

感電危険のある火災防ぎょの研究 (第3報)

大 熊 順 三*
池 辺 昇 一*
伊 藤 隆 庸*

1. はじめに

高膨張泡による電気火災防ぎょの研究として、前回泡の電導性について報告したが、今回は同泡を利用したの電気室火災防ぎょの安全性に関する基礎的研究、ならびに東消式簡易発泡器による、電気火災防ぎょの安全性について実験したので報告する。

なお本研究の電気室火災防ぎょについては、実大火災規模実験を行なった後結論を出したい。

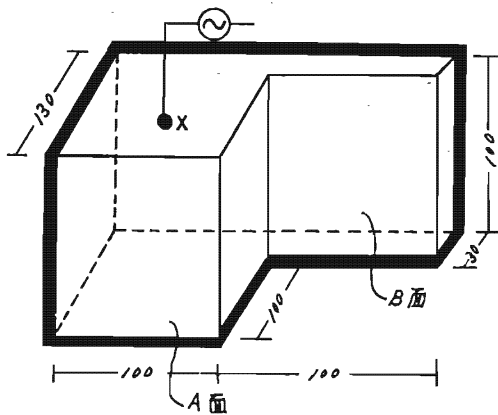
[その1 高膨張泡による電気火災防ぎょ]

2 模型電気室への送泡時に於ける泡体内の電位傾度と漏えい電流値の測定

(1) 模型電気室の大きさと型

模型電気室は、次の図に示すとおりである。

第1図 模型電気室



(2) 電極の種類

ア. X電極 (充電電極)

X電極の種類は次の3通りである。

- ㊦ X₃ 電極……………直径3cmの銅球
- ㊧ X₅ 電極……………直径5cmの銅球
- ㊨ X₁₀ 電極……………直径10cmの銅球

イ. Y電極 (泡体内の測定点電極)

Y電極の種類は1種類で、3cm×3cm(厚み1mm)の銅板である。

ウ. Z電極 (大地)

Z電極はコンクリート床全部およびモルタルブロック壁体(模型電気室の半分)とした。

(3) 非測定物の電気回路測定値

- ア. 試験用変圧器の二次側インピーダンス… 560Ω
- イ. 試験用変圧器の二次側接地抵抗値…………… 7Ω
- ウ. 模型電気室の水濡れ時のコンクリート床面電気抵抗値(床面—アース間)……………30~50Ω
- エ. 模型電気室の水濡れ時のモルタルブロック壁体面電気抵抗値(壁体面—アース間)…400~600Ω
- オ. 使用電圧計(泡体内の電位測定)の内部抵抗値…………… 500kΩ
- カ. 使用電流計の内部抵抗

- ㊦ 全漏えい電流測定用…………… 400Ω
- ㊧ 泡体内の各位置の漏えい電流測定用… 1,500Ω

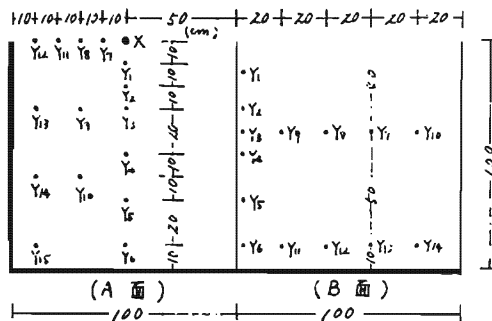
(4) 使用した泡の倍率と温度および泡剤の種類

- ア. 泡剤……………AT剤(当庁開発)
- イ. 泡の倍率……………400~500倍
- ウ. 温度……………8~13℃
- エ. 使用方法……………原液 1.5%

(5) 電位と漏えい電流の測定位置

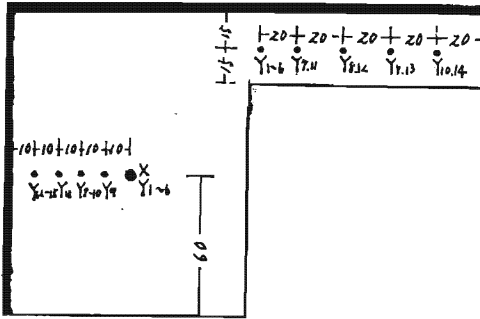
泡体内の電位と漏えい電流の測定位置は次の図に示すとおりである。

第2図 各電極の位置図(側面図)

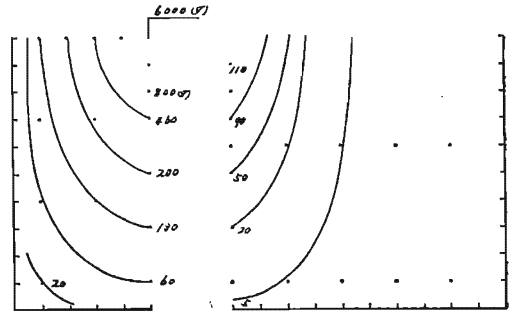


* 第一研究室

第3図 各電極の位置図 (平面図)



第6図 印加電圧6,000 V



(6) 測定結果

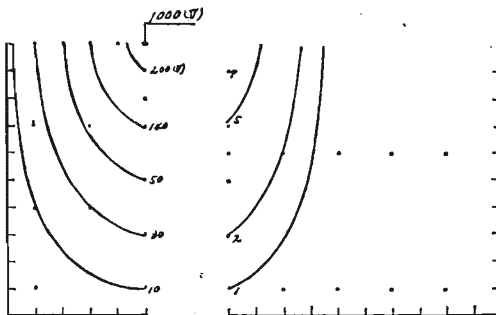
ア. X₃電極印加時の電位傾度と漏えい電流

(ア) 発泡直後 (t = 0'00")

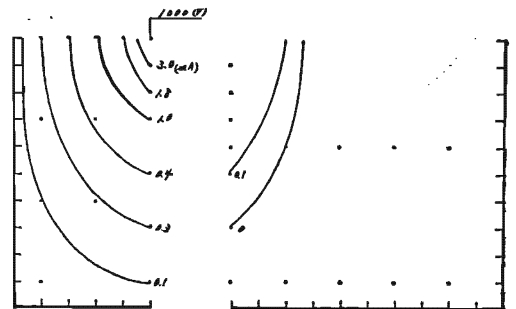
a. 電位傾度

b. Y電極への漏えい電流

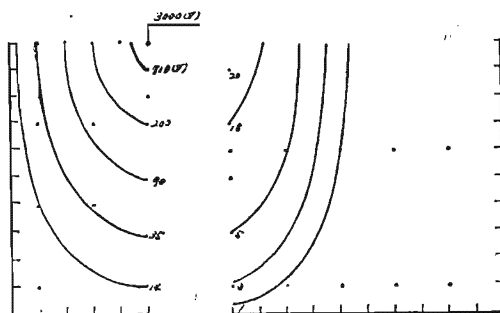
第4図 印加電圧1,000 V



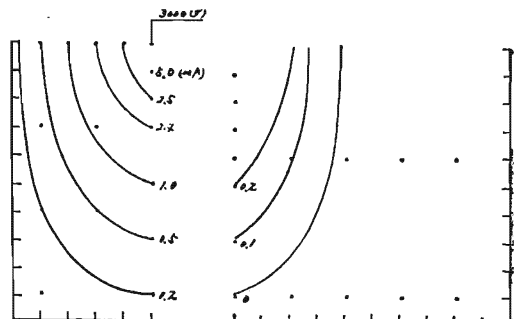
第7図 印加電圧1,000 V



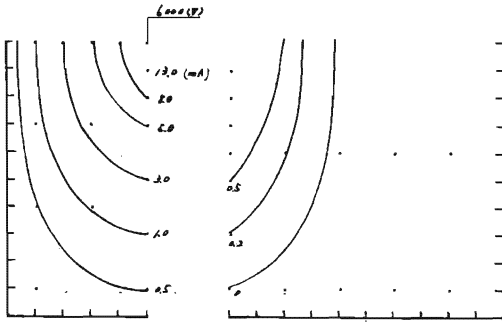
第5図 印加電圧3,000 V



第8図 印加電圧3,000 V

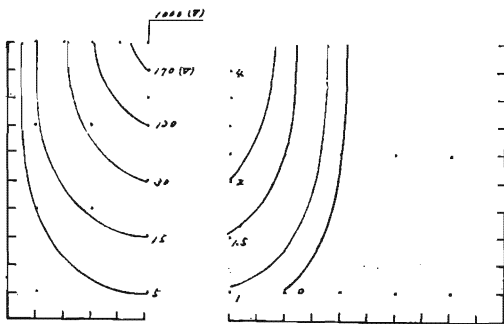


第9図 印加電圧6,000V

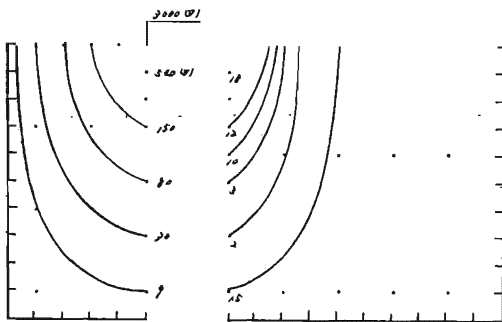


(1) 発泡後1分の電位傾度

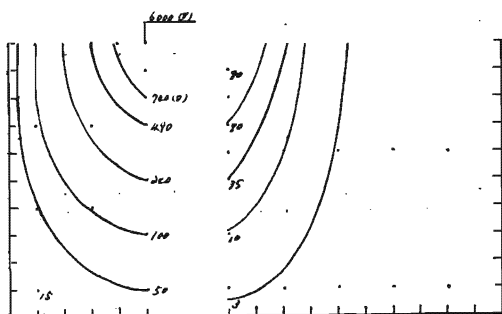
第10図 印加電圧1,000V



第11図 印加電圧3,000V



第12図 印加電圧6,000V



(2) 全漏えい電流の経過時分との関係

X₃電極からの漏えい電流は、泡の老朽度（経過時間）によって変わるが、その状況は次の表による。

第1表 X₃電極による泡の老朽と漏えい電流(mA)

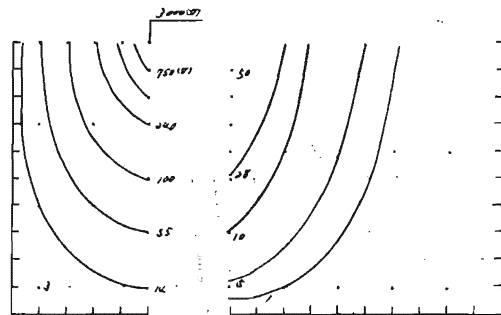
X ₃ 電極の電圧	発泡直後	発泡30秒後	発泡1分後	発泡1分30秒後	発泡2分後
1,000V	7	7	6	6	6
3,000V	23	21	18	8	0
6,000V	50	48	0	0	0

イ. X₃電極印加時の電位傾度と漏えい電流

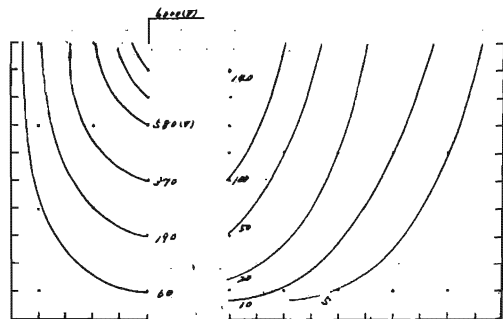
(7) 発泡直後 (t = 0'00")

a. 電位傾度

第13図 印加電圧3,000V

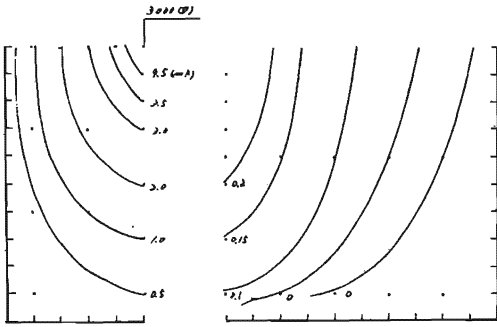


第14図 印加電圧6,000V

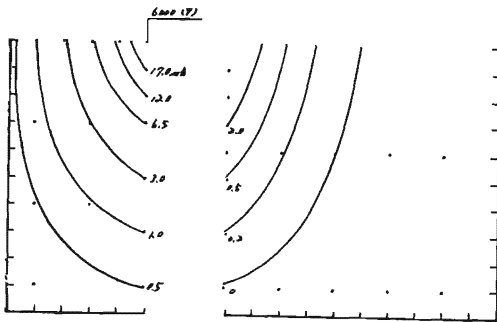


b. Y電極への漏えい電流

第15図 印加電圧3,000V

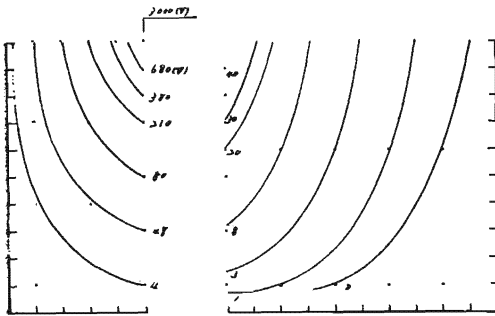


第16図 印加電圧6,000V

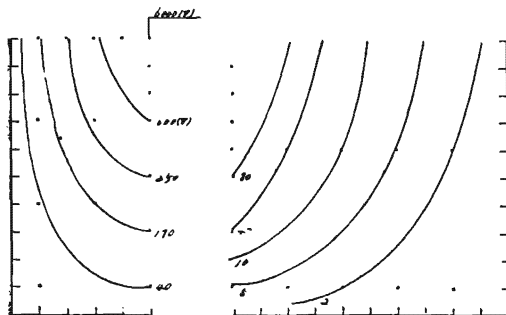


(i) 発泡後1分の電位傾度

第17図 印加電圧3,000V



第18図 印加電圧6,000V



(v) 全漏えい電流の経過時分との関係

X₅電極からの漏えい電流は、泡の老朽度（経過時分）によって変わるが、その状況は次のようになる。

第2表 X₅電極による泡の老朽と漏えい電流(mA)

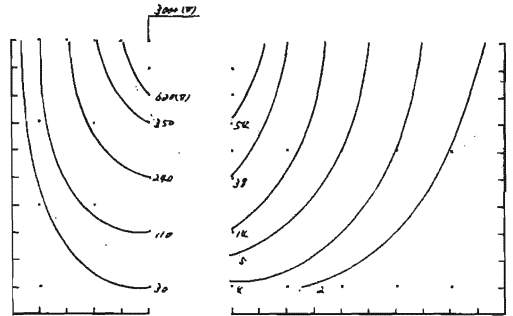
X ₅ 電極の電圧	発泡直後	30秒後	1分後	1分30秒後	2分後
3,000V	29	28	25	23	—
6,000V	62	55	36	0	0

ウ. X₁₀電極印加時の電位傾度と漏えい電流

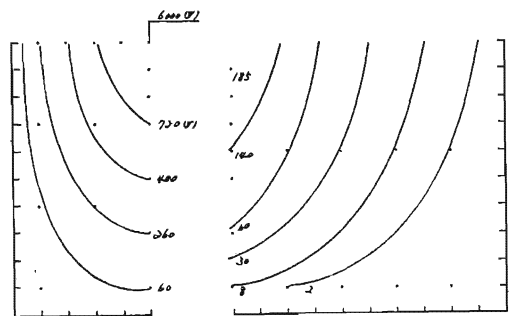
(v) 発泡直後

a. 電位傾度

第19図 印加電圧3,000V

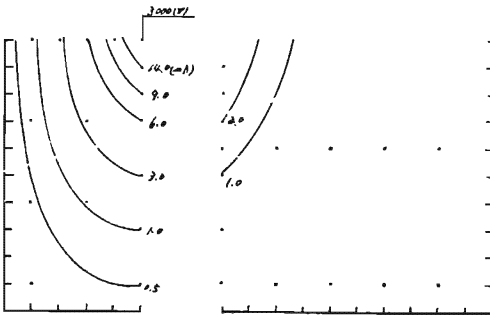


第20図 印加電圧6,000V

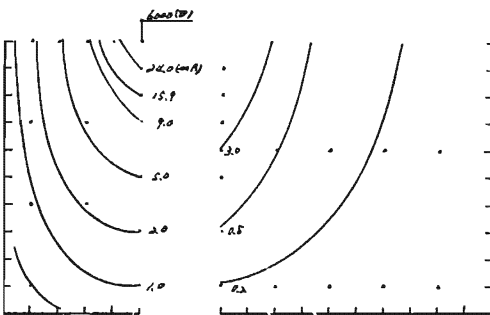


b. Y電極への漏えい電流

第21図 印加電圧3,000V

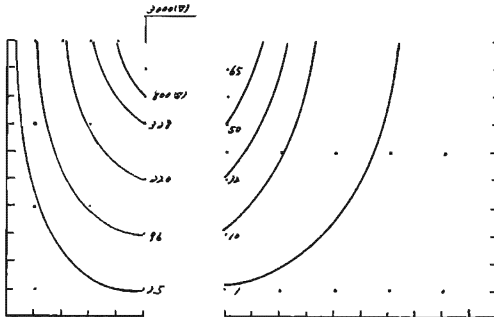


第22図 印加電圧6,000V

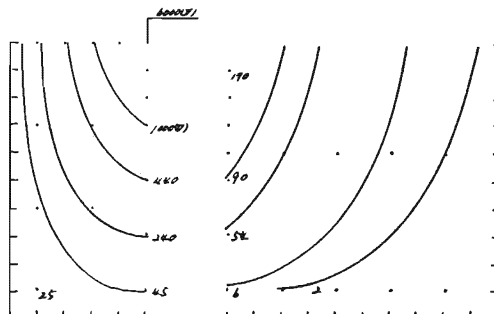


(i) 発泡後1分の電位傾度

第23図 印加電圧3,000V



第24図 印加電圧6,000V



(ii) 全漏えい電流の経過時分との関係

X₁₀電極からの漏えい電流は、泡の老朽度（経過時分）によって変わるが、その状況は次の表のようになる。

第3表 X₁₀電極による泡の老朽と漏えい電流(mA)

X ₁₀ 電極電圧	発泡直後	30秒後	1分後	1分30秒後	2分後
3,000V	37	—	23	0	—
6,000V	99	—	95	0	—

3. 考 察

(1) 模型電気室のねらい

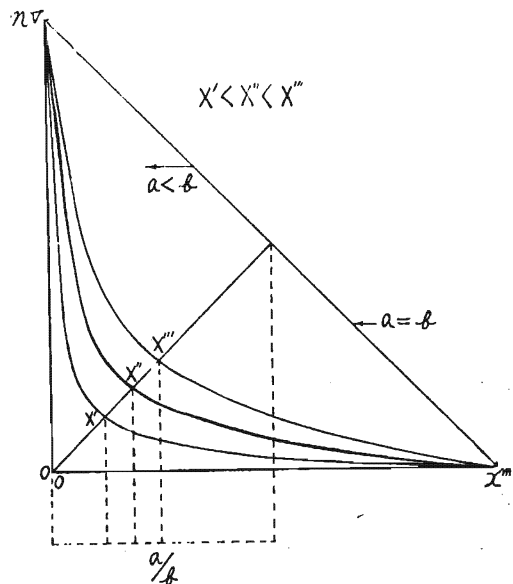
前回の所報（7号）では、絶縁された立方体型模型電気室内の充泡時における電位傾度の測定を考察したが、今回は床面を実際の場合と同じ大地に接するコンクリートとし、側面一面をコンクリートブロックとし、これらがアース体となった場合の泡体の電位傾度をみようとするものである。

また今回はこの模型電気室に通路を設けこの部分の電位分布等も測定した。（第1図参照）

すなわち、より実際の場合の条件を備えた模型電気室を作り、これに泡を満たし各位置の電圧等を測定し、相似性を明らかにし、実火災時の場合の安全性への検討をつけることをねらったものである。

したがって第25図に示す前回での電位傾度推定グラフの証明と安全の距離的限界を明らかにすることを最終の目的とした。

第25図 電位傾度推定グラフ



(2) 電位傾度

ア $X_3X_5X_{10}$ 電極の場合と第25図との関係

$X_3X_5X_{10}$ 電極に3,000, 6,000Vを印加した場合電位傾度A面における $Y_1 \sim Y_6$ の測定結果からみると、電極との距離の関係において、第25図の電位傾度推定グラフ曲線にはぼのる。これを発泡直後の電位傾度についてグラフ化すると第26図のようになる。

この場合問題となるのは、 a/b と線上の位置との関係および実際の場合の a/b はどの位置にあるかということである。

このことは実際の電気室の壁体の広さ、充電部分の面積の積算または模型電気室の比例的拡大だけでは、 a/b の関係をみることは困難であり、実大規模の実験によって明らかにすることに委ねなければならぬ

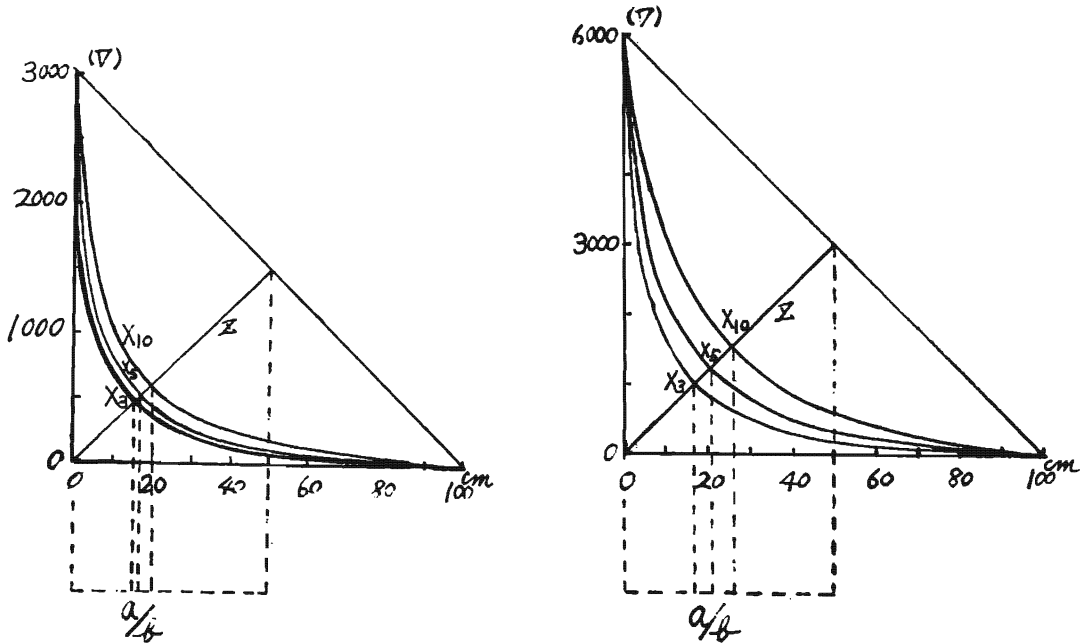
い。

特に(-)電極として考えられるものは床面、壁体のみならず、電線相互間は電氣的には(+)(-)の関係にあり、またフレーム等の金属体もかなり充電部分に接して設けられているため、実際にはこれらの相互の影響がかなり大きく第25図に示す a/b の位置はかなり0点に近い位置にあると思われる。

イ $X_3X_5X_{10}$ 電極とB面電極の電位傾度

前項と同じ電圧をX電極に印加した場合のB面の電位は極めて小さく特に床面付近が顕著である。このことは前項のX電極直下の電位傾度に対して、水平距離があることおよび電位が周囲のアース体に向って減衰するため等の理由にあると思われる。

第26図 $X_3X_5X_{10}$ 電極と電位傾度



すなわち、B面のY₈~Y₁₄の位置付近はX電極に対して遠距離であり、さらに周囲の壁および床の面積が大きいため電位傾度が大きいといえる。

(3) 漏えい電流

ア 全漏えい電流

全漏えい電流は第1, 2, 3表に示すように時間とともに減少し、最も電流の大きいのは泡のドレン量の最も少ない発泡直後である。したがってこの時期が最も感電の危険度が高いことになる。

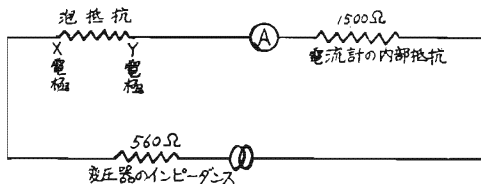
前回の実験結果(所報7号)でも同じことがいえるが、泡倍率が600~700倍(今回は400~500倍)という水分の少ない泡であったことから、この現象は今回より顕著であり、電極に3,000~6,000Vを印加した場合は、その電極の周囲の泡がほとんど瞬間的に消滅し、漏えい電流は0となった。この現象を漏えい電流の大小の関係からみると電流密度が0.1mA/cm²であればただちに消滅し、0.2mA/cm²以上であれば瞬間的に消滅した。さらに消泡は放電によっても進行し、電極と泡の距離は印加電圧1kVで3cm, 6kVで3.5cm, 10kVで5cm, 15kVで8cm程度であった。

しかしながら、今回は泡倍率を小さくしたことにより、電極周囲の消泡時間が3,000Vで1分30秒以上、6,000Vで1分以上もかかり、かなり長時間漏えい電流は継続した。

イ Y電極に流れる漏えい電流

全漏えい電流の測定結果から発泡直後が最も漏えい電流の大きいことが判明したので、この時点での各電極に流れる漏えい電流を測定した。測定回路を等価回路で示すと次のようになる。(リアクタンス等を無視した単純計算)

第27図



この測定結果を電極の大きさ、電極間の距離等の関係からみると第28図のようになる。

今第28図のX₁₀とY₂の関係から電極間の泡抵抗を算出すると次のようになる。

$$R = E/i \text{ より}$$

X₁₀, Y₂間の泡抵抗

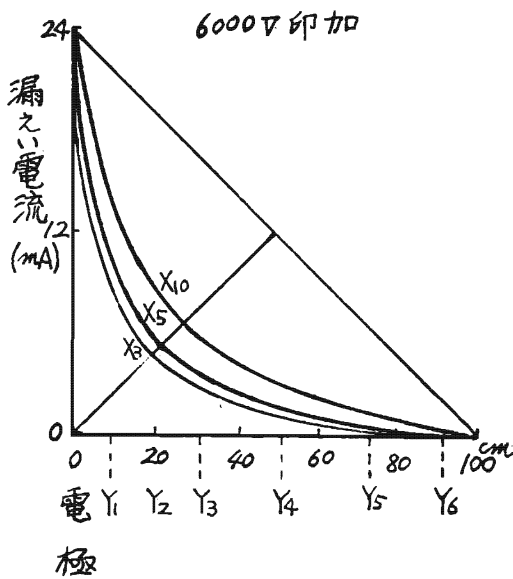
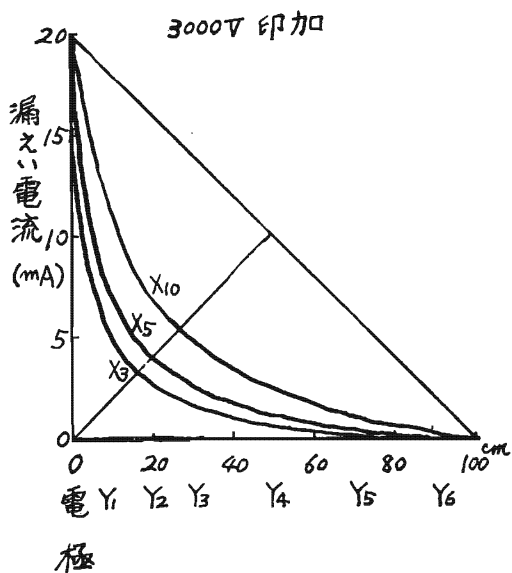
$$= 6,000 / 10 \times 10^{-3} = 2,060$$

$$= 600,000 - 2,000$$

$$= 598,000 (\Omega)$$

この計算から電流計の内部抵抗および変圧器のインピーダンスは泡抵抗に対して極めて小さく無視でき

第28図 電極間距離と漏えい電流



る。また人体の抵抗は一般に500~2,000Ωであり、高膨張泡に比較して良導體であるといえる。

すなわち充電体に接した高膨張泡に人体が接触または泡内に進入する場合の安全性は、その電極との距離に大きく左右され、その媒体物である高膨張泡は、高抵抗であるが故に距離をとることにおいて安全性は急速に大きくなる。

泡の交流に対する電気伝導率は前回の実験結果から次のような式が得られている。

$$\lambda = \frac{(0.22t + 4.3) \times 10^{-4}}{\text{泡の倍率}} \cdot K$$

ただし K : 発泡直後で0.41

λ : 交流に対する電気伝導率

t : 泡の温度

またB面においては、電位傾度の項と同じ理由から $Y_8 \sim Y_{14}$ 付近では、これに流れる漏えい電流は極めて小さい。

(4) 安全性

電極からの距離 x における電位傾度と漏えい電流は、第26図および第28図に示すとおりであるが、これを安全性の点から考察する場合は、実際の a/b を求めねばならず、この実験からただちに安全性を明言することは困難であり、実大規模の実験に委ねなければならない。

しかし、模型電気室内の電位傾度および漏えい電流の分布図からして比較的単純に比例するように思われる。

このように考えると、電気室へ入口等から直接送泡することは危険であるが、地下等にある電気室に一階から通路を通じて送泡する場合は a/b および距離が大きいこと等から、まず危険はないと考えられる。

ただ電気室があると思われるような火災に際し、高膨張泡を使用する場合は、できるだけ高倍率の泡を用い、しかも通路等を通じて遠距離から送泡することが望ましい。

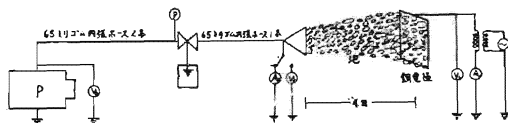
[その2 東消式発泡器による電気火災防ぎよ]

4 東消式発泡器(簡易発泡器)による充電体への直接送泡に於ける筒先等の電位及びアースに流れる電流値の測定

(1) 実験装置の概要

実験装置の概要は次の図に示すとおりである。

第29図 実験装置の概要



ア 電極の種類

泡の接する電極(題名でいう充電体)は次の2種類である。

- (ア) 棒状電極………直径10cmの銅棒(泡の接触巾に対して無限長)
- (イ) 板状電極………放射状の泡の接触面積に対して無限

イ 発泡器

発泡器は東京消防庁現用の東消式発泡器を使用した。

ウ 泡剤の吸入等

泡剤はA T剤を使用、ラインプロポーション(2%)で吸入した。

エ 発泡倍率

発泡倍率は200倍程度である。

オ 使用計器

第29図中

- ㉑………静電電圧計
- ㉒………電圧計(内部抵抗500kΩ)
- ㉓………電圧計(内部抵抗1,000kΩ)
- ㉔………電流計(内部抵抗400Ω)
- ㉕………電流計(内部抵抗1500Ω)

カ その他

筒先圧力、ノズル展開角度等は、第4表に示すとおりである。

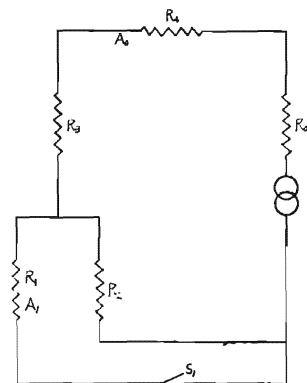
5. 実験結果

実験結果は第4表に示すとおりである。

6. 考察

実験の結果から充電した銅棒、すなわち電線等に送泡した場合の漏えい電流の回路は次のようになる。ただし、泡を介して筒先のみ電流が流れたとする。(実験装置の関係からほぼこのように思われる。)

第30図 漏えい電流回路



第4表

印加電圧 (V)	電極の種類	ノズル圧力 (kg/cm ²)	ノズル開度 (°C)	全電流 (mA)	筒先電流 (mA)	筒先電圧 (V)	放電口圧 (V)	筒先と電極との距離 (m)
3,000	銅棒	3	中(25°)	45	20	600	0	4
3,000	"	"	小(15°)	42	15.4	440	"	"
2,000	"	"	中	27	11.4	300	"	"
2,000	"	"	小	22	9.2	170	"	"
1,000	"	"	中	13	6	50	"	"
1,000	銅板	"	"	32	5	44	"	"
500	銅棒	"	"	12	1	15	"	"
500	銅板	"	"	15	1	15	"	"

注 同装置による水噴霧の場合は、全電流、筒先電流、筒先電圧は0である。

ここで R_0 : 変圧器の内部抵抗 (560Ω)

R_1 : 電流計の内部抵抗 (1,500Ω)

R_2 : 筒先、ホース、ポンプ車吸管、貯水池
接地極間抵抗

R_3 : 筒先から電極までの泡の電気抵抗

R_4 : 電流計の内部抵抗 (400Ω)

A_0 : 全漏えい電流で S_1 開放時

A_1 : 筒先から電流計 (内部抵抗 R_1) を通してアースに流れる電流

第4表からノズル圧力 3 kg/cm² ノズル開度 25° の状態で 4 m 離れた直径 1 cm の充電された電線に送泡した場合の泡の電気抵抗を求めると次のようになる。

$$45 \times 10^{-3} = 3,000 / (560 + 400 + R_2 + R_3)$$

$$3,000 - (R_3 + 560 + 400) \times 45 \times 10^{-3} = 1,500 \times 20 \times 10^{-3}$$

これを計算すると R_2 が 667Ω, R_3 が 65,040Ω となり、泡の抵抗は他の回路抵抗に比較してかなり高抵抗を示す。

したがって、 R_3 の漏えい電流に対する影響は相当大きいことになる。

人体の電気抵抗は、普通の状態では 1,500Ω 程度である。現場での消防隊員はゴム長靴、軍手等を着用しているが、水にぬれている場合が多く、実際上はかなり低い値であると思われる。

本実験は、人体と同じ程度の内部抵抗をもつ電流計を通して筒先をアースしたものであるが、1,000V 以上の印加電圧では銅棒、銅板とも人体に感ずる程度の電流が流れ、特に 2,000V 以上では生命に危険な電流が流れる結果を得た。

この場合、送泡距離を 4 m としたが、距離が小さければ小さい程危険度は大きくなる。

また同じ方法でノズル開度を変えて実験したが、そ

の差はあまりない。

さらにホース延長数との関係においては、第30図の R_2 が大きくなり、 R_1 に流れる電流は大きく、筒先を持つ隊員の危険度は高くなり、ポンプ車の電位は小さくなる。現に本実験では 65mm ホース 3 本を延長したが、各実験ともポンプ車の放口の対地電圧は 0 であった。

結論として、東消式発泡器で電気火災防ぎを行なう場合は、高圧機器への直接送泡は危険であるといえる。ただ低電圧の場合には、4 m 以上の送泡距離を保てばまず安全であるといえる。

7. あとがき

本実験では、高圧回路の一線を接地し、他の一線から泡を介して大地に流れる電流および対地間電圧を測定したものであるが、実際の高圧線路 (AC 3,000V または 6,000V) は非接地であるが、電線路と大地のキャパシタンス等の関係から相当の地絡電流が流れるはずであり、最悪の条件下で実験した。

また実際の電気室へ送泡する場合には、その泡を介して漏えいする電流は、周囲の壁、フレーム等のアース体により、複雑に異なるはずであるが、今回の模型実験で一応の電位傾度と漏えい電流の分布が電極の面積および周囲のアース体によって異なり、この関係を実大規模の実験から見出すことにより、安全性の条件を見出すことができることを確信した。以後この関係を究明したい。

さらに東消式発泡器による充電体への直接送泡は、高電圧の場合はさげなければならないが、低電圧の場合は一定の距離 (4 m 以上) を保って送泡すればまず危険が少なく、生命の危険はまずないことがわかった。

以後さらにこの研究を進め、火災防ぎ資料として完成したい。