

防音ハウスの換気エネルギーマネジメントシステム 全体換気から「立体メッシュ換気」への転換

小堀 孝之・齋藤 由美子・飯島 陽介

防音ハウス内ではさまざまな作業があり、個々の作業で発生する有害ガス、蒸気、粉じん、機械設備の発生熱、坑内換気の送排気等があり換気が必要である。また安衛法令等の諸規則に基づく空気環境を維持しなければならない。本稿では、さまざまな作業エリア別に最適な空気環境を確保し時間経過、工種の進捗に合わせた効率的な換気を行うために開発した「立体メッシュ換気システム」と省エネルギー化について報告する。また、製作した大型プッシュファン（口径φ2,500 mm）を紹介する。

キーワード：防音ハウス、作業エリア、空気環境、換気、省エネルギー化、プッシュファン

1. はじめに

安衛法では快適職場づくりが事業者の努力義務とされ快適な職場環境の形成のための措置として、厚労省告示の指針では作業環境の管理として空気環境、温熱条件、視環境、音環境、作業空間等が示されている。

シールド工事の立坑基地は防音ハウスで覆われることが多い。空気環境は換気により維持され、今までは全体換気（換気回数5回/h）により行われてきた。防音ハウス内では掘削土の搬出、セグメントシール貼り等の作業があり、換気量、方法には関係法令等の規則が適用される作業もある。

そこで、防音ハウス内の各種作業内容と作業エリア別に必要な換気を効率的に行うため、作業空間の換気気流（方向、風量）を立体的に管理する「立体メッシュ換気システム」を開発した。作業に合わせて換気するため換気エネルギーの省エネルギー化にも寄与する。最も換気量を必要とするセグメントシール貼り作業には大型プッシュファン（口径φ2,500 mm）を製作し作業を可能とした。

本稿ではこれらについて報告する。

2. 技術の概要

シールド径φ3,000 mm、泥土圧シールドの発進立坑基地設備例を図-1に、換気の対象となる主な作業を図-2に示す。

- (1) セグメントシール貼り作業（有機溶剤作業）
- (2) 掘削土搬出作業（内燃機関使用作業）

- (3) 資機材搬出入作業
- (4) 裏込・添加材作業（地上）
- (5) 坑内排気

「立体メッシュ換気システム」は、各種作業内容と作業エリア別に作業空間を立体的に換気気流の方向、風量を給気ダクト、プッシュファン、プルファン、排気ファンの配置により管理するものである。

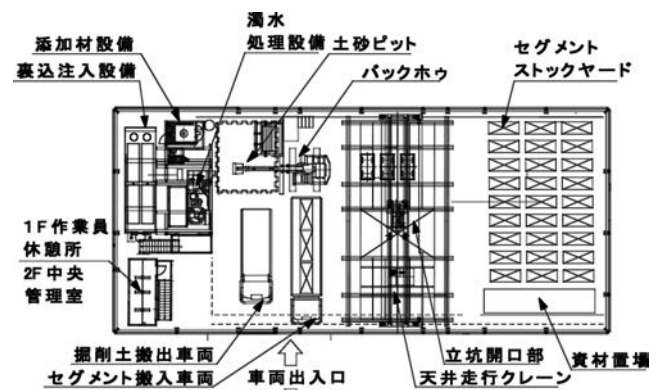


図-1 設備平面図

●裏込・添加材作業 ●掘削土搬出作業 ●セグメントシール貼り作業

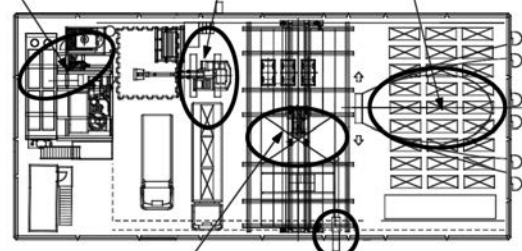
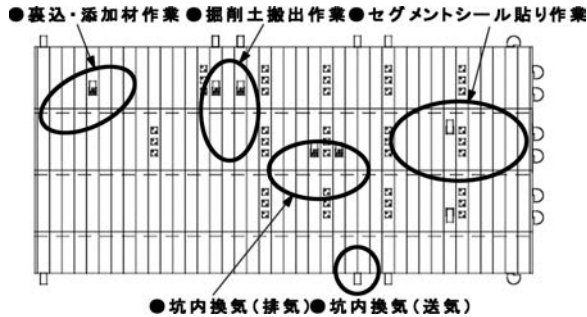
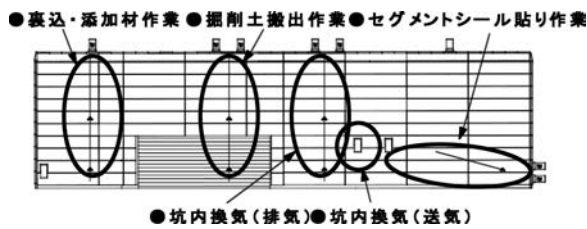


図-2 換気対象作業

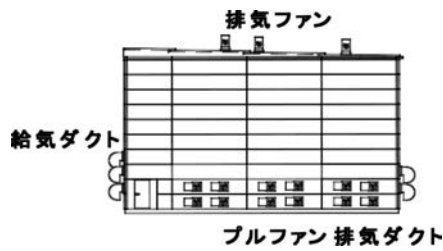
作業エリア別の気流の方向と給気ダクトと排気ファンの位置を示す（図—3～5）。



図—3 ダクト位置図（屋根）



図—4 ダクト位置図（正面）



図—5 ダクト位置図（側面）

3. 作業別エリア換気

主な作業別換気方法を示す。

(1) セグメントシール貼り作業（有機溶剤作業）

(a) 作業内容

一般にセグメントに使用される水膨張シール材は水膨張樹脂とクロロプレンゴムを主材とした合成ゴムである。接着剤にはトルエンを主成分としたクロロプレンゴム系溶剤型接着剤が使用される。セグメントに小分けした容器に接着剤を入れ、はけで塗布しシール材を貼る作業である。

(b) 接着剤成分

- ・クロロプレンゴム系溶剤型接着剤（混合物）
トルエン，n-ヘキサン，シクロヘキサン等

(c) 作業環境管理の適用法令

- ・労働安全衛生法—有機溶剤中毒予防規則（有機則）
- ・区分 第2種有機溶剤

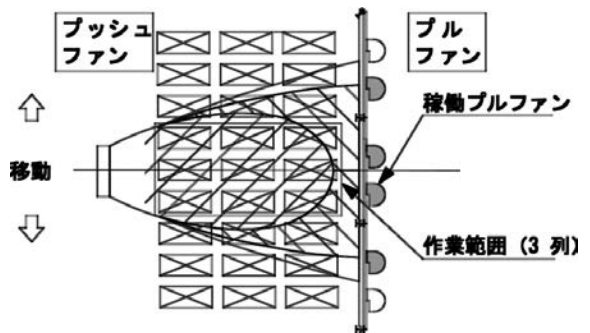
(d) 発散源対策

屋内作業では、設置すべき設備として次の3つの設備が定められている。

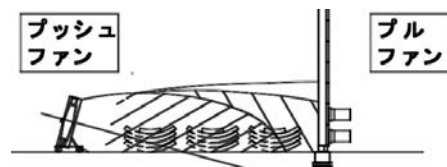
- ・密閉設備
- ・局所排気装置
- ・プッシュプル型換気装置

(e) 開放式（斜降流型）プッシュプル換気の採用

セグメントはストック状態に対応可能なプッシュプル換気とした。セグメント（有機溶剤蒸気の発散源）をはさんで片方を吹出し用（プッシュファン），もう片方を吸込み用（プルファン）とする方式である。2つの間につくられた気流によって発散した蒸気をかき混ぜることなく流して吸引，排気する。計画例を（図—6，7）に示す。プッシュファンを移動式とし，プルファンを固定型としている。この方式は従来も考えられていたが，開放式の場合にはプッシュ気流が吹出し開口を離れるに従い周囲の空気を誘い込んで流量が増加するためにプルファン設備が大きくなり実用上不可能とされてきた。また，国内にはプッシュファンとなる大型ファンはなかった。筆者らは必要なプッシュ気流速度範囲をコアとしてその先端にプルファンを配置し捕捉して流量増加を抑制する方式とした。大型プッシュファンは国内製作した。



図—6 プッシュプル換気計画例（平面）



図—7 プッシュプル換気計画例（立面）

(f) 計画条件

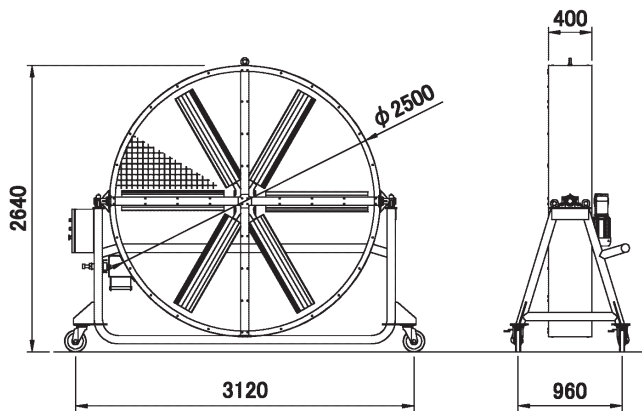
- ・蒸気発生速度 0.1～0.2 m/s
- ・乱れ気流 0.1 m/s
- ・プッシュ気流速度 0.3～0.5 m/s

厚労省告示（開放式）ではプッシュ気流速度を作業位置の乱れ気流速度+0.2としている。上制限速度は

有害物質の飛散，作業者の身体の風下に渦流が発生し呼吸域に舞い戻る危険があるため0.5 m/sとしている。

(g) プッシュファン

プッシュファンはセグメント幅1 m, 3列程度カバーできてプッシュ気流0.3 ~ 0.5 m/sを20 m程度確保できることが望ましい。口径2,500 mm, 風速はインバータ制御による任意設定とした。風速分布曲線を図一9に示す。重量560 kgで車輪により移動を容易にした。騒音レベルは54 dBである(図一8, 写真一1, 表一1)。



図一8 プッシュファン全体図

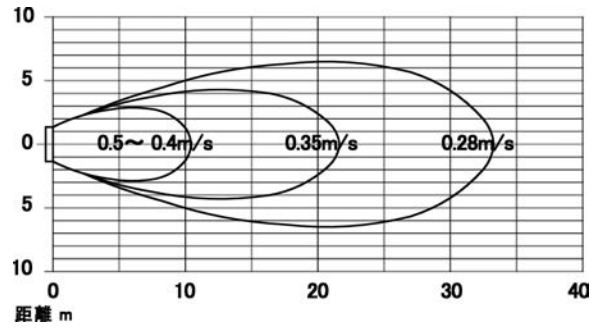


写真一1 プッシュファン正面

表一1 プッシュファン仕様

呼称 (口径)	(mm)	2,500
羽根数		6 枚
仰角		±10° (5° 刻み)
電力	(V)	3 相 200
出力	(kW)	15
回転数	(rpm)	10 ~ 227
風量	(m ³ /min)	風速と広がり幅より算定
風速	(m/s)	図参照
騒音レベル	(dB)	54
重量	(kg)	560

回転数：インバータ任意設定



図一9 風速分布曲線 (30rpm)

(h) 装置計画

基本機能はセグメントを配置しない空間として計画し，セグメント配置後は配置状況（間隔，高さ等）により気流速度が変化するのでプッシュファン回転数を設定し管理する。計画風速分布曲線は30 rpmとする。

① プッシュ気流距離

プッシュ気流下限速度を0.3 m/sとすれば風速分布曲線より20 m程度となる。

② プルファン配置水平距離

水平距離はコア気流を捕捉する距離とする。

- ・10 m 未満 2D 以上
- ・10 ~ 20 m 2D ~ 3D 以上

D：プッシュファン径

③ プルファン配置垂直距離

- ・1 D 以上

D：プッシュファン径

水平距離に応じてプッシュファンを傾斜して使用する。

④ プッシュ気流風量 Q_1 (m³/min)

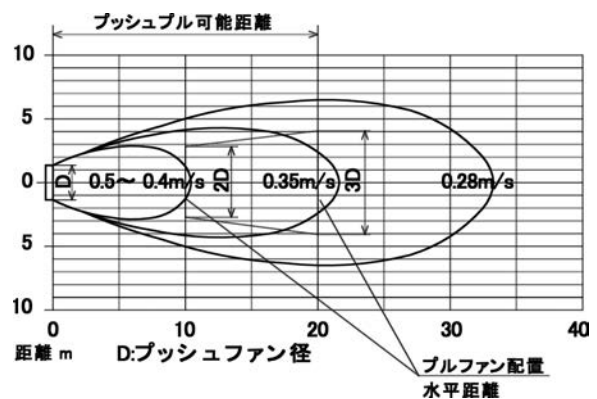
$$Q_1 = A \times V \times 60$$

A：捕捉面積 (m²)

稼働プルファン配置面積とする。

V：捕捉時気流速度 (m/s)

捕捉時気流速度は図一10, 11より求める。



図一10 プッシュ気流速度性能線図

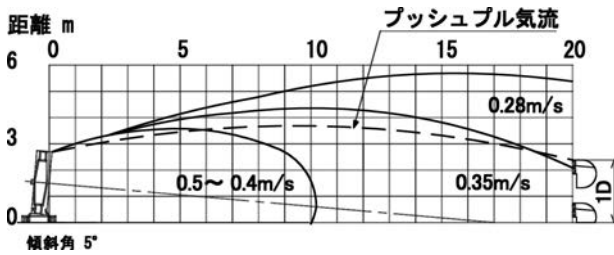


図-11 プッシュブル気流 (30 rpm)

⑤ プル気流風量 Q_2 (m^3/min)

$$Q_2 = Q_1 \times K$$

Q_1 : プッシュ気流 風量 (m^3/min)

K : プッシュブル流量比

風速分布曲線はプルファンのない自由空間である。プルファンがある場合、外周気流は中心に向かって収束する。外周部気流を捕捉するため、プッシュブル距離、補足面積（プルファン配置）を考慮しプッシュ気流風量に対し余裕をみる。

$K = 1.2 \sim 1.5$ とする。

⑥ プルファン、給気ダクト

壁面にプルファン (81 m^3/min , 0.4 kW), 給気ダクトを配置する。

(2) 掘削土搬出作業 (内燃機関使用作業)

(a) 作業内容

一般に掘削土の搬出作業にはバックホウが使用され内燃機関使用作業となる (図-12)。

(b) 作業環境管理の適用法令等

- ・労働安全衛生法—安衛則第 578 条
- ・建設業労働災害防止協会：ずい道等建設工事における換気技術指針

(c) 換気量

0.7 m^3 級バックホウのエンジン出力を 110 PS とし許容濃度である 25 ppm に希釈するためには 160 m^3/min 程度の換気が必要である。

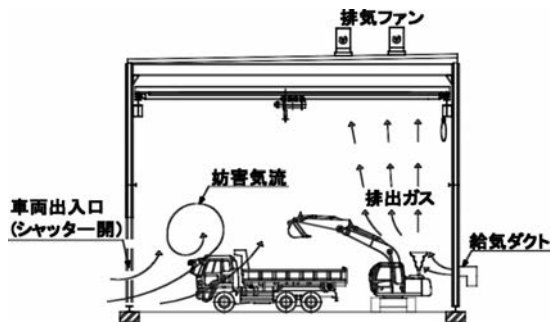


図-12 掘削土搬出作業エリア気流

(3) 坑内排気

坑内に送気された風量は立坑から排気され、ハウス内に拡散、滞留させることなく直接排気する (図-13)。

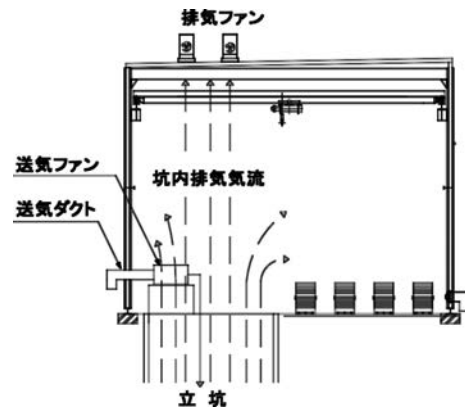


図-13 坑内排気気流

4. 換気ファン稼働管理

(1) 作業形態

シールド掘進工1日の主な作業形態と作業時間を示す。

① 昼勤

- ・掘進 + 掘削土搬出 + セグメントシール貼り 5h
- ・掘進 + 掘削土搬出 4h

② 夜勤

- ・掘進 9h

(2) 稼働管理 (図-14 ~ 16)

作業形態と換気装置のプルファン、排気ファンの稼働状況を示す。セグメントシール貼り作業のプッシュ

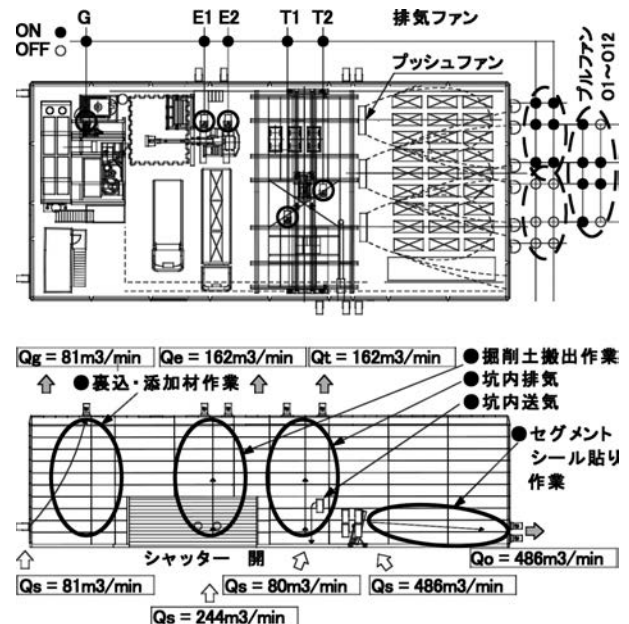
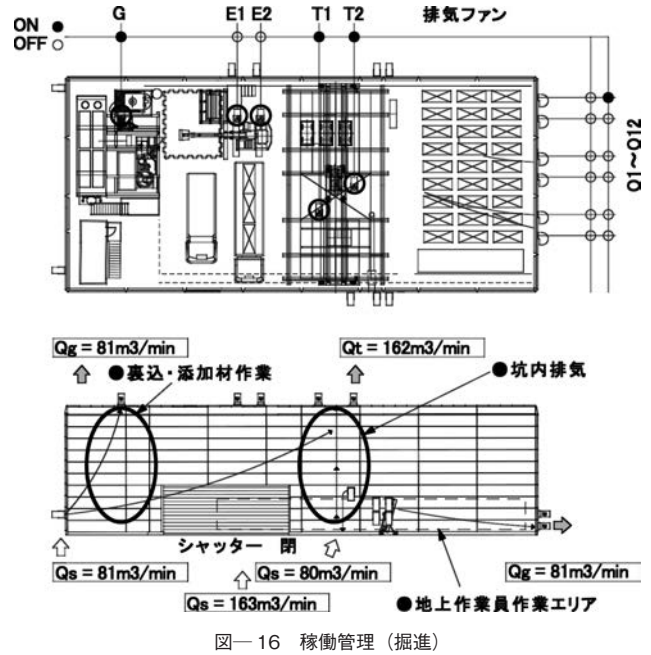
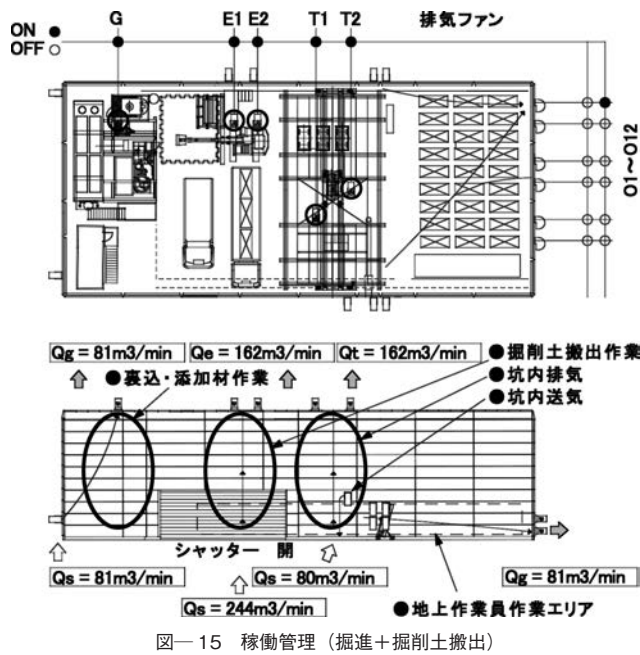


図-14 稼働管理 (掘進+掘削土搬出+セグメントシール貼り)



表一 2 省エネルギー効果

作業形態	時間 (h)	換気装置		全体換気		立体メッシュ換気	
		ファン名	出力 (kW)	稼働台数	電力量 (kWh)	稼働台数	電力量 (kWh)
昼勤							
・掘進 + 掘削土搬出 セグメントシール貼り	5	換気ファン	0.4	17	34.0	5	10.0
	5	プルファン	0.4			6	12.0
	5	プッシュファン	1.5			1	7.5
・掘進 + 掘削土搬出	4	換気ファン	0.4	17	27.2	6	9.6
夜勤							
・掘進	9	換気ファン	0.4	17	61.2	4	14.4
計					122.4		(▲56%) 53.5

ブル換気ではプルファンを12台配置し、プッシュファンを移動しながらセグメント3列を一作業として6台稼働とする。

5. 省エネルギー効果

全体換気と比較した場合の省エネルギー効果を表一2に示す。全体換気(換気回数5回/h)とした場合の排気ファンは17台となり、「立体メッシュ換気システム」の設備台数と同じになる。掘進日1日(昼夜)の電動機定格出力と稼働時間の電力量(kWh)比較である。56%の省エネ効果がある。

6. おわりに

「立体メッシュ換気システム」により、作業工程に応じた換気管理ができた。客先のご協力により施工例は3件となり、省エネ効果と空気環境の改善効果とと

もに好評をいただいている。今後もより良い防音ハウスを提供できるように努めていきたい。



【筆者紹介】

小堀 孝之 (こほり たかし)
ヤクモ(株)
第二事業部
次長



齋藤 由美子 (さいとう ゆみこ)
ヤクモ(株)
第二事業部 技術開発課
係長



飯島 陽介 (いいじま ようすけ)
デービー(株)
那須工場
工場長

