

VI-210 ファジィ理論を用いたトンネル換気システムの開発

清水建設(株)： 正会員 菊池雄一、深井日出男、正会員 ○河野重行、正会員 岩城英朗
(株)三井三池製作所 梅田健夫

1.はじめに：昨今の地下開発に対する需要の急激な増加にともない、地下空間の大断面化、長大化、急速施工が望まれており、設計・施工に関する技術の進歩はめざましい。しかしながら、トンネルに代表される山岳トンネルにおいては、発破やコンクリート吹き付けが日常的に行われ、粉塵やCOなどの有毒ガスが発生するだけでなく、ずり(掘削土砂)搬出用ダンプや掘削用重機などの内燃機関からのNOx発生により、坑内環境が悪化する。また、坑内の高温・高湿度や視界の低下などにより作業環境が低下するため、その結果、トンネル内換気システムが必要となる。

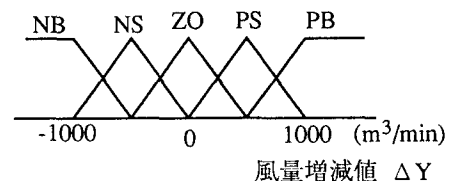
従来の換気システムにおいては、環境に悪影響を及ぼすこれらの要因のうち、代表として粉塵量を検知し、粉塵濃度にともない、2段もしくは3段切り替え式で省エネを目指して風量を制御している。しかしながら、他の項目は測定はしているものの直接風量制御に取り入れていないため、たとえば高温高湿度の環境下での換気システムは作動しないなど、作業環境の改善度は少ない。

筆者らは、トンネルの切羽部などに設置した粉塵計、CO計、温度計、湿度計の各センサーによる計測値をもとに、ファジィ理論([1]、[2]および[3])を用いてトンネル工事用コントラファンの最適換気風量を制御・出力するシステムを開発したので、以下にその概要を述べる。

2.システムの概要：本開発においては、換気風量の制御に取り込む項目として、粉塵量やCOなどの有害物質の他に、温度や明るさなど作業環境に影響する要因を調査し、その結果、粉塵量、CO濃度、温度、湿度の4つに絞った。トンネル切羽部に設置した粉塵計、CO計、温湿度計からの計測値をもとに、コントラファンの最適換気風量を制御・出力する。制御手段としては、以下の理由により、ファジィ理論を用いた。

- 1) 複数の要因を同時に取り入れて制御するため、従来制御では、システムが複雑になり、実用的ではない。
- 2) 寒さや蒸し暑さなど人間の感覚を簡単に数式で制御することは困難であり、ファジィが適している。
- 3) トンネルの規模や場所の差異などによる制御度合いの違いに対し、ファジィ制御では簡単にチューニングできる。

粉塵量、CO濃度、温度、湿度およびコントラファンの出力風量の増減値 ΔY をファジィ集合で表した。たとえば、出力風量の増減値 ΔY のファジィ集合を図-1に示す。4つの要因の計測値からファジィ理論により最適な増減値 ΔY を出力する際、簡単のために図-2に示す様に、有害物質(粉塵とCO)希釈の為の換気出力増減値 ΔY_1 と作業環境(温度と湿度)向上のための換気出力増減値 ΔY_2 を別々に推論する。ファジィ推論にはMAX-MIN合成を用いるが、紙面の都合上、詳細は割愛する。各々の増減値は別途に定めたルールにもとづいて推論されるが、参考までに有害物質の量(粉塵量とCO濃度)と換気出力増減値 ΔY_1 に関するルールを図-3に示す。



NB: Negative Big 大きく減らす
NS: Negative Small 少し減らす
ZO: Zero 現状を維持する
PS: Positive Small 少し増やす
PB: Positive Big 大きく増やす

図-1 ファジィ集合の例

次に、以下の式により、 ΔY_1 と ΔY_2 を結合して、最終換気出力増減値 ΔY を算出する。

$$\Delta Y = \alpha \cdot \Delta Y_1 + (1 - \alpha) \cdot \Delta Y_2 \quad ; \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (1)$$

ただし、 α は結合係数であるが、一定値ではなく、有害物質の量と作業環境の程度により、両者のどちらかを重要視するように結合する。たとえば、 α が大きければ、有害物質排除を重視した制御となり、小さければ作業環境を重視した制御となる。ここでは、 α は図-4に示すファジィ集合で表し、 α の算定に際し、有害物質の粉塵量と作業環境の温度の2つの要因の程度から、図-5に示すようなルールをもって推論する。最終的に、出力された最適換気風量 Y は、以下の式により表される。

$$\text{最適換気風量 } Y = \text{前回出力の換気風量 } Y' + \Delta Y \quad (2)$$

3.効果の確認：以上により、最適換気風量が出力されるが、次のような効果が期待される。

- 1) 従来の段階的にあらかじめ設定された風量を出力するのではなく、環境が劣悪時には最大風量で出力するため、環境改善の速度が速い。
- 2) 環境改善にともなって、換気風量が自動的に減少するため、エネルギーの無駄が少ない。

本システムは、現在、山梨県で施工中のリニア朝日トンネルで稼働中である。実使用を通したシステムの効果は別途報告する。

4.おわりに：3K追放が叫ばれている建設業の中でもとくに苦渋作業が多い山岳トンネル掘削工事に関し、本システムは、作業環境の向上を目指した人間尊重のシステムであるといえる。今後は、システムの一層の普及を図ることにより、多くのデータの蓄積・解析を通し、より実用的で使いやすいシステム構築を目指すものである。

最後に、今回のシステム導入の機会を提供して頂いた、東海旅客鉄道株式会社山梨リニア実験線工事事務所の各位に対し、感謝の意を表する次第である。

参考文献：

- [1] 廣田薫、わかりやすいファジィシステム、株式会社テクノシステム、1989。
- [2] 三矢直城、田中一男、C言語による実用ファジィブック、ラッセル社、1989。
- [3] 菅野道夫、ファジィ制御、日刊工業新聞社、1988。

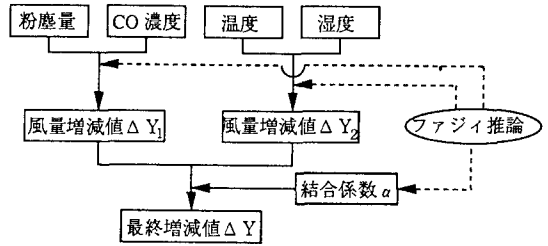


図-2 ファジィ推論フロー

		CO濃度				
		NB	NS	ZO	PS	PB
粉塵量	NB	NB	NS	ZO	PS	PB
	NS	NS	NS	ZO	PS	PB
	ZO	ZO	ZO	ZO	PS	PB
	PS	PS	PS	PS	PS	PB
	PB	PB	PB	PB	PB	PB

図-3 ΔY_1 に関するファジィルール

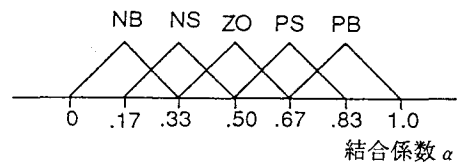


図-4 結合係数 α のファジィ集合

		粉塵量				
		NB	NS	ZO	PS	PB
温度	NB	ZO	PS	PS	PB	PB
	NS	NS	ZO	PS	PB	PB
	ZO	NB	NS	ZO	PS	PB
	PS	NB	NS	ZO	PS	PS
	PB	NB	NB	NS	ZO	PS

図-5 結合係数 α に関するファジィルール