

高速流解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/FOCUSと Dyna3D2000を用いた爆発解析の紹介

中森 一郎*

Overview of Simulation by Using Advance/FrontFlow/FOCUS and Dyna3D 2000 for Gas Explosion

Ichiro Nakamori

高速流解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/FOCUS（以下、FOCUS）はアドバンスソフト株式会社が開発した圧縮性流体専用の解析ソフトウェアである。本項では、構造解析ソフトウェアとしてはDyna3D2000を使用することを前提とし、FOCUSとDyna3D2000との連成解析の概要とその例を解説する。

1. 支配方程式

1.1. 基礎方程式

流体解析における方程式は、質量保存式、運動量保存式、エネルギー保存式および化学種成分保存式を扱う。なお、FOCUSでは方程式を保存系で扱い、密度、運動量、全エネルギー、化学種濃度を未知数として計算を行う。そのため、保存量は正確に保存され、衝撃波など不連続を伴う現象を精度よく解くことができる。

1.2. 爆轟のモデル化

ここでは、水素－酸素が球状に一樣に分布するものとし、その内部において点爆発により爆轟が生じることとする。その際に出現する火球内の圧力、密度、速度分布について、反応モデルを用いて1次元の爆轟現象を数値的に解いておき、これにより得られた諸量の分布を建屋内などのターゲット内に内挿する。そこからは圧力波（衝撃波）の伝播として爆風解析を扱う。上記で述べた手法とは別の手法として、未燃ガスと既燃ガスの密度をそれぞれ解き、これらを簡単な反応速度で関連付ける手法がある[5]。この手法では、爆轟波の内部構造を解像する必要はなく、火炎面モデルの燃焼速度を非常に大きくすることに相当するモデル

である。爆轟波の内部構造を解像するには μm のオーダーの計算格子サイズが必要となるため、実スケールでの解析に爆轟を考慮する場合は何らかの仮定もしくは近似を用いることが必須となる。

1.3. 構造解析

流体と構造の連成解析を実施する場合、構造の変形の度合いが非常に大きい場合を想定し、DYNA3D2000を用いた連成解析を当社では実施してきている。DYNA3D2000は、3次元のソリッドおよび梁・シェル構造に対して時系列の動的応答を解析することを目的とし、陽解法を利用した非線形有限要素法のプログラムである。ここでは、弾性、塑性、熱の効果等を含む多くの材料モデルが利用可能である。また、破壊のモデルについては、各種のモデルが利用可能となっている。種々の有効塑性歪による破壊基準がモデルとして用意されており、有効塑性歪が与えられた基準を超えると要素が削除される。このモデルは、弾塑性材料の脆性破壊（応力基準）または延性破壊（歪基準）の概略を表現する場合に有効である。

1.4. 流体－構造連成解析

FOCUSはImmersed Boundary法（境界埋め込み法）によりモデル形状の取り込みを行って

*アドバンスソフト株式会社 技術第3部

3rd Technical Division, AdvanceSoft Corporation

る。Immersed Boundary 法では、予め作成した格子に物体の形状データを取り込み、物体境界を計算格子に埋め込む。FOCUS では、専用の連成ソフトウェアにより流体-構造解析ソフトウェア間でデータの受け渡しを行っている。流体解析と構造解析は同じ時間刻みで解析を行い、毎ステップ情報の受け渡しを行うことも可能である（図 1）。

図 2 では、曲がり管の上流で爆発が生じ、その結果としてマッハ 4 程度の衝撃波が生じ、これが曲がり部を回折していく様子をシミュレーションした例である。初期の圧力と比較して曲がり部の内側と外側とは 60 倍もの差圧が生じているのが分かる（図 3）。これらの差圧を時々刻々 Dyna3D2000 の入力パラメータとして伝達し、構造物の変形を解くことが可能である。図 4 は差圧による大変形を Dyna3D2000 によって扱った例である。このシステムを用いることにより、水素爆発などをシミュレーションによって再現することが可能となる。

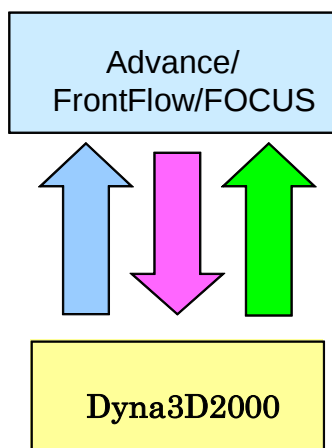
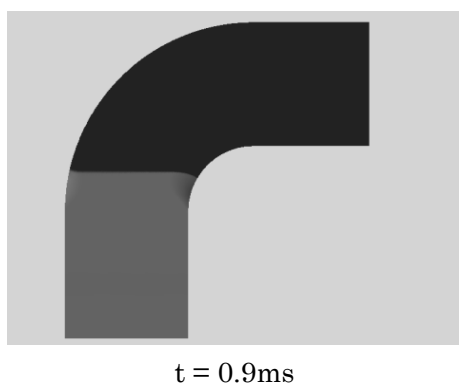


図 1 流体-構造連成のデータの受け渡しのイメージ図



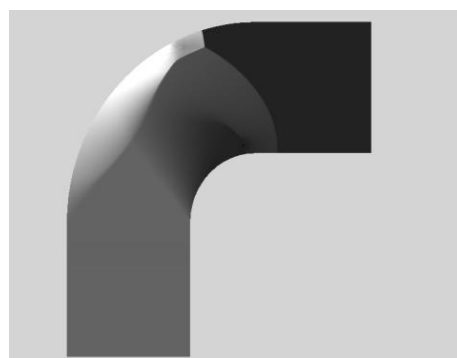
$t = 1.1\text{ms}$



$t = 1.3\text{ms}$



$t = 1.5\text{ms}$



$t = 1.7\text{ms}$

図 2 Advance/FrontFlow/FOCUS による爆発の圧力波の伝播の解析例

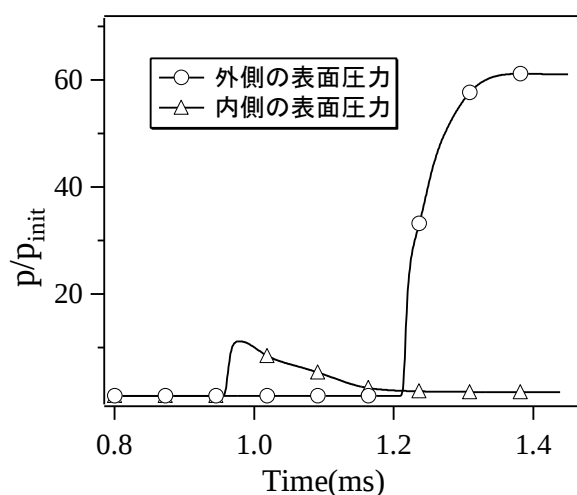


図 3 曲がり管の内部の表面圧力の時間変化

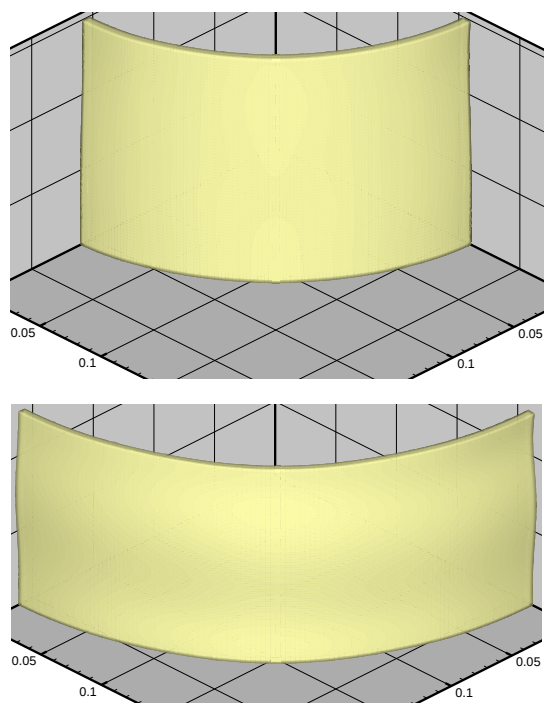


図 4 0.5ms の間に表面の圧力荷重の影響により変形する構造物の例 (Dyna3D2000 の適用例)

参考文献

- [1] 高橋邦彦ほか, “実規模 LP ガス漏洩・爆発評価システムの開発”, Sci. Tech. Energetic Materials, Vol. 65, No. 4, pp.116-124(2004)
- [2] 高野泰斉, “火炎を伴う気流の差分計算モデル”, 日本航空宇宙学会誌, 第 36 巻, 第 411 号, pp. 186-191(1988)
- [3] 斎藤寛泰ほか, “水素－空気爆燃の野外実験”, Sci. Tech. Energetic Materials, Vol. 65, No. 4, pp. 140-146(2004)
- [4] 武野計二, “高圧水素の燃焼実験および数値解析”, 福岡水素エネルギー戦略会議 研究分科会資料
- [5] D. V. Kotov et al., “Performance of four high-order shock-capturing schemes for stiff source terms with discontinuities: preliminary results,” Center for Turbulence Research, Annual Research Briefs, p.393, 2011.