

III-A 151 1G模型振動実験に基づいた重力式ケーソン式岸壁の地震時挙動に関する研究

京都大学大学院 学生員 松田 茂  
 京都大学防災研究所 正会員 嘉門雅史  
 同上 正会員 三村 衛

1、はじめに

1995年1月17日未明の兵庫県南部地震によって神戸・阪神間の重力式岸壁の大半が大きな被害をうけた。その被災モードは、ケーソンの前面への滑動・捨て石へのめり込み、ケーソン背後地盤の陥没・沈下に集約される。被災原因としては現在のところ設計震度を著しく越えた地震力、置換砂地盤液状化による支持力低下、背面埋立地盤液状化に伴う側方土圧の増大などが考えられている。本研究では重力式岸壁の地震時崩壊機構解明の一次近似として1G模型実験を実施し、重力式岸壁の被災のメカニズムを実験的に検討する。

2、実験方法

実験は相似比100(prototype/model)を想定した背面埋立地盤、置換砂地盤、ケーソン本体(比重約2.1)からなる模型地盤を用いて行った。レーザー式変位計1ヶ所、間隙水圧計3ヶ所、加速度計5ヶ所の計9ヶ所にtransducerを設置した。土槽内部の寸法(奥行き22cm)及びtransducerの配置を図1に示す。実験パラメータとして、背面埋立地盤の密緩、置換砂地盤の密緩、捨て石マウンドの有無、振動振幅の大小を設定した。背面埋立地盤、置換砂部にはともに珪砂8号を用いており、その物理定数の値を表1に記す。尚捨て石材料は粒径3mm程度の一様な細礫を用いた。模型地盤は背面埋立、置換砂共に水中落下法により作成し、密な場合はさらに堆積させた後、約3cm毎によく締固めた。なお、ここでの密緩は相対的な相異として示している。本報告では代表的なケースとして置換砂地盤が密詰めで、振幅が大きく、特に捨て石の有無に着目し説明する。この場合の載荷外力は、振幅は4.1mm(周波数4.2Hz:modelの値)であり、振動台最大加速度は約0.4Gで振動時間は約10秒となっている。

3、実験結果

まず、地盤の液状化について、置換砂地盤は密である場合に於いても $\Delta u/\sigma_v'$ はほぼ1に達しており液状化に近い状態にあった。背面埋立地盤については、背面埋立地盤が密である場合には $\Delta u/\sigma_v'$ は1に達していないのに対して、背面埋立地盤が緩い場合には、 $\Delta u/\sigma_v'$ は1を超え液状化に至っていた<sup>1)</sup>。図2,3はそれぞれ背面埋立地盤及びケーソン水平方向の加速度の時刻歴であるが、背面埋立地盤が緩い場合にはどちらも液状化に伴う免振効果によって大きく減衰していることが分かる。次にレーザー式変位計で計測したケーソンの水平変位の時刻歴を図4に示す。ケーソンの応答加速度は背面地盤が緩い場合に大きく減衰したが、ケー

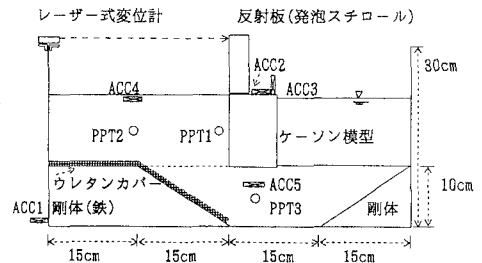


図1 transducer配置図

表1 珪砂8号の物理定数

	$\rho_s$	$v$	$e$	$S_v$	$\theta_v$
緩い地盤	1.66(g/cm <sup>3</sup> )	33.2%	0.838	88.2%	78.5%
密な地盤	1.98(g/cm <sup>3</sup> )	28.9%	0.738	103.5%	100.3%

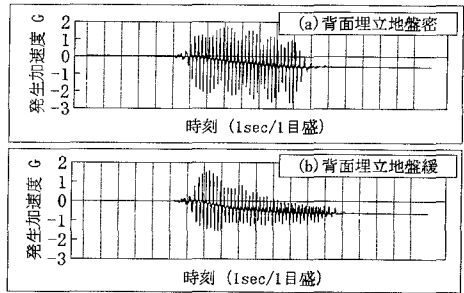


図2 背面埋立地盤加速度時刻歴(ACC4)

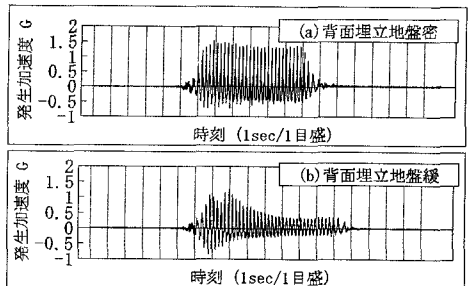


図3 ケーソン水平方向加速度時刻歴(ACC2)

ソンの変位は逆にこの場合の方が大きく発生し、振動を受ける毎に前面側へ滑動して最終的には4cm程度の移動量となった。これとは対照的に加速度振幅の大きい密詰めの場合には振動中の滑動の進展はあまり見られず、最終的にも非常に小さい変位にとどまっている。さて、捨て石設置の影響について、図4に示したものと同一振動・地盤条件のもとで捨て石を設置した場合のケーソン水平変位の時刻歴を図5に示す。捨て石設置による特徴としては、ケーソン変位が直線的に増加していること、及び背面埋立地盤が密である場合において、最終水平変位量は捨て石の設置によって大きく増大してしまっていることが挙げられるが、このことは本実験において捨て石を設置した殆どの場合に変位モードが滑動モードとなっていた結果と深い関連性がある。即ち、捨て石を設置した場合にはケーソンが置換砂地盤へめり込んで前傾することが抑制される。さらに、ケーソンと置換砂地盤との摩擦力が捨て石設置により見かけ上低下し、ケーソンの滑動量が直線的に増加したと考えられる。その他の結果としては、行った実験ケースのうち多くの場合、加速度の位相に関して振動が始まってしばらくの間は背面埋立地盤の位相がケーソンの位相よりも遅れていたが、振動安定後には逆転するという現象が観察された。図6にその例として、捨て石が無く背面埋立地盤が緩い場合の位相の時刻歴を示す。この図に示される位相の逆転現象は、図2, 3 (b)において液状化による免振効果が顕著に現れた時刻帯に生じたものである。最後に、全ての実験ケースにおけるケーソン最終鉛直沈下量/水平変位量の比較を図7に示す。同図によれば、条件によらずケーソンの沈下量と滑動量との間には1:3の様な関係が認められる。この結果が文献<sup>2)</sup>に紹介されている神戸港の被災岸壁の沈下量が滑動量の1/3となっていることと一致する点は、偶然にせよ興味深い。

4、まとめ

1G場における振動模型実験を行った結果、背面埋立地盤が液状化に至って軟化すると、免振作用によってケーソンの応答加速度は減衰するにもかかわらずケーソンの滑動量は増大することが分かった。また、捨て石を設置した場合、ケーソンは滑動モードで変位することが多く、最終水平変位量も大きくなる傾向にあった。なお、ケーソン裏側では加振時に大きな負の過剰間隙水圧が生じており、地震時にケーソン裏側にかかる動的土圧の計測実験等によって地震時側方土圧の特性等の究明も求められる。また、1G場の実験では重力の効果は考慮できないため一連の結果をそのまま現場に適用することは難しいので、重力式岸壁の地震時動的挙動特性を定量的に評価するために、今後遠心力載荷実験等の重力の影響を反映させた研究を実施する予定である。

〈参考文献〉 1)嘉門雅史,三村 衛,松田 茂:“重力式ケーソン式岸壁の地震時挙動に関する実験的研究,”土木学会関西支部年次学術講演会概要, 1996(投稿中). 2)運輸省港湾局技術課・港湾技術研究所・第三港湾建設局:“阪神・淡路大震災による港湾施設等 被害状況調査報告書(第二集),” 1995.

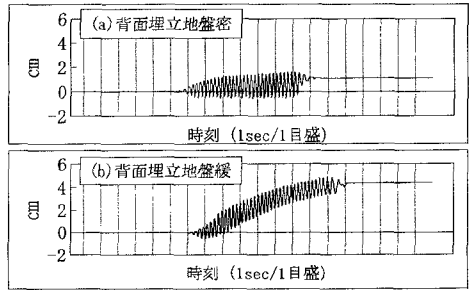


図4 ケーソン水平変位時刻歴(捨て石無し)

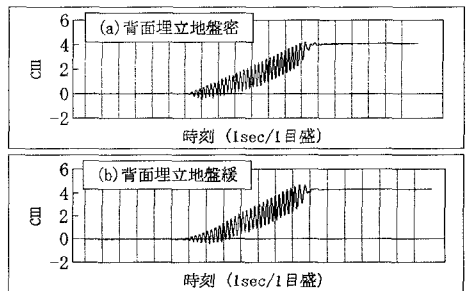


図5 ケーソン水平変位時刻歴(捨て石有り)

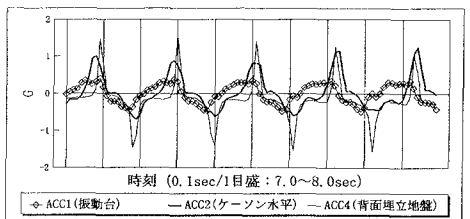


図6 加速度位相時刻歴

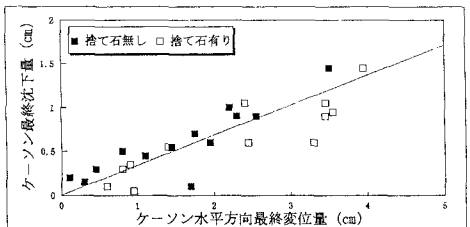


図7 ケーソン沈下量/水平変位量比較