

コンクリート版に対する制御放電衝撃破砕技術の開発

Development of Controlled Electrical Discharge Impulse Crushing Technique for Concrete Plates

福田貴志*, サタドゥル・ダス・アドヒカリ**, 藤掛一典†, 佐々木加津也***, 田中幹雄****
Takashi Fukuda, Satadru Das Adhikary, Kazunori Fujikake, Katsuya Sasaki, Mikio Tanaka

*防衛省陸上自衛隊, 武山駐屯地 (〒238-0392 神奈川県横須賀市御幸浜 1-1)

**Ph.D, Assistant Professor, Indian Institute of Technology (ISM) Dhanbad (Dhanbad, 826004, India)

†博 (工), 防衛大学校教授, 建設環境工学科 (〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20)

***日立造船 (株) 事業企画・技術開発本部 (〒551-0022 大阪府大阪市大正区船町 2-2-11)

**** (株) ニチゾウテック (〒551-0023 大阪府大阪市大正区鶴町 2 丁目 15-26)

Key Words: electrical discharge impulse crushing, crack-growth direction control, empty hole, partial demolition

キーワード: 放電衝撃破砕, ひび割れ進展制御, 空孔, 部分解体

1. はじめに

近年, 既存の鉄筋コンクリート(RC)構造物に対して, (1)大空間を造るために壁等の間仕切りを撤去したい, (2)機械や電気・電子設備等を設置するために壁や床の一部を撤去したい, あるいは(3)補修・補強のために部材の一部を撤去したい等といった, その構造物自体の付加価値を高めるための部分解体¹⁾のニーズが増えている. このような部分解体では, 建物全体を解体する全体解体と比較して(1)決められた部分のみの速やかな撤去, (2)仕上げ面の平滑化, (3)部分解体による周辺部材への影響の最小化, あるいは(4)騒音・振動および粉塵の抑制等が求められることになる²⁾.

このような RC 構造物の部分解体工事への発破工法の適用は, 搬入資材が少なく作業時間が短くて済む等の利点を有している³⁾⁴⁾ものの, 火薬類取締法による規制を受けることや近隣住民の理解を得ることが困難である等欠点も多い. しかしながら, 新たに開発された非火薬工法に分類される放電衝撃破砕工法では, 発破工法の欠点を改善して, 安全かつ短時間で RC 構造物の部分解体を可能にすることが期待されている. 放電衝撃破砕工法では, 図-1 に示すように放電衝撃破砕装置内のコンデンサに一時的に充電した高電圧エネルギーを極めて短時間に放電することによって放電カートリッジ内に封入されている自己反応性液体としてのニトロメタンを, 急激に燃焼させることにより, 爆薬の爆発に近い大きな破砕力を発生させるものである. なお, ニトロメタンは, モータスポーツやロケットの燃料としても使われている比較的 안전한液体である.

鉄筋コンクリート構造物の部分解体への放電衝撃破砕工法の適用を考えた場合, 既に述べたような要求事項に応えるためには, まずは放電衝撃破砕により鉄筋コンクリート部材中に入るひび割れの進展方向を任意に制御できる放電破砕技術(ひび割れ進展方向制御破砕技術)を確立する必要があると考える. 例えば, トンネル工事においては, 余掘りを少なくして滑らかなトンネル仕上げ面を得るための発破掘削用のスムーズブラッシング工法が開発されている⁵⁾. また, 少量の爆薬を利用した亀裂制御による部分解体技術の開発も行われている⁵⁾.

そこで本研究では, 放電衝撃破砕工法によりコンクリート版部材に入るひび割れの進展方向を任意に制御できるひび割れ進展制御破砕技術を開発することを目的として, コンクリート版試験体の放電カートリッジ設置孔の周辺に新たに空孔を設けることによってコンクリート版に入るひび割れの進展方向を制御できるかどうかを実験と動的有限要素解析により検討することにした.

2. 放電衝撃破砕工法の概要

図-2 に放電衝撃破砕装置の外観を示す. 本装置は, 高圧盤・制御盤・操作盤の3つのユニットから構成されており, 各ユニットは軽量であることから少人数での運搬が容易にできるようになっている. また, 現在, 放電衝撃破砕工法で使用される放電カートリッジは, 図-3 に示すように, 異なる形状寸法の4種類(2cc, 6.5cc, 12cc および 25cc)が実用化されている. プラスチック製の放電カートリッジには, ニトロメタンが封入されており, 図-4 に示すように金属細線を入れて使用する.

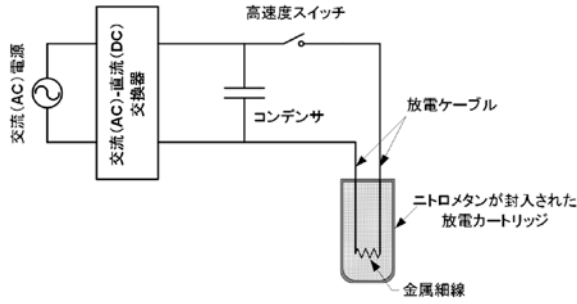


図-1 放電衝撃破碎装置の原理



図-2 放電衝撃破碎装置の外観

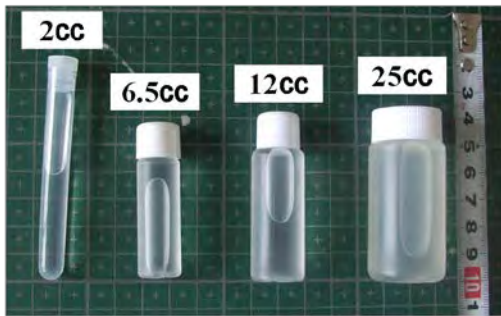


図-3 種々の放電カートリッジ

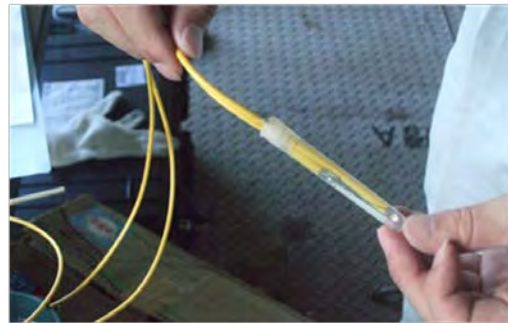


図-4 放電カートリッジへの金属細線の設置状況



(a) 転石破碎



(b) 深礎掘削



(c) 橋梁の伸縮部取替工事



(d) 橋梁の支承部取替工事

図-5 放電衝撃破碎工法の代表的な適用例

放電衝撃破碎工法は、開発されてから10年余りであるが、施工の容易性、効率性、安全性等に優れていることから、図-5に示すように転石の破碎、深礎掘削、橋梁の補修工事（伸縮継手や支承部の取替工事）等に、利用されるようになってきている。

3. 小型コンクリート版のひび割れ進展方向制御試験

ここでは、小型コンクリート版試験体を用いて、放電カートリッジ設置孔の周辺に新たに空孔を設けること

によってコンクリート版に入るひび割れの進展方向を制御できるかどうかの検討を行う。

3.1 小型コンクリート版試験体

図-6に小型コンクリート版試験体の概要を示す。本試験体は、無筋であり、縦 500mm、横 500mm および 200mm の厚さを有している。この試験体の中央部には、直径 12mm のカートリッジ装填孔を削孔し、2cc の放電カートリッジを設置した。また、ひび割れの進展方向を制御することを目的として、装填孔から左右に孔間隔 a (25mm, 50mm および 75mm) の位置に、直径 ϕ (12mm および 28mm) を有する空孔を、厚さ方向に試験体を貫通するまで穿孔した。

3.2 ひび割れ進展方向制御破砕試験ケース

表-1 にひび割れ進展方向制御破砕試験ケースの一覧を示す。ここでは、空孔を設けた試験ケースとの比較のために、空孔を設けない試験体(2cc-base)に対する試験も行っている。空孔は、直径 12mm と 28mm の 2 種類で比較した。また、カートリッジを装填した孔からの間隔を 25mm, 50mm および 75mm の 3 種類とした。

3.3 空孔によるひび割れ進展方向制御破砕試験の結果

図-7に、小型コンクリート版試験体のひび割れ進展方向制御試験後の状況を示す。2cc-base 試験体では、中央の装填孔から試験体の外側に向かって、7本のひび割れが放射状に伸び、不規則な形状の7体のブロックに分離された。一方、空孔径が 12mm、孔間隔 25mm の E12-S25 試験体の場合には、上下左右方向に直線的にひび割れが伸びて、4つの直方体ブロックに分離されていることから、ひび割れ進展方向制御は成功したといえる。ただし、空孔径が 12mm で孔間隔 50mm にした E12-S25 試験体の場合には、上下方向に放射状に伸びた複数のひび割れが形成されたため、ひび割れ進展方向制御には失敗したといえる。また、空孔径が 28mm で孔間隔が 25mm, 50mm および 75mm であるそれぞれ E28-S25, E28-S50 および E28-S75 試験体の破壊状況を比較してみると、E28-S50 の場合にはひび割れ進展制御に成功しているものの、E28-S25 および E28-S75 ではひび割れ進展制御ができていないことがわかる。このことから、ひび割れの

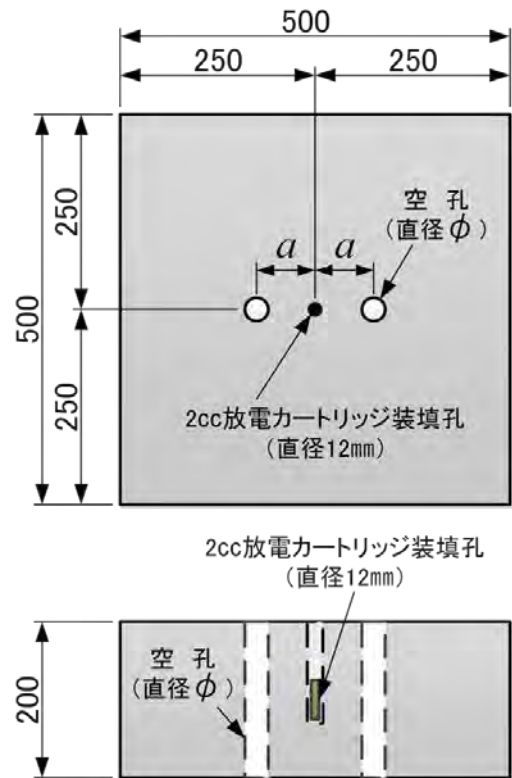


図-6 小型コンクリート版試験体

進展方向を制御するための空孔には、近すぎず遠すぎずといった適切な設置位置があることが分かる。

次に、図-8に放電衝撃破砕によりひび割れ進展制御に成功したケースと失敗したケースを空孔径と孔間隔の関係で示す。このうちひび割れ進展制御に成功したケースの空孔径(ϕ)と孔間隔(a)は、概ね次式で表される関係を満足していることが分かる。

$$1.5\phi \leq a \leq 2.1\phi \quad (1)$$

なお、式(1)は Langefors and Kihlstrom⁶⁾によって産業火薬を用いた岩石発破に対するひび割れの進展制御を行うために提案されたものであるが、放電衝撃破砕によりひび割れ制御を行う場合にも、式(1)の関係をを用いて空孔径ならびに孔間隔を設定すれば良いといえる。

表-1 ひび割れ進展方向制御破砕試験ケース一覧

試験体名	空孔径 ϕ (mm)	孔間距離 a (mm)
2cc-base	—	—
E12-S25	12	25
E12-S50	12	50
E28-S25	28	25
E28-S50	28	50
E28-S75	28	75

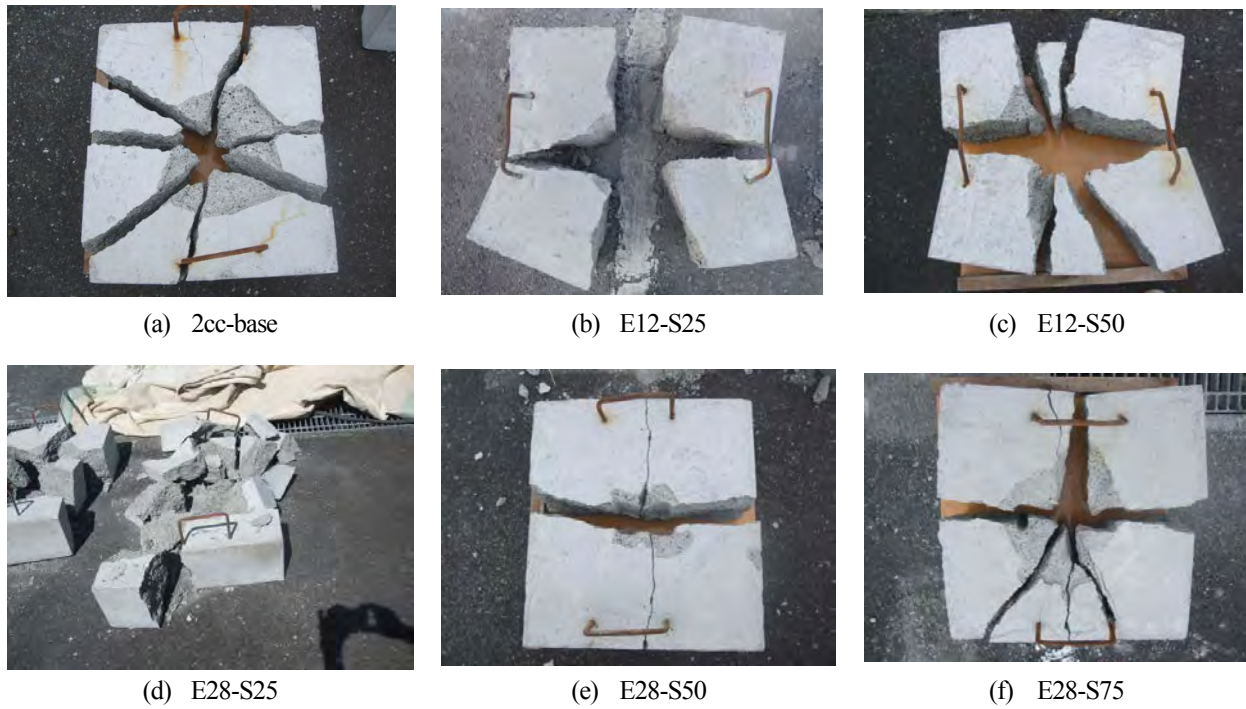


図-7 小型コンクリート版試験体の破壊状況

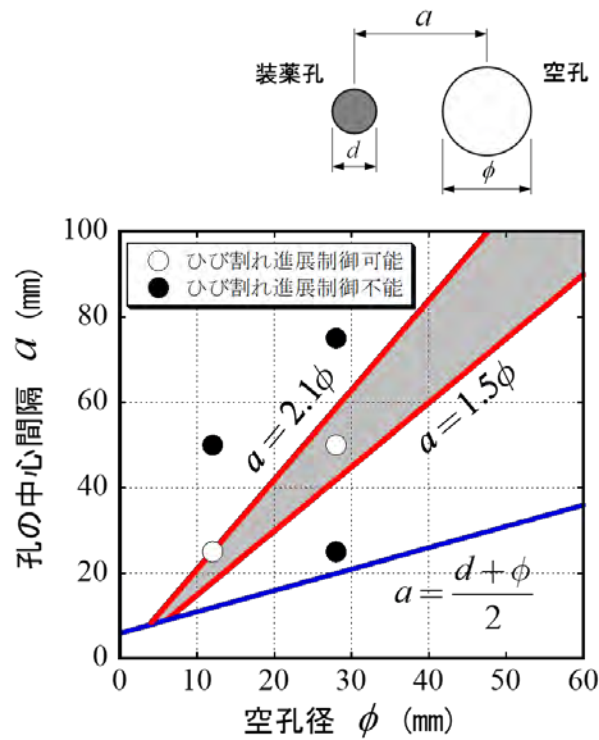


図-8 ひび割れ進展方向制御破碎における空孔径と孔の中心間隔の関係

4. 大型コンクリート版のひび割れ進展方向制御試験

ここでは、小型のコンクリート版試験体の（500×500×200mm）の、空孔によるひび割れの進展方向制御に関して得られた結果を、図-9 に示す大型のコンクリート

版に適用してみることにした。試験に用いる大型コンクリート版は、縦 1,000mm、横 1,000mm、厚さ 150mm を有している。この大型コンクリート版試験体を、図-9 に示す計画破断線に沿って放電衝撃破碎の 3 斉発により二分することとした。そのために、計画破断線に沿って、

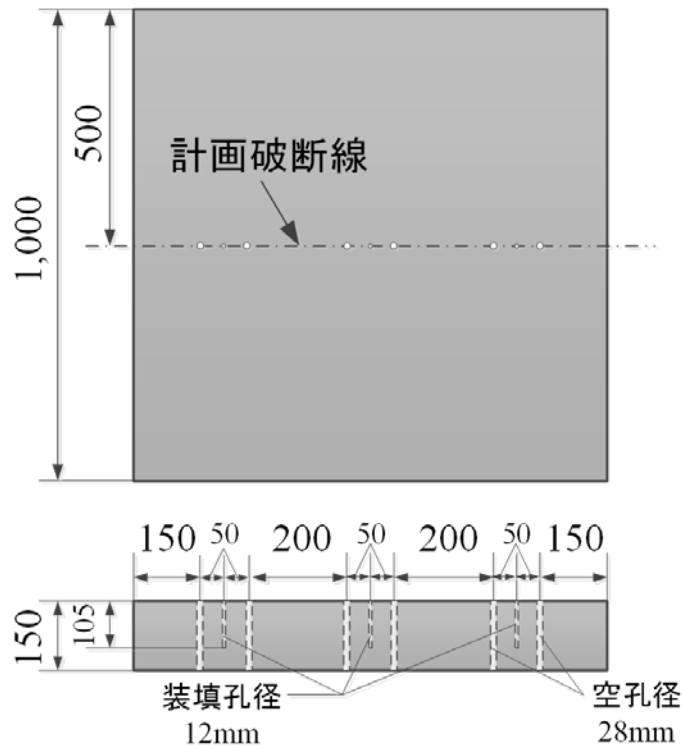


図-9 大型コンクリート版試験体



図-10 大型試験体のひび割れ進展方向制御試験後の状況

2cc の放電カートリッジを 300mm 間隔で 3 個設置するとともに、各カートリッジに対して直径 28mm の空孔を孔間隔 50mm で対称な位置に配置した。

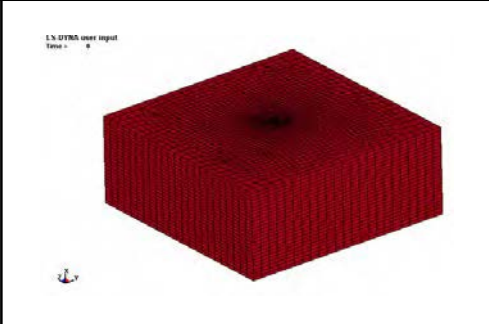
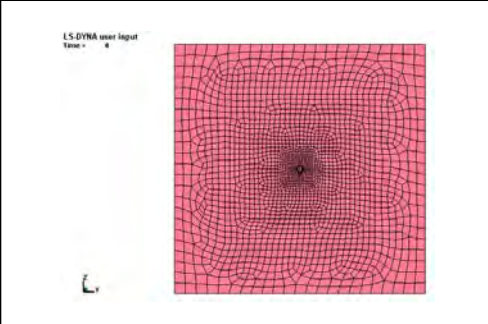
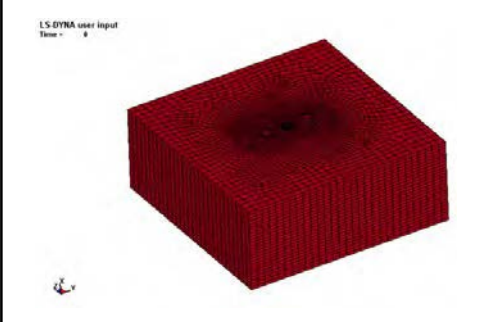
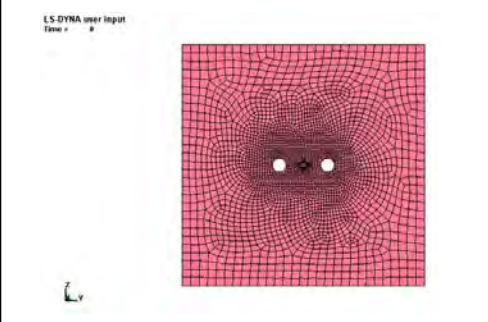
図-10 に放電衝撃破碎後の大型コンクリート版試験体の状況を示す。この図から、試験体は想定破断線に沿って二分されており、ひび割れ制御破碎に成功していることがわかる。したがって、小型コンクリート試験体で得られた空孔径と孔間隔の関係式(1)を適用すれば、大型のコンクリート版においてもひび割れの進展制御が可能と考える。

5. 小型コンクリート版のひび割れ進展解析

ここでは、汎用解析ソフト LS-DYNA を用いて、空孔配置による放電衝撃破碎のひび割れ進展制御に対する基礎的なシミュレーションを行った。表-2 に計算に用いた小型コンクリート版の要素分割を示す。空孔を配置した試験体 (E28-S50, 空孔径 28mm で孔間隔 50mm) では、節点数 80,038, 要素数 74,695 となった。また、空孔を配置しない試験体(2cc-base)では、節点数 54,302, 要素数 50,770 となった。

別途試験結果から、2cc の放電カートリッジにより発

表-2 小型コンクリート版試験体の要素分割

試験体名	全体図	上面図
2cc-base		
E28-S50		

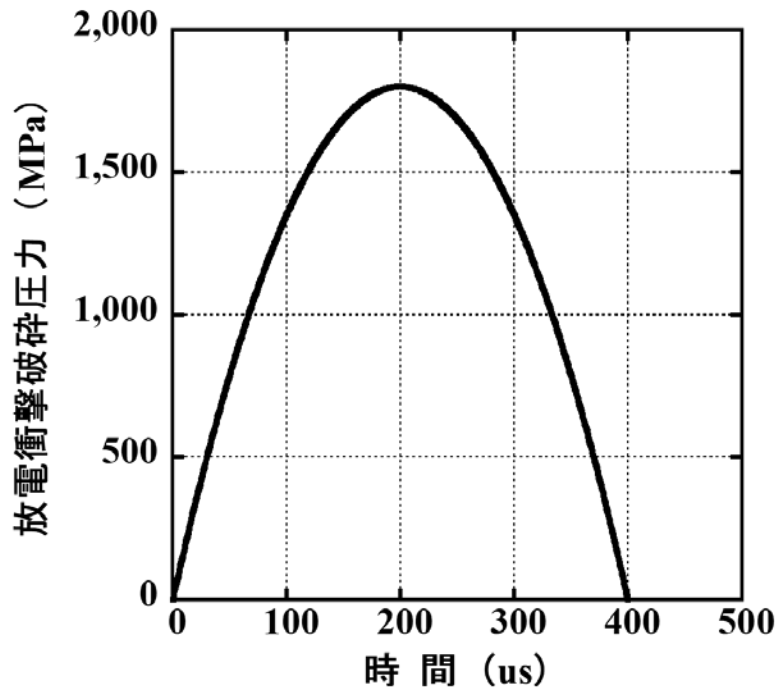


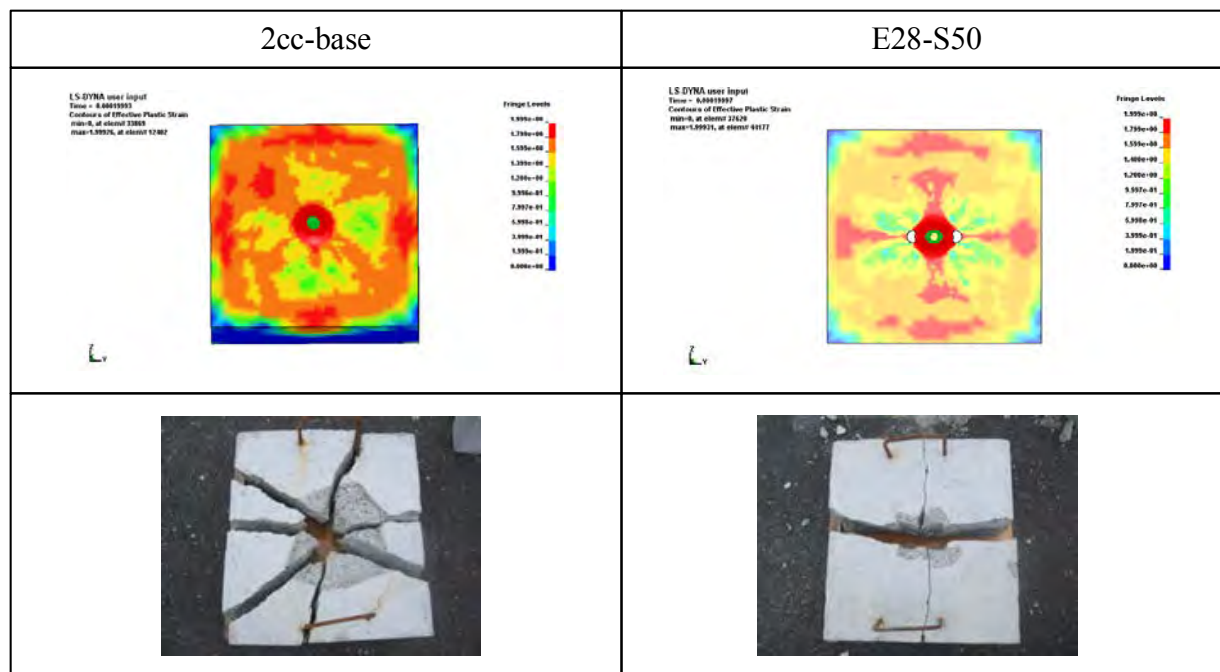
図-11 放電衝撃破砕圧力-時間関係

生ずる放電衝撃破砕圧力は、図-11のように想定された。LS-DYNAによる計算では、この圧力の時刻歴をカートリッジ設置孔の壁面に作用させることにした。

表-3にLS-DYNAの計算によって得られた時間ごとの塑性ひずみ分布を示す。この計算結果をみると、空孔を配置していない2cc-baseでは、試験体に発生するひずみに指向性はみられない。一方、空孔を配置したE28-S50試験体では、2つの空孔を結ぶ方向に直交する方向に引

張ひずみが卓越していることがわかる。これは放電カートリッジにより発生した圧縮応力波が空孔で反射された結果生じたものと考えられる。これらの結果は、試験結果とよく一致しており、LS-DYNAによるシミュレーション解析によって亀裂進展の傾向をほぼ再現できたといえる。

表一3 空孔の有無によるひび割れ進展方向制御解析結果の比較 (200 μ 秒後の塑性ひずみ分布)



6. まとめ

本研究では、放電衝撃破砕工法によりコンクリート版部材に入るひび割れの進展方向を任意に制御できるひび割れ進展方向制御破砕技術を開発することを目的として、小型ならびに大型コンクリート版試験体を用いたひび割れ制御試験を行った。その結果、放電カートリッジ装填孔の左右に直径 ϕ の空孔を孔中心間隔 $1.5\phi \leq a \leq 2.1\phi$ を満足するように設置することによりひび割れ進展方向を制御できることが分かった。また、LS-DYNAを用いてひび割れ進展制御の基礎的なシミュレーション解析を行った結果、試験結果と同様なひび割れ進展の指向性が再現できた。

参考文献

1) Lauritzen, E. K. and Peterson, M.: Partial Demolition By Mini-Blasting, Concrete International, American Concrete Institute, Vol.13, No.6, pp.43-46, June, 1991.

2) 解体工法研究会編：新・解体工法と積算, pp.321-347, 経済調査会, 2003年.

3) イアムラオー・ピーラサック, 藤掛一典, 大野友則: 鉄筋コンクリート構造物の発破解体に関する基礎的研究, 構造工学論文集, Vol.56A, pp.1180-1195, 2010年3月.

4) Fujikake, K. and Aemlaor, P.: Damage of reinforced concrete columns under demolition blasting, Engineering Structures, Vol.55, pp.116-125, 2013.

5) スティグオロフソン, 最新発破技術ハンドブック編集委員会: 最新発破技術ハンドブックー岩を砕くー, 山海堂, p.119-131, 1992.

6) Langefors, U. and Kihlstrom, B.: The Modern Technique of Rock Blasting: Third Edition, Almqvist and Wiksell, Stockholm, Sweden, 1978.

7) 福田貴志: 放電衝撃破砕工法の鉄筋コンクリート構造物解体への適用性に関する基礎的研究, 防衛大学校理工学研究科前期課程修士論文, 2012年.