節点解法による通気網解析の高速化について*

井 上 雅 弘¹ 内 野 健²

[UDC 622.41]

Speeding up of Node Potential Method for Ventilation Network Analysis

by Masahiro INOUE¹ and Kenichi UCHINO²

The authors have already proposed a practical node potential method for ventilation network analysis, which is today used in all major coal mines in Japan. However, in the course of experience with this method it was found that two major problems must be solved for the calculation to be sped up: converge retardation by inadequate selection of an initial value of pressure to be given to the nodes and by extraordinarily small resistances of airway.

The present paper describes the improved method by which the calculation time is reduced to about one second to one fourth of that by the previously proposed method, the new techniques being introduced to solve the above problems. Also, the effect of natural ventilation pressure on the forced ventilation system and a problem of ventilation control in emergency are discussed, using the newly proposed method.

[1 ~ 2. Faculty of Engineering, Kyushu University.

1. Assoc. Prof., Dr.

2. Prof., Dr.]

1. 緒 言

通気網解析に用られる計算方法には、大別するとメッシュ法^{1)~4)}と節点解法^{5)~9)}がある。両者の特徴については前報⁷⁾で述べたので省略するが、節点解法は基礎理論が理解しやすいこと、プログラムが簡単であることなどの長所を有しており、実用上の観点から節点解法がメッシュ法に比較して、なお検討の余地があると考えられるのは計算時間の問題のみであるといつてよい。

従来、節点解法が実際にあまり用いられなかった大きな理由は、メッシュ法に較べて長い計算時間を要するという点であったが、これは計算の基礎理論自体に本質的な原因があるためではなく、これまで、計算の高速化のための研究が十分ではなかったためである。そこで、筆者らは節点解法の特徴を生かしながら計算時間を短縮する方法を考案し、前報⁷⁾で節点解法による通気網解析は実用的に可能であることを示した。

計算時間は、通気網の大きさやファンの数、特性、計算に使用する定数の値、あるいは使用するコンピュータ等により異なるので、一概に述べることは困難であるが、筆者らの方法で計算した場合、節点数が100、坑道数が150程度のもので、計算に必要な条件を適当に与えると、およそ2分程度であった。ただし、コンピュータは16ビットパソコン(数値演算プロセッサ使用)である。この計算時間は従来のメッシュ法による計算に要した時間と比較しても、同程度であると考えられる。また、大型計算機を用いた

従来の方法が、通気網解析以外の処理と平行して行なわれることが多いために、15~30分程度を要していたことを考慮すれば、この程度の計算時間であれば、実用的には計算時間による支障はなくなったと判断される。

以上の結果を踏まえて、筆者らはこの方法を用いて通気網解析システムを開発した。これは、実際の通気計算に必要なほとんどの条件を考慮することが可能であり、通気網解析プログラムを核として、データの入力からチェック、計算結果の図面化までをシステム化したもので、現在日本の主要炭鉱で用いられるまでに至っている。

しかし、これまで本システムにより多くの鉱山の通気網解析を行なった事例から、計算実技上いくつかの改善すべき点ならびに注意事項が浮かび上がってきた。その一つは、節点の圧力に対し不適当な初期値を用いた場合、計算時間が必要以上に長くなるということである。また、通気抵抗が特に小さい坑道が存在する通気網では、計算時間が予想以上に長くなる傾向が見出された。

そこで、本研究においては、適切な初期値が不明の場合、あるいは通気網の特性がどのような場合であっても、特別の考慮を払うことなく短時間で収束することを主眼として、種々の観点から計算法の改良を行ない、前報⁷⁾で示した方法のみを用いた場合に較べて計算時間を1/2~1/4程度に短縮させることができた。本論文ではこの検討結果と、この方法を用いた例として、これまで無視されがちであったが、通気網の構造によっては極めて重要な因子となる自然通気圧の影響について検討した結果について述べる。

* 1988年9月3日受付 1989年4月25日受理

1. 正会員 工博 九州大学助教授 工学部資源工学科
2. 正会員 工博 九州大学教授 工学部資源工学科

2. 節 点 解 法

前報⁷⁾で筆者らが提案した節点圧力を求めるための基本的な計算式は次のようである。圧力を求める節点を x とし、この節点 x に坑道により接続している節点を i とすれば、節点 x の圧力 P_x は次式で計算される。

$$P_x = \frac{\sum \frac{P_i}{K_{ix}}}{\sum \frac{1}{K_{ix}}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$K_{ix} = (|P_i - P_x|) R_{ix}^{1/2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 P は圧力(kg/m^2 ($=\text{mmAq}$)), R は坑道の比抵抗(Weisbach)である。ただし、本式では記述を簡単にするために節点間の高度差、定流風道、ファンの風量等を省いている。 K_{ix} は圧力損失と風量の関係を線形化するための擬似的な通気抵抗と考えることができる。

本式からわかるように、本節点解法は簡単な関係を用いて通気網の各節点の圧力を求める方法である。しかしながら、本式をそのまま用いたのでは計算時間が長くなるので、筆者らはこの式を基本として、計算を短時間で終了させるために加速係数の使用、あるいは近似式ではあるが計算時間がかなり短い簡易型の高速計算式の使用等のいくつかの方法を提案した⁷⁾。なお、実際のプログラム中では(1)式は次式のように変形して用い、計算精度の低下を防いでいる。ただし、右辺の P_x は本計算実施前の P_x である。

$$P_x = P_x + \frac{\sum \frac{P_i - P_x}{K_{ix}}}{\sum \frac{1}{K_{ix}}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

この方法のように節点圧力を逐次的に修正していく方法では、圧力を求めるべき全ての節点の圧力を上式で計算し補正する。本論文ではこれを計算の1サイクルと呼び、この補正値を圧力補正値と呼ぶことにする。このとき、計算の1サイクルにおける最大の圧力補正値があらかじめ設定した許容値以下になった場合に計算は収束したとして終了する。

Bhamidipati⁸⁾等は、筆者らと同様に圧力損失と風量の関係を修正係数(本論文 K_{ix} に相当する)を用いて1次式の関係に直して、通気網解析を行なう方法を発表している。同論文ではメッシュ法および節点解法に対する方法が述べられているが、いずれもマトリクスを用いる方法であり、このために必要なコンピュータのメモリが筆者らの方法に較べてかなり多いので、パソコンでの処理にはあまり向かないという欠点がある。また、自然通気圧やファンの取扱に関する方法が示されていないので、この意味からも実用的な観点からすれば不十分である。なお、同論文には16節点26坑道の通気網の場合、メッシュ法と節点解法に計算時間の差はあまりないこと、プログラムの作成は節点解法のほうが簡単であること等が述べられている。

佐々木⁹⁾は、明らかに異なった節点圧力の逐次計算法として節点圧力の計算式(同論文(6)式)を示している。しかしながら、同論文で示された式は筆者らが示した節点圧力を求める方法で加速係数を2とした場合の式と全く同じである。これは次のようにして簡単に証明される。

同論文の変数をそのまま使用し、 δ_{xj} および $|P_x^n - P_j|$ の値の場合にわけて吟味すれば

$$\delta_{xj} |P_x^n - P_j| = P_x^n - P_j$$

であり、

$$K_{jx} = |P_x^n - P_j|^{1/2} R_{xj}^{1/2}$$

となるので、同論文(6)式は次のようになる。

$$P_x^{n+1} = P_x^n + 2 \left\{ \frac{\sum \frac{P_j}{K_{jx}}}{\sum \frac{1}{K_{jx}}} - P_x^n \right\}$$

上式の()内の式はまさに筆者らによって導かれた(1)式であり、上式で得られる圧力は筆者らの提案した方法で加速係数を2とした場合に他ならない。この意味で佐々木らの計算式は新しい方法とは言えない。

3. 初 期 値

逐次的に節点圧力を修正する計算方法の場合、圧力を固定する節点付近の節点は比較的早く最終的な圧力の値に近くなるが、圧力を固定する節点から遠く離れている節点はなかなか最終的な値に近づかないので、そのような節点が最終的に近づくような値を初期値として用いれば、計算が早く終了するようになることは容易に想像される。

図1および図2はそれぞれ図3および図4に示す通気網において、圧力を固定する節点以外の全ての節点に同じ初期値を与えた

図1 図3の通気網が収束するまでの反復回数

図2 図4の通気網が収束するまでの反復回数

図3 図1の反復回数の検討に用いた通気網
(線の下に数字は通気抵抗(ミュールグ))

図4 図2の反復回数の検討に用いた通気網(線の下に数字は通気抵抗(ミューログ))

場合に、その値により収束するまでの反復回数(計算が収束するまでのサイクル数)がどのように変化するかを示したものである。同図中の黒丸で示したものが前報⁷⁾で述べた方法のみを用いたものである。三角形で示されるものが本節および次節で述べる方法を併用したものであり、そのほかの条件は同じである。これらの計算においては、前報で述べたように収束がある程度進んだ状態では簡易型的高速計算を併用しているため、反復回数と計算時間とは正比例するわけではないが、ほぼ比例すると考えてよい。

同図から、前報で述べた方法のみを用いた場合、与える初期値により収束するまでの反復回数が大きく異なることが明瞭である。特に、通気網が大きい図2の場合は、この差が大きく4倍以上の開きがある。通気網が小さい図1の場合は、ファンの特性が収束に比較的大きな影響を与え、このため、初期値の影響が比較的小さくなったものと考えられる。短時間で計算が収束する初期値の範囲は比較的狭いので、適当な初期値を予測することは困難であることがわかる。これに対して今回述べる方法を併用すれば、初期値にはほとんど関係なくしかも反復回数が少ないことがわかる。

与えた初期値が適当であるかどうか、あるいは高すぎたのか低すぎたのかは、圧力補正值を見ていれば判断できる。一般に圧力計算の初期では最大の圧力補正值が生じる節点はさまざまであるが、計算の後期ではほとんど同じ節点で生じ、大きさは徐々に小さくなるが同じ符号である。この値が正であれば、与えた初期値が小さすぎたのであり、次の計算ではより大きな初期値を与えると計算はより速く収束する。逆にこの値が負であれば与えた初期値が大きすぎたのであり、次の計算ではより小さな初期値を与えるとよい。解析を行なう度に初期値を修正すれば、徐々に最適な初期値を得ることができるようになる。しかしながら、通気網を変更した場合には、最適な初期値は異なるのが普通であり、全く初期値が不明の場合よりは無駄が少ないものの、同様の作業を繰り返すことになる。

初期値が最適な値から大きく異なる場合には、1サイクルあたりの圧力補正值はあまり大きくないにもかかわらず、この補正值がいつまでも許容値以下にならない計算状態が続く。従って、これが原因による計算時間の消費を防ぐために次のようにして全体の傾向を補正する計算を行なう。すなわち、圧力計算を1サイクル行なうと、全ての節点の圧力が補正されるが、この補正值の平均値を求め、圧力計算の1サイクルが終了した後、この平均値の

数倍を全体の補正值として、圧力を固定する節点を除く全ての節点に加えるのである。このようにすると全体的な圧力をより速く最終的な値に近づけることができる。本論文の解析では平均値の4倍程度を1サイクルの計算終了後加えることにした。ただし、平均値の符号が前回の平均値と逆の場合にはそのまま使い、収束が進み、この全体的な補正值がある程度小さくなるとこの操作は行なわない。この4倍という値は、これをあまり大きくすると発散の可能性があるため、この程度の値を用いている。

この方法では傾向が反対の節点も同じ処理を行なうことになるが、最適ではない初期値を使用したことによる計算時間の無駄を減少することができる。この結果、初期値にあまり注意を払わなくても、反復回数が増加する程度が減少したので、初期値の値は次のように算出することにより、通気網解析を行なう者が考慮する必要がないようにした。すなわち、初期値としては各坑口の圧力の平均値を用いるのである。ただし、ファンがある坑口は、ファンより坑内側の節点の圧力を用いる。また、高度差があれば当然であるがその分の圧力を各節点に補正する。

4. K_{ix} の値について

圧力計算を行なう場合、圧力の計算結果は直ちにその節点の圧力とし、他の節点の計算に用いる。この圧力計算に用いる K_{ix} の計算式の中には圧力が含まれているが、この圧力としては、1サイクル内の圧力計算で新しく求められた圧力を直ちに使用するの望ましくない結果を与える。その理由は、このようにすると坑道で接続される一組の節点の圧力計算において、一方の節点圧力を求めるために使用した K_{ix} と他方の節点圧力を求めるために使用した K_{ix} とが異なるようになるからである。特に通気抵抗が小さい場合、 K_{ix} の値が大きく変化することになる。従って、 K_{ix} の値は1サイクルの計算においては一定の値としておくのがよい。

本節と前節の方法は極めて簡単であるが、図1および図2に示すように、反復回数を減少させる効果がある。

5. 変数の精度

節点解法による通気網解析は、通気網内の各坑道の抵抗値が1ミューログ程度以上であり、どの坑道にも数十 m^3/min 以上の風量が流れるような場合には比較的早く収束する。すなわち、各節点間の圧力差があまり小さくならないような条件であれば、収束が

早い。しかしながら、通気網解析の目的を考えると、通気遮断のシミュレーションを行なう場合のように、極めて僅かの風量しか流れないような坑道が存在する場合の解析を行なうことも考えられる。

まず、通気網解析において、圧力の値としてはどの程度まで小さな値を取り扱う必要があるのかについて考える。任意の坑道で生じる圧力損失は一般に次式で与えられる。

$$P=RQ^2=0.001r(q/60)^2$$

この式から単位風量変化した場合の、坑道の圧力損失の変化は次式ようになる。

$$dP/dq=5.6 \times 10^{-7} r q$$

本式は、通常日本の鉱山で使用している単位で表わしており、 r はミュルグ単位の通気抵抗、 q は m^3/min 単位の風量である。

例えば、通気抵抗が 0.1 ミュルグである坑道を考える。この坑道を流れる風量が $600 m^3/min$ の場合にその坑道に発生する圧力損失は、 $0.01 mmAq$ である。この風量が $1 m^3/min$ 変化した場合の圧力損失の変化は $3.3 \times 10^{-5} mmAq$ である。この坑道を流れる風量が 60 および $6 m^3/min$ の場合には圧力損失の変化はそれぞれ 3.3×10^{-6} および $3.3 \times 10^{-7} mmAq$ となる。このように風量が少ない条件でも正しく風量を求めるためには、計算ではこの値よりも小さな値を取り扱う必要がある。また、収束の許容値を与える場合にもこのことを考慮して与える必要がある。

このような状況は例えば次のような場合に生じる。すなわち、本来は1本の坑道を直列な2本以上の坑道に分割し、一つの坑道の通気抵抗を大きくし、残りの坑道の通気抵抗を小さくすると、風量は小さいが抵抗の小さな坑道が生じる。また、圧力損失の計算には(6)式のKixを用いるが、同式からわかるように、圧力差が小さいと小さな誤差によるKixの変化が大きくなり、しかもこれは逆数の形で使用するの、計算が収束しにくくなる原因の一つとなる。

次にどの程度大きな値が必要であるかを考えると、圧力の値はファンの負圧だけであれば、通常 $500 mmAq$ 以下の値であるが、深度を考慮すると $1000 mmAq$ 程度の値になる。従って、有効桁数が10桁程度は必要であるということになる。コンピュータで用いる変数は単精度の場合4バイト型であり、7桁の精度がないので、これでは有効数字が不足することになる。従って、倍精度の8バイト型を用いる必要がある。圧力値に倍精度を使用してもその他の計算は単精度で行なうことができるので、計算速度の低下はほとんどない。有効数字が不足している場合、どんなに計算を長時間行っても、圧力補正値があらかじめ収束条件として設定した許容値以下にならないことがある。また、この限界付近では、収束するまでの計算時間が極めて長くなり、無駄に計算を行なうことになる。

節点解法は、圧力を最初に求める方法であるから、各節点における風量のバランスを厳密に0になるようにすることは基本的に困難である。すなわち、圧力が $10^{-5} mmAq$ まで正しく求められているとしても、節点間の圧力差が小さい場合には、 $1 m^3/min$ 程度の風量を正しくバランスさせるためには、これ以下の圧力が正しく求められていることが必要ことがある。メッシュ法は風量を最初に求める方法であり、風量に関しては原理的にどの節点においてもその代数和は0になるように方程式を作成するので、この問題は生じない。メッシュ法によって計算された風量から圧力を求める場合には、圧力を求める坑道の経路によって、圧力は多少異なるのが普通である。節点解法の場合には、節点圧力を最初に求める未知数にしているの、この問題は生じない。

6. ファンの特性曲線

筆者らは、ファンの特性曲線の考慮方法として、ファンが設置された部分を流れる風量と圧力損失には2次関数の関係があると仮定し、この関数を求め、この関数とファンの特性曲線の交点を次の予測値とすることを提案した⁷⁾。この関数を平松¹⁰⁾は坑内の抵抗曲線とよび、Hartman¹¹⁾は鉱山特性(Mine characteristic)とよんでおり、統一されていないが、ここでは鉱山特性という用語を用いることにする。この関数が必ず原点を通ると考えられるならば、与えたファンの予想風量とこの両端の節点の圧力とからこの関数は直ちに求められる。しかしながら、実際にはこの関数は必ずしも原点を通らない。すなわち、坑内に自然通気圧や、他のファンが存在する場合には原点を通らない。ファンを停止しても通気が流れるのはこの一例である。この原点からのずれは、主要扇風機(以下主扇と記す)の動作点を予測する場合にはほとんど問題とならないが、補助扇風機(以下補扇と記す)の場合には問題となることがある。

主扇によって既に通気が流れている方向に補扇を設置し、この補扇の能力がこの風量以下であった場合を考える。この状態では補扇の最大風量を越えて通気が流れることになり、補扇をはさむ節点の圧力は通気が流れる方向に低下することになる。このような場合、風量と圧力損失との関数が原点を通ると仮定すると、この関数は第5図の破線で示すように下向きの放物線になり、実際にはありえないものになる。

これは次のようにして解決することができる。すなわち、ここを遮断し通気が全く流れないようにした場合を考えると、ここにはある圧力差が生じている。従って、この関数は図5の実線で示すように、風量0においてこの圧力を通るとすればよい。この大きさを予測することは困難であり、正負さえ予測できない場合もある。しかし、この値が最終結果に影響を与えることはないの、計算が不能にならないように、負の大きめの値を使用するとよい。また、このような可能性があるファンに対しては、図5一点鎖線で示すように特性曲線のデータも延長して入力し、圧力が負の値をとってもよいようにしておく必要がある。

以上はファンの動作点について述べたが、このようにして求められる予想風量をそのまま次のファンの風量として代入すると、収束が早くなるとは限らない。すなわち、1サイクルの圧力計算では、節点の圧力が直ちに新しい風量に対応する圧力にはならない、換言すれば節点圧力の反応が遅れるからである。従って、次の圧力計算に与えるファンの風量を現在の風量と上記の方法で求められた風量の間にとるほうが計算が安定し、結局、早く収束することになる。このようにしてもかなりの繰り返しを行なうので、

一点鎖線：ファンの特性曲線、破線：解析不可能な鉱山特性、実線：解析可能な鉱山特性

図5 圧力が負となる鉱山特性の取扱

図6 通気網の例 (線の下の数字は通気抵抗 (ミュルグ))

表1 計算順序と反復回数

計算順序	反 復 回 数			
	図 3 節点数15 坑道数19	図 4 節点数32 坑道数41	図 6 (補扇有) 節点数41 坑道数53	図 6 (補扇無) 節点数41 坑道数53
1	99	138	373	255
2	99	111	381	324
3	98	92	369	245

ファンの特性は十分な精度で考慮される。

7. 計 算 順 序

圧力の計算を行なう順序が収束に与える影響を検討するために、次のように計算の順序を変えて通気網計算を行なった。

1. 与えたデータの順番
2. 圧力固定節点に近い方から行なう
3. ファン(主扇)に近い方から行なう

与えたデータの順番とは節点番号の小さい順のことであり、順番に関しては特に考慮しないことを意味する。対象とした通気網は図3、図4および図6に示すようなものであり、図6の場合は補扇を考慮した場合と、補扇をなくし、その間を通気抵抗が1ミュルグの坑道で接続した場合の2種類を行なった。圧力変化の許容値を0.0001 mmAqとした場合に、計算が収束するまでの反復回数を表1に示す。

これらの中で反復回数が最も少ないのは3の場合であるが、同表からわかるように、ほとんど差がない場合もある。すなわち、ファンの影響が相対的に大きいと考えられる図3および図6で示すように補扇が存在する場合には、ほとんど差がない。また、1と2では反復回数が少ない順序が逆になることがある。これらより更に大きな通気網(節点数131、坑道数207および節点数174、坑道数272)で同様の検討を行なったが、ほとんど差が認められなかった。計算順序の変更は比較的程序が面倒である反面、

必ず反復回数を減少できるわけではないので、全体的に効果が小さいと判断される。

通気網を変更した場所が1箇所であり、既に計算された圧力分布を用いてこれを初期値にする場合には、この変更された部分から計算を行なうことも考えられる。こうすると反復回数が減少することが多い(1~2割程度)が、データを毎回変更する手間と時間を考えるとあまり得策ではない。

8. 加 速 係 数

加速係数は一般に計算が発散しないならば、大きいほど収束は速い。節点数が少なく、坑口の圧力を固定しているような場合には、2から2.5程度までの値を使用しても発散せず、加速係数を使用しない場合に較べて短時間で計算が終了することがある。しかしながら、筆者らの行なったいくつかの実験の鉱山の解析では、2以上の値を用いると発散の可能性が生じ、まれではあるが1.8でも発散することがある。このような場合には多くはファンの特性や与えた初期値の影響も絡んでいるので、加速係数の値だけで論ずることはできないが、多少安全側に考え、解析が発散して無駄な計算時間を費やすよりはある程度小さめの値を用いる方がよいと考えられる。従って、筆者らは標準的な加速係数の値として、圧力計算の初期には1.6、その後1.8を用いることにしている。

また加速係数が大きいと発散はしないが、圧力補正值がある程度小さくなった後なかなか収束しないことがある。これは、発散の一手手前の状況であり、収束を速めるための係数が逆に作用している。このような場合には加速係数を0.2程度小さくするだけで収束することが多い。

9. 自然通気圧の影響

強制通気の行なわれるところでは、自然通気圧の影響は無視できる程度に小さいというのが、教科書の説くところであるが、これは主扇の発生圧力に対し、相対的に自然通気圧が小さいということである。坑内の局所的な通気回路についてみると、むしろ、

図7 図6の通気網の深度分布(m)

図8 図6の通気網の温度分布(°C)

自然通気圧の方が支配的な通気圧として作用している場合がある。

図6に示すような通気網を考える。坑道の深度が図7、温度が図8に示すようである場合に、この自然通気圧を考慮して風量を求めた結果を図9に示す。ただし、節点215付近以外の部分は紙面の都合で省略している。同じ通気網で節点215、230、235の温度をすべて30℃にして、この部分での自然通気圧を考慮しない場合の解析結果を図9に〔 〕付きで示す。自然通気圧を考慮した場合としない場合では、節点215付近の坑道を流れる風量は全く異なるが、これ以外の風量はほとんど同じである。この原因は通気の上り向きの部分の温度が下り向きの部分の温度よりも高いために、自然通気圧が発生し、通気を流しているためである。従って、高度差ならびに温度差が存在する通気網を解析する場合、自然通気圧を無視しては、正確な風量を求めることができないことに注意するべきである。

自然通気圧の影響によるこのような風量の差は、通常の通気管理においても重要であることはもちろんであるが、非常時の通気対策においても大きな問題となる。ここでは、非常時に、目抜きに設けられた風門を解放して通気の短絡を行なおうとする際の問題について検討する。

坑道215-221は目抜きに相当する坑道である。図9に示す風量は、この目抜きの風門が閉じられている場合に相当する通気抵抗(900 ミュルグ)を用いている。この風門を開放した場合の風量分布を図10に示す。同図にも自然通気圧を考慮した場合としない場合の解析結果を示しているが、〔 〕付きの風量は自然通気圧を考慮しない場合である。また、目抜きの開放時の通気抵抗は1 ミュルグとしている。

自然通気圧を考慮した場合、目抜きの風量は28から93 m^3/min に増加しただけであり、これより奥の坑道は、この目抜きよりも通気抵抗が大きいかかわらず1421 m^3/min もの風量が流れており、開放する前の風量1481とほとんど変化がない。これは目抜きを開放すれば通気が短絡してそれより奥の坑道へ流れる風量をかなり小さくできるという予想と異なるものである。この原因はもちろんこの部分の自然通気圧である。このような場合、爆発、火災、突出などによって発生したガスが節点215より奥に侵入す

図9 図6の通気網の風量分布(m^3/min)
〔 〕内は自然通気圧を考慮しない場合の風量

図10 図6の通気網で、坑道215-221を開放した場合の風量分布 (m^3/min)
 []内は自然通気圧を考慮しない場合の風量

ることを防ぐ方法として、目抜きを開放することはほとんど効果がなく、例えば坑道215-230を遮断しなければならない。

自然通気圧を考慮しない場合、目抜きの風量は97から1098 m^3/min に増加し、これに対応して、これより奥の坑道に流れる風量は1343から406 m^3/min に減少している。このような場合には、目抜きを開放すれば、奥へ流れる風量をかなり減少できることを示している。この結果は次の2つのことを意味する。すなわち、実際に温度差があるにもかかわらず、これを無視した解析を行なっているのであれば、通気網解析によって得られる通気対策は実際には全く役に立たない。また、実際にこのような温度差がない場合には、同図は正しい風量を示しており、この通気対策は有効である。

10. 結 言

本論文では節点解法による通気網解析の高速化について述べた。本報で述べた方法を前報⁷⁾で述べた方法と併用した場合と、前報で示した方法のみを用いた場合とを比較すると、本報ならびに前報で示した通気網では、計算時間が1/2から1/4程度に短縮された。これは通気網が大きいほど顕著である。また、ファンの数が多い、あるいは通気抵抗が小さい通気網等、従来では収束に予想以上の時間を要していた通気網でも計算時間を短縮できた。これは他の通気網に対しても同様の効果を発揮できると考えられる。実際、これまでに筆者らが手がけた全ての実際の鉱山の通気網に対して計算時間の短縮が見られた。

計算時間を通気網解析を行なっている時間と考え、また、解析時間のある問題解決を開始してから結果を得るまでの時間と考え

れば、実務においては、解析時間が短いことも重要である。また、通気網解析の結果は、図面の形式で表現しなければならないが、現在の通気網解析システムでは計算時間よりはプロットで通気図を書いている時間の方が長いのが普通である。このように通気網解析はもはや大型計算機を用いる必要はほとんどなく、パーソナルコンピュータで十分解析可能である。なお、これらの成果は既に筆者らの通気網解析システム「風丸」に取り入れられている。

参 考 文 献

- 1) Scott, D. R. and Hinsley, F. B.: Colliery Engineering, 28, 67~71, (1951)
- 2) 橋本文作・朝枝栄太郎・高橋一夫: 日本鉱業会誌, 82 [933], 8~16, (1966)
- 3) 岡 行俊・木山英郎・平松良雄: 日本鉱業会誌, 83 [945], 1~7, (1967)
- 4) 平松良雄・天野勲三・大場重美: 日本鉱業会誌, 87 [1002], 623~626, (1971)
- 5) Gunther, J.: REVUE DE L'INDUSTRIE MINERALE, 49, 797~802, (1967)
- 6) 富長勇作・磯部俊郎・Ramani, R. V.: 日本鉱業会誌, 100 [1152], 73~78, (1984)
- 7) 井上雅弘・内野健一・野元知巳: 日本鉱業会誌, 103 [1194], 493~497, (1987)
- 8) Bhamidipati, S. S., Procarione, J. A.: 2nd US Mine Ventilation Symposium (1985)
- 9) 佐々木久郎・宮腰 宏: 日本鉱業会誌, 104 [1204], 353~357, (1987)
- 10) 平松良雄: 坑内通気の理論と計算, 137~142, 丸善出版
- 11) Howard L. Hartman: Mine Ventilation and Air Conditioning, 167~198, (1982)