

# 土の液性限界・塑性限界試験

大賀 雅則\*

\* OOGA Masanori、報国エンジニアリング株式会社 技術部 大阪府豊中市大黒町 3-5-26

## 1. はじめに

今回紹介する「土の液性限界・塑性限界試験」は、土の判別分類に大変重要な役割を果たしている。本試験はJIS A 1205に規定されており、425  $\mu\text{m}$ ふるいを通過した土の液性限界、塑性限界および塑性指数を求める物理試験である。本稿では、「土の液性限界・塑性限界試験」について、試験方法と結果の利用方法について述べる。

一般的に、土質材料の工学的分類区分は粗粒土と細粒土に分類される。(図-1)

細粒土は含水量の大小により硬軟の程度が異なり、特に粘土やシルトなどの細粒土では含水量の大小によって練返した時、その性質と挙動が著しく変化する。このように、練返した細粒土の性状は含水量の変化に伴って、ドロドロした液体状、ネバネバした塑性体状、ボロボロとした半固体状、さらにカチカチの固体状になる。

このような土の含水量の変化による状態の変化や変形に対する抵抗の大きさを総称してコンシステンシーという。

細粒土の分類には「土の液性限界・塑性限界試験方法」で得られるコンシステンシー特性を用いて分類する。この

コンシステンシー特性は、土を工学的に分類し、材料土としての判別に役立つ。練返した細粒土のそれらの状態の変化する境界の含水比をそれぞれ液性限界、塑性限界または収縮限界と呼び、これらを総称してコンシステンシー限界といい、以下のように定義されている。<sup>2)</sup>

- ① 液性限界 $w_L$  (%) : 土が塑性体から液状に移るときの境界の含水比
- ② 塑性限界 $w_p$  (%) : 土が塑性状から半固体状に移るときの境界の含水比
- ③ 収縮限界 $w_s$  (%) : 土の含水比をある量以下に減じてもその体積が減少しない状態の含水比

以上の三つの含水比は、総称してコンシステンシー限界、またはアッターベルグ限界ともいわれる。図-2に含水比の変化に伴う土の状態変化とコンシステンシー限界およびそれに関連した土の状態量である液性指数 $I_L$ を示す。また、液性限界と塑性限界の差(塑性指数 $I_p = w_L - w_p$ )は粘土分が多く含まれる場合に大きな値を示し、液状化判定などに用いられる。

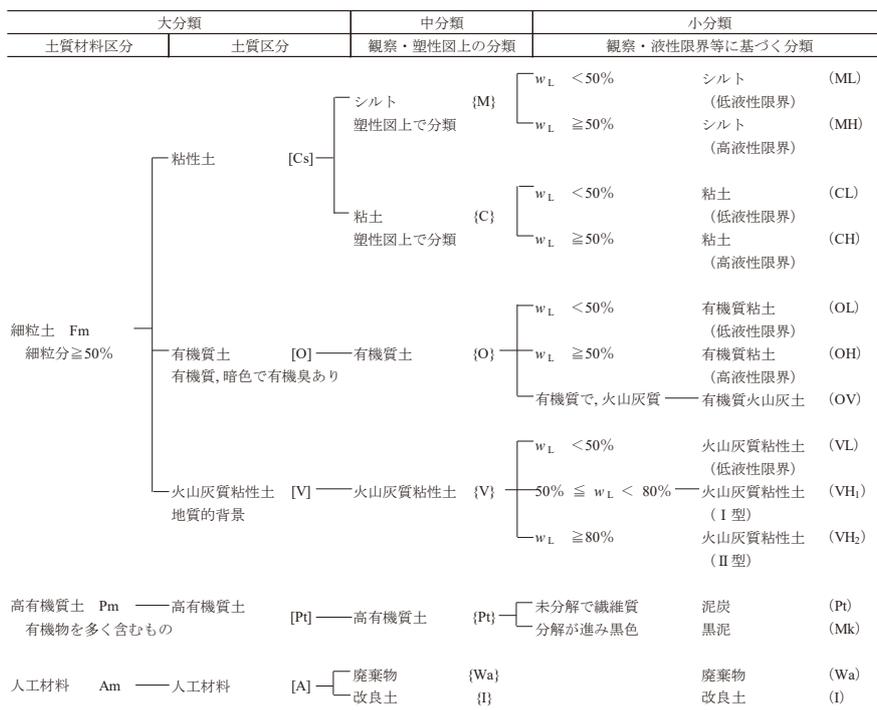


図-1 土質材料の工学的分類体系 <sup>1)</sup> 一部修正・加筆

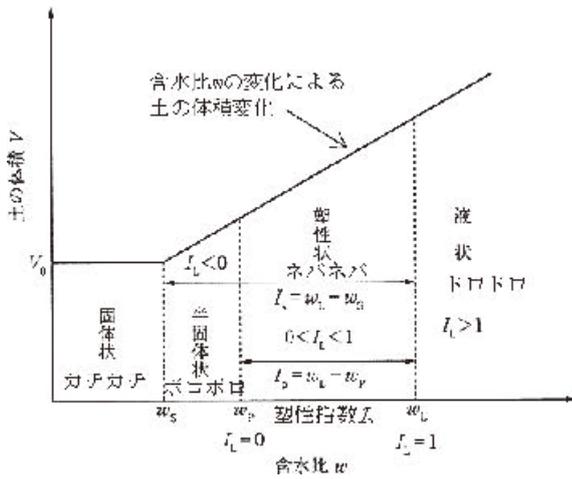


図-2 土の状態変化とコンシステンシー限界、液性指数

## 2. 試験概要

### 2.1 試験方法の概略

#### ① 液性限界試験

試料を入れた黄銅皿を1 cmの高さから1秒間に2回の割合で落下させ、二分した溝の底部が長さ1.5cmにわたり合流するときの含水比を求める。落下回数10~25回のもを2個、25~35回のもを2個得られるようにする。落下回数と含水比を対数グラフにとり、落下回数25回に相当する含水比を液性限界 $w_L$  (%)とする。(図-3、写真-1)

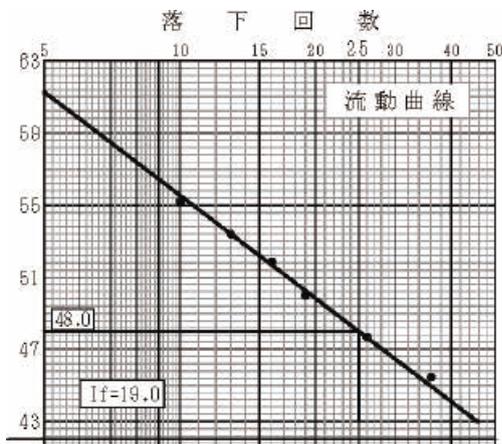


図-3 液性限界試験結果例



写真-1 液性限界試験

#### ② 塑性限界試験

練り合せた試料の塊を、手のひらとすりガラス板との間で転がしながら直径3 mmのひも状にする。この土の塊が直径3 mmになったとき、再び塊にしてこの操作を繰り返す。やがて土の水分が抜けてひもが切れ切れになったとき、その部分の土を集めて含水比を求める。これを塑性限界 $w_p$  (%)とする。(写真-2)

### 2.2 結果の利用

#### ① 塑性図

液性限界、塑性限界および塑性指数から、土の物理的性質を推定することや、塑性図を用いた土の分類などに利用される。

試験結果は土質材料の粗粒土に含まれる細粒分がシルトか、粘性土かを判別するために塑性図にプロットして細分類に利用される。図-4のように、粘性土はシルト{M}と粘土{C}に中分類される。さらに、液性限界( $w_L$ )50%未満と50%以上によって、シルトは低液性限界のシルト(ML)と高液性限界のシルト(MH)に分類される。また、粘性土も、低液性限界の粘土(CL)と高液性限界の粘土(MH)にそれぞれ小分類される。

また、全国的に集めた試料による液性・塑性限界試験結果から塑性図上にプロットしたものを図-5に示す。

#### ② 液性限界と圧縮指数の関係

液性限界・塑性限界試験結果は、土の工学的分類のほかにも物理的特性や力学的特性との相関性などが対比され利用されている。特に圧縮指数( $C_c$ )との関係はSkempton(スケンプトン)によって関係式が提案されており、この関係について多くの報告がある(図-6)。

#### ③ 液性限界と含水比の関係

液性限界は含水比 $w$ とも良い相関が得られており、海成粘土の例を図-7に示す。平均的には $w_L = 1.1w$ の関係が認められるので含水比がわかれば液性限界 $w_L$ を概略的に求めることが可能である。

#### ④ 液性限界と自然含水比の関係

液性限界( $w_L$ )と自然含水比( $w_n$ )との相関は図-8により、いずれの土質においても $w_L = 0.5 \sim 2.0 \cdot w_n$ の範囲にあるが、 $w_n \leq w_L$ のものが多い。ただし、自然含



写真-2 塑性限界試験

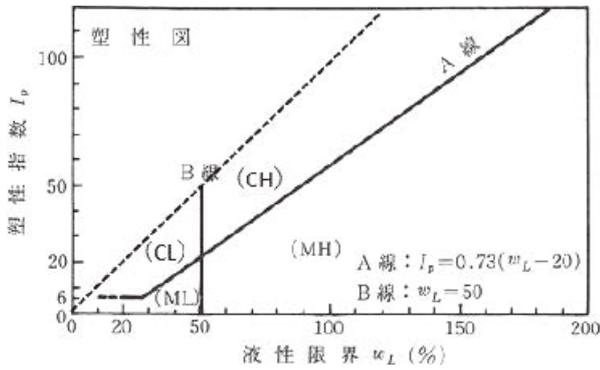


図-4 塑性図

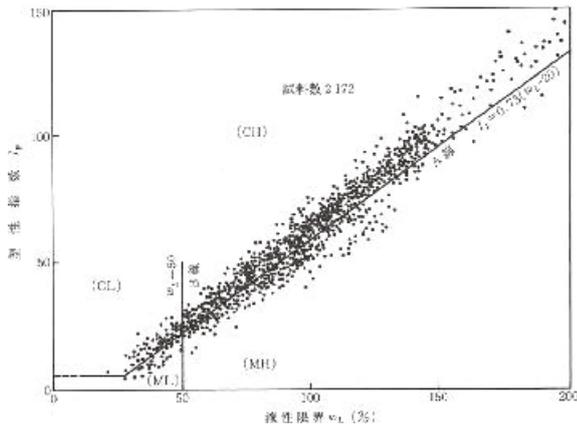


図-5 塑性図 (海成粘性土全試料)

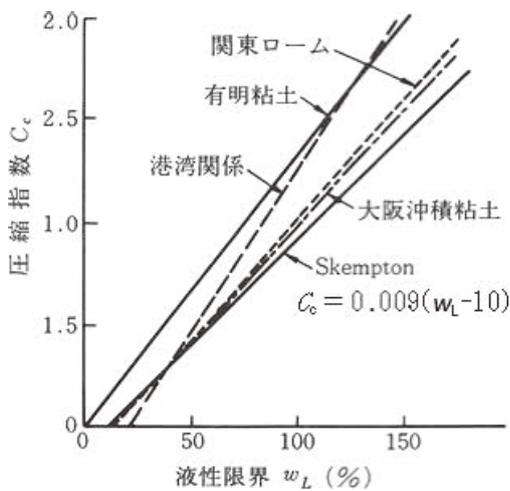


図-6 液性限界と圧縮指数の関係

水比  $w_n = 100 \sim 150\%$  程度の粘土 {C} は、 $w_n > w_L$  のものがやや多い。

塑性限界 ( $w_p$ ) についても自然含水比 ( $w_n$ ) との相関性があり、塑性限界は、自然含水比  $w_n$  の  $0.5 \sim 0.9$  倍の範囲に分布するものが多い。ただし、自然含水比が  $100\%$  以上となる粘土 {C} や高有機質土 (Pt)、(Mk)、有機質土 {O} は  $w_p = 0.2 \sim 0.6 \cdot w_n$  の範囲に分布するものが多い。

液性限界と塑性限界との関係は、液性限界が  $w_L \leq 100\%$  のものは、 $w_p = 0.5 \cdot w_L$  の相関を示すものが多く、

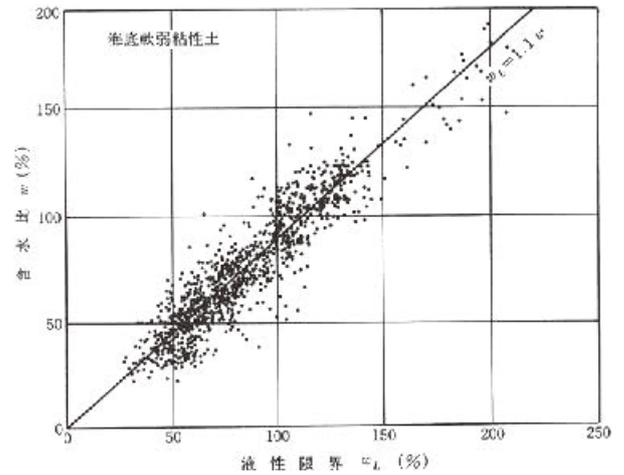


図-7 液性限界と含水比の相関図

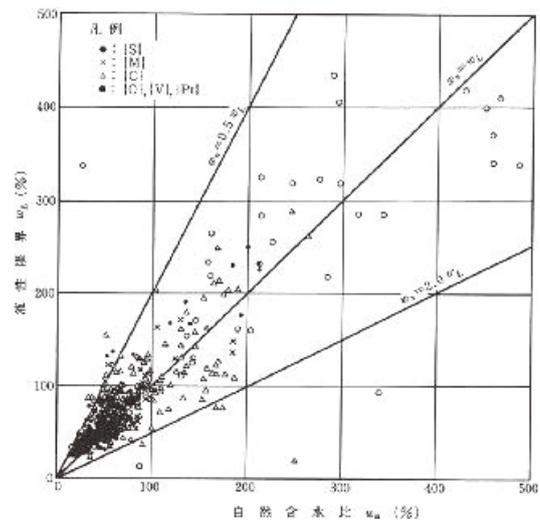


図-8 液性限界と自然含水比の関係

$w_L > 100\%$  のものは、 $w_p = 0.4 \cdot w_L$  の相関を示すものが多い。

なお、海底軟弱粘性土の自然含水比と液性限界の関係は、図-7 に示しているので参考にされたい。

### 2.3 結果の目安

#### ① 各種土質定数の範囲の例

設計に使用する土性値のうち、地盤土の工学的分類に対する各種土質定数の範囲の例を示す (表-1)。

表-1 地盤土の工学的分類と土質定数の例

分類記号	[S]	{M}	{C}	{O}{V}{Pt}
自然含水比 $w_n$ (%)	30~60	30~180	25~200	40~1000
湿潤密度 $\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.5~2.0	1.2~1.5	1.2~1.8	1.0~1.3
土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.5~2.8	2.6~2.7	2.5~2.8	1.7~2.7
液性限界 $w_L$ (%)	20~60	40~100	20~180	40~500
塑性限界 $w_p$ (%)	20~80	40~100	20~180	30~350
間隙比 $e$	0.5~1.5	1.0~3.0	1.0~5.0	1.0~20.0
一軸圧縮強さ $q_u$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	0.1~1.6	0.2~1.2	0.1~1.2	0.1~0.5
{kPa}	9.8~157	19.6~118	9.8~118	9.8~49.1
圧縮指数 $C_c$	0.3~3.0	0.4~1.4	0.4~2.4	0.4~4.8

内陸の軟弱地盤土

※分類記号について [S]: 砂質土、その他、図-1 参照

## ② コンシステンシー指数 $I_c$

自然含水比、液性限界、塑性限界、塑性指数 ( $I_p = w_L - w_p$ ) を用いてコンシステンシー指数を定義し、粘性土の流動性に対する抵抗性や力学的安定性を推定できる。

コンシステンシー指数は  $I_c = (w_L - w_n) / I_p$  で定義され、 $I_c$  が 0 に近ければ自然含水比≒液性限界であり、このような土を乱せば著しく不安定化する危険性のあることを示す。また、 $I_c$  が 1 またはそれ以上を示せば、自然含水比≒塑性限界もしくは自然含水比<塑性限界であり、安定した状態にあることが推察される。

また、自然含水比は一般に液性限界と塑性限界の間に存在している。

## ③ 液状化判定

建築基礎構造設計指針<sup>3)</sup>によると、液状化の判定を行う必要がある飽和土層は、一般に地表面から20m程度で浅い沖積層で、考慮すべき土の種類は、細粒分含有率が35%以下の土とする。ただし、埋土地盤など人工造成地盤では、細粒分含有率が35%以上の低塑性シルト、液性限界に近い含水比を持ったシルトなどが液状化した事例も報告されているので、粘土分(0.005mm以下の粒径を持つ土粒子)含有率が10%以下、または塑性指数が15%以下の埋立あるいは盛土地盤については液状化の検討を行う。細粒土を含む礫や透水性の低い土層に囲まれた礫は液状化の可能性が否定できないので、そのような場合にも液状化の検討を行うこととある。他指針も同様の内容で記載されていることが多く、まとめると以下の表-2 となる。

この考え方によって細粒分含有率 $F_c$ が35%を超える層を判定対象とするか否かを決定するためには粘土分含有率または塑性指数の確認が必要となる。粘土分含有率は住協だより2019年vol.16にて室内土質試験法とその留意点(連載)で紹介された「土の粒度試験方法 JIS A 1204」により沈降分析を行って0.005mm (=5 $\mu$ m) 未満の粘土分を確認するか、本編の「土の液性限界・塑性限界試験」により、塑性指数を求める必要がある。

## 3. 留意点

砂や礫などの粗粒子の工学的性質や挙動に及ぼす要因は、その土の粒度特性が最も重要な要素の一つである。一方、細粒土では粗粒土とは対照的に、粒度組成よりもコンシステンシー限界が工学的パラメータとしてより重要であ

表-2 液状化の判定対象層<sup>4)</sup>

細粒分含有率 35%以下の層	細粒分含有率 35%を超える層	
	粘土分含有率 10%以下の層	塑性指数 15以下の層
○	○	○

○：液状化検討が必要

る。この理由は、細粒土は粒径の小さな土粒子の集まりであり、個々の粒子の物理化学的な界面効果などが大きいからである。

しかし、コンシステンシー限界の定義とその測定方法については、次のような本質的な問題点が指摘されている。実際の土では、含水比の変化に伴うコンシステンシーの状態変化は連続的であり、ある含水比を境に例えば液性状態から塑性状態へと急変するものではない。つまり、ある含水比の幅でもってコンシステンシー限界が存在する。図-9はこのようなコンシステンシー限界の概念の定義と実際の土の状態の違いを模式的に表したものである。試験で得られる値にも幅があり、定義にどの程度対応するかは明らかでないことを示唆している。したがって、試験の実施や結果の利用に際しては、このような問題点を十分に認識することが必要である。

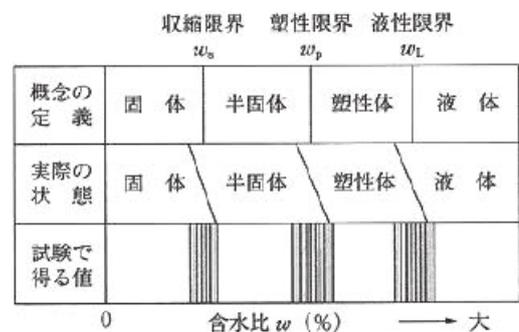


図-9 各限界の定義と実際の状態

## 4. おわりに

土の液性限界・塑性限界試験は、住宅地盤では利用されることが少ないが、今回、紹介したように、沈下・安定の設計に必要な細粒土の含水量の多少による状態変化や、液状化についても判断する材料となる、非常に重要な物理試験である。また、試験自体もそこまで複雑な試験でないことから、もっと住宅地盤の解析に利用されることを期待する。

## 5. 参考文献

- 1) (公社)地盤工学会：地盤調査・土質試験結果の解釈と適用例pp.1-84、1998
- 2) (公社)地盤工学会：土質試験 基本と手引きpp.39-48、2010
- 3) (一社)日本建築学会：建築基礎構造設計指針、pp.62、2001
- 4) (一社)住宅生産団体連合会：住宅性能表示制度における「液状化に関する参考情報の提供」に関する手引き pp.41-42、2015