

既往の地震事例に見られる液状化時の護岸変形量について

運輸省港湾技術研究所 井合 進*
 一井康二*
 森田年一*
 佐藤幸博*

阪神・淡路大震災では、液状化に伴う地盤の側方流動が発生し、杭基礎などに著しい被害をもたらした。これらの側方流動変位は、護岸や岸壁などから陸側に向かって離れるにしたがって次第に小さくなる傾向を示しており、護岸や岸壁の変位がどの程度の大きさとなるかを予測することが、側方流動変位量を予測するためのポイントとなる。本講演では、阪神・淡路大震災を含む過去の地震事例に見られる液状化時の護岸変位を概観し、これらに基づいて、液状化および地震動レベルの条件と護岸変位の関係がどのようなものとなるかについて、大まかな見通しを示す。

1. はじめに

阪神・淡路大震災で見られたとおり、液状化に伴う地盤の側方流動は、護岸や岸壁などから陸側に向かって離れるに従って次第に小さくなる傾向を示している¹⁾。このような調査結果に基づき、建設予定地点で将来液状化が発生した場合に発生する護岸変位のオーダーが予測できれば、これより陸側の地盤流動変位もそれなりの信頼度で予測できるものと思われる。このような背景のもとに、阪神・淡路大震災を含む過去の地震事例に見られる液状化時の護岸変位を概観してみた。

なお、地盤の側方流動や護岸の変位は、両者の相互作用の結果として発生するものであり、これらのいずれか一方によって他方が発生するというものではない。したがって、護岸の変位を基に地盤流動変位のオーダーを求めようとするのはあくまでも便宜的なものであることについては、明確にしておきたい。

2. 護岸の変位に影響する要因

護岸の変位に影響を与える要因には、大きくわけ、構造条件、地震条件、地盤条件がある。このう

ち、構造条件としては、重力式および矢板式のものを対象とし、その設計震度をもって構造特性を決定づけるパラメタとした。地震条件については、大まかに、護岸の設計震度相当のレベル1地震およびこれを1.5~2.0倍程度上回るレベル2地震の2種類に分類した。

重力式および矢板式の岸壁・護岸については、地盤の最大加速度 a (SMAC-B2型強震計記録相当の最大加速度)と構造物の設計震度 k_n との関係が、多数の地震被災事例を基に、図-1に示すとおりにまとめられており、これを基に、設計において過去の事例中最も安全側の震度の設定として、次式を与えている²⁾。

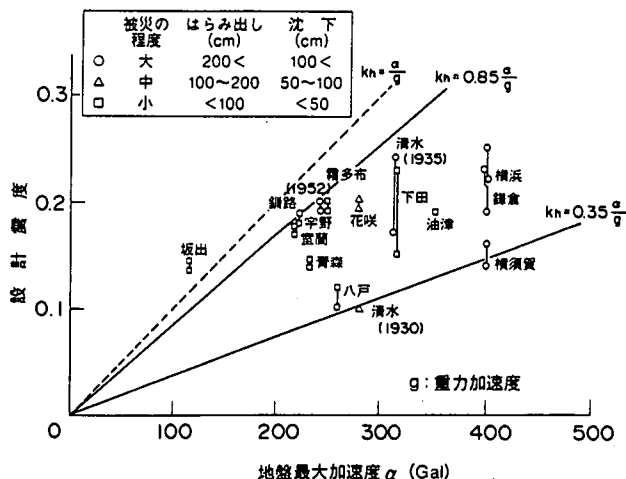


図-1 重力式岸壁の設計震度と地盤最大加速度の関係²⁾

キーワード：液状化、護岸、側方流動

* 運輸省港湾技術研究所地盤震動研究室

〒239 横須賀市長瀬 3-1-1

TEL 0468-44-5028 FAX 0468-44-4095

表-1 岸壁・護岸構造に対応した地盤条件の分類

構造形式	地盤条件	
重力式岸壁・護岸	護岸背後のみ緩い砂質土	
	護岸背後及び基礎地盤がいずれも緩い砂質土	
矢板式岸壁・護岸	護岸背後のみ緩い砂質土	控え工周辺は堅固な地盤
		控え工周辺も緩い砂質土
	護岸背後、基礎地盤、控え工周辺の全てが緩い砂質土	

$$k_h = \alpha / g \quad (\alpha < 200 \text{Gal の場合})$$

$$k_h = (1/3)(\alpha / g)^{1/3} \quad (\alpha > 200 \text{Gal の場合}) \quad (1)$$

また、地震最大加速度と構造物に作用した震度との平均的な関係は、図-1を参照して、概ね次式で与えられる。

$$k_h = 0.6(\alpha / g) \quad (2)$$

これらの関係のうち、以下では、式(2)を用いて、構造物に作用したと推定される震度（作用震度）を求め、これを構造物の設計震度と比較することにより、地震動がレベル1、2のいずれに相当するかを評価することとした。

地盤条件については、構造物と液状化の可能性がある緩い砂質土層（地盤のN値5～15程度の砂質土層）との相対的な位置関係を考慮し、おおまかに、表-1に示すように分類した。本来ならば、地盤の密度や層厚などは定量的な表示が望ましいが、調査可能な既往の事例数の制約から、考慮できなかったパラメタも多い。これらの点については、数値解析によるパラメタスタディーにより別途検討中である。

護岸の変形には、海側への水平変位のほか、鉛直変位（沈下）、傾斜などもあるが、以下では、水平変位を取り上げ、これを護岸の高さ（海底面から護岸天端までの高さ）について正規化した変形率（＝水平変位／護岸高さ）を念頭におくこととした。

3. 液状化の影響を受けた重力式岸壁・護岸

(1) 護岸背後のみ緩い砂質土の場合

1983年日本海中部地震および1993年釧路沖地震に

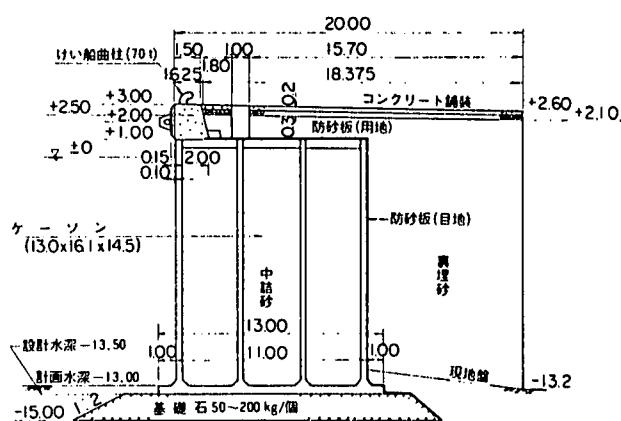


図-2 秋田港外港-13m岸壁断面図

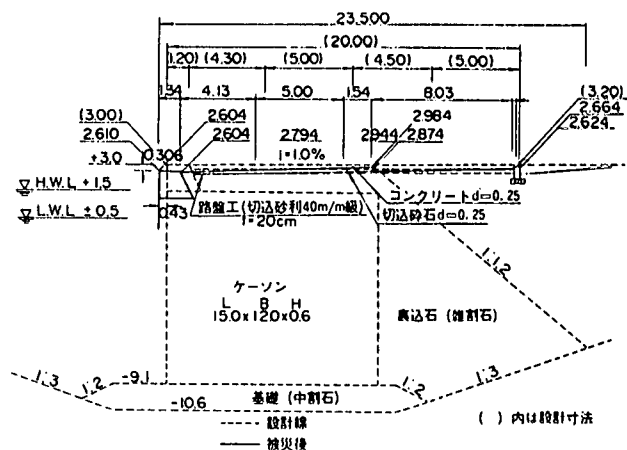


図-3 釧路港西港区第1埠頭西側-9m岸壁断面図

おいては、設計震度相当の地震（レベル1地震）を受け、重力式岸壁・護岸の背後の緩い砂質土が液状化し、被害が発生した^{4, 5)}。しかし、いずれの場合も、重力式岸壁・護岸が設置された基礎地盤は堅固で液状化しなかった。図-2に、1983年日本海中部地震で被災した秋田港の重力式岸壁の断面図を、また、図-3に、1993年釧路沖地震で被災した釧路港

の重力式岸壁の断面図を示す。それぞれの岸壁の地盤条件、構造条件、地震条件および水平変位、変形率は、表-2に示すとおりである。

また、1993年釧路沖地震においては、構造物の設計で用いられた震度との相対的な関係から、対象構造物にとってレベル2相当の地震動を受けたと判断される事例も得られた⁵⁾。その断面図を図-4に、また、諸条件、変形率などを表-2中に示す。

(2)護岸背後および基礎地盤がいずれも緩い砂質土の場合

1995年兵庫県南部地震においては、神戸港において、レベル2相当の地震動を受け、被害が発生した。

岸壁・護岸背後および基礎地盤は、いずれもまさ土を埋立ないし置換材として用いたもので、岸壁・護岸の背後および基礎地盤で、いずれも過剰間隙水圧の上昇によるせん断抵抗の低下が起こり、被害を大きなものとした⁷⁾。その代表的な断面図を図-5に示す。本研究では、表-1に示したとおり、基礎地盤の条件を大まかにしか分類していないが、実際には、図-6に示すとおり、岸壁・護岸の変形率は基礎地盤である置換土層の厚さと密接な関係があることがわかる。これら岸壁・護岸の諸条件、変形率などは、表-2中に示す。

表-2 液状化時の岸壁・護岸の被災事例とその変形量

構造条件				地震条件				地盤条件	護岸変形量	
構造	港・岸壁名	設計震度	水深(m)	地震名	地震加速度* (Gal)	作用震度	地震動レベル		水平変位(cm)	変形率** (%)
重力式岸壁	秋田港外港-13m岸壁	0.1	-13	日本海中部	205	0.12	レベル1	護岸背後のみ緩い砂質土	150	9
重力式岸壁	釧路港西港区第1埠頭	0.2	-9	釧路沖	315	0.19	レベル1	護岸背後のみ緩い砂質土	75	6
重力式岸壁	釧路港東港区北埠頭	0.15	-8	釧路沖	315	0.19	レベル2	護岸背後のみ緩い砂質土	200	18
重力式岸壁	神戸港六甲アイランドRC5	0.15	-14	兵庫県南部	502	0.30	レベル2	護岸背後及び基礎地盤とも緩い砂質土	523	29 (図-6参照)
矢板式岸壁	秋田港大浜2号岸壁	0.1	-10	日本海中部	205	0.12	レベル1	護岸背後のみ緩い砂質土(控え工周辺は堅固)	172	14
矢板式岸壁	秋田港大浜3号岸壁	0.1	-10	日本海中部	205	0.12	レベル1	護岸背後のみ緩い砂質土(控え工周辺は堅固)	82	7
矢板式岸壁	石巻港潮見埠頭	0.1	-4.5	宮城県沖	281	0.12	レベル1	護岸背後のみ緩い砂質土(控え工周辺は堅固)	116	16
矢板式岸壁	函館港弁天地区	0.15	-8	北海道南西沖	111	0.07	レベル1	護岸背後・控え工周辺・基礎地盤の全てが緩い砂質土	521	46

* SMAC-B2強震計相当の地震最大加速度

** 変形率=水平変位/護岸高さ

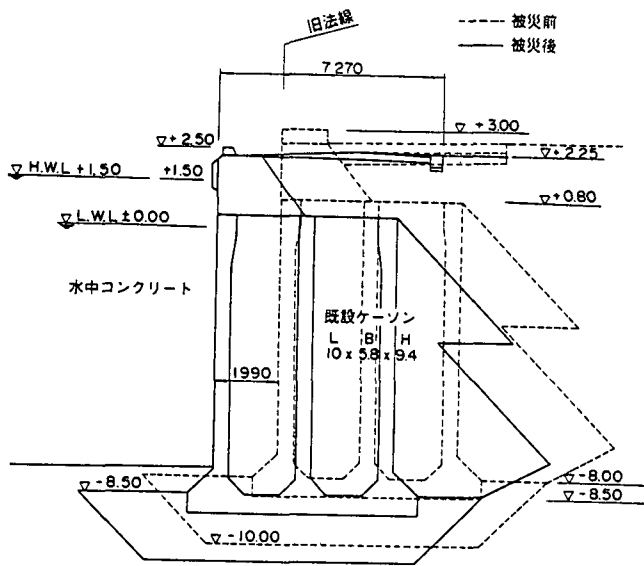


図-4 釧路港東港区北埠頭東側-8m岸壁断面図

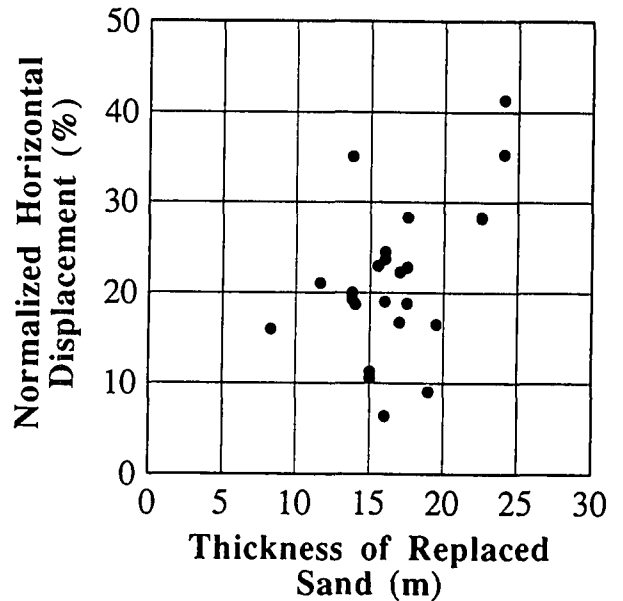


図-6 神戸港重力式岸壁の変形率と置換土層厚

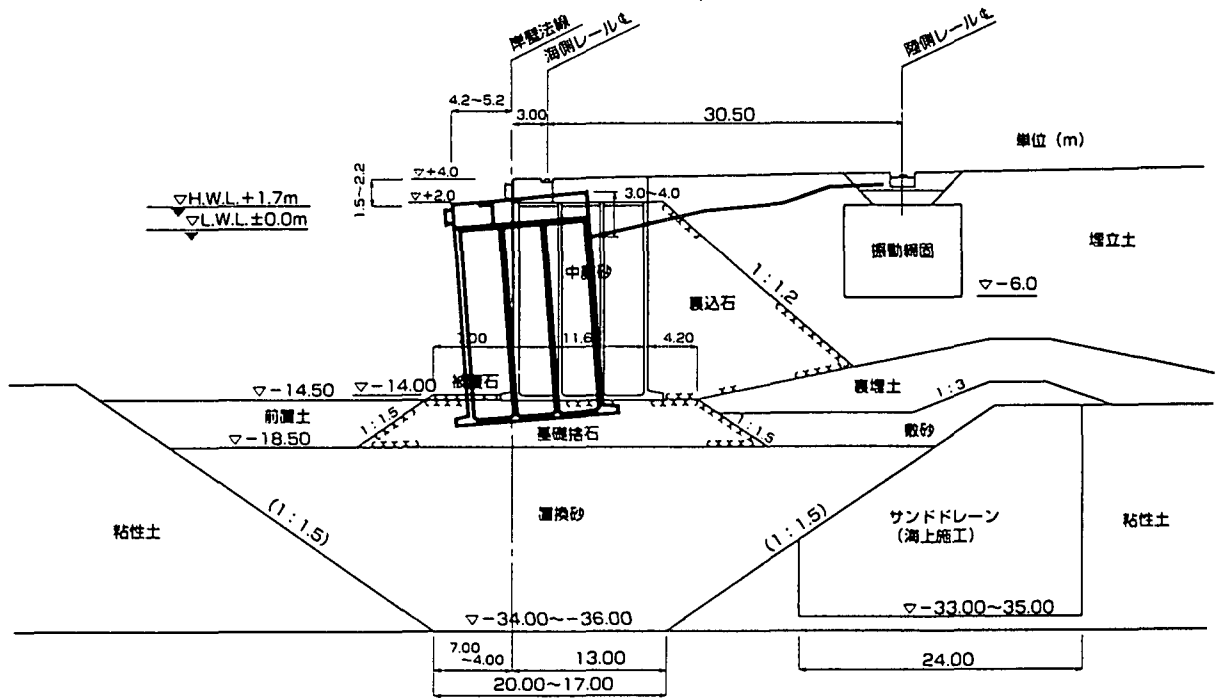


図-5 神戸港六甲アイランドRC 5-14m岸壁断面図

4. 液状化の影響を受けた矢板式岸壁・護岸

(1) 護岸背後のみ緩い砂質土の事例

1983年日本海中部地震では、秋田港において、設計震度相当の地震（レベル1地震）を受け、矢板式岸壁・護岸の背後の緩い砂質土が液状化し、多数の被害が発生した⁴⁾。しかし、矢板本体が根入れされた基礎地盤は堅固で液状化しなかった。これらの被害岸壁のうち、控え工周辺では液状化が発生しなかった矢板式岸壁の断面図を、図-7、8に示す。図

-7の断面よりも図-8に示す断面の方が、控え工が非液状化層にしっかりと支えられており、表-2中に示すとおり、岸壁の水平変位も図-8に示す断面の方が小さくなっている。

1978年宮城県沖地震では、石巻港で、設計震度相当の地震（レベル1）地震を受け、控え工周辺の地盤も液状化した事例が得られた⁵⁾。その断面図を図-9に、また、岸壁の諸条件、変形率などを表-2中に示す。

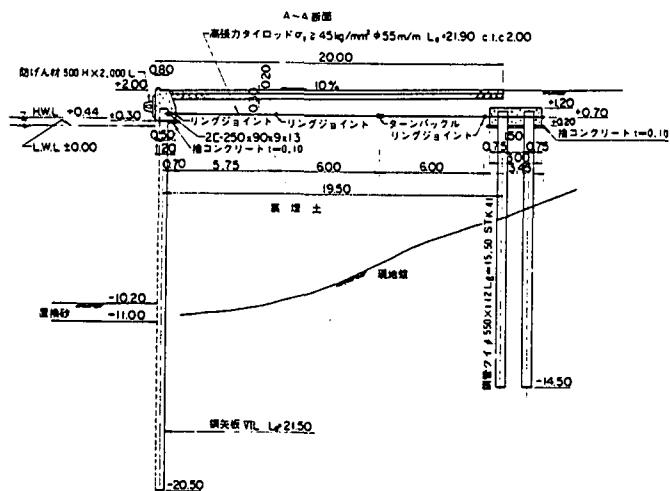
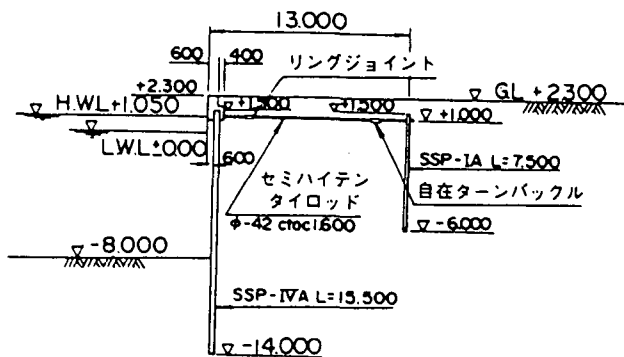


図-7 秋田港大浜2号-10m岸壁断面図



単位：m

図-10 函館港弁天地区第6岸壁-8m断面図

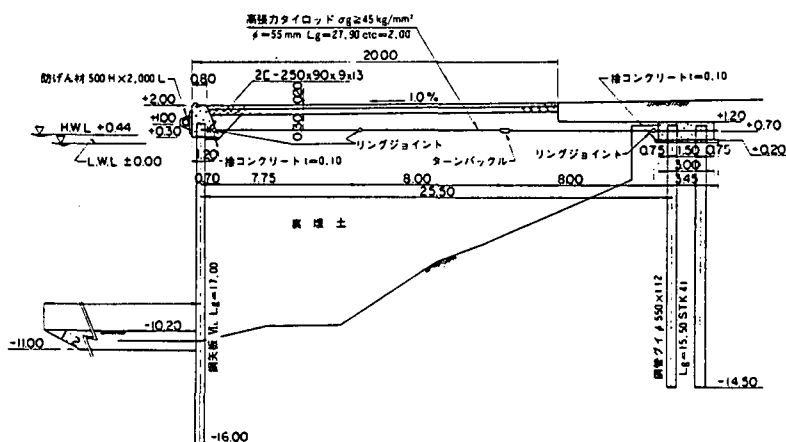


図-8 秋田港大浜3号-10m岸壁断面図

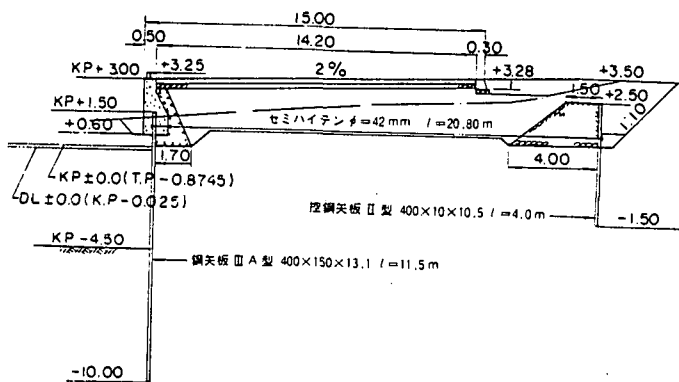


図-9 石巻港潮見埠頭-4.5m岸壁断面図

盤と同様に緩い砂質土となっている。その断面図を図-10に、また、岸壁の諸条件、変形率などを表-2中に示す。

5. 液状化時の護岸変形量のまとめ

表-2に示す事例をもとに、液状化時の護岸変形量の概略値をまとめると、表-3のとおりとなる。これらの概略値は、以下のような条件の事例に基づいて得られたものであり、これらの条件に合致する岸壁・護岸の水平変位の概略値を予測する上で、一つの参考となる。

- ・水深-8.0~-14.0m程度の大型のケーソンまたは矢板式岸壁・護岸
 - ・設計震度0.1~0.2で耐震設計がなされている岸壁・護岸
 - ・基礎地盤の緩い砂質土層の層厚は25m程度以下
- なお、はじめに述べたとおり、ここでとりまとめた結果は、地盤の密度や層厚などをはじめとして、

(2)護岸背後、基礎地盤、控え工周辺全てが緩い砂質土の事例

1993年北海道南西沖地震では、函館港において、設計震度相当の地震(レベル1地震)を受け、控え工周辺を含む矢板式岸壁・護岸の背後の緩い砂質土が液状化し、著しい被害が発生した。この事例では、矢板本体が根入れされた基礎地盤も、岸壁背後の地

表-3 既往の地震事例に見られる液状化時の岸壁・護岸変形量の概略値

構造形式	地震動レベル	地盤条件		変形率* (%)
重力式岸壁・護岸	レベル1	護岸背後のみ緩い砂質土		5~10
		護岸背後及び基礎地盤がいずれも緩い砂質土		10~20
	レベル2	護岸背後のみ緩い砂質土		10~20
		護岸背後及び基礎地盤がいずれも緩い砂質土		20~40
矢板式岸壁・護岸	レベル1	護岸背後のみ緩い砂質土	控え工周辺は堅固な地盤	5~15
			控え工周辺も緩い砂質土	15~25
		岸壁背後・控え工周辺・基礎地盤がいずれも緩い砂質土		25~50

* 変形率=水平変位/護岸高さ

地盤に関する条件を定性的にしか取り扱っておらず、あくまでも、大まかなとりまとめとなっている。この点については、先にのべたとおり、別途数値解析的なアプローチにより本格的な検討を進めており、検討が終了次第、機会をあらためて報告することとしたい。

参考文献

1) 石原研而(1995): 土質特性と地盤変状、土質工学会阪神大震災報告会、pp. 25~28
 2) 野田節男・上部達生・千葉忠樹(1975): 重力式岸壁の震度と地盤加速度、港湾技術研究所報告、

第14巻、第4号、pp. 67-112
 3) 土田肇ほか(1979): 1978年宮城県沖地震港湾被害報告、港湾技研資料、No. 325
 4) 土田肇ほか(1985): 1983年日本海中部地震港湾被害報告、港湾技研資料、No. 511
 5) 上田茂ほか(1993): 1993年釧路沖地震港湾施設被害報告、港湾技研資料、No. 766
 6) 稲富隆昌ほか(1994): 1993年北海道南西沖地震による港湾施設被害報告、港湾技研資料、No. 791
 7) 港湾施設被害検討委員会編(1995): 兵庫県南部地震による港湾施設の被害考察、港湾技研資料、No. 813

Displacement of Bulkheads at Liquefied Sites Learned from Case Histories

S. Iai, K. Ichii, T. Morita, and Y. Sato
 Port and Harbour Research Institute

Abstract

During the Great Hanshin Awaji earthquake, lateral displacements of liquefied ground caused serious damage to pile foundations. These lateral displacements gradually decreased from bulkheads toward inland, suggesting the displacements at the bulkhead play a key role in estimating lateral displacements of liquefied ground. In this study, case histories of displacements of bulkheads at liquefied sites are reviewed for obtaining rough estimates of the displacements, which depends on the levels of earthquake shaking and ground conditions.