

# 1978年宮城県沖地震による港湾施設被害とその解析

運輸省港湾技術研究所 正会員 ○野田 節男  
 運輸省港湾技術研究所 正会員 北沢 壮介

## 1. まえがき

1978年宮城県沖地震により、宮城県を中心に福島県、岩手県の港湾が被害を受けた。その中でも、石巻港の矢板式岸壁は、裏込め砂の液状化により著しい被害を蒙った。閉上漁港では重力式岸壁が被災し、岸壁の機能はほとんど喪失した。各地で大きな地震動が観測されたが、港湾地域における最大地盤加速度は塩釜港の273 galであった。本報告では、港湾施設の被害概況を述べるとともに、各被災港における重力式施設及び矢板式施設に対する安定解析結果を地震動の強さ・被害状況と比較している。

## 2. 港湾及び漁港施設の被害概等

図-1中の宮古、釜石、気仙沼、女川を除く港に被害が発生した。昭和53年7月3日現在の港湾関係公共土木施設(漁港関係を除く)の被害件数及び被害額は49件・約31.4億円であり、この内宮城県は45件・約30.8億円を占めている。港別に見ると、石巻港が最も著しい被害を受けており、特に岸壁(中島・日和・潮見埠頭)の被害だけで26.5億円となっている<sup>1)</sup>。漁港関係では、閉上及び石巻の2漁港に被害が集中している。これらの港を除く他の港湾及び漁港における被害程度は著しくない。

構造形式別にみた被害の形態は以下のようなものである。重力式岸壁・護岸では、図-2に例示する如く、コンクリートブロック等の工留め壁体が前方へ滑動・傾斜及び沈下し、背後エアロンの沈下・クラック及び目地開きが発生しており、これらの現象は従来の被害例と同様である。天端のほらみ出し量とエアロンの沈下量は、おおむね10数cm以下であり、ほとんどの施設はその機能を損なわず当面の使用に支障はなかった。しかし、閉上漁港では図-3に示す如く、壁体が最大122cmほらみ出し、エアロンの破壊も著しく、岸壁は使用不可能となった。

矢板式(船岸)の被害形態は、岸壁法線の海側へはほらみ出しと控え工の直上の舗装に生じたクラックである。最も被害の著しかった石巻港における最大ほらみ出し量は、控え組杭式の甲島埠頭と日和埠頭で57cm、同じく潮見埠頭で119cmであり、隣接する石巻通港では控え直杭式の準備岸壁で34cmであった。これらの岸壁背後では、目地やクラックを通して噴砂が認められることから、裏埋砂の液状化現象が被災の主因であると判断された。図-4に示した閉上漁港-3の5m岸壁の最大ほらみ出し量は106cmと大きかったが、裏込め砂や周辺地盤が液状化したという兆候は認められなかった。その他の矢板式岸壁で液状化が認められない場合には、控え工直上の舗装のクラックや前後の土の盛り及び沈下がみられた。但し、この小規模な変位は控え工が版や

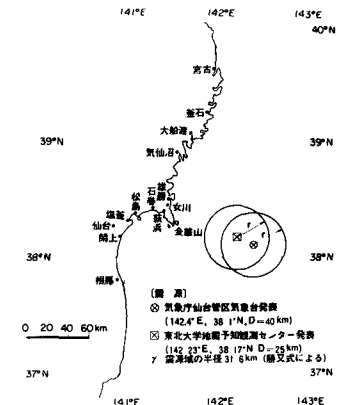


図-1 震央・震源域及び港湾位置

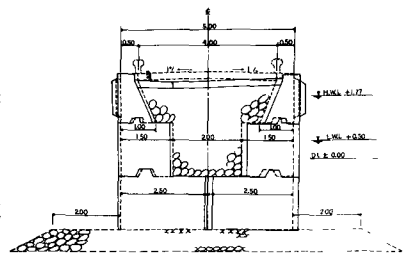


図-2 重力式岸壁の被災例(塩釜港)

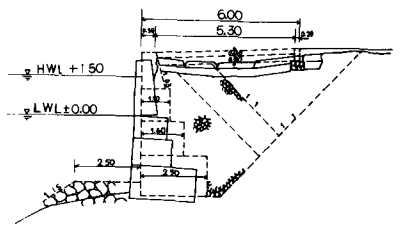


図-3 重力式岸壁の被災例(閉上漁港)

図-5のような矢板式は直杭の場合に限られており、図-6に示す組杭式の岸壁はいずれも被害を受けていない。

その他、防潮堤の被覆工に泥下・クラックが発生し、大船渡港の水深-3.8mの湾口に築造されている津波防波堤の割石マウンドに泥下が認められた。

今回の地震被害をみると、著しい被害は矢板式岸壁において裏込め砂の液状化に起因して発生しており、これは1964年新潟地震における新潟港や1973年根室半島沖地震の際の花咲港における被害と同様である。なお、液状化による場合を除くと、矢板式岸壁の被害は外観的には軽微であると判断されるが、控え工前後の地盤の変状から控え工の耐力は極限状態に近かつたとも推定できる。矢板式岸壁では控え工が破壊すれば、たどころに全体の破壊に至るし、ゆすねの変形も矢板やタイロッドに大きな応力を残留して安定性が大幅に低下している可能性がある。一方、多数の重力式岸壁に滑動や泥下が生じたが、今回の被害程度では岸壁の全体安定がほぼ損われぬ点も考慮して、各々の施設の被害を見る必要がある。鋼管構橋は今回の地震でも無被害であり、耐震性が高いことを示した。特に、閉上瀬港-3.5m構橋は重力式の旧岸壁の前面に増設されたもので、隣接する同一断面の重力式岸壁が図-3の如く被害し、そこから水平力を受けぬにもかかわらず無被害であった。同様の現象が石巻港大手山頭においても認められた。

### 3. 各港における最大地盤加速度

今回の地震では、仙台・塩釜・石巻一帯で大きな地震動が記録された。港湾関係では34台の強震計が作動したが、その内の2台が被害港に塩釜・大船渡に設置された。被害構造物の解析を通して耐震設計法の改善を試みる場合、まず当該構造物に作用した地震動の強さを明らかにしておく必要がある。そのため、他の被害港における地盤加速度を地盤地震応答計算により推定した。ここでは、震源として東北大学地震予知観測センターのデータを用い、地盤の地震応答計算はSHAKEによる。基盤形状として、大船渡港及び建設省所管の開化橋の岩盤上で得られた記録を用いた。その他、震源域や基盤加速度の値等は文献を参照された。得られた地盤加速度を図-7に示す。図中の○印は、推定値に幅があることを意味している。金華山港等では、施設が岩盤上に築造されているので、推定値は基盤における値と等しいとした。

### 4. 重力式施設の安定解析及び作用震度と最大地盤加速度の関係

本報告では、港湾構造物に対する現行設計法を適用して、各港における施設に安定解析を行ない、その結果と被害状況や地震動の強さを比較検討した。ここで検討した施設は、重力式岸壁36例(10港)及び矢板式岸壁24例(7港)の合計60例(11港)であり、それらの形式別及び被害度別の内訳は表-1に示す。石巻港等の液状化に起因する被害例

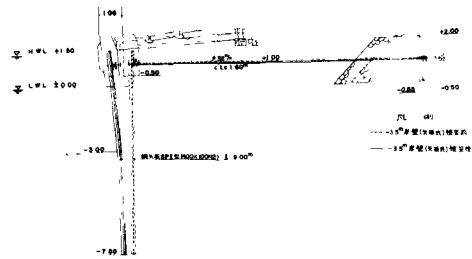


図-4 矢板式岸壁(控え版式)の被害例(閉上瀬港)

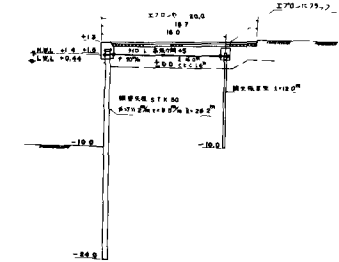


図-5 矢板式岸壁(控え矢板式)の被害例(仙台港)

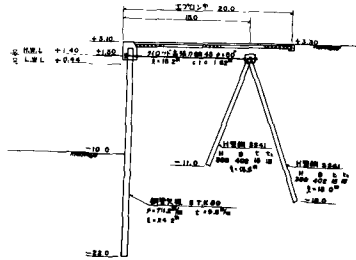


図-6 矢板式岸壁(控え組杭式)の被害例(仙台港)

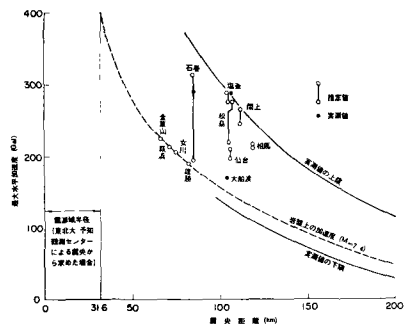


図-7 各港における最大地盤加速度

及び無被災の鋼管架橋については、今回は検討していない。  
対象施設は、各港から代表的な断面を抽出したものであり、以下に述べる検討法のために無被災構造物も含んでいる。被災度の分類は1964年新潟地震以来、港湾関係の地震被害報告に採用されたものを北島らが定量的に示したものである。<sup>4,5)</sup>

被災度	心式又は心筒				矢張り式			
	フレーム	管ノコ	1層	計	投下型	管ノコ型	投下型	計
0	11	4	0	15	5	1	2	7
I	17	0	1	18	1	1	2	4
II	2	0	0	2	1	3	0	4
III	1	0	0	1	0	0	0	1
IV	0	0	0	0	0	0	0	0
計	31	4	1	36	7	5	4	16

表-1 検討施設の分類

重力式岸壁や護岸に対しは、震度法に基づく現行設計法<sup>2)</sup>による安定計算を行ない、文献<sup>3)</sup>に示す方法を適用して各港における地震力の強さに対応する震度(作用震度)を推定した。図-8, 9に方法の概略を示す。例えば、図-9.1のように、塩釜港の各施設ごとに安定計算を行ない安全率が1となる震度を求め、次に被災状況からその原因が滑動・転倒のいずれに起因するかを調べ、もし当該施設が滑動又は転倒により被災しているならば、地震力の強さに対応する震度はさらに大きい値と仮定して上向の矢印を付ける。被災していない場合は下向の矢印とする。これらの点と矢印の方向を勘案して、今回の地震時に塩釜港に生じた作用震度の概算範囲内にありと判断する。女川港は無被災であったため、図-9.2に示す如く、作用震度は上限しか求まらなかった。このようにして、10港における作用震度の値或はその範囲を求めた。

被災度	天端はらみ出し量		エプロン沈下量 (cm)	天沈下量 (cm)
	最大値 (cm)	平均値 (cm)		
0	0	0	0	0
I	0~30	10以下	20以下	30以下
II	30~100	10~60	50以下	40以下
III	100~400	60~120	50~100	50以下
IV	200以上	120以上	100以上	50以上

表-2 被災度の分類

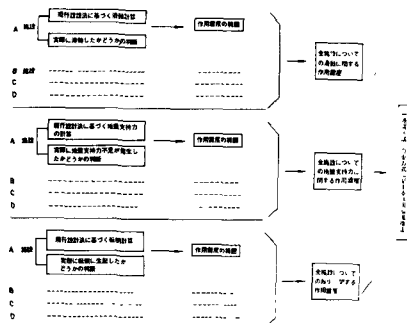


図-8 作用震度の推定法 (重力式構造物)

このようにして得られた地盤加速度と作用震度の関係を図-10に示す。図中の曲線は、文献<sup>3)</sup>に示された過去の被災事例もとに同様にして求められた関係式であり、直線は脚体に対する両者の関係を示している。塩釜、松島、萩浜港のように、震度と地盤加速度の推定値にかなりの幅があるとは言え、今回の結果は従来の提案式とほぼ同様の傾向を示している。大船渡、雄勝港のように、地盤加速度が200gal x Fの場合には、むしろ直線を示される関係があるとみられる方がよい。一方、仙台、石巻港に対しては矢印が下向きなので、震度はさらに小さい値であると判定されることから、その存在範囲は上記の関係と矛盾しない。このように、今回の地震においても重力式構造物に対する震度と最大地盤加速度の関係は、既往の被災事例から得られた関係式と同様であると言える。

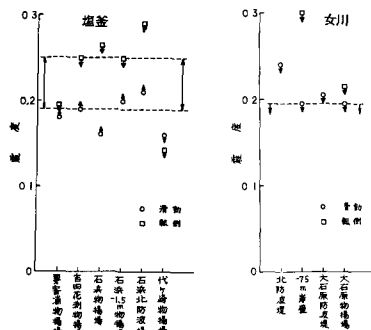


図-9.1 作用震度の範囲

図-9.2 作用震度の範囲

5. 矢張式施設の安定解析結果と最大地盤加速度の関係

現行設計法による矢張式岸壁の安定解析<sup>2)</sup>は、矢張本体の根入長及び応力、タイロッドの応力と控え工の安定性を検討する。本報告でも重力式岸壁と同様に、各項目に関して安全率が1となる震度(一応、ここでは限界震度と呼ぶ)を求めた。しかし、矢張岸壁の安定には、壁体に作用する主動・受働土圧と控え工における杭の水平支持力が関係しており、後者の設計技術的熟度は前者よりも相当に低いと考えられるので、ここでは各項目別の検討に留めており重力式のように全体に共通した震度は求めない。

また、矢張本体の曲げ耐力とタイロッドの引張り耐力に関する限界震度は、いずれも0.25以上と相当に大き

い。これは実際の被害でも、矢板の破損やタイロッドの切断が生じていないことと矛盾しない。

根入れに関する限界震度から、当該港の作用震度を求め図-11に最大地盤加速度と比較した。今回は根入れ不足に起因する被害はなかったため、作用震度の存在範囲は上限しか定まらぬ。既往の被災例に対する検討結果を併記したが、同様の傾向となっている。図-11によると、相当に大きな地盤加速度を受けると根入れの安定に関する震度はそれほど大きくなるべしと解るものの、両者の関係を明示するにはデータ不足である。

矢板式岸壁の被害形態は、控之工の前方への移動に伴う矢板本体のほらみ出しであるから、控之工の安定が最も重要な検討項目である。控之板に関する作用震度と最大地盤加速度の関係を図-12に示す。図中には今回検討した4港の他に既往の検討結果も示してある。これによると閉上通港を除けば、他の3港は図中の2本の実線に近い。控之板の耐力が板の前後に作用する受働及び主働工圧の差として表わされるし、重力式岸壁の安定にも工圧が支配的因子であることを考慮すれば、控之板の安定に関する震度と最大地盤加速度の関係は重力式における式  $C_A = \frac{1}{3} \left( \frac{a}{g} \right)^{1/2}$  が適用可能とも考えられる。直杭および矢板による控之工の安定は、振動時における工中の可撓性部材の軸直角方向支持力問題であり、現在では不明な点が多い。今回の検討で法線へのほらみ出し量が控之工端部の水平変位量と等価であると仮定した場合の被災量が計算値より1桁大きい。この点は従来からの指摘点であり、現行設計法の問題点といえる。組杭式控之工の安定は斜杭の引抜き抵抗に支配される。今回の検討では2港における作用震度の上限値のみが求まったが、地盤加速度との関係を論ずるには至らなかった。

## 6. 結論

- 1) 裏込め砂が液状化した場合の港灣施設被害は著しい。その他は、1港を除けばあまり大きな被害ではなかった。
- 2) 今回の事例解析によっても重力式岸壁に対する震度と最大地盤加速度の関係は、図-10中の提案式が適用できた。
- 3) 矢板式岸壁の控之板の安定にも上記の関係式が適用できようである。他の検討項目に対しては不明である。

## 参考文献

- 1) 工田：「1978年宮城県沖地震による港灣被害、みはとの防災、第59号、1978年9月
- 2) 日本港灣協会：「港灣構造物設計基準」、1967年4月
- 3) 野田・上部・千葉：「重力式岸壁の震度と地盤加速度」港灣技研報告、Vol.14, No.4, 1976年1月
- 4) 運輸省港灣局・第一港灣建設局・港灣技術研究所：「新潟地震港灣被害報告(第1部)」、1964年9月
- 5) 北島・上部：「矢板岸壁地震時被災の分析」港研報告、Vol.18, No.1, 1979年3月

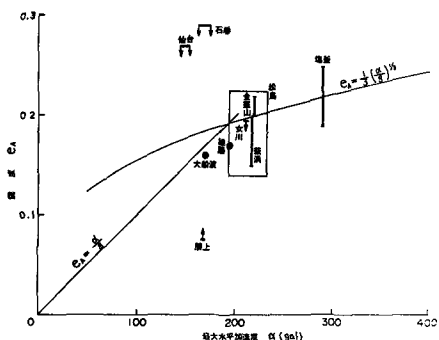


図-10 作用震度と最大地盤加速度 (重力式構造物)

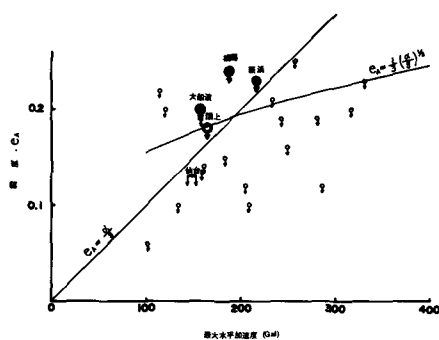


図-11 根入れの安定に関する作用震度と最大地盤加速度 (矢板式構造物)

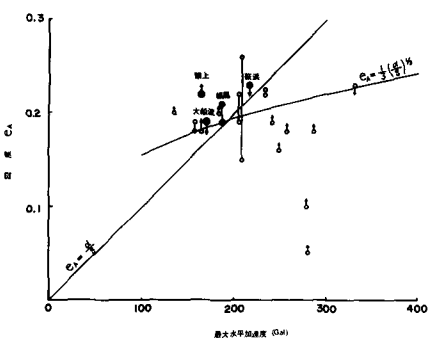


図-12 控之板の安定に関する作用震度と最大地盤加速度 (矢板式構造物)