

報告番号	乙 第 7146 号
------	------------

主論文の要旨

論文題目 水素爆発の危険度定量評価

氏名 大塚 輝人

論文内容の要旨

水素による爆発災害における爆風過圧の影響範囲予測・評価を行うことを目的として、研究の主題を爆風の発生過程に立ち戻って検討した。その結果から、爆発を爆ごうを伴う爆発、破裂、開放空間における爆燃の 3 種に分類して評価する必要性を論じ、その各々について水素空気混合気を対象に爆風過圧の影響範囲を、爆発の特性長と爆風曲線の組み合わせによって考察した。これまで、爆ごうを伴う爆発によって語られてきた爆風の評価に対する問題点を明らかにし、爆風発生過程の推定を含めた爆発の特性長の推算による爆風過圧の評価手法についても提案し考察した。

第 1 章は序論であり、本研究の目的と内容を記した。爆発現象の定義を見た後、爆風による被害の発生について、東日本大震災に続いて起きた福島第一原子力発電所の水素爆発に端を発して、労働災害に見られる爆発を概観した。その結果から、労働災害における爆発は、従来研究されてきたようなエネルギー物質による爆ごうを伴う爆発がまれであり、貯槽の破裂後、内容物と空気の混合による爆燃の連鎖が多いことを示した。また、爆風過圧の評価がリスク評価と災害調査にとって重要な要素であり、TNT 換算量に代表される爆発規模の比較は、起きてしまった爆発災害には有効であるものの、事前評価には用いることはできず、災害調査においても爆発に寄与した量との比較も熱量比を TNT 収率として事後に計算する後付けの説明になってしまうことを示した。

第 2 章では、爆発研究の既往の研究を俯瞰し、従来の爆ごうを伴う爆発による爆風過圧の評価方法を確認した後、Sachs による爆発の特性長による無次元化を、大気圧を固定して考えることで、物質のエネルギー密度と関連付けて、爆風の開始位置の問題として理解できることを示した。水素爆発を従来の爆ごうを伴う爆発による評価方法で評価した場合、初期混合気半径の 129 倍の被災距離が想定される。また、開放空間における爆燃の爆風被害につ

いて、爆ごうを伴う爆発の説明を用いることの不適合さを説明し、昨今の計算機の高速化による数値流体計算の可能性を述べた。しかし、数値流体計算では着火位置、濃度分布の時間変化の中でいつ着火するかなどについて、一つ一つの検討にならざるを得ない以上、リスクを大局的にとらえるにも、災害調査において着火位置や拡散状況の不確かさから計算機上で災害を再現することが難しく、爆ごうを伴う爆発の評価に類した、爆風曲線と爆発の特性長を考えることの利点を述べた。その結果から、爆燃による爆風では、理論上火炎伝播速度に大きく影響を受けることが分かっており、爆風曲線もしくは特性長に伝播速度が反映される必要がある。すなわち、火炎伝播速度と爆風過圧の同時測定が必須であることを示した。

第3章では、爆発災害が破裂と開放空間における爆燃の連鎖によるものであることから、破裂による爆風を直接的に扱う方法について、Random-Choice法による数値計算結果から検討した。その結果、破裂時の圧力が高い極限では、内部エネルギー差を爆発のエネルギーを爆発の特性長の評価に用いることで、爆ごうを伴う爆発の爆風曲線に収れんする。したがって数十気圧を記録するような圧力からの破裂であれば、従来の評価方法が使える。しかし、逆に破裂時の圧力が低い場合には、爆ごうを伴う爆発の爆風曲線を利用した場合よりも、低い爆風圧を実際には与え、爆ごうを伴う爆発の爆風曲線で評価すると爆風圧に関して過大評価になることが示された。そこで、新たにRankine-Hugoniotのスケール則を導入することで、破裂時の圧力が低い極限で単一の爆風曲線に収れんすることを、新たな爆発の特性長とともに示した。破裂前の圧力をパラメータとして、Rankine-Hugoniotのスケール則の特性長をSachsのスケール則の特性長と比較することで、破裂前の圧力に対してどちらの特性長と爆風曲線を使うべきかを判断できることを合わせて示した。以上の結果を受けて水素爆発をRankine-Hugoniotのスケール則で評価した場合、爆燃が開始した後、内部圧力の上昇に応じて初期混合気半径の1~195倍の被災距離が想定される。

第4章では、開放空間における爆燃による爆風を直接的に扱う方法について、風船に混合気を詰めて爆発させる実験を通して、半開放条件においてはTang-Bakerの解析に、完全開放条件についてはStrehlowの解析に従って検討した。半開放条件での実験から水素爆燃による爆風は、参考文献に見られる爆風をすべて比較してもTang-Bakerの解析結果の火炎伝播速度マッハ数0.35の爆風曲線を超えないことを示した。開放条件では、差分画像相関法によって、火炎伝播速度を恣意性なしにとらえることができることを示し、実験を通して100 m/s程度の伝播速度を計測することができた。これは半開放条件のマッハ数0.35にちょうど対応する。また、各々の火炎面位置と記録された圧力ピークとのプロットによって、爆風は最大火炎伝播速度を記録した部分で発生し、音波として伝わることを示した。さらに、爆風過圧と距離についてStrehlowの理論解析を利用して、火炎伝播速度を取り込んだStrehlowのスケール則を導入することで、爆燃に関する爆風曲線を得ることができた。以上の結果から得られた評価方法から水素爆発を評価すると、半開放条件で初期混合気半径の72倍、完全開放条件で63倍の被災距離が想定される。

第5章では、爆風の到達時間に着目して、爆発の種類を判別する手法について検討した。

開放空間の爆燃では、爆風が音波として伝わることから、到着時間は音速によって算出される時間となるため、判別が可能である。残った爆ごうを伴う爆発と破裂については、衝撃波を伴うことから、音波による推定到着時間から差が生じる。爆ごうを伴う爆発の爆風では、爆風到着時間と音波の到着時間との差を爆風到着時間で除した比は、爆発する物質の種類にほとんど依存せず、到着時間から爆発の特性長を見積もることが可能であり、破裂による爆風では、爆風到着時間と音波の到着時間との差を音波の到着時間で除した比は、初期半径の換算距離に依存するが反復計算によって爆発の特性長を見積もることが可能であることを示した。また、配管による水素空気爆ごうにより開放した端部から爆風を生じさせ、その加圧を計測する実験結果に、爆ごうを伴う爆発での爆発の特性長推算法を適用した結果、爆風過圧に関して良好な一致を見た。しかし同じ実験結果に対して、破裂の爆発の特性長推算法を適用した結果、過圧が過大に見積もられた。この結果から、爆ごうを伴う爆発と破裂とを区別することが可能である。

第 6 章では、本論文を総括し、水素空気混合気の爆発について従来の研究を踏まえうたえで、正しく評価するために 3 つの形態に分類する必要性を述べ結びとした。