

石灰、セメント改良土の小規模締固め施工実験（密度に関する報告）

土木研究所 正会員○宮下千花 大田 孝 橋本 毅 山田 充

1. はじめに

平成24年度建設副産物実態調査結果¹⁾によると、工事現場で使用する土砂に占める建設発生土の割合は約9割である。近年、「建設リサイクル推進計画2014」の策定等を背景に発生土の更なる有効利用が求められており、泥土または第4種に区分されるコーン指数が200 kN/m²未満の低品質な発生土も、安定処理等で改良して積極的に利用する必要がある。一方、改良土の現状の品質管理は良質な盛土材と同様に締固め度のみで行われる場合が多く、安定処理による強度増進の影響を必ずしも適切に評価できていない可能性がある。維持管理に対する社会的要請の高まりも考慮すると、改良土により築造された盛土の長期的な安定性や耐久性を把握すること、盛土施工における適切な品質管理手法を明らかにすることが望ましい。

そこで筆者らは産学12者と連携した共同研究において、基礎的な取り組みの一つとして、改良土の締固め特性の把握を目的とした締固め施工実験を行った。固化材混合率の低い改良土を振動ローラで転圧した実験では、転圧による密度の増加量が小さかったため密度とその他の品質管理値との関係が明瞭でなかった²⁾。本論文では、混合率の異なる石灰、セメント改良土の小型転圧機械による実験結果について、主に密度に着目して報告する。

2. 実験方法

実験に用いた地盤材料の粒度分布を図1、基本物性を表1、締固め曲線を図2にそれぞれ示す。最適含水比 w_{opt} 付近に調整された砂質土、 w_{opt} よりも約3%含水比の高い細粒土は、既往の実験^{例例えば3),4)}に用いた地盤材料である。美浦砂は本研究で用いた砂質土で、採取時の含水比(約34%)では泥土に分類される。含水比約32~33%の美浦砂に、乾燥質量の4.5, 6.0%の生石灰、6.7, 9.7%のセメント系固化材をバックホウで混合し、それぞれ石灰、セメント改良美浦砂とした。改良後の含水比はそれぞれの w_{opt} と比較して約1~6%高かった。石灰、セメント改良美浦砂は固化材混合率が高くなるほど最大乾燥密度 ρ_{dmax} が小さく、 w_{opt} が大きくなった。美浦砂は含水比を約23%まで低下させ、安定処理をしなくても転圧の効果がある程度期待できる状態とし、無改良での実験も行った。

図3に示す幅5m、長さ44.8m、高さ4mのコンクリート製の実験ピットに砂質土で締固め度 $D > 95\%$ の基礎地盤を造成し、幅0.5m、長さ5m、高さ0.3mの実験溝を設けた。各地盤材料を実験溝に投入し、盛土の層厚が約40cmとなるように敷き均した。0.1m³クラスの油圧ショベル(自重2.7t)でクロウ走行した状態を転圧0回として図3に示す各計測を実施後、質量約70kgのランマを用いて溝ごとに異なる回数の転圧を行った。砂質土、細粒土では2, 4, 6, 8回、美浦砂(無改良)では1, 2, 4, 8回、改良美浦砂では1, 2, 4回転圧する毎に、転圧0回と同様の計測を行った。本論文ではコアカッターによる土の密度試験

(JGS1613-2003)と、衝撃加速度試験^{例例えば5)}による計測結果について検討した。

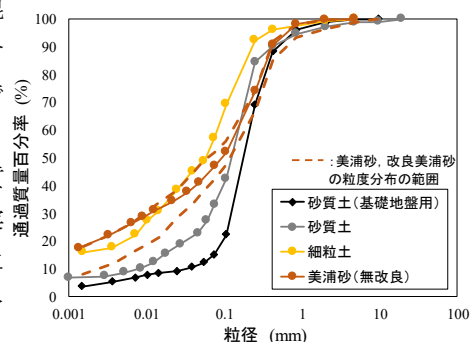


図1 地盤材料の粒度分布

表1 地盤材料の基本物性

	砂質土 (基礎地盤用)	砂質土	細粒土	美浦砂				
				無改良	石灰改良 (4.5%)	石灰改良 (6.0%)	セメント改良 (6.7%)	セメント改良 (9.7%)
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.675	2.681	2.665	2.728	2.748	2.736	2.726	2.707
最適含水比 w_{opt} (%)	16.0	18.8	24.9	19.5	23.4	26.8	23.5	24.7
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.674	1.666	1.531	1.649	1.508	1.481	1.547	1.512
実験時含水比 w (%)	15.9	18.3	28.2	23.1	29.0	27.9	28.8	28.5
コーン指数* q_c (kN/m ²)	-	-	-	793	17917	>32400	22676	>32400

* 石灰改良は材齢10日(気中6日、水中4日)、セメント改良は材齢7日(気中3日、水中4日)

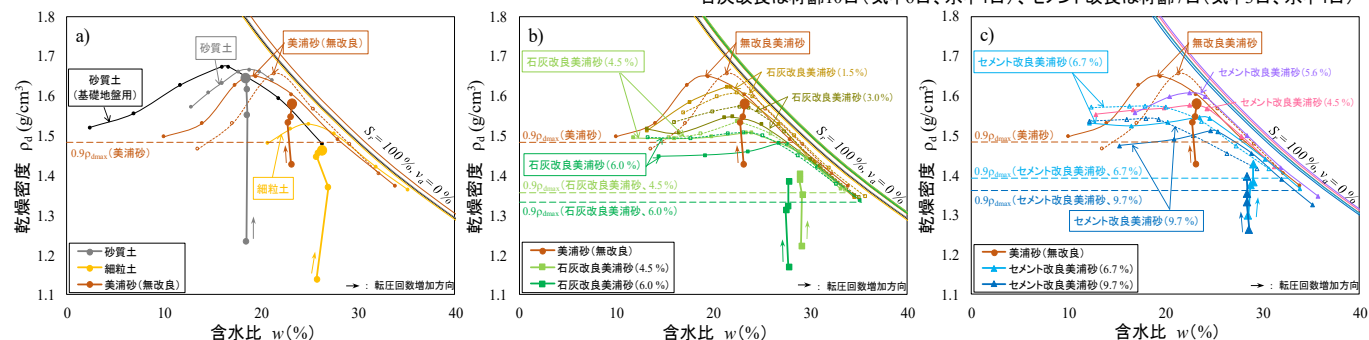


図2 地盤材料の締固め曲線

キーワード 建設発生土、改良土、盛土、締固め、品質管理

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6(国研)土木研究所 TEL 029-879-6759

3. 実験結果

コアカッターによる上層（盛土表層～10 cm）、中層（10～20 cm）、下層（20～30 cm）の密度の平均値から求めた締固め度と、転圧回数との関係を図4に示す。転圧により、すべての材料で締固め度が90%を超え、砂質土は転圧8回での締固め度が細粒土や美浦砂よりもやや高かった。改良土を含む美浦砂の転圧による締固め度の増加量は、砂質土、細粒土よりも小さかった。図2には施工実験で得られた各材料の転圧中の乾燥密度と含水比の関係も示してあるが、実験中の密度の推移を締固め度ではなく乾燥密度で比較すると、固化材混合率の高い改良土ほど転圧4回での最終的な乾燥密度の値が小さかった。

コアカッターによる下層と上層の締固め度の関係を図5に示す。砂質土、細粒土は転圧2回以降、美浦砂、改良美浦砂は転圧1回以降の計測値である。8回転圧後の計測値は大きいマーカーで示す。砂質土、細粒土では転圧回数が増えても上層と下層の締固め度の差は変わらず、下層の締固め度は上層より10%程度小さかった。美浦砂、改良美浦砂の5ケースは、いずれも転圧回数の増加に伴い上層と下層の密度の比が1:1に近づいた。

美浦砂、改良美浦砂の5ケースにおける、転圧0回から最終回までのコアカッターによる乾燥密度の平均値と衝撃加速度との関係を図6に示す。衝撃加速度を用いた改良土の品質管理は、現状では原位置施工での強度の確認に用いられている⁹⁾。本研究では、改良の有無に関わらず、転圧による密度増加の指標としての衝撃加速度の利用を試みた。石灰改良美浦砂（6.0%）では乾燥密度と衝撃加速度との間に正の相関がみられた。それ以外のケースでは、転圧1回または2回以降の衝撃加速度が低下し、乾燥密度との関係が逆転した。既往の様々な地盤材料における類似の研究^{例え 4)}でも指摘されている通り、飽和度が大きくなる、つまり間隙に占める水分の割合が大きくなると、衝撃加速度の計測値に水の影響（サクシジョンの低下による剛性、強度の低下）が表れ始め、乾燥密度との関係が変化したものと考えられる。本研究における各材料の飽和度と衝撃加速度の関係については、文献6)にて報告する。

衝撃加速度を密度の指標として用いる場合には、直径10 cm、体積1000 cm³の締固めモールドにて事前に衝撃加速度と密度との関係を確認するためのキャリブレーションを行い、盛土の施工現場で得られる衝撃加速度から密度を推定する。図6には点線で各材料のキャリブレーション結果も示している。固化材混合率の高い石灰、セメント改良美浦砂のみ、キャリブレーションと施工実験の結果がある程度一致していた。

4. まとめ

自然含水状態の美浦砂に生石灰、セメント系固化材を混合した混合率の異なる改良土と、含水比を低下させた美浦砂の小型転圧機械による締固め施工実験を実施した。美浦砂の改良土は固化材の混合率が高いほど最大乾燥密度が小さく、最適含水比が大きくなった。いずれのケースでも締固め度は同様の増加傾向を示したが、これらの密度増加を乾燥密度で評価すると、固化材混合率の高い改良土ほど最終的に得られる密度が小さかった。固化材混合率の高い改良土においてのみ、衝撃加速度による密度の把握がある程度可能であることが分かった。今後は、異なる地盤材料で転圧機械の種類を変えながら同様の実験を行い、低品質な地盤材料からなる改良土の締固め特性について引き続き検討する予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省：平成24年度建設副産物実態調査結果，2014
- 2) 宮下ら：石灰、セメント改良した建設発生土の締固めに関する基礎的検討（その1），土木学会第72回年次学術講演会，2017
- 3) 佐藤ら：盛土施工における締固め特性について（その5）小型締固め機械の締固め特性，土木学会第69回年次学術講演会，2014
- 4) 岩谷ら：盛土施工における締固め特性について（その6）締固めによる地盤反力係数 K_{30} の特性，土木学会第69回年次学術講演会，2014
- 5) 北海道開発局：平成29年度版道路・河川工事仕様書付表，pp. 39-44，2017
- 6) 大田ら：石灰、セメント改良土の小規模締固め施工実験（剛性、強度に関する報告），土木学会第73回年次学術講演会，2018

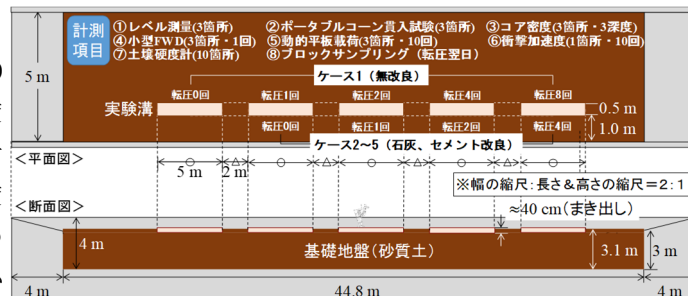


図3 締固め施工実験の概要

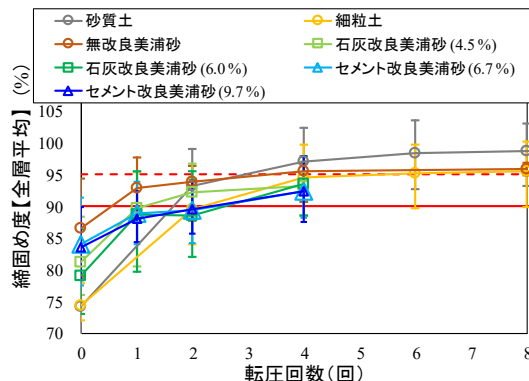


図4 締固め度と転圧回数との関係

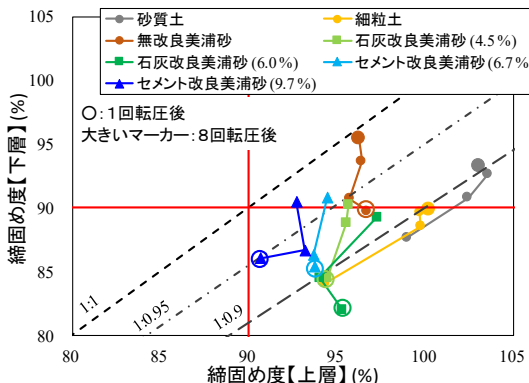


図5 下層と上層の締固め度の関係

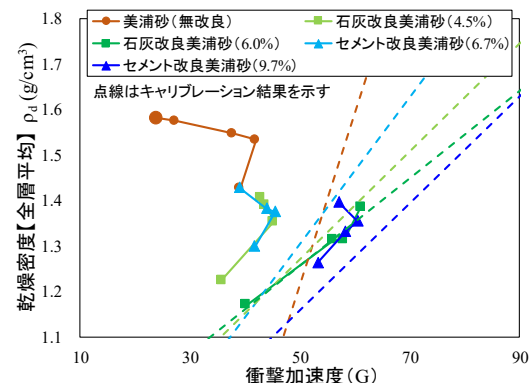


図6 乾燥密度と衝撃加速度の関係