

(94) 地震被災事例に基づく、重力式、矢板式係船岸の被災変形量、被災額の推定

運輸省港湾技術研究所 正員 上部達生

1. まえがき

地震防災対策調査の一環として、地震後に利用できる港湾施設の把握等を目的とした港湾施設等の耐震性の調査が行なわれている。ここでは、特定の地震に対して各施設が被災するか否かの検討が行なわれる。この検討段階では建造物の被害は無被害か被災かの2区別しかない。しかし、実際の港湾建造物の地震被害をみると、無被害か破壊かの二者択一ではなく、被害の程度は無被害から完全破壊まで連続的に変化すると考えられる。こうした考え方に立って、地震後に利用できる施設をさらに詳しく把握する、あるいは建造物の補強の優先度を設定するために、建造物の被災量を定量的に推定することが必要となってきている。

このような背景に基づいて、この報告では被災変形量、被災額を過去の地震被災事例により把握し、これから被災量の定量的な推定について検討する。ここで対象としている港湾建造物は重力式係船岸と控え形式の鋼矢板式係船岸である。また、砂質地盤の液状化による被災事例に関する検討は別に実施することとし、この報告で検討する地震被災事例には明らかに液状化により被災したと認められるものは含めなかった。

2. 港湾施設等の地震被災事例

港湾施設の地震被害報告書、地震被災例の安定解析報告書等から港湾建造物の地震被災事例を収集した。関東地震から1978年宮城県沖地震までに港湾施設等に被害を与えた17の地震を対象とした。被災した港の数は延べ100港であり、対象となった港湾施設等は679事例である。表-1にはこの679事例の構造形式別の事例数と、現行の設計法により安定解析が行なわれている事例数を示す。

表-1 地震被災事例数

対象地震数	対象港数	構造形式	事例数	安定計算対象 建造物数
17	100	重力式	270(88)	105(16)
		鋼矢板式	161(56)	94(29)
		その他	248(74)	2(0)
		合計	679(218)	201(45)

()内は内数で無被災事例数

3. 被災変形量、被災額の調査

新潟地震以降、港湾施設の地震被害調査では被害の状況が無被害から全壊まで5段階に分けられ数字で示されている。表-2にこの数字の評価基準を示す。ここではこの被害の状況を示す数字を被災程度と呼ぶ。表-3には重力式、矢板式係船岸の各被災程度事例数を示す。

表-2 被災程度

被災程度	被災の状況
0	無被災
I	本体に異状はないが、付属建造物に破壊や変状が認められるもの。
II	本体にかなり変状の起ったもの。
III	形はとどめているが、構造物本体に破壊が起ったものと認められるもの。
IV	全壊して形をとどめていないもの。

図-1には重力式、矢板式係船岸の地震による被災の典型的な変状を示す。図-1に示すようにここで言う被災変形量とは、はらみ出し量、天端沈下量、エプロン沈下量、控え沈下量、傾斜角である。

想定される地震動に対して重力式係船岸、矢板式係船岸が被災するか否かの判定は、想定される地震動の大きさに対応する作用震度と建造物の安定計算において建造物が不安定な状態に移行しはじめる震度(破壊震度)とを比較することにより行なわれる。重力式係船岸、矢板式係船岸の作用震度と地盤加速度の関係は次のように与えられている。^{1, 2)}

$$K_e = \frac{a}{g} \quad (a < 200 \text{ Gal})$$

$$= \frac{1}{3} \left(\frac{a}{g} \right)^3 \quad (a \geq 200 \text{ Gal})$$

ここに、 K_e ：作用震度、 a ：最大地盤加速度 (Gal)、 g ：重力加速度 (980 Gal) である。現行設計法による安定計算においては安全率が1より小さければ安定状態から破壊へと移行すると考えた。この現行設計法における各安定計算検討項目における安全率が1を切る震度を限界震度とした。破壊震度は限界震度の最小値となる。

ここで言う被災額とは災害復旧事業として査定された事業費 (災害査定額) を指すこととした。以下の検討では災害査定額を被災延長で除した単位被災延長当りの金額 (単位：千円/m) を被災額とした。過去いくつかの地震による構造物の被災額を比較するため、各年代の被災額を55年度の価格基準に変換した。建設物価、建設材料卸売物価、賃金資料より、復旧工事に直接結びついている代表工種の工費単価を求め、これを55年度を100とした指数として比較したのが図-2である。昭和55年度の価格基準への変換は図-2により復旧工種の工種ごとに行なうこととした。

4. 被災程度と被災変形量の関係

被災程度は表-2に示したような評価基準により判定されているので、この被災程度と被災変形量との定量的な関係は明確となっていない。この被災程度は今後とも地震被害調査で用いられていくと考えられるので、ここでは被災程度と被災変形量の関係を検討する。

重力式、矢板式係船岸の被災程度と最大はらみ出し量の関係を図-3、4に示す。被災程度の増大により最大はらみ出し量が増大しているのがわかる。図には各被災程度の上限から下限の範囲および各被災程度の被災変形量の平均値、標準偏差も示されている。図-5、6は重力式、矢板式係船岸の各被災程度の被災変形量の範囲と平均値をレーダーチャート形式に図化したものである。これは、今後の地震被害調査における被災程度の判定に利用できるものと考えられる。

表-3 重力式、矢板式係船岸の被災程度

被災程度	重力式係船岸					矢板式係船岸					合計		
	ケーン	ブロック	L型	埋め打ちコンクリート	その他	控え版	控え板	控え抗	控え組	ケーン		不明	
0	24	37	12	15	0	88	34	9	2	9	0	4	58
I	26	49	9	7	0	91	23	13	7	0	1	9	53
II	15	14	4	4	0	37	11	3	5	0	0	0	19
III	3	14	4	2	0	23	15	2	2	0	0	0	19
IV	3	15	1	3	0	22	11	0	0	0	0	2	13
不明	0	5	0	2	2	9	0	0	1	0	0	1	10
合計	71	134	30	33	2	270	94	27	17	9	1	15	163

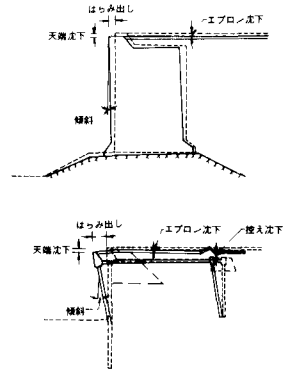


図-1 重力式、矢板式係船岸の地震被災変状

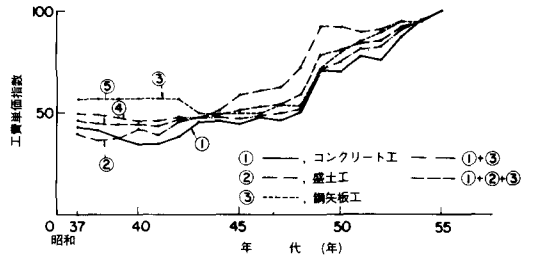


図-2 復旧工種別工費単価指数

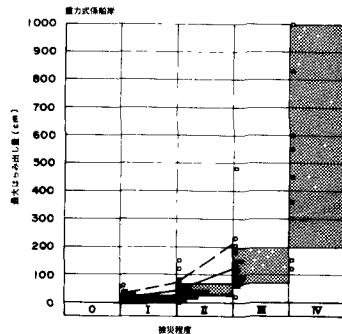


図-3 被災程度と最大はらみ出し量

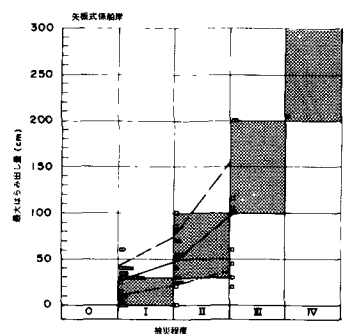


図-4 被災程度と最大はらみ出し量

5. 被災額と被災変形量との関係

図-7, 8に重力式, 矢板式係船岸の被災額と最大はらみ出し量との関係を示す。これらの図では被災程度を区別してプロットしてある。図-7, 8によれば被災変形量の増加とともに被災額が増大しているのがわかる。復旧工事の内容を詳しくみると, 復旧工事に控え工, 本体工が含まれると被災額が急激に増大していた。次に, 被災額と被災変形量について回帰分析を行なった。回帰分析を行なう時, 被災事例の被災額に法線変更の工事費まで含まれている等の理由で被災額が特殊であると考えられるものは回帰分析のデータから取り除いた。この回帰分析のデータから取り除いた被災事例は図-7, 8において丸で曲線で示した。回帰分析の結果は表-4に示す。表-4の回帰式, 標準偏差は図-7, 8においてそれぞれ実線, 点線で示してある。

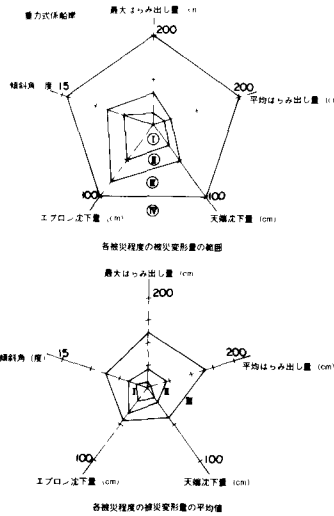


図-5 各被災程度と被災変形量 (重力式係船岸)

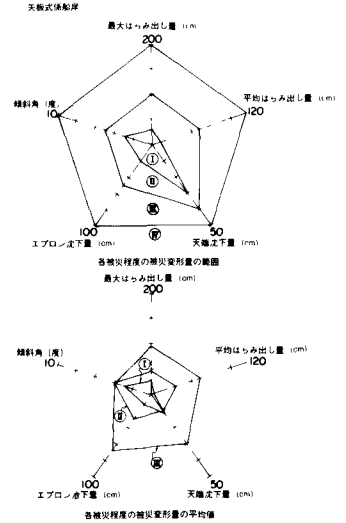


図-6 各被災程度と被災変形量 (矢板式係船岸)

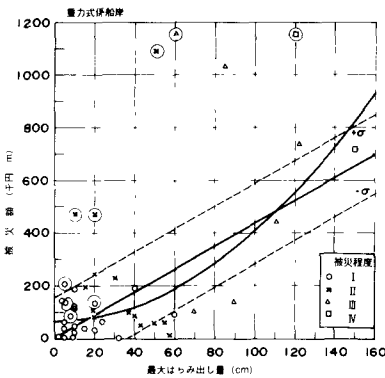


図-7 被災額と最大はらみ出し量 (重力式係船岸)

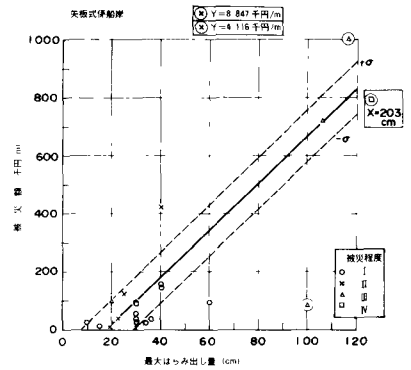


図-8 被災額と最大はらみ出し量 (矢板式係船岸)

6. 被災変形量, 被災額の推定

地震時の作用震度が現行設計法によって求められた構造物の破壊震度より大きければその構造物は破壊する。この時, 作用震度が破壊震度に比較して大きければ大きいほど被災程度が大きくなると考えられる。そこで, この作用震度, 構造物の破壊震度より被災変形量, 被災額を推定することとした。ここでは作用震度 (K_e) と構造物の破壊震度 (K_c) の比を危険度 (F_c) と定義し, この危険度と被災変形量, 被災額との関係を検討した。

重力式係船岸の被災変形量と危険度について詳細に検討した結果, 岸壁の前面水深が-3mを境にして, 被災変形量と危険度の関係が異なる傾向が認められたので, この前面水深により被災事例を2つに分けて検討した。図-9には前面水深が-3mより大きい重力式係船岸の最大はらみ出し量と危険度の関係を示す。回帰分析の結果は表-5に示す。この表に示されている回帰式, 標準偏差は図-9ではそれぞれ実線, 点線で示してある。次に, 矢板式係船岸の最大はらみ出し量と危険度の関係を図-10に示す。図-9と10を比較す

表-4 被災額と最大はらみ出し量の回帰分析結果

構造形式	回帰式	相関係数	標準偏差
重力式係船岸	(I) $Cf=2.0+4.38Dx$	0.706	159.3
	(II) $Cf=71.3+0.034D_x^2$	0.743	150.6
矢板式係船岸	$Cf=-128.4+6.97Dx$	0.823	88.5

Cf 被災額 (千円/m)

Dx, 最大はらみ出し量 (cm)

ると、矢板式係船岸の場合の方が危険度1前後で被災変形量が大きい事例が多いことがわかる。これは矢板式係船岸と重力式係船岸の構造形式の差によるもので、矢板式係船岸の方が変位しやすい傾向を示していると考えられる。矢板式係船岸の最大はらみ出し量と危険度の関係の回帰分析結果を表-5に示す。回帰分析のデータから除いた被災事例は図-10において丸で囲んで示した。

被災額と危険度のわかっている被災事例は少なく、データ数が十分でないため、ここでは被災額と最大はらみ出し量の関係式と最大はらみ出し量と危険度との関係式の2つの式より被災額と危険度の関係式を求めた。これは、あくまで便宜的なものであり、将来データの蓄積を待って再検討すべきものである。得られた結果は次式のとおりでである。

重力式係船岸で、

$$Cf = -496.4 + 54.49 (Ke / Kc)$$

矢板式係船岸で、

$$Cf = -139.6 + 24.33 (Ke / Kc)$$

ここに、 Cf ：被災額（千円/m）、 Ke ：作用震度、 Kc ：破壊震度である。

7. まとめ

- 1) これまで地震被害報告書で使用されてきた被災程度を最大はらみ出し量、平均はらみ出し量、天端沈下量、エブロン沈下量、傾斜角とで定量的に表現した（図-3～6）。
- 2) 被災額は被災変形量の増大とともに増加する。被災額と被災変形量の回帰式を求めた（表-4）。
- 3) 作用震度と破壊震度の比を危険度と定義し、この危険度と被災変形量、被災額との関係式を求めた（表-5）。これによれば、ある予想される地盤加速度に対してある破壊震度の構造物が被災する場合に、危険度から被災変形量、被災額が推定される。

本報告は海岸事業調査費による海岸保全施設地震被災額調査の成果をふまえて検討した。海岸保全施設地震被災額調査はパンフィックコンサルタンツ株式会社（林亜紀夫氏、二神健次氏）に委託された。

参考文献

- 1) 野田節男, 上部達生, 千葉忠樹: 重力式係船岸の震度と地盤加速度, 港湾技術研究所報告, 14巻, 4号, 1976年1月
- 2) 北島昭一, 上部達生: 矢板岸壁地震時被災の分析, 港湾技術研究所報告, 18巻1号, 1979年3月

表-5 最大はらみ出し量と危険度 (Ke / Kc) の回帰分析結果

構造形式	回帰式	相関係数	標準偏差
重力式係船岸	$Dx = -74.2 + 98.2 (Ke / Kc)$	0.339	129.3
重力式係船岸 (前面水深 ≤ 3 m)	$Dx = 6.4 + 16.0 (Ke / Kc)$	0.271	35.8
重力式係船岸 (前面水深 > 3 m)	$Dx = -113.8 + 124.4 (Ke / Kc)$	0.559	59.1
矢板式係船岸	$Dx = -1.6 + 34.9 (Ke / Kc)$	0.679	26.7
控え版形式の矢板式係船岸	$Dx = -11.6 + 39.8 (Ke / Kc)$	0.755	28.8

Dx 最大はらみ出し量 (cm)
 Ke 作用震度
 Kc 破壊震度

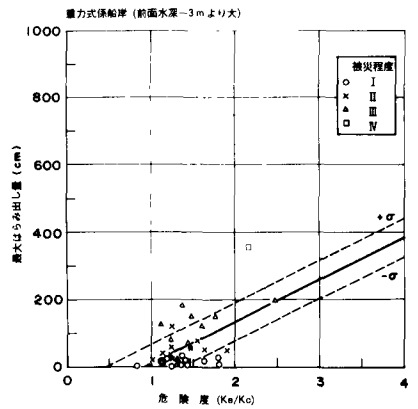


図-9 最大はらみ出し量と危険度 (重力式係船岸)

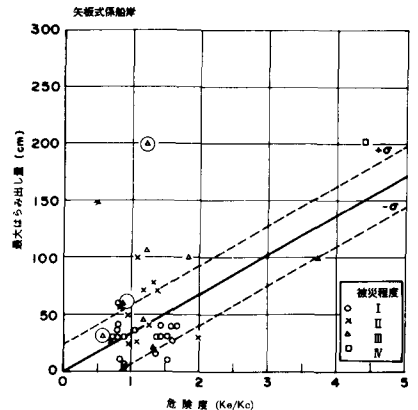


図-10 最大はらみ出し量と危険度 (矢板式係船岸)