

17. レーザ換気システム

東亜建設工業(株)： 平島 信幸・福井 浩二
* 峯吉 武志

1. はじめに

トンネル工事が在来工法からNATMに変わり、またレール工法からタイヤ工法に変わり、吹付コンクリートによる粉塵やディーゼル排気ガスによりトンネル坑内の環境は飛躍的に悪化している。このことにより、従来の換気計画はCOガス100ppm以下であったが、1991年より建設業災害防止協会においてNOx 25ppm以下に改訂された。

これに先立ち、1987年頃より大型のコントラファン(80KW×2連, 110KW×2連)が導入され、効率的に風量を制御するために粉塵センサーで出力を調整する時代となっていった。

しかしながら、この方式は坑内環境をスポット的にとらえているため、全体坑内環境を制御すると様々な問題が発生する。(例：粉塵センサーの個数が増える、追いきり時間の設定等)

レーザー換気システムは、レーザー光の粉塵等による減衰特性を利用してコントラファンの風量を制御するもので、レーザー光をトンネル軸方向に50~200m程度発振することにより、坑内環境を空間的に把握し、全体坑内環境を制御するものである。

2. システム概要

2-1 システムの構成

本システムはレーザー光が粉塵により減衰する特性を利用して、反射ミラーからの反射光の減衰の程度によりコントラファンの回転数を制御し、換気風量をコントロールしている。

図-1はレーザー換気システムの内容を示したものである。本システムはコントラファン、インバーター、コントローラー、レーザーヘッド、反射ミラーの5装置から構成されている。

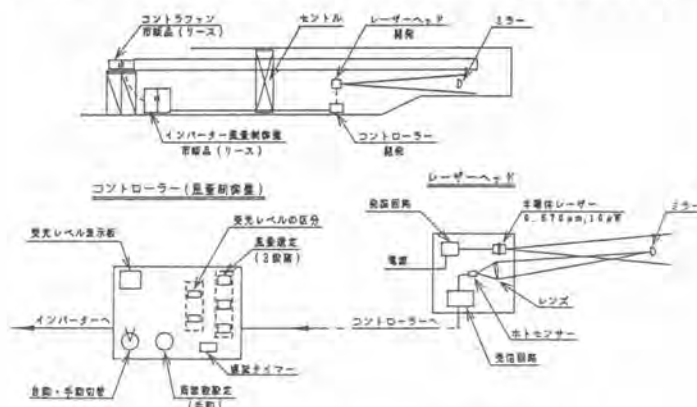


図-1 レーザ換気システムの内容

2-2 レーザヘッド及びコントローラー

レーザ光は装置の軽量化をはかるため、赤色半導体レーザ（出力10mW、波長0.670 μ m）を使用し、出力一定化回路（APC）を組み入れることにより電源の変動やレーザ自体の耐久性に対処している。また、変調回路を採用しレーザ光は太陽光、照明の影響を受けない機構となっている。半導体レーザから発振されたレーザ光は反射ミラーで反射し、この反射光をレンズを通して収束した光をフォトセンサーで受け、坑内の汚れを受光レベルの減衰としてとらえている。図-2がこれらのブロック図である。

レーザ光は岩質によりその減衰量が異なるため、現場状況に応じてコントローラーで減衰量を3段階に区分し、各段階に応じて任意にコントラファンの回転数を設定することによって作業環境に応じた適切な風量を得ることができる。また、コントローラーには自動利得調整機能、チャタリング防止機能、瞬断補償機能を有することにより円滑にコントラファンの風量を制御している。

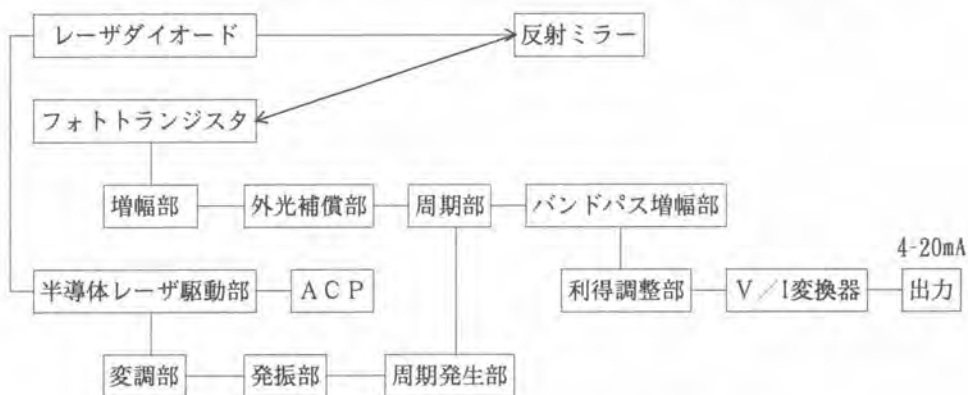


図-2 レーザ換気システムのブロック図



写真-1 レーザヘッド部



写真-2 コントローラー

3. 岩質によるレーザー光減衰特性

本システムの岩質（花崗岩、砂岩、凝灰岩）によるレーザー光の減衰特性については、室蘭工業大学吉田豊助教授との共同研究により以下のように判明した。

レーザー光の減衰は粒径分布及び複素屈折率により影響を受ける。共同研究においては岩石試料の鉱物の成分割合を求めることにより複素屈折率を設定した（表-1）。また岩石試料を粉砕器（小型クラッシャー、振動ボールミル）にて粉砕し、 $10\ \mu\text{m}$ 以下の粒子群について光透過式粒子分布測定器にて粒度分布を求めた。求めた粒度分布を理論的に重量割合から個数割合に変換し図-3及び表-2の個数粒径分布を得た。

表-1 試料の複素屈折率

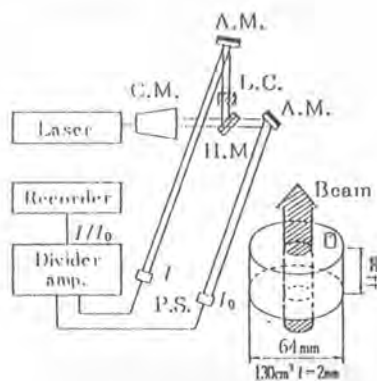
記号	種類	複素屈折率
R A	花崗岩	$1.550-j0.1$
R B	砂岩	$1.600-j0.1$
R C	凝灰岩	$1.590-j0.1$

表-2 試料の粒径分布係数值

記号	種類	a	b	r_L	r_c
R A	花崗岩	3.06	5.61	2.11	0.01
R B	砂岩	2.90	7.57	2.25	0.30
R C	凝灰岩	2.69	4.75	2.10	0.30



図-3 個数粒径分布



(a) C.M. : Collimator P.S. : Photodetector
A.M. : Mirror L.C. : Sample cell
H.M. : Beam splitter

図-4 レーザ光減衰特性計測装置

これらの粒子群について、図-4に示す計測装置を用いて液体中における岩質によるレーザー光減衰特性を求めた。この結果を図-5に示す。この図はHe-Neレーザー（出力 $10\ \text{mW}$ 、波長 $0.6328\ \mu\text{m}$ ）での $\alpha-W$ 特性を示したものである。図において横軸はレーザー光路内重量 W_0 （ mg ）でありセル内に投入した粉塵量から光路体積中の量を算定したものである、対応する縦軸は総減衰量 α_0 （ dB ）であり、光路長 $200\ \text{m}$ 当たりの減衰率 α （ $\text{dB}/200\ \text{m}$ ）と同じである。

この結果より表-2の粒径分布値を用い、複素屈折率を液体中から大気状態に変換し、波長0.67 μ mの本装置による α -W特性を理論的に算定した。その結果が図-6である。一般に浮遊粒子群は粒径分布の a 値が3付近をとる。そこで a 値を2.5~3.5とし、 b 、 r_L 値については従来結果より5としてその値の範囲を示した。この場合 r_L については表-2の値を用いている。

この結果より粒径分布値 $a=3.5$ (従来での隧道での浮遊粉塵)に着目すると、砂岩と凝灰岩はほぼ同じ減衰量を示すが、花崗岩はそれより小さくなっている。このことは岩質により減衰量は異なることを示しており、岩質にあったレーザー光減衰特性を把握する必要がある。

また、排気ガスに対してもレーザー光減衰特性の調査を実施したが、照射距離が40m以上になると光量減衰はほとんど現れないことが判明した。

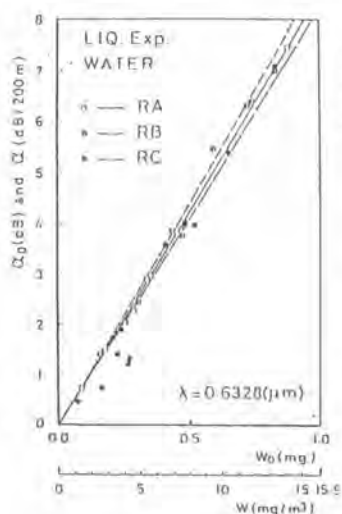
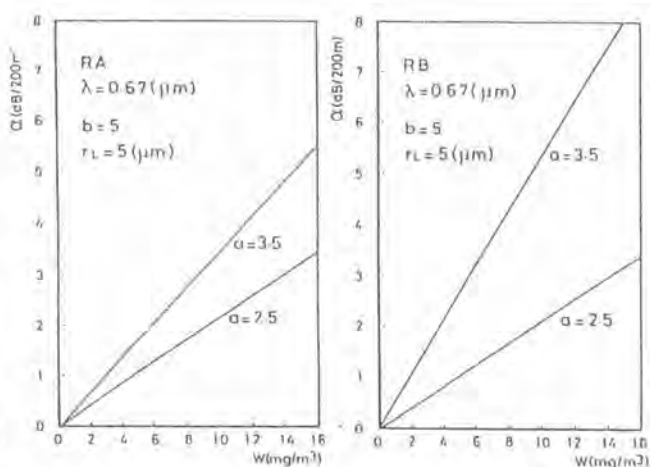


図-5 レーザ光減衰特性



(a) 花崗岩

(b) 砂岩

図-6 レーザ光減衰特性理論的推定値

4. 坑内環境とレーザー光量の変異

実際に坑内作業が行われている状態でレーザー光量の減衰状態と坑内環境の調査を行った。

坑内環境の測定項目としては粉塵量、NO_x、CO、CO₂について行った。測定位置は図-7に示すように坑口から90m、切羽から690mの位置でセントルの後方10mで測定を行った。

レーザー換気システムは測定位置より後方100mにミラーを設置し、光路長200mにてレーザー光の減衰量を測定した。

坑内環境の測定結果を図-8に示す。この結果より以下の事項について判明した。

- ①COは発破後70分程度でピークを迎え、その後は減少し続ける。ゆえにCOは発破時に発生するガスがほとんどであると考えられる。
- ②粉塵量は発破後80分で一つの山のピークを迎えるが、この山は発破及びズリ出し時のものでありもう一つの山(吹付時)のピークが大きくなっている。

- ③NO_x、CO₂に対してはほぼ同じような動きをしており、発破後80分程度でピークを迎え、吹付時にもう一つの山ができています。
- ④レーザ光の減衰は発破後50分で減衰しはじめ作業休止時にもとに戻っている。
- ⑤レーザ光は後方に向かって発振しているため、他の環境測定機器と比べ反応の始まりは同時であるがおわりは遅くなっている。

前述のとおりレーザ光は排気ガスや水蒸気に対してはあまり影響を受けないとのことであったが、レーザ光が減衰している時間は、粉塵、ガスともに環境が悪化している時間よりも長くなっており、より坑内環境を代表しているのではないかと考える。これによりレーザ光が減衰している場合に大風量で換気を行えば、粉塵以外のガスに対しても対応できることがわかる。またレーザ光の減衰と粉塵量の関係は図-9の関係より一定の関係にあることがわかる。

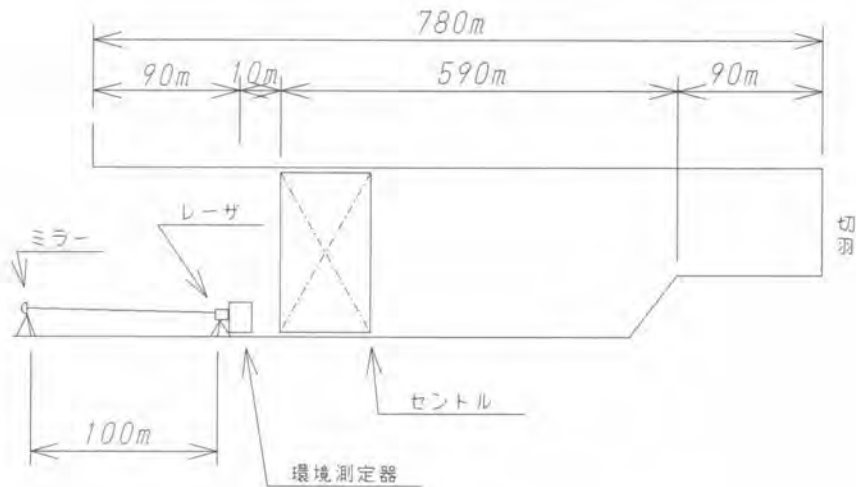


図-7 坑内環境測定位置図



写真-3 環境測定機器

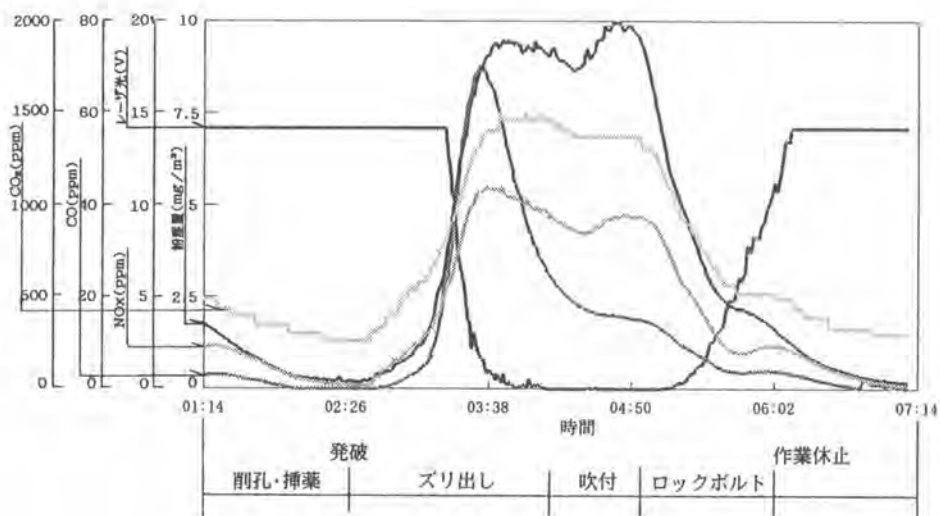


図-8 トンネル坑内環境経時変化

5. おわりに

トンネル工事は施工延長、岩質、使用機械、所轄官庁、施工責任者、作業員等により坑内環境に対する考え方が異なり、既成のものでは現場が希望するものに合致しない場合がよくある。坑内換気に対しても現場によって考え方も状況も異なることより、施工責任者が全ての状況を判断し風量を決定するようにするべきであると考えている。

レーザ換気システムはトンネルの坑内環境を空間的にとらえるものであり、従来からの粉塵センサーによる換気制御と比較すると、より現実に即した坑内環境を代表するものであると考える。

レーザ光の減衰量は岩質により変化するので、施工管理者は現場状況に応じて減衰量の区分及び換気風量を設定することができる。これによりきめの細かい風量制御を行うことができる。

よって、レーザ換気システムを使用することにより、坑内全体を均一な環境に保つことができると考える。

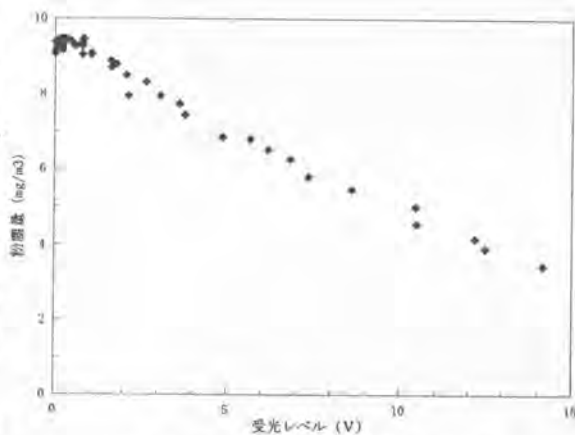


図-9 レーザ光と粉塵量の相関