

花火によって励起された衝撃波の解析

An analysis of shock waves generated by fireworks

高橋 雪江[1], 石原 吉明[2], 平松 良浩[2], 古本 宗充[1]

Yukie Takahashi[1], Yoshiaki Ishihara[2], Yoshihiro Hiramatsu[2], Muneyoshi Furumoto[1]

[1] 金大・理・地球, [2] 金大・院・自然科学

[1] Dept. Earth Sci., Kanazawa Univ., [2] Natural Sci., Kanazawa Univ.

飛行機やスペースシャトル、火球などによって、大気中で励起された衝撃波が地表に達すると地震計に記録されることが知られている(長沢・三浦, 1987; Brown et al., 2002)。しかし、衝撃波によって叩かれた地面がどのような挙動を示すのかは、あまりわかっていない。よって、本研究では花火によって励起された衝撃波を地震計と圧力計を用いて観測し、実験的に圧力と地動の関係を求めることを目的とする。

観測は2回行った。第1回目は、速度型地震計(L22D)を、ほぼ花火直下の地下0.4mに設置、爆風圧計(PMS5)を50m離して地上0.8mに設置した。地震計と圧力計は、A/D変換器(分解能12bit)に接続し、サンプリング周波数1kHzに設定し、パソコンに接続してデータを収録した。第2回目は、サンプリング周波数10kHzにして、同様にデータを収録した。しかし、圧力計記録はノイズが大きいため、地震計記録のみ解析に使用する。使用した地震計感度の検定を行った結果、周波数100Hz以上になると、地震計の感度が不安定であることがわかった。このため、地動と圧力の関係は、観測された波形の周波数100Hz以下となるデータ92組を使用する。

データ中、一番多かった4号玉の火薬量は約180g、開発高度は約150m、開発直径は約120mである。

花火によって励起された衝撃波の圧力A(MPa)と地動B(m)を読み取った。両者の関係を、最小二乗法を用いて直線回帰すると、

$$A=B \quad (1)$$

という関係が得られる。圧力波と地動の関係は、衝撃波を平面波と考え、以下のように表されると考えられる。

$$A=EkB \quad (2)$$

ここで、Eは弾性定数、波数kは弾性波の波数を示す。現場で実測したP波速度は300m/sである。S波は測定していないが、数十m/sと想定できる。これらの値から、式(1)に対応させてEの値を求めてみると、ほぼ、ヤング率に近い値となる。

観測された地動の初動の最大から最小までの時間の2倍を周期[s]として圧力の周期と地動の周期を比較すると、地動の周期の方が平均で1.3倍長い。圧力から地動へと変換される際、地面は周波数に依存した応答をしている可能性がある。

花火のエネルギーは、花火の号数毎の火薬量から決定し、火薬量と観測された地動周期を比較した。花火の号数毎での周期の平均T(s)と火薬量Y(kg)については、以下の関係となる。

$$\log Y = 2.7 \log T + 4.7 \quad (3)$$

観測に際し、北國新聞、核燃料サイクル開発機構の國友孝洋博士、宇宙科学研究所の水谷仁教授、能登煙火の皆様にご協力頂きました。記して感謝いたします。