

土は締固め密度を高めて用いる材料であり、自然にできている地盤では、その締り具合を知って必要な対策を立てていくことで基礎構造物を施工すべきものである。そこで土の締り具合をどのような密度指標で表わせばということ、その指標が土の力学的性質とどのような関係にあるかということが問題になってくる。1925年にテルファギーは砂の締り具合の尺度として相対密度 D_r を導入した。テルファギー・ベックの教科書には、相対密度は、砂の内部摩擦角、砂地盤の N 値や砂地盤の沈下と支持力、砂の動的不安定性をとりあつかう上で非常に重要な量であることが述べられている。その他、相対密度は砂の圧縮係数、砂地盤内における液り伝播速度などとも関係づけられている。1930年の前半においては、キャサグラントの限界間隙比に技術者の関心が集っていたようである。1938年、フォートベック ダムのシエルの部分で相対密度の測定がなされている。しかし、相対密度がかなり用いられるようになってきたのは1950年の後半から1960年代の前半になってからのようである。

1957年にはギフブスとホルフが N 値と相対密度の関係を数式的に発展させている。最近では、周知のように、砂地盤の液状化の問題と関係して相対密度を考慮するようになってきている。相対密度を用いた締固めの規準としてある人は通常 $D_r = 50 \sim 80\%$ のあたりにあると書いている。そして、低目の D_r の値は一般に盛土の支持力や沈下が特に問題とならない時に用いられ、高目の値は主要構造物で沈下量が厳重に制限される場合や動的な外力が作用する場合に用いられるとしている。又ある人は、締固めの規準として $D_r = 85\%$ 程度の値が採用されると書いている。1972年に相対密度に関する ASTM のシンポジウムが開かれたことは、まことに当をえたものといわざるをえない。そこでは、相対密度の計測と相対密度の応用についての部会がもたれている。そして、相対密度および締固め度が施工管理に利用される例が報告されている。我が国においても、1981年に砂の相対密度と工学的性質に関する土工学会のシンポジウムが開かれているが、そこでは、施工管理に相対密度が利用される例は示されなかった。在来、砂や礫の力学的性質は相対密度との関連において整理されてきているように思われる。反面、施工管理においては締固め度を用いる方が統一적ではなからうか。つまり、細粒土では締固め度を用いる締固めの規定が行なわれているからである。

締固め度 C_f は次のように書かれる：

$$C_f = \frac{\delta_d}{\delta_{d \max}} \times 100 = \frac{1 + e_{\min}}{1 + e} \times 100 (\%) \quad \delta_d: \text{乾燥単位体積重量}$$

この C_f は現場において、土の締固めの管理上重要である。その理由を次に示そう。いま、ある初期状態の C_f の値を C_{f0} とする。

$$C_{f0} = \frac{1 + e_{\min}}{1 + e_0} \times 100 (\%) \quad e: \text{間隙比}$$

次に、ある施工手段が加えられ、地盤の締固め度が改善されて、間隙比が e_f に減少したとする。この過程における締固め度の変化は

$$C_f - C_{f0} = \frac{1 + e_{\min}}{1 + e_f} \cdot \frac{e_0 - e_f}{1 + e_0} \times 100 (\%) \div \frac{e_0 - e_f}{1 + e_0} \times 100 = v (\%)$$

ここで、 v は体積ひずみである。つまり、締固め度の変化は体積ひずみを表わしていることになる。いま、厚さ $H_0 = 1 \text{ m}$ の粗粒土層の締固め度が $90 (\%)$ から $97 (\%)$ に改善されたとする。この場合の土層の鉛直ひずみ ϵ_v は

$$\epsilon_v = v = 97 - 90 = 7 (\%)$$

したがって、土層の沈下量 ΔH は

$$\Delta H = \epsilon_v \cdot H_0 = \frac{7}{100} \times 1.0 \text{ (m)} = 7 \text{ (cm)}$$

となる。このような計算は、締固め度の改善があらかじめ土層の沈下量を促進させ、対象となる外力が作用する場合の鉛直ひずみを軽減させる働きを持つことを示すものである。もちろん、相対密度を用いても同様な計算は行えるが、相対密度とちがって締固め度の変化はひずみと直接数値的に関係しているのである。よく土工の基本的な思想は締固め度であり、それは、将来の沈下の防止のためであるといわれるのは以上に述べた理由によるものと思われる。

粗粒土の締り具合は相対密度を用いて指定される場合が多く、諸家により D_r を用いて締り具合の分類が提案されている。それによると締り具合の区分は3段階から5段階になっている。概観すると、まず $D_r = 70\%$ である密な状態に区分される。そして $D_r = 85\%$ になると非常に密な状態に入るものと考えることができる。 D_r を指定し、締固め度 C_f を算定するには次の式によればよい：

$$C_f = \frac{1}{r - \frac{D_r}{100}(r-1)} \times 100 \text{ (\%)}, \quad r = \frac{1 + e_{\max}}{1 + e_{\min}} = \frac{\delta_{d \max}}{\delta_{d \min}}$$

以前に述べたように、通常平均的な粒子物性パラメーター r の値として $r = 1.25$ が採用される。この場合、 $D_r = 70\%$ は上の換算式によると $C_f \approx 93\%$ に対応する。 $D_r = 85\%$ は $C_f \approx 96.5\%$ に対応する。 $r = 1.15$ 以下の材料はほとんどないものとできるから、 D_r を与えて C_f を算定する場合の安全側の限界値として $r = 1.15$ とすることにすると以下の値をえる。この場合 $D_r = 70\%$ に対して $C_f \approx 96\%$ 、 $D_r = 85\%$ に対して $C_f \approx 98\%$ となる。一つの例として、長柄ダムのゾーンⅡに用いられる成田砂は液状化に対して $D_r = 80\%$ 、 $C_f \approx 97\%$ 以上に締固める必要があるという設計の方針がなされたと報告されている。これらの値を用いて逆算すると、 $r \approx 1.15$ と仮定しているのと同じことになり、条件は安全側である結果となっている。

以上述べたように、粗粒土においても締固め度の利用は有用であり、締固め度は細粒土、粗粒土を問わず用いられる。

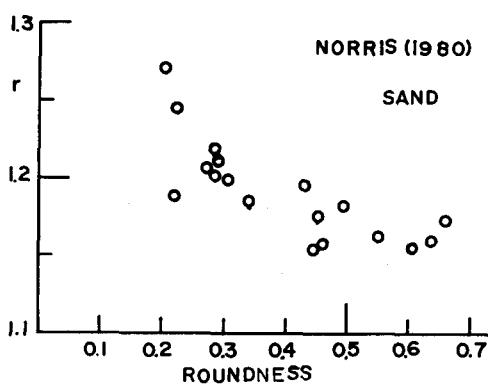


図-1

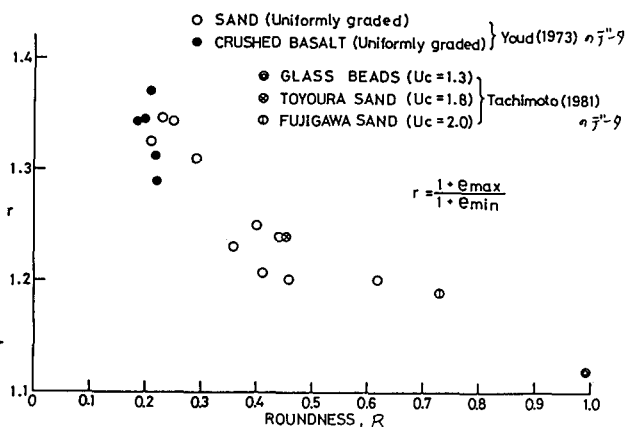


図-2

図-1, 2は粒子物性パラメーター r とラウンドネスの関係を補足的に説明したものである。丸っぽい粒子の方が r の値が小さくなる傾向があることがいえる。本報告に関連して、第37回と第38回の年次学術講演会才部部とすでに報告がある。