

常時微動観測による鉄道盛土の等価 1 自由度モデル構築手法の妥当性確認

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○荒木 豪, 坂井 公俊, 小島 謙一
西日本旅客鉄道(株) 正会員 藤原 雅仁, 山田 孝弘

1. はじめに

地震による鉄道盛土の安全性や車両の走行性を高精度に評価するためには、盛土の動的応答特性を適切に把握する必要がある。従来の耐震設計や耐震診断等においては、盛土の応答特性を精度よく評価するために 2 次元の非線形有限要素法が用いられており、モデル構築や計算実行に多くの時間を要する。そのため、地震発生後の被害や運行再開等の検討を行う際には、情報と時間の制約から盛土の動的挙動を考慮することは容易ではなかった。この問題を解決するために、[図 1](#) に示すように盛土本体を等価な 1 自由度モデルに置換することで、地震時の非線形動的挙動を即時的に評価する手法を提案している¹⁾。この手法では、盛土の形状(高さ、勾配、天端幅)と使用する盛土材料の物性値のみから、盛土の等価 1 自由度モデルを構築することが可能である。本検討では、提案している盛土の固有周期の簡易算定手法の妥当性の検証を行うため、実盛土の常時微動計測に基づく評価を実施したので、その結果について報告を行う。

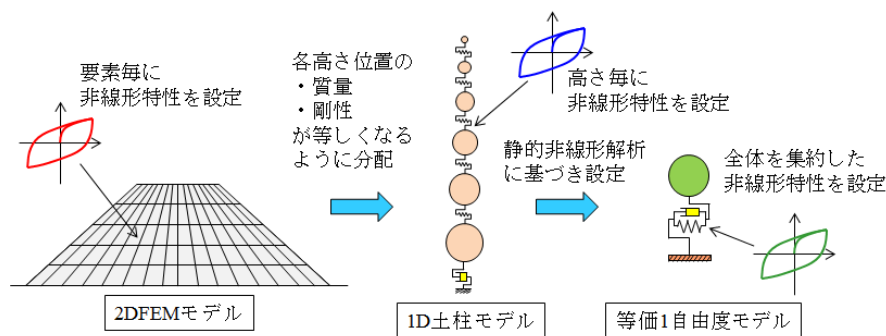


図 1 盛土の等価 1 自由度モデルの構築イメージ

2. 盛土の固有周期の簡易算定手法

既往の検討¹⁾では、盛土形状等の容易に入手可能な指標のみから等価 1 自由度モデルを構築する手法を提案している。提案法の中で、盛土の 1 次モード固有周期は、Rayleigh の方法^{例えば 2)}を用いることで、式(1)により近似的に算定する方法を整理している。これに必要な盛土情報は、盛土高さ(H)、天端幅(D)、法勾配 ($1:\alpha$)、盛土材料のせん断弾性波速度(V_s)であるため、比較的容易に盛土の固有周期を算定することが可能である。

$$T_g = \frac{2\pi}{V_s} \left(\frac{C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6}{C_7 + C_8 + C_9 + C_{10}} \right)^{0.5} \quad (1)$$

$$C_1 = \frac{8}{15}H^5, C_2 = \frac{5}{6}\kappa H^4, C_3 = -\frac{5}{9}\kappa^2 H^3, \\ C_4 = \frac{3\lambda - 5}{6}\kappa^3 H^2, C_5 = \frac{3\lambda + 2}{6}\kappa^4 H, C_6 = -\frac{3\lambda^2 + 4\lambda}{24}\kappa^5, \\ C_7 = \frac{8}{3}H^3, C_8 = 2\kappa H^2, C_9 = -2\kappa^2 H, C_{10} = \lambda\kappa^3$$

3. 常時微動観測の概要

対象としたのは、高さ 10m 程度、延長約 150m 程度の鉄道盛土(写真 1)である。観測対象した鉄道盛土の観測地点、ボーリング調査箇所的位置関係を[図 2](#)に示す。観測は 2 断面(観測①②)で実施することとし、それぞれ自然地盤 1 箇所と盛土天端 3 箇所に速度計を設置し、20 分間の常時微動観測を実施した。検討方向は線路直角方向とし、盛土天端と自然地盤のフーリエ振幅スペクトルの比からピーク振動数を読み取った。提案手法を用いる際に必要な盛土形状は現地で測量するとともに、盛土材料の物性は近傍のボーリングデータから推定した。ボーリング柱状図を[図 3](#)に、速度計の設置位置を[図 4](#)に、盛土形状と物性値の整理結果を[表 1](#)に示す。

キーワード 常時微動観測, 鉄道盛土, 等価 1 自由度モデル

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 042-573-7394

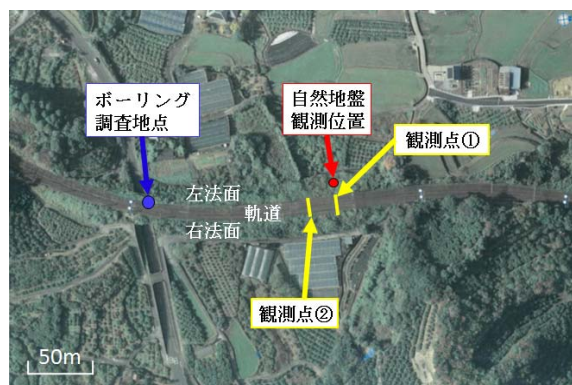


図2 観測位置とボーリング調査位置



写真1 対象盛土

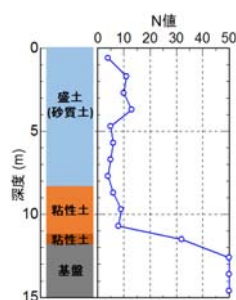


図3 ボーリング柱状図

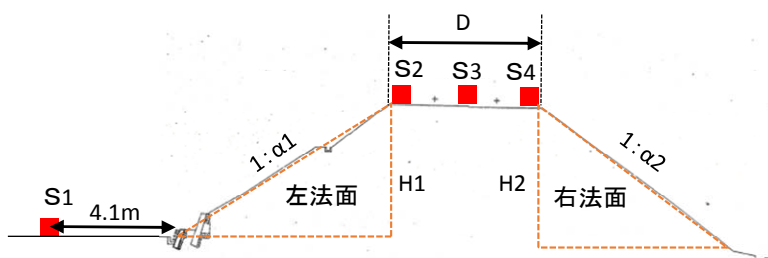


図4 盛土断面とセンサー設置位置

表1 盛土形状と材料物性値

観測点		左法面	右法面	平均
①	高さ H (m)	10.7	10.1	10.4
	勾配 $1:\alpha$	1.73	1.43	1.58
	天端幅 D (m)	8.8		
	V_s (m/s)	153 $\leftarrow$ (N 値 7)		
②	高さ H (m)	10.7	9.6	10.2
	勾配 $1:\alpha$	1.73	1.44	1.59
	天端幅 D (m)	8.8		
	V_s (m/s)	153 $\leftarrow$ (N 値 7)		

4. 常時微動観測結果と提案手法の有効性の確認

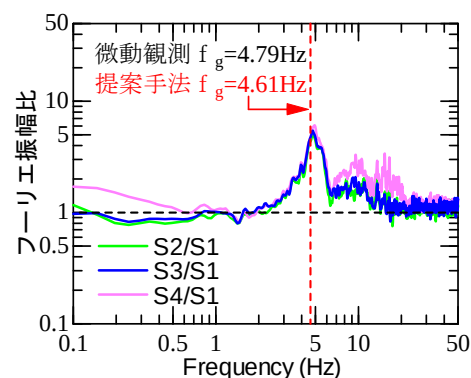
微動観測により得られた盛土天端と自然地盤のフーリエ振幅比を図5に示す。この図には、表1に示す盛土形状、材料物性値を用いて式(1)により算定した固有振動数 f_g も示している。簡易算定式に用いるパラメータの盛土高さ H と法面勾配 α は、左右両法面の平均値とし、盛土の材料物性は、砂質系材料として標準貫入試験のN値よりせん断弾性波速度 V_s を推定した。これらの結果から、観測点①,②ともに常時微動観測から算定されたフーリエ振幅比のピークと提案法による固有振動数がほぼ一致していることが分かり、提案法の有効性が確認できる。

5. まとめ

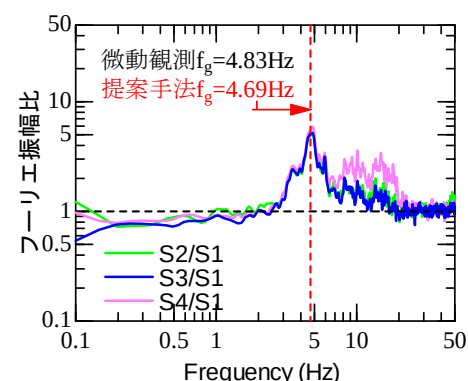
鉄道盛土の動的挙動を簡易に評価する手法の有効性を確認するために、実盛土を対象とした常時微動観測を実施し、固有振動数を評価するとともに、得られた結果と提案した簡易評価手法の比較を行った。両者の結果はほぼ一致しており、提案手法の妥当性を確認することができた。この結果を活用することで、常時微動によるピーク振動数から盛土の剛性を同定することも可能であると考えられる。これについては今後検討が必要であるが、本手法は鉄道盛土の耐震診断、維持管理等にも活用が期待される。

謝辞 本検討の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。

参考文献 1) 坂井公俊, 荒木豪, 室野剛隆: 等価1自由度モデルを用いた盛土の地震時非線形挙動の評価, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.73, No.1, pp.174-186, 2017. 2) 秦吉弥, 加納誠二, 山下典彦, 横井芳輝, 土田孝: 形状を考慮した簡便な盛土の固有周波数算定式, 地盤工学ジャーナル, Vol.2, No.3, pp.197-207, 2007.



(a) 観測①



(b) 観測②

図5 微動観測結果と固有振動数(提案法)