

鉄道盛土における EPS 材料の適用部位に関する FEM 解析

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○高木 翔太, 中島 進, 富田 佳孝
正会員 太田 啓介, 伊藤 壱記

1. 目的 近年, 狭隘箇所の鉄道盛土施工や軌道こう上において急速・省力化施工が求められている. 急速・省力化施工の材料の一つとして EPS があり, 道路盛土では広く用いられている. しかし, 鉄道では主に仮設構造物を対象に実績はあるものの, 列車荷重を受ける本設構造物では, 長期繰返し載荷による疲労特性など未解明な点があり, 明確な性能規定がなされていないことから, 適用事例は限定的で, 適用範囲も明確に規定されていない. EPS の長期耐久性については, 列車荷重下における累積変形特性の検証¹⁾を実施しており, 本研究では列車荷重下における EPS の適用可能範囲について検討するため, 有限要素解析を行った. 有限要素解析では列車荷重を静的に載荷

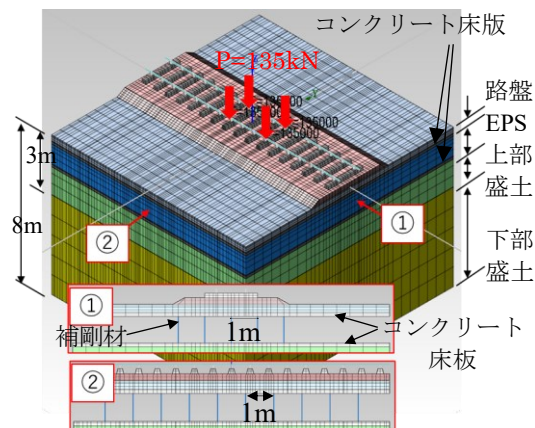


図1 解析モデル例 (Case2, 3 : EPS 厚 1m)

し, 一般的な盛土材料で構築された盛土と EPS を部分的に使用した盛土の路盤上面における鉛直変位量を比較し EPS の適用性について検討した.

2. 解析モデル 解析モデル例を図1に示す. 解析モデルは有道床軌道を想定し, 碎石路盤($t=300\text{mm}$), 上部盛土, 下部盛土の構成とした. なお, 上部盛土は施工基面から 3m 以内, 下部盛土は上部盛土以深の盛土部分を示している. 解析は表1に示す全7ケースであり,

Case1 から Case5 では, EPS は上部盛土の天端から, Case6 から Case7 では, 下部盛土の底面より厚さを変化させて解析を行った. また, EPS の上部には施工の過程で生じる不陸を調整することや荷重を均一に分散させることを目的としてコンクリート床版を設けている. さらに, EPS 単体で用いたケースと鉄道盛土における過去の EPS 適用事例²⁾よりコンクリート柱によって補剛したケースも対象として解析を行った (Case2, Case3, Case6). コンクリート柱により補剛したケースは EPS の上部と下部にコンクリート床版を設けている. 解析で用いた EPS は D-20, D-30, DX-29, DX-35 の4種類であり, Case2, Case3, Case6 に対しては前述の通りコンクリート柱 (改良率 1.8% : $\Phi 150\text{mm}$, 1m 間隔) による補剛を行った. コンクリート柱は梁要素によりモデル化し, 図1に示すとおり軌道延長方向に全長に, 軌道直角方向には道床バラストの範囲に配置して

いる. 物性値は表2に示すとおりで, 「EPS 工法設計・施工基準書(案)」³⁾, 「コンクリート標準示方書」⁴⁾, 「鉄道構造物等設計標準・解説 土構造物」⁵⁾より設定した. なお, 本解析では軌道荷重を含む自重解析後を初期状態として静的解析により, 列車荷重に対する応力変位増分を算定している. 列車荷重は M 荷重, 列車速度

表1 解析ケース

	適用箇所	EPS 厚 (m)	EPS 種別	補剛	
Case1	上部盛土	1, 2, 4	1	D-30	—
Case2			D-20	○	
Case3			D-30	○	
Case4			DX-29	—	
Case5			DX-35	—	
Case6	下部盛土	1, 2, 5	D-30	○	
Case7			DX-35	—	

表2 層厚, および物性値

	層厚 (m)	ヤング率 (MPa)	ポアソン比
50kgN レール	—	210,000	0.3
PC3 号まくらぎ	—	35,000	0.17
バラスト道床	0.25	100	0.3
碎石路盤(c-40)	0.3	120	0.3
コンクリート床版 $\sigma 18\text{N}/\text{mm}^2$	0.15	22,000	0.2
コンクリート柱 $\sigma 18\text{N}/\text{mm}^2$	—	22,000	0.2
EPS (D-20)	—	5	0.12
EPS (D-30)		9	0.12
XPS (DX-29)		14	0.1
XPS (DX-35)		20	0.1
上部盛土 (ひずみ $10\text{e-}4$)	2.7	42.6	0.3
下部盛土 (ひずみ $10\text{e-}5$)	5	85.2	0.3

キーワード EPS, 鉄道盛土, FEM 解析

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7248

V=160km/h のロングレール区間とし、輪重 Pst=90kN を想定している。解析では作用応力を安全側に評価するため、衝撃率 i=1.5 の変動輪重 Pdy=Pst*i=135kN とし、2軸載荷でレールモデル上に作用させた。荷重はレール上を移動させて最大応力が発現する位置で載荷し分析を行った。

3. 解析結果 図2に路盤上面の最大鉛直変位とEPS厚の関係を示す。変位は沈下する方向を負としている。EPSの盛土としての適用性は、図の点線で示す一般的な盛土材料で構築した盛土（以下一般盛土）を想定して解析した路盤上面の最大鉛直変位-2.5mm との比較により行った。

(1)無補剛EPSの適用性： 図2を見ると、無補剛のEPSを用いたCase1, 4, 5, 7の解析結果は、すべてのケースで一般盛土よりも鉛直変位が大きくなるのが分かる。これは、一般的な盛土材料よりも低い剛性のEPSを使用したためで、EPS厚が増えていくに従い、鉛直変位が増加していく様子が確認できる。しかし、DX-35を上部盛土で適用したCase5のEPS厚1m（以下Case5-1m）では、比較的高い剛性のEPSを使用し、層厚も小さいため、一般盛土の鉛直変位に対して約0.2mmの増加にとどまっている。図3にCase5-1m, Case7-1mにおけるEPS上面の要素の最大鉛直応力が作用する位置での鉛直応力の深度分布を示す。図より、下部盛土にEPSを適用すると上部盛土に適用した場合と比べて、EPSに加わる応力が小さくなるのが分かる。その結果、下部盛土はEPS厚2m（Case7-2m）で一般盛土の鉛直変位に対して約0.2mmの増加にとどまっている。これらのことから剛性が大きいEPSであれば、無補剛で上部盛土では1m, 下部盛土では2m未満のEPS厚で一般盛土と同程度の変形性能を得られることが示唆された。

(2)補剛EPSの適用性： Case1とCase3-1mは厚さ1mでD-30を用いたときの補剛材の有無を比較しており、図2より補剛することで鉛直変位が抑えられることが分かる。このとき、圧縮側を負とした場合、EPS上面の要素の最大鉛直応力は、Case1：-21.6kPa, Case3-1m：-1.7kPaであった。また、Case3-1mの補剛材に加わる最大鉛直応力は-2046.6kPaであり、コンクリート柱での補剛によりEPSに作用していた応力の大部分をコンクリート柱が負担して変位が抑えられることを確認した。さらに図2から、Case2, 3, 6はEPSを補剛することにより一般盛土よりも剛性が大きくなり、一般盛土に対して鉛直変位が同程度あるいは抑えられているのが分かる。以上の結果から、EPSを補剛することで、一般盛土と同程度の変形性能が確保できることを確認した。

4. まとめ 有限要素解析を実施し、以下の結果が得られた。無補剛のEPSを部分的に使用した場合、静的荷重に対して高い剛性のEPSで、かつ上部盛土1m,下部盛土2m未満のEPS厚であれば、一般盛土と同程度の変形性能が得られることが示唆された。また、EPSを補剛することで一般盛土と同程度の変形性能が確保可能なことを確認した。しかし、列車の乗り心地や軌道の保守性の低下、浮き上がり等の危険性が懸念され、鉄道盛土として適用するにあたってはそれらについて検討する必要がある。現在は補剛効果を定量的に評価するための実験を実施しており⁶⁾、今後は補剛材の材料についても施工性、経済性の観点から検討していく予定である。

参考文献 1) 富田ら：列車荷重下におけるEPSの変形特性，土木学会第49回関東支部技術研究発表会，2022. 2) 鶴山勝：鉄道における軽量盛土，基礎工，pp23-27，2004. 3) 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. 4)土木学会：コンクリート標準示方書，2017. 5) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造等設計標準・同解説 土構造物，2007. 6) 富田ら：補剛発砲スチロールの剛性に関する載荷試験，土木学会第77回年次学術講演会（投稿予定）

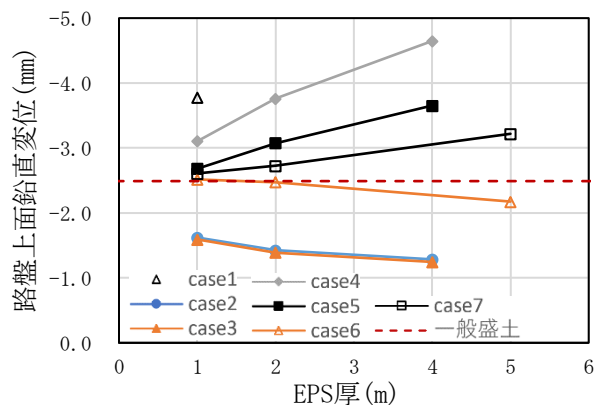


図2 路盤上面最大鉛直変位とEPS厚の関係

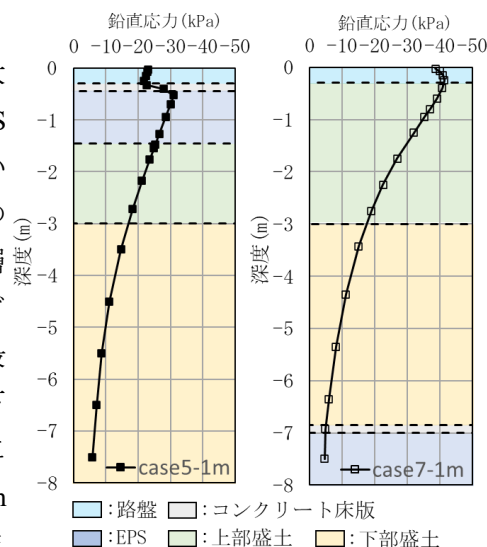


図3 鉛直応力の深度分布