

I-219 衝突荷重を受ける円筒シェルの動的弾塑性応答解析について

大同工業大学 正会員 ○ 水澤 富作
 中日本建設コンサルタント 正会員 深谷 純
 大林道路 近藤 洋之

1. はじめに 固定式海洋構造物及び浮遊式海洋構造物のリグやブレーシングなどには、流体抗力を小さくするために、パイプ構造が用いられている。一方、過酷な海洋に建設されるこれらの構造物では、船舶や流水などの衝突に伴う動的崩壊が重要な問題である。海洋構造物で用いられるセミ・サブ構造では、 D/h が500-1000、 L/D が3-30であり、ジャケット構造では、 D/h :10-60、 L/D :10-40がよく用いられている。これまでに、パイプや骨組構造の動的非線形解析¹⁾、円筒シェルの動的座屈解析が行われてきている。

本研究では、アイソパラメトリック・シェル要素を用いて、Fig. 1に示すような衝撃集中荷重を受ける両端固定円筒シェルの動的弾塑性応答解析を行っている。特に、円筒シェルの変位応答性状に与える衝突荷重の接触時間、荷重の大きさや衝突角度の影響などについて検討している。

2. 式の定式化 ここで用いたシェル要素は、Fig. 2に示すような3次元要素から導かれる厚シェルのための縮退シェル要素である。

一般に、このようなシェル要素を直接薄シェルに適用する場合、横せん断及び面内ロッキング問題により、要素の剛性が過大評価される。このような問題を避けるために、低減積分法、選択積分法、キルヒホッフ・モード基準に基づく方法、修正せん断係数を用いる方法や横せん断ひずみ仮定を用いる方法などが知られている。本文では、一定ひずみ仮定を導入したHuangのシェル要素²⁾と、低減積分を考慮したAhmadのシェル要素³⁾を用いている。これらの9節点アイソパラメトリック・シェル要素を用いて、次の解析条件のもとで、衝突荷重を受ける円筒シェルの動的弾塑性応答解析を行っている。

2.1 解析条件 (1) シェルの厚さに制限を設けないために、縮退シェル要素を用いる。(2) 降伏判定条件に、von Misesの式を用いている。(3) 降伏の進展を考慮するために各要素を層分割できる(Layered Model)。(4) 静的問題では、有限変位の影響も考慮できる。(5) 増分・反復法により、非線形方程式を解いている。(6) 衝突荷重は、ステップ荷重で与え、衝突荷重のエネルギー吸収やシェルとの連成効果は無視する。(7) 動的応答解析は、反復法を組合わせたNewmarkの β 法を用いている。

これらの問題の式の定式化は、紙面の都合で割愛する。

2.2 衝突モデル 物体の衝突メカニズムは、かなり複雑で、動的非線形挙動を示す。しかし、船舶と海洋構造物の衝突問題では、衝突時間が構造物の基本周期と比較して、かなり短いので、衝突モデルが運動量及びエネルギー保存の法則から導ける。一般に、小さい衝突では、そのエネルギーは弾性ひずみエネルギーとして吸収されるが、大きな衝突では、衝突物体と構造物の弾性ひずみエネルギー及び塑性変形に伴う塑性ひずみエネルギーとして吸収される。Minorsky

(1959)は、実際の船舶同士の衝突データより、半解析的な塑性ひずみエネルギー式を求めているが、高エネルギー衝突にしか適用できないようである。一方、はりの塑性ヒンジ理論を用いた衝突解析もなされている。構造物のより正確な動的崩壊挙動を知るためには、3次元の動的弾塑性解析が必要である。

3. 数値計算例及び考察 はじめに、本研究で用いた2つのシェル要素の適用性について検討する

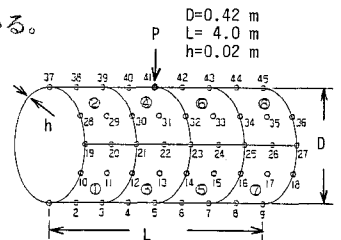


Fig. 1 Circular cylindrical shell

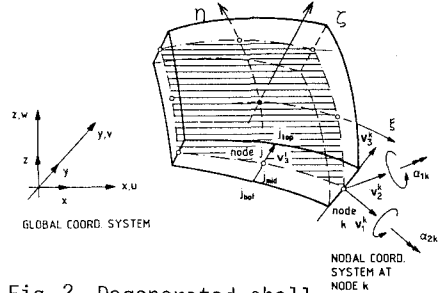


Fig. 2 Degenerated shell element

ために、Fig. 3に示すような中央に集中荷重を受ける周辺固定双曲シェルの弾塑性解析を行った。このシェルは、 8×6 要素分割され、幅厚比、 L/h は30である。また、比較のために、弾塑性有限変位解析の結果も示してある。これより、両要素の結果がよく一致している。また、有限変位の影響があまり大きく生じていない。次に、Fig. 1に示すような両端固定された厚い円筒シェルと薄い円筒シェルの弾塑性解析を行い、両要素の比較がFig. 4に示してある。ただし、いずれの問題でも、 $H'/E=0.01$ のひずみ硬化を考えている。厚いシェルについては、両要素の結果がよく一致しているが、 D/h が200である薄いシェルの問題では、

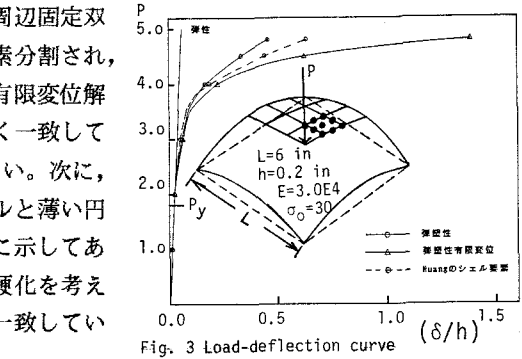


Fig. 3 Load-deflection curve

Ahmadのシェル要素にロッキングが見られ、かなり過小評価された変位が、弾性域及び弾塑性域で示されている。したがって、任意の板厚を持つ円筒シェルの動的応答解析には、一定ひずみ仮定を導入した Huangらのシェル要素を用いる。衝突荷重を受ける両端固定の円筒シェルの動的非線形挙動を明らかにするために、衝突荷重の接触時間 t_0 の影響、衝突

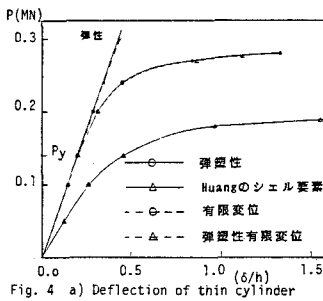


Fig. 4 a) Deflection of thin cylinder

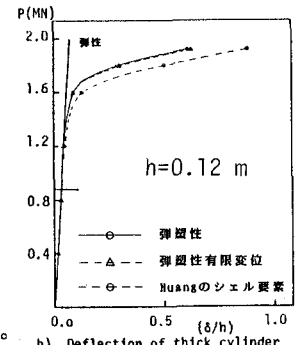


Fig. 4 b) Deflection of thick cylinder

荷重の大きさの影響、衝突角度の影響やシェルの D/h の影響について検討した。Fig. 5には、 $P=0.24$ MNでの動たわみ応答に与える衝突荷重の接触時間の影響が示されている。0.5 秒を越えるとその影響は非常に小さくなる。Fig. 6には、 $t_0=0.25$ secでの動たわみ応答に与える衝突荷重の大きさの影響が示してある。荷 δ (m)

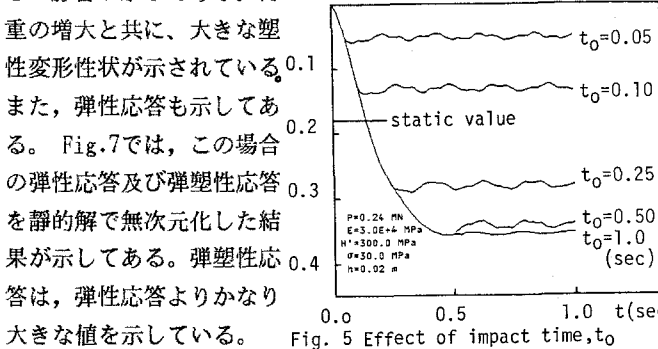


Fig. 5 Effect of impact time, t_0

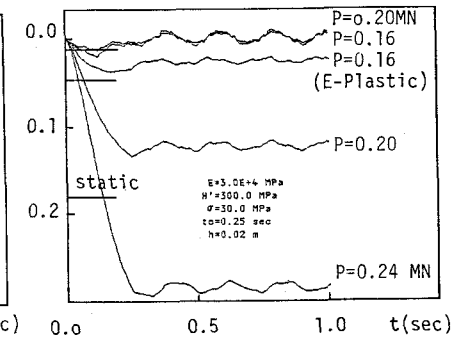


Fig. 6 Effect of impact load, P

4. あとがき 得られた結果を示すと、次のようになる。1) δ_d/δ_s 縮退シェル要素モデルを薄シェル問題に適用す場合には、ロッキングの影響を考慮しなければならない。2) 両端固定されたシェルの動的非線形応答は、衝突荷重の接触時間、荷重の大きさや衝突角度に大きく影響を受ける。3) 弾性変位応答では、最大で静的解の2倍、弾塑性応答では3倍の値が示され、また弾性応答と比較して、かなり大きな変位応答性状が示された。今後、衝突体のエネルギー吸収の影響や塑性ひずみ速度の影響についても検討して行きたい。なお、本研究の一部は、科研費(海外学術研究)の援助を受けている。

参考文献 1) Pettersen, E. et al.: Collision resistance of marine structures. Structural Crash worthiness, Butterworths, 1983. 2) Hinton, E. et al.: Finite element software for plates and shells. Pineridge, 1984. 3) Huang, H.C. Comput. Struct., vol. 25, 147-155, 1987.

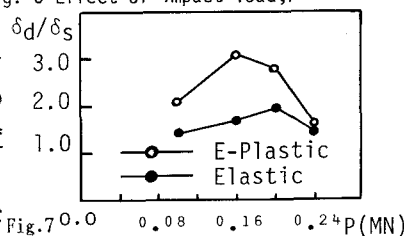


Fig. 7 Effect of impact load, P