論説報告

第28巻第1號 昭和17年1月

列車により隧道内に生ずる風速について

正會員 上野豐次郎*

要旨 列車により隧道内に如何なる風を生ずるかを調査せんとし，先づ隧道の風に對する摩擦抵抗を求め，次ぎに隧道斷面積，隧道延長，列車斷面積，列車延長，列車速度及び自然風速を變數として風速を理論的に求め，實測したる風速と比較したものである。

目　　次

1. 緒　　言

蒸氣運轉をなす長大なる隧道では，煤煙により列車乘務員保線從事員が障害を受け，時には憂慮すべき結果を招いて居る。之に對する對策を講ずるには，隧道内に於ける煤煙の醫學的研究と共に，列車の進行につれ如何なる風を生ずるかを研究し，煤煙の滞留狀況を調査し，以つて列車速度，自然風等が如何なる時に最惡の狀況を生ずるかを考究し，之を送風設備其他對策の基本條件とすべきであると思ふ。

本編は列車による隧道内に生ずる風速式を求め，實驗の結果と比較したものなり。而して本問題は質量の極めて小なる物質の運動であり，加ふるに列車の進行と言ふ複雜なる形態を伴ひ，更に延長 2 000～4 000 m の間の運動を同時に考慮するを要するもので，精確に解く事は到底不可能と思ひ，簡單にして大綱を摑み得る方法として，以下の式を作つた。之等の式では溫度，壓力による密度の變化を考慮せず，又隧道出口と入口の風速は等しいと考へた。

2. 基　本　式

(1) 記　號

	單位
v_1＝隧道内平均風速	m/sec
v_2＝列車と隧道の間隙の風速	m/sec

* 工學士　朝鮮總督府鐵道局建設課技師

V_1＝自然風速　m/sec
V＝列車速度　m/sec
L＝隧道延長　m
M＝列車延長　m
ρ＝空氣の密度　kg/m^3
g＝重力の加速度　m/sec^2
Q_1＝隧道斷面積　m^2
Q_2＝列車と隧道の間隙斷面積　m^2
Q_n＝列車斷面積　m^2
u_1＝隧道内面周長　m
u_2＝列車と隧道の間隙の周長　m
u_3＝列車外側周長　m
K_1＝隧道の風に對する摩擦係數
K_2＝隧道内に列車がある時の風に對する摩擦係數
α＝列車側面と隧道内面の摩擦係數の比

(2) K_1 について

隧道内に風があると，隧道は之に對して抵抗を生ずる。之は主として隧道内壁の摩擦抵抗と考ふべきもので，其量は風速の二乘に比例すると考へてよいとされて居る。即ち隧道單位延長に就て $K_1v_1^2$ である。K_1 は g, ρ, Q_1, u_1 及び隧道壁面の狀況により異なるもので，v_1 に比例し，g, ρ, Q_1 に逆比例すると考へられる。K_1 がわかれば隧道内に生じた風は，如何に變化して行くかゞわかる。

（イ） V_1 と v_1 とが方向等しき時

單位質量につき作用して居る力から考へて

$$\rho\frac{dv_1}{dt}=K_1V_1^2-K_1v_1^2$$

$$\frac{dv_1}{V_1^2-v_1^2}=\frac{K_1}{\rho}dt$$

$$\therefore\ \frac{1}{2V_1}\log\frac{V_1+v_1}{V_1-v_1}=\frac{K_1}{\rho}t+C \quad \cdots\cdots 1$$

こゝに C は積分常數及び log の内は絶對値をとる。以下同様。

（ロ） V_1 と v_1 とが方向反對なる時

$$\frac{dv_1}{dt}=-\frac{K_1}{\rho}V_1^2-\frac{K_1}{\rho}v_1^2$$

$$\frac{dv_1}{V_1^2+v_1^2}=-\frac{K_1}{\rho}dt$$

$$\therefore\ \frac{1}{V_1}\tan^{-1}\frac{v_1}{V_1}=-\frac{K_1}{\rho}t+C \quad \cdots\cdots \mathrm{II}$$

（ハ） $V_1=0$ なる時

$$\frac{dv_1}{dt}=-\frac{K_1}{\rho}v_1^2$$

$$\frac{dv_1}{v_1^2} = -\frac{K_1}{\rho}dt$$

$$\frac{1}{v_1} = -\frac{K_1}{\rho}t + C \quad \cdots\cdots\cdots \mathrm{III}$$

逆に隧道内の風速が如何に減じて行くかを測定しておけば，以上の式より K_1 を求め得る。

(3) K_2' について

列車が隧道内に停止して居るとき，隧道内の風速は如何に減少して行くかを調査する爲，K_1 に相當して列車と隧道面との間隙の抵抗係數 K_2' を求める事にした。

（イ） v_1 と V_1 とが方向等しき時

隧道内空氣に作用して居る外力は

$$K_1V_1^2\{Q_2L+Q_m(L-M)\} - \{K_1v_1^2Q_1(L-M)+K_2'v_2^2Q_2M\} \quad \cdots\cdots\cdots (1)$$

この外に列車の前後部に生ずる抵抗力を考ふべきなれど之を含まれたものが K_2' となつて現はれる事とし，別に考慮せぬ事にした。故に嚴密に言へば，上の式で求めた K_2' は之を求める時に用ひた列車長 M に比し，極めて大なる M 又は小なる M の時は適用出來ぬ事になる。

次ぎに空氣全體に作用して居る力は

$$\rho Q_1(L-M)\frac{dv_1}{dt} + \rho Q_2 M\frac{dv_2}{dt} \quad \cdots\cdots\cdots (2)$$

である。又流量より考へて

$$v_1Q_1 = v_2Q_2$$

であるから

$$v_2 = \frac{Q_1}{Q_2}v_1$$

$$\frac{dv_2}{dt} = \frac{Q_1}{Q_2}\frac{dv_1}{dt}$$

この關係を入れて (1), (2) 式を等しいとすれば

$$\frac{dv_1}{dt} = \frac{1}{\rho Q_1 L}\left[K_1V_1^2\{Q_2L+Q_m(L-M)\} - \left\{K_1Q_1(L-M)+K_2'\frac{Q_1^2}{Q_2}M\right\}v_1^2\right]$$

$$\therefore \quad \frac{1}{2A}\log\frac{A+v_1}{A-v_1} = \frac{1}{\rho Q_1 L}\left\{K_1Q_1(L-M)+K_2'\frac{Q_1^2}{Q_2}M\right\}t + C \quad \cdots\cdots\cdots \mathrm{IV}$$

こゝに

$$A^2 = \frac{K_1V_1^2\{Q_2L+Q_m(L-M)\}}{K_1Q_1(L-M)+K_2'\dfrac{Q_1^2}{Q_2}M}$$

（ロ） v_1 と V_1 と方向反對なる時

（イ）と同樣に

$$\frac{dv_1}{dt} = -\frac{1}{\rho Q_1 L}\left\{K_1Q_1(L-M)+K_2'\frac{Q_1^2}{Q_2}M\right\}(A^2+v_1^2)$$

$$\therefore \quad \frac{1}{A}\tan^{-1}\frac{v_1}{A} = \frac{-1}{\rho Q_1 L}\left\{K_1Q_1(L-M)+K_2'\frac{Q_1^2}{Q_2}M\right\}t + C \quad \cdots\cdots\cdots \mathrm{V}$$

こゝに $$A^2 = \frac{K_1V_1^2\{Q_2L+Q_m(L-M)\}}{K_1Q_1(L-M)+K_2'\dfrac{Q_1^2}{Q_2}M}$$

（ハ）$V_1=0$ の時

（イ）と同樣に考へて

$$\frac{dv_1}{dt}=\frac{-1}{\rho Q_1 L}\left\{K_1Q_1(L-M)+K_2'\frac{Q_1^2}{Q_2}M\right\}v_1^2$$

$$\therefore\ \frac{1}{v_1}=\frac{1}{\rho Q_1 L}\left\{K_1Q_1(L-M)+K_2'\frac{Q_1^2}{Q_2}M\right\}t+C \quad\cdots\cdots\cdots\mathrm{VI}$$

K_1 の場合と同樣，列車が隧道内にある時の隧道内風速の減少を測定すれば，K_2' を求める事が出來る。

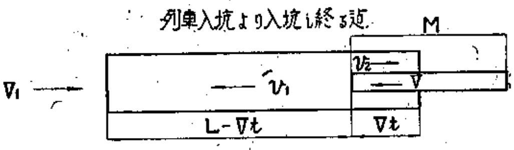
(4)　a について

K_2' は列車と隧道の間隙に或風速がある時の摩擦係數である。然し列車が進行して居る時は，空氣の動きは隧道及び列車から見て同一でない。以下の問題を解くには列車が動いて居る時の摩擦係數が必要である爲，K_1 と K_2' とより列車側面の摩擦係數と考ふべきのを想定した。この列車側面の摩擦係數の求め方，及び之を用ひて列車進行の際の摩擦力の求め方については，充分なる方法とは思はれぬが簡單に以下の樣な方法をとつた。

列車周壁の摩擦抵抗は隧道内壁のそれの a 倍なりとすれば，K_1 と K_2' との關係は次の如く考へて可なりと思ふ。

$$K_2'=K_1\frac{Q_1}{Q_2}\frac{u_m+u_1}{u_1}\frac{au_m+u_1}{u_m+u_1}$$

圖-1.



(5)　列車が入坑し始めてより入坑し終る迄の風速（入口に於ける）（圖-1）

（イ）v_1 と V_1 の方向反對なる時

圖-1 に於て，Vt 間の單位質量に加へられる力 $\rho\dfrac{dv_2}{dt}$ は，V の爲押出される空氣により與へられる力，摩擦抵抗，自然風速によるものゝ和に等しいから

$$\frac{dv_2}{dt}=\frac{1}{Q_2}(VQ_m-v_1Q_1)-v_2-\frac{K_2'}{\rho}\frac{u_1v_2^2+au_m(v_2+V)^2}{u_1+au_m}+\frac{K_1}{\rho}V_1^2 \quad\cdots\cdots\cdots(1)$$

なり。又一方 V の爲列車前面の壓が增加するが，之を $(L-Vt)$ 間に平均 v_1 なる風速を生ぜしめる壓と考へれば次の關係あり。

$$K_1V_1^2L+K_1v_1^2(L-Vt)=K_2'\frac{u_1v_2^2+au_m(v_2+V)^2}{u_1+au_m}Vt \quad\cdots\cdots\cdots(2)$$

(2) 式より v_1 を v_2 の函數として求め，(1) 式に入れて解くべきなれど，之は極めて複雜なる形となると思はれるから (1),(2) 式より圖式解法によるが可と思はる。

(1),(2) 式 $\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$ VII

（ロ）v_1 と V_1 と方向等しき時

（イ）と同樣に考へて

$$\left.\begin{aligned}\frac{dv_2}{dt}&=\frac{1}{Q_2}(VQ_m-v_1Q_1)-v_2-\frac{K_2'}{\rho}\frac{u_1v_2^2+au_m(v_2+V)^2}{u_1+au_m}+\frac{K_2'}{\rho}V_1^2\\ K_1v_1^2(L-Vt)&=K_2'\frac{u_1v_2^2+au_m(v_2+V)^2}{u_1+au_m}Vt+K_1V_1^2L\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots\cdots\mathrm{VIII}$$

（ハ）$V_1=0$ の時

（イ）と同樣に考へて

$$\left.\begin{aligned}\frac{dv_2}{dt}&=\frac{1}{Q_2}(VQ_m-v_1Q_1)-v_2-\frac{K_2'}{\rho}\frac{u_1v_2^2+au_m(v_2+V)^2}{u_1+au_m}\\ K_1v_1^2(L-Vt)&=K_2'\frac{u_1v_2^2+au_m(v_2+V)^2}{u_1+au_m}Vt\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(\mathrm{IX})$$

(6)　列車が入坑し終つてから出坑を始める迄の風速（圖-2）

（イ）　v_1 と V との方向等しき時

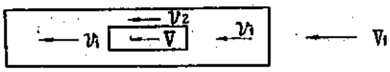
隧道內空氣に作用して居る外力は

$$K_2'\frac{au_m(V+v_2)^2+u_1v_2^2}{u_1+au_m}Q_2M+K_1V_1^2\{Q_1L+Q_m(L-M)\}-K_1v_1^2(L-M)Q_1\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

而して之は

$$(L-M)Q_1\rho\frac{dv_1}{dt}+MQ_2\rho\frac{dv_2}{dt}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

圖-2.
列車が入坑し終つてから出坑を初める迄



に等しかるべきなり。又列車前面に於て流量より考へて

$$VQ_m-Q_1v_1=v_2Q_2$$

なり

$$\therefore\quad v_2=\frac{1}{Q_2}(VQ_m-Q_1v_1)$$

$$\frac{dv_2}{dt}=-\frac{Q_1}{Q_2}\frac{dv_1}{dt}$$

(1), (2) 式に之等の關係を入れると

$$(L-2M)Q_1\rho\frac{dv_1}{dt}$$

$$=\left\{\frac{K_2'MQ_1^2}{Q_2}-K_1Q_1(L-M)\right\}v_1^2-\left\{\frac{au_mVQ_1}{u_1+au_m}+\frac{Q_1Q_mM}{Q_2}\right\}2MK_2'v_1$$

$$+K_1V_1^2Q_2L+K_1V_1^2Q(L-M)+K_2'MV^2\left(\frac{Q\,au_m+2au_mQ_m}{u_1+au_m}+\frac{Q_m^2}{Q_2}\right)$$

今

$$b=\frac{1}{(L-2M)Q_1\rho}\left\{\frac{K_2'MQ_1^2}{Q_2}-K_1Q_1(L-M)\right\}$$

$$c=\frac{-2MK_2'}{(L-2M)Q_1\rho}\left\{\frac{au_mVQ_1}{u_1+au_m}+\frac{Q_1Q_mV}{Q_2}\right\}$$

$$d=\frac{1}{(L-2M)Q_1\rho}\left[K_1V_1^2\{Q_1L+Q_m(L-M)\}+K_2'MV^2\left(\frac{Q_2au_m+2au_mQ_m}{u_1+au_m}+\frac{Q_m^2}{Q_2}\right)\right],$$

とすれば

$$\frac{dv_1}{dt}=bv_1^2+cv_1+d$$

$$\frac{dv_1}{bv_1^2+cv_1+d}=dt$$

$$\left.\begin{aligned}\therefore\quad &\frac{1}{\sqrt{c^2-4bd}}\log\frac{(2bv_1+c)-\sqrt{c^2-4bd}}{(2bv_1+c)+\sqrt{c^2-4bd}}=t+C_1\cdots\cdots c^2>4bd\ \text{の場合}\\ &\frac{2}{\sqrt{4bd-c^2}}\tan^{-1}\frac{2bv_1+c}{\sqrt{4bd-c^2}}=t+C_1\cdots\cdots\cdots\cdots c^2<4bd\ \text{の場合}\\ &\frac{-2}{2bv_1+c}=t+C_1\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots c^2=4bd\ \text{の場合}\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\mathrm{X}$$

（ロ） v_1 と V_1 の方向異なる時

b, c は（イ）の場合と同樣

$$d=\frac{1}{(L-2M)Q_1\rho}\left[K_2'MV^2\left(\frac{Q_2au_m+2au_mQ_m}{u_1+au_m}+\frac{Q_m^2}{Q_2}\right)-K_1V_1^2\{Q_1L+Q_m(L-M)\}\right]$$

とすれば

$$\left.\begin{array}{ll}\dfrac{1}{\sqrt{c^2-4bd}}\log\dfrac{(2bv_1+c)-\sqrt{c^2-4bd}}{(2bv_1+c)+\sqrt{c^2-4bd}}=t+C_1\cdots\cdots c^2>4bd & \text{の場合}\\ \dfrac{2}{\sqrt{4bd-c^2}}\tan^{-1}\dfrac{2bv_1+c}{\sqrt{4bd-c^2}}=t+C_1\cdots\cdots\cdots\cdots c^2<4bd & \text{の場合}\\ \dfrac{-2}{2bv_1+c}=t+C_1\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots c^2=4bd & \text{の場合}\end{array}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\text{XI}$$

（ハ） $V_1=0$ の時

b, c は（イ）と同樣

$$d=\frac{K_2'MV^2}{(L-2M)Q_1\rho}\left(\frac{Q_2au_m+2au_mQ_m}{u_1+au_m}+\frac{Q_m^2}{Q_2}\right)$$

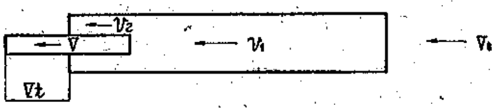
とすれば

$$\left.\begin{array}{ll}\dfrac{1}{\sqrt{c^2-4bd}}\log\dfrac{(2bv_1+c)-\sqrt{c^2-4bd}}{(2bv_1+c)+\sqrt{c^2-4bd}}=t+C_1\cdots\cdots c^2>4bd & \text{の時}\\ \dfrac{2}{\sqrt{4bd-c^2}}\tan^{-1}\dfrac{2bv_1+c}{\sqrt{4bd-c^2}}=t+C_1\cdots\cdots\cdots\cdots c^2<4bd & \text{の時}\\ \dfrac{-2}{2bv_1+c}=t+C_1\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots c^2=4bd & \text{の時}\end{array}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\text{XII}$$

(6) の考へ方を (5) の場合と變へたるは，(5) の場合は列車前面に生ずる抵抗が隧道內の空氣を運動させる主たる原動力であるのに，(6) の場合は列車側部の抵抗が主たる原動力であると見た爲である。

圖-3.

列車が出坑し始めてから出坑し終る迄



(7) 列車が出坑し始めてから出坑し終る迄の風速（出口に於ける）(圖-3)

(5) の場合と同樣に考ふ

（イ） v_1 と V_1 が方向等しき時

$$\left.\begin{array}{l}\dfrac{dv_1}{dt}=\dfrac{1}{Q_2}(v_1Q_1-VQ_m)-v_2-\dfrac{K_2'}{\rho}\dfrac{u_1v_2^2-au_m(V-v_2)^2}{u_1+au_m}+\dfrac{K_1}{\rho}V_1^2\\ K_1V_1^2L-K_1V_1^2(L-Vt)=K_2'\dfrac{u_1v_2^2-au_m(V-v_2)^2}{u_1+au_m}(M-Vt)\end{array}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\text{XIII}$$

（ロ） v_1 と V_1 の方向反對なる時

$$\left.\begin{array}{l}\dfrac{dv_2}{dt}=\dfrac{1}{Q_2}(v_1Q_1-VQ_m)-v_2-\dfrac{K_2'}{\rho}\dfrac{u_1v_2^2-au_m(V-v_2)^2}{u_1+au_m}-\dfrac{K_1}{\rho}V_1^2\\ -K_2'v_1^2(L-Vt)=K_1V_1^2L+K_2'\dfrac{u_1v_2^2-au_m(V-v_2)^2}{u_1+au_m}(M-Vt)\end{array}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\text{XIV}$$

（ハ） $V_1=0$ の時

$$\left.\begin{aligned}\frac{dv_2}{dt}&=\frac{1}{Q_2}(v_1Q_1-VQ_m)-v_2-\frac{K_2'}{\rho}\frac{u_1v_2^2-au_m(V-v_2)^2}{u_1+au_m}\\-K_1v_1^2(L-Vt)&=K_2'\frac{u_1v_2^2-au_m(V-v_2)^2}{u_1+au_m}(M-Vt)\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\mathrm{XV}$$

以上各場合に於て，風速の方向は各く初めに假定したる場合のみ是等の式は適用し得るので，まだ幾多の場合を考へて置く必要があるが，大體の風速の傾向を知るには之で充分と思ふ。

3. 實測及び計算

朝鮮鐵道局に於て，昭和 16 年 5 月 19 日より同 24 日に亙り延長 1 975 m の A 隧道及び延長 3 221 m の B 隧道につき，隧道内瓦斯狀態及び風速に關し，20 回に亙る試驗を行ひたり。以下測定したる風速問題につき記述し，その一つの場合をとり，基本式により計算したる結果と對照せんとす。

(1) 隧　道

隧道名	延長 (L)	斷面積 (Q_1)	内面周長 (u_1)
A	1 975	25.36	18.54
B	3 650	23.48	17.92

(2) 風速計及び測定方法

（イ）風速計（理化學器械製作株式會社製）

ビラム式　測風器　毎秒　1～15 m

（ロ）測定方法

風速計を四角な枠内に收め，必要箇所に定置し，5 秒又は 2 秒毎の風測計の讀みを記錄し，其差を以つて 5 秒又は 2 秒間の平均風速とした。之にはストップウオッチにより 5 秒又は 2 秒を通知する者，その時の風速計の讀を言ふ者，その時間と風速とを記錄する者の三人を要した。列車が風速計の傍を通る時は風速計の動きが極めて不規則であり，又煤烟をかぶる爲，この時の記錄は精確にとれぬ時があつた。元來この器械は長時間の平均風速を計るに適したもので，今回の如く刻々變化する狀況を記錄するには不適當である。只器具が簡單な爲，思ふ所に据付けられる便利があるから，記錄する方法さへ適當に考慮すれば精密に風速の異動を知り得ると思ふ。

この風速計による風速曲線に，變化の多い時は修正を要する。この修正量は次の如く考へて可と思ふ。

Y……實際の風速

y……風速計に現はれた風速

K, m ‥風壓及び器機の慣性に關する係數

とすれば

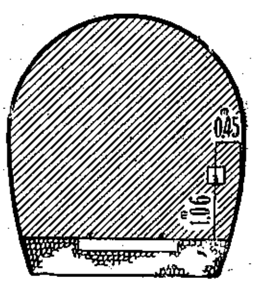
$$\frac{dy}{dt}=KY^2-my^2$$

y が時間に對し變化して居らぬ時は，y と Y とは等しいものとして，實際風速計を廻轉させて次の樣になつた。

$$Y=\sqrt{y^2+3.6\frac{dy}{dt}}$$

$\frac{dy}{dt}$ は實際得た風速曲線より求める。尙式中の y は常に正として dy/dt の正負を定める。

圖-4.
坑口風速測定箇所



(3) 測定箇所

風速測定は主として兩坑口に於て行つた。圖-4 に之を示す。之は出來るだけ平均風速に近き所にて測定する事，同一箇所で列車通過時の狀態も測定する事，としたる爲出來るだけ列車に近付けるを要し，坑內では測定者に危險なる爲，作業容易な坑口を選んだ。然し坑口附近は常に突風的な自然風あり，測定した風速曲線には不規則なる箇所多く，參考資料として不適當なものが多少出來た。

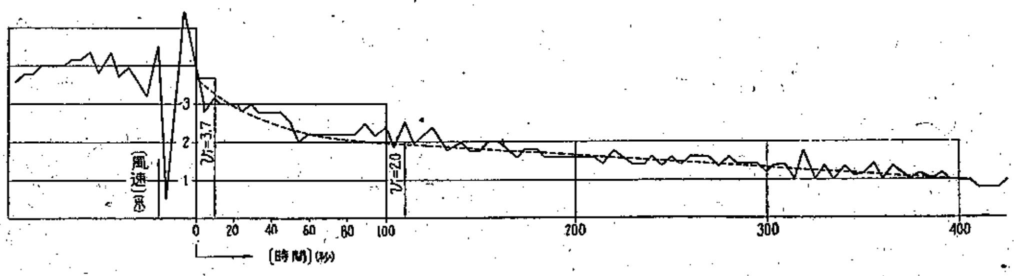
兩坑口の外，坑口より相當內部に入つた所，斜坑に於ける風速，列車側部等種々なる箇所でも測定したが，之等は相當詳細に測定した時の條件を記述せざれば參考になり難きにより述べぬ事とした。

次ぎに K_1, K_2' を算出し（B 隧道の測定値より），之を用ひて A 隧道の風速曲線を計算し實際のものと比較す。K_1, K_2' の算出に當り一回の實測値より求め二，三の場合の平均値をとらなかつたのは，不規則なる自然風の影響最も少きものを撰んだ爲で，他の二，三の場合より計算した結果と比較し適當と判斷し得たので，一回の實測値に依つた。

(4)　K_1 の算出（圖-5）

圖-5 は B 隧道にて列車出口で列車通過後測定した風速曲線なり。點線は之を滑らかな曲線にしたものでこの中二ヶ所の値をとり K_1 を定めた。

圖-5.　B 隧道に於ける列車出坑後の風速減少狀況



自然風は列車の進行方向（即ち v_1 の方向）に 0.8 m なり。

基本式 I による。

$$\frac{1}{2V_1}\log\frac{V_1+v_1}{V-v_1}=\frac{K_1}{\rho}t+C$$

$V_1=0.8$　　$t=0$　　にて　$v_1=3.7$

$\rho=1.22$　　$t=100$　にて　$v_1=2.0$

$t=0, v=3.7$ とすれば

$$C=\frac{1}{2\times0.8}\log\frac{4.5}{2.9}=0.2742\,9$$

$t=100, v_1=2.0$ とすれば

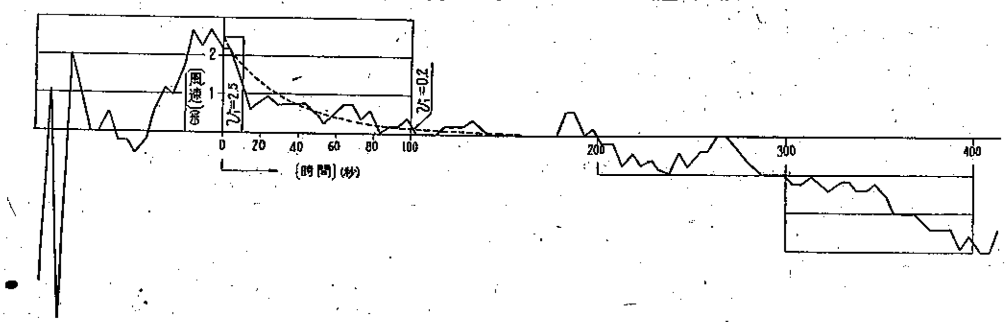
$$\frac{100K_1}{1.22}=\frac{1}{2\times0.8}\log\frac{2.8}{1.2}-0.2742\,9$$

$$K_1=\underline{0.0031}$$

(5)　K_2' の算出（圖-6）

圖-6 は列車を B 隧道內にて急停車せしめ，その後の風速の減少狀態を測定したもので，自然風は列車の進行

圖-6.　B 隧道内に列車がある場合の風速減少狀況



方向 (v_1 の方向) とは反對方向に 2.5 m なり。

基本式 V による。

$$\frac{1}{A}\tan^{-1}\frac{v_1}{A}=\frac{-1}{\rho Q_1 L}\left\{K_1 Q_1(L-M)+K_2'\frac{Q_1^2}{Q_2}M\right\}t+C$$

$$A^2=\frac{K_1 V_1^2\{Q_2 L+Q_m(L-M)\}}{K_1 Q_1(L-M)+K_2'\dfrac{Q_1^2}{Q_2}M}$$

$K_1=0.0031$

$\rho\ =1.22$　　$t=0$　にて　$v_1=2.5$ ……………………………………(1)

$Q_1=23.5$

$Q_2=12.7$　　$t=100$　にて　$v_1=0.2$ ……………………………………(2)

$L=3650$

$M=100$

(1), (2) 式の値を入れ，各場合に就き K_2' と C の關係を求め，之を圖示しその交點の C, K_2' を求むれば可なり。圖-7 に之を示す。

$C=0.456$

$K_2'=\underline{0.038}$

(6)　a の算出

$$Q_2K_2'=K_1Q_1\frac{u_1+u_m}{u_1}\ \frac{u_1+au_m}{u_1+u_m}$$

$K_1=0.0031$　　$K_2'=0.038$　　$u_1=17.9$

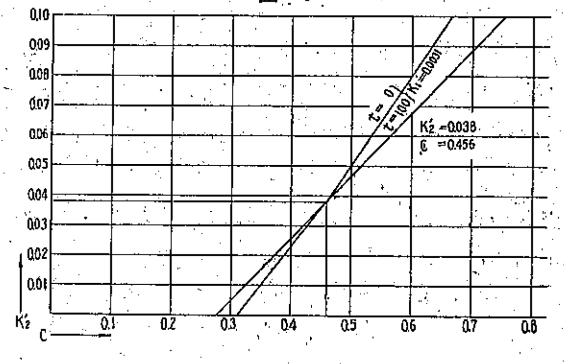
$u_m=13.2$　　$Q_1=23.5$　　$Q_2=12.7$

$Q_m=10.8$

$$a=\frac{17.9}{0.0031\times23.5\times13.2}(12.7\times0.038-0.0031\times23.5)$$

$$\fallingdotseq\underline{8}$$

圖-7.



(7)　A 隧道風速の算出 (圖-8)

圖-8 は A 隧道の列車出口に於て測定したる風速曲線なり。B 隧道で測定したる K_1, K_2' は，斷面周長を異にする A 隧道では下の如くなる。

$$K_1=0.0031\times\frac{23.48}{25.36}\times\frac{18.54}{17.92}=\underline{0.0031\,6}$$

$$K_2'=0.038\times\frac{23.48-10.8}{25.36-10.8}\times\frac{18.54+13.2}{17.92+13.2}=\underline{0.0338\,2}$$

（イ） 列車入坑より出口到着迄の風速

自然風は v_1 と反對方向に 0.5 m なり。基本式 XI による。

$u_1=18.5,\quad u_m=13.2,\quad Q_1=25.4,\quad Q_2=14.6,\quad Q_m=10.8$

$K_1=0.0031\,6,\quad K_2'=0.0338\,2,\quad \rho=1.22,\quad V_1=0.5,\quad V=8.3$

$L=1\,975,\quad M=125$

$$\frac{1}{\sqrt{c^2-4bd}}\log\frac{2bv_1+c-\sqrt{c^2-4bd}}{2bv_1+c+\sqrt{c^2-4bd}}=t+C_1 \quad\cdots\cdots\cdots(1)$$

$$b=\frac{1}{(L-2M)Q_1\rho}\left\{\frac{K_2'MQ_1^2}{Q_2}-K_1Q_1(L-M)\right\}$$

$$c=\frac{-2MK_2'}{(L-2M)Q_1\rho}\left\{\frac{au_mVQ_1}{u_1+au_m}+\frac{Q_1Q_mV}{Q_2}\right\}$$

$$d=\frac{1}{(L-2M)Q_1\rho}\left[K_2'MV^2\left(\frac{Q_2au_m+2au_mQ_m}{u_1+au_m}+\frac{Q_m^2}{Q_2}\right)\right.$$

$$\left.-K_1V_1^2\{Q_1L-Q_m(L-M)\}\right]$$

之に上記の數字を入れて計算すれば

$$\sqrt{c^2-4bd}=0.047$$

$$\frac{1}{\sqrt{c^2-4bd}}=21.22$$

$$\log\frac{2bv_1+c-\sqrt{c^2-4bd}}{2bv_1+c+\sqrt{c^2-4bd}}=\log\frac{0.0014\,34v_1-0.1001\,6}{0.0014\,34v_1-0.0060\,4}$$

列車が入坑し，之による風速の影響が出口に現はるゝには或時間を要す。又本例の初めに現はるゝ列車進行方向と v_1 とが方向反對なる時は，前記基本式以外に式を誘くを要す。然しかゝる短時間の問題に新に式を導くは徒に複雑なる手數を要するのみであるから，$v_1=0$ で $\dfrac{dv_1}{dt}>0$ なる時を求めるのは別途の問題として，此處では實測圖より入坑完了時を $t=0$ としこの時の v_1 を 0 とす。然るときは

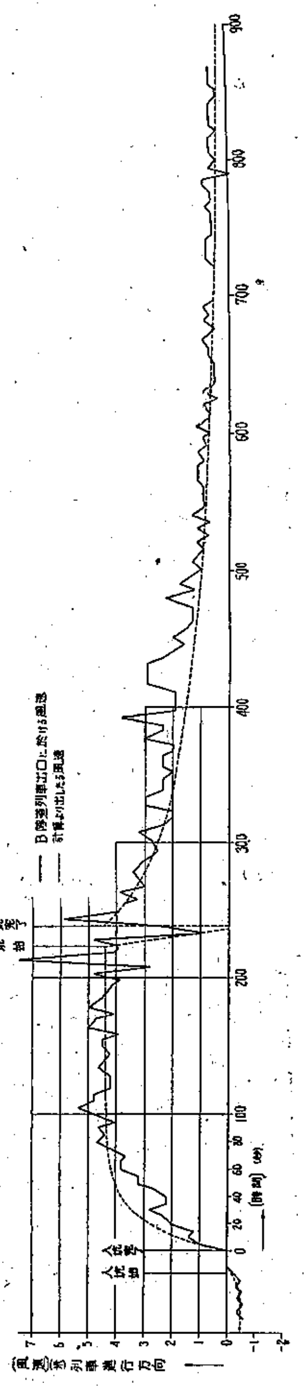
$$C_1=\frac{1}{\sqrt{c^2-4bd}}\log\frac{c-\sqrt{c^2-4bd}}{c+\sqrt{c^2+4bd}}=21.22\times\log 16.6$$

$$=59.6$$

次ぎに (1) 式に $t=10, 40, 60, 100, 200$ として v_1 を求むれば，それぞれ $v_1=1.6, 3.9, 4.2, 4.4, 4.5$ を得。之を圖示すれば圖-8 の如し。

（ロ） 列車が出口に到達してより出坑完了迄

圖-8.



基本式 XIV による。

$$\frac{dv_2}{dt}=\frac{1}{Q_2}(v_1Q_1-VQ_m)-v_2-\frac{K_2'}{\rho}\frac{u_1v_2^2-au_m(V-v_2)^2}{u_1+au_m}-\frac{K_1}{\rho}V_1^2 \cdots\cdots \text{I}$$

$$-K_1v_1^2(L-Vt)=K_1V_1^2L+K_2'\frac{u_1v_2-au_m(V-v)^2}{u_1+au_m}(M-Vt)\cdots\cdots \text{II}$$

II より

$$-0.00316(1974-8.3t)v_1^2=0.0031\,6\times0.5^2\times1975+0.0338\,2(125-83t)\frac{18.5v_2^2-8\times13.2(8.3-v_2)^2}{18.5+8\times13.2}$$

$$v_1^2=\frac{(18.4683-4.4505v_2+0.2208v_2^2)t+67.025v_2-3.325v_2^2-276.6069}{0.0257t-6.1225}$$

$$\left.\begin{aligned}
&v_2=0 \quad \text{とすれば} \quad v_1^2=\frac{18.4683t-276.6069}{0.0257t-6.1225}\\
&v_2=1 \quad \text{とすれば} \quad v_1^2=\frac{14.2386t-212.9069}{0.0257t-6.1225}\\
&v_2=3 \quad \text{とすれば} \quad v_1^2=\frac{7.104t-105.4569}{0.0257t-6.1225}\\
&v_2=7 \quad \text{とすれば} \quad v_1^2=\frac{-1.866t+29.6431}{0.0257t-6.1225}\\
&v_2=10 \quad \text{とすれば} \quad v_1^2=\frac{-3.9567t+61.1431}{0.0257t-6.1225}
\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(1)$$

I より

$$\frac{dv_2}{dt}=\frac{1}{14.6}(25.4v_1-8.3\times10.8)-v_2-\frac{0.0338\,2}{1.22}\times\frac{18.5v_2^2-8\times13.2(8.3-v_2)^2}{18.5+8\times13.2}-\frac{0.0031\,6}{1.22}\times0.5^2$$

$$v_1=3.1085+\frac{1}{1.7397}\frac{dv_2}{dt}+0.8277v_2-0.0125v_2^2$$

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{dv_2}{dt}=0 \quad \text{とすれば} \quad v_1=3.1085+0.8277v_2-0.0125v_2^2\\
&\frac{dv_2}{dt}=-1 \quad \text{とすれば} \quad v_1=2.5337+0.8277v_2-0.0125v_2^2\\
&\frac{dv_2}{dt}=-5 \quad \text{とすれば} \quad v_1=0.2344+0.8277v_2-0.0125v_2^2
\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(2)$$

$\frac{dv_2}{dt}=0$ として v_2 に任意の價を與へ，上の (2) 式より之に對する v_1 を求め，之を (1) 式に入れゝば t を得る。即ち $\frac{dv_2}{dt}=0$ の時の v_2 と t との關係を得。

v_2	v_1^2	t
0	9.6628	11.9
1	15.3954	8.6
3	30.0205	−12.4
7	68.7224	123.9
10	102.7284	104.5

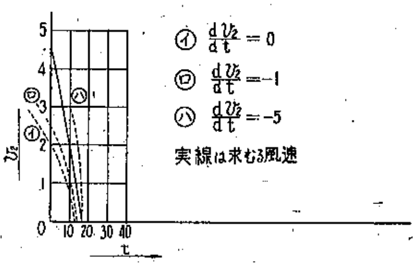
$\frac{dv_2}{dt}=-1$ の時．

v_2	$v_1{}^2$	t
0	6.4196	13.0
1	11.2151	10.3
3	24.0522	− 6.5
7	59.5228	116.0
10	91.4070	

$\dfrac{dv_1}{dt}=-5$ の時

v_2	$v_1{}^2$	t
0	0.0549	15.0
1	1.1017	14.5
3	6.7860	9.3
7	29.3309	80.0
10	52.7279	

圖-9.



之を圖示すれば圖-9 を得る。$t=0$ の v_2 は（イ）の場合の列車が出口に到着した時の v_1 であるから，4.5 m と考へて可い。之より求める曲線は 圖-9 の如きものとなる。$v_2=0$ となつてから列車が出坑し終る迄の間は別に式に求めて計算するを要するが，假に 0 なりと假定す。列車が出坑を終つた時は，（イ）の場合の風速が續いて居るものと考へ得るから，$v_1=4.5\,\mathrm{m}$ と考へ得る。

圖-10. A 隧道坑内測定

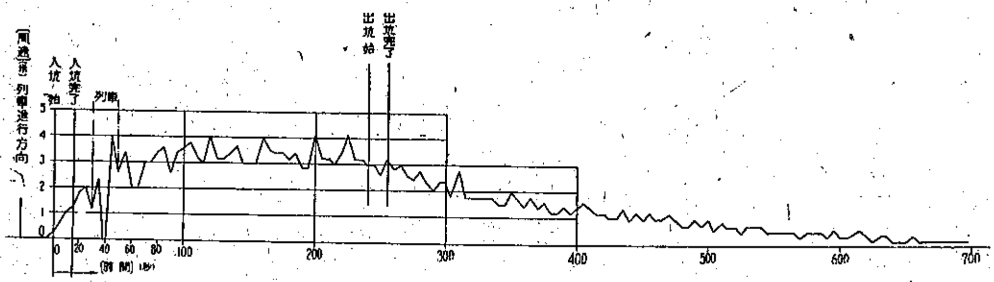
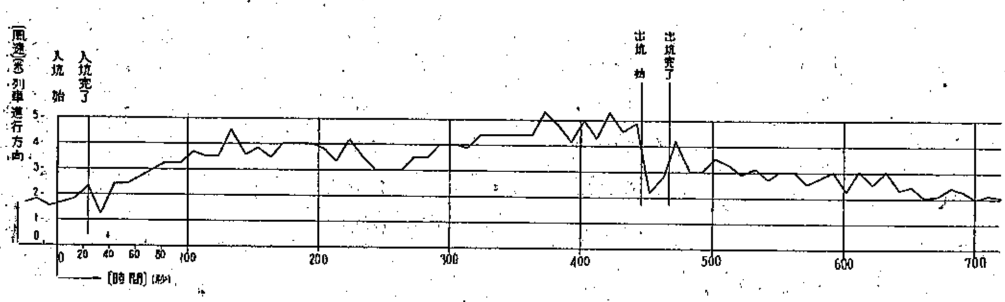


圖-11. B 隧道出口



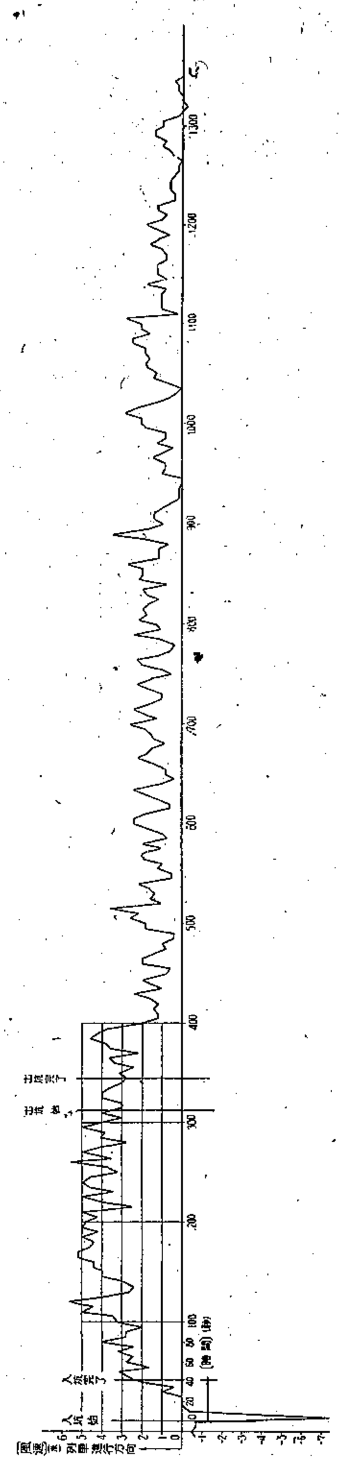


圖-12. A 隧道入口

（ハ） 列車出坑後の風速

基本式 II による

$$\frac{1}{V_1}\tan^{-1}\frac{v_1}{V_1}=-\frac{K_1}{\rho}t+C \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

前述の如く $t=0$ で $v_1=4.5\,\mathrm{m}$ とすれば

$$C=2\tan^{-1}\frac{4.5}{0.5}=2.9$$

$$V_1=0.5$$

$$K_1=0.0031\,6$$

$$\rho=1.22$$

$$C=2.9$$

として (1) 式より t と v_1 との關係を求むれば圖-8 の如くなる。

尚參考の爲二，三實測圖を添付す。

圖-10 A 隧道列車入口より 400 m 坑內に入つた所で測定したものなり。但し測定箇所は側壁より 15 cm 離れて居り，坑口で測つたものより著しく壁に寄つて居る。圖-8 の場合と同一の試験で，即ち圖-8 は列車出口で測定したもの，圖-10 は坑內で測定したものである。

圖-11 B 隧道列車出口で測つたもの。$V=8\sim8.2\,\mathrm{m/sec}$

$V_1=1.7\,\mathrm{m}$（列車進行方向） $M=170\,\mathrm{m}$

圖-12 A 隧道の列車入口で測定したもの。$V=6.3\,\mathrm{m/sec}$

$V_1=0.5\,\mathrm{m}$（列車進行方向と反對） $M=204\,\mathrm{m}$

本編作成に當つては，計算其他に就き建設課技手坪井久平，同技手松本　登兩氏に負ふ處多い。