

平成 30 年 6 月 12 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05953

研究課題名(和文) 接地経由雷に対する加圧導電水浸潤建築材利用の雷サージコンディショニングの技術化

研究課題名(英文) Conditioning technique for lightning surge invaded from ground using pressured building material salked by conductive water

研究代表者

岡野 大祐 (Okano, Daisuke)

東海大学・熊本教養教育センター・教授

研究者番号：00169129

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：高層ビル胸壁受雷亀裂を模した接合コンクリート(JC)の接地経由雷研究により、次の結論を得た。正負極放電規格化電荷量は気圧 $p=5.0\text{atm}$ で各々39%、52%に減衰する。200kHz迄の放電インピーダンス $Z_d$ はR-L直列回路で近似され、正極放電電流波頭長で $R=500$ 、 $L=450\mu\text{H}$ 、負極放電では $R=450$ 、 $L=280\mu\text{H}$ と推定される。波頭長以降のR、Lの各値は1/50程度に減少する。R//C並列回路は大気圧JCギャップの雷歪波形に対して、波形緩和、振幅抑制及び最大1/4の放電時間短縮等機能を有し、サージ調整技術の可能性を与える。

研究成果の概要(英文)：Through lightning room tests invaded into junction concrete gap simulated specific cracks on concrete parapets of high tall buildings, the consideration results are as follows; the normalized discharged charge at  $p=5.0\text{atm}$  is reduced by 39% and 52% for positive and negative discharges, respectively, discharge impedance ( $Z_d$ ) less than  $f=200\text{kHz}$  is approximated to an R-L series circuit and each element value is estimated as  $R=500$  and  $L=450\mu\text{H}$  in the front duration in positive discharges, and  $R=450$  and  $L=280\mu\text{H}$  in the front duration in negative discharges, while R and L values simultaneously decrease by 1/50 more than the front duration in positive and negative discharges, a parallel circuit with R//C has functions such as conditioning waveforms, suppressing noise amplitudes and reducing discharge period by 1/4 in the maximum through simulated lightning discharges in an atmospheric JC gap, therefore this circuit gives an possibility for lightning surge conditioning technique.

研究分野：電力工学、雷保護

キーワード：落雷 高層ビル コンクリート 内部雷保護 高圧気相 雷サージ調整

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 国内・国外の研究動向

雷性状と対策 日本国土は先進諸国の中で年間を通じて雷雨日数が最も多く、雷特性は夏季雷（6～8月）と冬季雷（11～2月）で大きく異なる。すなわち、(a) 雷雲高度は夏季で高く、冬季は低い。(b) 夏季雷の90%は負極性放電が占め、冬季雷は50%程度が正極性放電である。(c) 冬季雷は電流継続時間が長く、雷電荷量は夏季雷の100倍以上大きい。(d) 夏季雷は大部分が下向き放電であるが、冬季雷は上向き放電が多い。(e) 日本海沿岸部で冬季雷による多大な被害が発生している。雷伝搬過程（経路）の観点から、相手が対極となって直接落雷する直撃雷、導体の電磁誘導で発生する誘導雷、落雷が高層ビルの損壊を経由して鉄筋代替接網や地表面から侵入する接地経由雷、さらに接地抵抗部の電位上昇により配電系統に雷サージが逆流する際の逆流雷に分類される。国際雷保護指針はIEC規格の「構造物の雷からの保護」<sup>(1)</sup>や「電磁波パルスに対する保護」<sup>(2)</sup>があり、JIS規格発行の根拠となっている。しかし、国内冬季雷ではIECが想定する雷最大電荷量300Cを超える400C以上が観測されており、従来規格を超える免雷手段が早急に必要である。

直撃雷対策は、受動法として直接受雷する避雷針、避雷鉄塔<sup>(3)</sup>および架空地線の活用などがあるが、落雷場所を制御する能動法は新藤孝敏博士等によるレーザ放電法<sup>(4)</sup>のアプローチがあり、1997年には北陸地域の冬季雷に対して河崎善一郎博士等<sup>(5)</sup>が成功した。接地経由雷や逆流雷の対策は、高層のビル・建築物、山頂通信施設や海浜発電設備において重要課題であり、一般に雷保護装置（SPD）が活用されている。

接地経由雷対策の現状 一般に接地経由の雷保護手段として、SPDシステムとコンクリートの鉄筋線、接地線および接地板の連係による等電位ボンディング（等価的ファラデーシールドリング）で対策が講じられているが、直撃雷クラスに対応可能なSPDは放電現象を利用する避雷管が用いられているが、避雷管性能は動作電圧が比較的高く、放電耐量においても国内雷性状を考慮すると課題が残る。そのため、避雷管型SPD性能を補完する方法の技術化が望まれる。

[文献] (1) IEC 61024-1 (1990), (2) IEC 61312-1<sup>3</sup> (1995), (3) 日本型風力発電ガイドライン〈落雷対策編〉, NEDO (2003), (4) 三木, 和田, 新藤, 相原: 電気学会誌-A, vol. 115, pp. 644-651 (1995), (5) 島田, 内田, 安田, 本越, 石窪, 河崎, 山中(龍), 足立, 山中(千): 電気学会誌, vol. 119-A, pp. 990-996 (1999),

## 2. 研究の目的

接地経由雷や逆流雷の対策は内部雷保護分野に集約できるが、国内雷性状を考慮するときSPDシステムの内部雷保護には限界がある。特にSPD性能を補完する動作電圧未満の雷侵入に対処可能な方法が求められる。当該研究では、雷過電圧調整機能を有する雷サージコンディショニング（以下、LSCと略称）の可能性を汎用建築材や電気回路に求め、その技術化検討を目的とする。

## 3. 研究の方法

(1) H27年度 対象: 接合部コンクリート作成と複合ギャップの放電特性調査, 解明点: (1) 複合ギャップ（気相: 加圧空気-液相: KCl塩水-固相: コンクリート等）のインピーダンス

ス特性, (2)複合ギャップの雷インパルス放電の抑制特性 (印加電圧は JIS の直撃雷規格化波形: 10/350  $\mu$ s)

(2) H28年度 対象: LSC の最適化調査, 解明点: 複合ギャップの雷インパルス放電抑制の最適条件 (主に気相の圧力依存性を対象)

(3) H29年度 対象: LSC の可能性と技術化への方策検討, 解明点: 雷インパルス入力による LSC 機能の再現性及び同等機能の探索を通じて、技術化への検討結果をまとめる。

#### 4. 研究成果

##### (1) 複合ギャップの放電様相

受雷コンクリート建築物の引き下げ導体とコンクリート鉄筋間の亀裂閃絡を JC ギャップの雷衝撃放電実験で模擬し、封入乾燥空気圧  $p=1.0-5.0$  atm に対する実験検討結果を以下に示す。ただし、図 1 は放電実験装置概要、図 2 は正負極放電の規格化電荷量の気圧依存性、図 3 は正極放電波形の気圧依存性、図 4 は放電インピーダンス素子の気圧依存性を各々示す。

①主放電が沿面から接合経由で接地極に捕捉される接合ギャップ構造により、亀裂閃絡モデルが得られる。

②正負極の沿面放電領域は、気圧増加に伴い面から複数の筋に縮小する。

③正負極の放電時間波形は、 $p \geq 2.0$  atm で歪波形から単極の平滑波形に移る。

④正負極放電の規格化放電電荷量は  $p \leq 2.0$  atm で各々 30%, 48% に急激減衰し、 $p \leq 5.0$  atm では各々 39%, 52% に緩和減衰する。

⑤非導電性接合固体の放電インピーダンス測定は放電時間波形を用いる放電解析法が適する。

⑥放電スペクトルの解析結果より、 $p \geq 2.0$  atm は高周波放電成分の振幅が抑制され、放電波

形の連続性が確保されるためインピーダンス解析が可能となる。

⑦ $Z_d$  は  $R-L$  直列回路で見積られ、電流波頭長における等価回路素子は正極放電で  $R \leq 500 \Omega$ ,  $L \leq 450 \mu$ H、負極放電で  $R \leq 450 \Omega$ ,  $L \leq 280 \mu$ H と推定される。

⑧正負極放電波頭長までの等価回路素子は、波頭長以降で時間経過に伴い最大 1/50 程度まで減少する。

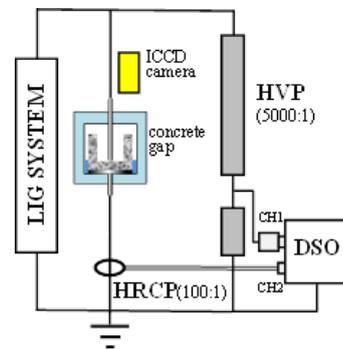


図 1 放電実験装置概要

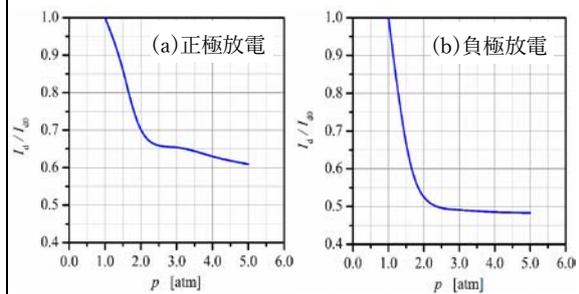


図 2 正負極放電の規格化電荷量の気圧依存性

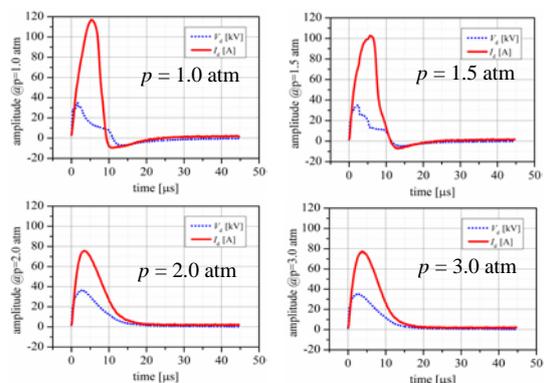


図 3 正極放電波形の気圧依存性

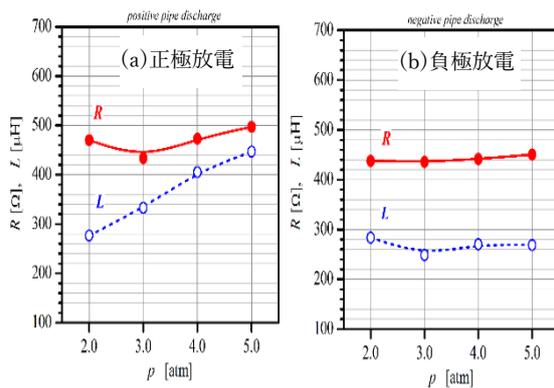


図4 放電インピーダンス素子の気圧依存性

## (2) LSCの実験検討

複合ギャップに雷模擬電圧を印加して模擬した雷放電歪波形に対するLSC法として、複合ギャップ自体の高気圧化および補完回路直列接続について実験検討結果を以下に示す。

ただし、図5は印加波高値  $V_a = -51$  kVの大気圧負極放電歪波形、図6は同条件でR//C並列回路による放電抑制波形を各々示す。

①高気圧JCギャップ自体は(1)よりLSC機能を有するが、高気圧条件に技術的課題が残る。  
 ②R//C並列回路は大気圧JCギャップの雷歪波形に対して、波形緩和、振幅抑制及び最大1/4の放電時間短縮等のLSC機能有するため、技術確立対象に挙げられる。

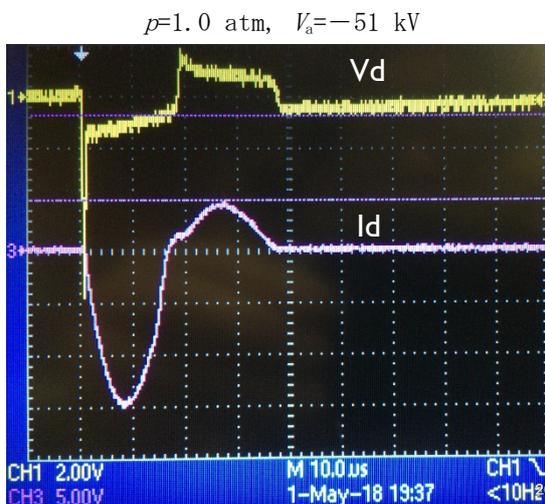


図5 大気圧正極放電歪波形

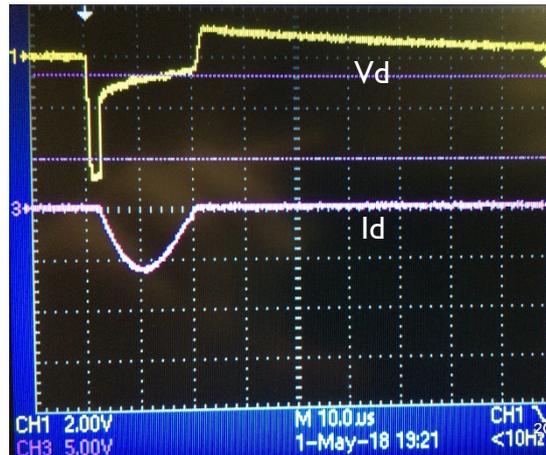


図6 R//C並列回路による放電抑制波形

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文]

(1) 岡野大祐: コンクリート接合部に侵入する模擬雷の放電抑制に関する基礎実験, 電気設備学会論文, vol37, no. 7 pp. 524-532 (2017).

[学会発表]

(1) Daisuke Okano: Lightning Transient Impedance Analysis of a Junction Concrete Gap Soaked in Salt Water under Varying Air Pressure Conditions, Proc. of 33rd Int. Conf. on Lightning Protection, Lisbon, Portugal, 25-30 Sept., no. 48, pp. 1-6 (2016).

(2) 岡野大祐: 塩水浸潤コンクリート材に侵入する模擬雷の放電インピーダンス特性, 第34回電気設備学会全国大会, no. B-10, pp. 1-2 (2016).

(3) 岡野大祐: 接合コンクリートに侵入する模擬雷のギャップインピーダンス推定, 第35回電気設備学会全国大会, no. G-7, pp. 1-2 (2017).

## 6. 研究組織

(1) 研究代表

岡野大祐 (OKANO, Daisuke)

東海大学・熊本教養教育センター・教授

研究者番号: 00169129