

地下式火薬庫の内部爆発時における地表地盤振動の特性に関する研究

防衛大学校

学生会員 ○市野 宏嘉

正会員 大野 友則

1. はじめに

火薬類には煙火（花火）、鉱山・土木工事における発破、ロケットの推進、高圧下における材料の加工などの幅広い用途があり、火薬類は人類の生活に欠かせないものとなっている。その一方で、火薬庫などに保管されている火薬類が爆発した場合、発生する爆風および飛散物によって周辺地域に重大な被害を与えることが知られている。このため、火薬類を地下に貯蔵して爆発の影響を低減させることが考えられる。たとえば、地下式火薬庫の場合は、爆発が生じた際に火薬庫の外に放出される爆風や構造物が破壊した場合の飛散物などを地盤によって抑止することが期待できる。しかし爆発が地下深い地盤中で発生すると、出入口から地上へ爆風が放出するとともに地表地盤が振動して、地上の構造物および建築物に被害を与える恐れがある。このため、地下式火薬庫を建設する場合は、地表構造物に対する地盤振動の影響を考慮する必要がある。ただし、地下式火薬庫は、火薬庫の形式として現行法令に規定されておらず、設計基準も定められていない。また、地下式火薬庫に関する研究は極めて少ない。本研究では、地下式火薬庫の設計法を確立するための基礎的な段階としてコンクリート製模型地下式火薬庫内で爆薬を爆発させる実験を行い、その際に生じる地表地盤振動について検討する。

2. 模型地下式火薬庫の内部爆発実験

実験は、爆発ピット（直径 4m の円形）内で実施した。模型地下式火薬庫はコンクリート製で、実規模の約 1/20 を想定している。火薬庫試験体の中空部の内幅と奥行きは、それぞれ 30cm、高さが 15cm、壁厚が 5cm である。補強のため、D6 鉄筋を 10cm 間隔で網目状に配置した。実験の概要及び模型火薬庫の各部寸法を、図-1 に示す。火薬庫は爆発ピット内の地盤を掘り下げて底面を整地して設置した。次に電気雷管を装着した爆薬（コンボジション C-4、81g）を図-1 に示す位置に固定した後、砂を用いて埋設し模型地下式火薬庫を完成させた。火薬庫の埋

設深さは、15cm、30cm、50cm の 3 ケースで実験を行った。火薬庫の埋設後に爆薬を爆発させ、その際に生じる地表地盤振動加速度を計測し、地表地盤振動の特性を調べた。計測位置は爆発位置の鉛直上方から水平距離 90cm、110cm、140cm、175cm の 4 箇所とした。本研究では汎用加速度計（米国 PCB 社製 高精度水晶シェア ICP 加速度計 353 シリーズ）を使用した。加速度計は、厚さ 1mm で縦 10mm×横 10mm のアルミニウム板にねじ留め固定し、さらに粘着テープを用いて固着した。また、地表地盤の振動をできるだけ正確に計測できるように、加速度センサーを取り付けたアルミニウム板は 4 本の鉄杭で地盤に固定し、地盤とアルミニウム板の間に空隙ができないように留意した。

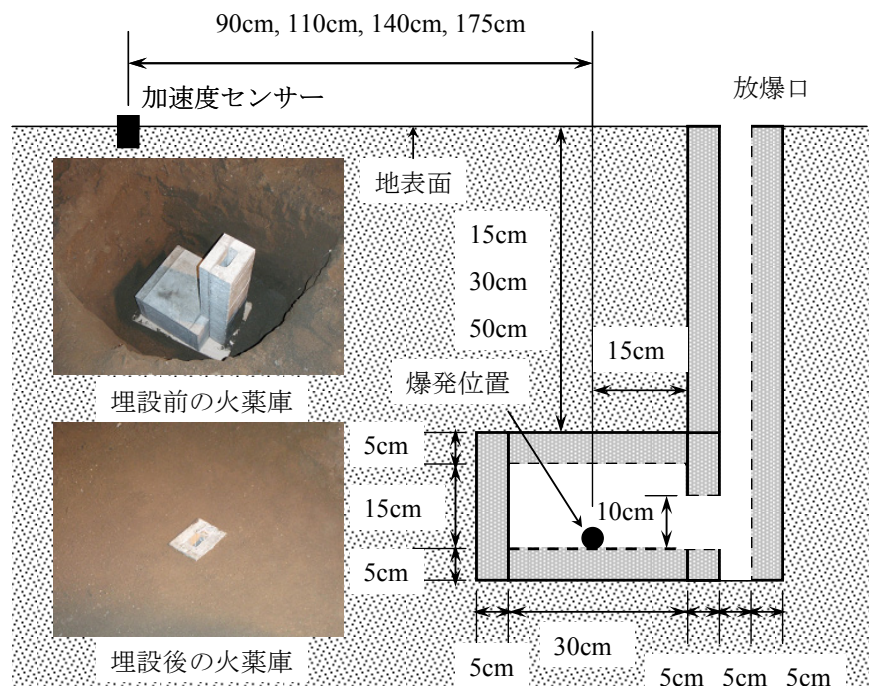


図-1 模型地下式火薬庫と実験の概要

キーワード 地下式火薬庫/ 地表地盤振動/ 最大地表振動速度/ 覆土厚さ

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 TEL 046-841-3810

3. 実験結果および考察

図-2 に、実験で計測された地表地盤振動加速度～時間関係の一例を示す。図-2 より、振動の発生直後に大きな加速度が生じ時刻 3ms で最大加速度として約 30G を示している。また、時刻 15ms で 28G を示しているが、以降は減衰し約 160ms で振動は終息する。図-3 に、加速度スペクトルの代表例を示す。図-3 から、400～500 Hz (周期：2～2.5ms) 程度の振動成分が卓越していることがわかる。実規模の爆発では、寸法効果の影響を考慮すれば振動の周期はこれより大きくなると考えられるが、その一例としてスケール則を考慮し実規模の爆発による地盤振動の周期が模型の 20 倍と仮定したとしても 40～50 ms (=2～2.5ms×20) である。これに対して、建築物の固有周期は、比較的固有周期が短い低層のコンクリート建築物でも数百 ms 程度である。すなわち、地下式火薬庫の内部爆発で発生する地盤振動の周期は建築物の固有周期と比較して十分小さいので、加速度による地上構造物の応答倍率は小さくなると考えられる。

振動が構造物に及ぼす影響を評価するもう一つの指標として、地表地盤振動速度がある。既往の研究によれば、爆発による地盤振動と建築物・構造物の被害との関係は、振動速度によって説明できることが示されている¹⁾。そこで、本研究でも、爆発による地盤振動特性を評価するために、計測した加速度を積分して速度に変換した。地表地盤振動速度～時間関係の例を、

図-4 に示す。本研究では、図-4 における最大値に着目して検討する。図-5 および表-1 に爆薬直上の位置からセンサーまでの水平距離と最大地表地盤振動速度の関係を示す。最大振動速度は距離の増加とともに減衰している。たとえば、覆土厚さ 50cm、水平距離 90cm の場合、最大振動速度は 62.4cm/s である。水平距離が 175cm では 12.1cm/s となり、距離が約 2 倍になると最大地表地盤振動速度は約 1/6 に減衰する。爆薬直上からの距離が等しい場合において異なる覆土厚さで得られた最大地表地盤振動速度を比較すると、覆土厚さが大きくなるにしたがい地表地盤振動速度が減衰する傾向がある。これは、覆土厚さが増すことによって火薬庫に作用する土圧が増加し、爆発による火薬庫の振動を妨げたためであると考えられる。具体的には、爆薬直上からの距離 175cm では、覆土厚さ 50cm の場合、最大振動速度は 12.1cm/s となり、覆土厚さ 15cm の場合の最大速度 21.4cm/s より 45%、30cm の場合の 15.4cm/s より 21%それぞれ低減されている。

4. おわりに

本研究は、地下式火薬庫の設計のための基礎的な段階として、地中に埋設したコンクリート製の模型火薬庫内において爆薬を爆発させ、その際の地表地盤振動について検討を行ったものである。その結果、地下式火薬庫の埋設深さを大きくすると地表地盤の振動速度は小さくなることがわかった。

参考文献

- 1) 雑喉 謙：発破振動の周辺への影響と対策，鹿島出版会，pp. 14-23, 1984.

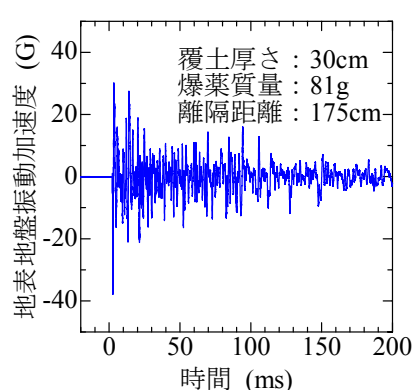


図-2 振動加速度～時間関係

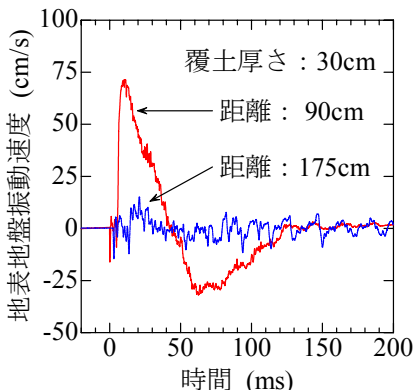


図-4 振動速度～時間関係

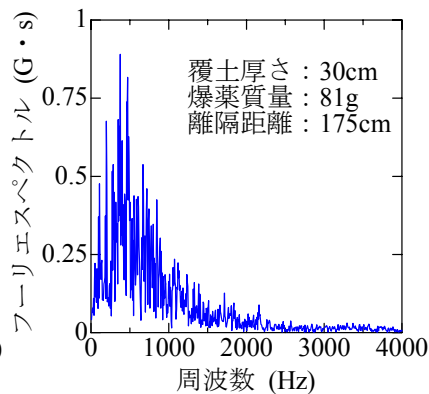


図-3 加速度スペクトル

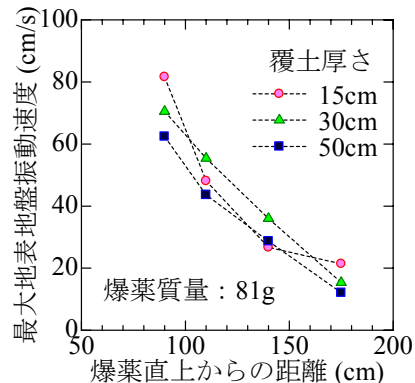


図-5 最大振動速度と距離の関係

表-1 最大地表地盤振動速度

最大地表地盤 振動速度 (cm/s)		覆土厚さ		
		15cm	30cm	50cm
爆薬直上 からの 距離	90cm	81.6	70.5	62.4
	110cm	48.1	55.4	43.6
	140cm	26.7	36.0	28.7
	175cm	21.4	15.4	12.1