

斜杭基礎の動的制振効果を考慮した鉄道高架橋の耐震照査例

復建エンジニアリング
鉄道総合技術研究所
鉄道建設・運輸施設整備支援機構
レールウェイエンジニアリング

正会員○秋山 慎一郎，勅使川原 敦
正会員 松浦 光佑，本山 紘希，西岡 英俊
正会員 高野 裕輔，陶山 雄介
正会員 青木 一二三

1. はじめに

斜杭基礎は、比較的傾斜角が小さい場合でも単純に静的な水平抵抗が増加するのみでなく、地震時に動的な制振効果を発揮することが実験的に確認されている¹⁾。また、その動的な制振効果を設計上で考慮する実務的な手法が提案されている²⁾。本稿では、鉄道高架橋で多用されているラーメン高架橋に斜杭基礎を適用した場合を例として、動的制振効果が耐震照査に及ぼす影響について試算した。

2. 設計条件

対象構造物は、斜杭基礎（回転鋼管杭φ900mm）を有するRCラーメン高架橋とし、斜杭の角度は、用地範囲内に杭が納まる5°とした。地盤条件については、鉄道構造物の耐震設計におけるG4地盤（普通～軟弱地盤）相当を設定した。構造一般図および地盤条件を図1に示す。構造解析モデルは、地盤・杭基礎・上部構造物を一体とした平面骨組みモデルとし、部材を線材、地盤抵抗をばねでそれぞれモデル化した。地盤ばねは、斜杭の角度が5°と小さいため同諸元（杭径、杭長）の直杭の地盤ばねと同一とした。解析手法は、プッシュ・オーバー解析とし、非線形スペクトル法により応答値を算定した。なお、本構造は動的制振効果を考慮しない条件において直杭との比較設計を行った事例であり、同じ耐震性能を有する直杭に比べて杭径が10%縮減されている³⁾。

3. 斜杭基礎の動的制振効果を考慮した耐震設計のフロー

動的制振効果は、プッシュ・オーバー解析で得られた応答値に応答低減係数 λ_θ を乗じることにより考慮する²⁾。図2にフローを示す。非線形スペクトル法により応答値を算定する際は、所要降伏震度 k_{heq} を λ_θ （ ≤ 1.0 ）で除して割増すことで間接的に応答値を低減し、動的制振効果を考慮する。

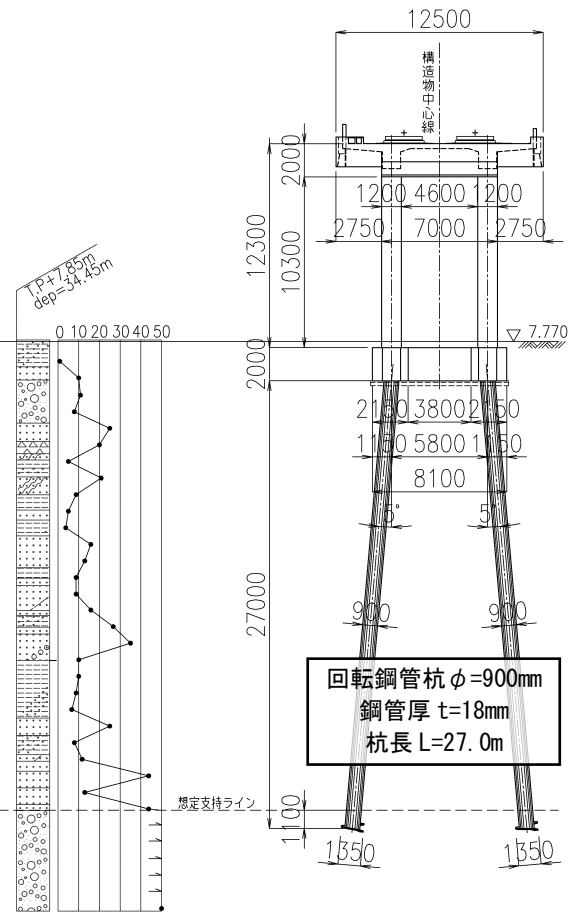


図1 構造一般図と地盤条件

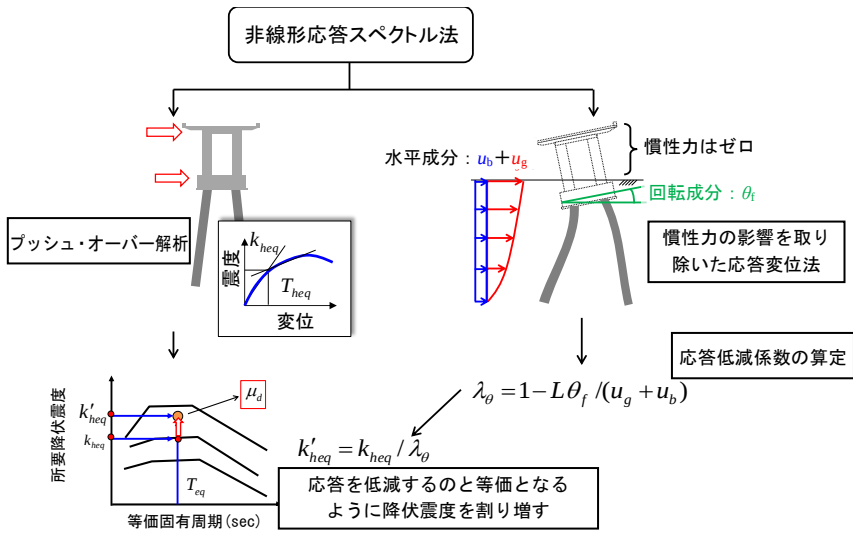


図2 斜杭基礎の動的制振効果を考慮した耐震設計フロー

斜杭，動的制振効果，非線形スペクトル法，鉄道高架橋
連絡先 〒103-0012 東京都中央区日本橋堀留町1-11-12 (株)復建エンジニアリング TEL 03-5652-8563

4. 斜杭基礎の応答低減係数

応答低減係数 λ_θ は、解析モデルに対して慣性力の影響を取り除いた応答変位法（地震時の地盤変位分布のみを作用させた静的非線形解析）を行い、その際の各杭頭の格点部における基礎の回転角 θ_f から(1)式により求める。

$$\lambda_\theta = 1 - \frac{L\theta_f}{u_g + u_b} \quad (1)$$

ここで、 L ：高架橋の高さ、 u_g ：杭頭位置における地盤の最大変位量（基盤からの相対変位量）、 u_b ：基盤の最大変位量である。なお、動的制振効果は地盤変位が大きいほど応答値の低減効果が大きくなるため、安全側の配慮として、地盤変位分布を一次元動的解析により求めた場合と鉄道耐震標準⁴⁾に示される簡易式により求めた場合との両方で応答変位法を行い、安全側（低減効果が小さい方）の応答低減係数を用いる。図3に地盤変位の算定結果と地盤変位のみ作用させた時の変形図を示す。

5. 応答値算定と耐震照査結果

図4にプッシュ・オーバー解析により求めた構造物全体系の荷重～変位曲線とL1地震動およびL2地震動（スペクトルⅡ）に対して、動的制振効果を考慮した場合と未考慮の場合のそれぞれの応答値を示す。また、図5には各地震動に対する部材の損傷レベルの照査結果を示す。斜杭基礎の動的制振効果を考慮することで、基礎だけでなく柱部材の照査値も低減できることがわかる。

6. おわりに

本稿では、非線形スペクトル法による斜杭基礎の動的制振効果を考慮した鉄道高架橋の耐震照査例を概説し、動的制振効果を簡易に実設計に反映する方法を示した。動的制振効果による応答値の低減は、基礎だけでなく柱部材の照査値についても期待でき、これにより柱の鉄筋量等を縮減できる可能性があることを示している。また、各部材の照査値の低減量は本事例では概ね10～15%程度と応答低減係数 λ_θ と同程度であったが、前述したように動的制振効果は地盤変位の大きさに支配されるため、本検討で設定した地盤条件（G4地盤）よりも軟弱で地盤変位が大きくなる地盤条件においては、より大きな応答値の低減が期待できる。

参考文献

- 1) 松浦光佑, 西岡英俊, 飯塚貴洋, 森野達也, 陶山雄介, 青木一二三: 模型振動実験による斜杭基礎の動的制振効果および杭体断面力, 第58回地盤工学シンポジウム論文集, pp55-60, 2013.11.
- 2) 仲秋秀祐, 本山紘希, 室野剛隆, 西岡英俊, 森野達也, 陶山雄介, 青木一二三: 斜杭基礎高架橋における地震慣性力の評価手法の提案, 性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, 16巻, pp85-90, 2013.7.
- 3) 清田三四郎, 丸山修, 青木一二三, 神田政幸, 西岡英俊, 出羽利行: 斜杭基礎を有する鉄道ラーメン高架橋の試設計, 第43回地盤工学研究発表会, pp.1169-1170, 2008.7.
- 4) 国土交通省監修, 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, 2012.9.

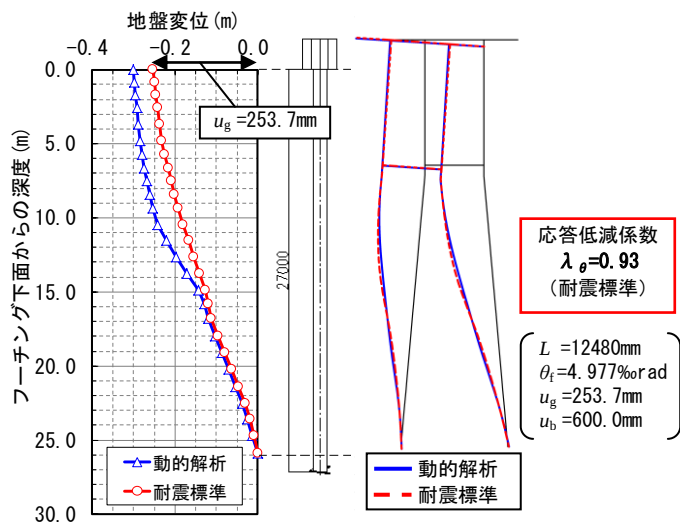


図3 地盤変位（L2地震動）と変形図

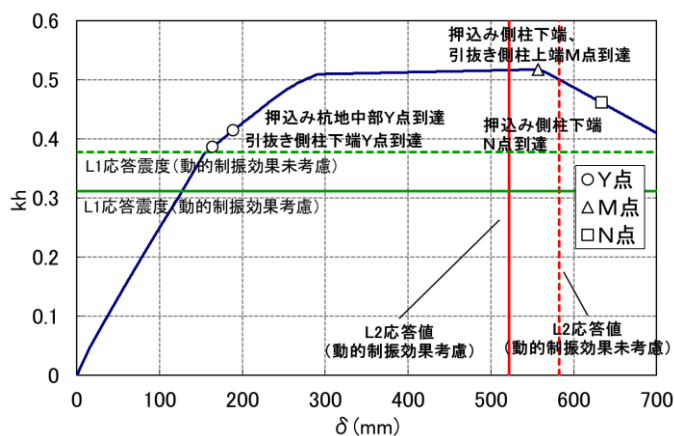
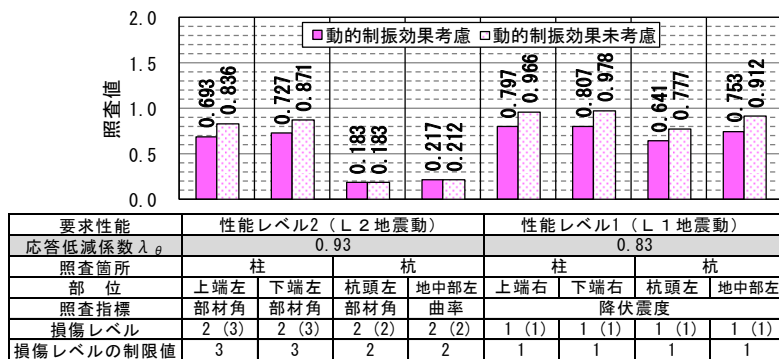


図4 荷重～変位曲線と応答値



*1 照査値は、各部材の損傷レベルの制限値に対する値を示す。
*2 表中の()は、動的制振効果未考慮の場合の損傷レベルを示す。

図5 地震時の各部材の損傷レベルの照査結果