

(55) 放電衝撃圧を利用した岩石破壊法の検討

日立造船(株) ○荒井浩成・大工博之・塚原正徳・井上鉄也・前畑英彦

Development of Fracturing Method of Rock Mass Employing the Hydraulic Shock Force Generated by Electrical Discharge

Hiroaki Arai, Hiroyuki Daiku, Masanori Tsukahara,
Tetsuya Inoue and Hidehiko Maehata

Hitachi Zosen Co., Ltd

Abstract

The hydraulic shock force generating is observed when electrical discharge is caused in the liquid. It is considered that this hydraulic shock force is based on shock wave which is generated by sudden expansion of high temperature vapor from circumambient liquid.

This paper reports an experimental study about the fracturing method of rock mass employing this shock force. Main conclusions obtained are as follows;

- (1) Fracturing mechanism and method of shock force generating
- (2) Characteristic of generating hydraulic shock force in a liquid on an experimental basis
- (3) Outlines of the prototype electrical discharge fracturing controller
- (4) Results of fracturing test concerning some concrete samples

1. まえがき

液中に高電圧放電を発生させることで、液の高温蒸気などによる正圧空洞の急激な膨張が生じ、衝撃圧力が発生する。この液中を伝播する衝撃圧力を利用する方法としては、金属材料のバルジング、かしめ、絞り等の成形加工法があり古くから利用されてきた。しかし、コンクリート、岩盤等の破壊方法としての例はあまり見られない。

ここでは、この放電衝撃圧力をコンクリート、岩盤内部で発生させて破壊する非発破破壊法について検討した結果を報告する。

2. 放電衝撃圧破壊法と破壊原理

放電衝撃圧破壊法は、液中放電による発生衝撃力を利用するもので、図1は基本原理を示す。

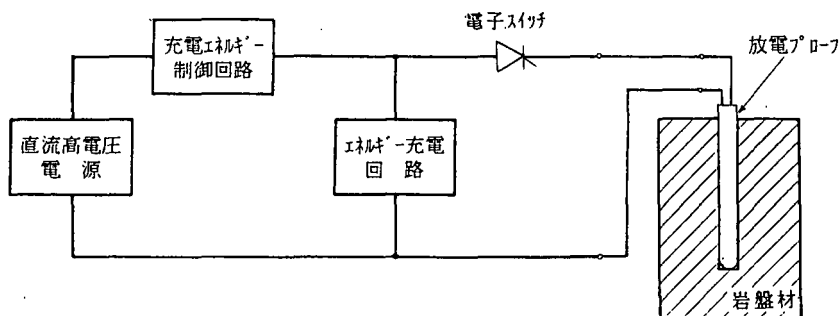


図1 放電衝撃圧発生法による岩盤破壊の基本原理

本破壊法は、高電圧で充電された蓄積コンデンサーからエネルギーを電子スイッチによって短期間(数 $100\mu\text{s}$ オーダー)で金属細線に放電供給することで、瞬時的な細線の溶融・蒸気化により発生する衝撃力を利用するもの(細線爆発)である。

破壊は、穿孔した被破壊物に金属細線および水を封入した放電プローブを埋め込むとともに、コンデンサーに充電された電荷を放電回路スイッチの操作により放電プローブに供給・爆発させて行う。

図2は、衝撃圧発生装置の外観写真で、右側が高圧直流発生部、左側が充電制御および放電発生部である。本装置では、 4000V の放電電圧で3系統独立および数 μs オーダーの斉発出力制御が可能である。また、放電スイッチに半導体スイッチを採用したため、エネルギー損失は小さい。なお、装置入力商用電源はもとより 300W 程度の小型発電機でも可能である。



図2 試作衝撃圧発生装置

3. 試作破壊装置の発生衝撃圧特性

(1) 放電波形および発生衝撃力波形について

図3は、コンデンサー充電電圧 V_{co} が 500V ($C = 500\mu\text{F}$)、細線径 ϕ_p は 0.18mm (Cu)、放電点から衝撃力測定センサー間の距離 L を 4cm とした条件で、本装置における放電波形および発生衝撃力波形を示したものである。衝撃力測定は、水晶式圧電センサー(キスラー社製 9213A1)により行った。同図において、電圧のピークが細線爆発を生じる時点で、これにより衝撃力が発生していることがわかる。センサーは放電点より 4cm 離れており、衝撃力波形は約 $30\mu\text{s}$ 遅れが生じ、衝撃力伝播はほぼ水中音速に一致している。

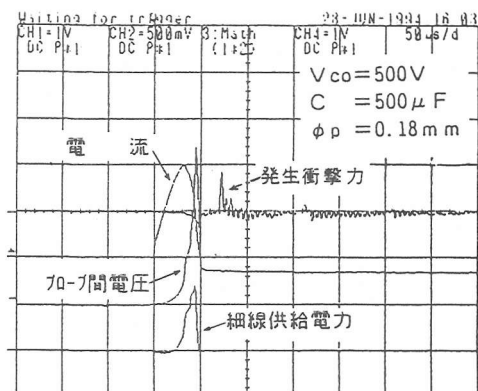


図3 放電波形および発生衝撃力

(2) 発生衝撃圧力特性

図4は、放電点～センサー間距離 L を変化させて測定したときの L と発生衝撃圧力 p の関係を示したものであり、 p は衝撃力をセンサー受圧面積より圧力に換算した値である。同図より、両者は逆比例の傾向を示すことがわかる。

図5は、細線供給電力 P と発生衝撃圧力 p の関係を示したものであり、発生衝撃圧力は細線供給電力に比例する。

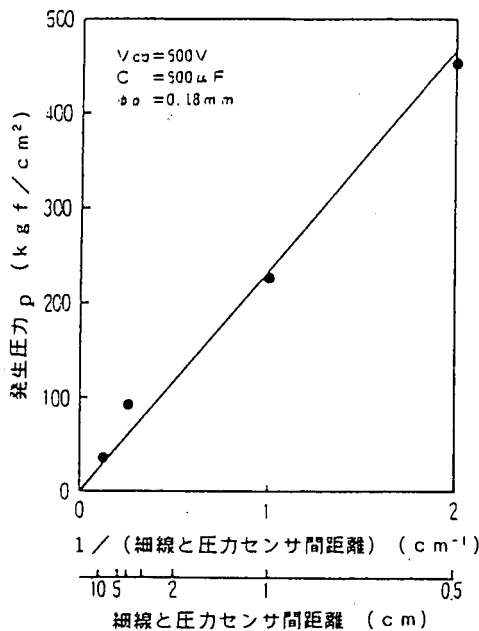


図4 放電点からの距離と
発生衝撃圧力の関係

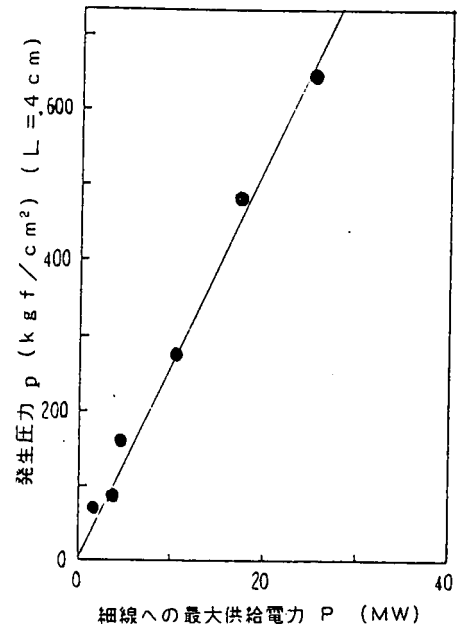


図5 細線供給電力と
発生衝撃圧力の関係

4. 破壊試験および結果

(1) 破壊力の制御性確認試験

図6は、小型コンクリート円柱サンプル(直径100mm×高さ200mm)の中心軸位置に穿孔(径20mm×深さ100mm)を設け、コンデンサ電圧を変化させたときの破壊状況を示したものである。電圧を増大、すなわち発生衝撃圧の増大とともに破壊片が細くなっており破壊力の変化が確認できる。破壊力制御はコンデンサ電圧により行うことができる。

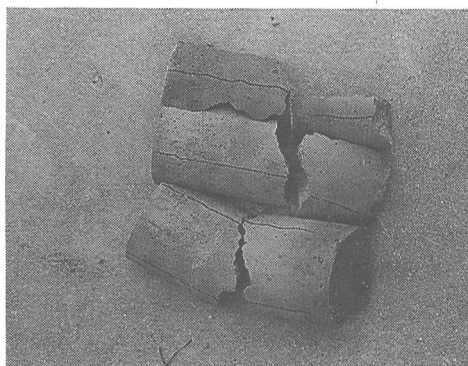
(2) コンクリートサンプル破壊実験

本破壊法の破壊性確認実験は、材料強度が明確にできるコンクリート材を用い、2種類のサンプルA、Bを製作した。サンプルAは角柱形状(400mm×400mm×1000mm)、サンプルBはプレート形状(200mm×1000mm×1000mm)とし、いずれも圧縮強度は210kgf/cm²、養生期間は約2ヶ月である。

図7は、サンプルAの角柱材側面に放電孔を1ヶ所設け、放電電力P≒60MWの1点放電で破壊試験した結果を示す。放電孔は端部から1/3の位置で、結果は放電孔を中心に3分割破断した。なお、この場合の放電プローブ挿入の穿孔径は20mm、孔深さは200mmであり、放電点より1cmの距離で約6000kgf/cm²の衝撃圧力が生じている。

次に、図8は、P≒60MW-3点同時放電によるサンプルBの破壊状況である。プレート形状サンプルの中央部の線上に等間隔で3ヶ所(深さ150mm)穿孔し、サンプル中央で2分割されることを狙って破壊実験を行った。同図(a)は、放電プローブの挿入状況を示している。その結果、同図(b)に示すように予想破断線に沿って中央で2分割に破断することができた。

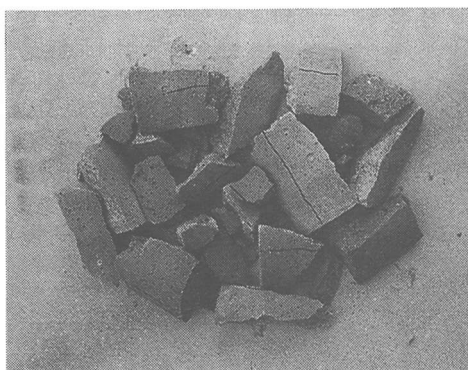
以上の破壊実験により、破壊性を確認できたとともに、複数点放電による破壊制御の可能性を得た。



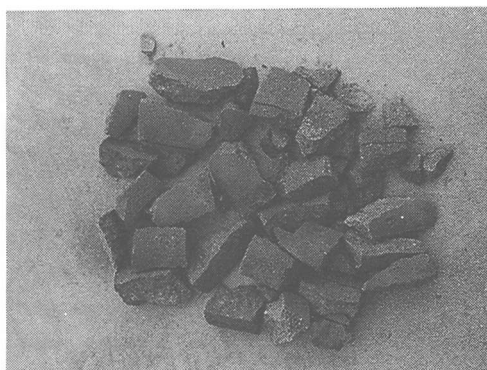
$p \approx 700 \text{ kgf/cm}^2 (V_{co} = 1050 \text{ V})$



$p \approx 940 \text{ kgf/cm}^2 (V_{co} = 1200 \text{ V})$



$p \approx 1500 \text{ kgf/cm}^2 (V_{co} = 1500 \text{ V})$



$p \approx 2200 \text{ kgf/cm}^2 (V_{co} = 1800 \text{ V})$

図 6 放電電圧の変化によるサンプル破壊状況

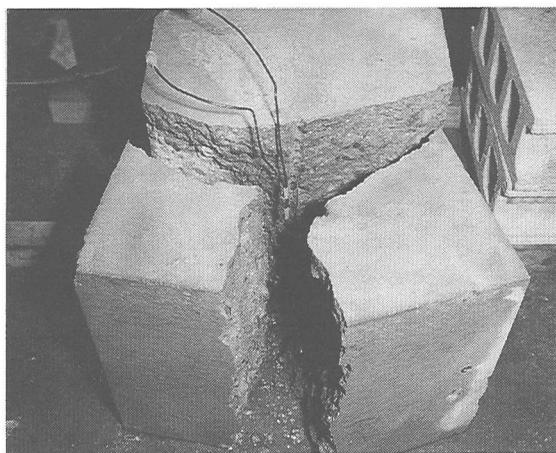
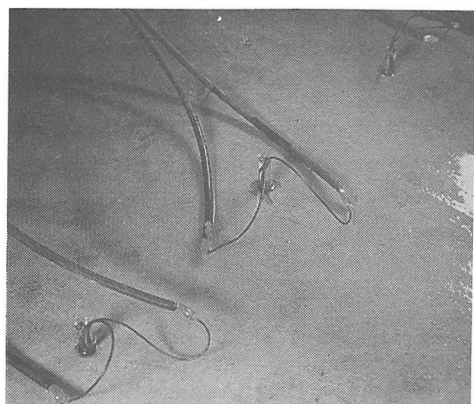
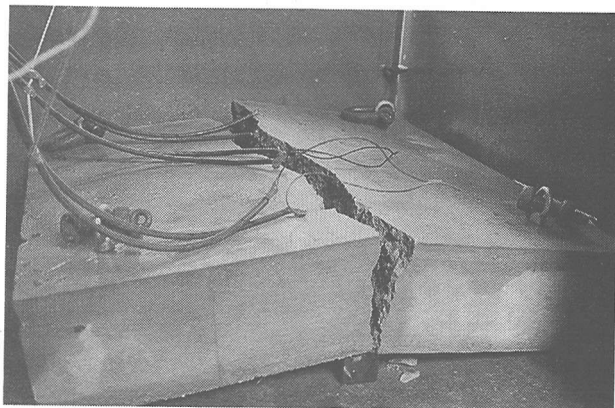


図 7 1 点放電による角柱材の破壊状況



(a) 放電プローブ挿入状況

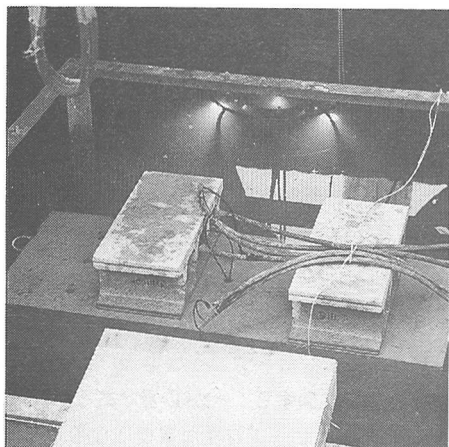


(b) 破壊状況

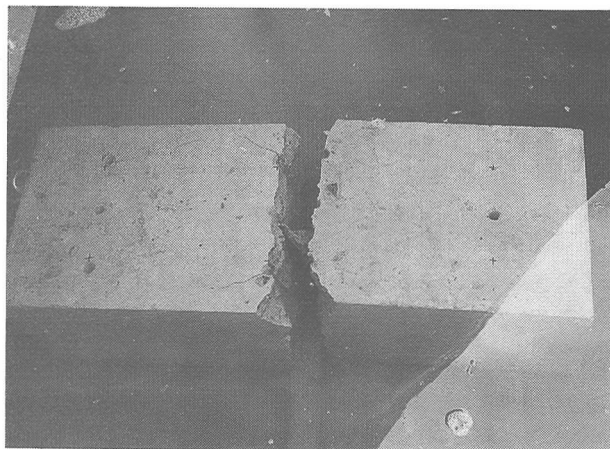
図8 3点同時放電によるプレート材の破壊状況

(3) 水中破壊の可能性確認実験

図9は、水中破壊への適用を調べるために、サンプルAによる水中破壊実験を行ったものである。破壊は、同図(a)に示すように大型水槽内にサンプルを水没させ、2分割するように中央線上に等間隔で3ヶ所(深さ200mm)穿孔し、 $P \approx 60\text{MW}$ - 3点同時放電を行った。その結果、同図(b)に示すように水中でも、本破壊法の可能性を確認した。



(a) 放電プローブ挿入状況



(b) 破壊状況

図9 水中破壊状況

5. あとがき

放電衝撃力によるコンクリートの破壊性実験を行い、岩石破壊への適用への見通しを得た。この、放電細線爆発に関する研究は古くから行われているが、電気エネルギーの衝撃エネルギーへの高変換については未解明な点が多く、また実用性を考慮すると発生衝撃力音の抑制が課題として挙げられ、今後、検討していく必要がある。