

施工盛土の品質確保を目的とした正規化締固め曲線を用いた試験施工データの活用

東急建設株式会社

正会員 ○富田 佑一 早川 健司
正会員 千葉 洋平 長井 健作

1. 概要

道路・河川堤防等では盛土工に先立ち、盛土材料の土質試験で最大乾燥密度 ρ_{dmax} を得た上で、試験施工を実施して規定の締固め度 $D_c (= \rho_d / \rho_{dmax})$ の実現に必要な現場締固め回数 N_p を求め、施工管理指標として目標 N_p を設定する¹⁾。しかし、所定のエネルギー下での現場締固めでは含水比 w が最適含水比 w_{opt} から離れると ρ_d が減少するため、試験施工では所定の D_c を実現できる N_p は含水比 w の影響を受け、本施工ではそれぞれの N_p で実現される D_c は w の影響を受けることになる。その結果、施工 w によらない一律の目標 N_p に基づく締固め管理では D_c 不足を見落とす恐れがある。そこで、施工過程でのそれぞれの N_p において施工時 w から D_c 値を迅速に推定する方法を検討し、国道工事の仮設盛土(土工数量 75,000m³)への適用を検討した。

2. 盛土材料と正規化締固め曲線

盛土材料は和歌山県東牟婁郡内の軟岩・中硬岩を主とする国道工事の建設発生土で、5種類(①～⑤)である。図1に示すように最大粒径 $D_{max}=53mm$ 、細粒分含有率 $F_c=3.3\sim 18.4\%$ の礫質土である。図2に $D \leq 37.5mm$ の試料に対し、盛土材料①～③、⑤ではB-b法(1E_c)、盛土材料④ではE-a法(4.5E_c)で実施した締固め曲線を示す。 $w_{opt}=12.4\sim 19.8\%$ 、 $\rho_{dmax}=1.710\sim 1.804g/cm^3$ と多様である。龍岡²⁾は、それぞれの締固め曲線で ρ_{dmax} が得られる最適飽和度(S_r)_{opt} の値と正規化締固め曲線($D_c \sim S_r - (S_r)_{opt}$ 関係)は多少の土質変化や締固めエネルギーに拘らずほぼ一定になることを報告している。図3に、図2に示す試料①～⑤の締固め曲線を $D_c \sim \Delta S_r = S_r - (S_r)_{opt}$ 関係に変換した結果を示す。 $\Delta S_r \leq 0$ では ΔS_r が増加すると D_c も増加するが、図3で $\Delta S_r \leq 0$ の範囲での関係は全ての盛土材料でほぼ一致して、上記報告²⁾と整合している。

3. 締固め回数別の推定締固め曲線の作成

図3に示す■印の曲線は、盛土材料①の結果を $\Delta S_r \leq 9.3\%$ と $\Delta S_r > 9.3\%$ に分けて二次関数 $D_c = a(\Delta S_r)^2 + b(\Delta S_r) + c$ で近似したものである。この結果に基づいて、以下の様に試験施工で得られたデータから N_p 毎の締固め曲線を作成した。図4に、図3に示す正規化締固め曲線: 1E_c 基準の締固め度 (D_c)_{1E_c} $\sim \Delta S_r$ 関係(■)を示す。また、盛土材料①～③、⑤の試験施工時($N_p=4\sim 16$)に砂置換法(JIS A 1214)で測定した ρ_d の値を室内締固め試験(1E_c)で得た(ρ_{dmax})_{1E_c} で除した(D_c)_{1E_c} を $\Delta S_r = (S_r \text{の現場測定値}) - (\text{室内締固め試験による}(S_r)_{opt})$ に対してプロットした。 ΔS_r の範囲は-34.7 \sim 6.9%である。全ての試験施工で、目標仕上がり厚は30cm、締固め機械は4t平滑振動ローラーで、まき出し厚35cmと同条件とした。さらに、盛土材料①の試験施工で得たそれぞれの N_p での測定点を通して(D_c)_{1E_c}=(現場 ρ_d の測定値) / (ρ_{dmax})_{1E_c} $\sim \Delta S_r$ 関係の曲線群を示す。これらは、 $D_c = (\rho_d \text{の測定値}) / (\text{各 } N_p \text{ での } \rho_{dmax}) \sim \Delta S_r$ 曲線は締固めエネルギーレベル(すなわち N_p) に依存せず正規化締固め曲線(■)と同じと仮定して、正規化締固め曲線(■)での同じ ΔS_r の(D_c)_{1E_c} の値を各 N_p での(D_c)_{1E_c} の測定値と一致するように比例的に変化させて得たものである。図4を見ると、盛土材料②、③、⑤の試験施工での D_c と ΔS_r の測定点も、全て盛土材料①で求めた各 N_p の曲線付近に位置して

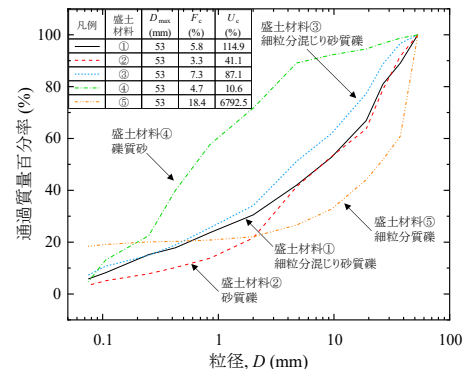


図1 各盛土材料の粒度分布

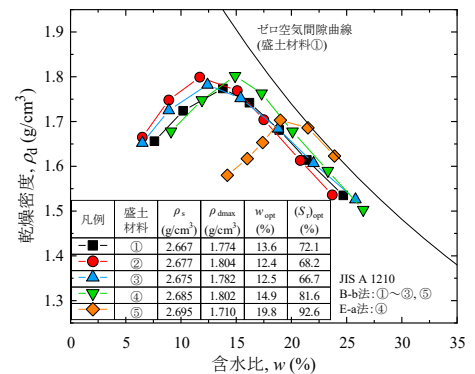


図2 各盛土材料の締固め曲線

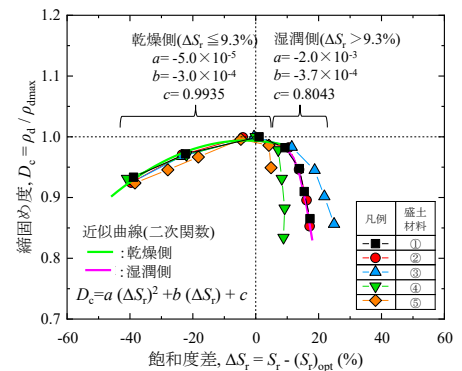


図3 正規化締固め曲線と近似曲線

いる。このことは、これらの異なる盛土材料①～③、⑤とそれらと類似の盛土材料に、第一近似として、同一の各 N_p に対する $(D_c)_{IEc} \sim \Delta S_r$ 曲線を適用できることを示している。

図4に示すように、当仮設盛土の締固め度 $(D_c)_{IEc}$ の許容下限値 0.9 (90%) の保証に必要な N_p は盛土材料の ΔS_r の値に依存し、 $\Delta S_r < 0$ では必要 N_p は $\Delta S_r = 0$ から遠ざかるほど大きくなる。盛土材料①の場合は、 $\Delta S_r > 30\%$ 程度ならば必要 $N_p \geq 6$ である。すなわち、試験施工と実施工において、 N_p の値だけから達成された $(D_c)_{IEc}$ の値を推定することは難しく、文献1),3)に示される締固め可能範囲内でも必要 N_p は異なる。一方、図4に示す各 N_p に対する $(D_c)_{IEc} \sim \Delta S_r$ 曲線に基づけば、現場 ΔS_r の値から現場 $(D_c)_{IEc}$ を推定できて、乾燥側での締固め不足のリスクを低減できる。例えば、盛土材料②の試験施工データ(●印)に着目すると、乾燥側で $\Delta S_r = -40 \sim -30\%$ の場合は所要 $N_p = 8$ と判定できる。

図5は、図4で示した盛土材料①の試験施工のデータと N_p 毎の $(D_c)_{IEc} \sim \Delta S_r$ 関係(締固め管理曲線)を $\rho_d \sim w$ 関係に変換した結果である。このような N_p 別の締固め曲線群から、各盛土材料の w 別に $(D_c)_{IEc}$ の許容下限値の実現に必要な N_p の値が読み取れる。この締固め管理曲線を盛土材料の土質に応じて用意すれば、施工当日の施工 w の必要 N_p を設定できる。また、管理曲線から定めた必要 N_p は、位置情報システムで設定・管理することが可能である。なお、図5に示す管理曲線群は、従来の盛土工で実施する室内試験と試験施工で得られるデータだけから作成できて、新たな試験項目は不要である。

4. 締固め度の推定精度

図6に $1E_c$ 基準での締固め度の推定値 $[(D_c)_{IEc}]_e \sim$ 測定値 $[(D_c)_{IEc}]_m$ 関係を示す。 $(D_c)_m$ は盛土材料①～③、⑤の試験盛土データ、 $[(D_c)_{IEc}]_e$ は $[(D_c)_{IEc}]_m$ を測定した時の N_p 、 ΔS_r を図4中の N_p 別の締固め曲線に当てはめて得た値である。盛土材料と N_p が異なる全てのデータは図中の 1:1.00 補助線付近に位置しており、 $N_p \geq 8$ では $\pm 3.0\%$ 程度内の小さなばらつきである。このばらつきは、施工・測定によるものと考えられ、その程度は現場条件によって異なると考えられる。当該工事では図4に示す $N_p = 4 \sim 8$ での推定締固め曲線群において、締固め回数増分 $\Delta N_p = 2$ 程度による締固め度増分 $\Delta(D_c)_{IEc}$ は 3.0% 程度であることを踏まえると、施工計画時に所要 N_p を $\Delta N_p = 2$ 程度付与することで、施工・測定のばらつきによる品質不良のリスクを排除できると考える。今回は盛土材料①の締固め特性に基づいて異なる土質の締固め特性を解析したが、同一現場内の盛土材料であれば多少の土質の変化があっても、正規化締固め曲線の活用によって代表的盛土材料の締固め特性に基づいて対応可能であることを示唆する結果を得た。

5. まとめ

①同一現場内で使用する盛土材料であれば、多少粒度特性が変化しても、特に乾燥側で $D_c \sim \Delta S_r$ 関係は一定である。この関係は締固めエネルギーレベルに対して独立であれば、 N_p 別の締固め曲線を推定し、締固め管理曲線として活用できる。② N_p 別の推定締固め曲線に基づくことによって、盛土材料の含水比の影響(すなわち締め固めた盛土材料の飽和度の影響)を考慮して N_p 管理ができる。その結果 N_p 不足になるリスクを解消し、盛土の品質向上が期待できる。③提案した方法による現場締固め度 $(D_c)_{IEc}$ の推定値には、現場条件にもよるが $\pm 3.0\%$ 程度のばらつきが生じる可能性があり、施工計画時にはこのばらつきを考慮して N_p を設定する必要がある。

【謝辞】本稿をまとめるに当たり、東京大学・東京理科大学名誉教授 龍岡文夫先生にご指導いただいた。未筆ながら、感謝の意を表します。

参考文献 1)国土交通省: TS・GNSSを用いた盛土の締固め管理要領, 2020 2) 龍岡文夫: 盛土の締固め目標の設定と締固め管理による実現, 月刊基礎工, Vol.50, No.4, pp.2-9, 2022. 3)日本道路協会, 道路土工 盛土工指針, pp.211-223, 2010.

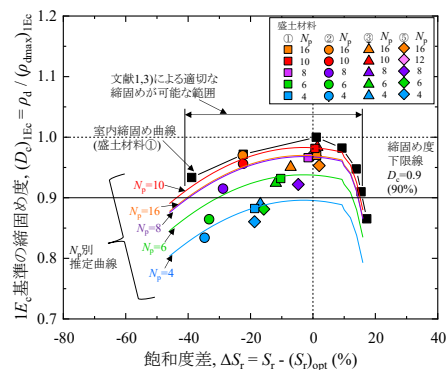


図4 試験施工データと N_p 別の推定曲線

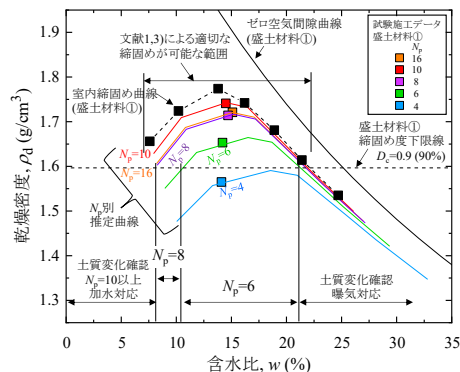


図5 締固め管理曲線(盛土材料①)

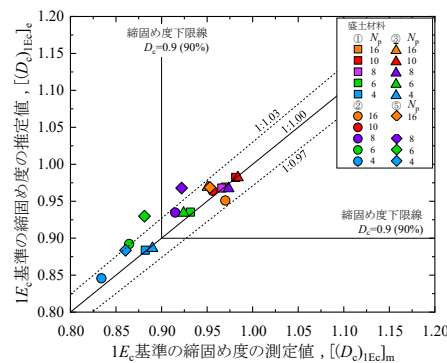


図6 $[(D_c)_{IEc}]_e$ の推定値と測定値