

斜杭基礎を有する構造物での有効入力

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○本山紘希 室野剛隆 仲秋秀祐 西岡英俊
鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 米澤豊司 森野達也 青木一二三

1. 目的

既往の研究における振動実験や数値解析により、斜杭基礎を有する構造物では、通常の直杭形式の基礎を有する構造物に比較して、地震時の構造物応答が低減されることが指摘されている¹⁾など。また、地震時の基本的な挙動として、直杭基礎を有する構造物では、構造物が変位する方向にロックングするのに対し、斜杭基礎の構造物では、構造物が変位する方向と逆方向にロックングする(以下、逆ロックング)挙動も確認されている²⁾。しかし、斜杭基礎に関するこれらの挙動については未解明な部分があるため、設計において考慮されていないのが実情である。ここでは、直杭と斜杭の挙動の違いが、地盤との幾何的相互作用の違いにより構造物へ実際に入射される地震動(有効入力)が変化するため表れるのではないかと考え、それぞれの基礎形式における有効入力を算定し比較することとした。

2. 検討対象構造物と構造物の設計地震動に対する応答

検討対象構造物としては、図1(左)に示す直杭基礎の構造物を基本構造物とした。基本構造物はG4地盤(地盤周期:0.62sec)に設計されたラーメン高架橋で、構造物高さが12m程度、杭径が1m、杭長が28mというものである。これに対し、杭に斜角を与えて仮想的に斜杭基礎の構造物を作成した(図1(右))。ここでは、この2つを検討対象とする。

構造物のモデル化においては、構造物をはり要素で、自由地盤をばねでそれぞれモデル化し、さらに構造物と自由地盤をばねで連結する一体型の多質点系モデルを用いた。このモデルは杭-地盤の相互作用により、有効入力を適切に評価できるモデルとなっている。要素のモデル化は鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)による。本モデルは、自由地盤の基盤位置に基盤地震動を入力することで、全体系の動的解析を行うモデルとなっている。例として斜杭基礎の構造物におけるモデルの概要を図2に示す。

ここで作成した構造物の基本的な応答を示すため、上記設計標準で示されているL2地震動(スペクトルII)を入力として時刻歴応答解析を行い、構造物天端の変位応答波形を計算した(図3)。ここでは、鉛直成分の応答は割愛している。図3より、斜杭基礎の構造物では直杭基礎の構造物と比べて水平変位が抑えられていること、また、両基礎で回転角応答波形が正負逆になることが分かる。

3. 有効入力の算定

有効入力は、地盤と基礎の幾何的相互作用の結果、構造物に実際に入射される地震動として定義される。基礎が地盤を拘束しなければ、有効入力は地表面地震動と同じになるが、一般的には基礎の剛性により地盤が拘束され入力損失が発生する。有効入力(入力損失)と地表面地震動のフーリエスペクトルの比は、定常状態では一定の関数で表現できることが知られている。この有効入力と地表面地震動のフーリエスペクトルの比を有効入力係数と呼び、有効入力は、この有効入力係数を用いて整理するのが

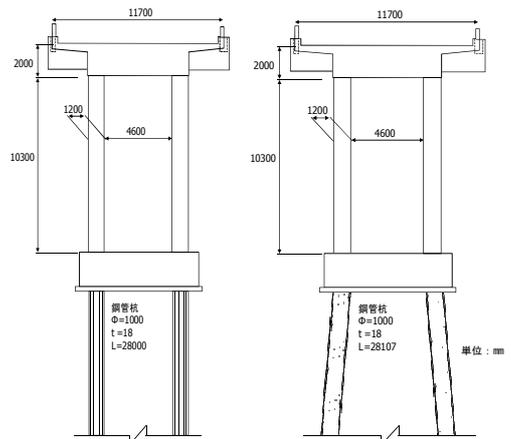


図1 対象構造物(左:直杭,右:斜杭)

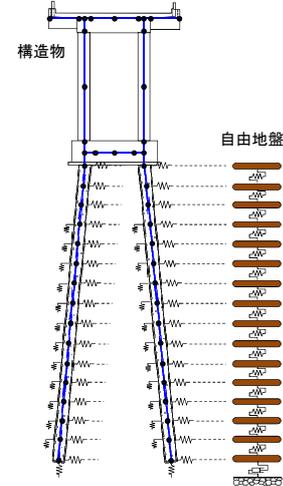


図2 斜杭基礎構造物のモデル概要図

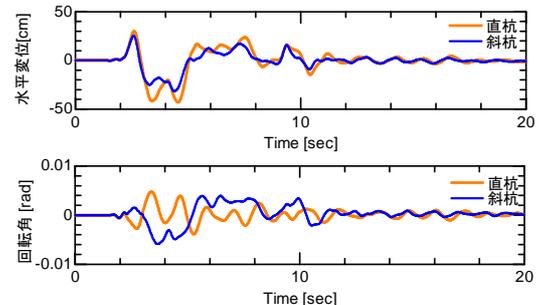


図3 検討対象構造物天端の変位応答

キーワード 斜杭, 地盤-杭の動的相互作用, 有効入力, ロックング挙動, 有効入力の回転成分

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 耐震構造 TEL 03-3355-3442

一般的である。有効入力の変算においては、上記の構造物の応答解析と同様、自由地盤の基盤位置へ地震動を入力する時刻歴応答解析を用いるが、地盤変位の影響（幾何的相互作用）のみ考慮するため、構造物の質量をゼロとして計算する。この時の基礎のトップの位置（本検討では地中梁の位置）での応答加速度が有効入力である。

本検討では、まず、地盤・杭の剛性が時間によって変化しない線形計算において有効入力を算定し、有効入力と地表面地震動とのスペクトル比を整理する。入力として上記同様L2地震動（スペクトルII）を用いた。時刻歴の結果を図4に有効入力係数を図5に示す。ここでも鉛直成分を割愛しているが、値が十分小さいことを確認している。有効入力係数を示す際には、最大加速度を500galに調整したホワイトノイズを入力地震動として解析を行った結果を、定常状態の結果として重ねて示した。図4より時刻歴波形において角加速度（有効入力の回転成分）は斜杭基礎の方が値として大きいこと、また、位相の特徴が明確であり、水平加速度の逆位相になる（逆ロッキング）ことが分かる。回転成分の最大値は0.18rad/s²となっており、今回検討に用いている高さ12m程度の構造物に逆ロッキングとして入力されると、構造物天端で200gal程度応答が低減されることになる。図5からは、有効入力係数は直杭・斜杭とも地盤・杭の剛性に対して、入力に関係なくほぼ一意な値が得られていることが分かる。水平成分は1~5Hzにおいて、斜杭の有効入力係数が直杭より小さくなっており、斜杭では入力損失が大きくなっていることが分かる。これは、斜杭基礎が直杭基礎に比べて、剛な形状であるためだと考えられる。また、回転成分の有効入力係数は、直杭・斜杭で大きく異なることも分かる。

次に、非線形解析における結果も示す。時系列の回転成分を直杭・斜杭それぞれについて示す（図6）。また、有効入力係数について直杭・斜杭を重ねて比較した（図7）。有効入力係数は、地盤の剛性が時々刻々変化し、値がばらつくため、値は平滑化されたものとして得られるように見える。非線形解析においても、斜杭における逆ロッキングや水平方向の有効入力の低減といった線形解析と同様の結果が見られる。

4. まとめ

直杭・斜杭において有効入力を算定した。斜杭においては、有効入力の回転成分が逆ロッキングとして表れ、応答を低減させる可能性があることを示した。また、有効入力の水平成分についても、本検討の条件では斜杭では直杭に比べて入力損失が大きくなることを示すことができた。

参考文献 1)出羽, 西岡, 神田, 山崎, 丸山, 青木: 斜杭基礎の水平抵抗特性と地震時動的挙動に関する解析・実験, 鉄道総研報告, Vol.22, No.3, pp.35-40, 2008. 2)佐藤, 田地, 張, 田蔵: 直杭基礎との比較による斜杭基礎の耐震性能に関する遠心振動実験, 防災科学技術研究所研究報告, 第79号, pp.1-8, 2011年.

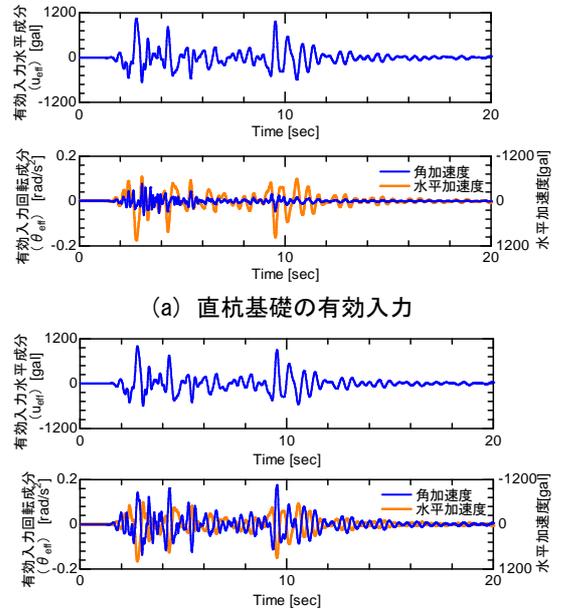
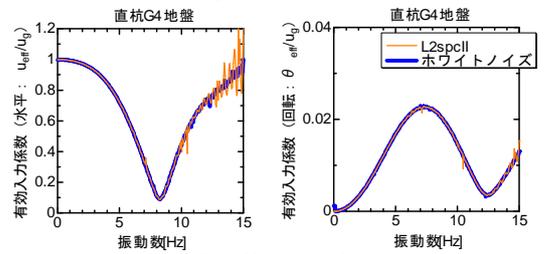
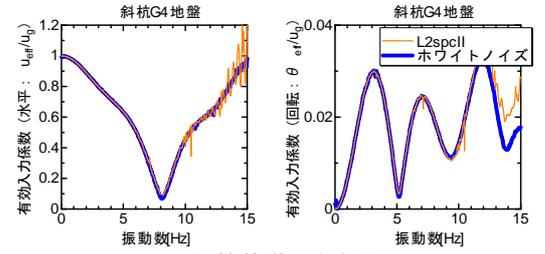


図4 有効入力（時刻歴波形）



(a) 直杭基礎の有効入力



(b) 斜杭基礎の有効入力

図5 有効入力係数

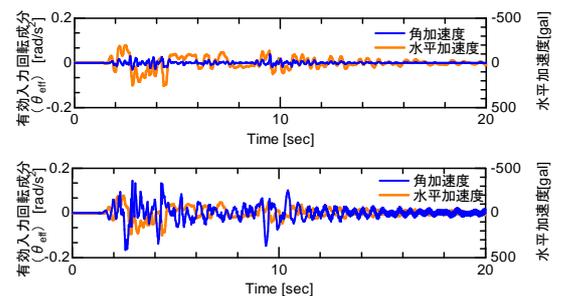


図6 非線形解析における有効入力（時刻歴波形）
（上：直杭，下：斜杭）

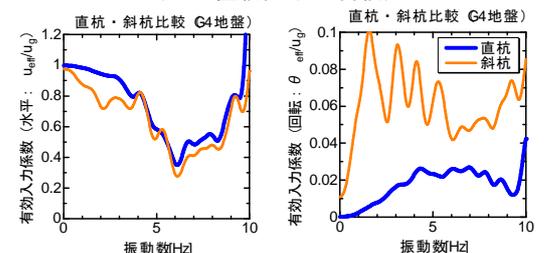


図7 非線形解析における有効入力係数