★★ 論 文・報 告 ★★

通気網計算装置による通気計算*

正会員 平 松 良 雄** 准会員 藤 中 雄 三***
段 野 勝*** 准会員 寺 田 孚***

Solving Ventilation Network Problems by Model Experiments

Yoshio HIRAMATSU, Yuzo FUJINAKA, Masaru DANNO and Makoto TERADA

This paper gives, in the first place, the details in construction of an apparatus to solve ventilation network problems experimentally, on a principle which was previously originated by one of the authors. Secondly network problems are classified into four kinds and it is pointed out that they are not always soluble by this apparatus because it is based not on a direct solution but on a kind of successive approximation, and that various kinds of problems are yet to be soluble by it in ways described in this paper.

1. 緒 言

さきに筆者の一人は通気網の新しい解法として、風量と比抵抗との積 ρ なる量を利用する試算法を提案し、しかも通気圧を電圧に、気流を電流に、 ρ を電気抵抗に置き換え模型実験を行うことにより複雑な通気網でも容易に解けることを指摘した¹⁾。少しおくれて Scott 等²⁾は同様の方法を発表した。この論文においては我々の解法を実験的に行うための計算装置に関する詳細、ならびにそれによる計算法についての二、三の研究結果を報告したいと思う。

2. 計算装置の試作

この装置は原理から考えて、各風道に相当する多数の

可変抵抗器、各扇風機に相当する電源装置および電流電圧計からなることはいうまでもない。試作に当つてはまず簡単な模型の装置を作り、それを試用しながらこの装置の精度と能率の向上とについて検討し、次のような設計上の基準を得た。

使用する電流としては、交流はどこでも得られ、かつ容易に任意の電圧にできる長所はあるが、直流に比べて精密な測定が難しく、回路のリアクタンスの影響を受ける欠点がある。これに反し直流はこれらの欠点がないほかに、2台以上の扇風機を使用するような通気回路の実験に際しても、それらの電源の位相関係を考慮する必要もなく、有利と考えられる。

可変抵抗器は接触抵抗が小さくなければならぬから、枠型またはブラッシ型抵抗器が適する。そこで両型式のものを試用した結果、ブラッシ型抵抗器(第3図A, B)でなければ能率の上らないことを認めた。抵抗器の公差は電流計の公差より幾分小さくするのが望ましく、例えば携帯用精密級電流計を使用するとすれば、その公差は0.25%であるから、抵抗器の誤差は0.1%程度でよいと考えられる。また捲線抵抗器を製作する立場から見

* 昭和29年12月2日受理, 昭和29年10月31日全国鉱業大会において講演

** 工博 京都大学教授 鉱山学教室

*** 京都大学助手 鉱山学教室

1) 平松良雄: 日本鉱業会誌, 69巻, 775号, 昭和28年1月, 15頁

2) Scott, Hudson, Hinsley: Coll. Guard., Vol. 186, No. 4809, Apr., 1953, p. 553

ると誤差率 0.1%，最小誤差 0.02Ω 程度というのは無理ではなく，一方接触抵抗でも時に 0.01Ω 程度に達するから最小誤差 0.02Ω で差支えないと思われる。とにかく最小抵抗値を実際現われる最小の ρ の値に対応させればよい訳である。参考のために現在までに調査の機会を得た高松，高嶋，崎戸，四山，明治佐賀，西杵，小城，赤平，

第1図 ρ および R の値の頻度

柵原，神岡の10鉱山の通気網について ρ の値を調査した結果を示せば第1図のようである。

以上の資料から ρ の値に対応する抵抗値をいくらにとるべきかの見当がつく。ここに比抵抗の単位は筆者提案のH単位を用いる。

風量に対応する電流値は，最もしばしば計算に現われる風量が精密に測定しやすい電流に対応するように選ぶべきである。こうして ρ に対応する抵抗値および風量に対応する電流値が決まればおのずから扇風機圧に対応する電圧も決まる。

扇風機に対応する電源装置はその電源を商用交流に仰ぎ，自動電圧調整器(D)，変圧器，整流器，可変抵抗器などにより $0\sim 100V$ 程度の任意の安定な電圧の直流が得られるようにするのが有利である(C)。

各風道に相当する可変抵抗器の抵抗値は，電流測定の際だけ，電流計の内部抵抗に等しい抵抗値を減じなけれ

A：可変抵抗器，B：可変高抵抗器，C：電源装置，D：自動電圧調整器
E：電流電圧計，a：電流測定範囲(20Ω)，b：電流測定範囲(2Ω)，c：電圧測定範囲($25k\Omega$)，j：ジャック，p：プラグ，r：代替抵抗器

第3図 主要部品の配線図

ばならないが，その機構について検討した結果，あらかじめ各可変抵抗器に電流計の内部抵抗に等しい補償抵抗(r)を直列に入れておき，その代り ρ の値を設定する際それだけ低い値を置くことにし，電流計のプラグ(p)をジャック(j)に挿入するとき自動的に補償抵抗が切り離される構造とするのが簡単と考えられた。電流計の内部抵抗は，小さい方が補償抵抗を差し引きやすく，かつ引き忘れても誤差が小さい長所はあるが，電流計のトルクが小さくなるためあまり小さく($2\sim 20\Omega$)できないことを経験により知った。

以上の諸点を考慮して試作した装置の外観は第2図のようである。これは50風道，4扇風機分で，外に可変高抵抗器15組を有し，第4図に示す通気網を解くように結線した場合を示す。第3図は主要部品の配線を示す。

3. 計算法の研究

3.1 理論的考察

風道数 a ，分岐点の数 j ，扇風機数 f からなる通気網において，独立の回路は $a-j+1$ 箇存在する。これらの回路の各について圧力降下の代数和はその回路内に存在する扇風機圧に等しいという関係を示す方程式が立てられる。それらの式

第2図 計算装置の外観

3) 平松良雄：坑内通気の理論と計算(丸善)，昭和28年，107頁

の中には a 箇の比抵抗, f 箇の扇風機圧および $a-j+1$ 箇の風量, したがって合計 $2a+f-j+1$ 箇の量が含まれているが, その中任意の $a+f$ 箇の値が与えられれば残りの $a-j+1$ 箇の量は必ず決定する筈である。扇風機の特曲線は扇風機圧と扇風機風量との間の函数関係を示すものであるから, 扇風機圧の代りにその特性曲線が与えられても上の関係は成立する筈である。

通気設計に際しては, a 箇の比抵抗と f 箇の扇風機圧とが与えられて $a-j+1$ 箇の風量を求める場合(自然分流通問題)が多いが, いくつかの比抵抗や扇風機圧は未知で, その代りその数だけの風量が与えられて, 問題を解かなければならないこと(調節分流通問題)も屢々ある。具体的にいえば風道拡大または分門によって風量を調節する場合の通気設計とか, 特定のいくつかの風道の風量が希望の値になるような扇風機圧を決めるような場合である。調節分流通にも色々の種類があるが, 今起り得る場合を分類すれば第1表のようになる。

第 1 表

種 類	与えられる条件数*			求める量の数**			この計算装置 による計算の 可能性***	摘 要
	比抵抗	扇風機圧	風量	比抵抗	扇風機圧	風量		
自然分流通	a	f	0	0	0	m	可能***	
調節分流通	a	$f-x$	x	0	x	$m-x$	$x < 2$ ならば可能	$x \leq m$ $x \leq f$
調節分流通	$a-x$	f	x	x	0	$m-x$	可能	$x \leq m$
調節分流通	$a-x$	$f-y$	x	$x-y$	y	$m-x$	$f=1, x>1$ $y=1$ ならば可能	$x \leq m$ $y \leq f$ $x-y > 0$

但し a は風道数, f は扇風機数, x 及び y は正の整数, $m=a-j+1$, j は分枝点の数である。

*: 総数は $a+f$

**: 総数は $a-j+1$

***: $f \leq 2$ ならば特性曲線が与えられても計算可能である。

以上の各問題は理論上はすべて解き得るが, 我々の計算装置は元来自然分流通問題を解くために考案したものであるから, その他の問題を解くのに果して役立つかどうかは研究に俟たなければならない。また扇風機圧が与えられる代りにその特性曲線が与えられる場合も別に検討しなければならない。

3.2 解法の考案

上記の計算装置を用い, 前報に報告した系統的試算(基礎解法と呼ぼう)によるか, あるいは基礎解法を変形した方法により, 第1表の問題をどこまで解きうるかにについて論じよう。

(1) 自然分流通問題

この種の問題は風道や扇風機の数がいかに多くても基礎解法によって解きうるから, あらためて研究の要はない。ただ扇風機圧の代りに特性曲線が与えられる場合は検討を要する。扇風機が1台の場合は通気網全体の合成抵抗を基礎解法によって求めて, これを利用すると解くことができる。扇風機が2台以上でその中の1台の特性曲線が与えられる場合は, その扇風機圧を試みに二, 三

の値に置いて解き, その結果からその扇風機の正しい圧力を内挿法によって求め, 自然分流通問題に還元して解くことができる。扇風機が2台でいずれも特性曲線が与えられる場合は, それぞれの扇風機圧を p_1, p_2 とすると

$$p_1/p_2 = p_1'/p_2' = k^2 \dots \dots \dots (1)$$

を満足するいかなる p_1', p_2' の値を与えても各風道の風量の比率は同一であり,

$$Q_i = kQ_i' \dots \dots \dots (2)$$

なる関係があることを利用すれば, 内挿法により各扇風機圧が求まり, したがって自然分流通問題に還元して解き得ることを見出した。今第4図の通気網を例にとり扇風機 F_1, F_2 の特性曲線を第5図に示されたようであるとする。 p_1' を一定値例えば200mm Aqに保ち p_2' を任意に変えて与えると, それぞれの値に対して自然分流通問題となるから, F_1, F_2 の取扱う風量は求まる。仮りに p_2 を150mm Aqと100mm Aqとの二つの値におけば, それぞれの場合に対して両扇風機の風量対圧力の関係は第5図の4点A, B, a, bで示される。さてa点が丁度 F_2 の特性曲線上に乗るように両扇風機の圧力を同じ割合で変化させると F_1 の運転状態はA'で示されるようになる。同様にb点の場合はB'点となる。そこで両方の扇風機の運転状態を示す点が同時にそれぞれの特性曲線上に乗るとすれば, それらは内挿法によりC点およびc点であろうと考えられる。こうして自然分流通問題に還元され

第 4 図

第5図 2つの扇風機の特曲線が与えられる
例題の解

る。扇風機が3台以上でその中2台以上の扇風機の特
性曲線が与えられる場合は簡単な解法は見出せない。

(2) 扇風機による調節分流通問題

一般の場合に適用できる解法は見出せないが、次のよ
うな特殊な場合の解法は得られた。 $f \geq 1$, $x=1$ の場合、
すなわち扇風機圧の一つが未知で、その代り風量の一つ
が与えられる場合は、求めようとする扇風機圧を任意の
ある値に置くと、基礎解法によりすべての風量は決まる
から、試みに扇風機を2種類適当に与えてみれば、内挿
法により条件を満足する扇風機圧が求められ、したがっ
て自然分流通問題に還元して解くことができる。この場合
与えられる扇風機圧の中の一つが特性曲線で与えられる
と、その圧力がある値に仮定して上の方法により解き、
次に別の値に仮定して解き、これらの結果から内挿法に
より、さきの扇風機の圧力が特性曲線上にあるように決
めることにより解くことはできる。しかし手数がかかり
実用に遠い。 $x=2$ の場合すなわち扇風機圧 p_1 , p_2 の二
つが未知で、その代り風量の二つが与えられる場合は、
 $f=2$ の場合に限り、次のようにして解き得ることを見出
した。すなわち p_1' を一定に保ち、 p_2' をある値に置
くと、各風道の風量の比率は決まるから、まず試みに p_2'
を二、三の値に置いて計算しその結果から与えられた2
風道の風量が与えられた比に等しくなるような p_2' を内
挿法によつて求める。次に風量の絶対値が与えられた値
になるように p_1' , p_2' を同一割合で変化させて正しい
 p_1 , p_2 を求め、こうして自然分流通問題に還元するので
ある。

(1) と同じ例題において $Q_6=1400\text{m}^3/\text{min}$, $Q_7=1200$
 m^3/min , $Q_8=700\text{m}^3/\text{min}$ となるような p_1 と p_2 を求
めてみよう。ただし $p_1=200\text{mm Aq}$ で、補助扇風機 F_2
のない場合 $Q_1=3310\text{m}^3/\text{min}$, $Q_6=950\text{m}^3/\text{min}$, $Q_7=1240$
 m^3/min , $Q_8=700\text{m}^3/\text{min}$ であることは既知とする (第
2表第1,2列)。まず Q_6 を希望値とするのに必要な p_1 ,
 p_2 の概算値 $\bar{p}_1$, $\bar{p}_2$ を求めると、

$$\bar{p}_1 \doteq 200 \times \{(3.31+1.40-0.95) \div 3.31\}^2 = 255\text{mmAq}$$

$$\bar{p}_2 \doteq 1.4^2 R_6 - 0.95^2 R_6 = 148\text{mmAq}$$

第 2 表

條 件	Q_6 (m^3/min)	Q_7 (m^3/min)	Q_8 (m^3/min)	$Q_6:Q_7:Q_8$
(1) 与えられた 条件	1,400	1,200	700	1:0.857:0.500
(2) $p_1'=200$, $p_2'=0$	950	1,240	700	1:1.306:0.737
(3) $p_1'=200$, $p_2'=116$	1,255	1,150	703	1:0.917:0.560
(4) $p_1'=200$, $p_2'=141$	1,320	1,120	726	1:0.850:0.543

これらと同じ比率を保ち、しかも $p_1'=200\text{mm Aq}$ であ
るような p_2' は 116mmAq である。そこで $p_1'=200\text{mm Aq}$,
 $p_2'=116\text{mmAq}$ と仮定すれば基礎解法により第2
表第3列の結果を得る。この表から希望条件を満足する

ためには p_2' をさらに高めなければならないこと、 Q_6 :
 Q_7 を希望通りにする方が、 Q_6 : Q_8 を希望通りにするよ
りも低い p_2' で足り、したがって経済的であることが判
る。外挿法により $Q_6:Q_7=1:0.857$ となるような p_2' を
推定すると 141mmAq となる。この値を与えて解くと第
2表4第列の結果が得られ、ほとんど実用し得る精度が
あることが判る。この時 $k=1.07$, $k^2=1.14$ となるから正
しい扇風機圧は $p_1=213\text{mmAq}$, $p_2=150\text{mm Aq}$ である
ことが判り自然分流通問題に還元できたことになる。

$x \geq 3$ の場合は簡単な解法は見出せない。

(3) 比抵抗による調節分流通問題

x 箇の比抵抗の未知な風道については、試算の度毎に
風量がそれぞれ与えられた値になるように p を調節し、
その他の風道については基礎解法と同様に取扱つて試算
することにより解き得るのではないかと推測されるの
で、実際に試みた結果、果して解くことができ、収斂速
度も基礎解法と同様に速かであることを認めた。例えば
第6図の通気網について、仮りに $Q_9=200\text{m}^3/\text{min}$, Q_{11}
 $=200\text{m}^3/\text{min}$, $Q_{18}=300\text{m}^3/\text{min}$ となるようにそれぞ
れの風道の比抵抗を調節する場合の収斂状態を示せば同図
下方に示したようである。与えられる扇風機圧の中一つ
でも特性曲線で置きかえられると、簡単な解法は見出せ
ない。

第6図 比抵抗による調節分流通問題の1例

(4) 組合わせ調節分流通問題

この場合はほとんど解法が見出せない。ただ $f=1$, $y=1$, $x>1$ の時, 扇風機圧をある任意の値に置き, (3) の場合のように $x-1$ 箇の比抵抗を調節して与えられた x 箇の風量の比率が与えられた風量の比率になるようにし, 最後に風量の絶対値が希望値になるように扇風機圧を変化させると解き得るが, 操作は多少面倒である。

(5) 圧力降下が風量の n 乗に比例する場合 (ただし $n \neq 2$)

$h=RQ^n$ の場合は $n=2$ の場合の解法と同様の原理により, $\rho=RQ^{n-1}$ とおくことにし, 実際の操作としては,

$$\rho' = RQ^{\frac{n-1}{n}}, \quad \rho'' = \frac{1}{2} \left\{ R(Q')^{n-1} + \rho' \right\},$$

$$\rho''' = \frac{1}{2} \left\{ R(Q'')^{n-1} + \rho'' \right\}, \dots \dots \dots$$

とにおいて, $n=2$ の場合と全く同様に基礎解法を行えば解が得られるものと想像され, また実験の結果このことを確認した。第4図の通気網について $n=1.8$ と仮定し, しかも R は同じ値であると仮定して解いた場合の収斂状態を $n=2$ の場合と比較すれば第7図のようである。

ただし F_1 , F_2 の圧力はそれぞれ200mm Aq, 50mm Aq である。なおこのようにして $n \neq 2$ の場合も解き得ることは確かであるが, 実用の点からいえば必ずしも必要ではない。ある風道について n を2と解釈するのと2以外の値例えば1.8と解釈するのとでは比抵抗が違う管であり, この点を考慮して解けば $n=2$ と $n=1.8$ とでは結果において大差ないからである。

(6) 以上を総括して, この計算装置でいかなる問題まで容易に解き得るかを示せば第1表右から2欄目に示したようである。

第7図 $n=2$ と $n=1.8$ との2つの場合の収斂状態の比較

4. 結 言

さきに通気網を電気回路網に置き換え, 実験的に系統的試算を行うことにより解く方法を報告したが, この論文ではまずこれに用いる計算装置を試作した経験から, 取扱容易で精度の高いものを得る構造について述べた。

次に一般的に通気網問題を分類し, 第1表に示すように, この計算装置によりいかなる問題にまで適用性があるかを明らかにした。

この研究に対しては, わが国の主要炭鉱会社数社から, それぞれこの装置を試用した結果に基づき, 有益な助言を頂くことができ, 有力な参考となつた。また研究費は文部省科学試験研究費に仰いだ。これらの厚意に対しここに厚く御礼申し上げる次第である。

近

刊

予

告

立 坑 掘 下 げ

B5判約200頁 価格約400円(見込) 責任編集 水田準一 7月末発行予定

我が国の鉱物資源の存在が次第に地下深部に求めなければならぬようになり, その合理的開発のため立坑掘下げの必要性が痛感されるようになった。そこで本会では昭和28年9月立坑研究委員会を設け, 東大・水田準一教授を委員長として, 主として立坑掘下げ施設の研究, 特に立坑掘下げのスピードを計るため, 積込機の機, 械化巻上機の高速度化, 標準化につき検討研究を行って来た。

従来採鉱学に関する書籍のうちで, 「立坑掘下げ」に関するものは極めて少ないので, 今回これらの研究結果を編集中で, 今後の立坑掘下げを如何にすべきという指針を与えるものとして, 極めて有意義なる参考書となるものと確信する。

内 容

I 立坑掘下げ概説	IV やり取り作業	(1) つり足場及びつり足場巻上機
(1) 掘下げ方式	(1) 手積と機械積	(2) 巻上やぐら
(2) 普通掘下げ法	(2) 積込機の型式, 大きさについて	(3) キブルミキプル巻上機
(3) 特殊掘下げ法	(3) み効率	(4) コンプレッサー及び配気管
II 掘下げ作業のサイクル	(3) クラブ用巻上機	(5) コンクリートミキサー
(1) 手積の場合	V 築 壁	(6) 排気施設
(2) 機械積の場合	(1) 交互築壁と同時築壁	(7) 通気及び照明施設
III 作孔と完破	(2) 築壁材料	(8) 信号及び保安施設
(1) 作孔標準	(3) 築壁作業	VI 掘下げ成積と経費例
(2) 作孔機	VI 掘下げ施設	VII 掘下げ施設の規格化