

締固めエネルギーの変化が飽和度に及ぼす影響

安藤ハザマ 正会員 ○永井 裕之
安藤ハザマ 正会員 三反畑 勇

1. はじめに

従来の盛土品質管理は、締固め度 (D_c =現場で締固めた土の乾燥密度/基準の締固め試験の最大乾燥密度) を指標とした品質管理 (乾燥密度規定) が主流である。しかし、最大乾燥密度 (そのときの含水比=最適含水比) は締固めエネルギーによって変動する値である上に、通常は現場での締固めエネルギーが不明である。また、標準プロクター ($1E_c$) を基準とした場合、締固め度 $D_c=90\%$ は近代的機械施工では緩い状態であり、一方で最適含水比+数%で過乾王の危険もある。このような背景から、高品質な盛土実現のためには、締固めエネルギーに依存しない新たな盛土品質管理指標が必要であると考えられる。近年、龍岡ら¹⁾の研究により、最大乾燥密度を示す時の飽和度は締固めエネルギーに依存せずに一定であるということが、主に砂・礫質土を対象とした数多くの試験結果から明らかにされた。本研究では、細粒材においても同様の傾向を確認することを目的とし、細粒分を 30~55% 含む材料を対象とした室内締固め試験を実施し、飽和度と締固めエネルギーの関係について調べたので、その試験結果について報告する。

2. 試験条件

(1) 試験材料

室内締固め試験に使用する材料は、細粒材 (降下火山灰質土) と粗粒材 (風化安山岩) の 2 種類である。これらの材料を表 1 に示すように乾燥重量比を変化させて混合し、細粒分含有率 (以下、 F_c) を 30%, 40%, 55% の材料を作成した。その際、細粒材、粗粒材に含まれる 3.75mm 以上の礫は除いて粒度調整を行った。表 1 には材料条件、物性試験の結果、図 1 には粒径加積曲線を示す。

表1 材料条件、物性試験結果

材料名		Fc30	Fc40	Fc55
地盤材料の工学的分類 ²⁾		GFS	GFS	VH ₂
土粒子密度 (g/cm^3)		2.711	2.707	2.698
乾燥重量比 (%)	細粒材	42.5	65	100
	粗粒材	57.5	35	0
含水比 (%)	細粒材	61.8		
	粗粒材	6.4		
液性限界	w _l (%)	62.5	81.5	82.6
塑性限界	w _p (%)	39.2	49.8	50.1
塑性指数	I _p (%)	23.2	31.7	32.5

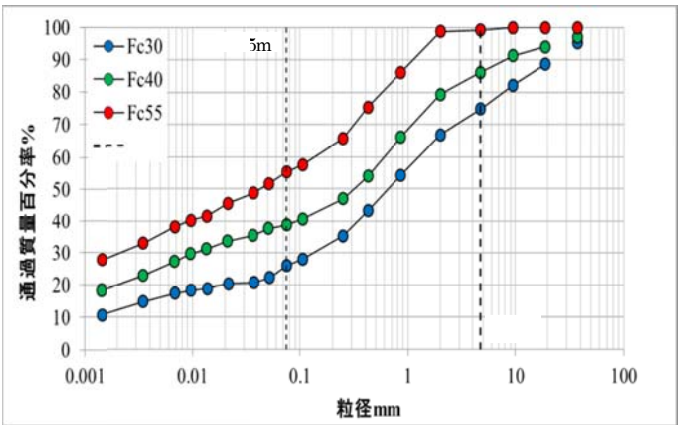


図1 粒径加積曲線

(2) 試験方法

前述の 3 種類の材料を対象に、「突固めによる土の締固め試験方法: JIS A1210」に準拠した室内締固め試験を実施した。各材料において、締固めエネルギー (以下、 E_c) の変化が最適飽和度 (以下、 $S_{r_{opt}}$) に及ぼす影響の確認を目的とし、 E_c は $1E_c$, $2E_c$, $4.5E_c$ の 3 種類に設定した。締固め試験の仕様を表 2 に示す。

なお、 $S_{r_{opt}}$ とは、室内締固め試験において最大乾燥密度および最適含水比を示した時の飽和度の値を示す¹⁾。

表2 室内締固め試験仕様

		$E_c=JIS\times 100\%$	$E_c=JIS\times 200\%$	$E_c=JIS\times 450\%$
試験方法		A-c法	—	C-c法
		湿潤法、非繰返し法	湿潤法、非繰返し法	湿潤法、非繰返し法
モールド	直径(cm)×高さ(cm)	10×12.7		
	容量(cm^3)	1,000		
ランマー重量(kg)		2.5		
締固め回数(回×層)		25×3	50×3	25×5
落下高さ(cm)		30	30	45

(※) 突固めによる土の締固め試験方法: JIS A1210 に準拠

3. 試験結果

締固めの結果を表 2、図 2~図 7 に示す。なお、図 3、図 5、図 7 は試験結果を飽和度と乾燥密度の関係で表示した曲線である。図中には最適飽和度の平均値を示すライン (図中の点線) を記載した。

(1) Fc30 の試験結果

図 2 より最適飽和度の平均値 85% の曲線は、各 E_c 曲線の最大乾燥密度 (最適含水比) を通ることが確認できる。図 3 (乾燥密度と飽和

度の関係)では、飽和度が60%~100%の範囲において、Ecが異なる3つの曲線は類似の形状を示した。表4に試験結果一覧表を示すが、各Ecの $S_{r_{opt}}$ の変動幅は $\pm 1.3\%$ であった。なお、飽和度が $S_{r_{opt}}$ よりも5%以上大きくなると急激に乾燥密度が低下している。

(2) Fc40の試験結果

Fc30と同様に、最適飽和度の平均値90%のライン(図中の点線)は各Ec曲線の最大乾燥密度付近を通ることが確認された。そして、図5の飽和度60%~100%の範囲において、各Ec曲線の形状はほぼ類似している。各Ecの $S_{r_{opt}}$ の変動幅は $\pm 1.4\%$ であった。なお、飽和度が $S_{r_{opt}}$ よりも5%以上大きくなると急激に乾燥密度が低下している。

(3) Fc55の試験結果

Fc40と同様に、最適飽和度の平均値90%のライン(図中の点線)は各Ec曲線の最大乾燥密度付近を通ることが確認された。図7の飽和度60%~100%の範囲において、各Ec曲線の形状はほぼ類似している。各Ecの $S_{r_{opt}}$ の変動幅は $\pm 2.2\%$ であった。なお、飽和度が $S_{r_{opt}}$ よりも5%以上大きくなると急激に乾燥密度が低下している。

(4) 締固め度と飽和度の関係

全ての試験結果を締固め度と飽和度の関係で示したグラフが図8である。縦軸を締固め度($D_r = \rho_d / \rho_{d_{max}}$)、横軸を最適飽和度と飽和度との差($S_r - S_{r_{opt}}$)でプロットすることで、各曲線の形状を比較しやすく表示した。図より、Fc, Ecの変化によらず曲線の形状がほぼ一致していることが確認された。

表3 試験結果一覧表

材料		Fc30			Fc40			Fc55		
		1Ec	2Ec	4.5Ec	1Ec	2Ec	4.5Ec	1Ec	2Ec	4.5Ec
最大乾燥密度 $\rho_{d_{max}}$	g/cm ³	1.436	1.532	1.653	1.291	1.335	1.451	1.018	1.115	1.27
最適含水比 w_{opt}	%	27.4	24.5	20	35.9	33.8	29.2	56.1	48	36.7
最適飽和度 $S_{r_{opt}}$	%	83.7	86.3	84.7	88.6	89.0	91.3	91.7	91.2	87.8
平均値		84.9 $\div$ 85			89.6 $\div$ 90			90.2 $\div$ 90		
最適飽和度の変動幅	%	85 $\pm$ 1.3%			90 $\pm$ 1.4%			90 $\pm$ 2.2%		

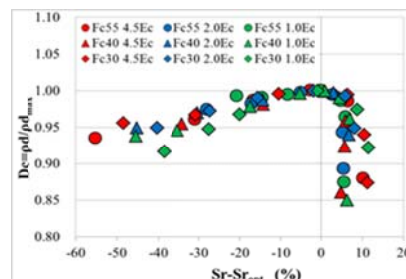


図8 締固め度-飽和度の関係

4. まとめ

本研究では、Ecの変化が飽和度に及ぼす影響を確認するため、Fcを変化させた3種類の材料を対象に3種類のEcで室内締固め試験を実施した。得られた知見を下記にまとめる。

① Ec, Fcの変化が $S_{r_{opt}}$ に及ぼす影響

- (1) Fc40, Fc55の $S_{r_{opt}}$ は90%程度、Fc30の $S_{r_{opt}}$ は85%程度となり、細粒分が多くなるほど $S_{r_{opt}}$ は小さくなる傾向が確認された。
- (2) 各材料ともに、Ecの変化によらず $S_{r_{opt}}$ は $\pm 1\sim 2\%$ の変動幅であり、Ecの変化が $S_{r_{opt}}$ の変化に与える影響が小さいことが示された。
- (3) 締固め度と飽和度の関係を示す曲線は、Fc, Ecによらず形状がほぼ一致していることが確認された。

② 実現場への適応

本研究に使用した材料においては、Ecによらず $S_{r_{opt}}$ はほぼ同等の値を示すため、実施工のEcが不明であっても室内締固め試験で得られた最適飽和度を目標に転写することで、高品質な盛土の施工が可能になると考えられる。今後は、Ecによらず $S_{r_{opt}}$ が同等の値を示すことを多種の材料で確認し、 $S_{r_{opt}}$ を指標とする新たな盛土品質管理の確立を目指す。

- 【参考文献】1)龍岡文夫, 藤代健司, 須藤雅人, 建山和由, 根本忠: 乾燥密度と飽和度の関数として締固めた土の物性, 第48回地盤工学研究発表会, pp575-578, 2013
2)地盤工学会: 地盤材料の工学的分類, 地盤材料試験の方法と解説, pp.51-92, 2009