

水中爆発による空振の発生と波形形成過程について

Wave generation and formation in the air by under-water explosions

市原 美恵[1]; 田中 克己[2]; 後藤 章夫[3]; 大島 弘光[4]; 谷口 宏充[3]

Mie Ichihara[1]; Katsumi Tanaka[2]; Akio Goto[3]; Hiromitsu Oshima[4]; Hiromitsu Taniguchi[3]

[1] 東大・地震研; [2] 産総研; [3] 東北大・東北アジア研セ; [4] 北大・理・有珠火山観測所

[1] ERI, U. Tokyo; [2] AIST; [3] CNEAS, Tohoku Univ; [4] Usu Volcano Observatory, Hokkaido Univ.

火山爆発研究グループ(代表・谷口)は、2001年9月、および、2002年10月に、北海道洞爺湖において、水中爆発実験を行い、空振計、地震計、水中圧力センサー、高速度ビデオカメラによる同時計測を行った。その計測データを解析し、液体中の爆発源による空気振動の発生機構について考察した。我々の最終的な目標は、火山爆発に伴って観測される空振波形から、噴火発生源で何が起きているかを理解することにある。本研究は、そのために必要な基礎的知見を得ることを目的としている。

火山噴火の際に観測される空気振動は、噴火現象を知るための重要な情報源として、近年注目を集めている。しかし、その解析手法は、未だ確立されておらず、情報が十分に読みとられているとは言えない。一方、水中爆発という現象は、軍事的な目的もあり、すでに膨大な研究成果が報告されている。しかし、それに伴う空振については、ほとんど記述されておらず、理解の立ち後れた部分となっている。実際、水中爆発による空振の発生過程には、音響インピーダンスの大きく異なる二つの媒質(水・空気)間の波の伝播、水面の大変形や破碎、爆発生成気体の放出など、数学的、数値的に取り扱いの難しい問題が含まれている。従って、実際の水中爆発を詳細に観察し、解析することが必要とされている。

実験では、湖岸から86mのところの木杵を浮かべ、ダイナマイトを水中に吊して爆発させた。爆発点の深さを、ダイナマイトの爆発エネルギーの3分の1乗で割ったスケール化深度という値を、実験パラメータとして変化させた。水中圧力センサーは、爆発点から沖の方へ、距離12mと45mのところ、水深5mに吊して設置した。高速度ビデオカメラ1台は湖岸に、空振計と地震計は、湖岸と、湖岸から陸の方へ40m~80m離れた数点に設置した。また、2002年の実験では、湖岸から少し離れた丘の上から見下ろす形で、もう1台高速度ビデオカメラを設置した。異なる記録装置間の時間合わせは、内蔵のGPS時計やトリガー信号の記録により、1msの精度で行われた。

計測された水中圧力波形と空振波形には、以下の特徴が見られた。(1)爆発の衝撃波に続いて、パルスが連続的に発生する。(2)深さとエネルギーがそれぞれ違っても、スケール化深度の等しい爆発では、波形に相似性がある。(3)同時に観測された水中圧力波と空振波を比べると、振幅、波形、周波数特性に大きな違いが見られる。特徴(1)に関しては、すでに多くの研究がなされており、連続的なパルスが爆発によって生成した気泡の振動によるものであることが明らかにされている。今回は、特に、特徴(2)と(3)について解析を行った。

まず、半無限体の水と空気が互いに接している系を想定し、水中の点源からの波の伝播を、古典的な線形波動論を用いて計算した。その際、波源での圧力波の振幅と波形は、水中圧力センサーで計測されたデータから推定し、湖底からの反射波等の影響を受けない先頭パルスについて、計算結果と測定データの比較を行った。スケール化深度の比較的大きい場合については、波形・振幅共に、両者の間により一致が見られた。しかし、スケール化深度が小さい場合に測定された空振の先頭パルスは、計算結果よりも振幅が大きく、計算波形には現れない「谷」を持っていた。そして、スケール化深度が小さくなるにつれて、このずれが大きくなる傾向があった。

次に、水面の挙動と、空振データの比較を行った。水中衝撃波が到達すると、水面の色が一瞬変化し、破碎された水しぶきが立ち上る。スケール化深度が浅くなると、水しぶきはジェット状に高く吹き上がり、直後に爆発生成気体が噴出するなど、激しい表面現象が、空振の先頭パルスの発生に同期して見られるようになった。このような、線形波動論では表現されない水面の変動が、空振波形にどのように影響しているか、今後、定量的な比較を行っていく予定である。

なお、水中爆発実験での高速度ビデオカメラ撮影は、(株)ナックイメージテクノロジー、および、(株)ノビテックの協力により行われた。ここに謝意を表します。