

ベントナイトの土質力学的研究

第1報 コンシステンシー

長谷川 紘一*

KŌICHI HASEGAWA

Soil Mechanical Studies of Bentonite

(I) : Consistency

I. はじめに

著者は地すべりに関心を持つものであるが、地すべり地帯においては、モンモリロナイトを主成分とするベントナイト土質の箇所が多くみられる。そこで地すべり研究の基礎的段階として、ベントナイトの土質力学的研究にとりくむことにした。

ベントナイトは、今から約80年前、米国人ウィリアム・テラーにより、米国モンタナ州・フォート・ベントンで発見され、その地層名に因んでベントナイトと名づけられた。成因は第3紀層の火山灰が海底、湖底等に堆積し、火山性の熱気作用や風化作用、地圧等によって生成されたものである。モンモリロナイトを主成分とし、水を含むと膨潤する粘土である。

ベントナイトの鉱床は、アメリカ、フランスをはじめ世界各国に存在するが、我国では北海道・群馬・山形・秋田・新潟・長野・島根の各県が主たる産地となっており、わが島根県でも出雲市大津町鏡山鉱山に産出している。そこで著者は出雲市より産出するベントナイトを研究の対象にとりあげたわけである。

II. ベントナイト（出雲市産出）の諸性質

表I、表IIよりベントナイトの特質がわかるが以下にそれを列記する。

① 膨潤性

膨潤格子型の粘土鉱物である「モンモリロナイト」を主成分としているので、きわめて大きな表面積を有しているから、水分を吸収するといちぢるしく膨潤する特徴を持っている。

② 塩基置換容量

ベントナイトを塩類溶液中に浸すと、ベントナイトの

塩基と溶液中の塩基とが速やかに交換し合って、しかも粘土鉱物の構造を少しも変えない。ベントナイトは粘土中、塩基の交換性が最も高い。

③ 分散性、懸濁性

多量の水を吸収するとくずれて水中に分散し、また水中における懸濁性もきわめて大きく、混在する他の物質をも懸濁せしめる。

④ 吸着性、粘性

物質を吸着する力がきわめて大で、粘土鉱物の中では最も吸着力が大きい。また膨潤するとゲル状となり、のりのような粘性を呈する。

⑤ チクソトロピー性

流動体のゾルはしばらく放置しておくとも、ゲル状に凝固し、それを振動するとまた流動的状態になる。すなわち、ゲル↔ゾルの可逆的転位がきわめて容易に行なわれる。

⑥ 不変性、防水性

ベントナイトは無機物で、時を経るも物理的機能は不変であり、それは乾燥し、再膨潤し、無限にくりかえす。そのゲルの密度は引続き増加し、かつそれ自体強力な防水性を有している。

表一I 各種粘土鉱物の諸性質 (L・D・BAVER)

鉱物名 性質	モンモリ ロナイト	モンモリ ロナイト + バイ デライト	バイデ ライト	バイデラ イト + ハロイサ イト	ハロイ サイト
塩基置換 容量 m.e./100g	95.0	82.0	65.0	47.0	13.0
吸湿性% (30% H ₂ SO ₄)	21.5	20.1	18.1	15.5	6.1
膨潤度 cc/g	2.2	1.44	1.24	1.21	0.41

表一Ⅱ ベントナイト化学分析表
(岡山県工業試験場)

水分	強熱減量 I _{gloss}	酸化ケイ素 SiO ₂	酸化アルミニウム Al ₂ O ₃	酸化第二鉄 Fe ₂ O ₃
9%以下	8.27%	66.09%	14.67%	1.16%
酸化カルシウム CaO	酸化マグネシウム MgO	酸化ナトリウム Na ₂ O	酸化カリウム K ₂ O	P H 2%液
1.67%	2.30%	1.19%	0.98%	7.2~9.1
膨潤度	塩基置換容量	真比重	見掛比重	耐火度
3.5~5.5	88~160 m.e/100g	2.39	0.500	1200°C

Ⅲ. コンシステンシー限界

細粒のチュウ積土が生成されるときには、まず水中に懸濁している土粒子が沈澱し、ついでこの土の水分が圧密などの作用により徐々に排除されて固化してゆく。沈澱した直後の土は土粒子の間隙の中に多量の水分を含有するので液体のように流動性を示すが、その土の上にあとから堆積した土の重みのため、あるいは空気中にさらされて水分が蒸発したため、間隙の容積が減少してだんだん緻密になり、流動性を失ってゆく。しかし、まだ力を加えると側方にはみだして変形してしまうくらい、かなり塑性には富んでいる。さらに含水量が減少すると、半固体の状態を経て固体状になり、一般に強度も大きくなる。固体状態に近づくにつれて、乾燥することにより、体積は減少し、色も変化して次第に明るい色合を呈するようになる。さらに含水量が減少すると、それ以上含水量が減っても体積の減少は見られなくなる。これは固体状態に達したからである。このように非常に湿った細粒土が乾燥してゆく間に経過する4つの過程、すなわち液状、可塑状、半固体状、固体状のそれぞれの状態の移り変わる限界をコンシステンシー限界またはアッターベルグ限界と総称する。

コンシステンシー限界のうち土が液状から可塑状へ移る限界を液性限界 (Liquid limit ; L.L と略記) といひ、可塑状から半固体の状態に移る限界を塑性限界 (Plastic limit ; P.L と略記)、半固体から固体状態に移る限界を収縮限界 (Shrinkage limit) といひ、これらの限界はいずれも性状の変化するときの土の含水比 (%) の値で表わす。土の液性限界と塑性限界の差を塑性指数 (Plasticity index ; P.I と略記) といひ、これはその土の塑性の範囲の大小を示す指数である。すなわ

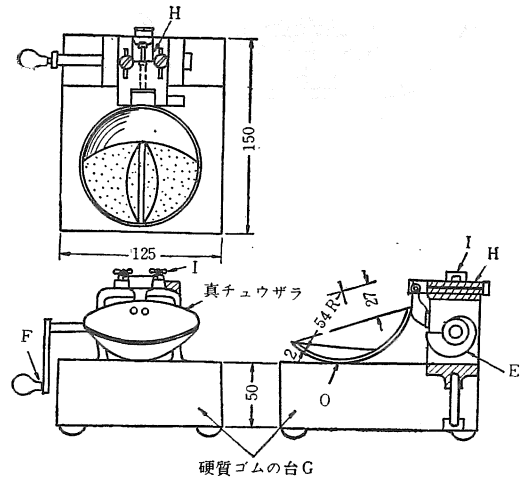
ち $PI=L.L-P.L$

Ⅳ. 測定方法

① 液性限界

液性限界を測定する方法は JIS A 1205 に規定されている。この試験に用いる測定器は図一Ⅰのように、一端をヒンジで支持された球面の真チュウ製の皿をカム作用によって高さ 1cm から良質の硬ゴムの台上に落下させるような構造を持つものである。ベントナイトに水を加えてパテ状にしたものを、測定器の皿に最大の厚みが約 1cm になるように、ヘラで入れたのち、ミゾキリで皿の軸方向に V 型の溝を切る。ついでハンドルを回して皿を毎秒 2 回の割合で台上に落下させその衝撃のために、溝で 2 つに分けられ土の部分が長さ 1.5cm にわたって、図一Ⅱのように合わされるまでの落下回数を測定し、含水比を測定した。

図一Ⅰ



液性限界測定器

② 塑性限界

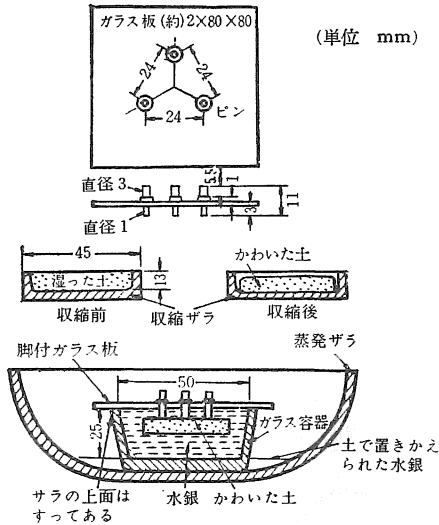
JIS A 1209 に規定されている試験方法により行なつた。ベントナイトに水を加えて十分塑性状態にし、かたまりにしやすくなるまで練り合わせる。このかたまりを手のひらでガラス板に押えつけながらこしがひも状にする。このひもが直径 3mm になれば再びこね合わせこの操作をくり返す。そのうちに土を直径 3mm のひもにしようとしてもできなくなり、きれぎれになってしまった。このときの含水比を測定した。

③ 収縮限界

JIS A 1209 に規定されている試験方法により行なつた。まずベントナイトに水を加えペースト状にする。つぎにガラス皿の内側にワセリンを塗布する。これはベン

トナイトがガラス皿にくっつくのを防ぐためである。ガラス皿の中にベントナイトを入れる。このガラス皿に入れたベントナイトを暗色から明色に移りかわるまで空気乾燥してから、110°Cの恒温乾燥炉の中で一定重量になるまで乾燥させ重量を測定した。また乾燥して円板状

図一Ⅱ



収縮常数測定器

表一Ⅲ 塑性限界

容器	W (g)	D (g)	T (g)	W (g)	W s (g)	P. L (%)
1	33.45	31.80	26.75	1.63	5.05	32.2
2	22.42	21.17	17.37	1.25	3.80	32.8
3	28.49	26.88	22.62	1.41	4.26	33.0
4	26.14	25.07	21.79	1.07	3.28	32.6
5	29.34	28.17	24.62	1.17	3.55	32.9

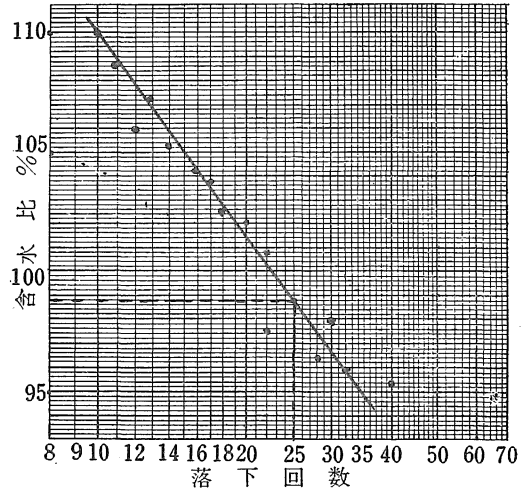
平均32.7%

表一Ⅳ 収縮限界

容器	V (cm ³)	V o (cm ³)	V-Vo (cm ³)	Ws (g)	w (%)	S. L (%)
1	21.8	13.2	8.6	16.8	87.3	36.2
2	21.1	12.6	8.5	17.6	84.6	36.2
3	21.5	12.6	8.9	17.0	88.5	36.2
4	21.6	13.3	8.4	17.6	83.9	36.3
5	21.3	13.1	8.2	18.9	79.7	36.2

平均36.2%

図一Ⅲ



液性限界

※に固まった土を皿から取り出し、これを図一Ⅱのように水銀をみたした容器の中に入れて、こぼれた水銀の量を測ることによってベントナイトの体積を測定した。

V. 結果と考察

図Ⅲは、たて軸に含水化(%)、よこ軸に落下回数(対数目盛)をとったもので、これより落下回数25回の際の含水比を求めて、L. L.=98.8%を得た。

一般に液性限界は、土に水が加えられる場合の剪断抵抗に関する尺度であって、粒子の接触面積の総和、つまり粒子の細かさや形状の影響を調べるものである。

L. L.=98.8%ということから、このベントナイトは液性限界が非常に大きいので、粒子が細かく平たくて、粒子間の接触面積の和が大きくて流動化させるには多量の水を必要とすることがわかる。

表Ⅲより P. L.=32.7%

表Ⅳより S. L.=36.1%を得た。

またP. I.=L. L.-S. L.=66.1%と塑性指数が大であることから可塑性にも富んでいることがわかる。

今回はコンシステンシーのみの実験しかできなかったため、直接「地すべり」に結びつけて考えることはできなかった。しかし今後圧縮試験、剪断試験を行なうつもりなので、そうすれば、ベントナイトと地すべりとの関係の究明もできるであろうと考えている。

最後に試料の提供を受けた、関西ベントナイト出雲工場に対して厚くお礼を申し上げます。

Summary

This paper deals with the consistency of Bentonite.

Bentonite are usually defined as clays composed montmorillonite that have been formed by the alteration of volcanic ash. The consistency is described by such terms as hard, stiff, brittle, friable, sticky, plastic and soft. The results obtained are as follows.

L. L = 98.8%

P. L = 32.7%

S. L = 36.1%

P. I = 66.1%