

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：57403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420448

研究課題名(和文)電気エネルギーを用いたコンクリートの制御破砕工法の確立

研究課題名(英文)Thin Metal Wire Discharge Shock Crush Method and Crack Control for Concrete Structure

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,700,000円

研究成果の概要(和文)：金属細線に大電流を印加することで溶融気化させ、その際に生じる衝撃波を用いた放電衝撃破砕工法において、破砕対象物にくさび形状の空洞を設け、そのくさびに沿って亀裂を生じさせて破砕する手法と、実際の産業応用を見据えて、くさび形状の空洞を設けた小型試験片をカートリッジとし、破砕対象物に埋め込んで破砕をおこなうことで亀裂を制御する埋め込み型試験片を用いた手法について実験をおこなった。試験片に設けるくさび形状を工夫することで、横方向と縦方向の亀裂を同時に発生させて破砕することが可能であること、また埋め込み型の手法において、横方向の亀裂を制御して破砕すること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)： This research aims to a develop method of controlling crack directions for concrete structure in electric discharge shock crush method. We use two types of test pieces. One is the mortar test piece with wedge-shaped cavity and the other is the large mortar test piece embedded the small test piece with wedge-shaped cavity.

As a result, the mortar test piece with wedge-shaped cavity can control the crack at the horizontal and vertical direction. Moreover the large mortar test piece embedded the small test piece with wedge-shaped cavity can control the cracks at the horizontal direction. In conclusion, the crack directions can control by using the appropriate shape of cavity in the object and using the embedded test piece method.

研究分野：高電圧工学

キーワード：細線放電 コンクリート破砕 衝撃波

1. 研究開始当初の背景

現在、各種建造物や土木工事に伴う岩石等の破碎については、主として火薬を用いた破碎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碎工法の研究が進められている。

火薬を用いない破碎工法には機械的なものや化学的なものなどいくつか種類があるが、その一つとして電気エネルギーを用いたものがある。現在、電気エネルギーと化学的反応剤を組み合わせた破碎工法については実用化の域にあるが、電気エネルギーのみを用いた工法についてはまだ研究段階である。

そこで電気エネルギーのみを用いた破碎工法として、金属細線に大電流を流すことでジュール熱により金属細線自身を熔融、気化させ、その際の体積膨張によって発生する衝撃波を利用するという放電衝撃破碎工法に着目した。

応募者は、電気エネルギーを瞬間的に重畳・圧縮して得られる大電力であるパルスパワーが専門であるが、応募者の所属する高専の建築社会デザイン工学科で、火薬を用いた破碎工法に関する研究がおこなわれており、その際に火薬の取り扱いに苦労している状況から、電気エネルギーを用いた今回の研究テーマについてのヒントを得た。

また、これまでの破碎工法は単純に破碎をおこなうことを目的としており、破碎対象物に対して、その破碎量や亀裂方向を制御し、選択的な破壊を可能とするという技術はまだ確立されていない。そうした背景から、火薬と比較して取り扱いが容易な電気エネルギーを用いた放電衝撃破碎工法において、単に破碎対象物を破碎するだけではなく、更にもう一段発展させ、破碎量や亀裂方向を制御する工法を確立すべく、本研究を進めることになった。

2. 研究の目的

電気エネルギーを用いたコンクリート破碎工法として、金属細線に高電圧・大電流を印加し、その際に発生する衝撃波を用いて破碎をおこなう手法を用い、単純に破碎対象物を破碎するだけではなく、その破碎量や亀裂方向を制御して破碎する工法を確立することを目指す。こうした破碎の制御が可能になれば、コンクリートスラブへの開口や、災害時にコンクリート建築物に閉じ込められた人々の救助などにおいて、火薬を使用しないという優位性から新たな利用が期待できる。

これまでの基礎的研究において、モルタルで作った小型試験片に破碎方向を制御するためにくさび形状の空洞を設け、そのくさび部分に衝撃波を集中させて破碎をおこなうという手法を考案し、コンデンサの充電電圧と銅線径をパラメータとして、どのように破碎状況が変化していくのかを調べた実験をおこなってきた。

その結果、充電電圧を増加していくと試験片がより細かく破碎されるようになるが、その細かさは徐々に飽和していき、試験片を破碎する際には、もっとも効率が良い充電電圧があるということを確認した。また銅線径についても同様で、充電電圧と試験片の大きさに応じて、破碎に適した銅線径があることが分かった。さらに試験片に対して適切な充電電圧、銅線径の条件を設定すると、くさびの方向のみに亀裂を生じさせて破碎することが可能であることを確認している。

そこで今回の研究では、これまでの実験で使用してきた試験片を大きなものにスケールアップし、くさびの形状を工夫することで、破碎方向の制御を可能とする工法についての実証実験をおこなう。これまでの実験では、試験片に対して縦方向にくさび形状の空洞を設けていたが、この形状やくさびの数を見直すことで、細かな亀裂方向の制御が可能になると考えられる。

更に、本工法を実際の建造物や岩石等に適用することを見据えて、くさび形状の空洞を有した小型モルタル試験片をカートリッジとして使用し、実際に破碎する試験片に小型試験片を埋め込むことで亀裂制御をおこなう手法について検証をおこなう。

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。

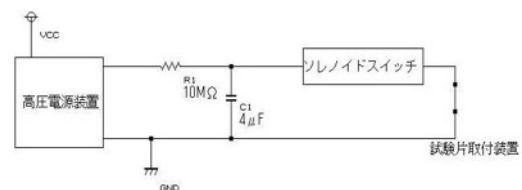


図1. 放電衝撃破碎実験の回路図

(1) くさび形状による亀裂制御の実験

本研究の目的である破碎制御をおこなうために、くさび形状の空洞を有したモルタル試験片を作成した。この試験片は、直径100mm、長さ200mmの円柱状で、くさび形状の空洞を

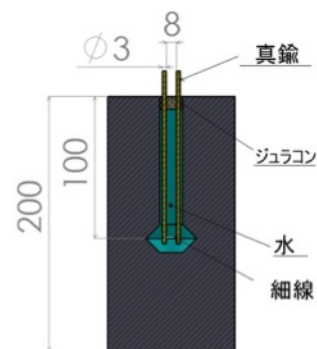
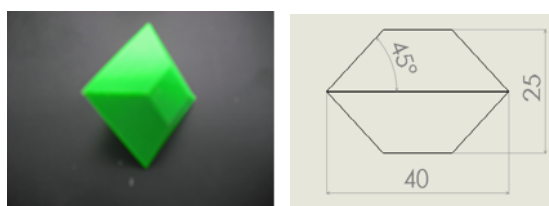


図2. 試験片の断面図

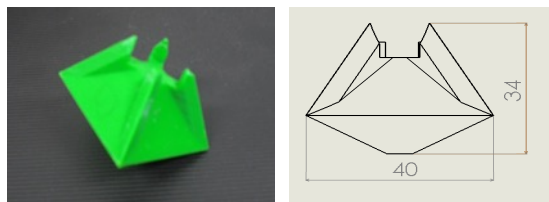
設けるために、直径 18mm、長さ 100mm の金属棒の先端に十面体形状のロウを取り付けたものを型として試験片の中心に挿入し、モルタル硬化後に棒とロウを取り除くことで作成した。

その空洞には $\phi 3\text{mm}$ の真鍮棒を電極として取り付け、先端に長さ 8mm、 $\phi 0.15\text{mm}$ の銅細線を設置して水で満たし、電極上部はジュラコンで蓋をして接着剤で密封している。この試験片の断面図を図 2 に示す。

くさび形状については、横方向だけではなく、縦方向にも亀裂を生じさせることを意図した十面体形状とし、その斜面の角度を 45° にしたものと、上部斜面の交線部分にエッジを付けた 2 種類の試験片を作成して実験をおこなった。それぞれのくさび形状を図 3 に示す。



(a) 十面体形状(斜面角度 45°)



(b) 十面体形状(エッジ付)

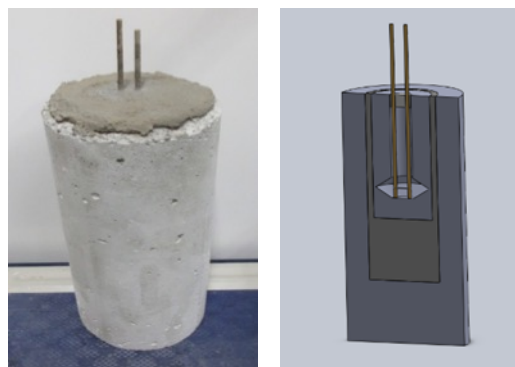
図 3. くさび形状

(2) 埋め込み型試験片による破砕実験

実際の産業応用を見据えた場合、破砕対象物に対して事前にくさび形状の空洞を設けておくことは困難である。そこで、くさび形状の空洞を設けた小型試験片をカートリッジとして用いて、実際の破砕対象物を破砕する際には穴をボーリングし、小型試験片を埋め込んで破砕する手法を考案した。

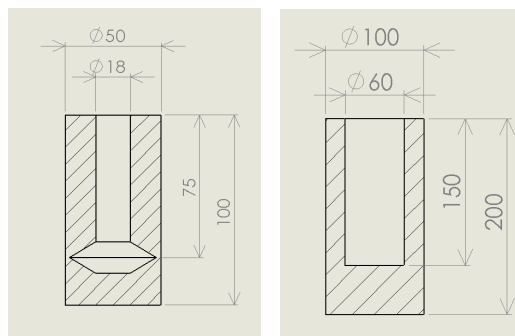
小型試験片は直径 50mm、長さ 100mm で、くさび形状の空洞や電極の設置は前述の実験で使用した試験片と同様の手法で作成した。ただし、今回の実験では横方向のみに亀裂を生じさせることを意図して、くさび形状は円板状としている。また破砕対象物に見立てた大型の試験片は直径 100mm、長さ 200mm で、中心に直径 60mm、長さ 150mm の空洞を設け、この穴に小型試験片を埋め込み、小型試験片と大型試験片の隙間と上部は超速硬性グラウト剤で固めた。この埋め込み型試験片の外観、断面図、小型試験片および大型試験片の寸法を図 4 に示す。なお、実験では金属細線として長さ 8mm、 $\phi 0.1\text{mm}$ 、 $\phi 0.2\text{mm}$ 、 $\phi 0.3\text{mm}$ のアルミニウム細線を用いた。

4. 研究成果



(a) 外観

(b) 断面図



(c) 小型試験片、大型試験片の寸法

図 4. 埋め込み型試験片

(1) くさび形状による亀裂制御の実験結果

十面体形状(斜面角度 45°)のくさび型空洞を設けた試験片を用い、充電電圧を 17.0kV、18.0kV、18.5kV として破砕実験をおこなった。その実験結果を図 5 に示す。充電電圧が 17.0kV までは試験片に亀裂が見られず破砕できなかったが、18.0kV では試験片の横方向に亀裂が発生し、試験片を輪切りのように二分割に破砕することができた。さらに 18.5kV の場合は横方向だけではなく縦方向にも亀裂を生じ、不完全ながらも横方向と縦方向の亀裂を同時に発生させて破砕できることが分かった。

次に十面体形状(エッジ付)のくさび型空洞



(a) 充電電圧 18.0kV

(b) 充電電圧 18.5kV

図 5. 十面体形状(斜面角度 45°)での破砕結果



(a) 充電電圧 17.5kV

(b) 充電電圧 18.0kV

図 6. 十面体形状(エッジ付)での破砕結果

を設けた試験片での破碎実験の結果を図 6 に示す. このくさび形状だと, 充電電圧 17.5kV でも縦方向と横方向の亀裂を同時に生じさせて破碎することができ, さらに充電電圧 18kV においては, 試験片上部を完全に四分割して破碎することが可能であった.

これらの実験結果から, くさび形状の空洞を試験片に設けることで衝撃波を集中させ, くさびに沿って亀裂を制御し破碎することが可能であることを確認できた.

(2) 埋め込み型試験片による破碎実験の結果

実際の産業応用を見据えて, 小型試験片をカートリッジとして用い, 大型試験片に埋め込むことで亀裂を制御する手法について実験をおこなった.

最初に予備的な実験として, 金属細線として Al ϕ 0.2mm を用い, 充電電圧 15kV とした際の放電電流と電圧の波形を観測した. その波形を図 7 に示す. 電流, 電圧波形ともに周期は約 26.8 μ s で, 図中の矢印で示しているように, 電流が流れ始めてから約 3.7 μ s の位置で電圧にスパイク状の波形が発生している. これは, 実験回路に含まれるインダクタンス成分と電流値の時間変化による $L(di/dt)$ の誘導電圧が発生したためで, このタイミングで細線の熔融気化が生じ, 衝撃波が発生しているものと考えられる.

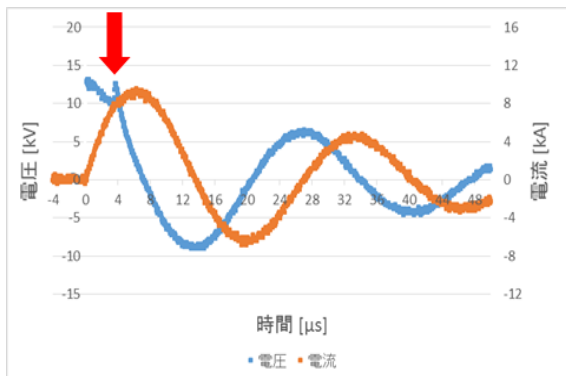


図 7. 電流・電圧波形(Al ϕ 0.2mm, 充電電圧 15kV)

次に, 充電電圧 25kV, Al ϕ 0.1mm, ϕ 0.2mm, ϕ 0.3mm の細線で, 埋め込み型試験片の破碎実験をおこなった結果を図 8 に示す. ϕ 0.1mm のアルミニウム細線を使った実験では, 小型試験片に設けたくさび形状に沿って上下で二分されており, 意図した方向での亀裂制御ができていたことが確認できた. 次に ϕ 0.2mm の場合, 片側だけ小型試験片のくさび形状に沿って割れており, もう片方は亀裂が入っているものの, 完全に分離されなかった. ただし, くさび形状に沿って分離された試験片の部分は, いくつか細かく破碎されてしまった. 更に ϕ 0.3mm の場合は, くさび形状に沿って上下に分離されているものの, 試験片上部は更に細かく破碎されてしまった. ϕ 0.2mm, ϕ 0.3mm の場合, 今回の試験片および破碎実験の条件では, 放電時に発生する衝撃力が強すぎて,

くさび形状の沿った部分以外においても亀裂が生じて破碎されてしまうということが分かった.

ただしこれらの実験結果から, カートリッジとなるくさび形状の空洞を設けた小型試験片を, 破碎対象物となる大型試験片に埋め込んで破碎する新たな手法において, 適切な充電電圧を設定すれば, 亀裂を制御して横方向の破碎が可能であることを確認できた.



(a) Al ϕ 0.1mm

(b) Al ϕ 0.2mm



(c) Al ϕ 0.3mm

図 8. 埋め込み型試験片での破碎結果

<引用文献>

- ① Toshihiro Kamo, Kazuaki Ishimatsu, Koichi Murayama, Hirofumi Iyama, Research on Electric Discharge Shock Crush Method Using Thin Wire, Materials Science Forum Vol. 767, 2013, 233-238

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 6 件)

- ① 山崎 雅弥, 村山 浩一, 久保 蘭 佑太, 竹原 満, 平岡 謙人, 細線放電を用いた放電衝撃破碎工法における破断面の制御, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会, 平成 29 年 3 月 14 日, パシフィコ横浜(横浜市)
- ② 竹原 満, 久保 蘭 佑太, 山崎 雅弥, 平岡 謙人, 村山 浩一, 衝撃波を用いたコンクリート破碎工法における亀裂制御, 平成 28 年度衝撃波シンポジウム, 平成 29 年 3 月 9 日, ヴェルグよこすか(横須賀市)

- ③ 久保 菌 佑太, 竹原 満, 山崎 雅弥, 村山 浩一, コンクリート破砕における亀裂制御に関する研究, 日本機会学会九州学生会第 48 回卒研究発表講演会, 平成 29 年 3 月 4 日, 琉球大学(那覇市)
- ④ Kento Hiraoka, Mitsuru Takehara, Masaya Yamazaki and Koichi Murayama, Thin Metal Wire Discharge Shock Crush Method and Crack Control for Concrete Structure, STI-Gigaku, 2017, International Conference of "Science and Technology Innovation", 平成 29 年 1 月 5 日, 長岡技術科学大学(長岡市)
- ⑤ Takumi Ikeda, Yuki Hirotsu and Koichi Murayama, Vinyl Replacer, the Idea for Replacement of Vinyl Sheet Covering the Greenhouse, ESCANBER Dissemination Symposium, 平成 28 年 3 月 3 日, ハノイ(ベトナム)
- ⑥ 山本 健義, 村山 浩一, 細線放電を用いたコンクリート破砕における亀裂制御工法の開発, 2014 年(平成 26 年度)応用物理学会九州支部学術講演会, 平成 26 年 12 月 6 日, 大分大学(大分市)

[その他]

ホームページ等

<http://www.kumamoto-nct.ac.jp/gyouseki/2000066.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) 研究協力者

山本 健義 (YAMAMOTO, Takenori)
 久保 菌 佑太 (KUBOZONO, Yuta)
 山崎 雅弥 (YAMASAKI, Masaya)
 竹原 満 (TAKEHARA, Mitsuru)
 平岡 兼人 (HIRAOKA, Kento)