

土の圧密に練返しの及ぼす影響

正 員 内 田 一 郎*
 松 本 鍊 三**
 有 馬 毅***

EFFECTS OF REMOLD ON THE CONSOLIDATION OF SOIL

By Ichiro Uchida, C.E. Member, Renzō Matsumoto
 and Takeshi Arima

Synopsis :

When the natural soil is remolded, the properties in consolidation of this soil change. As well knowns, the $\log_{10} p-e$ curve becomes also a straight line when the load is small, and the total compression is larger. Compression index, coefficient of consolidation and permeability become smaller, and primary compression ratio becomes larger.

The effect of the difference of load-increment seems not to be large.

要旨 自然状態の土を練返して乱すとその圧密に対する性質がいろいろ変ってくる。まず衆知のように荷重強度と間ゲキ比との関係を示す $\log_{10} p-e$ 曲線は荷重強度の低い時から直線状態に入り、土の圧縮量は大きくなる。また圧縮指数、圧密係数、透水係数はいずれも小さくなつており、一次圧密比は大きくなる傾向にある。荷重の載せ方を変えた場合の影響はあまり著しくないようである。

1. まえがき

自然状態の土を練返して乱すと、その圧密に対する性質が変わり、たとえば $\log_{10} p-e$ 曲線は元の土に対するものと全然異なつた状態を示す。このことはすでにいくつかの文献に示されているが¹⁾、ここでは土の練返しの圧密現象に及ぼす影響をもう少し明らかにしたい意図の下にこの問題を改めて取りあげてみた。すなわち実験の結果得られた $\log_{10} p-e$ 曲線、土の圧縮の時間的経過、圧縮指数、圧密係数、透水係数、一次圧密比などについて検討を加えて土の練返しの影響をはつきりさせることをこころみた。またその他に最終の荷重強度を同じにしてそれに達する載荷過程を変えた場合には圧密現象がどのように変ってくるか、ということについても検討を行つてみた。

2. 実験方法

試料は表-1に示す2種であるが、この内東中洲産のものを主として使用した。東中洲産の試料は地表面下7~9mのもので、掘取りにより採取した。博多港のものは標準海水面下6.50mの海底のもので、ブリストマン浚渫船によつてつかみあげたものである。

表-1 試料

採取箇所	福 岡 市	博 多 港	
分 類	シルト質 粘土ローム	シルト質 ローム	
粒 度	砂	4%	40%
	シルト	73%	55%
	粘土	23%	5%
液性限界	76	51	
塑性限界	25	26	
塑性指数	51	25	

径5cm、高さ2cmの試験片に対して、表-2に示すような圧密実験を行つた。試料は実験番号No.1~No.13は東中洲産のもの、No.14~No.15は博多港産のものを使用した。練返しは自然試料をそのまま水を加えないで1秒間に2回の速度でヘラを用いて行い、また圧密係数、一次圧密比などの計算は \sqrt{t} 法によつて行つた。

* 九州大学助教授、工学部土木教室、 ** 九州大学助手、工学部土木教室
 *** 中央開発KK

表-2 行つた実験

実験番号	試料の状態	載荷過程 (kg/cm ²)	載荷間隔 (時間)	個数
No. 1	不攪乱	0→0.25→0.50→1.0 →2.0→4.0→8.0	24	1
No. 2	"	"	"	3
No. 3	No. 2 を1分間繰返し	"	"	"
No. 4	No. 3 を更に4分間繰返し	"	"	"
No. 5	不攪乱のものを5分間繰返し	"	"	"
No. 6	不攪乱	"	"	1
No. 7	"	0→0.50→2.0→8.0	24×2	"
No. 8	"	0→8.0	24×6	"
No. 9	No. 6 を5分間繰返し	0→0.25→0.50→1.0 →2.0→4.0→8.0	24	"
No. 10	No. 7 を5分間繰返し	0→0.50→2.0→8.0	24×2	"
No. 11	No. 8 を5分間繰返し	0→8.0	24×6	"
No. 12	不攪乱	0→0.25→1.0→4.0 →8.0	24	2
No. 13	"	0→8.0	"	3
No. 14	"	0→0.25→0.50→1.0 →2.0→4.0→8.0	"	"
No. 15	No. 14 を1分間繰返し	"	"	"

3. 結果

実験結果を整理し検討して得た主なる結果は次のとおりである。

(1) log₁₀ p-e 曲線

図-1, 図-2 は log₁₀ p-e 曲線の例をあげたもので、図-1 は実験番号 No. 2~5 の曲線を、図-2 は No. 6~12 の曲線の一部を示したものである。log₁₀ p-e 曲線はすでによく知られているように荷重強度の低い所から直線化しており、その直線部の傾斜は小さくなっている。また 図-1 に示すように繰返しの増大とともにこの曲線の直線化が進むようであり、また No. 4 あるいは No. 5 各3個の試験値より判断すると、あるほぼ一定の線に収斂するようである。載荷順序の log₁₀ p-e 曲線の形に及ぼす影響は、乱されない土、繰返した土ともに

図-1 log₁₀ p-e 曲線 (No. 2~5)

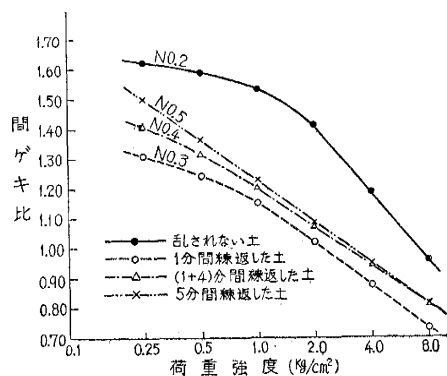


図-2 log₁₀ p-e 曲線 (No. 6~12)

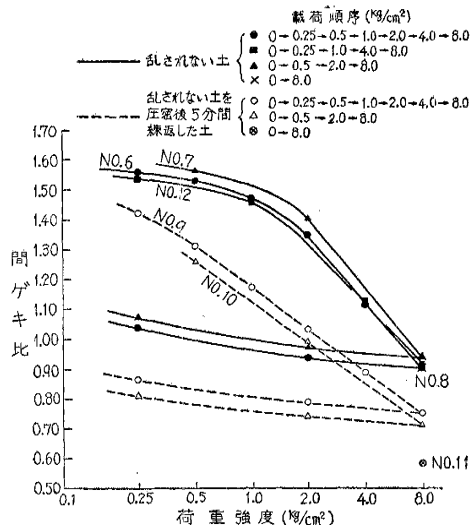


図-2 よりわかるようにほとんどないようである。

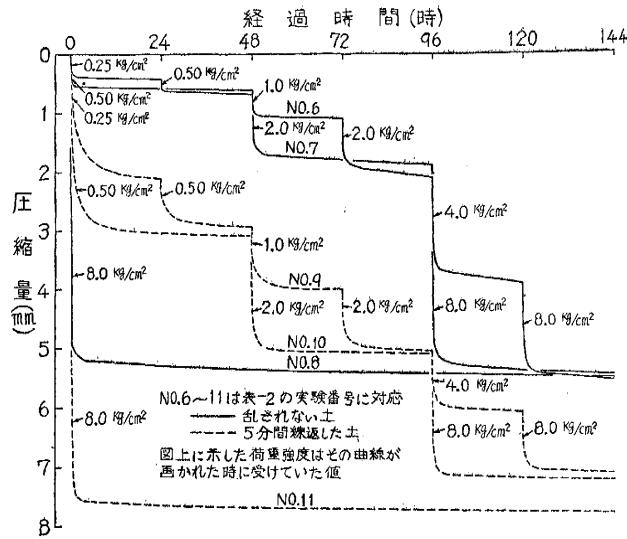
(2) 圧縮の時間的経過

No. 6~11 の実験における圧縮量と経過時間との関係を示したものが 図-3 である。No. 6 と No. 9,

No. 7 と No. 10, No. 8 と No. 11 とがそれぞれ載荷過程が同じで、前者が乱されない試料(実線), 後者が5分間繰返した試料(点線)に対するものである。圧縮量は繰返した試料において大きな値を示し、特に初期の荷重を加えた時が著しい。乱されない試料と繰返した試料との圧縮量の差の最大は 図-1, 2 よりわかるように先荷重の最大値附近において生じており、以後その差はすこしずつ減少して行っている。

図-2 あるいは 図-3 においてみられるように、No. 6, 7, 8 あるいは No. 9, 10 の実験の最終圧縮量はそ

図-3 圧縮の時間的経過



それぞれ大体同じである。このように最終荷重が同じならば最終圧縮量は荷重順序によつて左右されないと考えてよからう。No. 11 の最終沈下量は No. 9, 10 の場合と同じはずであるが、この実験によるとかなり大きい値を示している。これは荷重 8.0 kg/cm² を加えた途端に土が流動を起して載荷板とリングとの僅かなすき間に逃げたため、乱した土はこのように大きな流動性を帯びてくる。

練返した土が乱されない土より大きく圧縮される性質を利用して、軟弱地盤上の建築物の不等沈下を直すような工法も行われたことがある。それは筑後川河口の大川市においてであるが、軟弱地盤をサンドドレインとウェルポイント工法とを併用した先行荷荷工法で強くし、その上に建築物を建てたが 5 cm 前後の不等沈下を起した。そこで高い方の地盤を練返したところ、その部分の土が圧縮して不等沈下を直すことができた。

(3) 圧縮指数

圧縮指数が乱されない土と練返した土とで異なることはすでに衆知のことであり、図-1, 2 における log₁₀ p-e 曲線の直線部の傾斜の相違によつて明らかに認めることができる。表-2 の実験の内東中洲産の土に対して得た圧縮指数を整理し、表示したものが表-3 である。

表-3 圧縮指数

試料の状態	荷重過程 (kg/cm ²)	圧縮指数の平均値 (個数, 範囲)
不攪乱	0 → 0.25 → 0.50 → 1.0 → 2.0 → 4.0 → 8.0	0.733 (4個, 0.716 ~ 0.746)
	0 → 0.25 → 1.0 → 4.0 → 8.0	0.752 (2個, 0.697 ~ 0.807)
	0 → 0.5 → 2.0 → 8.0	0.767 (1個)
	0 → 0.25 → 0.50 → 1.0 → 2.0 → 4.0 → 8.0	0.430 (3個, 0.374 ~ 0.507)
練返 (1+4)分間練返	0 → 0.25 → 0.50 → 1.0 → 2.0 → 4.0 → 8.0	0.431 (3個, 0.418 ~ 0.442)
	0 → 0.25 → 0.50 → 1.0 → 2.0 → 4.0 → 8.0	0.464 (3個, 0.462 ~ 0.467)
練返 5分間練返	0 → 0.25 → 0.50 → 1.0 → 2.0 → 4.0 → 8.0	0.453 (1個)
	0 → 0.50 → 2.0 → 8.0	0.453 (1個)

この表-3 よりわかるように練返すと圧縮指数は急激に減少する。Skempton は圧縮指数 C_c と液性限界 L_w との間に次の関係を与えている。

乱されない土 C_c = 0.009 (L_w - 10%)
 練り返した土 C_c' = 0.007 (L_w - 10%)

東中洲産の土の L_w は 76 であつて、これを上式に入れて計算すると C_c = 0.59, C_c' = 0.46 となり、乱されない土においては実測値が計算値より大きい値を示しており、練返した土においては実測値と計算値とが近い値を示している。博多港産の土に対して測定した圧縮指数は乱されない土において 0.61, 練返した土において 0.51 であつた。この土の L_w は 51 であつて、Skempton の関係を使つて計算した圧縮指数は C_c = 0.37, C_c' = 0.29 となり、したがつてこの場合にはいずれも実測値が計算値より大きい値を示している。荷重過程はこの圧縮指数に対してもほとんど影響を与えていない。

(4) 圧密係数

図-4, 5 はそれぞれ図-1, 2 に示した log₁₀ p-e 曲線に対応する実験の圧密係数と荷重強度との関係を示したものである。これらの図よりわかるように土を練返すとその圧密係数は小さくなり、したがつて圧密所要時

図-4 荷重強度—圧密係数曲線

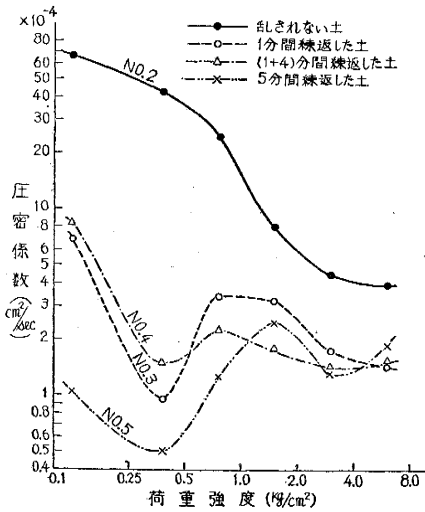
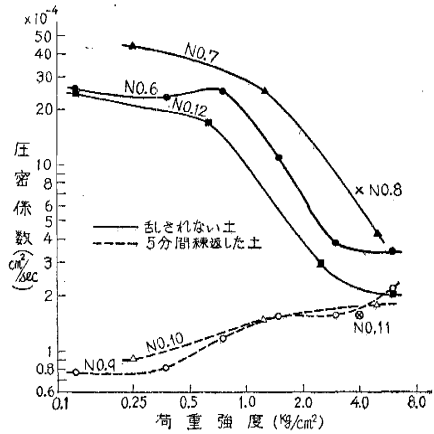


図-5 荷重強度—圧密係数曲線



間は大きくなる。圧密係数と荷重強度との関係は、乱されない土においては荷重強度が大きくなるほど圧密係数が小さくなる傾向にあるが、練返した土においてはそのような傾向は認められずむしろその逆の傾向にある。本研究で行った東中洲産の土に対しての実験全部について圧密係数を間ゲキ比に対して画いたものが 図-6 である。乱されない土においては間ゲキ比が大きいほど圧密係数も大きくなる傾向にあるに対し、練返した土においては圧

図-6 間ゲキ比—圧密係数曲線

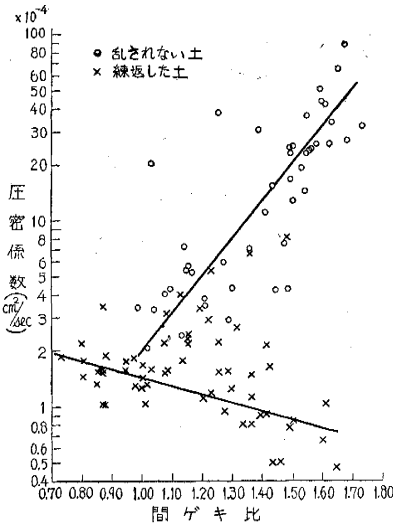
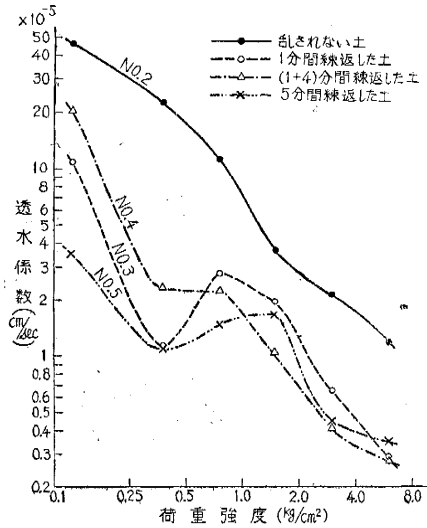


図-7 荷重強度—透水係数曲線

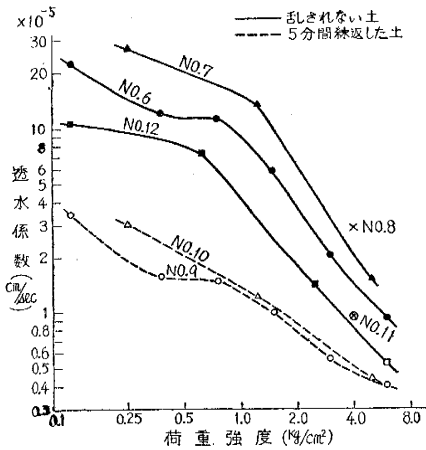


密係数は間ゲキ比の大小にあまり左右されず、むしろ間ゲキ比の増大と共に小さくなる傾向にある。また同じ間ゲキ比の時には一般に練返した土の圧密係数の方が小さい。博多産の土に対してもいまままで述べたと同じことを認めることができた。載荷過程は圧密係数に対しても影響を与えていないようである。

(5) 透水係数

図-7, 8 は前と同じく、図-1, 2 の $\log_{10} p-e$ 曲線に対応する実験より計算によつて求めた透水係数と荷重強度との関係を示したものである。透水係数も圧密係数と同じく練返した土においては小さくなくなり、また乱されない土、練返した土ともに荷重強度の増加につれて小さくなる傾向にある。図-6 と同じように東中洲産の土に対して透水係数と間ゲキ比との関係画いたものが 図-9 で、この図で示されるように乱されない土、練返した土ともに間ゲキ比が大きくなるにしたがって透水係数は大きくなつていく。また同じ間ゲキ比の場合には一般に練返した土の透水係数がやや小さいようである。博多産の土においても上に述べたと同じことが認められた。

図-8 荷重強度-透水係数曲線

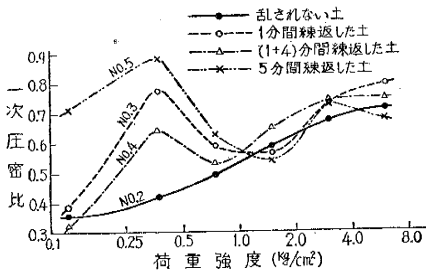


載荷過程は透水係数に対しても影響を与えていないようである。

(6) 一次圧密比

図-10, 11 はそれぞれ 図-1, 2 の $\log_{10} p-e$ 曲線に対応する実験における一次圧密比を荷重強度に対応

図-10 荷重強度-一次圧密比曲線



して画いた曲線である。これらの図よりわかるように練返すと一般に一次圧密比が大きくなるようであり、また乱されない土においては荷重強度の増大とともに一次圧密比は大きくなる傾向にあるようだが、練返すとその傾向はほとんどなくなるようである。載荷過程は一次圧密比に対しても特別に影響を与えているようには思われない。

4. む す び

土を練返すとその強度、物理的性質などと同様に、圧密に対する性質も本文において述べたように全く異なってくる。したがって乱された土に対して行つた圧密試験をそのまま原地盤に適用して、その圧密現象を論ずることは意味のないことであり、また逆に乱されない土に対して行つた圧密試験を乱した地盤に対して適用することも同様である。これらのことはすでにわかりきつたことであるが、ここに改めて強調するしだいである。

参 考 文 献

1) Terzaghi, Peck: Soil Mechanics in Engineering Practice p. 62 (1948)
 T.W.V. Zelst: An Investigation of the Factors Affecting Laboratory Consolidation of Clay.
 Proceedings of the Second International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering,
 Vol. 7 p. 52 (1948)
 Tschebotarioff: Soil Mechanics, Foundations, and Earth Structures p. 100 (1953)
 石井増丸, 倉田進, 藤下利男: 沖積粘土の工学的性質に関する研究 土木学会論文集 第30号 (1955)

図-9 間ゲキ比-透水係数曲線

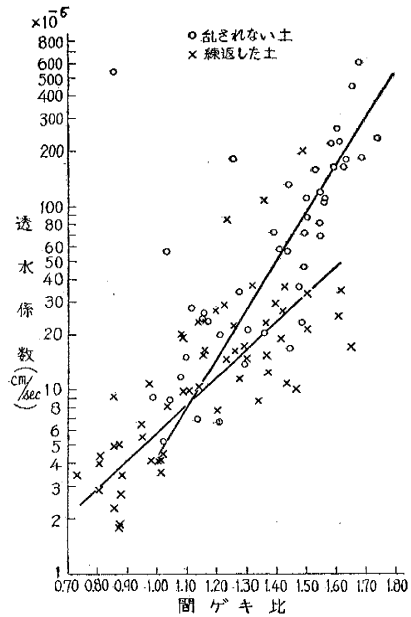


図-11 荷重強度-一次圧密比曲線

