

砂やレキの締り具合に関する一考察

八戸工大 諸子 靖史

砂やレキのような非結着性の上の密度を考える場合、粒子の形や粒度配合が間隔ギキ比に大きく影響することから、同じ間隔ギキ比を知らなければその土がゆるい状態にあるのか密な状態にあるのかを判断できない。そこで砂やレキのような土がその上としてどのような締り具合にあるのかを示す目安が必要となってくる。この目的のために、テルツァークキーによって相対密度が導入された。ここでは、この相対密度について述べて資料とする。

相対密度 D_r はよく知られているように

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \quad (1)$$

e_{min} 最も締った状態における間隔ギキ比
 e_{max} 最もゆるい状態における間隔ギキ比
 e 与えられた状態における間隔ギキ比

・ D_r はまた密度指数と呼ばれる場合もある。コルファスセウスキーは相対密度とよく似た相対間隔ギキ率 n_r を導入した。

$$n_r = \frac{n_{max} - n}{n_{max} - n_{min}} \quad (2)$$

n_{min} 最も締った状態における間隔ギキ率
 n_{max} 最もゆるい状態における間隔ギキ率
 n 与えられた状態における間隔ギキ率

コルファスセウスキーは密度係数を用いている。

γ_{max} 最大密度
 γ_{min} 最小密度

(1)式を变形すると

$$D_r = \frac{(n_{max} - n)(1 - n_{min})}{(n_{max} - n_{min})(1 - n)} \quad (3)$$

$$D_r = \frac{\gamma_d \gamma_{dmax}}{\gamma_d} = \frac{\gamma_d - \gamma_{dmax}}{\gamma_{dmax} - \gamma_{dmin}} = \frac{\frac{1}{\gamma_{dmin}} - \frac{1}{\gamma_d}}{\frac{1}{\gamma_{dmin}} - \frac{1}{\gamma_{dmax}}} \quad (4)$$

γ_{dmax} 最大乾燥密度
 γ_{dmin} 最小乾燥密度

$$D_r = \frac{V_{max} - V}{V_{max} - V_{min}} \quad (5)$$

V 試土中にあけられた穴の容積
 V_{min} その穴から取り出した材料を別の容器に初め、最も締った状態における容積
 V_{max} 同じ材料の最もゆるい状態における容積

などとなる。ここで式(4)と式(4')は密度を用いられており、式(1)と違って土粒子の比重の測定が不用であるところに特徴がある。現場における盛土の管理には簡便さと迅速性が要求される。式(5)では容積の測定だけで D_r の値が求まるところに特徴がある。これは現場的である。

相対密度によって砂やレキの締り具合の程度が段階分けされる。テルツァークキーは最初3段階に分けて考え、のちにテルツァークキーとベック、ベックおよびマイヤーホフは次のようにさらに細かく分けて用いている。

$$\begin{aligned}
 0 < D_r < \frac{1}{3} & \quad 0 < D_r < 0.2 \\
 \frac{1}{3} < D_r < \frac{2}{3} & \quad 0.2 < D_r < 0.4 \\
 \frac{2}{3} < D_r < 1 & \quad 0.4 < D_r < 0.6 \\
 0 < D_r < 1 & \quad 0.6 < D_r < 0.8 \\
 & \quad 0.8 < D_r < 1.0
 \end{aligned}$$

たとえば、砂の相対密度と N 値の関係とは相対密度を5段階に分けて、それぞれを N 値と内部摩擦角と対応させているが、室内試験の結果を見ても、そのように細かく相対密度と内部摩擦角の対応をつけるのが困難な場合がある。・ D_r は相対密度を用いる相手によってその段階区分を選択する必要があるのではないかと

ホルワとギブスは締り具合を表記する言葉と相対密度の概念に相違があることを指摘している。

C					100
相 対 密 度					
V. Loose	Loose	Medium	Dense	V. Dense	米国開拓局
Loose		Medium	Compact	V. Comp	バーミスター
V. Loose	Loose	Compact	Dense	V. Dense	マイヤー・ホフ
Loose	Firm		Compact	V. Compact	ホフ
Loose		Medium	Dense		4エボタリオ パルマードンレ

(ホルワ)とギブス)

たとえば、バーミスターとマイヤー・ホフでは“Compact”という言葉が全く異なっている。また、諸表によって相対密度の段階分けに差があることも明かである。したがって、相対密度を用いる場合の言葉使いには注意を要する。

相対密度を求める場合の問題は e_{max} が測定方法により大きく変化することである。また e_{min} の値も砂やレキの性状によっては測定方法の違いによりかなり変動することがある。ハウレスは粒度配合の良い粗砂についての実験結果を引用して次のような知見を述べている。密度の測定上生ずる5%程度の誤差に対して、相対密度が0.2以上(20パーセント)変動する。相対密度試験よりも単に密度を測定する試験の方が実際に締り具合を規定する上でずっと好ましい。このような相対密度測定上のバウフキは相対密度を用いていく場合の不都合な点であるが、実用問題に対しての相対密度の考え方は多く用いられている。たとえば、砂地盤のN値、荷重沈下曲線と関係づけられている(地盤調査)、飽和砂地盤の液状化ポテンシャルと関係づけられている。砂レキの内摩擦係数と関係づけられている(砂、レキ地盤の支持力、斜面の安定、壁に働く土圧)。固体表面と砂との摩擦抵抗と関係づけられている(砂地盤におけるクイの支持力、ケーソンの沈下時における壁面マサツ力)、振動外力が作用する砂の圧縮性と関係づけられている(フーチングや砂地盤の沈下)などである。このように相対密度が広い方面に用いられていることは興味あることである。しかし、たとえば弾性变形定数といったものはその状態量に依存している、したがって、相対密度は万能ではないか、その有用性の限界を見極めに行く必要があるように思われる。このためには、砂やレキの弾性変形と塑性変形に関する研究、粒子の破碎性に関する経験の積み重ね、砂やレキの示すダイレイタンス現象に関する深い認識が必要であるように思われる。

なお、盛土の施工・設計管理において砂性土・砂質土の区別なく最も普通に用いられた表記として締固め度 C_f がある。これは

$$C_f = \frac{\gamma_d}{\gamma_{dmax}}$$

γ_d : 締固めの土の乾燥密度

γ_{dmax} : その土の室内締固め試験の最大乾燥密度

この C_f は式(1)の D_r と式(2)の η_r を用いると

$$C_f = \frac{1+e_{min}}{1+e} = \frac{\eta_r}{D_r}$$