

III-96

圧密中のひずみ硬化に及ぼすCaCO₃の影響

応用地質（株） ○小林孝成
東海大学 福江正治

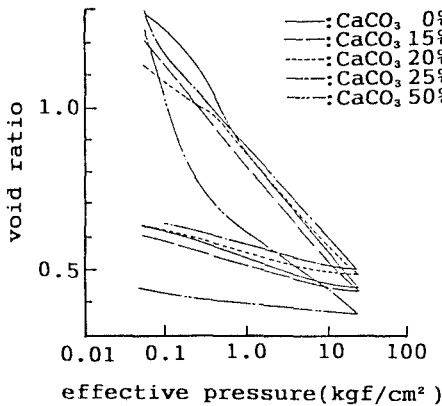
1. まえがき 海底土は年代効果によるセメンテーションが原因で疑似過圧密となっている場合が多いと言われている。これとは別に、過去の研究¹⁾によれば人工圧縮中においてもひずみ硬化が現われる可能性がある。硬化の原因となる結合力の発達は年代効果とひずみ硬化では時間的なオーダーが異なるものの、現象的には同じものと考えられることも出来る。粒子間の結合力が増大する原因の一つに有機物の影響が考えられる。これは海底土に含まれる有機物によって粒子が付着するためと考えられるが、堆積物中に生物遺骸から成る炭酸カルシウム(CaCO₃)が多量に含まれていることを考えると²⁾、CaCO₃によってもその影響が現われると考えられる³⁾。そこで、木節粘土および有機質土にCaCO₃を混入させて標準圧密試験を行ない、圧密中のひずみ硬化について調べた。

表. 1 試料の物理的性質

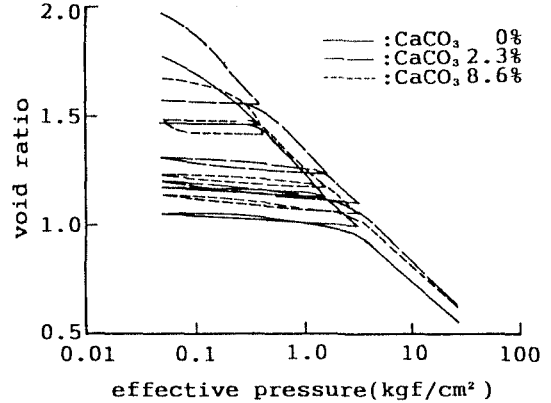
CaCO ₃		表. 1 試料の物理的性質						
含有率(%)		LL(%)	PL(%)	I _p	I _c	w ₀ (%)	G _s	e ₀
木節粘土	0	46.7	22.4	24.3	0.912	44.55	2.680	1.273
	15	44.8	19.8	25.0	0.936	43.20	2.684	1.295
	20	43.5	19.2	24.3	0.990	43.25	2.685	1.139
	25	41.0	18.6	22.4	1.268	46.99	2.687	1.360
	50	35.3	17.7	17.6	1.494	44.00	2.694	1.280
有機質土	0	62.8	44.6	18.2	2.648	92.80	2.030	1.843
	2.3	62.0	44.0	18.0	2.617	91.10	2.048	1.970
	8.6	60.8	43.5	17.3	2.254	82.50	2.083	1.711

* w₀: 初期含水比 e₀: 初期間隙比

2. 試験結果 木節粘土および有機質粘土の物理的性質を表. 1に示す。また、標準圧密試験における初期間隙比はほぼ同じとした。ただし、これらはすべて繰り返し試験であり、間隙水には海水を用いた。表. 1から分かるようにCaCO₃含有率の増大に伴いコンシステンシー限界は減少し、試料の初期状態をほぼ一定としたために液性指数が高くなる傾向にある²⁾。これらのe-logp関係を図. 1に示す。ただし、有機質土における載荷方法は載荷～除荷を1 cycleとする4 cycleの繰り返し載荷方法を用いた。



(a) 木節粘土



(b) 有機質土

図. 1 e-log p 関係

3. 解析方法 e-logp曲線は土の状態変化を表わすものと考えられるが、その曲線から圧縮特性を評価するには比較となる基本的な関係が必要である。そこで、本研究では表. 2に示す仮想粒子の概念⁴⁾から得られた基本式を用いて解析した。これらの基本式を用いれば、土の圧縮過程は初期間隙比(e₀)、最小間隙比(e_{min})および土の特性を表わすパラメータβから理想的なe-logp曲線が得られる。ここでβは図. 2に示すように、e₀からe_{min}までの圧縮経路を決定づけるパラメータであり任意に変化させることができる。このようにして得られた理想曲線を基本として圧密試

表. 2 土の状態式

間隙比 (e)	$\frac{e - e_{min}}{e_0 - e_{min}} = 0.119 + 0.881 (1 - \beta z) \exp(-\beta z)$
有効応力 (p)	$p = \frac{\gamma_s z}{1 + e}$
平均間隙比 (e)	$\frac{e - e_c}{e_0 - e_c} = \exp(-\beta z)$
$e_c = 0.119 e_0 + 0.881 e_{min}$	

e₀: 初期間隙比
e_{min}: 最終(最小)間隙比
z: 深さ(または任意変数)
γ_s: 土粒子の水中単位重量

β: パラメータ

験により得られた e - $\log p$ 曲線と比較し、理想曲線からずれるものをその土の特性と考える。このようなずれは仮想粒子の概念においては β の変化として表わされ、圧縮過程において β が減少する場合はひずみ硬化、増大する場合はひずみ軟化としてとらえることができる¹⁾。図2の破線および一点鎖線はそれぞれ繰り返し試料と不攪乱試料の代表的な海底土の特性を示している。このように繰り返し試料においては β が減少、不攪乱試料においては圧縮初期に増大して、後に減少する場合が多い⁵⁾。

4. 考察 図3(a), (b)は木節粘土および有機質土の圧縮過程における β 変化を示している。ここで CaCO_3 を含まない木節粘土は圧縮中に少しではあるが減少しており、ひずみ硬化をわずかに示していると思われる。また、有機質土は有機物あるいは載荷時間の影響により圧縮過程において β が減少する傾向にあり、ひずみ硬化が顕著な土といえる。このように CaCO_3 を含まない初期の状態においてそれぞれの試料の特性は異なるものの、 CaCO_3 含有率の増大に伴い木節粘土および有機質土は初期の状態に比べて β の減少が更に顕著になる傾向にある。つまり、 CaCO_3 混入によってひずみ硬化現象が強まることを示唆している。また、 CaCO_3 含有率の増大に伴い圧縮過程における β は相対的に右に移動している。これは含有率の増大に伴い初期状態における液性指数が高くなったために、圧縮しやすくなったことが原因と思われる。すなわち、 CaCO_3 の混入にともない、全体的に圧縮しやすくなるが、ひずみ硬化は顕著になることが考えられる。

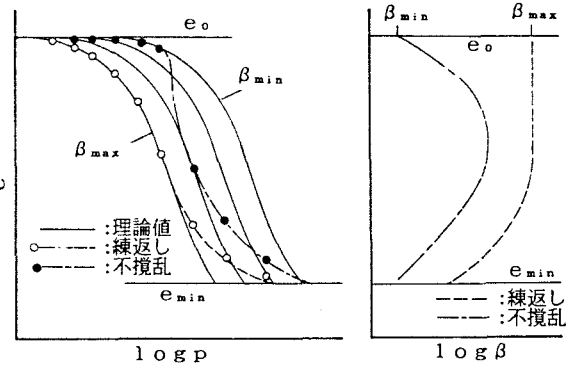
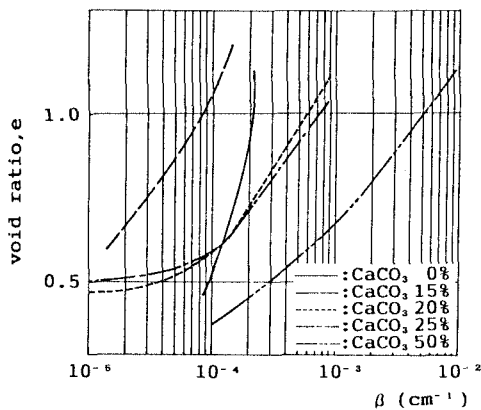
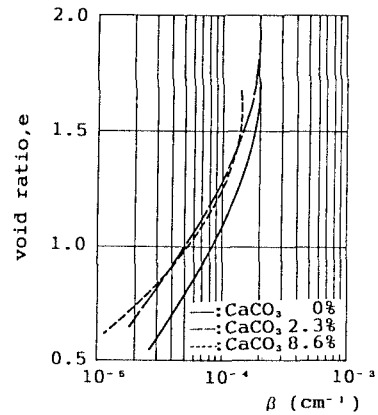


図2 e - $\log p$ 関係における β 変化



(a) 木節粘土



(b) 有機質土

図3 圧縮過程における β 変化

繰り返した海底土の圧縮特性としてひずみ硬化が表われる場合が多いことは既に述べたが、今回用いた繰り返し試料に CaCO_3 を混入させた場合圧縮中にひずみ硬化が表われることが多いことを踏まえれば、実際の地盤において CaCO_3 の影響で粒子間の結合力が増大している可能性がある。このことを詳しく調べるためには、自然圧縮中のひずみ硬化と、圧密試験中の試料のひずみ軟化、硬化を区別して考える必要があろう¹⁾。

5. あとがき 以上述べたように、今回用いた試料の場合は CaCO_3 混入によりひずみ硬化が表われると考えられる。ただし、標準圧密試験に要する時間と実際の自然地盤における圧縮時間のオーダーは大きく異なる。そのため、時間効果による CaCO_3 の影響について今後更に詳しく検討する必要がある。

参考文献

- 1) 福江ほか(1989)人工圧密中のひずみ硬化と軟化についての仮説、第24回土質工学研究発表会、2分冊の1、409-412
- 2) 小林ほか(1990)木節粘土の圧縮特性に及ぼす CaCO_3 の影響、第25回土質工学研究発表会、3) 小林ほか(1989)深海底土試料の圧密特性と自重圧密過程の予測、第24回土質工学研究発表会、2分冊の1 151-154、4) 福江正治、大草重康(1988)仮想粒子の概念について、第23回土質工学研究発表会、2分冊の1、343-346、5) 土井ほか(1989) e - $\log p$ 関係における4つのタイプ、第44回年次学術講演会講演概要集、土木学会、370-371