

日田線釈迦岳トンネル坑内気流並びに煤煙調査

池 原 武 一 郎*
 中 井 善 人**
 進 藤 卓***

まえがき

昭和31年3月開通した、日田線彦山一大行司間の釈迦岳トンネルは工事再開の当初から4378mの長さを蒸気運転するという悪条件を考へて、機関車の煤煙が乗務員、および保線従業員に与える影響について、種々調査を進めてきたが、数コ列車の影響の競合の問題については、開業後に調査しなければ、確信をうるような想定がつかなかった。本文は、村山朔郎博士の論文に忠実に従つて、トンネル内の排煙状況を調査し、釈迦岳トンネルには当分の間、排煙装置はとくに考慮しないでもよいという結論を出したものであるが、トンネル内の排煙状況の調査方法について、一つの参考になるものと考えられるので、発表した次第である。

I. 基礎条件

1. トンネルの位置、形状その他

釈迦岳トンネルは日田線彦山・筑前岩屋間に

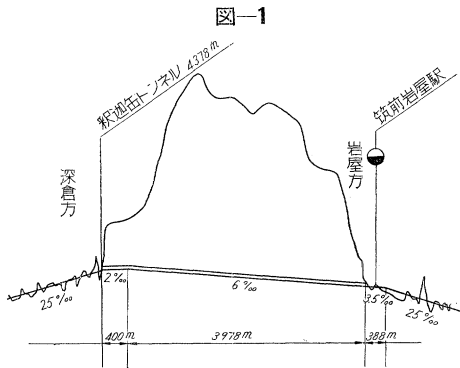
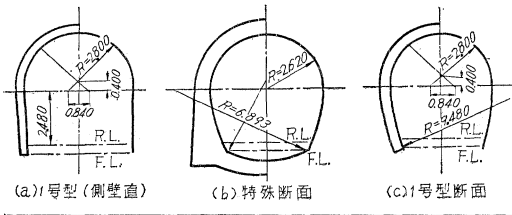


図-2 トンネル断面図



* 正員 国鉄建設局建設課
 ** 准員 国鉄下関工事局広島工事区
 *** 准員 国鉄下関工事局古江工事局

(彦山) 表-1

月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間
方向	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
N	2	8	11	8	2	2	5	4	4	1	8	5	5
NE	9	7	6	7	7	8	4	3	4	8	1	2	6
E	9	6	9	6	9	12	5	17	13	3	3	8	8
SE	20	26	10	4	18	12	12	13	9	16	16	15	14
S	6	12	14	16	18	16	20	19	16	31	13	11	16
SW	9	8	6	15	11	16	15	19	15	3	10	7	11
W	9	7	7	4	6	6	6	6	11	9	4	11	7
NW	13	4	8	3	5	3	3	2	5	5	8	12	6
計	77	79	71	64	76	75	70	83	78	76	63	70	73

(大行司)

月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間
方向	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
N	3	5	1	7	1	7	1	5	3	3	5	4	4
NE	4	5	6	5	7	3	8	6	8	7	7	5	6
E	6	6	9	7	9	9	7	6	8	9	12	12	8
SE	5	3	5	3	4	2	7	5	1	3	3	4	4
S	5	8	17	15	15	19	16	6	11	11	7	8	12
SW	25	28	26	27	23	27	20	17	25	26	23	30	25
W	35	36	27	25	31	24	25	37	34	32	29	28	30
NW	6	4	3	7	4	3	1	3	1	4	5	3	4
計	88	95	94	97	94	94	85	85	91	94	90	94	89

位置し、延長4378mでその線形はほぼ南北に走る谷間にそつて上り、頂部を標高約250mの高さで貫いたものである。

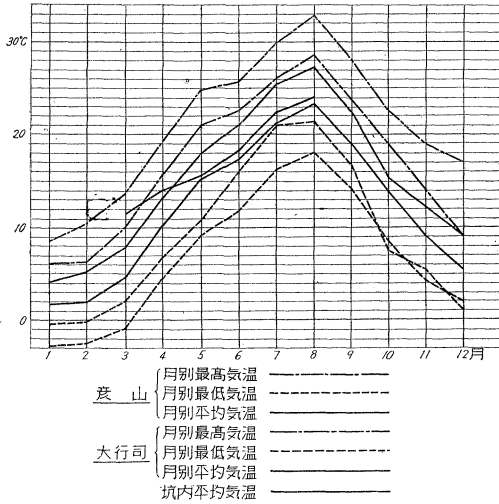
トンネル区間の縦断面図は図-1に示すごとく、深倉口400mは2%、残り3978mは6%の合掌型となつている。前後の取り付けは、深倉口は彦山方より25%の上り勾配、岩屋方は駅構内の関係で大行司に向つて3.5%の下り勾配になつている。トンネルの断面形状は図-2に示すごとく深倉口より1号型、特殊断面、1号型直の3つが用いられている。各断面の延長はおよそ1号型が総延長の2/3、1号型直が1/3となつている。

2. トンネルの気象条件

(1) 風向、風速 トンネル付近の風向、風速を知るために彦山および大行司の観測所の記録(彦山観測所は昭和25~29年大行司観測所は昭和26~29年)をもとにして各4~5年間の記録より月別平均値を求め、かつ風向図、風速図を作り、これから月別平均の風向の百分率を求めてみると表-1のごとくなる。

表より明らかなごとく70%近く、岩屋方より彦山側に坑外風のあることがわかる。

図-3 気 温 図



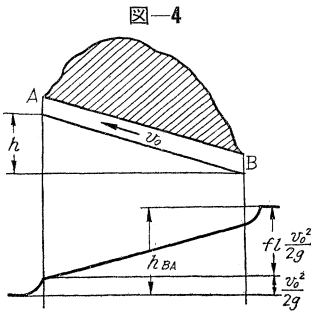
(2) 気温 坑外気温として、先の風速の記録と同じ観測所における1日の最高および最低気温をもとにして、月別の最高および最低気温を求めて図示したのが図-3である。このうちには後述の坑内気温も参考のため図示してある。

II. 坑内気流の理論的計算方法

以下の公式その他はいずれも村山博士の論文(土木学会誌29巻9号)よりとつたものである。

1. 坑内自然気流

坑内自然風の起る原因としては、両坑間に静圧気頭差が生ずるためである。図



4のB坑口よりA坑口に定常な気流があるとみなしたとき、この平均速度 v_0 m/s とこれの原因の静圧気頭差 h_{BA} との関係は空気の単位容積重量を γ として

$$h_{BA} = \frac{P_{BA}}{\gamma} = \left(1 + \lambda + \int_0^l f_i dl\right) \frac{v_0^2}{2g} \dots\dots\dots (1)$$

f_i : トンネル単位延長に対する摩擦抵抗係数

λ : 空気の粘性係数

で示される。

このような静圧気頭差を起す原因としては

a) 坑門に吹きつける風が山腹に当たり、風の世界速度気頭の一部が静圧に変化する場

合

b) トンネル内外に温湿度差および両坑口に高低差のある場合

が考えられる。上の二つについて一般式をあげる。いま坑外風速を w_0 m/s とすれば、

$$P_{BA} = \delta \gamma \frac{w_0^2}{2g} \dots\dots\dots (2)$$

式中 δ は風向、山腹の傾斜またはその表面性状、坑門付近の地形、トンネルの形状および寸法等により異なる係数である。次に温度差および高低差のある場合、すなわちトンネル内外の空気に比重量を生ずる場合、いわゆる煙突作用の起るときに坑内外の空気の単位容積重量をそれぞれ r_i, r_a (r_a は一定とする) kg/m^3 両坑間の高低差を h m とすれば

$$P_{BA} = r_a h - \int_0^h r_i dh \dots\dots\dots (3)$$

で示される。

釈迦岳トンネルの式を求めするためにトンネル固有の係数を説明する。理論式に用いられる係数としては、トンネル壁面の摩擦係数 f および列車係数 K であるが、 K は列車風にしか関係しないため、まず f について述べる。

f は(1)式でも明らかのごとく、気流を抑制する方向に働らく力で、実測によつて求められるものである。図-5の釈迦岳トンネルの列車風の減衰曲線より f を求めると平均値として

$$f = 0.0044$$

が得られる。この f の値を使つて(2),(3)式を釈迦岳トンネルの式に直すと(2)式は

$$v_0 \approx (0.85 \sim 1.00) w_0 \dots\dots\dots (4)$$

ただし $\delta = 15 \sim 20$ として岩屋における坑外風をもとにしてある。

(3)式は

図-5 列車風減衰図

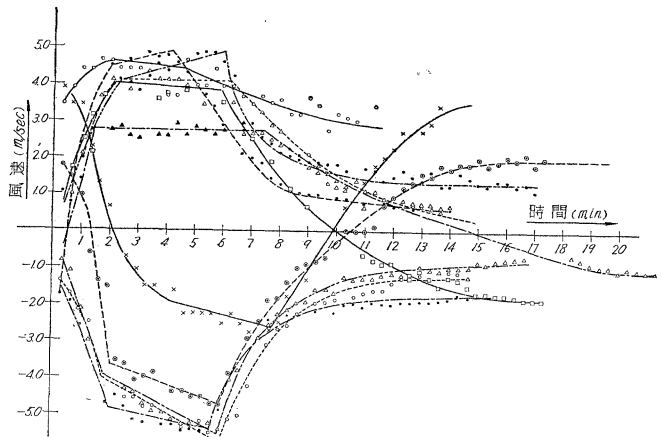
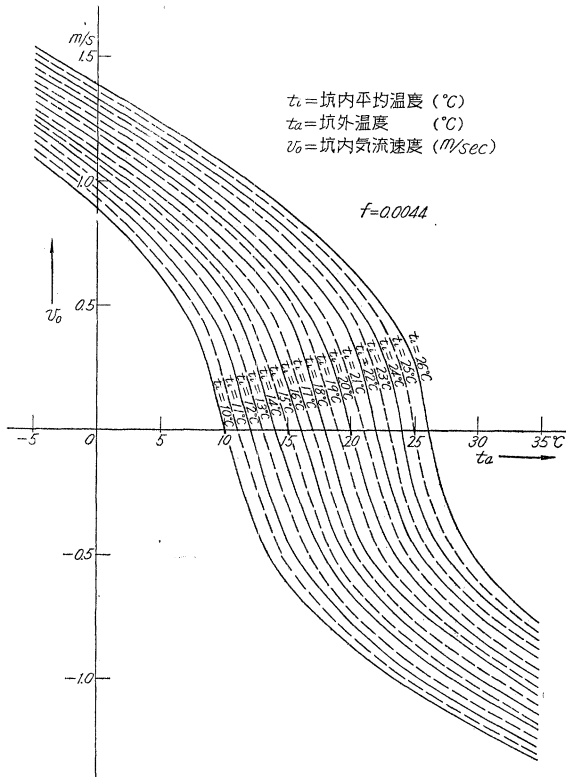


図-6 坑内外温度差による自然風速



$$v_0 = \sqrt{6.093 \frac{t_i - t_a}{(t_a + 273)(t_i + 273)}} \dots \dots \dots (5)$$

式中 t_i : 坑内平均温度 (°C)
 t_a : 坑外温度 (°C)

となる。(5)式は計算が面倒なので計算図を作ると図-6のようになる。

2. 列車風

(1) 列車の坑内通過にともなう気流方程式 この方程式は列車により気流に加えられる力と、自然風が気流に与える力の合計が、気流抵抗のために消費せられる力と、気流を加速するために消費される力との合計に等しいとおいた微分方程式で示される。

すなわち

$$K(u-v)^2 + \frac{v_0}{|v_0|} (1+fl)v_0^2 - \frac{v}{|v|} \left\{ 1 + f(l-l_0) \right\} v^2 - 2 \left\{ l-l_0 + \frac{Al_0}{A-A_0} \right\} \frac{dv}{dt} = 0 \dots \dots \dots (6)$$

- l : トンネル延長 = 4378 m
- A : トンネル断面積 = 21.3 m²
- P : トンネル断面周长 = 17.2 m
- A/P : 径深 = 1.24 m
- l_0 : 列車長 = 90 m = (4 × 20 + 10)
- A_0 : 断面積 (ボキ一車に対し = 9.4 m²)
- v_0 : 自然気流 m/s

- v : 列車風 m/s
- u : 列車速度 = 13.0 m/s

で示される。

K は列車係数 といわれる。列車がトンネル内に進入すれば坑内の空気を列車方向に動かして列車速度に比例したような風速の気流を発生する。

この列車のピストン作用の効率ともいうべきもので、この係数はトンネルの長さには、ほとんど無関係で、トンネル並びに列車の断面形状、寸法、それぞれの表面の粗度および列車長等によつて変つてくる値であり、最大列車風速と、列車速度との関係から実測される。すなわち 釈迦岳トンネルの 現行運転列車の K の値としては平均

$$K = 5.4$$

となつている。

(2) 列車出坑後の気流方程式 列車風によつて加速された坑内気流は、列車の出坑後も慣性によつて流れ続けようとするが、トンネルの抵抗および列車の入坑前よりある通風の作用によつて次第に減衰して、ついに入坑前の気流にもどる。一般式として

$$\frac{v}{|v|} (1+fl) \frac{v^2}{2g} + \frac{l}{g} \frac{dv}{dt} = \frac{v_0}{|v_0|} (1+fl) \frac{v_0^2}{2g} \dots \dots \dots (7)$$

で示される。

(3) 釈迦岳トンネルの式 (6)式および(7)式に種々の条件を入れ微分方程式を解いて、各坑内気流の状態における坑内の列車風 v を求めると次式のごとくなる ($a=0.0053$ $b=0.0060$ (いずれも 常数で実測で求まるもの)として計算した)。

$v_0 = 3$ m/s のとき

$$v = 4.836 \frac{e^{1.950T} - 0.3405}{e^{1.950T} + 0.1123} \quad 0 < T < 5.61$$

$$v = 3 \coth\{0.725 + 0.396(T - 5.61)\} \quad T > 5.61$$

$v_0 = 2$ m/s のとき

$$v = 4.745 \frac{e^{1.872T} - 0.5079}{e^{1.872T} + 0.1669} \quad 0 < T < 5.61$$

$$v = 2 \coth\{0.449 + 0.264(T - 5.61)\} \quad T > 5.61$$

$v_0 = 1$ m/s のとき

$$v = 4.524 \frac{e^{1.810T} - 0.7277}{e^{1.810T} + 0.2313} \quad 0 < T < 5.61$$

$$v = \coth\{0.225 + 0.123(T - 5.61)\} \quad T > 5.61$$

$v_0 = 0$ のとき

$$v = 4.455 \frac{e^{1.817T} - 1.0000}{e^{1.817T} + 0.3146} \quad 0 < T < 5.61$$

$$v = 0.864 \tan\{1.379 - 0.114(T - 5.61)\} \quad T > 5.61$$

$v_0 = -1$ m/s のとき

$$v = 4.318 \frac{e^{1.778(T-0.15)} - 1.0000}{e^{1.778(T-0.15)} + 0.3110} \quad 0.15 < T < 5.61$$

$$v = 1.579 \tan\{1.226 - 0.208(T - 5.61)\}$$

$$v_2 = -\tanh\{0.123(T-11.50)\}T > 11.50$$

$$5.61 < T < 11.50$$

$v_0 = -2 \text{ m/s}$ のとき

$$v = 4108 \frac{e^{1.732(T-0.29)} - 1.0000}{e^{1.732(T-0.29)} + 0.2970} \quad 0.29 < T < 5.61$$

$$v = 2.344 \tanh\{1.052 - 0.309(T-5.61)\}$$

$$5.61 < T < 9.01$$

$$v = -2 \tanh\{0.264(T-9.01)\} \quad T > 9.01$$

$v_0 = -3 \text{ m/s}$ のとき

$$v = 3783 \frac{e^{1.669(T-0.46)} - 1.0000}{e^{1.669(T-0.46)} + 0.2800} \quad 0.46 < T < 5.61$$

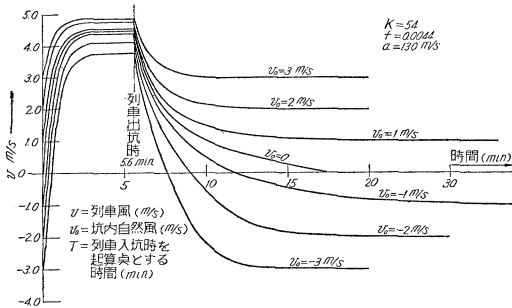
$$v = 3239 \tanh\{0.862 - 0.428(T-5.61)\}$$

$$5.61 < T < 7.63$$

$$v = -3 \tanh\{0.396(T-7.63)\} \quad T > 7.63$$

上の各式の T はいずれも列車入坑時を起算点としたもので分単位で表わし、 $T=5.61$ は列車出坑時である。上式を図示したものが図-7である。

図-7 トンネル内列車風速図



3. 煤煙の滞留状況

以上の列車風の式をもとにして、坑内気流の移動状況を求め、機関車の排気ガスがこの坑内気流とともに移動し、かつ拡散しないものと仮定すれば、上り列車に対しては図-8、下り列車に対しては、図-9のごとく滞留するものと考えられる。

図-8、図-9ともに縦軸に距離をとり、横軸に時間

図-8 煤煙滞留状況図

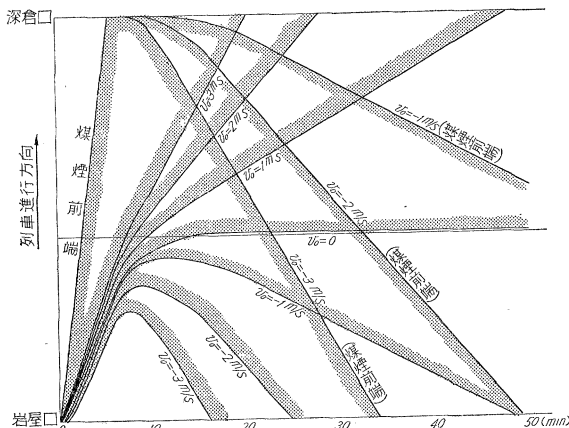
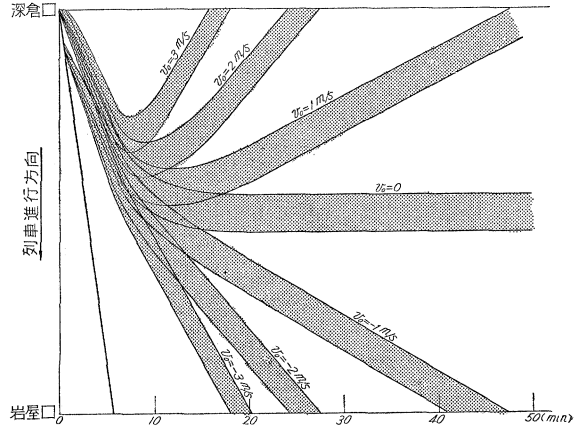


図-9 煤煙滞留状況図



をとつてある。

v は坑内気流を示し岩壁から深倉に吹くときを⊕として、上り列車には⊕の方向が列車と同方向、下り列車には⊖の方向が列車と同方向になっている。

次に上の二つの滞留状況図をもとにして現行列車ダイヤと組合わせて見ると(保線作業時間を中心として)、一定の坑内気流があるときの煤煙の滞留位置および重複の程度は図-10のごとくなる。図の中の列車番号は各列車の残留煤煙を示している。この場合の機関車の煤煙は、上り勾配運転中のみ力行し、下り勾配には惰行して絶気運転するものとして煤煙の滞留幅を決めている。

以上のごとくトンネルの摩擦係数および列車係数の実測値を求め、これらの実測値をもととして、理論的にある列車ダイヤの下におけるトンネル内の煤煙状態を図示できることになる。

従つて残された問題は、実測により上述のような状態が実際に起こるかどうかを列車通過後の風速その他によりトレースすることと、煤煙の濃度を化学的に調査することである。

III. 坑内通気観測結果

1. 風速測定方法

測定に使用したのは、ピラム風速計および小型ロビンソン風速計である。ピラム風速計は、移動が簡便なために R.L 上 1.25 m の中央部、すなわち図-11の④点に設けて、モーターカー、工臨列車の通過時には、これをよけ、観測員が午前、午後事情の許すかぎり長時間にわたつて記録をとつた。

小型ロビンソン風速計は記録計に接続して 24 時間の記録をとるために建築限界に支障をきたさないように④点に設置した。位置は $10 \sim 100d$ (d はトンネル直径で円形でないものは $4 \times$ 径深) 以上、坑口より入れば速度分布が一定になつて、坑口の影響がなくなるので坑口より 600 m 以上の坑内中央部寄りの 1 号型

図-10 列車ダイヤと組合わせた煤煙滞留状況図

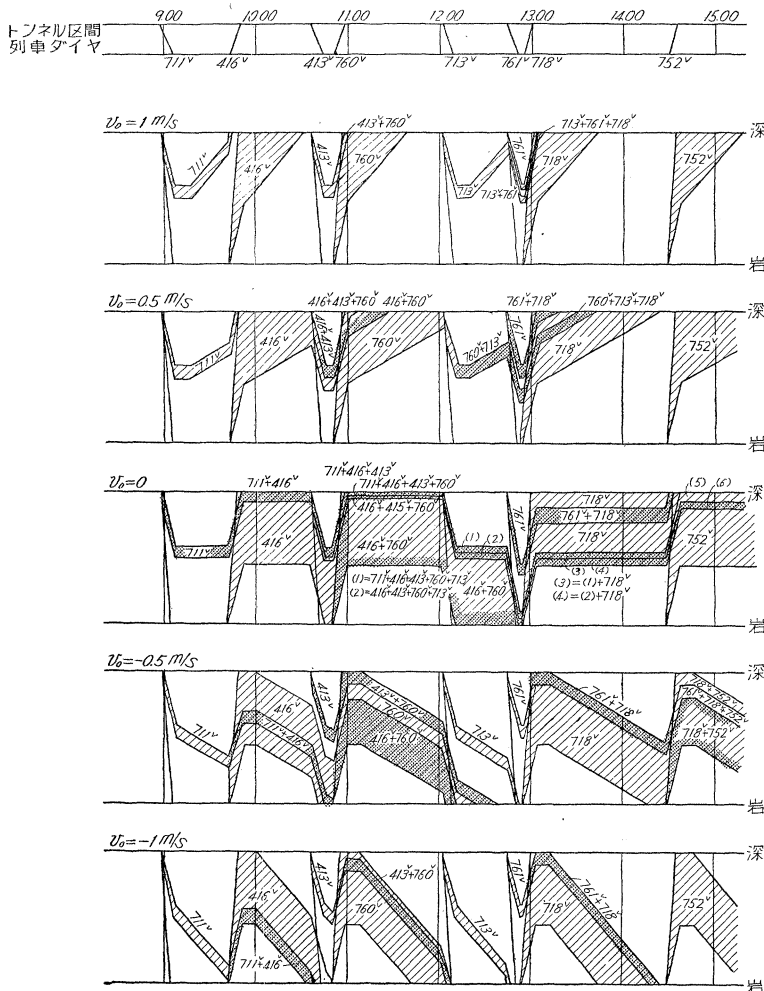
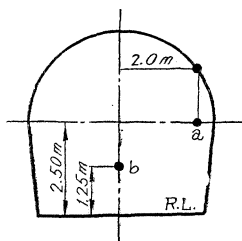


図-11



断面の区間で行った。

2. 断面内の風速分布

ピラム風速計2台を用い、比較的自然気流の大きいときに断面内各点の風速の比を求めた。すなわち 図-12 の④点を基準として1~14の各点における風速の比を求めて坑内平均風速を求めた。機械的通風でないために風速がたえず変動するので平均風速に対する比をもつて

図-12

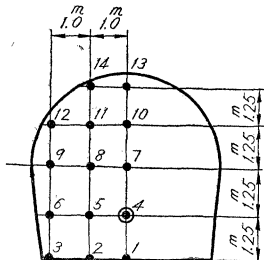
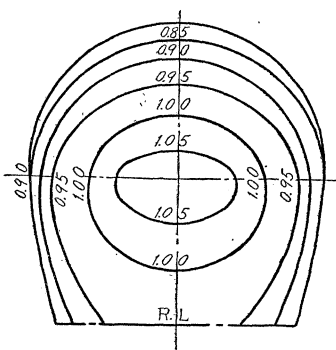


図-13 坑内風速分布図



したものを平均風速としてあげてある。

なお観測記録の解析の必要があるので、坑内外の平均温度を測定した。坑内平均温度は400mごとに自記寒暖計を設置して求めた。この平均温度と坑外気温より

風速の分布図を作れば 図-13のごとくなる。この結果をもとにして、断面内の1点の観測値より平均風速を換算することにした。

3. 観測結果

坑内自然気流の原因として前述のごとく：

- a) 坑外風の影響
 - b) 坑内外に温度差および両坑間に高低差のある場合、すなわち煙突作用の影響
- の二つを考へて、両者の合成されたものが、坑内自然風として実際に吹くものとする。従つて a) の季節風の影響と、b) の温度差の影響を考へて、1年を四季にわけて別個の観測を行った。すなわち

- 冬季：坑外温度が坑内温度より低い場合
- 春季：坑外温度と坑内温度がほぼ等しい場合
- 梅雨季：湿度の非常に高い場合
- 夏季：坑外温度が坑内温度より高い場合

の4回にわけて約1週間づつ観測を行った。しかしながら冬季観測を行った時期は、開業間近で、工臨回数が多く、特に坑内観測が不可能になつたときもあ

た。

結果を表にしたものが表-2~5 (3~5は省略)である。ピラム風速計で実測した結果を坑内風速、機械誤差を修正したものを修正風速とし、さらに観測点の位置により前述の分布状態で修正

表-2 観測記録

月	日	観測時刻	天候	坑外					坑内				温度等による推定風速 (m/s)	機械番号	坑外風の考慮される風速 (m/s)	摘要			
				風向		風速		温度	風向	風速 (m/s)	修正風速 (m/s)	平均風速 (m/s)					温度 (°C)		
				飯	日	飯塚	日田	深倉										岩屋	
1	28	10.00—10.30	雨	12	13	12.5	6.1	4.0	4.0	⊕	1.00	1.18	1.16	16.3	0.68	3199	0.48	<p>観測時は00時00分 で表わす。 風向は16方位で表 わす。 風速の単位は m/s 温度は °C で表わす。 坑内の風向は ⊕ 岩屋→深倉 ⊖ " ← " で表わす。</p>	
		16.30—16.33		12	13	11.7	6.9	5.0	5.0	⊕	0.42	0.80	0.79	16.5	0.65	"	0.14		
	29	9.40—10.40		14	12	4.2	7.8	4.0	3.0	⊖	0.47	0.81	0.80	18.0	0.74	"	0.06		
		10.50—11.12		12	11	8.2	8.4	6.0	7.0	⊕	0.56	0.87	0.85	"	0.65	"	0.20		
	30	13.00—13.40		12	11	8.2	8.4	7.0	9.0	⊖	0.67	0.94	0.92	16.5	0.56	"	-1.48		
		13.50—16.20		13	11	8.5	7.3	7.5	8.0	⊕	0.47	0.81	0.80	"	0.50	"	0.30		
	31	9.45—11.00		8	11	6.3	8.4	9.0	10.0	⊕	1.45	1.54	1.51	15.0	0.46	"	1.05		
		15.00—16.00		12	11	8.9	7.3	11.5	12.0	⊖	0.97	1.16	1.14	16.0	0.32	"	0.82		
	2	1		10.50—11.30	7	2	2.0	0.1	8.0	4.0	⊕	1.44	1.53	1.50	17.0	0.64	"		0.86
				14.55—15.05	12	14	3.6	3.8	11.5	8.0	⊕	0.24	0.64	0.63	15.5	0.63	"		0
2		9.30—10.55	14	12	2.6	9.6	7.0	7.0	⊖	0.87	1.09	1.07	17.0	0.60	"	-1.67			
		9.00—9.45	0	0	0	0.2	2.0	2.0	⊕	1.04	1.21	1.19	"	0.76	"	0.43			
3		10.00—10.50	15	11	4.2	3.4	4.2	6.0	⊖	0.95	1.15	1.13	17.5	0.69	"	-1.82			
		14.00—15.40	15	13	3.4	4.2	6.5	7.0	⊖	1.19	1.32	1.29	"	0.63	"	-1.92			
4		9.30—11.00	9	13	4.0	0.9	2.0	3.0	⊕	2.33	2.47	2.41	14.5	0.71	"	1.70			
		15.25—16.00	6	11	0.9	5.7	10.0	7.5	⊕	1.26	1.37	1.34	16.0	0.49	"	0.85			
5		8.50—11.20	4	1	1.7	0.4	6.0	8.0	⊕	1.14	1.28	1.26	"	0.57	"	0.69			
		16.35—17.00	12	11	2.6	3.2	10.0	11.0	⊖	0.55	0.86	0.84	17.5	0.50	"	-1.34			
6	9.40—10.35	13	16	3.4	0.4	6.0	9.0	⊕	0.75	1.01	0.99	16.5	0.57	"	0.42				
	9.25—11.00	10	14	3.4	0.7	6.5	7.0	⊕	2.13	2.27	2.23	16.0	0.57	"	1.66				
8	9.50—14.45	11	13	3.0	4.6	9.0	8.0	⊕	1.00	1.18	1.16	"	0.53	"	0.63				
	8.55—9.40	12	13	9.8	5.7	4.5	5.0	⊕	0.72	0.98	0.96	16.5	0.65	"	0.31				
10	11.00—11.30	14	13	2.6	0.9	2.5	3.5	0	0	0	0	17.5	0.80	"	-0.80				
	11.00—11.30	14	15	2.6	2.6	2.0	3.5	0	0	0	0	"	0.75	"	-0.75				
13	10.00—10.35	3	0	1.5	0	3.5	5.0	⊕	1.88	1.84	1.80	15.0	0.65	1371	1.15				
	9.45—10.30	12	0	1.5	0	7.5	5.0	⊕	1.26	1.22	1.20	16.0	0.60	"	0.60				
14	14.50—16.30	12	14	1.5	4.6	10.0	11.0	⊖	0.24	0.65	0.46	18.0	0.68	"	-1.32				
	9.35—10.30	0	1	0	1.7	12.0	8.0	⊕	2.08	1.98	1.94	16.0	0.47	"	1.47				
15	15.25—16.35	0	11	0	0.9	12.0	10.0	⊕	0.86	0.92	0.90	16.0	0.41	"	0.49				
	9.35—11.00	12	13	8.0	3.8	6.0	6.0	⊕	1.06	1.07	1.05	17.0	0.63	"	0.42				
17	9.40—10.15	13	13	4.2	5.9	0	0	⊕	0.84	0.91	0.89	16.5	0.83	"	0.06				
	10.35—10.55	13	13	2.0	8.5	-0.5	1.0	⊖	0.71	0.83	0.81	"	0.82	"	1.63				
18	10.00—12.00	13	12	1.7	4.4	1.0	1.0	0	0	0	0	17.0	0.80	"	-0.80				
	8.45—11.00	0	0	0	0	3.0	2.0	⊕	1.87	1.86	1.81	15.5	0.72	"	1.09				
20	9.25—10.20	0	15	0	0.7	3.5	1.0	⊕	0.82	0.90	0.88	16.0	0.75	"	0.13				

表-6 列車風による坑内気流移動状況

月	日	坑内自然風	移動距離	列車種別		最大列車風	摘要
				列車番号	編成		
5	10	+3.78 m/s	800 m	413 v	客車4両	2.75 m/s	⊖
		"	2000	760	"	4.75	⊕
5	11	+1.79	1600	715	" 4 "	4.90	⊕
		+1.15	1600	416	" 2 "	3.55	⊖
5	12	"	1300	760	"	4.35	⊕
		-0.80	1500	416	" 2 "	3.05	⊖
5	13	-1.10	2400	713	" 4 "	5.00	⊕
		-1.53	1700	713	" 4 "	6.00	⊕
5	14	0	2000	761	"	4.50	列車風減衰中に反対方向列車進入
		-0.72	1800	718	" 4 "	4.50	⊕
5	15	-1.67	2600	715	" 4 "	5.65	⊕
		-1.35	3000	713	" 4 "	5.75	⊕
5	16	"	2000	761	"	4.90	⊕ 列車風減衰中に反対方向列車進入
		"	1900	718	" 4 "	4.95	⊖
5	16	+1.77	2200	718	" 4 "	5.00	⊕
		-1.98	2700	761	"	5.25	⊕
5	16	"	1600	718	" 4 "	4.15	⊖

移動距離は列車風の発生より減衰までの気流の移動を求めたものである。

摘要の ⊕ ⊖ の符号は ⊕ 列車に対して追風 ⊖ は向風を表わす。

自然風の ⊕ ⊖ は ⊕ は岩屋から深倉へ ⊖ はその逆方向を表わす。

平均 1900 m/列車

図-6 を利用して求めた値を温度差による推定風速としてあげてある。坑外風速としては、梅雨期以後は両坑口付近でピラム風速計を用いて実測した。

また5月10日～16日にわたつて実際の列車風の測定を行い、移動状況および最大列車風を測定したものが表-6にあげてある。梅雨期(本社厚生局保健管理室が行つた環境調査とときを同じくして)に坑内煤煙の移動状況を知るために坑内風を列車風をも含めて実測した結果が、図-14である。このうち煤煙滞留幅は、前の理論式の場合と同じく力行区間のみ排煙があるものとした。

4. 煤煙濃度について

煤煙濃度は機関車乗務員に関するものとしては、力行運転中の機関車運転室内の煤煙の濃度と、列車通過後トンネル内に滞留するガスの濃度との2種類について調べる必要がある。前者については2月下旬、門鉄衛生試験室の試験記録によるとC-11型機関車でダイヤと同様のスピードのもとに運転を行つたときの運転室内の排気ガス濃度について

一酸化炭素 CO 平均 0.033%

炭酸ガス CO₂ 平均 4.9%

が与えられている。

後者については6月下旬国鉄本社保健管理室および門鉄で行つた列車通過直後の濃度試験の結果によれば

一酸化炭素 CO 0~0.048%

観測回数の25%は0%

炭酸ガス CO₂ 最高 4.1%

観測回数の96%は2%

以下が得られた。

IV. 結 論

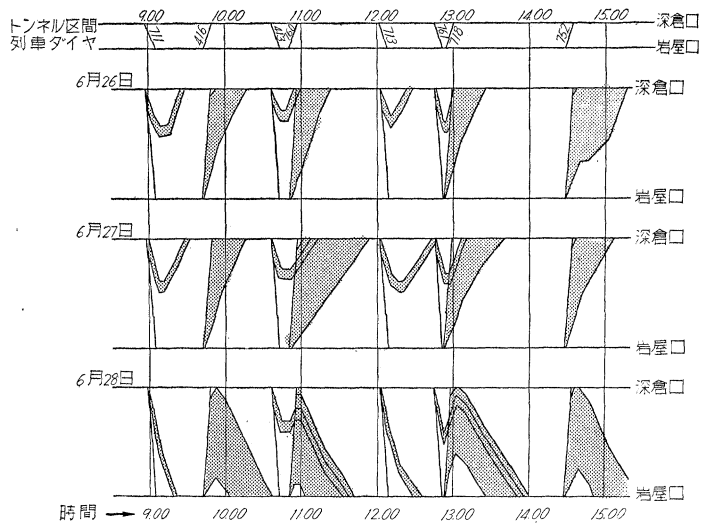
坑内自然気流の表-2~5の値を観測時間の長短を加

表-7

風 速	冬 季	春 季	梅 雨 季	夏 季	年 間
2.0 m/s 以上	8	6	11	0	5
1.5~2.0	14	6	23	0	8
1.0~1.5	35	13	23	10	18
0.5~1.0	15	3	4	21	10
0~0.5	0	0	0	12	3
0	8	6	7	12	8
0~-0.5	2	0	0	9	3
-0.5~-1.0	8	10	7	11	9
-1.0~-1.5	10	29	11	15	20
-1.5~-2.0	0	25	7	9	14
-2.0 m/s 以下	0	2	7	1	2
計	100%	100%	100%	100%	100%

註：表中の風速の⊕は岩屋方から深倉方に吹くものとする。年間を求めるに当つては秋季は春季と同じものと考え、梅雨期は約1ヵ月とした。

図-14 トンネル内煤煙滞留状態図



味して、風向風速別に分析したものは表-7のごとくなる。ただこの表は、各季節別に分けて、それぞれの観測全時間に対する百分率で表わしてある。

表の値より見て、年間を通じて一番条件の悪いのは夏季である。原因としては夏は坑外風に南風が多いのに対して温度差による坑内気流が反対方向となり、両者が相殺するためと考えられる。これにくらべて冬季も夏期の逆となるが、坑内外の温度差が冬期の方が大きいため夏にくらべてよくなるものと考えられる。

春季および梅雨季は記録からも明らかなように、坑内外温度差が小になつて坑外風の影響のみ作用することになるが、この時期にも冬期におとらないくらいの坑外風があるため、冬期および夏期よりも条件がよくなるものと考えられる。

0.5~1.0 m/s の坑内風のとき煤煙が重複する傾向をもつものと考えれば、この範囲の自然気流は冬季 10%、春季 6%、梅雨季 7%、夏季 33% となる。

さらに坑内風の各段階について煤煙の解析を進めると次のとおりとなる。

1. 坑内気流方向と排煙

(1) 坑内気流が岩屋方より深倉方に吹くとき (0.5 m/s 以上) このときは非常に良好な結果を与える。すなわちトンネル内に多量の排気ガスを残すのは、線路勾配の関係で上り列車である。坑内を列車が通過すれば列車風を起し、その風が坑内の空気を約1/2押し出して、深倉方の1/2に煤煙が滞留することになる。従つて坑内気流がこの1/2を移動すれば、坑内の煤煙が排出されることになる。図-10からもわかるとおり、理論的にも現行ダイヤで滞留煤煙が重複することはほとんどない。この割合は冬季72%、春季28%、梅雨季61%、夏季31%

%である。

(2) 坑内気流が0(0.5~−0.5 m/s)のとき このときは列車風の影響のみとなる。同方向に二列車が運転されるときは、先のごとく先行列車の煤煙は続行列車の列車風で煤煙の滞留位置に到達するまでに坑外に排出されるので、先行列車の煤煙はほとんど影響はないものと思われる。また反対方向の列車が入ったときは、下り列車は絶気運転になるために大した影響はないものと思われる。

図-8の最も極端な例として $v_0=0$ のとき、すなわち6~7時間にわたって坑内風速が0のときを考えてみても、現行ダイヤでは重複の度は上り列車が2コ列車とこれに絶気運転の下り列車が若干加わる程度である。これは理論的に攪乱、拡散を考えない場合であつて観測結果からも $v_0=0$ が数時間にわたることはないからこれは特例と考えられる。この割合は冬季10%、春季6%、梅雨季7%、夏季33%である。

(3) 坑内気流が深倉から岩屋へ吹くとき(−0.5 m/s以上) このときは岩屋方より深倉方に向う列車の煤煙が深倉方1/2位に滞留し、のちに坑内風で岩屋方に押戻される傾向をもつ。このとき下り列車が入れば岩屋方に残留煤煙を押返すが、坑内風の強弱によつて残留煤煙の中に列車が突入することも考えられる。しかしこの方向の列車は、ほとんど絶気運転であるので大した影響はないものと思われる。図-10のごとく理論的に考えてみても二重に重複する程度である。この割合は冬季18%、

春季66%、梅雨季32%、夏期36%である。

2. 坑内気流の煤煙濃度

先の表に示すごとく年間平均で約15%は0.5~−0.5 m/s くらいの小さな坑内気流になるが、このときも列車風が存在するわけで、列車風が排煙の助けをするために煙が三重にも四重にも重複することは実際問題として考えられない。

また一酸化炭素のガス濃度の許容度は0.1% (労働基準法) また一酸化炭素有害限度表によれば比較的長時間の吸入による中毒症状を認めないという限度が0.2%である。

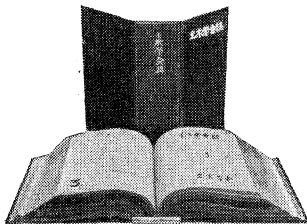
炭酸ガス限度表に依れば6時間は顕著な症状なく耐えられる限度が0~5.5%である。

図-14に示した6月26日~28日(トンネル内のガス濃度試験を行つた日)の煤煙滞留状況図とIII. 4. の結果、すなわち炭酸ガスの観測回数96%が2%以下ということから一列車の残留ガスのCO₂濃度は2%程度であることが推定される。また下り列車の煤煙濃度は上り列車にくらべて少ないと思われる。

従つて図-10に示した理論的滞留状況図で上り列車煤煙の三重以上に重複するときは認められないので、現在の列車回数および坑内風の状況であれば坑内作業には全然支障ないものと考えられる。

以上の結果、保線作業上にもまた運転従事員のためにも現行の列車ダイヤでは特別な排煙装置を設ける必要性はないものとする。

土木学会誌“合本用ファイル”の頒布について



御要望に答えて学会誌合本用の専用ファイルを作りました。ピンで簡単に製本ができ、必要なときにはその号だけ抜き出せる特長があり、購入された方々より非常に便利だと的好评を得ております。第7回目の製品を目下頒布中ですからなるべく一括して御注文下されれば送料が安くなります。

なお製品はテッサー工業KKと特約したものであります。

記

体 裁：B5判 学会誌 12冊綴用、薄グリーン・クロス装、金文字入り
頒 価：1部 140円(〒30円) 申込方法：御送金次第、折返しお送り致します。

土木工学叢書 プレストレスト コンクリートの設計および施工 猪股 俊司著

プレストレスト コンクリート構造物のほとんどすべてについて、設計上の理論を統一的に記述し、数値計算例題を多数示し、細部の施工方法について詳述した力作です。

B5判 850ページ・上製布装箱入 定価 2800円(〒100円) 会員特価 2660円(〒100円)

土木学会監修