

ケーソン岸壁の耐震性能と地盤特性及び堤体幅に関する解析的研究

鳥取大学大学院 学生会員 ○清水 剛

中電技術コンサルタント(株) 正会員 橋本 淳

鳥取大学大学院 学生会員 山崎 陽一郎

鳥取大学工学部 フェロー会員 上田 茂

港湾空港技術研究所 正会員 菅野 高弘

(株)日本港湾コンサルタント 正会員 石田 誠

1. はじめに

港湾の施設の技術上の基準・同解説（以下、港湾基準）¹⁾によれば、ケーソン式岸壁は震度法で設計される。近年、構造物の機能及び性能を重視した性能仕様設計の導入が図られているが、震度法による設計では地盤及び岸壁の変位を求めることができないので震度法に代わる手法を用いる必要がある。

本研究では有効応力法（FLIP）を用いてケーソン式岸壁の二次元地震応答解析を行い、地盤特性及び堤体幅がケーソン式岸壁の地震時挙動に及ぼす影響を検討した。

2. 対象構造物と解析モデル及び解析条件

図-1に示す設計震度 $k_h=0.10$ で設計されたケーソン式岸壁（ $4.5B \times 8.5H \times 10.4L$ ）を対象とする。これを初期断面とし、耐震補強する目的で設計震度をかえて堤体幅の拡幅及び地盤改良の必要性を検討する。

表-1は本研究で行う解析の解析条件一覧である。初期断面に対する解析結果から液状化対策の必要性を検討する。検討の結果、液状化対策の必要性が明らかになったので、図-1、2にその範囲を図示した。次に、検討1でSCPにより地盤改良したものとして図-2の解析モデルを用いて解析を行う。検討2では堤体幅を1.5倍及び2.0倍に拡幅した断面について解析する。以上の計算は図-1に示した地盤条件で行うが、これとは別に検討3では、図-3に示す地盤条件で入力地震動を変えて計算し、地震波の周波数特性とケーソン式岸壁の応答との関係を調べる。

表-1 解析条件一覧

	ケーソン断面	地盤改良	地震波	入力基盤加速度(ga)	
初期断面	設計震度:0.10	なし	ポートアイランド波	100,200,300,400,600,800	
検討1	設計震度:0.10	海側	ポートアイランド波	200,300,400,600,800	
		陸側			
		両側			
検討2	×1.5拡幅 設計震度:0.15相当	両側	ポートアイランド波	200,400,600,800	
		なし		300,400	
	×2.0拡幅 設計震度:0.20相当			両側	200,400,600,800
検討3	設計震度:0.10	地盤構造変更 (図-3)	ポートアイランド波	200,400,600,800	
			八戸波		
			大船渡波		

3. 入力地震動

検討1～3に用いる入力地震動は図-4に示すポートアイランド波形とする。また、検討3に際しては、八戸波及び大船渡波も用いる。八戸波は1968年十勝沖地震の八戸港NS波、大船渡波は1978年宮城県沖地震の大船渡港E41S波である。

解析においては、これらの加速度の最大値を表-1に示す100～800galとしたものを用いた。

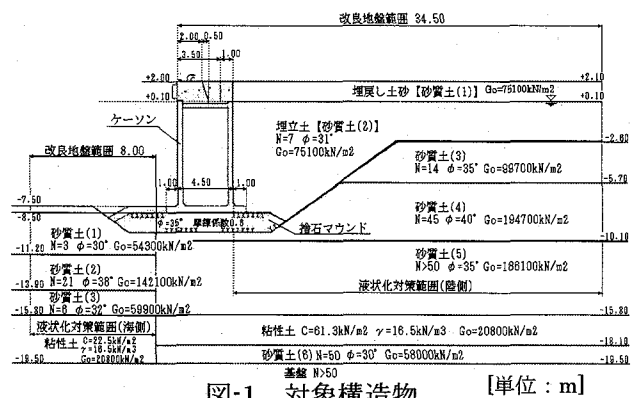


図-1 対象構造物 [単位: m]

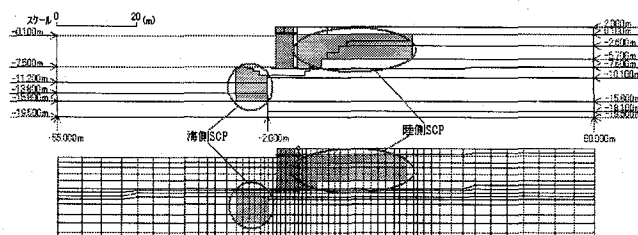


図-2 解析モデル図とSCP設置場所

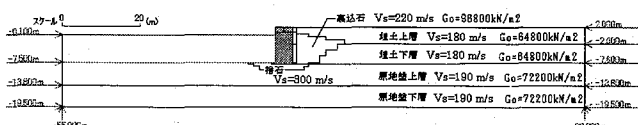


図-3 地盤構造を単純化したモデル図

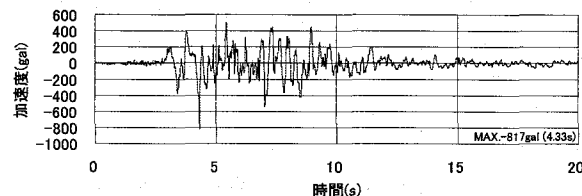


図-4 ポートアイランド波形(NS方向)

4. 解析結果

以下に示す解析結果においては、ケーソン式岸壁の天端の海側への水平変位を負として表す。

(1)初期断面 ($k_h=0.10$, 地盤改良なし) の結果

図-5 はケーソン天端の変位の時刻歴を入力加速度別に表したものである。また、表-2 はケーソン天端の水平変位及びケーソン背後地盤の地表面加速度から野田・上部式を用いて算出した作用震度を示したものである。

入力加速度が大きいほど、天端の水平変位が大きい。港湾基準によれば、岸壁水深-7.5m 以上の重力式係船岸において被災変形量の目安は供用可能範囲に対し 0~30 cm, 供用制限範囲に対し 30~100 cmとされている。この岸壁は $k_h=0.10$ で設計されているが入力加速度 200gal までは、無改良でも供用可能範囲内であり、300gal 以上では供用制限範囲を超える。従って、これ以上の耐震性能をもたせるためには地盤改良などの耐震補強が必要である。表-2 から入力加速度 300gal に対する作用震度は 0.23 であるので、震度法で設計するとすればこの震度に対応する断面に拡幅すること考えられる。

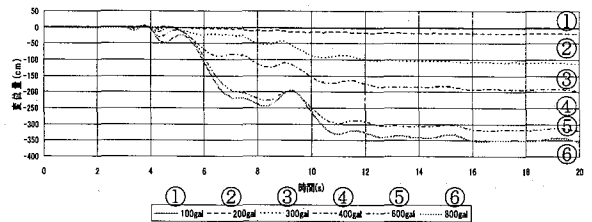


図-5 初期断面における天端の水平変位量
表-2 天端の変位及び背後地盤の作用震度

入力基礎加速度 (gal)	天端の水平変位量 (cm)	地表面加速度の最大値 (gal)	作用震度
100	-2.7	122	0.12
200	-21.6	227	0.21
300	-112.2	317	0.23
400	-197.1	266	0.22
600	-322.4	381	0.24
800	-354.2	388	0.24

(2)地盤改良と堤体拡幅に関する結果 (検討 1,2)

上記に基づき、ここでは地盤改良により耐震補強する場合 (検討 1) 及び堤体幅を 1.5 倍または 2.0 倍に拡幅する場合 (検討 2) を検討した。

表-3 は地盤改良の範囲とケーソン天端の変位の関係を示したものである。また、表には地盤改良なしでケーソンを 2.0 倍に拡幅した場合の結果も示した。これを見ると、堤体幅を 2.0 倍に拡幅し、震度法で $k_h=0.20$ 相当にしても変位は 300gal 入力時で 72 cm になり供用可能範囲を大きく超える。従って、堤体幅の拡幅は有効ではなく、地盤改良を行うのがよいといえる。

表-3 拡幅と SCP の変位の違い

	初期断面	SCP海側	SCP陸側	SCP両側	×2.0拡幅(SCPなし)
300gal	-112	-89	-29	-17	-72
400gal	-197	-150	-45	-30	-110

[単位: cm]

表-4 は地盤改良を行った上、さらに堤体幅を拡幅したケースについて変位と地表面加速度から導出した作用震度を示したものである。表-2 と比べると地盤改良の有無による地表面加速度及び作用震度の差異は小さい。

表-4 地盤改良に拡幅を行った断面での結果

入力基礎加速度 (gal)	堤体幅	変位量 (cm)	地表面加速度の最大値 (gal)	作用震度
200	×1.5	-5.5	210	0.20
	×2.0	-4.8	199	0.20
400	×1.5	-21.6	353	0.24
	×2.0	-18.0	327	0.23
600	×1.5	-45.1	331	0.23
	×2.0	-36.3	296	0.22

(3)地震波の特性に関する結果 (検討 3)

図-6 は、図-3 に示した地盤構造断面に対して、先に示した 3 つの地震波を用いて、入力加速度を 400gal として求めたケーソン天端変位の時刻歴である。これを見ると、ポートアイランド波と大船渡波に対する変位はほぼ同じといえるが、八戸波に対する変位は上記の 2 波を入力するよりも大きい。

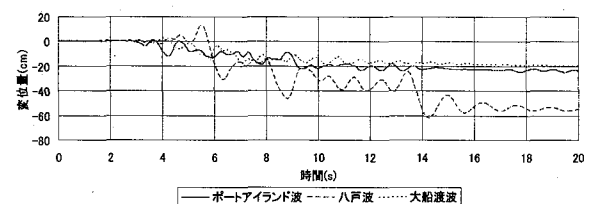


図-6 地震波変更による変位量の違い

地震は震源特性、伝播経路特性、サイト増幅特性により異なり、地震波の特性は被災量に重大な影響を及ぼすので、解析の対象とする地域において最適な地震動を設定することが重要である。

5. まとめ

堤体幅を拡幅することで設計震度を変更した結果、堤体幅を 2.0 倍に拡幅しても変形量は港湾基準の定める供用可能範囲を超えてしまう結果となった。解析の結果、ケーソン断面はそのままでも周辺地盤の地盤改良を行うことで変位は抑制された。しかし、変位は抑制されても作用震度はさほど変化しなかった。

入力地震動特性によってケーソン式岸壁の地震時挙動 (特に残留変位) が異なった。従って、検討対象地点におけるサイト増幅特性・地盤震動特性を十分反映させた設計用地震動を適切に設定することの重要性が示された。

【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 (上巻), 1999 年, p.259