

地震時におけるケーソン式岸壁および背後地盤の挙動に関する実験的考察

九州大学大学院 学生会員 ○末宗 利隆 フェロー会員 善 功企
正会員 陳 光斉 正会員 笠間 清伸

1. 背景および目的

地震時において港湾、空港、道路等の土木施設や建築施設等に多大なる被害を与えてきた原因の一つに液状化がある。現在、様々な液状化対策工法が考案、実用化されており、そのうちの一つに各種の固化処理工法がある。ケーソン式岸壁背後地盤を固化処理したさいの地震時の挙動に関しては、未解明な点も多く、2003年の十勝沖地震では、固化処理されたケーソン式岸壁の水平変位およびエプロン部の沈下現象がみられた。そのさいには、沈下したエプロン部は、裏込め石を設置しており、液状化は確認されず、沈下の明確な原因は特定されていないというのが現状である。そこで、本文では、地震時におけるケーソン式岸壁、裏込め材ならびに背後地盤の挙動・位相差に着目し、ケーソンの水平変位および地盤の沈下量との比較を行うことで、ケーソンの水平変位および地盤の沈下メカニズムを解明することを目的とし、振動台実験を行った。

2. 内容

2.1. 実験概要

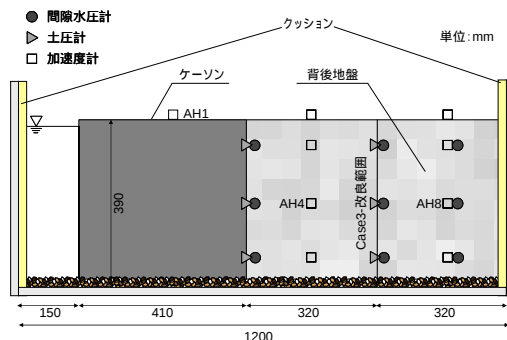
実験ケースを表-1に、模型土槽を、図-1に示す。背後地盤には5号珪砂($D_{50}=0.63$)を使用し、水中落下法により相対密度60%に調整した。今回の実験で固化処理地盤の作成のために用いた薬液は、恒久性の水ガラス(エコシリカ)であり、濃度を6%、薬液の初期pHを3とし、実験時の供試体の一軸圧縮強度は 32 kN/m^2 である。また、捨石マウンドのかわりに層圧50mmの礫層を設けたが、これは、ケーソン式岸壁の滑動に着目するためである。土槽の両端には、クッションを設置し、波動の鉛直壁からの反射を低減した。Case3における改良範囲は、震度法により設計水平震度0.15で滑動安全率が1となるよう設定し¹⁾、Case2,4においては裏込め石を1:1.2で設置した。また、水圧計、加速度計、および土圧計を図-1のように設置した。なお、改良した実験ケースにおいては改良地盤内に水圧計を設置せず、変位はケーソンの水平変位および背後地盤の沈下量を測定した。加振は3Hzの正弦波を10波ずつ100Gal~400Galまで100Gal単位で増加させるステップ載荷で行った。

2.2. 実験結果および考察

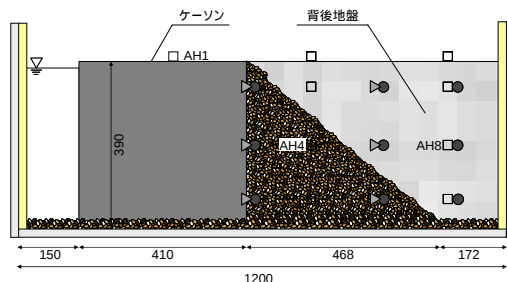
図-2にケーソンの被災変形率、図-3にエプロン部の相対沈下率を示す。ここで被災変形率は、ケーソンの水平変位量をケーソンの高さ $H=390\text{mm}$ で除したものの、相対沈下率は、地盤の沈下量をケーソンの高さ $H=390\text{mm}$ で除したものである。まず、背後地盤を改良していないCase1,2に着目する。図-2より、Case1,2共に200Gal加振時で水平変位が生じており、300Gal加振時に大幅に水平変位が生じていることが確認できる。これは、200Gal加振時に地表面付近が液状化し、300Gal加振時に地盤の中央付近の深さまで液状化したことが原因であることが、地盤内に設置した水圧計から確認されている。また、裏込め石を設置したCase2は、設置していないCase1よりケーソンの水平変位量が小さく、裏込め石設置の効果が見て取れる。しかしなが

表-1 実験ケース

Case	薬液濃度	一軸圧縮強度	改良範囲	裏込め石
1	-	-	-	なし
2	-	-	-	あり
3	6%	32 kN/m^2	$B/H = 320/390 (=0.821)$	なし
4			全改良	あり



a) Case1, Case3



b) Case2, Case4

図-1 模型土槽

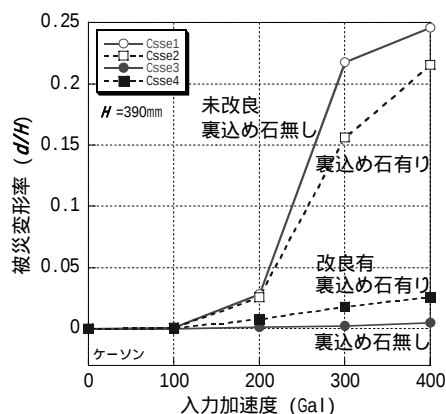


図-2 ケーソンの被災変形率

ら、図-3 によるとエプロン部の沈下量は、ほぼ同じ値をとっている。これは、裏込め石の崩壊が原因と考えられる。続いて、背後地盤を改良した Case3,4 に着目すると、ケーソンの水平変位量およびエプロン部の沈下量ともに抑えられ、地盤改良の効果が見て取れる。しかし、未改良のケースとは逆に、裏込め石を設置している Case4 が、設置していない Case3 よりケーソンの水平変位量およびエプロン部の沈下量ともに大きくなっており、地盤改良する場合は裏込め石の設置が有効ではないといえる。

図-1 に示してある AH1、AH4、AH8 の加速度計を用いた、Case2,3,4 の 300Gal 加振時における、地盤内部の 2 点とケーソンとの位相差を図-4 に示す。位相差は、加速度計のピークをとる時間の差で計算し、その値を入力地震動の周期で除し、縦軸に示す。図-4.a)によると、未改良・裏込め石有りの Case2 では、裏込め石とその背後地盤はほぼ同様の傾向を示しており、裏込め石とケーソンは互いに離れる動きをとっていることが分かる。これにより、裏込め石が背後の液状化した地盤に押され、ケーソンとの隙間に裏込め石が流入したと思われる。その結果として、ケーソンが元の位置にまで戻れず、さらに裏込め石が流入するという悪循環のもと、エプロン部の沈下、およびケーソンの水平変位が生じたと考えられる。図-4.b)によると、改良有り・裏込め石無しの Case3 では、ケーソン背後 16cm と 48cm 地点ともに、図-4.a)と比較すると非常に小さい位相差である。特に、改良部であるケーソン背後 16cm 地点は、ケーソンとほぼ同様の動きをとっており、ケーソンと一体化しているといえる。すなわち、改良体もケーソンの一部と見なすことができ、大きいケーソンとして背後の液状化した未改良部からの圧力に抵抗したものと考えられ、その結果、ケーソンの水平変位が生じなかったものと考えられる。続いて、図-4.c)によると、改良有り・裏込め石有りの Case4 では、Case2 ほどではないが、ケーソンと裏込め石、およびその背後地盤に位相差が生じている。裏込め石に着目すると、はじめケーソンとぶつかり合う動きを見せた後、ケーソンと離れる動きをみせ、同時に次は改良された背後地盤と衝突を繰り返している。これにより、改良されているものの剛性の低い裏込め石がケーソンとぶつかり合うことで脆くなり、次にケーソンから離れ、背後地盤と衝突することで裏込め石の崩壊が起き、エプロン部の沈下およびケーソンの水平変位につながったと考えられる。

これらのことから、ケーソンの水平変位の要因は、(a)ケーソン近傍の液状化、(b1)裏込め石の設置に伴う位相差、(b2) 地盤改良による位相差、および (c)背後地盤の液状化が挙げられる。今回の実験条件のもとでのケーソンの挙動は、(a)、(b1)の影響が大きく、(b2)、(c)の影響は小さいと考えられる。

3. まとめ

- (1) 未改良の地盤において、裏込め石の設置は、ケーソンの水平変位抑制に対しては有効だが、エプロン部の沈下抑制に対しては有効とはいえない。
- (2) 改良した地盤において、裏込め石の設置は、ケーソンの水平変位およびエプロン部の沈下抑制に対して有効ではない。
- (3) ケーソンの水平変位の要因としては、(a)ケーソン近傍の液状化、(b1)裏込め石の設置に伴う位相差、(b2) 地盤改良による位相差、および(c)背後地盤の液状化が挙げられる。

<参考文献> 1) 社団法人 日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説。

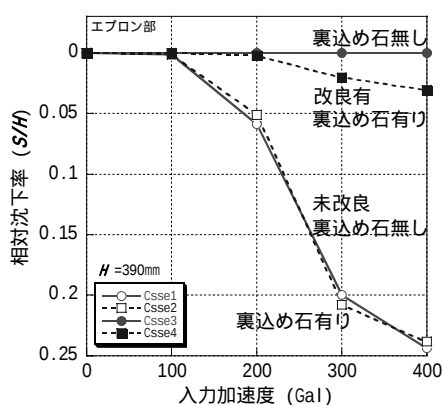
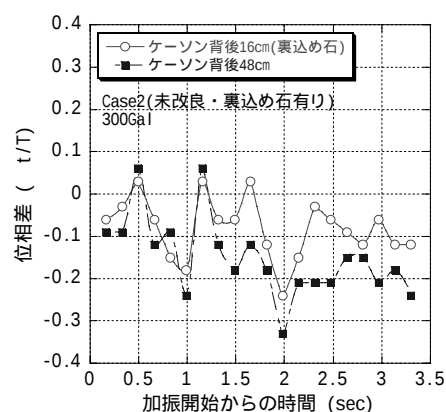
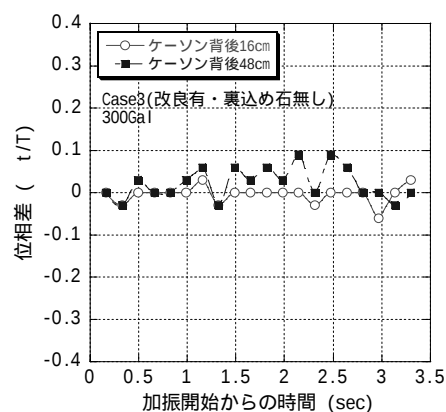


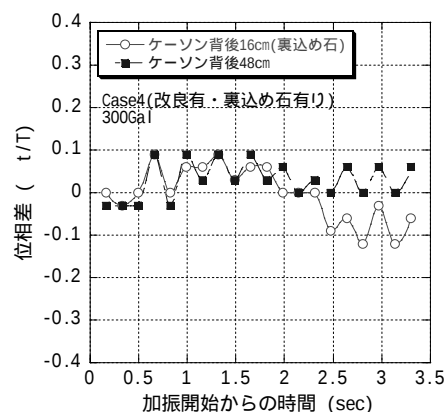
図-3 エプロン部の相対沈下率



a) Case2(未改良・裏込め石有り)



b) Case3(改良有・裏込め石無し)



c) Case4(改良有・裏込め石有り)

図-4 ケーソンと地盤の位相差