

## 累積損傷度理論を用いた盛土の揺すり込み沈下量の評価（その1：中空ねじり試験）

複合技術研究所 正会員 ○鈴木 聡, 太田 剛弘  
 鉄道総合技術研究所 正会員 井澤 淳, 土井 達也, 小島 謙一  
 基礎地盤コンサルタンツ 正会員 山田 眞一, 米岡 威

### 1. はじめに

鉄道盛土の耐震設計では、円弧滑り破壊を前提としたニューマーク法により算出する滑動変位量を、復旧性の限界値以内に収めるように性能照査を行っている<sup>1)2)</sup>。一方、筆者らは遠心振動台実験により、良質な地盤に支持された標準的な形状の盛土では、滑り破壊の前に揺すり込み沈下が卓越し、徐々に硬化すること、滑り破壊に至るまでに過大な地震力が必要になることを確認した<sup>3)</sup>。このため、標準的な形状の盛土では、揺すり込み沈下量を評価することで、より実情に即した耐震設計が可能になると考えられる。盛土の揺すり込み沈下量の評価は、弾塑性FEM解析などの詳細法によるのが望ましいが、必ずしも取扱いが容易ではない。一方、簡易法として、例えば堀井ら<sup>4)</sup>の累積損傷度理論<sup>6)</sup>による手法が挙げられるが、実盛土の沈下量との比較を行った事例は少ない。そのため、本検討では、文献3)における遠心振動台実験の盛土を対象に、累積損傷度理論により揺すり込み沈下量を評価することを目的とした。本稿では、繰り返し中空ねじり試験を行い、揺すり込み沈下量を算定するのに必要な盛土材の累積ひずみ特性を求めた。

### 2. 試験概要

本試験に用いる試料は、遠心実験で使用した含水比16%の江戸崎砂である。江戸崎砂は、平均粒径0.29mm、細粒分含有率7.8%の砂で、鉄道構造物等設計標準 同解説 土構造<sup>7)</sup>では、土質3の低品質な盛土材料に相当する。供試体は、突固めにより締固め度 $D_c=85\%$ （乾燥密度 $\rho_d=1.422\text{g/cm}^3$ ）になるように作製した。作製した供試体の寸法は、外径7cm、内径3cm、高さ7cmである。繰り返し載荷試験の試験条件を表1に示す。供試体作製後、初期拘束圧 $\sigma_r=40\text{kPa}$ を等方に作用させた。その後、初期せん断応力を表現するため軸方向に $\sigma_s=34.3\text{kPa}$ 、 $60\text{kPa}$ を作用させ、盛土の自重応力状態における異方性を考慮した。これらの $\sigma_r$ 、 $\sigma_s$ の値から本試験の初期せん断応力比は、 $SR_s=\sigma_s/2\sigma_m=0.333$ 、 $0.500$ となる。その後、鉛直応力を一定に保ちながら、排気（排水）条件で正弦波により200回の繰り返し載荷を行った。繰り返し載荷試験の載荷パターンを図1に示す。試験に用いる正弦波は、周波数0.1Hz、応力振幅を $\tau_d=5\text{kPa}$ 、 $15\text{kPa}$ 、 $25\text{kPa}$ の3パターンとした。

### 3. 累積ひずみ特性の算出

繰り返し回数ごとの最大軸ひずみ（累積ひずみ）との関係を図2に示す。動的せん断応力 $\tau_d$ が同じでも初期せん断応力 $\tau_s$ が大きいくほど累積ひずみは大きくなるのがわかる。また、図中の赤線はロジスティック曲線で近似した結果を示しているが、どの試験結果についても図中の近似式でモデル化できるのがわかる。これらの結果は、過去に累積ひずみ特性の算出を目的に実施している室内繰り返し三軸試験結果<sup>4)</sup>と同様の傾向を示していることから、

キーワード 盛土、累積損傷度理論、揺すり込み沈下量

連絡先

〒160-0004 東京都新宿区四谷1-23-6 (株)複合技術研究所 TEL 03-5368-4101

表1 試験条件

$\sigma_r$ (kPa)	40					
$\sigma_s$ (kPa)	34.3			60.0		
$\sigma_m$ (kPa)	51.4			60.0		
$SR_s=\sigma_s/2\sigma_m$	0.333			0.500		
$\tau_d$ (kPa)	5	15	25	5	15	25
$SR_d=\tau_d/\sigma_m$	0.097	0.292	0.486	0.083	0.250	0.417

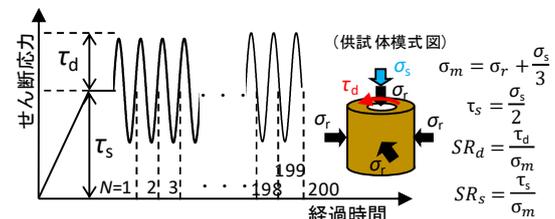


図1 本試験の載荷パターン

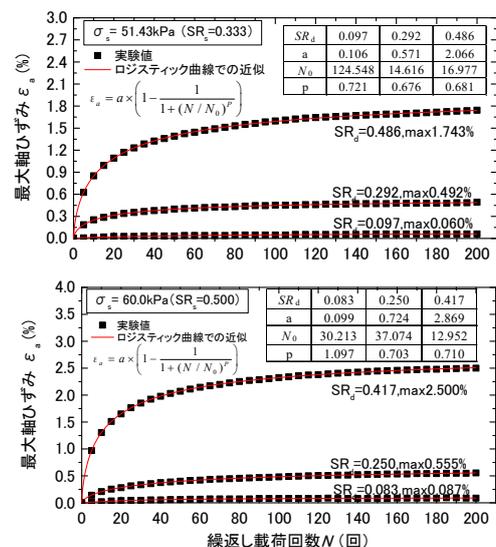


図2 繰り返し回数Nと軸ひずみ $\epsilon_a$ との関係

本検討では累積ひずみ特性を堀井ら<sup>5)</sup>の手法により構築することとした。構築した実験式を下記に示す。

$$SR_d = B \varepsilon_a^A \quad (1) \quad A = 0.31N^{0.05} \quad (2)$$

$$B = (0.871 - 15.32SR_s^{5.4})N^{-0.127} \quad (3)$$

まず、図2のロジスティック曲線の近似式を用いて繰り返し回数ごとに軸ひずみ  $\varepsilon_a$  を求め、動的せん断応力比  $SR_d$  と  $\varepsilon_a$  の関係を式(1)の累乗関数による近似で求めた(図3参照)。次に図3で求めた係数  $A$  と  $B$  の積を係数  $E$  とおき、係数  $A$  と  $E$  について繰り返し回数  $N$  との関係プロットし、それぞれ累乗関数で近似した。(図4参照) 係数  $A$  は  $SR_s$  の違いにより変動する結果となったが、本検討では、堀井ら<sup>5)</sup>の手法に従い  $SR_s=0.333$  と  $0.500$  の結果を平均して、式(2)を求めた。係数  $E$  と  $N$  の近似式を  $E=gN^h$  と定義すると、係数  $g$  は  $SR_s$  との関係から設定し、係数  $h$  は  $SR_s=0.333$  と  $0.500$  の結果の近似式の平均値( $h=-0.077$ )とした。係数  $g$  と  $SR_s$  の関係を図5に示す。以上より係数  $E$  は、 $E=(0.27 - 4.75SR_s^{5.4})N^{-0.077}$  となる。最後に係数  $E$  の式を式(2)で除して、式(3)を求めた。本検討で構築した実験式による累積ひずみごとの  $SR_d$  と  $N$  の関係を図6に示す。図6の  $SR_d \sim N$  曲線に実験値をプロットすると、 $SR_s=0.333$  では実験値より累積ひずみが小さく算出される傾向がある。それとは逆に、 $SR_s=0.500$  の  $SR_d \sim N$  曲線では実験値より累積ひずみが大きく算出される傾向がある。これらのばらつきは、係数  $A$  と  $h$  に  $SR_s=0.333$  と  $0.500$  の結果の平均値を用いたことが大きな要因として挙げられる。そのため、係数  $A$  と  $h$  を  $SR_s$  の関数とすることで  $SR_d \sim N$  曲線がより改善できると考えられる。この点については今後の課題である。

4. まとめ

遠心振動台実験を行った標準形状の盛土に対して、累積損傷度理論により揺すり込み沈下量を評価するため、中空ねじり試験を行い、累積ひずみ特性を求めた。次稿では本稿で求めた累積ひずみ特性を用いて累積損傷度理論による揺すり込み沈下量を算定する。

参考文献

- 1) (公財) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物，2007.
- 2) (公財) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，2012.
- 3) 鈴木ら：地震時の滑り破壊前の盛土の損傷レベル評価に関する遠心振動台実験その1，第55回地盤工学研究発表会，2020。(投稿中)
- 4) 平野ら：砂質土盛土材の変形特性・累積歪特性，土木学会第52回年次学術講演会，1997.
- 5) 堀井ら：砂質土盛土の地震による残留沈下予測，土木学会第52回年次学術講演会，1997.

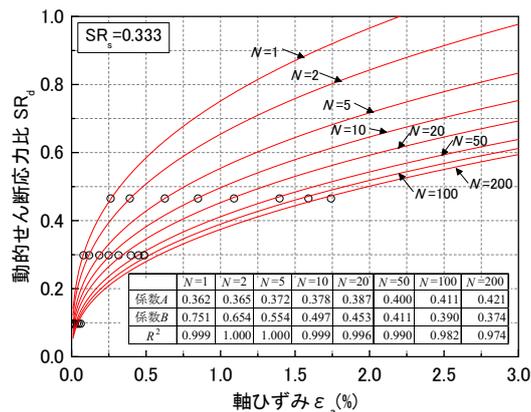


図3 SR<sub>d</sub>とε<sub>a</sub>の関係(SR<sub>s</sub>=0.333)

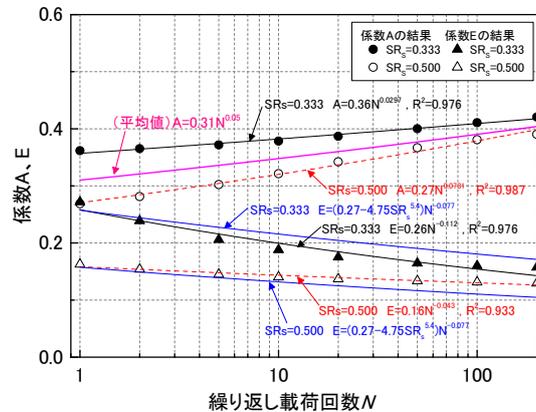


図4 係数 A, E と N の関係

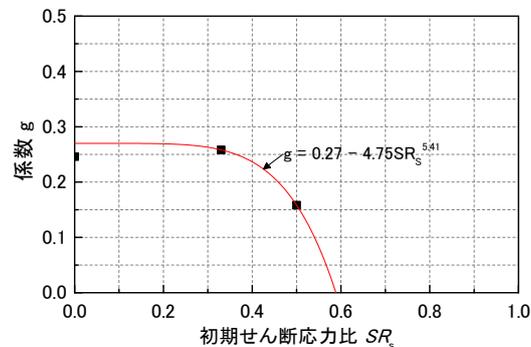


図5 係数 g と SR<sub>s</sub> の関係

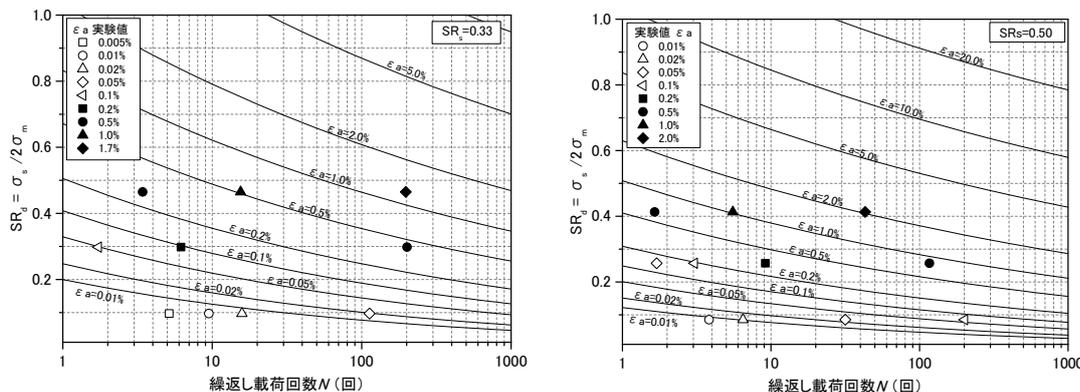


図6 繰返し回数 N と SR<sub>d</sub> との関係