

弱層を有する地盤の免震効果

港湾技術研究所 森川嘉之 山崎浩之 小池二三勝
五洋建設 三藤正明 中原知洋

1. はじめに

軟弱地盤や液状化した地盤では地震の水平加速度が著しく減少することが地震計記録や数値解析で明らかにされている¹⁾²⁾。また、阪神大震災では液状化によって表層での加速度が基盤加速度に対して1/2程度に減少したことが観測されている²⁾。これは地盤の液状化によるせん断剛性の低下に伴って、地盤の固有周期が長くなり、履歴減衰効果が増大したためと考えられる。

また、本研究では、地盤内に人工的に設けたせん断剛性の小さい層(免震層)で地震動を低減させる免震地盤の開発を目的として振動台実験を行ってきた³⁾。本報告では、大型水中振動台を用いた模型実験結果について述べる。

2. 実験概要

実験は高さ2m×幅3.5m×奥行1.5mの土槽を用いて行った。今回の実験で用いた模型地盤を図1に示す。図1中の□は加速度計を設置した位置を示している。模型地盤は基礎地盤、基礎捨石、ケーソン、裏込石、ケーソン背後地盤、表層地盤の順に設置した。模型地盤に用いた材料を表1に示す。免震層の材料はJIS-A硬度0°(JIS K6301)の超軟質エラストマーで、せん断剛性 $G=20\sim60$ (kN/m²)、ポアソン比 $\nu=0.5$ である。基礎地盤およびケーソン背後地盤は空中落下で作成後、緩速注水によって飽和させた。液状化した地盤も免震効果を持つことから、ケーソン背後地盤が液状化すると、免震層の免震効果が明確にならない恐れがある。そこで、基礎地盤とケーソン背後地盤については注水前に足踏みで十分に締め固めた。

実験は免震層の位置を変えて行っている。免震層の位置は図1に斜線で示した部分である。実験ケースを表2に示す。それぞれのケースについて、最大加速度が100, 200, 350, 400, 500, 600, 700, 800Galになるように調整した八戸波を段階的に加振した。

3. 実験結果

図2に模型地盤の応答加速度分布を示す。図は最大入力加速度が800Galの場合の結果である。図2は4つの図からなる。(a)が地盤の模式図(図1の立面図を横に縮小したもの)、(b)がケーソン直下およびケーソン天端の加速度分布、(c)が裏込部の加速度分布、(d)がケーソン背後地盤の加速度分布である。加速度分布図の縦軸は加速度計の位置を示しており、地盤の模式図の□、□、□の位置に対応する。横軸はすべて、最大加速度を最大入力加速度で無次元化したものである。また、加速度は海側を正としている。

キーワード：免震、振動台実験、地震、残留変位、加速度

連絡先：港湾技術研究所 〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1, TEL:0468-44-5022, FAX:0468-44-0618

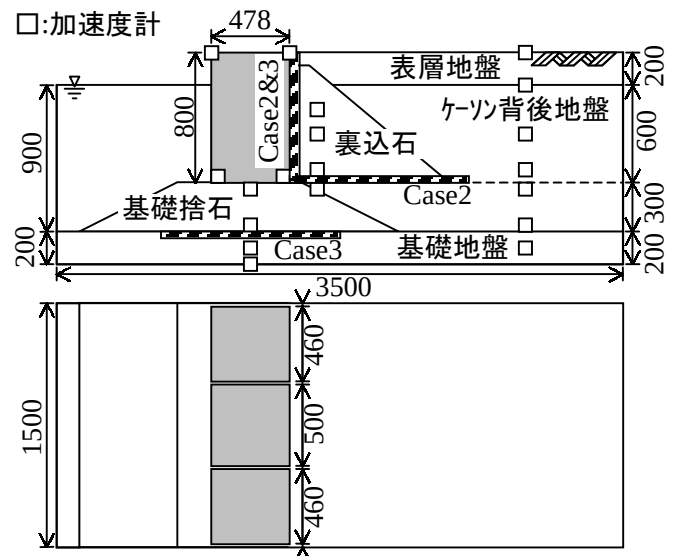


図1 模型地盤(単位:mm)

表1 模型地盤に用いた材料

地盤種別	材料	乾燥密度 γ_d (kN/m ³)
基礎地盤	相馬硅砂5号	14.2
基礎捨石	碎石4号	15.6
裏込石	碎石6号	14.1
ケーソン背後地盤	相馬硅砂5号	14.1
表層地盤	相馬硅砂5号	14.5
免震層	エラストマー	8.0

表2 実験ケース

ケース	免震層の位置(□内は免震層の厚さ)
Case1	免震層なし
Case2	ケーソン背後(3cm)+裏込石直下(2cm)
Case3	ケーソン背後(3cm)+基礎捨石直下(2cm)

図2のケーソン背後地盤の加速度分布についてはケースごとにあまり差が見られない。これは、他の加速度で加振した場合も同様であった。したがって模型地盤の再現性はよかったと考えられる。ケーソンおよびケーソン直下の加速度分布を見るとCase1, 2では基礎捨石とケーソン底面の間で、Case3では免震層で加速度が大きく減衰している。結果としてケーソン天端での加速度がほぼ等しくなっているが、加速度減衰の要因は異なっている。図3に各ケースのケーソン天端の残留水平変位を示すが、最大入力加速度が800Galの場合、Case1, 2ではCase3の2倍程度の残留変位を生じている。したがって、Case1, 2ではケーソンが基礎捨石に対して変位したために加速度が減衰したと考えられる。これに対して、Case3では加速度が減衰するだけでなく残留変位がCase1に対して低減していることから、免震層の効果があったと考えられる。

また、Case3の800Gal加振時の残留変位が、Case1(免震層なし)の350Gal加振時の残留変位と同程度となっている。これは、レベル2の地震を想定していたものがレベル1で済むことを意味しており、建設コストの大幅な削減が可能となる。

図3の縦軸をCase1の残留変位で無次元化すると図4ようになる。図4より、Case3ではレベル1以上の地震時の残留変位を、免震層なしの場合に対して40～50%低減できることがわかる。Case2でもレベル1程度の地震に対して40%近く残留変位を低減できることがわかる。

4. おわりに

今回の研究から、地盤内に免震層を設けた場合に地盤の応答加速度、残留変位が低減されることがわかった。特に、ケーソン背面と基礎捨石直下に免震層を設けた場合(Case3)に免震効果がもっとも大きく、免震層のない場合(Case1)に対して残留変位が最大50%減少した。また、Case3の模型地盤をレベル2の地震動で加振した場合の残留変位は、Case1のレベル1で加振した場合と同程度であった。

参考文献 1)例えば、「軟弱地盤における地震動増幅シンポジウム発表論文集」(1994)、地盤工学会。
2)國生・佐藤・松本(1995): 1995年兵庫県南部地震での地盤の非線形振動特性、土と基礎、Vol. 43, No. 9, pp. 39-43. 3)森川・山崎・小池(2000): 免震層を有する地盤の振動台実験、第35回地盤工学研究発表会(投稿中)。

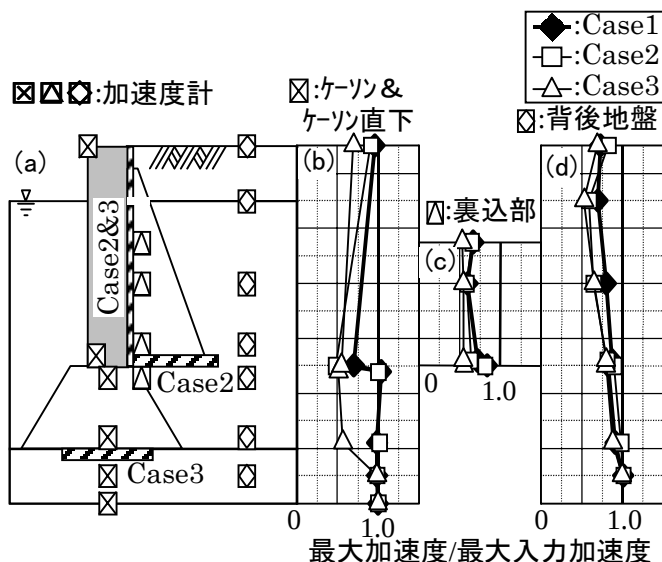


図2 模型地盤内の応答加速度の分布(800Gal加振時)

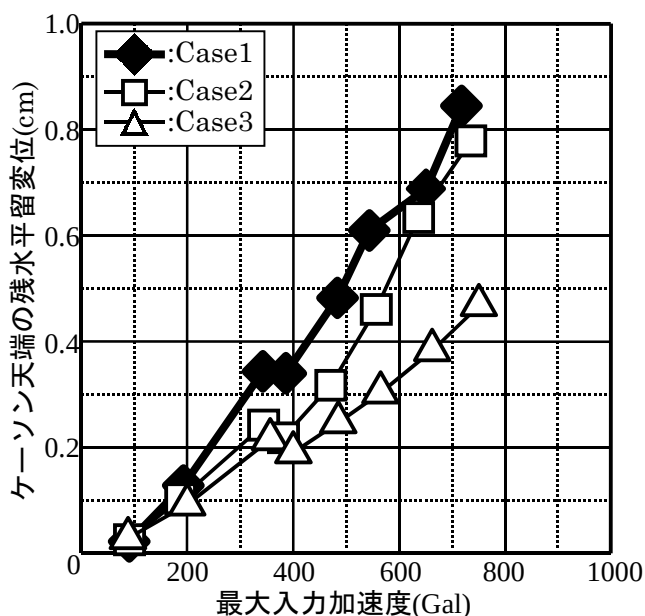


図3 ケーソン天端の残留水平変位

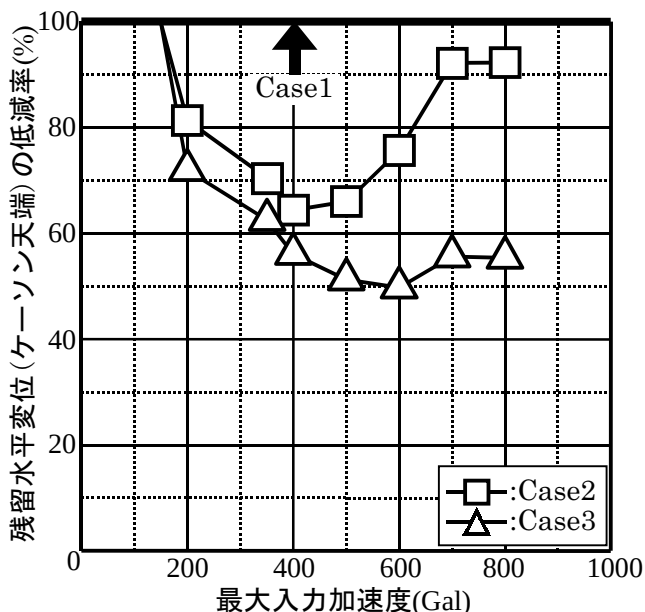


図4 ケーソン天端の残留水平変位の低減率