

(150) 経済的観点からの最適設計震度による 許容残留変位

運輸省港湾技術研究所 上部達生

1. まえがき

港湾施設の被災程度が定量的に把握できれば、より合理的、効率的に地震防災対策が実施可能であるので、港湾施設の地震時の被災程度を定量的に推定する手法が望まれている。本報告では地震被災事例に基づく地震時の被災量の推定手法を検討する。この地震時の被災変形量の推定手法が与えられれば、これをより合理的な耐震設計法に利用することが考えられる。この場合には、設計する構造物の許容変形量を設定する必要がある。この許容変形量は、機能上の観点、構造安定上の観点、経済的観点等から与えられる。本報告では経済的観点からの許容変形量を検討する。経済的観点から与えられる最適設計震度を求め、この時の被災変形量を経済的な観点からの許容値とした。対象とした構造物は図-1に示すような重力式係船岸である。

2. 地震被災事例

1923年の関東地震から1978年宮城県沖地震までの17の地震における198の重力式係船岸の被災事例¹⁾を対象とした。ここで対象とした被災事例には明確に液状化による被災と考えられるものは除いた。ここで検討する重力式係船岸の被災変形量は、図-2に示す様に壁体のはらみ出し量、天端沈下量、傾斜量、エプロンの沈下量と、被災変形率（最大はらみ出し量を壁体の高さで除した値）である。被災額は災害復旧事業として査定された事業費を被災延長で除した金額で表す事とした。過去の各地震の被災額は1980年度の価格に換算した¹⁾。なを、以下の検討では被災額を初期建設費で除した値を被災額率と呼ぶ。

3. 地震被災事例に基づく被災量の推定

作用震度とは地震時に重力式係船岸に作用すると考えられる震度²⁾であり、この作用震度が現行設計法によって求められる構造物の破壊震度（安定計算より求められる安全率が1となる震度）¹⁾より大きければその構造物は破壊する。このとき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、この作用震度と構造物の破壊震度より被災量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、この危険度と被災量の関係を過去の被災事例についての回帰分析より検討し、危険度から被災変形量を推定する試みを行った。被災変形率（ R_G ）と危険度の関係は図-3に示すとうりであり、図中の実線は次式のように与えられている。

$$R_G = -12.7 + 14.5 (K_e / K_c) \quad (1)$$

データ数が十分でないため被災額率（ C_f ）と危険度の回帰式は直接得られなかったため、この関係は被災

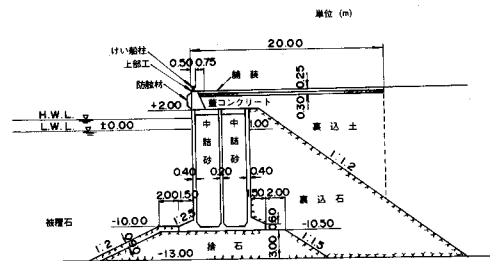


図-1 重力式係船岸（ケーソン式）

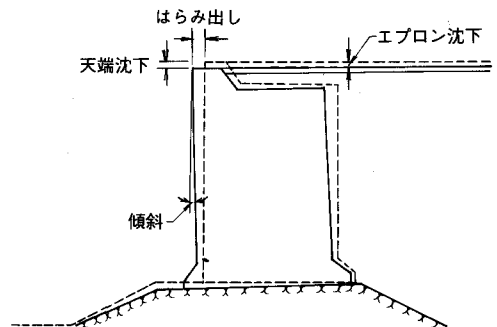


図-2 重力式係船岸の地震被災変状

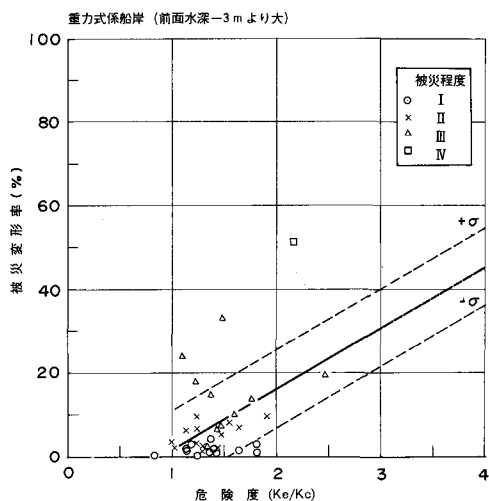


図-3 被災変形量と危険度

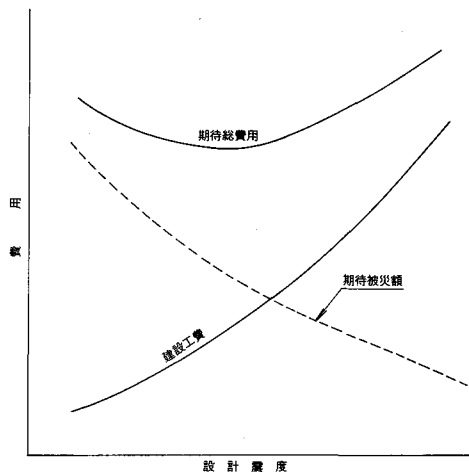


図-4 費用と設計震度の関係

額率と被災変形量の関係式と、被災変形量と危険度の関係式の2つの式より次のように求めた。

$$Cf = -62.2 + 66.2 (Ke/Kc) \quad (2)$$

4. 経済的観点からの最適設計震度と許容残留変形量

設計震度を大きくとれば構造物の破壊確率は下がり、期待被災額率は小さくなるが、建設工費は増大する。図-4に示すように、建設工費は設計震度に対して右上がりの曲線、期待被災額は右下がりの曲線になるので、一般には両者の和である期待総費用は極値を持った下に凸な曲線になる。この期待総費用の極小値を与える設計震度が経済的観点から与えられる最適値とした。ここで言う経済的観点とは、現状で金額として具体的に与えられる初期建設費と地震が発生したときの施設被害額(直接被害額)に限った観点である。この最適設計震度における期待被災変形量を経済的観点からの許容変形量とした。

(1) 初期建設費と設計震度の関係

村田・柳生・内田³⁾は港湾施設の経済設計に関する検討において設計震度と初期建設費の関係を示している。図-1に示したような標準断面図のケーソン式係船岸が5通りの設計震度について設計され、図-5のように建設工費が積算されている。この村田らの検討では昭和51年度の単価により積算されており、初期建設費の単価も万円/mである点に注意しなくてはならない。

(2) 期待被災額率

期待被災額率は被災額率とそれが発生する確率の積と定義されるものである。ここでは被災額率は式(2)より推定する。従って、期待被災額率を求めるための被災額率が生起する確率として、ここでは最大加速度の発生確率を考えることにした。北澤・上部・桧垣⁴⁾の報告に基づいて、構造物を建設しようとする地点の最大地盤加速度の発生確率を極値統計理論⁵⁾により検討した。図-6に東京、新潟、下関の各港の基盤の最

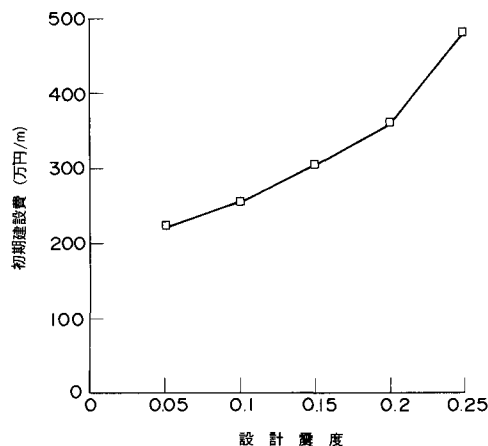


図-5 初期建設費と設計震度の関係 (村田ら³⁾による)

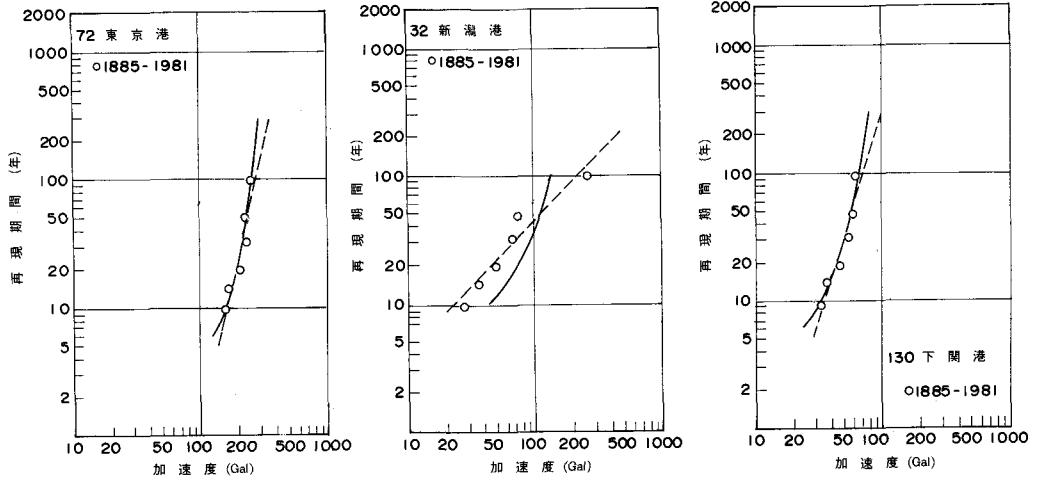


図-6 最大加速度と再現期間の関係

大加速度と再現期間の関係を示す。3港は地震の発生頻度の大きさを考慮して選定した。この図によれば、再現期間50年の基盤の最大加速度は東京港で約240Gal、新潟港では、約120Gal、下関港で約60Galであった。次に、ある耐用年数内の各極値の分布関数、確率密度関数を求めた。図-7に東京港の分布関数と確率密度関数を示す。この分布関数と、式(2)の被災額率から期待被災額率を計算した。計算では極値の順位を第5番目までとし、耐用年数は50年とした。図-8に示すように、耐用年数が増大しても、期待被災額率にそれほど大きな変化はない。

(3) 最適設計震度と許容残留変形量

東京港、新潟港、下関港について期待総費用を計算し、これが最小となる最適設計震度を求めた。耐用年数は50年である。図-9にこの計算結果を示す。×印を結んだ実線が初期建設費と設計震度の関係である。期待被災額は計算した期待被災額率に初期建設費をかけて求め、図中に各港ごとに区別した記号を結ぶ実線で示した。初期建設費と期待被災額を加えた期待総費

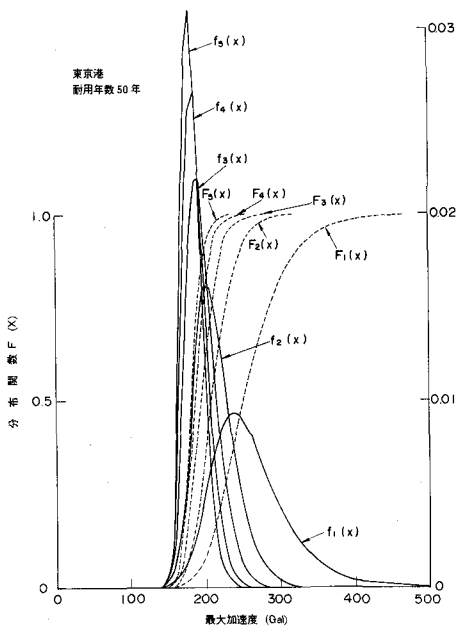


図-7 分布関数、確率密度関数 (東京港)

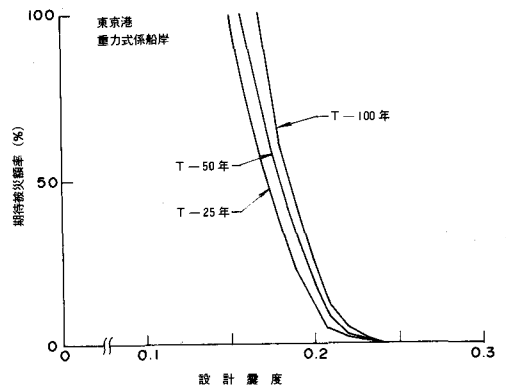


図-8 期待被災額率と設計震度の関係に与える耐用年数の影響

表-1 最適設計震度と許容残留変位量

港名	最適設計震度	再現期間50年の期待加速度から与えられる設計震度	許容残留変位量 (cm)
東京港	0.21	0.21	67
新潟港	0.13	0.12	50
下関港	0.10	0.06	10

用は各港ごとに点線で示してある。図-9から与えられる最適設計震度を表-1に示す。

次に、この最適設計震度を各港の再現期間50年の最大加速度期待値と比較する。図-6から再現期間50年の最大加速度期待値を求め、これから設計震度（作用震度）を求めた結果を表-1に示す。最適設計震度と設計震度を比較すると、表-1に示す様に、東京港で両者は等しく、新潟港、下関港では最適設計震度の方がやや大きくなっている。

図-9には式(1)を用いて計算した期待はらみ出し量が示してある。重力式係船岸の壁体の高さは14 mである。最適設計震度における期待はらみ出し量は、東京港で67cm、新潟港で50cm、下関港で10cmとなっている。これらの変位が、経済的観点から決められる許容変位量である。

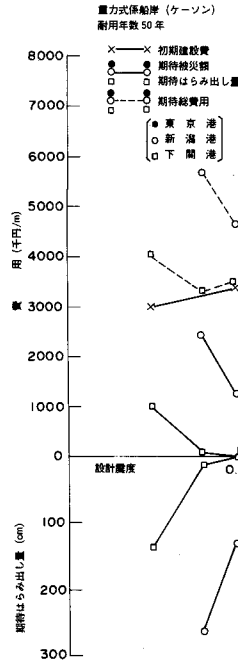


図-9 期待総費用と設計震度の関係

5. 結論

表-1に示した東京港、新潟港、下関港の最適設計震度と設計震度（作用震度）との比較結果によれば、過去の地震被害を踏まえて、経験的に決められてきた現行の設計震度は、これらの港の重力式係船岸についてはほぼ妥当であると考えられる。また、表-1に示した許容変位量は、過去の地震の重力式係船岸の被害状況からみて、軽微な被害の範囲であり、許容値としてほぼ妥当であると考えられる。さらに、係船岸の機能上の観点等から与えられる許容変位量を含めて総合的に検討して、耐震設計で用いられる許容変位量が設定されると考える。

参考文献

- 1) 上部達生：地震被災事例に基づく重力式及び矢板式係船岸の被災変形量と被災額の推定、港湾技研資料、No.473、1983年12月
- 2) 野田節男、上部達生、千葉忠樹：重力式岸壁の震度と地盤加速度、港湾技術研究所報告、Vol.14、No.4、1976年1月、pp.67~111
- 3) 村田利治、柳生忠彦、内田豊彦：港湾施設の経済設計に関する二・三の検討、昭和55年度港湾技術研究所講演会講演集、1980年12月、pp.233~276
- 4) 北澤壮介、上部達生、桧垣典弘：沿岸地域における基盤の最大加速度期待値の推定、港湾技研資料、No.486、1984年7月
- 5) グンベル、E. J.：極値統計学—極値の理論とその工学的応用、生産技術センター新社、1978年6月
- 6) 上部達生：重力式係船岸の地震被災量に関する研究、港湾技研資料、No.548、1986年6月