

水槽内爆発による地振動(第2報)

—水槽の跳躍について—

中山良男*, 生沼仙三*, 田中一三*

地表設置型水槽を用いて、水中爆発による地振動を起し、次に示す結果を得た。1)地表設置型水槽による地振動の距離減衰指数 $n \approx 1.1$ であった。2)地中設置の水槽と地表設置の水槽とで、地振動波形はごく近くの水平方向振動でも、大きな差が見られなかった。3)地表設置型水槽は跳躍運動を行うこと、および跳躍時間が地振動の最大速度振幅と相関関係があることがわかり、地表設置型水槽の爆発による地振動の場合、水槽の底面で地面を衝撃的にたたく作用が、地振動を発生させる原因と考えられる。

1. 緒言

一般の発破振動については古くから研究が行われており、振動の速度振幅の実験式も数多く提案されている¹⁾。しかし、水槽内爆発による地振動についての研究は少ない^{2,3)}。筆者の一人は、二種類のモデル水槽を使用して地振動の性質を調べた²⁾。また筆者らは、この報告の再検討を行うと共に、水槽の大きさ及びその設置方法の違いによる地振動を調べることを試み、前報³⁾では地中設置型の水槽についての実験を行った。その結果、爆発による地振動が水槽の近くでは表面波として伝播するように思われた。本報ではそれと比較のため、表面波しか発生しない地表設置型の水槽による実験を行ったので、その結果を報告する。

2. 実験条件

実験場および使用した水槽の大きさ、設置方法等については前報で説明した。測定器、記録方法等も全く同じものを用いたので、ここでは説明を省略する。

3. 実験結果及び考察

3.1 地中設置と地表設置の差異

まず、地中設置型と地表設置型で得られた波形の比較を行った。Fig. 1に設置法の異なる小水槽内の爆発による水平方向の振動振幅波形の例を示す。この場合は0号電気雷管を使用し、また測定距離は $L = 1m$ である。図のピークの時間的位置及び大きさは、両者で多少異なるが、波形の変化の様子はよく似ている。同様に、Fig. 2に大水槽の場合の設置法の違いによる

波形を示した。なお、爆源は6号電気雷管、測定距離は $L = 2m$ である。図から、この場合も波形の変化の様子は互によく似ている。

地中設置と地表設置の水槽の比較では、常識的にみて水平方向への振動源として、前者では爆発衝撃波の透過成分が考えられるのに、後者はそれに相当するものは存在しない。したがって、爆発衝撃波の直接の効

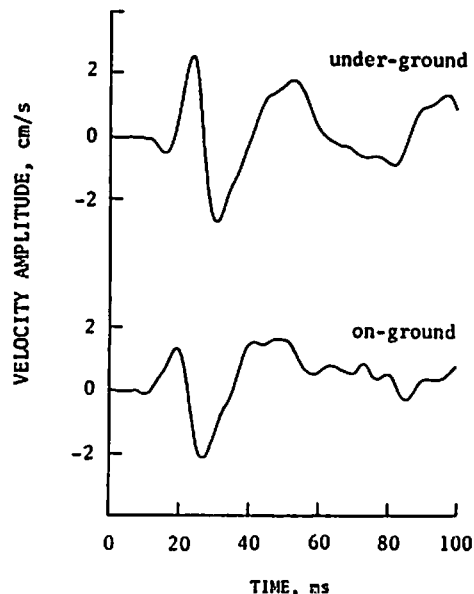


Fig. 1 Comparison of under-ground and on-ground type water vessel's seismic vibration; vessel size is small one and $L = 1m$: explosives is No. 0 detonator and direction of measurement is horizontal

昭和62年7月1日受理

*化学技術研究所 保安環境化学部
〒305 茨城県つくば市東1-1
TEL 0298-54-4792

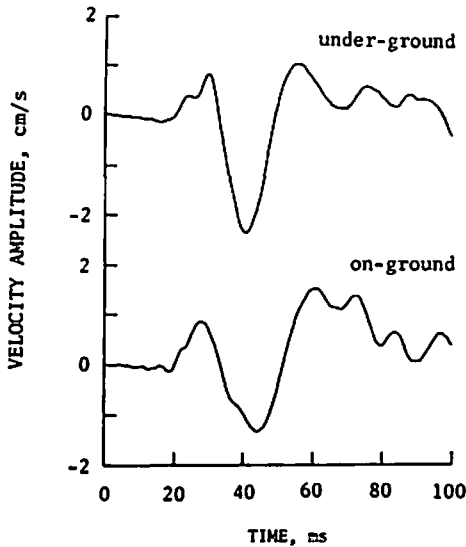


Fig. 2 Comparison of under-ground and on-ground type water vessel's seismic vibration ; vessel size is large one and $L = 2m$; explosives is No.6 detonator and direction of measurement is horizontal

果が地振動に現れるとすれば、水平動に最もよく差が出ると思われる。しかし、Fig. 1, Fig. 2はほとんど同じ強さの振動を与えている。

3.2 地表設置型(on-ground)水槽内爆発による地振動の距離減衰について

次に、地表設置型の水槽内爆発における地振動の距離減衰について検討した。使用した大、小水槽および実験方法は、地中設置型の場合とまったく同じである。Fig. 3, Fig. 4に最大振幅を換算距離に対して両対数グラフ上にプロットした結果を示す。同図中には、地中設置型の結果も参考のために示した。地表型と地中型の振幅を比べると、地表型のほうがやや小さめである。この結果は、Fig. 1, Fig. 2においてははっきりと認められる。たとえば、距離 $L = 1m$ (Fig. 1)においては、地表型の振幅は地中型のその80~90%程度である。水槽設置法の違いは、水槽の側壁から地盤中に振動を伝えるかどうかというところに現れているので、地表型のほうがやや小さめなのは水槽の側壁から地盤に振動が伝わらないためであると思われる。

次に、地表設置型の場合の距離減衰指数を調べた。その結果、 $n = 1.1$ であり、地中型の場合の $n = 1.2$ に近い。すでに述べたように発破振動の立場から判断すると、この値は遠距離での減衰特性に近く、地表設置型の地振動も近距離から表面波として発生していると考えられる。

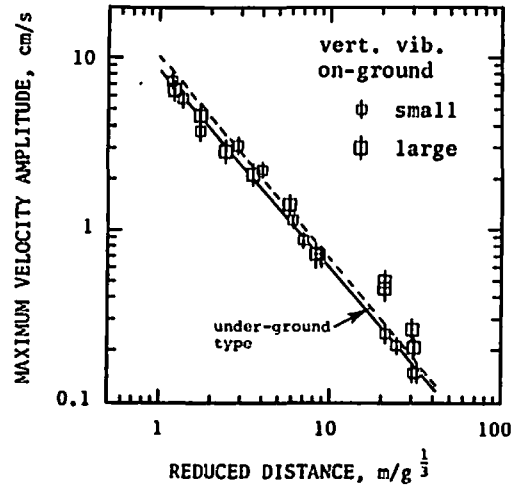


Fig. 3 Logarithmic relation between maximum velocity amplitude and reduced distance ; water vessel is on-ground type ; direction of measurement is vertical

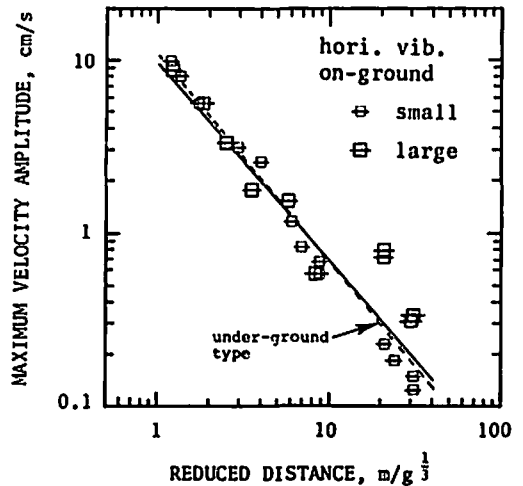


Fig. 4 Logarithmic relation between maximum velocity amplitude and reduced distance ; water vessel is on-ground type ; direction of measurement is horizontal

以上のように、地中型と地表型の水槽による地振動の比較から、水槽の設置法の違いによらず、速度振幅はほぼ同じ大きさであり、距離による減衰は同様の傾向を示すことが明らかになった。すでに述べたように、水槽設置法の違いは、水槽の側壁から地盤中に爆発のエネルギーを伝えるかどうかに関係する。したがって、地振動が設置法によってあまり変化しないということは、水槽が地中に設置されていても、爆発エネルギーは、側壁より主に底面を通して地盤中に入射すると考えられる。

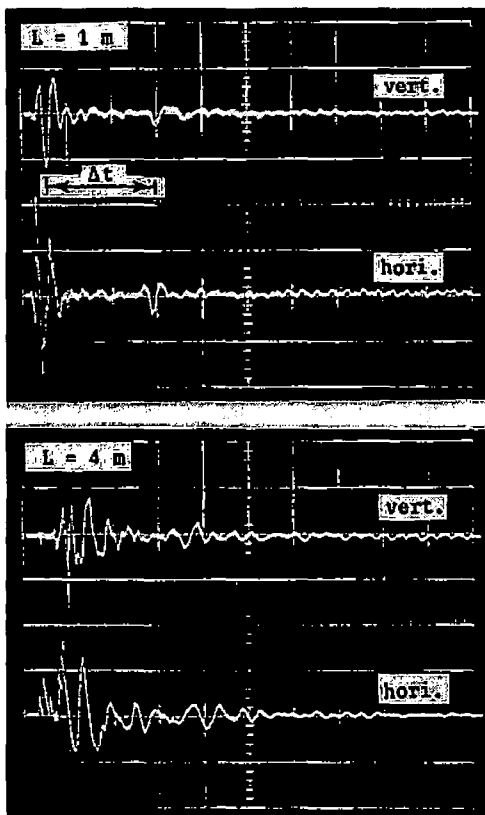


Fig. 5 Example of seismic vibration (acceleration) when the vessel jumps up and down. The secondary vibration indicates a impact of vessel on ground surface : explosion of No.0 detonator : full scale of abscissa is 500ms : ordinate is in arbitrary unit

3.3 水槽の跳躍運動

筆者らは前に地表に置いた水槽が、水槽中の爆発によって跳躍することを見だした^{4, 5)}。この運動が地振動に関係があると考えて次の実験を行った。

まず、Fig. 5に地表設置型の小形水槽(直径50cm, 高さ50cm)の中で感度試験用の0号電気雷管を爆発させた時に得られた地振動波形の例を示す。振動がある時間間隔をおいて2回起きている。この時間間隔を、波形の谷から谷までと考えて、図中 Δt で示した。この第2波は、爆源の近傍($L=1m$)では顕著であり、遠方の $L=4m$ では不明瞭になっている。振動波形の最初の部分は水槽内爆発による地振動であるが、2回目の振動が何によるかは明らかではない。しかし、水槽が爆発により上昇、落下する現象を観察したので、これに起因しているように思えた。それで、2回目の振動を調べるために、水が入っていない水槽容器(質

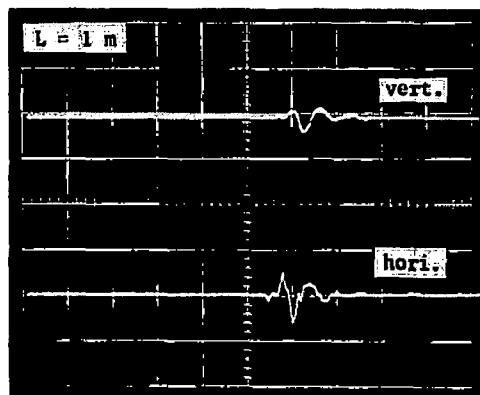


Fig. 6 Example of seismic vibration (acceleration) when a vessel without water in its inside strikes ground surface on vessel's bottom ; full scale of abscissa is 500ms and ordinate is in arbitrary unit

量約23kg)を約1mの高さから自然落下させ、この時に発生する加速度波形を距離約1mの点で測定した。その結果の一例をFig. 6に示す。図からわかるように、この波形と水槽内爆発による地振動の波形(Fig. 5の $L=1m$ のもの)を比較すると、第2波だけでなく最初の波ともよく似ていることがわかる。このことから、第2波は、もちろん水槽の落下により発生したものであるが、それだけでなく、最初の波の原因も、水槽が上昇するときの地面に対する打撃力のようなものではないかと考えられる。

以上より、時間 Δt に相当する期間、水槽は上昇、落下の運動、すなわち跳躍運動をしていることになる。時間 Δt が厳密に水槽の跳躍時間に相当しているか詳細に検討していないが、ここでは $\Delta t \approx$ 跳躍時間としておく。 Δt が大きければ水槽を上昇させる力、したがって地面への打撃力も大きいはずである。これを確認するために、次に跳躍時間と地振動について調べた。

3.4 水槽の跳躍運動と地振動の関係

水槽が跳躍するときの跳躍時間 Δt と薬量の間隔を調べた。その結果をFig. 7に示す。図より跳躍時間は、薬量すなわち爆発エネルギーを大きくするほど長くなる。また、図には示していないが、第2波の振幅は薬量の増加に対し大きくなった。同図には、薬量にたいする地振動の最大速度振幅も示しているが、薬量の増加にたいし大きくなっている。したがって、薬量をパラメータと考えると、この増大にたいし跳躍時間および地振動の最大速度振幅は大きくなるのがわかる。次に、パラメータとして薬量のかわりに爆発深さ(Depth of Explosion)を用いて、同様の実験を行った。この場合、爆薬量を一定にして、爆発深さにたいする

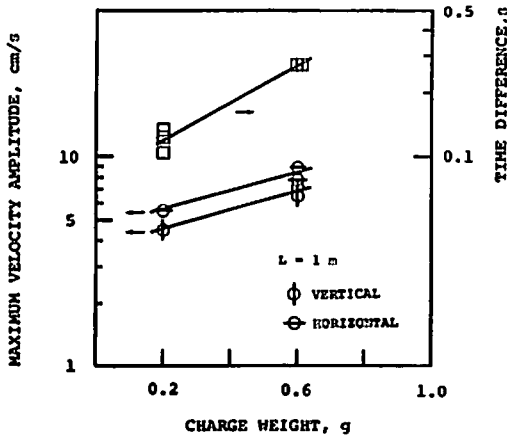


Fig. 7 Relation of maximum velocity amplitude and time difference to charge weight ; the time difference is defined by the difference of time of arrival between 1st. and 2nd. vibration

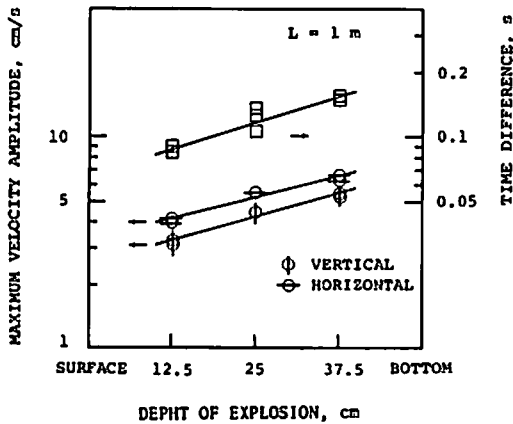


Fig. 8 Relation of maximum velocity amplitude and time difference to depth of explosion ; explosion of No.0 detonator

跳躍時間 Δt と最大速度振幅の関係を調べた。その結果をFig. 8に示す。図は0号雷管一本の場合であるが、爆心が深くなるほど時間 Δt は長くなり、また最大速度振幅は大きくなっている。

以上の2種類のパラメータを変化させた時の実験結果から、跳躍運動と地振動には相関関係があることが確認できる。すなわち、水槽内爆発により開放されたエネルギーは、一方では水槽を上昇させ、また同時に地盤を振動させていると推察できる。こう考えると、地振動を抑えるためには、水槽の跳躍運動を小さくすることが重要であるとも考えられる。したがって、この運動について、水槽内での流体運動の観察や地盤の力学的性質の影響について検討する必要があるだろう。

3.5 地中設置型水槽の地振動との比較

今回の結果から、前報で述べた地中設置型 (underground type) 水槽の地振動について考察しよう。この場合、水槽が土中に埋設されているので、地表に置いた場合のような跳躍運動は起きない。しかし、爆源の状態が同じであれば、地中設置型水槽にも地表型の場合と同じ力が働くはずである。前報において地中設置及び地表設置した水槽の地振動の相互比較を行い、両者の振動波形や距離による減衰に大きな相違はないことを報告した。すなわち、地表設置型水槽の地振動波形は、地中設置型のそれと良く似ており、最大速度振幅はほぼ同程度になっている。つまり、地中型水槽の爆発により発生する地振動の性質は、地表型のそれに似ている。したがって、地表設置型水槽の場合から類推すると、地中設置型水槽内爆発による地振動の場合も、水槽の底面で地面を衝撃的にたたく作用が、地振動を発生させる原因と考えられる。

今後の実験では、跳躍運動の発生理由を理解するために、跳躍高さや土質との関係をおよび水槽内の流体の運動を含めた水槽全体の動きを検討する必要がある。

4. 結論

地表設置型水槽を用いて、水中爆発による地振動を起こし、次に示す結果を得た。

- 1) 地表設置型水槽による地振動の距離減衰指数 $n \approx 1.1$ であった。
- 2) 地中設置の水槽と地表設置の水槽とで、地振動波形はごく近くの水平方向振動でも、大きな差が見られなかった。
- 3) 地表設置型水槽は跳躍運動を行うこと、および跳躍時間が地振動の最大速度振幅と相関関係があることがわかり、地表設置型水槽の爆発による地振動の場合、水槽の底面で地面を衝撃的にたたく作用が、地振動を発生させる原因と考えられる。

文 献

- 1) 発破ハンドブック、工業火薬協会編、山海堂 (1976)
- 2) 田中一三、工業火薬、40、95 (1979)
- 3) 中山良男、生沼仙三、田中一三、工業火薬、49、158 (1988)
- 4) 中山良男、田中一三、生沼仙三、工業火薬協会、昭和61年度秋季研究発表講演要旨集、p53~54 (1986)
- 5) 田中一三、中山良男、生沼仙三、工業火薬協会、昭和61年度秋季研究発表講演要旨集、p55~56 (1986)

Seismic vibration by the explosion in water vessel (II)

Water vessel's jumping phenomena

by Yoshio NAKAYAMA*, Senzo OINUMA*, and Kazumi TANAKA*

The seismic vibrations by the explosion in the on-ground type water vessels were measured. The results obtained were as follows.

- (1) Measurements on the attenuation of vibration by the distance were made and the exponential attenuation index was founded to be 1. 1.
- (2) The magnitudes of on-ground type vessel's vibration were almost equal to those of under-ground type (even at short distance from the source of explosion).
- (3) The jumping of water vessel was observed in experiments of on-ground type. It indicated that the same force to elevate the vessel would be effective to the seismic vibration even in the case of under-ground type vessel.

(*National Chemical Laboratory for Industry , Higashi 1-1, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, Japan)
