

補剛発泡スチロールの剛性に関する载荷試験

(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○富田 佳孝 中島 進 高木 翔太 太田 啓介

1. はじめに

発泡スチロール（以下、EPS）は軽量かつプレキャストであることから狭隘で工事間合いの短い鉄道特有の厳しい施工条件において有効な材料であるが、鉄道盛土に適用する場合には列車走行時の動的変位量が大きくなるのが危惧される。そこで、館山からは孔のあいたEPSにモルタルを充填して補剛する方法を示しているが、仕様規定であることから適用範囲が明確ではない。本研究では補剛EPSの剛性を定量的に評価する手法を確立することを目的とし、補剛材料や補剛径を変えて繰返し载荷および単調载荷を行い、剛性の変化を分析した結果について報告する。

2. 実験概要

表1に試験ケースを示す。本実験で使用するEPSには全て500mm立方体のEPS（D-20）を用いている。Case1は無補剛であり、Case2~4は孔あきのEPSに補剛材料を充填したケースである。補剛EPSの剛性は富澤ら²⁾を参考に、下式に示す複合地盤の変形係数の算定方法から算出した。

$$E_{prop} = E_p \cdot a_p + E_0 \cdot (1 - a_p) \quad \dots \text{式 (1)}$$

ここに、 E_{prop} :補剛EPSの変形係数(MPa)、 E_p :補剛材料の変形係数(MPa)、 E_0 :EPSの変形係数(MPa)、 a_p :改良率(補剛材料の断面積/供試体の断面積)である。Case2は館山¹⁾が提案している改良率1.8%のコンクリートとした。Case3は改良率12.6%の一軸圧縮強度1,200kPaの流動化処理土とした。なお、改良率は「鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物³⁾」における上部盛土のひずみレベル 10^{-4} の剛性と同等以上を目途に設定した。Case4はCase2と同等の剛性を目途に改良率50.2%の流動化処理土とした。EPS、コンクリートは高木⁴⁾の解析の変形係数、流動化処理土は太田⁵⁾の解析のひずみレベル 10^{-4} の変形係数を用いた。

図1に供試体の概要を示す。供試体と油圧ジャッキの間にはSS400のプレート(t=16mm)をC-100で井形に溶接した500mm角の載荷板を介している。また、Case2~4は載荷板との不陸を解消するため、載荷板と供試体の間に石膏を塗布している。鉛直ひずみは供試体両側面に300mmの局所変形測定装置(以下、LDT)、鉛直荷重は載荷板に設置したロードセルにより計測した。载荷手順は、まず軌道荷重相当の鉛直応力20kPaで3時間程度抑え荷重として载荷した後、繰返し载荷周波数は1Hz、応力振幅20kPaで25万回、応力振幅40kPaで35万回、応力振幅80kPaで15万回のハーバーサイン波での繰返し一軸圧縮試験とした。繰返し過程でのサンプリング周波数は20Hzである。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。

3. 载荷試験結果

図2に繰返し载荷過程のピーク荷重時の鉛直ひずみ増分を示す。鉛直ひずみ増分は左右のLDTの平均値である。また、増分量は繰返し载荷前を初期値としている。载荷終了時の鉛直ひずみ増分はCase1:無補剛, Case2:改良率1.8%のコンクリート, Case3:改良率12.6%の流動化処理土, Case4:改良率50.2%の流動化処理土のキーワード EPS, 変形係数, 鉄道, 複合地盤, 繰返し荷重

表1 試験ケース

Case	改良率 (補剛径)	補剛材料	補剛材料 剛性(MPa)	補剛 EPS 剛性(MPa)
Case1	無	-	-	5
Case2	1.8%(φ75)	コンクリート	22,000	394.31
Case3	12.6%(φ200)	流動化処理土	759	99.25
Case4	50.2%(φ400)	流動化処理土	759	383.51

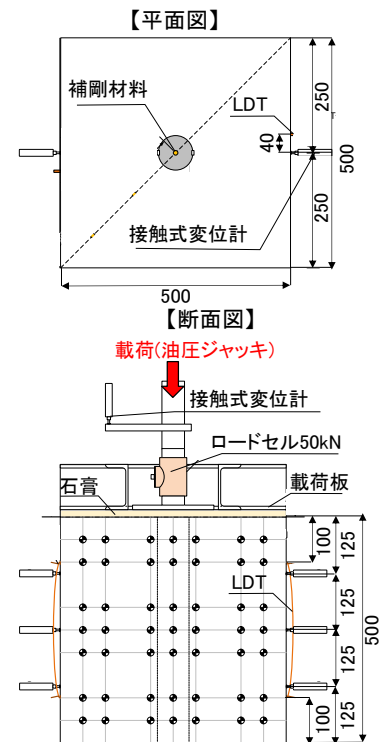


図1 供試体の概要(Case2)

順に 8.0%, 0.08%, 0.09%, 0.001% であり, 補剛を施したケースは無補剛時の 1/100~1/1000 に鉛直ひずみが低減されている。また, 補剛の有無によらず, 繰返し過程のひずみが小さく, 1 万回繰返しまでのひずみが支配的であった。

図 3 に繰返し载荷に伴う剛性の変化率の推移を示す。剛性の変化率は, 各载荷サイクルにおける鉛直応力増分から鉛直ひずみ増分で除して算出した剛性を, 応力振幅 20kPa の初回の剛性から除して算出している。初回の剛性は Case1: 無補剛, Case2: 改良率 1.8% のコンクリート, Case3: 改良率 12.6% の流動化処理土, Case4: 改良率 50.2% の流動化処理土の順に, 8MPa, 153MPa, 61MPa, 750MPa であった。Case1 は応力振幅 20kPa で剛性に変化はみられないが, 応力振幅 40kPa 以上では剛性の低下傾向がみられた。Case2 は 1 サイクル目の剛性は最大値を示し, 1 万回以降はほぼ一定の値であった。Case3, 4 は繰返しの増加に伴い, 剛性が増加している。補剛時の剛性は, EPS の剛性が小さく, 補剛材料に応力集中するため, 補剛材料の変形特性が大きく影響を受けることが推察される。

4. 载荷試験時の剛性と算定式の剛性ととの比較

载荷試験時の剛性と式 (1) の剛性ととの関係を図 4 に示す。载荷試験時の剛性は, 以下の 4 通りのタイミングで実測値から算出した。対象としたタイミングは, ①繰返し载荷: 40kPa, ②同 60kPa, ③同 100kPa の各载荷終了時の载荷サイクルから算出した剛性, ④単調载荷: 繰返し直後の荷重(20kPa)から 200kPa までの剛性である。式 (1) の剛性は①~④のタイミングの鉛直ひずみに応じて, 補剛材料の一軸圧縮試験と無補剛の試験から算出した剛性である。図 4 より载荷試験時の剛性は式 (1) の 1/3~1 程度であった。また, 繰返し载荷時の剛性は単調载荷時の剛性より大きく, 改良率および载荷応力の増加に伴い, 式 (1) の剛性に近づく傾向がみられた。さらに, Case2 の载荷試験時の剛性は载荷応力によらず一定であるが, Case3, 4 では応力増加に伴い剛性が増加しており, 上述した補剛材料の変形特性の影響が考えられる。以上の結果から, 補剛 EPS の剛性は式 (1) を 1/3 に補正して適用することが妥当と考えられる。一方で, 補剛材料の側方変位の拘束効果やアーチ効果による応力分散の影響は今後検討していく必要がある。

5. おわりに

本研究では補剛材料や補剛径が異なる EPS の繰返し载荷および単調载荷を実施した。その結果, 载荷試験時の剛性は算定式の 1/3 程度の剛性であったが, 改良率や補剛材料の変形特性により, 算定式に近づく傾向が確認できた。今後は, 補剛材料の拘束効果やアーチ効果の影響について検討していく予定である。

参考文献

- 1) 舘山ら: 発泡スチロールの鉄道盛土への適用に関する研究, 鉄道総研報告, Vol.4, No.10, 1990.
- 2) 富澤ら: 深層混合処理工法により形成した複合地盤における杭設計手法, 土木学会論文集, No.799 / III-72, pp.183-193, 2005.
- 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, 2007.
- 4) 高木ら: 鉄道盛土における EPS 材料の適用部位に関する FEM 解析, 土木学会第 77 回年次学術講演会 (投稿予定)
- 5) 太田ら: 鉄道盛土における盛土材への流動化処理土の適用に関する解析, 土木学会第 76 回年次学術講演会講演概要集, III-98, 2021.

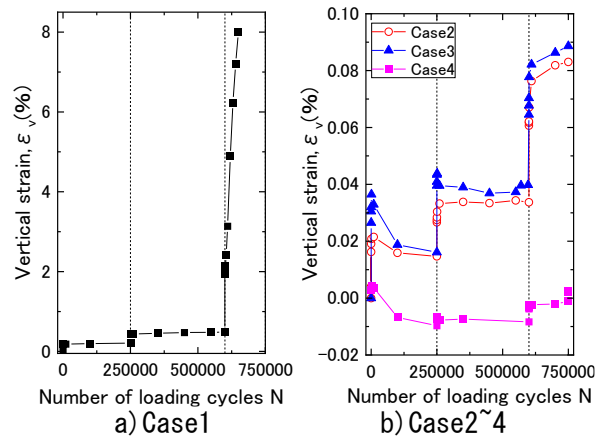


図 2 繰返しせん断時の鉛直ひずみ増分

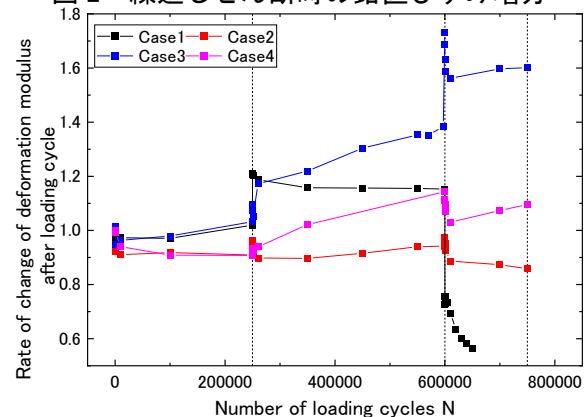


図 3 繰返しせん断剛性の変化率の推移

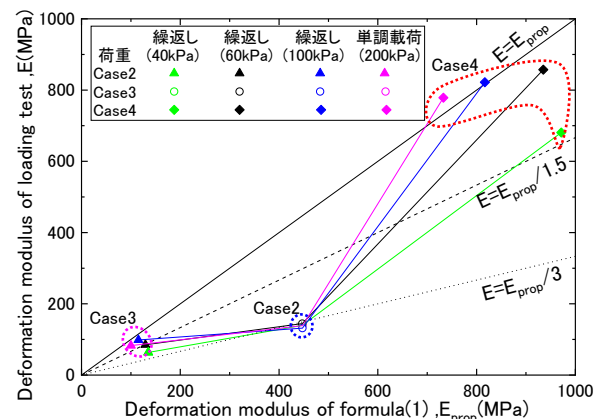


図 4 载荷試験時の剛性と算定式の剛性の関係