

(51) 液状化の影響を受けた岸壁の被害

運輸省港湾技術研究所 正会員 土田 肇

1. まえがき

1964年の新潟地震以降、地震時の実際の地盤の液状化の事例の調査が積極的に進められてきた。また、その結果にもとづいて、液状化を予測するための経験式あるいはそれに準ずるものが提案されてきた。液状化の事例の調査においては、多くの場合、噴砂現象のこん跡を液状化の証拠としている。液状化予測の経験式の多くについては、その式で取扱う液状化がどのようなものであるかは明示されていない。しかし、前記のことから、液状化予測の経験式で液状化が発生するという予測が得られたということは、噴砂現象が発生するということが予測されたと考えてよいことが多いと思われる。

地方、構造物の耐震設計や既存構造物の耐震性評価においては、地震時の地盤の状態を「液状化している」、「液状化していない」のいずれかに判定することが多い。その場合、液状化している地盤は完全にせん断抵抗を失っているとして取扱われることが多い。近年、液状化の研究の進展により、過剰間隙水圧がどれだけ上昇するかを予測する方法が提案されている。この方法では、前記の通常のせん断抵抗を有した状態から完全にせん断抵抗を失った状態に至るまでの様々な状態を予測することが出来る。また、若干性格は異なるが、液状化の発生に対する安全度を安全率的な数値で表示することも行われている。この場合にも、その数値と地盤が通常のせん断抵抗を有する状態から完全にせん断抵抗を失った状態までの様々な状態と対応づけることの可能性がある。しかしながら、現状では、上記の中間的な状態に対する構造物の安定性の評価方法が十分に研究されていないこともあって、地震時の地盤の状態を「液状化している」、「液状化していない」のいずれかに判定し、前者については地盤が完全にせん断抵抗を失っていると考えることが多い。地盤が完全にせん断抵抗を失ってしまったえば、大部分の構造物は安定を維持できないことは明白である。

では、液状化予測の経験式で取上げた噴砂現象が発生したときに、その地盤が完全にせん断抵抗を失って、液体と同じようになっているであろうか。もし、そうではなく、噴砂現象が見られても、それが部分的な液状化であったり、あるいは完全にせん断抵抗を失う以前の段階のものであったら、噴砂現象が生じた地点の構造物でも安定を維持できるはずである。このことは、経験式にもとづいて液状化を予測し、液状化すると予測された場合にはその地盤が完全にせん断抵抗を失うとする取扱いが過大な安全度を求めている場合のあることを意味している。このようなことが発端となり、液状化の影響を受けた岸壁の被害の程度を調べてみることにした。

以上の事情からも明らかのように、本報告でいう「液状化の影響を受けた岸壁」とは、その背後の地盤に噴砂等の液状化の発生を示す現象またはそのこん跡のあった岸壁を云う。

2. 調査対象

調査の対象とした地震は表-1のとおりである。また、それぞれの地震で液状化の影響を受けた岸壁の存在した港も表-1に示した。液状化が工学的問題として広く認識されたのは、新潟地震によるものである。従って、新潟地震およびそれ以前の地震の被害調査においては液状化に対する注意が十分でなかったということが考えられる。また、新潟地震以前の地震では、強震記録が得られておらず、地震動の把握精度も低い。このような理由から、調査対象とした地震は表-1の3地震に限定した。対象とした地震について、港湾被害調査報告⁽²⁾⁽³⁾にもとづいて、岸壁の被害を検討し、その背後地盤で噴砂等の見られた岸壁を抽出した。その結果、対象となる岸壁が表-1に示す各港に存在することが明らかになった。また、漁港における岸壁の被害については、調査もれがある可

能性がある。これらの港の地震被害調査は筆者自身も参加して行われたものである。

表中の実効距離は震源域の縁部から対象港までの距離である。(震源の深さは考慮されていない。)

表-1 対象地震と港

地震名	発震年月日	マグニチュード	港名	実効距離 (km)
1978年宮城県沖地震	1978. 6. 12	7.4	石巻港	52
			石巻漁港	49
1973年根室半島沖地震	1973. 6. 17	7.4	花咲港	34
			霧多布港	51
1968年十勝沖地震	1968. 5. 16	7.9	青森港	147
			函館港	147

3. 液状化の影響の事例

液状化の影響を受けた岸壁を表-2に示した。表-2には被害の程度を示すため、岸壁法線の水平移動量および沈下量も示してある。(「法線」は岸壁天端の水際線位置を意味する。) など、ここで示した水平移動量および沈下量は各岸壁ごとの最大値である。したがって、場合によっては、示された値に近い量の水平移動または沈下が岸壁全体にわたって生じており、また他の場合には、一部分についてののみ示された値の水平移動または沈下が生じている。

表中の最大加速度は次のようにして求めたものである。青森港については、同港で得られた強震記録による最大加速度とした。函館港については、八戸、青森、室蘭の各港で得られた強震記録と実効距離を考慮して最大加速度を推定した。他の港については、港湾関係で一般的に行われている地表加速度の推定法により求めた⁴⁾。

図-1~4に、構造形式、裏込の有無、被害の有無を考慮して選んだ岸壁の標準断面図を示す。

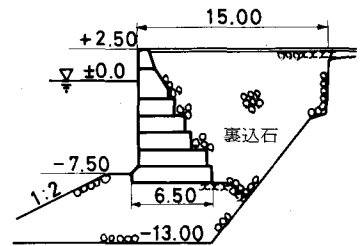


図-1 水平移動の生じた岸壁(青森港中央ふ頭34トン岸壁B部分)

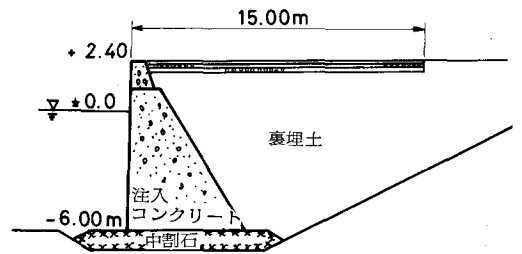


図-2 60cm水平移動の生じた岸壁(花咲港中央地区岸壁A部分)

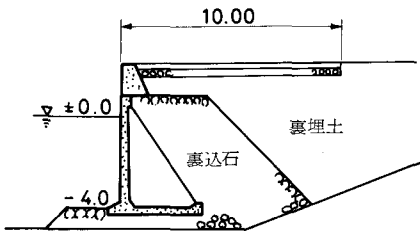


図-3 30cm水平移動の生じた岸壁(花咲港東ふ頭物揚場)

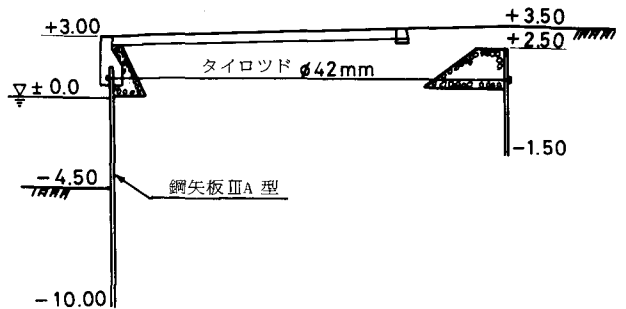


図-4 116cm水平移動の生じた岸壁(石巻港潮見ふ頭)

表-2 液状化の影響を受けた岸壁

港名	施設名	最大加速度 (Gal)	構造形式	天端高 (m)	水深 (m)	裏込め の有無	水平移動量 (cm)	天端沈下量 (cm)
石巻港	中島ふ頭岸壁(-10m)	173	鋼矢板式	+3.0	-10.3	無	56.6	0.5
	日和ふ頭岸壁(-9m)	194	鋼矢板式	+3.0	-9.3	無	57	15
	潮見ふ頭岸壁(-4.5m)	165	鋼矢板式	+3.0	-4.5	無	116.3	10
石巻漁港	中央地区-7m準備岸壁		鋼矢板式	+2.7	-7.0	無	34	0
花咲港	中浜地区岸壁(-6m) A部分	275	重力式	+2.4	-6.0	無	60	30
	中浜地区岸壁(-6m) B部分	275	重力式	+2.4	-6.0	無	35	15
	中浜地区岸壁(-5.5m)(注入コ-7)	275	重力式	+2.4	-5.5	無	20	13
	中浜地区岸壁(-5.5m)(L型)	275	重力式	+2.4	-5.5	有	10	5
	漁業ふ頭岸壁(-4.5m)	261	鋼矢板式	+2.4	-4.5	無	203	14
	漁業ふ頭岸壁取付先端	261	重力式	+2.4	-3.3	無	0	32
	漁業ふ頭物揚場(-3m)	261	鋼矢板式	+2.3	-3.0	無	0	8
	漁業ふ頭物揚場(-2m)	261	重力式	+2.0	-2.0	有	0	10
	中央ふ頭物揚場(-3m)	261	重力式	+2.1	-3.0	有	0	22
	中央ふ頭物揚場(-4m)	261	重力式	+2.1	-4.0	有	0	21
	東ふ頭物揚場(-4m)	261	重力式	+2.4	-4.0	有	40	18
東ふ頭物揚場取付(-4m)	261	重力式	+2.4	-4.0	有	20	11	
竊多布港	物揚場(-4m)	222	重力式	+2.3	-4.0	有	0	23
	物揚場(-2m)(A)	222	鋼矢板式	+2.0	-2.0	無	6	0
	物揚場(-2m)(B)	222	重力式	+2.0	-2.0	有	10	3
青森港	岸壁(-4.5m)(田川地区)	232	鋼矢板式	+2.3	-4.5	無	19	0
	中央ふ頭34トン岸壁	232	重力式	+2.5	-7.5	有	0	0
	浜町ふ頭東側岸壁	232	セル式	+3.3	-9.0	有	0	0
	浜町ふ頭先端岸壁	232	セル式	+3.3	-7.5	有	0	0
	浜町ふ頭面側岸壁	232	セル式	+3.3	-9.0	有	0	0
函館港	北浜ふ頭-5.5m岸壁	230	鋼矢板式	+3.0	-7.0	無	59	0
	港町地区埋立地7重決第3護岸	230	鋼矢板式	+2.5	-3.6	無	60	0

4. 液状化と被害

表-2に示したとおり、岸壁の背後に噴砂が発生していても、被害の生じていない岸壁がある。そこで、岸壁の被害として法線の水平移動量と取り、各移動量に対しどれだけの事例数となっているかを調べてみた。結果は図-5のとおりである。セル式岸壁は構造的に重力式岸壁に近いので、重力式岸壁にまとめて集計した。

図-5を見るに当って特に注意すべき点がふたつある。第1は、ここで取上げた岸壁が同一設計震度を考慮して設計されたものではないことである。また、対象とした地震のときに、岸壁の安定に対する安全率が同一になっっていないかたであるということである。したがって、岸壁ごとに、液状化の影響に抵抗するための余裕が異なっていたと考えられる。第2は、すでに「まえがき」でもふれたように、液状化の程度(より具体的には場所ごとの過剰間隙水圧と有効応力の比の分布)が岸壁ごとに異なっていたと考えられる点である。図-5は、構造形式別に事例数を集計している。しかし、前記の注意点を考慮すると、図-5から単純に構造形式ごとの液状

化に対する安定度を論じたり、液状化と被害の程度の間係を論ずることは厳密でないと考えられる。

しかし、ここでは研究の第1段階としてマクロに結果を考察することとする。

噴砂現象が発生していても無被害もしくはそれに近い状態を維持し得た岸壁が存在する。従って、噴砂現象→液状化→顕著な構造物被害という考え方は適切ではない。

裏込めの効果は岸壁の形式によって大きく変ることはないと思われるので、事例全体を裏込めありとなしに分けてみると、裏込めありの場合のほうが、法線の水平移動量が小さい。このことは、裏込め部分で過剰間隙水圧が消散し、岸壁本体には過剰間隙水圧が作用しないか、その影響が弱まっているためと思われる。従って、裏込めは土圧軽減に有効であるばかりでなく、液状化対策としても効果を有すると云えよう。

5. まとめ

- i) 液状化の影響を受けた岸壁の被害程度は表-2のとおりであった。
- ii) 岸壁の背後に噴砂が生じてても、岸壁に水平移動が生じなかった事例は少なくない。
- iii) 裏込めは土圧軽減に有効であるばかりでなく、液状化対策としても効果を有すると考えられる。

6. あとがき

液状化と構造物の被害の程度という観点から、岸壁の被害を検討した。被害に関連する要因の整理や要因相互の影響などと考慮する必要はあるが、今回は第1段階として、液状化と被害程度をマクロには握ることとした。今後さらに、各構造物の安定度、液状化の程度も考慮しつつ、より詳細な検討を行いたいと考えている。

7. 参考文献

- 1) 土田, 他: 1978年宮城県沖地震港湾被害報告, 港湾技研資料, No. 325, (1979), 2) 運輸省港湾局, 他: 1973年根室半島沖地震港湾被害報告津波調査報告, (1973), 3) 運輸省港湾局, 他: 1968年十勝沖地震港湾被害報告津波調査報告, (1968), 4) 土田, 他: 港湾・海岸施設耐震性調査手法について, 港湾技研資料, No. 336, (1980)

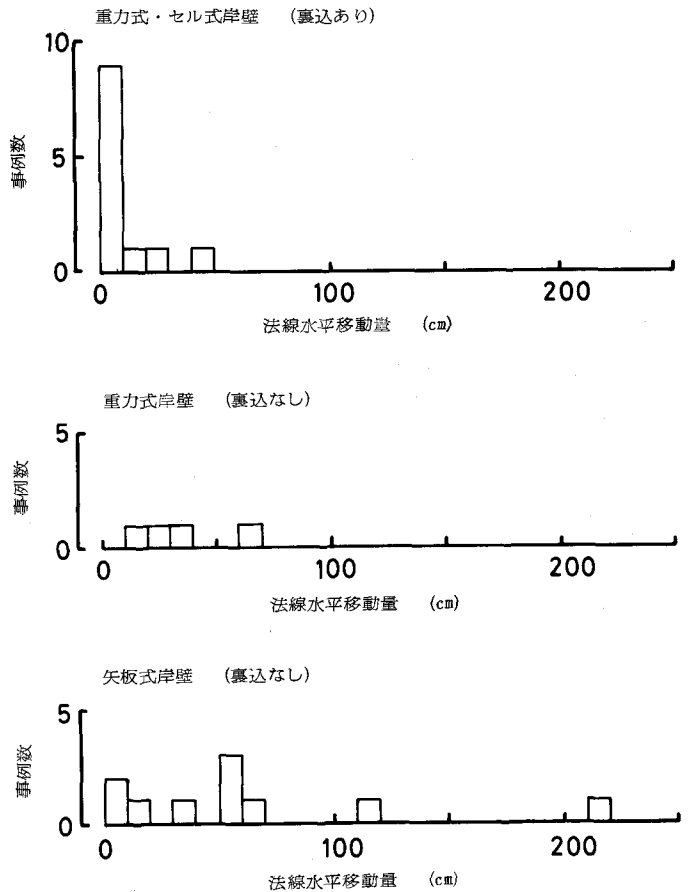


図-5 岸壁の水平移動量と事例数