

杭基礎上のケーソン岸壁の液状化対策に関する一考察

ON LIQUEFACTION COUNTERMEASURE FOR CAISSON TYPE QUAY WALL ON PILE FOUNDATION

高谷富也¹・前野賀彦²
Tomiya TAKATANI and Yoshi-hiko MAENO

¹ 正会員 学博 舞鶴工業高等専門学校助教授 建設システム工学科 (〒625-8511 京都府舞鶴市白屋 234)

² 正会員 農博 日本大学短期大学部教授 建設学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)

Dynamic behavior of a caisson type quay wall resting on pile foundation against the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake was numerically evaluated by a liquefaction analysis based on an effective stress model. The effect of liquefaction countermeasures in the reclaimed land on the dynamic behavior of the caisson structure was investigated using some numerical examples. The feasibility of using non-liquefied material and light-weighted material in the reclaimed land was investigated from the viewpoint of deformation control during the earthquake motion. Further, the differences in the connection condition between the caisson structure and the pile foundation are considered in this paper. The application of non-liquefied material and light-weighted material to the reclaimed land behind the caisson structure has a significant effect on the final residual deformation of the caisson structure.

Key words: Caisson type quay wall, liquefaction countermeasure, non-liquefied material, deformation, pile foundation

1. はじめに

兵庫県南部地震以来、大きな地震被害をもたらす内陸性直下型地震、いわゆるレベル2地震動に対する各種の構造物の耐震設計法の開発が急務となっている。従来のレベル1地震動の加速度に対して液状化しなかった地盤がレベル2地震動では液状化するため、各学会や協会等において各種の構造物に対する耐震設計法の見直しや既設構造物の補強対策等の検討が行われてきている。レベル2地震動に対する港湾施設構造物の対応策としては、液状化による構造物やその周辺地盤の変形を考慮した対策工の耐震設計法が急がれており、重要度の高い港湾施設構造物に対しては、高い耐震性を確保すると同時にレベル2地震動に相当する実測加速度波形を用いた液状化解析による最終残留変形等の最終チェックが必要とされている。そこで、著者ら^{1)~3)}は港湾施設構造物の耐震性を高めることや、例えば被災したとしても復旧・修復が容易、または被災後も機能が維持され施設の供用が可能である構造形式として、先端拡底杭を用いた杭基礎上に設置されたケーソン岸壁や防波堤構造物についてレベル2地震動に対する地震応答解析を行い、ケーソンと杭基礎との接続の有無や

杭長の違いがケーソン構造物に及ぼす影響やケーソンおよびその周辺地盤の最終残留変形の観点より、ケーソン構造物基礎への杭基礎の適用性を検討した。その結果、ケーソン構造物直下に杭基礎を設置することによりケーソンの滑り出しや傾斜を抑制することができるものの、ケーソンおよびその周辺地盤の変形はケーソン背面の地盤内部に発生する液状化に伴う側方流動の影響を顕著に受けることが確認された。

ところで、液状化対策工法としては、バイプロローテーション工法、サンドコンパクション工法、振動棒工法、動圧密工法などの地盤締め固め工法が挙げられる。また、最近では深層混合処理工法、事前混合処理工法、軽量混合処理土工法、気泡混合処理工法、流動化処理工法などの裏込め・裏埋めに固化処理土や軽量土を用いる土圧軽減対策工法などの適用が港湾施設・海洋構造物に対して増えてきている。このような現状より、液状化対策工を用いた場合の港湾施設構造物に作用する地震時土圧等に関する有効な算定法あるいは地震時土圧を考慮に入れた設計法の開発や基準の確立が今後必要となるであろう。このような状況を考慮して、港湾施設・海洋構造物に対する液状化対策工法の選定、適用、開発および

その基準の確立を目的として、レベル2地震動に対する杭基礎上のケーソン岸壁の地震時応答解析を通じて、液状化対策工法の違いが杭基礎上のケーソンおよびその周辺地盤の変形に及ぼす影響について検討する。

本研究では、軟弱地盤における杭基礎上に設置されたケーソン岸壁の液状化対策についての検討を行う。図-1に見られるように、ケーソンが杭基礎に直接接続されている場合 (Type A)、杭頭を捨て石層で覆いケーソンとの接続を行わない場合 (Type B) および杭基礎を用いない従来の場合 (Type C) について有効応力法に基づく液状化解析を行い、杭基礎のケーソン底面に対する接続の有無がケーソン岸壁およびその周辺地盤の地震時変形挙動に及ぼす影響の観点より、液状化対策の違いによる残留変形、加速度応答および過剰間隙水圧等に関する種々の検討を行う。なお、液状化対策として、ケーソン背面の裏埋め地盤を非液状化土とする固化処理土を用いた場合およびケーソン背面に作用する土圧を低減させる軽量処理土を裏埋めに用いた場合を考える。また、杭基礎上に設置されるケーソン岸壁モデルに作用させるレベル2地震動の加速度として、兵庫県南部地震時に鉛直アレーにて記録されたものを用いる。

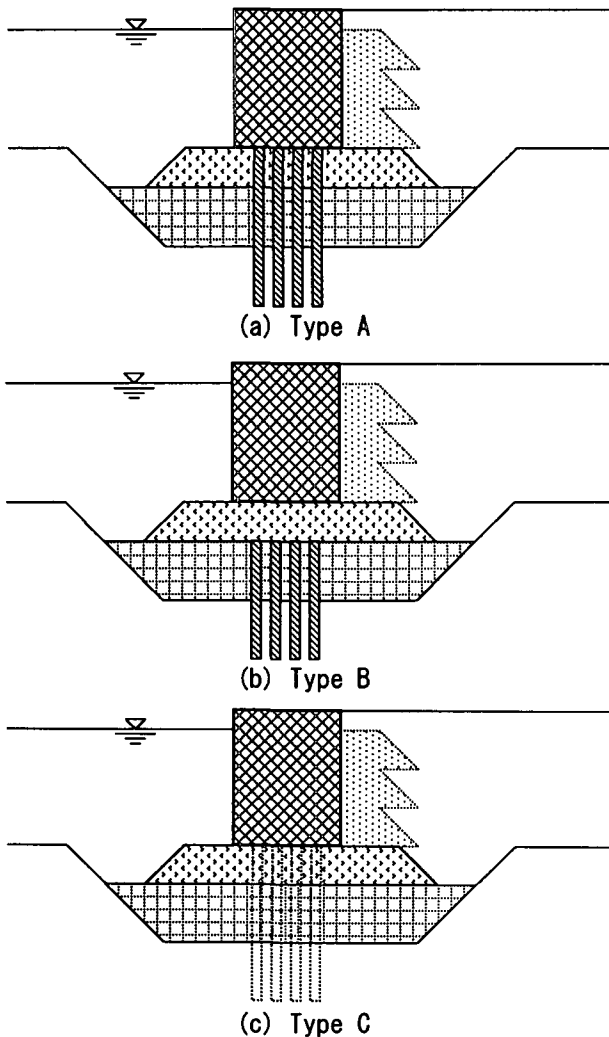


図-1 ケーソン岸壁モデル (杭基礎の有無)

2. 解析手法

本研究では、軟弱地盤における先端杭底杭基礎上に設置されたケーソン式係船岸の地震時応答特性の検討を有効応力に基づく液状化解析法⁴⁾(FLIP Ver. 3.3)を用いて行う。軟弱地盤に群杭基礎を設け、その上にケーソン岸壁を設置することを想定する。本研究では、被災した神戸ポートアイランドにおけるケーソン岸壁(PC-1)を対象とし、通常の直杭基礎に直接ケーソン岸壁を接続する場合、杭頭を捨て石層で覆いケーソンとの接続を行わない場合および杭基礎を有しない場合について液状化解析を行い、これらの比較・検討を行う。なお、このケーソン岸壁の地震後の変形量は岸壁上部工天端が海側水平方向に2.6~3.2m、鉛直方向に0.8~1.0mの沈下となっており、この実測結果を踏まえて、杭基礎上のケーソン岸壁の地震時応答特性について調べる。なお、杭基礎上に設置されるケーソン岸壁モデルに作用させる加速度波形は、兵庫県南部地震時にポートアイランドのK.P.-32mにおける鉛直アレー観測用地震計で実測されたものを用いる。

本研究で用いたケーソン岸壁周辺地盤のFEM解析メッシュ図を図-2に示す。本研究では液状化対策として、図中に示すケーソン背面に位置する領域XおよびYの裏埋め地盤を非液状化土および軽量処理土とする場合を想定し、液状化対策工の範囲の違いによる影響を調べる。なお、ケーソンと周辺地盤の間にはジョイント要素を設けている。また、同図中には地震時の時刻歴応答評価を行うためのいくつかの節点を明示した。この図より、解析対象断面はケーソン岸壁法線より海側37m、陸側43.5m、地表面(K.P.+4m)、海面よりK.P.-32mの範囲となっている。また、入力地震動として、K.P.-32mにおける観測波形の水平動および上下動成分の主要動を含む30秒間を用い、FEM解析メッシュの最下層に入力した。なお、水平動成分についてはNS成分のものを用いて、非排水条件下で時刻歴応答解析を行った。

3. 解析結果とその考察

本研究では、図-1に示す3つの場合について地震時応答解析を行い、図-2に見られるいくつかの節点における変位および加速度応答の時刻歴等について調べた。また、本研究では、ケーソン背面の裏埋め地盤(領域X)を非液状化土とする固化処理土を用いた場合を「液状化対策1」とし、ケーソン背面に作用する土圧を低減させる軽量処理土を裏埋めに用いた場合を「液状化対策2」と呼ぶことにする。

図-3は、Type Aに対する地震応答解析結果の残留変形を「液状化対策無し」、「液状化対策1」および「液状化対策2」について示したものである。また、表-1~3は図-2に示すNo.1~No.27の最終残留変位量を、それぞれ「液状化対策無し」、「液状化対策1」および「液状化対策2」について示したものである。これらの図および表より明らかなよ

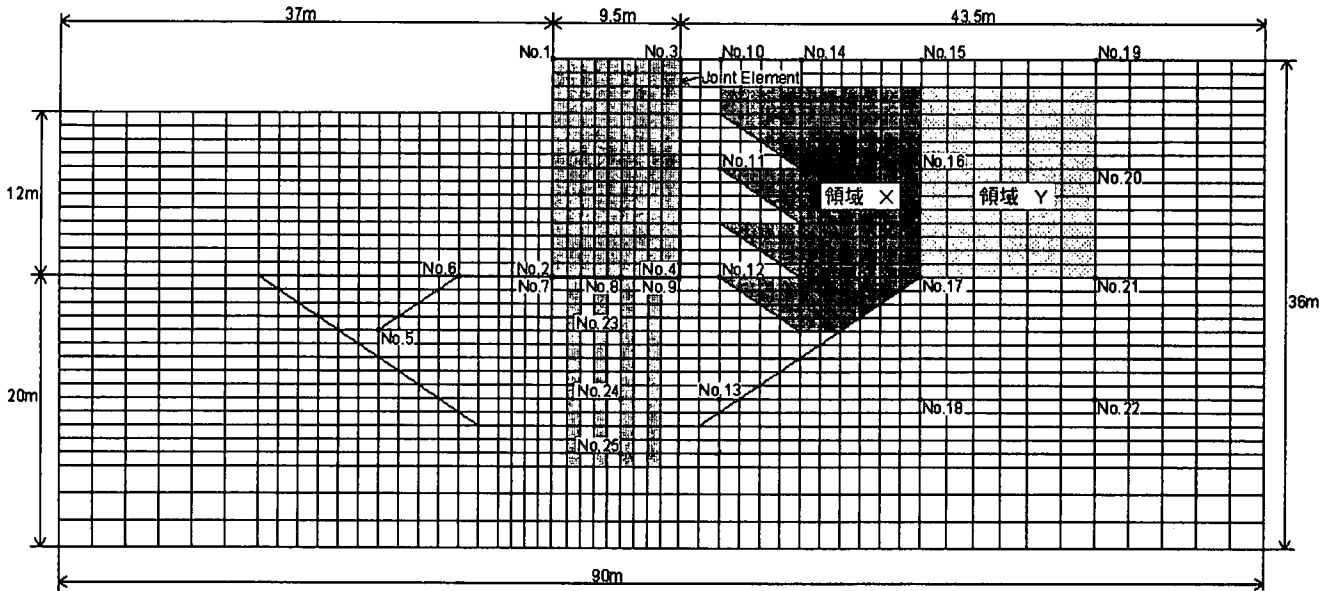
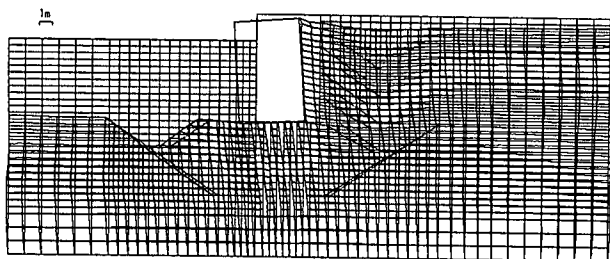


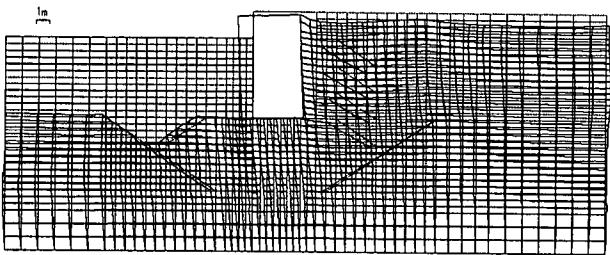
図-2 FEM解析メッシュ図

うに、杭基礎上のケーソンの水平および鉛直方向の残留変形は杭基礎を用いない場合に比べてかなり小さくなっているが、ケーソン背後の埋立て地盤については、杭基礎の有無に関係なく液状化に伴う側方流動が発生して大きな残留変形量となっていることがわかる。また、ケーソン背面の領域Xに相当する埋立て地盤部分を非液状化土とする「液状化対策1」については、Type A、Type B および Type C のいずれの場合においてもケーソン構造物の海側への滑り

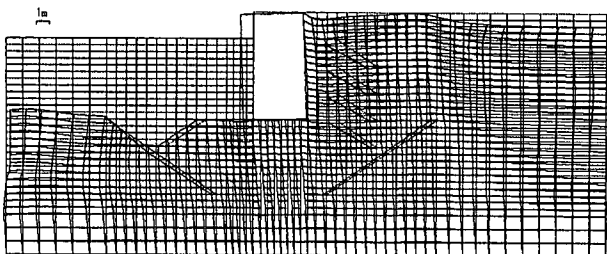
出しや傾斜をかなり抑制できるものとなっており、「液状化対策無し」の場合に比べて、水平および鉛直方向のケーソンの残留変位量としては35%程度の減少となっていることがわかる。一方、ケーソン背面に作用する土圧を低減させる軽量処理土を領域Xの埋立て地盤部分に用いた「液状化対策2」については、水平方向が45%程度、鉛直方向が60%程度の減少となっており、「液状化対策2」の効果が「液状化対策1」より大きいことがわかる。これは、「液状化



(a) 液状化対策無し



(b) 液状化対策1 (非液状化材料)



(c) 液状化対策2 (土圧軽減材料)

図-3 最終残留変形 (Type A)

表-1 残留変位量「液状化対策無し」(単位: m)

	Type A		Type B		Type C	
	x 方向	y 方向	x 方向	y 方向	x 方向	y 方向
No. 1	-1.684	-0.566	-2.428	-1.147	-2.455	-1.573
No. 2	-1.206	-0.197	-1.406	-0.949	-1.335	-1.479
No. 3	-1.567	-0.260	-2.317	-0.528	-2.405	-0.753
No. 4	-1.093	0.079	-1.295	-0.396	-1.285	-0.846
No. 5	-0.566	0.100	-0.616	0.087	-0.787	0.150
No. 6	-0.853	0.008	-0.949	0.060	-1.070	0.157
No. 7	-0.942	-0.196	-1.010	-0.229	-1.059	-0.476
No. 8	-0.938	-0.070	-0.908	-0.112	-0.933	-0.509
No. 9	-0.934	-0.034	-0.844	-0.210	-0.833	-0.437
No. 10	-1.325	-0.588	-2.086	-0.977	-2.131	-1.159
No. 11	-1.216	-0.365	-1.634	-0.545	-1.612	-0.681
No. 12	-0.893	-0.223	-0.773	-0.269	-0.737	-0.366
No. 13	-0.327	-0.018	-0.301	-0.031	-0.189	-0.081
No. 14	-1.101	-1.019	-1.620	-1.189	-1.690	-1.218
No. 15	-0.804	-0.896	-1.104	-0.997	-1.109	-0.919
No. 16	-0.626	-0.536	-0.803	-0.525	-0.749	-0.448
No. 17	-0.187	-0.186	-0.172	-0.169	-0.113	-0.120
No. 18	-0.159	-0.074	-0.137	-0.074	-0.066	-0.046
No. 19	-0.194	-0.796	-0.323	-0.875	-0.325	-0.811
No. 20	-0.057	-0.473	-0.146	-0.482	-0.128	-0.429
No. 21	0.032	-0.215	0.033	-0.202	0.073	-0.167
No. 22	-0.016	-0.090	-0.001	-0.008	0.023	-0.071
No. 23	-0.685	-0.065	-0.649	-0.057	-0.703	-0.366
No. 24	-0.371	-0.059	-0.372	-0.060	-0.414	-0.170
No. 25	-0.144	-0.032	-0.153	-0.032	-0.163	-0.045
No. 26	-0.705	0.041	-0.743	0.019	-0.976	0.111
No. 27	-0.425	-0.007	-0.437	-0.010	-0.645	0.024

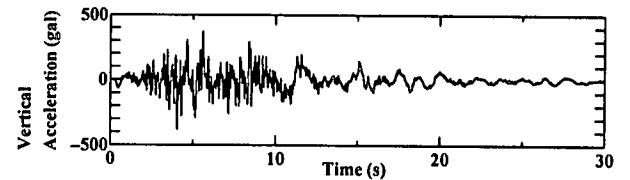
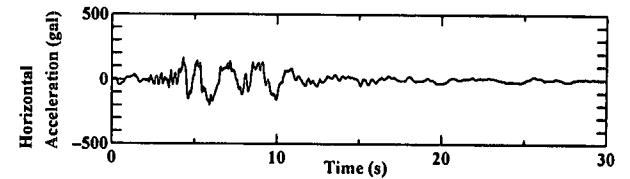
表-2 残留変位量「液状化対策1」(単位:m)

	Type A		Type B		Type C	
	x方向	y方向	x方向	y方向	x方向	y方向
No. 1	-1.108	-0.347	-1.488	-0.711	-1.626	-1.126
No. 2	-0.820	-0.127	-0.863	-0.615	-0.856	-1.027
No. 3	-1.230	-0.189	-1.571	-0.332	-1.705	-0.673
No. 4	-0.940	0.017	-0.945	-0.286	-0.935	-0.602
No. 5	-0.517	0.097	-0.579	0.094	-0.742	0.150
No. 6	-0.744	0.074	-0.869	0.059	-0.985	0.164
No. 7	-0.795	-0.177	-0.921	-0.218	-0.961	-0.448
No. 8	-0.788	-0.060	-0.805	-0.118	-0.822	-0.496
No. 9	-0.772	-0.120	-0.700	-0.217	-0.691	-0.427
No. 10	-1.248	-0.682	-1.472	-0.866	-1.591	-1.051
No. 11	-0.981	-0.500	-1.030	-0.545	-1.072	-0.671
No. 12	-0.701	-0.276	-0.614	-0.284	-0.586	-0.377
No. 13	-0.306	-0.042	-0.299	-0.042	-0.196	-0.090
No. 14	-1.076	-0.662	-1.141	-0.696	-1.227	-0.765
No. 15	-0.879	-0.442	-0.894	-0.461	-0.896	-0.470
No. 16	-0.696	-0.265	-0.682	-0.250	-0.646	-0.217
No. 17	-0.249	-0.123	-0.223	-0.113	-0.155	-0.072
No. 18	-0.144	-0.051	-0.131	-0.051	-0.058	-0.029
No. 19	-0.204	-0.860	-0.167	-0.855	-0.210	-0.791
No. 20	-0.188	-0.485	-0.174	-0.475	-0.136	-0.042
No. 21	-0.013	-0.194	-0.002	-0.191	0.045	-0.157
No. 22	-0.047	-0.073	-0.04	-0.072	0.002	-0.060
No. 23	-0.610	-0.058	-0.614	-0.049	-0.670	-0.350
No. 24	-0.364	-0.055	-0.365	-0.055	-0.411	-0.157
No. 25	-0.157	-0.031	-0.160	-0.029	-0.169	-0.039
No. 26	-0.639	0.043	-0.706	0.023	-0.929	0.119
No. 27	-0.403	-0.001	-0.424	-0.009	-0.624	0.026

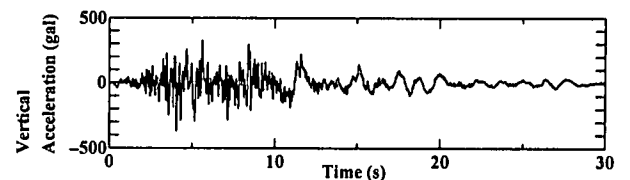
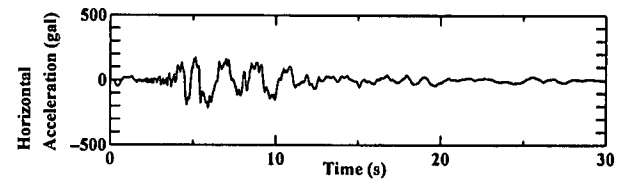
表-3 残留変位量「液状化対策2」(単位:m)

	Type A		Type B		Type C	
	x方向	y方向	x方向	y方向	x方向	y方向
No. 1	-0.999	-0.189	-1.073	-0.452	-1.498	-1.240
No. 2	-0.710	-0.116	-0.661	-0.426	-0.937	-1.213
No. 3	-1.036	-0.020	-1.091	-0.207	-1.544	-0.906
No. 4	-0.747	0.032	-0.678	-0.218	-0.980	-0.888
No. 5	-0.586	-0.003	-0.534	0.089	-2.279	-0.152
No. 6	-0.708	-0.066	-0.789	0.042	-1.802	-0.925
No. 7	-0.699	-0.195	-0.834	-0.223	-1.515	-1.131
No. 8	-0.680	-0.054	-0.697	-0.137	-1.197	-0.939
No. 9	-0.645	-0.116	-0.548	-0.191	-0.887	-0.702
No. 10	-1.087	-0.535	-1.057	-0.610	-1.473	-1.015
No. 11	-0.723	-0.398	-0.697	-0.436	-0.968	-0.794
No. 12	-0.559	-0.247	-0.461	-0.265	-0.724	-0.549
No. 13	-0.275	-0.034	-0.269	-0.037	-0.343	-0.124
No. 14	-0.955	-0.201	-0.949	-0.211	-1.318	-0.410
No. 15	-0.846	-0.071	-0.822	-0.043	-1.086	-0.165
No. 16	-0.653	0.049	-0.637	0.065	-0.845	0.016
No. 17	-0.370	0.016	-0.315	0.022	-0.368	0.012
No. 18	-0.224	0.012	-0.204	0.009	-0.199	0.005
No. 19	-0.005	-0.932	0.276	-0.898	-0.138	-1.017
No. 20	-0.241	-0.574	-0.211	-0.556	-0.307	-0.577
No. 21	-0.102	-0.243	-0.074	-0.236	-0.009	-0.227
No. 22	-0.168	-0.081	-0.148	-0.082	-0.150	-0.072
No. 23	-0.534	-0.056	-0.549	-0.047	-1.013	-0.681
No. 24	-0.322	-0.053	-0.320	-0.051	-0.725	-0.322
No. 25	-0.140	-0.032	-0.136	-0.028	-0.301	-0.074
No. 26	-0.603	-0.059	-0.649	0.009	-1.875	-0.737
No. 27	-0.414	-0.024	-0.382	-0.014	-1.975	-0.249

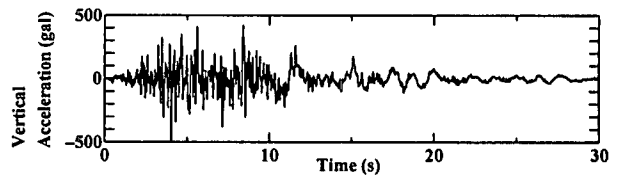
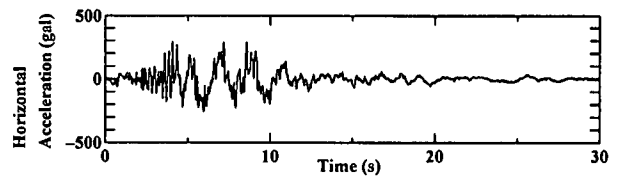
対策1」では図-2に示す領域Xに用いられる非液状化材料の単位体積重量が埋立て地盤のものと同じとしているため、地震時に作用する領域X部分に対する慣性力が軽量処理土を用いた「液状化対策2」に比べてかなり大きくなるためと考えられる。なお、この領域Xが非液状化領域となるため、領域Xの後方地盤に発生する液状化に伴う側方流動が抑制され、ケーソン構造物に及ぼす影響が「液状化対策無し」の場合に比べて小さくなっている。また、杭基礎上のケーソンの残留変形については、軽量処理土を用いた「液状化対策2」の場合、ケーソンの海側への滑り出しや傾斜は非液状化土に置換する「液状化対策1」の場合に比べて小さくなっているものの、ケーソン背面の埋立て地盤の残留変形はいずれの液状化対策の場合についてもケーソン背面から離れるにつれて徐々に両者の液状化対策による差異が小さくなる傾向を示していることがわかる。



(a) 液状化対策無し



(b) 液状化対策1 (非液状化材料)



(c) 液状化対策2 (土圧軽減材料)

図-4 加速度の時刻歴応答 (Type A, No. 16)

図-4は、Type A の場合における No. 16 の加速度の時刻歴応答を「液状化対策無し」、「液状化対策1」および「液状化対策2」について示したものである。また、図-5は図-4に示す加速度応答のパワースペクトルを示したもので、Perzen ウィンドウ（バンド幅 0.4Hz）により平滑化している。この図より、「液状化対策無し」の場合に比べて「液状化対策1」および「液状化対策2」における加速度応答値はより大きな値を示しているものの、表-2および3に見られる残留変位量は小さな値となっている。これは、上述したように「液状化対策1」および「液状化対策2」は領域Xの後方地盤に発生する側方流動現象を抑制する効果を有しているためと考えられる。なお、図-5に示すパワースペクトルより液状化対策の違いによる鉛直方向の加速度応答への影響はあまり顕著なものとなって現れていない。しかしながら、水平方向の加速度応答について、「液状化対策2」の場合は高振動数領域においては他の場合に比べて顕

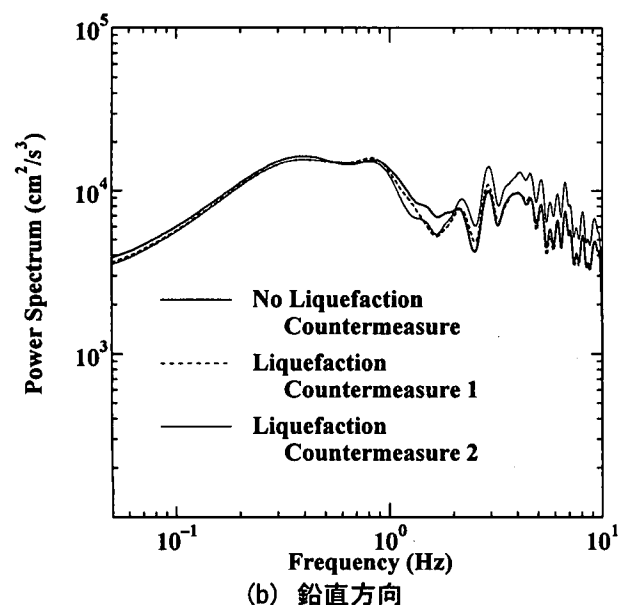
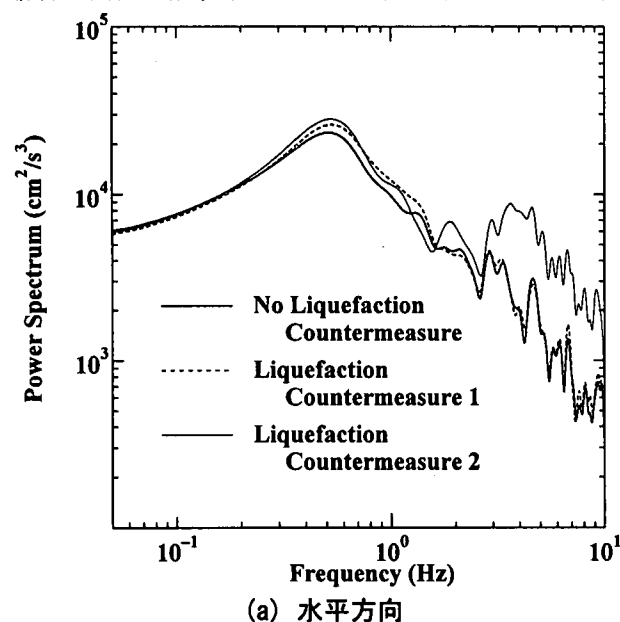


図-5 加速度のパワースペクトル (Type A, No. 16)

著な違いが見られており、軽量材料の特徴が現れたものと考えられる。

一方、図-6は、ケーソン背面後方の埋立て地盤内部の No. 16 および 20 における水平および鉛直方向変位の時刻歴応答を示したものである。この図より、液状化対策領域Xに接する No. 16 の変位応答については液状化対策工の違いによる水平方向変位への影響は小さいことがわかる。一方、鉛直方向変位に関しては軽量処理土を用いる「液状化対策2」に対する変位は小さくなっており、「液状化対策2」の効果が顕著なものとなって現れている。No. 16 よりさらにケーソン背面から離れた地点における No. 20 の変位応答については水平および鉛直方向の変位応答には液状化対策工の違いによる顕著な差異は見られないことがわかる。したがって、ケーソン背面の埋立て地盤に液状化対策を行うことにより、液状化に伴う側方流動をある程度抑制でき、ケーソンやその周辺地盤の残留変形は小さくなることがわかる。また、紙面の都合上、No. 16 以外の加速度応答については図示していないが、ケーソンから離れるにつれて液状化対策工や杭基礎の有無による加速度応答や残留変形への影響は小さくなり、いずれの場合においてもほぼ同じような応答値を示している。

表-4および図-7は、図-2に見られる領域X後方に位置する領域Yも非液状化材料とした場合における Type A、Type B および Type C の3つの場合に対する No. 1~No. 27 の最終残留変形量および変形図を示したものである。これらの表および図より明

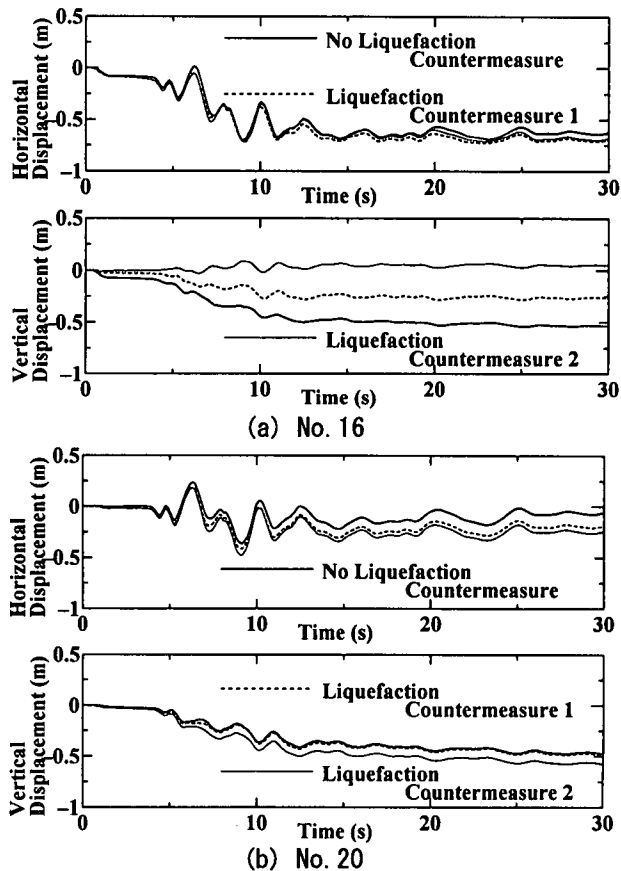
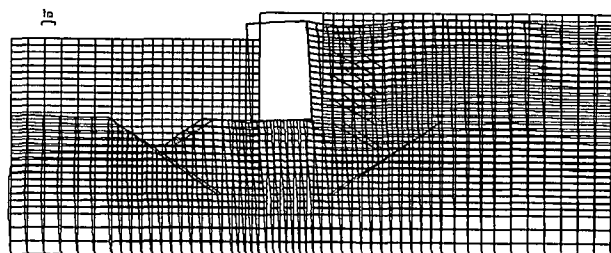


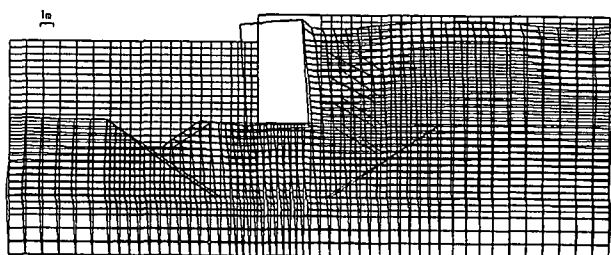
図-6 変位の時刻歴応答 (Type A)

表-4 残留変位量「対策1, 領域 X+Y」(単位: m)

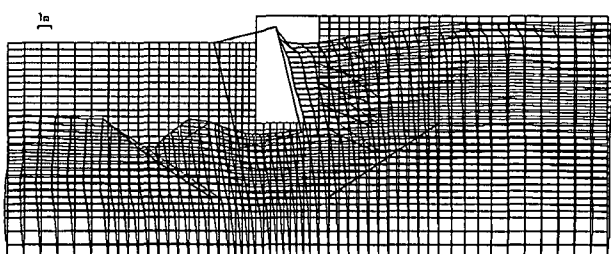
	Type A		Type B		Type C	
	x 方向	y 方向	x 方向	y 方向	x 方向	y 方向
No. 1	-0.975	-0.784	-1.347	-0.651	-3.128	-1.978
No. 2	-0.571	-0.140	-0.781	-0.600	-1.177	-1.853
No. 3	-1.190	-0.586	-1.436	-0.314	-3.210	-0.825
No. 4	-0.785	0.079	-0.870	-0.317	-1.258	-0.739
No. 5	-0.508	0.091	-0.563	0.093	-0.986	0.197
No. 6	-0.717	0.064	-0.841	0.057	-1.425	0.268
No. 7	-0.759	-0.180	-0.889	-0.216	-1.394	-0.638
No. 8	-0.748	-0.056	-0.761	-0.125	-1.124	-0.776
No. 9	-0.725	-0.125	-0.638	-0.210	-0.922	-0.495
No. 10	-1.228	-0.825	-1.401	-0.967	-2.855	-2.118
No. 11	-0.854	-0.555	-0.853	-0.582	-1.599	-1.002
No. 12	-0.639	-0.275	-0.541	-0.284	-0.779	-0.436
No. 13	-0.302	-0.036	-0.296	-0.035	-0.202	-0.092
No. 14	-0.953	-0.804	-0.957	-0.779	-1.695	-1.462
No. 15	-0.683	-0.470	-0.678	-0.446	-1.022	-0.816
No. 16	-0.413	-0.302	-0.391	-0.280	-0.430	-0.458
No. 17	-0.232	-0.177	-0.206	-0.167	-0.172	-0.181
No. 18	-0.138	-0.077	-0.122	-0.078	-0.055	-0.065
No. 19	-0.331	-0.555	-0.454	-0.522	-0.653	-0.581
No. 20	-0.181	-0.304	-0.168	-0.290	-0.015	-0.312
No. 21	-0.063	-0.156	-0.052	-0.149	0.041	-0.144
No. 22	-0.029	-0.061	-0.020	-0.059	0.046	-0.055
No. 23	-0.586	-0.055	-0.592	-0.048	-0.863	-0.519
No. 24	-0.358	-0.054	-0.357	-0.053	-0.473	-0.207
No. 25	-0.160	-0.031	-0.161	-0.028	-0.189	-0.047
No. 26	-0.621	0.037	-0.686	0.021	-1.258	0.176
No. 27	-0.399	-0.001	-0.414	-0.009	-0.773	0.042



(a) Type A



(b) Type B



(c) Type C

図-7 最終残留変形 (液状化対策1, 領域 X+Y)

らかなように、杭基礎を用いている Type A および Type B については、残留変形は小さくなる傾向を示しているものの、杭基礎を用いない Type C については、「液状化対策無し」の場合に比べてかなり大きな残留変形となっていることがわかる。一般に、ケーソン背面における非液状化領域が拡大することにより、この領域より後方地盤に発生する液状化に伴う側方流動を抑制するものと考えられるが、解析に用いた地震動が大きな加速度記録を有する内陸性直下型地震であるため、杭基礎を用いない Type C の場合には、捨て石マウンドおよびその直下の置換砂部分へのケーソン背面からの側方流動の影響が顕著なものとなって現れたものと推察できる。今後、液状化解析に用いた加速度記録波形の特徴および継続時間等が最終残留変形に及ぼす影響について比較、検討を行う必要がある。

4. おわりに

本研究は、兵庫県南部地震時に記録された加速度波形を用いて、ケーソン岸壁が杭基礎に直接接続している場合と杭頭を捨て石層で覆いケーソンとの接続を行わない場合について地震時応答解析を行い、杭基礎のケーソン底面に対する接続の有無がケーソン岸壁およびその周辺地盤の地震時変形挙動に及ぼす影響の観点より、液状化対策の違いによる残留変形および加速度応答等に関する検討を行った。液状化対策として、ケーソン背面の埋立て地盤を非液状化土とする固化処理土を用いた場合およびケーソン背面に作用する土圧を低減させる軽量処理土を裏埋めに用いた場合を考えた。その結果、杭基礎上のケーソンの残留変形については、軽量処理土を用いた土圧軽減工法による液状化対策を行った場合、ケーソンの海側への滑り出しや傾斜は非液状化土に置換する固化処理土の場合に比べて小さくなることわかった。また、液状化対策工の施工範囲の大小が、ケーソンおよびその周辺地盤の加速度応答やその結果生じる残留変形に大きく影響するため、これらの詳細な検討を今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 高谷富也・前野賀彦：先端拡底杭基礎上のケーソン岸壁の地震時挙動に関する一考察、海洋開発論文集、Vol. 14, pp. 71~76, 1998.
- 2) 高谷富也・前野賀彦：先端拡底杭基礎上のケーソン防波堤の地震時応答について、海岸工学論文集、第 45 巻, pp. 866~870, 1998.
- 3) 高谷富也・前野賀彦：杭基礎上のケーソン岸壁の地震時応答に及ぼす杭長の影響について、海洋開発論文集、Vol. 15, pp. 285~290, 1999.
- 4) Iai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T.: Strain space plasticity model for cyclic mobility, Soils and Foundations, Vol. 32, No. 2, pp. 1-15, 1992.