

## 粘土の液性限界の測定法に関する研究

## A Study on Measuring Method of the Liquid Limit of Clays

|       |                 |             |
|-------|-----------------|-------------|
| 藤井 敏美 | Toshimi FUJII   | (緑景コンサルタント) |
| 西原 晃  | Akira NISHIHARA | (福山大学工学部)   |
| 柴田 徹  | Toru SHIBATA    | (福山大学工学部)   |

液性限界は土の物理特性を表す基本的な指標の一つである。液性限界の測定法として、従来カサグランデによって提案された方法が用いられているが、この方法にはいくつかの問題点があることが指摘されており、近年フォールコーンを用いた方法も用いられるようになってきている。しかし、両試験法によって得られた液性限界は必ずしも一致せず、その関係ははまだ明確ではない。

本研究では、3タイプのコーンを用いたフォールコーン試験ならびにカサグランデ法による液性限界試験を行った。その結果、フォールコーン試験においてコーン貫入量と含水比の関係が液性限界によって一意的に表されることを示し、その関係を用いてカサグランデ法との関係について考察した。

キーワード：液性限界， 粘土， カサグランデ法， フォールコーン法 (IGC: D02, D03)

## 1. まえがき

含水量の変化によって土の状態ならびにその力学的性質は大きく変化する。含水量の変化にともなう土の状態の変移点を表す指標として、液性限界、塑性限界、収縮限界が定義され、これらの諸量はコンシステンシー限界と呼ばれている。このうち、液性限界は、多量の水分を含む土が塑性材料として最小のせん断抵抗を示す状態における含水比と定義されている。すなわち、それ以上の含水比になると、混合流体としての粘性抵抗は示しても、塑性材料としての強度は持たなくなる限界の含水比である。液性限界に対する本来の定義からいえば、液性限界はせん断抵抗の面から決定されるべきであろう。しかしながら、液性限界付近での高含水比におけるせん断試験は技術的に非常に困難であったため、それにかわる簡便な測定法がカサグランデ (Casagrande) によって考案され、多少の改良を加えた後現在でも広く利用されている。しかしながら、カサグランデによる方法には技術上のいくつかの問題点があること、そして液性限界の本来の定義からいえばせん断抵抗に直接関係する試験法が望ましいという理由から、フォールコーン (fall cone) を用いた測定法も提案されている。

液性限界は粘土粒子が本来有している物性ならびに水中での粒子間力を反映しており、土の分類のみならず粘土の種々の力学特性を評価する上で重要な指標となりうるものである。実際にこれまで、液性限界などのコンシステンシー限界と種々の力学特性との相関関係を求めようとする非常に多くの研究が行われてきており、その成果は設計にも利用されている。筆者らも粘土の力学特性と液性限界の関係について、とくに堆積後の時間経過にともなう続成効果の影響に注目して一連の研究を行って

いる<sup>1), 2)</sup>。しかしながら、液性限界の測定法そのものに統一的な解釈が確立していないのが現状である。そこで本研究は、まず粘土の液性限界の測定方法に関して、従来のカサグランデ法とコーン法による試験を行い、両者の関係について考察したものである。

## 2. 液性限界試験

粘土の液性限界を測定する方法としては、カサグランデによって考案された方法 (以下、カサグランデ法と呼ぶ) が現在世界中で広く用いられている。カサグランデ法は、碗状の金属製の皿に詰められた試料の中央に溝を切り、皿を25回落下させたときに、皿の底部の土が1.5cmにわたり合流する時点の含水比を液性限界と定める方法である。しかし、この試験方法には、従来より次のような問題点があるとして指摘されている<sup>3)</sup>。

- ①土によっては、とくに砂分を含む土では溝を切るのが困難。
- ②低塑性土では、土が流動するというよりも土全体が滑りやすい。
- ③低塑性土では落下の衝撃で土が液状化しやすい。
- ④溝切りの形状、硬質ゴム台の硬さ、皿のなめらかさなど、測定器の相違の影響を受けやすい。
- ⑤試料の詰め方、溝の切り方、回転速度などの試験者の技術的個人差の影響を受けやすい。

これ以外にも、静的な性質である液性限界を動的な試験方法で求めている、といった問題点の指摘もされている。すなわち、液性限界は流動に対する抵抗力あるいはせん断強さをあらわす尺度となるものであり、例えばペーン試験、粘性抵抗試験、コーン試験などから求める方

が適切であるという指摘である。そこで、これに代わる方法として、フォールコーンを用いた試験法が提案されている。これは、土の表面に円錐状コーンの先端をあて、自由落下によって容器内の試料に貫入させたときの貫入量と含水比の関係から液性限界を求める方法である<sup>4)</sup>。

フォールコーンを用いた試験法（以下、コーン法と呼ぶ）は、1910年代にスウェーデンで軟弱な粘土のせん断抵抗をコーンの貫入試験から求めたのがはじまりである。スウェーデン国鉄の土質委員会が粘土のコンシステンシーを求めるためにコーンの試験方法を検討した結果、先端角60°、質量60gのコーンが10mm貫入するときの含水比がほぼ液性限界と対応することが分かり、これをファイネスナンバー（fineness number）と定義して液性限界の測定方法とすることが提案された。似た方法は各国で提案されているが、表-1に示すように、使用するコーンおよび液性限界に対応する貫入量は種々のものが提案されており<sup>4)</sup>、コーン法ではいまだに世界中で統一された規格がない。

日本では、フォールコーンによる液性限界として、当初はスウェーデン規格によるファイネスナンバーが用いられていたが、日本の土ではファイネスナンバーがカサグランデ法による液性限界より小さめに測定される<sup>5)</sup>ことから、コーン貫入量11.5mmのときの含水比をコーン法による液性限界とすることが採用されている<sup>6)</sup>。

### 3. 実験方法ならびに実験に用いた試料

#### 3.1 実験方法

前述のように、コーンの貫入量はカサグランデ法による液性限界に等しくなるように決められてきているが、スウェーデンと日本の場合のように、同じコーンを用いても貫入量は異なる。そこで本研究ではコーンの貫入特性と液性限界の関係を明確にするために、フォールコーン試験とカサグランデ法による液性限界試験を実施した。

本研究では、コーン先端角と質量の影響を調べるために、表-2に示す3種類のコーンを用いて実験を行った。このうち、タイプAのコーンは先端角60°、質量60gのもので、日本で標準的なものとして用いられているものである。タイプB、Cは規格以外のものであるが、試験はいずれも地盤工学会の基準<sup>6)</sup>（JGS 0142）に従って実施し、貫入して5秒後の貫入量と含水比の関係求めた。

コーン試験による液性限界については、日本ではコーン貫入量11.5mmのときの含水比をコーン法による液性限界とすることが採用されている<sup>6)</sup>。しかし、国によってコーンのタイプあるいは貫入量が異なるので、本研究ではコーン法で最初に提案されたスウェーデン規格によるファイネスナンバーを採用することとした。ファイネスナンバーは、タイプAのコーンの結果から、貫入量10mmの時の含水比として求められる。また、カサグランデ法による液性限界試験も地盤工学会基準<sup>6)</sup>（JIS A 1205）

表-1 フォールコーン試験の測定方法<sup>4)</sup>

|          | コーン      |         |           |           |
|----------|----------|---------|-----------|-----------|
|          | 先端角<br>度 | 質量<br>g | 貫入時間<br>秒 | 貫入量<br>mm |
| イギリス     | 30±1     | 80±0.05 | 5±1       | 20        |
| スウェーデン   | 60       | 60      | 5         | 10        |
| アメリカ     | 30       | 75      | 5         | 10        |
| ロシア      | 30       | 76      | 5         | 10        |
| インド      | 31       | 148     | 5         | 25.4      |
| 中国       | 30       | 76      | 5         | 17        |
| 日本(地盤工学) | 60       | 60      | 5         | 11.5      |
| 箭内・五味    | 60       | 60      | 瞬間的       | 10        |
| 佐野他      | 90       | 200     | 30        | 13.5      |
| 甲本       | 60       | 60      | 5         | 12        |

表-2 実験で用いたコーンのタイプ

| コーンのタイプ | 先端角 | 重量   |
|---------|-----|------|
| A       | 60° | 60g  |
| B       | 60° | 120g |
| C       | 30° | 45g  |

表-3 試料の物理特性

| 試料 No. | 液性限界(%)                       |                | 塑性限界<br>(%) | 土粒子密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) |
|--------|-------------------------------|----------------|-------------|-------------------------------|
|        | Casagrande<br>LL <sub>c</sub> | Fallcone<br>FN |             |                               |
| No.1   | 98.8                          | 83.5           | 39.8        | 2.653                         |
| No.2   | 77.6                          | 67.0           | 33.1        | 2.639                         |
| No.3   | 64.0                          | 56.0           | 28.3        | 2.688                         |
| No.4   | 61.0                          | 54.0           | 26.8        | 2.678                         |
| No.5   | 55.8                          | 50.0           | 27.2        | 2.638                         |
| No.6   | 45.5                          | 40.5           | 18.4        | 2.661                         |
| No.7   | 40.4                          | 38.0           | 21.5        | 2.686                         |

に従って実施した。

#### 3.2 実験に用いた試料

今回の実験に用いた試料は、大阪湾周辺と京阪陸域で採取された7種類の粘土で、液性限界試験ではこれらの試料を高含水比で練返し、425μmふるいを通過させたものを使用している。試料の物理特性は表-3に示すよう

であり、カサグランデ法による液性限界(LL<sub>c</sub>)は40~98%の広範囲にわたっている。

#### 4. 実験結果と考察

##### 4.1 コーン貫入量と粘土の含水比の関係

図-1~3は3種類のコーンについて、コーン試験における土の含水比とコーン貫入量の関係を示したもので、算術目盛りで示した貫入量と含水比の間に明確な直線関係が見られる。なお、含水比は通常%表示がされるが、本研究ではこれ以降、比で表すことにする。これまでコーン貫入量の含水比との関係については、貫入量の対数と含水比が直線関係にあるとするもの、あるいは両者の対数の関係が直線関係にあるとする報告<sup>4), 7)</sup>もあり、いずれの関係が正しいか結論は得られていない。しかしながら、ある貫入量に対する含水比として液性限界を求めるという立場からいえば、算術目盛りで整理することが望ましいといえる。図-1~3の結果より、液性限界の高い土ほど同じ貫入量に対する含水比が大きいことがわかる。また液性限界の低い土ほど含水比の増加に対する貫入量の増加の程度が大きい。また、図-4は、Sherwood and Ryley<sup>8)</sup>が行ったコーン試験(コーン先端角30°, 質量80g)の結果を示したもので、本研究の結果と同様の傾向が見られる。なお図中に示す数字はそれぞれのカサグランデ法による液性限界(LL<sub>c</sub>; %表示)を示している。

図-1~4に示すコーン貫入量と含水比の試験結果を用いて、ある一定の貫入量に対する含水比の値をカサグランデ法による液性限界あるいはコーン法による液性限界に対してプロットすると図-5~8のようになる。なお、コーン法による液性限界としては、タイプA~Cの場合はファインネスナンバー、Sherwoodらの試験ではイギリス規格で求めた液性限界としている。これらの図より、コーンのタイプに関係なく、同一貫入量に対する含水比と液性限界の関係は一点で交わる直線群で表されることがわかる。したがって、同一貫入量に対する含水比と液性限界

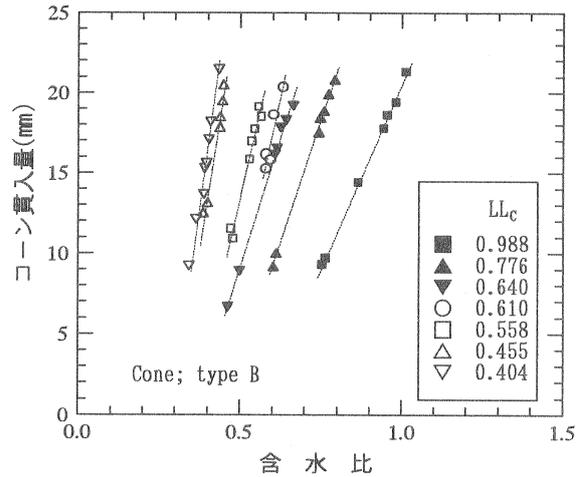


図-2 コーン貫入量と含水比の関係 (コーンタイプ B)

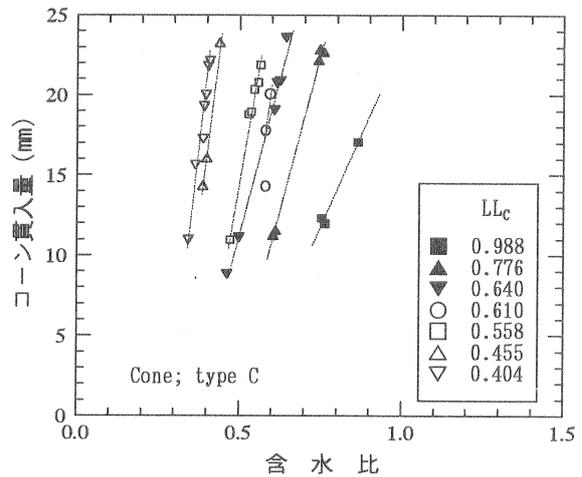


図-3 コーン貫入量と含水比の関係 (コーンタイプ C)

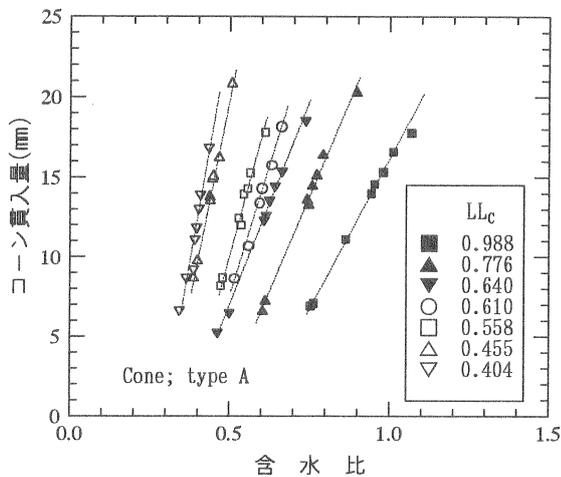


図-1 コーン貫入量と含水比の関係 (コーンタイプ A)

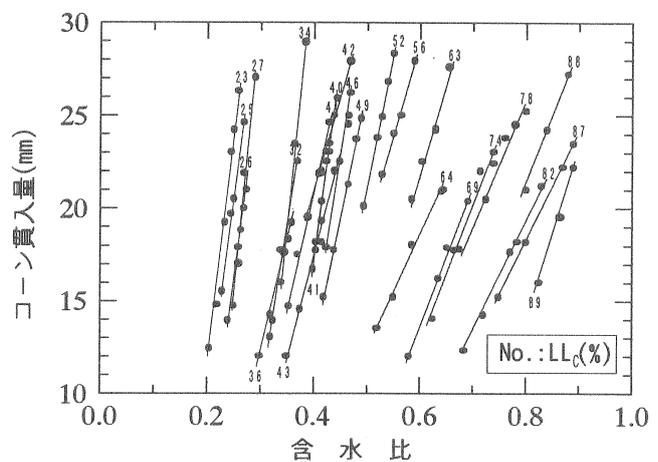
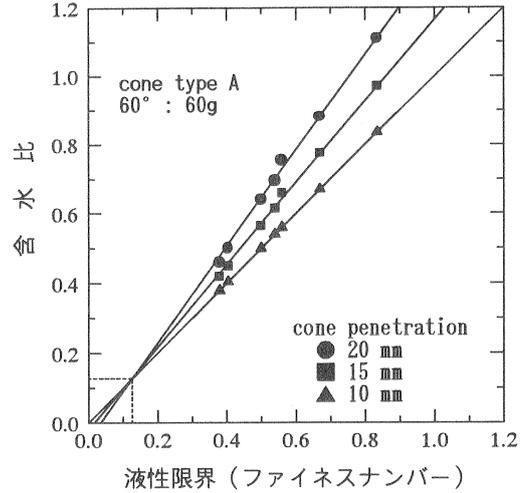
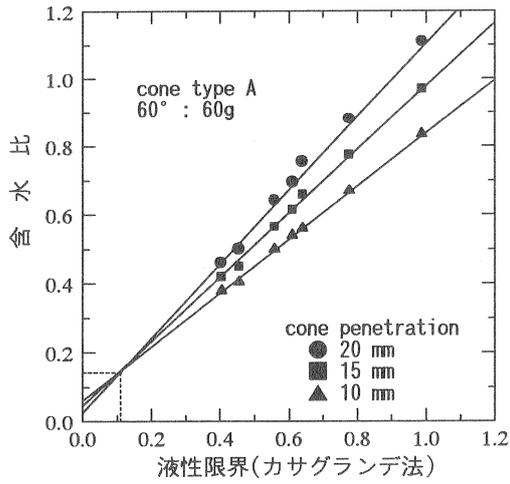


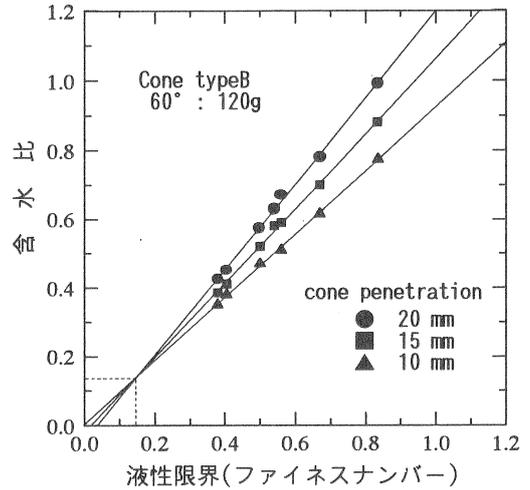
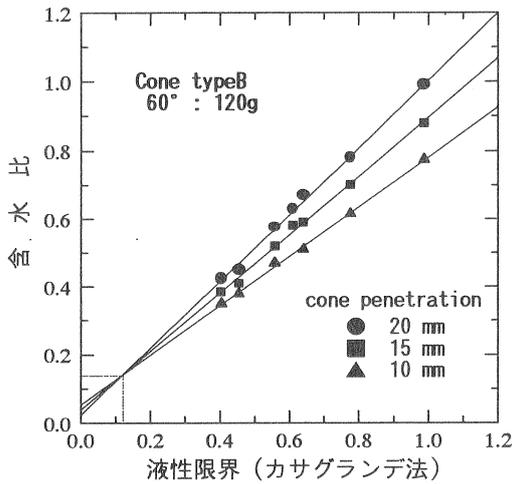
図-4 コーン貫入量と含水比の関係 (Sherwood & Ryley<sup>8)</sup>による)



(a) カサグランデ法による液性限界を用いた場合

(b) ファイネスナンバーを用いた場合

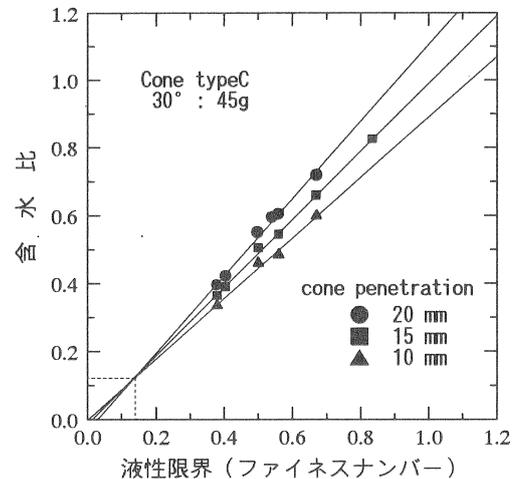
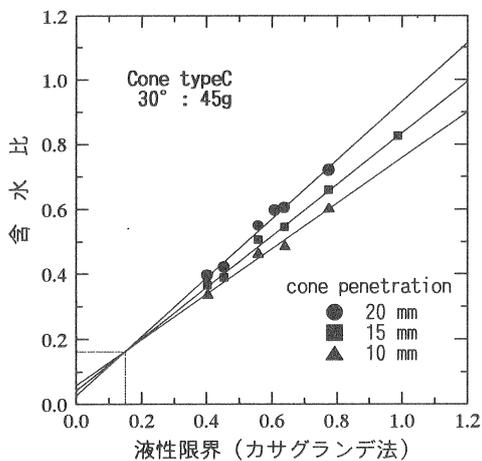
図-5 コーン貫入量一定の時の含水比と液性限界の関係 (コーンタイプA)



(a) カサグランデ法による液性限界を用いた場合

(b) ファイネスナンバーを用いた場合

図-6 コーン貫入量一定の時の含水比と液性限界の関係 (コーンタイプB)



(a) カサグランデ法による液性限界を用いた場合

(b) ファイネスナンバーを用いた場合

図-7 コーン貫入量一定の時の含水比と液性限界の関係 (コーンタイプC)

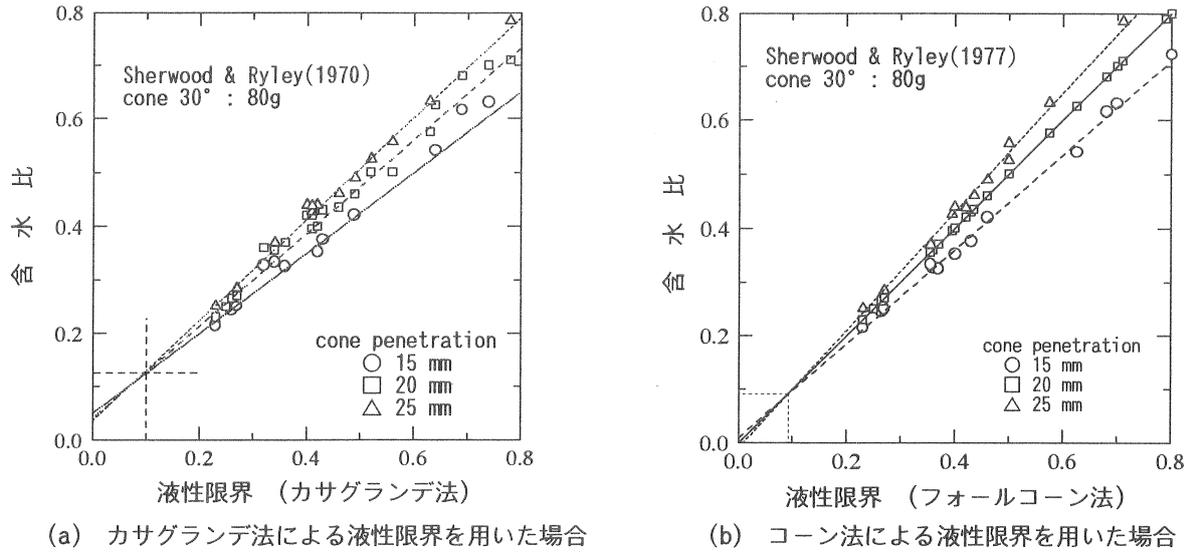


図-8 コーン貫入量一定の時の含水比と液性限界の関係 (Sherwood & Ryley<sup>3)</sup> のデータによる)

表-4  $w_\alpha$ ,  $w_\beta$ , a, bの値

| type of cone                         | liquid limit |  | $w_\alpha$ | $w_\beta$ | a     | b     |
|--------------------------------------|--------------|--|------------|-----------|-------|-------|
|                                      | test         |  |            |           |       |       |
| 60°; 60g<br>(Type A)                 | Casagrande   |  | 0.11       | 0.13      | 0.45  | 0.034 |
|                                      | fall cone    |  | 0.13       | 0.13      | 0.62  | 0.038 |
| 60°; 120g<br>(Type B)                | Casagrande   |  | 0.12       | 0.14      | 0.482 | 0.025 |
|                                      | fall cone    |  | 0.14       | 0.12      | 0.603 | 0.032 |
| 30°; 45g<br>(Type C)                 | Casagrande   |  | 0.15       | 0.16      | 0.467 | 0.022 |
|                                      | fall cone    |  | 0.14       | 0.12      | 0.635 | 0.025 |
| 30°; 80g<br>(Sherwood & Ryley(1970)) | Casagrande   |  | 0.1        | 0.13      | 0.467 | 0.019 |
|                                      | fall cone    |  | 0.09       | 0.09      | 0.542 | 0.022 |

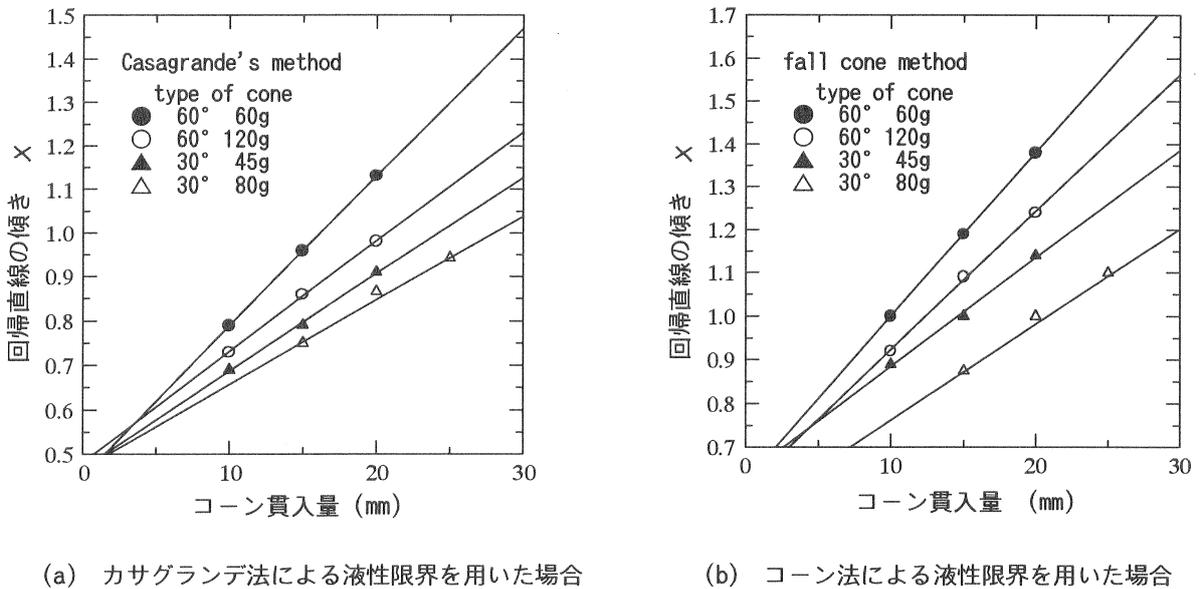


図-9 回帰直線の傾き X とコーン貫入量の関係

の関係は次のように表される。

$$w - w_{\beta} = \chi (LL - w_{\alpha}) \quad (1)$$

ここで、 $w$ は含水比、 $LL$ は液性限界であり、 $w_{\alpha}$ 、 $w_{\beta}$ は直線群が交わる点の液性限界と含水比である。また、 $\chi$ はそれぞれの直線の傾きである。 $w_{\alpha}$ 、 $w_{\beta}$ の値は表-4に示すようであり、本研究で用いた粘土で $w_{\alpha}=0.12\sim 0.15$ 、Sherwoodらの結果では $w_{\alpha}=0.1$ 程度の値と多少の差が見られる。また $w_{\beta}$ の値はカサグランデ法で $0.13\sim 0.16$ 、コーン法の場合には $0.09\sim 0.13$ で、カサグランデ法による値の方が大きくなる傾向が見られる。

図-5~8に示される回帰直線の傾き $\chi$ とコーン貫入量の関係性を求めると図-9に示すようになる。図-9より、回帰直線の傾き $\chi$ とコーン貫入量の関係は直線関係にあり、

$$\chi = a + bD \quad (2)$$

と表すことができる。ここで、 $D$ はコーン貫入量 (mm) である。 $a$ 、 $b$ の値はコーンのタイプによって異なり、表-4に示すような値となる。式(2)を式(1)に代入すると次式が得られる。

$$w^* = a + bD \quad (3)$$

ここで、 $w^*$ は次式のように $w_{\alpha}$ と $w_{\beta}$ の値を用いて含水比を基準化したもので、本研究では以後 $w^*$ を基準化含水比(normalized water content)と呼ぶことにする。

$$w^* = \frac{w - w_{\beta}}{LL - w_{\alpha}} \quad (4)$$

図-10~12はタイプA~Cのコーン試験の結果を基準化含水比と貫入量の関係で整理したもので、図中の直線は式(3)の関係式を示している。なお、式(3)の係数 $a$ 、 $b$ ならびに式(4)を用いて基準化含水比を計算する場合の係数 $w_{\alpha}$ 、 $w_{\beta}$ の値としては表-4に示す値を用いている。ちなみに、タイプAのコーンの場合、

$$\frac{w - 0.13}{LL_c - 0.11} = 0.45 + 0.034D \quad (\text{カサグランデ法}) \quad (5)$$

$$\frac{w - 0.13}{LL_f - 0.13} = 0.62 + 0.038D \quad (\text{コーン法}) \quad (6)$$

となる。ここに、 $LL_c$ はカサグランデ法による液性限界、 $LL_f$ はフォールコーン法による液性限界である。なお、前述したように、本研究ではフォールコーンによる液性限界としてファイネスナンバー、すなわちタイプAのコーンで貫入量10mmのときの含水比を採用している。図に示すように、基準化含水比を用いると、含水比と貫入量

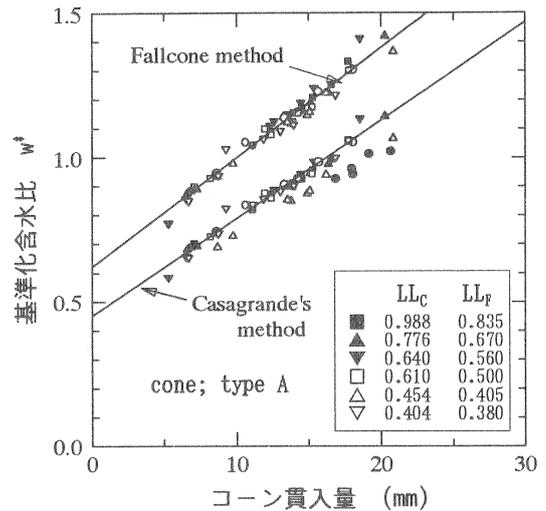


図-10 基準化含水比とコーン貫入量の関係 (コーンタイプA)

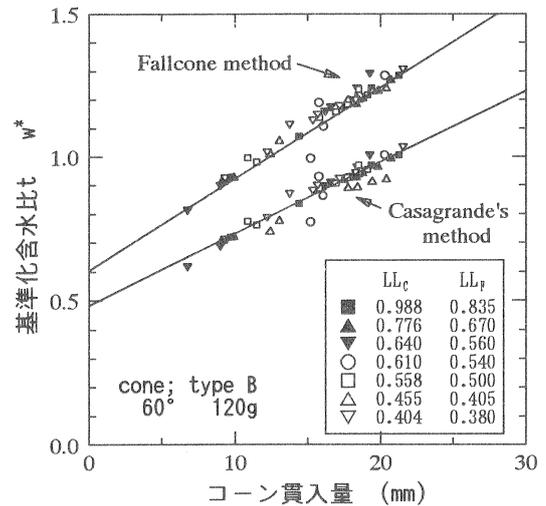


図-11 基準化含水比とコーン貫入量の関係 (コーンタイプB)

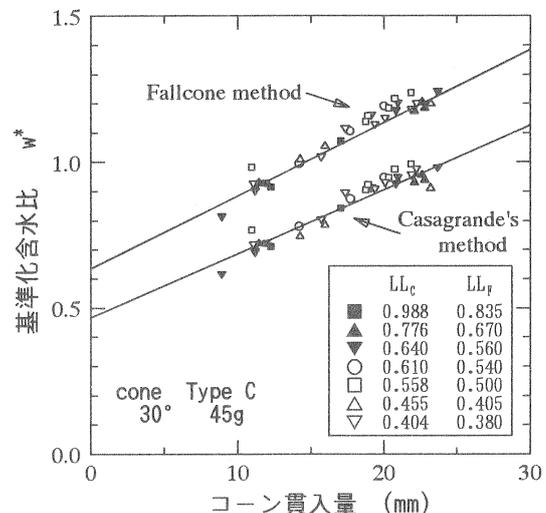
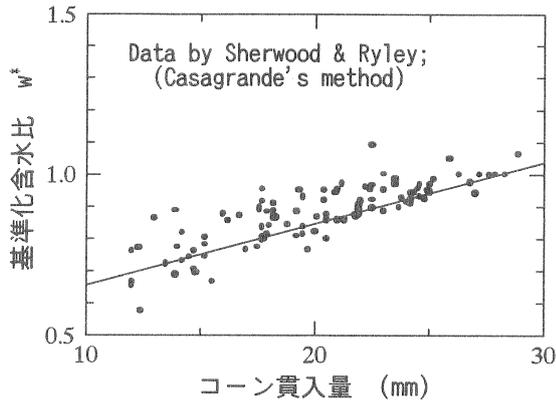
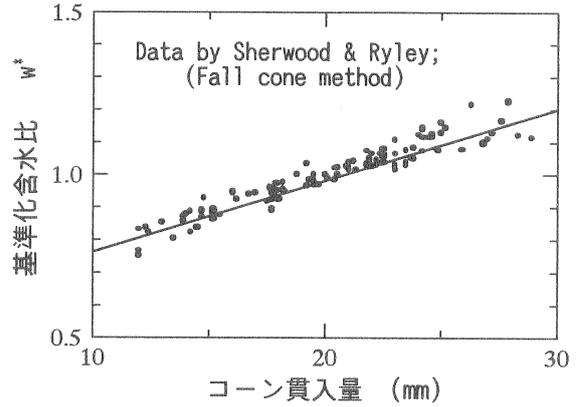


図-12 基準化含水比とコーン貫入量の関係 (コーンタイプC)



(a) カサグランデ法による液性限界を用いた場合



(b) コーン法による液性限界を用いた場合

図-13 標準化含水比とコーン貫入量の関係 (Sherwood & Ryley<sup>8)</sup> のデータによる)

の関係がいずれの液性限界に関係なく一義的に決まる。また、図-13はSherwoodら<sup>8)</sup>のコーン試験の結果を標準化含水比で整理したもので、タイプA～Cのコーン試験の結果と同様に、標準化含水比を用いると、含水比と貫入量の関係が液性限界に関係なく一義的に示される。ただし、カサグランデ法によって求めた液性限界の値を用いた場合にはコーン法の場合に比べてばらつきが大きくなっている。

以上のように、本研究で提案する標準含水比はすべてのタイプのコーンに対して適用可能であり、コーン試験結果を利用する上で非常に有用であるといえる。

### 3.2 カサグランデ法とコーン法による液性限界の関係

表-1に示したように、コーン法によって液性限界を求める場合の基準は国別あるいは研究者によって種々のものが提案されている。使用するコーンの形状や質量が異なる場合は当然のこととして、同じコーンを用いる場合においても基準とする貫入量が異なっている。これは、コーンの標準貫入量がカサグランデ法による液性限界に一致するように決められてきたためである。たとえばスウェーデン規格ではタイプ A (先端角60°, 重量60g) のコーンの10mm貫入時の含水比を液性限界としている。しかし、Sowersら<sup>3)</sup>あるいはKarlsson<sup>10)</sup>が報告している結果によれば、液性限界が低い範囲ではカサグランデ法とコーン法の液性限界はほぼ一致するが、液性限界が高くなるにつれてコーン法による液性限界はカサグランデ法による値より小さくなる傾向がある。すなわち、液性限界の値によってカサグランデ法の液性限界に対応するコーン貫入量が増加していることになる。このように、カサグランデ法に一致するように一定のコーン貫入量を決めるには無理があり、これが国や研究者によって標準貫入量が異なる原因と考えられる。したがって、コーン法の標準規格を確立するためには、カサグランデ法とコーン法による液性限界の関係を明確にしておく必要がある。

カサグランデ法による液性限界 ( $LL_c$ ) を用いると、コーン貫入量  $D$  と含水比の関係は、式(3)、(4)より次式で表される。

$$w - w_\beta = (LL_c - w_\alpha)(a + bD) \quad (7)$$

ただし、定数  $a$ 、 $b$  の値はコーンのタイプによって異なる。いま、あるタイプのコーンで液性限界の測定に用いられる標準貫入量を  $D_l$  とすると、その標準貫入量における含水比がコーン法の液性限界 ( $LL_F$ ) であり、その値は式(7)より、次のように求められる。

$$LL_F = (LL_c - w_\alpha)(a + bD_l) + w_\beta \quad (8)$$

あるいは、

$$LL_F = A \cdot LL_c + B \quad (9)$$

ここに、

$$\begin{aligned} A &= a + bD_l, \\ B &= w_\beta - w_\alpha(a + bD_l) \end{aligned} \quad (10)$$

である。

式(9)より、カサグランデ法とコーン法の液性限界の関係は切片を有する直線関係で表されることがわかる。このことはSowersら<sup>3)</sup>もいろいろな規格のコーン試験の結果について報告している。たとえば、ファイネスナンバーを用いる場合には、タイプ A(60°, 60g)のコーンで標準貫入量を10mmとすればよいから、

$$FN = 0.79 LL_c + 0.04 \quad (11)$$

となる。図-14はカサグランデ法とコーン法(タイプ A)による液性限界の関係を示したもので、図には松井<sup>9)</sup>とKarlsson<sup>10)</sup>が報告している結果も合わせて示してある。

松井の試験結果は本研究と同じ大阪湾周辺で採取された粘土を用いたもので、本研究の結果と同様式(11)の関係によく一致している。また、Karlssonの報告している実験結果では、ファイネスナンバーの実測値は式(11)で求められる値より若干大きいものの、式(11)の関係と良く対応していることがわかる。

図-15は、日本の多くの試験機関によるカサグランデ法とコーン法の一斉試験の結果<sup>4)</sup>であり、この図に示す結果では、タイプ Aのコーンで基準貫入量として12mmが用いられている。式(8)で基準貫入量 ( $D_c$ ) を12mmとすると、

$$LL_F = 0.86 LL_C + 0.04 \quad (12)$$

の関係が得られる。式(12)は実験結果と対応しているが、全体的にコーン法の液性限界の実測値が式(12)による計算値より大きくなる傾向が見られる。このような実測値と計算値のずれは、図-14に示すKarlsson<sup>10)</sup>の結果でも同様に見られる。式(11)、(12)で用いた  $w_\alpha$ 、 $w_\beta$  などの係数の値は大阪湾周辺の粘土の試験結果だけから求めたものであり、これらの数値が他の粘土にも広く適用できるものかどうか、今後さらに多くの実験結果によって検討する必要がある。

図-16はイギリス規格のコーン（先端角30°、重量80g）を用いたSherwoodら<sup>8)</sup>の試験結果である。イギリスの規格では基準貫入量 ( $D_c$ ) は20mmとなっており、この場合、

$$LL_F = 0.85 LL_C + 0.045 \quad (13)$$

となる。この図より、式(13)の関係式が実験結果をよく表していることがわかる。図-14~16に示す実験では、それぞれコーンの形状あるいは基準貫入量が異なっているが、いずれの実験結果も本研究で導いた関係式と良く対

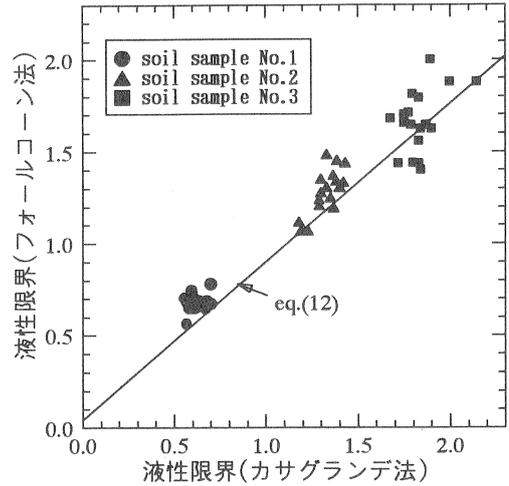


図-15 カサグランデ法とコーン法による液性限界の関係  
(データは一斉試験<sup>4)</sup>による)

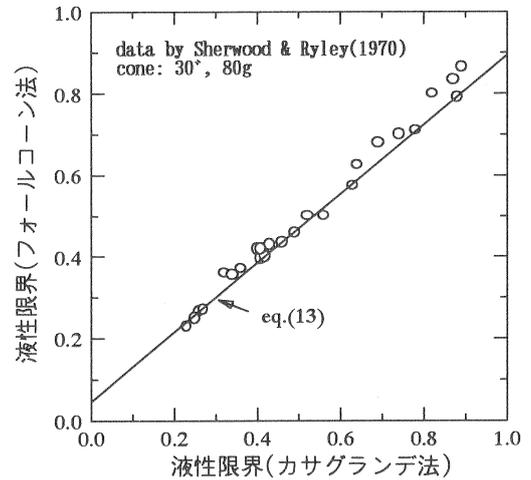


図-16 カサグランデ法とコーン法による液性限界の比較  
(データは、Sherwoodら<sup>8)</sup>による)

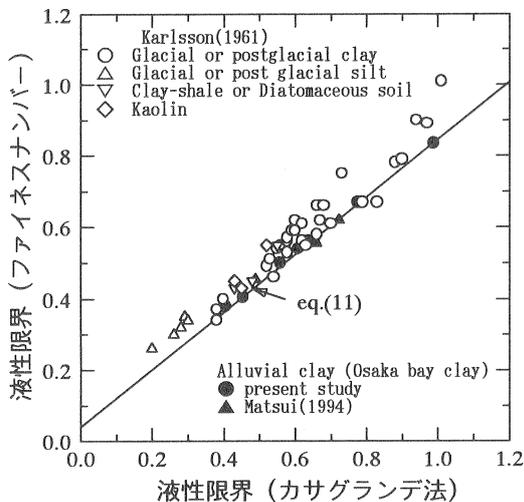


図-14 カサグランデ法とコーン法による液性限界の比較

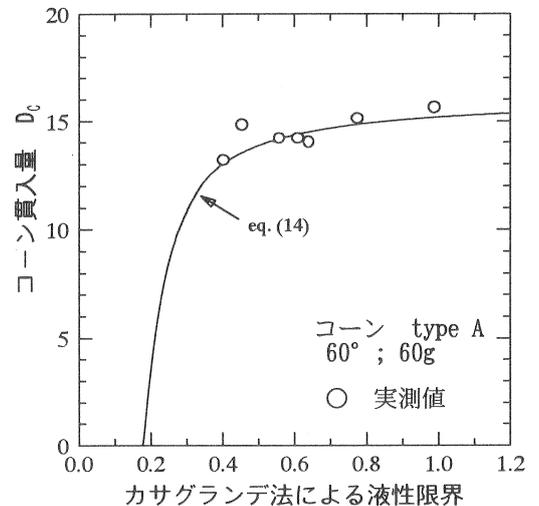


図-17 カサグランデ法に対応するコーンの基準貫入量

応しており、本研究で導いた関係式がコーンのタイプ、基準貫入量に関係なく適用できることがわかる。

これまでコーン法で液性限界を求めるための基準貫入量は、カサグランデ法の液性限界に一致するように決められてきている。カサグランデ法による液性限界を用いると、コーン貫入量 $D$ と含水比の関係は式(7)で表されるが、この式において $w=LL_c$ とおけば、カサグランデ法の液性限界に対応するコーン貫入量 $D_c$ が次のように求められる。

$$D_c = \frac{1}{b} \left( \frac{LL_c - w_\beta}{LL_c - w_\alpha} - a \right) \quad (14)$$

この式からわかるように、 $w_\beta = w_\alpha$ でないかぎり貫入量 $D_c$ は一定値とならない。このことが、先に指摘したように、研究者あるいは国によってコーンの基準貫入量の値が異なる原因といえる。ちなみに、タイプ A のコーンに関してカサグランデ法に対応する基準貫入量は図-17のように変化する。このように、カサグランデ法に一致するようにコーンの基準貫入量を決めることは無意味であり、コーンの基準貫入量は本来の力学的視点から決められるべきであろう。

## 5. まとめ

本研究では、粘土の物性を表す重要な指標である液性限界に関して実験を行い、従来のカサグランデ法とコーン法の関係について考察した。得られた成果をまとめると以下の通りである。

- 1) コーンの貫入量を一定としたときの、粘土の液性限界と含水比の関係はコーンのタイプに関係なく、1点で交わる直線群で表される。
- 2) 上記直線群の交点として求まる液性限界と含水比の値を用いて新たに基準化含水比が定義され、この基準化含水比を用いると、コーン貫入量と含水比の関係が液性限界に関係なく一義的に表されることが示された。
- 3) 基準化含水比とコーン貫入量の関係式より、カサグランデ法とコーン法による液性限界の関係式が導かれ、両者の関係は切片を有する直線関係で表されることが示された。
- 4) カサグランデ法に対応するコーンの基準貫入量は液性限界によって変化することが示され、カサグランデ法に一致するようにコーンの基準貫入量を決めることは無意味であることが示された。

以上のように、本研究で提案した基準化含水比を用いることにより、コーン法と従来のカサグランデ法との関係を明確にすることができた。フォールコーン試験は力学試験の一つであり、コーン法による液性限界は粘土の力学特性を評価するうえで有用な指標となりうるものであ

る。したがって、その規格を統一するには、液性限界の物理的意味も含めて、より力学的な立場からの議論が必要であろう。また、本研究で得られた諸係数の値に関しても、さらに多くの実験によって確認する必要がある。

## 参考文献

- 1) Shibata, T. and A. Nishihara: Normalized compression curve for reconstituted clay, Int. Symposium on Characterization of Soft Marine Clays, 1997.
- 2) 柴田徹・西原晃: 練返し再構成粘土の圧密基準曲線, 第32回地盤工学研究発表会講演集, pp. 389-390, 1997.
- 3) Sowers, G., A. Vesic and M. Grandlfi: Penetration tests for liquid limit, ASTM, STP.No.254, pp.216-226, 1959.
- 4) 土のコンシステンシーに関する研究委員会: 委員会報告、土のコンシステンシーに関するシンポジウム発表論文集、pp.1-89, 1995.
- 5) 風間英彦, 小田恭子, 藤田龍之, 古河幸雄: 液性・塑性限界に対応するフォールコーンの貫入量, 第30回土質工学研究発表会, pp.373-376, 1995.
- 6) 地盤工学会: 土質試験, 基本と手引き, p.39-48, 2000.
- 7) 藤田龍之, 古賀幸雄: フォールコーン貫入量と含水比のグラフ化について, 第28回土質工学研究発表会, pp.353~356.
- 8) Sherwood, P.T. and M.D.Ryley: An investigation of a cone-penetrometer method for the determination of the liquid limit, Geotechnique, 20, No.2, pp.203-208, 1970.
- 9) 松井恒治: 大阪湾粘土の圧密特性に及ぼす続成効果に関する研究, 京都大学修士論文 1994.
- 10) Karlsson, R.: Suggested improvements in the liquid limit test, with reference to flow properties of remoulded clays, Proc. 5th Int. Conf on Soil Mechanics and foundation Eng., pp.171-184, 1961.