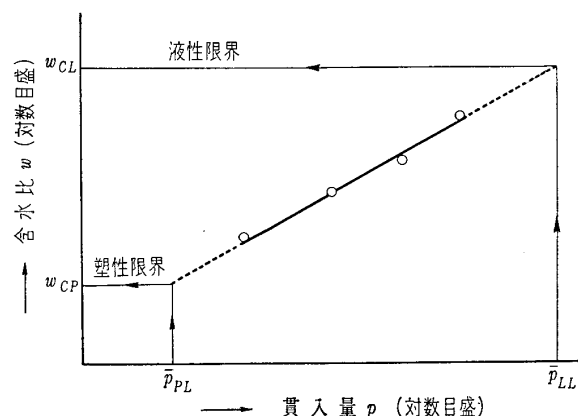


図-1 測定法の概念

2.3 測定法の精度

フォールコーン法による二つの限界を ω_{CL} , ω_{CP} とするとき、これらの値が JIS 法による ω_{LL} , ω_{PL} とどの程度のくいちがいを示すものかどうか、したがってこの両限界の同時測定法 (Simultaneous Determination of Liquid and Plastic Limits) が従来の JIS 法に代り得るものかどうかを検討する。

2.4 コーン重量の比較

試料土をつめ込む容器の寸法を一定とした場合、貫入量が大にすぎるとコーンの貫入は剛な容器によってなにかしらの拘束を受けて、正しい値を示さない。反対に貫入量が小さすぎると、貫入量の測定に正確さを欠くようになる。今までの実験では先端角が 90° で全重が 100 gr のコーンを自由落下させるときの容器の寸法は直径が 60 mm で深さが 30 mm のものが必要にして十分なものとしてきた。この容器を使って、比較的広い範囲の含水比について貫入試験を行なうと、100 gr では貫入量が小にすぎるきらいがある。よって、この測定法に最も適したコーン重量をみつける必要があり、このためいくつかのコーン重量を使い相互を比較しようとするものである。

3. 試料土と実験方法

3.1 試料土

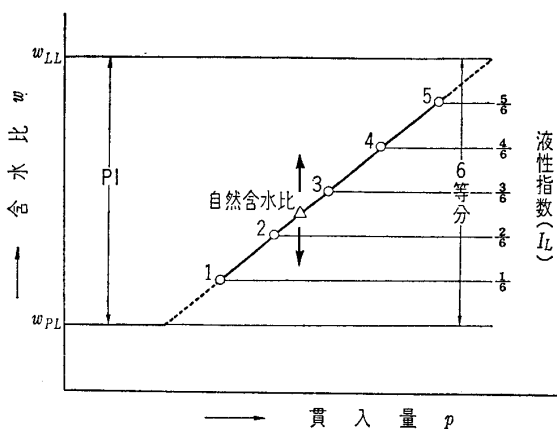
表一は試料土である。試料番号の欄で黒丸のついているものは、第4報の実験に使ったものの再使用であって、10個ある。残りの18個の土は、札幌周辺からわれわれが採取したものである。活性度の欄で白丸のついているのは、活性度が 0.75 以下のもので不活性とされている粘土である。試料番号は ω_{LL} の順につけてあり、白丸が若い番号に多いことから、粘土の活性度が ω_{LL} の低いほど小さくなる傾向のあることがわかる。

試料の事前処理とか貯蔵方法とかは、第4報までのべてあるので省略して、この実験で特別であったことをかくと、一つの土の含水比段階をできるだけ正確に規定したということである。つまり、図一2に示すように自然含水比が図の△印にあった場合、加水によって6等分点の3, 4, 5にくるようにし、反対に低含水比の1, 2点の試料を得るためには、一度 ω_{PL} 付近まで気乾したあと、十分ねりかえし均質な状態にしてから1, 2の状態にするということである。このように含水比を調節した試料をビニール袋に二重に密封して約一ヵ月養生した。

以上の説明からわかるように、この実験での試料操作の特長の一つは湿式であって、JIS 法に規定する乾式ではないということである。自然含水比から出発する湿式と、気乾状態から加水する乾式とでは、得られる限界値

表一 試料土の物理的性質

試料番号	試料土名称	ω_{LL} (%)	PI (%)	G_s	粘土分 <5ミク ロン(%)	活性度	$\log \omega \sim$ $\log p$ の直線性
1*	札幌土現	35	12	2.68	41	0.29°	
2*	室蘭土現	37	18	2.73	35	0.51°	
3	モセウシ No. 1	41	15	2.69	30	0.50°	
4*	札幌開建 B	42	19	2.64	44	0.43°	左
5	下野幌	44	19	2.71	39	0.49°	
6	モセウシ No. 2	47	22	2.70	34	0.65°	
7*	帯広土現 C	47	17	2.58	46	0.37°	
8	新石狩 No. 5	49	18	2.68	21	0.86	左
9	新石狩 No. 1	49	23	2.67	33	0.70°	
10	第2角山橋	48	21	2.70	26	0.81	左
11	武蔵女子大	52	18	2.69	26	0.69°	右
12*	旭川開建 B	52	28	2.62	56	0.50°	左
13	琴似八軒 No. 6	55	22	2.73	28	0.79	
14	琴似八軒 No. 9	58	24	2.73	25	0.96	
15	モセウシ No. 3	59	27	2.70	32	0.84	右
16	発寒川	62	25	2.74	32	0.78	左
17	手稲鉄塔	63	29	2.72	34	0.85	左
18	新石狩 No. 3	63	29	2.61	38	0.76	左
19*	稚内開建	63	29	2.62	47	0.62°	
20*	工学部 A	66	30	2.70	26	1.16	
21	北25東10	57	23	2.87	29	0.79	
22	新琴似	71	31	2.66	33	0.94	左
23*	釧路開建	71	30	2.63	53	0.57°	
24	苗穂上流	72	32	2.68	37	0.86	
25	苗穂下流	80	36	2.73	50	0.72°	左
26*	留萌開建	83	56	2.70	73	0.77	左
27	工学部	81	40	2.67	44	0.91	左
28*	函館土現	110	69	2.76	70	0.99	



図一2 含水比段階

に差のあることはすでに指摘されているところである。本実験の場合、低含水状態の試料をつくるのは完全な乾式ではないにしても、それに近い半気乾であるから、このための影響を考慮する必要がある。

3.2 実験方法

つぎに実験方法であるが、容器は直径 60 mm、深さ 30 mm、コーンは先端角が 90° で重さが 100, 200, 300 gr の三種を使い、貫入速度は自由落下だけとした。容器寸法と貫入速度にこれらをえらんだ理由は、われわれの既往の報告にのべてある。貫入装置については、第4報に用いたチャックだけでは、コーンの運動を瞬間的な自由落下とみるには不安が残るのと、コーンの上下動の微小な調節を可能にするための二点から、図一3に示すよう

に、コーンの落下をガイドするロッドに水平な孔をあけて、これに縫針を出入させ、これを水平に引抜いて自由落下とした。これ以外にも少しの改良点はあるが、本質的なものではない。

実験の操作で特長なことの一つは、試料土を容器につめ込むときの操作であって、図-2 の 3, 4, 5 の点、つまり I_L (液性指数) が 3/6, 4/6, 5/6 の点では JIS 法の場合に近い操作で容器につめ込むことができるが、同図

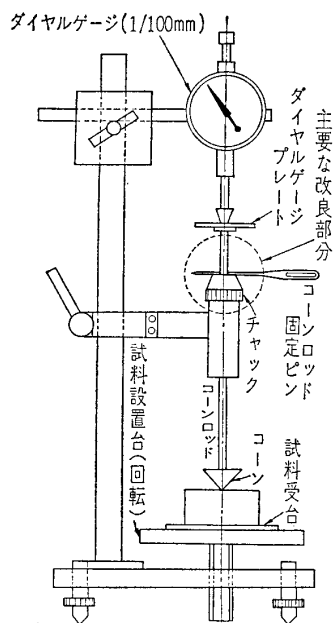


図-3 実験装置

の 1, 2 点、とくに 1 の点では、低含水比のために金属ヘラで押し込んだだけでは、空気を連行しないで高い飽和度をもたせることは困難である。それで図-2 の 1 の点 (以下 $I_L=0.17$ 点と略記する) については全試料を、2 の点 (同じく $I_L=0.33$ 点) については一部の試料を、直径 25mm の硬質塩化ビニールの棒でつきかためた。この場合、2 層 3 層に分けることをしないで、容器をうめつくすに十分なだけの土でダンゴをつくり、これを容器に入れて周辺から順につきかためた。こうして得られた試料の飽和度をチェックしたところでは、90% をこし 100% に近いものが多かった。この操作は前の半気乾とあわせて少し問題とするところで、あとでふれるところがある。

4. 実験結果とその検討

4.1 $\omega \sim p$ の半対数表示と両対数表示の比較

第 4 報では 3 つの土についての実験結果から、両対数表示の方が半対数表示よりも、より直線的であることを示した。今回は 28 個の土についてこの比較をするわけであるが、まず実験結果の一例を図-4 に示す。

いま、全資料について、二つの表示法による点群に直線をあてはめ、次式によってその直線からの含水比方向の分散を計算してみると表-2 のようになる。

$$S_{\log \log} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \{\log \omega_i - (a \log p_i + b)\}^2}{n}} \quad (1)$$

$$S_{\log} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \{\omega_i - (a' \log p_i + b')\}^2}{n}} \quad (2)$$

(1) 式は両対数表示における分散で、(2) 式は半対数表示におけるそれである。表-2 によれば、両対数表示の分散がいずれのコーン重量についても、半対数表示の

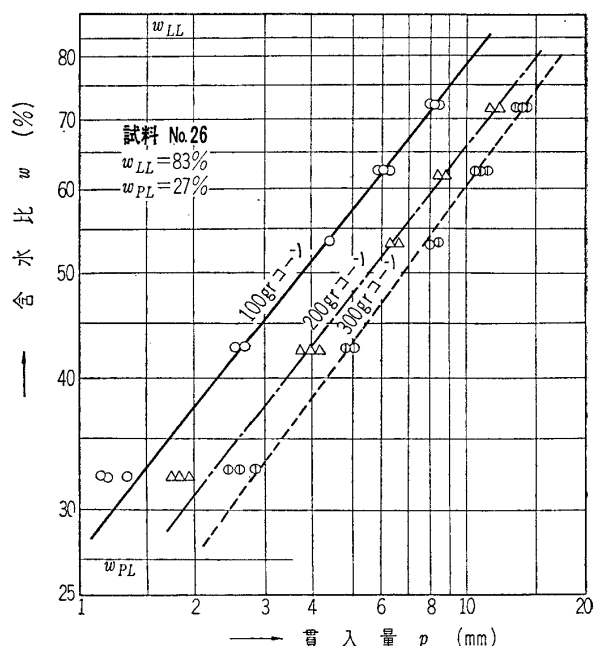


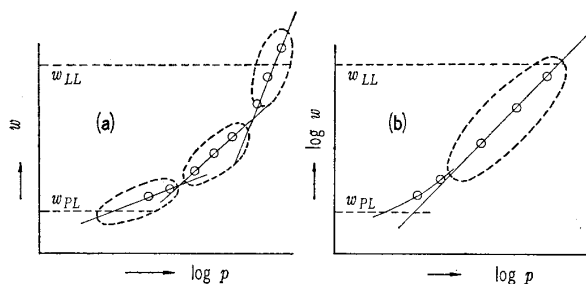
図-4 実験結果の一例

表-2 含水比の分散の程度

種別 表示法	100 グラムコーン		200 グラムコーン		300 グラムコーン	
	平均	(1), (2) 式の値の変動範囲	平均	(1), (2) 式の値の変動範囲	平均	(1), (2) 式の値の変動範囲
半対数表示	1.5	0.02~6.0	1.0	0.02~5.5	1.0	0.03~6.0
両対数表示	0.5	0.23~0.7	0.4	0.23~0.8	0.5	0.22~0.7

その半分以下であることがわかり、また分散の値の変動範囲も両対数表示の方がはるかに小さいことを示している。つまり、第 4 報で予見したのと同じく、28 個の土についての今回の実験でも、 ω と p は、半対数表示よりも両対数表示の方が、よりよく直線をなすという結果を示した。

しかし、両対数表示がどの試料についても満足のいく直線性を示すのではなく、JIS 法についての普通程度の練度をもつ測者の測定結果と比較して、筆者がまずまず直線とみなして差つかえないと判断したのは、28 個の土のうちの 15 個で、全数の約半分であり、残り 13 個のうち 11 個までは図-4 にみるように $I_L = \frac{1}{6}$ 点 = 0.17 点の貫入量が小さく測定されて左にまがるのが特長である。最後の 2 つは逆に右に偏倚している場合で、表-1 にみるように試料 No. 11 と 15 がそれである。いずれも新規に採取した土であること以外には特記すべき物性を示していない。しかし、 $I_L=0.17$ 点が左右いずれにずれる場合でも、残りの 4 点はほとんどの場合、直線とみなせる程度に測定されている。右に偏倚した二例の説明は困難であるのでこれを一応除外して考えると、 ω と p の総括的な関係は、図-5 に示すように、半対数の場合 (a) 図のように 3 つぐらいのグループになって、それぞれを直線とみなすことができ、JIS 法はその一つのグループをよりどころにするものである。両対数表示の

図-5 w と p の総括的な関係

ときは(b)図のように液性指数が1/3以上($I_L=0.33$ 以上)の点群は一つのグループとみなせて直線があたり、1/3未満では土によって直線でない場合がある、ということである。

以上が実験事実であるわけだが、しかし w と p の関係をつぎのように考えると、両者は両対数表示において直線であるとしてすることができる。すなわち第4報でのべたように、われわれの実験データによると、 w と飽和正規圧密粘土の非排水強さ τ との間には、塑性の領域をカバーする w の範囲について、 A 、 B を定数として

$$\log w = A \log \tau + B \quad \dots\dots\dots (3)$$

なる関係にあり、一方 p と τ の間には、 Q をコーン重量、 k を定数として飽和粘土の塑性の範囲についてカールソンの提唱する

$$\tau = kQ/p^2 \quad \dots\dots\dots (4)$$

の関係があるから、(3)、(4)式から τ を追い出すと

$$\log w = a \log p + b \quad \dots\dots\dots (5)$$

の形になって、 w と p は塑性の全域にわたって両対数表示で直線関係にあるはずである。

そうすると、 $I_L=0.17$ 点が左にずれたのは別の理由があってのことで、本来は直線にのるべき性質のものと考えてみる必要がある。まず粘土の物性との関係をしらべてみると、表-1の右端の欄は $I_L=0.17$ 点が偏倚した場合についてだけその左右の別を記したものであるが、 w_{LL} の大小と偏倚試料のあらわれかたには、とくに明りような相関はなさそうである。 PI の大小にしたがって試料をならべてみても同じである。ただ活性度とはなにがしかの関連がありそうであって、表-3はその根拠である。すなわち、全試料

表-3 活性度と偏倚の相関

傾 向 活性度	試 料 の 数		
	直 線	偏 倚	計
0.75>	6	9	15
0.75<	9	4	13
計	15	13	28

を活性度0.75を境にして二分し、それぞれの区分中で偏倚した試料の数をしらべてみると活性度の高い方に偏倚試料が偏在しているように見られる。もし、以下にのべる試料操作上の影響がまったくないと断定できれば、 w と p の相互関係を両対数表示であらわせるかどうかは、試料の活性度の大小にもなにがしかの関連がありそうである。

これも上記の物性の一つと考えられるが、試料を気乾に近い状態に乾燥したことの物性に与える影響である。このことについては、3.1の実験方法の項でのべたが、この影響はさほど大きくあるまい、とするのが筆者らの推定である。というのは、第一に、完全な気乾ではない上に、養生期間が約一ヵ月という十分な日数であったこと、第二に、気乾して加水したのは $I_L=0.17$ 点だけではなく、 $I_L=0.33$ 点や $I_L=0.5$ 点にもおよぶことがあったが、すでにのべたように、偏倚するのは、ほとんどの場合 $I_L=0.17$ 点だけで、これ以上の点におよぶことはまれであったということ、の二つを根拠とする。しかし、これは推定であって、たしかな証拠があるわけではない。

試料操作のうちで偏倚の原因となりそうなことのもう一つは、低含水比の試料を容器につめ込む際に、硬質塩化ビニールの棒でつき固めたことである。すなわち、つき固めによって粘土の強度を増し、コーンの貫入を減少させ、測定点を左に偏倚させたのではないかと、いうことである。図-2の1~5点がすべて正規圧密の状態にあれば、 $\log w \sim \log \tau$ の直線性から考えて、 $\log w \sim \log p$ も、塑性の全域にわたって直線を示すことは、まず間違いないと考えられるが、もし粘土がつき固めによって過圧密の状態になったとすれば、同一含水比でも過圧密状態の粘土の方が強度が大であるから、 p は小さく測定され、測点は左に偏倚するはずである。 $I_L=0.17$ 点については全試料を塩ビの棒でつき固めたのに、約半数の試料が偏倚しなかったのは、土質に差があるため、同じつき固めでも過圧密の程度が小さかったのではないかと、そのために、正規圧密の粘土とほとんど差のない強度を示し、 $\log w \sim \log p$ が直線にのったものと推定される。それから、 $I_L=0.33$ 点もいくつかの試料についてつき固めたわけであるが、これらの点は、すでにのべたように、ほとんど直線にのっている。これも、前者同様、 $I_L=0.17$ 点にくらべて高含水状態にあり、つき固めのために加えたエネルギーが小さかったために、過圧密の度が無視できる程度のものであったと推定するのである。本項については、今後とも研究を重ねる必要があると思っている。

偏倚の原因として考えられるもう一つのことは、前にもちょっとふれたように、 p の絶対量が小さすぎると測定が不確実になることがあげられる。このために、 p の小さい低含水比で偏倚したのではないかと、いうことである。このときの偏倚の方向は、左右いずれにも起こるはずであるのに、実験事実は左の偏倚が大半であることから、原因として有力ではない。こころみに、 $I_L=0.17$ 点の測定値の平均を、偏倚試料と直線試料に分けて計算してみると表-4のようになって、偏倚試料の p がとく

表-4 $I_L=0.17$ 点の平均貫入量 (mm)

試料	$I_L=0.17$ 点の平均貫入量		
	コーン重量 (グラム)		
	100	200	300
偏倚	2.06 (189)	3.13 (170)	4.05 (177)
直線	1.67 (153)	2.62 (143)	3.44 (151)

と、つまり、含水比が高く、貫入量が大きく、測定誤差の入り込む公算の少ないことを意味するが、偏倚試料はいずれも、直線試料より、大きい値を示している。したがって、 p の絶対量は、本実験の含水比の範囲では偏倚の原因ではないようである。

以上論じてきたことは、これを要するに、

1) この実験で取扱った範囲の含水状態で、 ω と p は、半対数表示よりも両対数表示の方がより直線的である。

2) しかし、この実験で採用した試料の操作方法では、両対数表示が、液性指数 $I_L=0.17$ の低含水比を含む場合、十分な程度に直線であるわけではない。少なくとも、第4報までの、 ω_{LL} だけを対象として、せまい含水比範囲について行なった半対数表示の直線性には劣る。

3) 両対数表示の場合、測点の偏倚は例外なく $I_L=0.17$ 点に起こり、 $I_L=0.33$ 以上の4点は、ほとんどの場合、直線をなしていた。

4) $I_L=0.17$ 点の偏倚の原因は明らかではないが、粘土の活性度に関係がありそうであり、また、試料の操作法、たとえば気乾、つきかため等が偏倚に寄与しているように考えられる。

4.2 基準貫入量の決定

基準貫入量 $\bar{p}_{LL}$, $\bar{p}_{PL}$ は、ある試料の $\omega \sim p$ 関係直線を求め、この直線とすでに求めてある JIS 法による ω_{LL} , ω_{PL} から p_{LL} , p_{PL} を定め、これを全試料について平均して求めるもので、第4報までに詳述してある。すでにのべたように、今までの ω_{CL} だけを対象とするときは、90°, 100 gr, 自由落下のコーンで 60 mm 径、30 mm 深の容器を使って $\bar{p}_{LL}$ は 10 mm 前後であった。このときの $\omega \sim p$ の関係は、半対数であって、 ω_{CL} をはさんで観測を行ない、 ω_{CL} は内ソウ (挿) による。つまり JIS 法と同じ手法である。

今回の測定結果は表-5 のようであって、両対数による処理であることはいままでのない。コーン重量 100 gr の $\bar{p}_{LL}$ が 10.6 mm と出たのは、前述の半対数、内ソウ法ときの 10 mm 前後に近い値であるが、 $\bar{p}_{PL}$ が 1.1 mm で第4報で 0.5 mm としたのとくらべて、大部の違いである。第4報は三つの土についての平均であ

に小さかったのではなく、むしろ逆である。また () の中の数字は、次項でべる基準貫入量 $\bar{p}_{PL}$ に対する平均貫入量の % を示したもので、この値が大きいほど、含水比が ω_{CP} から遠いこと

表-5 基準貫入量

項	目	コーン重量 (gr)	全体の平均 (mm)	標準偏差 (mm)	すべての観測値数 (28コのうち)	基準貫入量 (mm)
液性限界	$\bar{p}_{LL}$	100	11.14	2.04	7	10.6
		200	14.73	1.99	6	14.6
		300	17.30	2.23	7	17.6
塑性限界	$\bar{p}_{PL}$	100	1.28	0.56	4	1.1
		200	2.10	0.97	7	1.8
		300	2.63	1.13	4	2.3

るので、信頼性は今回の方が高いと考えられる。

表-5 の値を求めるときの操作を少し説明すると、まず、 $\log \omega \sim \log p$ の直線の設定には、 $I_L=0.17$ 点があれば、これを除外して残りの4点 (実際は、一つの含水比について原則として4回測定しているから 16 個) によって直線を定めた。この直線を双方に延長して ω_{LL} から p_{LL} を、 ω_{PL} から p_{PL} を求めるわけであるが、その測定結果の一例を 200 gr コーンについて示すと 図-6 のようである。まず全体の平均とその標準偏差を計算した。図の破線がそれである。そして点線からはみ出た値をすてて、残った測定値についてふたたび平均を求めたのが基準貫入量である。全体の平均と、重みつき平均としての基準貫入量との差は (a) 図にみるように $\bar{p}_{LL}$ の場合、きわめて小さく、ほとんど無視できる程度であるが、(b) 図の $\bar{p}_{PL}$ の方は少し大きく、測定値が標準偏差の間に一様に分布していないことを示している。これからみると、 $\bar{p}_{LL}$ はよいとして、 $\bar{p}_{PL}$ は、 p_{PL} の数をふやして、多くのデータからきめる必要がある。なお、(a), (b) 両図についてみると点群の分布は、 ω_{LL} や ω_{PL} の大小にはほとんど無関係のように考えられる。

かりに、この液性塑性両限界の同時測定法で、フォー ルコーン法による液性限界 ω_{CL} , および同法による塑性

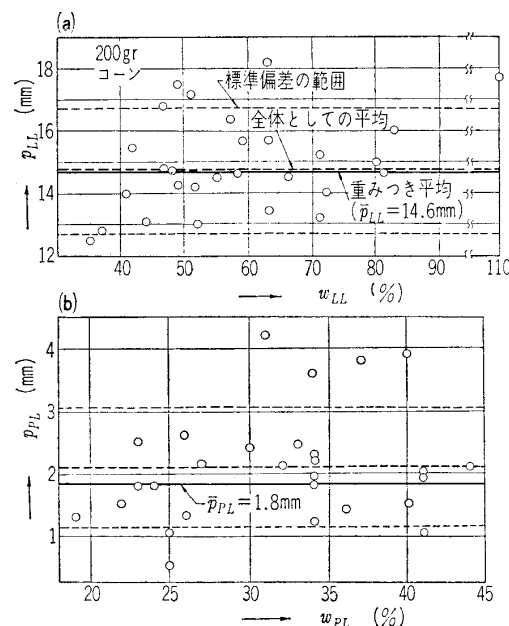


図-6 基準貫入量の決定

限界 ω_{CP} をきめるとするならば、コーン重量 200 gr の場合基準貫入量は液性限界に対して 15 mm 弱、塑性限界に対して 2 mm 前後ということになる。

4.3 測定法の精度

ω_{LL} と ω_{CL} および ω_{PL} と ω_{CP} の相関係数が 1 に近いほど、ここで提案する同時測定法は JIS 法にかわって信頼度の高い限界値を与えることになる。

すなわち、すべての試料について $\omega_{LL}=\omega_{CL}$ であり、 $\omega_{PL}=\omega_{CP}$ であれば相関係数は 1 となるから、同時測定法は JIS 法とまったく同じ結果を与える。表—6 は相関係数である。 ω_{CL} 、 ω_{CP} をきめするための基準貫入量は表—5 に示す $\bar{p}_{LL}$ 、 $\bar{p}_{PL}$ である。表—6 の 100※ は 100 gr の $\bar{p}_{LL}$ を 10.6 mm でなくて 10.0 mm としたときの相関係数である。

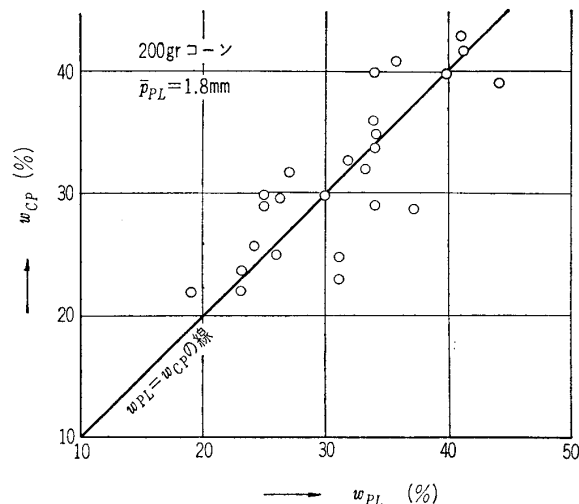
表—6 相関係数

	コーン重量 (gr)	相関係数
ω_{LL} と ω_{CL}	100	0.988
	200	0.990
	300	0.968
ω_{CL} と ω_{CP}	100※	0.987
	200	0.857
	300	0.818
ω_{PL} と ω_{CP}	100	0.857
	200	0.818
	300	0.826

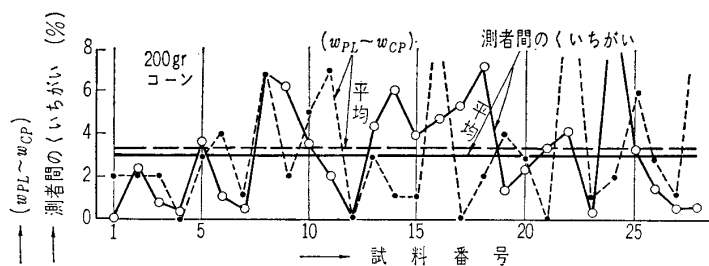
表—6 によるときは、 ω_{LL} と ω_{CL} の相関は非常によく、また 100 gr の $\bar{p}_{LL}$ に 10.6 mm をとっても 10.0 mm をとっても、結果にはほとんど差のないことがわかる。他方、 ω_{CP} の方は、 ω_{CL} にくらべて相関が劣る。しかし、劣るといっても比較的の意味で実際にはさほどではない。たとえば、200 gr コーンの ω_{CP} について $(\omega_{PL}\sim\omega_{CP})/\omega_{PL}$ を計算してみると表—7 のようになる。つまり、試料土総数の 60% は 10% 以下のくい違いでおさまっているということだから、まずまずという

表—7 $(\omega_{PL}\sim\omega_{CP})/\omega_{PL}$ のひん度 (200 gr コーン)

$\frac{\omega_{PL}\sim\omega_{CP}}{\omega_{PL}}(\%)$	左の区分に入る試料数	全試料に対する割合
0~10	16個	57 %
11~20	7	25
21~30	5	18



図—7 ω_{PL} と ω_{CP} の相関 (200 gr コーン)



図—8

ところである。これを図にかいてみると図—7 のようになる。

少し違った比較の仕方をしてみるとつぎのようなこともできる。 ω_{PL} は、かならず 2 人以上の測者によって測定されているから、一つの試料についての二者の測定値にはくい違いが生ずる。これを試料別にかいたのが図—8 の実線であって、その平均は 3 % である。一方 200 gr コーンについて求めた ω_{CP} と、上記 ω_{PL} (の平均) とのくい違いをプロットしたのが同図の破線であって、その平均は 3.3 % で、測者間のくい違いの平均とほとんど同じである。つまり、JIS 法にしたがって 2 人の測者が別々に ω_{PL} をはかり、その平均によって ω_{PL} をきめるときのくい違いの程度は、こうしてきめた ω_{PL} と ω_{CP} とのくい違いの程度と大差がないということである。

以上のような検討の結果から液性限界についてはまったく問題なく同時測定法が適用でき、塑性限界についてもまずまず可能であると結論するわけであるが、実は上記で計算したような相関係数によってこれを証拠づけるのは決して完全ではない。というのは、 $\bar{p}_{LL}$ にしても $\bar{p}_{PL}$ にしても、これをきめたのは ω_{LL} 、 ω_{PL} を材料にしているのだから、 $\bar{p}_{LL}$ からきめた ω_{CP} と ω_{LL} 、 $\bar{p}_{PL}$ からきめた ω_{CP} と ω_{PL} が相関するのは当然のことなわけである。ただ比較の問題としては有効なことは間違いない。個人誤差による比較は、これとはまったく異質のものだから有効な方法と考えられる。

以上要するに、ここに提唱する同時測定法によれば、液性限界はまず間違いなく決定することができるが、塑性限界についてはまだ完全とはいえないところがあるので、データの積み重ねを必要とする、ということになる。

4.4 コーン重量と貫入量の関係

コーン重量を Q とするとき、同一状態の試料について異なる Q_i 、 Q_j で貫入試験を行ない p_i 、 p_j が得られた場合、実験的に $p_j/p_i = \sqrt{Q_j/Q_i}$ なる関係のあることを第 4 報でのべた。今回の実験について液性と塑性に区別してこの値を計算してみると表—8 のようになる。 p_j/p_i は個々の試料土の p についての比を 28 個の土について計算し平均したものであり、 $\bar{p}_j/\bar{p}_i$ は基準貫入量

表-8 Q と p の関係

	Q_j/Q_i	p_j/p_i	$\bar{p}_j/\bar{p}_i$	$\sqrt{Q_j/Q_i}$
液性	200/100	1.35	1.37	1.41
	300/100	1.59	1.65	1.73
	300/200	1.18	1.19	1.22
塑性	200/100	1.65	1.68	1.41
	300/100	2.07	2.10	1.73
	300/200	1.28	1.25	1.22

の比である。両者の間にはほとんど差がない。

この表をみると、液性の方は大体において第4報で示した関係を満足している

が、塑性では 300/200 をのぞいては妥当な値とはいえない。この原因を考えてみると、塑性限界の近くで 100 gr の p が総体的に小さすぎたために、 p_j/p_i が大きく計算されたのではないかと考えられる。つまり $\log \omega \sim \log p$ の直線において、100 gr の場合 $I_L=0.17$ 点の左への偏倚がとくに多発したために、直線が ω_{LL} を中心にして回転しこう配がゆるくなった、ということである。 ω_{LL} を中心にして、というのは液性における p_j/p_i の比率がほぼ満足すべきものであることから推定するものであり、結局 100 gr の p_{PL} が過小に測定されたことは間違いないことのようにである。このことから、コーン重量として採用すべきものから、まず 100 gr は除外してよいことが分る。

前述の Q と p の関係はカールソンの式 (4) から容易に誘導できるものであるが、この関係からある重さのコーンによる貫入量を別の重さのコーンによる貫入量に換算できる理である。それで、はじめは $\log \omega \sim \log p$ の直線を得るために2つの Q を使うことを考えた。しかしこれは以上の実験事実から換算が確実でないことがわかったため、一本の直線を2つの Q で求めようとする初期の考えは放棄するようになった。つまり、たとえば低含水状態では貫入量を多くするために 300 gr コーンを使い、高含水状態で 200 gr コーンを使って、300 gr の p を 200 gr のそれに換算して一つの直線とすることを考えたのであるが、一つの Q による $\log \omega \sim \log p$ の直線でさえもなかなかキレイに出てくれないのであるから、異なる重さのコーンから換算によって一つの直線を得ることは無理であることがわかったわけである。

この項での結論は、 $\log \omega \sim \log p$ の直線を得るための妥当なコーン重量は 200 gr か 300 gr である、ことと Q と p の関係がほぼ満足なものであったことから、逆にカールソンの (4) 式がほぼ間違いないことがわかった、ということである。

5. 結 言

4つの実験目的については、それぞれの項において結論らしいものをかいてきたが、もう一度要点だけをかいてみると

1) ω と p の相互関係は、両対数表示の方が半対数表示よりもより直線的である。

2) 低含水比で $\log \omega \sim \log p$ の直線が左に偏倚する場合がある。

3) 2)の原因は明らかでないが、粘土の活性度とか、試料の操作法に関係がありそうである。

4) 実用的には、 $\log \omega \sim \log p$ がまちがいに直線をなす液性指数の範囲をきめる必要がある。この実験では 0.16 と 0.33 の間に下限があることを示している。

5) 基準貫入量としては液性限界に対しては、まず間違いのない値が得られたが、塑性限界についてはデータ不足である。

6) 本文で提唱する液性塑性両限界の同時測定法は、精度的に JIS 法にならぶものと考えられる。

7) コーン重量と貫入量との関係は、カールソンの式から誘導される関係とほぼ一致した。

8) コーン重量として 100 gr は不適当のようである。

6. 謝 辞

この実験は、川尻 侑、矢野 彰両君が昭和 43 年度卒業論文として実施したものの一部をとりまとめたものである。また試料土の入手については北海道開発局、北海道札幌土木現業所、札幌市役所の関係部局の方々をわずらわした。あわせて深じんの謝意を表するものである。

文 献

- 1) 北郷；液性限界測定法に関する実験，土と基礎，Vol. 13, No. 9, 1965
- 2) 北郷，益田，平間；液性限界測定法に関する実験的研究（第2報）土質工学会北海道支部技術報告資料，7号，1967
- 3) 北郷，益田，佐野；液性限界測定法に関する実験的研究（第3報），土と基礎，Vol. 15, No. 12, 1967
- 4) 北郷，佐藤；液性限界測定法に関する実験的研究（第4報），土と基礎，Vol. 17, No. 9, 1969

（原稿受付. 19）

※

※

※