船舶と橋梁の杭式緩衝工との衝突解析

清宮 理1・宮城敏明2・石川雅美3・門倉博之4

¹正会員 工博 運輸省港湾技術研究所 構造部(〒239 横須賀市長瀬3丁目1番1号)
 ²正会員 東急建設株式会社 技術研究所(〒229 相模原市田名字曽根下3062-1)
 ³正会員 東急建設株式会社 土木設計部(〒150 渋谷区渋谷1-11-8渋谷清水第一ビ^{*})
 ⁴正会員 東急建設株式会社 情報システム部(〒216 川崎市宮前区宮崎2-13-9)

船舶の橋梁への衝突による両者の被害を最小限にするため橋梁下部工に緩衝工が設置される. 緩衝工の設計 では衝突時の船舶と緩衝工の挙動や損傷度合を推定する必要がある.本報告では二質点系モデルおよび動的有 限要素法により衝突解析を行い,船舶と杭式緩衝工の挙動と被害を推定する.また,両解析手法の違いによる 衝突解析結果の比較を行う.本研究の解析結果から,船首変位や杭頭変位については,両者の解析結果間で比 較的一致することが確かめられた.ただし,質点系モデル解析は,衝突時の全体的な挙動を評価する上で有効 であるが,被害状況については十分追跡できない.一方,有限要素解析は,衝突時の船舶の損傷過程の追跡, 緩衝工の発生断面力の評価および衝突位置による挙動の差を把握する場合に有効であることが確認できた.

Key Words: pile type fender, bridge, ship collision, finite element method, crash analysis, mass-spring model

1. はじめに

「海難審判の状況」¹⁾ および「船舶の衝突力調査報告 書」によれば,昭和36年から昭和55年までの国内の港 湾・海岸構造物への衝突事例は474件となっている.船 舶の構造物への衝突角度は90度が全体の474件数中1/4を 占めるものの,残り3/4の衝突角度は0度から90度まで と多様である.船首からの衝突は,衝突速度も早く大き な被害を船舶と港湾構造物に与える.また,港湾区域で の船舶の衝突速度は10ノット未満(約5.0m/sec)で衝突 した場合が大半であり,その場合,一般に船舶の方が港 湾構造物より被害を受けやすい.また,衝突事故を起こ した船舶は,中型(500G.Tクラス)および小型船舶が多 い.橋梁への衝突例も幾つか報告されている²⁾.衝突事 故の原因として操船間違いや気象の悪化などが挙げられ ている.

近年,本州四国連絡橋,東京湾横断道路,関西国際空 港連絡橋などにみられるように,船舶が輻輳して航行す る海域に大型の橋梁が建設されることが多くなった.社 会的に重要度の高い橋梁では,船舶と橋梁との衝突によ る被害を小さくするため緩衝工が設けられる.一般的に 緩衝工の設計³⁾では多くの条件を想定しなければならな い.すなわち,船舶の大きさ,船舶の航行速度,衝突方 向位置などによって,緩衝工が受ける荷重が異なるた め,それぞれの状況に応じて緩衝工が十分に機能し安全 性を有するよう設計しなければならない.また,衝突に よる船舶の損傷も最小限に留め沈没を免れることが必要 である.

緩衝工が受ける外力は,船舶の衝突による動的な荷重 である.しかしながら,今まで緩衝工の構造設計^(1),5) では,船舶と緩衝工のエネルギー保存および衝突により 生じる動的荷重を静的荷重に置き換えて力の釣り合いを 基に行ってきている.従来の静的な設計法では,実際に 起こりうる多様な衝突状況を考慮することが困難であ る.すなわち,船舶や緩衝工の衝突の時間経過の中で衝 突箇所や衝突形態などの要因による破壊の詳細な状態が 把握できない.そこで,衝突による船舶と緩衝工の挙動 や損傷度合の把握を目的として,構成材料の材料非線形 性を考慮した動的解析による衝突解析を行う.

本報告では,現在提案されている緩衝工の中から杭式 緩衝工を取り上げ,二質点系モデルによる解析(以下, 質点モデル解析)および動的有限要素法による解析(以 下,有限要素解析)を行う.質点モデル解析は,簡易な 計算方法で計算時間も短く,また,入力条件に設定もさ ほど労力を必要としない.設計に使用するのに便利であ る.一方,有限要素解析は,質点モデルと比較して入力 モデルの作成に大きな労力を必要とするとともに演算時 間も長い.しかしながら,船舶や緩衝工の構造を忠実に



図-1 緩衝工の構造

モデル化でき,破壊の進展状況も追跡できる利点があ る.今回,船舶の衝突位置および航行速度をパラメータ にして計算を実施し,それぞれの解析手法の違いによる 船舶と緩衝工との衝突現象の比較検討を行うとともに両 解析手法の有効性について考察を行った.

2. 解析モデル

(1)解析対象

今回の解析対象は、緩衝工として杭式構造物、衝突 船舶は500G.Tの貨物船である.緩衝工の構造を図-1 に示す.この形式の緩衝工は、東京湾横断道路の橋梁 に採用されている.緩衝工の上部はコンクリートブ ロックで船舶の衝突面側にはテーパーが付けられてい る.下部は鋼管杭で構成され海底地盤に固定されてい る.この杭式緩衝工は、海洋橋梁の橋脚部の前面に独 立して設置される.船舶の構造概要を図-2に示す. この貨物船は日本での標準船であり隻数も多いので今



図-2 船舶の構造概要



図-3 質点モデル



写真-1 船首の被害

回取り上げる.船舶と緩衝工との衝突形態は船首衝 突,船尾衝突,船腹漂着など様々であるが,ここでは 衝突事例とした数が多く,また船舶の被害も大きい船 首衝突を取り上げる.船首の破壊状況の一例を**写真** 1に示す.船首衝突により船首部分が圧壊している. しかしながら,船首以外の部分の被害は見られず,被 害は船首に限定されている.船首衝突で良く見られる 破壊形態である.

(2)質点モデル解析

a) 計算方法

質点モデルによる解析^{6).7)}では,図-3に示すよう に船舶および緩衝工をそれぞれ一質点に置き換え,接 触力および杭の抵抗力をばねに置き換える.この場 合,両者の力の釣合から式(1)が得られる.杭および接 触力の荷重変位関係を非線形(今回バイリニアの関 係)として取り扱う.



図-4 荷重と船首の変位量

$$\left. \begin{array}{c} m_{s}\ddot{x}_{s}+c_{s}\dot{x}_{s}=-F(x_{s}-x_{b})\\ m_{b}\ddot{x}_{b}+c_{b}\dot{x}_{b}=F(x_{s}-x_{b})-F_{b}(x_{b}) \end{array} \right\}$$
(1)

ここで, 添字bは緩衝工, sは船舶を示す. mは有効 質量, \ddot{x} は加速度, \dot{x} は速度, x は変位, c は減衰係 数を表し, $F(x_s - x_b)$ は船舶と緩衝工の接触力, $F_b(x_b)$ は緩衝工の杭の抵抗力を表す.

上式を \ddot{x}_{b} = \dot{x}_{b} =0.0, x_{s} = \ddot{x}_{s} =0.0, \dot{x}_{s} =vの初期 条件でニューマーク β 法で数値積分を行う.ここでv は,船舶の航行速度である.また,今回検討する範囲 (衝突速度と衝突時間)では減衰定数の影響はほとん ど無視できるので減衰定数は0.0とする.積分時間間隔 は1msecとし,計算時間は衝突後,船舶と緩衝工とが 再度離れるまでとし,船舶および緩衝工における各々 の質点変位を求め,両者の相対変位にばね定数を乗じ て接触力を算出する.

b) 船首の強度と変形

船首の荷重変位関係では,船首の破壊強度と許容変 形量の設定が必要である.船首衝突では船首が傾斜し ているため、衝突初期では接触面が小さく、衝突が進 行するにつれ船首の圧壊が進行していく.圧壊の進行 につれ、接触荷重は船首の変形量にほぼ直線的に比例 する.船首の傾斜部がほぼ破壊されると変形量が進ん でも、この接触荷重はほぼ一定となる.この状況を図 -4に示す.ほぼ一定値に達したときの圧壊荷重は船 首部側板の座屈荷重とほぼ等しいとされている.座屈 強度 σ_c と船首強度 P_c は式(2)および式(3)により計算で きる⁴⁾.

$$\sigma_{c} = \mathbf{k} \cdot \pi^{2} \cdot \mathbf{E} / 12 (1 - \nu^{2}) \cdot (t/b)^{2} \leq \sigma_{y}$$
 (2)
ここに,弾性係数E=2.06×10⁵MPa,ポアソン比 ν
=0.3,降伏応力 σ_{y} =235.3MPaと設定する.また,kは
率屈係数,tは船側外板厚,aは横肋骨心距,bは縦肋
骨心距を表す.

$$P_{c} = 2 \cdot D \cdot t \cdot COS \theta \cdot \sigma_{c}$$
(3)

ここに、Dは船の深さ、θは船首角度を表す.

船首部の標準型と標準寸法値は,運輸省鋼船構造規 定などにより算出する^{8)~10)}が,それぞれを図-5と 表-1に示す.



図-5 船首部の標準型

表-1 船首部の標準寸法値

構造寸法	記号	標準寸法	単 位	
船の全長	L	_	m	
横助骨心距	a	550 + 2L	mm	
縦助骨心距	b	450 + 2L	mm	
座屈係数	k	$(b/a + a/b)^2$	-	
船側外板厚	t	$0.82 \sqrt{L} + 2.5$	mm	
船の深さ	D	0.08L	m	
船首部先端角度	20	35~70	度	
船首隔壁位置	L _{coll}	0.1L	m	
船首部傾斜の長さ	L _{sf}	0.25D	m	

表-2 船首部諸元

G.T	L(m)	D(m)	a(mm)	b(mm)	k	t(mm)	2 θ (度)	δsf(m)	δsa(m)
500	58.69	4.71	570	670	4.11	9.0	35	1.18	3.91

圧壊荷重と圧壊量の関係は式(4)のように表すことが できる⁴⁾.船首部の許容変位量は船首隔壁位置までの 2/3とする.これ以上圧壊が進むと船舶が沈没する恐れ がある.

以上の計算から算定された諸数値を表-2に示す. 求められた船首の荷重変位曲線は図-6に示すように なる.

5 I



図-7 有限要素解析全体モデル

c) 緩衝工

緩衝工は水深20mの海域に設置されていると仮定す る. 緩衝工に船舶が衝突した場合、基礎杭部分が降伏 し、上部工は破壊しないものと仮定する、すなわち、 上部工は剛体とする、緩衝工の上部工のコンクリート ブロックの寸法は、長さ20m、幅16m、高さ3mで、 その場合の緩衝工の質量は217.3 t である. 緩衝工の基 礎杭は、外径 ø = 1.600mm、鋼板厚さt = 19mm、杭長 L_=26.0mの鋼管杭4本と設定する. 鋼管杭はN値10の 粘性土地盤に打設されており、海底面から6mの位置か ら下を根入れ長とする. 鋼管杭の弾性係数はE=2.06 ×10⁵MPa, 断面2次モーメントL=2.94×10⁻²m⁴, 断面 係数Z_b=36,800cm³と設定する.また,鋼材の降伏応力 σ,を235.3MPaと設定する.ここで,基礎杭を先端固 定,根入れ部をバネ支承の静的フレーム構造として上 記の条件を設定すると、荷重が1,730kNの時、基礎杭 の降伏変位σ₄は0.35mとなる.なお、降伏後はバイリ ニアで表される完全弾塑性と仮定する. その場合の荷 重変位曲線は図-6のように表すことができる.

以上,質点モデル解析に用いる入力条件の一覧を表 -3に示す。今回,船舶が船首から航行速度10ノット および20ノットで緩衝工に衝突する場合の2ケースを 検討する.10ノットは橋梁設置地点の域内でのほぼ最 大の速度である。速度20ノットは通常の沿岸航行では あり得ないが,緩衝工や船舶の最終的な破壊の形態を 確認する目的で設定する。

(3)有限要素解析

a) 使用プログラムの概要

衝突による船舶の破損状態および緩衝工の基礎杭に生 じる変形や断面力の詳細な値の算出を目的に,材料非線 形性を考慮した動的有限要素法解析を行う.解析ソフト は,三次元有限要素法プログラムPAM-CRASHを使用す る.このプログラムは,接触状況が時間毎に異なる接触 問題を取り扱える衝撃問題専用のプログラムである.時 間積分は中央差分法による陽解法で行い,時間増分はク ーランの安定条件により制御されている.用意されてい る要素の種類は,固体要素,板要素,梁要素,ばね要 素,剛体要素などでそれぞれ材料非線形性を取り扱え る.近年の大型コンピュタの発達で数十万自由度の計算 モデルでも現実的な計算時間で解析可能であり,自動車 や列車の衝突問題,飛行体の衝突問題などに利用されて いる.

b) 計算条件

図-7に全体の有限要素解析モデルを示す^{11),12)}.船 体のモデルは船首部分(舳先から9mの範囲)とその他の 部分(50mの範囲)とに分ける.その他の部分は固体要素 とする.船首部分に被害が集中し,船首以外は破壊に直 接影響を与えないと考えたためである.船首部分は薄肉 シェル要素とビーム要素でモデル化する.船首の要素分 割の状況を図-8に示す.鋼材の弾性係数は,2.06× 10⁵MPa,ポアソン比0.3,降伏応力を235.3MPa,密度を 7.8×10³kg/m³と設定する.



緩衝工の上部工は固体要素でモデル化を行う. コンク リートの弾性係数は, 1.47×10⁵MPa, ポアソン比0.2, 密度を2.5×10³kg/m³と設定する. また,基礎杭はVon Misesの降伏則に従う弾塑性ビーム要素とし,鋼材は船 首と同様の材料定数と設定する.

要素数は,船舶が12,000個,緩衝工が4,000個であ る.周囲の水の部分はモデル化していない.有限要素法 での接触力は,船首と緩衝工が接触した節点での節点力 を累加して求める.有限要素解析は,船舶の航行速度を 10ノットと20ノット,衝突位置を船首上部と船首下部と 設定する.衝突位置を図-9に示すが,船首上部の衝突 は船舶がほぼ満載の状況,下部の衝突は空載の状況に対 応する.船首下部の衝突に関しては従来の設計や質点系 モデルで考慮されていない.今回の計算では,船首の形 状による解析結果の違いを確認することを目的として, 船の質量は一定とする.有限要素法の計算ケースを表-4に示す.なお,今回の数値積分計算の時間間隔は4× 10⁶secで,その場合の解析時間は1.0secである.また, 計算ステップは25万回となる.

3. 解析結果

(1)質点モデル解析結果

図-10に速度10ノットおよび20ノットにおける船舶と 緩衝工との接触力を示す。速度が10ノットの場合。最大 接触力は衝突後増加して0.2秒後に6.440kNとなった。0.4 秒後に船舶が緩衝工から離れた.ただし、船首傾斜部全 体の圧壊には至らなかった.速度が20ノットの場合。 0.15秒後から0.29秒後までの範囲で最大接触力が 11,220kNと一定値となり、船首傾斜部はほぼ圧壊したこ ととなった. 図-11に速度10ノットおよび20ノットにお ける船首変位を示す、速度が10ノットおよび20ノットの 場合、それぞれの船首の最大変位量は0.71mおよび1.44 mとなった。特に速度20ノットの場合。船首の変位量は δ_より大きくなったが,船首の許容変位量(3.91m)以内 であった. 図-12に速度10ノットおよび20ノットにおけ る緩衝工の杭頭変位を示す、速度10ノットの場合は1.6 秒後に変位量が0.71mと最大になった。速度20ノットの 場合は基礎杭の変位量は時間とともに増加した.いずれ の場合もる、を越え、杭が降伏した計算結果となった.



図-13 変位量が最大となる時の接触状況(ケース3)





(2)有限要素解析結果

図-13~図-16に有限要素解析による船舶と緩衝工 の接触状況を示す.接触力,船首変位量などは次項で述 べる.これらの図より,いずれの計算ケースでも船首部 分が緩衝工の上部工にくい込んだ.また,船舶の衝突位 置や衝突速度により船首の損傷度合がかなり異なった. 速度10ノットで船首の上部が緩衝工に衝突する場合,図 -13に示すように衝突後0.4秒後に船首の変位量が1.11 mと最大になり船首部分が圧壊した.速度が20ノットの 場合は、図-15に示すように衝突後0.6秒後に船首の変 位量が2.53mと最大になった.速度10ノットと比較し て,速度20ノットで衝突した場合,船首の変位量は約2 倍と損傷度合が大きくなり,緩衝工の上部工に大きくく い込んでいるが,船首傾斜部全体の圧壊には至っていな い.船首の下部が衝突するケースにおいても同様な損傷



図-14 変位量が最大となる時の接触状況(ケース4)



図-16 変位量が最大となる時の接触状況(ケース6)

の傾向であった.しかしながら,船首上部が緩衝工に衝 突する場合の方が,船首下部が衝突するよりも船首の損 傷度合が大きくなった.この原因は,船首下部が船首上 部に比べ形状が扁平で骨組が密に配置されていて剛性が 大きいからである.速度10ノットの場合における衝突1 秒後の基礎杭に生じる曲げモーメントを図-17(ケース 3)および図-18(ケース4)に示す.両ケースにおい て,基礎杭の最大曲げモーメントは今回の計算時間内で は衝突1秒後に算出され,その値はそれぞれ5.581× 10⁶N·m,7.459×10⁶N·mであった.ケース3の場合が小 さい値となった.その理由は,ケース3の場合に船首の 変形によるエネルギー吸収が大きいことによる.いずれ の場合も降伏には至っていない計算結果となった.ま た,ケース5の場合は衝突0.8秒後に降伏に至った.



図-17 基礎杭の曲げモーメント(ケース3)

図-18 基礎杭の曲げモーメント(ケース4)

表-5 解析結果比較

ケース名	解析手法	航行速度 (ノット)	衝突位置	最大接触力 (kN)	最大船首変位 (m)	1.0秒後の 杭頭変位(m)
1	質点モデル解析	10	-	6,440	0.71	0.54
2	質点モデル解析	20	-	11,220	1.44	1.08
3	有限要素解析	10	上部	35,000	1.11	0.24
4	有限要素解析	10	下部	57,380	0.66	0.25
5.	有限要素解析	20	上部	43,610	2.53	0.45
6	有限要素解析	20	下部	87,430	1.19	0.48

(3)解析結果の比較

質占モデル解析および有限要素解析における各ケース の解析結果の一覧を表-5に示す.まず速度10ノットの 場合の計算結果の比較を行う、図-19に示すように質点 モデル解析での船首と緩衝工との最大接触力は6.440kN であった、有限要素解析では船首の上部での衝突と下部 での衝突の最大接触力は、それぞれ35,000kN, 57,380kN となり質点モデル解析の約5倍および約9倍となった. この大きな相違の原因は、有限要素解析では船首の破壊 の後、船体全体の力が緩衝工に作用するためであり、一 方, 質点系モデル解析では船首の破壊以上の荷重が作用 しないとして解析を行っているためである.また、最大 の接触となる時間は、質点モデル解析と船首上部で衝突 する有限要素解析で0.2~0.4秒であるが船首下部で衝突 する場合は0.16秒と早く、また0.26秒後には接触力は 0kNとなった、これは船首下部の剛性が船首上部より高 いためである。

図-20に示すように船首変位は、質点モデル解析と有 限要素解析の船首下部衝突の場合がほぼ同値であった. また、ケース4は質点系モデルと同様、変位が元の位置 に戻る傾向があった.しかしながら、ケース3の場合、 その後は一定値に収束していた.ただし,船首変位はどの計算例においても、 δ_{sr} 以下となり、緩衝工が十分機能したと考えられる. $\mathbf{20-21}$ に示すように衝突0.4秒後の杭頭変位は、ケース1およびケース4においてほぼ同じ値であった.しかしながら、ケース4での杭頭変位は0.6秒後一定値に収束したが、質点系モデル解析では時間の経過とともに増加した.その理由として、両解析における降伏条件の違いによるものと思われる.

次に,速度20ノットの場合の計算比較を行う.図-22 に示すように質点系モデル解析における最大接触力は 11,220kNであり,有限要素解析における値は約4倍およ び約8倍となった.図-23に示すように船首変位は速度 10ノットの場合に比べ,変位量は約2倍と大きくなり, いずれのケースの場合も船首部の変位はる_{st}以上となっ た.しかし,両解析においてもる_{ss}を越えておらず,船 首が完全に圧壊しないという結果となった.図-24に示 すように杭頭変位は,速度10ノットの場合に比べ,変位 量は約2倍と大きくなっているものの,変位の傾向は同 じでいずれの計算例でも杭が降伏し,衝突後船舶と緩衝 工が離れても緩衝工が元の位置に戻らなかったことを示 している.



4. 結論

500G.Tの船舶と杭式緩衝工の衝突問題を二質点系モデルと動的有限要素法により解析を行った.これらの解析の結果より,以下のことがわかった.

1) 質点モデル解析と有限要素解析とも速度10ノットお よび20ノットで船舶が衝突した場合,船首部はほぼ破壊 しているが,船首の許容変位量には達していなかった. 今回の解析条件では,緩衝工との衝突により船舶の致命 的な損傷には至らないと計算された.また,有限要素解 析では,衝突位置が船首上部の場合は船首変位は元に戻 らず,衝突位置が船首下部の場合は船首変位は元に戻 らず,衝突位置が船首下部の場合は元の位置に戻る結果 となった.このように,有限要素解析では,衝突位置の 違いによる船首変位の時刻歴応答の違いが表現できる.

2)速度10ノットと速度20ノットのいずれの場合も,緩 衝工の杭頭変位の時刻歴応答は,質点モデル解析結果と 有限要素解析結果は同じ傾向であった.また,速度20 ノットの場合,杭頭変位は解析時間内に収束しておら ず,基礎杭は降伏していた.ただし,いずれの場合も船 舶に重大な損害を与えない観点から緩衝工の有効性が確 認できた.

3) 有限要素解析による船舶と緩衝工の接触力は,質点 モデル解析の4~9倍となった.この原因は,質点モデ ル解析では船首の破壊後に船舶本体の緩衝工への接触荷 重を考慮していないためである.このように両解析法で は,接触力の計算結果が必ずしも良い一致を示さなかっ た.しかしながら,有限要素解析では,衝突位置の違い による接触力の時刻歴応答の違いが表現できた. 4) 質点モデル解析では,船舶と緩衝工を二質点に置き換 えた簡易なモデル化を行うことにより,入力条件の設定 が容易で計算時間も非常に短くてすむ.衝突時の全体的 な挙動を評価する上で有効であることと言える.一方, 有限要素解析では,船舶と緩衝工を正確にモデル化する ことにより,モデルの作成や計算に多くの時間が必要で あるが,衝突時の船首の損傷度合や基礎杭の応力状態の 評価および衝突位置の違いによる挙動の相違などを把握 することができ,衝突現象の再現に有効であると考えら れる.

5.おわりに

今回得られた結論は,限られた計算条件下で導かれて いる。今後更に解析を進めて計算法の適用性について検 討を進めたい。また、今回の有限要素法の解析手法の妥 当性については、既に船舶と防波堤の事故の例の解析⁽¹⁾ や自動車での衝突実験との比較検討から妥当性が証明さ れていると考えられるが、今後緩衝工を対象とした模型 実験などを通じて本解析法の適用性について検討を進め たい。また、今回考慮していなかった船舶周囲の水の造 波抵抗の影響や各種の衝突形態(漂着、船尾衝突など) について検討をしていきたい。

謝辞:本研究にあたり,安藤浩平氏ならびに新関浩氏 (日本イーエスアイ)には多大なご協力をいただいた. ここに記して感謝の意を表します.

参考文献

- 1) 海難審判庁:海難審判の状況(1961年~1980年)
- 2)建設省土木研究所:防衛工の緩衝工に関する調査研究報告
 書,土木研究所資料,第2885号,p.85,1990.3.
- 本州四国連絡橋公団:多室型緩衝工の設計要領(案),
 p.59, 1980.3.
- 4)長沢 準他:通行船舶の橋脚衝突時の圧縮強度について、日本造船学会論文集,第142号 pp323-332, 1977.11.
- 5)清宮理:土木学会,構造工学シリーズ6構造物の衝撃
 挙動と設計法,第VIII船舶の衝突に関する海洋構造物の設計法,pp.293-312,1994.1.
- 6)清宮理:港湾構造物への船舶の衝突,第1回落石等による衝撃問題に関するシンポジウム,pp.15-18,1991.3.
- Mavrikos, M., Joao and Oliveria de G.: Design against collision for offshore structure, Report No.MTSG 83-7 pp.164, 1983.4.

- 8) 運輸省:鋼船構造規定, 1968.8.
- 9) 寺内 潔,吉田行秀,奥山育英:船舶の主要寸法に関す る研究,港湾技術研究所報告,第17巻4号,pp.265-328, 1978.12.
- 日本港湾協会:港湾の施設の技術上の基準:同解説, pp.14-16, 1988.6.
- 門倉博之,清宮 理,宮城敏明,石川雅美:有限要素法 による港湾構造物の衛突解析,土木学会第50回年次学術 講演会第6部門,pp.58-59,1995.9.
- 12)清宮理,安藤浩平,遠藤正司,アンドレプディン:3次元有限要素法による船舶の鉄筋のコンクリート製ケーソンへの衝突解析,第2回落石等による衝撃問題に関するシンポジウム,pp.45-48, 1993.6.

(1995.6.13 受付)

EVALUATION OF COLLISION ANALYSIS OF SHIP TO PILE TYPE FENDER

Osamu KIYOMIYA, Toshiaki MIYAGI, Masami ISHIKAWA and Hiroyuki KADOKURA

Fender is installed at the front of bridge pier to minimize damage by ship collision. In the design of the fender, evaluation of damages of both a ship and the fender is important. Dynamic response analyses by mass-spring model and finite element method considering non-linear properties of materials are carried out to estimate the both damage by ship collision. Computer program of PAM CRASH is adopted for this collision analysis. Calculation results about fender movement, damage of ship and so on between two models show fairly good agreement. However, impact load between them does not show good agreement. In the mass-spring model, details of damage of the ship and the fender can not be pursued. In the finite element method, this methodis very effective for analysis of ship collision process.