

大阪地域の粘性土における液性限界 w_L の一点法の適用性の検討

液性限界，流動曲線，流動指数

大阪公立大学大学院

○正 田村耕平 正 岡田広久

大阪公立大学都市科学・防災研究センター

国 大島昭彦

関西地盤環境研究センター

正 三好功季

国 八谷 誠

1. まえがき

液性限界 w_L は，Atterberg が 1911 年にその定義と試験法を提唱し，1932 年に Casagrande が現在も使われる機械的な試験装置を提案したものといわれている^{1),2)}。しかし，「多点法」による w_L の試験法はその後 100 年近く経っても基本的に変わっておらず，土質試験の中でも最も「古典的かつ原始的」な試験法となっている。

文献 3) で，試験法の省力化を目指し，簡易試験法として w_L の「一点法」， w_p の「塑性図法」を再考した結果を報告した。中でも w_L の一点法 (w - $\log N$ 関係による) は精度が高いことを示した。

本稿では，大阪地域の粘性土を対象に， w_L の一点法の適用性を検討した結果を報告する。

2. w_L の一点法

図-1 に液性限界試験における流動曲線 (w - $\log N$ 関係) とその勾配である流動指数 I_f を示す。ここに， w は含水比， N は落下回数である。この関係は式(1)，(2)のように表される。

$$I_f = \frac{w - w_L}{\log 25 - \log N} \quad (1) \quad \Rightarrow \quad w_L = w - I_f \log \left(\frac{25}{N} \right) \quad (2)$$

I_f は粘性土の塑性が大きいほど大きくなると想像できる。そこで，式(3)のように I_f が w_L に比例する (α は比例定数) と仮定すれば，式(4)のように表される (なお， $\log 25 = 1.40$)。

$$I_f = \alpha w_L \quad (3) \quad \Rightarrow \quad w_L = \frac{w}{(1 + 1.40\alpha) - \alpha \log N} \quad (4)$$

w_L の一点法は，事前に式(3)の α を求めておき，一点の (w , N) の測定から式(4)で w_L を求めるものである。なお，式(4)の形式の過去の提案式については別報³⁾を参照されたい。

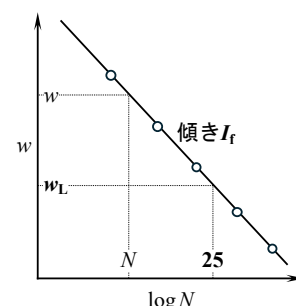


図-1 液性限界試験における流動曲線と流動指数 I_f

3. 大阪地域の粘性土の I_f - w_L 関係

2004 年～2025 年に筆者らが大阪地域で実施した 41 地点，68 土層（浚渫，沖積，洪積粘土を含む）での w_L 試験結果（計 1,963 個）による I_f - w_L 関係を図-2 に示す。全体にばらつきが大きい，式(3)の比例関係を有している。ただし，この結果には試験者の個人誤差なども含まれる。そこで， $w_L = 30, 35, 40, \dots, 130\%$ （5%刻みで $\pm 0.5\%$ の範囲）データのみを抽出して回帰して求めた I_f - w_L 関係を図-3 に示す。また，その回帰例 ($w_L = 50, 100\%$) を図-4 に示す。図-2 と図-3 の関係はほぼ一致している。

以上の結果から，大阪地域の粘性土では式(5)の関係 ($\alpha \approx 0.19$) が成り立ち，これを式(4)に代入すれば，式(6)によって w_L の推定が可能となる。

$$I_f = 0.19 w_L \quad (5)$$

$$w_L = \frac{w}{1.27 - 0.19 \log N} \quad (6)$$

4. 一点法による w_L の推定結果

通常の多点法（6 点程度）の測定結果を用いて，式(6)の一点法で w_L を推定した例（大阪市港区海岸通⁴⁾での 4 深度）を図-5 に示す。●が推定 w_L' ，■は w_L ，

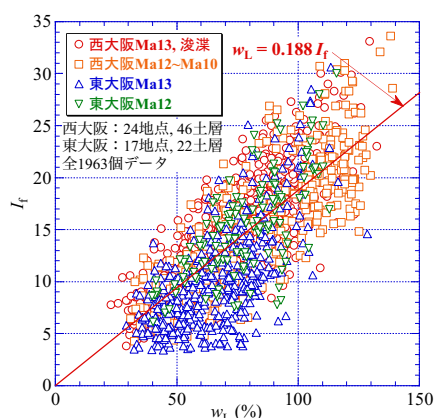


図-2 大阪地域の粘性土の I_f - w_L 関係

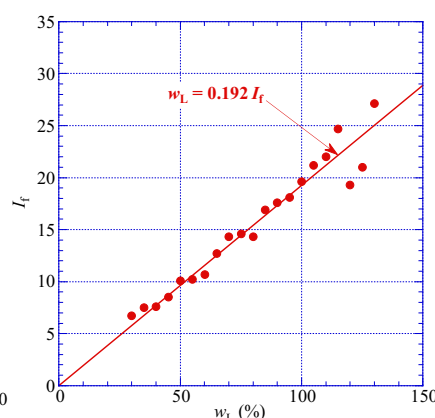


図-3 5%刻みで求めた I_f - w_L 関係

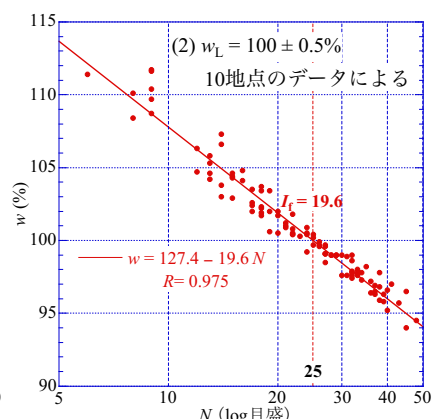
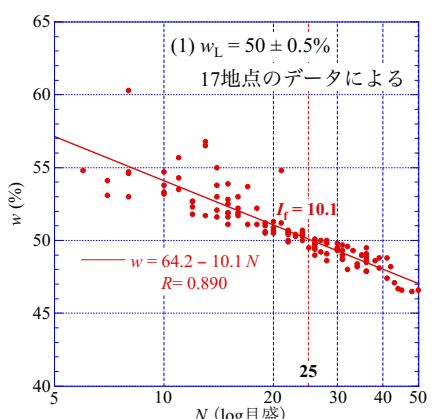


図-4 w_L を 5%刻み ($\pm 0.5\%$ の範囲) で求めた w - $\log N$ 関係の例

Study on applicability of the one-point method for liquid limit, w_L of cohesive soil in Osaka area: Tamura Kohei and Oshima Akihiko (Osaka Metropolitan University), Miyoshi Koki and Hachiya Makoto (Kansai Geotechnology and Environment Research Center)

と真値 w_L との比 w_L'/w_L であり、1 を差し引けば、誤差 $(w_L' - w_L)/w_L$ となる。図(1), (4)は推定精度が高いもの、図(2), (3)は低いものを示したが、低いものは I_f のばらつきにより式(3)の α が 0.19 より過小、過大となる場合である。ただし、いずれも $N=15 \sim 35$ では w_L'/w_L は 0.98~1.02、 $N=20 \sim 30$ では 0.99~1.01 の範囲に収まっている。

次に、図-6に海岸通 Ma13 (41 深度) での w_L'/w_L のヒストグラムを示す。図(1), (2)はそれぞれ $N=15 \sim 35$ (25 ± 10) で 170 個、 $N=20 \sim 30$ (25 ± 5) で 89 個のデータによる。両図ともほぼ正規分布となっているが、図(1)ではほとんどが 0.98~1.02 (誤差 $\pm 2\%$) に、図(2)ではほとんどが 0.99~1.01 (誤差 $\pm 1\%$) に収まっている。これらの傾向は他の地点でも同様であった。

図-7 に大阪地域の粘性土 (41 地点、68 土層) での w_L'/w_L のヒストグラムを示す。図(1), (2)はそれぞれ $N=15 \sim 35$ で 6,539 個、 $N=20 \sim 30$ で 3,514 個のデータによる。やはり両図とも正規分布となっている。図(1)では 89 個 (全体の 1.4%) を除いて 0.98~1.02 に、図(2)では 100 個 (全体の 2.8%) を除いて 0.99~1.01 に収まっている。すなわち、一点法の適用を $N=15 \sim 35$ (25 ± 10) の範囲で行えば、98.6%が $\pm 2\%$ の、 $N=20 \sim 30$ (25 ± 5) の範囲で行えば、97.2%が $\pm 1\%$ の誤差で w_L の推定が可能といえる。

5. w_L の一点法適用のまとめ

上述した w_L の一点法の誤差がどのような意味があるかを考察する。文献 4)で海岸通 Ma13 の同一試料で 6 名のベテラン試験者が行っても w_L に $\pm 2\%$ の誤差が生じたことを報告している。また、「地盤材料試験の技能試験」^{5),6)}でも、配付試料の均質性確認試験 (同一 10 試料による) でも、 $\pm 1 \sim 4\%$ 程度の誤差が生じていた。 w_L の測定精度はこの程度なのかもしれない。

したがって、今回の大阪地域の粘性土での一点法は十分適用可能と考えられる。また、一点法は従来の多点法に比べて試験の省力化に繋がると考えられる。なお、大阪地域以外で一点法の適用性を検討した結果は文献 7)で報告している。

参考文献

- 1) A. Casagrande : Research on Atterberg limits of soils, Public Roads, 13, 8, Oct, 1932.
- 2) A. Casagrande : Notes on the design of the liquid limit device, Geotechnique, Vol. VIII, pp. 84-91, 1958.
- 3) 大島・他 : 粘性土の液性限界 w_L 、塑性限界 w_p の簡易試験法の再考, 第 61 回地盤工学研究発表会 (投稿中), 2026.
- 4) 三好・他 : 大阪市港区海岸通での地盤調査一斉試験 (その 2 : 粘土層の土質特性), 第 61 回地盤工学研究発表会 (投稿中), 2026.
- 5) 土質試験品質確保機構 技能試験実施委員会 : 内部資料 (2023 年度地盤材料試験の技能試験報告書), 2024.
- 6) 地盤工学会基準部 技能試験実施委員会 : 2021 年度地盤材料試験の技能試験報告書, https://www.jiban.or.jp/wp-content/uploads/2022/06/ginoushiken_report_2021.pdf, 2022.
- 7) 田村・他 : 粘性土における液性限界 w_L の一点法の適用性の検討 (第 2 報), 第 81 回土木学会年次学術講演会 (投稿中), 2026.

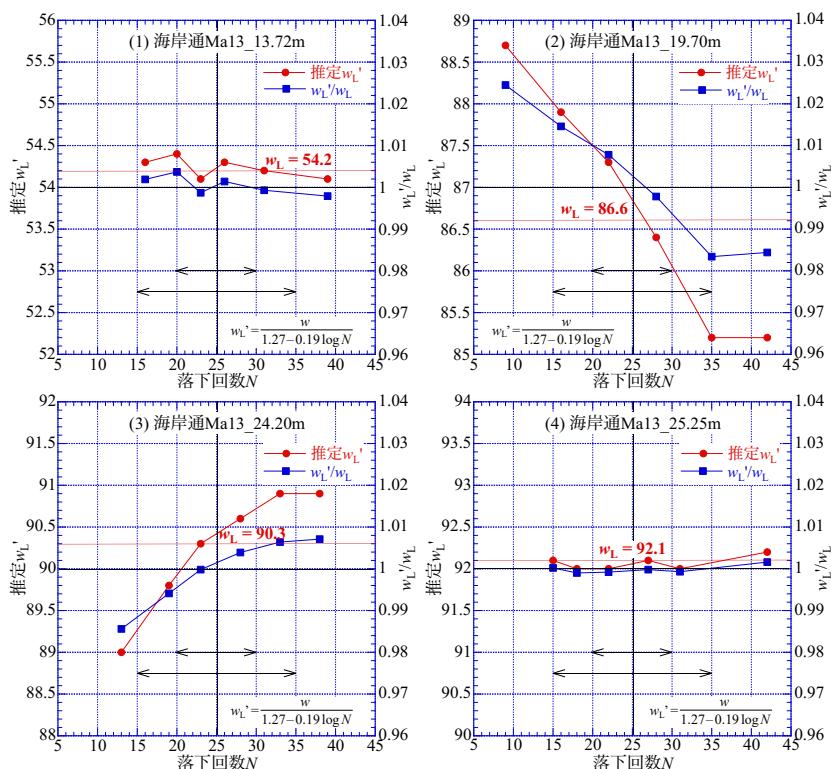


図-5 一点法による w_L の推定結果の例 (海岸通 Ma13)

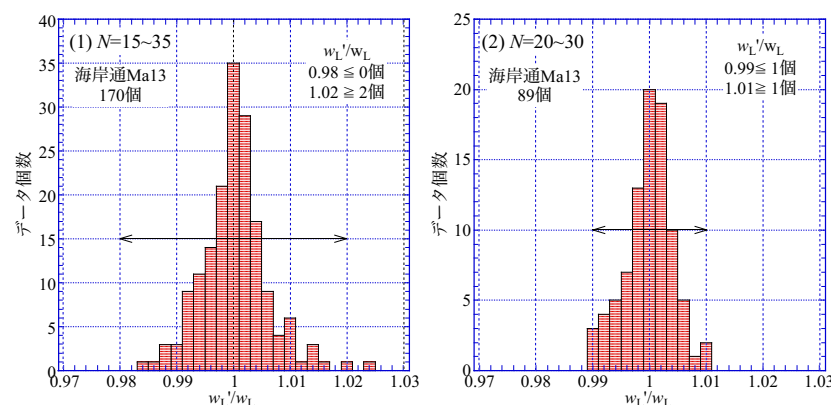


図-6 海岸通 Ma13 の w_L'/w_L のヒストグラム

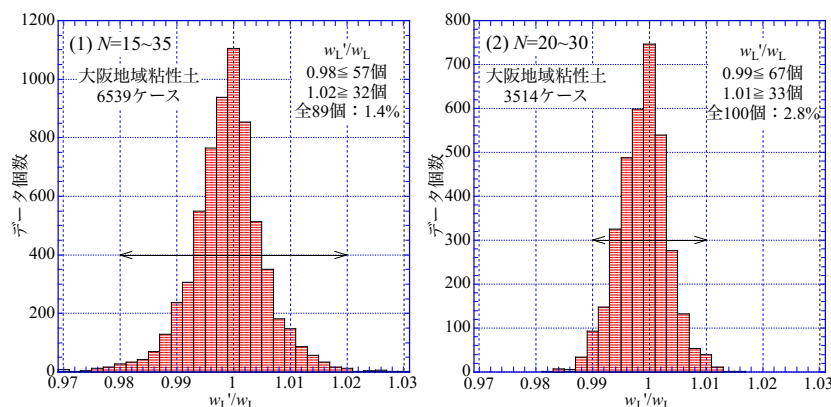


図-7 大阪地域の粘性土の w_L'/w_L のヒストグラム