

DS-7 「盛土の締固めの合理化」

DS-7 For More Cost-Effective Soil Compaction

龍岡文夫

東京大学・東京理科大学 名誉教授

1. はじめに

土の締固めは、地盤工学の代表的古典テーマであり研究し尽くされたと思われがちである。実際、昨年まで地盤工学研究発表会では締固めのセッションがなく締固めの集中議論の機会はなかった。しかし、実務では土構造物の使用性・耐震性等の要求性能が高度化してきた一方、締固め機械の性能の向上とGSNN等による締固め機械の運用管理レベルの向上を活かした施工・管理の省力化と効率化が必要となってきた。これらの点で従来の施工と品質の管理法は改善の余地が大きいことが明らかになってきた。これらを背景に、関東支部に「土構造物の要求性能の実現を目指した盛土締固め管理の合理化に関する研究委員会：委員長筆者、幹事長平川大貴（中央大学）、委員産官学の34名、活動期間2017～2019年」が設置され、今回DSが設けられた。DSに引き続き3つの締固めの一般セッションも開かれ、何れも大盛況であった。

2. 研究及び技術動向

Proctor¹⁾は、締固め管理に関して以下の先駆的な指摘をした。(1)高い乾燥密度 ρ_d で土構造物は安定しフィルダムでは遮水性が向上するので、最適含水比 w_{opt} で最大乾燥密度 $(\rho_d)_{max}$ の実現を目指すべきである。(2) w があまりにも w_{opt} よりも大きいと施工困難になる一方、 $w < w_{opt}$ 状態で締固めると土は強く硬くなるが、湿潤化・飽和化で大きく軟化・弱化することから避けるべきである。(3)現場の締固めエネルギーレベル(CEL)が高い方が $(\rho_d)_{max}$ が大きくなる。この枠組みは今日まで継承されているが、実務では多くの問題があり、今回DSと3つの一般セッションでも議論された。紙面の制約でこれら議論の全てに言及できないが、上記(1)～(3)に基づいてまとめる。

(1)に関して、現場では土質とCELは管理しても不可避免的に変動するため w_{opt} と $(\rho_d)_{max}$ は変動し正確な値は不明となる。また、現場各箇所での ρ_d に対する基準値 $(\rho_d)_{max}$ を求める室内締固め試験でのCELと代表試料の土質が現場での値から系統的に乖離する可能性もある。一方、夫々の締固め曲線での $(\rho_d)_{max}$ が得られる S_r である最適飽和度 $(S_r)_{opt}$ と正規化締固め曲線（真の締固め度 $(D_c)_t = \rho_d/(\rho_d)_{max}$ と $S_r-(S_r)_{opt}$ の関係）は各現場では土質とCELが変動しても一定と見なせる²⁾。なお、最適飽和度は久野の最適領域³⁾に倣った概念である。したがって、現場で

の土質とCELの変動と現場・室内試験間での土質とCELの不一致に影響されずに $(D_c)_t$ は現場 S_r だけの関数となる。また、設計で参照する湿潤化・飽和化後の強度・剛性、透水性等の物性は締固め時の S_r の関数である。以上から、 $S_r = (S_r)_{opt}$ 状態を目標とした締固め管理によって高い値の $(D_c)_t$ が実現され盛土の物性の客観的管理が可能になる。なお、現場各地点での ρ_d を試験施工で得られた最大乾燥密度 ρ_{dmax} で除した締固め度 D_s は、室内締固め試験が不要になり礫率補正と現場・室内試験間のCELの不一致の問題がなくなる。この場合、 ρ_{dmax} を $S_r = (S_r)_{opt}$ 状態での値に補正すれば試験施工での S_r の変動の影響がなくなる。

(2)に関して、従来からCBR、 k_v 、 k_{30} 、 G_0 、 E_{50} 、CCV等の地盤剛性指標（以下 E と略記）に基づく迅速管理が行われている。従来は E の下限值管理であり、 E の増加は常に締固め状態の向上と仮定している。この方法は、 $S_r > (S_r)_{opt}$ 状態での強度・剛性が低い不良締固め状態の回避には有効である。しかし、CEL一定で $S_r < (S_r)_{opt}$ 状態となると、 ρ_d が低下し湿潤化・飽和後の強度・剛性が低下し透水係数が増加するが E は増加する。従って、この不良締固め状態の回避には E の上限値管理が必要となる。

(3)に関して、現場 $\rho_d = (\rho_d)_{max} \cdot (D_c)_t$ であるが、現場 $(\rho_d)_{max}$ は現場CELを十分に高い値に保てば十分に高くなり、 $(D_c)_t$ は S_r の関数で $S_r = (S_r)_{opt}$ 状態では100%となる。したがって、CEL管理と飽和度管理の組み合わせによって現場 ρ_d を高い値に保てる。これが、締固め機械の能力向上とGNSS等による運用管理レベル向上の意義である。

(1)、(2)、(3)の他、盛土材として不適とされている土質でも良く締固めると強度・剛性は十分に大きくなること、締固めによって非排水せん断強度は急増すること、同じ D_c でも粒形・粒径によって強度・変形特性は異なる場合があること、礫率補正、内部侵食、分別土砂、現場含水比の迅速測定、撒き出し厚等の諸課題の発表があった。

参考文献

- 1) Proctor, R.: Fundamental principles of soil compaction; & Description of field and laboratory methods, *Engineering News-Record*, 111(9), Aug.31, pp.245-248 & Sept.7, pp.286-289, 1933.
- 2) 龍岡文夫: 盛土の締固めにおける飽和度管理の重要性, 地盤工学会誌, 技術手帳, **63**(7), pp.39～40, 2015.
- 3) 久野悟郎: 土の締固め, 土と基礎, **20**(6): pp.5～10, 1972.

(原稿受理 2019.7.11)