

フォールコーン法と JIS 法により求めた液性限界の比較

Comparison between the Liquid Limits obtained by Fall Cone and JIS Methods

○東 孝寛* 大坪政美* マクシケン** 古田良幸** 美谷珠美江**

HIGASHI Takahiro, OHTSUBO Masami, MAK Tsz Kin, FURUTA Yoshiyuki and MITANI Sumie

1. はじめに 地盤工学会基準 JGS 0142 に規定されている自由落下させたコーン(先端角 60°, 質量 60g)の貫入量から液性限界を求めるフォールコーン法は, JIS A 1205 に規定されている液性限界測定法(JIS 法)より簡便であり, かつ個人差が入りにくいという利点を有している。ただし, JIS 法により求められる液性限界 w_L が 160% 以上になると, フォールコーン法により求められる液性限界 w_{Lf} が w_L より相対的に 10% 以上小さくなることから, フォールコーン法が適用できる土の目安を w_L が 160% 未満の土としている(地盤工学会「土質試験の方法と解説」改訂編集委員会編, 2000)。本文では, フォールコーン法と JIS 法により求められる液性限界の関係について, 有明粘土試料と八郎潟粘土試料についての測定結果をもとに検討している。

2. 試料土の性質と実験方法 実験には, 長崎県の諫早湾内(2 地点), 福岡県筑後川下流の昭代干拓地先, 熊本県菊池川下流の横島干拓地先の計 4 地点で採取した有明粘土試料と秋田県の八郎潟で採取した八郎潟粘土試料を使用した。両粘土試料の主要粘土鉱物は, いずれもスメクタイトである(大坪ら, 2004)。試料ごとの塑性指数 I_p と液性限界 w_L (JIS 法による値) を塑性図上に示したのが Fig.1 である。有明粘土試料の粘土分 (< 5 μ m) 含有量は, 諫早湾試料 A で 35~90%, 諫早湾試料 C で 40~90%, 横島試料 YO で 10~60%(大半は 40~60%), 筑後川試料 CH で 10~45%(大半は 20~25%) であり, 粘土分含有量が多い試料ほどプロット点はより右上方に位置している。八郎潟試料 H の w_L は, 粘土分含有量がほぼ同じである諫早湾試料 A, C に比べてかなり大きく, プロット点は全体的に諫早湾試料 A, C より右上方に位置している。

フォールコーン法は JGS 0142, JIS 法は JIS A 1205 にそれぞれ準拠して行った。ただし, フォールコーン法では, 上面内径 60mm, 下面内径 50mm, 深さ 25mm の円錐台形状の容器(容器 A)を使用した。容器 A の深さは, JGS 0142 に規定されている値より小さいが, 容器 A と内径 60mm, 深さ 65mm の円柱形容器を使用した有明粘土 ($w_L=91.0\%$, 塑性限界 $w_p=44.3\%$, 含水比 $w=90.2\%$) についての予備実験におけるコーン貫入量がそれぞれ 11.47, 11.53mm(各々 5 回測定した平均値)となったので, 実用上問題ないと判断した。

3. 実験結果および考察 Fig.2 は, フォールコーン法と JIS 法により求めた液性限界 w_{Lf} と w_L を試料ごとに比較したものである。 w_{Lf} と w_L の比 w_{Lf}/w_L は, 試料 A, C, CH, YO, H でそれぞれ 0.92~1.01, 0.93~1.01, 0.99~1.14(大半は 0.99~1.02), 0.99~1.02, 0.88~1.03 の範囲であり, $w_L < 160\%$ の範囲であれば, 両者の差異はほぼ 10% 未満となっている。しかしながら, いずれの試料の w_{Lf}/w_L も w_L が大きくなるにつれて小さくなる傾向が認められ, 特に粘土分含有量が多い試料 A, C, H の場合はその傾向が顕著であり, ほとんどの w_L が w_{Lf} より大きく, w_L が大きくなるにつれて差異の程度も大となっている。

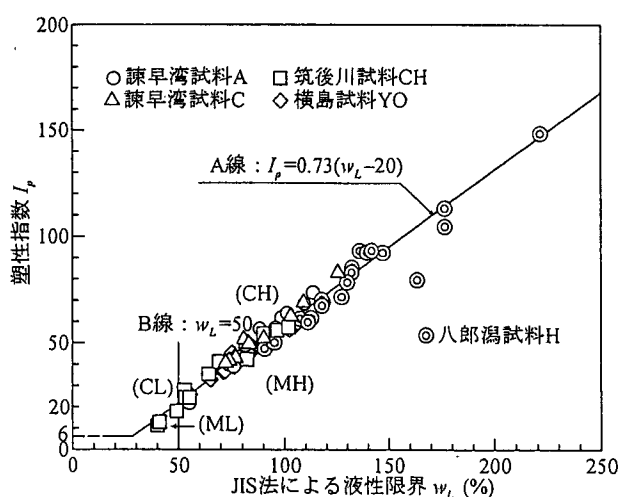


Fig.1 有明粘土・八郎潟粘土試料の塑性図
Plasticity chart for Ariake clay and Hachirougata clay samples

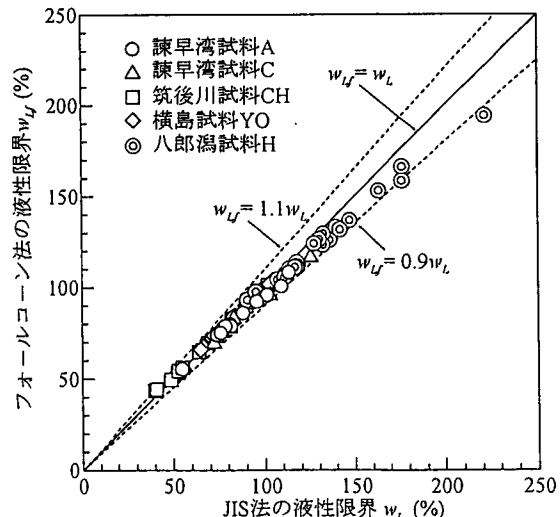


Fig.2 フォールコーン法と JIS 法との比較
Comparison between fall cone and JIS methods

* 九州大学大学院農学研究院 (Faculty of Agriculture, Kyushu University)

** 九州大学大学院生物資源環境科学府 (Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University)

キーワード: 液性限界, フォールコーン法, JIS 法, 有明粘土, 八郎潟粘土, スメクタイト

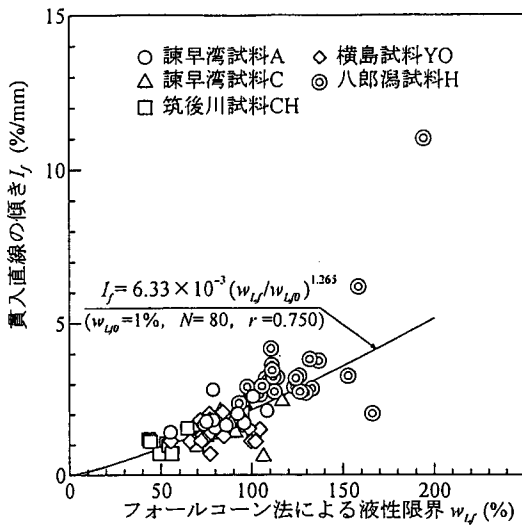


Fig.3 フォールコーン法における貫入直線の傾き I_f と液性限界 w_{Lf} の関係
Relationships between inclination, I_f , of penetration straight line and liquid limit, w_{Lf} , by fall cone method

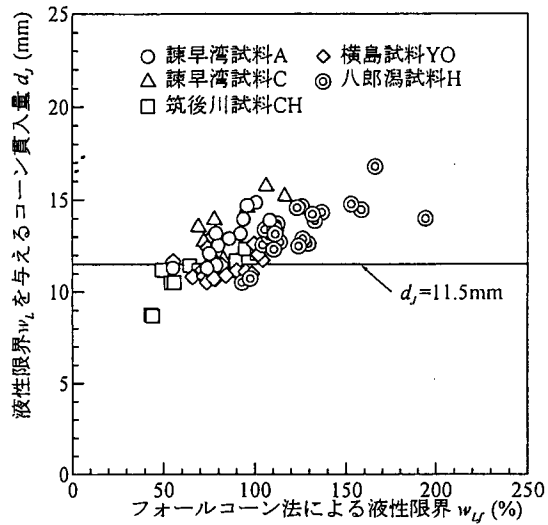


Fig.4 JIS法による液性限界 w_L を与えるコーン貫入量 d_J フォールコーン法による液性限界 w_{Lf} の関係
Relationships between cone penetration depth, d_J , giving liquid limit, w_L , by JIS method and liquid limit, w_{Lf} , by fall cone method

フォールコーン法により求まる貫入直線(含水比 w とコーン貫入量 d の関係を表す直線)の傾き I_f と w_{Lf} の関係を示したのが Fig.3 である。各試料の I_f - w_{Lf} 関係には多少ばらつきは見られるが、 w_{Lf} が大きくなるにつれて I_f が大となる傾向を示している。 I_f - w_{Lf} 関係に w_{Lf}/w_{Lf0} (w_{Lf0} : w_{Lf} を規準化するための単位量) のべき関数を適用し、最小二乗法を適用して求めたべき関数式は、 $I_f = 6.33 \times 10^{-3} (w_{Lf}/w_{Lf0})^{1.265}$ (データ数 $N=80$, 相関係数 $r=0.750$, $w_{Lf0}=1\%$) となった。Fig.4 は、JIS 法から求まる液性限界 w_L を与えるフォールコーン法におけるコーン貫入量 d_J と w_{Lf} の関係である。Koumoto and Houlsby(2001) の報告と同様にいずれの試料の d_J も w_{Lf} が大きくなるにつれてほぼ直線的に増加し、その増加率 (d_J - w_{Lf} 関係を直線とみなしたときの直線の傾き) は、粘土分含有量が多い試料 A, C, H の方が少ない試料 CH, YO より大きい。試料 CH, YO の d_J は、ほとんどが $w_{Lf} > w_L$ でありかつ両者の差異が小さい (Fig.2 参照) ので、ほぼ 10.5~11.5mm の範囲である。それに対して、試料 A, C, H の d_J は、ほとんどが $w_{Lf} < w_L$ でありかつ両者の差異が大きい (Fig.2 参照) ため、ほぼ 11.5mm 以上であり、大半が 12.5mm 以上である。

高山(1971)は、有明粘土やベントナイトについての詳細な実験より、 $w_L=40\sim 120\%$ の範囲においては w_L がファイネスナンバー F (貫入直線におけるコーン貫入量 10mm のときの含水比 w) より 2~3% 高く、 $w_L > 120\%$ の範囲では両者の差異は w_L が大きくなるにつれて増大すると報告している。 $40 \leq w_{Lf} \leq 100\%$ の範囲では、フォールコーン法により求まる貫入直線の傾き I_f が概ね 1~2 %/mm の範囲 (Fig.3 参照) であること、および現行のフォールコーン法 (JGS 0142) の貫入量が 11.5mm とファイネスナンバーの場合より 1.5mm 大きいことを考慮に入れると、Figs.2, 4 の結果と高山(1971)の報告はほぼ整合している。また、JIS 法による液性限界 w_L との対応から考えると、粘土分含有量が多い諫早湾試料 A, C および八郎瀉試料 H の場合、現行のフォールコーン法におけるコーン貫入量 11.5mm は過小である。今後、フォールコーン法の普及を図るためには、試料の d_J - w_{Lf} 関係を直線と見なし、最小二乗法により求めた回帰直線 (試料 A, C: $d_J = 7.5 + 0.066w_{Lf}$ (データ数 $N=22$, 相関係数 $r=0.712$), 試料 H: $d_J = 8.6 + 0.038w_{Lf}$ ($N=23$, $r=0.687$)) を利用して貫入量の補正を行うなど、何らかの補正法の導入が不可欠である。

4. まとめ 粘土分(スメクタイト)含有量が多い試料の場合、JIS 法により求まる液性限界がフォールコーン法により求まる液性限界より高く、その差は液性限界が高くなるほど大となることを確認した。このような試料の液性限界測定法として、フォールコーン法が JIS 法の代用法と成りうるためには、規定のコーン貫入量 (11.5mm) の補正法を確立する必要がある。最後に、本研究で使用した試料土の一部は、九州農政局有明海岸保全事業所および同玉名横島海岸保全事業所から提供いただいた。さらに、本研究は、平成 16 年度日本学術振興会科学研究費補助金(基盤研究(C)(2), 課題番号 15580215)の補助を受けました。付記して謝意を表します。

引用文献 Koumoto, T. and Houlsby, G. T.(2001): Theory and practice of the fall cone test, *Géotechnique*, Vol. 51, No.8, 701-702. 大坪政美, 岩永敏宏, 東 孝寛, 金山素平(2004): 海成粘土の圧密特性に及ぼす粘土鉱物組成の影響, 平成 16 年度農業土木学会大会講演会講演要旨集, 398-399. 高山昌照(1971): 有明粘土のこね返し強さについて, 農業土木学会誌, 第 39 巻, 第 7 号, 25-30. 地盤工学会「土質試験の方法と解説」改訂編集委員会編(2000): 土質試験の方法と解説-第一回改訂版-, 社団法人地盤工学会, 91-106.