

爆発による地盤中応力波の伝播に関する基礎実験

熊本高等専門学校 学生会員 ○徳田 啓太
 熊本高等専門学校 正会員 岩坪 要
 熊本高等専門学校 正会員 岩部 司
 熊本高等専門学校 正会員 中村 裕一

1. まえがき

本研究は、杭などの地中構造物に対する動的破碎処理、火薬類による地盤締固め、さらには火薬庫などの地中構造物の耐爆性能評価などに関係している。地中構造物の動的破碎処理においては火薬類を使用するが、地盤中に発生する応力波は地盤振動を生じさせ、近隣の構造物に振動を引き起こす¹⁾。本研究では、このような地盤中の応力波の伝ば特性を明らかにするために、応力波の作用荷重履歴を調べるための実験装置を製作し、本実験の有効性について考察した。

2. 実験方法

本研究では、爆発によって生じる応力波の作用荷重履歴を調べるために、電気雷管（爆源）と衝撃ロードセルを使用した実験装置を考案した。図1に実験容器を示す。実験容器は高さで上部蓋の有無が異なる2種類を用意した。容器Bでは蓋があるため固定フレームで上下を固定している（写真1参照）。図2にブロック線図を示す。パルス発生器の出力パルスによってデジタルストレージスコープと起爆回路が作動し、起爆回路からの出力電圧が電気雷管を起爆する。電気雷管の起爆時間は、イオンギャップ法²⁾によって測定した。本実験では、起爆遅れのバラツキの少ない地震探鉱用電気雷管とロードセルはPCB社製の圧電型衝撃ロードセルを使用した。本実験の試料としては、マサ土（装填密度 $\rho_{t0}=1.90\text{g/cm}^3$ ）と砕砂（装填密度 $\rho_{t0}=1.78\sim 1.82\text{g/cm}^3$ ）を用意した。実験方法としては、はじめに土試料を所定の実験容器に詰める。容器Aは3回、容器Bの高さが155mmの場合は4回、205mmの場合は6回に分けて詰めた。次に、イオンギャップを取り付けた電気雷管を試料の上部から差し込む。そして起爆回路やイオンギャップ、デジタルストレージスコープなどの各計測器のシステムチェックを行い、正常に作動しているか確認する。起爆を確認した後、デジタルストレージスコープに表示されたイオンギャップ波形から起爆時間及びロードセルの波形の数値を読み取る。

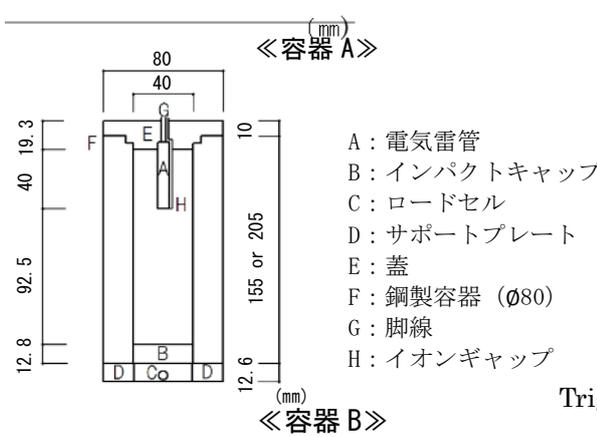
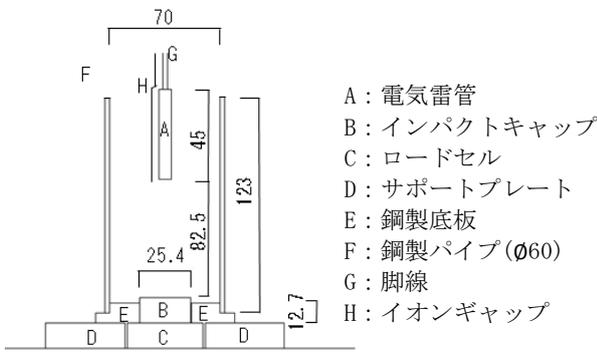


図1 実験容器



写真1 実験容器

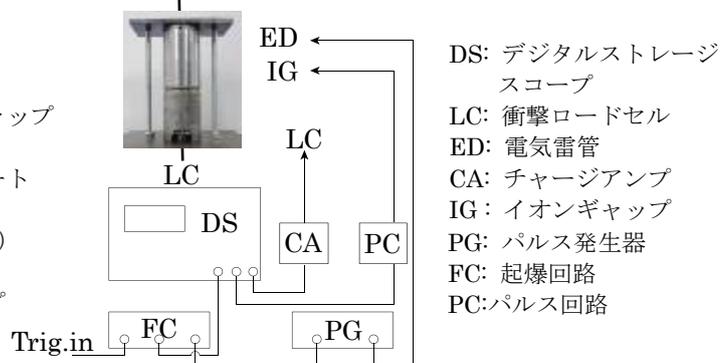


図2 本実験のブロック線図

キーワード 応力波, 爆発実験, イオンギャップ法, 電気雷管

連絡先 〒866-8501 熊本県八代市平山新町 2627 熊本高等専門学校・建築社会デザイン工学科 TEL 0965-53-1334

3. 実験結果及び考察

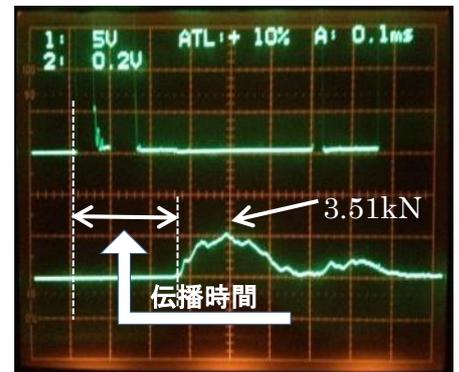
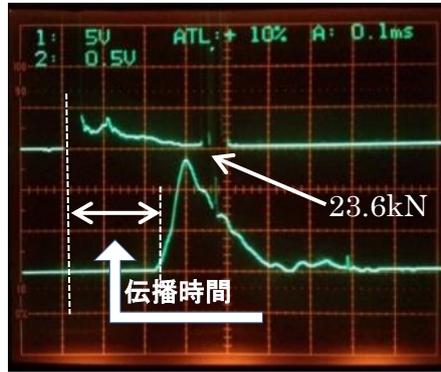
写真 2, 写真 3 に実験結果を示すが, 写真中の上側波形はイオンギャップ作動時間(起爆時間)を示し, 下側波形はロードセルの出力波形(作用荷重履歴)を示している。

(1) 電気雷管の起爆遅れ

本実験では地震探鉱用電気雷管を使用した。電気雷管は起爆薬の爆発で添装薬の爆発を引き起こすため、起爆回路を作動させて電気雷管が爆発するまでに起爆遅れが発生する。イオンギャップ法による測定から、その起爆遅れは $95 \mu s \sim 119 \mu s$ の範囲(平均 $106 \mu s$)であり、非常にバラつきが少ないため、伝播時間を計測する実験に適している。

(2) 試料別のロードセル出力波形

容器 A を使用したマサ土では作用荷重が大きく、立ち上がりも急峻であるが、ピーク後の減衰も速い。砕砂では、波形はなだらかな荷重履歴を示しており、作用荷重も小さいため、砕砂は発生する応力波の強さを低減させていることがわかる。このように、応力波の作用荷重履歴から、試料中での爆発エネルギーの伝わりを評価することができる。

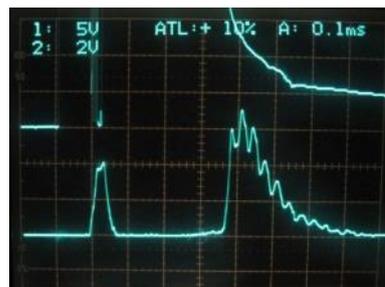


マサ土 (ロードセル感度 17.6kN/V) 砕砂 (ロードセル感度 16.9kN/V)

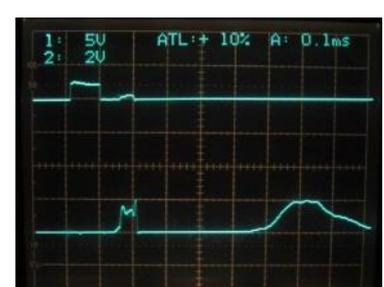
写真 2 試料別のロードセル出力波形(容器 A)

(3) 応力波の距離減衰

写真 3 に、容器 B の場合の出力波形を示す。伝播距離が長くなることで、ロードセルの作用荷重が小さくなり、また、伝播時間も長くなっていることが分かる。容器 B では、蓋があるため、応力波が上の蓋面で反射し、第 2 波としてロードセルの作用荷重履歴に現れていると考える。



容器高さ = 155 mm



容器高さ = 205 mm

マサ土(ロードセル感度 16.9kN/V) マサ土(ロードセル感度 17.6kN/V)

写真 3 応力波の距離減衰を示すロードセル出力波形(容器 B)

(4) 締固め効果

試料の締固め効果を調べるために、爆発前の密度 ρ_{t0} と爆破後の密度 ρ_{t1} を用いて上昇率 $(=\rho_{t1}-\rho_{t0}) / \rho_{t0}$ を計算し、表 1 にその結果を示す。爆発によって試料は締固められるが、爆源からの距離が増大すると締固め効果は低下する。マサ土に比べ砕砂のほうは締固めやすいことがわかる。

ただし、 ρ_{t1} の測定方法として、雷管の爆発を確認した後、上部の余計な試料を除去して整地し、その高さから容器上端までの高さを計測することで容器下部の締固められた試料高さを求めることができ、それを用いて体積を算出し、その体積分の試料質量を計測し密度を算出した。

表 1 締固め効果

	容器高さ (mm)	密度 (g/cm^3)		上昇率 (%)
		ρ_{t0}	ρ_{t1}	
マサ土	123(容器 A)	1.90	2.10	10.5
マサ土	155(容器 B)	1.90	2.45	28.9
マサ土	205(容器 B)	1.90	2.11	11.1
砕砂	123(容器 A)	1.80	2.12	17.7

4. まとめ

- (1) 地震探鉱用電気雷管を使用した地盤中応力波伝播を調べる本実験装置の有効性が確認できた。
- (2) 応力波の作用荷重履歴から、試料中における爆発エネルギーの伝わりを評価することができる。
- (3) 実験容器の違いにより、容器内の爆発による応力波の反射挙動が確認できた。

<参考文献>

- 1) Tei Saburi, Shiro Kubota, Katsumi Katoh, and Yuji Ogata : Experimental studies on ground vibration from explosions in subsurface magazines, Science and Technology of Energetic Materials, Vol.74, No.4, pp85-92, 2013.
- 2) Yuichi Nakamura : Model experiments on effectiveness of fracture plane control methods in blasting, International Journal for Blasting and Fragmentation, Vol.3, pp.59-78, 1999.