

直接基礎の入力遮断効果に関する実験的研究

鉄道総合技術研究所 正会員 ○西村隆義・豊岡亮洋・井澤淳・室野剛隆

1. はじめに

地盤が比較的軟弱な地点に構造物を建設する場合、基礎形式として杭基礎を用いて支持力を確保することが一般的であるが、こうした構造は、大規模地震を受けた場合に杭を介して上部構造物および基礎に地震力が作用するため、地震作用の大きさや特性に応じて上部構造物や基礎が大規模化する場合がある。これに対して、直接基礎構造を用いることで、地震時に浮き上がりや支持地盤の塑性化によって上部構造物に入力される地震作用が頭打ちとなり、地震動の経時特性や規模に対する感度が低い合理的な構造とすることが可能であると考えられる。

そこで本研究では、杭基礎および直接基礎を有する構造模型の振動台実験を行い、地震動入力の遮断効果の観点から直接基礎構造の有効性を確認する実験を行った。また、直接基礎構造では地震後や常時において残留変位が生じる可能性があるため、直接基礎構造の地盤直下に地盤改良を施すことで、入力遮断効果と鉛直支持性能の両者を満足する構造を提案し、検証実験を行った。

2. 杭基礎および直接基礎の振動台実験

振動台実験では、図1のように土層内に模型地盤を構築し、その上に橋脚模型を上載して加振を行った。実験は、表1に示すように杭基礎構造、直接基礎構造、および直接基礎構造に対してジオグリッドおよび地盤改良杭による沈下対策を行った4ケースについて実施した。

振動台は、鉄道総研の中型振動台および剛土層（高さ1.5m×幅2m×奥行き0.6m）を使用した。模型地盤は、基盤層と軟弱層で構成される地盤とした。地盤材料は、基盤層を粒度調整碎石(M40)、軟弱層を6号硅砂とした。基盤層をD値90%程度として作成し、その上に軟弱層を空中落下法により相対密度が60%となるように作成した。

橋脚模型は、材質はアルミとし、橋脚高さ約500mm、フーチングは底面が400mm×400mmで高さが100mmで製作した。模型サイズは実橋梁の1/20を想定している。また、フーチング底面の鉛直応力およびせん断応力を確認するため、2方向ロードセルを載荷方向に3箇所配置した。橋脚の天端には、上部工の影響を考慮するため、重量約1.2kNの錘を配置した。杭基礎模型は、フーチングにアルミ管（φ=21mm、t=2mm）を固定し、先端が振動台底面に着底するように設置した。直接基礎構造では、橋脚模型を直接地盤上に設置した。

直接基礎構造に対するジオグリッドは、ポリ塩化ビニル製のグリッドを使用し、基礎底面より50mm下から50mm間隔で4枚配置した。また、地盤改良杭は、豊浦砂にセメント、水およびベントナイトを添加した改良杭（φ=100mm）を作成し、基礎の四隅にあたる位置に配置した。設置高さは、基礎底面から50mm下の位置から基盤位置までとした。これらの構造に対して、2Hzの正弦波10波を最大加速度100galから漸増させて入力し、主に橋脚天端での応答加速度および残留沈下量を比較することで、直接基礎による応答低減効果を検証した。

3. 実験結果と考察

図2に、模型天端における応答加速度と振動台入力加速度の最大値の関係をケースごとに示す。なお、Case4に
キーワード 直接基礎、入力遮断効果、地盤改良

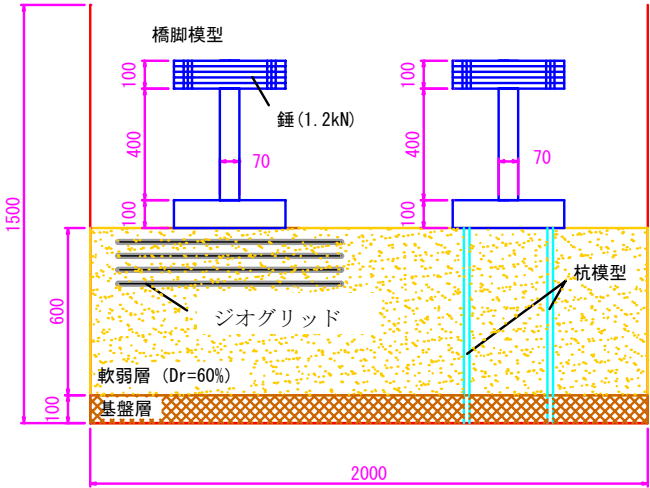


図1 模型振動台実験概要(左:Case3, 右 Case1)

表1 実験ケース		
	基礎形式	沈下対策
Case 1	杭基礎	---
Case 2	直接基礎	なし
Case 3	直接基礎	ジオグリッド
Case 4	直接基礎	地盤改良杭

については、実験中に橋脚模型が地盤改良体の範囲から大きく逸脱したため、ここでは示していない。この図から、杭基礎構造においては、入力加速度が 250gal 程度までは、直接基礎と同様の挙動を示しているが、370gal の入力を与えた場合、応答が大きく増幅していることが分かる。これに対して、直接基礎およびこれにジオグリッド対策を行ったケースでは、いずれも応答加速度の最大値は入力加速度の最大値とほぼ同等であり、370gal の入力に対しても大きな応答増幅は見られなかった。ここで、図中の赤枠に示すケースでは、基礎底面のロードセル挙動から、基礎の浮き上がりが確認されており、この浮き上がりおよびそれに伴う橋脚のロッキングにより、振動特性が長周期化するとともに、橋脚模型に入力される地震動作用が低減されたと考えられる。また、直接基礎およびこれにジオグリッドによる地盤改良を施したケースについては、両者に大きな差異はみられず、地盤改良が直接基礎の応答遮断効果を阻害していないことが確認できる。

この 370gal 入力の場合の挙動をより詳細に検討するため、図 3 に Case1 の杭基礎および Case2 の直接基礎について、模型天端とフーチング位置における応答加速度の時刻歴を比較して示す。このように、杭基礎では模型天端の応答とフーチングが同位相で挙動しており、橋脚の応答は水平方向に対する成分が支配的であると考えられる。また、最大加速度は片振幅で 900gal を超える応答が生じているが、これは杭と地盤の相互作用により、加速度が杭を介して上部構造物に伝達されたことによると考えられる。

これに対して直接基礎では、橋脚天端の応答とフーチング位置での応答に約 90 度の位相差が生じているが、これは橋脚の浮き上がりに伴うロッキング振動が卓越しているためと考えられる。また、この浮き上がりにより、橋脚天端での応答が頭打ちとなり、杭基礎と比較して応答が長周期化しており、入力遮断効果が得られていることが分かる。

地盤改良が鉛直方向の応答に与える影響については、図 4 に入力加速度と最大沈下量の関係を、直接基礎単独の場合、およびこれにジオグリッドを施した場合について比較して示す。この結果より、地盤改良は入力加速度の増加に応じて沈下量が増加しているが、ジオグリッドを地盤中に配置することで直接基礎の沈下量を大幅に抑制することが可能であることが分かる。

以上の結果から、直接基礎構造に地盤改良を施して沈下対策を行うことで、鉛直支持性能を満足しつつ、直接基礎の特徴である入力遮断効果が得られることが明らかとなった。

5. おわりに

杭基礎および直接基礎を有する構造模型の振動台実験を行い、直接基礎構造が基礎の浮き上がりやこれに伴うロッキングにより振動特性が長周期化されることから杭基礎に比べて入力遮断効果があること、また直接基礎構造の地盤直下に地盤改良を施すことで入力遮断効果と鉛直支持性能の両者を満足する構造が可能であることを確認した。今後は、さらに入力遮断効果と沈下抑制のメカニズムおよび実施可能な工法について検討予定である。

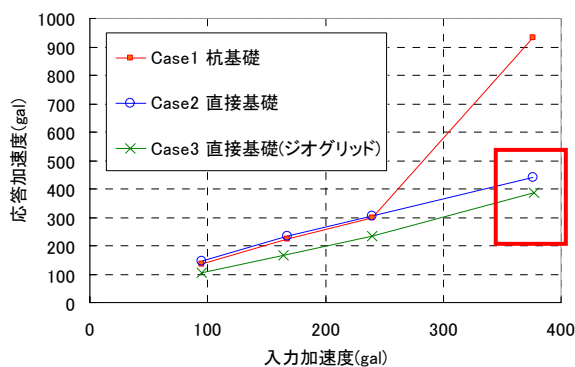
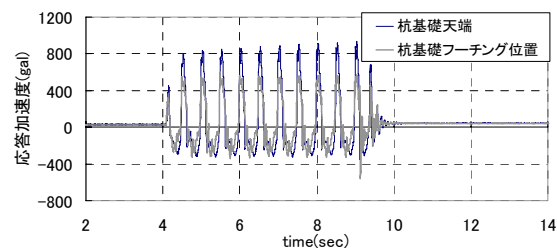
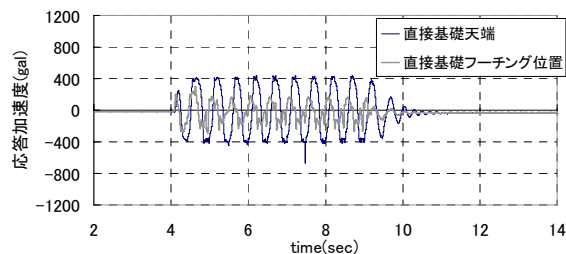


図 2 応答加速度-入力加速度関係



(a) 杭基礎構造(Case1)



(b) 直接基礎構造(Case2)

図 3 応答加速度波形 (370gal 入力時)

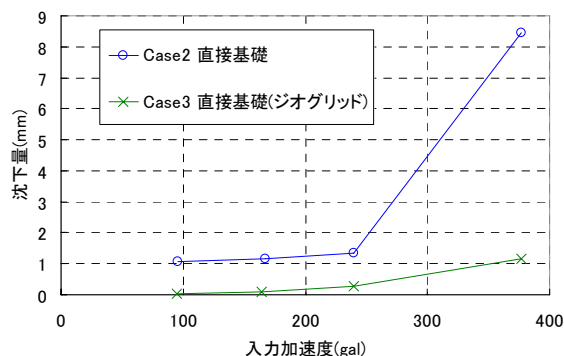


図 4 沈下量-入力加速度関係