

盛土材料の累積変形特性に影響を及ぼす諸要因に関する繰り返し三軸圧縮試験

鉄道総合技術研究所

(正) ○中島進, 白根岳, 藤本 達貴, 笠原康平

**1. はじめに** 近年、盛土の要求性能と締固め程度を関連付けた合理的な締固めに関する研究が進められている<sup>1)</sup>。本研究では、鉄道盛土として重要な列車荷重による累積変形特性に影響を及ぼす諸要因について、繰り返し三軸圧縮試験により分析した内容を報告する<sup>2)</sup>。

**2. 試験条件** 本研究に用いた土試料の粒度分布、締固め曲線を図-1、図-2に示す。図-1、図-2に示したA、B、Cは、関連基準<sup>3)</sup>における土の分類である。A群は変位制限が厳しい盛土、B群は一般的な盛土の建設に使用可能な材料であり、C群は未処理では盛土施工に使用不可能な材料である。

供試体寸法は直径 $\phi=100\text{mm}$ 、高さ $H=200\text{mm}$ である。締固めエネルギー $4.5E_c$ の締固め試験で得られる最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ に対する所定の締固め度 $D_c$ において目標の飽和度になるように、含水比調整を行った土試料を突き固めて作製した。供試体作製後、三軸セル内に設置し、負圧により供試体を $\sigma_c=50\text{kPa}$ まで等方圧密した後に、排気・排水条件で繰り返しせん断を行った。繰り返しせん断では、初期せん断を $q=90\text{kPa}$ 、応力振幅 $\Delta q=180\text{kPa}$ に設定した<sup>3)</sup>。載荷周波数は $0.5\text{Hz}$ であり、初期せん断、繰り返しせん断初期の軸差応力の時刻歴の例を図-3に示す。

表-1 に試験条件および結果の一覧を示す。表中のTest nameは、土の分類、締固め度、供試体作製時の飽和度を順番に示している。また、飽和度の後に「\_sat」とある試験は、土構造物の供用過程での湿潤・飽和化の影響を模擬して圧密前に供試体を飽和させた条件である。さらに、筆者らは豪雨時の盛土崩壊により生じる高含水崩壊土砂を石灰添加により脱水改良し盛土復旧を行うこと

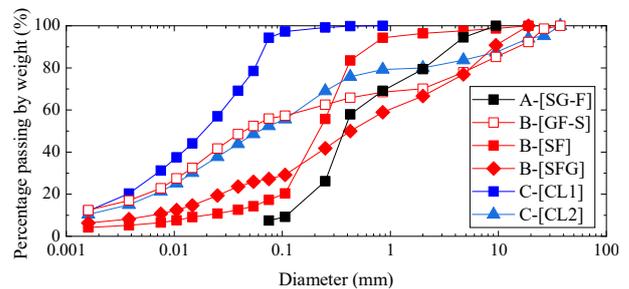


図-1 試験対象土試料の粒度分布

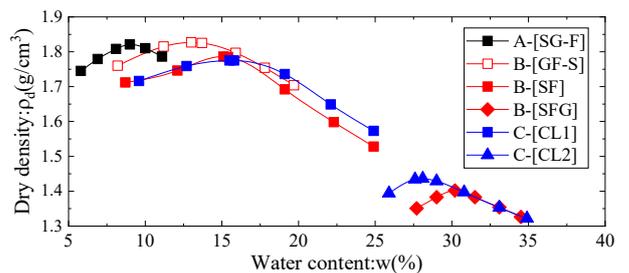


図-2 試験対象土試料の締固め曲線

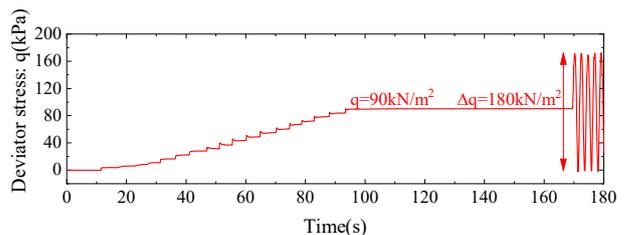


図-3 繰り返しせん断時の時刻歴の例

表-1 試験条件および結果の概要

Test name	Soil	$\rho_{dmax}$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	$w_{opt}$ (%)	$D_c$ (%)	$S_{r(OPT)}$ (%)	$S_{r(COM)}$ (%)	$S_{r(SH)}$ (%)	$E_{0.1\%}$ (MPa)	$\epsilon_v[\text{gap}]$ (%)
A-[SG-F] Dc90 Sr(38)	A-[SG-F]	1.821	9.0	90	53	38	39	30	2.01
A-[SG-F] Dc90 Sr(45)	A-[SG-F]	1.821	9.0	90	53	45	45	27	3.70
A-[SG-F] Dc90 Sr(52)	A-[SG-F]	1.821	9.0	90	53	52	50	28	5.40
A-[SG-F] Dc90 Sr(59)	A-[SG-F]	1.821	9.0	90	53	59	50	23	5.46
B-[SF] Dc90 Sr(61)	B-[SF]	1.786	15.1	90	82	61	61	67	0.62
B-[SF] Dc95 Sr(61)	B-[SF]	1.786	15.1	95	82	61	61	73	0.42
B-[SF] Dc95 Sr(75)	B-[SF]	1.786	15.1	95	82	75	75	60	0.65
B-[SF] Dc95 Sr(83)	B-[SF]	1.786	15.1	95	82	83	81	54	0.58
B-[SF] Dc95 Sr(64) sat	B-[SF]	1.786	15.1	95	82	64	98	64	0.64
B-[SF] Dc95 Sr(71) sat	B-[SF]	1.786	15.1	95	82	71	88	65	0.55
B-[SF] Dc95 Sr(83) sat	B-[SF]	1.786	15.1	95	82	83	85	53	1.36
B-[SF] Dc90 Sr(70) Lime	B-[SF] L	1.386	27.0	90	79	70	70	228	0.13
B-[SFG] Dc90 Sr(71)	B-[SFG]	1.402	13.0	90	89	71	72	51	3.79
B-[GFS] Dc90 Sr(58)	B-[GFS]	1.827	30.2	90	74	58	52	105	0.28
C-[CL1] Dc95 Sr(59)	C-[CL1]	1.775	15.5	95	80	59	61	124	0.35
C-[CL1] Dc95 Sr(69)	C-[CL1]	1.775	15.5	95	80	69	67	91	0.53
C-[CL1] Dc95 Sr(80)	C-[CL1]	1.775	15.5	95	80	80	80	54	2.10
C-[CL1] Dc98 Sr(79)	C-[CL1]	1.775	15.5	98	80	79	82	66	1.35
C-[CL1] Dc95 Sr(59) sat	C-[CL1]	1.775	15.5	95	80	59	78	41	11.60
C-[CL2] Dc95 Sr(74)	C-[CL2]	1.436	28.1	95	93	74	73	48	0.54
C-[CL2] Dc95 Sr(83)	C-[CL2]	1.436	28.1	95	93	83	83	46	1.33
C-[CL2] Dc95 Sr(93)	C-[CL2]	1.436	28.1	95	93	93	81	32	13.89
C-[CL1] Dc90 Sr(68) Lime	C-[CL1] L	1.552	22.3	90	83	68	68	163	0.23
C-[CL1] Dc95 Sr(76) Lime	C-[CL1] L	1.552	22.3	95	83	76	75	171	0.21

$\rho_{dmax}$ :最大乾燥密度、 $w_{opt}$ :最適含水比、 $D_c$ :締固め度、 $S_{r(OPT)}$ :最適飽和度、 $S_{r(COM)}$ :締固め完了時の飽和度、 $S_{r(SH)}$ :せん断終了後の飽和度、 $E$ :初期載荷時の剛性、 $\epsilon_v[\text{gap}]$ :20回載荷後のひずみ

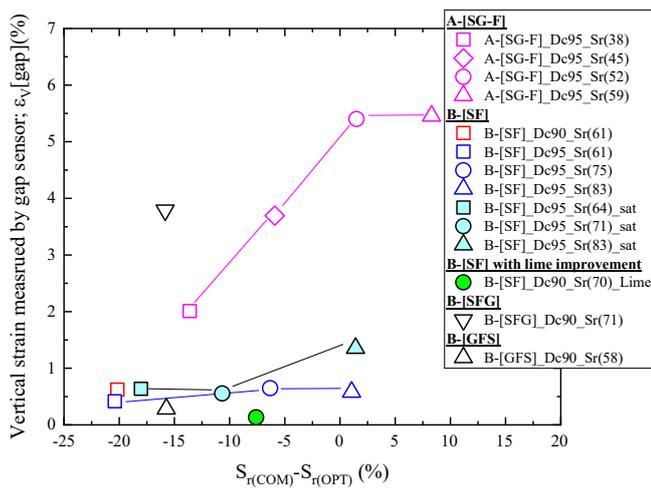


図-4 締固め時飽和度と累積鉛直ひずみの関係 (A・B群)

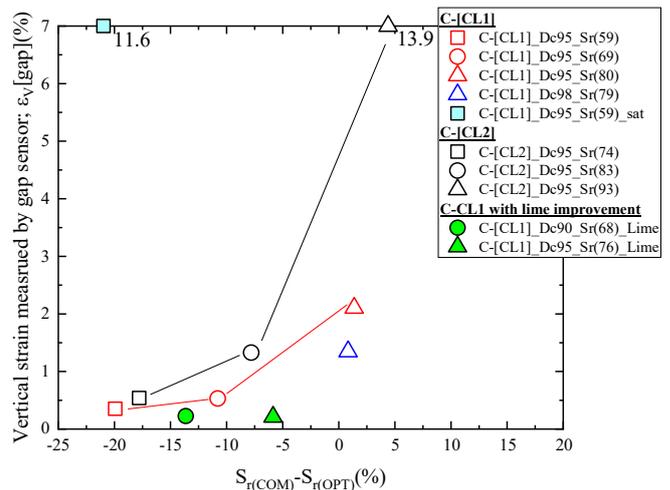


図-5 締固め時飽和度と累積鉛直ひずみの関係 (C群)

も検討している。そこで、液性限界以上の含水状態にある土試料に石灰を混ぜ、一定期間養生した後も試験を実施した。これらのケースでは、表-1中のTest nameにおいて石灰改良であることを明示するため、飽和度の後に「\_Lime」と表記している。初期含水比  $w_0$ 、土の乾燥質量に対する石灰添加率  $a$  はSFにおいて  $w_0=35\%$ 、 $a=15\%$ 、CL1において  $w_0=40\%$ 、 $a=20\%$ である。

**3. 試験結果および考察** 締固め時の含水状態と累積鉛直ひずみの関係を図-4、図-5に示す。締固め時の含水状態は、各試料の締固め試験(4.5Ec)における最大乾燥密度・最適含水比から定まる最適飽和度  $S_{r(OPT)}$ と供試体作製時の飽和度  $S_{r(COM)}$ との差分 ( $=S_{r(COM)}-S_{r(OPT)}$ )として示している。また、累積鉛直ひずみは、図-3に示す繰り返し載荷開始時から20万回載荷時のピーク状態までのひずみ増分でGap sensorによる計測値である。なお、同図では相对比较を容易とするために鉛直ひずみの上限値を7%としているが、これを超過するひずみが生じたケースについては、表-1に示した実際の累積ひずみの値をプロット脇に示している。

図-3より、A群とB群材の比較では、平均的にはB群材料の累積変形が小さい傾向にあるが、A群材は砂質土一種類のみであり、今後多様な土を用いた検討が必要である。また、B群材料の中でも同等の飽和度、締固め度でも累積変形の大小は顕著に異なる。一方、図-4と図-3の比較により、C群材料については[CL1]はB群材料の[SF]と概ね同程度の累積変形であるが、[CL2]は相対的に飽和度が高くなるにつれて変形量が増大する傾向にあり、結果的に非常に大きな累積変形が生じた。また、両図より明らかのように、B群材、C群材ともに同じ飽和度で比較すると、締固め度が高い方が累積変形は小さい。

飽和度の影響については、 $S_{r(COM)}$ が  $S_{r(OPT)}$ に対して乾燥側であるほど累積変形量が小さく、 $S_{r(COM)}$ が増加するに従い、累積変形量が増大する傾向にある。これはA~C群の全てについて言えるが、その度合いはC群材料において特に顕著である。同様に、圧密前に飽和させた一部のケース(表-1中、ケース名の末尾に「\_sat」と記載)を同一締固め度で不飽和状態のまません断した供試体と比較すると、飽和した供試体の方が大きな累積変形を示している。また、飽和による累積変形の増大はC群材料においてより顕著である。

また、石灰改良した供試体では、改良前の供試体よりも累積変形量が小さい。これは、高含水土砂を石灰で脱水改良し、盛土の再構築に利用する際に、列車荷重を受ける範囲にも使用可能なことを示唆する結果である。

**4. おわりに** 累積変形に影響を及ぼす諸要因について分析するために、繰り返し三軸圧縮試験を実施した。その結果、同じ締固め度でも、締固め時飽和度が低いほど累積変形は小さく、飽和度の増加とともに累積変形が増加し、その傾向は細粒分の多いC群材料ほど顕著であることを確認した。一方で、本検討の範囲では関連基準における群分類の違いと累積変形の大小の相関は限定的であった。なお、本研究は国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。

**参考文献** 1) 龍岡ら：盛土の締固め管理における飽和度とエネルギーの管理の意義、第54回地盤工学研究発表会、pp.703-704、2019、2) 白根ら：飽和度が累積変形特性に及ぼす影響についての基礎的研究、第75回土木学会全国大会、2020 3) 鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物、2007。