

長大トンネルにおける合理的な換気手法の検討

A STUDY OF RATIONAL VENTILATION FORM FOR A CONSTRUCTING HUGE TUNNEL

早坂治敏¹⁾・坂田和幸²⁾・志野和巳³⁾・鈴木雅行³⁾・荒木田憲³⁾

Harutoshi HAYASAKA, Kazuyuki SAKATA, Kazumi SINO, Masayuki SUZUKI, Ken ARAKIDA

SIN-OYASHIRAZU tunnel is huge tunnel 5,229m long. On the huge tunnel, the work environment gets bad, as evidenced by increasing the dump truck and air leaking of ventilation ducts. Therefore, excessive ventilation equipment becomes necessary, and a construction fee rises to secure a good working environment. As for this tunnel, a rational ventilation form was examined, long ventilation ducts and a container system were adopted as a result of the examination. This report about the examination of the rational ventilation form and the result.

Key Words : ventilation form, long ventilation ducts, container system

1. はじめに

我が国では、限られた国土の有効利用や自然環境保全の面から、今後トンネルのニーズは高まり、その延長は長大化する傾向にあると考えられる。このような長大トンネルの施工に当たっては、ずり出し機械の増加や換気設備の長大化により換気効率が低下し、良好な坑内環境を確保するためには大きな換気設備が必要となる。新親不知トンネル(西)工事は新親不知トンネル総延長 L=7,330m のうち、西側 L=5,259m (他1～3工事)を構築する長大トンネル工事である。本報文は長大トンネルにおける合理的な換気手法に関してずり出し設備や、換気設備の改良を行うことで、効率的な換気手法を実施したものを報告するものである。

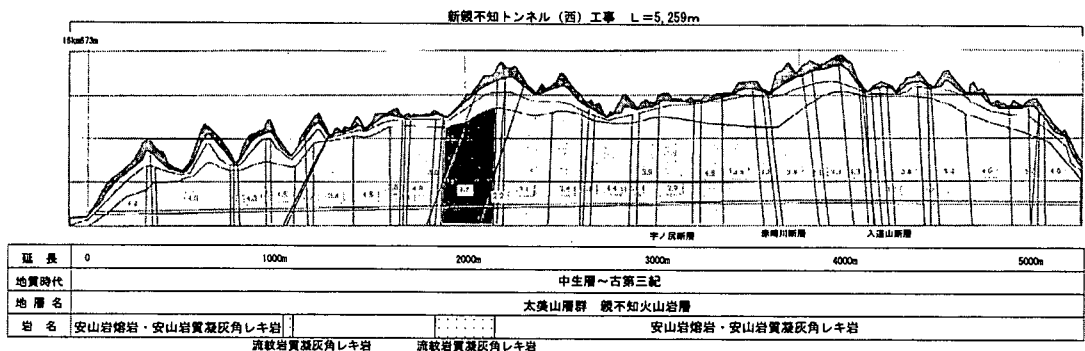


図-1 新親不知トンネル(西)工事縦断面図

2. トンネル長大化に伴う換気上の問題点

トンネルの掘削方式は発破掘削、ずり出し方式はタイヤ方式である。本トンネル工事においては自然発生ガスや高温・高湿といった特殊条件を考慮する必要はないことから、坑内環境を悪化させる要因としては作

- 1) 日本鉄道建設公団 北陸新幹線第二建設局 朝日鉄道建設所
- 2) ハザマ 北陸支店 新親不知トンネル作業所
- 3) ハザマ 土木本部 トンネル統括部

業員の呼気、発破後ガス、内燃機関の排気ガス、作業時の粉塵等である。これらの要因のうち、トンネルの長大化に伴い増加する要因としては、ずり出し運搬距離の増加に伴う内燃機関（ダンプトラック）増加である。また、風管延長の増加に伴い風管の漏風や摩擦抵抗が増大し、必要換気量を切羽に送気するためには大容量の換気設備が必要となる。このため、効率的に良好な作業環境を確保するために、各種の検討を実施した。

3. 効率的な換気手法の検討方針

坑内環境を確保するに当たり、適用した管理基準値を表-1 に示す。換気方式は長大トンネルで一般的に使用される送・排気組み合わせ方式を基本とした。

長大トンネルにおいて坑内環境を確保するための対策としては、有害物質の削減、換気効率の向上、換気設備の増大、換気立坑の設置等が考えられる。以下に各種の検討を試みる。

表-1 管理基準値

項 目	管理基準	備 考
CO ₂ 濃度	5,000ppm	日本産業衛生学会基準
CO 濃度	50ppm	
NO _x 濃度	25ppm	ずい道工事等における換気技術指針 ¹⁾
坑内風速	0.3m/sec	
粉じん濃度	5mg/m ³	ずり出し時基準値 ※過去の事例より設定

3-1 コンテナ方式の採用

トンネルの長大化に伴い、ダンプトラックによるずり出しの場合、必要台数が増加するため、所要換気量が増大する。このため、コンテナ方式によるずり出し機械の減少について検討を行った。コンテナ方式は18m³のコンテナを用いることとした。ダンプトラックおよびコンテナ輸送における必要台数および必要換気量の一覧表を表-2 に示す。表-2 より、延長 5,000m の場合にはダンプトラック (25t) に比べコンテナ輸送 (18m³) では必要換気量を70%程度に低減できることがわかる。

表-2 各ずり出し機械における必要換気量の比較表り、

方 式	項 目	延長	3,000m	4,000m	5,000m	備 考
コンテナ (18m ³)	使用台数 (台)		3	3	4	出 力
	必要換気量 (m ³ /min)		1,323	1,323	1,443	300PS/台
ダンプトラック (25t)	使用台数 (台)		8	9	11	出 力
	必要換気量 (m ³ /min)		1,779	1,881	2,085	255PS/台

3-2 長尺風管の適用

換気効率を向上させる方策としては、各種方法が挙げられるが、ここでは長尺風管による漏風率の低減についての検討を実施した。

(1) 長尺風管の適用

坑内換気における換気設備の容量は以下の式で計算される。

$$m = \beta \times \frac{L}{100}$$

$$Q_f = \frac{Q}{1-m}$$

m : 漏風率, β : 100m 当りの漏風率, L : 風管延長
Q : 必要換気量, Q_f : ファン必要風量

上式 β は漏風率であり、風管の漏風に関する係数である。これは、風管の破損等や風管継手における漏風に依存するものであり、通常のスパイラル鋼管やビニール風管の場合 β = 0.015^{※1)}程度とされている。これに対し、長尺風管 (L=100m) を用いた場合、継手が少なくなり漏風率を低減することができ、過去の事例では β = 0.010 程度と報告されている。本トンネルではこれに加え、セントル後方で風管の張り替えを実施し、風管の発破等による破損の影響をなくした。通常のトンネルにおいては、換気設備の決定に当たり漏風率の影響は少ないが、長大トンネルにおいては漏風率の影響が大きくなる。今回の場合のように延長 5000m の場合、通常の風管 (β=0.015) の場合に比べ、長尺風管 (β = 0.010) を使用すると、換気容量は半分で良い計算結果となる。このように長大トンネルにおいては漏風率の換気設備に対する影響が大きく、また、本トンネルでは風管の張り替えを実施しており、従来の長尺風管の漏風率よりも改善することが期待できるため、換気設備は実際の漏風率を測定して決定することとした。

(2)漏風率の測定

トンネル延長 2,500 m 程度の位置において、通常のビニール風管（標準風管）および長尺風管をそれぞれ設置し、漏風率の測定を実施した。トンネル平面位置での測定位置および風管断面内での測定位置を図-2 に示し、測定結果を表-3 に示す。風量の測定は図-2 に示すように風管内（φ 1,600mm）の 8 点について行い、算術平均値をその位置における風量とした。なお、排気設備の容量は 2,000m³/min である。測定結果より、長尺風管の漏風率は $\beta = 0.0011$ であり、過去の事例（ $\beta = 0.01$ 程度）に比べ、1/10 程度であった。このため、本トンネルの換気設備の検討に当たっては、余裕を考慮して $\beta = 0.002$ を採用した。

3-3 その他の検討

一般的なトンネルの場合、所要換気量を満足しない場合、換気設備を大きくするのが一般的である。換気容量としては 3,000m³/min 級の換気設備も存在し、この適用についても検討を実施した。しかし 3,000m³/min 級換気設備において風管を使用した換気の実績はなく、また使用電力が大きくなることや、風管内風速が過度に早くなり効率的ではないことから、換気設備は 2,000m³/min を基本とした。また、換気斜坑の設置も検討を実施したが、経済的に不利となり、採用しなかった。

4. 換気方式の検討

表-4 に換気方式の検討ケースを示し、図-3 に各種検討時のトンネル延長と各ケースの有効換気量と所要換気量の関係を示す。図-3 より本トンネルの換気設備は経済性を考慮し、トンネル延長に応じて、段階的に換気設備を増加していくこととした。図-4 に採用した換気設備を示す。なお、ずり出し機械は Case 5（1,000 m 区間のみ長尺風管）を考慮し、トンネル進行 3,000m 程度において、ダンプトラックからコンテナ方式に変更することとした。

表-4 換気検討ケース

	換気設備 (m ³ /min)	風 管 (β : 漏風率)
Case 1	2,000	通常風管 ($\beta = 0.015$)
Case 2	3,000	通常風管 ($\beta = 0.015$)
Case 3	2,000	長尺風管 ($\beta = 0.010$)
Case 4	2,000	長尺風管 ($\beta = 0.002$)
Case 5	2,000	一部 長尺 (0.002)

一般的な通常風管 : $\beta = 0.015$
一般的な長尺風管 : $\beta = 0.010$
本トンネルの長尺風管 : $\beta = 0.002$

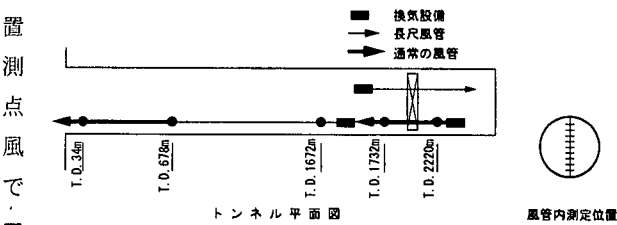


図-2 計測位置図

表-3 風量計測結果

		34m	678m	1672m	1732m	2220m
風 速 (m/sec)		15.4	16.4	16.6	14.2	14.7
風 量 (m ³ /min)		1,855	1,983	2,006	1,709	1,775
漏風率	標準		0.010		0.008	
	長尺			0.0011		

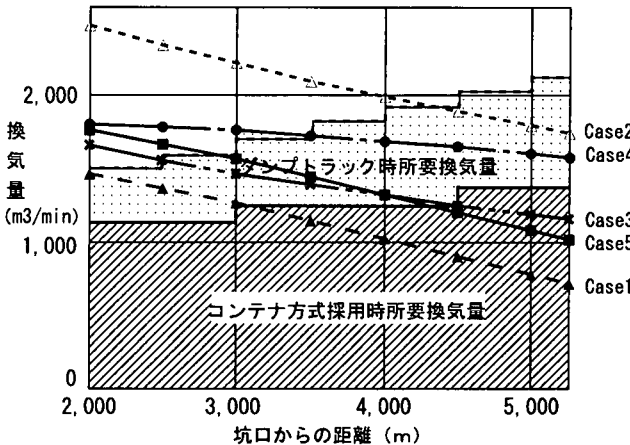


図-3 換気設備検討図

5. 施工結果

トンネル施工延長 3,100m 程度における NOx 濃度および粉じん濃度の測定結果を図-5 に示す。この位置ではずり出しはコンテナ方式（ミナリ 3 台）にて行い、部分的に長尺風管を使用している。NOx 濃度は最大 14ppm であり、管理値 25ppm を大きく下回っている。粉じん濃度も管理値 5mg/m³ を下回っており、良好な作業環境を確保しているといえる。また、数回にわたり長尺風管の漏風率を測定した結果、漏風率 $\beta = 0.0011 \sim 0.0018$ 程度であり、計画時に設定した $\beta = 0.002$ を下回っていた。

6. まとめと今後の課題

本トンネルにおいては、ずり出し方式の検討および長尺風管の適用により合理的な換気手法を実現することができた。また、長尺風管のロス率の測定値は、0.0011 ～ 0.0018 程度と想定したロス率とほぼ同等であり、従来示されている標準的ロス率より大幅に改善でき、しかも過去の長尺風管の事例の 2 ～ 10 倍程度低減できた。

トンネルや地下空間等、限られた空間での施工で、しかも長大トンネルにおいては、その作業環境は著しく悪化するため、綿密な換気計画が必要である。本トンネルの結果が今後の長大トンネルの計画に参考になれば幸いである。なお、本トンネルは平成 10 年 9 月現在において掘削中である。今後、更にデータの蓄積を行い、最終結果についても報告することとしたい。

参考文献：1) 建設業労働災害防止協会、ずい道工事などにおける換気技術指針

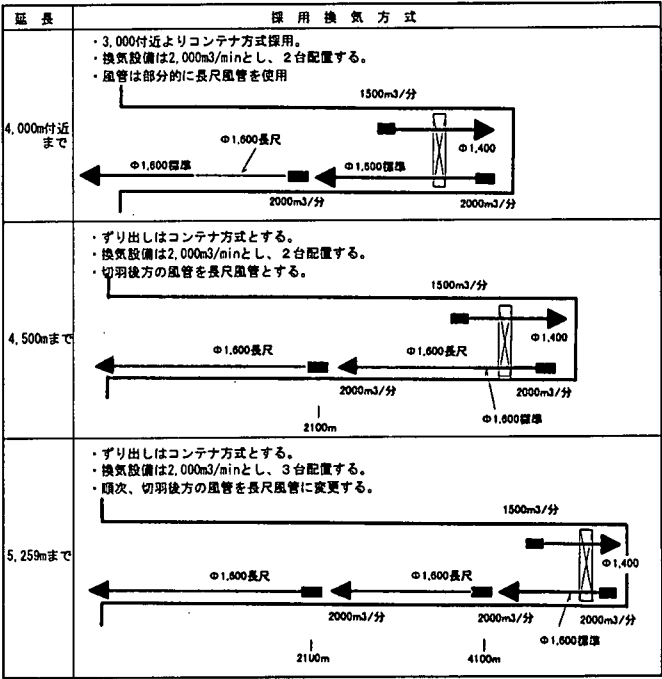


図-4 採用した換気設備

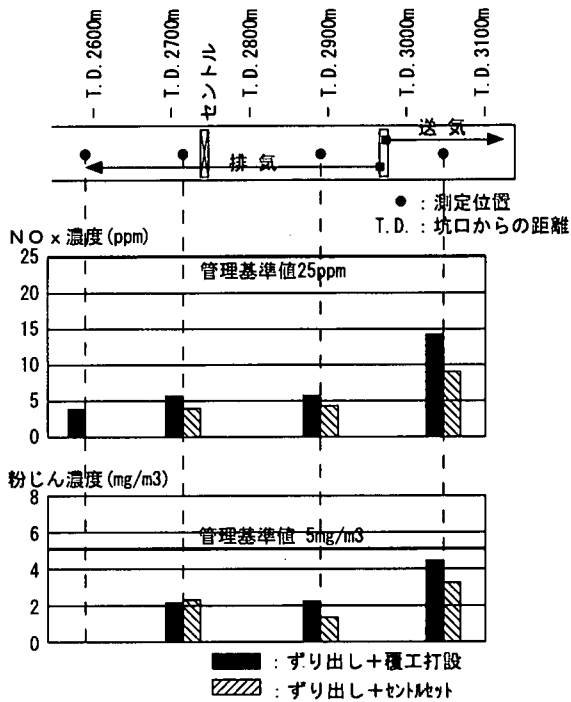


図-5 NOx 濃度および粉じん濃度測定結果