

締固め土の構造に関する一考察

柴田 英明*

Study on the Structures of Compacted Soils

By Hideaki Shibata*

Synopsis: The mechanism of densification by compaction is closely related to the structures of compacted soils that are composed of sand and clay. In this paper the specimen composed of sand-clay mixture soils were tested to clarify relationships between densification by compaction and the mixture ratio.

Consequently, it is found that the structures of soils consist of two "basis". The one is structure mainly composed of sand, the other is that mainly composed of clay. Further, the test results show the mixture ratio of structure I to structure II is closely related to the sand-clay ratio and the density in compaction.

要旨: 土の締固めによる密度増加のメカニズムを解明する上で、締固め土中の粘土分、砂分の状況を明らかにすることも重要である。前報告では、締固めの理論曲線と実験による締固め曲線との差異についての検討から、砂粒子及び粘土粒子の形成する2種の基本構造I及びIIを提案した。また、締固め土は、この2つの基本構造の集合体とみなせることを予測した。

本報では、この基本構造IおよびIIの同一締固めエネルギー下における密度状況についての検討を行ない、また、締固め土内におけるこれらの基本構造の混合比率を算定する式〔 $P \sim \alpha$ 〕式を提案した。さらにこの式にもとづいて、締固め土の構造状況を把握することを目的とした。

1. まえがき

締固めにおける土の密度増加メカニズムを検討する場合、締固め土の構造を解明することも、一つの方法である。前報¹⁾²⁾では、砂・粘土混合土の締固め理論曲線と実験による締固め曲線の差異について検討を加え、それぞれ、砂粒子および粘土粒子から形成される締固め混合土の基本構造IおよびIIを提案した。さらに、締固め土内におけるこれらの基本構造の混合比率を算定する式〔 $P \sim \alpha$ 〕式³⁾⁴⁾を示した。

本報は、この式に基づいて締固め土の構造状況を把握することを目的として、同一締固めエネルギー下における基本構造の密度状況について検討を加えたものである。すなわち、各基本構造内の粘土の密度状況や、砂の混入量限界率についての検討を行ない、これらの結果をもとに、数種類の土に〔 $P \sim \alpha$ 〕式を適用し、基本構造I、IIの混合比を算定した。さらに、水浸による飽和状態では、不飽和の時に比べて、粘性土は、強度が極端に小さ

くなることに着目し、各粘土混合率の試料の水浸 CBR 試験を行ない、先の〔 $P \sim \alpha$ 〕式による I、II 構造の比率と、この水浸 CBR とについて比較検討を加えた。その結果、締固めたときの砂・粘土混合土の構造は、基本構造 I および II の混じり合った構造で形成され、土中におけるこれらの構造の比率は、砂・粘土の混合比率と、締固めたときの密度によって決まることを見出した。

2. 締固め混合土内における基本構造 I、II の比率について³⁾

締固めた土の構造は、力学的見地から考えると、作用する締固め力に耐え得る構造でなければならない。その

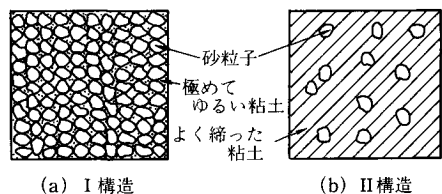


図1 砂・粘土混合土の2種の基本構造

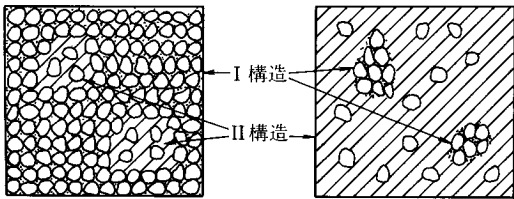
* 土木工学科 専任講師
Lecturer, Civil Engineering Division

ような構造として、図1に示すI、II構造を提案した。I構造は、砂のみを締固めたときと同一の砂粒子の形成する骨格構造をもち、粘土粒子はその骨格の形成する間ゲキ内に入り込んでおり、この粘土の密度はかなり小さいものとする構造である。一方、II構造は、粘土マトリックス中に砂粒子が種々の混入率で分散している状態であり、II構造内の粘土の密度は、同一締固めエネルギーで粘土のみを締固めたときの密度と等しい構造である。そこで、締固めた砂・粘土混合土の構造を考えた場合、この2種の基本構造が、締固め土の乾燥密度に合致する割合で混り合う構造をもつと考えた。図2に示すように、砂分の多いときは、I構造が主体となり、II構造はその中に点在している状態となり、逆に粘土分の多いときは、II構造が主体となり、その中にI構造が点在する構造をもつものと考えた。ここで、各基本構造の砂及び粘土の混合率を考える場合、この砂分及び粘土分の混合率は、その土の中の各構造の平均値で表わされることになり、I、II構造とも、それぞれの構造を形成できる範囲内で、砂分や粘土分の混合率にはばらつきがあるのが現実である。

以上の考え方にもとづき、混合土中における基本構造I、IIの混合比率について、次のようにして求めた。混合土中の全体積に対するI構造群の占める体積の割合を α とすると

$$\alpha = \frac{\text{I構造群の体積}}{\text{混合土の全体積}} \quad (1)$$

となる。そこで、混合土中のそれぞれの構造について、図3に示すように、重量及び体積を仮定し、各々について



(a) 砂分の多い場合 (b) 粘土分の多い場合

図2 締固めた混合土内のI、II構造

V_{s1}	W_{s1}	I 構造群
V_{v1}	W_{c1}	
V_{s2}	W_{s2}	II 構造群
V_{v2}	W_{c2}	

(a) 体積 (b) 重量

図3 砂・粘土混合土

て求めた。I構造群の形成する砂の骨格内の間ゲキを V_{v1} とすると

$$V_{v1} = \alpha \cdot n_1 = \alpha \left(1 - \frac{\rho_{dso}}{G_s} \right) \quad (2)$$

ここで、 n_1 : 砂のみを締固めたときの空気間ゲキ率

G_s : 砂粒子の比重

ρ_{dso} : 砂のみを締固めたときの最大乾燥密度

一方、I構造群の間ゲキの体積 V_{v1} 中に入り込む粘土粒子の重量を W_{c1} とすると

$$W_{c1} = \rho_{dvc} \cdot V_{v1} = \rho_{dvc} \alpha \left(1 - \frac{\rho_{dso}}{G_s} \right) \quad (3)$$

ここで、 ρ_{dvc} : I構造中の粘土の密度

また、II構造群中で、砂粒子の占める体積を V_{s2} とすると、まず、II構造群中の砂の重量 W_{s2} は

$$W_{s2} = \rho_{ds} - \rho_{dso} \cdot \alpha \quad (4)$$

ここで、 ρ_{ds} : 締固めた混合土の全体積に対する砂のみの密度

よって

$$V_{s2} = \frac{W_{s2}}{G_s} = \frac{\rho_{ds} - \rho_{dso} \cdot \alpha}{G_s} \quad (5)$$

となる。また、II構造群中の粘土の占める体積を V_{c2} とすると、

$$\begin{aligned} V_{c2} &= \text{II構造の全体積} - \text{II構造内の砂の体積} \\ &= (1 - \alpha) - V_{s2} \\ &= 1 - \alpha - \frac{\rho_{ds} - \rho_{dso} \cdot \alpha}{G_s} \end{aligned} \quad (6)$$

このII構造中の粘土の重量を W_{c2} とすると

$$W_{c2} = \rho_{dco} \cdot V_{c2} = \rho_{dco} \left(1 - \alpha - \frac{\rho_{ds} - \rho_{dso} \cdot \alpha}{G_s} \right) \quad (7)$$

ここで、 ρ_{dco} : 粘土のみを締固めたときの最大乾燥密度
一方、締固めた混合土中の全粘土重量 W_c は、実験値より

$$W_c = \rho_d \cdot P \quad (8)$$

ここで、 P : 粘土混合率

ρ_d : 各粘土混合率のときの最大乾燥密度

また、図3より

$$W_c = W_{c1} + W_{c2} \quad (9)$$

となる。(3)、(7)、(8)式より、(9)式の W_c を求め、 α について整理すると

$$\alpha = \frac{\rho_{dco} \{ G_s - \rho_d (1 - P) \} - G_s \cdot \rho_d \cdot P}{(G_s - \rho_{dso})(\rho_{dco} - \rho_{dvc})} \quad (10)$$

となる。この(10)式を([$P \sim \alpha$]式)と呼ぶ。

同様にして、II構造群中における砂の混入量を重量比で求めると、

$$\text{砂の混入量}(f) = \frac{\text{II構造内の砂の重量}}{\text{II構造群の総重量}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{W_{S2}}{W_{S2} + W_{c2}} \\
 &= \frac{G_S (\rho_{ds} - \rho_{dso} \cdot \alpha)}{G_S \cdot \rho_{ds} + \rho_{dco}(G_S - \rho_{ds}) - \alpha \{ \rho_{dso} \cdot G_S + \rho_{dco}(G_S - \rho_{dos}) \}} \quad (11)
 \end{aligned}$$

となる。

このように、(10)式によって、締固めた混合土中に存在する2種類の基本構造の混合比率は求められるが、この式を用いるためには、各基本構造の密度状況、即ち、基本構造内の砂、及び、粘土の密度を把握する必要がある。

3. [P~α]式に用いる ρ_{dso}, ρ_{dco}, ρ_{dvc} について⁴⁾

3.1 II構造内の粘土の密度と砂の混入量限界率について

II構造は、図1に示すように、砂粒子が粒子間接触をしないで、粘土マトリックス中の分散している構造とされている。そこで、このようなII構造を人為的に作成し、締固めを行なうことによって、II構造の存在する可能性について考察を行なった。

試料として、砂粒子の代わりに直径 1.0 cm で表面の滑らかな磁製ボール (G_S = 3.615) を用い、粘土として市販カオリンを用いた。実験方法は、粘土層内に磁製ボールを1コ1コ完全に分散させて配置し、最大載荷強さ 35 kg/cm² で静的締固め試験を行なった。また、含水比は、それぞれ 0, 10, 20, 25% の4種類とした。この実験結果より、締固めた混合土の乾燥密度 ρ_a から、粘土のみの密度 ρ_{dc} を求めて図示したものが図4である。なお、磁製ボールの比重が 3.615 と非常に大きいので、ここでは、一般的な砂として豊浦標準砂の比重 2.64 の場合に換算した粘土混合率にして表わしてある。

この図4から判断すると、粘土混合率 (P) が60%以上では、どの含水比の場合でも、粘土のみの密度 (ρ_{dc}) は、粘土100%で締固めたときの密度 (ρ_{dco}) にほぼ一致していることがわかる。しかし、P < 60% となると、ρ_{dc} は

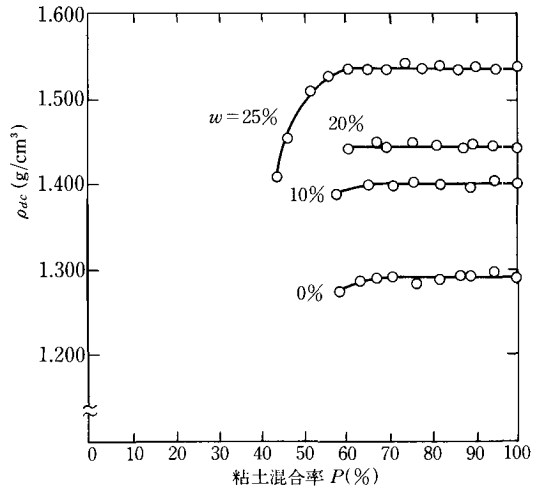


図4 P-ρ_{dc} 曲線

ρ_{dco} よりも小さくなり始める傾向を示している。締固める前には磁製ボールを完全に分散させて実験したにもかかわらず、P < 60% の範囲では、ρ_{dc} が ρ_{dco} よりも小さくなることを示している。そこで、実験後の磁製ボールの状況についてそれぞれ、供試体を割って調べたところ、磁製ボールが互いに接触した部分の生じていることが、肉眼でも、確認することができた。このことから、粘土内に磁製ボールを分散させて締固め試験を行なっていった場合、磁製ボールの混入量が40%以上になると、磁製ボールは、締固めによって、互いに接触する部分が生じ、I構造とみなすことのできる構造状態が増加し、この磁製ボール間の粘土は、余り締固めによるエネルギーを受けないことになり、この部分の粘土は、幾分緩い状態となる。そのため、混合土内の粘土全体としての密度は、ρ_{dco} よりも低下するものと考えることができる。

以上の結果より、II構造内の砂の混入量限界率は、約40%程度であると判断し、また、II構造内の粘土の密度は、P < 60% の範囲では、ρ_{dc} ≐ ρ_{dco} であることから、ρ_{dco} と同一であるとみなすことにした。このことにより、II構造の構造状態については、一応の規準を得ることができたと判断する。

3.2 I構造内の粘土の密度 (ρ_{dco}) について

I構造の存在する可能性については、I構造の骨格を形成する砂粒子と、その間ゲキ内に入り込む粘土粒子について把握する必要があるが、実際に、I構造内の粘土の密度を測定することは難しいので、次のような考えから ρ_{dvc} に関する結論を導き出した。

I構造内に含まれる粘土の密度 (ρ_{dvc}) は、(10)式と(11)式を用いて、α を消去することにより、計算によ

表1 試料の物理的性質

試料	比重	備考
豊浦標準砂	2.64	平均粒径 0.18 mm U _c = 1.46
相馬石英砂	2.64	平均粒径 0.70 mm U _c = 4.89
木節粘土	2.68	LL = 42.6 PL = 17.2 IP = 25.4
市販カオリン	2.72	LL = 51.9 PL = 24.3 IP = 27.6
磁製ボール	3.62	平均粒径 10 mm

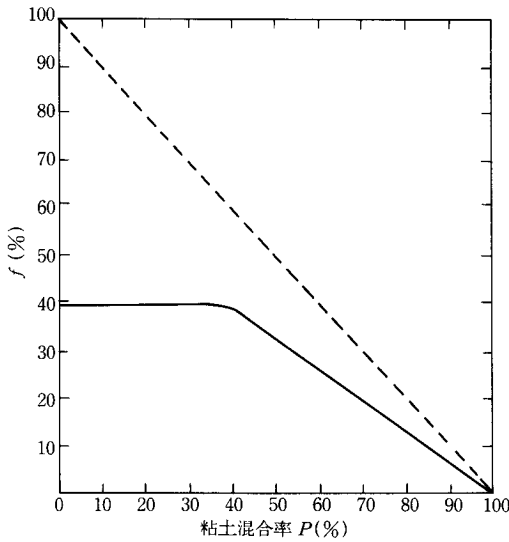


図5 P-f 曲線

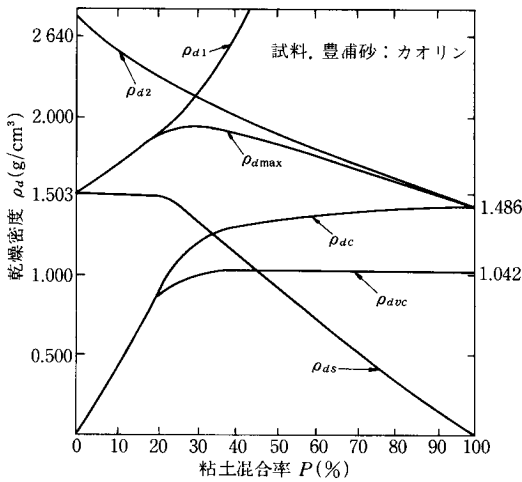


図6 P-ρ_d 曲線

で求めることができる。前項の実験結果より、II構造内の砂の混入量限界率が約40%であることから、粘土混合率の少ない範囲では、 $f \doteq 40\%$ となり、粘土混合率がある値 P' を境に、大きくなるにつれて、 f は、次第に小さくなる傾向を示すことが考えられる。また、 ρ_{dvc} 粘土混合率の増加とともに、大きくなるが、ある程度、粘土混合率が増加すると、ほぼ一定値を示すようになると思われる。これらの条件に合致する f 及び ρ_{dvc} について、(10)式と(11)式を用いて、それぞれ、試行錯誤を繰り返して、 f に対する ($P \sim \rho_{dvc}$) 曲線が、先の条件に合う形状を計算によって求め、その結果を、それぞれ図5、図6に示した。なお、図6に示してある各値は、次のよ

うにして求めた。 ρ_{dvc} は、各粘土混合率に対する最大乾燥密度である。 ρ_{d1} は、土を理想的に混合した場合の状態を考えたとき、砂粒子の形成する骨格を不変とし、その間ゲキ内に粘土粒子を入れていったときの混合土の密度を示しており、一方、 ρ_{d2} は、粘土マトリックスの中に砂粒子を分散混入していった場合の混合土の密度を示し、それぞれ、次式で求めた。

$$\rho_{d1} = \frac{\rho_{dso}}{1-P} \tag{12}$$

$$\rho_{d2} = \frac{G_S \cdot \rho_{dco}}{\rho \cdot G_S + (1-P) \cdot \rho_{dco}} \tag{13}$$

また、 ρ_{ds} は、締固めた混合土の全体積に対する砂のみの密度であり、 ρ_{dc} は、混合土の全体積から砂粒子分の体積を差し引いた残りの体積に対する粘土粒子の重量を、その混合土の粘土の密度としたものであり、それぞれ、次式で求めた。

$$\rho_{ds} = (1-\rho) \cdot \rho_{dmax} \tag{14}$$

$$\rho_{dc} = \frac{G_S \cdot P \cdot \rho_{dmax}}{G_S - (1-P)\rho_{dmax}} \tag{15}$$

図5によると、粘土混合率が40%までの範囲では、II構造内で砂粒子の占める割合は、 f_{max} にあたる40%であり、粘土混合率が40%以上の範囲では、ほぼ、直線的に低下する傾向を示している。一方、図6からは、粘土混合率が10%までの範囲では、 ρ_{dvc} は ρ_{dc} と一致しており、10%から40%の範囲では、粘土混合率の増加に従い、 ρ_{dvc} は、増加する傾向を示すが、その増加率は、 ρ_{dc} のそれに比べて、徐々に小さくなっている。さらに、40%以上になると、 ρ_{dvc} は、ほとんど、一定値を示す傾向を示している。

3.3 粘土混合率と α との関係について

3.1及び3.2項により決定した [$P \sim \alpha$] 式の係数を用いて、名試料について、計算を行なった結果を図7に示す。

この図7によると、粘土混合率が30%までの範囲では、 α は、ほとんど、70%以上になっており、この範囲では、I構造が混合土内の大半を占めていることになる。また、粘土混合率が30~40%の範囲では、 $\alpha = 75\%$ から $\alpha = 45\%$ へと、急激に減少する傾向を示している。さらに、粘土混合率が40%以上になると、 α は45%以下になっており、明らかに、II構造が混合土内で過半数以上であることが判断できる。

このようにして、締固め混合土内における基本構造I、IIの占める割合については、計算により、求めることができる。次に、砂・粘土混合土の締固めた時の強度が、水浸により低下する現象について、水浸 CBR による貫入試験を行なって調査し、先に、計算で求めた混合土中

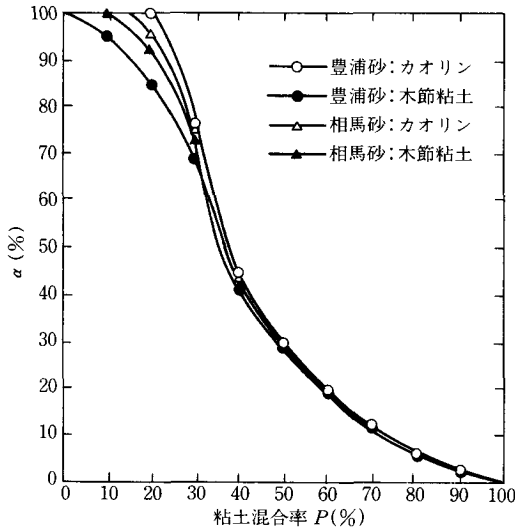


図7 P-α 曲線

の基本構造 I, II の比率との比較により, 締固め混合土中における, これらの基本構造の存在する可能性についての検証を試みた。

4. 水浸 CBR 試験による [P~α] 式の検証⁵⁾

4.1 水浸 CBR 試験のもつ意義について

CBR 試験に準じた貫入試験では, 同一供試体について, 粘土混合率や含水比が変化しても, 同一条件のもとで, 比較検討することができる。一方, 締固めた混合土は, 水を含むと, 強度が変化するとされている。例えば, 粘性土では, 水浸による飽和状態では, CBR 試験に準じた貫入試験による強度が, 水浸前の強度に比べて, 極めて, 小さくなるのがわかっている。逆に, 砂質土では, 砂粒子の形成する骨格が, 加わるエネルギーに対して抵抗するため, 水浸後も, それ程強度低下は生じないと言われている。ここで, 我々の提案している基本構造は, それぞれ, I 構造は, 砂質土的性格をもつ構造であり, II 構造は, 粘性土的性格をもつ構造であるとしているので, 締固めた混合土が, 水浸によって飽和されたときの強度は, その混合土内で過半数以上を占める基本構造によって決定されることができると考えることができる。即ち, I 構造が混合土内で大半を占めるならば, 砂質土のときと同様の強度を示すであろうし, II 構造が多くなれば, 粘性土と同様の結果をもたらすことが予測できる。

以上のことから, CBR 試験に準じた貫入試験によって, 締固めた混合土の水浸時, 或いは, 非水浸時の貫入試験を行ない, その結果と, 前項により求めた [P~α] の関係について, 比較検討を行なうことにした。

試験方法は, 直径 2.5 cm の小型貫入棒を使用し, 貫入速度 1 mm/min. 貫入量 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0~10.0 mm に対する貫入抵抗値を測定し, 貫入量 2.5 mm のときの貫入抵抗値を標準荷重強さ 70 kgf/cm² で割ったものを, その混合土の CBR 値と呼ぶことにした。なお, 貫入試験は, 水浸及び非水浸の 2 種類の状態で行ない, 水浸の場合は, 48 時間後の値を測定した。

4.2 粘土混合率と水浸 CBR との関係

粘土混合率に対する非水浸 CBR, 水浸 CBR を, それぞれ, 図 8 に示し, 非水浸 CBR に対する水浸 CBR と

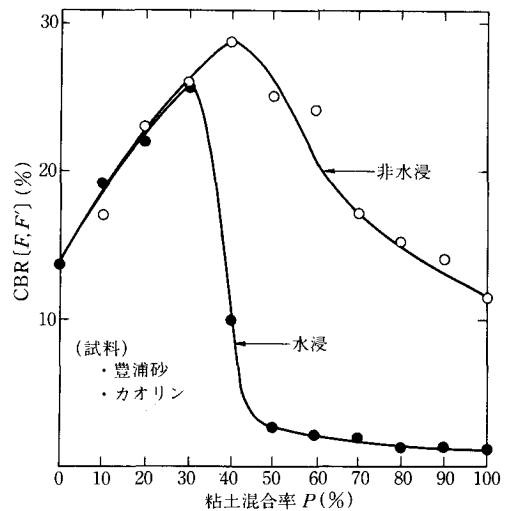


図8 P-非水浸 CBR 曲線及び P-水浸 CBR 曲線

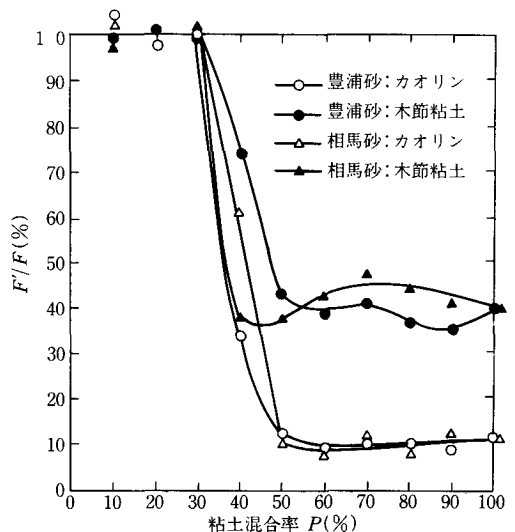


図9 P-水浸 CBR / 非水浸 CBR 曲線

粘土混合率の関係を図9に示した。ここで用いた試料は、豊浦標準砂と市販カオリンを混合したものである。

図8及び図9によると、粘土混合率が30%以下の範囲では、非水浸 CBR、水浸 CBR ともに、同一値を示し、粘土混合率の増加に伴ない、かなりの増加を示している。次に、30~40%の範囲では、水浸 CBR は、急激に減少し、水浸 CBR \div 9.7 となり、非水浸のときに比べて、約50%も減少している。しかし、非水浸 CBR 値は、どの粘土を混合した場合でも、あまり変化していない。さらに、粘土混合率が50%以上になると、水浸 CBR は、粘土混合率の増加に伴ない、徐々に、減少する傾向を示しているが、その減少率はわずかであり、次第に、一定値に近づく傾向を示している。また、この範囲の非水浸 CBR は、 $P = 50\%$ で最大値を示し、50%以上の粘土混合率になると、大きく減少する傾向を示している。一方、この範囲での非水浸 CBR と水浸 CBR との比は、ほぼ一定値となっている。

4.3 水浸時の吸水量について

水浸した場合、48時間後の吸水量 (Q_{cc})を測定したが、図10に、その結果を示している。

図10より、粘土混合率が30%までの範囲では、試料の種類に関係なく、粘土混合率の増加とともに、吸水量は減少しており、粘土混合率が30~40%付近で、吸水量は、最小値になっている。一方、粘土混合率が40%以上になると、市販カオリンを混合した場合は、粘土量の増加に伴ない、吸水量は、大きく増加し、 $P = 100\%$ のときに、約50 cc となっている。また、木節粘土を混合した場合は、やはり、増加する傾向を示しているが、その

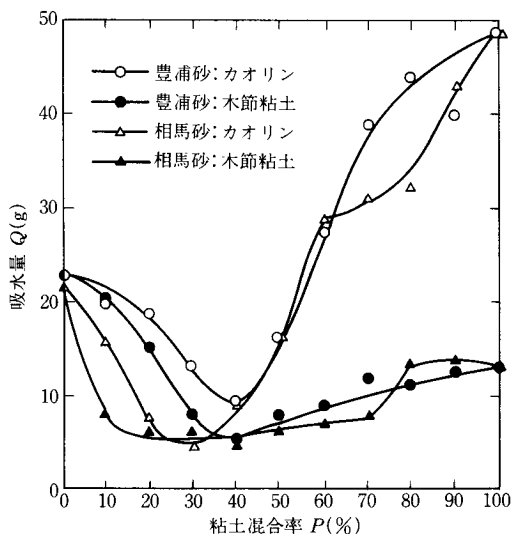


図10 P-Q 曲線

増加率は、市販カオリンを混合したときに比べて、極めて小さく、 $P = 100\%$ のときで、約13 cc 位となっている。

このように、粘土の種類によっても、吸水量が変化しており、このことが、水浸 CBR の大きさにも影響し、図9の ($P \sim$ 水浸 CBR/非水浸 CBR) 曲線にも、顕著に表われていると考えることができる。

4.4 [$P \sim \alpha$] 式による I, II 構造の比率と水浸 CBR との比較

締固めた砂・粘土混合土の水浸した場合の強度状況の変化について、先に提案した基本構造の混合状態をもとに、次のように考察した。

(i) 粘土混合率が30%以内の場合

図7より、この粘土混合率の範囲では、I 構造は、70%以上を占めており、このことから、混合土内においては、明らかに、I 構造は、連続的につながっており、混合土の主体となるべき骨格構造を、I 構造が形成しているものと判断できる。したがって、この場合、混合土は、砂粒子の集合体で骨格構造を形成されていると考えられる。この粘土混合率の範囲では、図8, 9に示されているように、水浸した場合と非水浸との間に、あまり、差異が生じないのは、混合土全体を構成している砂粒子の骨格構造のため、水浸による強度低下が、ほとんど、生じないためと考えることができる。一方、図10より、この範囲での吸水量が、大きく減少するのは、I 構造内の砂粒子の形成する骨格の間ゲキ内に入り混じってくる粘土粒子の増加により、吸水効果が妨げられるからと考えられる。このことは、粘土混合率の増加に伴ない、I 構造の間ゲキに、粘土が多くなり、吸水できる有効間ゲキが少なくなることによるためと考えられる。この I 構造の間ゲキ中の粘土の増加状況は、図6において、この粘土混合率の範囲での ρ_{ave} が増加する状況から判断できる。

(ii) 粘土混合率が30~40%の場合

図7より、この粘土混合率の範囲では、 $P = 30\%$ のとき、 $\alpha \div 75\%$ 、また、 $P = 40\%$ のとき、 $\alpha \div 45\%$ と、混合土内の I 構造の占める割合が、最も急激に減少することが示されている。一方、この範囲での貫入試験について考えると、図8により、 $P=40\%$ のときの水浸 CBR が、 $P=30\%$ のときの水浸 CBR の約34%にまで、急激に減少しており、また、図9より、非水浸 CBR に対する水浸 CBR の割合が、他の範囲の粘土混合率のときに比べて、最も大きく減少していることがわかる。

以上のことから、粘土混合率がこの範囲では、混合土全体を構成する骨格構造が、I 構造から II 構造へと、数

%の粘土量の増減により、変化できる状況にあり、かつ、この変遷点は、混合度や縮固めなどのわずかの差の影響を受けやすいものと考えられる。I構造が、連結しない状態になると、II構造が、全体の骨格を形成することになり、II構造は、粘土マトリックスの連続構造であり、吸水により著しく軟化する性質があるので、したがって、この範囲における水浸 CBR の変化は、大きく、かつ、複雑である。このことから、混合土全体として考えた場合、 $P = 40\%$ 付近では、混合土の構造状態が、非常に不安定な状況にある。即ち、混合土において、全体を構成する骨格構造が、I構造主体型からII構造主体型へと変わりやすい状況にあると考えることができる。

(イ) 粘土混合率が40%以上の場合

粘土混合率が40%以上になると、図7より、混合土内においては、II構造が過半数以上を占めることにより、混合土の骨格構造は、II構造によって構成されることになり、I構造は、II構造で囲まれた形でしか存在できなくなる。この範囲では、水浸 CBR が、非水浸 CBR の40~10%程度まで減少し、ほぼ一定値を示しているが、このことを粘性土の強度にもとづいて考えた場合、水で飽和された粘性土の強度は、不飽和状態の粘性土の強度よりも、極端に小さくなる。その為、粘土混合率が40%以上になると、粘土粒子主体の骨格構造であるII構造が過半数となるため、混合土全体の性質が、粘性土の場合と、ほとんど、変わらなくなる。よって、このような貫入試験においては、粘性土の場合のように、水浸 CBR が、非水浸 CBR の約40~10%まで、減少するものと考えられる。また、この範囲で、水浸 CBR が、ほとんど一定値となるのは、この範囲の混合土の主体となるべき骨格構造が、II構造であることを物語るものと考えられる。さらに、図10より、吸水量が、粘土混合率の増加とともに増加しているのは、呼水量の少ない間ゲキ中の粘土が多いI構造が減少し、吸水量の多いII構造が増加してくるためと考えることができる。

5. ま と め

今までの実験結果より、砂・粘土混合土を縮固めたときの構造は、I構造とII構造の混り合った構造であり、土中におけるこれらI構造とII構造の比率は、砂・粘土の混合比率と、各基本構造の縮固め密度によって表わされることを明確にした。さらに、各基本構造および縮固め混合土の構造状況の細部については、次のような結論が得られた。

(1) 基本構造Iは、砂粒子により、その骨格構造は、形成される。一方、粘土粒子は、ただ、その砂粒子の形

成する骨格の間ゲキ内に入り込むだけであり、粘土のみの密度としては、粘土混合率が40%までは、 ρ_{dc} と同様に増加するが、その増加率は、 ρ_{dc} に比べて小さくなる傾向を示し、粘土混合率が40%以上では、ほぼ一定値になっている。

(2) 基本構造IIは、粘土マトリックス内に、砂粒子が、完全に分散しており、砂粒子は、常に、粒子接触を生じない間隔をもって、粘土マトリックス内に浮遊している。このように、粘土マトリックス内で、砂粒子が、粒子間接触を起さないうで分散できる限度は、砂混入率が約40%までである。また、II構造内の粘土は、同一エネルギーで、粘度のみを縮固めたときの密度 ρ_{dc} に等しいとみなすことができる。

(3) 粘土混合率が30%までの範囲では、非水浸 CBR、水浸 CBR とともに、ほとんど変わらない。これは、I構造が、混合土内で約70%以上を占めており、混合土全体の性質が、砂質的となっているためと考えることができる。

(4) 粘土混合率が30~50%の範囲では、水浸 CBR が、非水浸 CBR に比べて、極端に、小さい値を示しており、その減少率は、他の粘土混合率の範囲に比べて、最大となる。これは、混合土全体を構成する骨格構造が、わずかの粘土量の増減によって、I構造からII構造へと、変化できる状態にあるためと考えられる。

(5) 粘土混合率が50%以上の範囲では、水浸 CBR は、ほぼ、一定値を示しているが、これはII構造が、混合土の骨格を形成しているため、即ち、混合土全体が、粘性土的になっているためと考えることができる。

謝辞 本研究の遂行にあたって、早稲田大学教授 森麟博士に懇切な御指導、御助言を賜りました。同博士、および、実験に協力頂いた卒業生諸氏に厚く御礼申し上げます。

(原稿受付 昭和56年9月24日)

参 考 文 献

- 1) 柴田：土の縮固めによる密度増加と縮固め土の構造に関する研究、国土館大学工学部紀要 第13号 昭和55年3月。
- 2) 森、柴田：土の縮固めによる密度増加のメカニズムについて 第2報、第12回土質工学研究発表会 1977。
- 3) 森、柴田：縮固めた砂・粘土混合土の構造についての考察、第14回土質工学研究発表会 1979。
- 4) 森、柴田：縮固めた砂・粘土混合土の構造についての考察 第2報、第5回土質工学研究発表会 1980。
- 5) 森、柴田：縮固めた砂・粘土混合土の構造と水浸 CBR、第16回土質工学研究発表会 1981。