

ケーソン式岸壁に対するレベル2信頼性設計と期待総費用最小化法の適用

Level-2 reliability based design method and expected life cost evaluation for caisson type quay walls

長尾 毅*, 吉浪康行**, 佐貫哲朗***

Takashi NAGAO, Yasuyuki YOSHINAMI and Tetsuro SANUKI

*正会員 工博 国土交通省国土技術政策総合研究所 沿岸防災研究室長 (〒239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1)

**正会員 工博 復建調査設計 (〒732-0052 広島市東区光町 2-10-11)

***正会員 復建調査設計 (〒732-0052 広島市東区光町 2-10-11)

This paper firstly presents the design way of caisson type quay walls to evaluate the safety against sliding and overturning through the level-2 reliability based design method. Distribution of safety indices of quay walls designed with the level-2 method is compared with those of the level-1 method and the present design method for each importance classification. It is shown that the level-2 method is highly applicable for quay walls designed with importance factor category "special". Secondary, expected life costs considering failure probability are evaluated and the applicability of minimization method of the expected life cost is discussed.

Key Words: reliability based design, safety index, expected life cost, quay wall

キーワード: 信頼性設計法, 安全性指標, 期待総費用, 岸壁

1. はじめに

ケーソン式岸壁の地震荷重作用時の外的安定照査は、安全率を判定基準とした震度法によって行われている。しかしながら、安全率は構造物の安全性を定量的に表すパラメータとは必ずしもいえないため、設計法の合理化の観点から確率論をベースにした信頼性設計法の適用が望まれることは言うまでもない。信頼性設計法には確率分布の取り扱いなどに関して3つのレベルがあり¹⁾、各種の安全係数を考慮するレベル1信頼性設計法がその利便性から設計コードに適用されることが多い。これに対して、破壊確率と関係付けられる安全性指標を判定基準としたレベル2信頼性設計法は、計算過程としてはレベル1信頼性設計法と比較してやや複雑であるものの、破壊可能性の制御面においてはレベル1の方法よりも優っている。

筆者らはこれまで、各種の安全係数を考慮するレベル1信頼性設計法のケーソン式岸壁の外的安定設計への適用手法を検討してきた²⁾。さらに、筆者の一人は、ケーソン式防波堤を対象にレベル1およびレベル2の信頼性設計法の適用方法を検討する³⁾とともに、期待総費用最小化法の適用性についても検討を行ってきた⁴⁾。

このような背景のもと、本研究は、ケーソン式岸壁の滑動および転倒破壊に対するレベル2信頼性設計法の適用方法を検討するとともに、期待総費用最小化法の適用性について評価を行うものである。まずレベル2信頼性設計法

の適用については、設計条件に偏りのないように設定した45ケースのケーソン式岸壁について目標安全性指標を変化させたコードキャリブレーションを行い、最適な目標安全性指標を検討するとともに、安全性指標の分布を現行設計法およびレベル1信頼性設計法の分布²⁾と比較し、合理性の検証を行った。

また期待総費用最小化法に適用に関しては、同様の45ケースについて複数の地震荷重レベルを考慮した期待総費用を算出し、初期費用及び期待総費用に関する現行設計法と信頼性設計法との差を検討した。その際、破壊時損失費としては、岸壁の復旧工事費用のみならず、経済被害を考慮した。

なお、現行設計法⁵⁾においては液状化の発生を許さない条件のもとで岸壁の耐震性の照査を行っている。このため、本研究においても液状化時の耐震安定性は対象外とする。

2. パラメータの従う確率分布²⁾

設計パラメータの従う確率分布は表-1に示すとおりである。すべての確率変数とその設計用値の比は正規分布に従うと仮定しており、潮位以外のパラメータについては、表中の α は変数の平均値と設計用値の比、 V は変数の変動係数を示す。潮位に関しては、 α および V は、それぞれの表に示した比の値の平均値および変動係数である。設計震度の従う確率分布は港湾の技術基準⁵⁾と同じ地域区分およ

表-1 パラメータの従う確率分布

	α	V
単位体積重量 W_i		
鉄筋コンクリート	0.98	0.02
無筋コンクリート	1.02	0.02
中詰砂	1.02	0.04
摩擦係数 f	1.06	0.15
静的土圧 E_{st}	1.00	0.10
動的土圧の位相差 PD	-0.50	0.30
設計震度 k_h		
A地区 第1種地盤	1.52	0.25
第2種地盤	1.17	0.25
第3種地盤	0.91	0.26
B地区 第1種地盤	1.74	0.25
第2種地盤	1.29	0.24
第3種地盤	0.99	0.25
C地区 第1種地盤	1.57	0.25
第2種地盤	1.27	0.25
第3種地盤	1.01	0.25
D地区 第1種地盤	1.56	0.25
第2種地盤	1.23	0.25
第3種地盤	0.98	0.25
E地区 第1種地盤	2.05	0.25
第2種地盤	1.49	0.26
第3種地盤	1.11	0.26
前面潮位比 R_{WL}	0.60	0.30
残留水位比 R_{RWL}	1.10	0.20

(注) R_{WL} : W.L./H.W.L.

R_{RWL} : R.W.L./H.W.L.

表-2 検討条件

水深(m)	-5.5	-7.5	-10.0
H. W. L.(m)	+1.00		
天端高(m)	+2.00		
設計震度	地域別震度	A, B, C, D, E	
	地盤種別係数	1種, 2種, 3種	
	重要度	特級, A級, B級	
上載荷重(kN/m ²)	5	5	10

び地盤種別ごとに、港湾地域強震観測記録を基にした基盤加速度に距離減衰推定精度、極値統計解析精度、地震動増幅特性推定精度、震度算定精度を考慮して設定したものであり²⁾、その設計用値はA地区～E地区の順に小さくなる。また地盤種別は第1種～第3種の順に軟弱な地盤となるが、地震動の増幅の度合いが港湾の技術基準と逆の傾向を示すことは文献2)で述べたとおりである。動的土圧位相差パラメータ PD は、堤体慣性力と土圧動的成分が基本的に逆位相である⁹⁾ことを考慮して導入したパラメータで²⁾ $PD=-1$ の時に完全逆位相となる。地震時の土圧 E は、式(1)により算定される(図-1)。

$$E = Est + Edy$$

$$= Est + (E_p - Est) \frac{k_h}{k_{hp}} PD \quad (1)$$

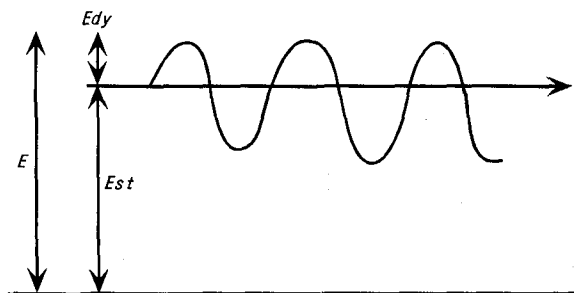


図-1 土圧モデル

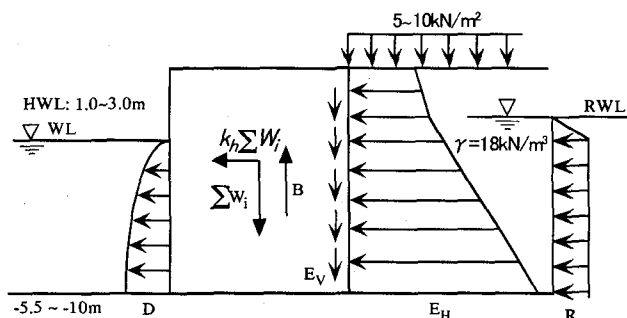


図-2 荷重条件

ここに、 Est , Edy はそれぞれ土圧の静的および動的成分、 k_h は設計震度であり、添字 p は現行設計法による値であることを示す。

3. レベル2信頼性設計法の適用

3.1 検討条件

表-2に示す条件でレベル2信頼性設計法の適用を検討する。検討ケース数は水深3ケース、地域別震度5ケース、地盤種別3ケースの組み合わせによる45ケースである。検討においては、統計分析を参考に、ケーソン堤体幅の下限値をケーソン高さの0.50倍とするとともに、全国の港湾施設のデータベースより設計水深、重要度係数、地盤種別係数の分布を求め、検討断面の諸条件分布が現実の条件分布に一致するよう重み付けを行う²⁾。

本研究で扱う滑動および転倒破壊モードに関する安全性照査式はそれぞれ式(2)、式(3)に示すとおりである。また、荷重条件は図-2に示すとおりである。

$$F_s = \frac{f(\sum W_i - B + E_v)}{k_h \sum W_i + E_H + R + D} \quad (2)$$

$$F_t = \frac{a \sum W_i - bB + cE_v}{dk_h \sum W_i + eE_H + iR + jD} \quad (3)$$

ここに、

- W_i : ケーソン構成材料 i の自重(kN)
- B : 浮力(kN)
- E_V : 鉛直土圧合力(kN)
- f : 摩擦係数
- k_h : 設計震度
- E_H : 水平土圧合力(kN)
- R : 残留水圧合力(kN)
- D : 動水圧合力(kN)
- $a \sim j$: 各荷重のアーム長さ(m)
- F_s, F_t : それぞれ滑動, 転倒の安全率で, 地震荷重の作用に対して $F_s \geq 1.0, F_t \geq 1.1$

式(2)および式(3)をもとに性能関数を定義し, FORM (First-Order Reliability Method) に従って性能関数の 1 次近似に基づき破壊点を収束計算によって探索し, 破壊点に関する安全性指標を算出する⁷⁾。岸壁はどのような破壊モードが生じても原型復旧されることから, 各破壊モードにおける所要の安全性指標である目標安全性指標 β_T は同じ値とし, $\beta_T=0.70 \sim 2.00$ の間で 0.05 ピッチで変化させた。

レベル 2 信頼性設計法では, 各破壊モードの安全性指標 $\beta_{element}$ の値を判定基準とし, これが目標値 β_T を上回ることを確認する。

$$\min \beta_{element} \geq \beta_T \quad (4)$$

レベル 2 信頼性設計法においては本来, 目標安全性指標をちょうど満足する設計を行うことが可能であるが, 破壊モードが複数あることから, 卓越モード以外の安全性指標は目標値を上回ることが多く, キャリブレーションを行って最適な目標安全性指標を設定する必要がある。

各モードに対する安全性指標より破壊確率を算出し, 破壊モードの相関を考慮したシステムとしての破壊確率は, 2つの破壊モードの限界状態局面により形成される重複領域の面積が結合破壊確率に比例すると仮定して結合破壊確率を算出する, 鈴木ら⁸⁾による方法を適用して算出する。得られたシステム破壊確率をもとに, 式(5)に示すようにシステム破壊確率に関する分散最小案を最適案として採用する。この方法は, 例えば ISO2394(構造物の信頼性に関する一般原則)⁹⁾においても位置付けられている方法であり, 最適案の判定方法として最も合理的と考えられる。なお, 分散最小案においてはシステム破壊確率の平均値は現行設計法の平均値とは必ずしも一致しない。これは分散最小案においては安全側または危険側の裾の部分の確率分布の影響を強く受けるためである。また, 信頼性設計法は本来破壊確率を制御する方法であることから, 本研究では安全性指標ではなく, 破壊確率をもとに最適案を判定する。

$$\sum (P_{ft} - P_{fr})^2 \rightarrow \min \quad (5)$$

ここに、

P_{ft} : システム破壊確率の目標値

P_{fr} : 信頼性設計法によるシステム破壊確率

システム破壊確率の目標値は, 再現期間 75 年の地震動作用時の現行設計法による平均安全性水準とする。すなわち, 重要度 B 級 (重要度係数 1.0) の場合 0.14, 重要度 A 級 (重要度係数 1.2) の場合 0.09, 重要度特級 (重要度係数 1.5) の場合は 0.03 である²⁾。これらの破壊確率を安全性指標に換算すると, それぞれ 1.08, 1.34, 1.88 となる。

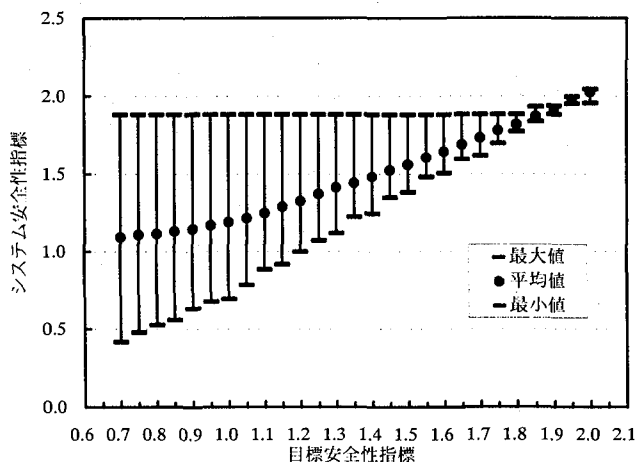


図-3 目標安全性指標に対するシステム安全性指標

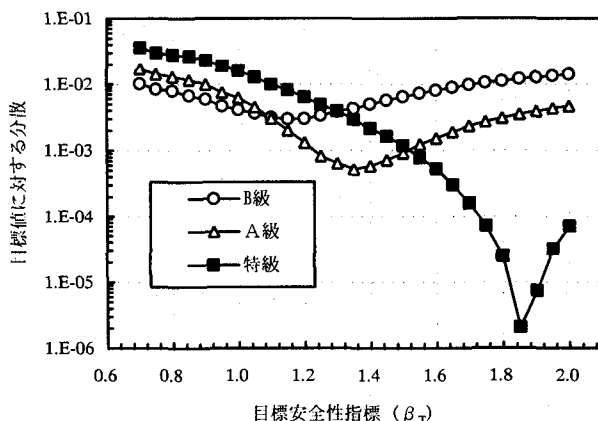


図-4 最適案判定結果

3. 2 キャリブレーション結果

レベル 2 信頼性設計法による解析結果を図-3に示す。図の水平軸は目標安全性指標であり, 鉛直軸にはシステム安全性指標の上下限値及び平均値の分布を示す。目標安全性指標が小さなレベルにおいては, システム安全性指標は広い範囲に分布する。この理由は, ケーソン幅の下限値をケーソン高さの 0.5 倍とする前提条件によりケーソン幅が決定する施設の割合が多く, 目標値に比べて高い安全性指標となるケースがあること, および破壊モードの相関のため, システム安全性指標が各モードの安全性指標と比較して小さい値となるケースがあるためである。目標安全性指標が大きくなるにつれて, 式(4)により堤体幅が決定する割合が増加するとともに, 後述するように滑動が支配的なモ

ードとなり、転倒は滑動と比較して非常に大きな安全性指標を示す施設が多くなるため、システム安全性指標は滑動安全性指標に近い値を示し、レベル2設計法の合理性が発揮されてシステム安全性指標の分布幅は非常に狭くなる。

図-4には式(5)に基づく破壊確率に関する分散の変化を示す。図より、重要度B級については目標安全性指標1.15、重要度A級については目標安全性指標1.35、重要度特級では目標安全性指標1.85のケースが分散が最小となり、最適と判定される。現行設計法で設計された断面の破壊確率の分散は重要度B級で 1.30×10^{-2} 、重要度A級で 7.45×10^{-3} 、重要度特級で 1.20×10^{-3} であり、最適案と現行設計法を比較すると、重要度B級では現行設計法の約1/4となり、A級では1オーダー、特級では3オーダー下回る結果となった。最適なケースにおけるシステム破壊確率の平均値は重要度B級で0.11、A級で0.08、特級で0.03であり、安全性指標に直すとそれぞれ1.23, 1.41, 1.88である。

次に、信頼性設計法のレベルの違いによる合理性の差を検討するため、式(5)に基づく標準偏差を現行設計法、レベル1設計法、レベル2設計法で比較した結果を図-5に示す。ここで、分散ではなく標準偏差により比較を行ったのは、レベル1信頼性設計法の検討ケース数²⁾と本研究における検討ケース数が異なるためである。まず重要度B級についてはレベル1設計法とレベル2設計法で標準偏差はほとんど同じ値となり、合理性に差が付かない結果となった。これは、上述のように安全性指標目標値が低いレベルにおいては、ケーソン幅がケーソン高さの0.5倍という前提条件で決まる割合が多いことが原因である。重要度A級についてはレベル2設計法の標準偏差の方がレベル1設計法の標準偏差を下回っており、より合理的と判断されるものの、その差はわずかである。これに対して、すべての施設のケーソン幅が式(4)で決定される重要度特級については、レベル2設計法の合理性が強く発揮され、レベル1設計法と比較しても標準偏差が非常に小さく、レベル2設計法を導入するメリットが高いことが分かる。図-6には、各重要度について、現行設計法とレベル2信頼性設計法のシステム安全性指標の相関を示す。両者が1:1の関係にあるデータは、ケーソン幅がケーソン高さの0.5倍の条件で決定している断面のものである。

次に、各重要度について、破壊モードの相関を図-7に示す。滑動が支配的なケースが比較的多いが、重要度B級については転倒の影響を無視し得ないケースが多いことがわかる。これに対して、重要度特級については、滑動安全性指標に比較して転倒安全性指標が非常に大きく、転倒の影響が少ないケースが多いことが特徴である。

図-8には、現行設計法の堤体重量を1.0とした場合の堤体重量の平均値を示す。レベル2信頼性設計法における堤体重量比の平均値は重要度B級で0.98、重要度A級で0.90、重要度特級で0.88であり、全施設平均としては0.93と現行設計法に比べて7%のコストが縮減される。重要度が高い施設ほど堤体重量比が減少する理由は、現行設計法においては平均レベルよりも安全な施設の割合が多かつ

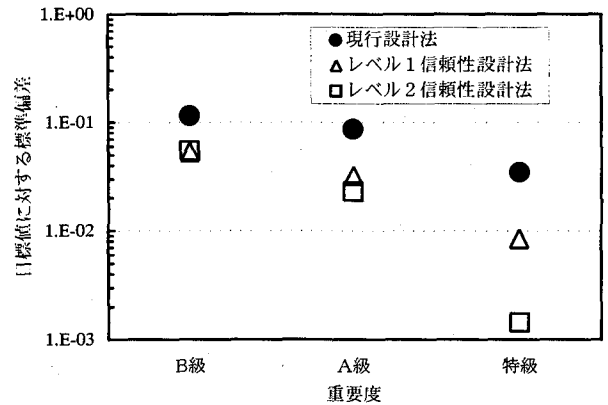


図-5 目標値に対する標準偏差

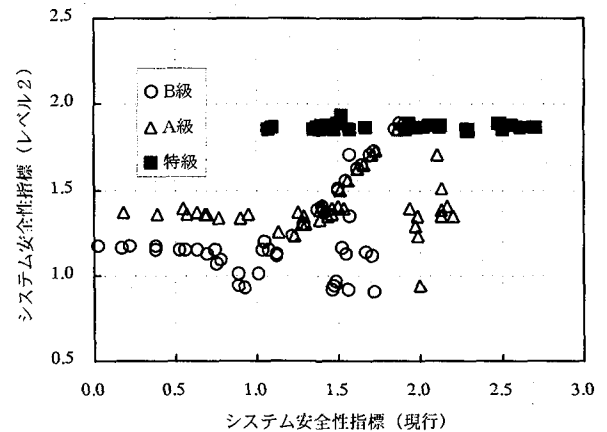


図-6 安全性指標の相関 (現行設計法-レベル2)

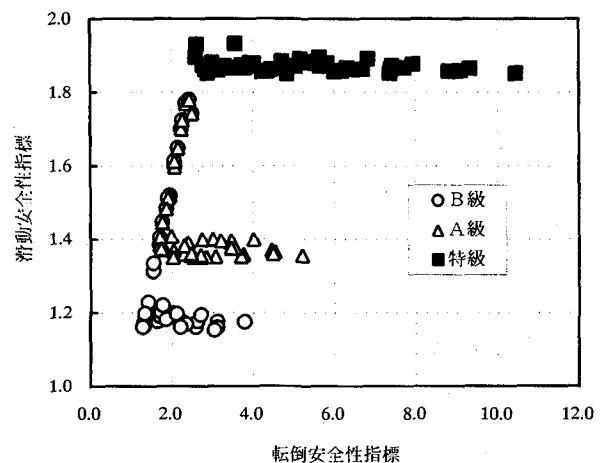


図-7 安全性指標の相関 (滑動-転倒)

たためであると考えられる。レベル1設計法の結果²⁾と比較すると、特に重要度A級及び特級においてレベル2設計法における堤体重量比の値が小さく、破壊可能性の制御に優れるレベル2設計法の利点が生きた結果となった。よって、建設コスト縮減の観点からは、レベル1設計法よりもレベル2設計法の方がメリットは大きいといえる。ただし、重要度B級の施設についてはレベル1信頼性設計法との違いはわずかであり、レベル1信頼性設計法を適用すれば充分と判断される。

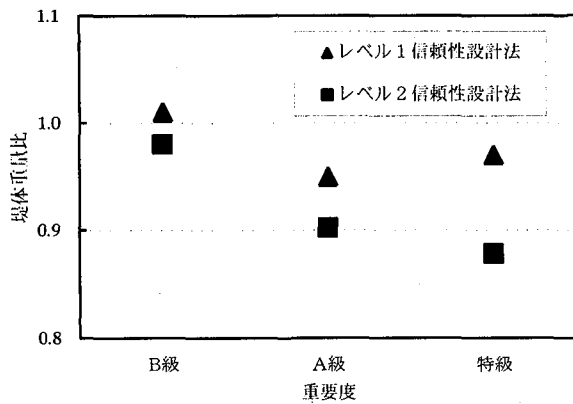


図-8 堤体重量比の比較

4. 期待総費用最小化法の適用

4.1 検討条件

建設費用の縮減の観点から、期待総費用最小化法の適用を試みる。地震荷重の再現期間を r 年、岸壁の耐用期間を t 年とすると、岸壁の期待総費用は、式(6)により得られる⁴⁾。本研究では対象とする地震荷重は再現期間 15 年-75 年の 15 年ピッチの 5 ランクの地震動とし、レベル 2 信頼性設計法の適用において建設費用の縮減効果の認められなかった重要度 B 級のみを対象とする。

$$ELC = C_i + \sum_{j=1}^m \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(v_j t P_{fj})^n}{(n-1)!} \exp(-v_j t P_{fj}) \frac{C_f}{(1+i)^j} \quad (6)$$

ここに、

ELC : 期待総費用

C_i : 初期建設費

m : 対象とする地震荷重ランク数

n : 対象とする地震荷重の発生回数

j : 対象とする地震荷重の再現期間

v_j : 対象とする地震荷重の年平均発生率 ($= 1/r_j$)

t : 耐用期間 (年)

P_{fj} : 再現期間 j 年の地震荷重作用による破壊確率

C_f : 破壊時損失費

i : 社会的割引率

標準断面は図-9に示すように、海底面レベルは-15.0mとし、ケーソン前面の捨石マウンド幅は、基本水準面 C.D.L. より計画水深までの深さと等しい値とした。初期建設費の算定においては、基礎捨石マウンド上にケーソンを据付した後、裏込石の投入と防砂シートの設置までを考慮した。ケーソン製作は陸上ヤードとし、起重機船により吊り上げ進水し運搬は引船による曳航とした。すべての作業船は近隣

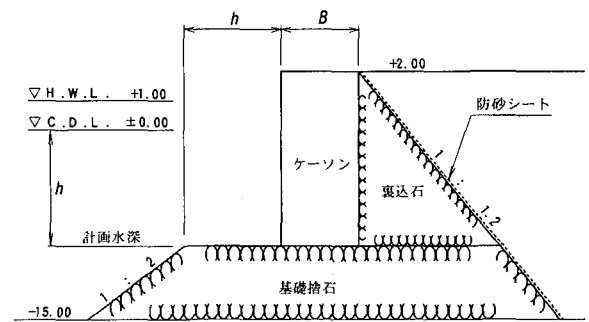


図-9 期待総費用算出標準断面

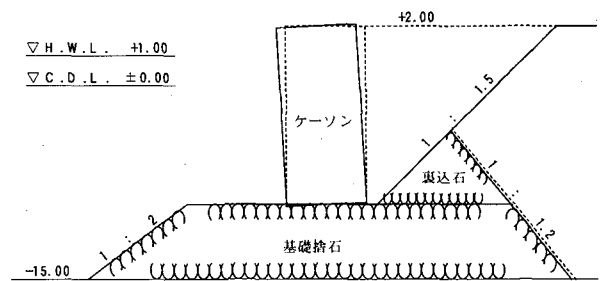


図-10 被災時復旧費算定断面

の港に在港しているものとし、その回航費は考慮していない。またケーソンのバース延長方向の長さはすべて 20m とし、ケーソン 1 函あたりの建設費を算出した。

破壊時損失費の算定に当たっては、岸壁の原型復旧工事費用を算定するとともに、岸壁の利用が不可能になることに伴う経済被害を考慮する必要がある。このうち、復旧工事費用の算定においては、ケーソンの滑動が生じた状態を考慮し、原型復旧に当たり図-10に示すようにケーソン再据付の際にケーソン背面の裏込部分の勾配 1:1.5 部分をまず撤去し、ケーソン再浮揚～再据付、裏埋施工を考慮した費用を算出している。

次に経済被害については、地震被害により船舶が当該岸壁に接岸できないために物流機能が低下し港湾関連産業が受ける被害が考えられる。被害額としては、輸送の方法や経路の変更に伴って追加の支払いを余儀なくされた費用や入港船舶のキャンセルなど港湾利用の減少によって失われた収入が考えられる¹⁰⁾。経済被害額は、岸壁の利用度、荷役貨物の種類、背後圏の規模や港と背後圏の距離などに応じて複雑に変化し、汎用的なモデルを構築することは困難であるが、本研究では 1993 年釧路沖地震時の釧路港における上部¹⁰⁾の検討結果をもとに、1 バースあたり 0.6 億円と仮定する。この額は、地震被害発生直後より復旧工事完了までの費用である。ここで、バース長は 5.5m 岸壁では 100m、7.5m 岸壁では 130m、10.0m 岸壁では 170m とし、初期建設費同様にケーソン 1 函あたりの損失費に換算する。

図-11 にケーソン幅と初期建設費及び破壊時損失費の

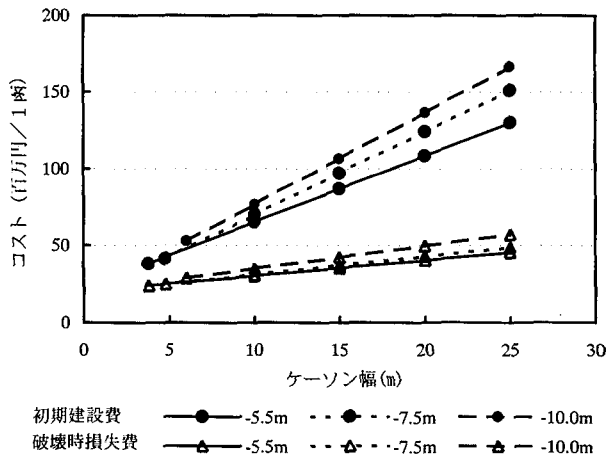


図-11 ケーソン幅と各種費用の関係

関係を示す。初期建設費及び破壊時損失費ともにケーソン幅の増加に伴い比例的に増加する。水深の増加に伴う各費用の増加は比較的緩やかで、破壊時損失費と初期建設費の比の値はケーソン幅により異なり、ケーソン幅が狭い場合は1/2程度で、ケーソン幅が広い場合には1/3程度となる。これより、期待総費用の観点からは、ケーソン幅が広い条件においては破壊確率を大きく設定した方が有利となるケースが存在することが示唆される。

将来発生する復旧費用は社会的割引率を用いて現在の費用に換算する必要がある。土木事業に関する社会的割引率は、4%とされることが多い^{11),12)}ことから、本研究においても社会的割引率は4%とする。なお、インフレは経済評価においては考慮しないのが原則である¹³⁾ため、対象外とする。

4. 2 現行設計法及び信頼性設計法との比較

3. と同じ条件の45ケースについて、ケーソン幅を変えて耐用期間50年間の破壊確率と期待総費用を算定した。図-12に前述の45ケース中のうち、地域区分A、第2種地盤について、荷重再現期間と破壊確率の関係を示す。破壊確率は、各再現期間の地震動作用による条件付き破壊確率である。水深-7.5mのケースについて言えば荷重再現期間が15年から75年に増加するにつれて、システム破壊確率は 3.5×10^{-2} から 2.4×10^{-1} に7倍程度に増加する。次に、同じケースについて、破壊確率と期待総費用の関係を図-13に示す。以下に述べる破壊確率は、通常設計で考慮する再現期間75年の地震動の作用による条件付きシステム破壊確率である。破壊確率が 5×10^{-2} 前後で初期建設費と期待総費用に有意な差が現れるが、このケースでは期待総費用最小化法～現行設計法～レベル1設計法～レベル2設計法の順に破壊確率の大きな断面となっている。すなわち、よりコンパクトな断面となる。

図-14は第2種地盤について各設計法による破壊確率の相違を示すものである。期待総費用最小化法では水深が

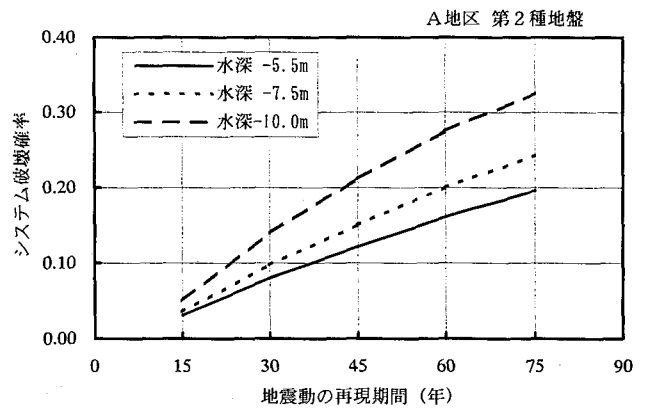


図-12 荷重再現期間と破壊確率の関係

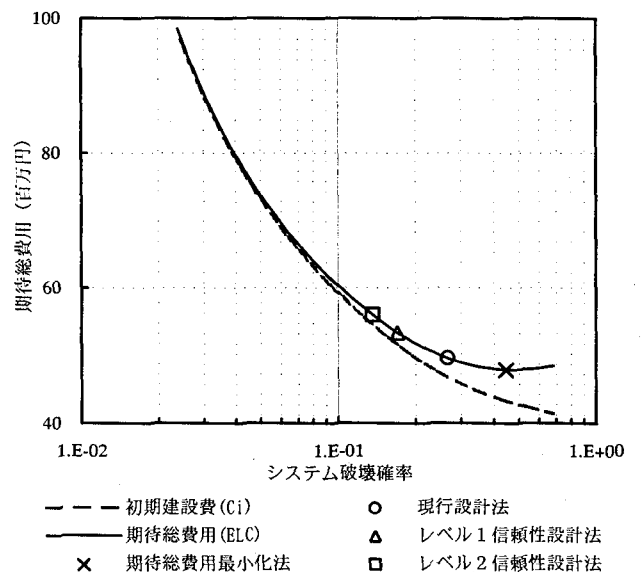


図-13 期待総費用の算出例

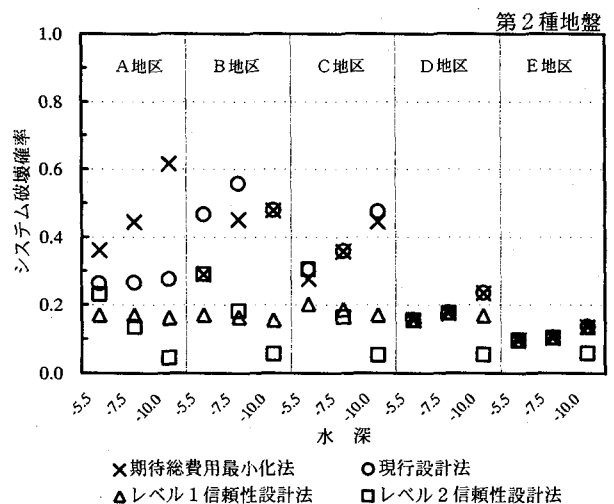


図-14 条件別の破壊確率の比較

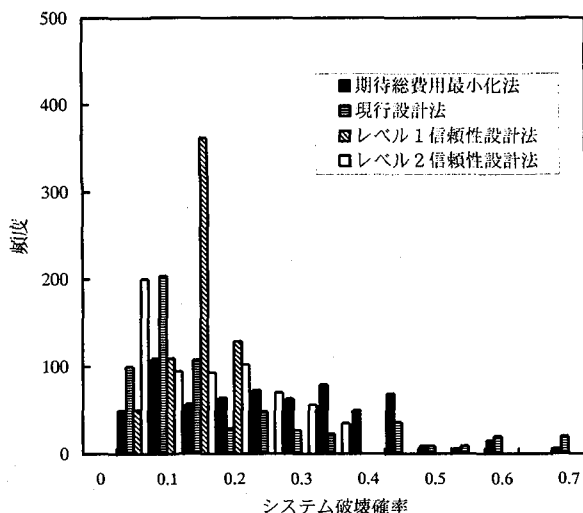


図-15 破壊確率分布

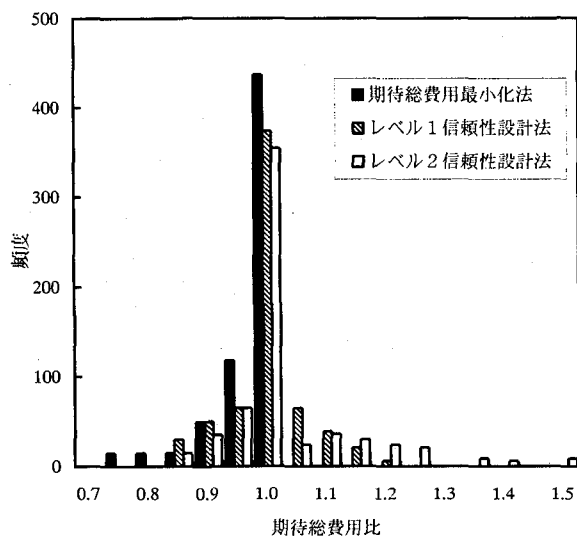


図-16 期待総費用の比較

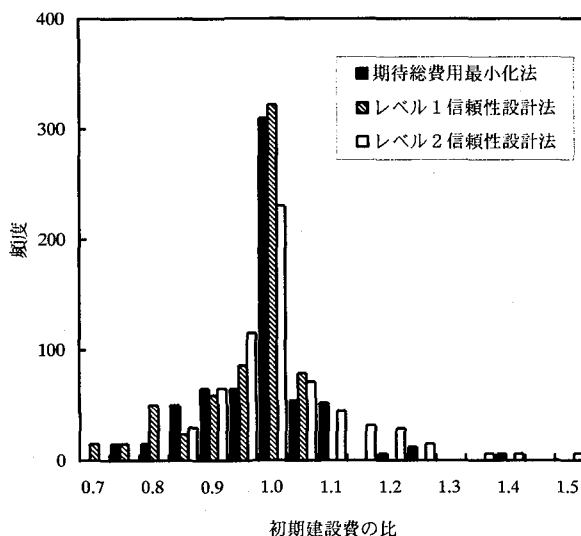


図-17 初期建設費の比較

大きいほど破壊確率が大きくなる傾向にある。これは図-11において見たように、水深が大きい場合には堤体幅が広くなるが、初期建設費に比べ破壊時損失費が小さいため、破壊確率の許容値を大きく設定した方が期待総費用が小さくなることを示している。またD及びE地区については各設計法で同じ破壊確率となっているケースが多いが、これは設計震度の小さいD及びE地区では、ケーソン幅がケーソン高さの0.5倍以上という前提条件ですべての設計法の断面が決定されたためである。

レベル2信頼性設計法における検討と同様に、設計水深、重要度係数、地盤種別係数に関する重み付けによるサンプル数の調整を行った破壊確率の分布を図-15に示す。破壊確率の平均値は現行設計法で0.22、期待総費用最小化法で0.26、レベル1信頼性設計法で0.15、レベル2信頼性設計法で0.16となり、期待総費用の観点からは現行設計法よりも平均的に破壊確率の大きい断面の方が優位となることがわかる。

同様に重み付けによるサンプル数の調整を行い、期待総費用最小化法、レベル1信頼性設計法、レベル2信頼性設計法のそれぞれについて、現行設計法による期待総費用を1.0とした場合の各手法の期待総費用の比較を図-16に、現行設計法による初期建設費を1.0とした場合の各手法の初期建設費の比較を図-17に示す。まず期待総費用については、期待総費用最小化法の平均値は0.97であり、この手法による期待総費用の縮減効果は現行設計法と比較して平均的に3%程度にとどまる。またレベル1、レベル2信頼設計法の平均値はそれぞれ1.0、1.05であり、レベル2信頼性設計法では前述のごとく堤体重量は低減できるものの期待総費用の観点からは現行設計法よりも不経済となる結果となった。初期建設費については、期待総費用最小化法による平均値は0.96であり、期待総費用と同様に現行設計法と比較して大きな差は認められない結果となった。また、レベル2設計法およびレベル1設計法については、それぞれ0.99、1.02となり、これらについても現行設計法との違いは僅かなものとどまった。以上の結果より、今回の解析条件においては、重要度B級の施設に対する期待総費用最小化法の適用による建設費縮減効果は、平均的に比較的小さいレベルにとどまるといえる。これは、破壊時損失費が初期建設費と比較して小さく、かつ現行設計法における安全性水準が平均的に比較的高い破壊確率に設定されているためと考えられる。ただし、条件によっては期待総費用最小化法の導入によるメリットが大きい場合もありえる。

5. まとめ

本研究により得られた主要な結論は以下の通りである。
①ケーソン式岸壁の再現期間75年の地震動作用時の安定性について、レベル2信頼性設計法によりコードキャリブレーションを行い目標安全性指標を提案した。最適と判定された目標安全性指標は、重要度B級の施設に対して1.15、A級について1.35、特級について1.85となった。

②レベル2信頼性設計法を導入することにより、重要度特級およびA級の施設については、現行設計法およびレベル1信頼性設計法と比較して目標安全性水準に対してばらつきの少ない合理的な設計を行うことが可能になるとともに、初期建設費用の縮減効果が大きく期待できる。このため、重要度特級およびA級の施設についてはレベル2信頼性設計法の適用性は高いと判断される。重要度B級の施設については、目標安全性水準に対するばらつきの程度がレベル1信頼性設計法と比較して大差がない結果となった。このため、重要度B級の施設については、レベル2信頼性設計法の適用性は高くはなく、レベル1信頼性設計法を適用すれば充分であると判断される。

③重要度B級の施設に対して期待総費用最小化法を適用することによる費用の縮減効果は、今回の解析条件においては現行設計法と比較して平均的に初期建設費で4%、耐用50年間の期待総費用で3%であり、期待総費用最小化法の適用による建設費縮減効果は、平均的に比較的小さいレベルにとどまる結果となった。これは、破壊時損失費が初期建設費と比較して小さく、かつ現行設計法における安全性水準が平均的に比較的高い破壊確率に設定されているためと考えられる。

参考文献

- 1)星谷 勝, 石井 清: 構造物の信頼性設計法, 鹿島出版会, 1986.
- 2)長尾 毅, 吉浪康行, 佐貫哲朗, 嘉門雅史: ケーソン式岸壁の外的安定に関する信頼性設計法の適用, 構造工学論文集 Vol.47A, pp.293-304, 2001.
- 3)長尾 毅: ケーソン式防波堤の外的安定に関する信頼性設計手法の適用, 土木学会論文集, No.689, I-57, pp.173-182, 2001.
- 4)長尾 毅: 破壊確率を考慮した防波堤の期待総費用最小化に関する研究, 第4回構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム(JCOSSAR2000)論文集, pp.441-448, 2000.
- 5)運輸省港湾局監修, 日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 1999.
- 6)E. kohama, K. Miura, N. Yoshida, N. Ohtsuka and S. Kurita: : Instability of Gravity Type Quay Wall Induced by Liquefaction of Backfill during Earthquake, Soils and Foundations, Vol.38, No.4, pp.71-84, 1998.
- 7)Hasofer, A. M. and Lind, N. C.: Exact and Invariant Second moment Code Format, Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol.100, No.EM1, pp.111-121, 1974.
- 8)鈴木基行, 秋山充良, 山崎康紀: 構造系の安全性評価法およびRC橋脚の耐震設計への適用に関する研究, 土木学会論文集, No.578, V-37, pp.71-87, 1997.
- 9)ISO: International Standard ISO/DIN2394, General principles on reliability for structures, 1998.
- 10)上部達生, 佐野 透, 野津 厚: 経済被害を考慮した港湾の液状化対策工の費用便益分析, 第23回地震工学研究発表会講演論文集, pp.687-690, 1995.
- 11)大釜達夫: 事前評価はどこまで実施されているかー運輸関係公共事業の場合ー, 土木学会誌, Vol.84, Feb., pp.30-31, 1999.
- 12)奥平 聖: 事前評価はどこまで実施されているかー道路事業の場合ー, 土木学会誌, Vol.84, Feb., pp.28-30, 1999.
- 13)土木学会編: 海外交通プロジェクトの評価, 鹿島出版会, 1986.

(2001年9月14日受付)