

# 締め固めた礫まじり土の工学的性質に関する実験的研究

Study on shearing strength and permeability of compacted gravelly soils

く 久 楽 勝 行\*  
せき 関

み 三 木 博 史\*\*  
かず お 雄\*\*\*

## 1. ま え が き

締め固めた礫まじり土の工学的性質については、フィルダムなどで主に築堤材料としての適否を判定するために各種の土質試験が実施されており、それらの成果に関する報告も数多く発表されている<sup>1),2),3)</sup>など。また、礫まじり土の基本的な性質を明らかにする目的で、砂と粘性土または礫と粘性土の混合土について、それぞれ砂および礫の混入率を変えたときの締め固め土の工学的性質について検討した報告もある<sup>4),5)</sup>。

しかし、礫まじり土の基本的な性質に関して特に礫の混入率と土の締めまり具合の両者に着目して、それらが異なった場合に礫まじり土のせん断強さや透水性がどのように変化するかといった問題については、判断基準となる基礎的な資料が意外と少ないようである。そこで、礫分、砂分および細粒分の3成分についてその混合割合を種々に変え、更に締め固め密度も変化させた供試体を作製して三軸圧縮試験ならびに室内透水試験などを実施して<sup>6),7)</sup>、礫の混入率と締め固め密度の違いが礫まじり土の工学的性質に及ぼす影響について検討を加えた。

検討の結果、締め固めた礫まじり土について、礫や砂などの粗粒分の混入率によって、その性質を大まかに礫領域、中間領域、細粒土領域に区分することができること、また各領域ごとの礫まじり土についても粗粒分の混入率だけでなく、締め固め密度や拘束圧の違いなどによって礫まじり土の強度特性が著しく異なること、および礫まじり土の透水係数と細粒土部分の密度との間には良い相関が認められるなどの知見が得られたので、ここに報告する。なお、実験には人工的に混合した試料を用いているので、実際の原地盤のものとは異なるが、試験結果は礫まじり土の工学的性質を把握するうえでの基礎的な資料として十分活用できると考えられる。

## 2. 実験方法

礫まじり土の基本的な性質を締め固め密度との関係で明らかにすることを目的として、粘性土に砂および礫を加え、

その混合比率と締め固め密度の両者を変化させたとき、礫まじり土の透水性や強度特性がどのように変わるかを室内の土質試験によって調べた。

実験に用いた試料のうち砂および礫は、新潟県の三国川から採取した河床の砂礫で、それぞれ粒径0.074~2.0mmおよび粒径2.0~4.76mmの範囲のふるいでふるい分けしたものをを用いた。また、粘性土は埼玉県東大宮の工事現場から採取した洪積粘土で、比重が2.60、液性限界が56%、塑性限界が25%の高塑性の粘性土である。

実験に当たって、粘性土と砂および礫とが所定の混合割合になるように計量し、それらをよくかくはん・混合して試料を作製した。実験に用いた試料の粒度分布を図-1および図-9に示す。図-1の試料は礫分と細粒分とからなる礫まじり土の場合で、(1)式で定義する礫混入率 $\beta$ が0%、10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%、100%になるようにそれぞれ礫と粘性土をかくはん・混合した。

$$\text{礫混入率 } \beta = \frac{m_g}{m_e + m_g} \times 100(\%) \quad \cdots \cdots (1)$$

ここで、 $m_g$ ：礫の表乾質量(kg)

$m_e$ ：粘性土の絶乾質量(kg)

一方、図-9の試料は、礫分と細粒分のほかに砂分を加えた礫まじり土の場合で、砂分が混入することの影響を調べるためのものである。詳細については3.2で述べる。なお、粘性土に砂および礫を加えて混合するときには、粘性土はあらかじめ気乾させて粉末状にしたのち、これに水を加えて含水比が最適含水比付近、すなわち20~25%になるように調整し、約10日間密閉養生したものを用いた。

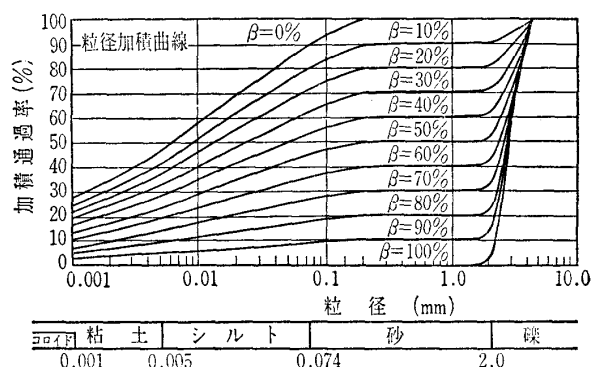


図-1 礫分と細粒分とからなる各試料の粒径加積曲線

\*建設省土木研究所 土質研究室長  
\*\*建設省土木研究所 土質研究室研究員  
\*\*\*建設省土木研究所 土質研究室

次に、実験はまず上記の各試料について締固め試験を JIS A 1210 の第 1 方法の 1.1. a 法に従って行い、各試料の締固め曲線を求めるとともに、最大乾燥密度の値は透水試験および三軸圧縮試験用の供試体を作る際の締固め度の基準に用いた。すなわち、供試体は締固め密度が(2)式で定義する所定の締固め度になるように、あらかじめ計量した試料を最適含水比付近で 8 層ずつ静的に締め固めて作製した。

$$\text{締固め度} = \frac{(\text{締め固めた供試体の乾燥密度})}{(\text{JIS A 1210 法による試料の最大乾燥密度})} \times 100(\%) \dots\dots\dots(2)$$

透水試験は JIS A 1218 に従って実施した。礫の混入率が多い場合を除いて原則として変水位法を用い、各試料について飽和状態での透水係数を求めた。

三軸圧縮試験は土質工学会制定の土質試験法を準用し、ひずみ速度 0.2%/min の圧密非排水試験 (CU 試験) を実施した。試験に先立ち、供試体は次のような方法で飽和させ、そのときの B 係数は 0.96 以上を基準にした。まず側圧 0.2 kgf/cm<sup>2</sup> を加えた状態で供試体上部に 0.2 kgf/cm<sup>2</sup> の負圧を作用させ、供試体下部より脱気水をゆっくりと送って供試体を飽和させるようにした。そして、圧密が終了した時点で、バックプレッシャーを徐々に 4 kgf/cm<sup>2</sup> まで加えて、B 係数の値を測定した。

### 3. 実験結果と考察

実験は、礫分と細粒分とからなる礫まじり土と礫分、細粒分に砂分を加えた礫まじり土についてそれぞれ実施しているの、以下その両者について実験結果と考察を述べる。

#### 3.1 礫分と細粒分とからなる礫まじり土の場合

##### 3.1.1 締固め特性

図-2 は、礫混入率  $\beta$  が異なる図-1 の各試料の締固め曲線の結果をまとめて示したものである。また、図-3 は図-2 の結果を整理し、各試料の最適含水比  $w_{opt}$ 、最大

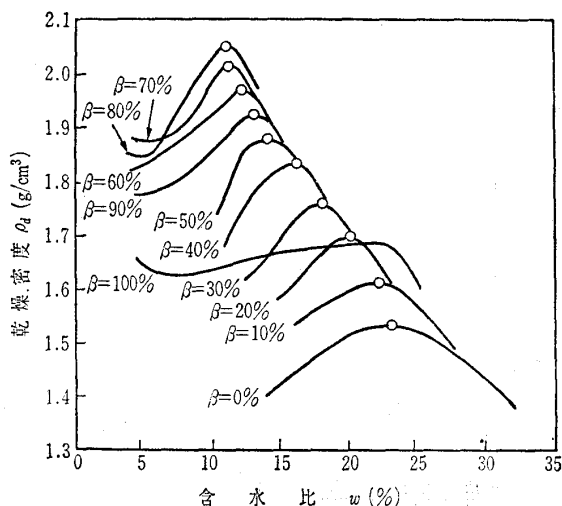


図-2 礫混入率  $\beta$  が異なる各試料の締固め曲線

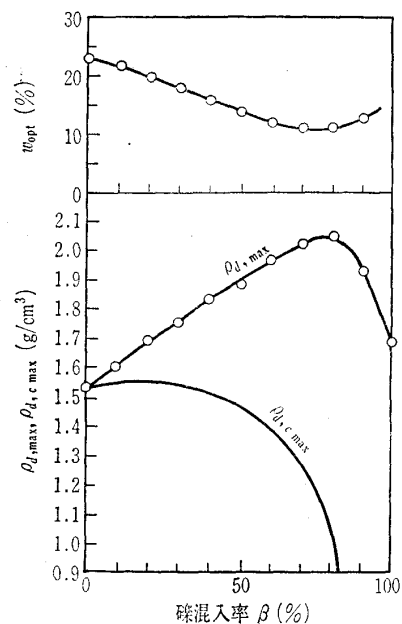


図-3 礫混入率  $\beta$  と最適含水比  $w_{opt}$ 、最大乾燥密度  $\rho_{d, \max}$  および細粒土部分のみの乾燥密度  $\rho_{d, e}$  の関係(礫分と細粒分とからなる礫まじり土の場合)

乾燥密度  $\rho_{d, \max}$ 、および礫分の占める部分の体積を除いた細粒土部分のみの乾燥密度  $\rho_{d, e}$  と礫混入率  $\beta$  の関係をそれぞれ示したものである。ここで、礫分を除いた細粒土部分のみの乾燥密度  $\rho_{d, e}$  は、次式を用いて計算により求めた。

$$\rho_{d, e} = \frac{\rho_a}{\left(1 - \frac{\rho_a}{G - \rho_w} \times \frac{\beta}{100}\right)} \times \frac{100 - \beta}{100} \dots\dots\dots(3)$$

ここで、 $\rho_{d, e}$ : 細粒土部分のみの乾燥密度(g/cm<sup>3</sup>)

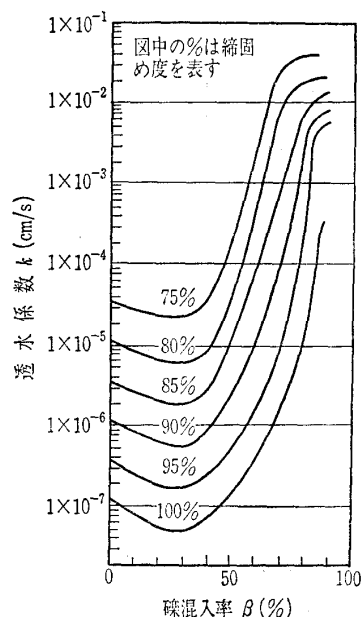
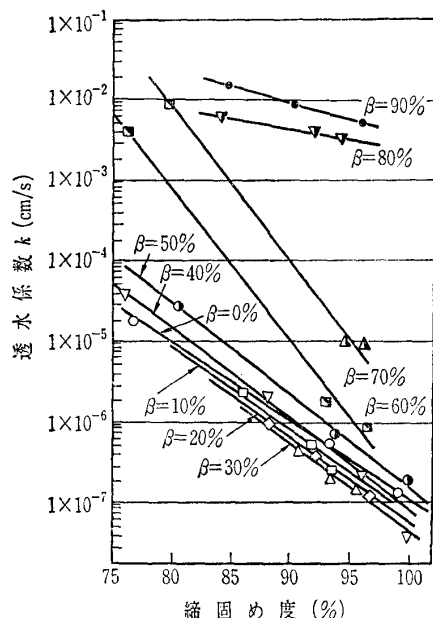
$\rho_a$ : 試料全体の乾燥密度(g/cm<sup>3</sup>)

$G$ : 礫の比重

$\rho_w$ : 水の密度(g/cm<sup>3</sup>)

図-3 の結果をもとに礫まじりの締固め機構について考察を加えると次のようになる。まず、最大乾燥密度  $\rho_{d, \max}$  は礫混入率  $\beta$  の増加にほぼ比例して増大し、 $\beta$  が 80% 付近で最大値となり、 $\beta$  が 80% 以上になると  $\rho_{d, \max}$  は減少している。また、細粒土部分の乾燥密度  $\rho_{d, e}$  については  $\beta$  が 0~40% 付近までは  $\beta$  が 0% のときの密度とほぼ同程度であり、 $\beta$  が 40% 程度以上になると  $\rho_{d, e}$  が急激に減少することが認められる。したがって、礫混入率  $\beta$  が 0~40% 付近までは、細粒土のマトリックス中の礫が締固めエネルギーの伝達機構にあまり関与せず、試料は全体として細粒土の締固め特性を有しているといえる。そこで、図-3 の結果からすると細粒土の密度を一定として礫まじり土の乾燥密度を推定する Walker-Holtz (ウォーカー・ホルツ) の方法<sup>3)</sup> は、礫混入率  $\beta$  が 40% 程度以下の場合には適用できると考えられる。

礫混入率  $\beta$  が 40% 程度以上になると、礫と礫とで骨格を作り、礫相互の空隙を満たしている細粒土に締固めエネル

図—4 礫混入率  $\beta$  と透水係数  $k$  との関係

図—5 締固め度と透水係数の関係（礫分と細粒分とからなる礫まじり土の場合）

ギーが十分伝達されなくなるため、細粒土部分の締固め不足が生じ、その密度が減少する。しかし、 $\beta$  が80%程度までは、 $\rho_{a,c}$  の低下にもかかわらず、試料全体の密度  $\rho_{a,max}$  は増大している。これは、細粒土部分の密度の低下の影響よりも、礫の混入による密度の増大の影響の方が大きいためである。 $\beta$  が80%を越えると、礫の混入による密度の増大の影響も少なくなるため、 $\rho_{a,max}$  も減少する。

以上の結果から、礫まじり土の締固め特性と礫混入率  $\beta$  との関係についてみると、 $\beta$  が40%付近と80%付近で礫まじり土の締固め特性が大きく変化していることが分かる。

### 3.1.2 締固め度と透水係数の関係

締め固めた礫まじり土の透水試験の結果を締固め度をバ

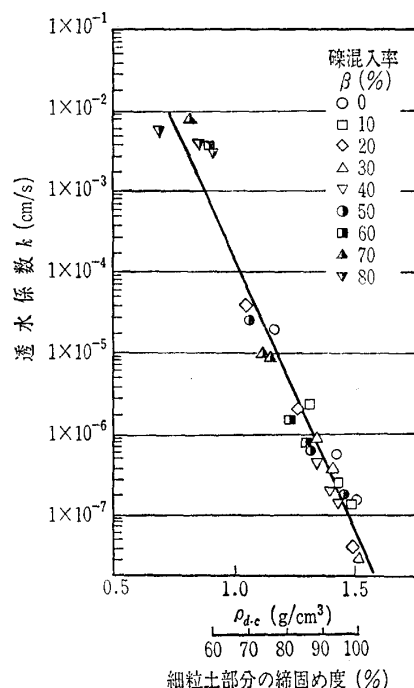
ラメーターにして整理し、礫混入率  $\beta$  と透水係数  $k$  の関係を示したものが図—4である。図において、各締固め度ともに礫混入率  $\beta$  が40%付近で土の透水係数が最小値となり、40%を超えるあたりから透水係数が急激に増大する傾向を示している。

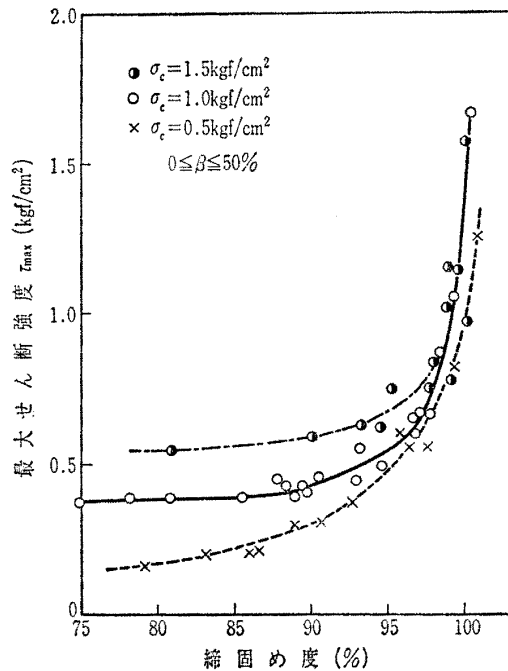
次に、図—5は礫混入率ごとに締固め度と透水係数の関係を示したものである。図から、締固め度と透水係数の対数  $\log k$  とがほぼ直線関係にあることが認められる。また、締固め度の増大に伴い土の透水係数は小さくなるが、その締固めの効果が最も大きいのは礫混入率  $\beta$  が60~70%の場合で、 $\beta$  が80%を超えると締固めの効果はほとんど期待できなくなる。

礫まじり土の透水性には、試料全体の密度のほかに3.1.1の締固め特性で述べた礫分の占める体積を除いた細粒土部分のみの乾燥密度  $\rho_{a,c}$  がかなり影響すると考えられる。そこで、細粒土に着目して細粒土部分の乾燥密度  $\rho_{a,c}$  と透水係数  $k$  との関係を示したものが図—6である。図より、 $\rho_{a,c}$  と  $\log k$  とは、礫混入率や試料全体の締固め度が違うにもかかわらず、ほぼ一つの直線関係にあることが認められる。したがって、礫まじり土の透水性については試料全体の密度よりもむしろ、細粒土部分のみの密度に着目して土の透水係数を考えるのがよいといえる。

### 3.1.3 締固め度とせん断強度の関係

三軸圧縮試験の結果を整理し、各拘束圧ごとに締固め度と最大せん断強度  $\tau_{max}$  の関係をまとめたものを図—7と図—8に示す。図—7は礫混入率  $\beta$  が0~50%の試料について示したもので、各拘束圧とも、ある締固め度を超えると最大せん断強度  $\tau_{max}$  が著しく増大する傾向が認められ

図—6 細粒土部分の乾燥密度  $\rho_{a,c}$  と透水係数  $k$  との関係（礫分と細粒分とからなる礫まじり土の場合）

図-7 締固め度と最大せん断強度  $\tau_{max}$  の関係 ( $0 \leq \beta \leq 50\%$ )

る。特に、拘束圧が大きい場合には締固め度を95%以上とかなり高くしないと、最大せん断強度  $\tau_{max}$  が増大しないのに対して、拘束圧が小さい場合には締固め度を85~90%程度以上にすると最大せん断強度  $\tau_{max}$  の増大を期待することができる点が注目される。

図-8は礫混入率  $\beta$  が0~100%までの全試料について、各拘束圧ごとの締固め度と最大せん断強度  $\tau_{max}$  の関係を示したものである。図において、礫混入率  $\beta$  が50%以下のものと、50%以上のものとは最大せん断強度  $\tau_{max}$  に著しい差が認められる。すなわち、礫混入率  $\beta$  が50%以下の礫まじり土では、礫の混入率に関係なくほぼ同一の斜線で示した領域のせん断特性を有している。一方、礫混入率  $\beta$  が50%以上になると、礫相互の接触が多くなり、礫相互のかみ合いによる摩擦抵抗が発揮され始めるため、礫の混入が多くなる程礫まじり土の最大せん断強度  $\tau_{max}$  が大きくなる。特に、礫混入率  $\beta$  が80%を超えると、最大せん断強度  $\tau_{max}$  が著しく増大することが認められる。

以上述べた締固め試験、透水試験および三軸圧縮試験の結果から総合的に判断すると、礫混入率  $\beta$  が50%以下のものが細粒土の特性を有する細粒土領域、 $\beta$  が50~80%のものが細粒土と礫の中間の性質をもつ中間領域、 $\beta$  が80%以上のものが礫の性質を有する礫領域に大まかに区分することができる。

### 3.2 礫分、砂分および細粒分の3成分からなる礫まじり土の場合

3.1では礫まじり土の基本的な性質を明確にする目的で、礫分と細粒分とからなるかなり極端な粒度分布を有する礫まじり土について試験した結果を述べた。そこで、本節で

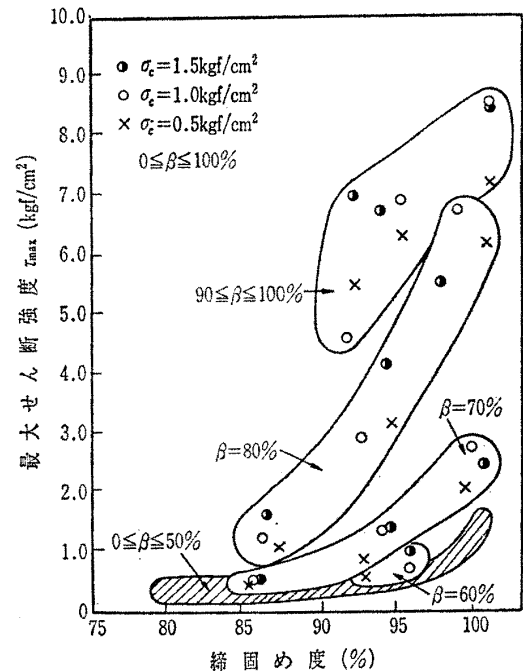
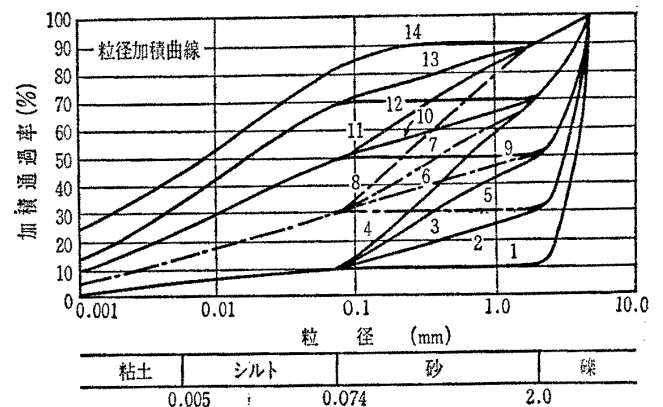
図-8 締固め度と最大せん断強度  $\tau_{max}$  の関係 ( $0 \leq \beta \leq 100\%$ )

図-9 礫分、砂分および細粒分からなる各試料の粒径加積曲線

は実際の土に近い状態のもの、すなわち礫分と細粒分に砂分を加えた礫まじり土について考察を加えてみる。

実験には、図-9に示すような礫分、砂分および細粒分を種々の割合で混合した14種類の試料を用いた。各試料の礫分、砂分および細粒分の3成分の混合割合を三角座標で示すと、図-10のようになる。図中には実験に用いた各試料と日本統一土質分類との対応を示すために、日本統一土質分類でいう礫{G}、礫質土{GF}、砂{S}、砂質土{SF}および細粒土{F}をそれぞれ併記した。なお、試料1, 5, 9, 12, 14は前節で述べた礫分と細粒分のみからなる礫まじり土をそのまま引用している。また、以下の図中に示す試料の記号は、図-10の三角座標上に表した記号をそのまま共通して用いている。

#### 3.2.1 締固め特性

各試料の締固め試験の結果を整理し、最適含水比  $w_{opt}$ 、最大乾燥密度  $\rho_{d, max}$  および砂礫の占める体積を除いた細

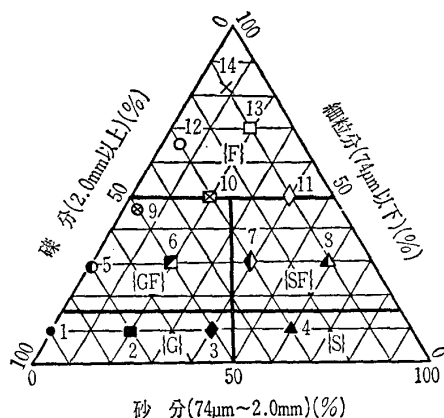


図-10 試料の三角座標上の位置

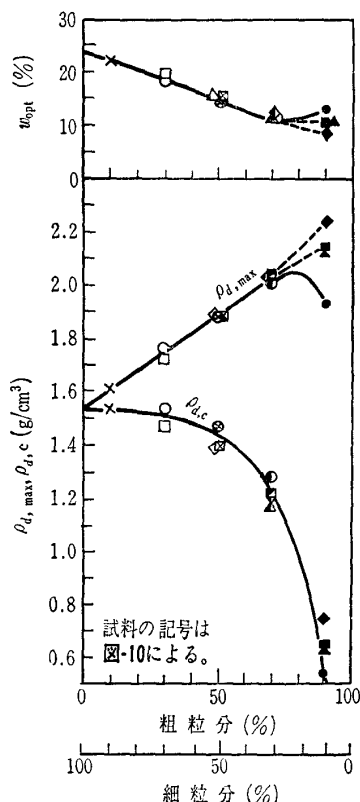


図-11 最適含水比  $w_{opt}$ , 最大乾燥密度  $\rho_{d, max}$  および細粒土部分のみの乾燥密度  $\rho_{d, c}$  と粗粒分含有率の関係 (礫分, 砂分および細粒分からなる礫まじり土の場合)

粒土部分のみの乾燥密度  $\rho_{d, c}$  と粗粒分含有率の関係でまとめたものが、図-11である。ここで、粗粒分含有率は礫分と砂分とを合わせた粗粒分(粒径が 0.074 mm 以上のもの)の含有率を考えており、前節の礫含有率  $\beta$  に相当するものである。 $\rho_{d, max}$ ,  $\rho_{d, c}$  と粗粒分含有率の関係は、図-3で示した粗粒分が礫のみの場合とほぼ同様の傾向を示しているが、粗粒分含有率が70~80%程度以上になると、粗粒分含有率が同じであっても、粗粒分のなかに砂分が混入している場合と砂分を含んでいない場合とでは、締固め特性に多少の違いが認められる。すなわち、粗粒分が礫のみの場合には前に述べたように粗粒分含有率が80%以上になると

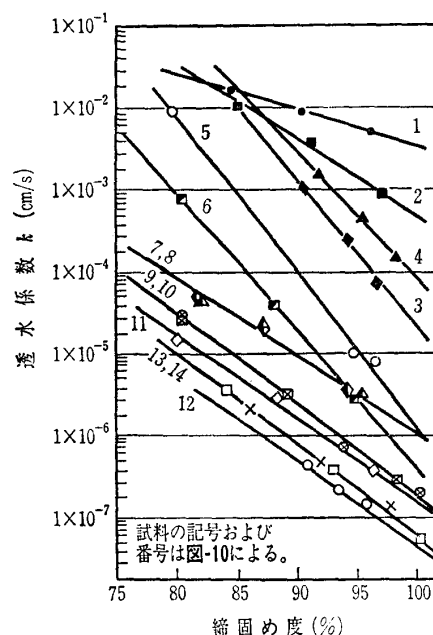


図-12 締固め度と透水性係数の関係 (礫分, 砂分および細粒分からなる礫まじり土の場合)

試料全体の最大乾燥密度  $\rho_{d, max}$  が減少するのに対して、粗粒分として礫と砂とが適度に混入している試料では、礫相互の間隙を粒径の小さい砂分が充てんし、細粒土が更に残りの間隙を埋めることになるので、粗粒分含有率が80%以上になっても  $\rho_{d, max}$  は増大する。

### 3.2.2 締固め度と透水性係数の関係

各試料の締固め度と透水性係数  $k$  の関係を図-12に示す。図から、各試料とも締固め度と透水性係数の対数  $\log k$  とがほぼ直線関係にあり、締固め度が增大するに従って透水性係数が小さくなることは、図-5で示した礫分と細粒土分からなる礫まじり土の場合と同様である。砂分が混入することによる影響は、細粒分の少ない試料において特に顕著にでている。すなわち、細粒分が10%しか含まれていない試料 1, 2, 3, 4 についてみると、粗粒分として適度に砂分が混入している試料 3, 4 の方が、締固め度を高めることによって透水性係数が試料 1, 2 に比べてかなり小さい値になることが注目される。

次に、粗粒土部分の体積を除いた細粒土部分のみの乾燥密度  $\rho_{d, c}$  に着目して、 $\rho_{d, c}$  と礫まじり土の透水性係数  $k$  との関係を求めたものが図-13である。図-6の場合と同様に、図-13においても  $\rho_{d, c}$  と  $\log k$  との間には良い相関があり、その関係は次式で表すことができる。

$$\log k = -(-4.3 \rho_{d, c} + 0.51) \dots\dots\dots (4)$$

ただし、図-13において  $\rho_{d, c}$  の値が小さい、すなわち細粒分の少ない試料(粗粒分が80%以上)のところでは透水性係数に多少のばらつきが認められる。これは、図-11に示したように細粒分の少ない礫まじり土では、粗粒分のなかの礫分と砂分の割合によって締固め特性が異なることが原因していると考えられる。したがって、細粒分の少ない礫

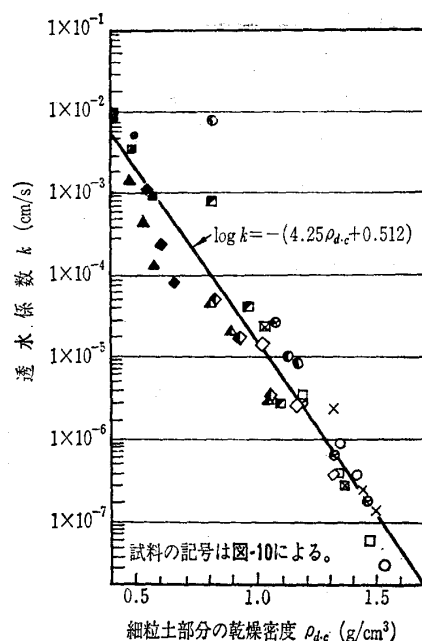


図-13 細粒土部分のみの乾燥密度  $\rho_{dc}$  と透水係数  $k$  との関係（礫分、砂分および細粒分からなる礫まじり土の場合）

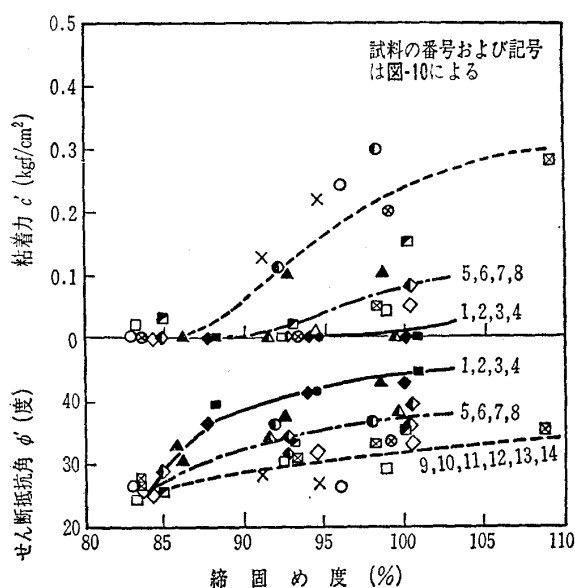


図-14 有効応力表示による飽和時の強度定数  $c'$ ,  $\phi'$  と締固め度の関係

まじり土の透水係数が問題となる場合には、細粒分だけでなく、粗粒分の粒度構成や全試料の密度に着目した透水係数の把握が必要であると思われる。

### 3.2.3 締固め度と強度定数の関係

礫まじり土の締固め度と最大せん断強度の関係は、3.1.3 で述べたようなことがいえるので、ここでは締固め度と礫まじり土の強度定数の関係について考察を加えてみる。

図-14は三軸圧縮試験から求めた各試料の有効応力表示による強度定数  $c'$ ,  $\phi'$  と締固め度の関係を示したものである。図から、いずれの試料においても締固め度が増すに従い、 $c'$ ,  $\phi'$  がともに増大することが認められるが、その増

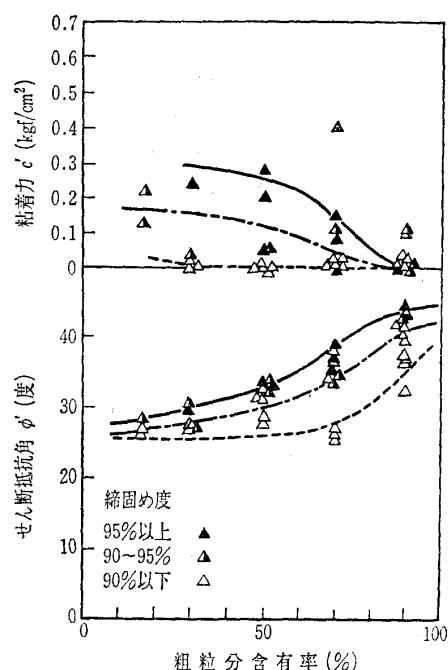


図-15 有効応力表示による強度定数  $c'$ ,  $\phi'$  と粗粒分含有率の関係

大の傾向は各試料の粗粒分含有率によって異なっている。そこで、図-14の結果を整理し、締固め度をパラメーターにして粗粒分含有率と強度定数  $c'$ ,  $\phi'$  の関係を示したものが図-15である。

図-14および図-15より、粗粒分含有率が50%以下の試料（すなわち、試料9, 10, 11, 12, 13, 14）では、せん断抵抗角  $\phi'$  は締固め度の影響をあまり受けずに  $25^\circ \sim 30^\circ$  前後の値を示しているが、粘着力  $c'$  は締固め度が90%程度以上になると急激に増大する傾向にある。したがって、これらの試料は細粒土の強度特性を有しているといえる。一方、粗粒分含有率が90%の細粒土の少ない試料（すなわち、試料1, 2, 3, 4）では、せん断抵抗角  $\phi'$  は締固め度の影響を強く受け、締固め度が85%程度以上になると、 $\phi'$  が締固め度に応じて顕著に増大している。粘着力  $c'$  は締固め度に関係なくほぼゼロ程度の値を示しており、砂や礫などの粗粒土の強度特性を有している。また、粗粒分含有率が70%の試料（すなわち、試料5, 6, 7, 8）では、締固め度の増大に伴い、 $c'$ ,  $\phi'$  がともに大きくなるという上記の両者の中間的な特性を示している。

以上述べた試験の結果から、礫まじり土の強度定数  $c'$ ,  $\phi'$  と締固め度の関係は、細粒分の少ない礫まじり土においては締固め度が85%程度以上になるとせん断抵抗角  $\phi'$  の増大として、また細粒分の多い礫まじり土では締固め度が90%程度以上になると粘着力  $c'$  の増大となって顕著に表れてくることが判明した。また、図-15に示すように締固め度が低い場合には、礫まじり土の強度定数  $c'$ ,  $\phi'$  に及ぼす粗粒分の影響は締固め度の高いものに比べてそれ程顕著でないといえる。

#### 4. ま と め

室内土質試験の結果を基にして、礫まじり土の粒度構成や締固め密度などが礫まじり土の工学的性質に及ぼす影響について検討を加えた。その結果を要約すると、次のようになる。

- ① 礫と細粒土とからなる礫まじり土をその工学的性質に基づいて大別すると、細粒土領域、中間領域、礫領域に分けることができる。粗粒分が50%以下のもの、すなわち細粒分が50%以上占めるものを細粒土領域とみなすことができ、この領域では礫の混入の影響が少なく、細粒土の工学的性質を保持している。中間領域は礫が相互に影響を持ち始める領域で、粗粒分含有率が50～80%のものを指す。礫領域は粗粒分が80%以上のものをいい、この領域では工学的性質からみて砂や礫に近い性質をもっているとみなすことができる。
- ② 粗粒分として砂が混入する場合にも、大まかに①の区分は成り立つが、粗粒分として礫と砂とが適度によく混合している場合には、中間領域から礫領域になるに従って、その影響が図—11、図—12、図—13に示したように締固め特性や透水性の違いとして表れる。
- ③ 礫まじり土の透水係数は細粒土部分の締め具合に着目して考えるのがよく、細粒土部分のみの乾燥密度 $\rho_{a,c}$ と透水係数の対数 $\log k$ との間には、次式のような相関関係が認められる。  

$$\log k = a + b \rho_{a,c} \quad (a, b \text{ は定数})$$
 なお、粗粒分含有率が80%以上の細粒分の少ない礫まじり土では、細粒分だけでなく、粗粒分の粒度構成や全試料の密度に着目した透水係数の把握が必要である。
- ④ 礫まじり土の最大せん断強度 $\tau_{\max}$ は粗粒分含有率、締固め度、拘束圧などによって異なるが、図—7に示したように拘束圧の大きい場合には締固め度が95%以

上にならないと締固め密度を高めたことによる最大せん断強度 $\tau_{\max}$ の増大が期待できないのに対して、拘束圧が小さい場合には締固め度を85～90%以上にする

- と最大せん断強度 $\tau_{\max}$ が増大する点が注目される。
- ⑤ 礫まじり土の強度定数 $c'$ 、 $\phi'$ と締固め度の関係は、細粒土分の少ない礫まじり土では締固め度が85%程度以上になると、せん断抵抗角 $\phi'$ が増大する。また、細粒分が50%以上占める礫まじり土の場合には、締固めによる強度の増加は締固め度が90%以上になってからであり、それはせん断抵抗角 $\phi'$ よりもむしろ、粘着力 $c'$ の増大として表れる。

上記の結果は室内で混合した土について得られたものである。実際の原地盤の礫まじり土に関するデータを今後収集して、礫まじり土の工学的性質について更に解明を加えていきたいと考えている。

#### 参 考 文 献

- 1) 発電水力協会編：最新フィルダム工学，社団法人発電水力協会，pp. 17-55，1972.7.
- 2) 山口柏樹・大根義雄：フィルダムの設計および施工，技報堂，pp. 119-133，1973.5.
- 3) 建設省河川局開発課，建設省土木研究所：フィルダムの設計と施工に関する研究，第30回建設省技術研究会報告，建設省，pp. 547-576，1976.
- 4) 倉田 進・藤下利男：砂と粘土の混合土の工学的性質に関する研究，運輸省技術研究所報告，第11巻，第9号，pp. 1-36，1961.
- 5) 川上 浩・阿部広史：飽和れき混り粘性土のせん断特性，土木学会論文報告集，第183号，pp. 55-62，1970.
- 6) 久楽勝行・三木博史・真下陽一・関 一雄：締固め度がレキ混り粘性土の工学的性質に及ぼす影響，土木技術資料，Vol. 22，No. 7，pp. 21-26，1980.7.
- 7) 久楽勝行・三木博史・関 一雄：締固め度がレキ混り粘性土の工学的性質に及ぼす影響（第2報），土木技術資料，Vol. 24，No. 3，pp. 34-39，1982.3.
- 8) Walker, F.C., Holtz, W.G.: Control of Embankment Material by Laboratory Testing, Proc of A.S.C.E., Sep., Vol. 77, No. 108, pp. 1-25, Dec., 1951.

(原稿受理 1982.10.26)

学会発行図書案内

土質基礎工学ライブラリー第23巻

## 土の凍結—その制御と応用—

A 5 判 268ページ 送料 350円  
定価 3,900円 会員特価 3,000円

発行：土 質 工 学 会

東京都千代田区神田淡路町2-23(青山ビル4階)  
〒101 電話 03-251-7661(代)