

新浮港における復旧工法について

運輸省第一港湾建設局 正会員 板尾純一

§ 1. はじめに

新浮地震により東北、北陸地方の日本海沿岸諸港は大きな被害を蒙った。特に新浮港の被害は大きく一時は完全に機能を停止するにいたった。

新浮地震の規模や被害状況の詳細については、すでにいろいろの機会に発表されておりもはや周知のことと思われるので、ここでは復旧構造の設計について、極く要実のみ紹介することにする。

§ 2. 設計の基本方針

2.1 復旧天端高

岩壁の復旧天端高は港湾機能保持と、防潮効果を考慮して原則として天端高を+2.50 m (T.P.)とした。

望望平均満潮位	+ 0.50 m
津波偏差 (今回の記録より)	1.70 m
余裕高 (将来の沈下その他)	0.30 m
計	+ 2.50 m

2.2 設計震度

復旧構造の設計において設計震度をいくらにとるかということは重要であり、これには大きくわけ次のような立場が考えられる。

① とにかく「新浮地震」が発生したのは厳然たる事実であるから、少なくとも新浮地震より下まわらない設計震度をとるべきであるという立場。

② 問題はこれから将来のことであるから「新浮地震」程度の大地震が将来どの程度に起るのか、その発生確率から設計震度を定めるべきであるという立場。

先ず①の立場から検討すると、新浮地震の地震動の加速度は新浮市内川岸町県営アパートに設置されていたSMAC-A型強震計の記録によると

EW成分 (E方向に) 159 gal

NS成分 (S方向に) 155 gal

でこの記録から合成水平最大加速度を合成すると182 galとなり、これを震度に換算すると $k_h = 0.186 \div 0.19$ となる。多分この値が最大値となるが、万一EW成分とNS成分が同時に生じた場合を仮定すれば、合成水平最大加速度は222 galとなり、水平震度 $k_h = 0.227 \div 0.23$ となる。

以上①の立場から設計震度を定めるならば $k_h = 0.19$ を下まわらない程度、すなわち k_h

= 0.20 程度の大きさをとる必要があるということになる。

次に②の立場から検討してみる。河角博士の我国最高震度期待値分布図をみると、今回の新潟地震の震央粟島附近から亀ヶ関、新潟市にかけての一帯の等加速度線の形状が新潟地震の震度分布と逆のようになっているが、一応これはさておいて新潟市街港湾地区にのみ限つていえば、新潟地震程度の大地震すなわち 200 gal 程度の大地震の再来年数は約 200 年とみなされるように思われる。したがって新潟地震程度の大地震の任意の 1 年における発生確率 $P_1 = 0.005$ となる。

次に新潟地震以上の大地震がこれから将来 n 年間に少なくとも 1 回発生する確率 P_n を計算すると

向後 10 年間に発生する確率	$P_{10} = 0.049$
向後 20 年間に発生する確率	$P_{20} = 0.095$
向後 30 年間に発生する確率	$P_{30} = 0.140$
向後 50 年間に発生する確率	$P_{50} = 0.222$
向後 100 年間に発生する確率	$P_{100} = 0.394$
向後 200 年間に発生する確率	$P_{200} = 0.635$
向後 1,000 年間に発生する確率	$P_{1000} = 0.993$

これからわかるように今回のような大地震は今後 10 年間ぐらいはまず起らないとみてよいが、今後 50 年間に起る確率は 0.222 となり、復旧構造物の耐用年数を今後 50 年以上とするならば、新潟地震程度の大地震 (200 gal) を設計震度としてとるべきであると思われる。以上の観測から検討しても復旧構造を今後少なくとも 50 年はもたせるならば、設計加速度は 200 gal 程度、すなわち水平設計震度 $a_k = 0.20$ はとるべきであると考えられる。

次にこの最大加速度の構造物に対する作用方向であるが、強震計の記録の解析結果によると振動方向は逐次方向を変えつつ総ての方向に効いているので単一方向と考えるのは危険であり、また今後の地震の震源地の予想も不可能であるから、 $a_k = 0.20$ を構造物に直角に効くものとする。

2.3 上載荷重

上載荷重は、地震の発生時突における積載荷重の存否、大きさを確率的に考慮しなければならないが、現在ではその手法が確率されていないので、各岸壁の利用状況より経験的に決めた。すなわち一部の岸壁を除いて $q = 2.0 \text{ t/m}^2$ (常時)、 $q = 0 \text{ t/m}^2$ (地震時)とした。

2.4 土質条件

土質条件は各岸壁毎に実施した地震後のボーリング結果より決定した。砂質土の場合、その力学的特性はその土の相対密度により支配される面が大きく、 N 値は砂質土の相対密度、すなわち締まりぐわいを表わすものと考えられている。このような考え方にもとづい

て、 N 値と相対密度、 N 値と内部摩擦角、 N 値と許容支持力などについて実用的提案がなされており、これらを用いて N 値の測定を行い、砂地盤の支持力、土圧を計算する。

地震後構造物の復旧設計に必要なボーリングはオー港湾建設局、新浮県において港内に約150本実施された。

§ 3 復旧構造の設計

以上の設計方針にもとづき復旧構造を決定した。その概要は以下のとおりである。また図-1に設計断面の1例を示す。

3.1 構造形式の選定

復旧構造の形式はいろいろ考えられるが、次の理由から矢板構造とした。

① 港内水面積に恵まれぬ新浮港において法線の前進を最小限にとどめ、莫大な工費を要する旧構造物の除却をさけることができる。

② 新浮港の全港湾施設が壊滅に瀕したので、早急に復旧して1日も早く港湾機能を復活させる必要がある。

③ 崩壊、逆り出ししないしは前傾したままになっている複雑な既設構造物をほとんど手を触れることなく新構造物の中に抱き込むことができる。

④ 矢板構造の急所は矢板の根入れと控工であるが、今回の震災例を検討してみても、浅い位置にあつた控え版の抵抗不足がウィークポイントとなっており、矢板の根入れについてはほとんど安全であつた。これらの実と施工面を考慮して直杭式とした。これは表面砂層の流動化現象に対し配慮したものである。

⑤ 現在の震度法による静力学的耐震設計法は真の地震動を捉えていない単なる便法にすぎず、したがって耐震設計法は終極的には動力学的耐震設計法に到達しなければならない。しかし今回の経験でも十分慎重に正しく設計されていれば、この便法にすぎない静力学的耐震計法で設計された矢板構造は安定であることが証明されている。

3.2 矢板

新浮港における矢板構造の被害状況では、矢板の根入れ不足による破壊は小型けい船岸の一部を除いてほとんどない。根入れの安定性については現行設計法による検討結果では安全率が震度0.15の場合1.0附近のものであつても根入れのはね出しなどの破壊はみられない。また鋼矢板の応力については、U型矢板が一体として働くと考えた現行設計法で被害状況を検討すると、実際には土圧による鋼矢板の折損現象はみられない。これらの結果からみると、現行設計法は安全側の値を与えていると思われる。

以上の実より、地震時土圧は岡部一物部の方法により求め、矢板の根入れ長さはH.Kreyの提案によるFree earth support methodにより求め割増しを行った。また矢板に働く最大曲げmoment、Tie rod張力はTschelotarioff、およびP.W.Raveなどの実験結果にもとづき、矢板をTie rod 取付位置および海底面に支えをもつ海底面より上だけ

の単純はりと仮定して求めた。

3.3 Tie rod

Tie rod の設計では従来その強度が重視されてきたため、最近では高張力鋼 Tie rod さえ出現するにいたった。しかし Tie rod を耐震的に設計する場合は動的な「衝撃荷重」に対して十分考慮を払わなければならない。つまり強度もさることながら、動的衝撃エネルギーを十分吸収できる靱性の大きい、つまり応力-歪曲線でエネルギー吸収域の広い材質のものを送ることがより重要ではないかと考えられる。

大きな設計震度で大型岸壁の Tie rod を、通常の S S 材で設計すればかなり大口径となるので、高張力系の鋼材を用いることとしたが、上記の靱性の欠を考慮伸びを 18 % 以上のセミハイテン鋼とした。

3.4 控工

矢板構造で耐震的に弱質となるのは控工であることはすでに述べたが、被害の実態調査によると破壊の原因が控壁の安定性の不足によるものが大部分で、これは控壁全体の抵抗不足と、控壁の位置が破壊の原因であつたと考えられる。このように壁体式控工が耐震的にウィークポイントであるという事実と、砂の流動化現象が生じて砂の内部摩擦角が 0 に近くなつた場合控壁の機能が失われる恐れがあるなどの欠より復旧構造の控工は杭の水平抵抗によることとした。しかし杭式控工の耐震設計法自体が明らかでなく、また設計にあつては表層砂層の流動化をどう考慮するかという欠、前面矢板壁の存在が杭の横抵抗にどのような影響を与えるかという欠については、現段階では定量的に求めることが困難であるので、この欠をカバーするため実際の地表面より下に仮想地表面を設けて計算を行なつた。また杭頭変位を少なくするため、杭列を複列にしラーメン的に剛結構造とし、杭頭条件を固定に近くした。杭の計算には、従来の Y. L. Chang の式を使用した。港湾技術研究所の最近の成果である久保式も併用した。

§ 4 あとがき

以上述べたように「新潟地震」のもたらした被害ならびに被害を受けなかった岸壁から岸壁の耐震設計上貴重な教訓を得、またこれを復旧構造の設計にとり入れてきたが、これが今後の設計にいかされれば、尊い犠牲と莫大な損失が少しでも償われるであらうし、またそうすることが我々技術者の責務であらうと思う。そのためこの小文がいささかとも役立てば幸いである。