

Ⅲ-A329

締固めエネルギーによる水分特性曲線の推定の試み

中部大学大学院 学生員○近藤 宏幸*

中部大学工学部 正会員 杉井 俊夫*

中部大学工学部 正会員 山田 公夫*

1.まえがき

これまで著者らは、土に締固めエネルギーを加えることにより、密度が増加し土中間隙内の空気が排気(透気)され水分量が平衡することに着目し、乾燥密度別のサクシオンと締固めエネルギーの関係を示してきた¹⁾。本報告では、試験結果から求められたサクシオンと締固めエネルギーの関係を使い、締固め試験で得られた3本の締固め曲線と、それを外挿補間した3本の仮想締固め曲線との6本の締固め曲線を用いて、それらからの水分特性曲線の推定を試みている。

2.試験方法

図-1のような内径15cm、高さ17.5cmのCBR用モールドで、試料は豊浦標準砂を使用し突固めによる締固め試験を自動突固め装置を用いて行った。ここでは、突固めによる締固めエネルギー²⁾の1層あたりの突固め回数を変化させることにより、締固めエネルギーの違う供試体(非繰返し)を作成した。なおすべての締固めエネルギーについて、1層あたりの突固め回数以外は、ランマーの質量は4.5kg、突固め層数5層、落下高さ45cmで一定である。その供試体にテンシオメーターの埋設部分を、テンシオオーガーで取り除いて、テンシオメーターを差し込む。突固め表面は、水分が蒸発しないようにラップでおおい24時間程度放置する。その後テンシオメーターに圧力センサーを取り付け、サクシオンを測定した。また、動的締固め試験による粒子破碎の影響が懸念されるため、締固めエネルギー32.7kgf・cm/cm³を加える前と後の試料を用いて粒度分布を調べた結果、今回の締固めエネルギーについてその影響は非常に少ないといえた³⁾。

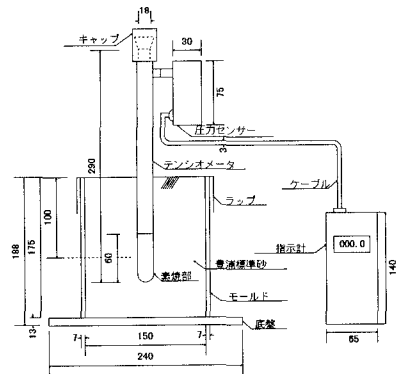


図-1 実験図

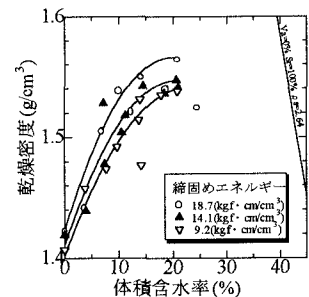


図-2 締固め曲線

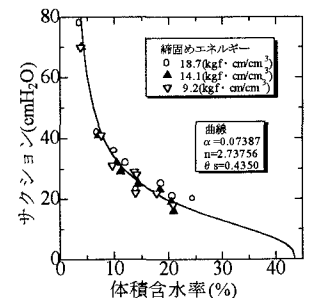


図-3 水分特性曲線

3.締固め曲線と水分特性曲線

10種類の締固めエネルギーのうち18.7kgf・cm/cm³、14.1kgf・cm/cm³、9.2kgf・cm/cm³の3種類について、図-2は体積含水率で示した締固め曲線の乾燥側、図-3で水分特性曲線を示した。図-3の水分特性曲線は、締固めエネルギーの違いは考慮せず、すべての試験結果をもとに van-G enuchten モデルを用い曲線を書いた。

4.サクシオンと水分量を考慮した締固めエネルギーの関係

いま、加えられる締固めエネルギーが土中水(式(1)右辺第1項)と土粒子骨格部に伝わるもの(式(1)右辺第2項)として、式(1)のように仮定する。

$$E_i = \alpha_i S_i \theta_i + \beta_i \rho_d \quad (1)$$

ここに、 E_i :締固めエネルギー、 S_i :サクシオン、 θ_i :体積含水率、 ρ_d :乾燥密度、 α_i :散逸エネルギーを考慮した間隙水に伝わる際の換算係数、 β_i :散逸エネルギーを考慮した土粒子骨格部に伝わる際の換算係数、 i :供試

水分特性曲線、サクシオン、締固め曲線、締固めエネルギー、推定

* 中部大学工学部土木工学科 (〒487 愛知県春日井市松本町 1200 Tel:0568-51-1111 FAX:0568-52-0134)

体の番号

次に同じ乾燥密度において2つの異なる締固めエネルギー(水分量)について式(2),(3)のように両辺を除する。

$$\frac{E_i}{\theta_i} = \alpha_i S_i + \beta_i \frac{\rho_s}{\theta_i} \quad (2)$$

$$\frac{E_j}{\theta_j} = \alpha_j S_j + \beta_j \frac{\rho_s}{\theta_j} \quad (3)$$

式(2),(3)の差から、式(4)が得られる。

$$\frac{E_i}{\theta_i} - \frac{E_j}{\theta_j} = \alpha_i S_i - \alpha_j S_j + \rho_s \left(\frac{\beta_i}{\theta_i} - \frac{\beta_j}{\theta_j} \right) \quad (4)$$

ここで $\alpha_i = \alpha_j$ として式(4)の $(E_i/\theta_i - E_j/\theta_j)$ と $(S_i - S_j)$ の関係を密度ごとに示したのが、図-4である。軸タイトルの添字のdは同じ乾燥密度を示す。なお、乾燥密度 1.48~1.53 g/cm³ まです示されているものは、図-2の締固め曲線上、及び図-3の水分特性曲線上より読みとったものである。図-4の関係より、密度が異なっても $\alpha_i = \alpha_j$ と考えることができ、また式(4)の右辺第2項が0であることから、今回の豊浦標準砂では $\beta_i/\theta_i - \beta_j/\theta_j = 0$ とみなすことができる。このことは土粒子骨格部に伝わる際の換算係数 β_i 、 β_j が、水分量の関数でもあることを示しており、式(1)を次式においてもよいことが考えられる。

$$E_i = \alpha S_i \theta_i + \beta' \rho_s \theta_i \quad (5)$$

図-4より実験値(×印)だけで α を求めると $\alpha = 8.2 \times 10^{-5}$ が得られる。

5. 締固め曲線から水分特性曲線の推定

図-2の3種類の締固め曲線と、それを乾燥密度方向に外挿補間をした3種類の締固め曲線との6種類の締固め曲線を図-5に示した。なお、締固めエネルギーは、破線aは32.5 kgf・cm/cm³、破線bは27.9、破線cは23.3ととして外挿している。図-5よりある乾燥密度における、締固めエネルギーと体積含水率の関係を読み、 $E_{(d)}/\theta$ を求める。締固めエネルギー 9.2 kgf・cm/cm³ の $E_{(d)}/\theta$ を基準に取り5種類の $E_{(d)}/\theta$ との差を表したものが、図-6になる。これは乾燥密度別の水分量と締固めエネルギーの関係が表されている。これを図-4に示した締固めエネルギーがサクシオンに与える割合を用いて $S_{i(d)} - S_{j(d)}$ に変換する。そして、最初に基準とした締固めエネルギー 9.2 kgf・cm/cm³ の $E_{(d)}/\theta$ のサクシオンが一つわかることにより図-7のような、水分量とサクシオンの関係を示すことが出来る。また図-7には図-3の水分特性曲線を破線で表し、今回推定されたものととの比較もした。これより今回の推定により、pF試験などから求められる、水分特性曲線と同様なものを出すことが出来ることが理解できる。

6. あとがき

今回、加える締固めエネルギーが土中水と土粒子骨格部に伝わるものと仮定して考えた結果、水分量で除したエネルギー差の間に一次の関数があることを示し、これを用いて水分特性曲線の推定の可能性を示した。今後は、締固め曲線上の湿潤側について調べる予定である。また締固めエネルギーの散逸が少なくと考えられる、静的締固め試験についても検討中である。

【参考文献】1) 杉井・山田・近藤：乾燥密度を考慮したサクシオンと締固めエネルギーの関係, 第33回地盤工学研究発表会(投稿中) 2) 地盤工学会編：土質試験の方法と解説, pp201~214, 1996. 3) 杉井・山田・植下・近藤：締固めエネルギーとサクシオンの関係土木学会中部支部研究発表会, 1998.

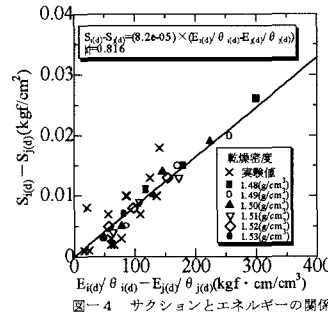


図-4 サクシオンとエネルギーの関係

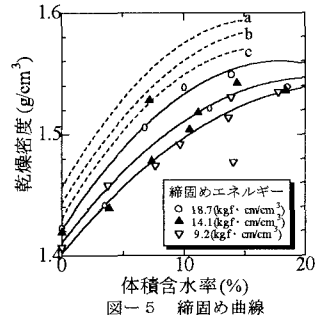


図-5 締固め曲線

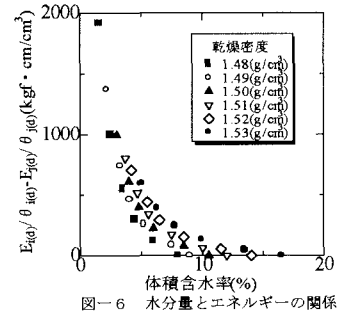


図-6 水分量とエネルギーの関係

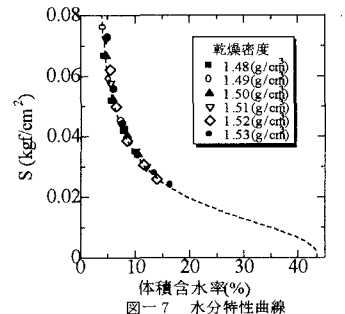


図-7 水分特性曲線