

九州大学工学部 正員 内田 一郎

同上 正員 松本 鎌三

九州大学大学院 学生員 江頭 素樹

まえがき

著者らは^{*)}先にマサ土に含まれる粘土 特にイライトが強度定数におよぼす影響について、その量的な変化に対し、それほど特異な挙動が認められなかったことを報告した。しかし粘土鉱物の種類によつてはイライトとは異なつた挙動を示し、特にモンモリロナイトが強度定数におよぼす影響を及ぼすことを示唆した。そこで種々の粘土鉱物の中で、モンモリロナイトを主成分とするベントナイト、およびイライトを主成分とするイライト質粘土とについて力学的挙動のちがいを比較検討してみた。モンモリロナイトは2:1面体型の3層構造であり、層間に交換性イオンや何分子かの水を含んでいる。したがつて構造中で Mg^{+2} による Al^{+3} 、 Al^{+3} による Si^{+4} の置換が行なわれ、この結果生ずる電荷のアンバランスは層間に吸着した Ca^{+2} や Na^{+1} 、 H_3O^{+1} などの陽イオンによつて調整される。このためモンモリロナイトは水によつて膨潤され、他の粘土鉱物とはその性質を著しく異にする。またイライトは本質的には微細な白雲母であつて、花崗岩や花崗岩質グマタイトの風化土壌に多くみられる。実験に用いたベントナイトおよびイライト質粘土は、含水比が高くなると、任意の向ゲキ比に調整することが困難であつたので、豊浦標準砂と混ぜ合わせ、いわゆる混合土として一面せん断試験を行なつた。(したがつて今回の試験結果により、一般に砂まじり粘土と呼ばれる混合土の特性と共に、標準砂、標準砂とベントナイトの混合土(以下ベントナイト混合土と呼ぶ)、標準砂とイライト質粘土の混合土(以下イライト混合土と呼ぶ)の三者を比較することによつて、それぞれの粘土鉱物の力学的特性も考慮できるものと考へる。

試料および試験方法

ベントナイトおよびイライト質粘土をそれぞれ、5、10、15、20、25% (重量百分率) 標準砂と混ぜ合わせ、各5種類の混合土を試料とした。それぞれの混合土は含水比 10、15、20、25、30% に調整し、24時間養生した後、向ゲキ比が $e_1 = 0.84 \sim 0.89$ および $e_2 = 0.70 \sim 0.72$ (但しイライト混合土は e_1 は作成不可能であつた) になるように直径5cm、厚さ1.50cmの供試体を作成し、下部可動型一面せん断試験機を用いて、直接せん断試験を行なつた。せん断方法は0.5%/min のヒズミ制御の排水せん断状態にあると思われ、またせん断時の垂直荷重は0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 (kg/cm²) である。試験結果はモール・クーロンの破壊基準を用いて、最小自乗法により見掛け

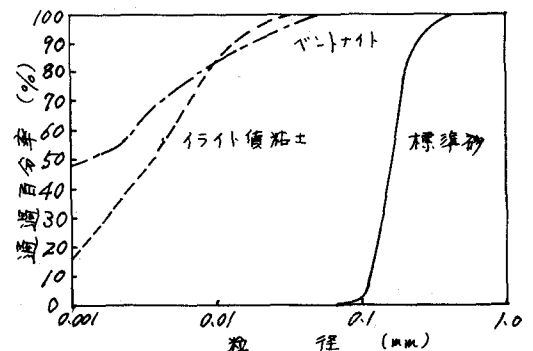


図-1 (試料の粒度曲線)

の粘着カCおよび見掛けのせん断抵抗角φを求めた。なおベントナイト、イライト質粘土、標準砂の比重はそれぞれ、2.63、2.70、2.64でありその粒度曲線は図-1の通りである。

試験結果

一面せん断試験

により求めた、Cおよびφを含水比w

およびベントナイト、イライト質粘土の全重量に対する重量百分率とファクターとして示したものが図-2~5である。また試験結果一覧表を表-1に示した。

a) 含水比の影響

ベントナイト混合土の粘着カCについては含水比が増大するにつれ一様に減少していきうようであるが、ベントナイトの量が多いほど、また同ゲキ比が小さいほどその絶対量と変化量も大きい。表-1に示すように砂の粘着カは含水比の変化にほとんど関係なく0.1kg/m²程度であるがこれらの混合土は、はるかに大きい粘着カを示している。これは混合土中のベントナイトが多くなればなるほど粘着カに対して支配的となり、含水比の増大と共にベントナイトがゾリ化して粘着カが小さくなるためであろう。また中については密な場合ベントナイト15%まではほとんど影響を受けないようであるが、それ以上のベントナイト混合土では含水比25%になると5~10°低下するようである。またゆるい場合はベントナイト10%まではむしろやや増大する傾向がみられるが、それ以上の混合土では含水比が25%をこえるとやはり急激に減少する。標準砂が供試体中に均一に分散しているとは定まると、砂に対する同ゲキ

粘土の種類	粘土の含有量%	同ゲキ比e	平均含水比%	c (kg/m ²)	φ (度)	粘土の種類	粘土の含有量%	同ゲキ比e	平均含水比%	c (kg/m ²)	φ (度)		
イライト質粘土	5	0.70	9.5	0.146	32°07'	ベントナイト	5	0.72	9.8	0.191	37°40'		
		0.70	14.5	0.097	39°38'			0.70	14.1	0.153	38°52'		
	10	0.70	9.4	0.084	36°33'			0.70	19.1	0.133	34°50'		
		0.70	14.3	0.100	33°45'			0.86	10.7	0.102	33°33'		
	15	0.70	18.9	0.071	38°14'		10	0.84	14.8	0.074	34°25'		
		0.70	9.3	0.087	34°34'			0.70	9.9	0.425	33°09'		
	20	0.70	14.8	0.079	35°38'			0.71	15.0	0.254	34°39'		
		0.71	9.7	0.107	34°48'			0.71	19.5	0.232	33°16'		
	25	0.70	14.4	0.062	33°06'		15	0.69	24.5	0.299	35°06'		
		0.71	9.9	0.127	37°31'			0.87	11.2	0.175	34°18'		
豊浦標準砂	5	0.70	14.3	0.093	30°26'	イライト	5	0.85	15.2	0.149	33°36'		
		0.71	10.2	0.188	38°48'			0.84	19.7	0.087	36°52'		
	10	0.81	4.9	0.106	36°28'			0.84	24.4	0.137	37°44'		
		0.89	4.5	0.072	33°11'			0.71	9.9	0.547	33°18'		
	15	1.13	4.5	0.105	21°21'		10	0.71	15.1	0.493	29°59'		
		0.79	9.6	0.109	37°16'			0.71	19.9	0.334	33°37'		
	20	0.89	9.3	0.042	32°49'			0.70	24.3	0.315	31°36'		
		1.06	11.3	0.050	24°03'			0.89	11.4	0.270	34°15'		
	25	1.11	9.0	0.069	23°33'		15	0.84	15.4	0.256	35°11'		
		0.80	14.5	0.070	40°32'			0.85	20.3	0.211	35°50'		
イライト質粘土の全重量に対する	5	0.88	13.7	0.081	36°06'	イライト	5	0.71	10.0	0.664	34°29'		
								0.71	15.1	0.602	30°58'		
	10							0.71	19.7	0.515	29°07'		
								0.71	24.7	0.393	25°08'		
	15						10	0.87	11.2	0.452	31°00'		
								0.85	15.1	0.425	32°44'		
	20							0.85	19.8	0.344	30°20'		
								0.84	29.4	0.279	9°12'		
	と1/2を示したものが図-2~5の	5						イライト	5	0.70	9.8	0.820	36°28'
										0.71	15.6	0.693	32°18'
10							0.70		19.7	0.680	28°36'		
							0.71		24.7	0.508	18°25'		
15						10	0.86		10.9	0.550	30°55'		
							0.84		15.0	0.539	30°27'		
20							0.86		21.0	0.461	28°16'		
							0.84		29.7	0.340	10°24'		
覽表も表-1に示した。		5					イライト		5				
	10												
	15					10							
	20												
	土の粘着カについては含水比が	5						イライト	5				
10													
15						10							
20													
に減少しているようであるが、ゲン		5					イライト		5				
	10												
	15					10							
	20												
	ど、また同ゲキ比が小さいほどその	5						イライト	5				
10													
15						10							
20													
い、表-1に示すように砂の粘着カ		5					イライト		5				
	10												
	15					10							
	20												

表-1 試験結果一覧表

ベントナイト含有量%	平均同ゲキ比	砂に対する同ゲキ比
5	0.71	0.80
10		0.90
15		1.01
20		1.14
25		1.22
5	0.84	0.94
10		1.05
15		1.17
20		1.30
25		1.46
標準砂	最大同ゲキ比 c_{max}	0.98

表-2

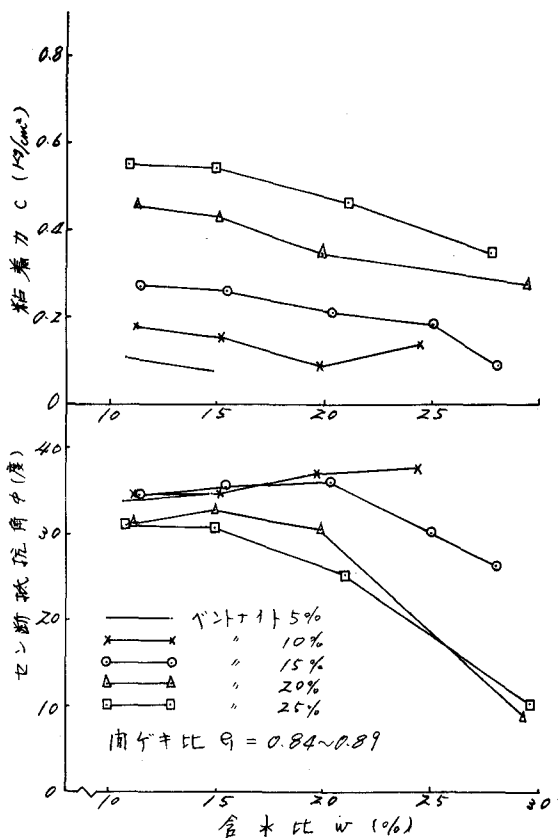


図-2 含水比と c, ϕ との関係

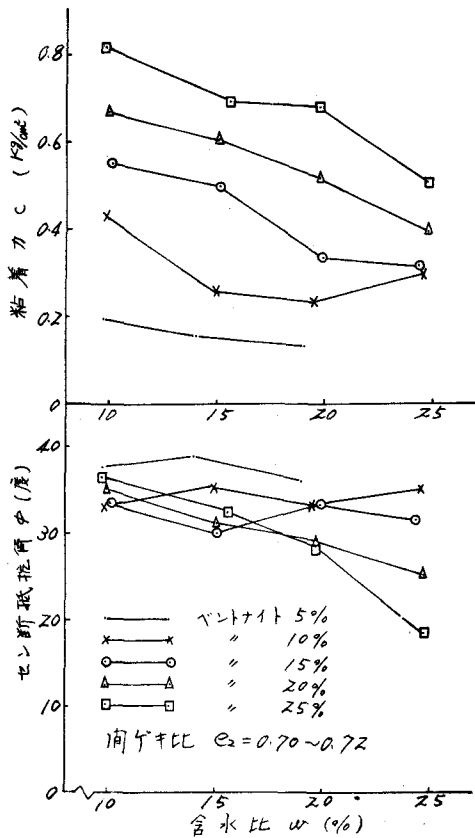


図-3 含水比と c, ϕ との関係

比は表-2の1)に計算される。また標準砂の最大間ゲキ比は0.98であった。したがって間ゲキ比が0.98以上になると、もはや混合土中において砂の粒子同士が接触できなくなり中におよぼす砂の支配は少なくなる。そのような間ゲキ比となるのは密な混合土ではベントナイトの割合が15%位であり、ゆるい混合土では10%位である。砂のせん断抵抗は含水比の影響が小さいことであるが、ベントナイトの量が増加してその中の砂粒子による間ゲキ比が e_{max} を越えると粘性土に近い挙動を示すようになると思われから中が減少すると考えられる。またそのような状態では含水比が増大するとベントナイトが潤滑剤の役割をする結果となり中が含水比と共に減少するであろう。混合土における砂質土と粘性土の間には、かなりの中間的な領域があるようであるが、砂質分だけの間ゲキ比が最大間ゲキ比に近くなると、その中間的領域に入る始点となるのではないかと考える。

b) 粘土含有量の影響

ベントナイト混合土はベントナイトの割合が増大すると共に、粘着力はほぼ直線的に増大する。しかしライト混合土はほとんど変化はなく標準砂の粘着力とあまり差はない。したがって含有量が25%程度まではライトは量的にも質的にも強度定数にはあまり影響がないようである。またφについてはベントナイトの量が20%を越えるとまた含水比が20%を越えると減少するようである。ベントナイト混合土とライト混合土を比較してみると、φについてはライト混合土の方が大き

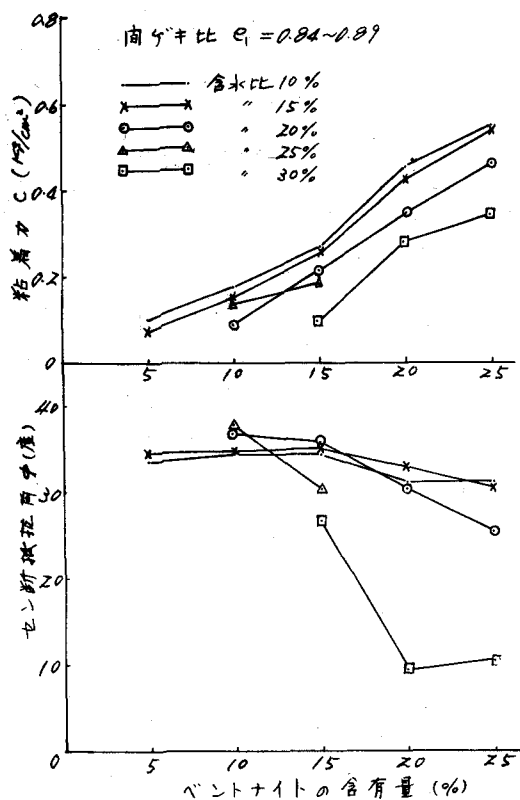


図-4 ベントナイトの含有量と C と ϕ の関係

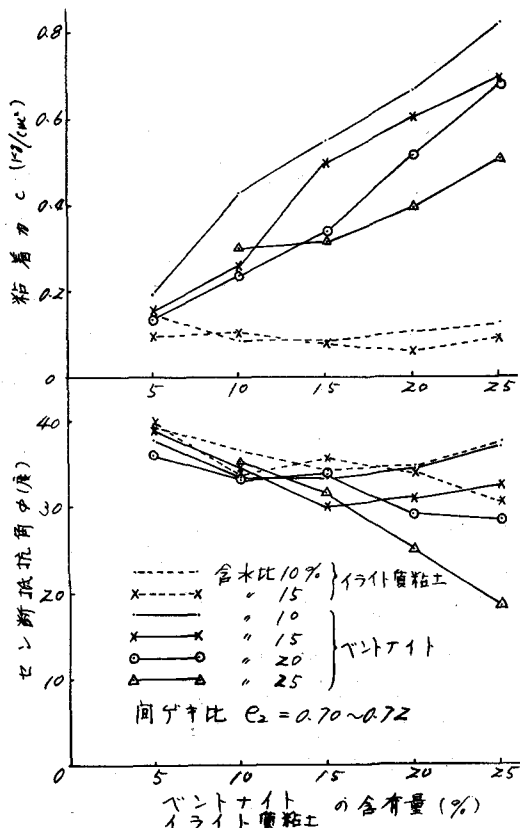


図-5 ベントナイト、イライト質粘土と C と ϕ の関係

いそれぞれどの差が認められる。しかし粘着力は絶対量、変化量共にベントナイト混合土の方が大きい。これはベントナイト中のモンモリロナイトとイライトの性質のちがいが現れたものである。粘着力は水の表面張力に起因する主圧力や粘土鉱物粒子間の電気化学的な力によるものである。図-6はベントナイト、およびイライト質粘土の混合割合と遠心含水当量との関係を示したものである。遠心含水当量は土の透水性や主圧力を表す目安となるものであるが図で明らかのように前者には大きな差がありベントナイト混合土の方が大きな主圧力が働いていると考えられ、これが粘着力を大きく

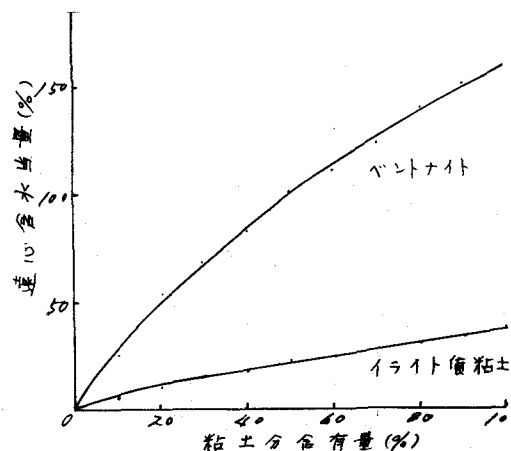


図-6 粘土分含有量と遠心含水当量との関係

い理由は原因の一つと考えられる。また粘土分の増加に対して直線に近い大きな曲率をもつ曲線と遠心含水当量が増加していることと、ベントナイトの増加と共に粘着力が増大することとある程度一致するようである。

(*) 「マサチの工学的性質における微粒子の影響について」 内田一郎、松本錦三、三井物産株式会社、第23回土木学会年次学術講演会講演要旨 Ⅱ-65