

鉄道高架橋—隣接建物相互作用に関する FEM 解析および微動観測による影響評価

鉄道総合技術研究所 正会員 ○和田一範, 月岡桂吾, 山田聖治, 室野剛隆

1. はじめに 鉄道高架橋と大型建物が隣接しているケースは数多くある。建物—地盤、高架橋—地盤の相互作用に関しては、各分野で様々な研究が行われているが、地盤を介した高架橋—建物の相互作用に関する研究はこれまで皆無である。著者の一部は、隣接建物が地震時に高架橋に与える相互作用（図1の“未知”と表記された実線の影響）に関して FEM モデルを用いた数値解析で分析してきた¹⁾。本稿では、文献1)で把握された現象を微動観測で確認するとともに、FEM 解析によるパラメータスタディを行い、影響程度を評価した。

2. FEM 解析による分析 文献1)の内容を中心に隣接建物—高架橋相互作用の傾向を簡単に示す。図2で示した高架橋（無質量）—地盤—隣接建物連成系の2次元 FEM モデルに対して、正弦スイープ波を入力した線形動的解析を行った。

2.1 幾何学的相互作用 建物および周辺地盤（ $V_s=200\text{m/s}$ ）の有効入力係数（図3）で示すように、建物杭基礎による入力損失効果が周辺地盤へ影響を及ぼすこと、その効果は離隔が大きいくほど小さくなることわかる。また、その効果が高架橋杭基礎の入力損失効果に付加され、建物が近接すると高架橋の有効入力係数が下がる（図4）。

2.2 慣性相互作用 建物最上階、建物フーチング位置の応答波形（図5）で示すように、建物最上階と地盤の振動に位相差がある場合、建物の振動が無い場合に比べて、フーチング位置での応答が低減している。その効果が周辺地盤を介して、高架橋位置へ影響し、建物が近くにあるほど、高架橋の有効入力係数をさらに低下させることがわかる（図6）。

3. 微動観測による現象把握 建物—周辺地盤、および建物—地盤—連絡橋（高架橋に類する構造）の微動観測を行った（図7）。自由地盤（建物の影響が無い地盤）と各地点のフーリエ振幅比を算出することで、伝達特性を分析した。

図8に建物直近地盤から距離5m、10m位置の地盤での自由地盤に対する応答倍率を示す。本図より、建物からの距離が近い地盤ほど約1.5Hz以降の応答倍率が大きく低下している。なお、1.3Hzあたりでは、建物周辺地盤の応答が増幅している。これは建物振動のロッキング成分による影響の可能性がある¹⁾が、本稿の結論には影響しないため、詳細は割愛する。次に、図9に隣接建物数が異なる連絡橋下端位置の自由地盤に対する応答倍率を示す。本図より、隣接建物数が多いほど連絡橋下端の応答倍率が下がる傾向となる。以上より、隣接建物の影響が建物からの距離に応じて低減すること、連絡橋の応答を下げる傾向が確認された。観測は幾何学的相互作用と慣性相互作用の両効果が含まれるため、2章のような分離した分析はできないものの、概ね調和的な傾向が得られた。

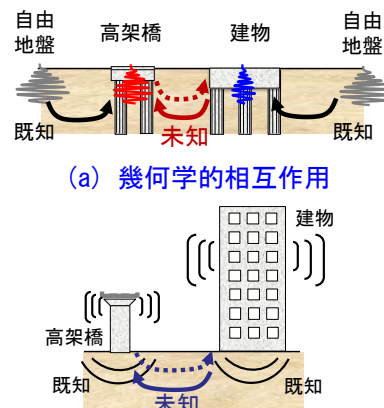


図1 鉄道高架橋—隣接建物相互作用の概念

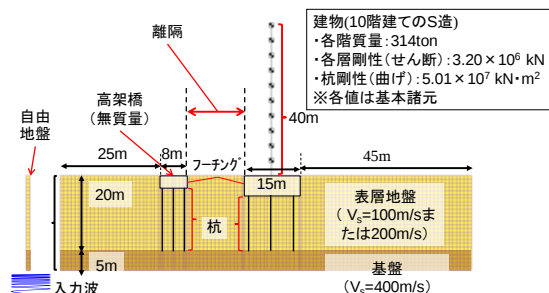


図2 解析モデル概要¹⁾

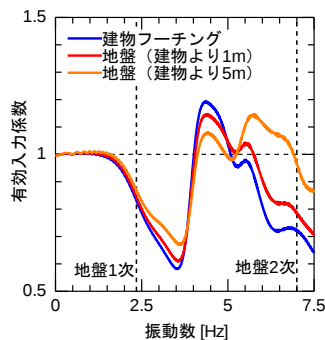


図3 有効入力係数 (建物、周辺地盤)

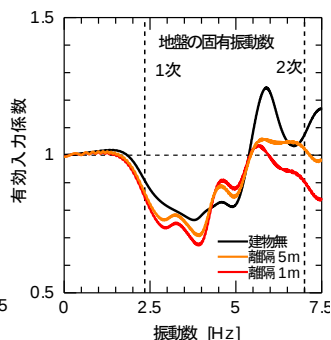


図4 有効入力係数 (高架橋)

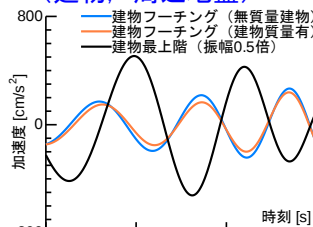
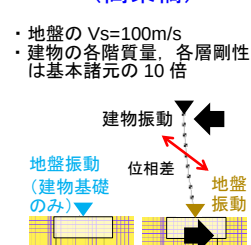


図5 建物・地盤の振動の位相差による応答低減



キーワード 隣接建物、鉄道高架橋、慣性相互作用、幾何学的相互作用

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所 鉄道地震工学研究センター TEL 042-573-7336

4. パラメータスタディによる影響評価 図2のモデル

で、隔離、建物諸元（杭剛性、各階質量、各層剛性）、地盤剛性を変化させたパラメータスタディを行い、各相互作用の影響を評価した。

4.1 幾何学的相互作用 図10

に隔離、杭剛性、表層せん断弾性波速度を変えた各ケースについて、地盤の1次、2次固有振動数における有効入力係数を示す。隔離が小さいほど、杭剛性が地盤剛性に対して相対的に

大きいほど、有効入力係数が小さくなることわかる。また、隔離による有効入力係数の感度が大きいこと、地盤の1次固有振動数帯では、ほぼ高架橋自体の入力損失効果のみであることがわかる。

4.2 慣性相互作用 図11

に建物質量無のケースに対する建物質量有のケースにおける高架橋の有効入力係数変化率と、建物と地盤の1次の固有振動数比の関係を示す。本図より、建物と地盤の1次の固有振動数比が1に近いほど、有効入力係数の変化率が低下することがわかる。これは、建物と地盤の固有振動数が近い場合に建物振動が励起され、地盤振動との位相差が大きくなるためと考えられる。また、隔離による違いはあまり大きくない。ただし、本稿で対象とした建物として一般的に考えられる諸元範囲（青色凡例）で

は、大半のケースが地盤よりも建物の固有振動数が低い領域であり、慣性相互作用による影響は小さい結果となる。

5. おわりに 鉄道高架橋—地盤—隣接建物連成系相互作用に関してFEM解析によるパラメータスタディと微動観測によって影響を評価した。まず、建物基礎の入力損失効果が周辺地盤を介して高架橋の有効入力動を低減させる幾何学的相互作用は、高架橋との隔離の感度が大きいことがわかった。一方、建物と地盤の振動の位相差によって高架橋の有効入力動を低減させる慣性相互作用は、建物と地盤の固有振動数比の感度が大きい、対象とした建物の実在し得る諸元範囲では、影響が小さいことがわかった。また、建物—地盤—連絡橋の微動観測を行ったところ、建物に近い地盤ほど自由地盤より応答が低減すること、隣接建物の数が多いほど連絡橋の応答が低減することがわかり、解析の傾向と調和的な結果が得られた。

参考文献 1) 和田一範, 山田聖治, 室野剛隆: 鉄道高架橋—隣接建物間の動的相互作用の基本特性に関する数値解析的検討, 第37回地震工学研究発表会, 2017.

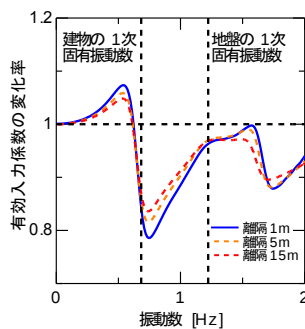


図6 建物・地盤の振動の位相差による応答低減



(a) 建物、周辺地盤（観測①）

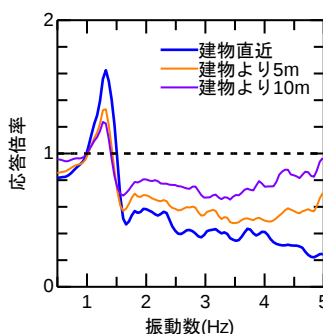


図8 地盤の応答倍率（観測①）



(b) 連絡橋、地盤（観測②）

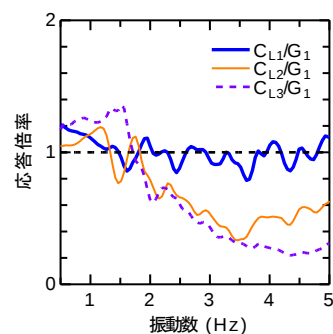
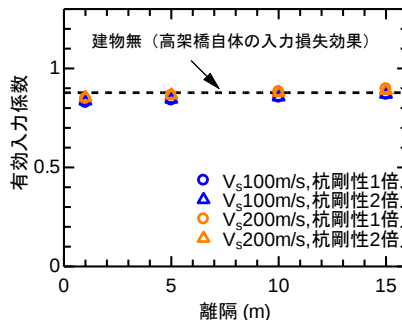


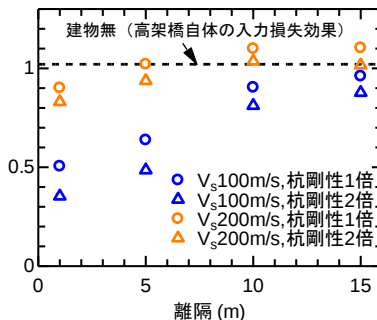
図9 連絡橋下端の応答倍率（観測②）



図7 微動観測の概要（図中の振動数は建物の1次固有振動数）

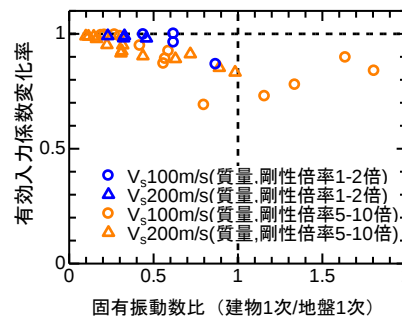


(a) 地盤の1次固有振動数

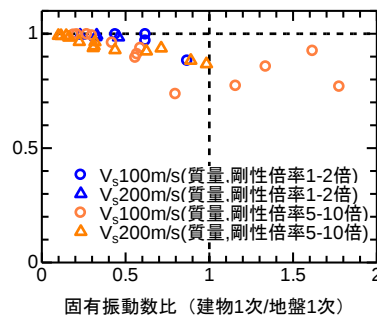


(b) 地盤の2次固有振動数

図10 幾何学的相互作用による高架橋の有効入力動の変化



(a) 隔離 1m



(b) 隔離 15m

図11 慣性相互作用による高架橋の有効入力動の変化