

# 土の締固めにおける水分の働きについて

箭  
内  
間  
寛  
秀  
じ  
治  
ひこ\*\*

## 1. まえがき

最近、高速道路や新幹線などの建設にともない、土の締固めの重要性が一層増している。また、わが国は雨が多く、土は絶えず湿潤状態にあることや、関東ロームをはじめとした火山灰土が多く、含水比は非常に高い。このような高含水比の粘性土では、土の乾燥過程（初期含水比）により締固め曲線がいちじるしく異なり、また、このほかの土質試験などにも大きな影響を及ぼす。このことは施工および施工管理上大きな妨げになるのと同時に、土質工学的に複雑な現象を投げかけている。これは土中の水分が単純な形で存在しないことに起因する。われわれはこれをすでに指摘されているように、自由水と拘束水という形で分割してとらえて、それらの関係を解決しようと試みた。

13種類の試料について、2つの方法で拘束水をとらえて、締固め曲線の集約化を行なった。さらに、初期含水比が強さや土性などにどのような影響を及ぼすかについても実験的考察を加えた。

なお、本報文の一部は第2回土質工学研究発表会で発表したものである<sup>1)</sup>。

## 2. 土粒子と水

土粒子のまわりには地下水から化学的結晶水に至るまで種々の水が存在して、その分類や区別に関してはそれぞれの立場から多種多様な議論がなされている<sup>2)</sup>。さらに、その定義のあいまいさと同時に、各分類の水分を定量的に把握することはかなりむずかしいようである。

現在の突固め試験の方法では、土中のすべての水分（結晶水は除く）は110°C乾燥により除去されて、含水比として扱われている。土中のすべての水分をこのような含水比で表示することは、先にも述べたような試験結果の不合理を誘発するものである。110°C乾燥で除去され

る水分の中で、土粒子の表面に吸着したり、多孔質の土粒子の内部に吸着して、土粒子の一部のような働きをする水分とそれ以外の水分とに分け、前者を拘束水、後者を自由水と考えた。乾燥によりいったん減少した拘束水は、加水しても容易に拘束水になり得ない非可逆性をもつことが大きな特徴である。そして、拘束水になるにはかなりの時間や自然的・外的要因を必要とするにちがいない。

以上のような概念にもとづき、拘束水の求め方としてつぎのような方法が考えられる。

- i) 絶乾試料による方法
- ii) 化学ポテンシャルpFによる方法
- iii) 低温乾燥による方法

すなわち、i) は絶乾試料には拘束水が存在しないことを利用する方法で、ii) はpFの概念を導入し、主として遠心分離による方法、iii) は低温乾燥では自由水のみが失われることによる方法である。ここでは主として、i), ii) を試みたが、iii) についてははっきりとした結論を得るまでには至らなかった。以後、i) は塑性限界を利用したので塑性限界法、ii) は遠心分離法ということにする。

拘束水の量が仮定されたならば、それを土粒子の一部と見なして図-1のような土の模型的表示を考えると、つぎのような一連の式が導かれる<sup>3)</sup>。

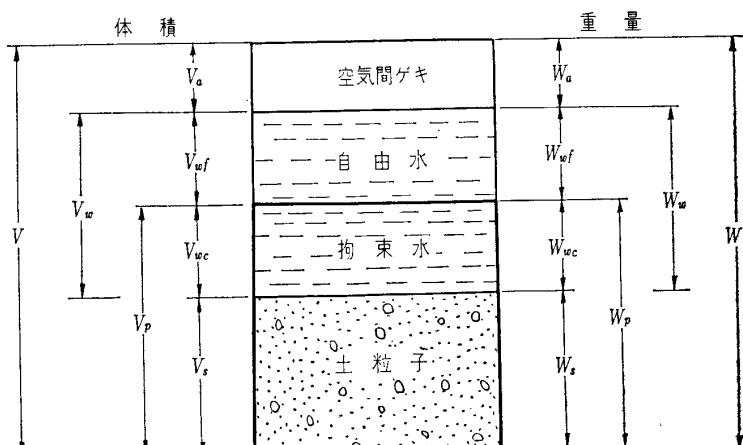


図-1 土の模型的表示

\* 山梨大学工学部教授・工博

\*\* 埼玉大学理工学部・工修

No. 587

$$\text{自由水の含水比 } w_{wf} = \frac{W_{wf}}{W_s} \times 100 \quad (\%)$$

$$\text{拘束水の含水比 } w_{wc} = \frac{W_{wc}}{W_s} \times 100 \quad (\%)$$

みかけ土粒子の比重

$$G_p = \frac{W_p}{V_p r_w} = \frac{100 + w_{wc}}{\frac{100}{G_s} + w_{wc}}$$

みかけ土粒子に対する含水比（修正含水比）

$$w_f = \frac{W_{wf}}{W_p} \times 100 = \frac{w_{wf}}{100 + w_{wc}} \times 100 \quad (\%)$$

みかけ土粒子の乾燥密度（修正乾燥密度）

$$r_{dp} = \frac{W_p}{V} = \frac{100 r_t}{100 + w_f} = \frac{r_d}{100} (100 + w_{wc}) \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

自由水の体積率

$$v_{wf} = \frac{V_{wf}}{V} \times 100 = \frac{r_{dp} w_f}{r_w} = r_d w_{wf} \quad (\%)$$

みかけ土粒子の体積率

$$v_p = \frac{V_p}{V} \times 100 = \frac{100 r_{dp}}{G_p} = r_d \left\{ \frac{100}{G_s} + w_{wc} \right\} \quad (\%)$$

空気間隙の体積率

$$v_a = \frac{V_a}{V} \times 100 = 100 - (v_{wf} + v_p) \quad (\%)$$

表-1 試料一覧表

試料記号	採取地	特徴	比重	自然含水比 (%)	均等係数	三角座標分類
A	山梨県御坂峠	ローム	2.64	93.7	16	砂質ローム
B	静岡市穂坂町	パームス	2.65	185	—	シルト質ローム
C	山梨県三富村	マサ土	2.70	28.6	18	砂質ローム
D	茅野市楓の木	八ツ岳ローム	2.72	92.3	17	ローム
E	東京都五反田	黒色の粘性土	2.71	71.3	4.4	シルト質ローム
F	東京都芝白金	青色の貝混じり	2.68	78.2	3.0	ク
G	"	カッ色の粘性土	2.68	48.5	15	ローム
H	枚方市高田	暗灰色	2.70	28.1	11	シルト質ローム
I	山梨県長坂町	八ツ岳ローム	2.74	104	32	ローム
J	名古屋市鳴海町	カオリーン	2.66	16.0	—	粘土
K	山梨県上野原町	関東ローム	2.80	127	—	ク
L	甲府市愛宕山	粘性の強い粘土	2.77	44.7	—	ク
M	出雲市	海底土	2.66	44.4	36	砂質ローム

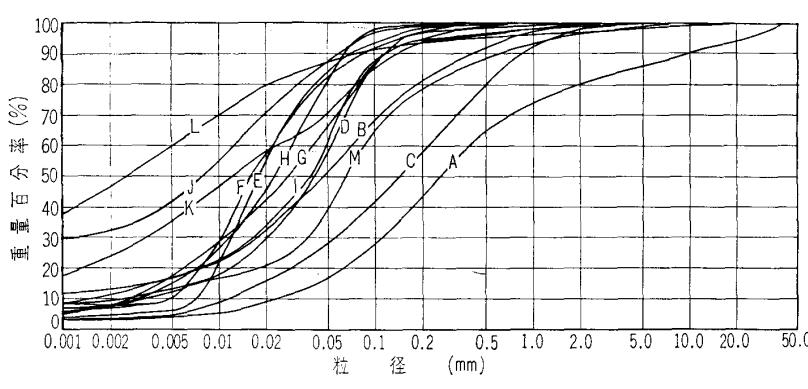


図-2 試料の粒径加積曲線

ただし、解析の際に塑性限界法と遠心分離法を用いるので、後者に'（ダッシュ）をつけて両者を区別する。

### 3. 試料および実験

試料は実験の目的から高含水比の粘性土を主にして、比較検討の意味も含めて低含水比の砂質土や粘土など合計13種類(A~M)について実験をした。試料はかなり広い地域から採取したものである。その採取地および物理特性などは表-1、粒径加積曲線は図-2に示したとおりである。

試料は自然含水比が変わらないように実験室に送付したのち、空気乾燥させて（絶乾に近いものは、低温で加熱したものもある）、5~13段階の初期含水比になるよう試料を調製した。それを締固めおよびコンシステンシーの試験に供した。上記の初期含水比以外に、コンシステンシーの試験用には、絶乾と2~4個の初期含水比の試料を用意した。

実験はJIS A 1210（改訂案 JIS A 1210 呼び名1.1に相当）による突固め試験（試料A~Cは非繰返し法、試料D~Mは繰返し法）締固めた供試体について、試料A~CはJIS A 1218による変水位の透水試験、試料D~Mはプロクターの貫入試験を行なった。また、それぞれの初期含水比の試料について、JISによる塑性限界・遠心含水当量試験、フォールコーン法による液性限界試験を行なった。

農学の方面で、pF 4.2 前後はシオレ点といわれ、これ以上になると、植物根毛による吸水がいちじるしく妨げられ、これを境に別の機構の水分が存在すると考えられている<sup>4)</sup>。そこで、試料D~Mは締固めをした時に含水比を測定するのと同様にその試料を遠心分離した。すなわち、各締固め点ごとに約20 g の試料をろ過管に入れて、水浸をせずに遠心分離器（佐久間製作所製）により、pF 4.2 に相当する力で1時間遠心分離した。ただし、この遠心分離は化学ポテンシャルの概念にもとづいた厳密なものではなく、便利的な試みとして行なったものである。

### 4. 実験結果

実験結果は紙面の都合上2, 3の代表的試料について報告し、他のものは図表で示した。

#### 4.1 突固め試験

13試料から108本の締固め曲線が得られた。この中で自然含水比の土を締固めて、締固め曲線のピークが得られたのは試料C, D, H, J, Lだけであり、乾燥過程曲線は試料H, J, M以外は左上りの

表-2 締固め曲線の変動表

試料記号	初期含水比 $w_0$ (%)	最大乾燥密度 $\gamma_{d\max}$ (g/cm <sup>3</sup> )	最大乾燥密度の差 (g/cm <sup>3</sup> )	増加率 (%)	最適含水比 $w_{opt}$ (%)	最適含水比の差 (%)	減少率 (%)
A	76.4~0	0.804~0.919	0.115	14.3	76.4~64.0	12.4	16.2
B	125 ~0.70	0.496~0.680	0.184	37.1	133 ~87.8	45.2	34.0
C	28.6~0.10	1.360~1.493	0.133	9.8	31.0~23.1	7.9	25.4
D	92.3~2.57	0.727~1.047	0.320	44.0	95.9~48.0	47.9	49.9
E	45.4~7.55	1.148~1.306	0.158	13.8	46.3~34.3	12.0	25.9
F	50.2~8.80	1.050~1.098	0.048	4.6	54.0~46.0	8.0	14.8
G	32.6~2.47	1.324~1.408	0.084	6.3	35.0~29.0	6.0	17.1
H	24.3~1.03	1.418~1.468	0.050	3.5	29.7~25.5	4.2	14.1
I	95.4~5.64	0.718~0.888	0.170	23.7	99.5~62.0	37.5	37.7
J	15.9~2.37	1.333~1.415	0.082	6.2	28.7~26.6	2.1	7.3
K	96.3~8.48	0.703~1.000	0.297	42.2	99.0~58.0	41.0	41.4
L	44.1~0.74	1.128~1.457	0.329	29.2	47.3~27.2	20.1	42.5
M	23.2~3.45	1.509~1.610	0.101	6.7	24.8~20.5	4.3	17.3

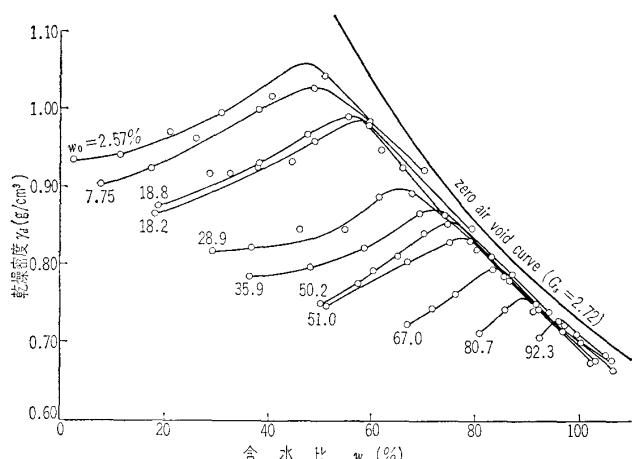


図-3(a) 試料Dの締固め曲線

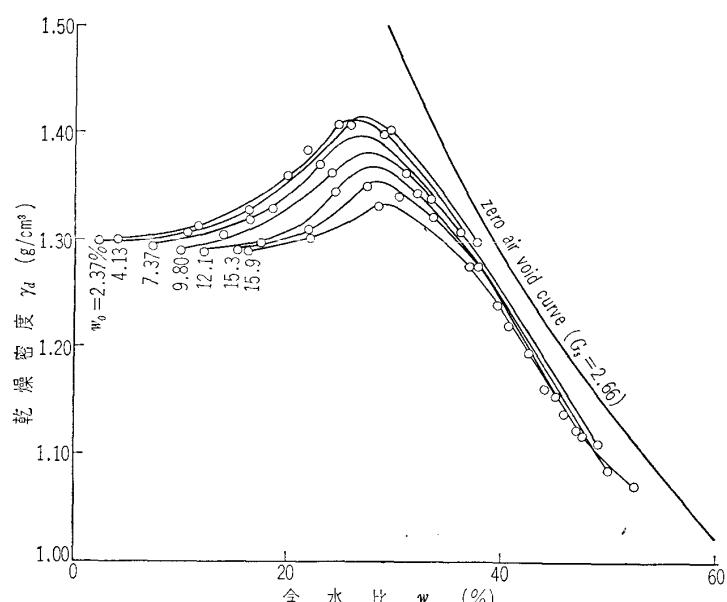


図-3(b) 試料Jの締固め曲線

曲線になった。初期含水比の影響による締固め曲線の変動を表-2に、代表的な締固め曲線を図-3に示した。すなわち、図-3(a)は試料Dで、初期含水比  $w_0=92.3\%$  の時、最大乾燥密度  $\gamma_{d\max}=0.727 \text{ g/cm}^3$ 、最適含水比  $w_{opt}=95.9\%$  であった土が、乾燥させて  $w_0=2.57\%$

になると、 $\gamma_{d\max}=1.047 \text{ g/cm}^3$ 、 $w_{opt}=48.0\%$  になる。したがって、最大乾燥密度の増加率は、44.0%，最適含水比の減少率は49.9%で、本実験中最大の変動を示している。一方、図-3(b)は試料Jで、最大乾燥密度の増加率は6.2%，最適含水比の減少率は7.3%で、最も変動が小さい。ただ、表-2は締固め曲線のピークが得られたものだけの間の変動を示したので、高含水比の粘性土ではさらに変動が大きくなる。以上のデータから高含水比の粘性土では、 $w_{opt}$ および

$\gamma_{d\max}$ の変動率が30~50%にも及んでいることがわかる。他方、われわれの実験では、今まで問題にされていない低含水比の砂質土(試料C, M)や、粘土(試料J, L)でも、初期含水比による差異が規則的に認められる。また後述するコンシスティンシーの結果も考え合せて砂質土や低含水比の粘土にも拘束水が存在することは明らかである。しかし、実際には実験誤差を考慮すると、厳密な値を必要としない限り、試料F, G, H, J, Mでは初期含水比による締固め曲線のずれ、いわゆる拘束水を考慮する必要はないと思われる。

各試料の初期含水比の違いによる最適含水比と最大乾燥密度との関係を図-4に示した。試料の比重の違いにかかわらず、これは森氏<sup>5)</sup>の  $\gamma_{d\max}=1/0.0107 w_{opt} + 0.400$  の曲線に近似していることは興味深い。また、この図から締固め曲線のずれの程度も明りょうに知ることができる。

#### 4.2 透水試験

透水試験の結果として、試料Bについて図-5に示した。透水係数の最小は最適含水比よりやや湿潤側にあり、初期含水比の影響による透水係数の最小  $k_{min}$  の点は破線で示したように放物線型になる。同様な傾向が試料Aにも見られるが、初期含水比による  $k_{min}$  の差は試料Bの場合より小さく、最大最小の差は  $10^{-1} \text{ cm/sec}$  程度で、試料Cでは上述のものよりさらに小さくなる。全般的に、初期含水比の影響は締固めほど大きなものではないが、高含水比の粘性土では決して無視できないものと思われる。

透水の場合の大きな要素は空気間ゲキであるから、空気間ゲキの体積率  $v_a$  と透水係数  $k$  との関係を試料Bについて図-6に示した。すなわち、 $k_{min}$  の時は絶乾に近いものを除けば、 $v_a=8\sim12\%$  の時である。同様に試料Aでは  $v_a=2\sim5\%$ 、試料Cでは、 $v_a=4\sim5\%$  の時  $k_{min}$  になる。よって透水係数の最小となる点は初期含水比にかかわらず、空気間ゲキの体積率があ

No. 587

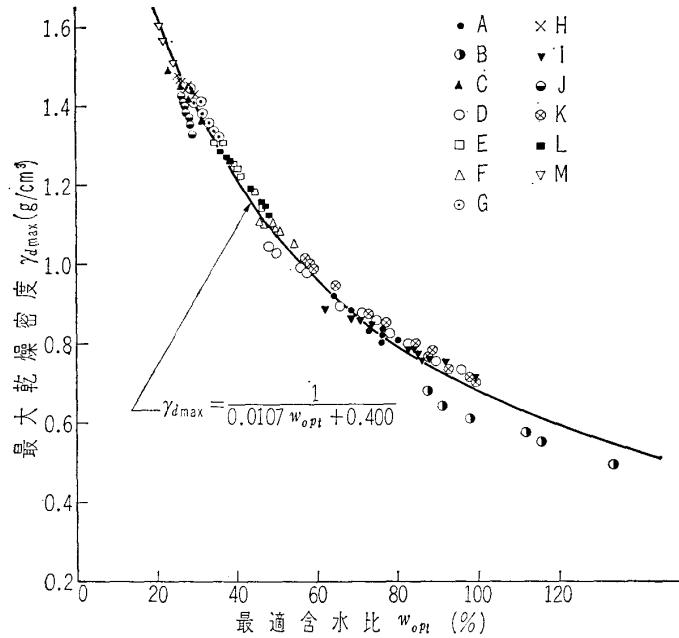


図-4 各試料の初期含水比による最適含水比と最大乾燥密度の分布図

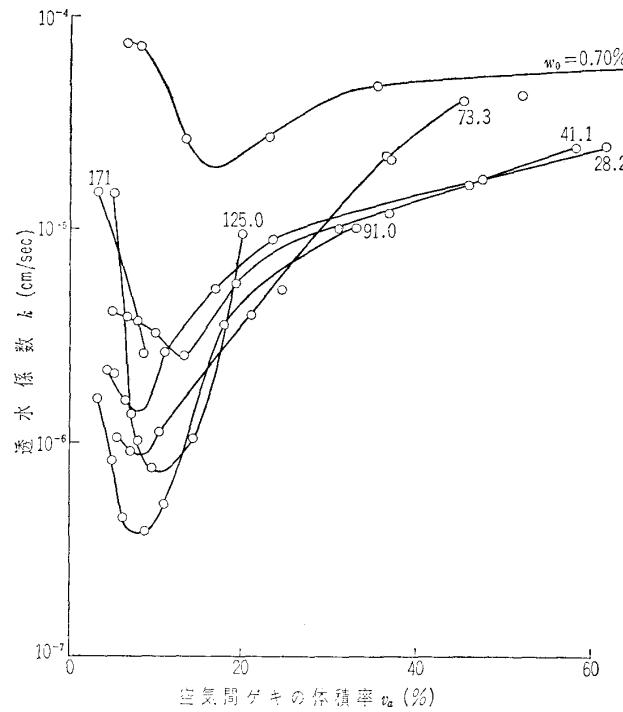


図-6 試料Bの空気間ゲキの体積率と透水係数との関係

これは久野博士が初期含水比にかかわらず貫入抵抗は一定である<sup>3)</sup>と述べていることに比し興味深い。この点については今後も究明する必要があると思う。

#### 4.4 コンシスティンシー

初期含水比と液性・塑性・遠心含水当量との関係を試料 D, J について図-8 に示した。図-8(a)のような高含水比の粘性土では初期含水比による影響が大きく、近似的に 2 本の直線で表示できるような傾向にある。そして 2 直線の交点が気乾の含水比に相当する。一方、図-8(b)に示した試料 J をはじめ、試料 C, H, M などは、わずかに直線的に減少する傾向を示している。

高含水比の粘性土の塑性指数 PI は、初期含水比の減少とともにいちじるしく減少する。たとえば、自然含水比時と絶乾時の PI をみると、試料 D は 51.8 から 13.6 に、同様に、試料 K は 70.5 から 20.7 にというように激減する。一方、試料 J の粘土は 44.3 から

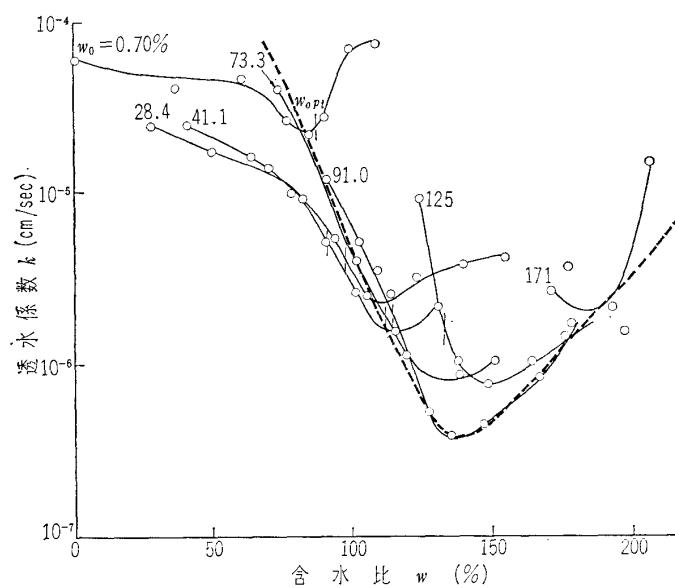


図-5 試料Bの含水比と透水係数との関係

る幅に入ることがわかる。施工に際しては、その空気間ゲキの体積率に注目することが重要であると思われる。

#### 4.3 貫入試験

締固めた土の強度特性を知るために貫入試験を行なったが、密度の変化に比べ、強さはかなり増幅された変化を示すことや試験器自体の問題もあって、結果はかなり散らばったものとなった。試料 D の含水比と貫入抵抗との関係を図-7 に示した。定性的にはつぎのようなことが言えるであろう。

初期含水比と貫入抵抗との関係は、 $w_0$  が小さくなるにつれて最大貫入抵抗  $q_{pmax}$  は増加するが、 $w_0$  がさらに小さくなると  $q_{pmax}$  はいくぶん減少して、透水係数の場合と同様に放物線的関係が認められる。

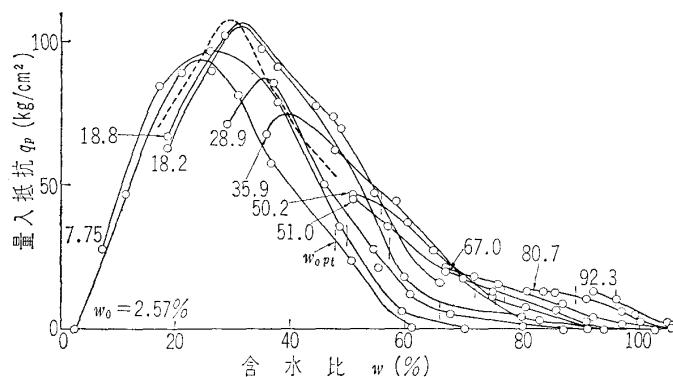


図-7 試料Dの含水比～貫入抵抗曲線

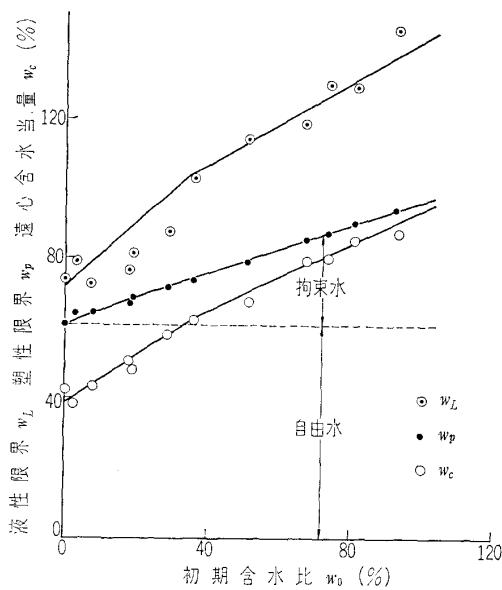


図-8(a) 試料Dの初期含水比とコンシスティンシーとの関係

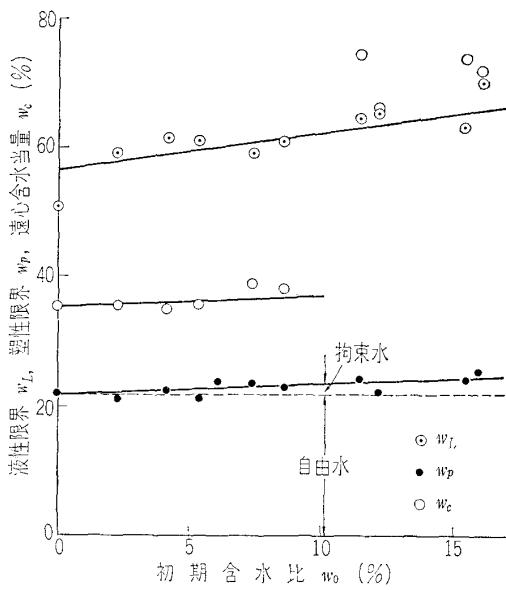


図-8(b) 試料Jの初期含水比とコンシスティンシーとの関係

38.4に、また試料Cの砂質土は11.6から10.5にという程度で、砂質土や低含水比の粘土ではそのような傾向はほとんど見られない。言いかえるならば、PIの変化は拘束水の量に関係するものと思われる。

## 5. 拘束水の概念を導入した締固め曲線

前述の拘束水の概念に従い、拘束水の量を2つの方法で求めて、それぞれに締固め曲線の集約化を試みた。

### 5.1 塑性限界法（絶乾試料による方法）

絶乾試料の拘束水は0であるから、この時の最適含水比を基準にすれば、他の最適含水比との差がいわゆる拘束水に相当する。しかしながら、拘束水の量を求めるためにその都度、突固め試験をしなければならないのは不便であるから、これに代わる何らかの簡便な方法を考える必要があった。そこで、最適含水比と塑性限界との相

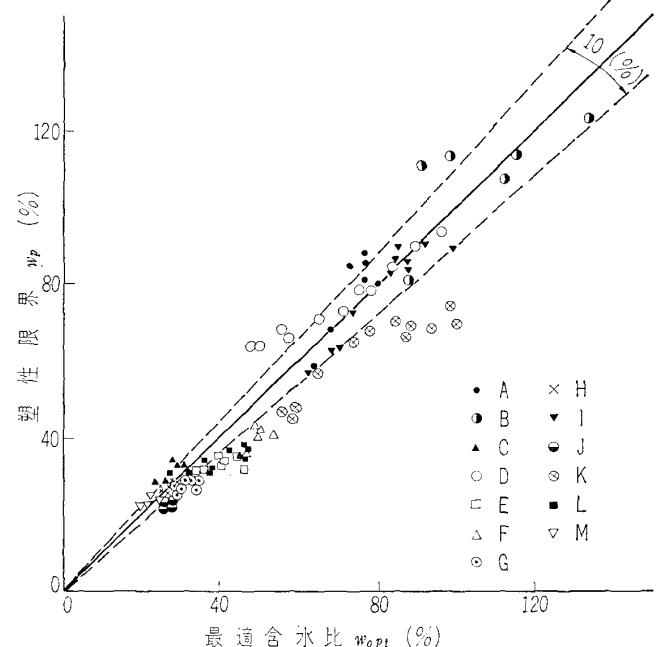


図-9 最適含水比と塑性限界との相関図

関性を全試料について求めると、図-9のようになる。このほか、中大・久野研究室および手もとにあった各種のデータも含めて約400個から、つぎのようなことが言えよう。相対的に±5%を実験誤差の範囲と仮定すると最適含水比はほぼ塑性限界に等しい。ただ、全般的に塑性限界より最適含水比の方がわずかに大きいようである。

それで、塑性限界  $w_p$  を基準にして拘束水を考えると、任意の初期含水比における拘束水の含水比  $w_{wc}$  は、

$$w_{wc} = w_p - w_p \text{ (絶乾)}$$

で表わせ、図-8に示したようになる。すなわち、塑性限界は一定な自由水で成り立ち、拘束水は図示したように変化する。 $w_p$  と  $w_{opt}$  とが近似的に等しいから、これをそのまま締固め曲線に応用することができる。すなわち、任意の初期含水比の締固めにおいて、拘束水は一定であり、自由水のみが締固めに関与する。同一試料では初期含水比が異なっても、最適含水比時には、いつも自由水は一定であると考えるのである。

以上のような考え方から、拘束水の含水比を求めることができる。前述の式により、修正含水比  $w_f$ 、修正乾燥密度  $\gamma_{dp}$  を計算して、試料D, Jの締固め修正曲線を描くと図-10のようになる。ここで、締固め曲線 ( $w \sim \gamma_d$ ) と締固め修正曲線 ( $w_f \sim \gamma_{dp}$ ) とは相対応した点でピークをなす。なぜならば、前述の式で  $\gamma_{dp}$  は  $\gamma_d$  に比例するからである。事実、最適修正含水比  $w_{f, opt}$  に相当する含水比（最適換算含水比）との相関を求めてみても、その差は  $w_f \sim \gamma_{dp}$  曲線の描き方による誤差程度である。各試料の初期含水比による  $w_{f, opt}$  と  $\gamma_{dp, max}$  の差を表-3に示した。全体的にみて締固め曲線の変動よりもはるかに小さくなつたが、試料K, Lのように比較

No. 587

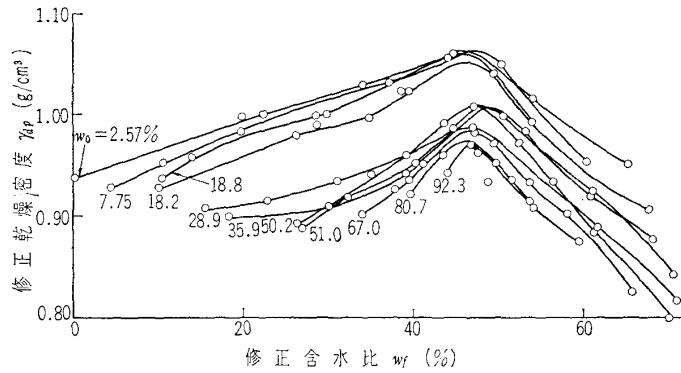


図-10(a) 試料Dの塑性限界法による締固め修正曲線

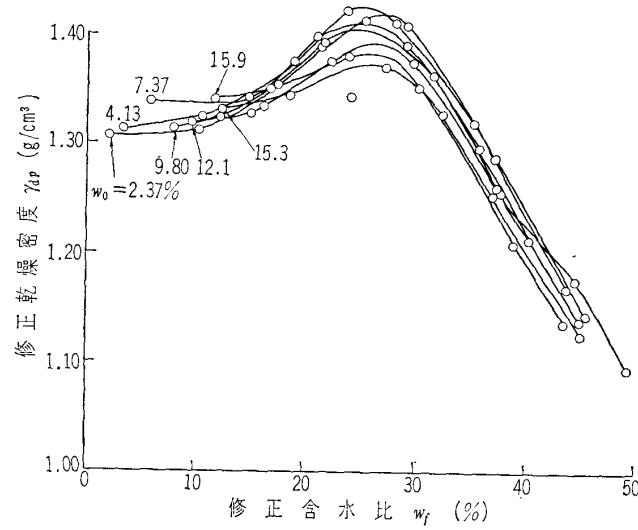


図-11(b) 試料Jの塑性限界法による締固め修正曲線

的大きいものもある。そして、絶乾に近い初期含水比の場合、他のものといちじるしくかけ離れた様相を示すものもある。

さらに、締固め曲線の最適含水比時の土の様相を拘束水を考慮して体積率で表示すると図-11 のようになる。われわれはすでにこの方法で気乾程度の初期含水比以上では締固め曲線がほぼ集約可能のこと、すなわち、最適

表-3 塑性限界法と遠心分離法の  $w_{f, \text{opt}}$  と  $\gamma_{d, \text{max}}$  の差

試料号	塑性限界法		遠心分離法	
	$w_{f, \text{opt}}$ の差 (%)	$\gamma_{d, \text{max}}$ の差 (g/cm³)	$w_{f, \text{opt}'}$ の差 (%)	$\gamma_{d, \text{max}'}$ の差 (g/cm³)
A	1.1*	0.02*	—	—
B	7.7*	0.09*	—	—
C	2.1	0.06	—	—
D	3.5	0.09	10.8	0.25
E	8.0	0.11	4.3	0.14
F	3.8	0.03	2.9	0.06
G	4.5	0.11	4.1	0.13
H	3.7	0.03	1.5	0.06
I	5.4*	0.05*	4.2	0.06
J	2.8	0.05	2.0	0.06
K	18.1	0.20	6.2	0.26
L	10.5	0.25	2.5	0.24
M	2.6	0.07	3.1	0.09

\* 絶乾に近い試料の値は省いた。

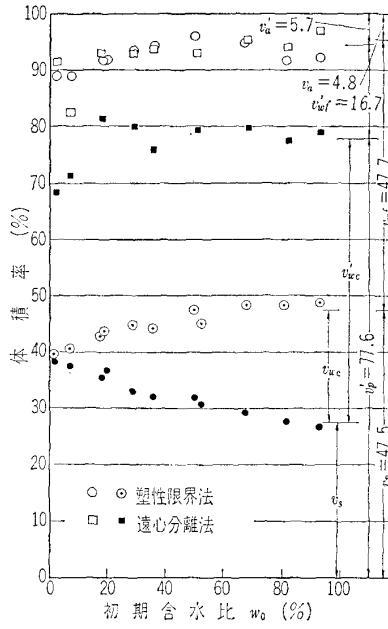


図-11(a) 試料 D の最適含水比における初期含水比と体積率との関係

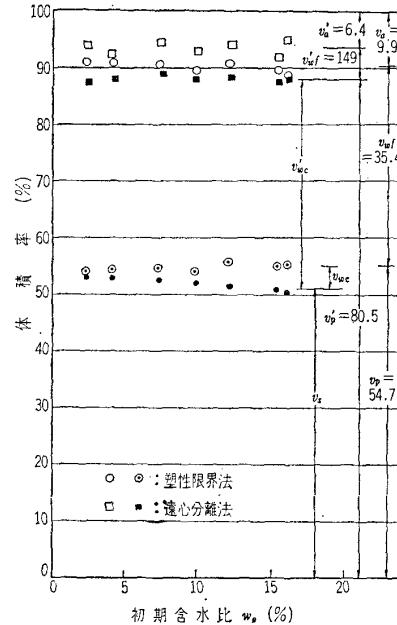


図-11(b) 試料 J の最適含水比における初期含水比と体積率との関係

含水比時のみかけ土粒子の体積率は一定であることを報告したが、一部の試料を除き再確認された。このほか、関東ロームのデータについても同様な解析を行ない同様な結果が得られた。

## 5.2 遠心分離法

遠心分離器を使用することによっても拘束水と自由水とに分けることができる。すなわち、遠心分離により脱水された水を自由水と見なし、分離された水と分離後の試料との重量から修正含水比  $w_{f'}$ 、さらに分離後乾燥炉で除去される水を拘束水と見なすと、除去された水と

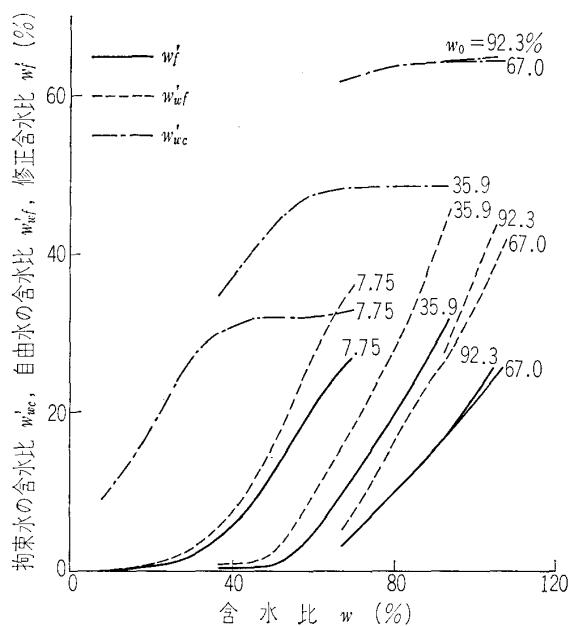


図-12(a) 試料Dの遠心分離による各含水比の変化

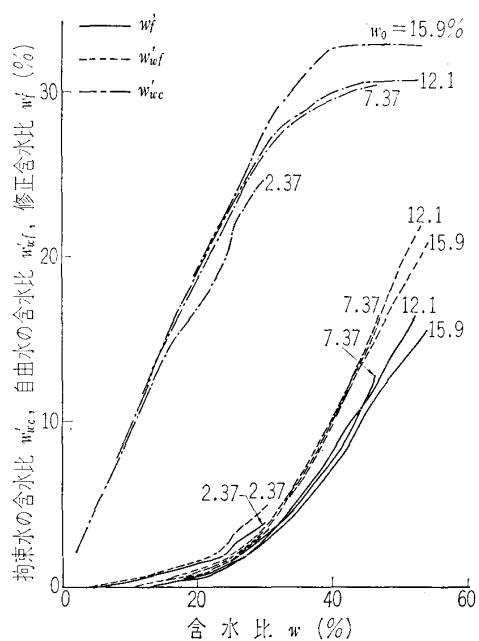


図-12(b) 試料Jの遠心分離による各含水比の変化

土粒子との重量から拘束水の含水比  $w_{wc}'$ , 分離された水と土粒子との重量から自由水の含水比  $w_{wf}'$  が求められる。それで、締固めをした測定点ごとに遠心分離をして、 $w_f'$ ,  $w_{wc}'$ ,  $w_{wf}'$ , を求めた。こうして求められた試料 D, J の締固め過程の各含水比の変化を 図-12 に示した。ただし、図がはん雑になるので、一部の初期含水比の結果のみ示した。

修正含水比  $w_f'$  と修正乾燥密度  $\gamma_{dp}'$  との締固め修正曲線は図-13のようになり、その変化の差を表-3 に示した。これを塑性限界法と比較すると、締固め修正曲線のずれの程度は大差がない。しかし、拘束水の非可逆性が正しいならば、図-12 の  $w_{wc}'$  は水平の直線にな

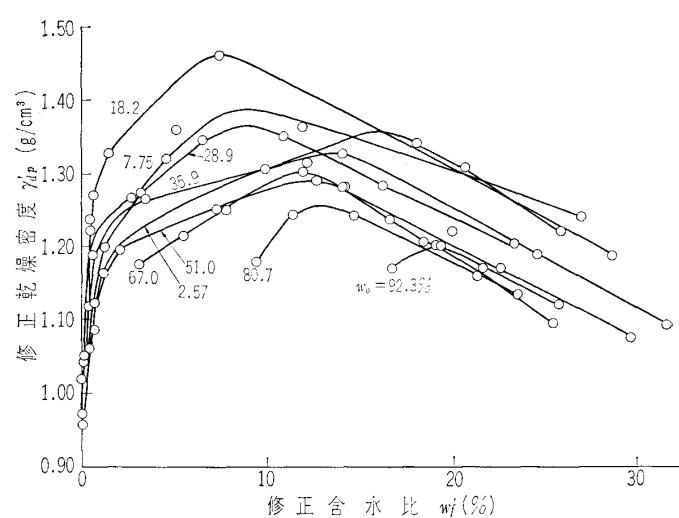


図-13(a) 試料Dの遠心分離法による締固め修正曲線

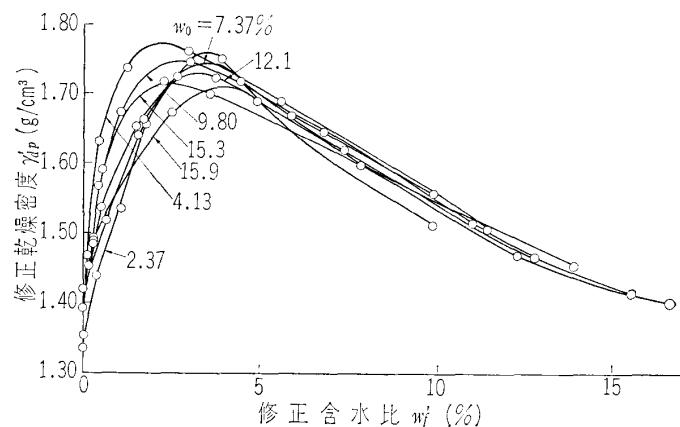


図-13(b) 試料Jの遠心分離法による締固め修正曲線

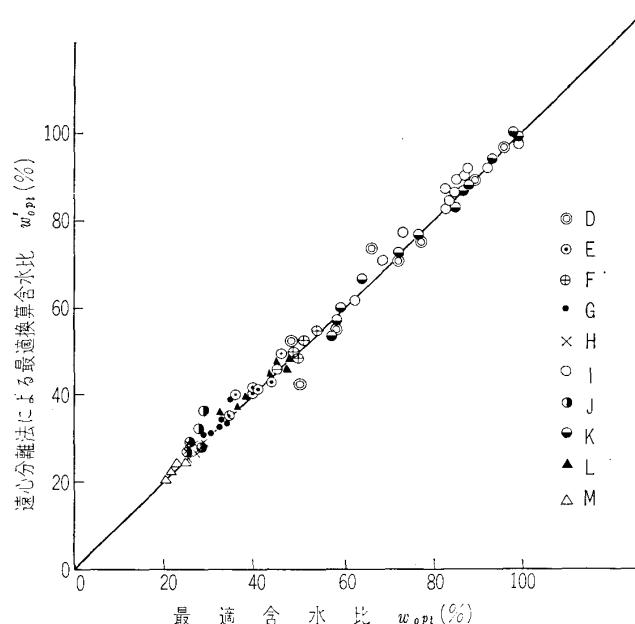


図-14 最適含水比と遠心分離法による最適換算含水比との相関図

るべきであるが、自由水の拘束水化のために図のように拘束水が増加している。ところで、拘束水の可逆性が認められるので、締固め曲線と 図-13 の締固め修正曲線

No. 587

とのピークが相応対する点であるかを検討してみる必要がある。最適修正含水比  $w'_{opt}$  から図-12 により  $w'_{opt}$  (最適換算含水比) に逆算して  $w_{opt}$  と  $w'_{opt}$  との相関を調べると図-14 のようになる。よって、両者のピークはほぼ相対応する点であるから、両者を同等に扱ってよいことになる。

つぎに、 $w'_{opt}$  の時の土の様相を塑性限界法と同様に体積率で表わして、図-11 と一緒に示した。ただし、土粒子の体積率  $v_s'$  は  $w_{opt}$  と  $w'_{opt}$  とがほぼ等しいことから、 $w'_{opt}$  の時のものは省略した。これらから、最適修正含水比における見かけ土粒子の体積率  $v_p'$  は気乾程度の初期含水比以上ではほぼ一定になる。ただ、試料 K, L では初期含水比の減少にともない  $v_p'$  は 3~5% 増加する。

### 5.3 考 察

締固め修正曲線は塑性限界法にせよ遠心分離法にせよ、締固め曲線の集約化という観点から、十分に満足できるものではない。しかし、高含水比の粘性土では締固め曲線の変動を 1/3~1/10 程度に縮小できた。低含水比の試料に対しては、とくにこのような操作を施す必要はないが、施しても 1/2 程度の縮小にとどまる。さらに、最適含水比ならびに最適修正含水比時の土の様相を体積率で表わすと、気乾程度の初期含水比以上ではごく一部の試料を除き、みかけ土粒子・自由水・空気間ゲキの体積率は表-4 のようにほぼ一定な値になる。そして、いずれの方法で集約化しても空気間ゲキの体積率は特殊な土を除き 4~8% で、最適含水比時の土の安定した要素である。高含水比の粘性土の締固め曲線のずれに関して、こうした操作を施すことにより、従来よりも改良されることはある。また、 $w_{opt}$  と  $w'_{opt}$  がほぼ等しいから、遠心分離器による含水比は従来の乾燥炉による含水比に代わり得るものと思われる。初期含水比の問題を考えるにつけ従来の含水比の概念に問題点のあることが改めて考えさせられる。

実際の施工で初期含水比の影響を考える場合、施工する含水比に合せて各種の試験を行なっているのが現状である。しかしながら初期含水比の問題を系統的に解決するためには、土質工学的な現象面をとらえるだけでなく、粘土鉱物・土粒子ならびにその変化をミクロ的に究明する必要があると思う。

### 6. 結 論

以上のことから、われわれの実験ではつきのような結論が得られた。

表-4 最適含水比時の体積率一覧表

試料 記号	塑 性 限 界 法				遠 心 分 離 法		
	$v_s$ (%)	$v_p$ (%)	$v_{wf}$ (%)	$v_a$ (%)	$v_p'$ (%)	$v_{wf}'$ (%)	$v_a'$ (%)
A	30.5~34.8	52.4	41.6	6.0	—	—	—
B	18.7~25.7	43.3	40.4	16.3	—	—	—
C	50.4~55.3	57.6	35.4	7.0	—	—	—
D	26.7~38.4	47.5	47.7	4.8	77.6	16.7	5.7
E	42.4~48.2	50.6	44.6	4.8	82.2	12.8	5.0
F	39.2~41.0	49.5	45.5	5.0	82.7	14.1	3.2
G	49.4~52.5	55.4	39.4	5.2	84.7	11.3	4.0
H	52.4~54.3	54.7	38.3	7.0	85.3	8.1	6.6
I	26.2~32.4	53.7	42.2	4.5	80.5	14.9	4.6
J	50.1~53.2	54.7	35.4	9.9	88.0	5.6	6.4
K	25.1~35.7	49.8	45.6	4.6	79.1	16.1	4.8
L	40.7~52.7	50.0	44.0	6.0	89.2	5.8	5.0
M	56.7~60.5	61.7	31.8	6.5	79.5	14.8	5.7

(1) 初期含水比は高含水比の粘性土に限らず、砂質土や低含水比の粘土においても各種の土質試験(液性・塑性・遠心含水当量・締固め、透水)結果に影響を与えることが認められた。

(2) 突固め試験の最適含水比と塑性限界とは、±5%の相対誤差を見込んでほぼ等しいことが認められた。

(3) 締固め曲線のピークは締固め修正曲線においてもほぼピークとなる。したがって、締固め修正曲線は締固め曲線の代用になり得る。

(4) 締固め曲線のずれは、塑性限界法・遠心分離法とも締固め修正曲線によりかなり集約される。さらに、曲線気乾程度の初期含水比以上では、最適含水比および最適修正含水比時のみかけ土粒子の体積率はほぼ一定になる。また、その時の空気間ゲキの体積率は、試料のいかんにかかわらず 4~8% の間にに入る。

(5) 締固めた土の透水係数の最小は、初期含水比により放物線型に変化する。そして、その時の空気間ゲキの体積率は、初期含水比にかかわらず、それぞれの試料に応じたある一定の幅の中に入る。

終りに、実験の試料を提供して下さった方々、ならびに、実験に協力して下さった石川公明君(山梨大大学院)、八木下稔君(横浜市役所)に厚く感謝の意を表します。

### 参 考 文 献

- 1) 筒内・風間: 土の締固めにおける水分の働きについて、第2回土質工学研究発表会講演集、土質工学会 pp. 117~180.
- 2) L.D. Baver : Soil Physics, pp. 224~227.
- 3) 久野悟郎: 土の締固め、技報堂, pp. 85~100.
- 4) 竹中 肇: 関東ロームの非自由水分、農業土木研究別冊7号, pp. 68~75
- 5) 森 满雄: 土の最大乾燥密度と最適含水比について、土と基礎, 10巻9号, 1962, pp. 12~16.

(原稿受付 1969.10.25)

※

※

※