

列車荷重下における EPS の変形特性

鉄道総合技術研究所 正会員 ○富田 佳孝 鉄道総合技術研究所 正会員 中島 進
 鉄道総合技術研究所 正会員 太田 啓介

1. はじめに

発泡スチロール(以下、EPS)はプレキャスト製品のため迅速施工が可能であり、なおかつ軽量であるため、軟弱地盤対策や既設構造物上の応力低減に用いられているが、列車走行に伴う耐久性への懸念があり鉄道構造物では限定的な適用になっている。EPS の累積変形特性に関してはこれまでも繰返し载荷試験による確認が行われている¹⁾²⁾が、列車荷重下における累積変形特性が不明である。本研究では列車荷重下での EPS の累積変形特性を検証することを目的として、繰返し载荷試験を実施した。

2. 実験概要

表-1 に試験ケースを示す。Case1 は EPS および XPS の比較材料として土構造標準³⁾で一般的な盛土として使用可能な材料である締固め度 90%(1.0Ec)の稲城砂(B 群材料)であり、Case2 は EPS、Case3、4 は XPS である。供試体寸法は全て直径 $\phi=300\text{mm}$ 、高さ $H=600\text{mm}$ である。Case3、4 については 100mm 厚さの供試体を 6 段貼り合わせて供試体を構成している。鉛直変位は LDT および外部変位計により、水平変位はクリップゲージにより、鉛直荷重は試験装置に付属するロードセルで計測した。

列車荷重は、輪重(=90kN)、衝撃荷重(=1.5)とした。この列車荷重がコンクリートによる路床保護($t=100\text{mm}$)を施した EPS および XPS で鉄道盛土を 1m 軌道こう上した場合における EPS および XPS 上面に生じる応力を FEM により算出し、繰返し载荷荷重とした。FEM 解析は剛性の最も高い材料を対象として行い、最大となる 50kPa を応力振幅として設定した。なお、土質材料についても相対比較を行うため、同様の応力振幅とした。

繰返し载荷の手順は、軌道荷重相当として軸差応力 20kPa で 3 時間~10 日程度抑え荷重として载荷した後、载荷周波数は 1Hz、応力振幅 50kPa のハーバーサイン波による繰返し载荷を実施した。繰返し回数は Case1 は 100 万回、Case2~4 は 240 万回に設定した。なお、Case1 は拘束圧 50kPa を負圧で与えた繰返し三軸圧縮試験とし、Case2~4 については繰返し一軸圧縮試験とした。繰返し载荷後、载荷速度 0.05%/min で単調载荷試験を実施した。サンプリング周波数は、Case1 は 10 万回までは 10Hz、10 万回以降は 1Hz の計測とし、Case2~4 は 20Hz で計測している。

3. 繰返し载荷試験結果

図-1 に 10 万回繰返し载荷時の鉛直ひずみの動的振幅を示す。

Case2~4 の鉛直ひずみの絶対値は Case1 より小さいが、载荷に伴う鉛直ひずみ増分は大きくなっており、表-1 の EPS と一般的な盛土材料との剛性の差が顕著に表れている。

キーワード EPS、繰返し一軸载荷試験、累積変形特性、土質材料、鉄道盛土

表-1 試験ケース

Case	供試体	一軸圧縮強度(kPa)	载荷応力比	動的剛性(MPa)
Case1	稲城砂	-	-	110.7
Case2	D-20	105	0.67	8.8
Case3	DX-29	320	0.22	25.4
Case4	DX-35	400	0.18	36.2

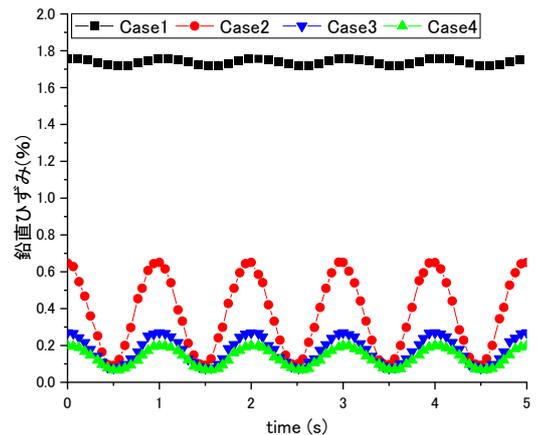


図-1 10 万回時点でのひずみの動的振幅

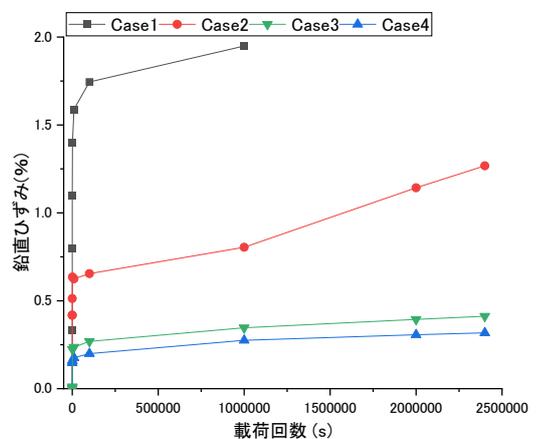


図-2 繰返し载荷過程の鉛直ひずみ増分

図-2 に繰返し載荷過程における鉛直ひずみ増分の関係を示す。載荷回数が 100 万回までにおいては Case2~4 の鉛直ひずみ増分は Case1 よりも小さく、EPS の方が一般的な盛土材料よりも累積変形量は小さい結果であった。載荷回数が 100 万回以降は Case3~4 はひずみ増分が収まる傾向にあったが、Case2 ではひずみ増分が急激に増加している。村田らによると一軸圧縮強度に対する載荷応力比が 0.4 を超えるとひずみが蓄積していくと述べられている。本検討においても、一軸圧縮強度に対する動的載荷応力の載荷応力比が Case2 が 0.67 に対して、Case3, Case4 では 0.18, 0.22 であったことが、ひずみの累積性が異なった原因と考えられる。

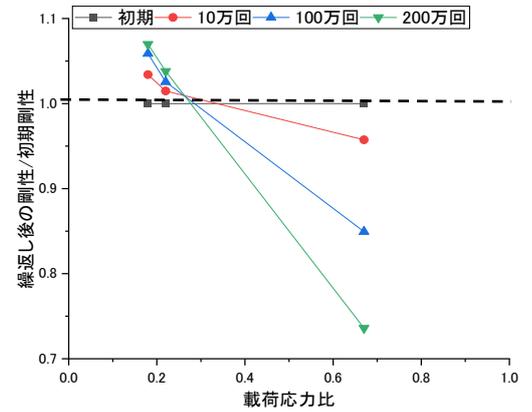


図-3 載荷応力比と繰返し後の剛性比

図-3 に載荷応力比と繰返し後の剛性比の関係を示す。載荷応力比は繰返しの履歴の無い供試体の一軸圧縮強度に対する動的載荷応力比としている。繰返し後の剛性比は載荷回数毎の応力-ひずみから算出した剛性を初期の繰返し応力-ひずみから算出した剛性で正規化した結果である。繰返し載荷が進むにつれて、載荷応力比が 0.18~0.22 の場合の剛性は同程度になっていることに対し、載荷応力比が 0.67 の場合は剛性が低下している結果となった。これより、EPS の累積変形特性は土質材料よりも鉛直ひずみは小さいものの、繰返し載荷による剛性低下も踏まえて、列車支持性能を適切に評価する必要がある。

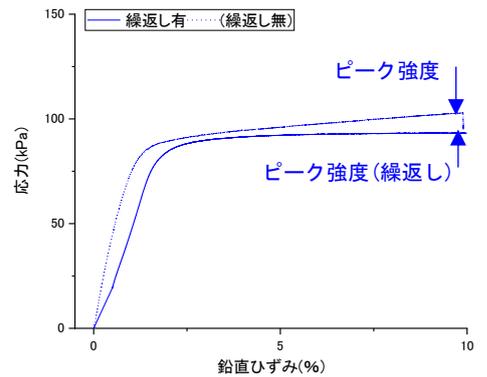


図-4 D-20 の応力-ひずみ関係

4. 単調載荷試験結果

図-4, 図-5 に Case2 および Case4 において、繰返し後の供試体を使用した単調載荷試験での応力-ひずみ関係を示す。同図では鉛直ひずみ、軸差応力ともに単調載荷前を初期値としている。また、同図には軌道荷重相当の 20kPa を載荷した後に、単調載荷を実施し、繰返しの履歴が無い供試体における試験結果も併せて示している。図-4 ではピーク強度は 1 割程度低下しており、ピーク強度発揮時のひずみも大きくなっている。これは、繰返し載荷の塑性化の影響によって、表層部の剛性が低下したものと考えられる。図-5 では、許容圧縮応力である 1%ひずみの応力は変わらないが、ピーク強度が繰返し前と比べて低いひずみで生じている。なお、本検討での結果は通常品質確認試験⁴⁾の応力-ひずみ曲線と比較すると、2~3 割程度ピーク強度が低下している。これは、通常品質確認試験で得られる応力-ひずみ曲線は 5cm 角の立方体で行うことや供試体の形状が影響しているものと考えられる。

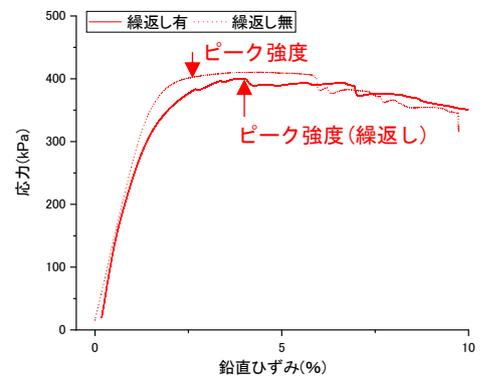


図-5 DX-35 の応力-ひずみ関係

5. おわりに

本研究では、列車荷重下における繰返し載荷試験を実施し、EPS の累積変形特性を検証した。その結果、EPS では盛土材料と比較すると累積変形量は小さいが、剛性が低いことから列車荷重作用時の動的変位が大きくなる傾向にある。さらに載荷応力比 0.4 以上では、累積ひずみが収束せず、繰返し載荷過程での剛性も低下することが確認された。さらに、試験ケースは限定的であるものの、繰返し載荷の履歴によりピーク強度が減少する傾向も確認された。そのため、鉄道盛土として適用するにあたってはできる限り層厚を薄くするか、補剛による剛性の向上により、EPS に作用する応力低減を図る必要がある。

参考文献

- 1) 村田ら：発泡スチロールによる盛土の研究，鉄道総研報告,Vol.3,No.8,pp.33-39,1989
- 2) 巻内ら：繰返し荷重下の軽量盛土材 EPS の変形特性，第 24 回土質工学研究発表会, pp41-42, 1989
- 3) 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，丸善出版，2007
- 4) 発泡スチロール土木工法開発機構：EPS 工法設計・施工基準書(案)，2002