

土のう上に設置した直接基礎橋脚の振動台試験による地震時挙動の評価

鉄道総合技術研究所 正会員 日野 篤志 室野 剛隆 豊岡 亮洋
複合技術研究所 正会員○太田 剛弘 木口 峰雄

1. はじめに

地震時において構造物に作用する揺れの影響を低減するためには、構造物に対してダンパーなどの免震装置を用いる手法が一般的であるが、直接基礎にはその支持機構から、地震時にフーチングが浮き上がることによって地震動の揺れを低減させる効果が広く知られている¹⁾。しかしながら、直接基礎は支持地盤の条件や用地境界の制約により使用が制限される場合がある。そこで、本研究では構造物に作用する揺れを効率的に低減させるために直接基礎の浮き上がり効果に着目し、直接基礎の適用可能となる地盤条件を拡大していくことを目的としている。

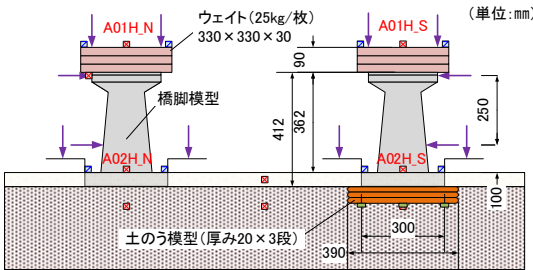
直接基礎の適用可能となる地盤条件を拡大していくためには、直接基礎下面に地盤改良を施し支持力を増加させることが一般的であり、多種多様な地盤改良工法が提案されている。本稿では、表層から数メートルの範囲が軟弱で直接基礎が適用できない地盤条件を対象に、直接基礎下面の地盤を安価な土のうに置換することで橋脚の直接基礎化を低コストで実現することを目的として、模型を用いた振動台試験による地震時挙動の確認を行った。

2. 試験概要

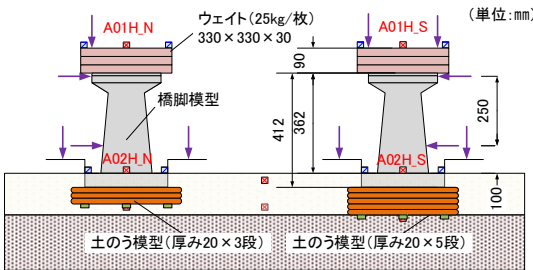
(1) 試験装置および模型 試験装置は幅 2m、高さ 1.4m、奥行き 1.1m の固定土槽を用いることとし、土槽中に実物の 1/25 スケールの橋脚模型を 2 基設置した。橋脚模型は、現行の耐震設計基準に基づいて設計された橋脚²⁾のディテールを用いて高さ約 400mm、フーチング幅 300mm×300mm の模型を用いた。地盤の条件としては、支持地盤に粒度調整砕石 M40、橋脚周辺の埋戻し部に東北砂砂 6 号を使用した。地盤の締め固め強度は支持地盤で D 値 90%、埋戻し部で相対密度 $Dr=60\%$ を目標値として地盤を設置した。土のうについては、1 枚で橋脚のフーチング下面を覆える大きさとして、幅 400mm×奥行き 400mm×厚さ 20mm とした。土のう袋の材質には、鉄道分野において使用実績³⁾のあるジオテキスタイルを用いることとし強度に対して相似則を考慮して、高密度ポリエチレンのネット（網目ピッチ：縦糸 1.8mm、横糸 2.8mm）を用いた。間詰め材には鹿島砂砂 2 号を用いた。

計測装置については、橋脚天端、フーチング上端における水平と鉛直方向の変位と加速度、周辺地盤における水平加速度、フーチング下面および土のう下面における鉛直応力の計測を実施した。なおサンプリング周波数はいずれも 500Hz とした。

(2) 試験ケースおよび入力地震動 加振試験は、土のうの有無や段数をパラメータとして表 1 に示す 4 ケースを実施した。なお、試験装置の都合上、Case1 と Case2、Case3 と Case4 を同時に土槽内に設置して加振を行った。入力時震度波形は、耐震標準⁴⁾に示される L2 地震動スペクトル I の地震動（G3 地盤）とし、相似則を考慮して時間軸の調整を実施した（図 2）。加振ケースとしては、図 2 の入力波の振幅を 100gal から 900gal までを 100gal 刻みで 9 ケース



(a) Case1 および Case2



(b) Case3 および Case4

表 1 試験体の条件一覧

ケース	土のう段数	備考
Case1	0	
Case2	3	支持地盤内に土のう
Case3	3	緩い地盤中に土のう
Case4	5	

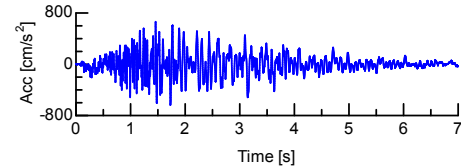


図 2 入力地震動波形の例（振幅調整前）

キーワード 土のう，直接基礎，模型試験

連絡先 〒186-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 鉄道地震工学研究センター

の加振を実施した．なお，試験体の状態を確認するために，振幅 100gal のホワイトノイズによる加振も実施した．

3. 試験結果

ここでは，最大応答加速度と伝達関数について整理を行う．なお試験結果の例として，図 3 に橋脚天端位置における応答加速度波形を示す．

(1) 最大応答加速度の分布 加振レベルごとの橋脚天端位置における最大応答加速度の分布を図 4 に示す．Case1 から Case4 の全体の傾向としては，入力加速度が 400gal 程度までは応答加速度の増加は見られるものの，それ以降が応答加速度は頭打ちを示しており，支持地盤上の Case1 と同様に土のうを設置したケースについても直接基礎の浮き上がりによる免震効果が確認することができた．また，その頭打ちを示す応答加速度の値については，土のうを 5 段設置した Case4 の値が若干低くなっているものの，それ以外のケースは Case1 と同等の値となっており，土のうを設置した橋脚の支持力性能は，支持地盤上の橋脚と同等と言える．

(2) 加振ごとの伝達関数 次に主要な加振レベルごとに構造物天端位置におけるとフーチング位置に対する伝達関数を整理した結果を図 5 に示す．初期において Case1 は伝達関数が卓越する振動数が他のケースより高いため，地盤の剛性が高いことがわかる．また，加振レベルが小さいうちは，いずれのケースも同様の伝達関数の形状を示すものの，加振レベルが大きくなると低振動数側の卓越が鈍化していき高振動数領域の卓越が大きくなり，その値のばらつきは大きくなっている．加振後の伝達関数については，振幅 600gal の加振までは波形にいずれも大きな変化は見られず，Case1 の支持地盤相当の剛性と復元力を有していることがわかる．なお，振幅 900gal の加振後では，波形のばらつきが見られ土のうを 5 段設置した Case4 以外のケースは卓越振動数が初期の値より高くなる傾向を示した．これは，試験状況からも周辺地盤が直接基礎底面に流入してきたためと推察される．

4. まとめ

軟弱な表層地盤上の構造物を対象に直接基礎化を図ることで地震動の揺れを効率的に低減させるため，直接基礎底面に土のうを設置した橋脚について，模型を用いた振動台試験により地震時挙動の確認を行った．その結果，土のうを配置することで，支持地盤上の橋脚と同等の性能を確保できることがわかった．土のうを用いることで，低コストで直接基礎を実現することが可能となる．今後は，本試験結果から土のうと地盤の動的相互作用に関して深度化を図るとともに，土のうを用いた直接基礎の適用範囲を拡大するための検討を実施する予定である．

参考文献 1) 林：直接基礎構造物の基礎浮上りによる地震被害低減効果，日本建築学会構造系論文集 第485号，1996.7 2) 鉄道構造物等設計標準・同解説 設計計算例 直接基礎橋脚 3) 野中，小島ら：パイルスラブ式盛土における改良杭頭部ジオテキスタイル土のうの特性評価，ジオシンセイクス論文第27巻，2012.11 4) 鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)，2012

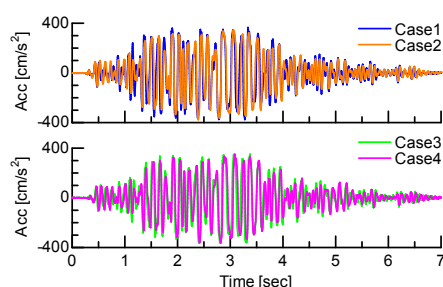


図 3 応答波形の例(400gal 加振時)

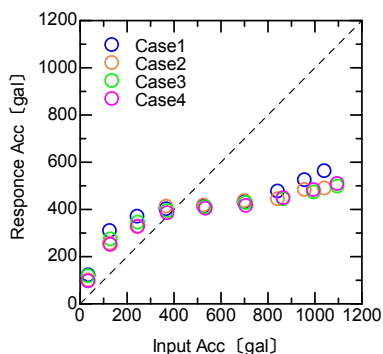


図 4 入力加速度と最大応答加速度の関係

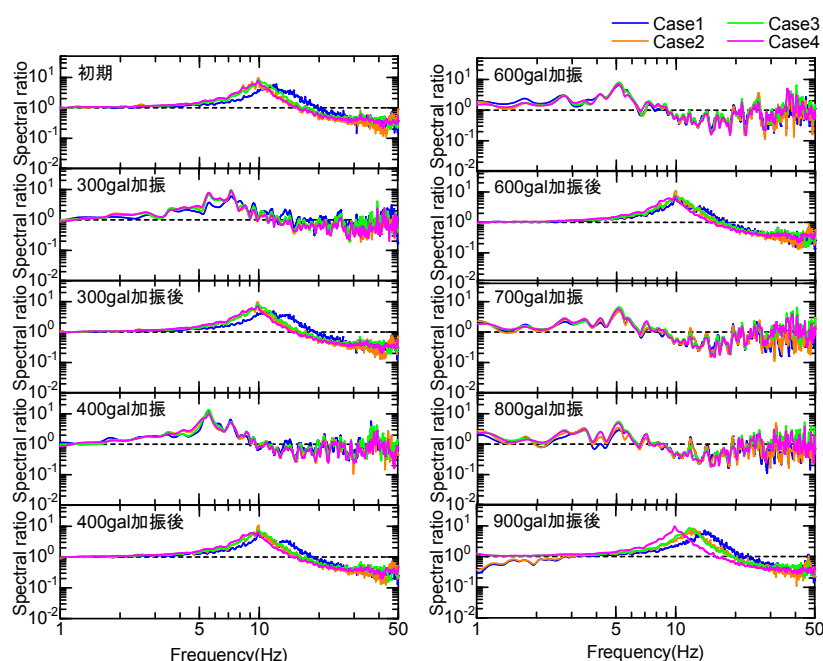


図 5 伝達関数の算定結果