

## 512 連成解析ツール MpCCI を用いた燃料タンクスロッシング流体構造連成解析

## FSI Simulation of Fuel Tank Sloshing with MpCCI

&lt; 森山勝志・CD-adapco JAPAN &gt;

&lt; 池田隆典・CD-adapco JAPAN &gt;

&lt; Katsushi Moriyama, CD-adapco JAPAN &gt;

&lt; Takanori Ikeda, CD-adapco JAPAN &gt;

Key Words: &lt; FSI, MpCCI, Fuel Tank, Sloshing, STAR-CD, ANSYS &gt;

## 1. 緒言

近年の工業製品の高性能化、小型軽量化といった要求性能の高まりに伴い、シミュレーションの精度や信頼性への要求も高まってきている。さらに、計算機、解析ソフトの著しい高性能化も進んだことから、さまざまな物理現象の相互作用を考慮したシミュレーションが注目され始めている。

物理現象の相互作用を考慮したシミュレーション=連成解析の例としては、流体力による弁の開閉とこれに伴う流れの変化や、熱流体による構造物の熱変形とこれに伴う流れの変化、水面に浮く物体が波により移動する現象などが挙げられる。このように、設計・開発の現場において、より実現象に近い条件でのシミュレーションが求められるようになってきた。

連成解析は強連成と弱連成に分類することができる。強連成は1つの解析ソフト内で複数の支配方程式を同時に解く手法であり、非線形性の強い問題で精度が良い。しかし、マトリックスの大規模化による計算コストの増大や汎用解析ソフトの欠如から、業務中での実施は非常に困難と言える。

一方、弱連成は各物理現象の解析に最も適した専用解析ソフトを連成させて解く為、計算コストも小さく、比較的簡単に実施することができる。

この弱連成解析を実現させたのが MpCCI(Mesh-based parallel Code Coupling Interface)<sup>(1)</sup>である。

## 2. MpCCI の概要

MpCCI は異なる解析ソフトを連成させ弱連成解析を可能にするインターフェースである。多くの解析ソフト(STAR-CD, FLUENT, ABAQUS, ANSYS, MSC.Marc, etc)に対応しており、異なるプラットフォーム(例えば、流体はLinux, 構造はWindows)間での連成も可能である。

MpCCI には高速かつ高精度な内挿補間アルゴリズムにより、Fig.1 に示すような異なるメッシュ間でのデータマッピングを可能としている。また、多くの要素形状タイプへも対応している。このデータマッピング機能を使用することで、表面カップリング(変位量、構造物表面にかかる力などの受け渡し)や、空間カップリング(体積力、各種ソース項などの受け渡し)が可能である。

また、一方向連成(One-Way Coupling)および双方向連成(Two-Way Coupling)の両方に対応しており、場合によって使い分けることができる。

MpCCI は航空機分野での翼の振動、自動車分野での燃料タンクスロッシング、さらに化学分野でのポリマー混合などに用いるスタティックミキサー(Fig.2 参照)、生体分野における血管、血流(Fig.3 参照)など、数多くの分野で使用されている。

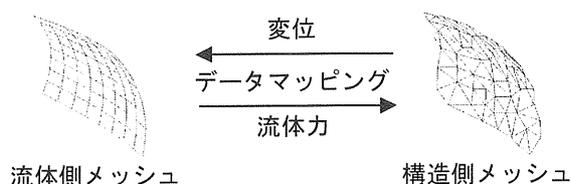


Fig.1 異なるメッシュ間でのデータマッピング

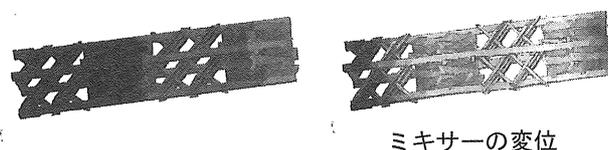


Fig.2 スタティックミキサー流動解析

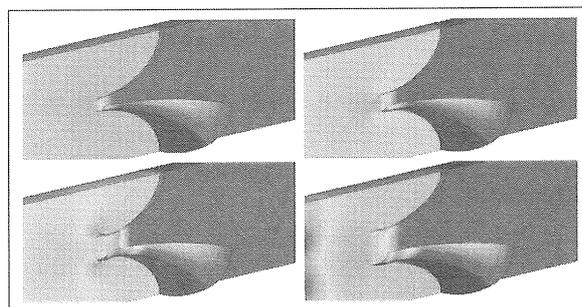


Fig.3 人工心臓弁流体構造連成解析

## 3. 解析事例

## 3-1. 解析概要

近年、燃料タンクのスロッシングに伴う騒音、強度が問題となっている<sup>(2)</sup>。その対策の1つが防波板の設置である。この防波板の形状や配置は、燃料タンクの形状によってさまざまであるが、流体解析(単体解析)を行うことで検討することができる。

また、設置する防波板の強度に関しては構造解析(単体解析)を行うことで求めることができるが、防波板にかかる流体力はタンク内燃料の動きに伴い3次元的に時々刻々と変化する為、この荷重の与え方が問題となる。また、実験等により上記のような流体力を計測することも非常に難しい。このような場合に、連成解析が必要となる。

今回は、MpCCIを用いて燃料タンクスロッシングにおける流体構造連成解析を行った結果を報告する。

尚、流体解析ソフトとして STAR-CD を使用し、構造解析ソフトとして ANSYS を使用した。

解析モデルは Fig.4 に示す燃料タンクとし、タンク内に防波板を設置した。防波板は1枚設置した場合と3枚設置した場合のそれぞれで計算を行った。またタンク内の燃料液位お

よび防波板の板厚も変化させて計算を行った。Table.1 に計算を行った防波板枚数と液位の組み合わせについて示す。

解析手法としては、STAR-CD で解析した防波板にかかる流体力と ANSYS で解析した防波板の変位量を、各時間で受け渡すことで連成解析を行った。また、防波板は流体側ではバブル要素(厚みを無視した板)、構造側ではシェル要素で模擬した。またスロッシングの条件としては、タンク内燃料に対して急制動を模擬した Fig.6 のような加速度を与えた。

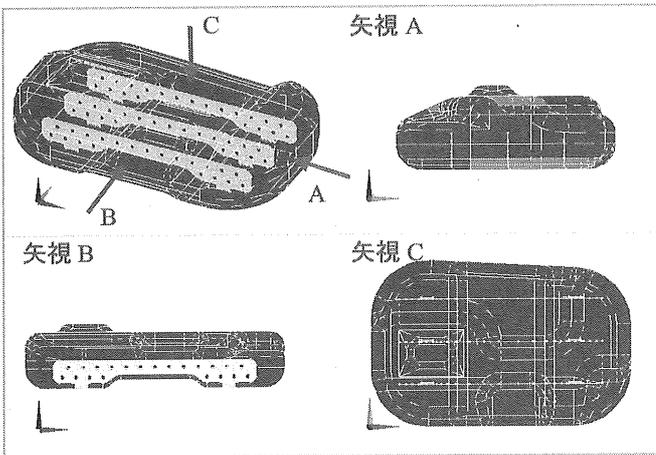


Fig.4 解析モデル(防波板 3枚設置時)

Table.1 防波板枚数と液位の組み合わせ

防波板	液位(*1)	板厚 [mm]
1 枚	40%	1.0
	70%	
	40%	3.0
	70%	
3 枚	40%	1.0
	70%	

(\*1) Fig.5 に示す代表高さ D に対する割合

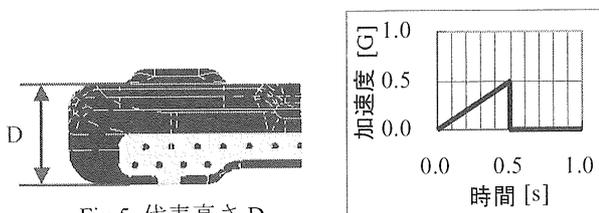


Fig.5 代表高さ D

Fig.6 燃料に対して与えた加速度 [G]

### 3-2. 解析結果

Fig.7, Fig.8 にそれぞれ防波板 1 枚, 液位 40% の場合の 0.5[s], 0.8[s], 1.55[s] 時の構造解析結果(ミーゼス応力)および流体解析結果(気液界面)を示す。また、Fig.9 に Fig.7 の E 点におけるミーゼス応力値を時系列で表したグラフを示し、Fig.10 には防波板 1 枚, 液位 70% の場合の 0.5[s], 0.8[s], 1.55[s] 時の流体解析結果(気液界面)を示す。

Fig.9 の結果を見ると、加速度がかかる 0.5[s] までミーゼス応力が徐々に大きくなっていくが、これは燃料が片寄ることによって防波板に流体力が加わっている為(Fig.8, t=0.5[s] の図参照)である。さらに加速度が 0[G] となったことでミーゼス応力値も急激に下がるが、この後再びミーゼス応力値が急激に大きくなる。これは片寄っていた燃料が再び防波板に衝突する為(Fig.8, t=0.8[s] の図参照)と考えられる。

Fig.9 で液位 40% の場合と液位 70% の場合でのミーゼス応力値を比較すると、液位 40% の方が大きい応力が発生することが分かる。液位 70% では防波板は完全に燃料中に存在し、

さらに燃料が片寄った状態になっても気体に触れる部分は無い(Fig.10 参照)。つまり防波板の片面に力が加わっても、反対側の面が燃料に満たされていることで反力が大きくなると考えられる。これによりたわみが少なくなり、応力値が小さくなったと考えられる。

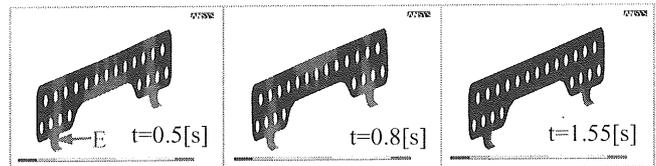


Fig.7 構造解析結果-防波板 1枚, 液位 40% の場合 (ミーゼス応力 [Pa])

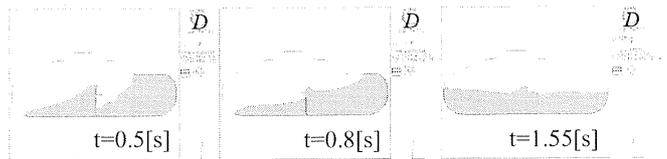


Fig.8 流体解析結果-防波板 1枚, 液位 40% の場合 (気液界面)

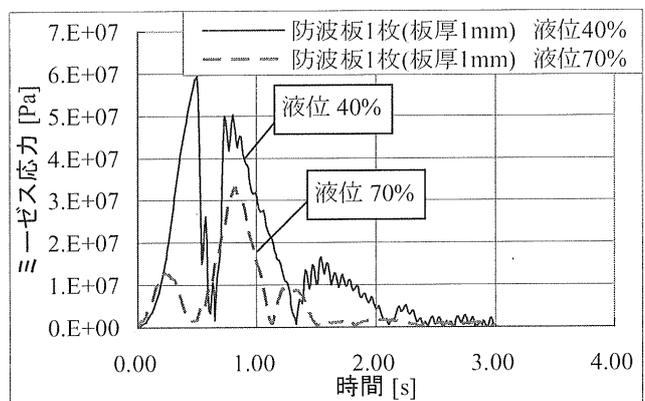


Fig.9 構造解析結果 (ミーゼス応力[Pa])

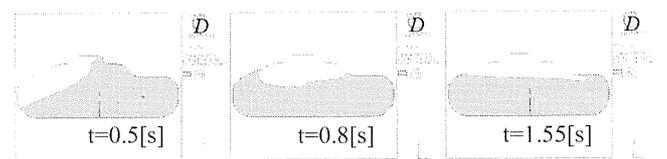


Fig.10 流体解析結果-防波板 1枚, 液位 70% の場合 (気液界面)

### 4. 結言

本論文では、STAR-CD と ANSYS を MpCCI により連成させた流体構造連成解析事例を示した。その結果タンク内燃料と防波板の相互作用を反映した結果を得ることができた。より高度な技術が求められる設計、開発において、今後このような連成解析はさらに需要を増していくと考えられる。

### 参考文献

- (1) Fraunhofer SCAI, "MpCCI 3.0.5 Documentation"
- (2) 若生徹, "フューエルタンク燃料揺動音予測技術の研究", 自動車技術会 学術講演会前刷集, No.37-05 (2005)