

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3. ローラ加速度等)

締固め 飽和度 乾燥密度

安藤ハザマ 技術研究所 ○永井 裕之、三反畑 勇
西尾 竜文
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(CBR, 地盤反力係数 K_{30})を推測する手法についても検討した。本論ではCCVによる飽和度の推定式の確立について報告する。

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。CCVおよびGNSSを用いた締固め管理システムは、振動ローラに取り付けた加速度計とGNSSによって、盛土の施工中にリアルタイムかつ面的に地盤の剛性を測定することが可能である。図-1には品質試験測定位置図を示すが、締固め管理システムは転圧面に対して50cmメッシュ毎にCCV値を取得することが可能であるため、確認したい位置のデータを抽出することができる。

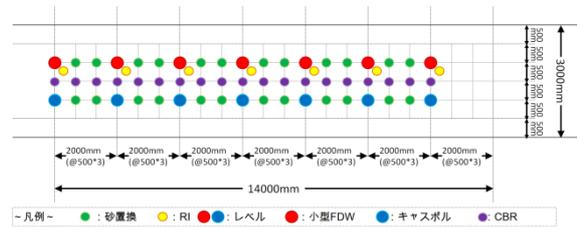


図-1 品質試験測定位置

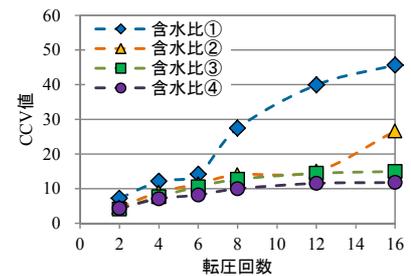


図-2 転圧回数とCCV値の関係

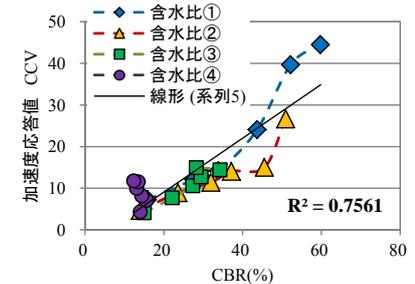


図-3 現場CBRとCCV値の関係

3. 試験結果

(1) 転圧回数とCCV値の比較

図-2に転圧回数とCCV値の関係を示す。図-2よりCCV値は、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)場合に顕著に現れることが確認された。含水比①では、転圧6回以降にCCV値の増加量が急に大きくなり、含水比②では転圧16回が大きくなっている。

(2) 現場CBRとCCV値の比較

図-3に現場CBRとCCVの測定結果の比較を示す。図-3より、現場CBRの測定値とCCV値の間には概ね正の相関関係が確認された。しかし、最も湿潤側の含水比④では、CCV値が転圧回数の増加とともに増加傾向を示すのに対して、現場CBRは転圧回数に依らず一定値を示したため、含水比①、②および③の相関性と異なっている。

4. 飽和度推定式の構築

転圧中のCCV値と転圧後の乾燥密度との相関関係から飽和度を推定する式の構築を検討した。CCV値と現場CBRの測定結果に正の相関関係が確認できたことより、式の形は龍岡ら²⁾が提案した乾燥密度 ρ_d (g/cm^3)と飽和度 S_r (%)の関数としたCBRの推定式(1)に倣った。なお、本式は、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)の結果を解析したものである。式中の $\rho_w(g/cm^3)$ は湿潤密度、 b 、 c は実験係数とする。

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

図-4には、乾燥密度とCCV値の関係を示す。飽和度領域毎(飽和度=40~50%, 50~60%,

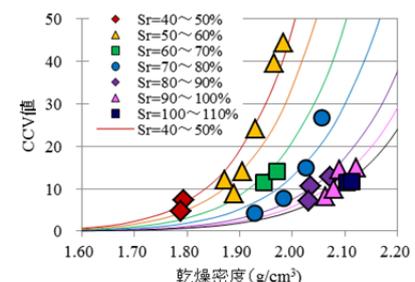


図-4 乾燥密度とCCV値の関係 (飽和度ごとにプロット)

Influence of the degree of saturation to the stiffness and dry density of compaction soil (No.2-CCV) Isamu SANDANBATA, Hiroyuki NAGAI & Tatsufumi NISHIO (Hazama Ando Corporation), Jun MAKABE, Haruna KOGUSURI (Sakai Heavy Industries), Yoshiaki KIKUCHI, Fumio TATSUOKA (Tokyo University of Science)

60~70%, 70~80%, 80~90%, 90~100%, 100~110%) に分類した測定結果である。

ここで、前述の式(1)と同様に、CCV 値と乾燥密度との関係式を式(2)に示す。

$$CCV = f(Sr) \cdot (\rho_d - \beta)^\gamma \quad \text{式 (2)}$$

式(2)で飽和度に応じて決まるパラメータ $f(Sr)$ を龍岡らの検討に倣い、飽和度領域毎に適切に設定する。 $f(Sr)$ は式(3)に示すように2次式である。式中の A, B, C は実験定数である。

$$f(Sr) = ASr^2 + BSr + C \quad \text{式 (3)}$$

図-6 に飽和度と $f(Sr)$ の関係を示し、式(4)に飽和度と $f(Sr)$ の関係式を示す。具体的には、図-4、図-5 に示す飽和度領域毎にプロットした実験値の平均値が式(2)の推定曲線と一致するように $f(Sr)$ の値を求めた。式(2)では、 $\beta=0.8$, $\gamma=10.5$ とした。

$$f(Sr) = 0.0022Sr^2 - 0.4311Sr + 21.012 \quad \text{式 (4)}$$

図-8 に式(4)を式(2)に代入すると次の式(5)となる。

$$CCV = (0.0022Sr^2 - 0.4311Sr + 21.012) \cdot (\rho_d - 0.8)^{10.5} \quad \text{式 (5)}$$

$$CCV = (0.0022 \left(\frac{\rho_d \cdot G_s \cdot w}{\rho_s - \rho_d} \right)^2 - 0.4311 \left(\frac{\rho_d \cdot G_s \cdot w}{\rho_s - \rho_d} \right) + 21.012) \cdot (\rho_d - 0.8)^{10.5} \quad \text{式 (5)}$$

式(5)は、土粒子密度 ρ_s が既知であれば、CCV 値は含水比と乾燥密度の関数に変換できる。よって、施工前の土の含水比を測定すれば、CCV 値から乾燥密度、飽和度を推定することが可能となる。なお、施工に伴う含水比の変化や場所による含水比のばらつきはないことを前提条件とする。

5. まとめ

本試験の結果から得られた知見を以下に示す。

- CCV 値は、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)ほど顕著であることが確認された。中でも、転圧含水比①では、転圧回数 6 回以降に CCV の増加量が大きくなっていることも確認された。
- 現場 CBR と CCV 値の間には正の相関関係が確認された。
- 振動ローラに取り付けた加速度計で測定した CCV 値から飽和度(乾燥密度)の推定する式を提案した。

以上の内容を踏まえ、既知の含水比 w に対して、CCV 値と乾燥密度および飽和度の関数を用いた縮固め管理システムに GNSS を用いることで、盛土施工中にリアルタイムかつ面的に乾燥密度と飽和度を推定することが可能となるため、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縮固め不良の見落としといった懸念を解消することが可能となる。ただし、本式における含水比は、施工前に測定した含水比が施工中も一定であることを条件としている。実施工では含水比はばらつくのが一般的であるため、今後はリアルタイムに場所毎の含水比を推定する手法の確立も望まれる。

【参考文献】 1) 龍岡 文夫：盛土縮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. of 15th Pan-American Conf. on SMGE and 6th Int. Conf. O Deformation Characteristics of Geomaterials, Buenos Aires.

