

氏 名	えの 榎 もと 本 へい 兵 じ 治
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 57 年 2 月 10 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭和 46 年 6 月 Graduate School, The Pennsylvania State University 修了
学 位 論 文 題 目	炭じん雲の爆発に関する基礎的研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 石浜 渉 東北大学教授 下飯坂潤三 東北大学教授 小林 良二 東北大学教授 只木 楨力 東北大学教授 永井 伸樹

本研究は、石炭鉱山坑内のみならず石炭利用諸施設における炭じん爆発災害発生防止およびその被害の局限化等の防爆保安の確保に資する基礎的資料を得ることを目的としたものである。また本研究の最も特徴とする点は、従来の密閉型炭じん爆発実験装置に比して均一性のより良好な炭じん雲が作成できる実験装置を開発し、これにより爆発下限界濃度から上限界濃度に至る広い濃度範囲での炭じん雲の爆発の諸現象について定量的な実験観測を実施したことにある。これらの内容を要約すると次のようになる。

第1章は、緒論であり、本研究の目的と炭じん爆発に関する従来の研究ならびに本研究の概要について述べている。

第2章では、炭じん雲の爆発に関する実験研究において爆発実験容器内に作成される炭じん雲の均一性の重要性を指摘し、炭じん爆発実験方法として要求される諸条件について述べるとともに、本研究において採用した二種類の実験装置ならびに方法、すなわち篩落下方式炭じん爆発実験方法および容器回転式密閉型炭じん爆発実験方法について詳述している。

第3章では、密閉容器内での炭じん雲の爆発特性について、主として爆発発生圧力におよぼす炭じん雲濃度、炭じんの粒子径、揮発分、容器内の初圧などの影響を究明し、また爆発跡ガスの組成や性状に関し、その特性を明らかとした。これをまとめると以下ようになる。

- (1)爆発発生圧力は炭じんの粒度が小で揮発分値が大の場合ほど大であり、炭じん雲の爆発範囲は爆発発生圧力が大なる場合ほど拡大する。
 (2)空气中、大気圧下での最大発生圧力 $P_{m,0}$ は次式より推定できる。

$$P_{m,0} = \frac{a}{V + b} - c$$

$$a = -4.52 d_c^{-0.742}$$

$$b = \frac{0.108}{d_c - 0.00174} - 22.1$$

$$c = 235 d_c - 9.62$$

また初圧が P_i である場合の最大発生圧力 P_m と初圧が P_a (大気圧) である場合の最大発生圧力 $P_{m,0}$ との間には近似的に

$$\frac{P_m}{P_{m,0}} = \left(\frac{P_i}{P_a} \right)^{1.31}$$

なる関係があるので、これより P_m もまた推定できる。

- (3)最大および平均圧力上昇速度は両者とも発生圧力が最大となる時の炭じん雲濃度あるいはそれよりわずか高い濃度において最大となる。この最大値を各々 $(dP/dt)_{m,m}$ および $(dP/dt)_{a,m}$ とすると、 P_m との間には

$$\left(\frac{dP}{dt} \right)_{m,m} = 0.7 \left(\frac{P_m}{P_i} \right)^{2.5}$$

$$\left(\frac{dP}{dt} \right)_{a,m} = 0.3 \left(\frac{P_m}{P_i} \right)^{2.5}$$

なる関係がある。したがって最大および平均圧力上昇速度の最大値も、炭じんの粒子径および揮発分値を知ることによって推定できる。

- (4)炭じん雲の爆発上限界濃度を求め、実験式として

$$C_u = 60 V + \frac{6.4}{d_c} - 1350$$

を得た。

- (5)炭じん爆発の跡ガス中には多量の CO 、 CH_4 および H_2 などの可燃性ガスが含まれており、これが空気と混合した場合爆発性となるか否かの判定を電子計算機を用いて行った。その結果粒度が小で揮発分が多い炭じんほどその爆発跡ガスは爆発性となり易いことが判明した。また計算結果で爆発性と判定された跡ガスについて補足実験を行い、これらが実際に爆発することを確認した。

第4章では、石炭鉱山坑内で発生する爆発は炭じんとメタンガスの相方が関係するケースが多いと考えられるので、炭じん-メタンガス-空気混合気の爆発について、その現象の観測を行った。その結果次のようなことが明らかになった。

- (1)炭じん雲濃度が空気中における炭じん雲の爆発上限界濃度よりもさらに高い場合でも、適当な濃度のメタンガスが共存すれば、その混合気は爆発を生ずる。
- (2)その結果、混合気の爆発領域は図上で半島を形成する。この爆発半島先端の炭じん雲濃度は、270～400メッシュの粒度の幌内炭じんの場合約3,500g/m³、メタンガス濃度は約6%であるが、両濃度とも炭じん粒度の増加とともに高濃度の方へ移行する。
- (3)混合気の爆発上限界におよぼす炭じん粒度の影響は大で、炭じんが粗粒の場合ほど爆発領域は拡大する。また揮発分値の影響は、メタンガス濃度が低い場合に大である。
- (4)炭じん雲濃度を一定とした場合のメタンガス濃度と混合気の爆発発生圧力との関係には、メタンガス濃度の増加とともに発生圧力は、(i)増加する、(ii)変化しない、(iii)減少する、の三つの場合があった。(i)は炭じんの反応性が小、(iii)は反応性が大の場合である。

第5章では、炭じん-岩粉混合粉じんの爆発発生圧力および爆発限界に関して、爆発領域全域におけるその特性の把握を目的とし、実験データを得るとともにこれらのデータの解析を行い、以下のような知見を得た。

- (1)岩粉の爆発発生圧力抑制効果について、岩粉散布量が十分でなく、不幸にして爆発が発生した場合には、散布した岩粉による爆発発生圧力の減少はほとんど期待できない。
- (2)爆発抑制最大岩粉混合率 R_m [%] におよぼす炭じんの揮発分値 V [%] と粒子径 d_c [cm] および岩粉の粒子径 d_r [cm] の影響について考察し、 R_m の推定式として

$$R_m = 2.24 \times 10^{-2} V \left(\frac{h_1}{h_2 - d_r} + h_3 \right)$$

$$h_1 = 6.90 d_c^2 - 5.90 d_c + 1.97 \times 10^{-2}$$

$$h_2 = 4.28 \times 10^{-3} - 8.56 \times 10^{-6} / (1.60 \times 10^{-2} - d_c)$$

$$h_3 = 1.35 \times 10^5 d_c^2 - 4.41 \times 10^3 d_c + 97.0$$

を得た。

- (3)いわゆる岩粉法で最も重要な特性値と考えられていた爆発抑制最大岩粉混合率 R_m よりも、伝ば火炎の抑制という観点からは特に重要と考えられる爆発抑制最大岩粉雲濃度 r_m の存在を明らかにした。 R_m は爆発抑制に必要とする岩粉量を炭じん量に対する相対値として与えるのに対し、 r_m は炭じん量に関係なく爆発を抑制するに要する岩粉の絶対量を与える。わが国の炭鉱では、メタンガスが共存しない場合、およそ $r_m = 1,200 \sim 1,300 \text{ g/m}^3$ と考えられる。
- (4)炭じん爆発における見掛の化学当量濃度 C_{st} は $200 \sim 300 \text{ g/m}^3$ であると考えられる。
- (5)炭じん雲濃度 C と爆発抑制岩粉混合率 R との関係式の関数形を熱収支モデルより求め、これに実験条件を代入することにより、 $C \leq C_{st}$ (爆発下限界) において

$$R = \frac{1}{1 + \frac{100 - R_m}{R_m} \cdot \frac{C_{st} - C_L}{C - C_L} \cdot \frac{C}{C_{st}}}$$

を得た。また $C \geq C_{st}$ (爆発上限界) においては熱収支モデルより得られた関数形を修正し、近似式

$$R = \frac{100}{\beta} \cdot \frac{C_u - C}{C_u - 0.2C}$$

$$\beta = \frac{100}{R_m} \cdot \frac{C_u - C_{st}}{C_u - 0.2C_{st}}$$

を得た。

(6) R_m , r_m および C_u 間の関係式

$$r_m = \left(\frac{\sqrt{0.8\beta} - \sqrt{\beta - 1}}{1 - 0.2\beta} \right)^2 \cdot C_u$$

を得た。ここに R_m および C_u は炭じんの揮発分および粒度ならびに岩粉の粒度が既知であれば、その値を推定できる。よって r_m も爆発実験を行うことなしに、その値を推定できる。

第6章では、炭じん雲の爆発下限界濃度に関する理論的解析について述べ、さらにこの解析結果をもとに、炭じん雲の爆発下限界濃度を容易に推定できる方法を求めた。これらの結果をまとめると次のようになる。

- (1) 炭じん粒子の表面反応着火、気相燃焼モデルを作成し、火炎温度は一定と仮定、また火炎半径は実験式より求めることによって、炭じん粒子が空間に均一に分散浮遊する炭じん雲の爆発下限界濃度を求めた。またこの計算値を篩落方式炭じん爆発実験装置を用いて求めた炭じん雲の爆発下限界濃度の実測値と比較した結果、両者は良い一致を示した。
- (2) この結果をもとに、炭じんの粒子径と揮発分値および灰分値のみを知ることによって、爆発下限界濃度を計算する近似計算法を求めた。この爆発下限界濃度の簡易計算法により求めた値と爆発下限界濃度の測定値との比較を行った結果、両者は十分な精度で一致した。
- (3) 炭じん雲の爆発下限界濃度におよぼす灰分の影響について、炭じん-岩粉混合粉じん雲の爆発上・下限界濃度におよぼす混合岩粉の影響について第5章で採用したモデルおよび関係式導出手法と同様の方法により

$$C_L = \frac{100}{100 - A_s}$$

$$\times \frac{C_{L,0}}{1 - \left(\frac{100}{100 - A_s} - 1 \right) \left(\frac{100}{A_{s,m}} - 1 \right) \left(1 - \frac{C_{L,0}}{C_{st,0}} \right)}$$

を得た。また上式を石浜による実測値と比較した結果きわめて良く一致した。

第7章は、結論であり、以上の研究結果の要約を述べたものである。

審 査 結 果 の 要 旨

石炭の微細な粉末、すなわち炭じんがある濃度で空気中に分散浮遊しているとき、これにある大きさ以上の熱エネルギーを与えると空気中の酸素と急激に反応して炭じん爆発が生ずる。石炭鉱山の坑内には炭じんが存在し、常に炭じん爆発の危険性が潜在する。また、近年石炭鉱山以外においても、微粉炭を取扱うプロセスが多くなり、炭じん爆発の可能性は著しく増加している。本論文は、炭じん爆発災害の防止と被害の局限化をはかるための基礎資料を得ることを目的とし、従来用いられてきた実験装置よりもはるかに均一性にすぐれた実験装置を開発し、炭じん雲の爆発諸現象を定量的に検討考察した結果を述べたもので全編7章よりなる。

第1章は緒論である。第2章では、基礎的実験研究における炭じん雲の均一性の重要性和、炭じん爆発の実験方法として要求される諸条件について検討し、本研究で使用した実験装置と実験方法について述べている。

第3章では、密閉容器内での炭じん雲の爆発特性のうち、主として爆発発生圧力におよぼす炭じん雲の濃度、炭じんの粒子径、揮発分値および容器内の初期圧力などの影響を明らかにしている。また、爆発跡ガスについても系統的な研究を行い、爆発跡ガスが空気と混合すると爆発性混合気となることを明らかにし、この結果を実験的に確認している。これは炭鉱保安上重要な知見である。

第4章は、炭じん-メタンガス-空気混合気の爆発についての実験結果を述べたもので、炭じん雲のみの場合の爆発上限界濃度よりも高濃度の炭じん雲でもメタンガスが共存すれば爆発を生ずることを明らかにしている。

第5章は、炭じんに不燃性物質の岩粉が混合した場合について、爆発発生圧力ならびに爆発限界濃度におよぼす岩粉の影響などの把握を目的としたもので、実験結果の解析を行い、炭じん-岩粉混合粉じん雲の爆発限界の関係式を求めている。また、従来炭じん爆発を抑制するに必要な岩粉量は炭じん量に対する相対値として求められていたが、これが炭じん量に関係しない値として得られることを明らかにし、その値の算定式を提示している。

第6章では、炭じん雲の爆発下限界濃度を測定し、モデル解析による結果と比較している。また、これらの結果より、灰分を考慮した場合の爆発下限界濃度の簡便な計算式を求めている。

第7章は結論である。

以上要するに、本論文は炭じん爆発災害の防止と被害の局限化をはかるための基礎的資料を得ることを目的とし、爆発の諸現象を究明し種々の爆発特性値の推定式を得たもので、資源工学ならびに安全工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。