

根室半島沖地震の港湾被害とその解析

運輸省 港湾技術研究所 中山 穂青 ○三橋 郁雄

1. まえがき 昭和49年6月17日に発生した1973年根室半島沖地震は北海道東部の港湾施設にかなりの被害を与えた。その調査結果の詳細は文献(1)として報告されている。これによると釧路港の最大水平加速度は真北に対し約3度東に回転した方向で170ガルであり、継続時間は約70秒である。釧路港より震央に近い花咲・根室・霧多布の諸港には一応大きな最大加速度が未襲したものと予想され、文献(1)によると、花咲・根室で280ガル、霧多布で250ガルと推算されている。解析の方向としては、重力式係船岸に限り、現行設計法を用いて実際に構造物に作用したと思われる震度を逆算し、強震計の得た地盤加速度と比較してみた。この場合、1968年十勝沖地震により被災した重力式係船岸も新たな検討対象となるので合わせて報告する。

2 港湾被害 1) 花咲港 この港は今回の地震で最も大きな被災を受けた。特徴は突堤部と海側に凸の隅角部に被災が集中していること。特に-6.5m矢板岸壁の漁業突堤は控え工が大きく移動し、岸壁法線のはらみ出し量は2.0mに及ぶ。又、-6.0m注入コン式岸壁は堤体が大きく前傾した。漁業突堤は裏込めとして均一径(0.1~0.2mm)の微粒細砂を使用しており、これが液化化し控え抵抗が減少したことが原因と考えられる。

2) 霧多布港 霧多布港は花咲港と比べて軽微であるがエプロン鋪装コンの不均次が目立つ。噴砂が花咲港と同様みられている。

3) 釧路港 釧路港では-6.0m鋼桁岸壁、セルラブロック形式の部分及び西港の施工岸上の矢板岸壁に被災がみられた。前者は同一法線上にある同一木深の鋼矢板セルが無被災であり、際立った対照を呈している。

4) 根室港 根室港は花咲と陸路で6kmしか離れていないが被災を強くと受けていない。

3. 現行設計法による解析(文献2)

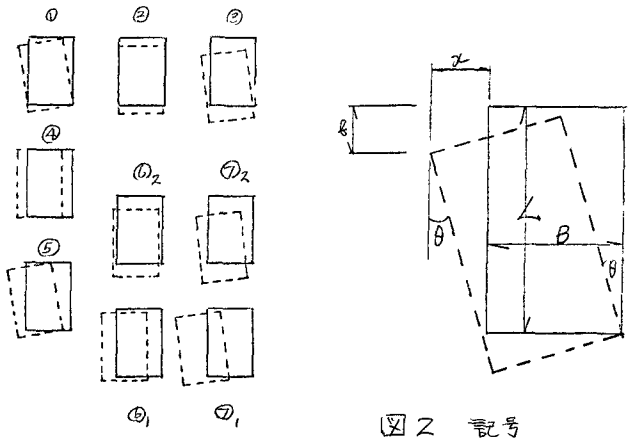


図1 被災挙動のタイプ

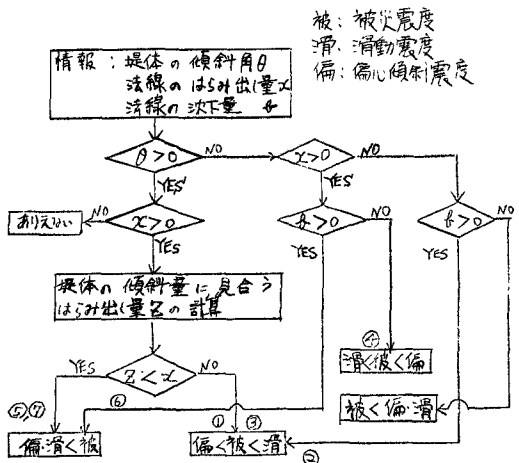


図3 被災震度存在範囲決定フロー(1)

重力式係船施設(ケーン式, L型式, ブロック式, 注入コン式)の場合の現行設計法は滑動・転倒・地盤支持力から構成される。地盤支持力を検討する理論としては片山・内田による方法(文献3)を用いる。外力としては震度法による物部閉鎖の地震時土圧及び質量力を採用する。

一港域内に地震が来襲した際に重力式係船施設に作用する設計上の震度を被災震度と名付ける。これを推定するには、次のような仮定を置く。

① 堤体による振動特性の相違及び地震波の振動性状を無視する。② 地震の方向性を無視する。③ 壁体背後から法線直角方向に静的な地盤力が作用する。

④ 一港域内の施設には同一震度が作用する。(但し隅角部を除く) 推定方法は次の通りである。

1. 一港域内の一重力式係船施設④について滑動の安全率が1.0なる震度(滑動震度と名付ける)を求め、2. その施設④が実際に滑動を起しているかどうか判断する。但し、隅角部と非隅角部で被災の大きさが異なるので分離する。3. 滑動を起している場合は被災震度 > 滑動震度、滑動を起していない場合は被災震度 < 滑動震度とする。4. 当該港域内の他の全ての重力式係船施設について上述の1,2,3. を行ない、全ての施設を満足する被災震度の範囲を決定する。(隅角部と非隅角部について区別する) 5. 地盤支持力についても滑動と同様に1,2,3,4. を行う。(地盤支持力の安全率が1.0なる震度を偏心傾斜震度と名付ける) 6. 転倒についても1,2,3,4. を行う。7. 4,5,6. より得られた被災震度の範囲を更に集約して、滑動・地盤支持力・転倒にまたがる当該港域についての被災震度を決定する。

上の2,3の段階、堤体の被災時の挙動の推定は次のように行う。挙動の種類として図1に示すような7つのタイプが考えられる。図中の①, ②, ③は滑動を起さず地盤支持力不足のみを起す場合である。①は堤体傾斜を支点として回転するものであり、②は堤体が前傾せよと鉛直に沈下する形態であり、③は①と②が同時に生じた場合である。文献4)の模型実験により地盤支持力不足のみの場合①, ②のタイプが生じることが、堤体に作用する偏心傾斜している合力の作用点が底面の中央より陸側にある場合には③のタイプも有得とされている。④は地盤支持力不足は生じないで滑動のみが生じるケースである。滑動と地盤支持力不足とが同時に生じる場合は、①, ②, ③の各々に④を加えた形態が考えられ、それぞれ④, ⑤, ⑥となる。ここでこれらの個々のタイプをそれぞれ示された情報ごとのように判別するかどうかというところが問題となる。我々が手に入るべきの未定情報は、被災直後に得られた法線の沈下量、法線のはりみ出し量、及び堤体の傾斜量であるが、この三つが満足に手に入らない。今回の地震による被災施設については大部分が法線の沈下量とはりみ出し量しか入手できていない。十勝沖地震の場合は若干の施設のみ堤体の傾斜量をえている。これらの情報を使用して判断する場合、土白と名づけるのは被災形態①の場合の各情報間の関係である。図2で、B: 堤体幅、L: 堤体高、x: 法線のはりみ出し量、y: 法線の沈下量、θ: 堤体回転角とすれば、x, θ, y 間の関係

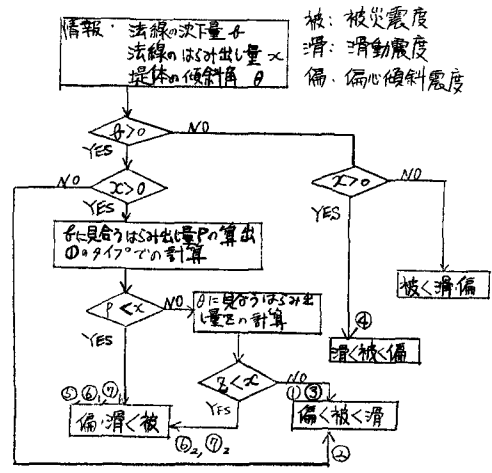


図4 被災震度 存在範囲 決定フロー(2)

式として次の2式
 を得る。

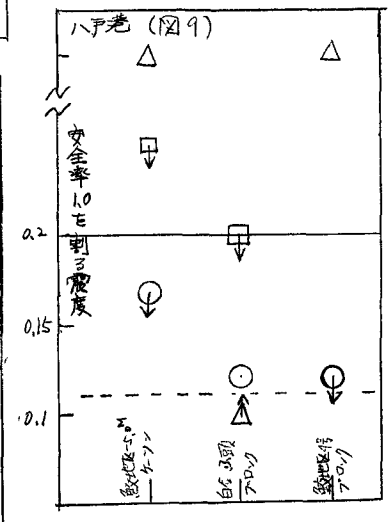
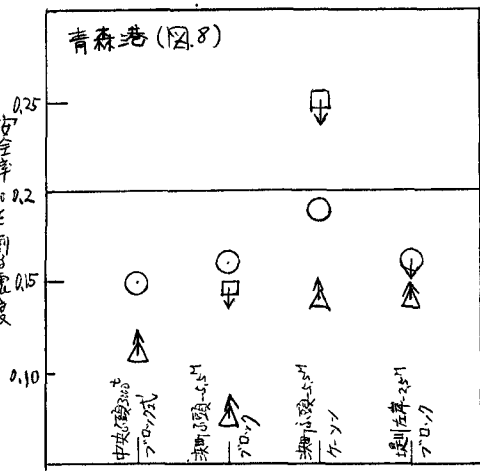
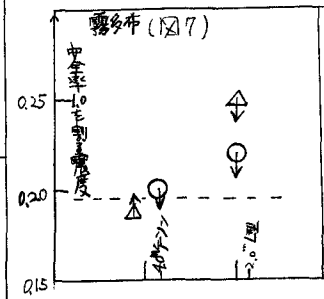
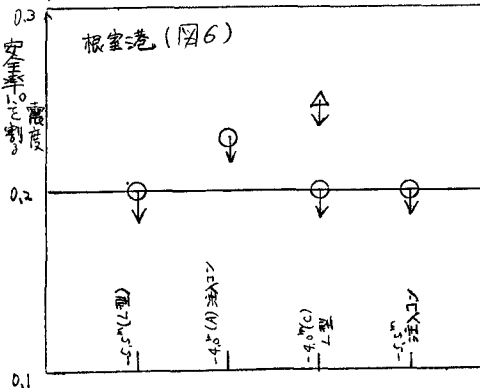
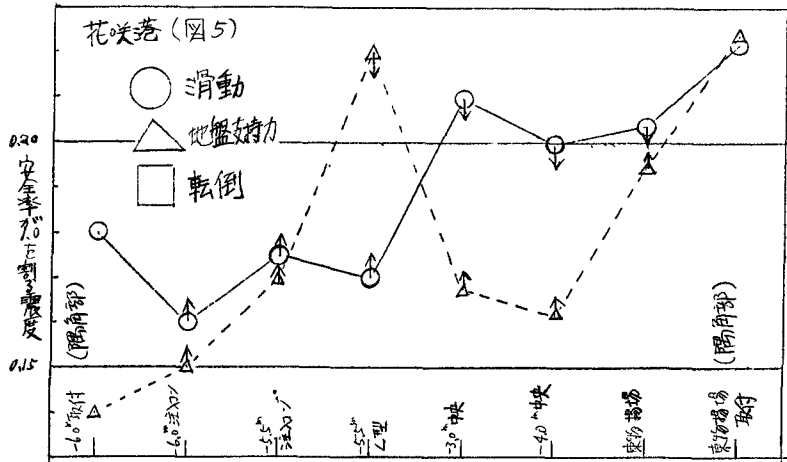
$$X = L \sin \theta + B \cos \theta - B$$

$$X = \frac{L}{\theta} \cdot \theta$$

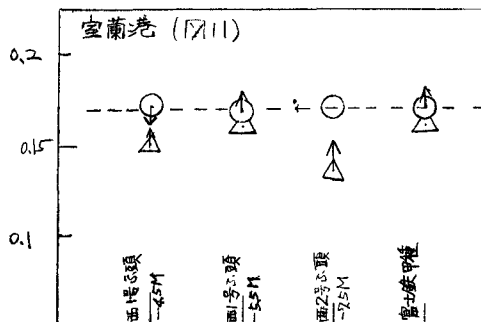
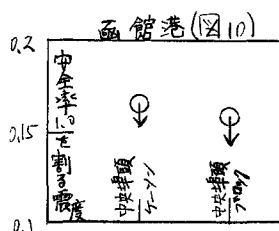
この関係式をもと
 にして、与えられ
 た情報から被災震
 動のタイプを採り
 出し、被災震度、
 滑動震度及び偏心
 傾斜震度向の大き
 さの順位を決定す
 るフローを図3、図
 4に示す。図3は
 判別の最初に堤体
 の傾斜をもってきた
 ものであり、図
 4は法線の次下量
 をもってきたもの
 である。なお、被
 災震度が滑動震度
 又は偏心傾斜震度
 と等しいcriticalな
 場合は、滑動や法
 線の次下が生じた
 としてもその量は
 小さいと考える。

以上の方法を今
 回の地震を受けた
 施設及び十勝沖地
 震の施設(文献5)

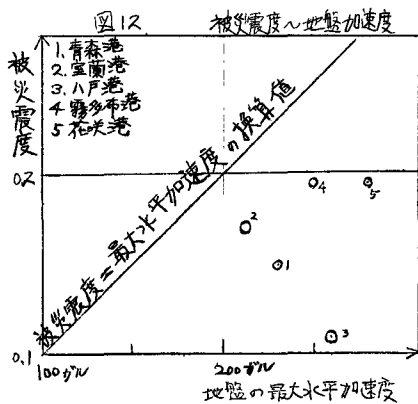
に適用した結果が図5～図11である。図中の矢印は例えば矢印の向きが上の場合被災震度はその値より大きいことを意味する。堤体基礎が右盤の場合理論上地盤支持力不足は生起せず、また実際に法線の次下もみられないので、図中にのせてないものもある。矢印のついてないものは情報不足により被災震度の範囲を押しとどめたいことを意味する。表1はこの図より各港の被災震度の範囲を推定した



もつてある。このようにして得られた被災震度(非隅角部のみ)と実際に強震計の記録した地盤の最大水平加速度との関係を示すものが図12である。根室港と函館港は被災震度の下限が決定されていないので、この図にはのせられない。



4. 考察 ① 上の方法では滑動、地盤支持力、転倒などの理論においても設計上の安全率1.0にて被災を仮定したものとしたが、これが正しいことの保証はない。しかし滑動震度からの被災震度の存在範囲が一応港湾域の複数の施設について矛盾なく求められたことは、安全率1.0に相当するcriticalな震度と未襲震度との大小関係により滑動の有無が説明できることを示すものであろう。このことは地盤支持力理論の場合についてもいえる。また各理論から求められた被災震度の範囲が互に矛盾なく求められたことは、各理論の安全率1.0に相当するcriticalな震度として同一な値を用いてよいことを意



港湾名	非隅角部							隅角部		
	花咲	根室	霧多布	室蘭	青森	八戸	函館	花咲	根室	霧多布
解析施設数	6	4	2	4	4	3	2	4	2	1
滑動についての被災震度	0.175 < 被災 < 0.20	被災 < 0.20	被災 < 0.20	0.170 < 被災 < 0.173	被災 < 0.160	被災 < 0.12	被災 < 0.158	0.20 < 被災	被災 < 0.2	0.22 < 被災
地盤支持力	0.195 < 被災 < 0.22	被災 < 0.25	0.19 < 被災	0.15 < 被災	0.14 < 被災	0.1 < 被災	不明	0.224 < 被災	被災 < ∞	被災 < 0.25
転倒	被災 < *	被災 < *	被災 < *	被災 < *	被災 < 0.145	被災 < *	被災 < *	被災 < *	被災 < *	被災 < *
上の3者とも考慮した場合の被災震度の推定	0.195 < 被災 < 0.20	被災 < 0.20	0.19 < 被災 < 0.20	0.170 < 被災 < 0.173	0.14 < 被災 < 0.145	0.1 < 被災 < 0.12	被災 < 0.158	0.224 < 被災	被災 < 0.2	0.22 < 被災 < 0.25

注: *は0.25より大きいことを意味する。

表1 被災震度の範囲

味し、結局同じ設計震度を用いている現行設計法は一応実用に供せれると考えてよいであろう。

④ 図12より、現行設計法を用いた設計震度では、重力式係船岸の場合、その震度に相当する加速度を最大値として有する地震の未襲に対してcriticalな状態にあるという意味ではなく、その値の1.25~2.5倍程度の加速度の地震に対しても抵抗し得るような意味をもつようである。

⑤ 花咲と霧多布港に関しては隅角部と被隅角部で被災震度の相違を比較できる。これによると隅角部の被災震度の方が1割~2割5分程度大きい。

文1) 1973年根室鵜沖地震: 港湾被害報告・津波調査報告、運輸省港湾局他、文2) 三橋・中山、1973年根室鵜沖地震での被災例への現行設計法の検討、港湾技術資料 No.184、文3) 片山・内田、"偏心傾斜荷重を受ける円形地盤上の帯状基礎の支持力"、港湾技術資料 No.140 文4) 立石他3名、"偏心傾斜荷重をうける帯状基礎の支持力" 運輸技術報告、No.112、No.1、1962