

改良杭を例にした2次元FEM解析モデルの簡便化の検討

東海旅客鉄道株式会社 正会員 阪本 泰士
 正会員 吉岡 修
 正会員 神田 仁
 (株)日建設計シビル 正会員 西山 誠治
 ジェイアール東海コンサルタンツ(株) 青柳 幸穂

鉄道構造物において、列車走行に伴い発生する振動を数値解析により評価する場合、モデルの設定がその結果の信頼性を大きく左右する。そのため、モデルの設定においては、各種調査により形状、物性値等を把握し、より忠実に再現することが望ましいが、実務上の制約から、対象とする構造物、求める精度とのバランスを考慮して再現性を図ることが重要である。

今回、盛土区間における路盤改良箇所の2次元FEM解析を2種類の解析モデルにより実施し、実際に施工された路盤改良形状と想定した路盤改良形状との、施工前後での盛土および地盤の動特性の差異について比較評価した。

1.改良杭による路盤改良工法

地盤改良工法の一つである深層攪拌混合工法¹⁾は、東海道新幹線の路盤に軌道対策として施工されている。これは盛土堤体に改良杭を形成することで、路盤強化、振動低減をし、軌道の保守周期の延伸を図るものである。軟弱路盤箇所においては、軌道狂いや路盤噴泥の発生頻度が他の一般区間より高く、軌道保守周期が短くなる傾向があったため、昭和60年度から平成2年度にかけて、そのような箇所における抜本的な対策工法として、この改良杭による路盤改良工法が採用された。

この工法では、杭体（長さ3m、直径60cm）はセメント系の薬液を攪拌混合して盛土内の施工基面から-3mまでの範囲に形成し、マクラギ1本あたり杭体1.5本が千鳥状に配置されている。（図1）。これにより改良杭の強度向上、路盤での変位低減については確認され、その後、軌道の保守周期の延伸効果をもたらすという施策としての良好な結果が得られている。なお、盛土全体及び地盤に与える影響については未検討である。

2.解析モデル

今回この改良杭を例に2次元FEM解析を行った。モデルの対象は図2に示すような盛土及び地盤である。要素は盛土および地盤ともに平面ひずみ要素とし、境界条件は側面および底面ともに粘性境界とした。盛土の材質および地盤の層構成・物性値は東海道新幹線の現場のデータを用いた（表1）。ただし、盛土の物性値は、表層地盤から想定したものである。また、メッシュ間隔は、概ね40Hzまで考慮できるように50cmとした。また、改良体は深さ3m、平面的な改良率29%（図1）、改良強度は設計強度である10kgf/cm²とした。

解析を行う場合、得てして時間的な制限あるいは計算機の能力等、種々の制約から、許容される範囲内で可能な限り効率良く解析を行う必要がある。今回の改良杭については、施工された杭体をそのまま忠実に表現した「杭形式」モデル（図3）をまず考えた。続いて、それを等価な剛性の長方形に置換えた「等価剛性」モデルを考えた。この「等価剛性」モデルは改良杭の配置や改良径等細部にわたる条件を考慮することなく扱えるというメリットがあり、今後同種の解析にも応用できるものである。

今回2モデルの妥当性の確認及び比較は、路盤の変位を算出し、それらを施工当時の実測値と比較することで行うこととした。

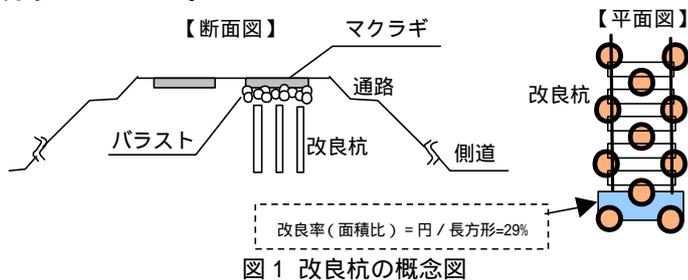


図1 改良杭の概念図

	上端(m)	下端(m)	材質	せん断波速度 Vs(m/s)	ポアソン比	減衰定数 h	単位体積重量 (tf/m ³)
盛土	4.5	0.0	ローム	84	0.49	0.05	1.4
地盤	0.0	-4.0	腐植土	112	0.49	0.05	1.4
地盤	-4.0	-16.0	粘土	171	0.49	0.05	1.5
基礎	-16.0	-	礫層	295	0.49	0.03	2.0
改良杭	4.0	1.0	改良杭	433	0.49	0.03	1.4
杭形式	4.0	1.0	改良杭	244	0.49	0.03	1.4
等価剛性	4.0	1.0	改良杭	207	0.49	0.03	1.4

表1 盛土・地盤の物性値

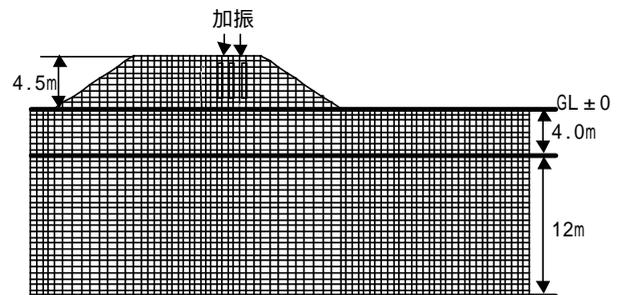


図2 モデル図

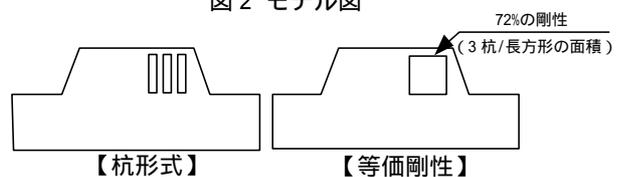


図3 杭体のモデル化

キーワード：改良杭，FEM解析，軟弱路盤，伝達関数

連絡先：〒454-0815 名古屋市中川区長良町1-1 TEL052-363-7924 FAX052-369-1501

3. 解析手法と結果

軌道上の節点を点加振した場合の動的解析を実行し、伝達関数（力 - 加速度）を求めた。続いて、当該線路脇の「側道」で実測した列車通過時の振動値を、周波数領域で伝達関数で除して等価加振力を求めた。その等価加振力を入力として再度解析を実行し、「通路」における改良杭施工前後での振動変位を求めた。施工前後での変位の振幅比（施工後の変位を施工前の変位で除したもの）について、施工実績（全 10 箇所）と解析 2 形式との結果比較を表 2 に示す。振幅比は 2 形式とも 65% であり、実測データでの振幅比平均 57% とほぼ同等なことから、本解析の妥当性が確認できる。

実測値 (S62-H2の測定)		解析値	
測点No	振幅比(%) (施工後/施工前)	モデル	振幅比(%) (施工後/施工前)
1	49	杭形式	65
2	78		
3	30		
4	51		
5	94		
6	90	等価剛性	65
7	53		
8	58		
9	17		
10	52		
平均	57		

表 2 改良杭施工前後の振幅比

次に、現実に忠実な「杭形式」と計算上効率の良い「等価剛性」との置換えが可能かどうかを詳細に確認するため、盛土と地盤における改良杭施工前後での伝達関数を用い、振動変位の算出を同様に行った。変位は振動をより一般的に表現するため振動レベル (dB) に変換し、分析を進めた。

杭形式、等価剛性での改良杭施工前後の各点における各周波数帯での振動低減量（施工前 - 施工後）をそれぞれ、図 4、図 5 に示す。さらに「杭形式」、「等価剛性」での各点における改良杭施工前後のオーバーオール振動レベル値の比較をそれぞれ、図 6、図 7 に示す。図 4、図 5 より、路盤においては「杭形式」、「等価剛性」ともに、30Hz まではどの周波数帯でも一様に振動が低減していることが認められる。また、「杭形式」と「等価剛性」の 2 つのモデルの結果を比較すると、30Hz まではほとんど差がないことが分かる。一方、30Hz 以上では、2 つのモデルの結果に大きな差が見られる。しかし、図 6、図 7 を比較すると、オーバーオールの振動レベルにおいては「杭形式」、「等価剛性」ともに、路盤から地盤まで概ね一様に振動が低減しており、30Hz 以上の周波数は振動レベルに与える影響が小さいことが分かる。したがって、2 つのモデルの結果にほとんど差異はなく、「杭形式」を「等価剛性」に置換えることは、解析結果に影響がないことがわかる。

4. まとめ

「杭形式」モデルとより簡便な「等価剛性」モデルの 2 モデルで 2 次元 FEM 解析を行った結果、「通路」における施工前後の振動変位の振幅比がどちらも 65% となり、またこの値は実測値ともほぼ同等であるという結果が導かれ、解析の妥当性が確認された。さらに、盛土と地盤の動特性について調べたところ、改良杭によって路盤のみならず、地盤の振動も低減していることが確かめられたと同時に、2 モデルでほぼ同等の結果が得られ、これにより、「杭形式」の「等価剛性」への置換えは可能であることが確かめられた。

5. 今後の課題

一般的に「杭形式」の「等価剛性」への置換えが可能かどうかを確認するため、今後各種の地盤条件での解析を行う予定である。

参考文献：1) 関根悦夫：最近の営業線路盤における地盤改良工法，鉄道線路，33-6，pp.266-270，1985.6

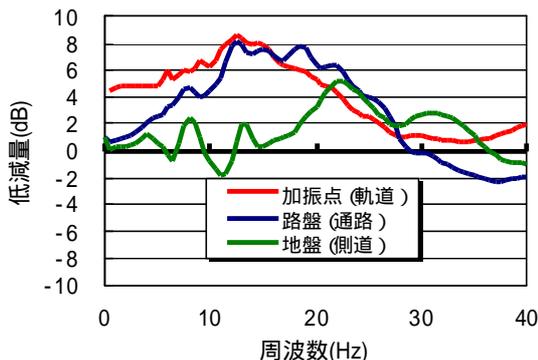


図 4 各点における周波数ごとの振動低減量（杭形式）

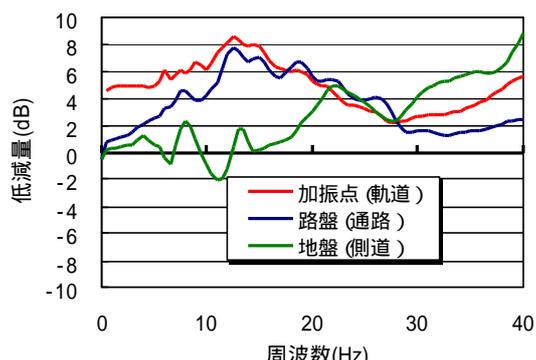


図 5 各点における周波数ごとの振動低減量（等価剛性）

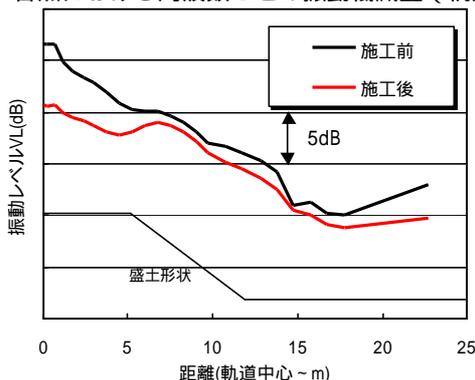


図 6 各点における施工前後の振動レベル比較（杭形式）

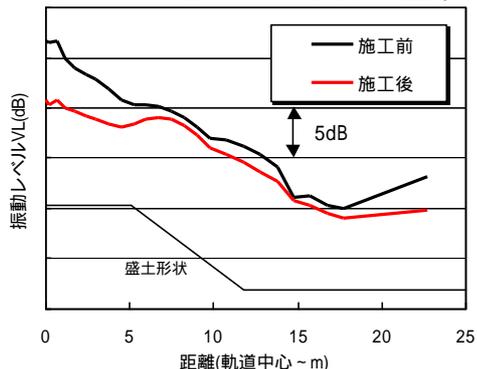


図 7 各点における施工前後の振動レベル比較（等価剛性）