

機関番号：57403
研究種目：若手研究 (B)
研究期間：2009～2010
課題番号：21760223
研究課題名 (和文) 電気エネルギーを用いたコンクリート破砕における制御技術の確立
研究課題名 (英文) Confirmation of control method in concrete fracture by electric energy
研究代表者 村山 浩一 (MURAYAMA KOICHI) 熊本高等専門学校 機械知能システム工学科 准教授 研究者番号：30290836

研究成果の概要 (和文)：電気エネルギーを用いたコンクリート破砕工法について、穿孔にくさびを設けることで、その破砕方向の制御を可能とする技術を確立することを目的として実験をおこなった。その結果、 $\Phi 50$ ,  $t=100$ ,  $\Phi 100$ ,  $t=200$  の二種類の試験片いずれの場合も、充電電圧を適確に選ぶことでくさびに沿って亀裂を発生させ、対象物を破砕する際にその方向の制御が可能であることを実験的に確認した。

研究成果の概要 (英文)：Concrete fracture by electric energy experiments using a test piece boring with wedge were carried out to develop the control method in blasting. Two kinds of test pieces,  $\Phi 50$ ,  $t=100$  and  $\Phi 100$ ,  $t=200$  were fractured in experiments and a possibility of control in concrete blasting along the wedge was confirmed from the results of those experiments.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,500,000	450,000	1,950,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：電気エネルギー工学 (発生・変換・貯蔵・省エネルギーなど), コンクリート破砕

#### 1. 研究開始当初の背景

現在、土木工事に伴うコンクリート構造物の部分的、選択的な破砕については、主として火薬を用いた破砕工法が用いられている。しかし火薬を使用する工法に関しては、法的な規制や取り扱いが面倒であることから、火薬を使用しない破砕工法として電気エネルギーを用いた工法が研究され、実用段階に入った所である。電気エネルギーを使用した工法にもいくつか種類があるが、もっともポピュラーな工法としては、金属細線に大電流を流して熔融、気化させ、その体積膨張によって発生する衝撃波を利用するものである。し

かしこれまでの研究では、破砕や亀裂を細かく制御して、選択的な破壊を可能とするような工法は確立されていない。単に破砕するだけではなく、その破砕具合や亀裂方向を細かく制御できるようになれば、様々な場面での応用や利用が期待できる。

今回の研究テーマの着想に至った経緯として、火薬を用いた破砕工法において、必要とされる部分だけを破砕できる工法についての研究があることを知り、その内容から、電気エネルギーを用いた破砕工法について、今回の破砕制御に関する研究へのヒントを得た。火薬と比較して、その取り扱いが容易

な電気エネルギーを破碎に用いる工法をさらにもう一段発展させ、装置や実施条件等のパラメータを調整することで、破碎具合や亀裂方向を細かく制御することが可能ではないかと考え、電気エネルギーでのコンクリート破碎について簡易的な実験を行ったところ、その制御についての可能生を確認することができたこと、および装置や消耗品にあまりコストを必要としないという点から、本研究は高専という小規模で資源が限られる環境でも十分研究が可能であり、また相応の成果が期待できる内容であると考え、本研究テーマを実施するに至った。

## 2. 研究の目的

コンクリート破碎において亀裂方向の制御による選択的な破碎を可能にするべく、その手法について実験的に確認する。実験では、くさび形状の切り欠きを有した穿孔を施した試験片において、カートリッジを介して銅線を埋め込み、銅線の熔融・気化で得られる衝撃波をくさび形状の切り欠き部分に集中的に伝えることで破碎をおこなう。この場合、切り欠きの形状を工夫することで、より選択的な破碎と亀裂方向の制御が可能ではないかと期待している。

この手法により、エネルギー効率や、施工のし易さ等を踏まえつつ、電気エネルギーを用いた破碎工法について、その破碎具合や亀裂方向を制御する技術確立していく。この工法が確立できれば、現在使われている火薬を使用した破碎工法に取って代わるものとして、様々な場面での応用、利用が期待できる。

## 3. 研究の方法

コンクリート試験片に銅線を設置し、充電したコンデンサから銅線に電流を流して熔融・気化させることで衝撃力を発生させ、試験片の破碎をおこなう。この放電衝撃破碎実験の回路図を図1に示す。

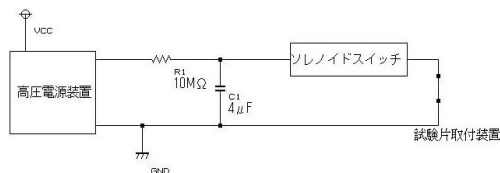


図1. 放電衝撃破碎実験の回路図

これまでに初期実験として、 $\Phi 30$ ,  $t=10$  のコンクリート試験片を破碎させる実験を行っており、これまでの結果から、コンデンサの充電電圧や銅線の径といったパラメータを変えることで破碎具合が変化すること、また、ある条件下においては亀裂が一方方向のみ生じて破碎される現象を確認し、実際の衝撃力の測定をおこなってきた。これらのデー

タを踏まえた上で、実際の土木建築分野での応用を考え、より実践的な破碎工法を確立するために、試験片の容積を大きくし、且つ直接銅線を埋め込む形から穿孔を施した試験片にカートリッジを介して銅線を設置して破碎する工法についての検証をおこなう。具体的には、試験片の容積を $\Phi 30$ ,  $t=10$  から $\Phi 50$ ,  $t=100$  および $\Phi 100$ ,  $t=200$  にスケールアップし、くさび形状の切り欠きを有した穿孔を試験片に施した上で、その穿孔に銅線を接続したカートリッジを埋め込む。その銅線に数kV~10数kV程度の電圧を印加し、銅線が熔融・気化する際に発生する衝撃力を、くさび形状の切り欠き部分に集中させることで、破碎の際の亀裂方向の制御をおこなうという方法について、その可能性や実用性を実験的に確かめていく。

## 4. 研究成果

これまでの実験で使用していた $\Phi 30$ ,  $t=10$  のコンクリート試験片を、 $\Phi 50$ ,  $t=100$  のより大きなものとし、更に細線をコンクリート内部に直接埋め込む形から、破碎対象物を穿孔して、そこに細線を取り付けた電極を水と一緒に封入して放電するという形に変更して実験をおこなった。また、破碎方向を制御する工法として、穿孔の一部にくさび形状の切り欠きを作り、その切り欠きに衝撃力による応力を集中させる形で、破碎の際に発生する亀裂を制御するという実験をおこなった。今回の実験で使用した試験片の形状を図2に示す。

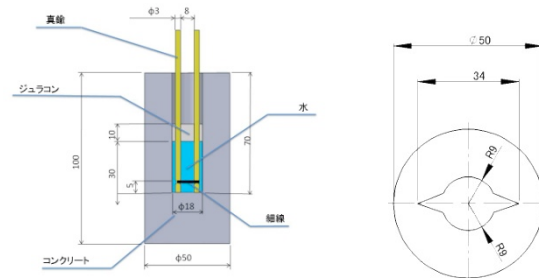


図2. 試験片の形状

金属細線は $\Phi 0.15$ mmの銅線を用い、比較検討のため、くさび形状の切り欠きを有しない円柱状の穿孔の試験片と共に実験をおこなった。切り欠きを有しない穿孔の試験片は充電電圧を6~10kV、くさび形状の切り欠きを有する試験片の充電電圧は5~10kVとして破碎をおこない、その時の典型的な電流、電圧波形として8kV充電時の波形を図3に、各充電電圧において測定した電流・電圧波形から算出した放電エネルギーの値と、コンデンサに蓄えられている充電エネルギーの値をグラフにしたものを図4に示す。□は充電エネルギー、○は切り欠きを有しない円柱状の穿孔の試験片、◇はくさび形状の切り欠きを有し

た穿孔の試験片を破碎したときの放電エネルギーを示している。なお充電エネルギーの値は $CV^2/2$ で求めたものである。

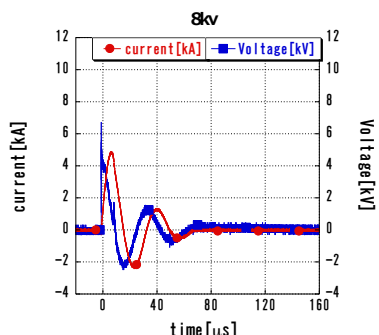


図3. 電流・電圧波形(充電電圧 8kV)

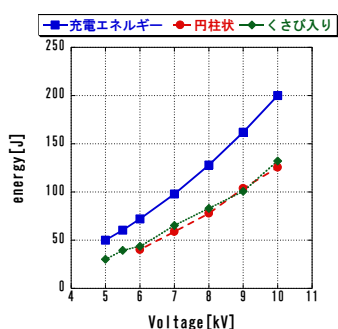


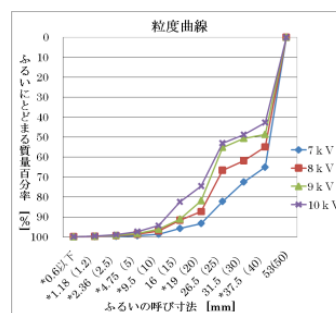
図4. 充電・放電エネルギーの比較

図3の波形から、電流が流れ始めてから最大値まで達する時間はおよそ $10\mu$ 秒程度で、最大電流値は5kA、最大電圧値はおよそ7kV程度であった。また図4の放電エネルギーと充電エネルギーの比較において、充電電圧が大きくなるにつれてその差異が大きくなる傾向があることから、エネルギー効率の点では、出来るだけ低い充電電圧で破碎することが望ましいという事が分かった。なお今回実験をおこなった充電電圧の範囲における効率はおよそ60%~70%程度であった。

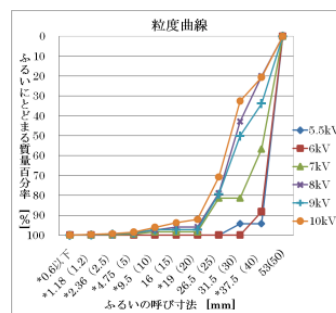
次に、今回の実験で得られた破砕片をふるい分け試験にかけ、その結果を粒度曲線としたグラフを図5に示す。(a)は空洞部が切り欠き無しの円柱状の試験片、(b)は空洞部がくさび形状の切り欠きを有した試験片の結果である。なお、空洞部が円柱状の試験片については充電電圧が6kV以下、空洞部が切り欠きを有した試験片については充電電圧が5kV以下では破碎出来なかったものでグラフからは除外している。このグラフは左に行くほど破砕片が細かくなっていることを示し、充電電圧が大きくなるにつれ、破砕片が細かくなっていく傾向があることが分かる。ただし空洞部が円柱状の試験片については、充電電圧が9kVと10kVを比較するとグラフにあまり違いは見られなくなり、空洞部がくさび形状の

切り欠きを有する試験片では充電電圧が8kV以上になるとあまり違いが見られなくなった。このことから今回の実験においては、空洞部が円柱状の試験片では充電電圧が9kV以上、空洞部が切り欠きを有する試験片では充電電圧8kV以上において破碎効果が飽和していることが分かった。

空洞部が円柱状の試験片においては充電電圧7kV以上でないと破碎されなかったのに対し、切り欠きを有した試験片では充電電圧が5.5kV以上において破碎することが確認された。また同じ充電電圧で比較すると、くさび入りの試験片の方が円柱状の試験片よりも破砕片が大きいことが確認された。これらはくさび形状の切り欠きがあることで、細線放電時に発生した衝撃力による応力がその部分に集中するためだと思われ、くさび形状の切り欠きによる亀裂の制御の有効性が確認できた。



(a)空洞部:円柱状



(b)空洞部:切り欠き有り

図5. 破砕片の粒度曲線

図6に破碎実験を行った後の切り欠きを有した試験片の破碎状況の写真を示す。充電電圧が比較的低いと切り欠きに沿って亀裂が発生して割れるが、充電電圧が高くなると、切り欠きに関係なく細かく破碎されてしまうという結果が得られた。切り欠きに沿って亀裂が発生し破碎された場合についても、5.5kV充電の際には、穿孔が無い試験片下部は破碎されなかったのに対し、6kV充電の際には、穿孔されていない試験片下部についても切り欠きに沿うようにきれいに二つに破

破されている。これらのことから、くさび形状の切り欠きを有した穿孔による破砕の亀裂制御という点においては、破砕対象物の形状や容積に応じて最適な充電電圧を選ぶ必要があるということが分かった。

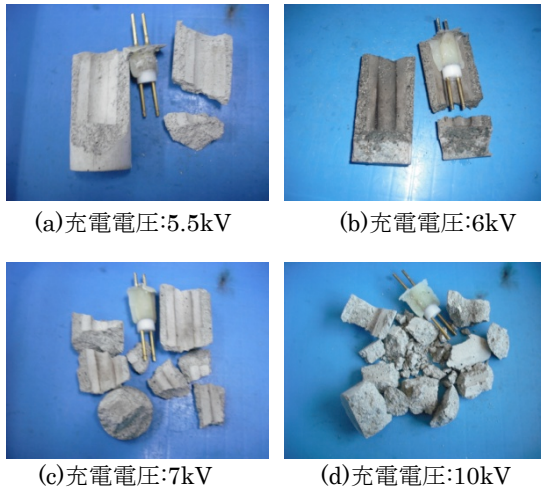


図 6. くさび入り試験片(Φ50, t=100)の破砕状況

次に、これまでの試験片の大きさから容積比で8倍のΦ100, t=200の試験片にスケールアップして、破砕実験をおこなった。Φ50の試験片での実験において、破砕方向の制御においてくさび形状の切り欠きの有用性が確認されたので、この試験片では、穿孔の深さと充電電圧をパラメータとして破砕実験をおこなった。なお、くさびの形状の切り欠きを有した穿孔はΦ50の試験片の場合と同じとしている。

実際に破砕実験をおこなった後の試験片の状況を図7に示す。充電電圧10kV～13kVに変化させて破砕実験をおこなった所、破砕方向を制御して破砕するためには、試験片の穿孔が深くなるにつれ、より大きな充電電圧が必要となることが分かった。これは穿孔が深くなると、その分穿孔部分の体積が増加し、くさび形状の部分に伝わる応力が小さくなるためだと思われる。また穿孔の深さをパラメータとした場合、穿孔の深さt=50とt=100の試験体については、穿孔の深さまでの部分において、くさび形状の切り欠きに沿って亀裂が入り破砕をすることが可能であったが、穿孔がない部分については、亀裂方向の制御ができなかった。これに対して穿孔の深さが150mmの試験片については、試験片を二等分する形で、切り欠きや穿孔がない部分についても亀裂方向を制御して破砕することが可能であった。

これらの結果より、破砕対象物の容積に応じた適切な充電電圧と、穿孔深さを選ぶことで、くさび形状の切り欠きに沿って亀裂の発

生方向を制御し、選択的な破砕をおこなうことが可能であるということを実験的に確かめることが出来た。



図 7. くさび入り試験片(Φ100, t=200)の破砕状況

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 2 件)

- ① 松本啓祐・坂本吉章・村山浩一，細線を用いた放電衝撃破砕に関する研究，第 19 回九州沖縄地区高専フォーラム，平成 21 年 12 月 5 日，北九州工業高等専門学校
- ② 村山浩一，坂本吉章，中村裕一，コンクリート放電衝撃破砕における破断面の制御，第 71 回応用物理学会学術講演会講演，平成 22 年 9 月 14 日，長崎大学

[その他]

ホームページ等

[http://y-page.kumamoto-nct.ac.jp/prof/murayama.koichi\\_2.html](http://y-page.kumamoto-nct.ac.jp/prof/murayama.koichi_2.html)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

村山 浩一 (Murayama Koichi)  
熊本高等専門学校・機械知能システム工学  
科・准教授  
研究者番号：30290836

### (2) 研究分担者

無し

(3) 連携研究者  
無し