電車線柱と高架橋の動的相互作用に関する一検討

中央復建コンサルタンツ　正会員　○今村　年成
鉄道総合技術研究所　正会員　室野　剛隆　坂井　公俊
同　上　正会員　佐藤　勉　澤田　亮

１．はじめに

高架橋上に建植される電車線柱の耐震設計は，1978 年の宮城県沖地震を契機として，高架橋との動的相互作用を考慮する設計体系が導入された [1)]．その要点は，高架橋による地震動の増幅を評価することであり，現行の電車線柱の耐震設計法 [2)]では，電車線柱と高架橋をそれぞれ分離してモデル化し，高架橋天端での応答加速度を電車線柱単体系に入力することで，電車線柱の動的応答を算出する手法（以下，非連成モデル）が用いられている．一方で，電車線柱と高架橋の動的相互作用の評価方法としては，電車線柱と高架橋を一体でモデル化する連成解析手法（以下，連成モデル）があるが，連成モデルと非連成モデルとの比較は十分にはなされていないのが実状である．本研究では，連成モデルと非連成モデルの比較を行った．その結果，連成モデルで得られる電車線柱の応答は，非連成モデルでの応答よりも 1.5 倍程度大きくなることが判明した．そこで，そのメカニズムについて考察した．

２．解析条件

本検討で用いた解析モデルを図-1 に示す．同図(a)は連成モデルである．同図(b)は非連成モデルであり，現行の電車線柱の耐震設計モデル [2)]である．非連成モデルでは，まず，地表面地震動を高架橋に入力することで高架橋天端での応答加速度を算出する．そして，その応答加速度の水平成分を入力することによって，電車線柱の地震応答を求める．

解析ケースは，電車線柱の 1 次固有周期 T_p と高架橋の 1 次固有周期 T_s の比 T_p/T_s をパラメータとして，T_p/T_s =0.25，0.50，1.00，1.60 の 4 ケースを行った．ここで，電車線線柱の 1 次固有周期 T_p は 0.376sec である．

解析モデルには，2 次元骨組みモデルを用いた．部材および地盤ばねは線形弾性体とした．

減衰は，次のように設定した．まず，電車線柱に 1.5%，高架橋部材に 5%，地盤ばねに 10%の減衰定数を与え，ひずみエネルギー比例型減衰として減衰マトリックスを構築して，固有値解析を実施する．次に，固有値解析で算出した 1 次および 2 次のモード減衰定数を満足するようにレーリー減衰を設定する．

入力地震動は，耐震設計標準 [3)]に記載されている L2 地震動スペクトルⅡ適合波（G3 地盤）を用いた．その時刻歴波形を図-2 に示す．

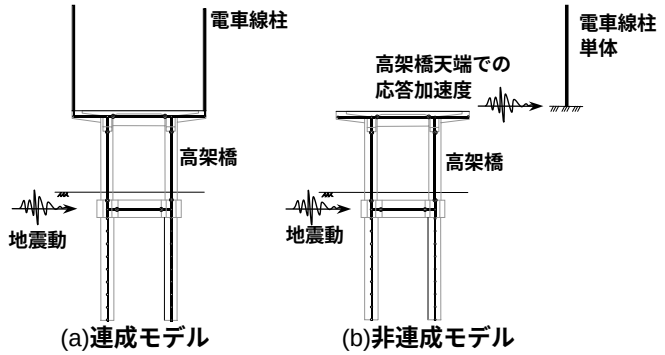


図-1　解析モデル

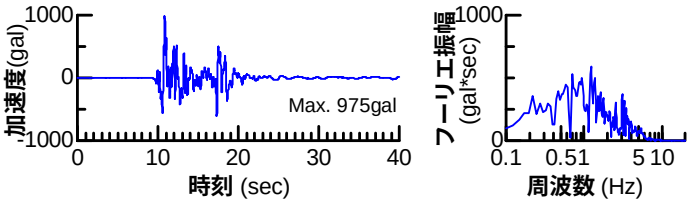
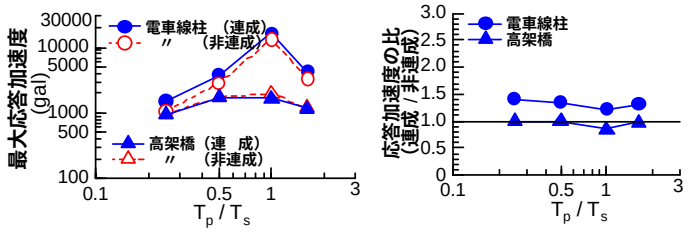


図-2　入力地震動



(a) 応答加速度　　(b) 応答加速度の比

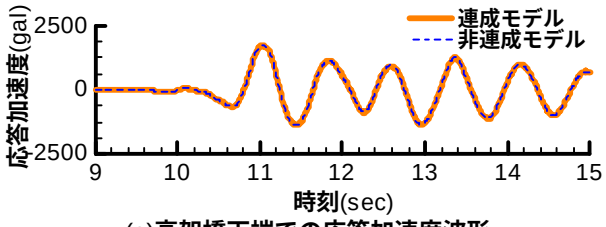
図-3　線形解析の結果

キーワード　電車線柱，高架橋，動的相互作用，連成解析，耐震設計
連絡先　〒533-0033 大阪市東淀川区東中島 4-11-10　中央復建コンサルタンツ（株）鉄道系グループ　TEL 06-6160-2312

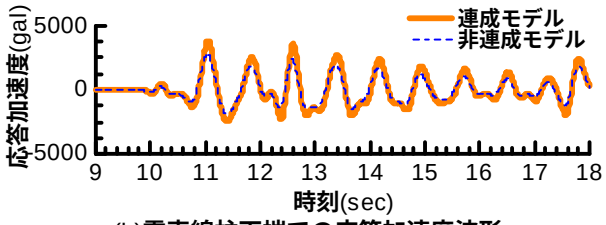
３．解析結果

解析結果を図-3 に示す．同図(a)の縦軸は高架橋および電車線柱天端での最大応答加速度を，同図(b)の縦軸は最大応答加速度の連成モデルと非連成モデルの比を示している．これより，最大応答加速度は，高架橋天端では連成モデルと非連成モデルでほぼ同じ値であるが，電車線柱天端では連成モデルは非連成モデルの約 1.5 倍の値を示していることが分かる．

応答加速度波形の一例を図-4 に示す．繰返しになるが，高架橋天端では，連成モデルと非連成モデルで完全に一致しており，電車線柱天端では，連成モデルは非連成モデルに比べて振幅が大きいことが確認できる．つまり，非連成モデルは，連成モデルで得られる高架橋による地震動の増幅現象を表現できているにも関わらず，電車線柱天端での応答は両モデルで異なっている．これは，大変興味深い解析結果である．



(a)高架橋天端での応答加速度波形



(b)電車線柱天端での応答加速度波形

図-4　応答加速度波形の一例（Tp/Ts=0.5）

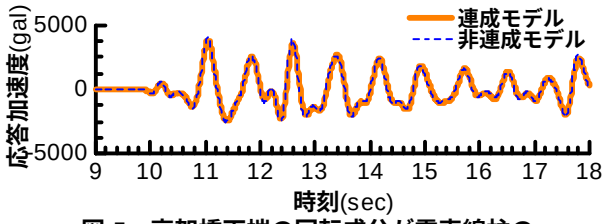


図-5　高架橋天端の回転成分が電車線柱の応答に与える影響（Tp/Ts=0.5）

４．考察

非連成モデルでは，電車線柱には，高架橋天端の応答加速度の水平成分だけを入力しているが，連成モデルでは高架橋によるロッキング振動が電車線柱に自動的に入力されるので，これが両モデルでの応答に違いを生じさせている原因ではないかと考えた．

そこで，式(1)に示す方法で，高架橋天端での応答加速度波形の水平成分に，回転成分を足し込んだ加速度波形を作成し，電車線柱単体系に入力してみた．

$$\ddot{z}_{h+\theta} = \ddot{z}_h + \ddot{\theta} \times H \tag{1}$$

ここに，$\ddot{z}_{h+\theta}$：回転成分を足し込んだ加速度波形，$\ddot{z}_h$：非連成モデルにおける高架橋天端での応答加速度の水平成分，$\ddot{\theta}$：非連成モデルにおける高架橋天端での応答加速度の回転成分，H：電車線柱の高さである．その解析結果を図-5 に示す．同図から，電車線柱単体系へ入力する地震動に回転成分を足し込むことで，連成モデルの解析結果をうまく表現できていることが分かる．紙面の都合で省略するが，他の解析ケースでも同様の傾向が確認できた．つまり，連成解析と非連成解析での電車線柱の応答の違いは，連成解析では高架橋のロッキングの影響が自動的に考慮されるのに対して，非連成モデルでは水平成分しか考慮していないためであると考えられる．

５．まとめ

高架橋上の建植された電車線柱の地震時応答の算出手法として，連成モデルと非連成モデルの比較を行った．その結果，連成モデルで得られる電車線柱の応答は，非連成モデルでの応答よりも 1.5 倍程度大きくなることを確認した．その原因は，連成モデルでは高架橋のロッキング振動が電車線柱に自動的に入力されるのに対し，非連成モデルでは電車線柱には高架橋の水平振動しか入力していないためであると考えられる．なお，紙面の都合で省略したが，土木構造物を非線形とした解析においても同様の結果が得られた．

参考文献

1) （社）鉄道電化協会（電車線路耐震性研究委員会）：電車線路設備耐震設計の研究，1980-1982.

2) （財）鉄道総合技術研究所，（社）日本鉄道電気技術協会（電力設備耐震性調査研究委員会）：電車線路設備耐震設計指針（案）・同解説及びその適用例，1997.

3) （財）鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計），丸善，1999.