

液性限界の再現性について[※]

小林 哲 夫^{※※}

Tetsuo KOBAYASHI
Reproducibility of Liquid Limit

同一試料土の液性限界測定値も (イ)試料の乾燥状態、(ロ)注水要領、(ハ)水和時間、(ニ)練り合わせ要領、また(ホ)試料の温度などの影響を受けて変動することが報告されている⁽³⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。変動因の中には規格を定めることにより除去されうるものと、その困難なもの、不可能なものがある。上にあげた(イ)―(ホ)は、わが国における土の液性限界試験に関する規格 JIS A 1205 が厳密に規定し得ないでいる変動因の例である。

当然同一規格のもとでの測定値も変動をまぬがれ得ない。その変動性を二つに分けると、一つは繰り返し性であり、他は再現性である。一般に再現性の因子としては①時、②場、そして③試験者 (*human factor*) が考えられる。たとえば、上の液性限界の変動因(イ)、(ホ)による変動はおもに因子①、②による変動性の中に現われるであろう。

性格上、塑性限界と共に液性限界はその再現性をしばしば疑問視されており、それについての検討もわずかながらなされている⁽¹⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾。しかし、試験者の経験量の効果に対する見解などにおのおの矛盾する点が見えるなど、資料不十分の感じはまぬがれ得ない。

ここでは、土の液性限界試験に関する規格 JIS A

1205 に加えて上にあげた変動因を可能な限り管理する目的で付則を準備し、また因子③の効果 (以後は *human factor* の要因効果と呼ぶ。) にのみ注目して液性限界の再現性における可能性、ならびに試料土の種類と再現性・繰り返し性との関係を検討した。

試料土

試料土は松江市周辺で採土した23種より5種 (No.1° -5°) を任意抽出した。粒径加積曲線を Fig. 1 に、またそれらの土の分類資料を Tab. 1 に示す。

試験方法および実験計画

実験が長期にわたるため試料の乾燥状態が変動因とならぬよう、含水量がほぼ不変一定とみなせるまで十分空気乾燥した。最終的な含水量は試料土により異なるが、5%から12%程度であった。(採土以来およそ2か月を要す。)

試験方法はおおむね JIS A 1205 に従ったが、さらに次の付則を準備して可能な限り変動因を管理することを試みた。

付 則

JIS A 1205 3.2 試料⁽²⁾の項を次のように修正補足して操作を行なうものとする。

3.2.1……約100gをとる。→……100gをとる。

3.2.2 試料を蒸発皿に入れ、蒸留水を所定量加えてわずかに練り合わせてから板 (合成樹脂) 上に移し、所定の速^{※※}で5分間練り合わせ、蒸発を防ぎながら30分間放置する。

3.2.3 以後の注水・練り合わせ要領は2cc注水3分間練り合わせを標準とし、落下回数を得るに際してはさらに5分間練り合わせる。これらの操作は終始板上で行なう。

* 試料が一つの固まりとなり練り合わせることできる最小注水量。(同じ試料土については一定量。)

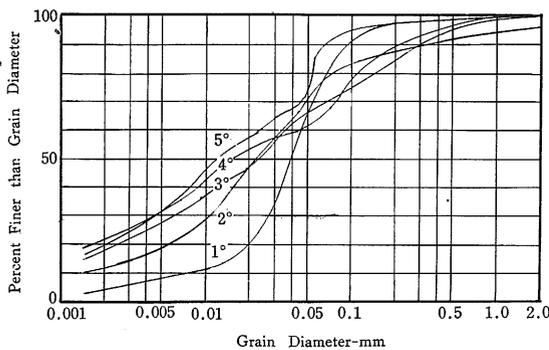


Fig. 1 Grain size distribution curves.

※ 昭和44年5月農業土木学会大会で概要講演
※※ 農地工学研究室

Tab. 1 Soil classification.

Sample No.	Passing 74 μ Sieve (%)	Liquid Limit	Plastic Limit	Plasticity Index	AASHO Group Classification	Group Index
1°	82	50.7	19.5	31.2	A-7-6	18
2°	80	109.3	49.8	59.5	A-7-5	20
3°	70	69.1	41.1	28.0	A-7-5	17
4°	66	81.9	36.3	45.6	A-7-5	17
5°	93	63.8	36.8	27.0	A-7-5	19

Tab. 2 Liquid limit determinations.

Sample No.	Operator					Sbmlpe No.	Operator					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	
1°	52.1	52.8	52.9	48.4	52.1	Mean	69.1	68.8	71.3	68.8	66.8	69.0
	51.7	51.6	50.2	47.4	50.6	Min.	57.3	69.0	70.7	69.3	67.2	68.6
	52.2	52.0	49.8	48.0	51.8			68.5	70.6	70.8	57.3	69.4
Max.	53.2	52.1	52.7	51.5	48.4	50.2		67.0	71.6	70.3	64.2	68.0
Mean	50.7	50.6	51.1	50.3	48.6	51.0	4°	81.7	89.2	80.6	81.5	84.7
Min.	47.2	53.2	50.5	51.0	47.6	50.7		83.3	79.3	81.4	77.8	84.5
		51.6	51.7	49.8	47.2	50.4		81.3	87.0	74.6	76.8	83.7
		53.0	50.6	50.7	47.5	50.7	Max.	89.2	82.2	87.7	79.9	76.7
2°	119.0	119.8	108.1	109.1	114.0	Mean	81.9	83.9	82.1	79.8	76.5	84.8
	117.0	114.2	111.0	109.7	108.7	Min.	74.5	87.0	87.2	74.5	76.2	84.7
	112.6	116.0	109.1	104.6	107.6			85.3	88.3	76.4	79.2	83.1
Max.	119.8	114.3	113.1	104.6	103.1	111.0		84.1	79.2	80.5	80.6	83.3
Mean	109.3	111.3	108.3	105.4	99.6	113.9	5°	62.2	69.8	63.1	60.6	66.5
Min.	97.5	105.1	108.6	105.8	102.7	112.7		63.7	66.5	63.4	60.8	67.7
		109.6	107.3	102.1	97.5	112.8		63.5	68.7	61.8	62.0	64.2
		99.0	115.9	107.0	104.4	108.1	Max.	69.8	62.6	64.7	62.5	61.0
3°	68.9	72.1	70.4	65.2	71.2	Mean	63.8	64.0	63.6	62.4	60.7	64.6
	68.8	72.2	66.9	67.6	69.8	Min.	59.8	62.2	69.4	59.8	59.9	66.0
	71.0	71.6	68.2	67.9	69.0			65.2	69.8	61.9	60.7	63.2
Max.	72.2	71.5	70.5	68.6	67.4	69.5		65.7	66.6	63.6	59.8	61.6

Tab. 3 Analysis of variance.

Source of variation	Degrees of Freedom	Mean Square	Average Mean Square
Between operators.....	$k-1$ [4]**	$u_A^2 = \frac{n \sum_i (\bar{x}_{i.} - \bar{x}_{..})^2}{k-1}$	$E\{u_A^2\} = \sigma^2 + n(\sigma_u^2 + \sigma_\alpha^2)$
Within.....	$(n-1)k$ [35]	$u^2 = \frac{\sum_i \sum_j (x_{ij} - \bar{x}_{i.})^2}{(n-1)k}$	$E\{u^2\} = \sigma^2$

* $\sigma_\alpha^2 = (k-1)^{-1} \sum_{i=1}^k \alpha_i^2$, $\bar{x}_{i.} = n^{-1} \sum_{j=1}^n x_{ij}$, and $\bar{x}_{..} = k^{-1} \sum_{i=1}^k \bar{x}_{i.}$.

** Numbers in brackets are calculated values.

** 練り合わせ速さとはヘラを動かす速さをいい、1分間60回を標準とする。

この付則は、各種報告⁽³⁾⁽⁶⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾に見られる効果の面と実際に試験してみでの便宜の面とを考慮して作成した。

試験者は農地工学専攻生5名で、本試験に先だち上記規格ならびに付則にもづく土の液性限界試験に十分習熟した。そして、各々試料土1°より順次測定を行ない約1か月で終了した。

また、*human factor* の要因効果を抽出したあとの残差が確率変数で表わされる偶然変動とみなせるよう無作為化を心がけたが、煩雑に過ぎるため放棄せざるを得ない点も多多存在したことを付記する。

試験結果および推測

各試験者(1-5)は各試料土(1°-5°)につきそれぞれ8個の測定値 x_{ij} ($i=1\dots5, j=1\dots8$)を得た。それらを Tab. 2 に示す。

x_{ij} は次のような構造模型で表現されるものとする。

$$x_{ij} = m + a_i + z_{ij}$$

$$i=1\dots k, j=1\dots n$$

(ここでは $k=5, n=8$)

ここに、次の仮定を前提条件として設ける⁽⁴⁾。

1) $\{a_i\}$ は *human factor* の要因効果で、 $NH(k-1; a_i, (k-1)k^{-1}\sigma_a^2)$ をつくる。したがって、

$$\sum_{i=1}^k a_i = 0, \sum_{i=1}^k \alpha_i = 0.$$

2) $\{z_{ij}\}$ は無作為化された諸原因による測定値の変動で、 $NID(0, \sigma^2)$ に従う。

3) $\{a_i\}$ と $\{z_{ij}\}$ は相互組間で独立である。

* 自由度 $k-1$ の NH 確率変数系。

** 相互に独立な正規分布。

この模型に関する分散分析を Tab. 3 に示す。

ここで帰無仮説 $H_0: \sigma_a^2 + \sigma_z^2 = 0$ の検定を行なう (Tab. 3 参照)。この仮説 H_0 は、*human factor* の要因効果 a_i の母平均値 α_i そのものの分散と要因効果の分散の和が0であることを意味している。*human factor* の要因効果が母数で表わされると考えるならば、すなわち $\sigma_a^2 = 0$ であるならば、仮説 H_0 は *human factor* の要因効果が存在しないことを意味する。この検定には $F = u_1^2 / u^2$ を用いる。すなわち H_0 が真である時には $\sigma_a^2 = 0, \sigma_z^2 = 0$ であるから F は自由度対 $[k-1, k(n-1)]$ 、偏心率0の F 分布に従うことになり、いわゆる F -検定が行ない得ることになる。 F の計算値を Tab. 4 に示す。ここでは $k=5, n=8$ であるから F

Tab. 4 "F" values.

Sample No.	Liquid Limit (Avg.)	u_1^2	u^2	F
1°	50.7	21.35	0.647	33.0*
2°	109.3	87.75	21.66	4.1*
3°	69.1	21.52	1.36	15.8*
4°	81.9	87.70	6.72	13.1*
5°	63.8	51.13	2.64	19.4*

*Significant at the 1 percent level.

(4, 35, 0.01)=3.87 となり、全ての試料土に関して有意水準0.01でこの仮説 H_0 の検定は有意であることが明らかとなる。

F 値と液性限界平均値との関係 (Tab. 4 参照) ならびに試験者内標準偏差と液性限界平均値との関係 (Fig. 2 参照) を対比すると興味深い傾向を見ることが出来る。すなわち、液性限界の上昇に伴い繰返し性は貧弱化するのに対し、仮説 H_0 が真である可能性は増加する。このことは、液性限界の上昇と共にその再現性の乏しさが貧弱化する繰返し性の中へ埋没して行くことを意味しているものと思われる。

ある時、ある所で、ある試験者が測定した液性限界値に対して、どの程度のバラツキを見込んでおかなければならないかという実際的な問題に対しては、液性限界の高い土により大きなバラツキを見込むべきであるという

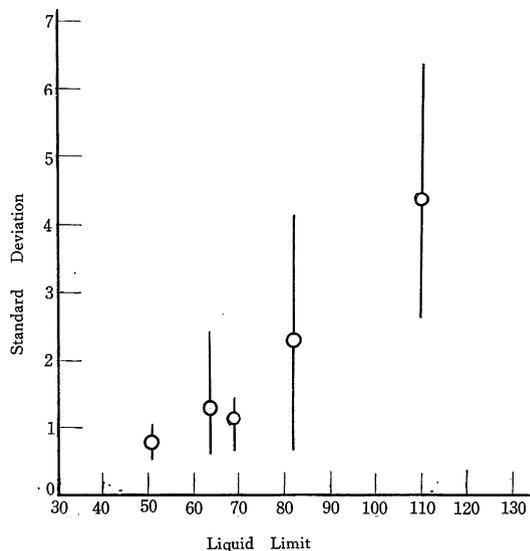


Fig. 2 Operator standard deviation versus liquid limit (Avg.).

答えが適当であろう。それは各試料土に関する40個の測定値の中の最大値と最小値の差を見ても予想できる。たとえば (Tab. 2 参照), 液性限界平均値50.7%の試料土1°においてそれは6%にすぎないのに対し, 109.3%の2°においては22.3%にもなる。

要 約

液性限界の再現性を検討するために5種の自然土が準備され, 5名の試験者がおのおのの試料土につきそれぞれ8個の測定値を得た。

液性限界の繰り返し性は限界の上昇と共に貧弱化するのに対し, 再現性はほとんど変化しない。そこで, 液性限界が上昇するに伴いその再現性は貧弱な繰り返し性の中へ消散すると考えて良いと思われる。

謝 辞

試験者として本実験に参加した農地工学専攻生 齋藤孝雄 (現・茨城県), 林正憲 (現・スエヒロプロイラー), 福本博志 (現・大東建設), 前田一男 (現・高山総合工業), 加えてデータ処理も担当した 谷本義久 (現・三重県) 諸氏の労をねぎらい, 終始お励まし下さった農業工学科の諸先生に感謝申し上げます。

参 考 文 献

1. Ballard, G. E. H., and Weeks, W. F.: *Materials Research & Standards* **3** (9): 726-729, 1963
2. 土質工学会試験法改訂委員会: 土質試験法 1964 土質工学会, 東京 p. 77
3. 神山光男: 土と基礎 **7** (1): 44-47, 1959
4. 北川敏男: 実験計画法講義 I 1955 培風館, 東京 p. 233
5. Liu, T. K., and Thornburn, T. M.: *Highw. Res. Rec.* **63**: 22-30, 1964
6. 松本鍊三: 土と基礎 **3** (12): 22-27, 1955
7. 小椋正澄: 農業土木学会大会講演要旨: 195-196, 1969
8. Shook J. F., and Fang, H. Y.: *HRB Highw. Res. Abs.* **31** (9): 26-28, 1961
9. 内田一郎, 松本鍊三: 土木学会誌 **38** (1): 9-14, 1953
10. Winslow, J. D., and Gates, G. R.: *Matetials Research & Standards* **3** (3): 205-210, 1963
11. 安富六郎: 第11回土質工学シンポジウム論文集: 69-72, 1966

Summary

To investigate the reproducibility of the liquid limit, five natural soils were prepared and five operators determined eight liquid limits for each soil, respectively.

The repeatability of the liquid limit becomes poorer with the increase of the limit, while its reproducibility is scarcely changed, so it seems reasonable to expect the reproducibility of the liquid limit to disappear in the poor repeatability as the limit increases.