

構造物背面盛土における地震時段差の評価法に関する検討（その1 繰返し変形特性の定式化）

構造物背面盛土 繰返し変形特性 定式化

国立研究開発法人 土木研究所 正 会 員 ○東 拓生  
 国立研究開発法人 土木研究所 国際会員 佐々木哲也  
 国立研究開発法人 土木研究所 正 会 員 加藤 俊二  
 国立研究開発法人 土木研究所 正 会 員 佐々木直也

1. はじめに

橋梁などの構造物背面の盛土は、地震時の段差発生により交通機能を阻害することがあり、平成 23 年東北地方太平洋沖地震等では、復旧・交通開放まで4日以上要した事例も報告されている。また近年、橋長の抑制によるコスト縮減や発生土の有効活用などを目的とした「盛りこぼし橋台」の背面の盛土高が高いものに顕著な段差が報告されている。このような構造物背面の地震時の変形量の実務的な評価方法の確立を目指している。

本文では、地震時変形量の評価方法として、ひずみ軟化理論<sup>1)</sup>を用いた自重解析手法の適用を目指し、不飽和盛土材料の繰返し変形特性を把握するために不飽和・排気・排水による繰返し三軸試験を行い、繰返し変形特性の定式化を行った結果について報告する。

2. 不飽和・排気・排水による繰返し三軸試験

前述のひずみ軟化理論を用いた自重解析で、過年度行った遠心模型実験<sup>2)</sup>を再現することを想定し、この遠心模型実験で使用した盛土材料について繰返し三軸試験を行うこととした。図-1 に試験に用いた盛土材料（江戸崎砂）の物性を示す。

試験は、表-1 に示すとおり締固め度を3段階、繰返し軸差応力を3段階に変化させ、9 供試体に対して行った。

供試体は、盛土材料を所定の含水比に調整した後、所定の締固め度となるよう突き固めによりφ50mm×100mm の寸法で作成した。これを三軸試験装置に取り付け、所定の圧密応力で圧密した後、排気・排水条件で繰返し軸差応力を繰返し回数最大 800 回加えた。繰返し载荷中は、軸差応力を外部ロードセルにより、軸ひずみを外部変位計により計測した。

図-2 に計測された軸差応力と軸ひずみの時刻歴の例を示す。繰返し変形特性として、本来は初期せん断応力を作用させようとして繰返しせん断応力を载荷する試験を行い、初期せん断応力の違いの影響も含めた定式化を行うべきである。しかしながら、そのためには供試体本数が多く必要となり実務的でないとともに、本研究で対象としている盛土の段差（天端沈下量）の評価にあたっては、初期せん断の違いの影響は大きくないことから、ここでは初期せん断応力は载荷しない試験方法とした。ただし、繰返し軸差応力を圧縮・引張均等に载荷した場合、条件によっては繰返し回数に応じて軸ひずみが増大しないことがあったため、本試験では図-2 のとおり圧縮方向への片振りの载荷方法とした。繰返し応力比  $SR_d$  は、図-2 のとおり片振りの振幅とした。

3. 不飽和盛土材料の繰返し変形特性の定式化

前項の試験で得られた繰返し応力、軸ひずみ、繰返し回数について、ひずみ軟化理論に基づく計算を行うための定式化を行った。

定式化は堀井ら<sup>3)</sup>の手法に従った。まず、計測された軸差応力、軸ひずみをパルスに変換し、図-3 のとおり繰返し回数とパルスの最大軸ひずみの関係を求めた。図-3 のとおり繰返し応力比  $SR_d$  を大きくすると、少ない繰返し回数で軸ひずみが伸長し、その傾向は、締固め度が低いほど顕著となっている。これらの関係をロジスティ

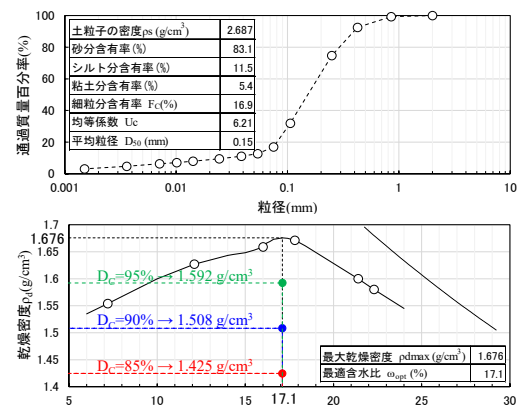


図-1 盛土材料(江戸崎砂)の物性

表-1 試験一覧

試験名	締固め度 Dc (%)	締固め含水比 w (%)	圧密応力 $\sigma_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	繰返し応力 $\sigma_d$ (kN/m <sup>2</sup> )
試験 1-1	85	17.1	49	10.9kN/m <sup>2</sup>
試験 1-2				17.3kN/m <sup>2</sup>
試験 1-3				22.0kN/m <sup>2</sup>
試験 2-1	90	17.1	49	13.9kN/m <sup>2</sup>
試験 2-2				22.1kN/m <sup>2</sup>
試験 2-3				35.0kN/m <sup>2</sup>
試験 3-1	95	17.1	49	17.5kN/m <sup>2</sup>
試験 3-2				27.8kN/m <sup>2</sup>
試験 3-2				47.2kN/m <sup>2</sup>

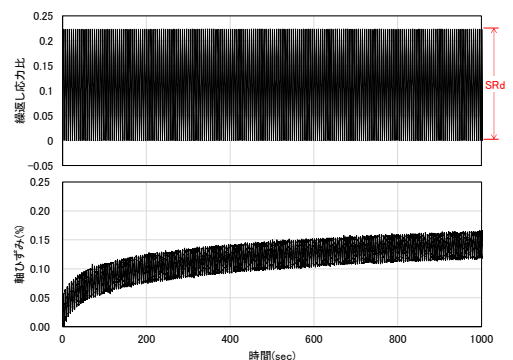


図-2 繰返し応力比と軸ひずみの時刻歴の例

Modeling of cyclic shear strength properties of unsaturated embankment materials.

AZUMA, Takuo Public Works Research Institute  
 SASAKI, Tetsuya Public Works Research Institute  
 KATO, Shunji Public Works Research Institute  
 SASAKI, Naoya Public Works Research Institute

ック関数で近似した（図-3中の黒破線）。

次に図-3のロジスティック関数の近似式を用いて、図-4のとおり繰返し回数ごとに軸ひずみ  $\epsilon$  と繰返し応力比  $SR_d$  の関係を累乗関数により近似した（図-4中の破線）。軸ひずみが大きくなると近似式のグラフの傾きが小さくなり、その傾向は締固め度が低いほど顕著となり、低い繰返し応力比で大きなひずみが発生する傾向を示している。

以上の定式化の結果をまとめると、図-5のとおり繰返し応力比  $SR_d$  と繰返し回数  $N$  の関係を軸ひずみ  $\epsilon$  ごとに表すことができる。繰返し応力比が小さくなると、所定の軸ひずみに達するまでに必要な繰返し回数が多くなるという、一般的な繰返しせん断強度試験（例えば液化化強度試験など）の結果と同様の関係となっている。図中には定式化の元となった繰返し三軸試験の結果をプロットしている。試験結果は、所定の軸ひずみの回帰式と概ね整合する結果となっており、試験結果を適切に反映した式になっていることがわかる。

これらの関係を式にまとめると以下のとおりとなる。

$$SR_d = B\epsilon^A, \quad A = C_1 N^{C_2}, \quad B = C_3 N^{C_4} \quad \dots \dots \dots (1)$$

上式(1)の係数  $C_1 \sim C_4$  は表-2のとおりとなった。 $C_1, C_3, C_4$  については、締固め度  $D_c$  が大きくなると値が大きくなる関係が確認できるが、 $C_2$  については締固め度との明確な関係は見られない。これらに基づき、任意の締固め度  $D_c$  で繰返し応力比  $SR_d$ 、繰返し回数  $N$ 、軸ひずみ  $\epsilon$  関係を得られるよう、 $D_c$  との関係が確認できる  $C_1, C_3, C_4$  については  $D_c$  の関数とし、 $D_c$  との明確な関係が見られない  $C_2$  については締固め度ごとの値の平均値として、下式のとおり定式化した。

$$C_1 = 0.683 \left( \frac{D_c}{100} \right)^{2.236}$$

$$C_2 = -0.004$$

$$C_3 = 2.052 \left( \frac{D_c}{100} \right)^{5.496}$$

$$C_4 = 0.237 \left( \frac{D_c}{100} \right) - 0.304$$

4. まとめと今後の課題

ひずみ軟化理論を用いた解析手法を確立するため、不飽和盛土材料の排気・排水条件での繰返し三軸試験を行い、これらの結果に基づき、盛土材料の締固め度に応じた繰返し変形特性の定式化を行った。

前述のとおり、本試験では初期せん断応力の影響は考慮しないこととし、片振りの荷重方法とした。今後、適切な荷重方法を検討する必要がある。

定式化した繰返し変形特性を用いた構造物背面盛土の段差に関する遠心模型実験を対象とした、ひずみ軟化理論に基づく剛性低下計算及び自重解析については別途報告する<sup>4)</sup>。

参考文献

- 1) 山田勝彦, 真鍋進, 龍岡文夫: 大型橋梁基礎の地震時変位の予測, 第25回土質工学研究発表会, pp951-954, 1990. 6.
- 2) 東拓生, 佐々木哲也, 加藤俊二: 盛土高の高い構造物背面盛土の地震時の沈下・変形に関する遠心力荷重実験, 第75回土木学会年次学術講演会, III-126, 2020. 9.
- 3) 堀井克己, 館山勝, 小島謙一, 古関潤一: 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, pp148-149, 1997. 9.
- 4) 佐々木直也, 佐々木哲也, 加藤俊二, 東拓生: 構造物背面の高盛土の地震時沈下量評価手法の検討, 土木学会第78回年次学術講演会, 2023. 9. (投稿中)

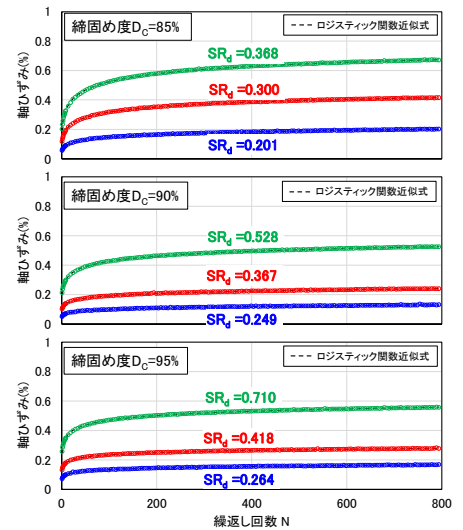


図-3 繰返し回数と半パルスの最大軸ひずみの関係

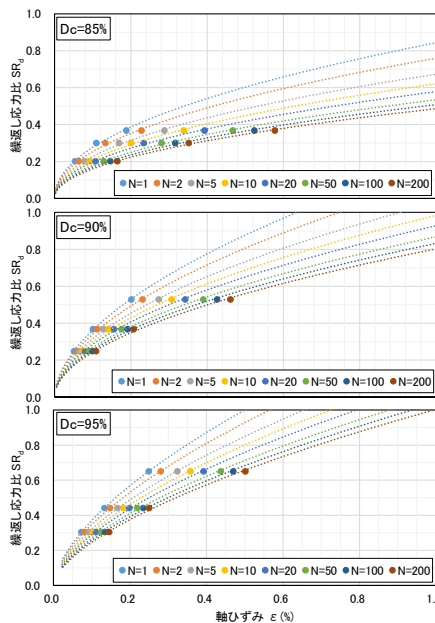


図-4 繰返し回数 N ごとの軸ひずみ  $\epsilon$  と繰返し応力比  $SR_d$  の関係

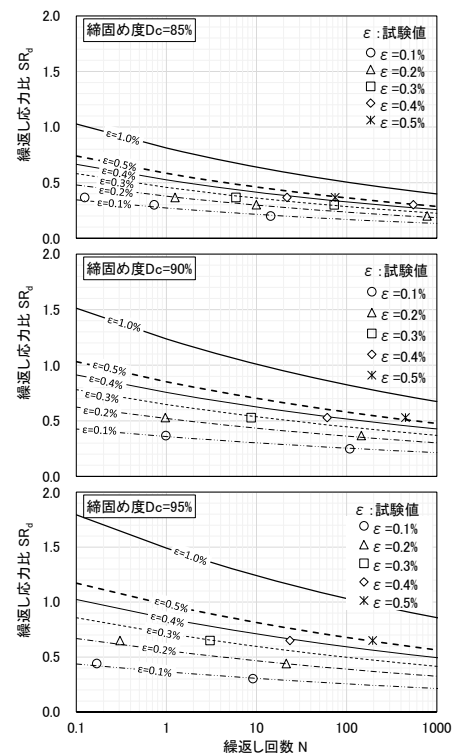


図-5 繰返し応力比  $SR_d$  と繰返し回数  $N$  の関係

表-2 式(1)の係数一覧

締固め度 $D_c$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$
85%	0.475	0.0001	0.811	-0.103
90%	0.538	-0.0106	1.236	-0.088
95%	0.610	-0.0019	1.491	-0.080