

動的解析による架道橋付近における地盤振動特性の評価

防災技術研究部 地質研究室

主任研究員 横山 秀史

1. はじめに

盛土区間における架道橋の橋台付近は盛土と橋台、桁の構造物境界であり、バラスト支持剛性が急激に変化するほか、盛土の緩みなどが生じやすい箇所である。支持剛性の違いや盛土の緩みに起因する軌道の沈下などは、盛土区間における地盤振動の要因の1つと考えられる。そこで、これらの要因が地盤振動へ与える影響について、車両・軌道・構造物系の動的解析モデルによる地盤振動の加振力解析と、構造物・地盤系の動的解析モデルによる振動伝播解析とを組み合わせた検討を行ったので結果を紹介する。

2. 車両・軌道・構造物系の動的解析モデルによる加振力解析

2.1 解析モデルの概要

車両・軌道・構造物系の動的解析は、振動解析プログラム DALIA¹⁾を用いて行った。モデルの概要を図1に示す。解析に用いた車両モデルは1車両長が25mの標準的な新幹線車両8両編成とし、走行速度を270 km/hとした。軌道はレール2本分と道床、路盤を梁、マクラギを集中質量でモデル化し、各々をばねおよびダッシュポットで支持するモデルとした。構造物は桁、橋台、フーチングを梁でモデル化した。バラスト、路盤、地盤のばねおよびダッシュポットは既往の文献 2),3) および「鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物 (2012年)」にもとづいて特性を設定した。盛土の堅さの加振力への影響を検討するため、既往の文献 3),4)を参考に路盤支持ばねと橋台の地盤ばねを表1に示す軟弱または堅固な盛土に相当する弾性波速度にもとづき設定し、それらを図1に示した破線の範囲で変化させ、各ケースでの加振力を求めた。加振力はばね反力とダッシュポット反力を加算し求めた。ただし、case4の場合にはすべての範囲においてばね係数・減衰を変更している。なお、橋台から2mの範囲を軟弱な場合とした case2 については橋台背面盛土が沈下していると仮定し、路盤

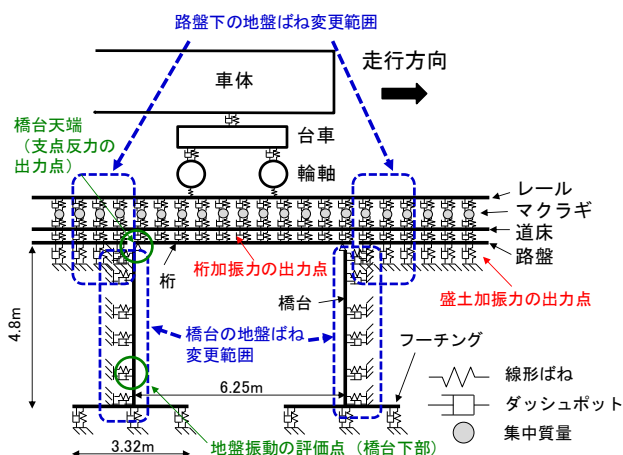


図1 車両・軌道・構造物系の解析モデル

表1 ケース一覧

case	P波速度 (m/s)		S波速度 (m/s)	
	橋台背面	左記以外	橋台背面	左記以外
1	550		165	
2	350	550	125	165
3	800		300	
4	800		300	

支持ばねを変更した範囲において0.25mm下側に凸の矩形の軌道不整波形を設定した。

2.2 解析結果

計算結果の一例として case1 における走行方向奥側(図1の右側)の橋台背面盛土部での路盤への加振力の時刻歴応答を図2に示す。また、各位置における最大加振力をプロットした結果を図3に示す。なお、軌道不整の影響を除くため、図3の case2 は橋台背面盛土部の沈下がない場合の結果を示している。図より、最大加振力はいずれのケースも構造物境界付近の橋台背面盛土部で大きくなることや、走行方向手前側(図3の(b)の位置)に比べて奥側(図3の(c)の位置)の方が大きいことがわかる。また、走行方向奥側の橋台背面盛土部の最大加振力は case1 に比べて case3 や case4 の方が約7kN大きい、case2 は5kN程度小さい。このように、位置やケースにより最大加振力に違いがみられた。一方、橋台から離れた盛土部(図3の(a)の位置)ではケースによる最大加振力の差異は小さい。

それぞれの位置における加振力の周波数特性の違いを把握するため、図3の矢印で示した(a)~(c)の3箇所の1/3オクターブバンドスペクトルを図4に示す。橋台から離れた盛土部(図4(a))や走行方向手前側の橋台背面盛土部(図4(b))では、いずれのケースもスペクトル形状はほぼ同じである。一方、走行方向奥側(図4(c))の橋台背面盛土部では8~31.5Hzの範囲で case3, case4 の加振力

が大きい。また、8~12.5Hz帯、20~31.5Hz帯の加振力は走行方向奥側の背面盛土部が手前側に対し、最大10kN程度大きくなっており、この帯域が走行方向奥側の最大加振力を押し上げる要因になっていることがわかる。

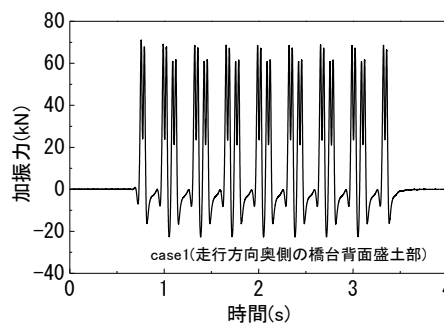


図2 加振力の時刻歴応答の例

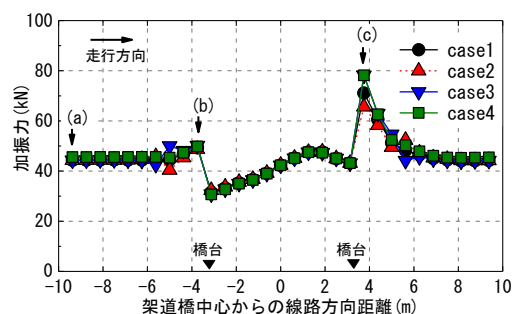


図3 最大加振力の線路方向分布

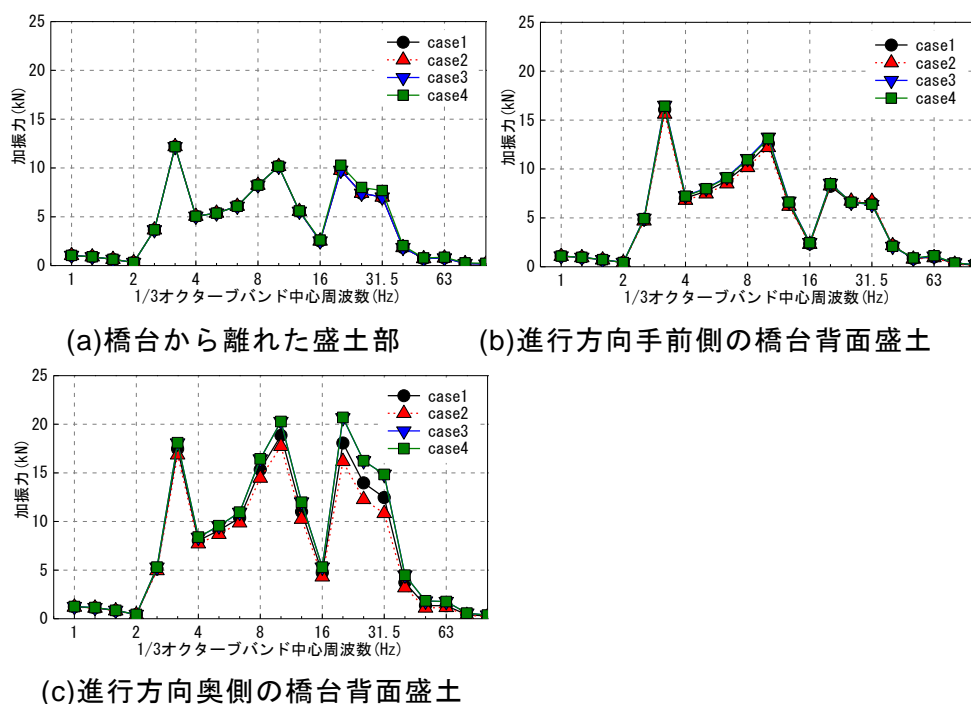


図4 各位置における加振力の1/3オクターブバンドスペクトル

次に橋台から2mの範囲が軟弱な case2 について橋台背面盛土部の沈下量(表 2)を変化させた時の最大加振力の線路方向分布を case1 と併せて図 5 に示す。沈下量が 0.25mm までは走行方向手前側の加振力よりも奥側の加振力が大きいが、沈下量が 0.50mm 以上では走行方向奥側よりも手前側の加振力の方が大きくなる。また、走行方向手前側では橋台背面盛土部(図 5 の(a)の位置)で加振力が局所的に大きくなるが、奥側では橋台背面盛土部よりも橋台からやや離れたところ(図 5 の(b)の位置)でも加振力が大きくなり、影響が線路方向に広がることがわかった。

表 2 case2 の沈下量

case	沈下量(mm)
2	0
2-1	0.25
2-2	0.50
2-3	0.75

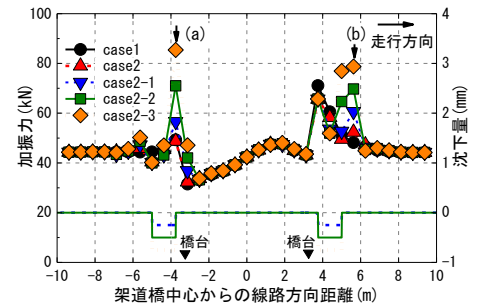


図 5 沈下量を変えた場合の最大加振力分布

3. 構造物・地盤系の動的解析モデルによる振動伝播解析

沿線地盤への振動の伝播性状を把握するため、構造物・地盤系の動的解析を行った。図 6 に解析モデルの概要を、表 3 に地盤の物性を示す。解析には SuperFLUSH/3D を用いた。地盤物性は現地で実施した表面波探査結果、構造物については構造物一般図や設計標準などに基づいて設定した。また、盛土の物性は表 1 の 4 ケースとした。加振力は 2.2 節の解析で求めた加振力の最大値のうち、走行方向手前側の加振力の大きさに応じて線加振モデルを重み付けし、構造物・地盤系モデルに入力した(図 7)。図 8 に近接線軌道中心から 12.5m 離れの位置における各々の物性変更モデルと標準モデルとの振動加速度レベル差を示す。この図より、背面盛土を堅固に改良した case4 では 16~20Hz 帯域などで地盤振動がやや低減することなど、バラスト支持剛性の違いによる地盤振動の違いを確認することができる。

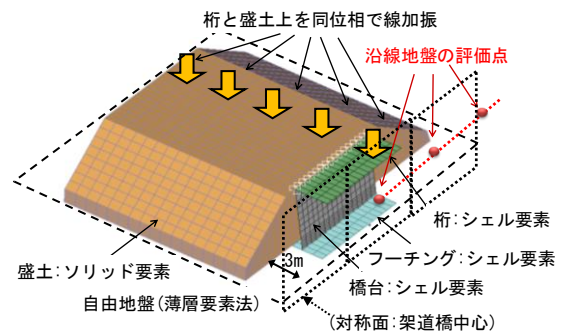


図 6 構造物・地盤系の解析モデル

表 3 地盤の物性

深度(m)	P波速度(m/s)	S波速度(m/s)	密度(kg/m ³)	減衰定数
0~8	1500	260	1.60×10 ³	0.05
8~9	1500	380	2.10×10 ³	0.05
9~	1500	500	2.10×10 ³	0.05

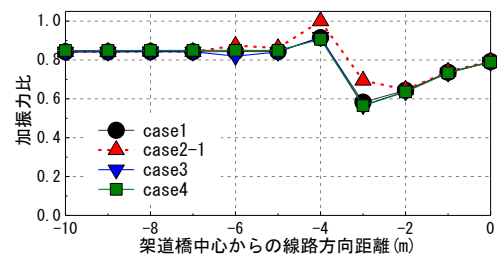


図 7 加振力の重みづけ

4. 架道橋付近における振動低減対策の検討

地盤振動低減のための構造物対策として桁増厚、起終点の橋台のフリーチング連結、桁端ダンパー取り付け⁵⁾を行った場合の橋台近傍の振動変化を検討した。図 9 に各振動低減対策の概略図を示す。桁増厚のケースでは、桁を 0.45m から 0.8m に増厚した。桁端ダンパーはバネ定数 9.8×10^5 kN/m、減衰定数 0.5

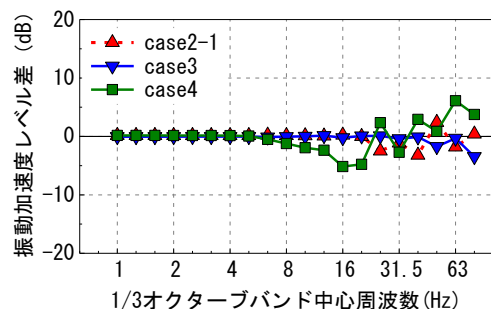


図 8 標準ケースとの振動差(12.5m 点)

のバネ要素でモデル化した。検討にあたっては、前章までと同様にまず車両・軌道・構造物系の動的解析を行い、得られた加振力の最大値で重み付けした線加振モデルにより沿線の地盤振動を求めた。

図 10 に近接線軌道中心から 12.5m 離れの位置における各々の対策を設定したモデルと標準モデルとの振動加速度レベル差を示す。今回検討した構造物、地盤条件ではフーチング連結による沿線地盤の振動低減効果はあまりみられなかった。一方、桁増厚や桁端ダンパは特定の周波数帯において効果的であることがわかった。

5. まとめ

架道橋付近におけるバラスト支持剛性の変化等の影響や架道橋部での地盤振動対策について動的解析により検討した。結果をまとめると以下の通りである。

- (1) 盛土と橋台との構造物境界ではいずれのケースでも加振力が大きくなることが確認でき、加振力は走行方向手前側よりも奥側の方が大きく加振力の周波数特性は異なることがわかった。
- (2) 今回検討した範囲では、橋台からある程度離れた盛土区間においては地盤性状が異なる場合でも加振力はほぼ一定で周波数特性もほぼ同じである。
- (3) 沈下量が増加すると橋台背面盛土部の加振力は大きくなり、加振力の大きさや分布は走行方向手前側と奥側と異なる。
- (4) 振動低減対策による沿線における地盤振動の低減効果については、今回の検討の範囲では桁増厚や桁端ダンパを付加することにより、特定の周波数帯域の振動が低減する結果が得られた。

参考文献

- 1) 矢部明人：サブストラクチャー法を用いた移動体と構造物の動的相互作用解析手法の開発，土木学会第 61 回 年次学術講演会，2007
- 2) 守田武志他：低ばね定数軌道パッド敷設による地盤振動に対する影響，土木学会第 60 回 年次学術講演会 論文集，pp.221-222，2005
- 3) 神田仁他：弾性波トモグラフィによる鉄道盛土の調査（新幹線盛土への適用），土木学会第 58 回 学術講演会 論文集，pp.323-324，2002
- 4) 泉並良二他：微動アレー探査および地震透過法を用いた盛土内部探査，物理探査学会第 126 回 学術講演会 論文集，pp.43-46，2012
- 5) 比江島他：桁端ダンパーによる橋梁の交通振動の低減，土木学会論文集 No.465/I-23，pp.107-116，1993

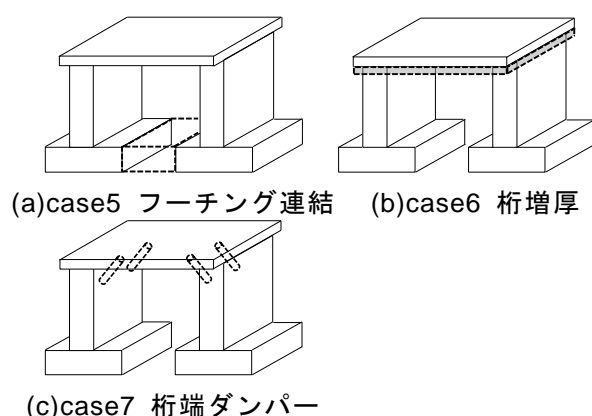


図 9 検討した振動低減対策

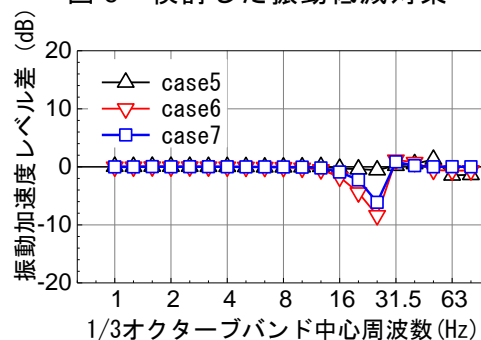


図 10 標準ケースとの振動差(12.5m 点)