

電車線柱の支持条件がその振動特性に与える影響に関する基礎的検討

鉄道総合技術研究所 正会員 坂井公俊, 室野剛隆, 加藤 尚
ジェイアール東日本コンサルタンツ 正会員 ○桐生郷史, 山本 忠

1. はじめに 土木構造物上に設置されている電車線柱の基礎形式としては各種の構造が存在する．中でも基礎の外枠と電車線柱のわずかな間隙に砂を敷き詰めた基礎形式（砂詰め基礎）は，地震時の応答低減を目的としたものであり，砂詰め基礎を有する電車線柱は，耐震性能が優れているものと考えられる．しかしながら，砂詰め基礎の振動特性評価に関する検討は限定的であり¹⁾²⁾，これが電車線柱全体に与える影響や効果は未だ明らかになっていない．また，砂基礎に何らかの工夫を施すことで，より効果的な地震応答値の低減が可能となることも考えられる．そこで本報では，電柱の支持条件を変化させた 3 次元 FEM 解析を実施することで，基本的な振動特性について検討するとともに，基礎の諸元（充填材の幅，諸元）を変化させた場合に電車線柱の振動特性がどのように変化するかについて検討を行う．

2. 検討条件 検討は，図 1 に示した電柱－充填材－RC 基礎枠の 3 次元有限要素モデルに対して行う．電柱はビーム要素，充填材および RC 基礎枠はソリッド要素とした．基礎部の電柱と充填材の結合は，電柱の体積効果を考慮するために，剛な梁要素を電柱から伸ばし，充填材とピン条件で結合した．今回は電柱，充填材，RC 基礎部ともに線形とする．なお，電柱と充填材の剥離を表現するために，引張応力を伝達しないジョイント要素を設置するとともに，電柱が基礎枠に衝突する現象は，電柱と RC 基礎枠の間に充填材幅相当の変形が生じた場合に圧縮力が生じるジョイントで表現する（図 2）．

解析ケースを，表 1 に示す．Case①は，充填材を有さない電柱単体のモデルであり，電柱下端を固定としたケースである．Case②～Case④は，充填材の幅を変えたケースであり，充填材の諸元としては砂を模擬し， $V_s=100\text{m/s}$ 相当のせん断剛性，減衰 15%を付与した．通常の砂基礎の幅は 25mm 程度であり，Case④に相当する．Case⑤は，Case④に対して充填材の減衰を大きくした場合である．Case⑥は，Case④に対して充填材のせん断剛性を小さくした場合である．

これらの各ケースに対して，固有値解析，静的解析（Push over 解析）および動的解析を実施する．

3. 解析結果

3.1 固有値解析 固有値解析から得られた 1 次の固有振動数および減衰定数を図 3 に示す．充填材の幅が小さくなるにつれて，固有振動数は大きく，減衰は小さくなり，電柱単体の Case①の結果に近づくことが分かる．Case⑤は，Case④と固有振動数，減衰ともに大差がない．一方，Case⑥は，他ケースと比べて固有振動数は低下するものの，減衰定数は大きくなる事が分かる．

3.2 静的解析 静的解析における荷重（水平震度）－変位関係を図 4 に示す．Case①～④を比較すると，充填材の幅が大きいほど水平変位が大きくなる傾向にあることが分かる．また，

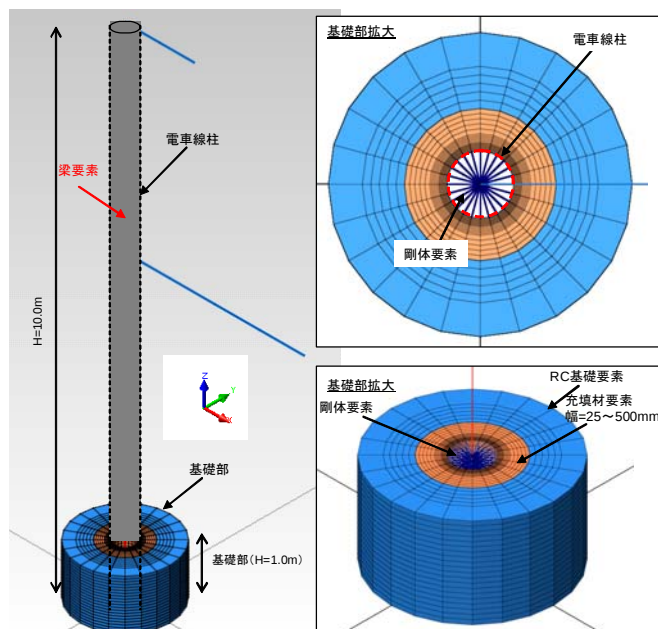


図 1 解析モデルの概略

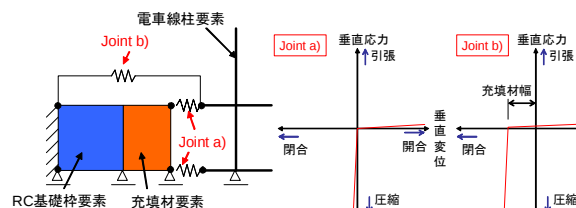


図 2 ジョイント要素のイメージ

表 1 解析ケース一覧

ケース	基礎形式	砂のせん断剛性 (kN/m ²)	充填材の減衰
①電柱下端固定	下端固定	—	—
②充填材幅=500mm	幅 500mm	18000	15%
③充填材幅=250mm	幅 250mm		
④充填材幅=25mm	幅 25mm		
⑤充填材の減衰大	幅 25mm	500	30%
⑥充填材の剛性大	幅 25mm		15%

キーワード 地震応答解析，電車線柱，砂詰め基礎

連絡先 〒171-0021 東京都豊島区西池袋 1-11-1 ジェイアール東日本コンサルタンツ（株） TEL 03-5396-7249

充填材幅の小さい Case④, ⑤は, Case①と大差がない. 一方, 充填材の剛性の小さい Case⑥は, 水平変位が大きく, 水平震度 1.4 程度で基礎枠に接触している. 図 5 は, 水平震度 $K_h=2.0$ 時における電柱の曲げモーメント, およびせん断力分布を示す. Case①は, 曲げモーメント, せん断力ともに電柱下端で最大となっている. 一方, 基礎を有する場合 (Case②~⑥) は, 曲げモーメントは基礎上面で最大, せん断力は基礎内部で非常に大きな値が発生している. つまり, 充填材を有することによって, 基礎に埋め込まれた電柱部で大きな断面力が生じる可能性があると言える. また, 基礎部における断面力拡大図を見ると, Case⑥は RC 基礎枠に接触しているため, 充填材の抵抗に加えて, 基礎の上下端付近で支持する挙動となっており, 最大せん断力としては充填材を有する他のケースよりも小さな値となっている.

3.3 動的解析 続いて動的解析を行う. 減衰は, 固有値解析時にひずみエネルギー比例減衰でモード減衰を算定し, この結果からレーリー減衰を設定した. 入力地震動は, ホワイトノイズ (最大加速度 3000gal) を基礎下端に入力し, 図 1 中の x 方向に加振した. 動的解析における最大断面力分布を図 6 に示す. Case①は, 減衰が最も小さいため, 他のケースよりもモーメントが大きくなり, かつ電柱下端で最大となっている.

一方で, 充填材を有する Case ②~⑥では, 静的解析時と同様にモーメントは基礎上端で最大, せん断力は基礎中間部で非常に大きくなっている. 充填材幅の最も小さい Case④は, Case②, ③に比べてモーメントが大きくなっている. これは固有値解析結果からも分かるように, 充填材幅が小さい場合は, 充填材の減衰を十分に発揮できていないためであると考えられる. 同じ充填材幅である Case④~⑥を比べると, 減衰の大きい Case⑤の応答値は若干小さくなる程度であるが, 剛性の小さい Case⑥は, 断面力が大幅に低減されていることが分かる.

4. まとめ 充填材に用いる材料の変化が電柱の基本振動特性に与える影響について検討した. その結果, 充填材の幅, 材料を変化させることで, 電柱の地震時挙動が大きく変化することが分かった. また, 一般的に用いられている砂基礎幅 25mm では, 杭基礎で期待しているような地盤の減衰の効果を十分活用できない可能性も考えられる. なお, 本研究の一部は, 国土交通省補助金を受けて実施した.

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, 1981. 2) 坂井公俊, 室野剛隆, 佐藤勉: 電車線柱砂基礎の載荷実験と地震時挙動の把握, 鉄道力学論文集, Vol.12, 2008.

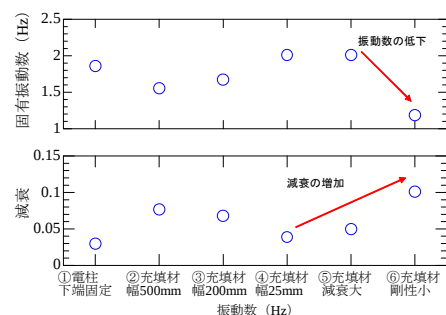


図 3 固有振動数と減衰定数 (固有値解析)

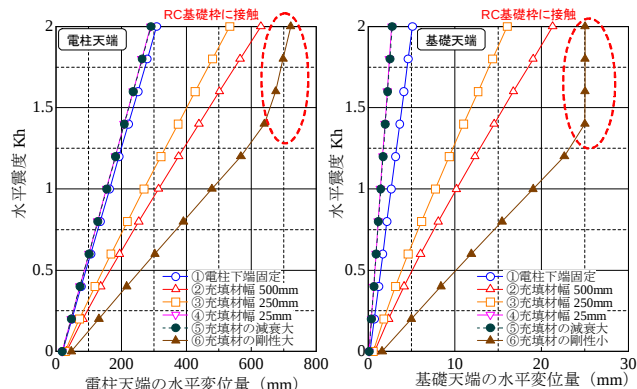


図 4 荷重-変位関係 (静的解析)

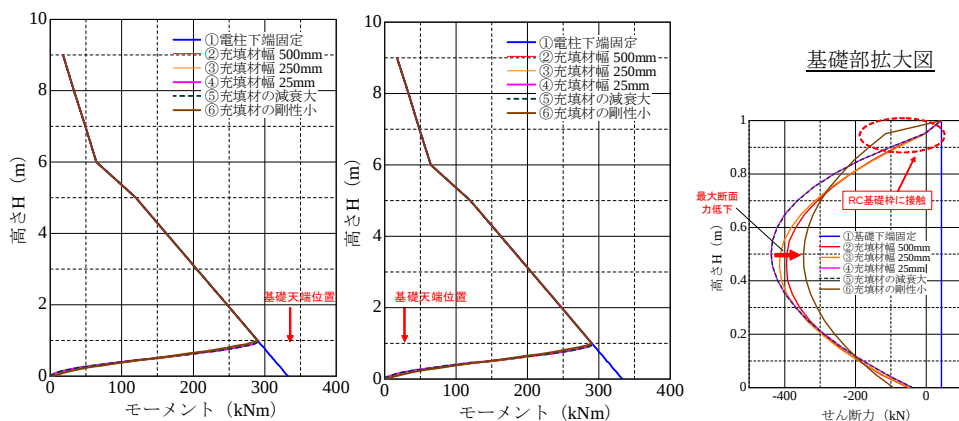


図 5 水平震度 $K_h=2.0$ 時の断面力分布 (静的解析)

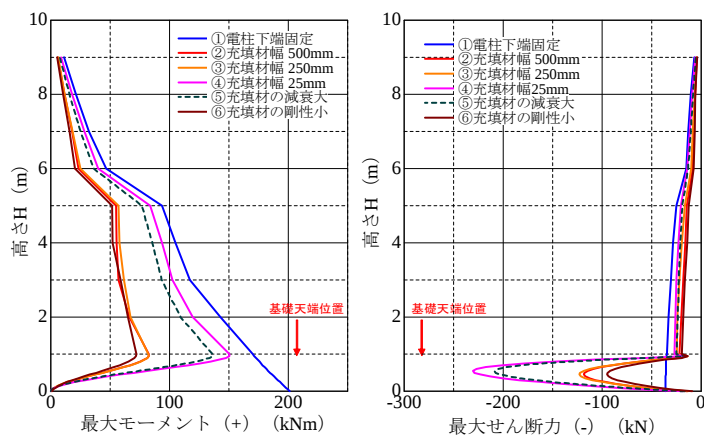


図 6 最大断面力分布 (動的解析)