

土の液・塑性限界に及ぼす pH の影響

山口大学大学院 学生会員 ○松下英次

山口大学工学部 正会員 山本哲朗

(株)ニコス

岩井 勝

1. まえがき 本研究は、土の力学的性質の推定や工学的分類に利用され、細粒土の物理的性質のうちでもっとも重要な指標として用いられる液・塑性限界に着目し、両者が土の pH の変化に伴って、どのように変化するかを 14 土試料について明らかにするとともに、その原因を明らかにする実験を行った。

2. 土試料および pH 調整薬品 表-1 に今回の実験で用いた土試料およびそれらの採取時の土(以下、原土試料と称す)の pH および液・塑性限界の値を示す。土試料の pH を調整する薬品として硫酸、塩酸および水酸化ナトリウムを用いた。

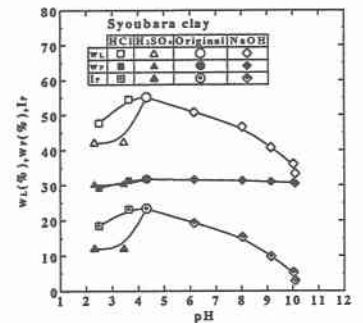
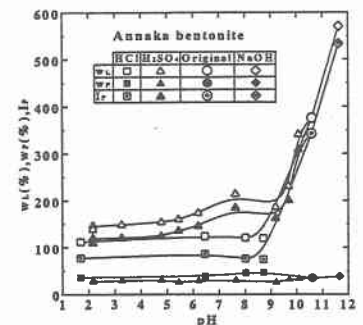
3. 実験方法 土の液・塑性限界試験は、土質試験法に準じて行った。まず蒸留水を用いてこれらの試験を行い、その後 pH を増加させるために水酸化ナトリウム、減少させるために硫酸あるいは塩酸を蒸留水に加え、所定の pH をもつ土について同様の試験を行った。土試料の pH の測定は試験後の土試料を用いて行った。

4. 結果および考察 図-1、2 にそれぞれ庄原粘土と安中ベントナイトの液・塑性限界と pH の関係を示す。両図から、原土試料より酸性側の土試料では両土試料とも pH の減少に伴ない液・塑性限界が減少している。これは塩酸または硫酸を加えることによって、以下に述べる 2 つの原因によって土粒子が凝集したため見かけ上、大きな土粒子となったためと考えられる。その 1 つは土粒子に表面に形成される拡散電気二重層厚が減少して土粒子間の斥力も小さくなり、粒子間距離に反比例する London-van der waals 引力が大きくなったことである。もう 1 つは土粒子端面の pH 依存荷電が正に帯電し、これと負の永久荷電との間に引力が発生したことである^{1),2)}。有明粘土を初めとする、その他 12 土試料についても同様な結果が得られた。

次に原土試料よりアルカリ側の土試料では、庄原粘土のように pH の増加に伴ない液・塑性限界が減少するもの(以下、タイプ A と称す)と、安中ベントナイトのように pH の増加とともに液・塑性限界が増加するもの(以下、タイプ B と称す)の 2 つのタイプがみられた。表-1 にタイプ A、B に分類される土試料および主要粘土鉱物を示す。このように 2 つのタイプが生じる原因として、水酸化ナトリウムを加えることによって粘土粒子表面に形成される拡散電気二重層の増加に伴ない London-van der waals 引力の影響が小さくなって分散する度合と負に帯電した pH 依存荷電と負の永久荷電間の斥力が大

表-1 原土試料の pH および液・塑性限界の値

Original soil sample	pH	w _L (%)	w _p (%)	I _p
Annaka bentonite	10.6	375.8	33.4	342.4
Ariake clay	8.1	60.9	33.0	27.9
Daido clay	6.8	55.5	24.7	30.8
Kobe clay	4.8	56.0	22.9	33.1
Neyagawa clay	4.3	55.1	31.7	23.4
Syoubara clay	7.9	65.5	31.1	34.4
Ubemisaki diluvial clay	7.4	101.6	36.4	65.2
Ubemisaki clayey soil	7.4	59.5	30.5	29.0
Imaichi kaolinite	7.9	49.3	33.2	14.1
Kuroiso smectite	9.7	1073.0	88.0	985.0
Nabeyama cleavage sericite	9.3	104.8	51.5	53.3
Nabeyama sericite	9.4	58.8	34.4	24.4
Syoubara dickite	7.5	43.3	33.6	9.7
Syoubara pyrophyllite	7.5	48.4	33.6	14.9

図-1 w_L , w_p , I_p と pH との関係(庄原粘土)図-2 w_L , w_p , I_p と pH との関係(安中ベントナイト)

きくなって流動性が増加する度合の大小関係によるものと考えられる^{1),2)}。タイプ A には、pH 依存荷電より永久荷電の方が大きい、pH 依存荷電の大きさを無視できないカオリナイトのような 1:1 型鉱物やパイロフィライトのような一部の 2:1 型鉱物が分類されている。そのため、タイプ A では前者より後者の影響が大きくなり流動性が増す。また負の永久荷電による拡散電気二重層の形成が小さく、土粒子が面一面前で結合して、あたかも大きな土粒子のようになる¹⁾。その結果、液・塑性限界が減少したと考えられる。タイプ B には、pH 依存荷電より永久荷電の方がはるかに大きくなるスメクタイトや雲母系鉱物のような大部分の 2:1 型の鉱物が分類される。そのためタイプ B では、後者より前者の影響が大きくなり、土粒子が分散し、液・塑性限界が増加したと思われる。

次にこのような土粒子の凝集、分散の状態を明らかにするために土粒子の沈降状況を観察する実験を行った。土試料には代表的なものとして安中ベントナイト、大道粘土、庄原粘土、寝屋川粘土、今市カオリナイトおよび黒磯スメクタイトを用いた。このうち黒磯スメクタイトについては 2880 分(2 日)まで観察したが原土試料、水酸化ナトリウム、塩酸および硫酸を加えたすべての土試料で沈降が起こらなかった。庄原粘土と安中ベントナイトの沈降状況の時間的変化をそれぞれ図-3、4 に示す。ここで沈降容積は懸濁部分の容積とした。図-3 の庄原粘土では、原土試料は上澄みが透通っていたことから、土粒子が凝集し集合沈降³⁾していることになる。図-4 から安中ベントナイトでは原土試料の沈降容積は全く沈降していないことから土粒子が分散し、自由沈降³⁾を呈していた。また、両者の酸性側の沈降状況は上澄みが透通っていたことから、土粒子が凝集し集合沈降していることになる。集合沈降では沈降容積が減少するにたがって、土粒子は分散する³⁾ので、両者は原土試料より凝集していた。

原土試料よりアルカリ側の庄原粘土は、上澄み液と沈降物の境界が明瞭に認められなかった。すなわち、土粒子は分散するが、一部凝集する成層沈降³⁾を呈していた。安中ベントナイトでは全く沈降せず、土粒子が分散して自由沈降を呈していた。

5. まとめ 今回 14 種類の土試料を用い、それらの pH を変化させて液・塑性限界試験を行った結果、原土試料より酸性側の土試料ではすべての土粒子が凝集し、液・塑性限界が減少した。原土試料よりアルカリの土試料側では 2 つのタイプ A、B が認められた。これら 2 つのタイプの違いは、土試料に含まれる主要粘土鉱物の違いに起因して生じる土粒子の凝集、分散の違いによるものと考えられる。

参考文献 1)日本粘土学会編:粘土ハンドブック第二版,技報堂出版,1987. 2)岩田進午・喜田大三監修:土の環境圏,(株)フジ・テクノシステム,1997. 3)日本粉体工業技術協会:凝集工学—基礎と応用—,日刊工業技術協会,1981.

表-2 タイプ A、B に分類される土試料およびそれらに含まれる主要粘土鉱物

	Soil sample	Clay minerals
Type A	T Daido clay	Kaolinite
	y Syoubara clay	Halloysite
	p Imaichi kaolinite	Kaolinite
	e Syoubara dickite	Dikite
	A Syoubara pyrophyllite	Pyrophyllite
Type B	Annaka bentonite	Montmorillonite
	Ariake clay	Muscovite
	Kobe clay	Muscovite, Smectite
	Neyagawa clay	Illite, Montmorillonite
	Ubemisaki diluvial clay	Phlogopite
	Ubemisaki clayey soil	Illite
	Kuroiso smectite	Montmorillonite
	Nabeyama cleavage sericite	Sericite
	Nabeyama sericite	Serisite

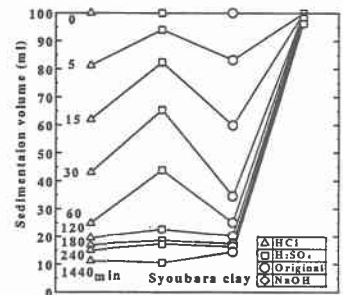


図-3 土粒子の沈降状況 (庄原粘土)

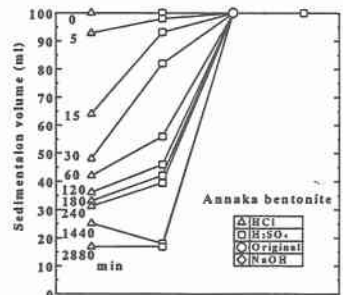


図-4 土粒子の沈降状況 (安中ベントナイト)