

重力式岸壁の耐震強化方策と有効応力解析法による耐震性照査に関する研究

大成建設 正会員 ○清水 剛
鳥取大学 フェロー会員 上田 茂
港湾空港技術研究所 正会員 野津 厚

1. はじめに

港湾の技術上の基準の改定に伴い、港湾構造物の耐震性は、サイトの地震動の増幅特性を考慮して構造物の安全性と変形により照査される。現在供用中の多くの既設構造物は改定前の設計基準に基づいて建設されたものである。改訂された基準に基づいて性能照査を行うことは極めて重要である。本研究では、耐震強化岸壁建設地点における、震源特性・伝播経路特性・サイト特性を考慮した地震動に対する構造物の応答を、FLIP を用いて計算する。耐震強化岸壁とは、L2 地震動に関する偶発状態に対しても使用性または修復性を確保する必要がある岸壁である。

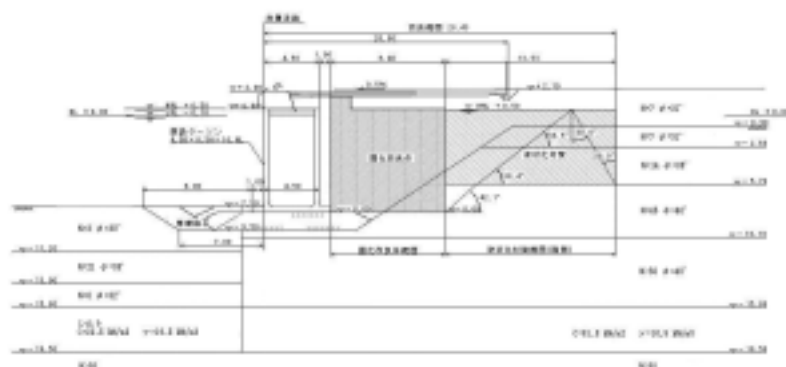


図-1 対象岸壁標準断面図

2. 対象構造物と解析モデル

図-1 は固化工法によって耐震補強されたケーソン式岸壁(4.5B × 8.5H × 10.4L)の断面図である。ケーソン背後の幅 9.4m、深さ DL = - 8.00m にわたり、地盤改良がなされている。さらに、その背後の幅 13.53m、深さ DL = - 5.70m までが液状化対策として締固めによる地盤改良がなされている。図-2 は、FLIP による解析に用いた対象岸壁の改良後モデル(model-SI)である。なお、改良前モデルは(model-BASIC)と表記する。

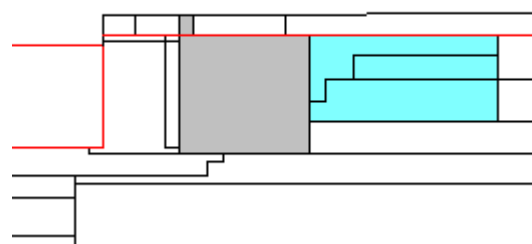


図-2 液状化対策した解析モデル(model-SI)

3. 入力地震動

本研究では L1 地震動および L2 地震動に対する耐震強化岸壁の地震応答を検討する。L1 地震動は国土交通省国土技術政策総合研究所¹⁾により公開されている全国の港湾の L1 地震動から周波数特性の異なる、鳥取港(最大加速度 107Gal)、神戸港 kobe-PI(178Gal)、及び八戸港(214Gal)の3種を用いた。L1 地震に対する解析のケース番号は、“case-「モデル」-「入力地震波の頭文字及び最大加速度」”とした。図-3 は解析に用いた L2 地震動である。ここでは鳥取港について、近傍の A、B 2 つの断層を震源とする地震基盤の地震動を求め、以下の2つの方法で求めたサイト増幅特性を考慮して求めたものを用いた。すなわち、近傍の地震観測点のスペクトル比に基づく方法(, と表記)及び微動観測によりそれを補正したもの(, と表記)である。L2 地震を対象とした解析のケース番号は、“case-SI-L2「入力地震動番号」(加速度最大値)”とする。

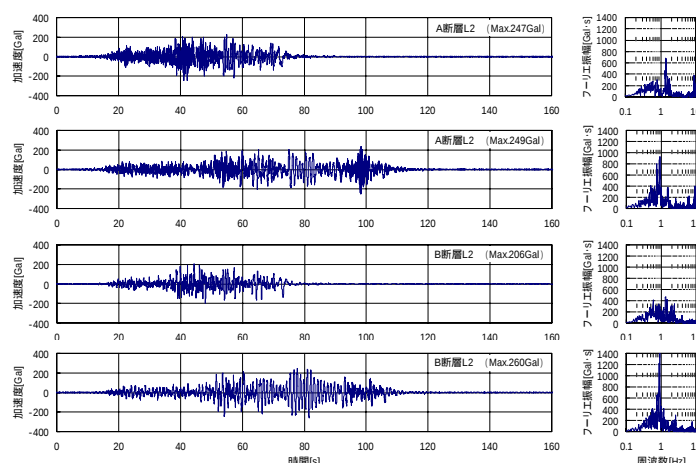


図-3 L2 地震動の加速度時刻歴及びフーリエスペクトル図

キーワード 重力式係船岸，耐震，有効応力解析，レベル1地震動，レベル2地震動

連絡先 〒680-8550 鳥取県鳥取市湖山町南 4-101 鳥取大学 工学部 土木工学科 TEL 0857-31-5286

4. 解析結果

(1) レベル1地震動による構造物の変状

表-1 は L1 地震動に対するケーソン岸壁天端の水平および鉛直方向の残留変位量，ならびにケーソンの傾斜を示す．ここで，水平方向の負値は海側への変位，鉛直方向の負値は沈下を表す．加速度はすべて 107Gal（工学的地盤）としたが，地盤改良をしていない model-BASIC では，地震動の周波数特性の相違によって，残留変位量が 5cm から 8cm 程度と応答に相違が見られた．一方，地盤改良を行った model-SI においては 107Gal を入力した条件での水平変位量は 2cm 以下であった．地盤改良モデルの効果が現れている．入力地震波の最大加速度 107Gal に対して，地盤改良による残留変位量の減少，すなわち変位抑制量は，鳥取港 L1 地震動で 6.04cm，神戸港 L1 地震動で 2.74cm，八戸港 L1 地震動で 4.56cm であった．

つぎに，固化地盤背後の締固めによる地盤改良の有無と，過剰間隙水圧比の上昇の関係を示す．また，入力地震動による過剰間隙水圧比上昇の相違について検討する．図-4 に検討対象の 9 要素を示している．各要素の表記は，深さ方向に High - Middle - Low とし，水平方向には Left - Center - Right とする．

表-2 は各解析ケースにおける残留過剰間隙水圧比を示したものである．地盤改良をしていないモデルでは，100Gal 程度の加速度であっても，全てのケースで過剰間隙水圧比が 1.0 に近いが，地盤改良を行ったモデルでは，0～0.2 程度で液状化に対する効果が認められる．

(2) レベル2地震動による構造物の変状

表-3 は L2 地震動に対する残留変異量である．L1 地震動に対する計算結果よりかなり大きな残留変位量で，B 断層 L2 に対しては 42cm 程度になる．この施設に対しては B 断層の影響が大きい．また，微動観測によって補正したサイト増幅特性は，当該施設の建設地点の地盤特性を反映したものであるが，近傍の観測点のスペクトル比に基づいて求めた地震動に対するものよりやや大きな残留変位を与える．表-4 は L2 地震動に対する計算の残留過剰間隙水圧比を示す．出力要素は先と同じである．地盤改良の効果により，レベル 1 地震動に対しては過剰間隙水圧比の上昇が大きくなかった要素であっても，レベル 2 地震動に対してはほぼ 1.0 に近づいていることが分かる．

5. まとめ

地盤改良を行った結果，ケーソン天端の水平変位量は大幅に減少した．また，固化地盤背後の締固めにより，過剰間隙水圧比が 0～0.2 に抑制され，ケーソンの残留変位が抑制される．しかし，入力加速度が大きい L2 地震動では，締固めを行っても高い過剰間隙水圧比を示し，ケーソンの残留変位量が約 40 cm程度になる．

参考文献

1) 野村大輔：境港および鳥取港におけるサイト増幅特性およびレベル 2 地震動，鳥取大学大学院修士論文，2008
2) 国土交通省 国土技術政策総合研究所 HP：<http://www.ysk.nilim.go.jp/kakubu/kouwan/sisetu/>

表-1 L1 地震動に対する各ケースの残留変位量

解析ケース	解析モデル	入力地震動	最大加速度 [Gal]	残留水平変位量 [cm]	残留鉛直変位量 [cm]	傾斜 [°]
case-BASIC-Tot107	BASIC	鳥取港L1	107	-8.00	-1.33	0.25
case-BASIC-Kob107		神戸港L1	107	-4.29	-0.59	0.13
case-BASIC-Hac107		八戸港L1	107	-5.99	-0.96	0.19
case-BASIC-Hac178		神戸港L1	178	-17.25	-2.78	0.53
case-BASIC-Hac214	SI	八戸港L1	214	-27.60	-4.51	0.80
case-SI-Tot107		鳥取港L1	107	-1.96	-0.24	0.06
case-SI-Kob107		神戸港L1	107	-1.55	-0.18	0.05
case-SI-Hac107		八戸港L1	107	-1.43	-0.15	0.04
case-SI-Kob178		神戸港L1	178	-4.85	-0.46	0.14
case-SI-Hac214		八戸港L1	214	-6.12	-0.64	0.17

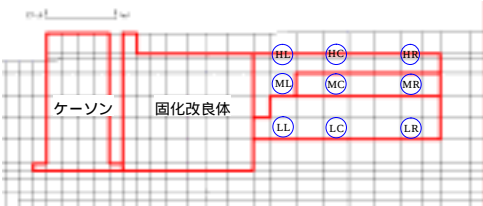


図-4 出力要素（締固め部）

表-2 残留過剰間隙水圧比（L1 地震動対象）

解析ケース	要素								
	HL	HC	HR	ML	MC	MR	LL	LC	LR
case-BASIC-Tot107	0.967	0.966	0.972	0.964	0.979	0.978	0.166	0.248	0.243
case-BASIC-Kob107	0.967	0.975	0.967	0.967	0.978	0.981	0.185	0.284	0.251
case-BASIC-Hac107	0.968	0.963	0.974	0.972	0.979	0.981	0.140	0.258	0.229
case-BASIC-Kob178	0.967	0.974	0.980	0.970	0.982	0.985	0.654	0.832	0.779
case-BASIC-Hac214	0.964	0.977	0.983	0.967	0.982	0.987	0.924	0.942	0.914
case-SI-Tot107	0.234	0.175	0.761	0.079	0.155	0.168	0.036	0.056	0.067
case-SI-Kob107	0.203	0.144	0.231	0.046	0.136	0.144	0.026	0.047	0.072
case-SI-Hac107	0.266	0.173	0.247	0.076	0.174	0.134	0.015	0.041	0.066
case-SI-Kob178	0.737	0.214	0.965	0.193	0.170	0.273	0.000	0.009	0.057
case-SI-Hac214	0.961	0.935	0.978	0.916	0.245	0.902	0.000	0.032	0.108

表-3 L2 地震動に対する各ケースの残留変位量

解析ケース	解析モデル	入力地震動	最大加速度 [Gal]	残留水平変位量 [cm]	残留鉛直変位量 [cm]	傾斜 [°]
case-L2 (248)	SI	A断層L2地震動	248	-18.01	-3.25	0.29
case-L2 (249)		A断層L2地震動	250	-19.64	-3.32	0.32
case-L2 (207)		B断層L2地震動	207	-14.62	-2.37	0.22
case-L2 (260)		B断層L2地震動	260	-42.46	-10.08	0.83

表-4 残留過剰間隙水圧比（L2 地震動対象）

	要素								
	HL	HC	HR	ML	MC	MR	LL	LC	LR
case-SI-L2 (248)	0.969	0.963	0.967	0.972	0.972	0.973	0.651	0.885	0.940
case-SI-L2 (249)	0.966	0.974	0.984	0.970	0.976	0.979	0.686	0.884	0.948
case-SI-L2 (207)	0.967	0.972	0.981	0.963	0.975	0.977	0.000	0.285	0.901
case-SI-L2 (260)	0.968	0.975	0.978	0.977	0.974	0.979	0.940	0.964	0.972