

砂質シルトの透水係数および間隙構造と締固めエネルギーの関係

北海道大学大学院 正 会 員 ○横浜 勝司
 北海道大学大学院 フェロー会員 三浦 清一
 北海道大学大学院 学生会員 松村 聡
 北海道大学大学院 細野 雄太

1. はじめに

各種盛土構造物の新規建設または補修の際に、締固め土工が実施されているが、盛土完成後の耐震性や耐水性等の性能を保証するためには、締固め後の強度定数や透水係数のような力学情報を示す必要がある。本研究では、築堤材料として用いられる試料を用いた一連の透水試験が実施された。得られた透水係数と締固め度または締固めエネルギーとの関係を調べ、締固め条件の違いが透水性に及ぼす影響について考察している。

2. 試料の締固め特性と供試体作製条件

用いた試料は細粒分含有量が 69%、塑性指数 IP が 12.3 の砂質シルト¹⁾である。この試料の締固め特性を見るために図-1 に締固め曲線を示す。この締固め試験には、新規に作製されたモールド(内径 100mm、深さ 150mm)が用いられた。なお、試料準備法およびランマー質量は締固め試験(JGS0711-2009)の A-b 法に準じている。一方、締固めエネルギーは A-b 法での 1.132 倍に設定されている(図中では 1.132Ec と表記)。図より最大乾燥密度 $\rho_{dmax}=1.457\text{g/cm}^3$ 、最適含水比 $w_{opt}=24.6\%$ が得られた。本研究では、図-1 中の口印で示される状態での締固めにより供試体が作製された。

3. 透水係数の測定方法と結果

本研究での透水試験は、次の手順により実施されている。

(1)円筒形に成型された供試体(直径 100mm、高さ 180mm)を試験装置に設置し飽和化作業を開始する。供試体内部に CO_2 を供給後、二重負圧法を適用した状態で脱気水を通水している。

(2)所定量の通水の後に 200kPa の背圧供給により飽和度を高める。間隙圧係数 B 値が 0.96 以上に達した後に等方圧密を実施した。(3)圧密による排水量変化が供試体の体積(初期状態)を基準として $1.0 \times 10^{-4}\%/min$ 以下となった状態を圧密終了とした。その後、変水位透水試験を実施した。図-2 は本研究で用いた変水位透水試験装置の概略図²⁾である。トップキャップおよびベデスタルに別個に接続されているビュレットに背圧が供給されている状態で、所定の動水勾配を発生させることが可能となっている。透水計測測定中、間隙水の移動に起因する応力状態の変化を防ぐために、軸応力および軸変位は随時調整されている。

透水係数に及ぼす締固め条件の影響を調べるために、図-3 は透水係数 k_{15} と締固め度 D_c との関係を示す。なお、キーワード 締固め、透水係数、構造変化

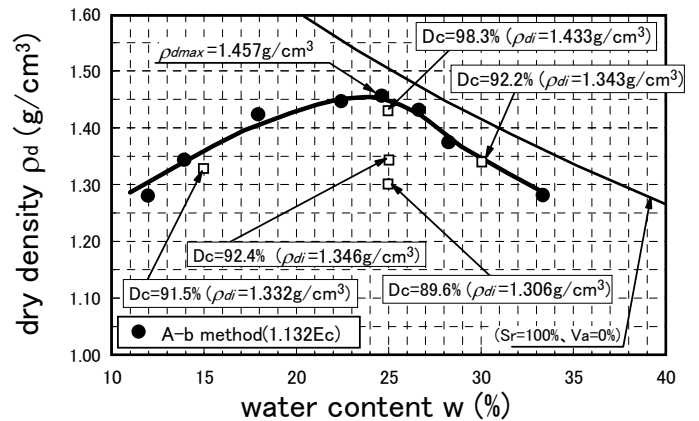


図-1 締固め特性と供試体作製条件

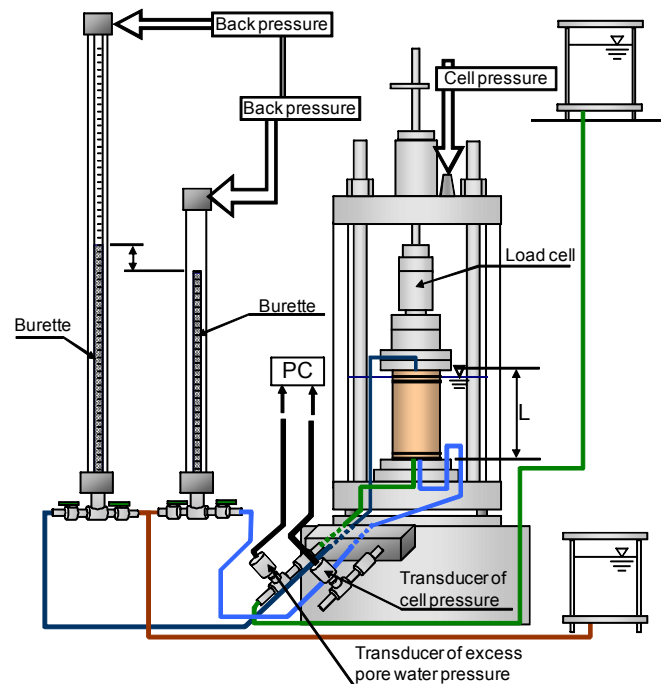


図-2 変水位透水試験装置

透水係数 k_{15} は水温が 15°C 時の値に補正されている。図中には、CO₂ 供給および二重負圧法を適用しても間隙圧係数 B 値が 0.96 まで達しなかった結果も併記されている。この結果より、締固め度の上昇に伴う透水係数の低下挙動が見られた。ただし、締固め度が類似するケース（図中では $D_c=92\%$ 付近）でも透水係数の差があることから、締固め度だけで透水性を見極めることが難しいことも伺える。

次に、透水性に及ぼす締固め条件の違いの影響を見るために、図-4 は基準値で正規化された締固めエネルギーと透水係数 k_{15} の関係として整理されている。図では、締固めエネルギーが高くなるにつれて透水係数 k_{15} が顕著に低下する挙動が見られている。さらに両者には一義的な関係が見られる。つまり、透水係数が間隙比（または締固め度）の違いだけでなく、締固めエネルギーの違いで生じる間隙構造変化にも強く影響を受けることが示唆される。

最後に、締固めによる透水性の変化を間隙構造の観点から調べるために、図-5 は $k_{15}/[e_c^3/(1+e_c)]$ と締固め度および締固めエネルギーの関係を示す。ここで、透水係数が Taylor による評価式³⁾で表現可能とすると（式(1)参照）、式(2)で示される $k_{15}/[e_c^3/(1+e_c)]$ 値は供試体の間隙構造を示す数値になる。

$$k_{15} = C_T \cdot \frac{\gamma_w}{\eta} \cdot \frac{e_c^3}{1+e_c} \cdot D_s^2 \dots (1), \quad k_{15} / \left(\frac{e_c^3}{1+e_c} \right) = C_T \cdot \frac{\gamma_w}{\eta} \cdot D_s^2 \dots (2)$$

ここで、 C_T は間隙形状に関する形状係数、 η は水の粘性、 D_s は土粒子が球体であると仮定したときの粒径である。図より、締固めエネルギーが高いほど $k_{15}/[e_c^3/(1+e_c)]$ が小さくなるような一義的な関係がみられる。さらに、類似の締固め度においても（図-5 中の○印および□印参照）、 $k_{15}/[e_c^3/(1+e_c)]$ 値は締固めエネルギーの違いに影響されることがわかる。したがって、この結果は、高いエネルギーで締固めされた試料の間隙構造が透水し難いものに変化することを示している。

4. まとめ

一連の透水試験より次の結論が得られた。

(1) 透水係数の大きさは締固め度および締固めエネルギーに依存することが示された。

(2) 透水係数の変化は試料の間隙構造に依存する。これは締固めエネルギーに大きく影響されることが示された。

謝辞：本研究には国土交通省平成 21 年度建設技術研究開発費補助金（研究代表者 龍岡文夫）の補助が与えられた。末筆ながら記して感謝の意を表する。

参考文献：1) 松村ら：築堤に用いられる砂質シルトのせん断強度に及ぼす締固め条件の影響，第 65 回土木学会年次学術講演会講演概要集，2010，2) 横浜ら：粗粒火山灰土の飽和透水係数に及ぼす間隙比および細粒分の影響，地盤工学研究発表会発表講演集，Vol.44，pp.693-694，2009，3) Taylor, D. W. : Fundamentals of Soil Mechanics, pp.110-111, 1948.

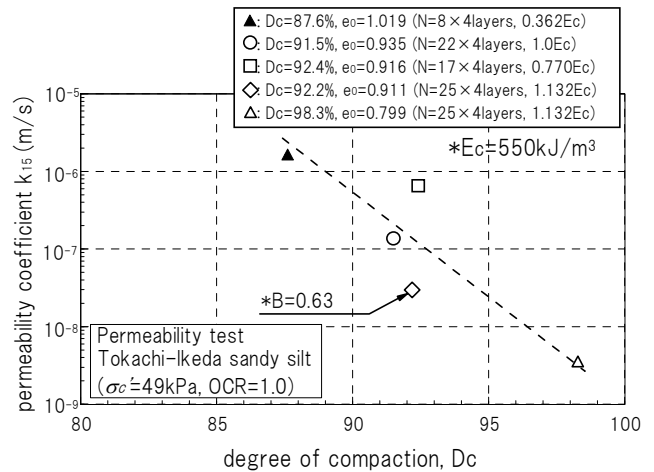


図-3 透水係数と締固め度の関係

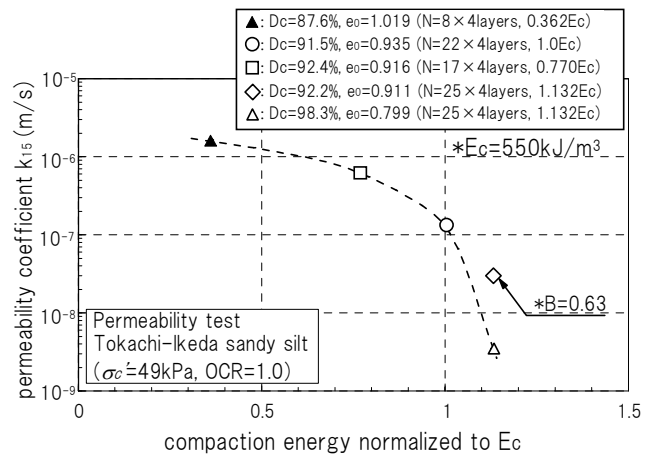


図-4 透水係数と締固めエネルギーの関係

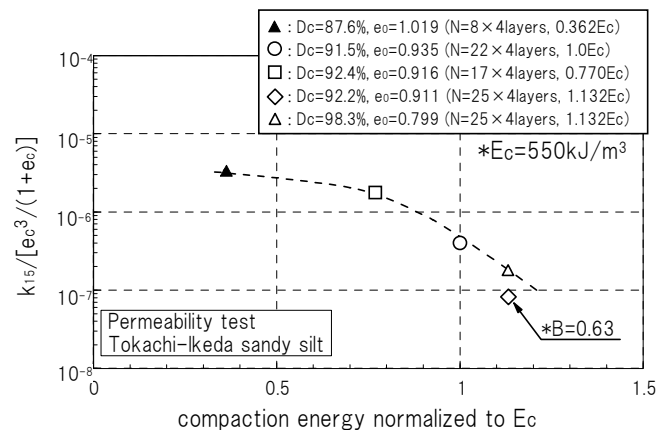


図-5 $k_{15}/[e_c^3/(1+e_c)]$ と締固めエネルギーの関係