斜杭基礎の動的な制振効果の算定手法の提案

（公財）鉄道総合技術研究所　正会員　○仲秋　秀祐　　本山　紘希　　室野　剛隆
（独）鉄道建設・運輸施設整備支援機構　正会員　森野　達也　　陶山　雄介
（株）レールウェイエンジニアリング　　正会員　　青木　一二三

１．はじめに

斜杭基礎を有する高架橋では，逆ロッキング動と呼ばれる構造物の水平振動と逆向きに発生する基礎の回転振動により，構造物天端の応答が低減される現象が報告されている[1)]．筆者らは，斜杭基礎を有する高架橋に対して，現行の耐震設計法を合理的に適用するため，非線形応答スペクトルの適用性の検討を行い，逆ロッキング動が生じる場合の所要降伏震度スペクトルの補正方法を提案した[1) 2)]．しかし，所要降伏震度スペクトルの補正率が構造物の周期帯域によって変動する結果が得られたため，入力地震動の周期特性に依存する可能性が懸念された．そこで本検討では，過去に観測された代表的な地震動を用いて，文献 2）と同様の検討を行い，構造物応答の低減量と入力地震動の周期特性の関連性について確認した．

２．検討条件

対象構造物は，上部構造物の諸元が等しい直杭基礎と斜杭基礎を有する 2 つのラーメン高架橋とした．斜杭基礎は，直杭基礎の杭に 5° の角度を与えて作成した（**図 1**）．地盤条件は，鉄道構造物等設計標準・同解説　耐震設計[3)]（以下，耐震標準）に記載する G3，G4 地盤を設定した（**図 2**）．動的解析モデルには，自由地盤と構造物を一体とした質点系一体型モデル（**図 3**）を用いた．入力地震動は，神戸 JMA および釧路沖 JMA の 2 波を用いた．

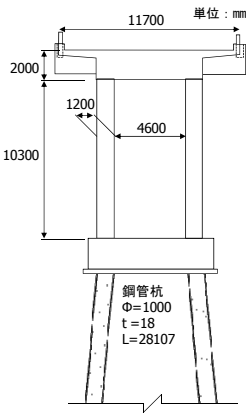


図 1　対象構造物
（斜杭基礎）

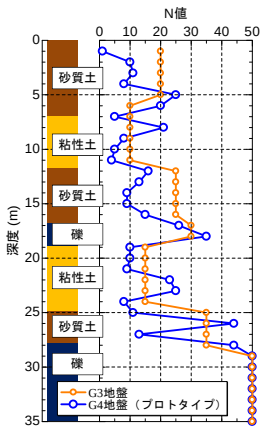


図 2　柱状図
（G3・G4 地盤）

３．検討方法[2)]

上記 2 波に対して，静的解析および動的解析により得られる所要降伏震度スペクトルの補正率を比較し，地震動の周期特性の影響を確認する．まず**図 4** に示すとおり，慣性力を除いた静的解析（応答変位法）を行い，逆ロッキング動により構造物に入力される地震動の低減率 $L\theta^{s}_{eff}/\left(u^{s}_{g}+u^{s}_{b}\right)$（ここに，$u^{s}_{g}$：地表面の入力変位，$u^{s}_{b}$：基盤位置での最大変位，$\theta^{s}_{eff}$：逆ロッキング量、$L$：構造物の高さ）を求めた．次に慣性力を除いた動的解析を行い，構造物に作用する水平成分の有効入力動 $\ddot{u}^{d}_{eff}$（≒ $\ddot{u}^{d}_{g}$：地表面応答加速度）と逆ロッキング量により補正した見かけの入力地震動 $\ddot{u}^{d}_{eff}-L\ddot{\theta}^{d}_{eff}$（ここに，$\ddot{\theta}^{d}_{eff}$：有効入力動の回転成分）の 2 波に対して所要降伏震度スペクトルを作成し，その低減率を算定した．ここで，所要降伏震度スペクトルは，入力地震動を一律低減させると，同様の割合で一律低減する特徴[2)]があるため，静的解析により得られた入力地震動の低減率を，一律の割合で補正した所要降伏震度スペクトルの低減率と考え，動的解析の検討により得られた補正前後の入力地震動の所

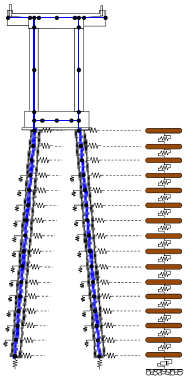


図 3　動的解析モデル
（一体型モデル）

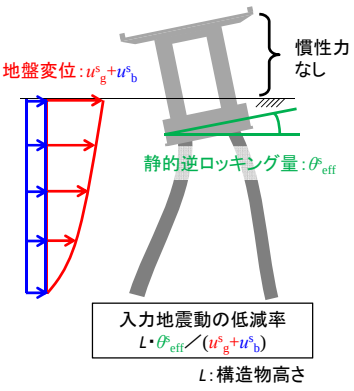


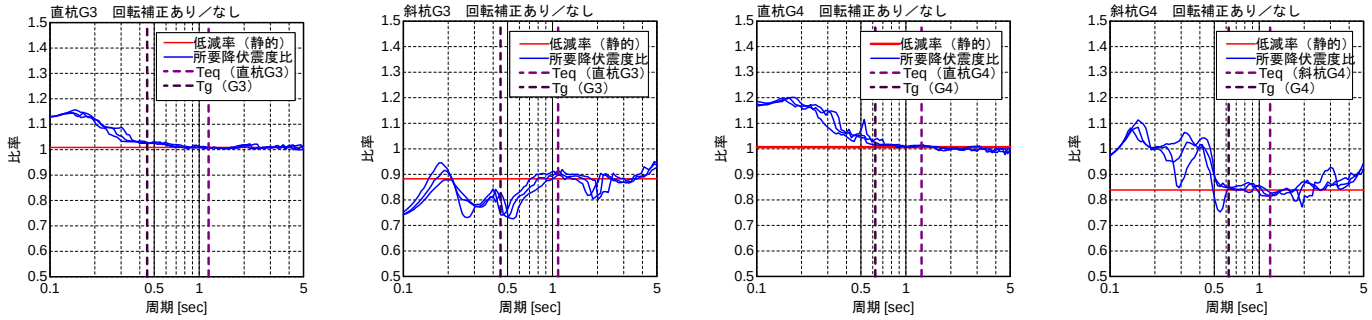
図 4　入力地震動の
低減率の概要

キーワード　斜杭基礎，逆ロッキング動，有効入力，所要降伏震度スペクトル
連絡先　　〒185-8540　東京都国分寺市光町 2-8-38　ＴＥＬ042-573-7394

要降伏震度スペクトルの低減率と比較した．

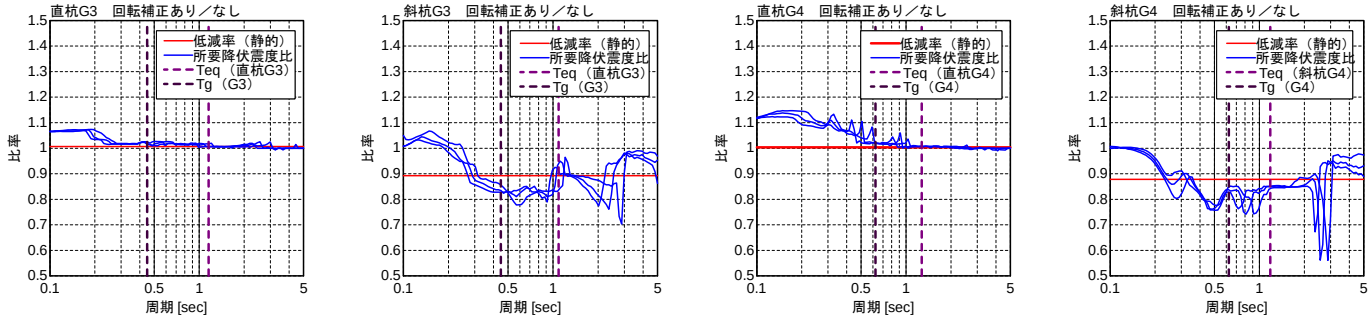
４．検討結果

逆ロッキング量による回転補正前後の所要降伏震度スペクトルの比率（μ=3, 4, 5）を**図 4，5** に示す．なお図中には，静的解析より求まる入力地震動の低減率も合わせて示す．殆どのケースで，文献 3）に示す L2 スペクトルⅡの検討結果と同様，基礎形式によらず，地盤の高次モードの影響により，地盤の周期よりも短周期側で増加していることが確認される．また、それ以外の周期帯において，まず直杭基礎では回転補正の影響は殆どないと言える．一方，斜杭基礎では，鉄道構造物の周期帯域（0.5 秒から 1.5 秒程度）で，静的解析による回転動の低減率と比べて同等か，あるいはそれ以下となっており，静的解析による低減率は動的解析の低減率を概ね包絡していること確認できる．また，それよりも長い周期帯域では，比率が 1 に近づく傾向がある．これらの結果も，L2 スペクトルⅡの結果と整合を持っている．以上より，逆ロッキング量による構造物の応答値の低減量は，地震動の周期特性に大きく寄与しないことが確認された．



（a）直杭－G3 地盤　　（b）斜杭－G3 地盤　　（c）直杭－G4 盤　　（d）斜杭－G4 地盤

図 4 回転補正前後の所要降伏震度スペクトルの比較（釧路沖 JMA）



（a）直杭－G3 地盤　　（b）斜杭－G3 地盤　　（c）直杭－G4 地盤　　（d）斜杭－G4 地盤

図 5 回転補正前後の所要降伏震度スペクトルの比較（神戸 JMA）

５．おわりに

斜杭基礎を有する構造物の逆ロッキング動による応答の低減量と地震動の周期特性との関連性は，それ程大きくないことが分かった．これにより，逆ロッキング動を考慮した構造物の応答値を算定する方法として，設計地震動に寄らず，地盤変位のみを考慮した静的解析法（応答変位法）により逆ロッキング動を評価し，得られた低減率をそのまま用いて所要降伏震度スペクトルを補正する方法が可能であることが示された．ただし，短周期および長周期領域で，その低減率が減少傾向にあるため，その適用範囲の検討は今後の課題として挙げられる．

参考文献　1）本山，仲秋，室野，西岡，森野，青木：斜杭基礎を有する構造物における振動メカニズム，第 48 回地盤工学研究発表会，2013.（投稿中）2）仲秋，本山，室野，西岡，森野，陶山，青木：斜杭基礎の動的な制震効果を考慮した構造物の応答評価に関する初期的検討，第 48 回地盤工学研究発表会，2013.（投稿中）3）（公財）鉄道総合技術研究所，鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計），2012.