

# 崩壊土砂を用いた盛土の施工管理指標

笠原 康平\* 中島 進\* 藤本 達貴\*\* 富田 佳孝\*

## Indices of Construction Management for Embankment Using Collapsed Soil

Kohei KASAHARA Susumu NAKAJIMA Tatsuki FUJIMOTO Yoshitaka TOMIDA

Recently, some embankments often collapse due to heavy rain. In those cases, it is difficult to compact them again, because the collapsed soil contains a large amount of water. In addition, since existing aged embankments often consist of materials that don't obey the current regulations, purchased soil is used for restoration. Therefore, the traditional restoration method produces problems in terms of construction period and cost. In this paper, for the purpose of shortening the restoration period and reducing the restoration cost, we propose new indices of construction management and a new management method for utilizing collapsed soil according to the characteristics of the soil material.

キーワード：盛土，崩壊土砂，締固め，飽和度，石灰改良，施工法

### 1. はじめに

近年、豪雨等により盛土が崩壊する例が数多く発生している。盛土が豪雨で崩壊した場合、崩壊後の土砂は多量の水を含むため、崩壊土砂を再度締固めて復旧することは困難である。また、既設盛土の多くは、材料規定や施工管理規定が整備される以前に構築されているため、現行の土構造標準<sup>1)</sup>の規定を満足しない材料（以下、不適合材料と呼ぶ）からなる場合が多い。このような理由から、被災後の盛土の復旧には購入土が使用される場合が多く、工期やコスト、環境負荷の面で課題があった。

一方、盛土の安定処理工法の1つに石灰改良があり、土の安定性や強度を増加させるとともに、脱水効果により締固め時の施工性を向上させることが知られている<sup>2)</sup>。しかしながら、従来の石灰改良は主に土の強度増加を期待したものであり、石灰添加率を定める配合強度試験を行う必要があるため、迅速な施工が要求される災害復旧では採用されないことが多かった。

また、盛土の材料規定に関して、現行の土構造標準では、表1のように土構造物の重要度等により定まる性能ランクに応じて、使用可能な盛土材料と締固め度が定められている。これらの材料規定や施工管理の基準値は過去の経験や実証試験に基づき設定されているが、最近の研究では、締固め度および飽和度が盛土の強度と高い相関性があることが確認されている<sup>3)</sup>。そのため、この知見を活用して不適合材料の締固め度—飽和度—強度の関係性を定量的に評価することができれば、不適合材料とされている崩壊土砂

を再利用する場合の施工管理法を提案できる可能性がある。

以上のような背景・課題を踏まえて、本稿では、崩壊土砂を再利用するための盛土の施工管理指標として、高含水状態の土を再利用するための石灰改良法、および締固めによる強度増加を活用した崩壊土砂の施工管理法を提案したので報告する。本稿で提案する石灰改良法は、石灰による強度増加を期待せず、脱水効果の観点から石灰添加率を定めているため、従来必要であった配合強度試験を省略することができる。また、崩壊土砂の施工管理法は、締固め度—飽和度—強度の関係性に着目した施工管理法であり、崩壊土砂が不適合材料の場合でも締固め度を向上させることで再利用が可能となる。

本稿では、これらを提案するにあたり、まず2章において既設盛土の実態調査を行う。次に3章で、三軸圧縮試験および施工試験を行い、締固め度および飽和度が盛土の強度・剛性に及ぼす影響を検討するとともに、締固め効果の定量化を図る。さらに、これらの実験結果を踏まえて、4章で崩壊土砂を再利用した盛土の施工管理法を提案し、5章で提案法の検証を行う。

### 2. 既設盛土の実態調査

崩壊土砂を再利用した盛土の施工管理法の構築に先立ち、既設盛土の現状を把握するための実態調査を行った。図1は既設盛土917試料<sup>例え(ば)4)</sup>の群分類を分析した結果である。分析の結果、C群以下の材料が全体の58%を占める結果となった。ここで、表1に示す通り、現行規定においてはC群以下の材料は安定処理をしないと上部盛土に適用できない。したがって、既設盛土・崩壊土砂の多くが現行規定を満足しない不適合材料であるという実態が本調査で明らかとなった。

\* 構造物技術研究部 基礎・土構造研究室

\*\* 構造物技術研究部 基礎・土構造研究室（現 鹿島建設株式会社）

表1 鉄道盛土に使用可能な盛土材料と締固め管理の規定

性能 ランク	上部盛土			下部盛土	
	盛土材料	締固め密度比	$K_{30}$ 値	盛土材料	締固め密度比
I	<ul style="list-style-type: none"> <li>・[A 群]</li> <li>・安定処理した [B 群] (細粒分の少ない材料に限る)</li> <li>・産業副産物である再生資源等</li> </ul>	平均値 95%以上 (下限値 92%)	平均値 110MN/m <sup>3</sup> 以上 (下限値 70MN/m <sup>3</sup> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>・[A 群]</li> <li>・安定処理した [B 群] (細粒分の少ない材料に限る)</li> <li>・産業副産物である再生資源等</li> </ul>	礫：平均値 90%以上 (下限値 87%) 砂：平均値 95%以上 (下限値 92%)
II	<ul style="list-style-type: none"> <li>・[A 群], [B 群]</li> <li>・安定処理した [C 群] [D1 群] [V 群]</li> <li>・産業副産物である再生資源等</li> </ul>	平均値 90%以上 (下限値 87%)	・平均値 $70 \leq K_{30} < 110$ MN/m <sup>3</sup> (下限値 50~70MN/m <sup>3</sup> ) ・平均値 110MN/m <sup>3</sup> 以上 (下限値 70MN/m <sup>3</sup> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>・[A 群], [B 群]</li> <li>・安定処理した [C 群] [D1 群] [D2 群] [V 群]</li> <li>・産業副産物である再生資源等</li> </ul>	平均値 90%以上 (下限値 87%)
III	<ul style="list-style-type: none"> <li>・[A 群], [B 群]</li> <li>・安定処理した [C 群] [D1 群] [V 群]</li> <li>・産業副産物である再生資源等</li> </ul>	平均値 90%以上	平均値 70MN/m <sup>3</sup> 以上	<ul style="list-style-type: none"> <li>・[A 群], [B 群], [C 群]</li> <li>・安定処理した [D1 群] [D2 群] [V 群]</li> <li>・産業副産物である再生資源等</li> </ul>	平均値 90%以上 空気間隙率 $v_a$ ・細粒分 50%以上 $v_a \leq 10\%$ ・細粒分 20~50% $v_a \leq 15\%$

なお、C 群以下の材料のうち、液性限界  $W_L$  が 50% を超える土試料は D 群以下に分類され、過去の基準類で噴泥の危険性があることが指摘されている。また、 $W_L$  が 50% 未満でも細粒分が有機物や火山灰質のものは、降雨時に不安定化が顕著となる場合がある。このことから、D 群以下の材料や火山灰や有機物を含む材料は、盛土材料として再利用するのは避けた方が良く考えられる。

以上の実態調査結果や過去の基準類の変遷を踏まえて、今回の提案法で適用対象とする不適合材料は、C 群材料（ただし、火山灰や有機物を含まないもの）とすることとした。

### 3. 崩壊土砂の強度・剛性に関する実験的検討

#### 3.1 三軸圧縮試験

##### (1) 試験材料および試験方法

試験に用いた材料および試験ケースを表 2 に示す。試験に用いた材料は、土構造標準における B 群および C 群に分類される材料である。

試験にあたっては、直径 70mm、高さ 150mm の供試体を製作し、所定の拘束圧 (50kPa・100kPa・150kPa) まで等方圧密した後に、不飽和状態のまま排気・排水条件で単調載荷を行った。また、供試体は最大乾燥密度  $\rho_{dmax}$  が得られる最適飽和度  $S_{ropt}$ <sup>3)</sup>、それよりも乾燥側の  $S_{rl}$ 、湿潤側の  $S_{ru}$  および最適含水比  $w_{opt}$  の条件で作製した。さらに、一部の材料については、降雨により飽和した状態を想定し、飽和条件で試験を行った。なお、各試験ケースにおける  $\rho_{dmax}$  の設定条件は表 2 に示す通りである。

##### (2) 試験結果

試験で得られた強度と締固め度の関係を図 2 に示す。ここで、強度の評価には内部摩擦角  $\phi_{peak}$  を用いた。図 2 に示すとおり、不適合材料である C 群材料でも締固め度を高めることで、適合材料の B 群材料と同等の強度を発揮できることが確認された。

一方、図 3 は飽和時強度残留率（不飽和時の  $\phi_{peak}$  に対する飽和時の  $\phi_{peak}$  の比）と、最適飽和度と供試体飽和度の差分の関係を示している。この図より、不飽和状

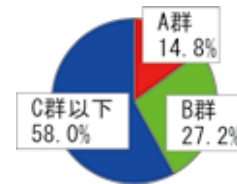


図1 既設盛土の群分類 (全 917 試料)

表2 使用材料と試験ケース

群分類	試料		締固め度 $D_c$	含水・飽和条件
	試料番号	材料		
B 群	試料 1	礫 GF-S	90%, 95%, 98% ( $\rho_{dmax}$ は E 法による)	$S_{rl}$ , $S_{ropt}$ , $S_{ru}$
	試料 2	砂 SFG	90%, 95%, 98% ( $\rho_{dmax}$ は E 法による)	$S_{rl}$ , $S_{ropt}$ , $S_{ru}$
	試料 3	礫 GFS	90%, 95%, 98%, 100% ( $\rho_{dmax}$ は E 法による)	$S_{rl}$ , $S_{ropt}$ , $S_{ru}$
	試料 4	砂 SFG	90%, 95%, 98%, 100% ( $\rho_{dmax}$ は E 法による)	$S_{rl}$ , $S_{ropt}$ , $S_{ru}$
	試料 5	砂 SF	90%, 95%, 98%, 100% ( $\rho_{dmax}$ は E 法による)	$S_{rl}$ , $w_{opt}$ , $S_{ropt}$ , $S_{ru}$
	試料 6	砂 SF	90%, 95%, 98% ( $\rho_{dmax}$ は B 法による)	$S_{rl}$ , $w_{opt}$ , $S_{ropt}$ , $S_{ru}$
	試料 7	砂 SF	90%, 95%, 98% ( $\rho_{dmax}$ は B 法による)	$S_{rl}$ , $w_{opt}$ , $S_{ropt}$ , $S_{ru}$
C 群	試料 8	CL	90%, 95%, 98% ( $\rho_{dmax}$ は E 法による)	$S_{rl}$ , $S_{ropt}$ , $S_{ru}$
	試料 9	CL	90%, 95%, 98% ( $\rho_{dmax}$ は E 法による)	$S_{rl}$ , $w_{opt}$ , $S_{ropt}$ , $S_{ru}$

態から飽和状態になった時の強度低下の割合は、B 群材料よりも C 群材料の方が大きいことが分かった。このことから、C 群材料を用いる場合は、飽和時の強度低下を考慮して施工時の締固め度を割り増すことや、排水対策を適切に行う等の対応が必要と考えられる。

##### (3) 締固め効果の定量化

本節では、三軸圧縮試験結果を元に、締固め効果を定量的に評価可能な強度算定式を提案する。なお、剛性に関しては、施工時に小型 FWD 試験等で比較的容易に確認可能であることを踏まえて、定式化は行わないこととした。

図 4 に B 群材料（稲城砂）の軸差応力—軸ひずみの関係の例を示す。図 4 より、締固め度  $D_c$  を高めることで強度が増加する一方で、締固め時の飽和度が高いほど強度が低下することが分かった。このことから、盛土の締固め効果を定量化するためには、締固め度  $D_c$  と飽和度  $S_r$  の両者を考慮する必要があると考えられる。

締固め度—飽和度—強度の関係性について、B 群材料

である稲城砂を対象に、強度 $\phi_{peak}$ と締固め度 $D_c$ の関係を飽和度 $S_r$ ごとに整理した結果を図5に示す。この図から、飽和度 $S_r$ が一定の場合の $\phi_{peak}$ は、締固め度 $D_c$ の増加に対して概ね線形的に増加することが分かる。図5と同様の整理をB群(砂、礫)およびC群材料に行い、構築した強度算定式を表3に示す。これより締固め度—飽和度—強度の関係性を整理したことで、締固め度、飽和度から得られる強度算定式を構築することができた。本提案式は、拘束圧 $\sigma_3$ の影響を考慮するため、拘束圧50kPaを基本とした補正を行っている。なお、強度算定式に用いる締固め度 $D_c$ の算出は、B群材料の砂をA、B法(1E<sub>c</sub>)とし、B群材料の礫とC群材料をE法(4.5E<sub>c</sub>)によるものとする。

図6に強度算定式を用いた $\phi_{peak}$ の計算値と、三軸試験から得られた $\phi_{peak}$ の実験値の関係を示す。この結果から、計算値と実験値の差は概ね10%前後となっており、提案式によって強度を妥当に評価できていることが確認できる。ただし、図6中の青点について、不適合材料が飽和状態の場合は計算値と実験値の乖離が大きい結果となった。このことから、飽和度の高い土に本式を用いる場合は、施工時に締固め度の割増し等を行う必要があると考えられる。なお、本式を用いた具体的な施工管理方法については5章にて述べることにする。

### 3.2 施工試験

#### (1) 概要

本節では、実施工のように振動ローラー等の転圧機械で盛土を締固めた場合に発揮される強度および剛性を確認するため、小型土槽を用いた施工試験を行った。試験では、締固め度の違いが強度・剛性に及ぼす影響と、高含水状態の崩壊土砂への対応として石灰の脱水効果が強度・剛性に及ぼす影響の2つに着目した。

施工試験は、図7に示す小型土槽(4.5m×4.0m)内に盛土を構築して行った。盛土の1層当たりの仕上がり厚さを30cmとし、盛土高さが1.2mになるよう全部で4層構築した。試験では、B群材料である稲城砂、C群材料である荒木田の2種類の土質材料を用いた。盛土構築時の含水比に関しては、B法(1.0E<sub>c</sub>)またはE法(4.5E<sub>c</sub>)

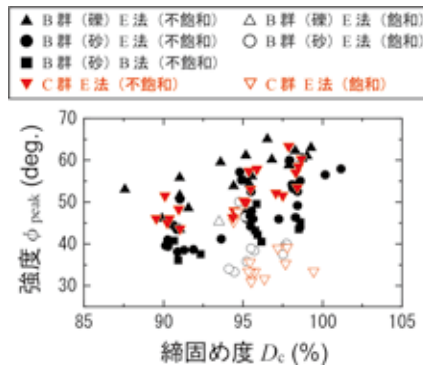


図2 強度と締固め度の関係

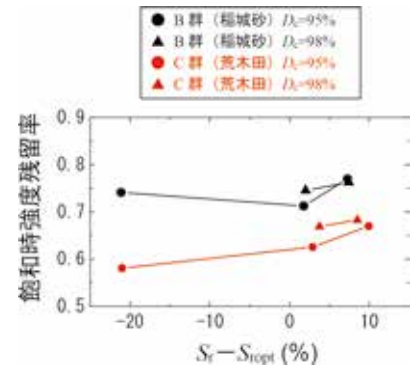


図3 飽和時強度残留率

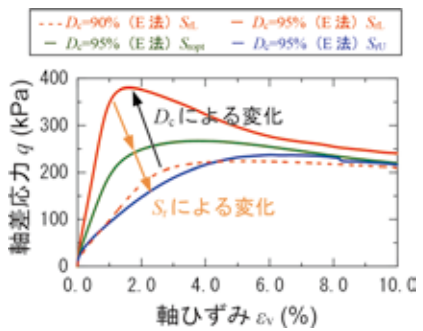


図4 軸差応力と軸ひずみの関係 (B群材料：稲城砂の例)

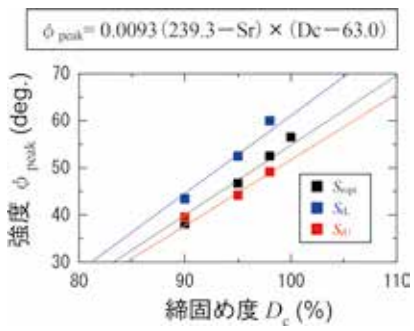


図5 強度と締固め度の関係 (B群材料：稲城砂の例)

表3 強度算定式

群分類	強度算定式
B群(砂)	$\phi_{peak} = (\sigma_3 / 50)^{-0.1833} \times 0.0093 (239.3 - S_r) \times (D_c - 63.0)$
B群(礫)	$\phi_{peak} = (\sigma_3 / 50)^{-0.1658} \times 0.0107 (212.9 - S_r) \times (D_c - 55.9)$
C群	$\phi_{peak} = (\sigma_3 / 50)^{-0.1880} \times 0.0091 (248.0 - S_r) \times (D_c - 60.8)$

※  $\sigma_3$  : 拘束圧 (kPa)

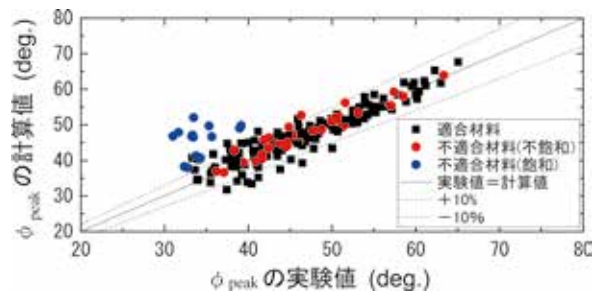


図6  $\phi_{peak}$ の計算値と実験値の比較

による土の締固め試験から得られた最適含水比を目標に含水比調整を行った上で施工を開始した。盛土の施工管理に関しては、締固め度 $D_c$ 、 $K_{30}$ 値、転圧時の沈下量の3項目について、RI計器(締固め度の測定装置)と小型FWD、水準測量で計測を行い、各検討ケースで設定する締固め管理条件を満たすまで振動ローラー等で転圧した。なお、RI計器と小型FWDの計測は1層当たり4測点で、転圧時の沈下量の計測は1層当たり9測点で行った。さらに、盛土を4層構築した後に直径300mmの載

荷板を用いた平板荷重試験を2箇所で行った。

(2) 締固め度の違いに関する検討

締固め度の違いが盛土の強度・剛性に及ぼす影響を検討するため、表4のように土質材料と締固め管理条件を変化させた2ケースで小型FWD、RI計器および平板荷重試験装置を用いた施工試験を行った。なお、前節の要素試験でC群材料の荒木田を $D_c=95\%$ (E法)で締固めた場合、B群材料の稲城砂を性能ランクIIの規定に従って締固めた場合と同等以上の強度・剛性を発揮したことを踏まえて、本試験では荒木田の締固め条件を $D_c=95\%$ (E法)に設定した。

小型FWD試験による $K_{30}$ 値とRI計器による締固め度 $D_c$ の関係を図8に、平板荷重試験による荷重—沈下量関係を図9に示す。ここで、地盤反力係数 $K_{30}$ 値は4測点の平均値を用いており、各層の平均 $K_{30}$ 値を表している。図8に示す試験結果より、CaseA2[荒木田 $D_{ce}95$ ]のように十分に締固めを行うことでC群材料でも性能ランクI(上部盛土)の $K_{30}$ 値の管理規定を満たすことが分かった。さらに図9より、CaseA2[荒木田 $D_{ce}95$ ]の支持力は、性能ランクII(上部盛土)の管理規定に従い施工したCaseA1[稲城 $D_{cb}90$ ]の支持力を上回る結果となった。

(3) 石灰の脱水効果に関する検討

次に、石灰の脱水効果の影響を検討するため、表5のようにB群材料の稲城砂を土構造標準の性能ランクIIの規定に従って締固めた場合と、高含水状態の土質材料(稲城砂および荒木田)を石灰で脱水した後に締固めた場合の強度・剛性を比較した。試験では、高含水状態を模擬するため、まず土質材料に加水を行い、その後に石灰を添加した。加水時の目標含水比は、砂質土であり液性限界が比較的低い稲城砂は $w=35\%$ 、粘性土であり液性限界が比較的高い荒木田は $w=40\%$ に設定した。石灰の添加率(土の乾燥質量に対する比率)は、石灰と水の反応式から得られる理論式<sup>2)</sup>を用いて、石灰添加前の土の最適含水比付近になるまで脱水することを目標に添加率を設定した。具体的には、今回の試験では稲城砂に対して15%、荒木田に対して20%の添加率とした。

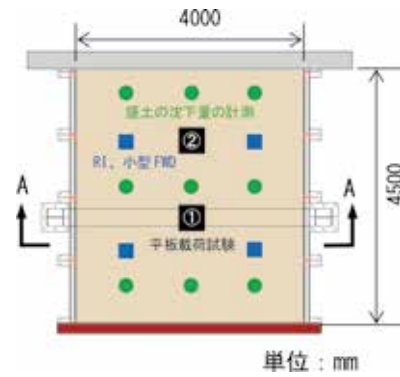


図7 施工試験概要図(単位:mm)

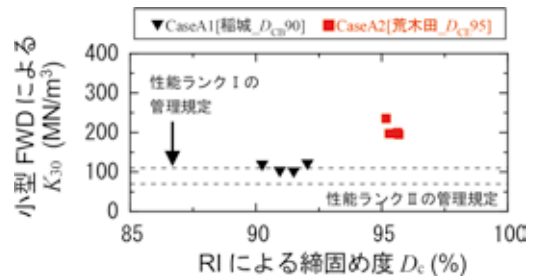


図8  $K_{30}$ と締固め度 $D_c$ の関係

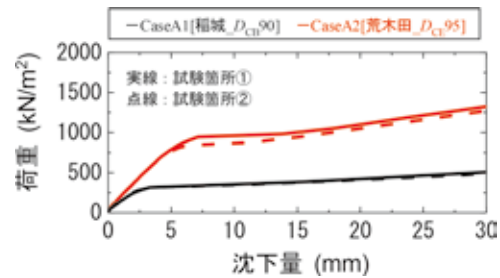


図9 平板荷重試験における荷重—沈下量関係

小型FWD試験による $K_{30}$ 値とRI計器による締固め度 $D_c$ の関係を図10に、平板荷重試験による荷重—沈下量関係を図11に示す。図10、図11より、CaseB2[稲城改良 $D_{cb}95$ ]とCaseB3[荒木田改良 $D_{ce}95$ ]の両者とも、性能ランクII(上部盛土)の管理規定に従って施工したCaseB1[稲城 $D_{cb}90$ ]の $K_{30}$ 値および支持力を

表4 締固め条件検討時の施工管理条件

ケース名	土質材料	締固め管理条件	最適含水比
CaseA1[稲城 $D_{cb}90$ ]	B群: 稲城砂	$D_c \geq 90\%$ (B法) かつ $K_{30} \geq 70\text{MN/m}^3$	16.8%
CaseA2[荒木田 $D_{ce}95$ ]	C群: 荒木田	$D_c \geq 95\%$ (E法)	15.5%

※ 上表の条件に加えて転圧時の沈下が収束していることを確認した。

表5 石灰の脱水効果検討時の施工管理条件

ケース名	材料	締固め管理条件	備考
CaseB1[稲城 $D_{cb}90$ ]	B群: 稲城砂	$D_c \geq 90\%$ (B法) かつ $K_{30} \geq 70\text{MN/m}^3$	
CaseB2[稲城改良 $D_{cb}95$ ]	B群: 稲城砂	$D_c \geq 95\%$ (B法)	石灰で脱水後に施工
CaseB3[荒木田改良 $D_{ce}95$ ]	C群: 荒木田	$D_c \geq 95\%$ (E法)	

※ 上表の条件に加えて転圧時の沈下が収束していることを確認した。

上回る結果となった。なお、図10のCaseB2〔稲城改良 $D_{cB}95$ 〕について、1層のみ $K_{30}$ 値が $312\text{MN/m}^3$ という非常に大きい値を示した。これは、工程の関係で石灰を添加した数日後に該当する盛土層の構築を開始したため、石灰と土の化学反応が促進されて強度・剛性が増加したためと考えられる。

試験結果より、高含水状態のB群・C群材料でも石灰で脱水後に十分締固めを行うことで性能ランクⅡを満足する強度・剛性を確保できる可能性があると考えられる。

#### 4. 崩壊土砂を再利用した施工管理法の提案

本章では、三軸圧縮試験および施工試験を踏まえて、崩壊土砂を再利用した施工管理法について提案する。

提案する盛土崩壊時の施工管理フローを図12に示す。手順としては、まず崩壊した盛土材料の物理試験を実施し、土粒子密度・粒度分布・含水比・締固め特性等を確認する。続いて、粒度分布から判定される群分類に応じ、3.1節に示した強度算定式を用いて、要求される強度に対する必要締固め度を算出する。ここで、崩壊土砂が土構造標準における適合材料である場合には、必要締固め度は土構造標準によることとして良い。続いて、崩壊土砂の含水状態に応じた再利用可否判断を行う。豪雨による崩壊など、崩壊土砂が高含水状態の場合は、転圧を行っても必要締固め度に達することができず過転圧となる場合がある。そこで、含水比が高い場合には石灰改良を行う。再利用可否判定基準の許容含水比 $w_{req}$ は強度算定式や土構造標準から算定した必要締固め度と締固め曲線の交点とし、現場で計測される崩壊土砂の含水比 $w_f$ が許容含水比 $w_{req}$ 以上の時に石灰改良を行った後に盛土の構築を行う(図13)。ここで、石灰の必要添加率は図14に示す算定式<sup>2)</sup>を用いる。

以上が今回提案する盛土崩壊時の施工管理フローである。次節では、本提案手法の妥当性について検証を行う。

#### 5. 提案法の検証

##### 5.1 概要

提案した施工管理法の検証を行うため、列車荷重を模擬した繰返し載荷試験を行った。載荷試験は、非排水のせん断ピット内(幅 $2\text{m} \times$ 奥行 $2\text{m} \times$ 深さ $3\text{m}$ )に上部盛土および軌道部分を構築して行った(図15)。

また、有道床軌道を構築した上で、PCまくらぎ模型( $1,900\text{mm} \times 220\text{mm} \times 149.5\text{mm}$ )に対して鉛直方向の

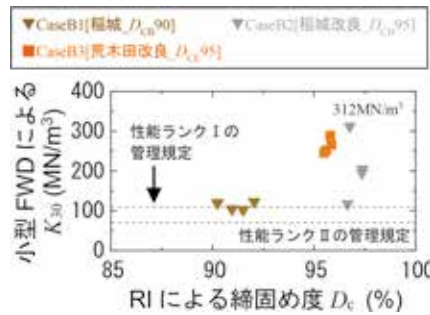


図10 石灰脱水後の $K_{30}$ と締固め度 $D_c$ の関係

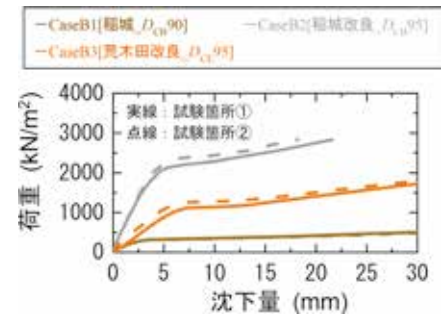


図11 石灰脱水後の平板載荷試験における荷重—沈下量関係

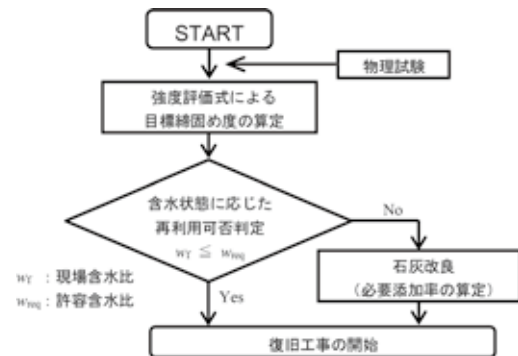


図12 盛土復旧施工管理フロー

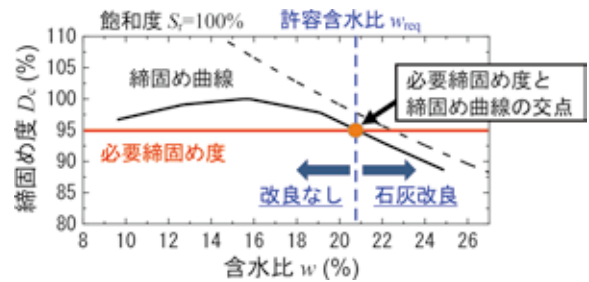


図13 許容含水比の考え方

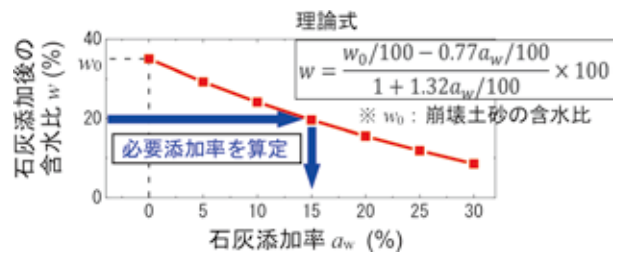


図14 必要添加率の算定<sup>2)</sup>

繰返し載荷を行った。載荷は全ケース200万回とし、1日当たりの載荷回数は20万回(初日のみ25万回)とした。また、載荷時の荷重はEA-17相当になるよう設定し、まくらぎ1本の荷重分担率は、既往研究を参考に軸重の40%程度とした。

100万回載荷終了後は、飽和度上昇時の剛性低下を確認するため、20万回載荷ごとに道床表面から散水した後に載荷を行った。散水量は、土構造標準の排水工の設計に用いる降雨作用の考え方を参考にして、基準雨量を

表6 繰返し載荷試験の試験条件

ケース名	上部盛土	路床保護層	路盤 <sup>a)</sup>	道床
CaseC1	材料	稲城砂 (B群)	-	-
	締固め度	$D_c=90\%$ ( $1E_c$ )		
CaseC2	材料	荒木田 (C群)	M40	道床パラスト
	締固め度	$D_c=90\%$ ( $4.5E_c$ )	$D_c=95\%$ ( $4.5E_c$ )	
CaseC3	材料	荒木田 (C群)	-	-
	締固め度	$D_c=90\%$ ( $4.5E_c$ )		

※ 含水比は最適含水比付近とする

120Lに設定した。その上で、飽和状況を見ながら散水1日目は基準雨量の120L、2、3日目は基準雨量の2倍の240L、4、5日目は基準雨量の3倍の360Lを散水した。

### 5.2 模型仕様

試験条件を表6に示す。まず、CaseC1としてB群材料を現行の土構造標準の規定に従い、締固め度 $D_c=90\%$  ( $1.0E_c$ )で構築した。また、CaseC2は不適合材料であるC群材料を締固め度90% ( $4.5E_c$ )で構築した。なお、CaseC2では、豪雨に伴う路床の剛性低下や泥土化を軽減・防止するため、路床保護層として層厚60cmのM-40を設置した。また、CaseC3はCaseC2において路床保護層を設置しない場合のケースとした。なお、盛土の構築は、層厚30cm毎にRI計器による締固め度、小型FWDによる $K_{30}$ 値により施工管理を行った。載荷時の計測については、まくらぎ両端に変位計を設置して沈下量を計測するとともに、沈下板を用いて地中部の沈下量を計測した。

### 5.3 実験結果

載荷によるまくらぎ沈下量と路床沈下率を図16に示す。まくらぎ沈下量は、動的載荷中の変位増分について、まくらぎ両側の変位計の計測値を平均化して算出した。また、路床沈下率は路床天端に設置した沈下板の沈下量を路床厚さ(路床保護層は除く)で正規化して求めた。

図16より、CaseC1、C2のまくらぎ沈下量は、降雨散水後もほぼ同等の累積変形量を示した。一方で、CaseC3では100万回載荷時までは沈下量が小さいが、降雨散水により沈下量が大きく増加し、200万回載荷時における沈下量は他2ケースよりも大きくなった。

本実験結果より、今回提案する盛土の施工管理法を用いることで、不適合材料でも適合材料とほぼ同等の荷重支持性能を発揮できることが確認できた。ただし、路床保護層がない場合は降雨時の沈下量が大きくなる傾向が見られたため、不適合材料を用いる場合は路床保護層を適切に設置することが必要と考えられる。

## 6. おわりに

本稿では、多様な材料を用いた三軸圧縮試験および施

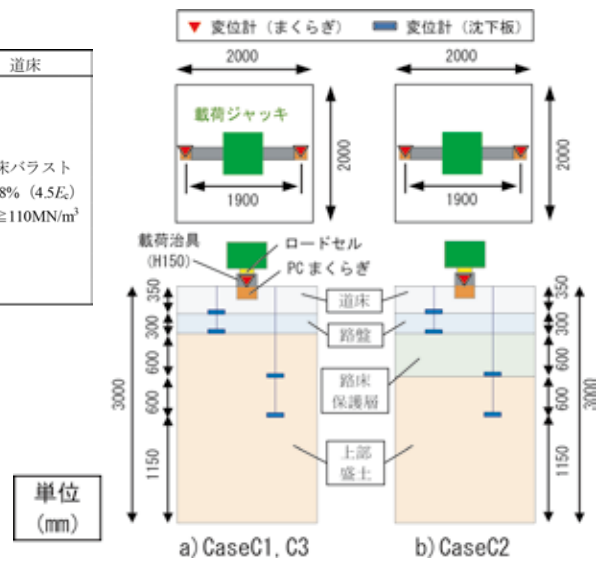


図15 模型仕様および計測器の配置 (上：平面図，下：断面図)

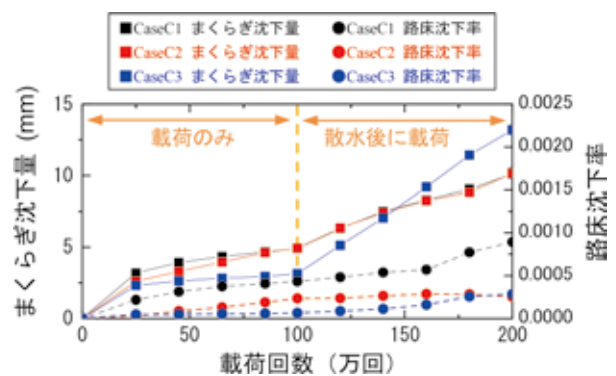


図16 まくらぎ沈下量と路床沈下率の累積傾向

工試験を行い、高含水状態の土を再利用するための石灰改良法および締固めによる強度増加を活用した崩壊土砂の施工管理法を提案した。さらに、列車荷重を模擬した繰返し載荷試験を行い、提案法を用いて構築した不適合材料の盛土が、適合材料の盛土と同等の荷重支持性能を有することを確認した。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。

## 文献

- 1) 国土交通省鉄道局監修，鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物，丸善，2007
- 2) 日本石灰協会：石灰による地盤改良マニュアル第7版，報光社，2016年2月，P17
- 3) 龍岡文夫ら：地盤工学・技術ノート，盛土の締固め1~20回，基礎工，2013年7月号~2015年2月号，2013~2015
- 4) 窪田吾郎：土質試験結果集録，鉄道業務研究資料，第5巻，第6号，1948