

ニューマチックケーソン式護岸のレベル 2 地震時水平変位の検討

アイテックコンサルタント(株) 正会員 ○ 劔 朋広 早稲田大学理工学部 フェロー 清宮 理
アイテックコンサルタント(株) 正会員 久保田 翼 オリエンタル白石(株) 正会員 大内 正敏

はじめに

新しい「港湾の施設の技術上の基準（平成 19 年）」におけるレベル 2 地震動に対する耐震設計法では、水平変位が所定の性能を満足すべく設定するよう改定となり、従来の重力式構造物では、条件によって水平変位を 1 m 程度以内に設定するのが容易ではなくなっている。そこで、ニューマチックケーソン工法による護岸構造の、耐震強化施設としての成立性を、地震後の残留変位に着目して検討した。

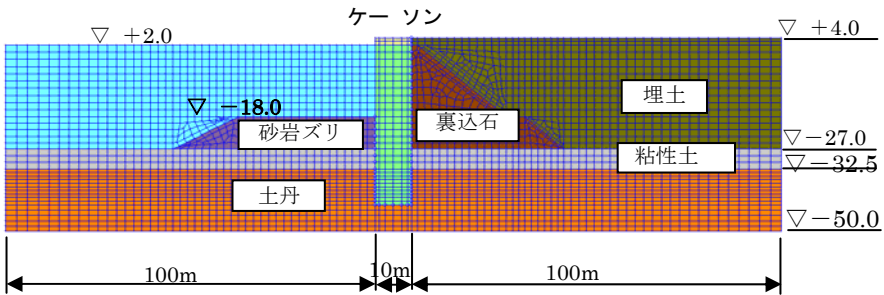
ニューマチックケーソン式護岸は躯体の剛性が大きいので、地震力を受けた際の変位は剛体挙動に近く、躯体が、むしろ背面地盤の変位を拘束するように機能する。下端が堅固な支持層に根入れされていれば、護岸全体の滑動はなく、根入れ部を中心とした回転変位が支配的なモードになり、護岸天端の地震後の残留変位量も小さなものになることが予想される。

以下では、支持層の地盤物性や根入れ長、さらに背面地盤の液状化などが、ニューマチックケーソン式護岸のレベル 2 地震時残留変位に及ぼす影響を解析し、耐震強化施設としての成立性を検討した。

1. 検討条件

解析は 2 次元有効応力法地震応答解析プログラム FLIP¹⁾ を使用した。

解析モデルを図－1 に示す。前面水深-18.0m のニューマチックケーソン式護岸で、ケーソンの幅は 10m とした。



図－1 計算モデル

地層構成は上図に示したとおりである。-32.5m に土丹層上面を設定し支持層上面とした。その上には沖積粘性土がある。

地盤定数は表－1 のように設定した。護岸背面側の粘性土は埋土荷重による強度増加を考慮している。砂岩ズリの物性値は佐藤らの研究²⁾を参考に決定した。解析に使用した地震波は、横浜港の港湾施設の設計に使用された L2 地震波である。入力最大加速度は 500gal、継続時間は 70 秒間とした。

2. 検討ケースとパラメータ

次の 3 項目をパラメータとして、ニューマチックケーソン式護岸の地震時変位特性を検討した。すなわち、①護岸背面の埋土の液状化の有無、②土丹層への根入れ長さ、③土丹層のせん断強度、である。

①については、[液状化が生じた場合／生じない場合] である。[液状化が生じる場合] の埋土の物性は細粒分含有率 $F_c=20\%$ 、変相角 $=28$ 度、平均 N 値 $=7\sim8$ として液状化パラメータを決定した。平均せん断応力比が 0.22 での液状化繰返し回数 $N=17$ 程度である。

②の土丹層への根入れ長と③の土丹層のせん断強度は、ニューマチックケーソン式護岸の下端の支持力特性をパラメータにしたものである。根入れ長は 10m と 6m の 2 ケースとした。土丹のせん断強度は $\phi=0$ 、 $C=1400$ と 700kN/m^2 とした。土丹のせん断強度は $\phi=0$ 、 $C=1400\text{kN/m}^2$ 程度が通常の値であるが、天端変位に与える強度定数の感度を調べる目的で、半分の強度の $C=700\text{kN/m}^2$ のケースも検討した。

キーワード 護岸，ニューマチックケーソン，液状化，耐震性強化施設，FLIP

〒169-0004 東京都新宿区大久保 1 丁目 7-18 アイテックコンサルタント株式会社 TEL 03-6812-1190

3. 計算結果

L2 地震後の護岸天端の残留水平変位を表-2 に示す。背面の埋土に液状化が生じ、かつ、根入れ長が短く ($D=6$ m), 土丹のせん断強度を小さく ($C=700\text{kN/m}^2$) 仮定した場合の護岸天端の水平変位が、当然ながら最大で、86cm となった。

このとき護岸前面の鉛直面との傾きは2.2度と小さな値であった。

このケースの天端水平変位の時刻歴を図-2 に示す。

護岸天端の最大加速度は、600~750gal, 躯体下端で400gal であった。

($D=6\text{m}$, $C=700\text{kN/m}^2$, 液状化) のケースのケーソン周辺地盤要素の面直角方向応力度の分布(側面の「土圧」、底面の「地盤反力」)を図-3 に示す。図には、地震前の応力状態(点線)と、地震中の最大値(実線)を示す。土丹層より上部の背面側からは「地震時主働土圧」が作用している。土丹層では、護岸躯体の転倒に抵抗すべく、前背面の反力土圧と底面の三角形分布の鉛直方向地盤反力が見られる。

解析モデルでは、ケーソンと地盤の接触面に「ジョイント要素」を付けた。そのため、前面下方の反力がゼロになり、底面地盤反力の後方(右側)が若干浮き上がっていることがわかる。

($D=6\text{m}$, $C=700\text{kN/m}^2$, 液状化) のケースで、[周辺地盤の地震時土圧], [躯体に作用する地震力], [残留水压]の3つの外力を用いて、L2 地震時の躯体の曲げモーメントとせん断力を計算した。その値は、法線方向1m 当たりで、 $M=118,100\text{kN}\cdot\text{m/m}$, $S=6,600\text{kN/m}$ であった。上記の断面力に対する必要なケーソン断面は、外形寸法は10m x 10m の矩形断面、側壁厚さは1m, 側壁には鉄筋D51を1m 当たり17本程度配置すればよいことがわかった。

まとめ

ニューマチックケーソンを護岸に適用したとき、下端が土丹のような良質な支持地盤に根入れされている場合には、L2 地震における天端変位が非常に小さな値に収まった。しかも、液状化を防ぐための地盤改良などの補助工法なしでも、L2 で1m 以内の残留天端変位となった。ニューマチックケーソン式護岸が、護岸の水平変位を抑制するのに有効な方法であることが確認できた。今後、支持層の剛性とせん断強度が土丹より小さい(弱い)場合の変位特性について検討を進め、さらに適用地盤の範囲を広げていくことにしたい。

参考文献

- (1) Iai, et al. : Strain Space Plasticity Model for Cyclic Mobility, SOILS AND FOUNDATIONS, Vol. 32, No. 2, pp1~15, 1992. 6. (2) 佐藤成ほか : 非線形有効応力地震応答解析における捨石材のモデル化に関する検討(1), 第26回地震工学研究発表会講演論文集, pp677~680, 2001. 8

表-2 ケース毎の残留変位

土丹への根入れ長	$D = 10 \text{ m}$		$D = 6 \text{ m}$	
土丹のせん断強度	1400kN/m^2	700kN/m^2	1400kN/m^2	700kN/m^2
残留変位(液状化なし)	16cm	22cm	23cm	39cm
残留変位(液状化あり)	25cm	52cm	48cm	86cm

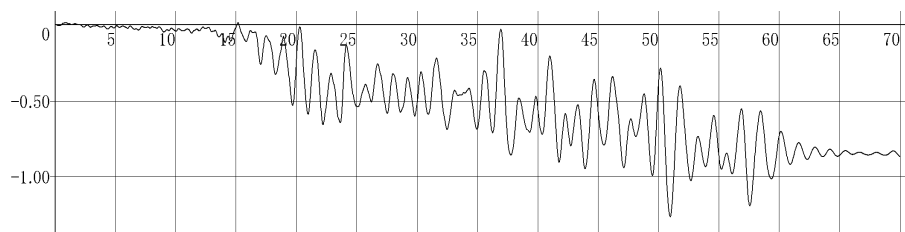


図-2 残留変位の時刻歴

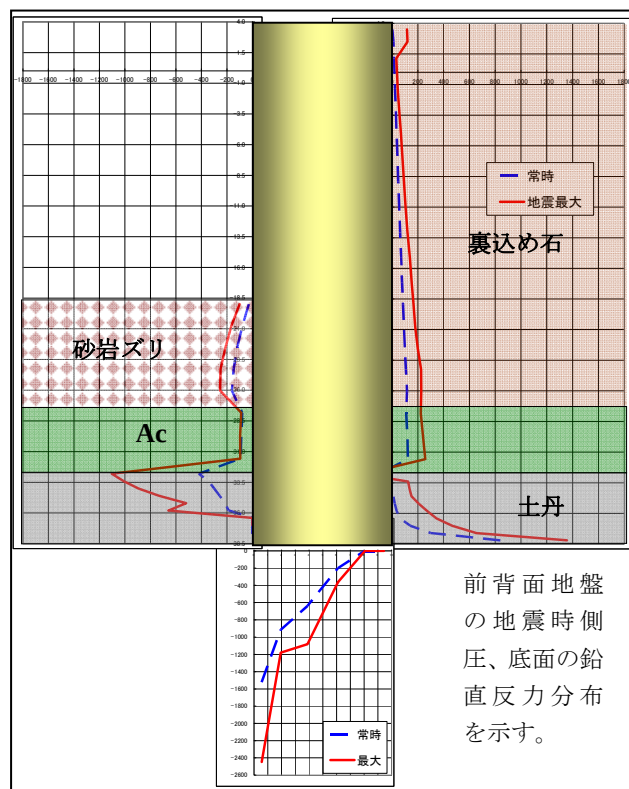


図-3 土圧分布