

締固めた土の剛性・乾燥密度関係に対する飽和度の影響 (その2. 地盤反力係数等)

締固め 飽和度 乾燥密度

安藤ハザマ 技術研究所 ○西尾 竜文、三反畑 勇
永井 裕之
酒井重工業株 眞壁 淳、小葉 はるな
東京理科大学 龍岡 文夫、菊池 喜昭

1. はじめに

近年自然災害による盛土構造物の被害が増えており、従来よりも高品質な盛土が実現できる「乾燥密度 ρ_d と含水比 w に加えて飽和度 S_r を管理する方法」¹⁾が注目されている。しかし、これらの物理量を施工後の現場試験で求めると、目標値を満たさなかった場合の再施工(手戻り)や、限られた点情報であることによる締固め不良の見落としといった懸念がある。そこで、盛土材の含水比 w と施工中の振動ローラの加速度応答値 (CCV) から乾燥密度 ρ_d や飽和度 S_r を面的に推定する手法を確立することを目的として、土槽内で13t級振動ローラを用いた砂質土の実大転圧試験を実施した。また、施工後の密度試験で得られた飽和度 S_r から地盤の剛性(地盤反力係数 K_{30})を推測する手法も検討した。本論では、施工後の乾燥密度と飽和度の測定値から地盤の剛性を推測する手法を報告する。

2. 転圧試験

転圧試験・品質試験の詳細については(その1. 振動ローラ土槽実験)で示した通りである。図-1に品質試験項目および測定位置を示す。転圧2回(1往復)毎に図-1に示す所定の品質試験を実施するものとし、転圧回数2,4,6,8,12,16回を測定対象とした。

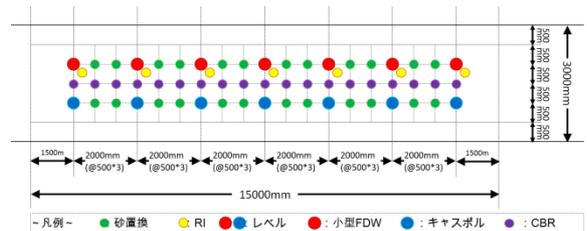


図-1 品質試験項目および測定位置

3. 試験結果

(1) 転圧回数と小型FWD, キャスポル, 現場CBR試験の比較

図-2, 3に転圧回数と小型FWD およびキャスポルで測定した K_{30} の関係をそれぞれ示す。 $K_{30_{FWD}}$, $K_{30_{キャスポル}}$ は、含水比①~③においては転圧回数の増加とともに増加する傾向を示し、含水比が低い(乾燥側)ほど高い測定値を示した。一方、最も含水比の高い(湿潤側)含水比④では、転圧回数4~6回以降は測定値が一定値もしくは減少する傾向を示した。また、含水比③でも転圧回数16回で減少する傾向が確認された。これは、乾燥密度 ρ_d の増加に伴う K_{30} の増加よりも、一定の含水比 w での ρ_d の増加による飽和度 S_r の増加に伴う K_{30} の低下が凌駕したためと思われる。

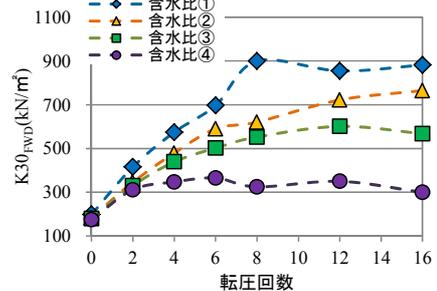


図-2 転圧回数と K_{30} の関係 (小型FWD)

図-4に転圧回数と現場CBRの関係を示す。現場CBRの測定値は含水比①~③においては転圧回数の増加とともに増加する傾向を示し、含水比が低い(乾燥側)ほど高い測定値を示した。一方、最も含水比の高い(湿潤側)含水比④では、転圧回数2回以降は一定値、もしくは減少する。また、含水比③でも転圧回数16回で減少する傾向が確認された。これらも、 ρ_d の増加に伴う CBR の増加よりも、一定の w での ρ_d の増加による S_r の増加に伴う CBR の低下が凌駕したためと思われる。

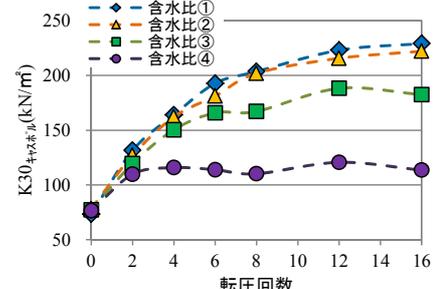


図-3 転圧回数と K_{30} の関係 (キャスポル)

(2) 現場CBR試験と地盤反力係数(小型FWD, キャスポル)の比較

図-5, 6に現場CBRと $K_{30_{FWD}}$ および $K_{30_{キャスポル}}$ と相関を示す。いずれの結果も高い相関を示し、中でも現場CBRと $K_{30_{キャスポル}}$ は相関性は高い。

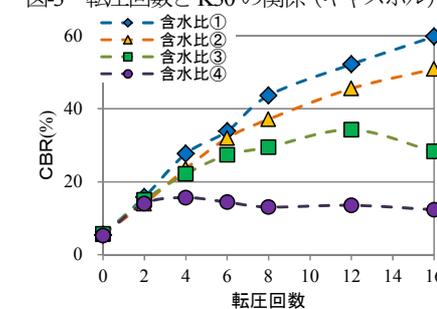


図-4 転圧回数と現場CBRの関係

4. 地盤反力係数 K_{30} の推定式

龍岡ら²⁾は建設機械化研究所で砂質ロームを用いて行われた実大締固め試験(1965~1990年)の結果を解析して、 ρ_d (g/cm^3) と S_r (%) の関数とした現場CBRの推定式(1)を提案した。式中の ρ_w (g/cm^3) は湿潤密度、 b , c は実験定数である。

$$CBR = f_{CBR}(S_r) \cdot (\rho_d / \rho_w - b)^c \quad (1)$$

この関係は、今回の実験結果でも成り立つことが確認された。

前述のように、 $K_{30_{FWD}}$, $K_{30_{キャスポル}}$ は現場CBRの測定結果と高い相関関係にあること

から、式(1)を参考にして、施工完了後に測定された ρ_d と S_r に基づいて $K30_{\text{キャスポル}}$ の実験式を求めた。図-7に $K30_{\text{キャスポル}}$ と ρ_d の関係を示すが、 $S_r=40\sim50\%$, $50\sim60\%$, $60\sim70\%$, $70\sim80\%$, $80\sim90\%$, $90\sim100\%$, $100\sim110\%$ 毎に異なる関係がある。そこで、式(1)と同様な式(2)を各 S_r ごとにデータにフィッティングした。

$$K30_{\text{キャスポル}} = f(S_r) \cdot (\rho_d - \beta)^\gamma \quad (2)$$

式中の β , γ は実験定数であり、(1)式と同様に $\beta=0.4$, $\gamma=9.5$ とした。このようにして求めた $f(S_r)$ の値を図8に示す。 $f(S_r) \sim S_r$ 関係は、二次式の式(3)でフィッティングした。式中の A , B , C は実験定数である。

$$f(S_r) = AS_r^2 + BS_r + C \quad (3)$$

その結果、式(4)が得られた。

$$f(S_r) = 0.0013S_r^2 - 0.2757S_r + 15.26 \quad (4)$$

式(4)を式(2)に代入すると式(5)となり、図7の曲線群は式(5)によるものである。

$$K30_{\text{キャスポル}} = (0.0013S_r^2 - 0.2757S_r + 15.26) \cdot (\rho_d - 0.4)^{9.5} \quad (5)$$

式(5)は、土粒子密度 ρ_s が既知であれば、 $K30_{\text{キャスポル}}$ は含水比 w と ρ_d の関数に変換できて、式(6)となる。ただし、高度に非線形な式(6)は式(5)から導かれるものであり、式(6)の実験式を直接求めることはできない。

$$K30_{\text{キャスポル}} = (0.0013 \left(\frac{\rho_d \cdot G_s \cdot w}{\rho_s - \rho_d} \right)^2 - 0.2757 \left(\frac{\rho_d \cdot G_s \cdot w}{\rho_s - \rho_d} \right) + 15.26) \cdot (\rho_d - 0.4)^{9.5} \quad (6)$$

従って、施工前に w を測定することで、キャスポルによって $K30_{\text{キャスポル}}$ を測定すれば ρ_d と S_r を推定できる。この場合、施工に伴う含水比の変化、場所による含水比のばらつきがないことを前提条件としている。

5. まとめ

本試験の結果から得られた知見を以下に示す。

- 小型FWD, キャスポルより得られる地盤反力係数 $K30$ と現場 CBR は、いずれも基本的には転圧回数の増加とともに増加する傾向を示し、その傾向は含水比が低い(乾燥側)ほど顕著である。
- 最も含水比が高い(湿潤側)含水比④では、転圧回数2回以降は測定値が一定値もしくは減少する傾向が確認された。これは ρ_d の増加に伴う増加よりも、一定の w での ρ_d の増加による S_r の増加に伴う低下が凌駕したためと思われる。
- 小型FWD とキャスポルから得られる地盤反力係数 $K30$ はどちらも現場 CBR の測定値と正の相関関係がある。特に $K30_{\text{キャスポル}}$ と現場 CBR の測定値は高い相関性を示した。
- 地盤反力係数 $K30_{\text{キャスポル}}$ は ρ_d と S_r の関数とした実験式で表現できる。従って、事前に含水比を測定することで、 $K30_{\text{キャスポル}}$ の測定値からその実験式に基づいて ρ_d と飽和度の推定できる。

【参考文献】 1) 龍岡文夫：盛土締固めにおける各種重要な管理項目，第51回地盤工学研究発表会，2016

2) Tatsuoka,F(2105),Compaction characteristics and physical properties of compacted by the degree of saturation,Keynote Lecture,PProc.of15th Pan-American Conf. on SMGE and 6th Int. Cof. O Deformation Characteristics of Geomaterials,Buenos Aires.

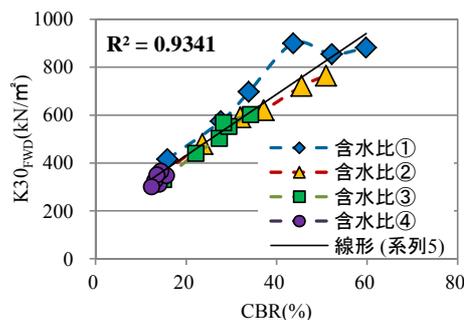


図-5 現場 CBR と $K30_{\text{FWD}}$ の関係

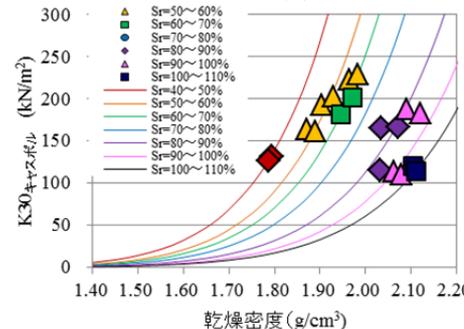
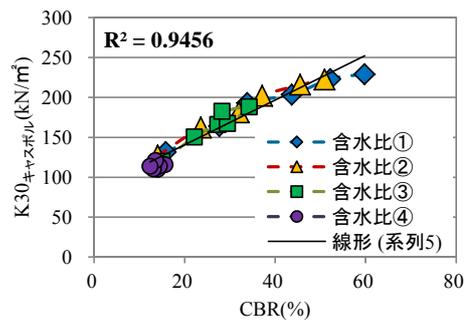


図-7 $K30$ と乾燥密度の関係 (キャスポル) (飽和度ごとにプロット)

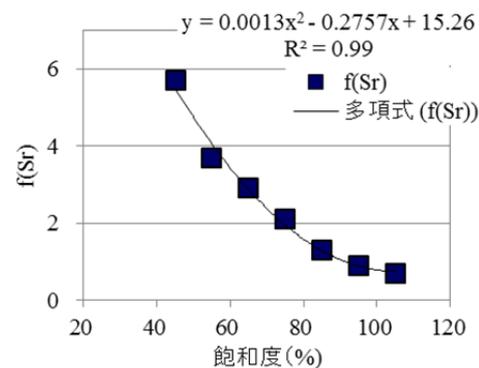


図-8 飽和度と $f(S_r)$ の関係