

締固め時の施工管理データと締固め地盤の飽和時せん断特性の関係

締固め 締固め度 飽和度

東京理科大学 学生会員 ○毛利博士 黒岩祐介 非会員 渡部優  
 東京理科大学 国際会員 兵動太一 菊池喜昭 龍岡文夫  
 株式会社 安藤・間 国際会員 三反畑勇  
 株式会社 安藤・間 正会員 永井裕之  
 酒井重工業株式会社 非会員 眞壁淳

1. 研究背景・目的

盛土の施工管理は、乾燥密度を指標に用いることが一般的であるが、現場での乾燥密度の測定は施工後かつ複数地点の点的なデータにとどまり、合理的な施工管理手法となっていない。この点に着目し、従来から、加速度応答法による締固め品質管理手法の開発が行われ、その適用性が評価されてきた。これは、振動ローラ転圧時の加速度応答が、地盤の締固めに応じて変化する現象を利用し、ローラの振動輪に取り付けた加速度センサーによる加速度計測から地盤の締固め具合を判定するものであり、同時にGNSSを用いることでリアルタイムに施工エリアを面的に管理できる手法である。

一方、近年では、従来よりも高品質な盛土の造成が要求されるようになり、これまでの密度管理に加えて、飽和度を管理指標に取り入れる「飽和度管理」<sup>2)</sup>が注目されている。このような背景から、筆者らは、細粒分質砂を用いた実大締固め試験を行い、加速度応答法による締固め管理装置により得られるCCV値を締固め地盤の乾燥密度 $\rho_d$ と飽和度 $S_r$ の関係を結び付けることを試みて、以下の実験式を得た。

$$CCV \text{ 値} = (-0.0022S_r^2 - 0.4311S_r + 22.012) \cdot (\rho_d - 0.8)^{10.5} \quad (1)$$

なお、CCV値は、転圧時の地盤の剛性と相関がある無次元量である。土粒子密度 $\rho_s$ と施工時の含水比 $w$ が既知であれば、 $S_r$ 、 $\rho_d$ 、 $w$ は関連付けられるので、施工中のCCV値の測定値を式(1)に代入することによって $S_r$ と $\rho_d$ を算出できる。従って、盛土の性能と締固め時の $S_r$ 及び $\rho_d$ の値が関連付けられていれば、施工時に盛土の性能を推定することが可能となる。本研究では、盛土の性能のうち、飽和時のせん断強度に着目し、この細粒分質砂を用いて室内試験を行い、締固め状態( $\rho_d, S_r$ )と飽和時のせん断強度の関係を求めた。さらに、式(1)のCCV値と飽和時のせん断強度の関係について考察する。

2. 実験概要

本研究では、式(1)に示す関係式が確認された細粒分質砂を使用した。図-1に粒度分布、図-2に $1.0E_c$ での締固め曲線と三軸圧縮試験の供試体の締固め状態を示す。

供試体(直径 75mm×高さ 150mm)は、モールド内で5層に分けて湿潤突固法で作製した。締固め状態の違いが飽和時のせん断強度に与える影響を検討するために、図-2に示す通り、 $\rho_d$ と $S_r$ を変化させた計8パターンの締固め状態で実験を実施した。また、締固め試験における最大乾燥密度のときの飽和度(以下、最適飽和度と呼ぶ)は $(S_r)_{opt} = 85\%$ である。

盛土の設計では、通常、豪雨や湛水等で飽和化した状態を想定することから、本試験では全ての供試体を有効拘束圧 20kPa で二重負圧法によって脱気・通水し、背圧 300kPa を加えて飽和化した。供試体の飽和を確認後、有効拘束圧 50kPa で 60 分間等方圧密し軸ひずみ速度  $=0.01\%/min$  で排水圧縮せん断した。

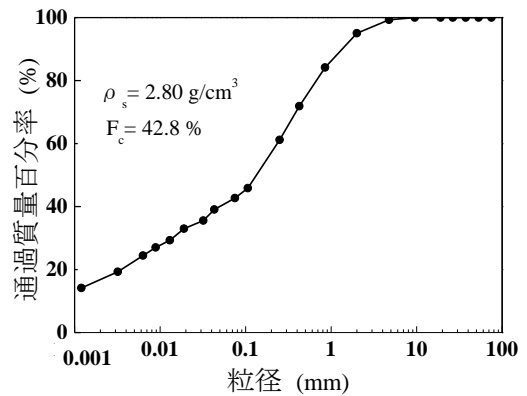


図-1 粒度分布

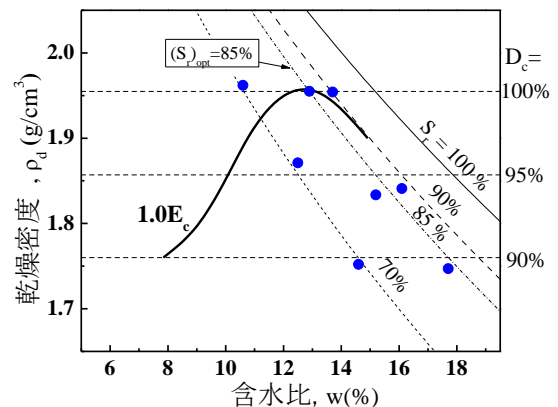


図-2 締固め曲線及び供試体締固め状態

Relation between construction management data at compaction and saturated shear properties at compacted ground.

Atsushi MOHRI, Yusuke KUROIWA, Yu WATANABE  
 Taichi HYODO, Yoshiaki KIKUCHI, Fumio TATSUOKA  
 (Tokyo University of Science)  
 Isamu SANDAMBATA, Hiroyuki NAGAI  
 (Hazama Ando Corporation)  
 Jun MAKABE (SAKAI Corporation)

### 3. 実験結果及び考察

本研究では、飽和時のせん断強度に着目し、実験結果から  $c=0$  としたときの内部摩擦角  $\phi_{peak} = \sin^{-1}\{(\sigma_{1f} - \sigma_{3f}) / (\sigma_{1f} + \sigma_{3f})\}$  を図-3 に示す。また、締固め状態と  $\phi_{peak}$  の関係を明らかにするために、図-3 に示す座標平面に  $\phi_{peak}$  の等値線を以下のようにして描いた。図-4 は、実験データから得た3つの飽和度 ( $S_r=70\%, 85\%, 90\%$ ) での  $\phi_{peak}$  と  $\rho_d$  の関係である。この関係を用いて、任意の  $\phi_{peak}$  に対する  $\rho_d$  と  $w$  の関係(即ち  $\rho_d-w$  図での等値線)を図-5 に示すように描いた。図-5 から、以下のことが分かる。

- ①同一の  $S_r$  では、 $\phi_{peak}$  は  $\rho_d$  の増加に伴い単調に増加する。
- ②同一の  $\rho_d$  では、 $S_r$  が大きい方が  $\phi_{peak}$  は大きく、最適飽和度 ( $S_{r,opt}$ ) においては、 $S_r > (S_{r,opt})$  に比べて比較的小きな値を示す。

さらに、図-6 に、図-5 に示す  $\phi_{peak}$  の等値線と式(1)から算出した CCV 値の等値線を重ねて示す。この図から、同一の CCV 値であっても様々な  $\phi_{peak}$  の値を取ることが分かる。この  $\phi_{peak}$  の値は①ひずみが比較的大きな状態での物性であり②飽和状態での測定値である。それに対して、CCV 値は①ひずみが比較的小きな状態での地盤の剛性を表して②不飽和状態での測定値であるためである。①と②のそれぞれの要因の影響は、別途評価する必要がある。

図-6 に示す結果は、CCV 値だけでは飽和化後の  $\phi_{peak}$  を推定できないことを示している。しかし、 $\rho_s$  と  $w$  が既知であれば CCV 値の測定値を式(1)に代入することによって  $S_r$  と  $\rho_d$  の値を算出できるので、図-6 での座標位置が分かり、 $\phi_{peak}$  の等値線から  $\phi_{peak}$  の値を推定できる。

### 4. まとめ

CCV 値を測定した実大締固め試験で使用した細粒分質砂の排水三軸圧縮試験を行い、 $\phi_{peak}$  と締固め状態の関係を明らかにし、 $\rho_d-w$  図上に  $\phi_{peak}$  の等値線を描いた。その形状は CCV 値の等値線とは著しく異なり、 $\phi_{peak}$  は CCV 値だけでは推定できない。しかし CCV 値は  $\rho_d$  と  $S_r$  の関数であり、従って、 $\rho_d$  と  $w$  の関数である。従って、 $\rho_s$  と  $w$  が既知であれば、CCV 値から  $\rho_d$  と  $S_r$  の値が推定できて、さらに  $\phi_{peak}$  の値が推定できる。今後は、より多くの締固め状態に対して実験を行い、 $\phi_{peak}$  や剛性と締固め状態の関係を明らかにする必要がある。

#### <参考文献>

- 1)藤山哲雄, 建山和由(2000):「振動ローラの加速度応答を利用した転圧地盤の剛性評価手法」,土木学会論文集, No.652/III-51,pp.115-123.
- 2)龍岡文夫(2016):「土の締固めにおける飽和度管理の重要性」,雑誌ダム技術, No.354,3,pp.3-16.
- 3)糟谷優太, 藤代健司, 川邊翔平, 菊池喜昭, 龍岡文夫, 建山和由 (2014):「砂質ロームの CBR に及ぼす乾燥密度と飽和度の影響」,第 49 回地盤工学研究発表会予稿集,pp.345-346.

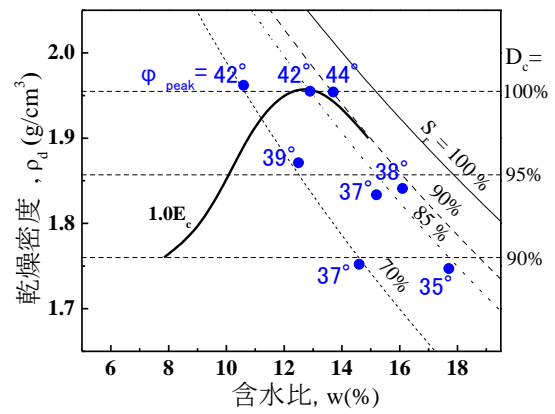


図-3 三軸圧縮試験結果

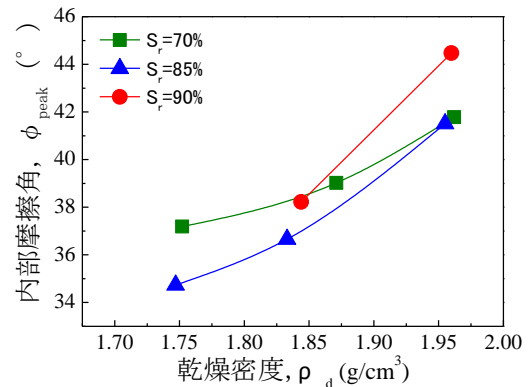


図-4  $\phi_{peak}-\rho_d$  関係

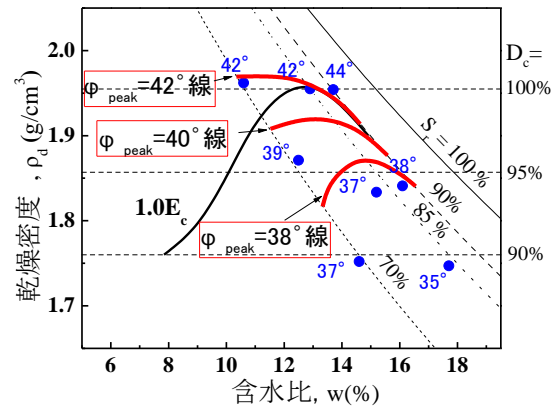


図-5  $\phi_{peak}$  の等値線

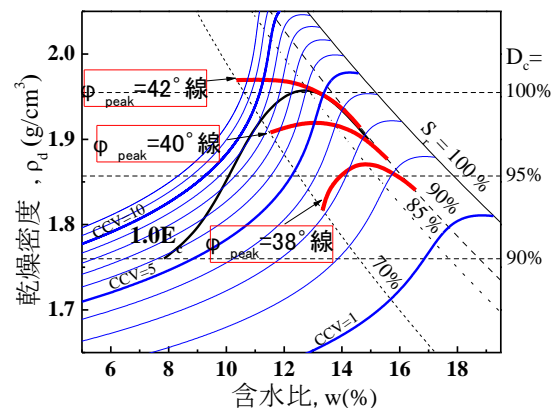


図-6  $\phi_{peak}$  と CCV 値の等値線