のり面工と地山補強材の定着効果を考慮した鉄道盛土の耐震補強設計法

（公財）鉄道総合技術研究所　　正会員　○藤本 達貴　中島 卓哉　松丸 貴樹
中島 進　　倉上 由貴　杉山 健太

１．はじめに　近年の度重なる地震災害の発生を受け、既設鉄道盛土の耐震補強が積極的に進められており、盛土堤体の耐震性向上を目的として地山補強材を打設する対策工が多く用いられる。従来、「鉄道構造物等設計標準・同解説　土構造物[1)]」における L2 地震動に対する盛土の耐震性は、Newmark 法による残留変形量を用いて評価しており、その中で地山補強材による抵抗は、補強材の主たる補強効果である引抜き抵抗力や許容引張り力のみを考慮している。しかしながら、中島らの模型振動台実験[2)]では、盛土に打設した地山補強材がのり面工と定着される場合には、地山補強材が単独で打設される場合と比べてより抵抗を大きく発揮することが確認され、また、地山補強材が曲げ変形モードとなることで、補強材の引張抵抗のみでなく曲げ変形に伴う地盤抵抗力が発揮されると考察されている。この効果を考慮することができれば、地山補強材の抵抗力が増大し、盛土の耐震補強設計の仕様の低廉化が期待できる。そこで、本研究では、のり面工と地山補強材の定着効果を考慮した設計法の提案と妥当性の検証を行うとともに、提案法を用いた試計算を行った。

２．設計法の提案　のり面工と地山補強材との定着効果によって発揮される地山補強材の曲げ変形に伴う地盤抵抗力を考慮する設計手法を提案する。図 1 に本設計法に用いる曲げ変形に伴う地盤抵抗力の考え方を示す。ニューマーク法による残留変位量算出において、補強材の変形量に応じた不動土塊側の地盤反力の合計値（ΣR_g）を考慮し、曲げ変形に伴う抵抗モーメント M_{RT}を下式により算出する。

$$M_{RT} = \sum R_g \cdot r$$

ここに、r は円弧すべり面の回転半径である。算出された M_{RT}を降伏震度算出のための抵抗モーメントに足し合わせることによって補強材の曲げ変形に伴う地盤抵抗を考慮する。地山補強材の地盤反力、すなわち補強材の曲げに伴う抵抗はすべり土塊の変位量に応じて変化するため、ニューマーク法における降伏震度は図 2 に示す通り、変位量に応じて増加することとなる。なお、補強材の曲げによる抵抗の算出にあたっては、地山補強材を頭部が回転固定された不動土塊に埋め込まれる突出長の杭としてモデル化し、のり面工の変位量と地山補強材頭部の変位量が同一であるものとしたうえで地盤反力を算出する。地盤反力は、「鉄道構造物等設計標準・同解説　基礎構造物[3)]」に示される杭基礎の地盤反力係数算定式に基づいて算定することとする。

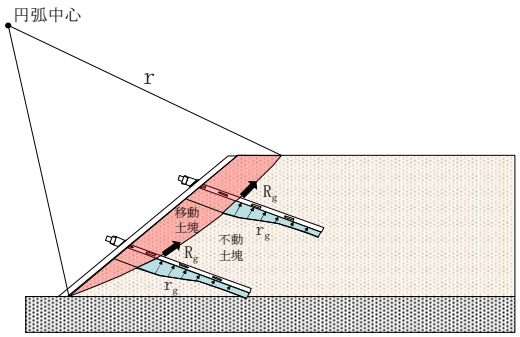


図 1 曲げ変形に伴う地盤抵抗力の考え方

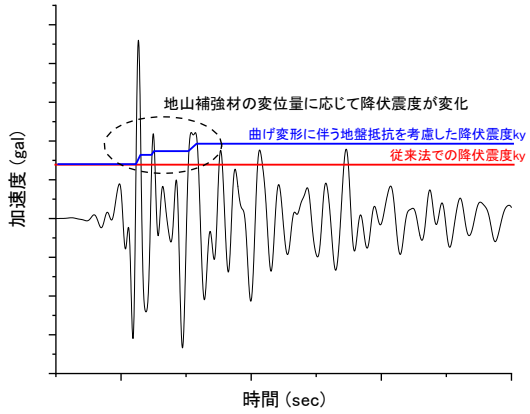


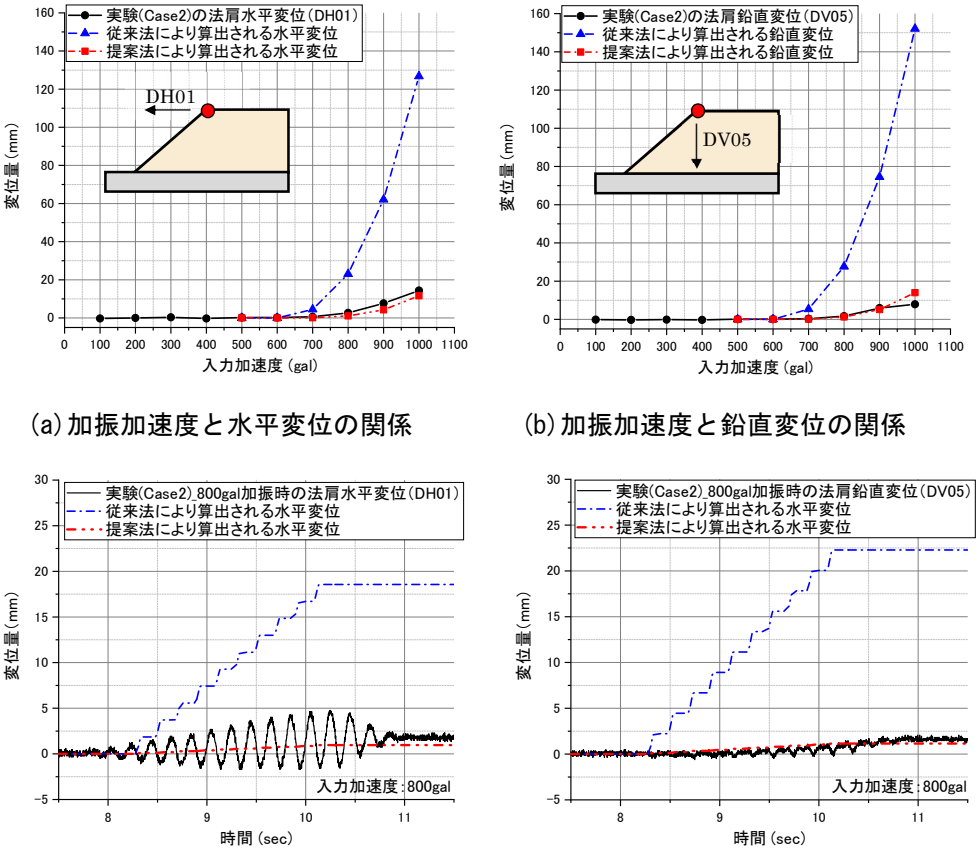
図 2　Newmark 法での地盤抵抗の考え方

３．設計法の検証　提案手法の検証を目的とし、模型振動台実験[2)]におけるフリーフレームのり面工の交点に地山補強材が打設された加振ケースを対象とした再現解析を行った。再現解析は各ステップ加振後における法肩の残留変位量の逆解析を実施した。なお、逆解析における地盤物性値は実験に用いた地盤材料の三軸圧縮試験結果から設定し、実験で観測されたすべり面を固定して変位量を算出した。また、地山補強材の地盤抵抗算出における地盤ばねは、前述の通り鉄道標準に従って設定し、

キーワード　盛土，耐震，地山補強工，Newmark 法
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　ＴＥＬ042-573-7261

© Japan Society of Civil Engineers

ブロムスの極限地盤反力係数の算定法 [4]に基づいて上限値を設定した。実験結果、従来法および提案法により算出された各加振ステップでの法肩の水平および鉛直変位量の比較、一例として800gal 加振時における水平・鉛直変位の時刻歴の比較を**図 3** に示す。従来法による計算では加振加速度の増加とともに急激に変位が増大する傾向がみられ、実験結果と比較して非常に大きな変位となっており、実験結果のように粘り強い変形挙動を再現することができなかった。一方、提案法を用いた変位量は実験結果に概ね一致する結果となっており、提案法がのり面工と地山補強材を定着した盛土の残留変形量を評価可能であると考えられる。



(a) 加振加速度と水平変位の関係　(b) 加振加速度と鉛直変位の関係

(c) 800gal 加振時の水平変位の時刻歴　(d) 800gal 加振時の鉛直変位の時刻歴

図 3　模型振動台実験の再現解析結果

4．提案手法を用いた試設計　提案手法を用いて、高さ 6.0m、のり勾配 1：1.5 の盛土を対象とした耐震補強の試計算を実施した。考慮する地震作用は、「鉄道構造物等設計標準・同解説　耐震設計 [5]」に示される G2 地盤における土構造照査波とし、残留変形量が 200mm 以下を満足するように地山補強材（改良径 400mm、定着材強度 3000kN/m²、設置角度 35°）による補強を行うものとした。**図 4** に各検討ケースにおける要求性能を満たす補強仕様の比較を示す。CASE1 の地山補強材のみのケースでは地山補強材の打設長が 3.2m となるのに対し、のり面工と地山補強材の定着効果を考慮した CASE2 では 2.6m（従来法と比較して 0.6m 減）となる結果が得られた。提案した設計法により、地山補強材の打設長やピッチの低廉化を図ることができ、耐震補強に要するコストを削減することが期待できる結果が得られた。

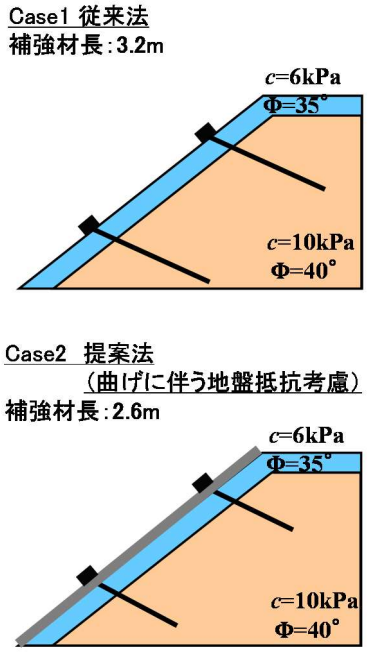


図 4　試設計による補強仕様

5．まとめ　本研究では、のり面工と地山補強材の定着効果を考慮した設計法の提案と提案法を用いた試計算を行った。提案法を用いた変位量は実験結果に概ね一致する結果となっており、提案法がのり面工と地山補強材を定着した盛土の残留変形量を評価可能であることを確認することができた。また、提案した設計法を用いることで、地山補強材の打設長やピッチの低廉化を図ることができ、耐震補強に要するコストを削減することが期待できる結果となった。

参考文献 1) 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，丸善出版，2007.2) 中島ら：のり面工と地山補強材の定着効果に着目した模型振動台実験,第 75 回年次学術講演会，2020(投稿中). 3) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説　基礎構造物,丸善出版,2012. 4) Broms, B.B：Design of laterally loaded piles, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Divisiion, ASCE, Vol.91, pp.79-99,1965. 5)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説　耐震設計,丸善出版,2012.

© Japan Society of Civil Engineers