

# 締固め不飽和土の二次圧密について

## IV 供試体の厚さと圧密時間の圧密特性への影響

鳥 山 眺 司

Koshi TORIYAMA

Secondary Consolidation of Compacted Partly Saturated Soils

### IV. The Influence of the Thickness of Specimens and the Duration of Consolidation on the Behaviour of Consolidation

#### 1 ま え が き

筆者は締固め土の圧密特性についての一連の実験的研究をしてきた。締固め土の圧密は締固め含水比、密度、土性、供試体の厚さ、応力増加比、圧密時間、その他の影響を受けるものと考えられる。

供試体の厚さの圧密特性への影響については文献(2)で報告した。そこでは、二次圧密速度  $de/d \log t$  は供試体厚さ  $H$  の増加とともに減少すること、初期圧縮比  $R_i$ 、一次圧縮比  $R_1$ 、二次圧縮比  $R_2$  は  $H$  によって変化すること、 $e \sim \log p$  関係では、 $H$  が小さいほど間げき比の変化が大きくなることなどを示した。これらの実験においては供試体の厚さ  $H$  に無関係に各荷重段階での圧密時間を1日にとった。しかし一次圧密理論にしたがえば、供試体の一次圧密に要する時間は供試体厚さの2乗に比例して大きくなり、また、二次圧密部分の  $e \sim \log t$  関係は一般に直線で近似できる。このため、供試体厚さが異なる場合に圧密時間を等しく1日にとることには問題がある。

ここでは最適含水比の湿潤側の締固め土の圧密特性への供試体厚さと圧密時間の影響についての実験結果を示す。供試体厚さ  $H$  と圧密時間  $T_c$  の関係については、一次圧密理論より、 $T_c$  は  $H^2$  に比例し、飽和土に対してはこの関係の妥当なことが各種の実験により証明されている。不飽和土の一次圧密についても BARDEN<sup>4)</sup>と鳥山・沢田<sup>5)</sup>は  $T_c$  は  $H^2$  に比例すべきことを示している。一方、二次圧密の時間と供試体厚さについてははっきりした関係は与えられていない。そこで圧密時間と供試体厚さの関係をどのようにとるかが問題となるが、ここでは従来、一般に用いられている一次圧密における  $T_c$  と  $H^2$  の比例関係を用い、かつ標準圧密試験におい

ては厚さ 2.0cm の供試体の圧密時間を1日としていることを考慮して、圧密時間  $T_c$  を  $H^2/4$  日とした場合と、厚さに無関係に圧密時間  $T_c$  を1日とした場合の圧密特性の差について検討する。

#### 2 実 験 方 法

圧密特性への供試体厚さの影響を調べるために用いた供試体の厚さは 0.5cm, 1.0cm, 2.0cm, 3.0cm, 4.0cm の5種類である。

厚さ 2cm の供試体による圧密実験では一般に 2mm 以下の粒径の試料土が用いられるが、本実験では 0.5cm の薄い供試体を用いるため、試料土を風乾し、0.42mm ふるい通過分のみを実験に用いた。

実験に用いた試料土は表-1に示す5種類で、いずれも松江市西川津町内より採取したものである。このうち、島大土(S)、深町土1(F)、楽山土(R)は文献(3)において、応力増加比  $dp/p_0$  の圧密特性への影響についての実験に用いたと同一の試料土である。

実験方法は文献(3)に示したと同じ方法であるから、本文では省略する。

各荷重段階に対する圧密時間  $T_c$  を  $H^2/4$  日とする場合、圧密時間は供試体厚さによって次のようになる。

0.5cm 供試体:  $T_c = 0.5^2/4 = 0.0625$ 日 = 1時間30分

1.0cm 供試体:  $T_c = 1.0^2/4 = 0.25$ 日 = 6時間

2.0cm 供試体:  $T_c = 1$ 日

3.0cm 供試体:  $T_c = 3^2/4 = 2.25$ 日 = 2日6時間

4.0cm 供試体:  $T_c = 4^2/4 = 4$ 日

しかし、圧密時間をこのようにとることは実験の都合でできないため、厚さ 0.5cm と 1.0cm の供試体は1日、3.0cm の供試体は2日間の圧密をおこない、二次

表-1 試料土の特性

試料名	島大土 (S)	深町土 1 (F)	深町土 2 (J)	楽山土 (R)	大内谷土 (T)	
液性限界 %	86.5	43.1	61.5	53.2	100.5	
塑性限界 %	48.2	37.2	49.5	39.3	55.6	
最適含水比	51.7	30.4	39.1	30.7	41.5	
初期	含水比 %	58~61	33.4~35.5	42.6~44.2	30.9~31.8	47.2~47.8
	乾燥密度 g/cm <sup>3</sup>	.93~0.99	1.24~1.27	1.15~1.17	1.38~1.43	1.08~1.14
	飽和度 %	85~90	78~83	87~89	85~91	86~91

圧密部分では  $e \sim \log t$  関係が直線になることを利用して、それぞれの圧密時間に対する圧密量を内そうまたは外そうして求めた。

### 3 実験結果と考察

供試体の厚さによって圧密時間  $T_c$  を  $H^2/4$  日にとった場合と等しく 1日とした場合の差は  $e \sim \log p$  曲線にあらわれる。図-1 に島大土と深町土の厚さ 0.5 cm, 2.0cm, 4.0cm の供試体の  $e \sim \log p$  曲線を示す。図中、実線は  $T_c = 1$ 日とした場合の、点線は  $T_c = H^2/4$ 日とした場合の曲線である。H 2.0cm と H 4.0cm の供試体の  $e \sim \log p$  曲線にはほとんど差がなく、かつ、H 4.0cm の供試体では  $T_c = 1$ 日とした場合と  $T_c = 4$ 日とした場合の差は小さい。これに比して、H 0.5cm の供試体では間げき比の変化が H 2.0 cm, H 4.0cm の供試体に比して約50%ほど大きく、また圧密時間  $T_c$  の  $e \sim \log p$  曲線への影響も大きい。図-1には示さないが、H 1.0cm の場合も間げき比の変化は H 2.0cm の供試体に比して大きく、 $T_c$  による  $e \sim \log p$  曲線の差も大きい。しかし、この傾向は H 0.5cm の供試体よりは小さい。これは H 0.5cm の供試体では  $T_c = H^2/4$ 日とした場合と  $T_c = 1$ 日とした場合での圧密時間の比が 1 : 16と大きく異なること、図

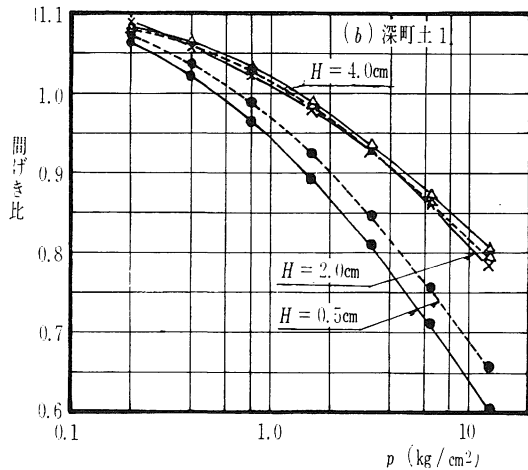
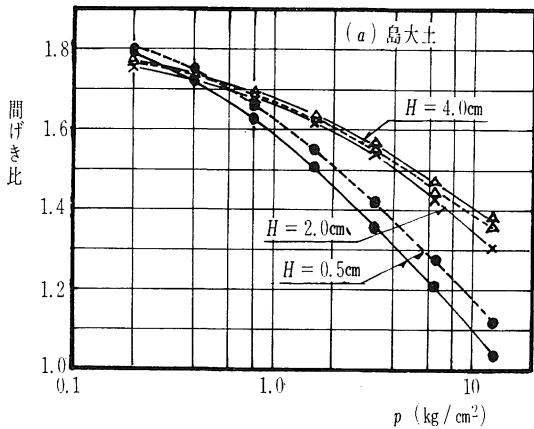


図-1  $e \sim \log p$  曲線への供試体厚さおよび圧密時間の影響

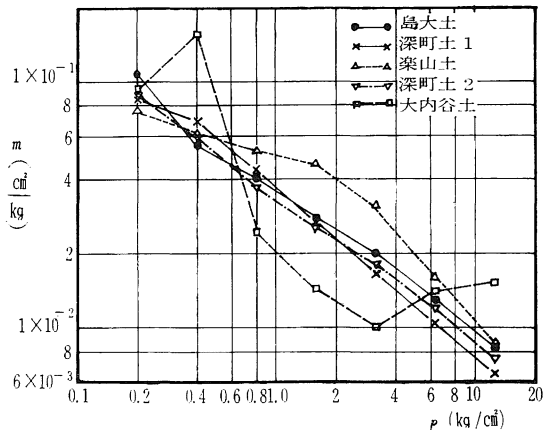


図-2 体積圧縮係数と圧密応力の関係

— 5 に示すように二次圧密速度  $de/d \log t$  も大きいために  $T_c$  の影響が大きくなる。

供試体厚さ  $H$  と圧密時間  $T_c$  による  $e \sim \log p$  曲線の変化は体積圧縮係数  $m_v$  と  $H$  の関係にも影響する。図-2 は  $H 2.0\text{cm}$  の供試体の  $\log m_v \sim \log p$  曲線の例を示す。大内谷土 ( $T$ ) を除いては圧密応力  $p$  の増加とともに体積圧縮係数  $m_v$  は減少している。しかし、大内谷土では  $m_v$  は  $p$  が  $3.2\text{kg/cm}^2$  以上になると増加している。これは  $e \sim \log p$  曲線が  $p = 3.2 \sim 6.4 \text{ kg/cm}^2$  の間で大きく彎曲しているためであるが、このような傾向は他所でおこなわれた締固め土の圧密実験においてもみられることがあり、先行圧密を受けた乱さない飽和粘土の  $e \sim \log p$  曲線が先行圧密荷重で急激に彎曲し、 $m_v$  が増加する場合と類似している。

体積圧縮係数  $m_v$  と供試体厚さ  $H$  および圧密時間  $T_c$  の関係として、島大土と深町土1についてのものを図-3 に示す。供試体厚さが  $2.0\text{cm}$  以上の場合、供試体のばらつきが  $m_v$  と  $H$  の関係に影響して、各試料土によって異なる  $m_v$  と  $H$  の関係を示しているが、 $H 0.5\text{cm}, 1.0\text{cm}, 2.0\text{cm}$  の供試体では厚さの増加とともに  $m_v$  は減少しており、 $H \leq 2.0\text{cm}$  の場合は圧密特性が供試体厚さの影響を受けていることは明らかである。また  $H 3.0\text{cm}$  と  $H 4.0\text{cm}$  の供試体では  $T_c = H^2/4$  日とした方が圧密時間が長いから  $m_v$  が大きく、 $H 0.5\text{cm}$  と  $H 1.0\text{cm}$  の供試体では  $T_c = H^2/4$  日とした方が圧密時間が短いため  $m_v$  は小さくなっている。しかし  $T_c$  の  $m_v$  への影響は圧密応力  $p$  に比して小さく、体積圧縮係数は圧密応力と供試体厚さの影響を大きく受ける。

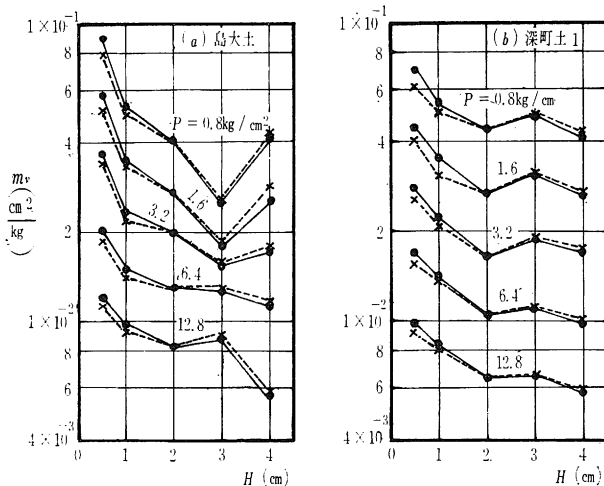


図3  $m_v$  と  $H$  の関係への圧密時間の影響  
(実線は  $T_c = 1$  日、点線は  $T_c = H^2/4$  日の場合)

二次圧密速度  $de/d \log t$  は供試体厚さと圧密応力の影響を受ける。図-4 は各試料土の  $H 2.0\text{cm}$  の供試体の  $de/d \log t$  と  $p$  の関係を示す。 $de/d \log t$  は圧密応力  $p$  とともに増加しており、これはすでに示した傾向<sup>5)</sup>に等しい。図-5 は二次圧密速度  $de/d \log t$  と供試体厚さ  $H$  の関係を示す。この関係も  $m_v$  と  $H$  の関係と同様に  $H \leq 2.0\text{cm}$  の供試体では  $H$  の影響が大きく、 $H \geq 2.0\text{cm}$  となると供試体の影響は小さくなっている。

$m_v$  と  $H$  の関係および  $de/d \log t$  と  $H$  の関係より、供試体厚さが  $2.0\text{cm}$  以下の場合には締固め土の圧縮性にかんがりの変化が生じ、この原因としては供試体内部の応力分布の差違、圧密速度が考えられるが、それらの影響は明らかでない。一方、厚さが  $2.0\text{cm}$  以上の供試体の場合は各供試体のばらつきの影響が大きくあらわれ、リングまさつの影響が異なるにもかかわらず、 $m_v$  と  $H$  および  $de/d \log t$  と  $H$  の関係にはっきりした傾向は生じなかった。これらの実験結果より、締固め土

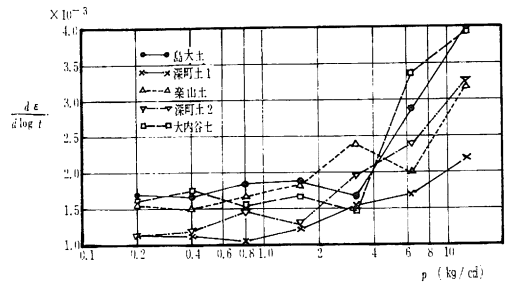


図-4 二次圧密速度と圧密応力の関係

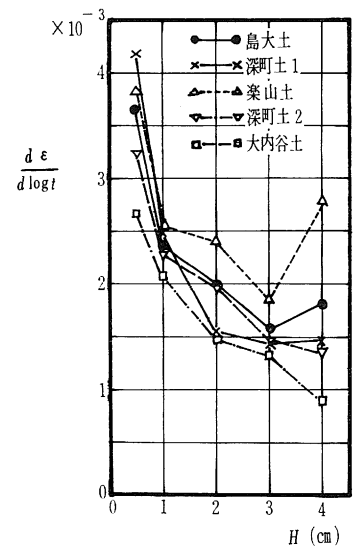


図-5 二次圧密速度と供試体厚さの関係

の圧密実験においては供試体厚さは 2.0cm 以上とすることが望ましい。

圧密時間  $T_c$  を変えた場合、初期圧縮比  $R_i$ 、一次圧

縮比  $R_1$ 、二次圧縮比  $R_2$  と供試体厚さ  $H$  の関係に変化が生じる。各試料土で  $p = 3.2\text{kg/cm}^2$  の場合の  $R_i$ 、

$R_1$ 、 $R_2$  と  $H$  の関係を図-6、図-7に示す。図-6

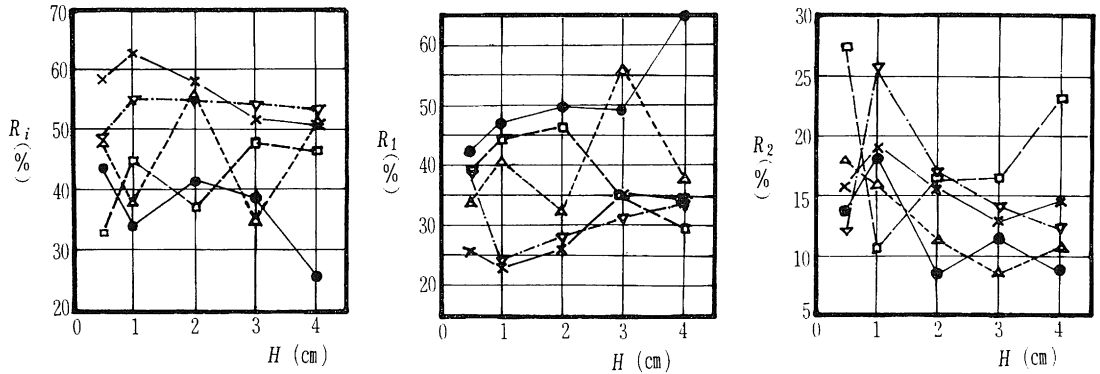


図-6  $T_c = 1$  日ときの各圧縮比と供試体厚さの関係 (記号は図-5と同じ)

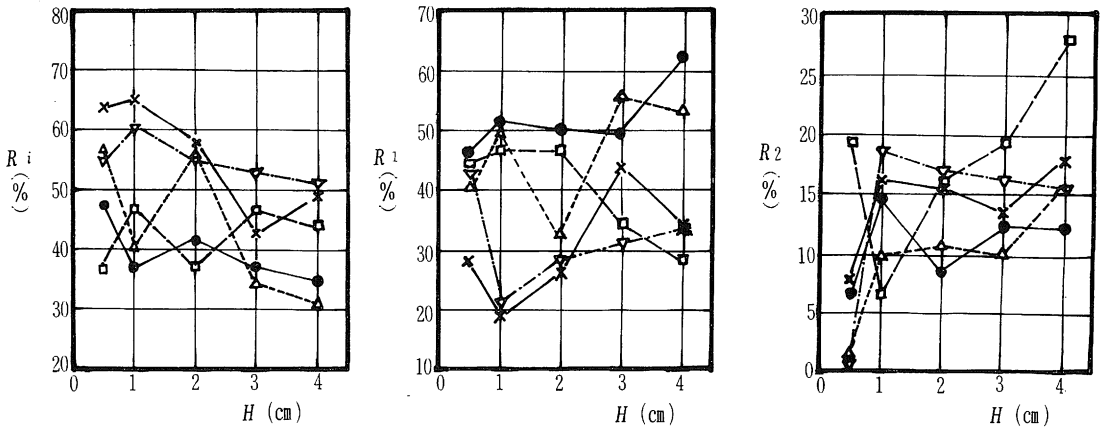


図-7  $T_c = H^2/4$  日ときの各圧縮比と供試体厚さの関係 (記号は図-5と同じ)

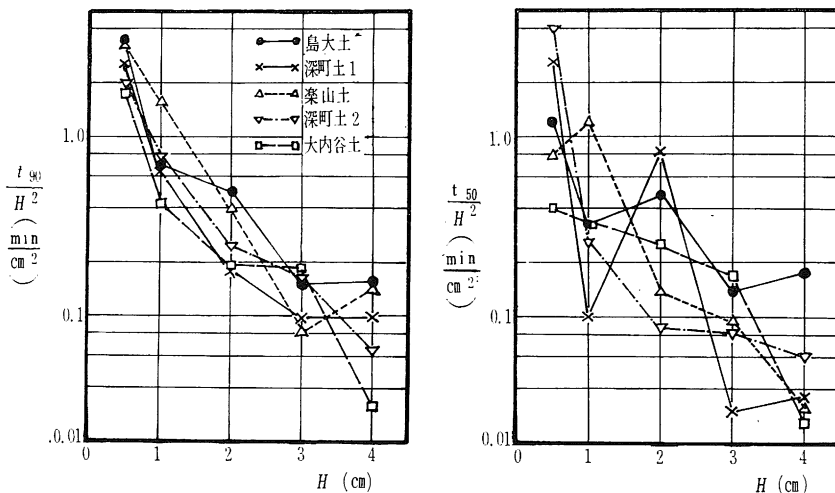


図-8  $t_{90}/H^2$ 、 $t_{50}/H^2$  と供試体厚さの関係

は  $T_c = 1$  日とした場合、図7は  $T_c = H^2/4$  日とした場合である。両図の比較より  $R_i, R_1$  と  $H$  の関係に大差はないが、 $R_2$  と  $H$  の関係は逆になり、 $T_c = 1$  日とした場合、 $R_2$  は  $H$  の増加によって減少しているが、 $T_c = H^2/4$  日とした場合、 $R_2$  は  $H$  の増加とともに増加している。  $H$  0.5cm,  $H$  1.0cm の供試体では  $T_c = H^2/4$  日とした場合、二次圧密の時間が短くなるために  $R_2$  が低下する。さらに図-8に示すように  $\sqrt{t}$  法で90%、 $\log t$  法では50%の一次圧密が進行するのに要する時間、 $t_{90}, t_{50}$  と  $H^2$  の比  $t_{90}/H^2, t_{50}/H^2$  が供試体厚さの減少とともに非常に大きくなり、このため厚さの大きな供試体に比して二次圧密の時間が非常に減少している。このため  $T_c = H^2/4$  日とった場合、 $H$  の減少により  $R_2$  が小さくなり、特に 0.5cm の供試体で  $R_i$  が小さくなったのである。

不飽和土の一次圧密理論によれば  $t_{90}/H^2$  および  $t_{50}/H^2$  は供試体厚さ  $H$  には無関係であるが、標準圧密装置を用いた場合、これらの値は  $H$  の増加とともに大きく減少している。これは土のレオロジカルな特性によるもので、これは不飽和土の圧密試験を標準圧密装置によりおこなう場合の大きな問題点である。この解決の一方法として三軸装置により排水条件を明確にすることが考えられる。

#### 4 あとがき

供試体厚さ  $H$  と圧密時間  $T_c$  を変えた場合の最適含水比の湿潤側の締固め土の圧密特性の変化を示した。

締固め土の圧縮性は供試体厚さが 2 cm 以下の場合、2 cm 以上の供試体に比してかなり大きくなり、これは

圧密時間  $T_c$  のみの影響ではない。

二次圧密速度  $d\varepsilon/d \log t$  は供試体厚さ  $H$  の増加とともに減少し、この減少も  $H$  が 2cm 以下の場合に急激に生じ、 $H$  が 2cm 以上になるとほぼ一定になる。

これらのことより不飽和土の圧密試験も  $H$  が 2.0cm 以上の供試体でおこなうのが好ましいことがわかった。

初期圧縮比  $R_i$ 、一次圧縮比  $R_1$  と  $H$  の関係は圧密時間  $T_c$  の影響をあまり受けないが、二次圧縮比  $R_2$  と  $H$  の関係は  $T_c$  を 1日にとるか、 $H^2/4$  日ととるかで逆になる。これは90%一次圧密時間あるいは50%一次圧密時間  $t_{90}, t_{50}$  と  $H^2$  の比、 $t_{90}/H^2, t_{50}/H^2$  が  $H$  の減少とともに非常に大きくなるため、 $H$  が小さくなると二次圧密時間が非常に短くなるためである。

最後に本実験は昭和45年度農業施設工学研究室の卒業実験の一部としておこなったもので、実験は専攻生諸君に負うところが多かった。また、実験をおこなうにあたり農地工学研究室より多大の協力を得ました。ここに深く感謝の意を表します。

#### 参 考 文 献

1. 鳥山昶司・沢田敏男：農土論集25：15-20, 1968.
2. 鳥山昶司・沢田敏男：農土論集30：34-39, 1969.
3. 鳥山昶司：島大研報4：153-158, 1970.
4. BARDEN, L.: Géotechnique 15: 267-286: 1965.
5. TORIYAMA, K. and SAWADA, T.: Soils and Foundations VIII-3: 63-86: 1968.

#### Summary

The characteristics of consolidation of compacted soils wet of optimum moisture content are changed with the thickness of sample  $H$  and the duration of consolidation  $T_c$ .

The coefficient of volume compressibility  $m_v$  of compacted soils greatly increases with the decrease of consolidation pressure  $p$  and with a decrease in the sample thickness  $H$ . The duration of consolidation  $T_c$  also affects  $m_v$ , but the effect of  $T_c$  is remarkably smaller than those of  $p$  and  $H$ .

The rate of secondary consolidation  $d\varepsilon/d \log t$  also increases with the increase of  $p$  and with a decrease in  $H$ .

The increases of  $m_v$  and  $d\varepsilon/d \log t$  with a decrease in  $H$  are especially remarkable when the thickness  $H$  is smaller than 2.0 cm. According to this fact, the characteristics of consolidation of samples smaller than 2.0 cm thickness may be different from those of samples greater than 2.0 cm thickness.

The relation between  $H$  and the ratio of initial compression  $R_i$  and the relation between  $H$  and the ratio of first compression  $R_1$  are slightly affected by the change of the duration of consolidation  $T_c$ , but the relation between the ratio of secondary compression  $R_2$  is changed greatly when  $T_c$  is taken as one day or  $H^2/4$  day. This is due to the change of duration of secondary compression.