

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）

土木研究所 正会員○宮下千花 正会員 井上玄己

土木研究所 正会員 宮武裕昭 正会員 橋本 毅

1. はじめに

昨今の首都圏を中心とした大規模建設事業において、建設発生土量（以下、発生土という）の増加が見込まれている。また、リサイクルの推進により発生土のさらなる有効利用が求められている。泥土または第4種¹⁾に区分される低品質な発生土を道路盛土等に用いる場合には、固化材を混合するなどして品質改良を行う必要がある。このような改良土の現場で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のが一般的であり²⁾、固化材混合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、集中豪雨等の外的要因の作用を受ける改良土の長期的な強度特性を把握すること、改良土の長期耐久性を確保するために設計・施工の段階で必要な要求品質や品質管理項目を明らかにすることが望ましい。そこで筆者らは産学計12者と連携し、発生土に固化材を混合した改良土の長期的な安定性や耐久性の検討と、適切な品質管理手法を提案するための共同研究を行っている。本論文では品質管理手法に着目して実施した石灰、セメント改良土の締固め施工実験の結果について、良質な地盤材料で実施した同様の実験結果^{例えば3), 4)}との比較を行うことにより報告する。

2. 実験方法

実験に用いた盛土試料の基本物性を表1、粒度分布を図1、締固め曲線を図2にそれぞれ示す。土質(3)、(4)、(5)は既往の実験に用いた試料で、美浦砂は本研究で用いた試料である。土質(3)、(4)は最適含水比 w_{opt} 付近に調整された砂質土、土質(5)は w_{opt} よりも約3%含水比の高い細粒土である。美浦砂は発生土の土質区分で泥土に分類される砂質土で、配合試験結果⁵⁾に基づいて 21.3 kg/m^3 の生石灰、 58.7 kg/m^3 のセメント系固化材をバックホウで混合することにより、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11%、9%高かった。

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内に土質(3)で締固め度 $D_c > 95\%$ の基礎地盤を造成し、この上に各盛土試料を敷均した。転圧終了後の盛土の層厚が30cm程度となるよう、敷均しにおける盛土の層厚は約40cmとした。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0回転圧と定義して図3に示す各計測を実施後、11t級の振動ローラを用いて転圧を行った。振動ローラの起振力は土質(3)、(4)、(5)の実験で226kN、石灰、セメント改良美浦砂の実験で181kNとした。0回転圧における各試料の含水比と乾燥密度との関係を図2に白抜きの点で示す。土質(3)、(4)、(5)の実験では2, 4, 6, 8, 12, 16回、改良した美浦砂の実験では西側半分（西側半分）において1, 2, 3, 4, 6, 8回転圧毎に、0回転圧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）、動的平板載荷試験機による地盤反力係数計測、CCVによる加速度応答計測の結果について検討した。

3. 実験結果

コアカッターによる上（盛土表層～10cm）、中（10～20cm）、下（20～30cm）層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。土質(3)、(4)、(5)では転圧を重ねることで締固め度が大きくなり、路体、路床盛土の品質管理基準値である $D_c = 90, 95\%$ ⁶⁾を超えた。石灰、セメント改良美浦砂は初めの2回までは転圧後に締固め度が増加したものの、その

表1 盛土試料の基本物性

	土質(3)	土質(4)	土質(5)	美浦砂
土質分類	細粒分質砂	細粒分質砂	砂質細粒土	細粒分質砂
土粒子密度 $\rho_s (\text{g/cm}^3)$	2.675	2.681	2.665	2.691
最適含水比 $w_{opt} (\%)$	16.0	18.8	24.9	24.1
最大乾燥密度 $\rho_{dmax} (\text{g/cm}^3)$	1.674	1.666	1.531	1.527
実験時含水比 $w (\%)$	15.9	18.3	28.2	34.5, 34.1
コーン指数 $q_c (\text{kN/m}^2)$	-	-	-	68 ($w = 34.1\%$)

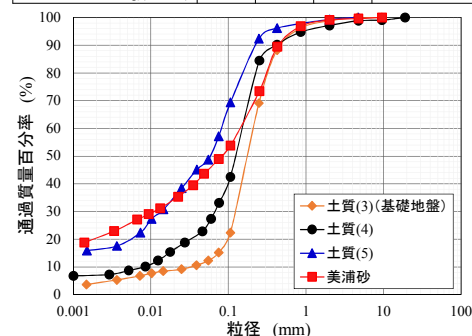


図1 盛土試料の粒度分布

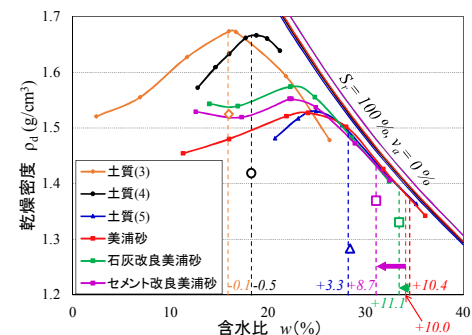


図2 盛土試料の締固め曲線



図3 締固め施工実験の概要

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

後は大きなエネルギーを与えて転圧を重ねても密度が大きくならなかった。

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。土質(3), (4), (5) は転圧2回以降, 石灰, セメント改良美浦砂は転圧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, 土質(3), (4), (5) の12, 16回転圧後の計測値は白抜きのマーカーでそれぞれ示す。土質(3), (4) では上層と比較して下層の締固め度が5%程度小さかった。6回転圧以降の土質(5) と, 石灰, セメント改良美浦砂は上層と下層の密度差が比較的小さかった。

コアカッターによる締固め度の平均値と, 動的平板載荷試験による地盤反力係数との関係を図6に示す。土質(3), (4), (5) は転圧2回以降, 石灰, セメント改良美浦砂は転圧1回以降の計測値である。土質(3), (4) において, 転圧回数8回までは地盤反力係数と締固め度との間に正の相関が見られたが, 転圧12, 16回において地盤反力係数が連続的に低下し, 締固め度との関係が逆転した。土質(5) は転圧2回目から地盤反力係数が低下し続け, 土質(3), (4) とは異なる傾向を示した。石灰, セメント改良美浦砂は地盤反力係数も締固め度も変化量が小さく, 両者の相関は明瞭でなかった。

コアカッターによる締固め度の平均値と, CCVによる加速度応答値との関係を図7に示す。土質(3), (4), (5) は転圧2回以降, 石灰, セメント改良美浦砂は転圧1回以降の計測値である。土質(3), (4) では加速度応答値と締固め度との間に正の相関が見られた。土質(5)でも転圧8回までは土質(3), (4)と同様の傾向であったが, 加速度応答値の変化に対する締固め度の増加量は土質(3), (4)よりも大きかった。石灰, セメント改良美浦砂は加速度応答値も締固め度も変化量が小さく, 両者の相関は明瞭でなかった。

図2の締固め曲線に締固め施工実験で得られた転圧中の乾燥密度と含水比との関係を加筆して図8に示す。土質(3), (4) は転圧8回, 土質(5) は転圧2回で飽和度が概ね80%以上となった。飽和度が小さい転圧初期は地盤反力係数, 加速度応答値と締固め度との間に正の相関が見られるが, 飽和度が大きくなる, つまり密度の増加によって空隙に占める水分の割合が大きくなると, 地盤反力係数の計測値に水の影響(サクシンの低下による剛性低下)が表れ始め, 締固め度との関係が変化したものと考えられる。一方, 石灰, セメント改良美浦砂は含水比が高いために転圧開始時から飽和度が高く, 十分な締固め効果が得られなかった。改良土の配合試験ではコーン指数や一軸圧縮強さなどの強度の目標値を満たすように固化材の混合量を決定するが, 良質な地盤材料と同様の締固め効果を得るためには, 配合試験において含水比や飽和度も考慮して固化材の混合量を検討する必要があるものと考えられる。

4. まとめ

生石灰, セメント系固化材を混合した改良土の締固め施工実験を実施した。本実験の固化材の配合量では, 振動ローラによる転圧に対して締固め度がほとんど上らず, 地盤反力係数や加速度応答値と締固め度との関係は明瞭でなかった。今後は固化材の混合量や地盤材料を変えて同様の試験を行い, 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) 土木研究所: 建設発生土利用技術マニュアル第4版, 2013
- 2) 宮下ら: 建設発生土の利用に関する現場実態調査結果の分析, 第60回地盤工学シンポジウム論文集, pp.153-156, 2016
- 3) 森ら: 盛土施工における締固め特性について(その1), 土木学会第69回年次学術講演会, 2014
- 4) 藤田, 宮武: 大型締固め機械の転圧による土の締固め特性の検証, 土木技術資料 59-2, pp. 26-31, 2017
- 5) 井上ら: 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2), 土木学会第72回年次学術講演会, 投稿中
- 6) 関東地方整備局: 土木工事施工管理基準及び規格値平成27年4月改訂版, 2015

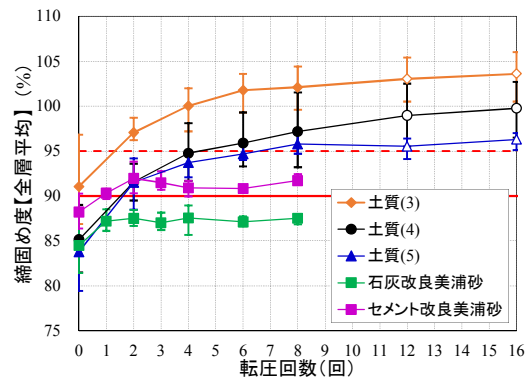


図4 締固め度と転圧回数との関係

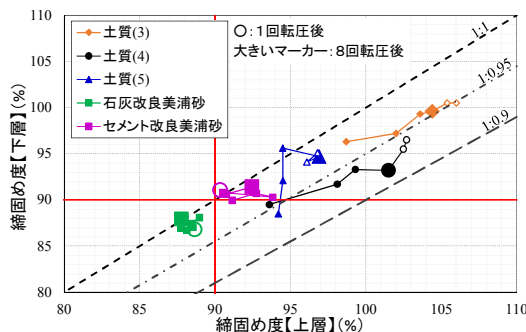


図5 下層と上層の締固め度の関係

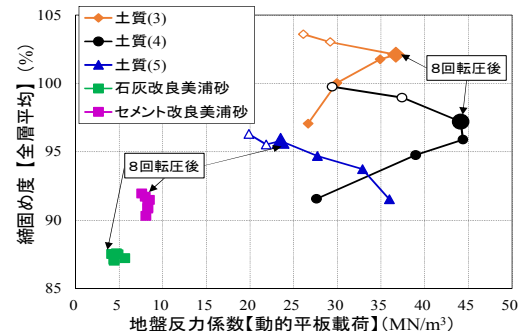


図6 締固め度と地盤反力係数との関係

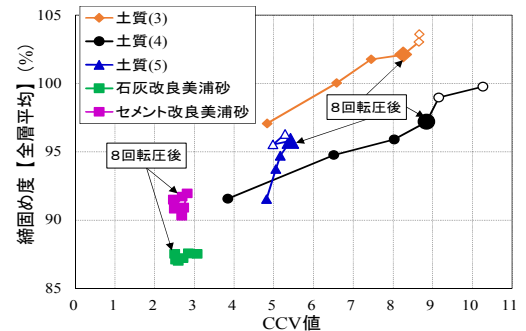


図7 締固め度と加速度応答値との関係

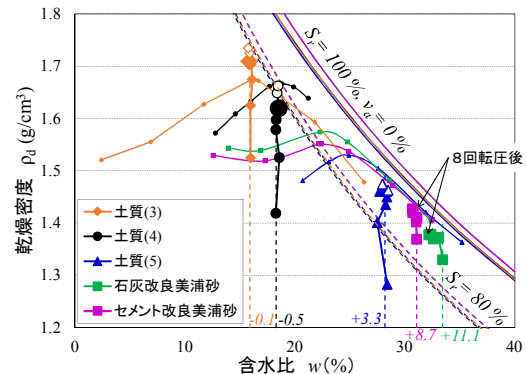


図8 乾燥密度と含水比の関係