

# 土の物理的性質と pH

松下英次<sup>1</sup>・山本哲朗<sup>2</sup>・鈴木素之<sup>2</sup>

<sup>1</sup>大学院理工学研究科博士前期課程社会建設工学専攻

<sup>2</sup>社会建設工学科

13 種類の土のコンシステンシーと pH の関係に基づいて、pH の変化による液性限界および塑性指数の変化量と平均粒径、最大粒径、粘土含有量および細粒分含有率の関係について検討した。さらに、試料の pH を変化させたとき塑性図上でどのような傾向を示すかを調べた。検討の結果、主要粘土鉱物がスメクタイトである 2 つの試料を除けば、pH の変化による液性限界および塑性指数の変化量と平均粒径、粘土含有量および細粒分含有率との関係にそれぞれ一定の関係が見られる。塑性図上ですべての試料で初期の pH より pH を減少させると左下がり傾向を示す。このことは、pH の変化によって土の分類が変化することを意味し、土の分類を考える上で pH が重要な指標であることを示している。

**Key words:** pH, Liquid Limit, Plasticity index, clay, Average diameter of soil particle, Maximum grain size, Clay content, Fine grained soil content, Plasticity chart

## 1. まえがき

コンシステンシーが pH の影響を受けるということは著者<sup>1), 2)</sup>らおよび他の研究者<sup>3) ~ 12)</sup>によって明らかにされている。著者らによって pH とコンシステンシーの関係には 2 つの型があることが示された。1 つは図-1 (a) に示す安中粘土のように、pH の増加とともに液性限界、塑性限界および塑性指数が増加するものである。もう 1 つは図-1 (b) に示す庄原粘土のように、pH の増加とともに液性限界、塑性限界および塑性指数が初期の pH (以下、 $(pH)_i$  という) までいったん増加した後、減少するものである。さらに、pH の影響は液性限界で大きく、塑性限界で小さいという結果を得ている。しかし、これまで粒径とコンシステンシーの関係を明らかにしたものはない。

本論文では酸性化させた 13 種類の試料の液性限界および塑性指数の変化を土の物理指標との関係から考察する。物理指標として平均粒径  $D_{50}$ 、最大粒径  $D_{max}$ 、粘土含有量  $F_{clay}$  および細粒分含有率  $F_c$  を用いる。また、塑性図上での pH の変化による液性限界と塑性指数の関係を考察する。

## 2. 試料

試料は安中粘土、有明粘土、大道粘土、今市カオリナイト、神戸粘土、黒磯スメクタイト、寝屋川粘土、鍋山劈開セリサイト、庄原粘土、庄原ディッカイト、庄原

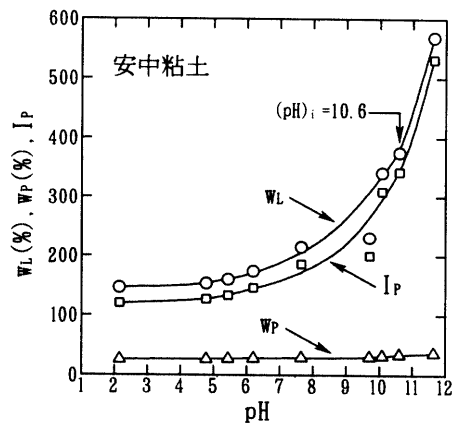


図-1 (a) 安中粘土のコンシステンシーと pH の関係

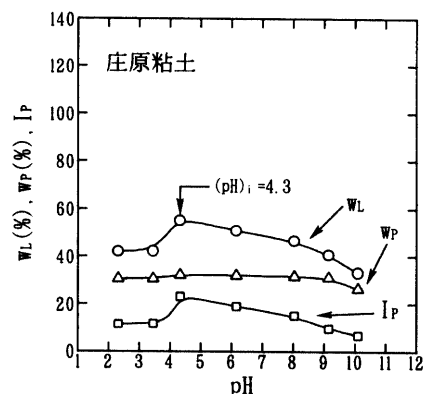


図-1 (b) 庄原粘土のコンシステンシーと pH の関係

表-1 原土試料の試料の物理・化学的性質

試料名	試料採取地点	$\rho_s$ ( $g/cm^3$ )	$w_L$ (%)	$w_p$ (%)	$I_p$	$D_{50}$ (mm)	$D_{max}$ (mm)	$F_{clay}$ (%)	$F_c$ (%)	土の分類	(pH) <sub>i</sub>
安中粘土	群馬県	2.400	375.7	34.5	341.2	0.004	0.032	59.7	100.0	CH	10.6
有明粘土	福岡県	2.611	60.9	40.0	20.9	0.033	0.425	19.0	82.5	CH	8.1
大道粘土	山口県	2.570	55.5	26.2	29.3	0.007	0.250	45.0	87.1	CH	6.8
今市カオリナイト	栃木県	2.513	47.3	33.2	14.1	0.008	0.048	40.1	100.0	ML	7.9
神戸粘土	兵庫県	2.614	62.5	30.3	32.2	0.005	0.425	49.0	98.1	CH	7.4
黒磯スメクタイト	栃木県	2.792	1072.7	88.0	984.7	0.005	0.032	51.4	100.0	CH	9.7
寝屋川粘土	大阪府	2.650	65.5	31.7	33.8	0.013	0.250	9.0	99.7	CH	7.9
鍋山劈開セリサイト	島根県	2.773	117.1	42.8	74.3	0.009	0.032	20.3	100.0	CH	9.9
庄原粘土	広島県	2.681	55.1	32.1	23.0	0.005	0.075	55.6	100.0	CH	4.3
庄原ディッカイト	広島県	2.609	50.3	34.5	15.8	0.005	0.032	41.8	100.0	ML	8.3
庄原パイロフィライト	広島県	2.772	52.6	36.4	16.2	0.005	0.032	46.8	100.0	ML	7.8
宇部岬粘土	山口県	2.598	59.5	30.5	29.0	0.051	0.250	10.5	89.1	CL	7.8
宇部沖粘土	山口県	2.580	110.6	42.8	67.9	0.012	0.425	16.3	98.5	CH	7.4

パイロフィライト、宇部岬粘土および宇部沖粘土の13種類である。これらの土試料は425 $\mu$ mふるいを通させたものである（本文中ではこの状態の試料を原土試料という）。

表-1にこれら原土試料の物理的性質および化学的性質を示す。原土試料の物理的性質をまとめると、 $w_L=47.3\sim 1072.7\%$ 、 $w_p=26.2\sim 88.0\%$ 、 $I_p=14.1\sim 984.7$ 、 $D_{50}=0.005\sim 0.051$  mm、 $F_{clay}=9.0\sim 59.7\%$ 、 $F_c=82.5\sim 100.0\%$ である。これらの大部分は低塑性から高塑性の粘土土であり、一部はシルトである。また、原土試料の化学的性質をみると、(pH)<sub>i</sub>は4.3~10.6であり、その平均値は8.0である。

### 3. 結果および考察

#### (1) pHの変化に伴うコンシステンシー特性と粒度

pHを変化させたとき粒度はほとんど変化しないという結果が得られている<sup>1)</sup>。この結果を踏まえて以下に考察する。

##### a) 平均粒径と最大粒径

図-2にpHの変化による液性限界の変化量 $\Delta w_L/\Delta pH$ と平均粒径 $D_{50}$ および最大粒径 $D_{max}$ の関係をそれぞれ示す。図中の○は平均粒径、△は最大粒径を示している。 $D_{50}$ と $\Delta w_L/\Delta pH$ の関係では、 $D_{50}$ が小さくなるにしたがい $\Delta w_L/\Delta pH$ は増加している。 $D_{50}=0.005$ mmでは

$\Delta w_L/\Delta pH=1\sim 8$ であり、 $D_{50}=0.1$ 付近で0となっている。安中粘土および黒磯スメクタイトは $\Delta w_L/\Delta pH$ が約30と大きくなって大きな値となっているが、この理由として、両者の主要粘土鉱物はスメクタイトであり、初期の液性限界が他の土試料に比べて非常に大きいためと考えられる。 $D_{50}$ が小さくなるにしたがい $\Delta w_L/\Delta pH$ が増加する理由として、土の粒径が小さくなると土粒子の比表面積が大きくなり、間隙水のpHの変化による電気的影響を受けやすくなるためと考えられる。 $D_{max}$ と $\Delta w_L/\Delta pH$ の関係には今回の結果から明確な関係は見ることができない。この理由として、 $D_{max}$ は $D_{50}$ に比べて粒径が大きいため、pHの変化による液性限界の変化にあまり影響がないということが考えられる。

図-3にpHの変化による塑性指数の変化量 $\Delta I_p/\Delta pH$ と平均粒径 $D_{50}$ および最大粒径 $D_{max}$ の関係をそれぞれ示す。 $D_{50}$ と $\Delta I_p/\Delta pH$ の関係は、 $D_{50}$ が小さくなるにしたがい $\Delta I_p/\Delta pH$ が増加している。 $D_{50}=0.005$ mmでは $\Delta w_L/\Delta pH=1\sim 6$ であり、 $D_{50}=0.1$ 付近で0となっており、 $D_{50}$ と $\Delta w_L/\Delta pH$ の関係と同様の傾向を示している。この理由として、塑性指数は液性限界と塑性限界によって定義されており、先述したように塑性限界はpHの影響をあまり受けないという結果から、塑性指数の変化は液性限界の変化に類似していたためである。しかし、図中の破線の傾きは $D_{50}$ と $\Delta w_L/\Delta pH$ の関係より $D_{50}$ と $\Delta I_p/\Delta pH$ の関係の方が小さくなっている。安中粘土および黒磯スメクタイトの両者の関係は、図-2と同様に他の試料

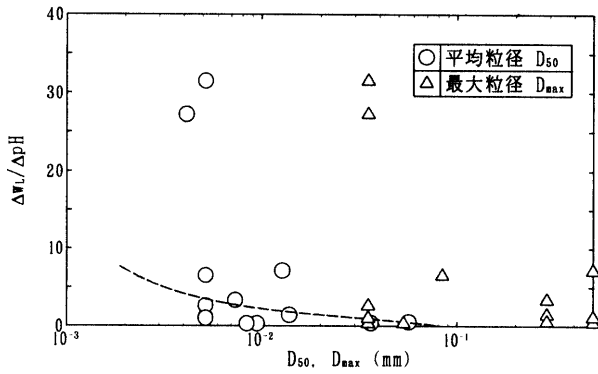


図-2 pH の変化による液性限界の変化量 $\Delta w_L/\Delta pH$  と平均粒径および最大粒径の関係

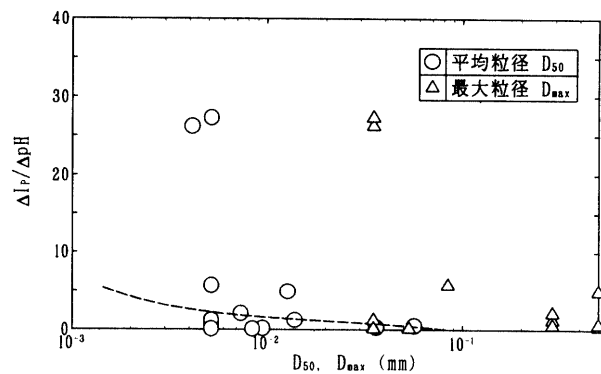


図-3 pH の変化による塑性指数の変化量 $\Delta I_p/\Delta pH$  と平均粒径および最大粒径の関係

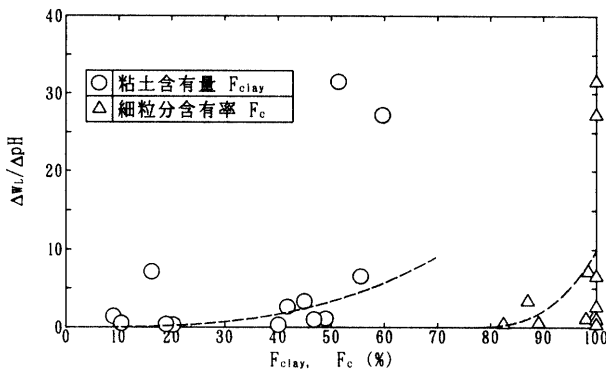


図-4 pH の変化による液性限界の変化量 $\Delta w_L/\Delta pH$  と粘土含有量および細粒分含有率の関係

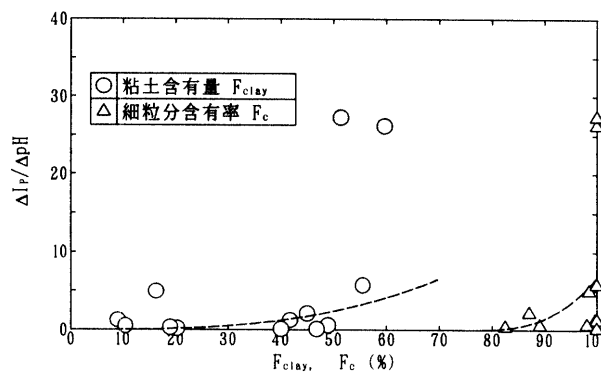


図-5 pH の変化による塑性指数の変化量 $\Delta I_p/\Delta pH$  と粘土含有量および細粒分含有率の関係

のそれらと大きく相違する。また、最大粒径  $D_{max}$  についても同様に今回の結果から明確の関係を見ることはできない。

b) 粘土含有量および細粒分含有量

図-4に pH の変化による液性限界の変化量 $\Delta w_L/\Delta pH$  と粘土含有量  $F_{clay}$  および細粒分含有率  $F_c$  の関係をそれぞれ示す。図中の○は粘土含有量、△は細粒分含有率を示している。 $\Delta w_L/\Delta pH$  と  $F_{clay}$  の関係は、 $F_{clay}$  の増加にしたがって $\Delta w_L/\Delta pH$  が増加している。 $\Delta w_L/\Delta pH$  と  $F_c$  の関係も同様に  $F_c$  の増加にしたがって $\Delta w_L/\Delta pH$  が増加している。安中粘土および黒磯スメクタイトの両者の関係は、図-2、3と同様に他の試料のそれらと大きく相違する。 $F_{clay}=60\%$ 付近で $\Delta w_L/\Delta pH=7$ 、 $F_{clay}=10\%$ 付近で $\Delta w_L/\Delta pH=0$  となっているのに対し、 $F_c=100\%$ で $\Delta w_L/\Delta pH=7$ 、 $F_c=100\%$ で $\Delta w_L/\Delta pH=0$  となっており、その変化の傾向は異なる。この理由として、 $F_{clay}$  より  $F_c$  の方が対象となる粒径が大きいと考えられ、先述した土の粒径が小さくなると土粒子の比表面積が大きくなり、間隙水の pH の変化による電氣的影響を受けやすくなることを示唆している。

図-5に pH の変化による塑性指数の変化量 $\Delta I_p/\Delta pH$

と粘土含有量  $F_{clay}$  および細粒分含有率  $F_c$  の関係をそれぞれ示す。これらの傾向も図-4と同様の傾向を示しており、その度合いは図-2、3と同様に図-4より図-5の方が小さくなっている。

(2) 塑性図上の pH の変化によるコンシステンシー特性

これまで、佐野ら<sup>1,2)</sup>によって pH の変化による塑性図上の変化が示されている。しかし、これは一つの試料について行ったものであり、多種の土については行われていない。そこで本論文は、以下のように 13 種類の土に対してその点を考察した。

図-6は有明粘土、大道粘土、寝屋川粘土、庄原パイロフィライトおよび宇部沖粘土の塑性図上の pH の変化に伴う液性限界と塑性指数の関係をそれぞれ示す。ここで図中の矢印は試料名と初期の pH を示しており、いずれもこれより pH を減少させて液性限界試験および塑性限界試験を行っている。図-6に示す 5 試料すべては pH の減少にしたがい右上から左下へと変化している。他の 8 試料についても同様の傾向が見られる。また、これらすべての試料において塑性図上を直線的に変化している。次に、図-6の有明粘土、大道粘土、寝屋川粘土お

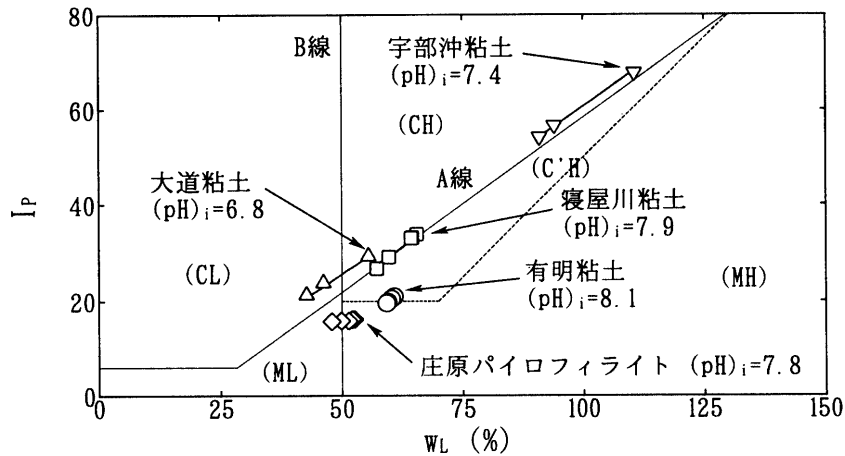


図-6 塑性図上の pH の変化に伴う液性限界と塑性指数の関係

よび庄原パイロフィライトに注目すると、pH の減少によって有明粘土では C'H か ML、大道粘土では CH から CL、寝屋川粘土では CH から C'H、庄原パイロフィライトでは MH から ML へと移動している。このことは、土の pH を変化させることにより、細粒土の土の分類を変化させる恐れがある。

#### 4. 結論

本研究では、13 種類の試料に対してコンシステンシーと pH の関係に基づき、粒度と塑性図上の変化について検討した。得られた知見は以下のである。

- 1) 平均粒径が小さくなるにしたがい pH の変化による液性限界および塑性指数の変化量はそれぞれ増加する。
- 2) 今回用いた 13 種類の試料に限れば、最大粒径と pH の変化による液性限界および塑性指数の変化量の間それぞれ明確な関係は見られない。
- 3) 粘土含有量が増加するにしたがい pH の変化による液性限界および塑性指数の変化量はそれぞれ増加する。
- 4) 細粒分含有率が増加するにしたがい pH の変化による液性限界および塑性指数の変化量はそれぞれ増加する。
- 5) 13 種類の試料では塑性図上において、pH の変化により液性限界に対して塑性指数は直線的に変化する。
- 6) 上記 5) のことから、土の pH の変化により細粒分の土の分類が変化することがある。

#### 参考文献

- 1) 松下英次, 山本哲朗: 粘性土のコンシステンシー限界に及ぼす pH の影響, 山口大学工学部研究報告, 第 48 巻, 第 2 号, pp.23-30, 1998.
- 2) 松下英次, 山本哲朗, 岩井 勝: 土の液・塑性限界に及ぼす pH の影響, 第 50 回土木学会中国支部研究発表会発表概要集, pp.259-256, 1988.
- 3) Warkentin, B.P.: Interpretation of the upper plastic limit of clays, *Nature*, Vol.190, No.4772, pp.287-289, 1961.
- 4) Torrance, J.K., and Pirnat, M.: Effect of pH on the rheology of marine clay from the site of the south nation river, Canada, landslide of 1971, *Clays and Clay Minerals*, Vol.32, No.5, pp.384-390, 1984.
- 5) 大坪政美: 海成粘土の液性限界・沈定容積に及ぼす塩濃度の影響, 農業土木学会論文集, 第 96 号, pp.1-5, 1981.
- 6) 村上幸利, 土倉 泰, 鈴木史浩: 地すべり粘土の水素イオン濃度と残留強度の関係把握に関する基礎的研究, 土木学会第 48 回年次学術講演会講演概要集, 第 3 部, pp.956-957, 1993.
- 7) Kamon, M., Ying, C. and Katsumi, T.: Effect of acid rain on physico-chemical and engineering properties of soils, *Soils and Foundations*, Vol.37, No.4, pp.23-32, 1997.
- 8) 佐野博昭, 山田幹雄, 太田 実, 能澤真周: 酸性移行を呈する土のコンシステンシー限界について, 土木学会第 52 回年次学術講演会講演概要集, 第 3 部, pp.10-11, 1997.

(1998. 11. 14 受理)

## RELATIONSHIP BETWEEN PHYSICAL PROPERTIES OF SOIL AND pH

Eiji MATSUSHITA, Tetsuro YAMAMOTO and Motoyuki SUZUKI

The relationship between the change of liquid limit  $w_L$  and plasticity index  $I_p$  with changing pH and the physical properties such as average diameter of soil particle  $D_{50}$ , maximum grain size  $D_{max}$ , clay content  $F_{clay}$  and fine grained soil content  $F_c$  was examined. As a result it was shown that except for Annaka clay and Kuroiso smectite containing a lot of smectite, all other soil samples have a good correlation between  $\Delta w_L/\Delta pH$  and  $D_{50}$ ,  $F_{clay}$  and  $F_c$  respectively. The same correlation was obtained for  $\Delta I_p/\Delta pH$ . Furthermore it was clarified that  $I_p$  of all soil samples with changing pH moved linearly on the plasticity chart.