

放電衝撃と拘束タイプのカートリッジを利用した弾性波探査用震源

THE CONFINED TYPE ELECTRICAL DISCHARGE CARTRIDGE AS THE SEISMIC SOURCE

川上 純*・今井 博*・前畑英彦**・荒井浩成**

Jun KAWAKAMI, Hiroshi IMAI, Hidehiko MAEHATA and Hiroaki ARAI

Usually, explosives have been used as the seismic source for seismic exploration. However, there is a restriction using explosives in urban area. Therefore electric discharge shock was developed for non-explosive source. The power has increased by using special liquid in the electrical discharge cartridge. This liquid will explode on very high impact, then confined type cartridge is need to explode the special liquid at unconfined surrounded condition as in the soil. We developed metallic cartridge instead of the plastic cartridge which was used for rock, and performed field experiment. As the result, the metallic cartridge could generate a seismic wave equal to about 100g of explosives even in the soil.

1. まえがき

屈折法弾性波探査や、トンネル切羽前方探査（TSP：Tunnel Seismic Prediction）等の弾性波探査においては、通常その震源として爆薬を使用している。しかし、都市近郊においては、爆薬の使用制限がある場合が多い。また、近年のトンネル掘削では機械による施工が増加してきており、切羽前方探査に爆薬を使用できない場合が多く、爆薬と同等の振動を発生できる非火薬震源の開発が望まれている。そこで、筆者等は、放電衝撃を利用して爆薬と同等の振動を発生できる震源の開発を行ってきた。岩盤におけるトンネル切羽前方探査実験では、本震源は爆薬100gに相当する弾性波を発生することができ、切羽前方探査に適用できることを確認した¹⁾。

本震源はカートリッジ内に封入した特殊剤に放電衝撃力を作用させて爆発させることにより、爆薬に匹敵するエネルギーを発生するものである。震源に使用する特殊剤は、ある一定以上の衝撃圧力が作用しなければ爆発しない性質を持っている。したがって、土質地盤や風化岩等の拘束の弱い地盤では十分な振動を発生させることができなかった。そこで、新たに金属製の拘束タイプのカートリッジを開発し、土質地盤において実験を行った結果、爆薬に匹敵する振動を発生できることを確認した。また、放電衝撃の発生装置本体もコンパクト化でき、運搬可能とすることができた。以下にその内容を報告する。

* 正会員 大成建設（株）技術研究所

** 日立造船（株）技術研究所

2. 放電衝撃力の発生システム²⁾

放電衝撃発生システムは、図-1のように放電衝撃発生装置と放電カートリッジから構成される。放電衝撃発生装置内の大容量コンデンサーに電気エネルギーを蓄積し、電子スイッチにより外部に接続した放電カートリッジに放電する。放電カートリッジ内の電極には金属細線が接続されており、数10 μ secの間に数万アンペアの大電流を供給することにより金属細線が熔融気化して衝撃力が発生する。放電スイッチには、最大電圧10kV、放電電流ピーク値60kAのサイリスタを採用しているため斉発性に優れており、通常の電気雷管のような起爆時間のばらつきがない。

より大きなパワーを発生させるために、放電カートリッジ内に圧力伝播媒体として特殊剤を封入している。放電により発生した衝撃力により、特殊剤が反応して爆発現象を伴ったより大きな圧力を発生させることができる。この特殊剤は非火薬の液体であり、火炎による燃焼爆発力は乏しいが、爆薬に相当するような超高圧の衝撃波が加わると爆発する性質を持っている。したがって、通常の取り扱いでは爆発する危険性はなく、安全性が高く取り扱いも容易である。

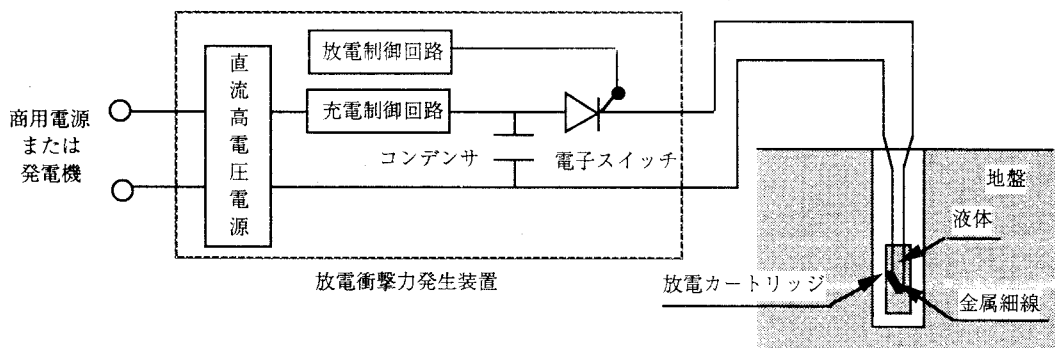


図-1 放電衝撃発生システム

3. 放電により発生する衝撃力

図-2は、水槽内で放電衝撃が発生した時の金属細線から1cm離れた位置での圧力とコンデンサーの充電電圧との関係を示したものである。金属細線の近傍における衝撃圧力は充電電圧の1.5乗に比例しており、充電電圧9000Vでは5000~7000MPaとなっている。

4. 放電カートリッジの種類とその爆発性能

特殊剤を封入する放電カートリッジは、岩盤で使用する場合はプラスチック容器を使用している。しかし土質地盤や風化岩等では十分な振動を発生させることができなかった。そこで、金属性の拘束タイプの容器（写真-1）を作成し、両者の爆発性について比較した。

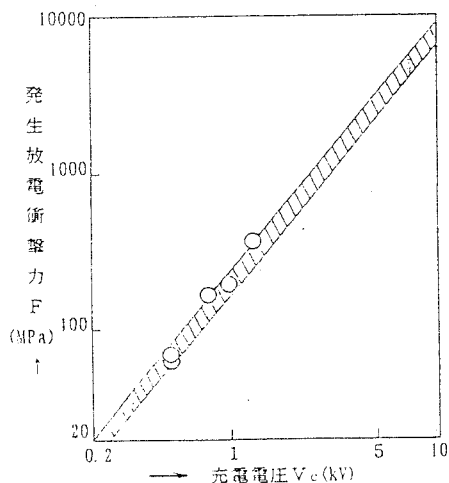


図-2 充電電圧と衝撃圧力の関係

爆発の威力の評価として、爆薬で実施されているクレータ試験を行った。直径2m深さ1mの砂槽内に放電カートリッジを深さ20cmに埋設し、放電衝撃により爆発させて形成されるクレータ容積で爆発の威力を評価した。図-3は、特殊剤を97gと一定とし、充電電圧と爆発時に生成したクレータ容積との関係を示したものである。放電カートリッジ容器は、プラスチック容器と金属容器の2種類とした。

金属容器を使用した場合は、3000V以上の充電電圧であれば、一定のクレータを生じており、特殊剤が完爆していることが分かる。一方、プラスチック容器の場合は、クレータ容積は充電電圧が小さいほど小さく、1万V以上の充電電圧を加えないと完爆には至っていないものと考えられる。クレータ容積は爆発した特殊剤の容積に比例する仮定すると、例えば充電電圧が5000Vのクレータ容積は金属容器を使用した場合のクレータ容積の1/6となっており、充填量97gのうち16g程度しか爆発していないことになる。

金属細線から発生する衝撃圧は図-2のように充電電圧の1.5乗に比例するため、プラスチック容器の場合は、充電電圧が低いと金属細線付近の特殊剤のみしか爆発せず、それ以降は衝撃波が減衰してしまい、爆発が伝播していない状況と考えられる。一方、金属容器の場合は、部分的な爆発であっても、金属容器により拘束されているため、爆発による爆発圧力が保持されて、爆発が中断せずに確実に伝播していった考えられる。

5. 放電衝撃の発生エネルギー比較実験

5.1 実験方法

金属製の放電カートリッジの性能を確認するため、土質地盤において放電衝撃震源と弾性波探査に使用されている震源との比較実験を行った。放電衝撃は、充電電圧3000Vと一定とし、金属性のカートリッジを使用した。弾性波探査用震源としては、重錐落下(17.5kg, 55.3kg, 落下高さ1m)、ハンマー打撃、ショットパイプ(無煙火薬12g)、爆薬(チタマイト)を使用した。実験を行った地盤の弾性波速度は、上部2.5~3mは表上で $V_p = 0.3\text{km/s}$ 、その下部は層厚7~8mの $V_p = 1\text{km/s}$ の層があり、さらにその下部は $V_p = 1.81\text{km/s}$ の層となっている。

震源用の孔として、直径5cm深さ1mの孔を掘削し、その孔底に震源を設置して上部を現地土で埋め戻した。震源孔は1回起振すると孔が乱されるので再使用せず、1つの孔では1回のみ起振とした。発生する振動は地表において、距離10m, 20m, 30mに設置した加速度計と、弾性波探査装置(MacSeis-170f)の速度計24個を距離3~95m設置して計測した。

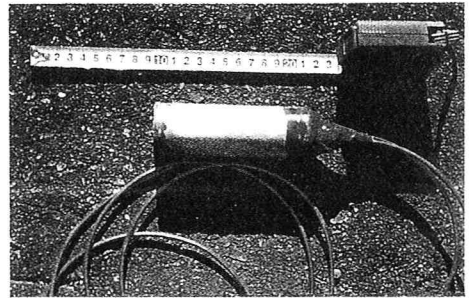


写真-1 金属製放電衝撃カートリッジ

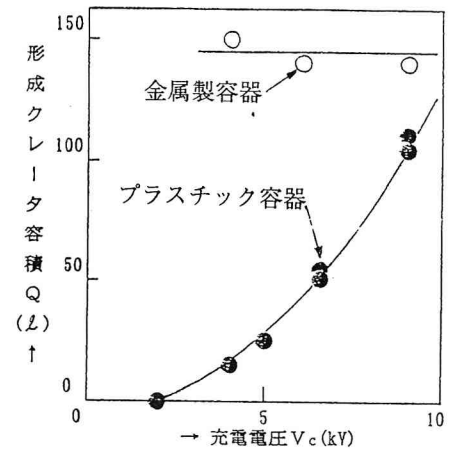


図-3 充電電圧と生成クレータの容積

5.2 実験結果

図-4は、距離10mで測定した各震源での代表的な加速度波形である。各震源とも卓越振動数は25~50Hz前後であるが、エネルギーの小さい震源ほど振動数は高くなっている傾向がみられる。図-5は、爆薬100gと放電衝撃100ccの場合の弾性波探査装置で記録した波形である。波動の立上り部はほぼ同波形となっている。

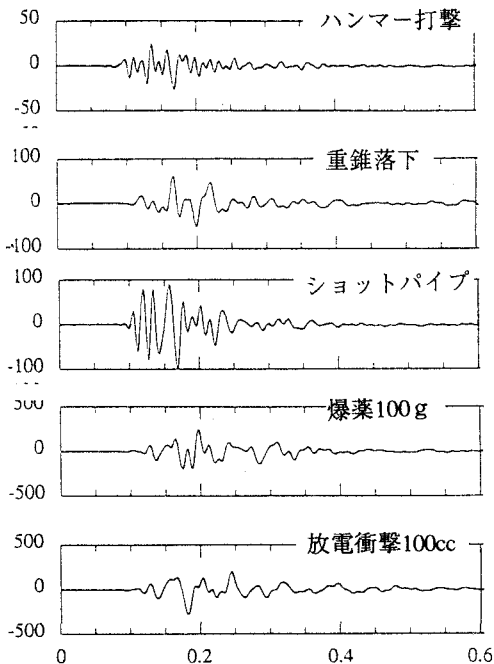


図-4 距離10mにおける各震源での加速度波形

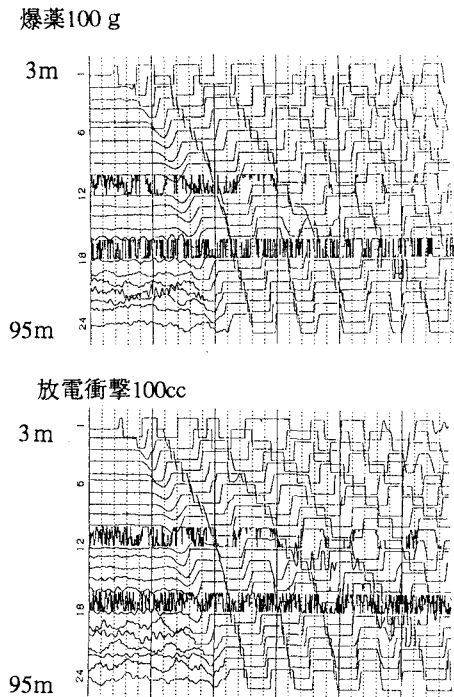


図-5 爆薬と放電衝撃の弾性波探査装置記録

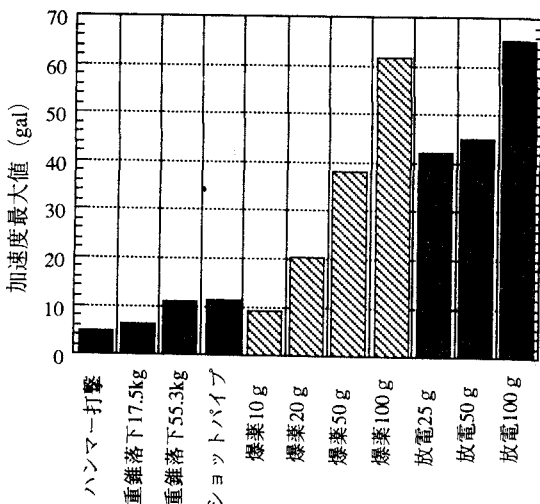


図-6 距離20mにおける各震源での加速度最大値

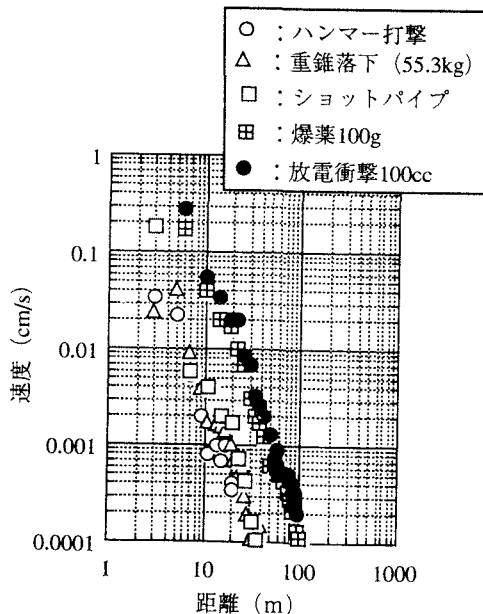


図-7 各震源での初動振幅と距離の関係

距離20mにおける各震源から発生する地盤振動の加速度最大値を比較すると図-6のようになり、放電衝撃震源の特殊剤100ccは爆薬100g以上の振幅となっていることが分かる。また、弾性波探査装置で測定した速度記録の初動振幅と距離の関係は図-7のようになっており、放電衝撃は爆薬に匹敵する振動を発生できていることが分かる。表-1は、以上の実験結果をまとめたものである。なお、表に示した探査可能距離は、本実験場におけるバックグラウンドノイズレベル（0.0001kine）での値を示した。

以上のように、金属製の容器を使用した放電カートリッジを使用すると、土質地盤においても爆薬に匹敵する震源となることが確認できた。

表-1 各震源から発生する振動の比較

		ハンマー打撃	重錐落下 55.3kg	ショットパイプ	爆薬 100g	放電衝撃 100cc
震源条件		カケヤ敷き鉄板	落下高1m	無煙火薬 12g	チタマイト	金属カートリッジ
震源深さ		地表	地表	φ50mm 深さ1m	φ50mm 深さ1m	φ50mm 深さ1m
卓越振動数 (Hz)		50	20	50	20	25
地盤振動最大値 (距離20m)	加速度最大値 (gal)	5.0	10.8	11.1	61.7	64.8
	速度最大値 (kine)	0.016	0.068	0.04	0.43	0.54
初動振幅	25mでの初動振幅 (kine)	0.0002	0.00052	0.00057	0.0067	0.0076
	同上爆薬基準	0.03	0.077	0.085	1	1.14
探査可能距離 (m) バックグラウンドノイズ: 0.0001kine		25	37	37	100	105

6. まとめ

現地実験の結果から、今回開発した拘束性の高い金属製の放電カートリッジを使用することにより、土質地盤においても爆薬に匹敵する振動を発生できることが分かり、弾性波探査用震源として十分適用できることが確認できた。実験に使用した3000V級の放電衝撃発生装置を写真-2に示す。本装置は制御部とコンデンサー部が一体として構成されており、大きさは約60cm四方であるが、より可搬性を良くするために分割することも可能である。

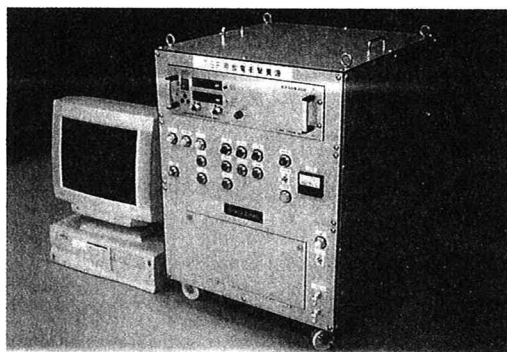


写真-2 3000V級放電衝撃発生装置

7. 参考文献

- 1) 今井、川上、前畑、荒井：放電衝撃による切羽前方探査用非火薬震源の開発と適用実験、大成建設技術研究所報、第31号、1998
- 2) 前畑、荒井、井上、大工、塚原、加藤：放電衝撃破壊技術の開発、日立造船技報、Vol.56, No.4, 1996