

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

(公財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 基礎・土構造 正会員 ○太田 啓介, 中島 進
正会員 富田 佳孝

(公財) 鉄道総合技術研究所 軌道技術研究部 軌道・路盤 正会員 伊藤 孝記, 景山 隆弘

1. 目的

鉄道盛土に関して、作業時間が限られている箇所での施工効率の向上、被災地域などでの早期復旧のため、盛土施工の急速化が課題となっている。ここで、流動化処理土に関して、現行の鉄道構造物としてはトンネルインバート部や埋め戻し土としての適用実績があるが、盛土部への適用により盛土施工の急速化に寄与すると考えられる。

本検討では、鉄道盛土への流動化処理土の適用を想定した盛土の構造を提案し、列車荷重によって流動化処理土層へ作用する荷重を推定するためのFEM解析を行った。

2. 盛土の構造

流動化処理土は乾燥・乾湿の繰返しにより強度が低下する可能性があること¹⁾、また、浸水状態下では繰返し荷重に対する変形性能が低下すること²⁾が分かっている。そのため、盛土材として流動化処理土を使用する場合には、乾燥、および雨水からの防護、ならびに作用応力を低減する目的で、路盤と流動化処理土層の間に、粒調砕石 (M-40) による保護層 (t=300mm) を設けることとした。

3. 解析モデル

本解析では、前述した盛土の構造に関して、列車荷重により盛土材へ作用する荷重を推定するため、従来型の盛土として、①盛土材性能ランクII相当を使用したモデル (以下、タイプ N)、流動化処理土を使用したモデルとして、②一軸圧縮強度 $q_u=600\text{kPa}$ (以下、タイプ 600)、③一軸圧縮強度 $q_u=1,200\text{kPa}$ (以下、タイプ 1,200) の3種類に関して静的 FEM 解析を行った。タイプ 600、および 1,200 の解析モデルを図 1 に示す。タイプ N の場合は、保護層がない通常の盛土の構成をモデル化している。

FEM 解析には、解析ソフト Soil Plus を使用し、構造要素による線形解析を行った。解析に使用した各

要素の層厚、物性値を表 1、および表 2 に示す。また、軌道パッドの剛性は、鉛直方向に $k_v=110\text{MN/m}$ 、水平方向に $k_h=11\text{MN/m}$ とした。流動化処理土のヤング率は、中沢ら³⁾の流動化処理土に関する試験結果を参考に、 $E_{50}=253 \cdot q_u$ と仮定した。ここで、参考にした一軸圧縮試験結果によると、 E_{50} 算定時の基準となる $q_u/2$ 時のひずみ ϵ_{50} は、 $1 \sim 3 \times 10^{-3}$ であるため、ひずみレベル 10^{-3} での変形係数 $E_3=E_{50}$ とした。また、上部盛土のひずみレベルは 10^{-4} 、下部盛土のひずみレベルは 10^{-5} と仮定し、「鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物」⁴⁾より、ひずみレベル 10^{-4} の変形係数 E_4 、およびひずみレベル 10^{-5} の変形係数 E_5 はそれぞれ、 $E_4=2.5 \cdot E_3$ 、 $E_5=2 \cdot E_4$ として算出した。

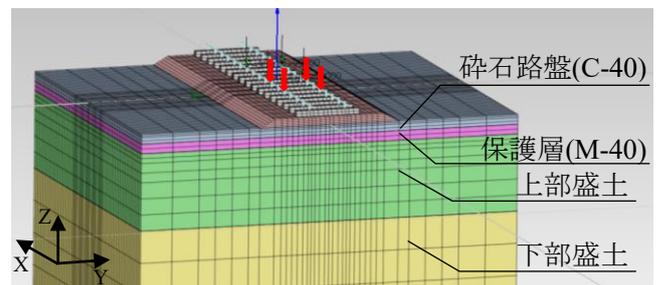


図 1 解析モデル (流動化処理土使用時)

表 1 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
砕石路盤(C-40)	0.30	120	0.3
保護層(M-40)	0.30	180	0.3
上部盛土	2.40	表 2 参照	表 2 参照
下部盛土	7.00	表 2 参照	表 2 参照

表 2 上部盛土, および下部盛土の物性値

タイプ	上部盛土		下部盛土	
	ヤング率 $E_4(\text{Mpa})$	ポアソン 比	ヤング率 $E_5(\text{Mpa})$	ポアソン 比
N	42.6	0.3	85.2	0.3
600	379.5	0.3	759.0	0.3
1,200	759.0	0.3	1518.0	0.3

キーワード 流動化処理土, 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

対象とする列車荷重は、M 荷重、列車速度 $V=160\text{km/h}$ のロングレール区間とし、輪重 $P_{st}=90\text{kN}$ とした。「鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物」⁴⁾を参考にした上で、作用応力を安全側に評価するために、衝撃率 $i=1.5$ とし、変動輪重 $P_{dy}=P_{st}*i=135\text{kN}$ とし、2軸載荷でレールモデル上に作用させた。作用位置は、盛土材への作用応力が最大となる位置とした。

4. 解析結果

解析によって得られた上部盛土上面に生じた鉛直応力を図 2 に、最大鉛直応力、および最大鉛直変位を表 3 に示す。なお、ここに示す上部盛土上面は、タイプ 600, 1,200 では保護層下、保護層を設けないタイプ N では路盤下位置である。タイプ 600, 1,200 では、タイプ N と比較して、最大鉛直応力は、それぞれ、1.18 倍、1.24 倍となっており、載荷圧比（荷重／一軸圧縮強度）としては、それぞれ、0.10, 0.05 となった。また、最大鉛直変位に関しては、タイプ 600, 1,200 では、タイプ N と比較して微小であり、累積変形に対する検討が必要であるものの、流動化処理土の鉄道盛土としての適用性が示唆される結果である。

ここで、保護層を設けない場合、タイプ 600, 1,200 に生じる最大鉛直応力は、それぞれ、72.5kPa, 76.3kPa となり、保護層を設けることで、タイプ 600, 1,200 ともに 2 割程度の応力が低減されていた。

過去に木幡²⁾により行われたシールドトンネルインバートへの流動化処理土の適用に関する要素実験では、列車荷重により生じるコンクリート路盤下の作用 98kPa を対象とした繰返し変形特性の確認として、一軸圧縮強度 $q_u=6,000\text{kPa}$, $2,000\text{kPa}$ の流動化処理土に関する繰返し載荷試験を実施している。載荷圧比—沈下量の関係を図 3 に示す。同図には、本研究で評価したタイプ 600, 1,200 の載荷圧比も併せて示している。本解析で対象とした、タイプ 600, 1,200 は当該実験と同等、もしくはやや大きな載荷圧比となっているものの、既往の実験での繰返し載荷後の沈下量は小さいことから、タイプ 600, 1,200 でも繰返し荷重に対して、流動化処理土での提案構造により構築した盛土が安定した性能を発揮することが期待される。本解析結果に基づく、累積変形特性に関する実験的検討に関しては、文献 5)を参照されたい。

5. まとめ

本解析によって得られた結論を以下に示す。

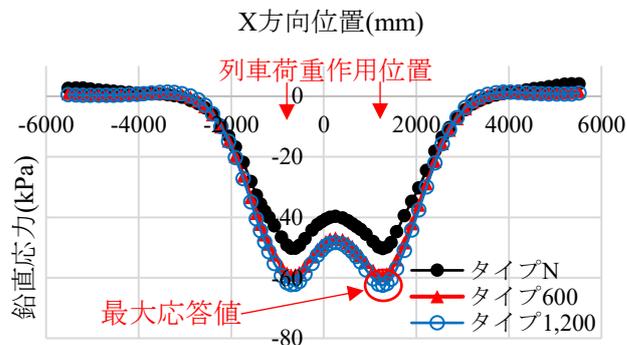


図 2 上部盛土上面に生じる鉛直応力

表 3 上部盛土上面の最大応答値

タイプ	最大鉛直応力(kPa)	最大鉛直変位(mm)
N	50.3	2.35
600	59.2	0.28
1,200	62.5	0.14

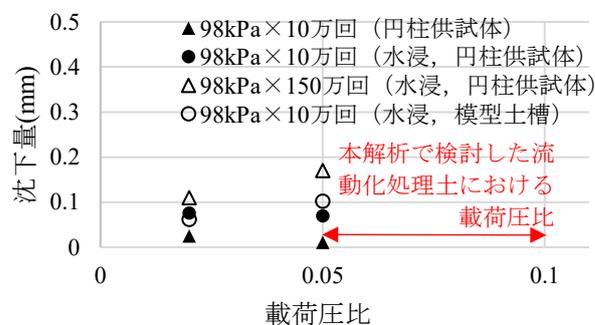


図 3 載荷圧比—沈下量の関係

盛土材として流動化処理土を使用した場合として、粒度調整碎石による保護層を設けた盛土の構造を提案した。FEM 解析の結果、一軸圧縮強度 600kPa, 1,200kPa の流動化処理土上面に、列車荷重により、それぞれ 59.2kPa, 62.5kPa の荷重が作用し、一軸圧縮強度に対する荷重の比としては、それぞれ、0.10, 0.05 となる。

参考文献

- 1) 面高安志, 石崎仁, 吉原正博: 流動化処理土の乾燥・乾湿繰返し試験, 土木学会第 48 回年次学術講演会講演概要集, pp.604-605, 1993
- 2) 木幡行宏: 流動化処理土の力学特性と今後の課題, 土木学会論文集 F Vol.62 No.4, pp.618-627, 2006
- 3) 中沢楓太, 古垣内靖: 流動化処理土のヤング率の評価, 東急建設技術研究所報 No.40
- 4) 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
- 5) 太田啓介, 中島進, 富田佳孝, 中村貴久: 列車荷重影響下における流動化処理土の変形特性に関する実験的検討, 第 56 回地盤工学研究発表会(投稿予定)