

地震による港湾被災ふ頭の復旧順位の決定*

Determination of Restorative Priority
for the Damaged Berthes by Earthquake

湯沢 昭** 徳永幸之*** 稲村 肇**** 須田 潔*****
by A.YUZAWA Y.TOKUNAGA H.INAMURA H.SUDA

If the port facilities are damaged by earthquake, the economical loss are occurred in the various industries, which usually use the cargo through the port. There are need long time for restore the port facilities, so that the economical loss are great. In this paper, the economical loss define the additional cost for change the cargo flow from the port to destination. We decide the restorative priority of damaged berthes, that the economical loss will be minimum.

1. はじめに

地震により都市の物流機能や生産機能は一時的には停止するが、物流機能の回復と共に産業活動は急激に回復する。しかし、物流機能が破壊的な損害を受けた場合は、産業活動の回復に大きな影響を与えることが予想される。物流機能の中でも道路等の施設は比較的短期間に復旧することが可能であるが、港湾はその復旧に長期間を要する。事実、昭和58年5月25日に発生した日本海中部地震では、道路の回復は数日で完了したが、港湾施設の復旧には2年程度の期間を要したことが報告されている。このような物流機能の被害は、単に物理的被害だけでなく、各種の経済被害を発生させる。たとえば港湾のふ頭

が使用できなくなることにより、輸送ルートの変更、滞船現象の増大、あるいは原材料や製品の搬出入の停止等が予想され、これらの被害は時として物理的被害以上の損失を生じることがある。このような地震による物流機能の低下によって生じる経済被害に関する研究は現在までにほとんどなく、日本海中部地震に伴う米澤¹⁾の報告がある程度である。それによると経済被害とは、従来より港湾を利用して生産活動を行っている産業及びその産業に関連する産業で、地震による港湾の物流機能の低下を原因として発生した、又は失われた財貨の大きさとする。具体的には輸送方法の変更に伴って支払いを余儀なくされた追加費用、船舶の港湾利用の減少により失われた収入及びこれらに関連して発生する損失額であるとしている。この場合、船舶の港湾利用減少による港湾関連産業の収入減を掲げているが、国民経済的に見た場合は、代替港湾の利用が増加するため総貨物量

* キーワード：港湾計画、地震、経済被害

** 正会員 東北大学助手 工学部土木工学科 (仙台市荒巻字青葉)

*** 正会員 " " " "

**** 正会員 工博 東北大学助教授 " "

***** 正会員 工博 東北大学教授 " "

が変化しなければ全体的にはその収入は変化しないものと考えられる（当然、財貨の帰属先は異なる）。従って、地震による経済被害を最少とするためには、追加費用を最少とすることが必要となる。

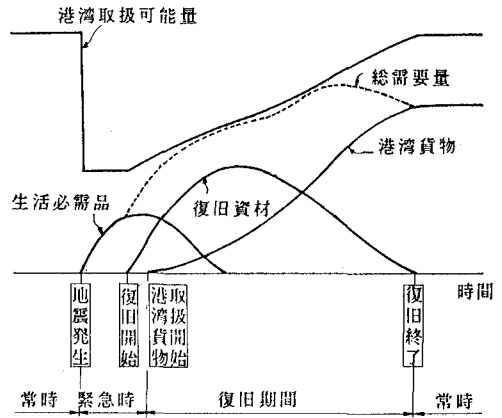
本研究は、物流施設の中でも特に産業活動に大きな影響を与えている港湾を取り上げ、地震により被災したふ頭による経済被害に着目し、被害額が最少となるようにその復旧順位を検討するものである。実際にはどのバースがどの程度の被害を受けるのかがその復旧には大きな要件となる。しかしこの点に関しての検討は本研究では議論せず、バースの破損状況は与えられているものとする。また研究事例としては東海沖地震が想定されている東海地方のA港を取り上げ、現実的な評価を行う。

2. 経済被害の考え方

図・1は、地震後における港湾取扱貨物量の時間的な変化量とその内容を表わしている。地震直後においては、使用可能なバースより緊急時における生活必需品が搬入され、併せて住宅や道路復旧のための資材の搬入やガレキ等の搬出が行われる。これらの期間は地震発生後数日から数ヶ月程度であり、その後背後地の経済活動の再開と共に原材料や製品の物流需要が発生する。しかし完全に港湾機能が回復するには1～2年の期間が必要であり、その期間内においては必要とされる資材の搬出入の確保や背後地の経済被害を最少とするような被災バースの復旧を実施する必要がある。

本研究においては、船舶が港湾に入港し、その貨物が消費地へ輸送されるまでを対象とする（またはその逆もある）。従って、地震による物流機能の被害は大きく港湾部と陸上輸送部の問題に分けることができる。当然一時的には消費地において貨物の搬出量の不足による生産活動水準の低下もあるが、代替港湾利用による貨物量の確保が可能であるとの想定に基づき本論文の対象外とする。

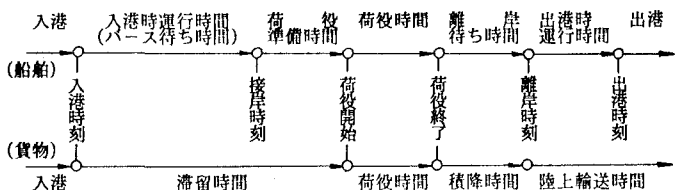
図・2は、港湾における入港から出港までの船舶の一般的行動²⁾と貨物の流動状



図・1 地震前後の港湾取扱貨物量の変化

況を表わしている。被災後における船舶の行動の大きな変化は、荷役可能なバースの減少によるバース待ち時間の増大と、船舶の小型化や夜間荷役や休日荷役による岸壁占有時間（又は入港から出港までの時間）の減少が考えられる。また貨物に着目した場合は、船舶と同様に港湾における滞留時間の増加と荷役時間の減少が、また代替港湾利用による陸上輸送時間の変化である。従って、本論では、その影響が特に大きいと予想される船舶のバース待ちと貨物の滞留時間の増加、及び陸上輸送時間の変化に着目し、これらの時間が最少となるように被災バースの復旧順位を決定する。しかし、入港船舶の船型、貨物の種類によりその被害額は大きく異なるため、船型、貨物の種類別に費用に換算する必要がある。本論では以下に示す費用を考慮する。

- ① 船舶側：船型別の滞船費用と船員費用
 - ② 貨物側：品目別の滞留費用と陸上輸送費用
- 以上の事項を評価するためのシステムとしては、



図・2 港湾における船舶と貨物の流動状況

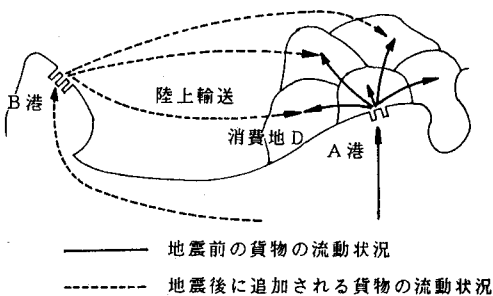
次の要件を満足することが必要とされる。

- ① 船舶毎の入港から出港まで（図・2）の行動が把握できること。
 - ② 大型船舶の着岸不能による船舶の小型化や荷役可能時間の延長による夜間荷役、休日荷役が評価できること。
 - ③ 代替港からの陸上輸送が評価できること。
- また実際の港湾計画に適用するためには
- ④ パースの破損状況（全壊、半壊等）が評価できること。
 - ⑤ 船種による荷役形態（ポンプ荷役やクレーン荷役等）が評価できること。
 - ⑥ パース別の取扱可能品目及び着岸可能船型が評価できること。
 - ⑦ 港湾統計から容易に各種のパラメータが算出できること。
 - ⑧ 入港船舶数（10,000隻／年程度）、パース数（100程度）の処理ができること。

以上の要件を勘案し、本研究では待ち行列型のシミュレーションモデルを作成し、被災パースの復旧順位を決定するシステムを作成する。

3. システムの内容

システムは大きく2つのサブシステムから構成されている。1つは船舶の入港から出港までの行動を評価するものであり、もう1つは港湾から消費地への貨物の搬入（又はその逆もある）を決定する部分



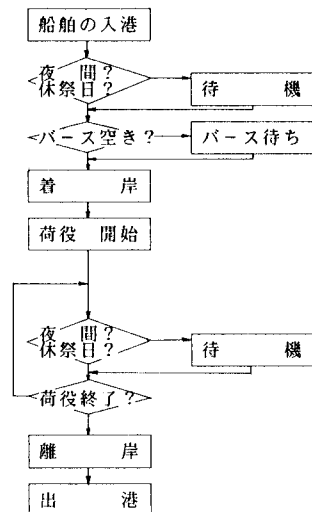
図・3 地震前後の貨物の流動

である。地震前においては図・3に示すようにA港に搬入された貨物は、背後地の消費地Dへ陸上輸送される。それが地震によりA港の使用可能なパースが減少することにより、A港で全く荷役不可能な品目と荷役可能ではあるがA港でパース空きを待つ費用（滞船費用、貨物の滞留費用）よりB港で荷役を行い、消費地Dまで陸上輸送した方が総費用が少ない場合は船舶はB港を選択するものとする。ただし、船舶がA港又はB港に到着するまでの費用とB港での船舶のパース待ち費用は考慮しない。

(1) 船舶の行動システム

図・4は、船舶の入港から出港までのフローを示しており、以下のような仮定に基づいている。

- ① 船舶は、1隻、1品目である。
- ② 入港時刻が夜間（17:00-8:00）の時は翌朝まで、休祭日の場合は平日になるまで待機する。
- ③ 各パースは取扱可能品目と着岸可能な船型の上限・下限が設定されている。
- ④ 入港船舶は、③の条件の中で最も早く荷役を開始できるパースを選択し、着岸する。入港から着岸までに必要な最小時間は、6,000GT以上が2時間、1,000GTから6,000GTまでが1時間、1,000GT未満が0時間とする。



図・4 船舶の入港から出港までのフロー

- ⑤ 着岸したら一定の荷役準備時間（荷役準備時間＋荷役後始末時間 1,000GT 以上が2時間、1,000GT 未満が1時間）の後、荷役を開始する。
- ⑥ 荷役中に夜間又は休祭日になった場合は、②と同様に待機する。ただし、品目が液体の場合は連続荷役とする。
- ⑦ 荷役終了後、ただちに離岸・出港する。

上記のフローで問題となるのが、船舶別の品目別貨物量と荷役時間の算出である。品目別貨物量を決定する上で利用可能な資料としては港湾統計がある。本研究ではこの港湾統計のデータを使用し、以下の手順で入港船舶の品目別の貨物量を推定する（図・5参照）。

- ① 年間取扱貨物量の品目別比率を求める。

$$f_i = F_i / \sum F_i \quad (1)$$

f_i : 品目 i の比率

F_i : 品目 i の年間取扱貨物量 (t)

- ② 式(1) で求まった比率になるよう乱数を発生させ、入港船舶の品目を決定する。

- ③ 品目別船型比率を求める。

$$f_{ik} = \frac{F_{ij}}{\sum F_{ij}} \cdot R_{jk} \quad (2)$$

f_{ik} : 品目 i 、船型階級 k の比率

F_{ij} : 品目 i 、パース j の年間取扱貨物量

R_{jk} : パース j 、船型階級 k の年間入港隻

- ④ 式(2) で求まった比率になるよう乱数を発生させ、船型階級を決定する。

- ⑤ 品目別揚積率を計算する。

$$r_i = F_i / Q_i \quad (3)$$

$$Q_i = \sum [f_{ik} \cdot W_k / R_k]$$

r_i : 品目 i の揚積率

F_i : 品目 i の年間取扱貨物量 (t)

Q_i : 品目 i の船舶の年間入港総トン数

W_k : 船型階級 k の年間入港総トン数

R_k : 船型階級 k の年間入港隻数 (隻)

- ⑥ 最後に揚積率を船型に乗じることにより、貨物量を計算する。

品目別の荷役時間は、式(4)より計算する。

$$t_i = \frac{F_i}{U_i \cdot H_{ik}} \cdot \eta \quad (4)$$

t_i : 品目 i の荷役時間 (h)

F_i : " の貨物量 (t)

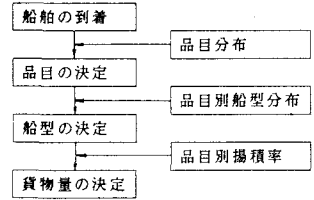
U_i : " の荷役能力 (t/h)

H_{ik} : 品目 i 船型 k の投入ギャング数

η : 荷役効率

荷役能力 U_i は、専用荷役機械を使用

する場合はその能力を、また一般のクレーン荷役等の場合は荷役業者にヒアリン



グ調査を実施し、その値を求める。また投入ギャング数は同じく現地調査の結果、表・1に示す値を使用した。

表・1 品目別投入ギャング数

| 品目(荷姿) \ 船型 (GT) | 10,000 以上 | 6,000 以上 | 3,000 以上 | 1,000 以上 | 100 以上 |
|------------------|-----------|----------|----------|----------|--------|
| 液体(粉体) | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 原木(海面) | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 自動車(自走) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| コンテナ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| その他一般雑貨 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |

(2) 陸上輸送システム

港湾で荷役された貨物は、背後地へ輸送されることになる。輸送機関としては自動車と貨車輸送があるが、実際はその大部分が自動車輸送であるため、本論文では自動車輸送のみを考える。

今、表・2に示すように消費地別に年間品目別需要量が与えられているものとすれば(陸上出入貨物調査)、入港した船舶の貨物(品目 i)の消費地(j)を決定する基準としては、式(5)の供給率の最も小さい消費地を選択し、輸送するものとする。

$$\alpha_{ij} = S_{ij} / D_{ij} \quad (5)$$

α_{ij} : 品目 i 、消費地 j への供給率

S_{ij} : " の累積供給量 (t)

D_{ij} : " の年間需要量 (t)

当然、初期においては全ての消費地共 $\alpha_{ij}=0$ であるため、その場合は D_{ij} の大きい順にその消費地を決定する。

表・2 品目別需要量

| 消費地 j \ 品目 i | 1 | 2 | 3 | ... | 合計 |
|--------------|---|----------|---|-----|----|
| 1 | | | | | |
| 2 | | D_{ij} | | | |
| 3 | | | | | |

(3) 費用の算定

船舶の滞船費用、貨物の滞留費用及び輸送費用は以下のように算出する。

a) 船舶の滞船費用

バース待ちによる滞船費用は、船舶とその船員費用の和とし、船舶の費用はその原価償却費として式(6)より計算する。

$$C1 = \frac{\text{船価 (単価} \times \text{船型)} \times 0.9}{\text{償却年数} \times \text{年間運転時間}} \quad (6)$$

式(6)の船価は、船種・船型により異なるがここではその建造費を採用し、式(7)より算出した(図・6参照)。

$$\left. \begin{aligned} Y &= 180 \text{千円/GT} & X > 20,000 \text{GT} \\ Y &= 605.8 \cdot \text{EXP}(-0.0004129 \cdot X) + 210 & 400 \text{GT} \leq X \leq 20,000 \text{GT} \quad (r=0.948) \\ Y &= 750 \text{千円/GT} & X < 400 \text{GT} \end{aligned} \right\} (7)$$

Y: 単価 (千円/GT)、X: 船型 (GT)

滞船に伴う船員の人件費(C2)は表・3のとおりとする。従って、滞船に伴う船舶側の費用は式(8)のようになる。

$$C1 = (C1 + C2) \cdot t_w \quad (8)$$

t_w : バース待ち時間 (h)

表・3 船員の人件費

| 船型 (GT) | 乗員数 | 人件費 (円/h) |
|-------------|-----|-----------|
| 10,000以上 | 20人 | 33,500 |
| 1,000-9,999 | 10人 | 17,250 |
| 1,000未満 | 5人 | 9,125 |

b) 貨物の費用

貨物の費用は、滞船に伴う滞留費用 (C2) と陸上輸送費用の変化分 (C3) であり、各々式(9)、式(10)のように計算される。

$$C2 = \frac{\text{貨物量} \times \text{単価} \times \text{金利}}{365 \times 24} \times t_w \quad (9)$$

$$C3 = \text{貨物量} \times \text{輸送単価} \quad (10)$$

貨物の品目別単価は、「外国貿易概況」⁶⁾日本関税より貨物量とその金額より算出し、輸送単価は式(11)より算出する(全ての品目共同じとする)。

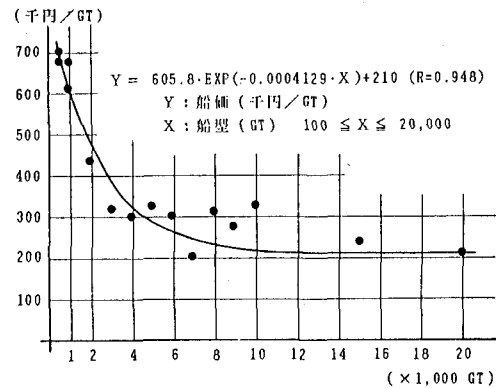
$$\text{輸送単価 (円/10t)} = 213.2 X + 25880 \quad (11)$$

(r=0.9973)

X: 輸送距離 (km)

以上の結果より総費用は式(12)のようになる。

$$C = C1 + C2 + C3 \quad (12)$$



図・6 船型と建造単価

(4) バース復旧順位の決定方法

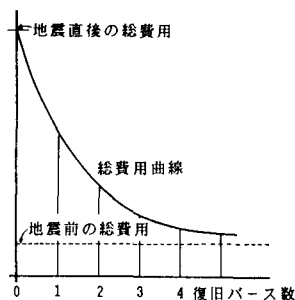
バースの復旧順位の決定は以下の手順で行う。

- ① 被災を受けたバースをシステムから除去し(着岸可能最大船型が减小したバースはそのように設定する)、シミュレーションを行い、式(12)の総費用を求める。当然この場合の総費用は最大となる。
- ② 次に被災したバースを1つだけ現状に回復させ、①と同様に総費用を求める。
- ③ ②の操作を全ての被災したバースに対して実

施し、その中で総費用が最も減少した時のバースを第1復旧順位とする。

- ④ ③で決定したバースは復旧したとして、残りの被災バースに対して①から③の操作を繰り返す。

以上の操作により被災バースの復旧順位は決定できるが、そのシミュレーション回数が全部で $n(n+1)/2-1$ 回 (n :被災バース数)となり、 n の値が大きい場合はその計算量は膨大なものとなるのが予想される。しかし実際にはバースの復旧により総費用は急激に減少するため、上位数番目までのバースの優先順位を決定すれば良い(図・7)。



図・7 復旧バースと総費用

4. 適用事例

地震による被災バースの復旧順位を決定する事例としては、実際の港湾への適用を行う。対象港湾は、近年東海沖地震が想定されている東海地方のA港を取り上げ、地震後の代替港湾としてはB港を想定する(図・3参照)。計算に際しての前提条件は以下のとおりである。

- ① バース数は、66バースとする。
- ② 各バースには、荷役可能品目と着岸可能船型の上・下限が設定されている(表・4)。
- ③ 品目は港湾統計の54品目分類を使用する。
- ④ 品目別荷役能力、揚積率及び単価の一部を表・5に示す。
- ⑤ 地震前の入港船舶数は、同港の港

湾統計より6,313隻/年とし、年間取扱貨物量は約850万トンである(公共バースのみ)。

- ⑥ 荷役時間は8時間とし、また式(4)の荷役効率 η は0.75とする。
- ⑦ 式(6)の償却年数は15年、年間運転時間は300日、式(9)の金利は5%とする。
- ⑧ 地震後の取扱貨物量は、地震前の850万トンに復旧資材64万トンを加え、914万トン/年(6,357隻/年に相当する)とする。
- ⑨ 各バースの被災状況は、表・4に示すように

表・4 バース別の諸データ

| バースNo. | 最大船型 | ランク | 取扱可能品目(番号は港湾統計参照) |
|--------|--------|-----|--|
| 1 | 15,000 | O | 3, 4, 5, 8, 9, 10, 15, 16, 22, 23, 24, 26, 30, 31, 36, 37 |
| 2 | # | O | 38, 39, 42, 44, 48, 50, 53 |
| 3 | # | O | |
| 4 | 2,000 | # | 8, 23, 24, 26, 38, 42, 53 |
| 5 | # | # | |
| 6 | 15,000 | # | 3, 4, 5, 8, 9, 10, 15, 16, 22, 23, 24, 26, 30, 31, 36, 37 |
| 7 | # | # | 38, 39, 42, 44, 48, 50, 53 |
| 8 | # | # | |
| 9 | # | # | |
| 10 | 30,000 | O | 54 |
| 11 | # | # | |
| 12 | 15,000 | O | 25, 31 |
| 13 | # | O | |
| 14 | 700 | # | 16, 20, 22, 48 |
| 15 | # | # | |
| 16 | # | # | |
| 17 | # | # | |
| 18 | 5,000 | # | 8, 9, 38, 42, 48, 50, 53 |
| 19 | 30,000 | # | 54 |
| 20 | # | # | 25, 54 |
| 21 | # | # | |
| 22 | 30,000 | # | 2, 5, 8, 9, 19, 21, 22, 24, 25, 26, 30, 31, 36, 37, 41, 42 |
| 23 | 5,000 | # | 8, 9, 19, 21, 22, 24, 26, 31, 41, 42, 52 |
| 24 | # | # | |
| 25 | # | # | |
| 26 | # | # | |
| 27 | 30,000 | # | 11 |
| 28 | 10,000 | # | 32, 35 |
| 29 | 1,000 | # | |
| 30 | # | O | 32 |
| 31 | 3,000 | # | 8, 42, 53 |
| 32 | # | # | |
| 33 | # | # | |
| 34 | # | # | |
| 35 | # | # | |
| 36 | 700 | # | 8, 42, 53 |
| 37 | # | # | |
| 38 | # | # | 8, 31, 53 |
| 39 | # | # | |
| 40 | # | # | |
| 41 | # | # | |
| 42 | # | # | |
| 43 | # | # | |
| 44 | 3,000 | # | 51 |
| 45 | # | O | 8, 31, 53 |
| 46 | 1,000 | O | 32 |
| 47 | 700 | # | 2, 15, 20, 22, 24, 26, 30, 31, 37, 42, 50 |
| 48 | # | # | |
| 49 | # | # | |
| 50 | # | # | |
| 51 | # | # | |
| 52 | 3,000 | O | 2, 9, 10, 15, 16, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 30, 36, 37, 38 |
| 53 | # | O | 41, 42, 50, 53 |
| 54 | 10,000 | O | 2, 5, 9, 10, 20, 22, 23, 24, 26, 30, 36, 37, 38, 41, 42, 50 |
| 55 | 20,000 | O | 2, 5, 9, 10, 20, 22, 23, 24, 26, 30, 31, 36, 37, 38, 39, 42 |
| 56 | # | O | 44, 48, 50, 53 |
| 57 | 10,000 | O | 1, 11, 28, 31 |
| 58 | # | O | |
| 59 | 20,000 | O | 1, 28 |
| 60 | 10,000 | O | 2, 4, 5, 9, 10, 15, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 30, 31, 36, 37 |
| 61 | # | O | 38, 39, 41, 42, 44, 50 |
| 62 | 1,000 | O | 22, 31, 48 |
| 63 | # | O | 22, 48 |
| 64 | 20,000 | O | 55 |
| 65 | # | O | |
| 66 | # | O | 32 |

被害ランク O 被害なし
1/2 破壊
2/3 破壊
全壊

表・5 品目別荷役能力・揚積率・単価

| 品目 | 荷役能力 (t/h) | 揚積率 | 単価 (万円/ト) |
|-----------|---------------|--------|--------------|
| 1 麦 | 250 | 0.5610 | 4.000 |
| 2 米/雑穀/豆 | 30 | 0.5794 | 3.208 |
| 3 野菜/果物 | 50 | 0.5140 | 13.359 |
| 4 綿花 | 80 | 0.4690 | 34.320 |
| 5 その他農産品 | 50 | 0.4450 | 39.909 |
| 6 羊毛 | | | |
| 7 その他畜産品 | | | |
| 8 水産品 | 30 | 0.5820 | 78.826 |
| 9 原木 | 100 | 1.1180 | 2.608 |
| 10 樹脂類 | 32 | 0.2840 | 20.916 |
| 11 その他木材 | 350 | 0.7370 | 2.366 |
| 12 薪炭 | | | |
| 13 石炭 | | | |
| 14 鉄鉱石 | | | |
| 15 その他金属鉱 | 50 | 1.7230 | 3.647 |
| 16 砂利/石材等 | 50 | 1.4630 | 1.422 |
| . | . | . | . |
| . | . | . | . |

・荷役能力は、荷役機械の能力とヒアリング調査による
 ・揚積率は、式(3)より計算
 ・単価は、「外国貿易概況」、日本関税協会、1985-12より作成

5ランクに分類した。

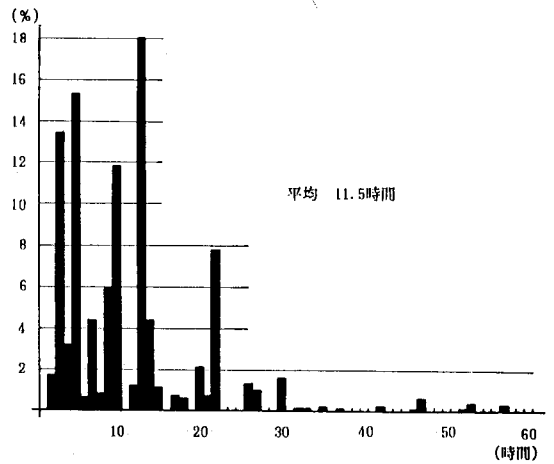
- ⑬ 地震後は、荷役可能時間を8時間と12時間とした場合の2ケースについて検討を行う。
- ⑭ 被災バースの復旧順位を決定する際は、荷役可能時間を8時間とする。
- ⑮ シミュレーションは各々のケース共10回行い、その平均を取る。

図・8は荷役時間の分布(式(4))を表わしており、最小2時間から最大で109時間までに分布しており、平均では11.5時間となっている。図・9は、地震後の入港船舶数と年間取扱貨物量及び平均バース待ち時間の関係を表わしている。8時間稼働の場合の平均バース待ち時間は43.2時間(地震前は0.3時間)と急激に増加する。しかし、荷役可能時間を12時間とした場合は、平均バース待ち時間が1.3時間と減少することがわかる(実際には品目によりかなりのバラツキがある)。

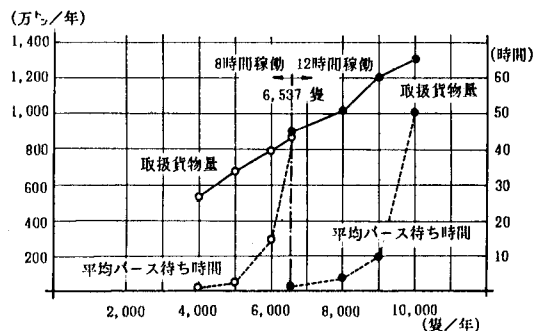
地震後の総費用は、図・10に示すように総額が80.4億円となり、その内訳は滞船費用が48.0億円、陸上輸送費が29.6億円、貨物の滞留費用が2.8億円となっている。地震前においては総費用が0.8億円であるから、その被害額は約79.6億円となる。

次に被災バースの復旧順位は、第1位がバースNo23で復旧率が約40%、2位がNo28、3位がNo24、4位がNo25、5位がNo26と続いている。また第5位まで復旧すると、復旧率は全体の90%に達することがわかる。これらのバースは表・5からもわかるようにいずれも全壊のバースであり、なおかつ取扱可能品目の多いバースである。

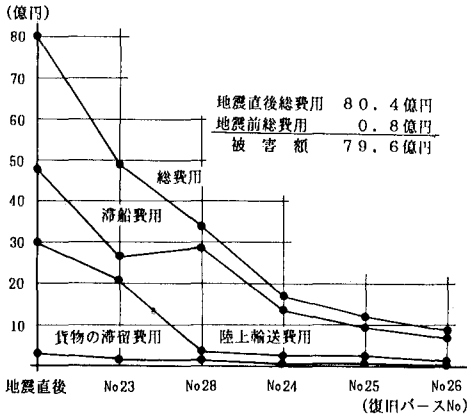
費用の内訳では、復旧前と同様に滞船費用が最も多く、陸上輸送費用はNo28のバースを復旧すると急激に減少する。これは品目35(化学薬品)の地震前の使用可能バースがNo28のみであり、地震後はこのバースが使用不可能になるためである。また貨物の滞留費用は最大でも2.8億円であり、他の費用に比較するとその比率は小さい。



図・8 荷役時間分布



図・9 地震後の入港船舶数と取扱貨物量



図・10 バースの復旧過程と総費用

5. まとめ

本研究は、地震により被災を受けた港湾ふ頭の経済被害に着目し、その費用が最小となるようにバースの復旧順位を決定したものである。被害の内容としては、船舶の滞船費用と貨物の滞留費用及び陸上部での輸送費用の増加を考慮した。その結果、以下のことが明かとなった。

- ① 実際の港湾に適用するための特別の調査としては、荷役能力(荷役機械により異なる)のみであり、その他のデータに関しては港湾統計より作成可能である。
- ② シミュレーションモデルは、船型の変化、荷役時間の変更、代替バース、代替港湾等容易に評価でき、実際の港湾計画に十分適用可能である。
- ③ 地震後は、夜間荷役や休祭日荷役等の荷役可能時間の延長を行えばかなりの貨物量を扱うことが可能である。
- ④ 適用事例では、年間入港船舶数が6,000隻程度と非常に多いため、シミュレーション回数を5回程度に下げてもその結果に大きな差はなかった。
- ⑤ 経済被害の内、貨物の滞留費用は他の費用に比較して小さいため、結果的には滞船費用と陸上部での輸送費用だけで十分であることが明かとなった。

- ⑥ 復旧優先順位の高いバースは、全壊し、着岸可能船型が大きく、かつ取扱可能品目の多いバースである。また取扱量が多い専用バースもその優先順位は高い結果となった。
- ⑦ 優先順位の高いバースをあらかじめ耐震構造化しておくことにより、地震後の経済被害を著しく低下させることが可能である。
- ⑧ 本論文では、地震により被害を受ける港湾を1港として計算を行ったが、バース単位で考えることにより同時に複数の港湾の被災バースの復旧順位を決定する事ができる。
- ⑨ 従って、港湾間の関連や被災港湾整備の優先度等の評価も可能である。

最後に本研究を実施するに当たり、資料の収集にご協力いただいた運輸省第五港湾建設局、(株)日建設計に対し深謝の謝意を表わします。

参 考 文 献

- 1) 米澤：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、No530, 1985.9
- 2) 吉川：地域計画の手順と手法、森北出版
- 3) 大熊・稲村・須田：港湾荷役のシミュレーションモデルの開発、土木計画学研究・講演集、No8, 1986.1
- 4) 住田・米澤：陸上出入貨物調査に基づく港湾貨物の一次流動図集(第9報)、港湾技研資料、No513, 1985.3
- 5) 造船統計月報、運輸省、1982
- 6) 外国貿易概況、日本関税協会、1985.12
- 7) 貨物運賃と各種料金表、交通日本社、1986