



防衛装備庁

気泡の爆縮に関する研究（1 / 2）

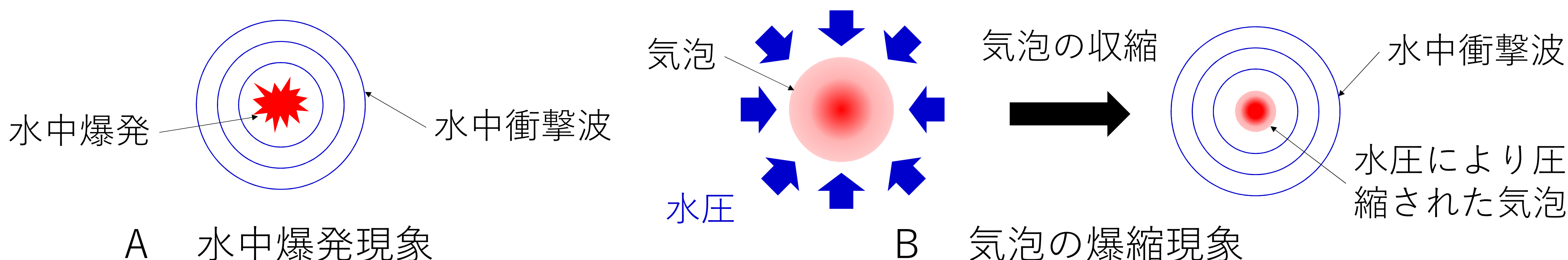
艦艇装備研究所艦艇・ステルス技術研究部構造研究室

本研究の背景

艦艇の残存性に対して著しい影響を与える水中衝撃波の発生要因は、①水中爆発現象の他に、②高圧下において配管及びタンク等が圧壊することに伴い発生する爆縮と呼ばれる現象があるが、従来の研究は、主に①を対象にしており、②に関する研究は乏しい。一方、2001年にスーパーカミオカンデで発生した爆縮事故※で広く知られるように爆縮に伴う水中衝撃波による被害は甚大であり、船殻近傍に多数の配管等を有する艦艇の残存性を向上させるためにも爆縮現象について解明しておく必要があることから本研究を実施した。

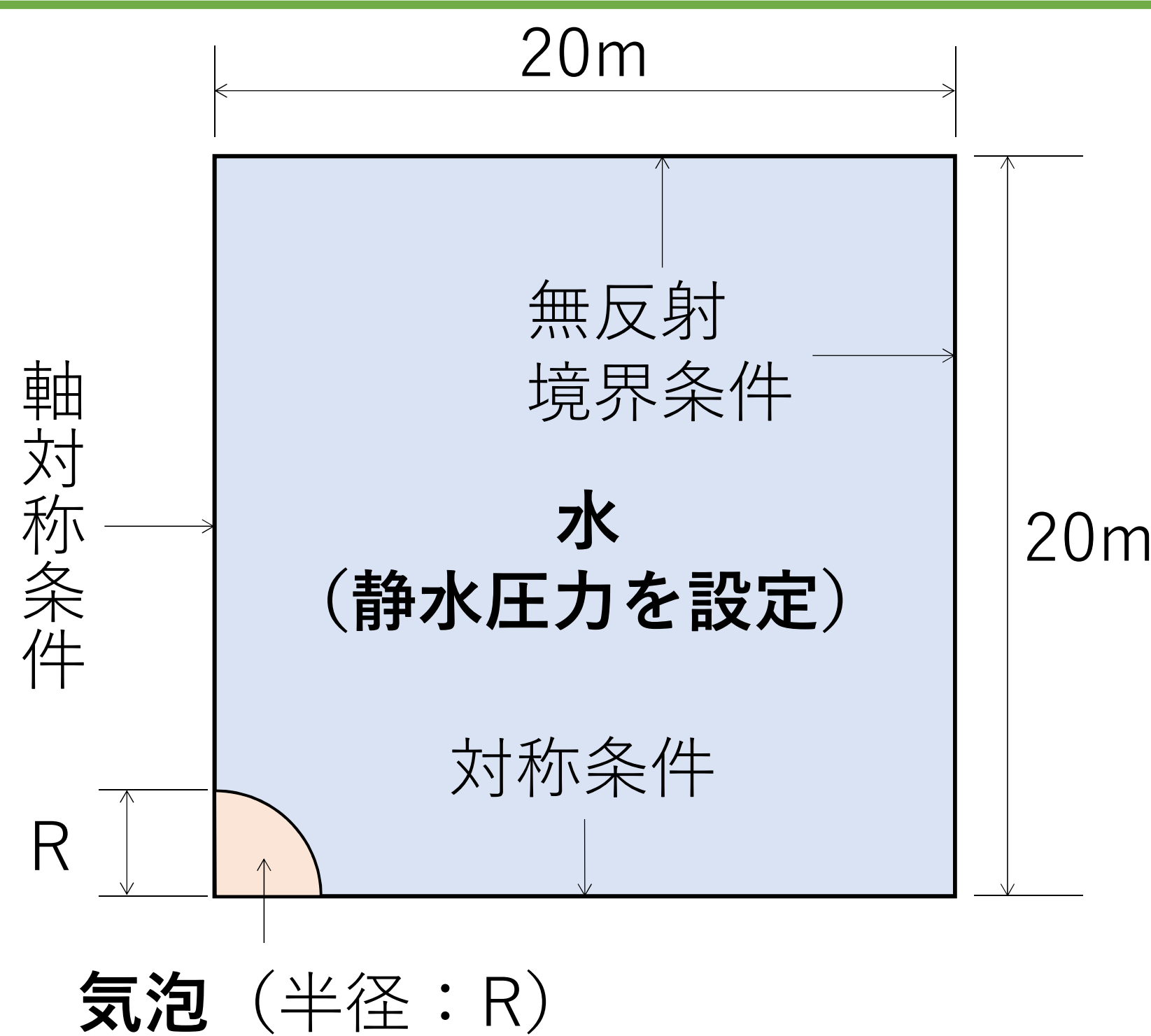
本ポスターでは、爆縮現象について紹介するため、配管等の構造物を含まない球形気泡の挙動及び爆縮に伴う水中衝撃波の数値解析並びに提案した近似式を示す。

※ 光電子増倍管の交換作業中に光電子増倍管の一つが破壊し、爆縮に伴う水中衝撃波により連鎖爆縮を誘発し、多数の光電子増倍管が破損した事故

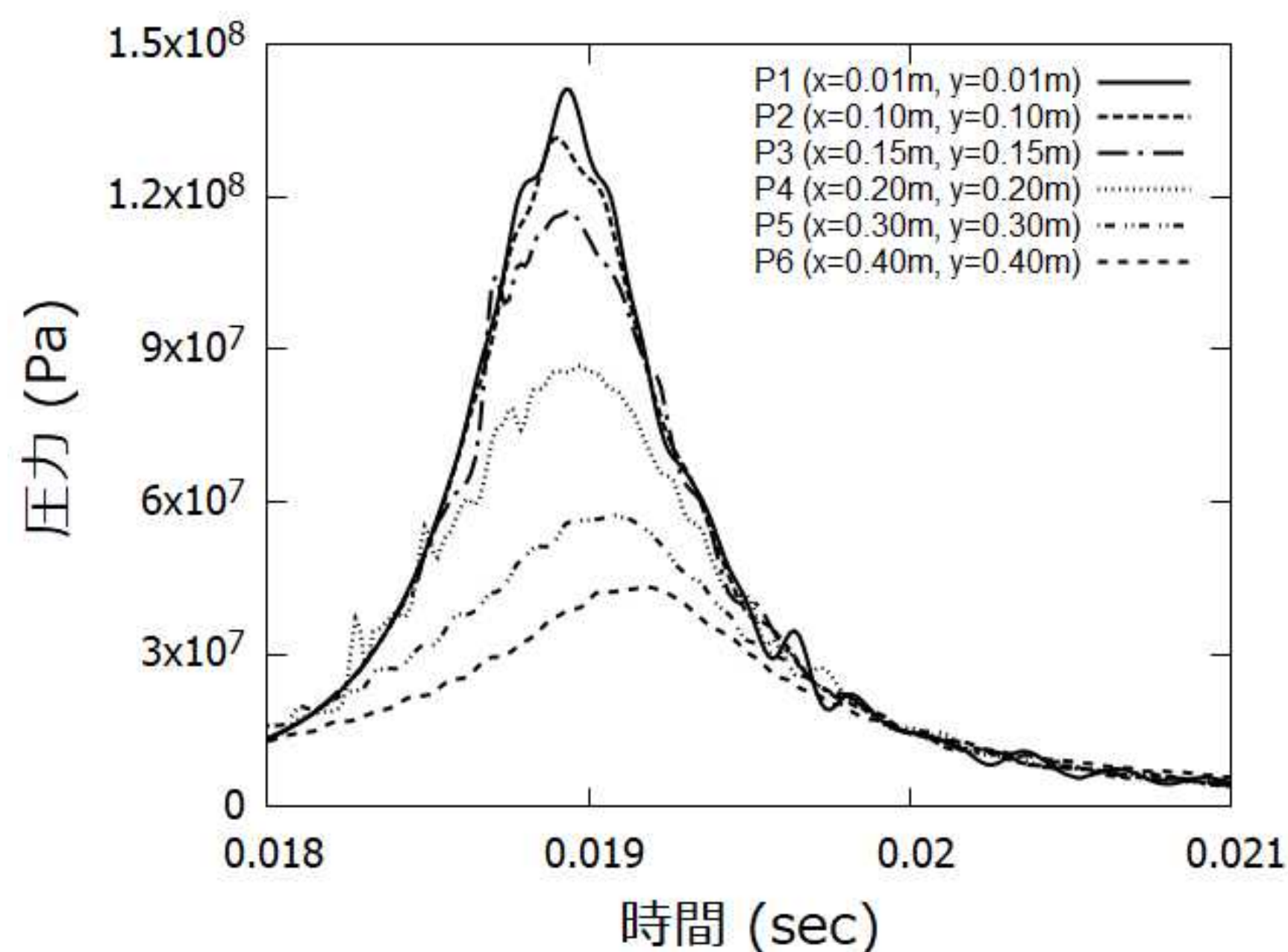
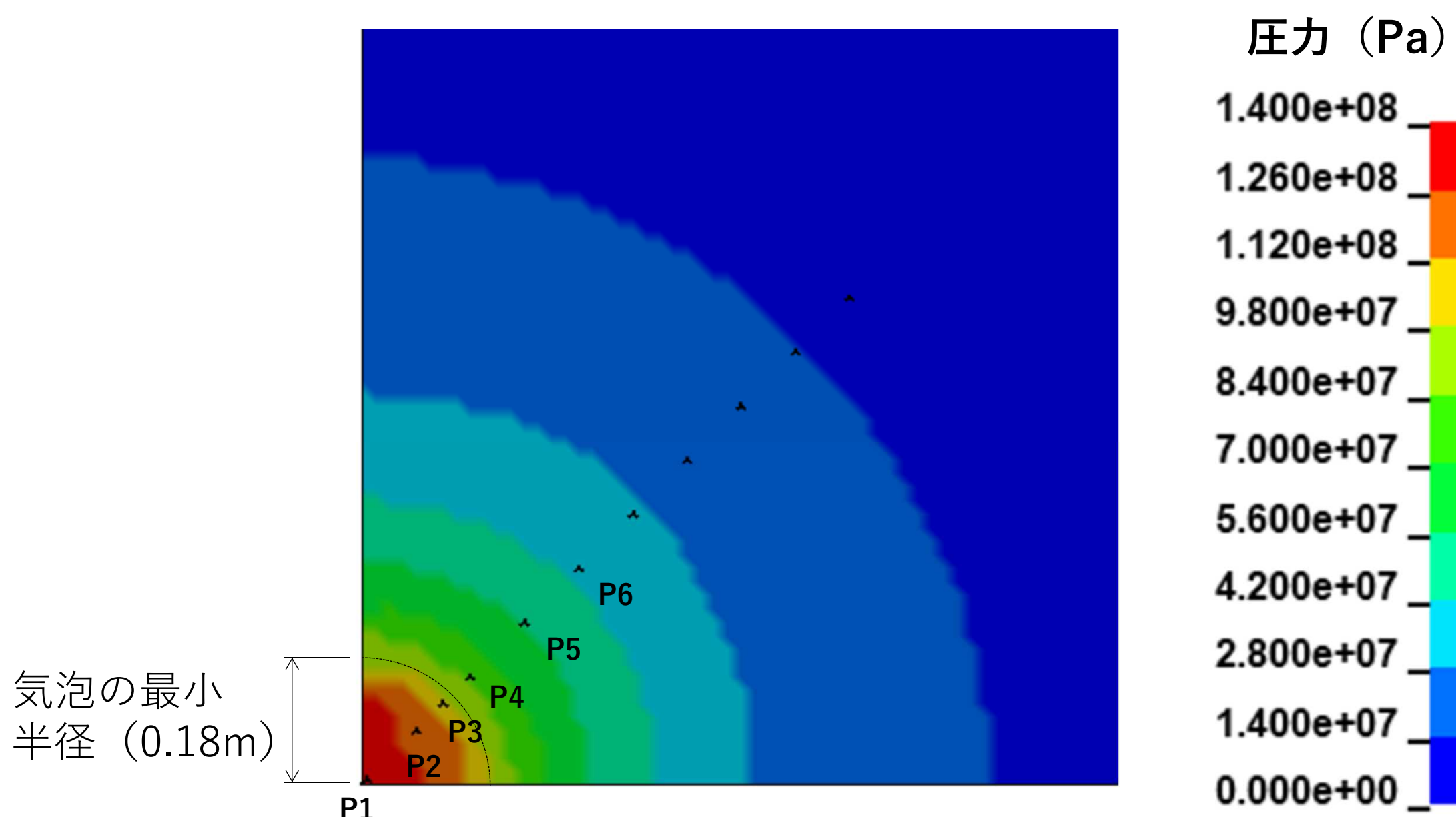


球形気泡の爆縮に関する数値解析の概要

気泡の爆縮現象を解明するために汎用有限要素法解析ソフトウェアLS-DYNAを使用した数値解析を実施した。球形気泡に対して軸対称条件等を適用した数値解析モデルを作成し、気泡の初期半径（0.5m～1.75m）及び深度（100m～300m）を変化させたパラメトリックスタディを行った（図1参照）。気泡は、水圧による負荷を受けることから、気泡の収縮に伴い内部圧力が高まり、最小半径に到達すると高圧力を伴う水中衝撃波を発生する（図2参照）。図3は、初期半径1.0mの気泡が深度250mで爆縮したことに伴う水中衝撃波の圧力時刻歴を示したものであり、気泡内の圧力（P1、P2及びP3）はほぼ同等で時間差もないが、水中では高圧力※を伴いながら伝播し、その最大圧力は、気泡中心からの距離によって減少していることがわかる。



※ P6の最大圧力（約43MPa）は、TNT爆薬量（約110g）に相当





防衛装備庁

気泡の爆縮に関する研究（2 / 2）

艦艇装備研究所艦艇・ステルス技術研究部構造研究室

球形気泡の爆縮挙動及び最大圧力

初期半径1.0m及び深度250mに設置された気泡が収縮・膨張する挙動について比較したところ、数値解析結果は、気泡内部を圧縮性と仮定した理論解※と良い一致を得たことから、爆縮挙動に関する数値解析の妥当性を確認した（図4参照）。また、爆縮に伴う水中衝撃波の最大圧力について理論解と比較した結果を図5に示すが、本図は、縦軸に最大圧力と静水圧力の比を取り、横軸に気泡の最小半径と気泡中心からの距離の比を取ったものであり、1は気泡表面、0に近づくにつれて気泡中心から離れていることを意味している。理論解は、気泡表面の圧力を零と仮定しているため気泡近傍の最大圧力は両者で異なるが、気泡中心からの距離が最小半径の2.5倍以上に離れると良い一致を得たことから、爆縮に伴う水中衝撃波の最大圧力に関する数値解析の妥当性を確認した。

※ 流体の局所的な減圧により発生する気泡の挙動に関する実験結果と比較検証することにより、理論解の妥当性は確認されている。

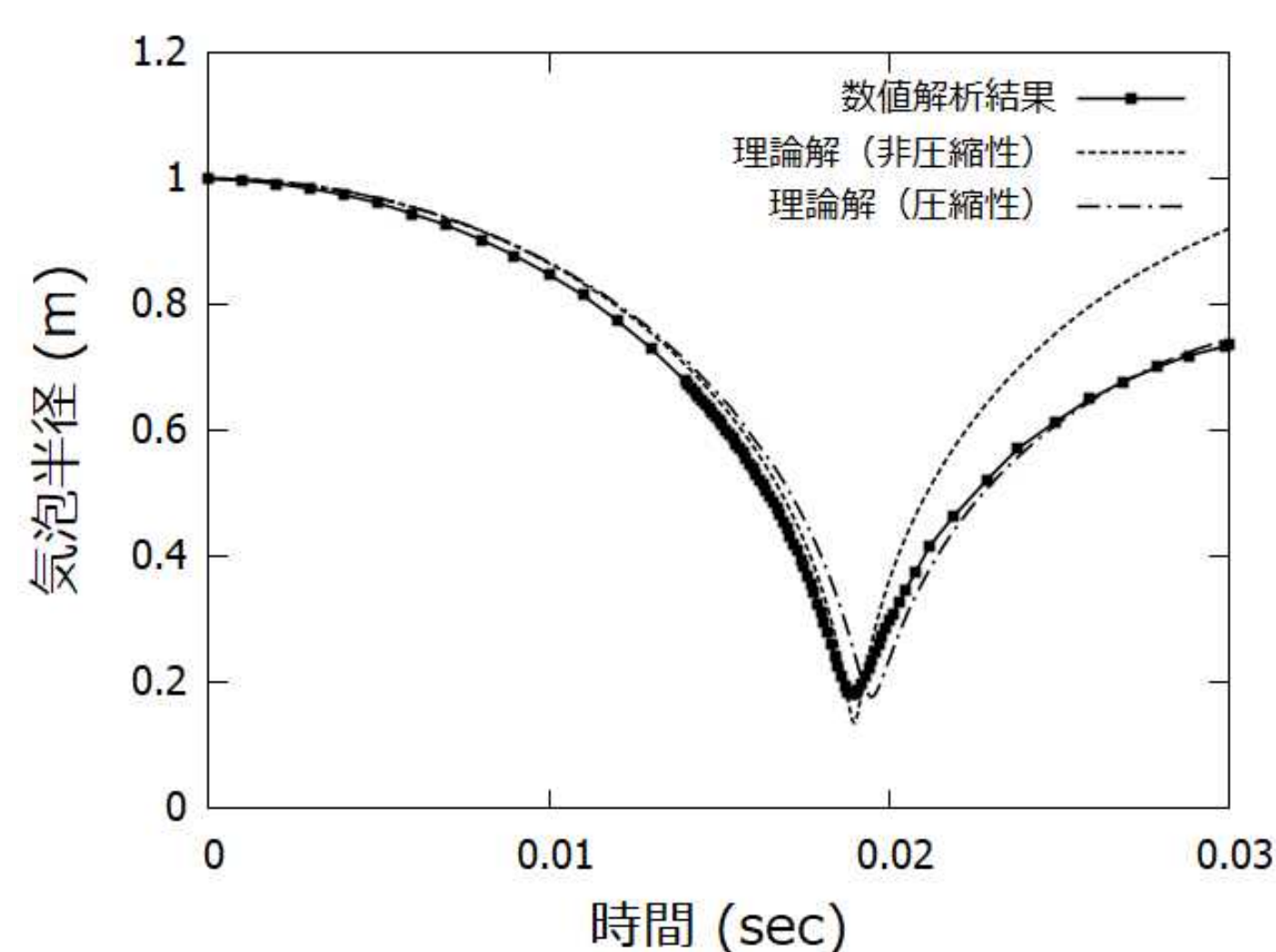


図4 球形気泡の収縮・膨張に関する比較

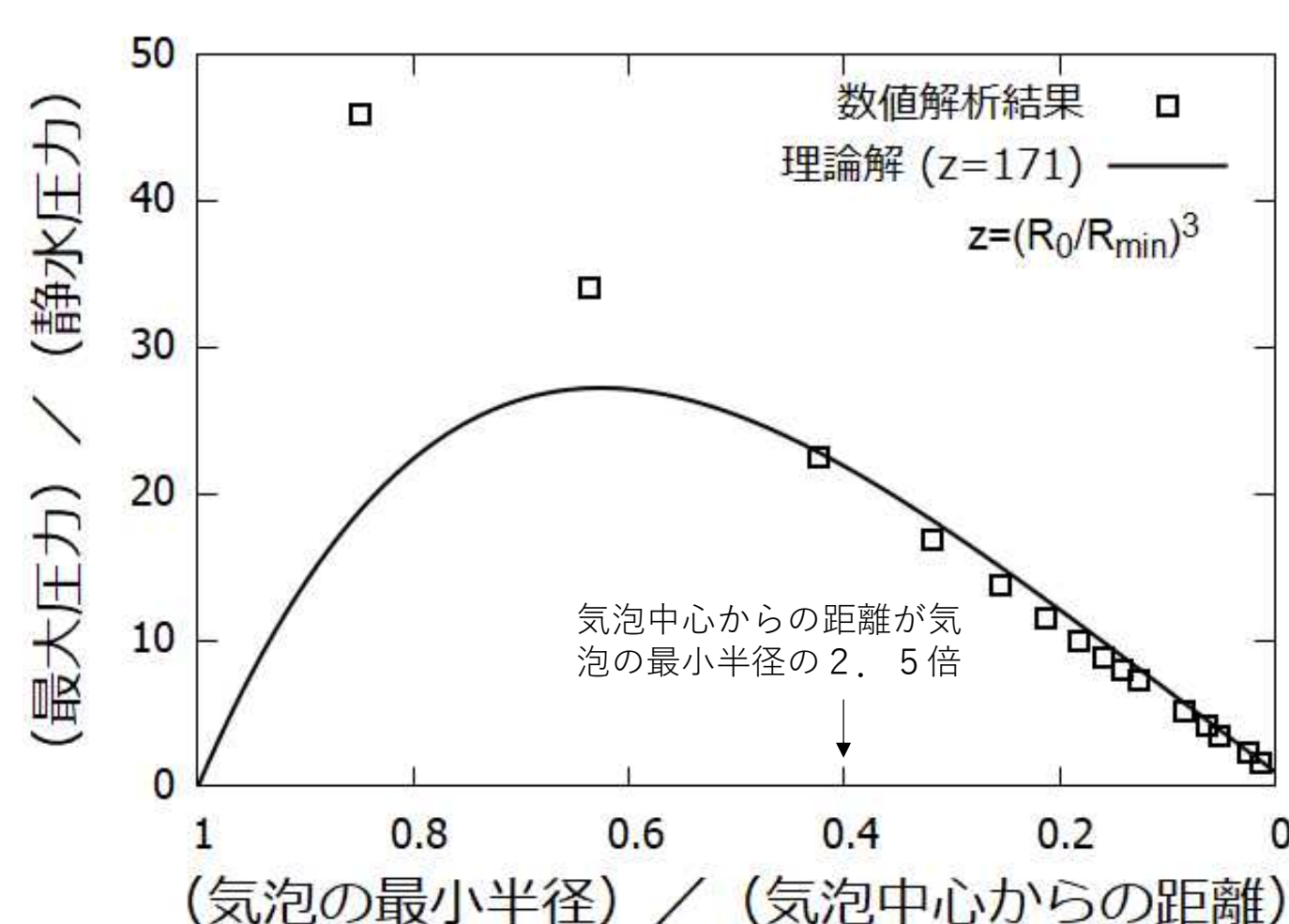


図5 水中衝撃波の最大圧力に関する比較

球形気泡の爆縮に伴う水中衝撃波に関する近似式の提案

初期半径及び深度を変化させて球形気泡の爆縮に伴う水中衝撃波の最大圧力等を求め、それらに対してカーブフィッティングを適用し、球形気泡の爆縮に伴う水中衝撃波に関する各種近似式を提案した。1例として、図6及び7に、初期半径1.0mの気泡が水中衝撃波を発生する最小半径に到達するまでの時間及び任意距離における最大圧力に関する近似式と数値解析結果の比較を示すが、提案した近似式を適用することで爆縮に伴う水中衝撃波の最大圧力等を推定することが可能となった。

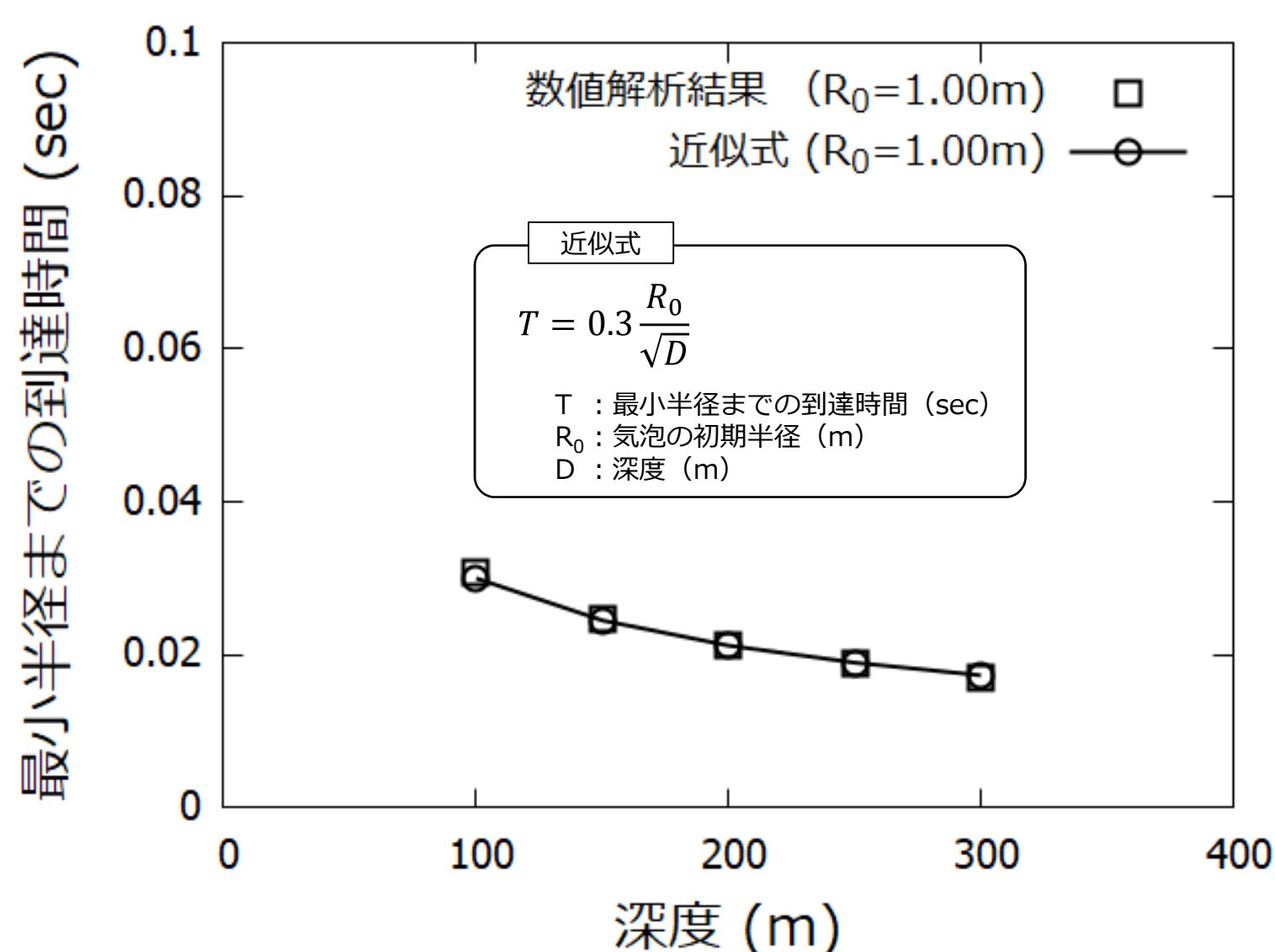


図6 到達時間に関する近似曲線

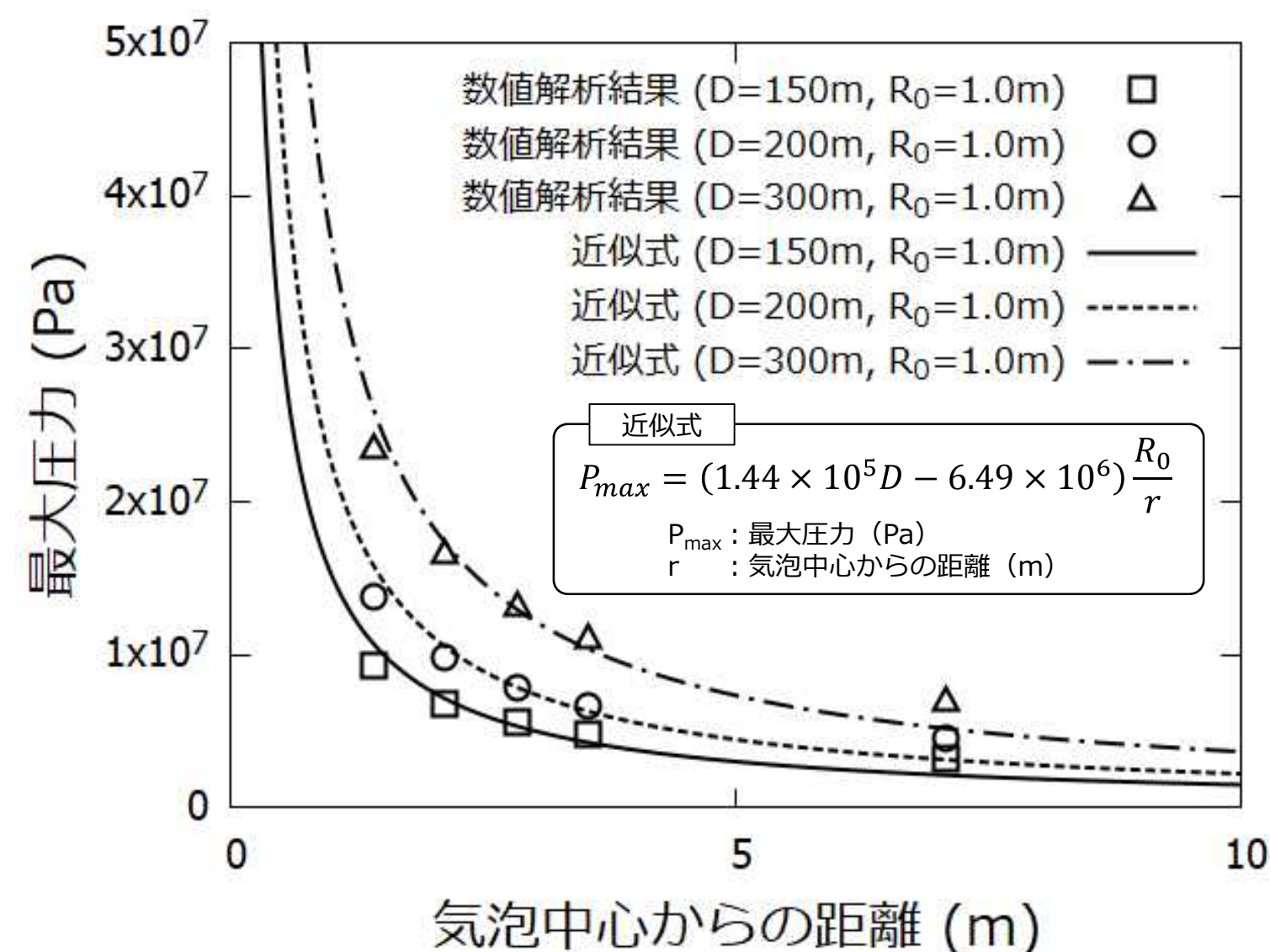


図7 最大圧力に関する近似曲線

まとめ

本研究において、球形気泡の爆縮挙動及び最大圧力について理論解及び数値解析結果との比較検証を行い、数値解析の妥当性を確認した。また、爆縮に伴う水中衝撃波の最大圧力等の近似式を提案し、爆縮現象について解明できた。