

運輸省港湾技術研究所

# 港湾技術研究所 報告

---

---

REPORT OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH  
INSTITUTE

MINISTRY OF TRANSPORT

---

VOL. 32      NO. 2      JUNE 1993

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



# 港湾技術研究所報告 (REPORT OF P. H. R. I)

第32巻 第2号 (Vol. 32, No. 2) 1993年6月 (June, 1993)

## 目 次 (CONTENTS)

1. 三陸沿岸を対象とした津波数値計算システムの開発 ..... 後藤智明・佐藤一央 ..... 3  
(Development of Tsunami Numerical Simulation System for Sanriku  
Coast in Japan  
..... Chiaki GOTO and Kazuo SATO)
2. 沖波の方向スペクトルの出現特性 (第1報) - いわき沖の観測結果 -  
..... 永井紀彦・橋本典明・浅井 正 ..... 45  
(On the Properties of the Directional Wave Spectra Observed in Deep Seas  
- 1st Report: The Field Observation off Iwaki -  
..... Toshihiko NAGAI, Noriaki HASHIMOTO and Tadashi ASAI)
3. 沿岸波浪の日変動特性と波浪の特異日 ..... 永井紀彦・菅原一晃・橋本典明・浅井 正 ..... 115  
(Annual Fluctuation of the Observed Coastal Waves and Singularities of High  
and Low Wave Condition  
..... Toshihiko NAGAI, Kazuteru SUGAHARA, Noriaki HASHIMOTO and Tadashi ASAI)
4. 事前混合処理工法による処理土の静的土圧特性  
..... 善 功企・山崎浩之・館下 徹・長沢啓介 ..... 153  
(Static Earth Pressure Characteristics of Coment Treated Sand by  
Premixing Method  
... Kouki ZEN, Hiroyuki YAMAZAKI, Toru TACHISHITA and Keisuke NAGASAWA)
5. 低置換率 SCP 改良地盤中の矢板式岸壁の挙動 ..... 北詰昌樹・村上喜代治 ..... 183  
(Behavior of Sheet Pile Walls in the Improved Ground by Sand Compaction  
Piles of Low Replacement Area Ratio  
..... Masaki KITAZUME and Kiyohara MURAKAMI)
6. 費用便益分析による接岸ドルフィンの最適断面の評価 ..... 白石 悟・上田 茂 ..... 213  
(Evaluation of the Optimal Cross Section of Breasting Dolphins by use of  
Coast-benefit Analysis ..... Satoru SHIRAISHI and Shigeru UEDA)
7. マスコンクリートとしての温度履歴を受けたコンクリートの材料特性  
- 主に耐久性に着目したモルタルによる基礎実験 -  
..... 福手 勤・守分敦郎・鈴木康範 ..... 247  
(An Experimental Study on Mortars to Assess the Durability of Massive  
Concrete  
..... Tsutomu FUKUTE, Atsurou MORIWAKE and Yasunori SUZUKI)

## 6. 費用便益分析による接岸ドルフィンの最適断面の評価

白石 悟\*  
上田 茂\*\*

### 要 旨

本研究では、製油所の原油バースの接岸ドルフィンについて、費用便益分析による最適断面の評価手法を検討した。検討においては、その構造形式を単杭構造（SPS）によるものとし、まず、船舶接岸荷重の数値を5種類変えて各々について断面を決め、これらの断面について耐用年数中における船舶の接岸荷重に対する接岸ドルフィンの破壊確率を計算した。また、接岸ドルフィンが破壊した際の原油および製品の出入荷形態についての対処代替案を作成した。さらに、各対処代替案に対して接岸ドルフィンの破壊時の出入荷形態の変更に伴う費用および施設の破壊に伴う減収等による負の便益の評価式を作成した。また、これらの費用および負の便益を評価するための原単位を調査し、これを用いて各断面の耐用年数中の期待総費用を計算し、期待総費用最小化原則により構造物の最適断面について検討した。

本研究で得られた主要な結論は以下のとおりである。

- (1) 構造物の最適断面を検討する手法として、本論文では費用便益分析手法について、その計算モデルおよび計算式を示した。また、シーバースの接岸ドルフィンを事例に構造物が破壊した場合の対処代替案を示した。
- (2) シーバースの接岸ドルフィンを事例に費用便益分析を行なう際の原単位を調査し、提示した。
- (3) 200,000dwt原油タンカーを対象船舶とする接岸ドルフィンについて3種類の対処代替案による費用便益分析を行ない、最適断面について比較検討した。

キーワード：シーバース、接岸ドルフィン、杭構造、単杭、SPS、信頼性設計法、破壊確率、費用便益分析、期待総費用最小化原則、最適断面

---

\* 構造部海洋構造研究室長  
\*\* 構造部長

## 6. Evaluation of the Optimal Cross Section of Breasting Dolphins by use of Cost-benefit Analysis

Satoru SHIRAISHI\*  
Shigeru UEDA\*\*

### Synopsis

In this report, it is described the evaluation method of optimal cross section of breasting dolphins of deepwater terminals for crude oil tanker in oil manufacture factory. The cross section of the breasting dolphins are designed with single pile structures (SPS) for five values of ship's berthing force. And the failure probabilities of the breasting dolphins are computed for each cross section taking into account the randomness of ship berthing force in life time of structures. Also alternatives of transportations of crude oil and oil products in the case of failure of the dolphins are presented. The evaluation formula is presented both increased cost and negative benefit for three alternatives in the case of the failure. And the ratio of cost to evaluate the cost and negative benefit are investigated. Then, the optimal cross section is obtained based on the minimum total cost concept.

Major result obtained in this report are as follows.

- 1) In this report the models and formulas for evaluate the optimal cross section of structure by use of cost-benefit analysis. And alternatives are presented of evaluate the cost and negative benefit in the case of failure of breasting dolphins.
- 2) The ratios of cost to evaluate the increased cost and negative benefit in the case of failure of breasting dolphins of deepwater terminals are investigated.
- 3) The optimal cross-section of breasting dolphins for 200,000 dwt crude oil tanker is obtained.

**Key Words** : Deepwater terminal, Breasting dolphins, Piles, Single pile structure, Reliability design, Failure probability, Cost-benefit analysis, Minimum total cost concept, Optimal cross section

---

\* Chief of the Offshore Structures Laboratory, Structural Engineering Division

\*\* Director of the Structural Engineering Division

## 目 次

### 要 旨

1. はじめに .....	217
2. 費用便益分析手法 .....	217
2.1 既往の研究および本研究の概要 .....	217
2.2 対処代替案と費用の評価式 .....	220
2.3 破壊確率の計算方法 .....	231
3. 原単位の収集 .....	233
4. 原油バースの破壊に関する費用便益分析 .....	235
4.1 計算条件 .....	235
4.2 計算結果と考察 .....	237
5. ま と め .....	243
参 考 文 献 .....	243
主 要 記 号 表 .....	244

## 1. はじめに

21世紀に向けて我が国周辺においては、今後ますます海洋空間の有効利用が促進され、各種の海洋施設の建設が進捗し、また、港湾施設もより大水深海域に建設されていくものと思われる。施設の建設地点が大水深海域になり、また、施設が大規模になることにより、万が一これらの構造物が破壊したときの損害はこれまで以上に甚大となり、また、破壊した場合の復旧もこれまで以上に困難になることが予想される。しかしながら、構造物に対して高い安全性を確保し、構造物の破壊確率を小さくしようとすれば、それに伴い構造物の断面が大きくなり建設費用の増大につながり、プロジェクト自体の実現が困難となることもある。このように構造物の安全性と建設費用とはトレードオフの関係にあるので、大水深海域に建設される港湾構造物および海洋構造物の安全性の検討においては、これまで以上に、詳細な検討を行い、設計に用いる適切な荷重レベルを決めることが必要になる。そのための方法として、耐用年数中の構造物の破壊確率を計算し、費用（構造物の初期建設費、維持費、構造物の破壊に伴って生ずる復旧費など）と便益（構造物の供用による開発効果、破壊または損傷による構造物の機能停止または機能低下に伴う負の経済効果など）とを計算し、その双方を考慮することによって、耐用年数中に要する期待総費用が最小または便益費用差（純便益）が最大となる合理的な断面をもつ構造物を設計する手法を確立する必要があると考える。

本研究では、そのケーススタディとして単杭構造（Single Pile Structure ; SPS）<sup>1)~5)</sup>によるシーバースの接岸ドルフィンにおける船舶接岸時の荷重に対する安全性を照査し、その最適断面の設定法について検討を行った。図-1はSPSの試設計断面である。この例では、

φ1900mmの1本の杭を用いて接岸ドルフィンが建設される。杭の発生応力に応じて鋼種および杭の肉厚を変え、発生応力の大きな断面においては高張力鋼を用い全体として経済的になる様に配慮している。従来のシーバースの接岸ドルフィンは、船舶の接岸エネルギーを主として防げん材によって吸収するように設計されているのに対して、SPSは高張力鋼を用いた単杭構造物で、杭自身が大変形することによって接岸エネルギーを吸収する。海外では、原油タンカーバースの接岸ドルフィンにSPSを使用した事例があるが、我が国においては、SPSを用いた大型構造物の実績はない。そこで、本研究ではSPSについて、その耐用年数中の破壊確率を考慮して費用便益分析を行ない最適断面の設定についての検討を行なうこととした。

費用便益分析より構造物の最適断面を検討する際には、①構造物の破壊確率の評価、②構造物の供用および破壊による費用および便益の評価が必要となる。これらについては、本論文の2.において述べる。3.においては、原油タンカーバースの接岸ドルフィンの費用便益分析において必要となる原単位をとりまとめて示した。また、4.においては200,000 dwt原油タンカーを対象とするシーバースの接岸ドルフィンに関する費用便益分析結果について示す。

## 2. 費用便益分析手法

### 2.1 既往の研究および本研究の概要

#### (1) 既往の研究

Marshall<sup>6)</sup>は、石油掘削プラットフォームに対して、設計の際の荷重の再現期間を変えることによって設計波高を変化させ、各条件に対して具体的に断面を設計し、また、施設の耐用年数を20年として、この耐用年数中の各設計断面の破壊確率を計算し、期待総費用を求めて

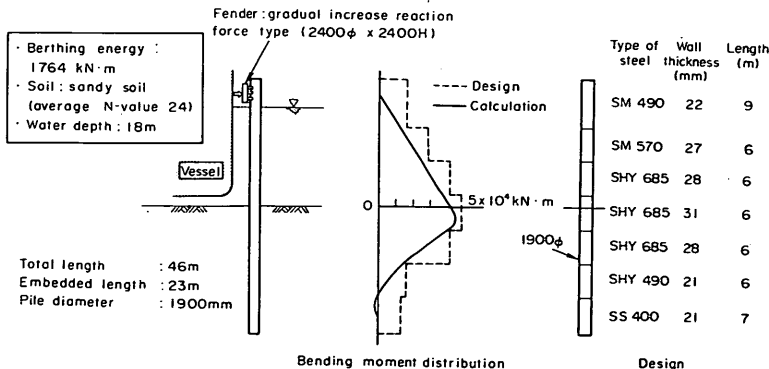


図-1 SPSの試設計断面の例

いる。この検討においては、施設の再建期間中に石油掘削ができないことによる減収についても評価している。ただし、減収としては施設破壊時のプラットフォームにおける生産活動の停止の影響のみを考えているので、この評価手法自体は本研究においても参考にできるが、港湾構造物の場合には施設の供用停止に伴う港湾貨物の流通形態等の影響についても考慮して期待総費用を評価する必要がある。

期待総費用最小化原則に基づく構造物の安全性の評価に関する研究は上記の他、杉山・酒井・藤野・伊藤<sup>7)</sup>、Kanda<sup>8)</sup>、長<sup>9)</sup>、<sup>10)</sup>などが行なっている。これらの研究は構造物の初期建設費、破壊による再建費用および損失費用などをパラメータとして変化させて構造物の安全性を検討したものである。すなわち、構造物の破壊による損失費用は初期建設費に対する係数とし、その係数をパラメータとして変化させて期待総費用の計算をしている。

例えば、長<sup>9)</sup>の研究によれば、破壊損失費用の初期建設費に対する比 $\tau$ を2~1000、安全性向上に伴う初期建設費の増加割合 $\nu$ を1.5~15、および初期建設費の増加曲線の次数 $n$ を1~3として、これらのパラメータによる期待総費用の検討を行い、期待総費用が最小となる断面の安全性指標すなわち最適安全性指標 $\beta_{opt}$ を求めている。本研究は、これらのパラメータ解析とは観点を交えて、具体的な構造断面を与えて費用便益分析を行なうものである。

## (2) 費用便益分析モデルと評価基本式

本研究で行なう費用便益分析においては、Marshallの研究と同様に設計荷重を数種類変えて構造物の断面を設計し、得られた各断面について耐用年数中に遭遇する荷重および構造物を構成する材料の強度の確率分布を考慮し、構造物の破壊確率を計算する。ついで、構造物の破壊確率を考慮して費用および便益の期待値を計算する。さらに、費用と便益の双方を評価することによって、耐用年数中に構造物に要する期待総費用を最小とする、あるいは便益費用差の期待値が最大となる最適断面を求めるものである。

係留施設の最適構造断面の評価は、式(1)を用いて係留施設の耐用年数中の便益の期待値 $B$ からその期間中に必要となる期待総費用 $C_T(X)$ を差引いた便益費用差の期待値 $B_E(X)$ が最大となるように断面を選定するものとする。

$$\begin{aligned} B_E(X) &= B - C_T(X) \\ &= B - C_I(X) - C_R(X) \end{aligned}$$

$$-P_f(X) \{C_f(X) + T_{f1}(X) B_{f1} + T_{f2}(X) B_{f2}\} \quad (1)$$

ここに、

$B_E(X)$  : 便益費用差 (係留施設の耐用年数中の便益のからその期間中に必要となる費用を引いた金額) の期待値 (円)

$B$  : 施設の供用に伴う収益の期待値 (円)

$B_{f1}$  : 施設の供用停止に伴う一日当たりの負の便益および損失 (円/日)

$B_{f2}$  : 施設の供用停止に伴う製品の受け払い方法の変更等による一日当たりの費用 (円/日)

$C_T(X)$  : 期待総費用 (円)

$C_I(X)$  : 初期建設費 (円)

$C_R(X)$  : 施設の供用に要する費用 (円)

$C_f(X)$  : 構造物の破壊に伴う復旧費および補修費 (円)

$P_f(X)$  : 破壊確率

$T_{f1}(X)$  : 構造物の破壊に伴う供用停止期間 (日)

$T_{f2}(X)$  : 構造物の破壊に伴う供用停止による出入荷形態が変更される期間 (日)

$X$  : 構造物の設計荷重

である。

なお、構造物の建設および破壊に伴う環境的な影響に関する項目としては以下の項目が上げられる。

イ. 構造物を建設する際の環境対策費

ロ. 構造物の建設に伴う環境影響  
(社会経済的に及ぼす影響)

ハ. 構造物の破壊に伴う環境対策費

ニ. 構造物の破壊に伴う環境影響  
(社会経済的に及ぼす影響)

これらの項目については金額的に評価することは非常に難しいが、イ. およびロ. については初期建設費 $C_I(X)$ に含めることとする。また、ハ. については構造物の破壊に伴う復旧費および補修費の期待値 $P_f(X) C_f(X)$ に含める。さらに、ニ. については、施設の供用停止に伴う負の便益および損失の期待値 $T_{f1}(X) B_{f1}$ に含めることとする。ただし、本研究の計算の中では環境的な影響については考慮しないこととする。

## (3) 便益の評価範囲

式(1)を用い、構造物の費用便益分析を行なう場合、便益の評価範囲を定めることが重要な問題である。例えば、精油所の原油バースとして用いられる接岸ドルフィンについて費用便益分析を行なう場合においては、便益として狭義には直接便益、例えば、ある特定企業の収益等を考えればよいが、広義には間接便益<sup>11)</sup>、例えば、あ

る特定企業の活動によってもたらされる地域社会への雇用、所得の増加等を含めることが必要となる。しかしながら、間接便益を個別の構造物に分離して評価することは非常に難しい。すなわち、特定企業の立地に伴う間接便益として把握が容易なものはその企業全体から生じている便益であって、個別の構造物に分離して間接便益を把握することは非常に難しい。このように、現段階では間接便益を個別の構造物に対して評価することが難しいことから、本研究では、構造物の破壊による生産活動への影響、すなわち、負の便益のみを考慮することとする。

#### (4) 計算に用いた費用便益分析の評価基本式

(3)で述べたことに基づいて、式(1)中の便益  $B$  の項を無視し、構造物の破壊による影響のみを評価し式(2)で費用便益分析を行なうこととする。

$$C_T(X) = C_I(X) + C_R(X) + P_f(X) \{C_f(X) + T_{f1}(X) B_{f1} + T_{f2}(X) B_{f2}\} \quad (2)$$

構造物の断面は、式(2)において、期待総費用  $C_T(X)$  が最小となるように選定すれば良い。

#### (5) 各変量の定義および内容

上記の式(2)の各変量について、その評価項目を以下に示す。

##### a) 初期建設費

初期建設費  $C_I(X)$  は構造物の設計条件、例えば、設計震度または設計接岸速度などを変えて個々に構造物の断面設計を行って工費を計算する。初期建設費は材料費、施工費（例えば、杭構造物では杭打ちに関する費用等）および付帯施設に要する費用（例えば、係留施設においては防舷材の費用等）などを考慮して計算する。

##### b) 施設の供用に要する費用

施設の供用に要する費用  $C_R(X)$  は、施設の供用に要する原材料費、人件費、施設維持費などを考慮して計算する。

##### c) 構造物の破壊に伴う復旧費および補修費

構造物の破壊に伴う復旧費および補修費を計算するためには、まず、構造物の破壊確率  $P_f(X)$  を求める必要がある。破壊確率  $P_f(X)$  は与えられた設計条件、例えば、設計震度または設計接岸速度などに対して設計された断面について、構造物の耐用年数中の荷重および構造物材料の強度の確率分布関数を考慮して計算する。破壊確率  $P_f(X)$  を解析的に求めることが難しい場合には、後述するようにモンテカルロシミュレーションを行なって

求める。

また、構造物の破壊に伴う復旧費または補修費  $C_f(X)$  を計算する。これは、破壊した構造物の撤去費および再建費を考慮して求める。構造物を補修する場合には、補修状況を評価して工費を計算する。

##### d) 施設の供用停止に伴う負の便益および損失

構造物の破壊による供用停止に伴う負の便益および損失は、供用停止期間  $T_{f1}(X)$  と施設の供用停止に伴う一日当たりの負の便益および損失  $B_{f1}$  の積で求める。供用停止期間  $T_{f1}(X)$  は、施設の破壊により供用できない期間、すなわち、被災構造物の撤去期間および構造物の再建に要する期間を考慮して求める。一日当たりの負の便益および損失  $B_{f1}$  は、構造物が破壊せずに供用していたと考えた場合に期待される収益を評価し求める。

##### e) 施設の供用停止に伴う製品の受け払い方法の変更による費用

係留施設の供用停止に伴う製品の受け払い方法の変更による費用はバースが破壊することによって供用できない期間  $T_{f2}(X)$  と原油または製品の受け払い方法の変更による一日当たり費用  $B_{f2}$  の積で求める。

係留施設が使用できない期間  $T_{f2}(X)$  は被災構造物の撤去期間および構造物の再建期間から求める。これは被災程度および復旧方法等によって異なるので、これらに対処代替案としてモデル化する。

原油または製品の受け払い方法の変更による一日当たり損失費用  $B_{f2}$  は、以下の項目を考慮して計算する。

##### ① 輸送方法の変更

例えば、船舶による輸送からトラック、鉄道による輸送への変更などがこれに相当する。この場合、トラックによる輸送経費、鉄道による輸送経費、必要台数、輸送における梱包形態の変更などが評価のために必要となる。

##### ② 他港における中継に要する費用

例えば、原油タンカーバースが破壊し利用できなくなり、製品出入荷バースを代替バースとして利用するように変更する場合、他港において中継が必要となる。この場合、船型別の運航経費、受け払い費用（積替え費用、船型別受け払い費用）などが評価のために必要となる。

##### ③ 他のバースの利用によるコスト増

例えば、5,000dwt級タンカーバースを利用していたものを3,000dwt級タンカーバースの利用に変更することによって着浅船舶の船型が小型化することによって生ずる費用がこれに相当する。この場合、船型別運航経費、必要船舶数などが評価のために必



要となる。

④ 滞船による経費増

バース待ちの増加による滞船費用の増加である。すなわち、利用可能バース数の減少による滞船数の増加による費用である。この場合、着積船舶数、一日当りの船型別滞船費用などが評価のために必要となる。

2.2 対処代替案と費用の評価式

(1) 検討の前提条件

a) 前提条件

ここでは、前節で示した評価方法に基づいて、関東圏に位置する A 港の仮定の製油所を対象にその原油バースの接岸ドルフィンの破壊による負の便益および損失の評価法について検討する。この製油所は我が国の年間原油処理量の約 2% に相当する年間 300 万 kL 程度の原油を精製する中程度の規模の製油所である。ただし、検討においては以下の前提条件を設定する。

- ① 接岸ドルフィンの構造形式は単杭構造 (SPS) とする。接岸ドルフィンの破壊は船舶の接岸荷重のみを考慮して求める。また、接岸ドルフィンが破壊した際においても、接岸ドルフィン以外の荷役ドルフィンおよび送油配管、製油施設等の施設は正常であるものとする。船舶の係留中の荷重または地震荷重などに対する検討も同様の方法で取り扱えるが、ここでは接岸ドルフィンの設計において支配的荷重である接岸荷重のみを検討の対象とする。
- ② 原油バースと製品出入荷バースの破壊は同時に生じしないものとする。したがって、原油バースが破壊し使用できないときには、その代替バースとして製品受け払いバースを使用できるものとする。
- ③ 破壊後に再建する施設は破壊前の諸元と同一とする。
- ④ 建造物の破壊に伴い、関連施設の生産が停止する場合には、生産の停止に伴う直接的な収益の減少の他、生産停止がその地域に及ぼす社会経済的な影響、すなわち、間接便益を評価する必要があるが、先にも述べたように本研究では考慮しない。
- ⑤ 原油バースの接岸ドルフィンの破壊に伴う環境影響は無いものとする。

b) バース数等の条件

本研究の事例検討では、対象施設のバース構成は以下の 6 バースとする。

原油バース	200,000 dwt	1 バース
製品受け払いバース	5,000 dwt	1 バース
	3,000 dwt	4 バース

c) 評価モデルの制約条件

評価モデルは以下の制約条件を考慮して作成するものとする。

- ① 代替バースとして、製品受け払いバースを利用できるものとする。
- ② タンクにおける備蓄原油の一部は生産に回せるものとする。
- ③ 中継基地で内航タンカーに原油を移しかえて、当該製油所まで輸送できるものとする。
- ④ 仮設バースによる対応は考えない。仮設バースの建設は準備日数、すなわち、建設までの事前調整日数および工期等から現実的な対応でないことによる。
- ⑤ 製油所の操業停止または操業率の低下による製品の不足分については、製品または半製品として受入れる。
- ⑥ 内航タンカーを用いて原油を受入れる場合は船舶数の増加による滞船発生とその費用を考慮する。

(2) 対処代替案

a) 対処代替案の設定

図-2 は原油バースの接岸ドルフィンが破壊した際の対処代替案および期待総費用の計算のブロックチャートを示したものである。対処代替案としては、以下の三案を検討する。

- ① 対処代替案 1 施設再建期間中の操業停止
- ② 対処代替案 2 製品受け払いバースを代替バースとして利用
- ③ 対処代替案 3 他製油基地からの製品、半製品の受入れ配分

図-2 に示した各対処代替案は、日本海中部地震において港湾構造物が被災を受けた際の港湾貨物の流動状況の変化を調査した米澤<sup>12)13)</sup>の研究等を参考に著者が作成したものである。各対処代替案における期待総費用の評価式については(3)において述べることとし、ここでは各対処代替案の基本的な考え方を示す。ただし、各対処代替案において建造物の初期建設費の計算については共通であるので、以下には各対処代替案における負の便益および損失の計算法について示すこととする。

b) 対処代替案 1 (施設再建期間中の操業停止)

対処代替案 1 では、原油バースの接岸ドルフィンの破壊後、直ちに破壊した施設の復旧に入る。施設の復旧期間中は原油タンクに備蓄されている原油のうち処理可能なものを使用して操業を継続するが、備蓄原油をとりくずした後は操業停止とする。対処代替案 1 では以下の項目を建造物の破壊に伴う負の便益および損失として計算

費用便益分析による接岸ドルフィンの最適断面の評価

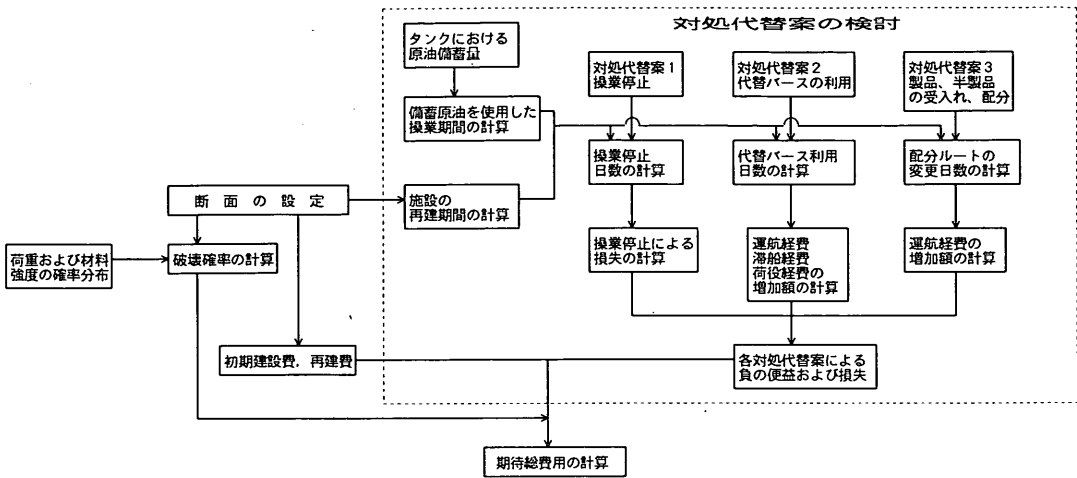


図-2 原油バスの破壊と対処代替案のブロックチャート

する。

- ① 施設の再建に要する費用，すなわち，破壊した構造物の撤去費および再建費
- ② 操業停止期間中に施設が破壊しないとすれば期待できる収益
- c) 対処代替案2（製品受け払いバスを代替バスとして利用）

対処代替案2では，原油バスの接岸ドルフィンの破壊後，直ちに破壊した施設の復旧に入る。施設の復旧期間中は製品受け払いバスを原油バスの代替バスとして転用する。ただし，転用の準備期間の初期は対処代替案1と同じように備蓄原油のうち処理可能なものを使用して操業を継続するが，その後は操業停止とする。製品受け払いバスを原油バスの代替バスとして転用するための準備が完了した後は，原油は中継基地において内航タンカーに積み替えて当該製油所まで輸送するものとする。対処代替案2では以下の項目を構造物の破壊に伴う負の便益および損失として計算する。

- ① 施設の再建に要する費用，すなわち，破壊した構造物の撤去費および再建費
- ② 中継基地において原油を原油タンカーから内航タンカーに積み替えて輸送することによる費用増，すなわち，輸送経費および積み替えに要する荷役経費の増加
- ③ 滞船経費の費用増，すなわち，大型タンカーの利用から，中型および小型タンカーの利用に変更することによる着桟船舶数の増加による滞船発生数の増加に伴う費用増

- d) 対処代替案3（他製油基地からの製品，半製品の受入れ配分）

対処代替案3では，原油バスの接岸ドルフィンの破壊後，直ちに破壊した施設の復旧に入る。復旧期間中は，他の製油基地から製品または半製品を受入れ，半製品の場合には製品化して当該製油所から各地域に配分する。対処代替案3では以下の項目を構造物の破壊に伴う負の便益および損失として計算する。

- ① 施設の再建に要する費用，すなわち，破壊した構造物の撤去費および再建費
- ② 他の製油基地から製品または半製品を受入れ当該製油所において製品化し，配分することによる費用増，すなわち，輸送費用および積み替えに要する荷役経費の増加
- ③ 滞船経費の費用増，すなわち，製品または半製品の受入れに伴って当該製油所に着桟する中型および小型タンカーの船舶数の増加に伴う滞船船舶の増加に伴う費用増

本研究では製品または半製品の供給先として複数の製油基地を検討し，原油バスの接岸ドルフィンが健全な場合の輸送費用と原油バスの接岸ドルフィンが破壊し原油および製品の輸送ルートを変更した場合の輸送費用との費用の差を評価する。ここでは，仮定の製油所が関東圏のA港に位置するものとして，海上距離で300海里離れたB港，または650海里離れたC港をA港の原油バスの接岸ドルフィンが破壊した場合の製品または半製品の供給先として輸送費用等の増加額を評価する。

(3) 構造物破壊時の負の便益および損失の計算式

a) 一般式

各対処代替案における耐用年数内の期待総費用

$C_T(X)$  は式(3)で計算する。

$$C_T(X) = C_i(X) + P_f(X) \{ C_f(X) + C_a + \sum_{i=1}^4 P_{s_i}(X) \} \quad (3)$$

ここに、

$C_i(X)$  : 初期建設費 (円)

$P_f(X)$  : 構造物の破壊確率

$C_f(X)$  : 構造物の破壊に伴う復旧費または補修費(円)

$C_a$  : バースの転用費用 (円)

$P_{s_i}(X)$  : バースの破壊に伴う負の便益および費用 (円) であり、

$i = 1$  のとき、 操業停止による損失額

$i = 2$  のとき、 運航経費の増加額

$i = 3$  のとき、 滞船経費の増加額

$i = 4$  のとき、 荷役経費の増加額

である。

以上の各項のうち  $C_i(X)$ ,  $P_f(X)$ ,  $C_f(X)$  は対処代替案にかかわらず共通である。また、 $C_a$  は原油バースの接岸ドルフィンが破壊したとき、製品出入荷バースを原油バースに転用するための送油配管などの設備の変更に必要な費用であるので、接岸ドルフィンの断面の諸元にかかわらず一定と考えられる。したがって、以下には、各対処代替案における  $P_{s_i}(X)$  の計算式を記述する。

b) 対処代替案 1 (施設再建期間中の操業停止)

(i) 対応のフロー

図-3 は対処代替案 1 における対応のフローを示したものである。原油バースが破壊したとき、直ちに破壊し

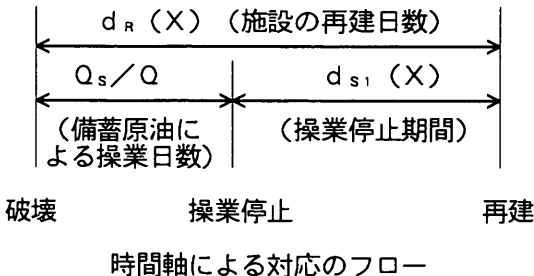


図-3 対処代替案 1 における対応のフロー

た施設の再建を開始する。再建期間中はタンクの備蓄原油を用いて操業を継続し、タンクの備蓄原油が無くなった時点で操業を停止する。施設再建後は再建バースを利用する。

対処代替案 1 の場合には費用として、施設の再建に要する費用、すなわち、破壊した構造物の撤去費および再建費を評価する。また、負の便益として、施設が破壊しないときに期待できる操業停止期間中の収益を評価する。なお、施設の再建期間は破壊した構造物の撤去および新たに建設する構造物の建設工期を考慮し求める。

(ii) 操業停止による負の便益の評価

対処代替案 1 においては、式(3)のうち  $C_a = 0$ ,  $P_{s_2}(X) = 0$ ,  $P_{s_3}(X) = 0$ ,  $P_{s_4}(X) = 0$  として期待総費用を計算する。また、操業停止による損失  $P_{s_1}(X)$  は式(4)で計算する。

$$P_{s_1}(X) = d_{s_1}(X) \cdot Q \cdot p(Q) \quad (4)$$

ここに、

$d_{s_1}(X)$  : 操業停止期間 (日)

$p(Q)$  : 単位原油処理量あたりの収益 (円/kl)

$Q$  : 当該施設における一日あたりの原油処理量 (kl/日)

である。

操業停止期間  $d_{s_1}(X)$  は式(5)で計算する。

$$d_{s_1}(X) = d_R(X) - \frac{Q_s}{Q} \quad (5)$$

ここに、

$d_R(X)$  : 施設の再建日数 (日)

$Q_s$  : 施設破壊時の当該施設の使用可能なタンク備蓄原油量 (kl)

である。

c) 対処代替案 2 (製品受け払いバースを代替バースとして利用)

(i) 対応のフロー

図-4 は対処代替案 2 における対応のフローを示したものである。原油バースが破壊したとき、直ちに破壊した施設の再建を開始する。また、同時に製品受け払いバースを原油バースに転用するための準備を始める。製品受け払いバースを原油バースの代替バースとして使用するための準備が終了した時点で代替バースを用いて原油を入荷する。ただし、転用の準備期間のうち初期は対処代替案 1 と同じようにタンク内の備蓄原油を用いて操業を継続するものとする。対処代替案 2 においては負の便益および損失として、施設の再建に要する費用、すなわち、

費用便益分析による接岸ドルフィンの最適断面の評価

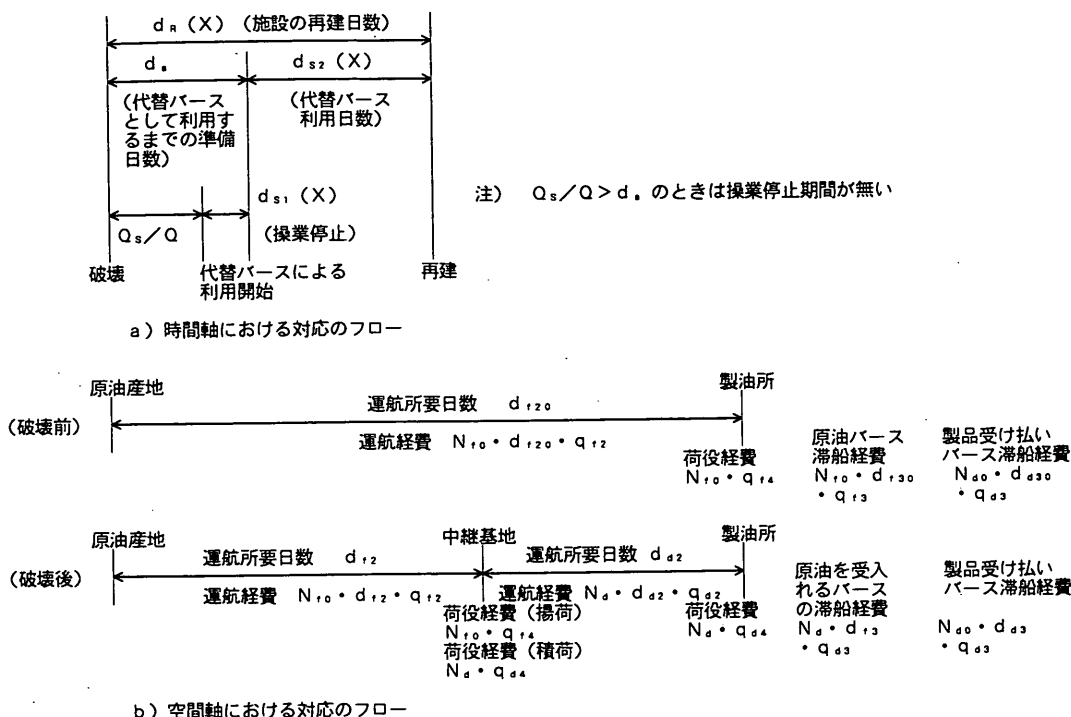


図-4 対処代替案2における対応のフロー

破壊構造物の撤去費および再建費  $C_r(X)$  を評価する。また、代替バースの準備費用  $C_s$  を見積もる。また、負の便益として代替バースの利用によって生ずる費用増、すなわち、代替バースへ着積できる船舶は中型または小型の内航タンカーとなるため、従来、原油バースに着積していた外航大型タンカーに比べ船型が小型化することによる運航経費の増加額  $P_{s2}(X)$ 、着積船舶数の増加に伴う滞船経費の増加額  $P_{s3}(X)$  および中継基地における原油の積み替えに必要な荷役経費の増加額  $P_{s4}(X)$  を考慮する。なお、図-4において、 $q_{1i}$  および  $q_{4i}$  は外航タンカーおよび内航タンカーに関する単価を示し、添字  $i = 2, 3, 4$  は、それぞれ、運航経費、滞船経費および荷役経費を、添字  $f$  は外航を、また添字  $d$  は内航を示す。また、 $d_{r1}$  および  $d_{a1}$  は外航タンカーおよび内航タンカーの日数に関する数値を示し、添字  $i = 2, 3$  は、それぞれ、運航所要日数、滞船日数を示す。また、 $d_{r10}$  および  $d_{a10}$  は接岸ドルフィンが破壊していないときの外航タンカーおよび内航タンカーの運航所要日数を示す。

(ロ) 操業停止による損失  $P_{s1}(X)$  の評価

操業停止による損失  $P_{s1}(X)$  は対処代替案1と同様に式(4)で計算する。

ただし、対処代替案2においては操業停止期間  $d_s(X)$

は式(6)で計算する。

$$(Q_s/Q) < d_a \text{ のとき}$$

$$d_{s1}(X) = d_a - \frac{Q_s}{Q}$$

$$(Q_s/Q) \geq d_a \text{ のとき}$$

$$d_{s1}(X) = 0$$

(6)

ここに、

$d_a$  : 代替バースとして利用するまでの準備日数 (日) である。

(イ) 運航経費の増加額  $P_{s2}(X)$  の評価

代替バース利用による費用増は式(7)~(11)で計算する。

① 代替バース利用日数

代替バース利用日数 (日)  $d_{s2}(X)$  は式(7)で計算する。

$$d_a > (Q_s/Q) \text{ のとき}$$

$$d_{s2}(X) = d_r(X) - d_a$$

$$d_a \leq (Q_s/Q) \text{ のとき}$$

$$d_{s2}(X) = d_r(X) - \frac{Q_s}{Q} \quad (7)$$

② 代替バース利用船舶数

製品受け払いバースを原油バースの代替バースとして運用するときの必要着棧船舶数  $N_d$  (隻) は式(8)で計算する。

$$N_d = d_{s2}(X) \cdot \frac{Q}{Q_d} \quad (8)$$

ここに、

$Q_d$  : 代替バースを利用する場合の内航タンカーの1隻あたり輸送量 (kl/隻) である。

また、施設が破壊しないときの原油バースにおける必要着棧船舶数  $N_{f0}$  (隻) は式(9)で計算する。

$$N_{f0} = d_{s2}(X) \cdot \frac{Q}{Q_f} \quad (9)$$

ここに、

$Q_f$  : 施設の破壊前の外航タンカーの1隻あたり輸送量 (kl/隻)

である。

③ 運航経費

原油バースの接岸ドルフィンの破壊後の運航経費は原油産地から中継基地までの外航タンカーによる運航経費と、中継基地から製油所までの内航タンカーによる運航経費の総和となる。この値から原油バースの接岸ドルフィンが破壊しないときの外航タンカーによる運航経費を差し引けば、運航経費の増加額が計算できる。ただし、原油産地から中継基地までの外航タンカーの船型は施設の破壊前と同一とする。

以上のように考えると、代替バースを利用することによる運航経費の増加額  $P_{s2}(X)$  は式(10)で計算される。式(10)において、 $N_{f0}d_{f2}Q_{f2}$  は原油産地から中継基地までの外航タンカーの運航経費を、 $N_d d_{s2} Q_{s2}$  は中継基地から製油所までの内航タンカーの運航経費を、 $N_{f0} d_{f20} Q_{f2}$  は施設の破壊前の外航タンカーによる運航経費を示す。

$$P_{s2}(X) = (N_{f0}d_{f2}Q_{f2} + N_d d_{s2} Q_{s2}) - N_{f0}d_{f20}Q_{f2} \quad (10)$$

ここに、

$d_{f20}$  : 施設の破壊前の外航タンカーの運航所要日数 (日)

$d_{f2}$  : 原油産地から中継基地までの外航タンカーの運航所要日数 (日)

$d_{s2}$  : 中継基地から製油所までの内航タンカーの運航所要日数 (日)

$Q_{f2}$  : 外航タンカーの運航経費 (円/日・隻)

$Q_{s2}$  : 内航タンカーの運航経費 (円/日・隻)

である。

(二) 滞船経費の費用増  $P_{s3}(X)$  の評価

製品受け払いバースの一部を原油バースの代替バースとして利用することによって原油を輸送するのに必要な船舶が増え、これによって滞船数が増加するので、その損失を評価する。また、製品受け払いバースの一部を原油バースとして転用するので、製品受け払い用に利用できるバース数が減少することになり、結局、製品受け払いバースに着棧する船舶の滞船数が増加することになるのでこれによる損失を考慮する。

代替バースの利用による滞船経費増  $P_{s3}(X)$  は式(11)で計算する。式(11)において、 $N_d d_{f2} Q_{s2}$  は代替バース運用時の原油を入荷するための内航タンカーの滞船経費、 $N_d d_{s2} Q_{s2}$  は代替バース運用時の製品受け払いのための内航タンカーの滞船経費、 $N_{f0} d_{s0} Q_{f2}$  はバース破壊前の外航タンカーの滞船経費、 $N_{d0} d_{s0} Q_{s2}$  はバース破壊前の内航タンカーの滞船経費を示す。

$$P_{s3} = N_d d_{f2} Q_{s2} + N_{d0} d_{s0} Q_{s2} - (N_{f0} d_{s0} Q_{f2} + N_{d0} d_{s0} Q_{s2}) \quad (11)$$

ここに、

$d_{f2}$  : 代替バース運用時の原油を入荷するための内航タンカーの平均滞船日数 (日・隻)

$d_{s2}$  : 代替バース運用時の製品受け払いのための内航タンカーの平均滞船日数 (日・隻)

$d_{f20}$  : バース破壊前の外航タンカーの平均滞船日数 (日・隻)

$d_{s0}$  : バース破壊前の内航タンカーの平均滞船日数 (日・隻)

$Q_{s2}$  : 内航タンカーの一日あたりの滞船経費 (円/日・隻)

$Q_{f2}$  : 外航タンカーの一日あたりの滞船経費 (円/日・隻)

$N_{d0}$  : 製品受け払いバースの着棧船舶数 (隻) である。

(三) 荷役経費の費用増  $P_{s4}(X)$  の評価

代替バース利用による荷役経費の費用増  $P_{s4}(X)$  は中継基地における揚荷経費と積荷経費および代替バースにおける荷役経費より求める。式(12)において  $N_{f0} Q_{f4}$  は中継基地における外航タンカーの荷役経費 (揚荷)、 $N_d Q_{s4}$

費用便益分析による接岸ドルフィン の最適断面の評価

は中継基地における内航タンカーの荷役経費（積荷）、 $N_d q_{d1}$  は代替バース利用時の内航タンカーの荷役経費、 $N_{f0} q_{f1}$  はバース破壊前の外航タンカーの荷役経費を示す。

$$P_{s1} = (N_{f0} q_{f1} + N_d q_{d1} + N_a q_{d1}) - N_{f0} q_{f1} \quad (12)$$

ここに、

$q_{f1}$  : 外航タンカーの1船あたりの荷役経費（円/隻）

$q_{d1}$  : 内航タンカーの1船あたりの荷役経費（円/隻）

である。

d) 対処代替案3（他製油基地からの製品、半製品の受入れ配分）

(イ) 対応のフロー

図-5は対処代替案3における対応のフローを示したものである。バースの再建期間中は他製油基地から製品または半製品を受入れ配分する。本研究では、関東圏に位置するA港における仮想の製油所を想定して配分ル

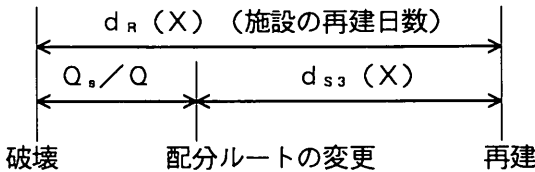
ト案を作成し、現状の配分ルートとの費用差を検討する。

本研究では、以下の4ケースの配分ルートを比較検討する。

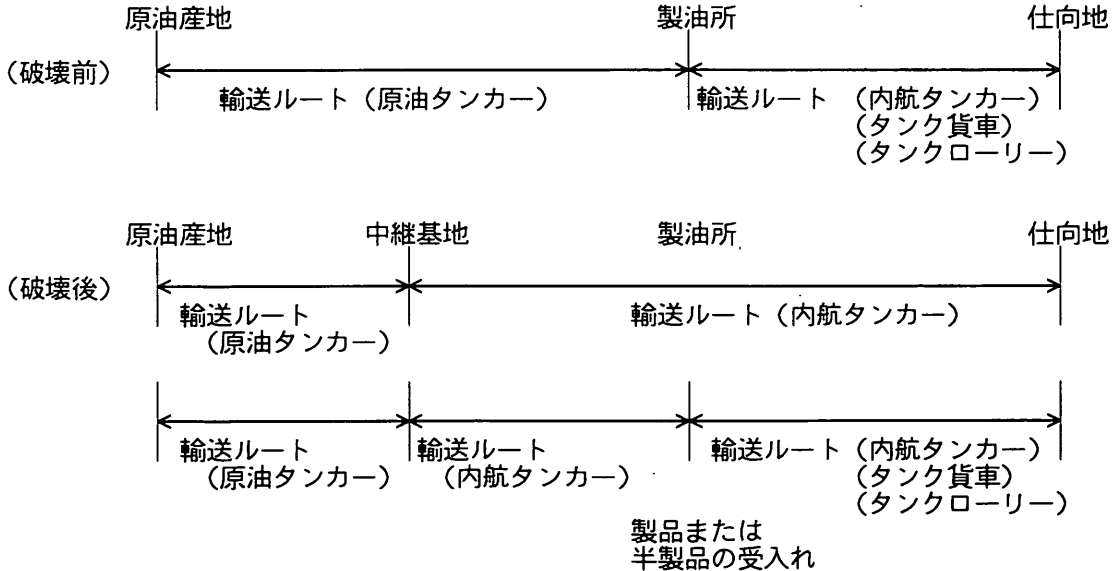
- ① B港の製油基地から半製品を受入れて配分
- ② C港の製油基地から半製品を受入れて配分
- ③ B港の製油基地から製品を受入れて配分
- ④ C港の製油基地から製品を受入れて配分

具体的には、原油バースの破壊前には原油および製品は図-6に示すような配分ルートをとるものとする。原油産地から輸送された原油はA港において製品化され、タンカーによりX, Y, Z港まで海上輸送され、そこからタンクローリーによる道路輸送で、それぞれ、A, B, C地域に配分される。一方、D地域にはA港からタンク貨車により鉄道輸送され、また、E~H地域にはタンクローリーにより道路輸送される。

これに対して、対処代替案3-①および3-②では図-



a) 時間軸における対応のフロー



b) 空間軸における対応のフロー

図-5 対処代替案3における対応のフロー

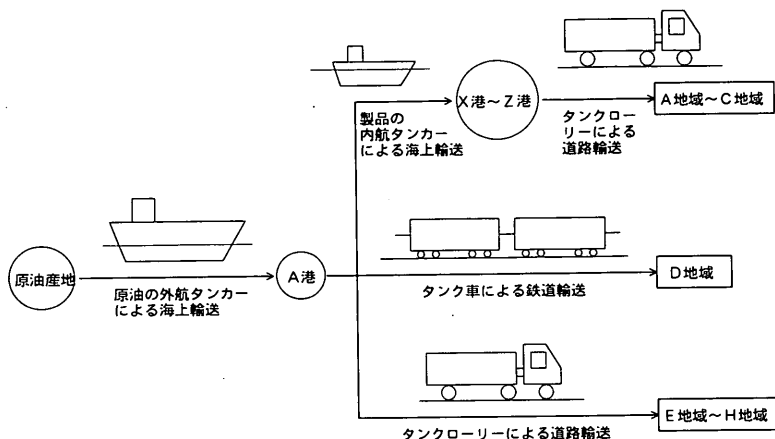


図-6 施設が破壊する前の輸送形態

7に示すようにA港までの輸送経路がB港またはC港の製油基地からの内航タンカーによる半製品の輸送に変更される。ただし、A港から先の輸送形態は施設が破壊する前と同一とする。また、対処代替案3-③および3-④では、図-8に示すように製品はB港またはC港から、それぞれ、X、Y、Z港への直接輸送に変更される。ただし、A港からD～H地域への輸送形態は施設が破壊する前と同一とする。

対処代替案3においては式(3)において、 $C_a = 0$ 、 $P_{S_3}(X) = P_{S_4}(X) = 0$ として費用を計算すればよい。

(ロ) 運航経費の増加額  $P_{S_2}(X)$  の評価

他の製油基地から製品または半製品を受入れ配分する場合の運航経費の増加額  $P_{S_2}(X)$  は式(13)で計算する。

$$P_{S_2}(X) = P_i - P_0 \tag{13}$$

ここに、

$P_i$  : 各配分ルート案  $i$  (上記の①～④) による輸送費用 (円)

$P_0$  : 施設が破壊しないときの配分ルートによる輸送費用 (円)

である。

$P_i, P_0$  はそれぞれ表-1～4に従い計算する。

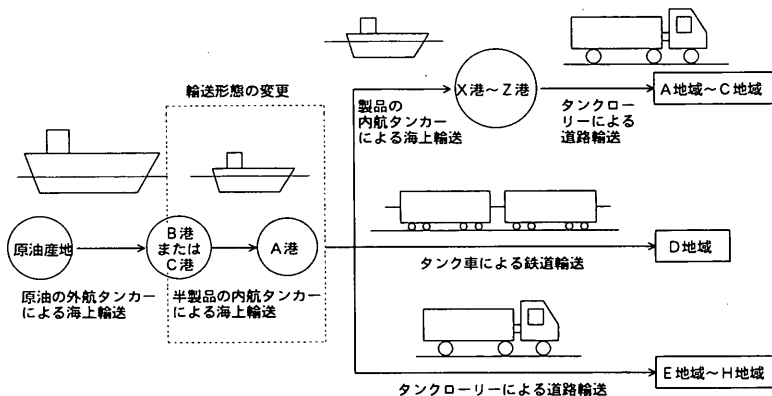


図-7 対処代替案3-①および3-②における輸送形態

表-1 運航経費計算表 (対処代替案 3-①)

地域	バースの破壊前				対処代替案による配分 (B港から半製品の受入れ配分)					費用増 (円)	
	輸送機関	1か月当たり 隻数、台数 (隻、両、台)	所要 日数 (日)	輸送単価 (円/隻・日)	輸送総経費 $C_{0i}$ (円)	輸送ルート	内航	タンク車 台数 (両)	輸送単価 (円/隻・日)		輸送総経費 $C_{1i}$ (円)
X港	内航カカ-	$L_1$	$K_1$	$Q_{02}$	$C_{01} = (L_1/30) \times K_1 \times Q_{02} \times d_{ss}(X)$	B港-A港-X港 (内航)	$L_1$	-	$Q_{02}$	$C_{11} = (L_1/30) \times K_{11} \times Q_{02} \times d_{ss}(X)$	$C_{11} - C_{01}$
Y港	内航カカ-	$L_2$	$K_2$	$Q_{02}$	$C_{02} = (L_2/30) \times K_2 \times Q_{02} \times d_{ss}(X)$	B港-A港-Y港 (内航)	$L_2$	-	$Q_{02}$	$C_{12} = (L_2/30) \times K_{12} \times Q_{02} \times d_{ss}(X)$	$C_{12} - C_{02}$
Z港	内航カカ-	$L_3$	$K_3$	$Q_{02}$	$C_{03} = (L_3/30) \times K_3 \times Q_{02} \times d_{ss}(X)$	B港-A港-Z港 (内航)	$L_3$	-	$Q_{02}$	$C_{13} = (L_3/30) \times K_{13} \times Q_{02} \times d_{ss}(X)$	$C_{13} - C_{03}$
D	タンク車	$L_4$	$K_4$	$Q_{10}$	$C_{04} = (L_4/30) \times K_4 \times Q_{10} \times d_{ss}(X)$	B港-A港-D (内航)	$L_4^*$	$L_4$	内航= $Q_{02}$ タンク車= $Q_{10}$	$C_{14} = (L_4 \times 46 / Q_{02} / 30) \times K_{14} \times Q_{02} \times d_{ss}(X) + C_{04}$	$C_{14} - C_{04}$
E	タンク車	$L_5$	$K_5$	$Q_{11}$	$C_{05} = (L_5/30) \times K_5 \times Q_{11} \times d_{ss}(X)$	B港-A港-E (内航)	$L_5^*$	$L_5$	内航= $Q_{02}$ タンク車= $Q_{11}$	$C_{15} = (L_5 \times 12 / Q_{02} / 30) \times K_{15} \times Q_{02} \times d_{ss}(X) + C_{05}$	$C_{15} - C_{05}$
F	タンク車	$L_6$	$K_6$	$Q_{11}$	$C_{06} = (L_6/30) \times K_6 \times Q_{11} \times d_{ss}(X)$	B港-A港-F (内航)	$L_6^*$	$L_6$	内航= $Q_{02}$ タンク車= $Q_{11}$	$C_{16} = (L_6 \times 12 / Q_{02} / 30) \times K_{16} \times Q_{02} \times d_{ss}(X) + C_{06}$	$C_{16} - C_{06}$
G	タンク車	$L_7$	$K_7$	$Q_{11}$	$C_{07} = (L_7/30) \times K_7 \times Q_{11} \times d_{ss}(X)$	B港-A港-G (内航)	$L_7^*$	$L_7$	内航= $Q_{02}$ タンク車= $Q_{11}$	$C_{17} = (L_7 \times 12 / Q_{02} / 30) \times K_{17} \times Q_{02} \times d_{ss}(X) + C_{07}$	$C_{17} - C_{07}$
H	タンク車	$L_8$	$K_8$	$Q_{11}$	$C_{08} = (L_8/30) \times K_8 \times Q_{11} \times d_{ss}(X)$	B港-A港-H (内航)	$L_8^*$	$L_8$	内航= $Q_{02}$ タンク車= $Q_{11}$	$C_{18} = (L_8 \times 12 / Q_{02} / 30) \times K_{18} \times Q_{02} \times d_{ss}(X) + C_{08}$	$C_{18} - C_{08}$
					$P_0$						$P_1$

$L_1 \sim L_8$ : 1ヶ月当たりの地域別出荷台数 (隻, 両, 台)  
 $K_1 \sim K_8$ : 地域別所要日数 (日)  
 $Q_{02}$ : 内航の1船当たり輸送量 (k1/隻)  
 $Q_{10}$ : 内航の1船当たり輸送量 (k1/隻)  
 $Q_{11}$ : 内航の1船当たり輸送量 (k1/隻)  
 $d_{ss}(X)$ : 施設の再建日数  
 $Q_{02}$ : 内航の輸送単価 (円/日・隻)  
 $Q_{10}$ : タンクローリーの輸送単価 (円/日・台)  
 $Q_{11}$ : タンク車の輸送単価 (円/日・両)  
 $d_{ss}(X)$ : 配分ルート変更日数 (日)



表-2 運航経費計算表 (対処代替案 3-②)

パースの破壊前				対処代替案による配分 (C港から半製品の受入れ配分)				費用増				
地域	輸送機関	1か月当たり 隻数、台数 (隻, 両, 台)	所要 日数 (日)	輸送単価 (円/隻・日)	輸送総経費 $C_{01}$ (円)	輸送ルート	内航		タンク車 台数 (両)	輸送単価 (円/隻・日)	輸送総経費 $C_{21}$ (円)	費用増 (円)
							隻数 (隻)	日数 (日)				
X港	内航カカ	$L_1$	$K_1$	$q_{a2}$	$C_{01} = (L_1/30) \times K_1 q_{a2} d_{ss}(X)$	C港-A港-X港 (内航) (内航)	$L_1$	$K_{21}$	-	$q_{a2}$	$C_{21} = (L_1/30) \times d_{ss}(X)$	$C_{21} - C_{01}$
Y港	内航カカ	$L_2$	$K_2$	$q_{a2}$	$C_{02} = (L_2/30) \times K_2 q_{a2} d_{ss}(X)$	C港-A港-Y港 (内航) (内航)	$L_2$	$K_{22}$	-	$q_{a2}$	$C_{22} = (L_2/30) \times d_{ss}(X)$	$C_{22} - C_{02}$
Z港	内航カカ	$L_3$	$K_3$	$q_{a2}$	$C_{03} = (L_3/30) \times K_3 q_{a2} d_{ss}(X)$	C港-A港-Z港 (内航) (内航)	$L_3$	$K_{23}$	-	$q_{a2}$	$C_{23} = (L_3/30) \times d_{ss}(X)$	$C_{23} - C_{03}$
D	タンク車	$L_4$	$K_4$	$q_{1n}$	$C_{04} = (L_4/30) \times K_4 q_{1n} d_{ss}(X)$	C港-A港-D (内航) (タンク車)	$L_4^*$ 46/ $Q_4$	$K_{24}$	$L_4$	内航= $q_{a2}$ タンク車= $q_{1n}$	$C_{24} = (L_4 \times 46 / Q_4) \times K_{24} q_{a2} d_{ss}(X) + C_{04}$	$C_{24} - C_{04}$
E	タンク車	$L_5$	$K_5$	$q_{1r}$	$C_{05} = (L_5/30) \times K_5 q_{1r} d_{ss}(X)$	C港-A港-E (内航) (タンク車)	$L_5^*$ 12/ $Q_5$	$K_{25}$	$L_5$	内航= $q_{a2}$ タンク車= $q_{1r}$	$C_{25} = (L_5 \times 12 / Q_5) \times K_{25} q_{a2} d_{ss}(X) + C_{05}$	$C_{25} - C_{05}$
F	タンク車	$L_6$	$K_6$	$q_{1r}$	$C_{06} = (L_6/30) \times K_6 q_{1r} d_{ss}(X)$	C港-A港-F (内航) (タンク車)	$L_6^*$ 12/ $Q_6$	$K_{26}$	$L_6$	内航= $q_{a2}$ タンク車= $q_{1r}$	$C_{26} = (L_6 \times 12 / Q_6) \times K_{26} q_{a2} d_{ss}(X) + C_{06}$	$C_{26} - C_{06}$
G	タンク車	$L_7$	$K_7$	$q_{1r}$	$C_{07} = (L_7/30) \times K_7 q_{1r} d_{ss}(X)$	C港-A港-G (内航) (タンク車)	$L_7^*$ 12/ $Q_7$	$K_{27}$	$L_7$	内航= $q_{a2}$ タンク車= $q_{1r}$	$C_{27} = (L_7 \times 12 / Q_7) \times K_{27} q_{a2} d_{ss}(X) + C_{07}$	$C_{27} - C_{07}$
H	タンク車	$L_8$	$K_8$	$q_{1r}$	$C_{08} = (L_8/30) \times K_8 q_{1r} d_{ss}(X)$	C港-A港-H (内航) (タンク車)	$L_8^*$ 12/ $Q_8$	$K_{28}$	$L_8$	内航= $q_{a2}$ タンク車= $q_{1r}$	$C_{28} = (L_8 \times 12 / Q_8) \times K_{28} q_{a2} d_{ss}(X) + C_{08}$	$C_{28} - C_{08}$
$P_0$						$P_2$						$P_{s2}(X)$

$L_1 \sim L_8$ : 1ヶ月当りの地域別出荷台数 (隻, 両, 台)  
 $K_1 \sim K_8$ : 地域別所要日数 (日)  
 $Q_4 \sim Q_8$ : 内航の1船当たり輸送量 (k l / 隻)  
 $d_{ss}(X)$ : 施設の再建日数  
 $q_{a2}$ : 内航の運輸単価 (円/日・隻)  
 $q_{1r}$ : タンクローリーの運行単価 (円/日・台)  
 $q_{1n}$ : タンク車の運行単価 (円/日・両)  
 $d_{ss}(X)$ : 配分ルート変更日数 (日)

表-3 運航経費計算表 (対処代替案3-③)

		パースの破壊前				対処代替案による配分 (B港から製品の受入れ配分)							費用増
地域	輸送機関	1か月当たり 隻数、台数 (隻, 両, 台)	所要 日数 (日)	輸送単価 (円/隻・日)	輸送総経費 $C_{01}$ (円)	輸送ルート	内航		タンク車 ﾀﾝｸｶｰ		輸送単価 (円/隻・日)	輸送総経費 $C_{01}$ (円)	費用増 (円)
							隻数 (隻)	日数 (日)	台数 (両)	日数 (日)			
X港	内航ﾀﾝｸｶｰ	$L_1$	$K_1$	$Q_{02}$	$C_{01} = (L_1/30) \times K_1 \cdot Q_{02} \cdot d_{ss}(X)$	B港---X港 (内航)	$L_1$	$K_{31}$	-	-	$Q_{02}$	$C_{31} = (L_1/30) \times K_{31} \cdot Q_{02} \cdot d_{ss}(X)$	$C_{31} - C_{01}$
Y港	内航ﾀﾝｸｶｰ	$L_2$	$K_2$	$Q_{02}$	$C_{02} = (L_2/30) \times K_2 \cdot Q_{02} \cdot d_{ss}(X)$	B港---Y港 (内航)	$L_2$	$K_{32}$	-	-	$Q_{02}$	$C_{32} = (L_2/30) \times K_{32} \cdot Q_{02} \cdot d_{ss}(X)$	$C_{32} - C_{02}$
Z港	内航ﾀﾝｸｶｰ	$L_3$	$K_3$	$Q_{02}$	$C_{03} = (L_3/30) \times K_3 \cdot Q_{02} \cdot d_{ss}(X)$	B港---Z港 (内航)	$L_3$	$K_{33}$	-	-	$Q_{02}$	$C_{33} = (L_3/30) \times K_{33} \cdot Q_{02} \cdot d_{ss}(X)$	$C_{33} - C_{03}$
D	タンク車	$L_4$	$K_4$	$Q_{04}$	$C_{04} = (L_4/30) \times K_4 \cdot Q_{04} \cdot d_{ss}(X)$	B港-A港-D (内航) (ﾀﾝｸｶｰ) 46/ $Q_{04}$	$L_4^*$	$K_{34}$	$L_4$	$K_4$	内航= $Q_{02}$ ﾀﾝｸｶｰ= $Q_{04}$	$C_{34} = (L_4/30) \times K_{34} \cdot Q_{02} \cdot d_{ss}(X) + C_{04}$	$C_{34} - C_{04}$
E	ﾀﾝｸｶｰ	$L_5$	$K_5$	$Q_{04}$	$C_{05} = (L_5/30) \times K_5 \cdot Q_{04} \cdot d_{ss}(X)$	B港-A港-E (内航) (ﾀﾝｸｶｰ)	$L_5^*$	$K_{35}$	$L_5$	$K_5$	内航= $Q_{02}$ ﾀﾝｸｶｰ= $Q_{04}$	$C_{35} = (L_5/30) \times K_{35} \cdot Q_{02} \cdot d_{ss}(X) + C_{05}$	$C_{35} - C_{05}$
F	ﾀﾝｸｶｰ	$L_6$	$K_6$	$Q_{04}$	$C_{06} = (L_6/30) \times K_6 \cdot Q_{04} \cdot d_{ss}(X)$	B港-A港-F (内航) (ﾀﾝｸｶｰ)	$L_6^*$	$K_{36}$	$L_6$	$K_6$	内航= $Q_{02}$ ﾀﾝｸｶｰ= $Q_{04}$	$C_{36} = (L_6/30) \times K_{36} \cdot Q_{02} \cdot d_{ss}(X) + C_{06}$	$C_{36} - C_{06}$
G	ﾀﾝｸｶｰ	$L_7$	$K_7$	$Q_{04}$	$C_{07} = (L_7/30) \times K_7 \cdot Q_{04} \cdot d_{ss}(X)$	B港-A港-G (内航) (ﾀﾝｸｶｰ)	$L_7^*$	$K_{37}$	$L_7$	$K_7$	内航= $Q_{02}$ ﾀﾝｸｶｰ= $Q_{04}$	$C_{37} = (L_7/30) \times K_{37} \cdot Q_{02} \cdot d_{ss}(X) + C_{07}$	$C_{37} - C_{07}$
H	ﾀﾝｸｶｰ	$L_8$	$K_8$	$Q_{04}$	$C_{08} = (L_8/30) \times K_8 \cdot Q_{04} \cdot d_{ss}(X)$	B港-A港-H (内航) (ﾀﾝｸｶｰ)	$L_8^*$	$K_{38}$	$L_8$	$K_8$	内航= $Q_{02}$ ﾀﾝｸｶｰ= $Q_{04}$	$C_{38} = (L_8/30) \times K_{38} \cdot Q_{02} \cdot d_{ss}(X) + C_{08}$	$C_{38} - C_{08}$
					$P_0$						$P_3$	$P_{32}(X)$	

$L_1 \sim L_8$ : 1ヶ月当たりの地域別出荷台数 (隻, 両, 台)       $Q_{02}$ : 内航の運航単価 (円/日・隻)  
 $K_1 \sim K_8$ : 地域別所要日数 (日)       $Q_{04}$ : タンクローリーの運行単価 (円/日・台)  
 $Q_{01}$ : 内航の1船当たり輸送量 (k1/隻)       $Q_{04}$ : タンク車の運行単価 (円/日・両)  
 $d_{ss}(X)$ : 施設の再建日数       $d_{ss}(X)$ : 配分ルート変更日数 (日)

表-4 運航経費計算表 (対処代替案3-④)

パースの破壊前		対処代替案による配分 (C港から製品の受入れ配分)						費用増				
地域	輸送機関	1か月当たり 隻数、台数 (隻, 両, 台)	所要 日数 (日)	輸送単価 (円/隻・日)	輸送総経費 $C_{0i}$ (円)	輸送ルート	内航		タンク車 台数(両) 日数(日)	輸送単価 (円/隻・日)	輸送総経費 $C_{4i}$ (円)	(円)
							隻数 (隻)	日数 (日)				
X港	内航カカ-	L <sub>1</sub>	K <sub>1</sub>	Q <sub>02</sub>	$C_{01} = (L_1/30) \times K_1 Q_{02} d_{s3}(X)$	C港---X港 (内航)	L <sub>1</sub>	K <sub>41</sub>	-	Q <sub>02</sub>	$C_{41} = (L_1/30) \times d_{s3}(X)$	$C_{41} - C_{01}$
Y港	内航カカ-	L <sub>2</sub>	K <sub>2</sub>	Q <sub>02</sub>	$C_{02} = (L_2/30) \times K_2 Q_{02} d_{s3}(X)$	C港---Y港 (内航)	L <sub>2</sub>	K <sub>42</sub>	-	Q <sub>02</sub>	$C_{42} = (L_2/30) \times d_{s3}(X)$	$C_{42} - C_{02}$
Z港	内航カカ-	L <sub>3</sub>	K <sub>3</sub>	Q <sub>02</sub>	$C_{03} = (L_3/30) \times K_3 Q_{02} d_{s3}(X)$	C港---Z港 (内航)	L <sub>3</sub>	K <sub>43</sub>	-	Q <sub>02</sub>	$C_{43} = (L_3/30) \times d_{s3}(X)$	$C_{43} - C_{03}$
D	タンク車	L <sub>4</sub>	K <sub>4</sub>	Q <sub>1n</sub>	$C_{04} = (L_4/30) \times K_4 Q_{1n} d_{s3}(X)$	C港-A港-D (内航) (タンク車) 46/Q <sub>0</sub>	L <sub>4</sub> *	K <sub>44</sub>	L <sub>4</sub>	内航=Q <sub>02</sub> タンク車=Q <sub>1n</sub>	$C_{44} = (L_4 \times 46 / Q_{02}) \times K_{44} Q_{02} d_{s3}(X) + C_{04}$	$C_{44} - C_{04}$
E	カカロ-カ-	L <sub>5</sub>	K <sub>5</sub>	Q <sub>1r</sub>	$C_{05} = (L_5/30) \times K_5 Q_{1r} d_{s3}(X)$	C港-A港-E (内航) (カカロ-カ-) 12/Q <sub>0</sub>	L <sub>5</sub> *	K <sub>45</sub>	L <sub>5</sub>	内航=Q <sub>02</sub> カカロ-カ-=Q <sub>1r</sub>	$C_{45} = (L_5 \times 12 / Q_{02}) \times K_{45} Q_{02} d_{s3}(X) + C_{05}$	$C_{45} - C_{05}$
F	カカロ-カ-	L <sub>6</sub>	K <sub>6</sub>	Q <sub>1r</sub>	$C_{06} = (L_6/30) \times K_6 Q_{1r} d_{s3}(X)$	C港-A港-F (内航) (カカロ-カ-) 12/Q <sub>0</sub>	L <sub>6</sub> *	K <sub>46</sub>	L <sub>6</sub>	内航=Q <sub>02</sub> カカロ-カ-=Q <sub>1r</sub>	$C_{46} = (L_6 \times 12 / Q_{02}) \times K_{46} Q_{02} d_{s3}(X) + C_{06}$	$C_{46} - C_{06}$
G	カカロ-カ-	L <sub>7</sub>	K <sub>7</sub>	Q <sub>1r</sub>	$C_{07} = (L_7/30) \times K_7 Q_{1r} d_{s3}(X)$	C港-A港-G (内航) (カカロ-カ-) 12/Q <sub>0</sub>	L <sub>7</sub> *	K <sub>47</sub>	L <sub>7</sub>	内航=Q <sub>02</sub> カカロ-カ-=Q <sub>1r</sub>	$C_{47} = (L_7 \times 12 / Q_{02}) \times K_{47} Q_{02} d_{s3}(X) + C_{07}$	$C_{47} - C_{07}$
H	カカロ-カ-	L <sub>8</sub>	K <sub>8</sub>	Q <sub>1r</sub>	$C_{08} = (L_8/30) \times K_8 Q_{1r} d_{s3}(X)$	C港-A港-H (内航) (カカロ-カ-) 12/Q <sub>0</sub>	L <sub>8</sub> *	K <sub>48</sub>	L <sub>8</sub>	内航=Q <sub>02</sub> カカロ-カ-=Q <sub>1r</sub>	$C_{48} = (L_8 \times 12 / Q_{02}) \times K_{48} Q_{02} d_{s3}(X) + C_{08}$	$C_{48} - C_{08}$
					P <sub>0</sub>						P <sub>4</sub>	P <sub>s2}(X)</sub>

L<sub>1</sub>~L<sub>8</sub>: 1ヶ月当たりの地域別出荷台数 (隻, 両, 台)      Q<sub>02</sub>: 内航の運航単価 (円/日・隻)  
 K<sub>1</sub>~K<sub>8</sub>: 地域別所要日数 (日)      Q<sub>1r</sub>: タンクローリーの運行単価 (円/日・両)  
 Q<sub>0</sub>: 内航の1船当たり輸送量 (kl/隻)  
 d<sub>s3}(X): 施設の再建日数      d<sub>s3}(X): 配分ルート変更日数 (日)</sub></sub>

費用便益分析による接岸ドルフィン の最適断面の評価

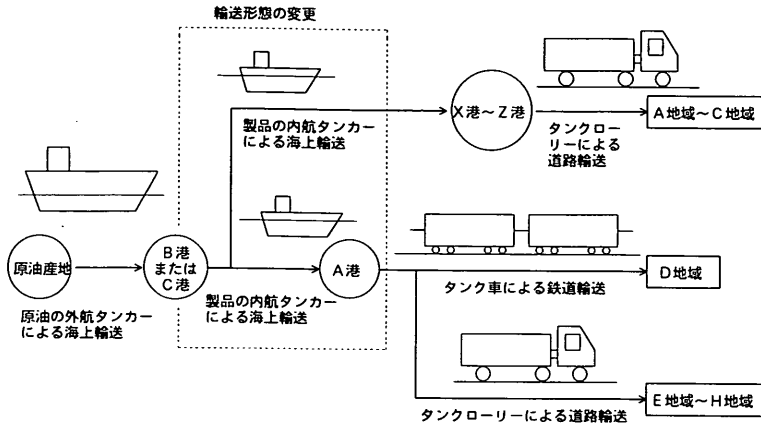


図-8 対処代替案 3-③および 3-④における輸送形態

2.3 破壊確率の計算方法<sup>2)</sup>

(1) 計算モデル

a) SPS の変位復元力特性および破壊確率の計算法の概要

図-9 は SPS に繰り返し荷重を載荷した場合の変位復元力特性の実験結果であるが、変位復元力特性には繰り返し荷重による影響がみられ、また、杭の最大変位および残留変位は載荷回数の増加にしたがい徐々に増大する。したがって、耐用年数中の船舶の接岸時および係留時の繰り返し荷重に対する杭の発生応力、最大変位および残留変位などについては杭の変位復元力特性の履歴を考慮して求める必要がある。また、接岸時および係留時の繰り返し荷重に対して疲労破壊に対する安全性の照査も行う必要がある。

構造物の変位復元力特性が線形であれば、作用荷重が確率変数であったとしても、破壊確率、残留変位および

累積疲労損傷度などを解析的に計算することも可能である。しかしながら、上記のように SPS では変位復元力特性が非線形でかつ繰り返し荷重による影響がみられるので、解析的に破壊確率、残留変位および累積疲労損傷度などを計算することが困難なことから、本研究においては数値シミュレーションを行うことによって破壊確率、残留変位および累積疲労損傷度などを計算することとした。

接岸ドルフィンの安全性に関して以下の限界状態が規定される。

① 終局限界状態

杭の部材断面に降伏応力が発生した状態である。通常、構造物の終局限界状態は構造物が損傷し安定を保てない状態を指すが、ここでは、接岸ドルフィンの構造形式が SPS であるため、ある断面において部材に降伏が生じ、塑性ヒンジが発生した状態で構造自体が不安定となるの

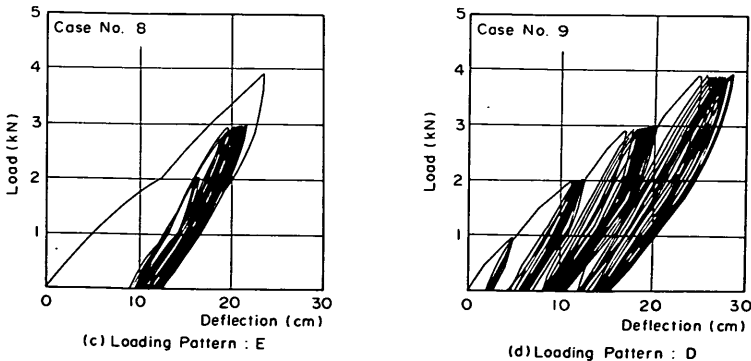


図-9 SPS の繰り返し荷重に対する変位復元力特性

で終局限界状態に達したものとみなす。

② 使用限界状態

杭の最大変位および残留変位が許容値を超え、構造物の機能に影響が生じた状態である。

③ 疲労限界状態

杭が繰り返し荷重の作用によって、疲労限界状態に達する状態である。

b) 破壊確率の計算手法

図-10 は数値シミュレーションのブロックチャート

であるが、耐用年数内に着棧する船舶 ( $k$  回) の接岸時および係留時の荷重に対し、接岸ドルフィンの変位、応力度、残留変位および累積疲労損傷度を計算し、また破壊の有無を判定する。このとき、部材の降伏応力、土質定数 ( $N$  値)、着棧船舶の接岸速度、偏心係数、排水量について乱数値を発生させ、複数の回数 ( $m$  回) の数値シミュレーションを行ない、それぞれのシミュレーションにおいて、耐用年数中における  $k$  回の船舶の接岸時および係留時の接岸ドルフィンの最大変位、最大発生応力

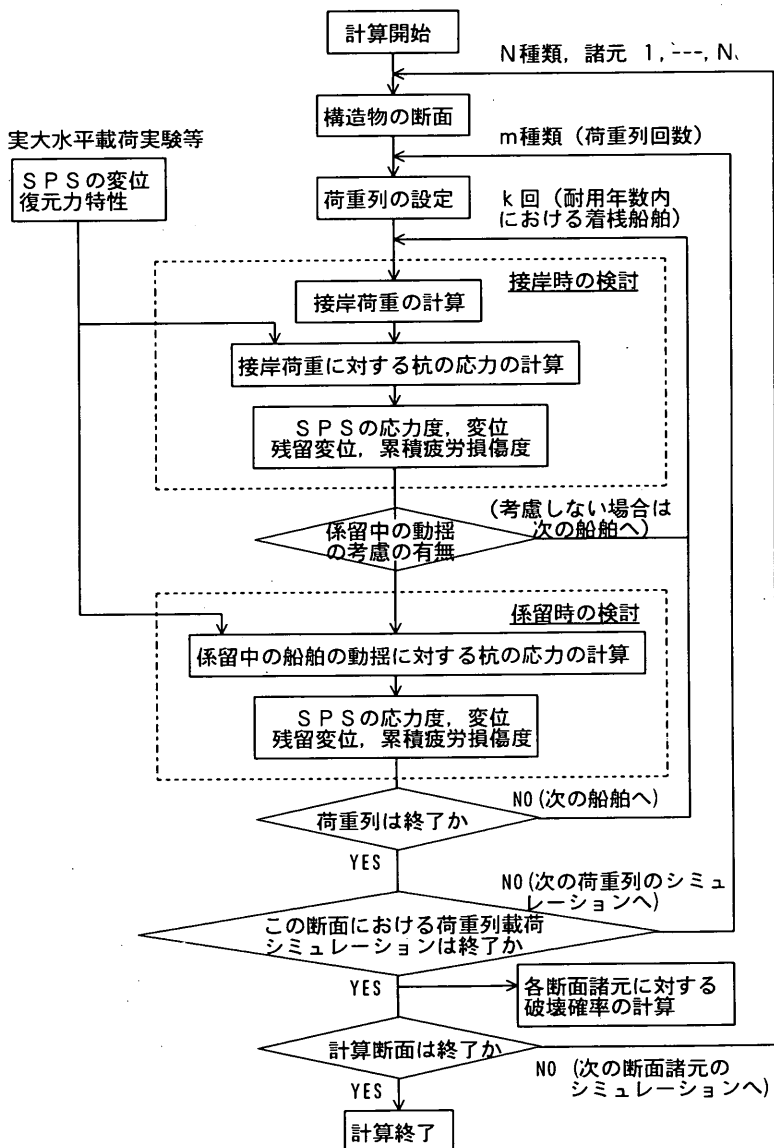


図-10 破壊確率計算のためのシミュレーション手法のブロックチャート

度、残留変位、累積疲労損傷度および破壊確率を計算する。ただし、接岸ドルフィンが比較的静穏な海域に建設され係留時の荷重を考慮しなくとも良いと考えられる場合には図-10に示した係留時の検討の部分は省略し、次の船舶の接岸時の検討を行なう。

荷重列については、乱数初期値を変えて発生させた  $m$  回の荷重列を与える。各シミュレーションでは耐用年数中の各接岸船舶に対応する  $k$  回の荷重が作用することとする。したがって、シミュレーションは以下に示す荷重列に対して行なうこととする。

荷重列No.	荷重列
1	$f_{11}, f_{12}, \dots, f_{1k}$
2	$f_{21}, f_{22}, \dots, f_{2k}$
⋮	⋮
$m$	$f_{m1}, f_{m2}, \dots, f_{mk}$

$m$  回の荷重列                       $k$  回の荷重作用

ここで、 $f_{ij}$  は  $i$  番めのシミュレーションにおける  $j$  回めの船舶の接岸時および係留時の荷重を表わすものとする。

### c) 破壊の判定基準および破壊確率

#### (i) 終局限界状態

各シミュレーションにおいて乱数発生されて得られた部材の降伏応力に対して、各着棧船舶の接岸時および係留時の計算応力度の超過の有無を判定する。計算応力度が降伏応力を超える場合は終局限界状態による破壊とみなして、その荷重列  $f_{ij}$  に対するシミュレーションは終了させる。

#### (ii) 使用限界状態

シミュレーション中の各船舶の接岸時および係留時の荷重に対して最大変位および残留変位を計算し、これらが接岸ドルフィンにおいて設定される許容変位を超えた場合には使用限界状態に対する破壊とみなす。

#### (iii) 疲労限界状態

耐用年数中の船舶の接岸時および係留時の荷重に対して累積疲労損傷度を計算して、疲労破壊の判定を行う。式(14)で示されるマイナーの線形累積損傷則<sup>14)</sup>を用いて、累積疲労損傷度  $D$  を計算する。 $D > 1$  であれば疲労破壊として破壊の回数に加える。

$$D = \sum_{i=1}^N \left( \frac{n_i}{N_i} \right) \quad (14)$$

ここに、

$n_i$ : 応力振幅  $S_i$  (単位 MPa) における載荷回数

$N_i$ : 応力振幅  $S_i$  における疲労寿命回数

である。

#### (iv) 破壊確率

著者らの研究<sup>7)</sup>によれば、船舶の接岸荷重に対する S PS の残留変位は施設配置上特に問題となる量ではないこと、および接岸荷重単独では累積疲労損傷度についても無視し得ることが明らかとなっている。従って本研究では終局限界状態に対して破壊確率を計算することとした。

耐用年数内での構造物の破壊確率  $P_f$  は、 $m$  回の荷重列の作用に対して、構造物が終局限界状態で破壊する回数  $n$  をカウントし、全荷重列の個数  $m$  で除して得られる。

$$P_f = \frac{n}{m} \quad (15)$$

なお、以上の様に変数を乱数発生させてシミュレーションを行なう方法をモンテカルロシミュレーション<sup>15)</sup>と呼び、破壊確率が解析的に得られない場合などに用いられる。

## 3. 原単位の収集

### (1) 調査方法

2. で述べた各対処代替案について負の便益および費用を評価する際原単位を海運および荷役関係の文献等により調査した。

### (2) 調査結果

以下の項目について原単位を調査した。

#### a) 一日当たりの原油処理量

文献(16)を参考に、仮想の製油所と同等規模の製油所における5年間(昭和60年～平成元年)の年間原油処理量を年間処理日数で割って1日当たりの原油処理量を求めた。表-5に調査結果を示すが、1日当たりの原油処理量の計算においては年間の操業休止日数を考慮し年間原油処理量を315日で除して求めた。表に示すように1日当たりの原油処理量は9,260(kl/日)であり、これを式(4)の  $Q$  とする。

#### b) 単位原油処理量あたりの収益

文献(17)および(18)に基づいて、単位原油処理量当たりの収益を評価した。表-5はある石油精製会社における5年間(昭和60年～平成元年)の企業収益を年間原油処理量で割って単位原油処理量あたりの収益を求めた結果について示したものである。年によって企業収益には変動があるので、5年間の平均値を用いることとする。

表-5 年間の処理量および単位原油当たりの収益

年	年間原油 処理量 (kl)	1日あたり 処理量 (kl/日)	収益 (百万円)	単位原油あ たりの収益 (円/kl)
1985	3,087,000	9,800	65	21.1
1986	2,955,000	9,381	2,618	886.0
1987	2,635,000	8,365	1,626	617.1
1988	2,863,000	9,089	1,187	414.6
1989	3,044,000	9,663	1,042	342.3
平均	2,916,800	9,260	1,308	448.3

すなわち、これを式(4)の  $p(Q)$  とする。ただし、年間原油処理量に応じて収益率は変化するが、ここでは、処理量にかかわらず448.3円/klの一定値とする。なお、このほか数社の  $p(Q)$  を調査したが、会社ごとに差異がみられたがオーダー的には差異がなかった。

c) 施設破壊時のタンク備蓄原油量

石油製油会社の数社について、5年間（昭和60年～平成元年）の各年度末の備蓄原油量を調査した<sup>19)</sup>。この結果、備蓄原油量のうち平均して備蓄原油量の約70%が施設の破壊時にとりくずして生産に回せることが確認されたので、これを処理可能な備蓄原油量とした。仮想の製油所については、平均備蓄原油量を373,700klとし、この70%の261,600klを式(5)の  $Q_c$  とする。

d) 地域別の輸送分担率

「荷主情報実務資料（'91年版）」<sup>19)</sup>に記載されている各製油所の機関別の輸送分担率を参考にした。仮想の製油所においては、製品出荷時の機関別の輸送分担率を、内航53%、タンクローリー18%、鉄道23%、パイプライン6%とした。また、地域別の分担率については表-

6のように設定した。

e) 内航タンカーの速力および所要日数

ある製油所に着積する500dwt～5,000dwt級の内航タンカーについて、その速力を「日本船舶明細書」<sup>20)</sup>で調査した。内航タンカーの速力の分布を図-11に示すが、その平均速力は11.2ノットである。また、「内航距

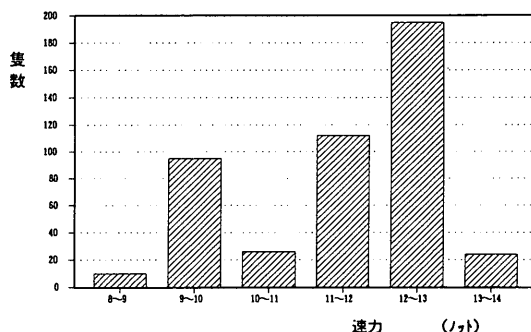


図-11 内航船の速力の分布

表-6 地域別輸送分担

輸送機関	輸送機関別 分担率	地域	地域別 分担率	1月あたりの 隻数, 台数	所要 日数
内航	53%	X港	33%	26 隻/月	1.2
		Y港	33%	26	0.8
		Z港	33%	26	1.7
鉄道	23%	D地域	100%	1,377 両/月	1.0
タンクローリー	18%	E地域	66%	2,224 台/月	0.5
		F地域	13%	438	0.8
		G地域	15%	506	1.0
		H地域	6%	202	0.8
パイプライン	6%	-	-	-	-

## 費用便益分析による接岸ドルフィンの最適断面の評価

離表<sup>21)</sup>により港湾間の距離を求め、これを用いて所要日数を求め表-6に示した。

### f) 外航タンカーの速力および所要日数

外航タンカーの平均速力は文献<sup>22)</sup>に従って15.5ノットとした。所要日数はペルシャ湾から関東圏にある当該製油所までの平均日数が18~19日、インドネシアから当該製油所までの日数が8日であり、入港隻数の加重平均をとり15日とした。

### g) 内航タンカーおよび外航タンカーの運航経費

表-7に運航経費などの一覧表を示す。内航タンカーの運賃協定によれば<sup>23)</sup>、内航タンカーの運航経費は京浜地区と中京地区の間で1,370円/トンである。この間の運航日数を考慮すると、130万円/(日・隻)が得られる。外航タンカーの運航経費はペルシャ湾から関東圏までの平均基準運賃10.04ドル/トン<sup>24)</sup>をベースに200,000dwt級タンカーの1隻当たりの運航経費を計算すると、約7,700万円である。したがって、これに基づいて、1日あたりの運航経費を計算すると、約500万円/(日・隻)である。

表-7 運航経費などの一覧表

項目	費用
タンカーの運航経費 (万円/日・隻)	外航 500 内航 130
タンカーの滞船経費 (万円/日・隻)	外航 500 内航 130
タンカーの荷役経費 (万円/隻)	外航 650 内航 25
タンクローリーの運行経費 (万円/日・台)	8
タンク車の運行経費 (万円/日・両)	12

### h) 内航タンカーおよび外航タンカーの荷役経費

内航タンカーについて、自力で接岸するとして接岸および荷役経費を積算すると約25万円/(日・隻)である。また、外航タンカーについて、入出港の際のタグボートの費用、パイロットの費用、代理店への手数料その他を含めて経費を積算すると、約650万円/(日・隻)である。

### i) 内航タンカーおよび外航タンカーの滞船経費

調査によると、滞船経費は運航経費とほぼ同程度の数値であり、ここでは、内航タンカーについて130万円/(日・隻)、外航タンカーについて約500万円/(日・隻)とする。なお、米澤<sup>19)</sup>は、1,000GTの内航タンカーの1日当たりの滞船経費が約51万円/(日・隻)であることを示しているが、調査した時期および船舶の荷重重

トンが異なるので、本調査による1日当たりの滞船経費は米澤の示した数値よりも大きい。

### j) タンクローリーの運行経費

調査によれば、通常の10トントラックの運行経費は車両の減価償却費2万円、人件費2.5万円、燃料費他1.5万円の合計6万円/(日・台)である。タンクローリーの場合、経費が通常のトラックより平均的に約3割増であるので、1日当たりの運行経費は8万円/(日・台)である。

### k) タンク貨車の運行経費

タンク貨車本体の使用チャーター料は6.5万円/(月・両)である。この貨車を用いて往復2日かかる地点を月15往復するとすれば、1回あたりのチャーター料は約0.5万円/両である。一方、片道に1日要する2地点間の運賃は調査により平均11.5万円/両であった。これらの数値よりタンク貨車の1日当たりの運行経費は12万円/(日・台)である。

### 1) 原油バースの損傷時に製品出入荷バースを原油バースとしての施設転用するための準備日数、費用

原油の入荷に用いる配管系統の改修などの期間および費用を概算すると、準備日数は30日、準備費用は10,000万円となった。準備費用の計算にはやや精度上の問題があるが、後に示すようにこれが計算結果に支配的な影響は及ぼさない。

## 4. 原油バースの破壊に関する費用便益分析

### 4.1 計算条件

#### (1) 検討条件

原油バースの接岸ドルフィンについて以下の条件で断面を設定して費用便益分析を行なう。

#### a) 接岸ドルフィンの構造形式

接岸ドルフィンの構造形式は単杭構造 (SPS) とする。ただし、杭の断面は発生応力度に応じて鋼種および断面を変えて適切に配置するのがより経済的ではあるが、本研究では検討を簡略化するために一様断面とし、港研方式C型地盤<sup>25)</sup>で設計する。使用鋼種は高張力鋼であるSHY685とし、「SPS (単杭構造) の設計の手びき」<sup>26)</sup>にしたがい断面を設計するものとする。また、杭の前面に防衝工を設置してエネルギー吸収を分担させるのがより経済的であるが、ここでは杭の変形のみで接岸エネルギーを吸収させるものとする。

#### b) 検討対象バースおよび着棧船舶の特性

検討対象バースは200,000dwt原油タンカーバースとする。ただし、接岸ドルフィンの設計対象船舶が満載喫水で入港着棧するものとする。



c) 接岸速度の確率分布関数

筆者の一人<sup>27)</sup>による接岸速度の現地調査結果に基づき、これが対数正規分布にしたがうものとして検討を行なう。図-12は調査した3バースの全データをとりまとめて度数分布を示したものである。これらの3バースにおける接岸速度の平均値は4.4cm/sである。ただし、この内の1つのバースにおいては、接岸速度の平均値がこれよりもやや大きく6.2cm/sである。

(2) 検討する接岸ドルフィンの諸元

a) 船舶の諸元

設計において対象船舶とした200,000dwt級タンカーの諸元を表-8に示す。

b) 船舶接岸エネルギーの計算および接岸ドルフィンの断面の計算結果

船舶接岸エネルギーを「港湾の施設の技術上の基準・同解説」<sup>28)</sup>に示された方法にしたがって計算し、これを

吸収可能とする断面を選定した。接岸ドルフィンによる吸収エネルギーは接岸ドルフィンの残留変位の影響を考慮して求めている。また、断面の選定においては上記の接岸速度に対して発生する応力が高張力鋼 SHY 685 の異常時荷重に対する許容応力度5,400kgf/cm<sup>2</sup>を超えないようにして断面を選定している。

各接岸速度に対する接岸エネルギーおよび杭断面の諸元を表-9に示す。断面を求める際の接岸速度を9.0, 11.0, 13.5, 16.0, 21.0cm/sとして得られた断面をそれぞれ、断面1~5としている。これらの接岸速度の数値は平均値4.4cm/s, 標準偏差2.1cm/sの対数正規分布と仮定すると、おのおの1/30, 1/100, 1/300, 1/1,000, 1/10,000未超過確率に相当する。なお、数値シミュレーションにおける接岸ドルフィンの破壊は先にも述べたように鋼材の降伏応力で規定しているため、船舶が上記の接岸速度で接岸ドルフィンに着棧した場合に常に接岸ドルフィンが破壊するわけではない。

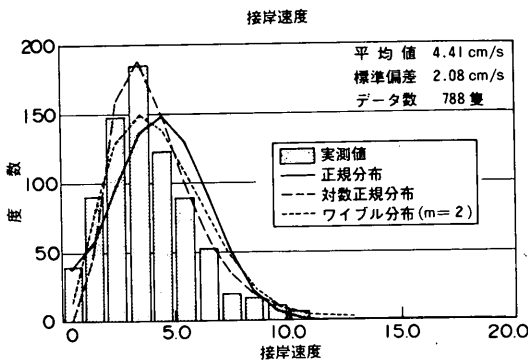


図-12 船舶の接岸速度の確率分布

表-8 船舶の諸元

全長	313.0m
垂線間長	300.0m
船幅	50.6m
型深さ	25.6m
満載喫水	19.6m
排水量	265120tf
ブロック係数	0.790

表-9 接岸ドルフィンの断面

計算条件		断面1	断面2	断面3	断面4	断面5
接岸速度 (cm/s)		9.0	11.0	13.5	16.0	21.0
接岸エネルギー (tfm)		114.4	170.9	257.4	361.6	623.0
杭 諸 元	全長 (cm)	5100	5550	6000	6450	7300
	載荷点高さ (cm)	2250	2250	2250	2250	2250
	根入長 (cm)	2850	3300	3750	4200	5050
	杭径 (cm)	300	350	400	450	550
	肉厚 (mm)	25	30	35	40	50
	断面積 (cm <sup>2</sup> )	1834.2	3270.4	4359.8	5604.6	8560.8
	断面係数 (cm <sup>3</sup> )	1.72×10 <sup>5</sup>	2.81×10 <sup>5</sup>	4.28×10 <sup>5</sup>	6.19×10 <sup>5</sup>	1.16×10 <sup>6</sup>
断面二次モーメント (cm <sup>4</sup> )	2.59×10 <sup>7</sup>	4.92×10 <sup>7</sup>	8.57×10 <sup>7</sup>	1.39×10 <sup>8</sup>	3.18×10 <sup>8</sup>	

4.2 計算結果と考察

(1) 破壊確率の計算結果

表-10に示す条件で着棧船舶の諸元、接岸速度などの時系列を発生させた。ただし、耐用年数を20年と仮定し、年間の着棧船舶数を50隻とし、合計1,000隻の船舶が着棧するものとした。なお、先に示したように載荷重量トンおよび喫水比は設計対象船舶が満載状態で着棧するように条件設定を行なった。また、接岸速度の平均値が4.4cm/sであるケースをCASE-I、平均値が6.2cm/sであるケースをCASE-IIとした。数値シミュレーションにおいては乱数初期値を変えて1,000ケースの計算を行なった。したがって、計算上可能な破壊確率は $1.0 \times 10^{-3}$ である。より小さな破壊確率をシミュレートするためには計算の繰り返し回数を増やす必要があるが、今回のケーススタディにおいては初期建設費に対して破壊に伴う損失費用は後述するように数倍のオーダーであるため上記の計算回数で十分と考えられる。

以上の条件で、耐用年数中の接岸ドルフィンの破壊確率を求め、表-11に示した。ただし、表中の破壊確率は耐用年数中の1,000隻の船舶の接岸に対して、1回でも降伏応力が超える事象が生じた場合を破壊と定義して

式(5)によって求めた数値である。

CASE-Iの条件において、断面1では破壊確率が0.389であるが、これは1,000回のシミュレーションのうち389回のシミュレーションにおいて接岸ドルフィンの破壊が生じたことを意味する。同様に断面2および断面3では破壊確率が0.079および0.002である。また、断面4および断面5については1,000回のシミュレーションにおいて破壊現象が生じなかった。ただし、これは船舶の接岸速度の平均値が4.4cm/sという極めてよくコントロールされた条件で船舶の接岸がなされている場合の計算結果である。同一断面で接岸速度の平均値が6.2cm/sである条件、すなわち、CASE-IIの条件については、CASE-Iに比較して破壊確率が大きく、断面1~5の破壊確率は、それぞれ、0.985、0.411、0.095、0.005、0.0である。

(2) 構造物の初期建設費および再建費用

表-9に示した断面1~5について接岸ドルフィンの初期建設費を計算する。杭は杭径が $\phi 3000 \sim \phi 5500$ mm、長さが50~73mの大口径長尺杭となるため、バイプロハンマーを用いた杭の打設は不可能であるため、海上足場を設置し、杭を直立させた後に内部をリバース

表-10 数値シミュレーションの入力条件

変数	確率分布	平均値	標準偏差	
載荷重量トン(dwt)	正規分布	200,000	1,000	
喫水比	正規分布	1.0	0.005	
接岸速度(cm/s)	対数正規分布	I	4.4	2.1
		II	6.2	2.7
偏心係数	一様分布	0.6	-	
降伏応力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	正規分布	7940	270	
地盤のN値	正規分布	20	5	

表-11 接岸ドルフィンの破壊確率の計算結果

計算条件	断面1	断面2	断面3	断面4	断面5	
接岸速度 (cm/s)	9.0	11.0	13.5	16.0	21.0	
破壊確率	CASE-I	0.389	0.079	0.002	0.0	0.0
	CASE-II	0.985	0.411	0.095	0.005	0.0

削孔し、杭を圧入するという工法で施工することとして初期建設費を計算した。すなわち、初期建設費は鋼管杭の材料費、鋼管杭の運搬および建込み費、杭削孔および根固め費、上部工の材料費および施工費、接岸用受衝パネル等の付帯工費および工事に使用する海上足場などの船舶による回航費などを考慮して計算した。

再建費用としては破壊した杭の撤去費および同一の構造物を施工する費用を考慮した。ただし、破壊した杭の撤去においては、長尺杭であるためバイプロハンマーを用いて引き抜くことが不可能であるため、海底面下1m程度で水中切断することとした。したがって、この場合には全く同一の場所には接岸ドルフィンを施工できないことになる。再建の場合には元の位置から杭径の数倍離れた位置に接岸ドルフィンを再建するものとする。

### (3) 各対処代替案に対する費用便益分析

#### a) 対処代替案1

表-12は対処代替案1による期待総費用を示したものである。また、図-13はこれを図示したものである。対処代替案1では、原油バースが破壊した場合、タンク

の備蓄原油を用いて操業し、備蓄原油が無くなった時点で操業を停止する。操業停止期間には、構造物の再建期間によって変化し、杭の断面が大きき場合には、その期間が長い。ケース1からケース5の再建期間を計算すると、それぞれ、182日、194日、206日、228日、264日である。これに応じて損失費用  $P_{s1}(X)$  が増加している。初期建設費、バースの再建費の期待値および損失費用の期待値から求められる期待総費用は荷重条件がCASE-1では、断面2で最小となっている。また、CASE-IIでは、断面3で最小となっている。 $P_{s1}(X)$  の初期建設費  $C_1(X)$  に対する比は断面1~5について、それぞれ、0.66、0.60、0.56、0.50、0.41である。

#### b) 対処代替案2

表-13は対処代替案2の場合について期待総費用を計算した結果をまとめたものである。また、図-14はこれを図示したものである。初期建設費、バースの再建費の期待値および損失費用の期待値から求められる期待総費用は荷重条件がCASE-1では、断面3で最小となっている。また、CASE-IIでは、断面4で最小と

表-12 接岸ドルフィンの費用便益計算結果(対処代替案1の場合)

計算条件		断面1	断面2	断面3	断面4	断面5
接岸速度 (cm/s)		9.0	11.0	13.5	16.0	21.0
初期建設費 (万円)		<u>97,100</u>	<u>112,500</u>	<u>132,400</u>	<u>166,400</u>	<u>236,900</u>
再建費 (万円)		97,900	113,700	133,900	168,300	239,900
I	破壊確率	0.389	0.079	0.002	0.0	0.0
	再建費×破壊確率	<u>38,100</u>	<u>9,000</u>	<u>300</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
	損失(万円) $P_{s1}(X)$	63,900	68,900	73,900	83,000	98,000
	損失×破壊確率	<u>24,900</u>	<u>5,400</u>	<u>100</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
	期待費用(万円)	160,100	126,900	132,800	166,400	236,900
II	破壊確率	0.985	0.411	0.095	0.005	0.0
	再建費×破壊確率	<u>96,400</u>	<u>46,700</u>	<u>12,700</u>	<u>800</u>	<u>0</u>
	損失(万円) $P_{s1}(X)$	63,900	68,900	73,900	83,000	98,000
	損失×破壊確率	<u>62,900</u>	<u>28,300</u>	<u>7,000</u>	<u>400</u>	<u>0</u>
	期待費用(万円)	256,500	187,600	152,100	167,700	236,900

期待費用は下線部の数値の合計である。

費用便益分析による接岸ドルフィンの最適断面の評価

費用便益計算結果 (対処代替案-1)

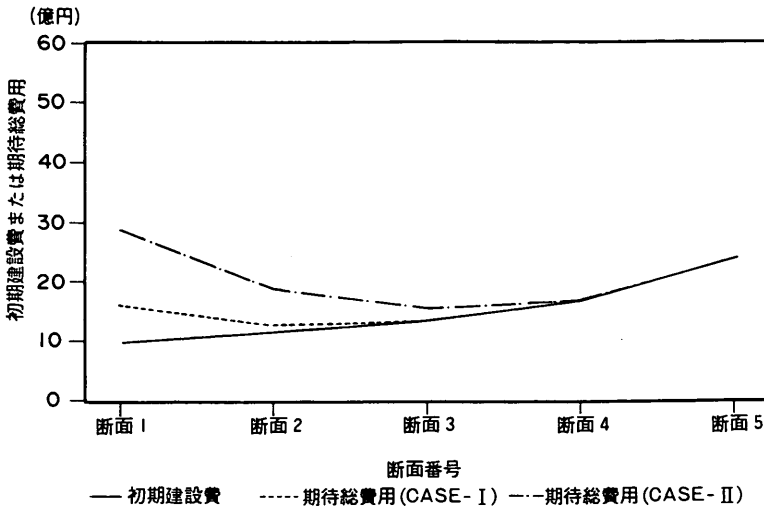


図-13 断面と期待総費用の関係 (対処代替案1)

費用便益計算結果 (対処代替案-2)

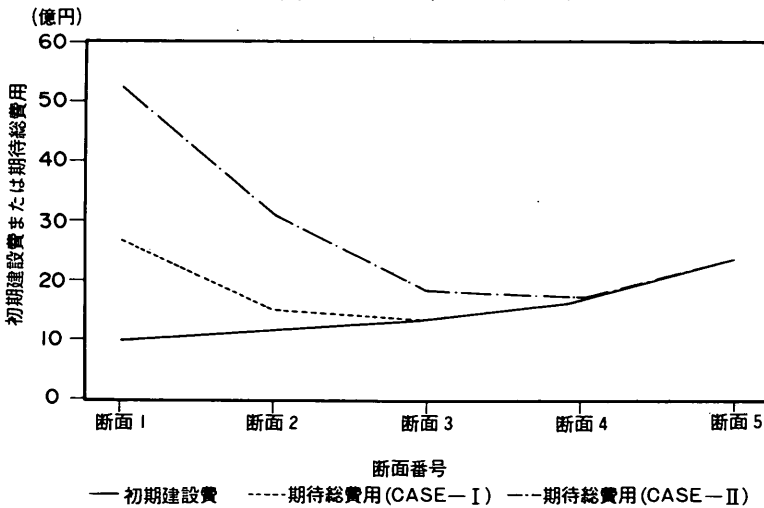


図-14 断面と期待総費用の関係 (対処代替案2)

なっている。これらの期待費用が最小となる断面は対処代替案1の場合よりも大きい。 $(P_{s2}(X) + P_{s3}(X) + P_{s4}(X) + C_0)$ の初期建設費  $C_1(X)$  に対する比は、断面1~5について、それぞれ、3.59, 3.34, 3.01, 2.71, 2.24である。この場合、接岸ドルフィンの破壊による損失費用の中で運航経費の増加額  $P_{s2}(X)$  の寄与が大きい。

c) 対処代替案3

表-14は対処代替案3の場合について期待総費用を計算した結果をまとめたものである。また、図-15および図-16はこれを図示したものである。期待総費用は荷重条件がCASE-1では、断面2で最小となっている。また、CASE-IIでは、断面3で最小となっている。期待総費用が最小となる断面は対処代替案1の場合と同じである。

表-13 接岸ドルフィンの費用便益計算結果 (対処代替案2の場合)

計算条件		断面1	断面2	断面3	断面4	断面5
接岸速度 (cm/s)		9.0	11.0	13.5	16.0	21.0
初期建設費 (万円)		<u>97,100</u>	<u>112,500</u>	<u>132,400</u>	<u>166,400</u>	<u>236,900</u>
再建費 (万円)		97,900	113,700	133,900	168,300	239,900
I	破壊確率	0.389	0.079	0.002	0.0	0.0
	再建費×破壊確率	<u>38,100</u>	<u>9,000</u>	<u>300</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
	運航経費増 $P_{s2}(X)$	252,700	272,500	292,200	329,200	388,900
	$P_{s2}$ ×破壊確率	<u>98,300</u>	<u>21,500</u>	<u>600</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
	滞船経費増 $P_{s3}(X)$	52,800	57,000	61,000	68,900	81,300
	$P_{s3}$ ×破壊確率	<u>20,600</u>	<u>4,500</u>	<u>100</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
	荷役経費増 $P_{s4}(X)$	33,100	35,700	38,300	43,100	51,000
	$P_{s4}$ ×破壊確率	<u>12,900</u>	<u>2,800</u>	<u>100</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
	施設転用費用 $C_s$	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
	$C_s$ ×破壊確率	<u>3,800</u>	<u>800</u>	<u>20</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
	期待費用 (万円)	270,800	151,100	133,500	166,400	236,900
II	破壊確率	0.985	0.411	0.095	0.005	0.0
	再建費×破壊確率	<u>96,400</u>	<u>46,700</u>	<u>12,700</u>	<u>800</u>	<u>0</u>
	運航経費増 $P_{s2}(X)$	252,700	272,500	292,200	329,200	388,900
	$P_{s2}$ ×破壊確率	<u>248,900</u>	<u>112,000</u>	<u>27,800</u>	<u>1,600</u>	<u>0</u>
	滞船経費増 $P_{s3}(X)$	52,800	57,000	61,000	68,900	81,300
	$P_{s3}$ ×破壊確率	<u>52,000</u>	<u>23,400</u>	<u>5,800</u>	<u>300</u>	<u>0</u>
	荷役経費増 $P_{s4}(X)$	33,100	35,700	38,300	43,100	51,000
	$P_{s4}$ ×破壊確率	<u>32,600</u>	<u>14,700</u>	<u>3,600</u>	<u>200</u>	<u>0</u>
	施設転用費用 $C_s$	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
	$C_s$ ×破壊確率	<u>9,900</u>	<u>4,100</u>	<u>950</u>	<u>50</u>	<u>0</u>
	期待費用 (万円)	536,900	313,400	183,300	169,500	236,900

期待費用は下線部の数値の合計である。

$P_{s2}(X)$  の初期建設費  $C_l(X)$  に対する比は、対処代替案3-①の場合には、断面1~5について、それぞれ、1.11, 1.02, 0.97, 0.81, 0.66である。また、対処代替案3-②の場合には、断面1~5について、それぞれ、2.50, 2.30, 2.07, 1.83, 1.48である。対処代替案3-③の場合には、断面1~5について、それぞれ、1.03, 0.95, 0.85, 0.75, 0.61である。対処代替案3-④の場合には、断面1~5について、それぞれ、2.14, 1.97, 1.77, 1.56, 1.27である。当然のことながら、輸送ルートが長距離となるC港の製油基地から半製品または製品を受入れ配分するケースである3-②および3-④において破壊時の損失費用が大きいことがわかる。

#### d) 考察および今後の課題

以上示した手法は接岸ドルフィンの最適安全性を評価する手法もしくは施設立地計画に関する手法としての利用が考えられる。ただし、本研究においては、以下の点について十分検討できなかったのが今後の検討が必要である。

対処代替案については、接岸ドルフィンが破壊することによる負の便益および費用を考慮するモデルとして3つのモデルを提案し検討を行なった。3つの対処代替案について、単純に比較すると、対処代替案1の期待総費用が最小となったが、対処代替案1の場合には操業が停止した時点で、その地域における石油製品の供給が無く

費用便益分析による接岸ドルフィンの最適断面の評価

表-14 接岸ドルフィンの費用便益計算結果 (対処代替案3の場合)

計算条件		断面1	断面2	断面3	断面4	断面5
接岸速度 (cm/s)		9.0	11.0	13.5	16.0	21.0
初期建設費 (万円)		<u>97,100</u>	<u>112,500</u>	<u>132,400</u>	<u>166,400</u>	<u>236,900</u>
再建費 (万円)		97,900	113,700	133,900	168,300	239,900
I	破壊確率	0.389	0.079	0.002	0.0	0.0
	再建費×破壊確率	<u>38,100</u>	<u>9,000</u>	<u>300</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
代3   替案①	運航経費増加 $P_{s2}$	108,100	115,300	122,400	135,500	156,800
	$P_{s2}$ ×破壊確率	<u>42,100</u>	<u>8,500</u>	<u>200</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
	期待費用 (万円)	177,200	130,000	132,900	166,400	236,900
代3   替案②	運航経費増加 $P_{s2}$	242,400	258,400	274,400	303,700	351,700
	$P_{s2}$ ×破壊確率	<u>94,300</u>	<u>19,200</u>	<u>500</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
	期待費用 (万円)	229,500	140,600	133,200	166,400	236,900
代3   替案③	運航経費増加 $P_{s2}$	99,900	106,500	113,100	125,200	144,900
	$P_{s2}$ ×破壊確率	<u>38,900</u>	<u>7,900</u>	<u>200</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
	期待費用 (万円)	174,100	129,400	132,900	166,400	236,900
代3   替案④	運航経費増加 $P_{s2}$	207,600	221,300	235,000	260,000	301,100
	$P_{s2}$ ×破壊確率	<u>80,700</u>	<u>16,400</u>	<u>400</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
	期待費用 (万円)	215,900	137,900	133,100	166,400	236,900
II	破壊確率	0.985	0.411	0.095	0.005	0.0
	再建費×破壊確率	<u>96,400</u>	<u>46,700</u>	<u>12,700</u>	<u>800</u>	<u>0</u>
代3   替案①	運航経費増加 $P_{s2}$	108,100	115,300	122,400	135,500	156,800
	$P_{s2}$ ×破壊確率	<u>106,500</u>	<u>44,400</u>	<u>10,300</u>	<u>500</u>	<u>0</u>
	期待費用 (万円)	300,000	203,700	155,400	167,800	236,900
代3   替案②	運航経費増加 $P_{s2}$	242,400	258,400	274,400	303,700	351,700
	$P_{s2}$ ×破壊確率	<u>238,800</u>	<u>99,600</u>	<u>23,000</u>	<u>1,200</u>	<u>0</u>
	期待費用 (万円)	432,300	258,900	168,200	168,500	236,900
代3   替案③	運航経費増加 $P_{s2}$	99,900	106,500	113,100	125,200	144,900
	$P_{s2}$ ×破壊確率	<u>98,400</u>	<u>41,100</u>	<u>9,500</u>	<u>500</u>	<u>0</u>
	期待費用 (万円)	292,000	200,300	154,600	166,700	236,900
代3   替案④	運航経費増加 $P_{s2}$	207,600	221,300	235,000	260,000	301,100
	$P_{s2}$ ×破壊確率	<u>204,500</u>	<u>85,300</u>	<u>19,700</u>	<u>1,000</u>	<u>0</u>
	期待費用 (万円)	398,000	244,500	164,800	168,300	236,900

費用便益計算結果 (対処代替案-3)

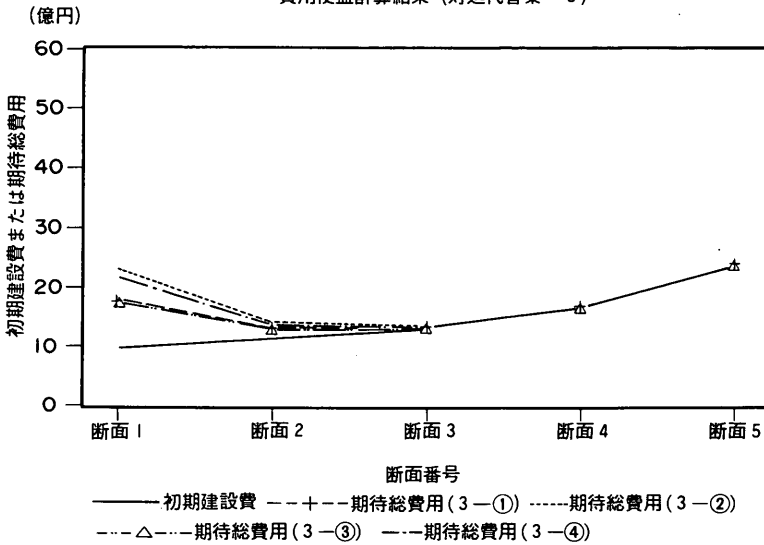


図-15 断面と期待総費用の関係 (対処代替案3, 荷重条件 CASE-I)

費用便益計算結果 (対処代替案-3)

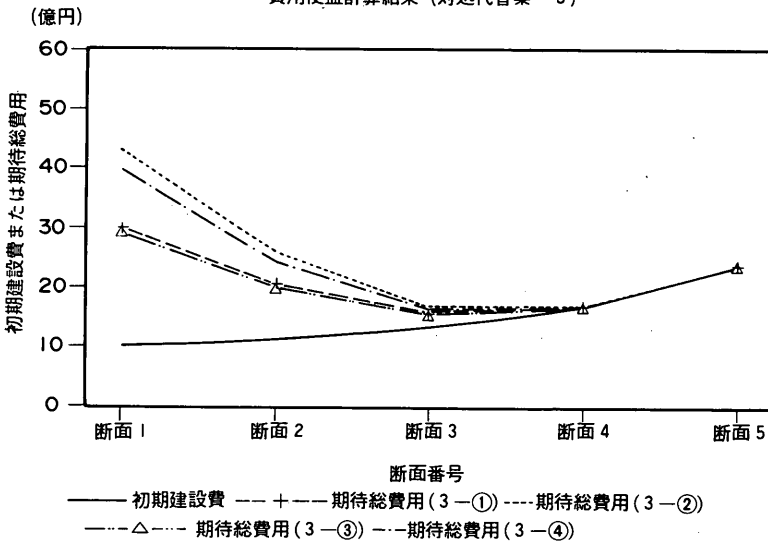


図-16 断面と期待総費用の関係 (対処代替案3, 荷重条件 CASE-II)

なるわけで、その点からはやや現実的な対応ではないと考えられる。実際に石油製品の供給が停止したときのその地域における社会経済的な損失は相当大きいと予想される。対処代替案1のような対応をとるときには、今後は構造物の破壊に伴う社会経済的な間接便益の影響を十分に考慮する必要があると思われる。

今回設定した対処代替案のうち、対処代替案2および

対処代替案3が実際に取り得る対応と思われるが、実際には施設の立地条件によって、他の対応をとることも予想される。例えば、対処代替案2では原油タンカーにかわる内航タンカーの大量の用船が必要となるため、従来の原油処理量のうちの全量を内航タンカーに転換して、受入れるのではなく、対処代替案3による対応との折衷案による対応も考えられる。このような折衷案について

も、本研究で示した手法を多少修正することにより検討が可能である。

最後に本研究では、民間企業の施設が破壊したと仮定した際の費用便益分析を行なったが、先にも示したように地域的な経済波及効果については論じていない。同様の手法を公共バースに適用する場合には、この点にも留意して解析を行なう必要があるため、今後の課題とした。

## 5. ま と め

本研究では、SPS（単杭構造）を用いた接岸ドルフィンについて、これを製油所の原油バースとして利用する場合について、費用便益分析に基づく最適断面の評価手法を検討した。検討においては、まず、船舶接岸荷重の数値を5種類変えて各々について断面設計を行い、断面を決めた。ついで、これらの断面の各々について耐用年数中における船舶の接岸荷重に対する接岸ドルフィンの破壊確率を計算した。また、接岸ドルフィンが破壊した際の原油および製品の出入荷形態についての対処代替案を作成し、各対処代替案に対して接岸ドルフィンの破壊時の出入荷形態の変更に伴う費用および施設の破壊に伴う減収等による負の便益の評価式を作成し、また、これらの費用および負の便益を評価するための原単位を調査した。これらの原単位を用いて接岸ドルフィンの設計荷重を変えて設計した数種の構造断面について、それぞれ、耐用年数中の期待総費用を計算し、期待総費用最小化原則により構造物の最適断面について検討した。

本研究で得られた主要な結論は以下のとおりである。

- (1) 構造物の最適断面を検討する手法として、本研究では費用便益分析手法について、その計算モデルおよび計算式を示した。また、シーバースの接岸ドルフィンを事例に構造物が破壊した場合の対処代替案を示した。
- (2) シーバースの接岸ドルフィンを事例に費用便益分析を行なう際の原単位を調査し、提示した。
- (3) 200,000dwt原油タンカーを対象船舶とする接岸ドルフィンについて3種類の対処代替案による費用便益分析を行ない、最適断面について比較検討した。

(1993年3月31日受付)

## 参 考 文 献

- 1) 上田茂, 高橋邦夫, 木内里美, 田村徹: SPSによる係留施設—単杭ドルフィンの開発, 土木学会誌, 第76巻第3号, 1991. 3, pp. 12~14

- 2) 上田茂, 白石悟: 大変形する単杭構造による接岸ドルフィンの残留変位と累積疲労損傷度, 港湾技術研究所報告, 第30巻第1号, 1991. 3, pp. 267~312.
- 3) 菊池喜昭, 高橋邦夫, 鈴木操: 繰返し水平荷重下で大変形する砂地盤中の杭の挙動, 港湾技術研究所報告, 第31巻第4号, 1992. 12, pp. 33~60.
- 4) 木内里美, 森永勝登, 高橋正美, 広瀬鉄蔵, 榊信昭, 鈴木操: SPS(単杭構造)の設計法に関する基礎的研究, 海洋開発論文集 Vol. 4, 1988. 11, pp. 331~336
- 5) 木内里美, 松下基也, 高橋正美, 掛江正紀, 磯崎総一郎, 鈴木操: 砂地盤に打ち込まれた水平荷重を受ける単杭構造物の挙動に関する実大載荷実験, 海洋開発論文集 Vol. 6, 1988. 11, pp. 107~112
- 6) P. W. Marshall: Risk Evaluations for Offshore Structures, *Journal of ASCE*, Vol. 96, ST 12, 1969. 12, pp. 2907~2929
- 7) 杉山俊幸, 酒井利男, 藤野陽三, 伊藤学: 構造設計における信頼性レベル・安全性の設定に関する考察, 土木学会論文報告集, 第327号, 1982, pp. 21~28
- 8) Kanda, J., Optimum Reliability for Probability Based Structural Design, *Journal of the Faculty of Engineering, The University of Tokyo, Series B*, Vol. XL, No. 4, 1990., pp. 337~349
- 9) 長尚: 総費用最小化原則に基づく最適安全性指標, 構造工学論文集, Vol. 37A, 1991. 4, pp. 543~555
- 10) 長尚: 総費用最小化原則について, 構造物の安全および信頼性, Vol. 2, 1991. 11, pp. 199~204
- 11) 中野勉, 稲村肇: 港湾経済効果の計測手法, 港湾技術研究所報告, 第21巻第2号, 1982. 6, pp. 261~314
- 12) 米澤朗: 日本海中部地震による秋田港の貨物流動の変化と経済被害, 港湾技研資料, No. 497, 1984. 9, 95p.
- 13) 米澤朗: 日本海中部地震による秋田港の貨物流動の変化と経済被害(その2), 港湾技研資料, No. 530, 1985. 9, 48p.
- 14) 例えば岡村弘之, 板垣浩: 強度の統計的取扱い=構造強度信頼性工学, 培風館, 1979. 4, pp. 105~116
- 15) 津田孝夫: モンテカルロ法とシミュレーション—電子計算機の確率論的応用—(改訂版), 培風館, 1977. 11, 245p.
- 16) '91荷主情報実務資料, 内航ジャーナル, 1991
- 17) ダイヤモンド会社要覧1991年版, ダイヤモンド社, 1991
- 18) 1990年版石油産業会社要覧, 石油春秋社, 1990. 2, 201p.
- 19) '87日本の石油科学工業, 重化学工業通信社, 1988
- 20) 日本船舶明細書(1991年版), 日本海運集会所, 1991
- 21) 内航距離表, (株)日本海運集会所, 1990



- 22) 石油の話, 化学工業日報社, 1989
- 23) 内外石油資料1989年版, 石油連盟, 1990
- 24) ワールド・タンカー・フレート・レビュー, J. I. ヤコブ社, 1991
- 25) 久保浩一: 杭の横抵抗の新しい計算法, 港湾技術研究所報告, 第2巻第3号, 1964.3, 37p.
- 26) SPS (単杭構造) の設計のてびき, 財団法人沿岸開発技術研究センター, 1991
- 27) 上田茂: 大型タンカーの接岸力に関する研究, 港湾技術研究所報告, 第20巻第2号, 1981.6, pp.169~209
- 28) 運輸省港湾局監修: 港湾の技術上の基準・同解説(改訂版), 社団法人日本港湾協会, 1989.6, 上巻 pp.17~20

- $d_{fso}$  : バース破壊前の外航タンカーの平均滞船日数 (日・隻)
- $d_{aso}$  : バース破壊前の内航タンカーの平均滞船日数 (日・隻)
- $f_{ij}$  :  $i$  番めのシミュレーションにおける  $j$  回めの船舶の接岸時および係留時の荷重
- $K_i$  : 地域別所要日数 (日)
- $L_i$  : 1 か月当たりの地域別出荷台数 (隻, 両, 台)
- $m$  : 荷重列の作用回数
- $N$  : 耐用年数
- $N_i$  : 応力振幅  $S_i$  における疲労寿命回数
- $N_{ao}$  : 製品受け払いバースの着栈船舶数 (隻)
- $N_a$  : 製品受け払いバースを原油バースとして運用するときの必要着栈船舶数 (隻)
- $N_{f0}$  : 施設が破壊しないときの原油バースにおける必要着栈船舶数 (隻)
- $n$  : 構造物が終局限界状態または疲労限界状態で破壊する回数
- $n$  : 初期建設費の増加曲線の次数
- $n_i$  : 応力振幅  $S_i$  (単位 MPa) における載荷回数
- $P_f$  : 破壊確率
- $P_{s_i}(X)$  : バースの破壊に伴う負の便益および費用 (円) であり,  
 $i=1$  のとき, 操業停止による損失額  
 $i=2$  のとき, 運航経費の増加額  
 $i=3$  のとき, 滞船経費の増加額  
 $i=4$  のとき, 荷役経費の増加額
- $P_i$  : 各配分ルート案  $i$  (上記の①~④) による輸送費用 (円)
- $P_0$  : 現状の配分ルートによる輸送費用 (円)
- $p(Q)$  : 単位原油処理量あたりの収益 (処理量に依存) (円/kl)
- $Q$  : 当該施設における一日あたりの原油処理量 (kl/日)
- $Q_s$  : 施設破壊時の当該施設の使用可能なタンク備蓄原油量 (kl)
- $Q_d$  : 代替バースを利用する場合の内航タンカーの1隻あたり輸送量 (kl/隻) である。
- $Q_f$  : 施設の破壊前の外航タンカーの1隻あたり輸送量 (kl/隻)
- $q_{fs}$  : 外航タンカーの運航経費 (円/日・隻)
- $q_{as}$  : 内航タンカーの運航経費 (円/日・隻)
- $q_{af}$  : 内航タンカーの一日あたりの滞船経費 (円/日・隻)
- $q_{fs}$  : 外航タンカーの一日あたりの滞船経費 (円/

主要記号表

- $B$  : 施設の供用に伴う収益の期待値 (円)
- $B_E(X)$  : 便益費用差 (係留施設の供用期間中の便益からその期間中に必要となる費用を差引いた金額) の期待値 (円)
- $B_{f1}$  : 施設の供用停止に伴う単位期間当たりの負の便益および損失 (円)
- $B_{f2}$  : 施設の供用停止に伴う製品の受け払い方法の変更等による単位期間当たりの費用 (円)
- $C_T(X)$  : 期待総費用 (円)
- $C_i(X)$  : 初期建設費 (円)
- $C_R(X)$  : 施設の供用に要する費用 (円)
- $C_f(X)$  : 建造物の破壊に伴う復旧費および補修費 (円)
- $C_a$  : バースの転用費用 (円)
- $D$  : 累積疲労損傷度
- $d_{s1}(X)$  : 操業停止期間 (日)
- $d_{s2}(X)$  : 代替バース利用日数 (日)
- $d_{s3}(X)$  : 配分ルート変更日数 (日)
- $d_R(X)$  : 施設の再建日数 (日)
- $d_a$  : 代替バースとして利用するまでの準備日数 (日)
- $d_{f20}$  : 施設の破壊前の外航タンカーの運航所要日数 (日)
- $d_{f2}$  : 原油産地から中継基地までの外航タンカーの運航所要日数 (日)
- $d_{a2}$  : 中継基地から製油所までの内航タンカーの運航所要日数 (日)
- $d_{f3}$  : 代替バース運用時の原油を入荷するための内航タンカーの平均滞船日数 (日・隻)
- $d_{a3}$  : 代替バース運用時の製品受け払いのための内航タンカーの平均滞船日数 (日・隻)

費用便益分析による接岸ドルフィンの最適断面の評価

- 日・隻)
- $q_{fa}$  : 外航タンカーの1隻あたりの荷役経費(円/隻)
- $q_{da}$  : 内航タンカーの1隻あたりの荷役経費(円/隻)
- $q_{tr}$  : タンクローリー運行単価(円/日・台)
- $q_{tn}$  : タンク車運行単価(円/日・両)
- $T_{f1}(X)$  : 構造物の破壊に伴う供用停止期間
- $T_{f2}(X)$  : 構造物の破壊に伴う供用停止による出入荷形態が変更される期間
- $X$  : 荷重
- $\tau$  : 損失費用の初期建設費に対する比
- $\nu$  : 安全性向上に伴う初期建設費の増加割合