被衝突時における海洋構造物の弾性応答 に関する基礎研究 (第 2 報)

——変形の階層性に基づく現象の分類——

正員 上 田 幸 雄* 正員 村 川 英 一*
正員 項 殿 祥**

Fundamental Study on Elastic Response of Offshore Structures under Collision
(2nd Report)

——Classification of Phenomena Based on Hierarchical Nature of Deformation——

by Yukio Ueda, *Member* Hidekazu Murakawa, *Member*
Dianxiang Xiang, *Member*

Summary

When offshore structures are collided with supply boats, the damages or the plastic deformations are limited within the collided members in most cases. The supporting structures which support the collided member only oscillate elastically. Though no damage is caused in themselves, the dynamic characteristics of the supporting structures are very important to study the motion of the collided members and to predict the degree of the damages.

To clarify the dynamic characteristics of the supporting structures, the authors employed the modal synthesis. The types of the dynamic characteristics are classified using the number of the dominant vibration modes as an index. Further, it is shown that the index can be related to direct physical parameters such as collision time and vibration period of the structure. It is also shown that these parameters can be estimated using the static finite element analysis and a simple dynamic analysis of a spring-mass model with three degree of freedom. Based on the above study, a flowchart which shows the procedure to model or to idealize the given collision problem is proposed and its validity is demonstrated through numerical examples.

1 緒 言

船舶や落下物による衝突事故に対する海洋構造物の安全性に関して、損傷の予測および損傷を有する海洋構造物の残留強度評価などの分野で多くの研究が行われてきた¹⁾。ただし、それらの多くは被衝突部材単体を対象とした準静的実験または理論的検討であり、問題を動的現象として取り扱った研究は少ない。

著者らは、被衝突時における海洋構造物の損傷予測を目的として、変形の階層性に注目した一連の研究^{2), 3)}を行ってきた。ジャケット型やジャッキアップ型の海洋構造物はパイプ構造であり、被衝突時の変形は、衝突点近傍の局部変形、被衝突部材の曲げ変形および被衝突部材

を支持する支持構造物の変形の 3 段階に分けることができる。前報³⁾では、被衝突部材単体の衝突応答を理論的に分析し、これに基づき現象の分類を行った。すなわち、剛性係数および質量係数の二つのパラメーターを用いて、現象を一自由度振動、二自由度振動、高次振動の 3 タイプに分類した。しかし、現実の海洋構造物では、被衝突部材は支持構造物により弾性支持されており、支持構造物の変形が衝突応答に及ぼす影響は無視できない。この点については Petersen⁴⁾も指摘しているが、詳細な検討はなされていない。

そこで本報告では、支持構造物に注目し、まず、その動的特性を明らかにするとともに、構造全体の衝突応答に及ぼす影響を検討する。そのための解析法としては、被衝突部材と支持構造物の動的特性が独立に表現できるモード合成法⁵⁾を用いる。一方、支持構造物の応答特性

* 大阪大学溶接工学研究所

** 大阪大学工学部 (大学院)

Fig. 1 Substructures in the modal synthesis

に関しては、荷重および構造物の特性を代表する物理量、すなわち、衝突時間と構造物の基本的振動周期等をパラメーターにして分類を試みる。

次に、構造物と衝突条件が与えられた時に、上述のパラメーターを推定し、支持構造物の応答特性および構造物全体の応答のタイプを予測する方法および手順を示す。さらに、得られた予測に基づき、詳細解析における問題のモデル化、特に支持構造物の取り扱いについて指針を示す。

2 モード合成法

海洋構造物の衝突解析およびその前段階である支持構造物の応答特性を分類する作業のために有効な動的解析法としてモード合成法を採用した。この章では、モード合成法の概要と特長について述べる。

2.1 モード合成法の概要

モード合成法の概要を Fig. 1 に示された単純なフレーム構造を例に説明する。まず、構造物を被衝突部材を想定した部材 A と、これを支持する支持構造物 B に分け、それぞれを梁要素等で要素分割する。便宜的に、A、B に分割された構造を部分構造、分割する前の構造物全体を全体構造と呼ぶことにする。また、部分構造間の境界を C で表わす。境界 C 上の変位を境界変位と呼び、境界変位が持つ全自由度を n_c とする。一方、部分構造 A、B の内部自由度をそれぞれ n_a 、 n_b とすると、各部分構造の自由度は $n_a + n_c$ 、 $n_b + n_c$ であり、全体構造の全自

由度は $n_a + n_b + n_c$ となる。

モード合成法の特徴は、節点変位という直接的な物理量ではなく、モード座標上で定義された一般化変位を用いて部分構造の運動を記述する点にある。特に、ここで用いた拘束モード型のモード合成法⁵⁾では、変形モードとして境界変位を拘束した状態での固有振動モードと、境界に強制変位を与えた時の静的弾性変形モードが使われる。したがって、部分構造 B を例にとれば、その運動は、 n_b 個の振動モードと、 n_c 個の静的モードで記述され、これらのモードはそれぞれ固有値解析および静的解析により定められる。ところで、全体構造の応答が低次モードの振動成分で支配される場合には、部分構造の自由度として、全ての振動モードを考慮しなくても、少数の低次モードのみを用いて十分な精度の解析が可能である。このように抽出された低次モードを卓越モード、また、その数を卓越モード数と呼ぶことにする。例えば、部分構造 A、B における卓越モード数がそれぞれ N_a 、 N_b であったとすると、全体構造物の自由度は $N_a + N_b + n_c$ に低減される。

2.2 衝突応答解析における特長

海洋構造物と供給船の衝突事故では、ほとんどの場合、損傷すなわち塑性変形は被衝突部材に限定され、これを支持する支持構造物は単に弾性振動するものと考えられる。このような場合、支持構造物自身には塑性変形は生じないが、その動的特性は被衝突部材の衝突応答および損傷の大きさを支配する重要な要因になっている。

一方、モード合成法では、部分構造の変形が、物理的に明確な意味を持った静的モードと振動モードの一次結合で記述されている。支持構造物を例に取れば、Fig. 2 に示されるように、境界の強制変位に対する静的変形モードは、衝突現象が相対的に緩やかな時に主として生じる基本的モードである。また、境界変位を拘束した状態での振動モードの中で、一次モードは上部構造の慣性の影響を表わすモードであり、二次以上のモードは高次振動モードを表わしている。したがって、衝突応答に現われる卓越モードの種類あるいはその数 N_b は、支持構造物の応答を分類する上での指標となり得る。例えば、支持構造物において、卓越モード数 N_b がゼロの時、支持構造物は静的変形モードで振動することを意味し、 N_b

Fig. 2 Static and vibration modes for the supporting structure

Fig. 3 Simple models of pipe structures

が大きくなるにしたがって高次振動の影響が増加することを意味する。さらに、支持構造物の動的特性が卓越モード数の形で把握できれば、支持構造物の運動が少数の卓越モードのみで表わすことができるので、被衝突部材の塑性変形を考慮した詳細解析等が効率的に行えることになる。

3 衝突現象の分類

衝突時におけるパイプ構造物の応答は、構造物の形状、大きさ、および衝突物体の質量によって大きく変化する。そこで、この章では、単純なモデルを対象としたシリーズ計算の結果を検討し、さらに、これに基づいて現象の分類を試みる。

3.1 計算モデル

シリーズ計算は M1, M2 の二つのモデルについて行なった。計算モデルの形状および寸法は Fig. 3 に示されており、それぞれの剛性および質量分布は異なる。なお、各モデルの上部には海洋構造物の上部構造を想定した質量を付加した。また、衝突時に被衝突部材の衝突点近傍に生じる局部変形を表わすために、衝突点にはパイプの局部変形に対応した等価剛性と等価質量²⁾を持ったバネ-質量要素を設けた。シリーズ計算では、これらのモデルに $2 \times 10^{-1} \text{ kg} \sim 2 \times 10^5 \text{ kg}$ の質量を持つ剛体が衝突する際の応答をモード合成法を用いて計算した。なお、衝突速度は、衝突エネルギーが、いずれのケースについても $500 \text{ N} \cdot \text{m}$ となるように設定した。

3.2 衝突応答の特徴

構造物が同じであっても衝突物体の質量が異なれば、衝突応答に差が現われる。ここでは、モデル M1 を例に衝突物体の質量 m_c が $4 \times 10^4 \text{ kg}$ で非常に大きい場合、反対に $2 \times 10^{-1} \text{ kg}$ で非常に小さい場合、さらにそ

Fig. 4 Time history of impact load under the collision with a large mass ($m_c = 4 \times 10^4 \text{ kg}$)

の中間で 2 kg の場合の 3 ケースを取り上げて衝突応答の特徴と衝突物体の質量の関係を検討する。特に、被衝突部材を支持している支持構造物の応答特性については、先にも述べたように、モード合成法における N_b すなわち、支持構造物の振動モード中の卓越モード数をパラメーターにしてこれを評価した。

まず、衝突物体の質量が大きく、 $m_c = 4 \times 10^4 \text{ kg}$ のケースに注目する。Fig. 4 は、衝突時に構造物に働く荷重の時刻歴を示している。図中の実線は、被衝突部材、支持構造物ともに全モードを用いて解析した結果 ($N_b = n_b$) および、支持構造物の変形モードとして、静的変形モードのみを考慮した計算結果 ($N_b = 0$) を示す。これら二つの曲線がよく一致していることから、支持構造物は主に静的変形モードで振動し、高次モードの変形は無視できることが分かる。一方、Fig. 4 中の一点鎖線は、被衝突部材のみを取り出し、その両端を固定した状態で剛体を衝突させた時の応答を示す。図より明らかなように、被衝突部材単体に衝突させた時の衝突荷重は、支持構造物により支持されている場合の荷重よりはるかに大きい。したがってこの例では、支持構造物の変形が衝突

Fig. 5 Time history of impact load under the collision with a small mass ($m_c = 2 \times 10^{-1} \text{ kg}$)

Fig. 6 Time history of impact load under the collision with a mass of intermediate size ($m_c=2\text{kg}$)

応答に対して及ぼす影響が非常に大きいことが分かる。

次に、 m_c が極端に小さく、 $m_c=2 \times 10^{-1}\text{kg}$ のケースについて検討する。Fig. 5は、衝突荷重の時刻歴を示しており、Fig. 4と同様に、実線は支持構造物の振動モード数を、それぞれ $N_b=n_b$, $N_b=0$ とした時の計算結果を表わす。図において、両者がほとんど一致することから、支持構造物の高次変形モードは無視できることが分かる。さらに、一点鎖線は被衝突部材単体の応答を示し、これと実線がほとんど重なっていることから、支持構造物の変形そのものが無視できることが分かる。すなわち、衝突物体の質量が非常に小さい場合、変形は主として被衝突部材に生じる。

なお、被衝突部材単体の応答には、再衝突による第2の小さな山が見られる。このように再衝突が単体の応答のみに生じた原因は支持構造物の変形である。衝突物体が小さく、衝突時間が支持構造物の振動周期と比較してかなり短い場合には衝突中の変形は小さく、Fig. 5に見られるように荷重への影響は少ない。しかし、支持構造物の振動周期が長いために、その変形は時間遅れをもって増加し、衝突物体と構造物の位置関係、すなわち再衝突に対して影響を及ぼすこともあり得る。

最後に、衝突物体の質量が中程度で $m_c=2\text{kg}$ のケースについて検討する。Fig. 6中の3本の実線は、それぞれ $N_b=n_b$, $N_b=0$, $N_b=1$ とした解析した時の衝突荷重を示す。先に示した2ケースとは異なり、このケースでは、静的変形モードのみを考慮した解析 ($N_b=0$) と全モードを考慮した解析 ($N_b=n_b$) の間の差はかなり大きく、 $N_b=1$ とすることにより、その差は小さくなるが、十分な精度で応答を得るためには、 N_b をさらに大きくしなければならない。このことは、衝突物体の質量が中程度の時、支持構造物の応答には、静的モードのみではなく、複数の高次の変形モードが含まれることを意味する。

Fig. 7 Relation between the collision time and the number of dominant vibration modes

3.3 現象の整理および分類

前節では、モード合成法における卓越モード数 N_b を一つの指標として、衝突応答、特に、支持構造物の応答について定性的な検討を行った。しかし、ここで指標として用いた卓越モード数は、モード合成法による解析を前提として定められた量であるため、一般性のある指標とはなりにくい。一方、現象を物理的に考えると、衝突時の応答は作用する荷重の特性と構造物の振動特性によって基本的に支配される。したがって、荷重および構造物の特性を代表するパラメーターを適当に選べば、これらを用いて現象が定量的に分析できることになる。具体的には、衝突荷重の基本特性値として衝突時間、すなわち、衝突の瞬間から最後に衝突物体が離れるまでの時間 τ_c を採用することができる。また、構造物の振動特性を代表する値として、衝突点に荷重を静的に加えた時に生じる変形モードを振動モードとして仮定した時の被衝突部材および支持構造物の振動周期 τ_b , τ_s が考えられる。

そこで、これらのパラメーターを用いてモデル M1 および M2 に対して行ったシリーズ計算の結果を整理したものが Fig. 7 である。横軸の $\bar{\tau}_c$ は、衝突時間 τ_c を支持構造物の振動周期 τ_s で無次元化した値を示し、 $\bar{\tau}_c$ が大きいほど衝突物体の質量は大きくなる。軸上に示された○等の印は実際に計算を行ったケースに対応し、○, △, □印はそれぞれ、卓越モード数が $N_b=0$, $N_b=1$, $N_b>1$ であることを意味する。また、図中の $\bar{\tau}_b$ は、 τ_b の無次元化量を表わす。図から明らかなように、M1, M2 いずれのケースにおいても、衝突時間が相対的に短く、 $\bar{\tau}_c < 1/2 \bar{\tau}_b$ の場合には、 $N_b=0$ となる。これは、前節で検討した衝突物体の質量が小さい場合に相当し、支持構造物の変形は無視できる。また、衝突時間が長く $\bar{\tau}_c > 10$ の場合も $N_b=0$ となる。これは、衝突物体の質量が大きく、支持構造物が静的変形モードで振動する場合に対応する。さらに、 $1 < \bar{\tau}_c < 10$ の場合にはプラットフォームの慣性の影響が現われるため、卓越モード数は $N_b=1$ となる。残された領域 $1/2 \bar{\tau}_b < \bar{\tau}_c < 1$ では、支持構造物の高次振動モードが無視できなくなり、 $N_b>1$ となる。

- (A) local deformation of collided member
(B) bending deformation of collided member
(C) deformation of supporting structure

Fig. 8 Spring-mass model idealizing pipe structures under collision

このようにパラメーターとして τ_c , τ_s , τ_b を用いることにより現象を定量的に分類することができた。このことは、3個のパラメーターが何らかの方法で推定できれば、与えられた衝突条件の下での構造物の応答のタイプ、具体的には支持構造物の応答における卓越モード数 N_b が予測できることを意味する。

3.4 パラメーターの推定法

荷重と構造物の特性を表わすパラメーターとして、 τ_c , τ_s , τ_b を採用した。これらの内、支持構造物および被衝突部材の基本振動周期に相当する τ_s , τ_b は衝突物体とは独立に、構造物の剛性と質量分布のみで定まる量である。これに対し、衝突時間 τ_c は構造物の剛性や質量だけでなく、衝突物体の質量も考慮し、しかも運動方程式を解かなければ得られない。

一方、ジャケット型やジャッキアップ型の海洋構造物などのパイプ構造物では、衝突によって生じる変形は階層的な特徴を持ち、基本的に、衝突点近傍の局部変形、被衝突部材の曲げ変形、および支持構造物の変形に分離して考えることができる。この階層性に注目すると、構造物は Fig. 8 に示されるように、3個のバネが直列に並んだバネ-質量系として理想化される。図中の k_s , k_b , k_d および m_s , m_b , m_d はそれぞれ、支持構造物の変形、被衝突部材の曲げ変形、局部変形に対する等価剛性と等価質量を表わす。なお、等価剛性および等価質量は、振動モードとして静的な変形モードを仮定して計算した値を採用する。

このように構造物を理想化すると、支持構造物および被衝突部材の振動周期 τ_s , τ_b は、等価剛性および等価質量を用いて次式で与えられる。

$$\tau_s = 2\pi\sqrt{m_s/k_s}$$

$$\tau_b = 2\pi\sqrt{m_b/k_b}$$

また、衝突時間は、3自由度の運動方程式を解くことにより簡単に求められる。なお、真の値と区別するために、推定された衝突時間を τ_{c3} で表わすことにする。さらに、運動方程式の解より、衝突荷重の時間変化や最大値も推定することができる。

Fig. 9 Prediction of collision time for model M1

Fig. 10 Prediction of collision time for model M2

Table 1 Equivalent stiffness and mass for models M1 and M2

Model	k_s (N/m)	k_b (N/m)	k_d (N/m)	m_s (kg)	m_b (kg)	m_d (kg)
M1	3.50×10^5	1.38×10^6	4.01×10^7	4.88×10^1	3.65×10^1	1.22×10^2
M2	2.60×10^5	1.09×10^6	4.01×10^7	3.20×10^1	3.63×10^1	1.22×10^2

この推定法をモデル M1, M2 に適用し、衝突時間を推定した結果が Fig. 9 および Fig. 10 に示されている。なお、計算に用いられた等価剛性および等価質量は Table 1 に示されている。図中の△印は推定値を表わし、○印は真の値を表わす。また、横軸は衝突物体の質量 m_c を表わし、 $2 \times 10^{-1} \text{ kg} \sim 2 \times 10^5 \text{ kg}$ の全領域で τ_{c3} が、衝突時間の良い近似を与えている。さらに詳細に見ると、衝突物体の質量が中程度の領域では推定誤差が比較的大きいが、質量が大きい $\tau_{c3} > \tau_s$ の領域および反対に質量が小さい $\tau_{c3} < 1/2\tau_b$ の領域では推定誤差は小さい。したがって、これらの領域に対しては、3自由度バネ-質量モデルを用いて衝突時間が十分な精度で推定

Fig. 11 Prediction of maximum impact load for model M1

可能であることが分かる。なお、 m_c が中程度である領域で誤差が比較的大きいのは、この領域で支持構造物の高次モード成分の影響が現われるのに対し、バネ-質量モデルには高次モードの変形が考慮されていないためである。ちなみに、3自由度バネ-質量モデルは、 $N_b=0$ とした時のモード合成法に相当する。

一方、最大荷重の絶対値に関しても、Fig. 11に示されるように、 m_c が大きい領域と小さい領域で誤差は小さく、これらに挟まれた領域でも誤差はあまり大きくない。このことは、衝突物体の質量の大きさに関してかなり広い領域で、3自由度バネ-質量モデルが現象の大まかな予測にも利用できることを示している。

4 衝突応答解析の指針

海洋構造物の衝突問題に限らず問題を効率的に解析するためには、何らかの根拠に基づく理想化もしくはモデル化が必要である。海洋構造物と船舶の衝突で、損傷、すなわち塑性変形が被衝突部材に限られ、他の部材は弾性的に変形する小規模な衝突問題を考えると、有効な解析法の一つとして、モード合成法が挙げられる。モード合成法の利点は、既に述べたように、被衝突部材と支持構造物を分けて考えることができる点にあり、被衝突部材については弾塑性変形を考慮し、詳細にモデル化する一方、支持構造物については、卓越モードのみを用いることにより自由度を大幅に低減することができる。ただし、ここで問題となるのは、与えられた構造物および衝突条件に対して、卓越モード数をいかに合理的に決定するかである。

前章で示したように、衝突時間の相対的な大きさをパラメーターとして整理すると現象が分類でき、卓越モード数の決定に関しても有用な指針が得られる。したがって、この指針にしたがって解析モデルを設定することにより、合理的でしかも効率的な解析が可能となる。さらに、詳細な解析を行う前に、現象の分類と位置付けがさ

Fig. 12 Flowchart for modeling of collision problem

れていることは解析結果を解釈する上で非常に役立つ。

4.1 モデル化のフローチャート

Fig. 12は、与えられた構造物と衝突条件に対して詳細な解析モデルを設定する際のフローチャートを示したものである。まず、構造物を被衝突部材と支持構造物に分ける。それぞれについて静的解析を行い静的変形モードを求める。これらを振動モードと仮定して、等価剛性 k_b, k_s と等価質量 m_b, m_s を計算し、さらに被衝突部材および支持構造物の振動周期 τ_b, τ_s を求める。衝突点近傍の局所変形についても、同様な方法で等価剛性 k_d と等価質量 m_d を求める。次に、衝突条件として与えられた衝突物体の質量 m_c および衝突速度 v_c に対して、3自由度バネ-質量モデルの運動を解析し、衝突時間の推定値 τ_{c3} を求める。最後に τ_{c3} を τ_s, τ_b と比較することにより、現象が分類され、モデル化の指針が与えられる。例えば、 $\tau_s < \tau_{c3} < 10\tau_s$ の場合は、支持構造物も含めた構造全体の応答を解析する必要があるが、支持構造物については静的変形モードと一次振動モードのみを考慮すればよいことになる。また、 $\tau_s < 1/2\tau_b$ の場合は、支持構造物の変形が無視できるので被衝突部材のみを取り出して解析すればよく、この場合については前報⁹⁾に詳しく報告されている。なお、 $1/2\tau_b < \tau_{c3} < \tau_s$ の場合には、卓越モード数が $N_b > 1$ であることのみが明らかであり、具体的に N_b を決めるためには、 N_b を系統的に変化させたシリーズ計算を行う必要がある。

4.2 フローチャートの検証

Fig. 12に示されたフローチャートを、より現実に近い問題に適用し、その妥当性の検証を行う。対象とする構造物は、Fig. 13に示される高さ85mのパイプ構造物であり、その上部には 10^7 kgの上部構造物が搭載されているものとする。この構造物のA点に、質量 5×10^6 kgの剛体が初速度1.0m/sで衝突する場合を考える。

Fig. 13 Example model of a large scale pipe structure

Table 2 Equivalent stiffness and mass and parameters representing the characteristics of impact force and structure

k_s (N/m)	k_b (N/m)	k_d (N/m)	m_s (kg)	m_b (kg)	m_d (kg)
4.56×10^7	4.98×10^7	5.69×10^7	3.36×10^6	1.18×10^3	4.82×10^1
τ_s (sec)	τ_b (sec)	τ_{c3} (sec)			
1.70	3.06×10^{-2}	1.87			

フローチャートにしたがって等価剛性、等価質量、 τ_s 、 τ_b さらに衝突時間の推定値 τ_{c3} 等を計算し、その値が Table 2 に示されている。表から明らかなように $\tau_s < \tau_{c3} < 10\tau_s$ であるので、この問題を詳細に解析する時には、支持構造物の変形モードとして、静的モードと一次振動モードのみを考慮すれば良いことになる。実際に $N_b=1$ として解析した結果と全モードを考慮し、 $N_b=414$ として解析した結果の比較が Fig. 14 に示されており、 $N_b=1$ でも十分な精度が得られることが分かる。さらに、 $N_b=0$ として解析した結果も示されているが、全モードを考慮した場合の曲線との差は明らかに大きくなる。このことから、フローチャートに従って定められた値 $N_b=1$ は、必要最小限という意味で最も妥当なモード数であることが分かる。

一方、衝突物体の質量 m_c の変化に対する現象の変化

Fig. 14 Time history of impact load for large scale pipe structure under collision

Fig. 15 Variation of collision time with size of colliding mass

Fig. 16 Variation of maximum impact force with size of colliding mass

は3自由度バネ-質量モデルを用いて、おおよそ把握することができる。Fig. 15 および Fig. 16 は、衝突エネルギーを一定に保ち m_c を変化させた時の衝突時間と最大荷重を示し、図中の△印は3自由度バネ-質量モデルによる推定値を表わす。まず、衝突時間に注目し、例えば $\tau_{c3}=1/2\tau_b$ となる時の m_c を求めると約 1,700 kg が得られる。これより、衝突物体の質量が 1,700 kg 以下の場合には、支持構造物の変形は無視できることが分かる。次に、最大荷重について検討する。Fig. 16 中の破線は、衝突エネルギーに等しいエネルギーが静的に与え

られた時の反力の値を示している。これを基準にすると、 m_c が 10^6 kg 以上の場合は最大荷重はほぼ静的反力に等しいので、現象は比較的緩やかで準静的に近い現象であると予想される。これに対し、 m_c が小さく 10^4 以下の場合は、動的効果が現われるため、最大荷重は静的荷重より大きく、その程度は図より予想することができる。なお、Fig. 15 および Fig. 16 中の○印は、衝突時間および最大荷重の真値を表わしており、これと推定値の差が小さいことから Fig. 13 のような複雑な構造物に対しても3自由度バネ-質量モデルが良い近似になっていることが分かる。

5 結 言

三次元パイプ構造物の衝突問題の解析に対して、構造物を被衝突部材と支持構造物に分けた形でモード合成法を適用し、支持構造物の応答特性を検討した。その結果、衝突時間 τ_c 、被衝突部材および支持構造物の基本振動周期 τ_b 、 τ_s をパラメーターとして現象を定量的に分類することができた。さらに、これらのパラメーターの推定法として、変形の階層性を反映した3自由度バネ-質量モデルを用いる方法を提案した。最後に、これら現象の分類およびパラメーターの推定法を組み合わせることにより、詳細解析における解析対象、特に支持構造物のモデル化に対して指針を与えるフローチャートを示した。

前報は被衝突部材単体の衝突応答を対象としたのに対し、本報告では支持構造物の挙動を中心に検討した。これら一連の研究によって、パイプ構造物の衝突現象を大局的に把握することができた。なお、現実の海洋構造物の衝突問題では塑性変形や流体力など種々の付加的要因を考慮する必要があるが、そのような場合にも、ここで得られた知見が大いに役立つものと考えられる。

参 考 文 献

- 1) Ellinas, C. P. and Valsgard, S.: Collisions and Damage of Offshore Structures a State-of-the-art. Proc. of the 4-th International Offshore Mechanics and Arctic Engineering Symposium. Vol. 2 (1986), pp. 475-495.
- 2) 上田, 村川, 徐, 大野: 被衝突時における海洋構造物の弾性応答に関する基礎研究, 日本造船学会論文集, 160 号 (1986), pp. 275~285.
- 3) 上田, 村川, 大野, 項: 被衝突時におけるパイプ部材の弾塑性応答, 日本造船学会論文集, 162 号 (1987), pp. 320~327.
- 4) Petersen, M. J. and Pedersen, P. T.: Collision between Ships and Offshore Platforms. Proc. of the 13 th Offshore Technology Conference. Houston, Texas (1981), paper no. OTC 4134.
- 5) 長松: モード解析, 培風館(1985), pp. 189~250.