実践報告

線形・非線形構造解析 - ADAMS編(三角カムの機構解析)-

北陸ポリテクカレッジ 生産技術科 増川 一郎
(北陸職業能力開発大学校)
雇用・能力開発機構本部 原 裕之

1. はじめに

CAEは、形状モデルの利用法により二種類に大 別できる。1つは形状モデルを直接処理するものと、 もう1つは性能に関連する現象の数理モデルを解析 し形状モデルと結びつける方法のものとがある。

物体の運動をシミュレーションする機構解析プロ グラムは,形状を直接処理することを基本とする。 部品間の干渉や振動の発生により,製品が要求され る機能あるいは性能を満足するかどうか,コンピュ ータ内で仮想実験を繰り返すことにより製品開発期 間の短縮やコストを削減することを目的とする。

当校においても機構解析の重要性を認識し,メカ ニズムや機構問題に幅広く対応できるように機構解 析におけるモデル化から,解析結果を正しく評価し 適用できることを目的としたカリキュラムを計画・ 実施している。

本報では、機構解析プログラムであるADAMSの 取り扱いを修得するうえで行った三角カムの機構解 析事例を紹介するとともに、機構解析の特徴,解析 機能,解析条件の設定ポイント、今後の課題等につ いて報告する。

2. ADAMSの特徴

ADAMSは、米国Mechanical Dynamics, INC. (MDI) が開発した。自動車、航空機、建設機械、 電機関係などのさまざまな分野で利用され機構設計 における"動き"のシミュレーションに利用されて いる。

モデラーにより現存するモデルまたは設計案か ら、部品をジョイント、モーション、バネ、力など の要素で結合し、構成している解析モデルを作成し 必要な物理特性値を入力する。そして、ソルバーに よる運動方程式の自動作成とマトリクス化の後、時 間ステップでの非線形解析計算を実行する。その後、 ポストプロセッサーによるアニメーション表示と任 意点の変位、速度、加速度、反力などをグラフ出力 することが可能であり、製品の"動き"を数値によ り評価を行える機能を持つ。有限要素法解析に見ら れる有限要素メッシュによる要素分割を必要としな く、モデルを構成する部品はすべて剛体として扱い 部品の弾性変形を考慮しないなどの特徴があるほ か、解析結果と実験による実測値を比較検証するた めのインターフェースをも備えている。

3. 使用機器

ADAMSは、UNIXおよびWindows/NTのOS上で 稼働する。機構解析などの複雑で大規模な計算を実 行するためには、計算時間やメモリなどより多くの コンピュータ資源を必要とする。一方、解析に要す る計算時間の短縮や解析精度の向上の要求はますま す厳しくなっており、解析計算時の安定性・信頼性 も同様に要求される。

表1には、ADAMSを使用して行った三角カムの 機構解析の各作業に対し使用するソフトウェアおよ びハードウェアを示す。

表1	機構解析環境

ハードウェア				
本体:HP9000/C200				
SPEC int95: 14.3				
SPEC fp95:21.4				
メモリ:128MB				
ハードディスク:内蔵SCSI9GB				
外付SCSI4GB				
モニタ:21インチ				
グラフィクス:OpenGL				
ソフトウェア				
OS: HP-UX 10.20				
モデラー:ADAMS/View Ver 9.0.4				
ソルバー:ADAMS/Solver Ver 9.0.4				
ポストプロセッサー:ADAMS/View Ver 9.0.4				



図1 現存の三角カム機構



図2 三角カムの寸法

表2 カムの回転角度とフォロアの動作と変位

カム	フォロア		
回転角	動作	変位	
$0^{\circ} \leq \theta \leq 30^{\circ}$	停止	$s=r_2$	
$30^{\circ} \leq \theta \leq 90^{\circ}$	上昇	$s=r_2-e\cos{(\theta-30^\circ)}$	
$90^{\circ} \leq \theta \leq 150^{\circ}$	上昇	$s=r_1+e\sin(\theta-60^\circ)$	
$150^{\circ} \leq \theta \leq 210^{\circ}$	停止	$s=r_1$	
$210^{\circ} \leq \theta \leq 270^{\circ}$	下降	$s=r_1+e\sin(\theta-60^\circ)$	
$270^{\circ} \leq \theta \leq 330^{\circ}$	下降	$s=r_2-e\cos(\theta-30^\circ)$	
$330^{\circ} \leq \theta \leq 360^{\circ}$	停止	$s=r_2$	

量,重心,慣性モーメントなど),②拘束の設定
(並進ジョイント,回転ジョイント),③強制変位の
設定(回転モーション),④力要素の設定(バネ要素,重力),⑤接触の定義(カムーカム接触)の手順で作業を進める。

4. 解析問題

解析の問題は、三角カムの機構解析を例とする。

ADAMSは、カム機構をモデル化できカムの運動 に伴うフォロアの動きを解析できるため、ADAMS の操作法の修得とパラメータに対するシステムの感 度や出力を確認することを目的としてこの解析問題 に取り組んだ。実際の解析内容は、三角カムが一回 転するときの回転角とフォロアの変位との関係を求 めることにする。図1には、今回の解析問題で取り 上げた実際の三角カム機構モデルを示し、図2には、 三角カムの寸法を示す。

表2には、三角カムの回転に伴うフォロアの動作 と変位の一覧を示す。

5. 解析の詳細

5.1 解析作業の流れ

解析の作業では、3種類のソフトウェアを駆使し 作業を進める。図3に、ADAMSを使用しての機構 解析作業の流れを示す。

5.2 モデラー

機構解析モデルの作成では、ADAMS/Viewを使 用し、①部品の作成(カム形状、フォロア形状、質



図3 解析作業の流れ

部品の作成では、ADAMSの持っているモデラー 機能により作業を進める。Geometry(3次元形状) を作成すると、質量、重心位置、慣性モーメントを 自動的に計算を行い、Part(Geometry+質量特 性+Marker)を作り出す。すなわち、ADAMSで 定義される部品はすべて質量特性を持つことにな り、ADAMSによる解析計算の際には、形状そのも のではなくPartの物理的な情報が重要視される。

Partには、グランドパート、剛体パートなどがあ る。通常、作業空間は、質量特性を持たず動くこと がないグランドパートとして設定される。剛体パー トは、質量特性を持ち動くことができるパートであ る。通常の部品は、剛体パートとして定義され2つ 以上のパート同士をブーリアン演算することにより 1つのパートへと構築することが可能である。実際 の部品のモデリングでは、ADAMSの備えているモ デラーの機能不足が目につき、3次元CADを使い なれている者にとっては物足りない状態である。

Table Editor for Points on .cam1_take						
	f(x) i=f(i)			Apply OK		
	Loc_X	Loc_Y	Loc_Z			
POINT_1	5.0	8.660254	-10.0			
POINT_2	2.58819	9.659258	-10.0	i l		
POINT_3	0.0	10.0	-10.0	i l		
POINT_4	-2.58819	9.659258	-10.0	i		
POINT_5	-5.0	8.660254	-10.0	i		
POINT_6	-23.63961	-5.642422	-10.0			
POINT_7	-37.94229	-24.28203	-10.0			
POINT_8	-46.93332	-45.98832	-10.0			
POINT_9	-50.0	-69.28203	-10.0			
POINT_10	-49.65926	-71.87022	-10.0			
POINT_11	-48.66025	-74.28203	-10.0			
POINT_12	-47.07107	-76.3531	-10.0			
POINT_13	-45.0	-77.94229	-10.0			
POINT_14	-23.29371	-86.9332	-10.0			
POINT_15	0.0	-90.0	-10.0			
POINT_16	23.29371	-86.9332	-10.0			
POINT_17	45.0	-77.94229	-10.0			
POINT_18	47.07107	-76.3531	-10.0			
POINT_19	48.66025	-74.28203	-10.0			
POINT_20	49.65926	-71.87022	-10.0			
POINT_21	50.0	-69.28203	-10.0			
POINT_22	46.93332	-45.98832	-10.0			
POINT_23	37.94229	-24.28203	-10.0			
POINT_24	23.63961	-5.642422	-10.0			
POINT_25	-70.0	20.0	-10.0			
POINT_26	70.0	20.0	-10.0			
Parts Markers Points Joints Forces Motions Variables Anything						

図4 三角カムの構成ポイント

単純な円柱や球,直方体の組み合わせならば問題 はないが,スプラインコマンドで作成する自由曲線 を持つ部品で接触を伴う場合などでは,部品間の接 触を定義するためにあらかじめ形状を構成するポイ ントの座標データを調べておく必要がある。図4に は,三角カムを構成するポイントデータを示す。

拘束の設定では、パート間の接続方法および許容 される相対的な動き方を定義する。2つのパート間 もしくは、1つのパートとグランドの間に作用し、 回転ジョイント (ヒンジなど)、並進ジョイント (継手)などがある。今回の問題では、カムの回転 中心への回転ジョイントの設定およびフォロアの往 復直線運動を規制する並進ジョイントを設定する。

モデルを駆動する強制変位も拘束の1つであり, 回転モーション,並進モーションがあり,運動を表 現するために,位置や速度,加速度による関数表現 を用いる。実際の回転モーションの運動を定義する ために使用した関数を式(1)に示す。

 $F(time) = 30d \times time \tag{1}$

この関数は,最も簡単な関数の設定であり1秒間 に30度カムを回転させる設定となる。

また,接触の定義も拘束の1つでありパートが互 いに接触した場合の反作用を定義する。カムとフォ ロアの接触の定義方法は,最も注意をすべき事項で あり,この設定に誤りがあると解析計算がエラーを 起こしてしまい作業が先に進まない状態となる。 ADAMSで接触を定義する場合には,決められた約 束事がありそれを忠実に守らなければならず,その 約束事として,①接触の定義に使用するものはカー ブでなければならないこと,②使用するカーブはパ ートに属していなければならないこと、③使用する カーブは1本のカーブで構成すること,④カムに属 するカーブとフォロアに属するカーブは同一平面上 になければならないことなどがある。

今回の問題では、使用する三角カムの形状が複数 の円弧より構成されており、1本のカーブとして設 定を行うためにはスプラインコマンドを使用してカ ーブを定義する必要がある。そのため、三角カムを 構成するポイント情報をもとにスプラインコマンド により,カムパートに接触を定義するカーブを付加 する。この操作は、解析モデルの作成のうち最も厄 介でありまた重要な作業となる。モデル中に含まれ るカーブは密度を持っておらず質量特性が計算でき ないため、パーツに属さないカーブが存在した場合 には解析計算時にエラーを起こしてしまう。また, 不必要なカーブを削除した場合にも、カーブの属性 情報がモデルの中に残ったままになってしまい、形 状の削除とともに明示的に属性情報をも削除しなけ れば解析計算時にエラーを起こしてしまう。 ADAMSを使用し始めた当初は、上記事項に関して 理解してなかったため頻繁にエラーを起こし、また エラーメッセージが英語であったため理解に苦しみ 対処方法がわからず困り果てた場面もあった。図5 には、カムとフォロアのカーブによる接触の定義を 行う様子を示す。

力要素の設定では,物体間に力を発生させる定義 を行う。スプリングやブッシュのような弾性結合は 力要素となり関数式を利用して直接物体に作用させ る。



図5 接触の定義



図6 三角カム機構解析モデル

今回の問題では、フォロアが重力による落下とカ ムとの接触によりフォロアがはじき飛ばされること がないように動きを規制する目的としてバネ要素を 設定する。図6には、ADAMS/Viewのモデラー機 能を使用しすべてのパラメータ設定後の三角カム機 構解析モデルを示す。

5.3 ソルバー

ADAMSの備えているソルバーは、数種類の機構 解析計算を実行することができる。①静解析や動解 析に先立って実行され機構解析モデルに矛盾が無い かどうか、構成する部品の位置や速度が拘束方程式 を満たすかどうか判断する初期状態解析、②運動を 生じさせる力に無関係な機構モデルの動作にだけ関 する場合の,部品の位置や相対位置が時刻歴で規定 されることにより,残りの部品の位置,速度,加速 度の時刻歴を代数方程式で解くことによって求める キネマティック解析,③外力の作用する機構モデル の運動を取り扱う場合の,ある時刻における部品に 位置が力により決定されるものが機構モデル内に含 まれる問題を解くダイナミック解析などがある。

今回の解析問題では、三角カムの回転運動に伴う フォロアの追従する運動を解析することを目的とし ている。そこで、解析を始める前段階で機構モデル に矛盾や誤りが含まれていないかどうか、また、フ ォロアが重力により画面下方向(Y軸)に落下する 状態と落下したフォロアが三角カムに接触しフォロ アの落下が停止すること、およびフォロアに設定し た並進拘束とバネ要素が正しく動作する様子を初期 状態解析する。

初期状態解析の実行後,ダイナミック解析の計算 を実行する。今回の解析問題では,三角カムが1秒 間に30度回転をするモーションの関数を定義してい るため,三角カムが1回転するために必要なシミュ レーション時間を12秒に設定する。また,解析計算 を行うためのステップ数を500に設定して計算精度 を向上させ,接触を伴う問題の計算に対応している。

図7には、初期状態解析実行後のカムとフォロア の釣り合い状態を示す。また、図8には、ダイナミ ック解析により解析計算後のアニメーション表示に よるカムとフォロアの運動の様子を示す。

5.4 ポストプロセッサー

解析結果の表示は、ポストプロセッサーの ADAMS/Viewを使用して行う。通常の有限要素法 解析と違い、ソルバーによる解析計算と同時にモデ ルの運動のアニメーション表示を行うため、ポスト プロセッサーの機能なのか、ソルバーの機能なのか 判断に迷う。

アニメーション表示により,目的とする機構の機 能が満足しているかどうか視覚的に評価できるほ か,グラフ表示により数値による評価も可能となる。 このグラフ機能には,実際に行った実験データや計 算で求められたデータを読み込み,同じグラフ上で



図 7 初期状態解析



図8 解析計算後のアニメーション表示

表示ができADAMSでの解析結果と比較することが 可能である。そして、このとき使用するデータは ASCII形式のフォーマットで保存されている必要が ある。

今回の解析問題では,三角カムの回転運動に伴う フォロアの追従する運動を解析することを目的とし ており,具体的には,三角カムが1回転する間にフ ォロアの上下運動すなわちY方向の変位を求めてい る。

図9には、ADAMSのグラフ機能を使用して作成 したカムの回転角度とフォロアのY方向変位の関係 を示す。このグラフの横軸は時間であり、縦軸は変 位となっている。横軸は、三角カムが1回転するた めに所用した回転開始時から回転終了時の12秒間を



図9 カムの回転角度とフォロアの変位の関係

プロットしており,時間1秒につき30度カムが回転 している様子を示す。

グラフの縦軸は、フォロアがカムに追従して移動 したフォロアの重心点のY座標位置を示している。 したがって縦軸の示す19.0~101.0mmの値は、フ ォロアの重心のY座標値であり三角カムの回転中心 を座標原点とする。フォロアのY方向変位量はこの 値をもとに求め直す必要がある。

6. まとめ

本報では、ADAMSを使用しての三角カムの機構 解析例について報告した。今回の解析例では、カム とフォロアの接触の定義を行ううえで、機構解析モ デルの作成とパラメータの設定および関数の設定方 法に注目し作業を進めた。

当初,ADAMSの操作の不慣れと設定パラメータ の難しさから,幾度となく解析モデルの作り直しを 行わなければならない状態に陥ってしまい,また, 修得すべき関数の作成の難しさから思うように作業 が進まなかった。

解析作業を滞らせた原因として、ADAMSが解析 計算を実行する前にモデル全体をチェックし、拘束 やパラメータに誤りがないか確認する初期状態解析 などや、機構モデル完成後の動作を確認するための ダイナミック解析時などにエラーがあった場合、計 算をストップしエラーメッセージを返してくれる が、英語に不慣れな筆者などはその内容が理解でき ず何がエラーを出す原因なのか,どのように対処す ればよいのか途方に暮れてしまうことがしばしばあ った。また別の要因として,導入教育時に使用した テキストや解析練習問題に記述していないパラメー タの設定やADAMSの約束などがあったこと,マニ ュアルが英語であり翻訳に手間取ったことなどやど うにか日本語に訳したとしてもその記述してある内 容が専門的かつ高度な内容であり理解に苦しんだこ となどが原因としてあげられる。

今回行った三角カムの機構解析問題では,接触を 扱う部分が非線形計算となり接触の定義方法が ADAMSの決められた約束事に従わなければ解析計 算がエラーを起こしてしまう問題などがあった。し かし,適切なパラメータの設定次第では,非常に精 度よく機構の運動の予測が可能となり,設計・開発 段階での問題点の洗い出しなどが可能となる。今後 は,このような解析ツールを活用しての製品設計・ 開発手法や教育手法が数多く導入されると考える。

今後の課題として,①機構解析ソフトウェアの大 規模コンピュータ・コードを使いこなせる能力,② 機構解析の基本となる理論の修得,③機構のモデル 化から解析結果の評価と適用,に関して段階的に学 習できる体制を整える必要があること,そして,高 度な機構解析を担当する人材の確保と教育があげら れる。

<参考文献>

- (株電通国際情報サービス:『ADAMS9.0.4 操作マニ ュアル』。
- 2) (株電通国際情報サービス:『ADAMS9.0.4 例題集』.
- 3)(株)電通国際情報サービス:『ADAMS9.1 入門セミナー』.
- 4)雨宮好文他:『CAD/CAM/CAE入門』,オーム社.
- 5) E.J.ハウグ: 『コンピュータを利用した機構解析の基本』, 大河出版.
- 6)『機械技術者のための3次元CAD, CAE導入・活用ガ イド』,日刊工業新聞社.

