

京都大学防災研究所 正会員 嘉門雅史  
 同上 正会員 三村 衛  
 京都大学工学部 学生員 ○松田 茂

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。模型地盤は背面埋立、置換砂共に緩い場合、水中落下法により作成し、密な場合は水中落下法で堆積させた後、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。本報告ではその中の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、捨て石マウンドを設置しない場合について説明する。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、密な状態に締固めた置換砂部における過剰間隙水圧比( $\Delta u/\sigma_v'$ )の時刻歴の例を図2に示す。振動によって過剰間隙水圧比の値は1近くにまで上昇しており、液状化に近い状態に至っていることが分かる。次に背面埋立地盤の締固めの程度が動的挙動にどの様に反映されるかを検討する。置換砂の状態を同じにし、背面埋立部を密にした場合と緩くした場合の $\Delta u/\sigma_v'$ の時刻歴を図3に示す。地盤が密な場合、 $\Delta u/\sigma_v'$ は1には達してはいないが緩い場合には振動の途中から1を超えて液状化していることが分かる。背面埋立地盤表面に設置した加速度計(図1のACC4)によって計測した

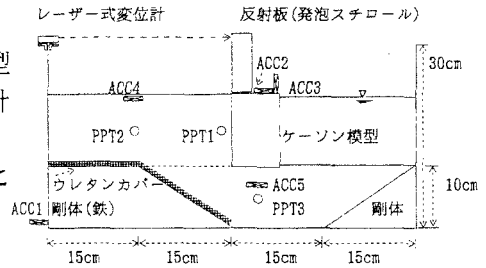


図1 transducer配置図

表1 珪砂8号の物理定数

	$\rho_s$	$w$	$e$	$S_r$	$D_r$
緩い地盤	1.85( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	33.2%	0.893	98.2%	78.5%
密な地盤	1.89( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	28.9%	0.738	103.5%	100.3%

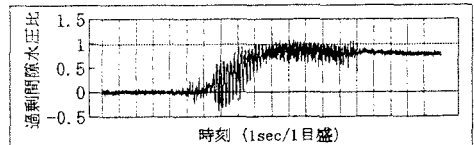


図2 置換砂地盤過剰間隙水圧比時刻歴 (PPT3)

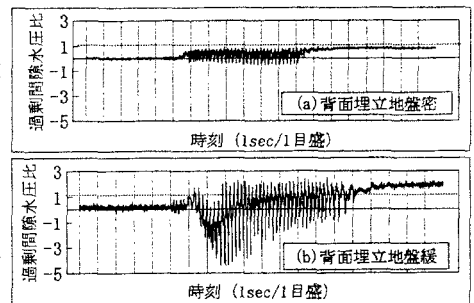


図3 背面埋立地盤過剰間隙水圧比時刻歴 (PPT2)

応答加速度の時刻歴を図4に示す。地盤が密な場合には応答加速度は3倍以上に増幅されるが、緩い場合には一旦大きく上昇するもののその後急激に減衰していることがわかる。図3の過剰間隙水圧比の時刻歴と比べると、背面裏込め地盤が密な場合には過剰間隙水圧比の値が振動中ほぼ一定であり、こうした条件下では応答加速度も一定の増幅値をもって定常的な挙動を示している。一方、背面埋立地盤が緩い場合には図3(b)に示すように、 $\Delta u/\sigma_v'$  が1に達して液状化に至っており、これに対応して図4(b)の応答加速度が減衰している。これは液状化に伴う免振効果によって地盤の応答加速度が減衰することを示している。ケーソン水平方向加速度応答時刻歴を図5に示す。背面埋立地盤が密である場合には、ケーソンの応答加速度最大値は入力加速度の3倍以上に増幅されているのに対し、緩い場合にはケーソン加速度は急激に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6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。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1)で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。なお、ケーソン裏側のPPT1では加振時に大きな負圧が発生していることから、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が求められる。1G場の実験では重力の効果が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、今後遠心力载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)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。

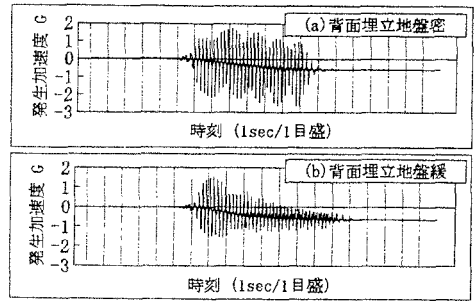


図4 背面埋立地盤加速度時刻歴(ACC4)

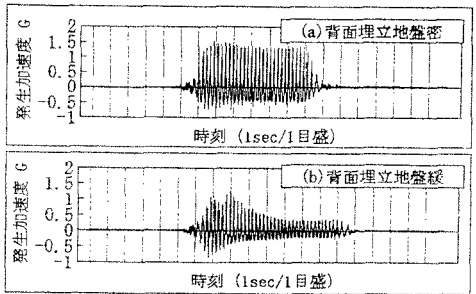


図5 ケーソン水平方向加速度時刻歴(ACC2)

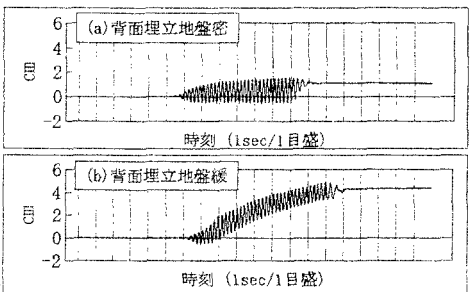


図6 ケーソン水平変位時刻歴

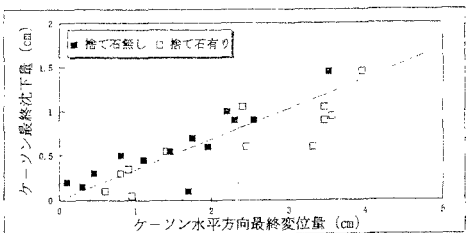


図7 ケーソン沈下量/水平変位量比較