

# 塑性比による土の含水状態の表示とその利用について

## Plastic Ratio and Its Application to Soil Classification

斎藤孝夫\*・三木五三郎\*

Takao SAITO and Gosaburo MIKI

### 1. はじめに

細粒土のコンシステンシー特性は、一般的に、塑性限界、液性限界、および、それらの差である塑性指数によって示され、とくに、塑性指数と液性限界の関係に基づく塑性図は分類の基本となっている。しかし、現在のところ、この塑性図による細粒土の分類は、土の力学的性質を、期待するほど定量的に表現できるものとは考えられていない。そこで、われわれは、あらたに、塑性指数と塑性限界の比である塑性比と液性限界との関係に基づく塑性比図によって土のコンシステンシー特性と力学的性質の関連を調べてみた。その結果、塑性比は、土のコンシステンシー特性を示す指数として有効であること、および、塑性比図は、土の力学的性質をかなり定量的に説明しうること、などがわかった。

### 2. 塑性比による土の含水状態の表示とコンシステンシー特性

図1のコンシステンシー特性に基づいた土の含水状態の表示方法に示されるように、塑性比<sup>1)</sup>は、塑性指数を塑性限界で除した値として定義する。すなわち、土の詰まり程度を示す指数としての間ゲキ比が、土粒子の体積を1としたときの土塊内に占める空ゲキの割合を示すことと対比すれば、塑性比は、塑性限界を1としたときに塑性的性状を示すために土粒子が保持している水分量の割合を示していることになる。

つぎに、塑性比と塑性図の関連について考える。図2は、山田・今井<sup>2)</sup>による静的に締固めた塑性限界付近の

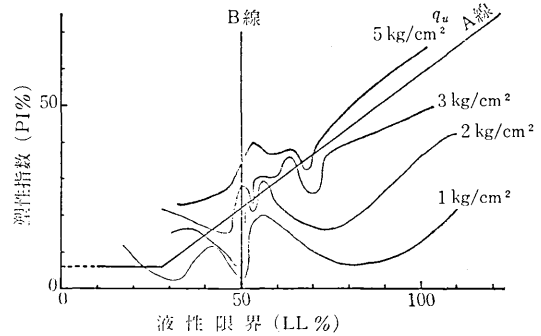
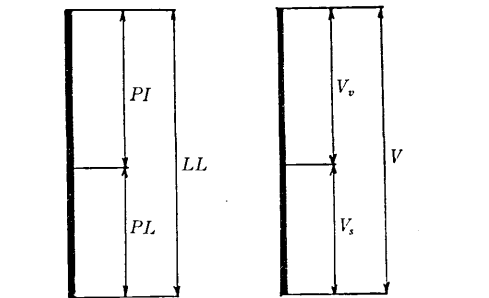


図2 締固めた塑性限界付近の土の一軸圧縮強さの塑性図上での分布(山田・今井)

土の一軸圧縮強さの塑性図上での分布を示す。これによれば、等しい強さのコンターラインは、ほぼ、A線に沿って引かれている。タフネス指数や炉乾燥一軸圧縮強さも図2と同じような分布特性を示す。これらのことから、コンシステンシー特性が塑性図上でA線に沿って移動するとき、土の強さ特性は、それほど変わらないことが推察される。もし、塑性比が等しい細粒土は、似かよった力学的性質を持っているものとすれば、このような塑性図上での強さ特性の分布傾向は、図3の塑性図上に引かれた原点からの等塑性比直線の分布より説明することができる。

すなわち、図3は、塑性図上で等しい塑性比を持つ点の連続が、原点からの傾度の異なる直線群として与えられることを示している。また、A線は等塑性比直線と交



LL: 液性限界 PL: 塑性限界 PI: 塑性指数  
V: 土塊の体積 Vs: 土粒子の体積 Vv: 土塊間ゲキの体積  
Pr: 塑性比 (PI/PL) e: 間ゲキ比 (Vv/Vs)

図1 土の含水状態の表示方法

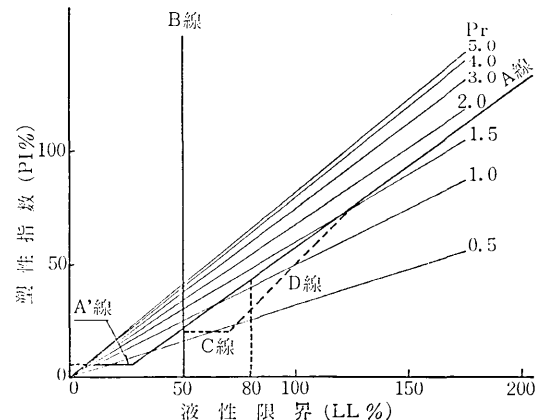


図3 日本統一土質分類における塑性図と塑性比

\* 東京大学生産技術研究所 第5部

研究速報

差していること、および、A線の下側では等塑性比直線の間隔はまばらであるが、上側ではかなり密であることなどがわかる。

そして、これまで述べたように、塑性図が細粒土の分類の基本と考えられていること、図2に示されるような塑性図上の一軸圧縮強さの分布特性、および、図3の塑性図上に引かれた等塑性比直線の分布などから、塑性比と液性限界によって土のコンシステンシー特性を表現しうることが考えられる。

すなわち、図4は、縦軸に塑性比、横軸に液性限界をとって土の含水状態を表示しようとしたグラフで、これは土のコンシステンシー特性をより適確に表現することを可能にする。すなわち、同じ液性限界を持つものでも、塑性比が大きければ大きいほど、塑性的性状を示すために土粒子が保持する水分を多量に含むことになるので、土は粘りけを増し、同じ塑性比を持つものでも、液性限界が大きければ大きいほど、力学的性状に基本的変化はみられなくても、圧縮性などの量的変化は大きくなる傾向を持つであろう。

このような観点から、われわれは、図4を塑性比図

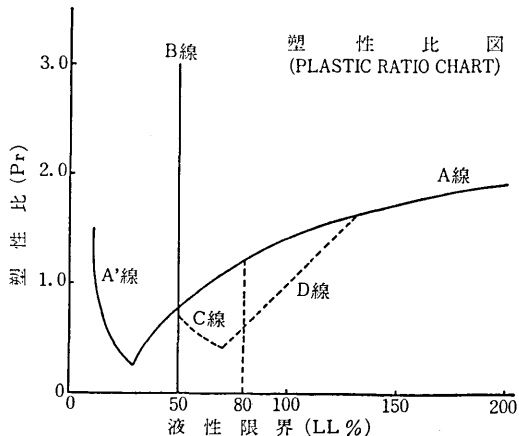


図4 塑性比による土の含水状態の表示と塑性図上の区分線との関係

(Plastic Ratio Chart) と名付けることにする。なお、参考までに、図4には塑性図上の区分線の分布が示してある。これによって、液性限界とともに塑性図上の各区分線の塑性比が変化する傾向を理解することができる。

3. 塑性比図と 2, 3 の力学的性質の関連

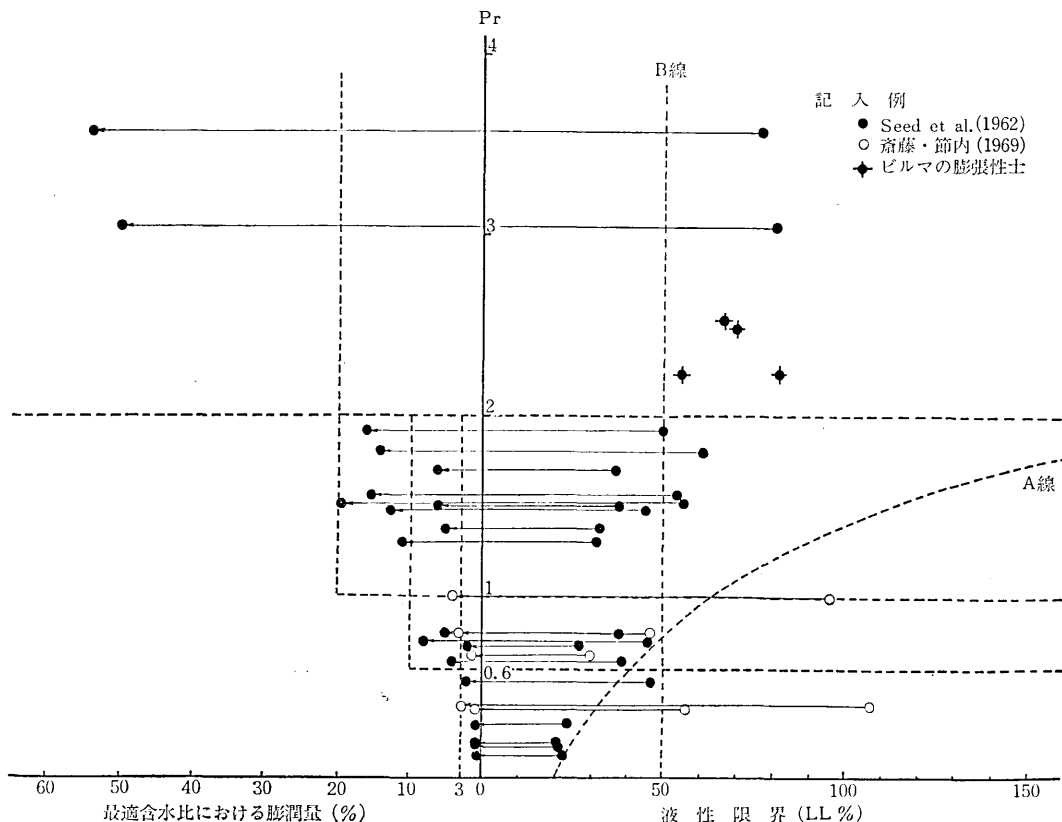


図5 塑性比による土の含水状態の表示と最適含水比における膨潤量との関係

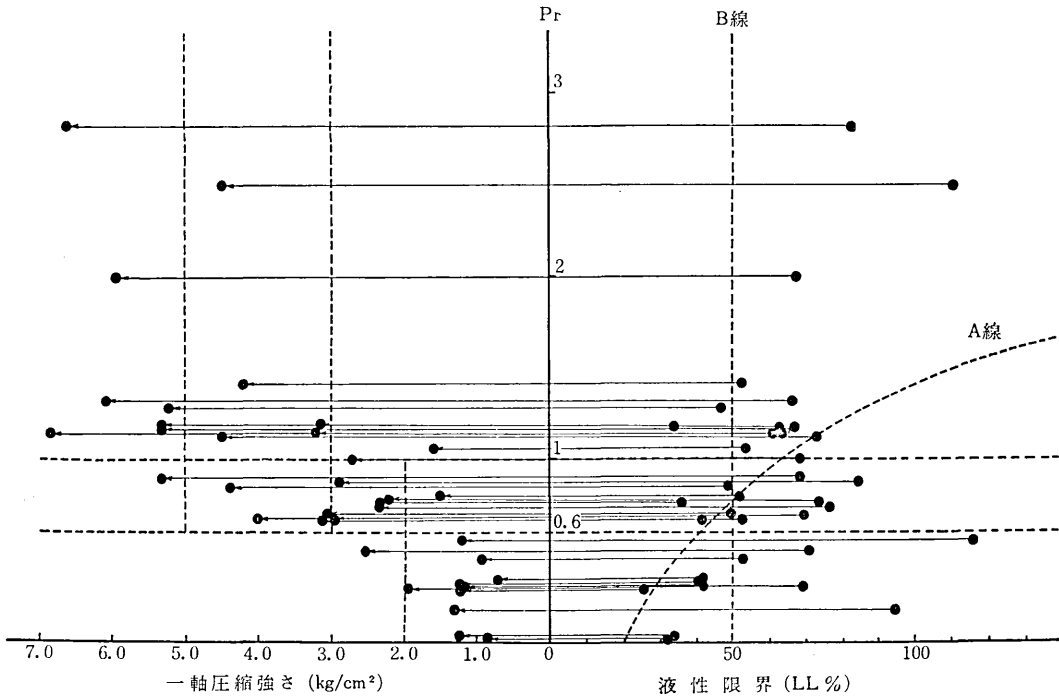


図 6 塑性比による土の含水状態の表示と締固めた塑性限界付近の土の一軸圧縮強さとの関係 (山田・今井, 1970, の資料による)

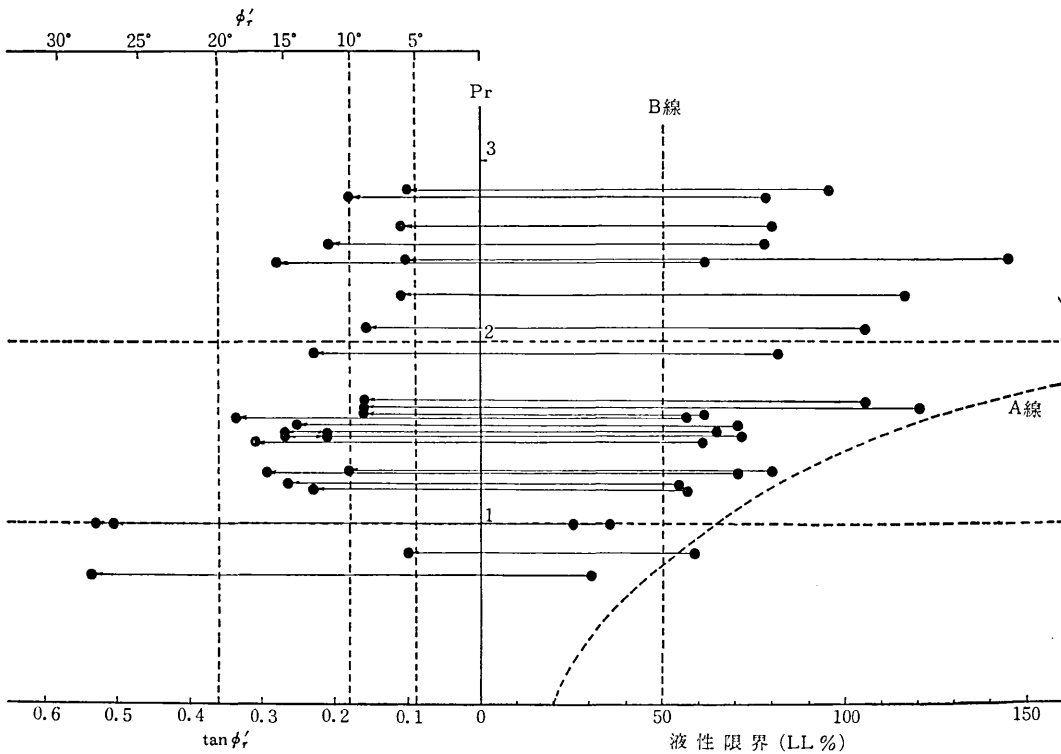


図 7 塑性比による土の含水状態の表示と残留強さとの関係 (Kenney, 1967, Bjerrum, 1967, Skempton et al. 1969, の資料による)

## 研究速報

ここでは、塑性比図によって表示される土のコンシステンシー特性と 2, 3 の力学的性質の関連について述べることにする。

図 5 は, Seed et al<sup>3)</sup>, 斎藤・筋内<sup>4)</sup>などの資料をもとに, 塑性比図と膨潤量との関係を示したものであり, ビルマの膨張性土<sup>4)</sup>の例も記入してある。これによれば, 膨潤量は塑性比と液性限界に密接に関係しているのがわかる。すなわち, 塑性比が 0.6 以下では膨潤量は 3% 以下であり, 0.6~1.0 の間では 3~10%, 1 から 2 の間では 3~20%, 塑性比が 3 以上では, 膨潤量が 50% 以上にもなる。また, 塑性比が 0.6~2 の間で液性限界が 50% 以下の場合, 液性限界が等しければ, 膨潤量が等しい傾向を示す。そして, 塑性比が 1 以上で液性限界が 50% 以上であれば, 締固めた土の最適含水比における膨潤量は 10% 以上になることがわかる。

図 6 は, 図 2 の塑性比図上における静的に締固めた塑性限界付近の土の一軸圧縮強さの分布を塑性比図によって書き代えたものである。これによれば, 一軸圧縮強さは, 塑性比が 0.6 以下では 2kg/cm<sup>2</sup> 以下で大半が約 1kg/cm<sup>2</sup> であり, 0.6~1 の間では, 液性限界が 50% 以下のときは 2~3kg/cm<sup>2</sup>, 液性限界が 50% 以上のときは 3~5kg/cm<sup>2</sup>, 塑性比が 1 以上であれば 3kg/cm<sup>2</sup> 以上で, おおかた, 5kg/cm<sup>2</sup> 以上の圧縮強さを持つ。すなわち, 塑性比が大きいほど塑性限界付近の土の土粒子間の凝集力は大きくなるのが図 5 の塑性比図と膨潤量の関係から推察されるので, 塑性比の増加とともに塑性限界付近の土の一軸圧縮強さが増加することは, 当然, 予測することができる。

図 7 は, Kenney<sup>5)</sup>, Bjerrum<sup>6)</sup>, Skempton et al<sup>7)</sup>, の資料をもとに, 塑性比図と自然土の残留強さとの関係を示したものである。これによれば, 残留強さ  $\phi'_r$  は, 塑性比と液性限界がともに大きくなるに従って減少することがわかる。とくに, 塑性比の増加は残留強さ  $\phi'_r$  に顕著な影響を与え, 液性限界 50% 以上で塑性比が 1~2 の間で  $\phi'_r$  は 20°~10°, 2~3 の間で 10°~5°, 大半が 5° 付近と小さい残留強さを示している。すなわち, 排水セン断試験によって生ずるピーク強さが, セン断ヒズミの増加とともに徐々に残留強さへと減少するためには, セン断面でのダイレイタンス現象や土粒子の再配列が顕著に起こることが必要である。もちろん, 土が過圧密状態であるなどの拘束条件を別にしても, このような条件を満たす土は, 塑性比が 1 以上で液性限界が 50% よりも大きいという素材の特徴を持っているのである。

そして, 図 5 の塑性比図と膨潤量の関係から, 膨潤性を有する土は, 残留強さによって破壊する地スベリ粘土などと同じような素材の特徴を持っていることに気が付く。

## 4. 結 論

これまで述べたことから, 次のことが明らかになった。

(1) 塑性指数と液性限界の関係に基づく塑性比図上に引かれた細粒土を分類するための各区分線の持つ意味が, 塑性指数を塑性限界で除した値として定義する塑性比の考えを取り入れることによって, きわめて明確にされた。とくに, 塑性比図上の A 線が 0.5~2.0 までの広い範囲の塑性比を示す等塑性比直線群と交差していることは興味深い。

(2) 塑性比を縦軸に, 液性限界を横軸にとって描いた図を塑性比図と名付けて土の含水状態を表示したところ, コンシステンシーの変化による膨潤量, 一軸圧縮強さおよび残留強さなどの力学的性質の変化をうまく説明することができた。そして, それらの力学的性質のおおまかな変化は, 塑性比図上で塑性比 0.6, 1.0, 2.0 の直線と液性限界 50% の直線によって区分できた。

このように, 塑性比図による土のコンシステンシー特性の表示は, 細粒土の判別と分類に対して新しい問題と展望を呈示していると考えられる。(1973年11月10日受理)

## 参 考 文 献

- 1) 斎藤・筋内: 締固めた土の二, 三の膨潤特性について, 土木学会論文報告集, No. 172, 1969年12月, pp. 11~18
- 2) 山田・今井: 塑性比図上に於ける土の性質分類, 土の判別分類に関するシンポジウム(昭和44年度発表論文集), 土質工学会土の判別分類法委員会, 1970年2月, pp. 5~8.
- 3) Seed, H. B., Woodward, R. J. and Lundgren, R.: Prediction of swelling potential for compacted clays, Proc. ASCE, Vol. 88, No. SM 3, 1962, pp. 53~87.
- 4) Woollorton, F. L. D.: Movements in the desiccated alkaline soils of Burma, Trans. ASCE, 1951, pp. 433~479.
- 5) Kenny, T. C.: The influence of mineral composition on the residual strength of natural soils, Proc. The Geotechnical Conference OSLO, Vol. 1, 1967, pp. 123~129.
- 6) Bjerrum, L.: Progressive failure in slopes of over consolidated plastic clay and clay shales, Proc. ASCE, Vol. 93, No. SM 5, 1967, pp. 3~49.
- 7) Skempton, A. W. and Hutchinson, J.: Stability of natural slopes and embankment foundations, State of the Art Volume, 7th. ICSMFE, 1969, pp. 291~340.