石炭の粉化性と着火温度との関係*

正 会 員 赤 尾 孝 太 郎**

正 会 員 佐 藤 金 市***

正 会 員 大 塚 一 雄****

The Relation between the ignition Temperature and the Friability of coals

Kotaro AKAO, Kin-ichi SATO, and Kazuo ÔTSUKA

The authors made an experiment about the relation between the ignition temperature and the friability of coals as expressed by the so called "Average particle size".

The results of this experiment are as follows:—

- 1) When the coal is crushed by compressive load, the Rosin-Rammler's function is applicable to the distribution of its products. Accordingly, we can calculate the "Average particle size" of the products.
- 2) We can not recognize the fixed correlation between the ignition temperature and the friability of coals.
- 3) Taking Joban coals as an example, the coals from different parts of the same coal-seam have not always a fixed correlation between the ignition temperature and the friability.

1. は し が き

一定の実験条件下で得られた石炭の着火温度、粉化性（ここでは、石炭が圧縮荷重をうけた時細かく碎ける碎け易さを意味する）は、それぞれ石炭に固有のものと考えられる。石炭の粒度の大小とその着火温度との間には何等かの関係があるものと考えられ、数多くの研究者によつて、それが明らかにされて来ている¹⁾。しかし、石炭の粉化性の大小とその着火温度との関係は、石炭の粉化性を定量的に表わす方法に適当なものがないため、常識的に、何等かの関係がありそうに思われているだけで、数値を用いてそれらの関係を表現した文献はほとんど見当らない。

著者等は、適当な数値を用いて比較検討することを目的として、統計学的な考え方に基ずくいわゆる“平均粒径”（Average particle size）なる概念をパラメータとして用い、同じ条件下で、相等しい荷重で圧縮破碎した時の粒群の平均粒径の大小で、粉化性の大小を表わし、これと着火温度との間の関係を明確にし、石炭が地圧をうけて圧縮破碎をうける時、その破碎され易さが、石炭の自然発火に関係をもつと考えられる着火温度の大小とどのような関係があるかを明らかにするために一連の実験を行った。

2. 平均粒径という概念

鉱石や石炭が無作為に破碎、粉碎をうける時、その粒

度分布を解析的に表現するのに種々の函数形が用いられている²⁾。なかでも、石炭の無作為に行われた破碎、粉碎についてよく適合するといわれるのが、Rosin-Rammler の分布函数である。その分布函数は次のような形で表わされる。

$$R=100e^{-bx^n} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 R は破碎された石炭についてフルイ分けを行った時、ある粒度のフルイ目に対する残分積算重量百分率であり、 x は粒度で mm で表わしたものである。 n は粒度分布指数とよばれる常数で、これが大きい程粒度は広い範囲に広がつていて微細粒子の含有率も高いことを示す。 b は粒度特性値と呼ばれる値で一種の代表粒径を表わすものであり、この値の大小が粒の細粗に関係がある。

(1) 式を変形して、対数をとれば

$$\log\left(\ln \frac{100}{R}\right) = \log b + n \log x \dots\dots\dots (2)$$

で表わされ、この式は、横軸に $\log x$ 、縦軸に $\log\left(\ln \frac{100}{R}\right)$ をとれば、直線で表わされ（Rosin-Rammler-Bennet 線図と呼ぶ） n はその勾配となる。

Heywood は、破碎産物が Rosin-Rammler 分布にしたがう時、(1) 式を微分して得た微分曲線すなわち破碎産物の粒子の大きさと積算重量百分率に関する重量分布曲線と x 軸（粒度を表わす軸） y 軸（残分積算重量百分率を表わす軸）とによつて囲まれた図形の中心、すなわち重心をこれらの破碎産物の平均粒径としてあたえ次式で表わした³⁾。

* 昭和34年2月2日受理 本論文の一部は昭和33年度日本鉱業会春季大会にて発表。** 秋田大学教授 鉱山学部 *** 同助教授 **** 同講師

$$x_m = \frac{1}{100} \int_0^{\infty} x \cdot y dx = \frac{1}{100} \int_0^{\infty} 100nbx^n e^{-bx^n} dx$$

$$= \frac{1}{\sqrt[n]{b}} \Gamma\left(\frac{1}{n} + 1\right)$$

となる。いま $x=d$, $\frac{1}{\sqrt[n]{b}}=d'$ とおけば, (1) 式は $R=100 e^{-\left(\frac{d}{d'}\right)^n}$ と表わされ, この式において $d=d'$ とおけば, $R=100e^{-1}=\frac{100}{2.72}=36.8$ となり, 破碎産物について, Rosin-Rammler-Bennet 線図を作れば, $R=36.8\%$ に相当する粒径をもつて, 粒度特性値 d' を表わすことができる。 n は (2) 式で示したように, R-R-B 線図における直線の勾配であるから直線があたえられれば, これら 2 つの値は直ちに求められる。

n は破碎が無作為に行われたとすれば, 破碎に要した荷重の如何にかかわらず一定の値を示すので, 破碎された産物の特性を表わすものと考えられる。試料が同一であれば, 荷重の大小によつて得られた産物の R-R-B 線図は平行になる。したがつて, n の値を用いても試料相互の破碎性の比較を行うことができる。

3. 実験試料及び方法

本研究に用いた試料は, 磐崎炭, 綴炭, 湯本炭, 住吉炭, 鹿島炭等の同じ常磐炭砒での稼行炭層より採取したもの及び夕張炭, 赤平炭, 大夕張炭, 大之浦炭, 高島炭, 築別炭, 赤池炭, 方城炭等の自然発火を起し易いといわれる炭層を選んでそれより採取したものである。それらの工業分析値は第 1 表に示す。

第 1 表

炭 種	灰 分	水 分	揮発分	固定炭素	燃料比
綴 炭	35.7	3.59	37.3	23.4	0.62
綴 炭	19.4	7.87	42.4	30.3	0.71
綴 炭	25.2	5.94	41.2	27.7	0.67
綴 炭	15.4	3.91	49.6	31.3	0.63
綴 炭	20.4	3.85	45.2	30.6	0.63
綴 炭	10.3	1.26	47.2	41.3	0.88
綴 炭	4.58	2.17	44.5	48.8	1.10
綴 炭	3.57	2.52	42.8	51.1	1.19
綴 炭	5.98	2.10	39.1	52.9	1.35
綴 炭	2.27	2.41	45.5	49.8	1.09
綴 炭	7.96	3.74	40.0	48.3	1.21
綴 炭	5.50	10.05	43.0	41.4	0.96
綴 炭	13.8	3.82	37.7	44.7	1.19

各石炭の着火温度の測定は先に発表した⁴⁾と同様に Wheeler の方法を用い, 測定条件も全く前と同一にした。

石炭の粉化性を調べるための実験法は色々あるが⁵⁾, 筆者等は前述の目的から, 最初, 石炭の粒度を 6~8 mesh にそろえ, できるだけ一次的な石炭の割目による影響が表われて来ないように留意し, 底面が一辺 7cm の正方形で高さが 5cm の鉄製のます型の容器を用い, 試料の重量を 80g にし, ほとんど同じ寸法をもつた鉄製のブロックで上部を覆い, オルゼン型万能試験機を用いて石炭を圧縮破壊した。この時の荷重の大きさは一般に石炭

の圧縮強度といわれている 200~250kg/cm²⁶⁾ を考慮して 15t とした。

圧縮荷重をうけて破碎された産物は Tyler の標準フルイを用いて次の 6 つの階級にフルイ分けをした。8 mesh (2.362mm), 14 mesh (1.168mm), 28 mesh (0.589mm), 48 mesh (0.295mm), 100 mesh (0.147mm), 200 mesh (0.074mm) である。これ等の結果を秤量した。

4. 実験結果の考察

以上のフルイ分け結果を用い残分積算重量百分率の計算を行い, はじめに作製した特別なグラフ用紙⁷⁾に $\log\left(\ln\frac{100}{R}\right)$ と $\log x$ の関係を図示した。その結果の代表的な例は第 1 図に示した通りであつて, これ等の関係は直線上にのり, 破碎産物は Rosin-Rammler の分布法則に従うことが明らかになった。それで, 前述の方法により粒度特性値 d' , 直線の勾配すなわち粒度分布指数 n を計算し, (3) 式に代入して, ガンマ函数表を用いて平均粒径 x_m の計算を行つた。その結果は第 2 表に示した通りである。

第 2 表の数値を用いて, 2, 3 の石炭に関する Rosin-Rammler の分布函数を求めて見れば次の通りである。

第 2 表

炭 種	着火温度 °C	粒度特性値 (d') mm	粒度分布指数 (n)	平均粒径 (x_m) mm
綴 炭	249	2.00	1.08	1.94
綴 炭	221	1.90	1.18	1.81
綴 炭	232	1.60	1.04	1.57
綴 炭	231	1.80	0.98	1.80
綴 炭	236	1.90	1.00	1.90
綴 炭	249	1.60	0.98	1.62
綴 炭	230	1.20	0.93	1.24
綴 炭	230	1.20	0.91	1.26
綴 炭	236	1.30	1.05	1.27
綴 炭	224	1.41	0.99	1.41
綴 炭	226	1.48	1.03	1.46
綴 炭	216	1.61	1.84	1.56
綴 炭	229	1.63	1.03	1.61

第 1 図

$$\text{磐崎炭} \quad R=100 e^{-\left(\frac{d}{1.90}\right)^{1.18}}$$

$$\text{赤平炭} \quad R=100 e^{-\left(\frac{d}{1.90}\right)^{0.91}}$$

$$\text{高島炭} \quad R=100 e^{-\left(\frac{d}{1.41}\right)^{0.93}}$$

$$\text{築別炭} \quad R=100 e^{-\left(\frac{d}{1.48}\right)^{1.03}}$$

さらに平均粒径すなわち破碎性を基準にして、石炭を分けて見れば、第3表に示すようである。

第 3 表

平均 粒 径	石 炭 試 料 及 び 着 火 温 度		
1.94~1.90	綴 (249°C)	鹿島 (236°C)	
1.80~1.81	磐 崎 (221°C)	湯本 (231°C)	
1.61~1.62	方 城 (229°C)	夕張 (249°C)	
1.56~1.57	築 別 (216°C)	住吉 (232°C)	
1.41~1.46	高 島 (224°C)	赤池 (226°C)	
1.24~1.27	大夕張 (236°C)	赤平 (230°C)	大之浦 (230°C)

以上の結果より、平均粒径と着火温度との間における相関図を画けば、第2図に示す通りである。

平均粒径の大小、すなわち破碎性の大小と着火温度との間に、直線的な関係が存在するかどうかを検定するため、回帰係数、回帰直線の方程式を求めそれらの有意性を検定し、さらに何等かの相関が、破碎性の大小と着火温度との間に存在するかを検するため単相関係数を求めてそれらの有意性の検定を行った⁸⁾。

4.1 石炭の破碎性と着火温度との間の回帰直線の方程式とその有意性

石炭の破碎性と着火温度との間に直線的な関係があるものとして、その回帰係数を求め回帰直線の方程式を求めて見れば

$$y=231.5+8.61x$$

となる。 y は着火温度、 x は平均粒径を表わす。この直線は、第2図において点線で示したものと同一である。この直線式について有意性の検定を行えば、回帰にもとづく不偏分散と回帰からの不偏分散の比が $F_0=1.65$ となり、 F -分布表よりの値 $F_{11}'(0.05)=4.84$, $F_{11}'(0.01)$

第 2 図

$=9.65$ に比して有意でなく、平均粒径の大小すなわち破碎性の大小と着火温度との間には直線的な関係があるということとはできない。すなわち、圧縮荷重をうけて細かく砕け易い石炭ほど、同じ実験条件の下で測られた着火温度が低くなるだろうということを一概に云うことが出来ない。

4.2 単相関係数の計算とその有意性

全試料について得られた結果から、単相関係数を求めれば $r=0.24$ となる。これについて t -検定を行つて有意性を検すれば、危険率を5%, 10%についての自由度11の時の t -分布表の値は、いずれも上の t の値よりも大きく有意でない。すなわち破碎性の大小と着火温度との間に相関関係を認めることができない。

常磐炭砒における同一稼行炭層よりの5つの試料についての結果を図示すれば、第3図のようである。その回帰直線の式は $y=174.4+33x$ であり、単相関係数は0.46である。これらの結果の検定については、常磐技報に報告⁹⁾した通りで、破碎性の大小と着火温度の間には直線的な関係もなく、また相関関係も認めがたい。さらに同一の炭層でありながら、それらの物理的性質が異なる。

5. 結 論

以上の結果を総括して次のように云うことができる。

1) 石炭を圧縮破碎する時、破碎に用いた荷重が適当であれば、その産物は Rosin-Rammler の分布法則に従う。したがって、その結果を用いて、平均粒径の計算を行うことができ、破碎性の大小を比較できる。

2) 着火温度と平均粒径をパラメータとして用いた時の石炭の破碎性の間には、特別に直線的な関係は認められないし、他の相関関係も認められない。したがって、破碎性の大きい石炭ほど着火温度が低くなるということ

第 3 図

は一概に云うことができない。

3) 常磐炭の例だけであるが、稼行場所の異なる同じ炭層よりの試料といえども、着火温度、破碎性などの物理性には差はあるがそれらの間には直線関係もないし他に一定の相関関係もない。

終りに当り、御指導をいただいた九州工業大学、宮脇助教授、常磐炭砒、寺田保安部長、大宮技師及びその他の諸氏に対し、また試料送付の御便宜をいただいた各砒業所の方々に深甚な謝意を表わす。また本研究の一部は文部省科学研究費の一部をもつて行つたものである。

参 考 文 献

1) 例えば C. R. Brown: The determination of the ignition

temperature of solid materials. Fuel; 14 Jan. 1935.

H. L. Willett: Spontaneous combustion in the Yorkshire coalfield. Trans. of the Inst. of Min. Eng. Vol. 117. June 1958 p.p. 643~658.

加藤・筒井：燃料協会誌 Vol. 36. No. 364 昭和32年8月 p. 641.

2) 今泉：選炭 1957. Spt. Vol. 7 No. 31. p. 252~255.

Taggart: Handbook of Mineral Dressing 4th print 19~45.

3) G. Herdan: Small particle statistics, 1953, p.p. 121~124

4) 筆者：日鉱誌 Vol. 74, No. 837. 昭和33年3月 p.p. 159~163.

5) A. S. T. M.: Part 5 1952. p.p. 840~852.

6) Heise, F. Herbst & C. H. Fritzsche: Lehrbuch de Bergbaukunde 2er Band 7te Auflage. p. 5.

7) Taggart: 同上 p. 19~147.

8) 東京工大統計工学研究所：統計工学ハンドブック 昭和28年 p. 1242~1243

9) 筆者：常磐技報，保安特輯篇，第3号，昭和34年1月，p. 11.

切 上 り 掘 進 用 プ ラ ッ ト フ ォ ー ム

坑内作業のうちでもつとも経費のかかるものの1つは切上り掘進である。切上りには鉋石、ズリ用のシュート、通気ならびに人道用の空間を必要とし、また切上り掘進は他の掘進に比べて危険性も高い。したがって切上り掘進の経費と危険性を少なくすることは採鉋技術者として興味ある問題である。

この目的のために Sweden の Alimak Verken A. B で切上り掘進用エレベータ・プラットフォームを造り、国内の鉋山（主として石灰石鉋山）で実用化されている。その構造は上盤にボルトで固定された軌道の上に乗るようにしたプラットフォームで、垂直、傾斜あるいは屈曲した切上りの掘進にも使用できる。この方法を採用すると掘進速度を一層高めることができ、労務費の節約になる。さらに支保の経費を著しく節減できる。しかし最大の特徴は上下坑

道間の距離を増すことのできることである。また通気を遮げる梯子や支保が不要で、それを造る費用や、材料、機械を運搬する費用も節約できる。また圧縮空気やさく岩機用水のパイプは軌道の中に納めることができる。

エレベータは鋼製のプラットフォームから成り、これは支持台で支えられ、その上に穿孔夫を発破後の落石から保護する覆がとりつけてある。7ft 四方の切上りに使用するプラットフォームは、5ft3in 角のもので、その重量は1,100 lb, 最大荷重1,100 lb まで載せることができる。斜め切上りに使用する場合には、プラットフォームには鉋員の昇降のときにあけられる扉があり、プラットフォームの下に坐つて上部の岩石の崩落を避けることもできる。

軌条は径1½" のパイプ4本から成り、このパイプが圧縮空気、さく

岩機用水、電気発破用ケーブル、通気用に用いられる。このガイドレールの重量は27 lb/ft である。

軌条は径¾" のボルトを50ft に8本の割で切上りの上盤に締付けてある。プラットフォームは6.2HPの原動機で動かされる。この原動機は80~100 lb/□ の圧力の空気を100ft³/min 必要とする。上昇速度は33ft/min, 下降速度は50ft/min となっている。掘進用ホースは切上りの上り口に置いたリールに巻いてあり、これを延長するようにする。切羽と切上り口との連絡には電話を使う。空気が不足するとプラットフォームが昇らなくなるので非常の場合は手持クランクを使つてプラットフォームを下げることもできる。エレベータプラットフォームを使用した切上りの作業様式の図を示す。

(Mine & Quarry Eng. May 1959 より)

(伊木)

① 穿 孔 中

② 発破の後ガス排除

③ 穿孔準備