

教材情報資料 No.114
2006



応用短期課程モデル教材
振動実験及び振動解析を活用した機械設計技術

独立行政法人 雇用・能力開発機構
職業能力開発総合大学校 能力開発研究センター

はじめに

我が国の製造業における生産拠点は益々海外へ移転し、国内製造業の空洞化を招いている。特に中小企業においては厳しい経営環境に直面しており、高度な技能・技術を活かし、新分野展開、高付加価値化を図らなければ発展することが難しくなっている。

また、製造業の競争力強化のためにITは必要不可欠となっており、戦略的活用により業務プロセスを改革した新たなものづくりが必要となってきた。すなわち、開発・設計、調達、製造、流通から財務、会計、人事など間接的業務に至るまで統合的な企業資源管理が行なわれつつある。特に開発・設計プロセスにおいては、設計や試作が繰り返し行なわれていたが3次元CADやシミュレーションソフトの活用によって大幅なリードタイムの短縮や後工程へのデータ共有により生産のコスト、品質、納期を高めることができるようになってきている。

そこで、開発・設計プロセスにおける構造解析・機構解析は、従来専門的技術者によるものであったが、設計者自身が容易にシミュレーション解析を行い設計の可否を検討できる技術の習得を教育内容とした、設計技術者のための解析技術のコース開発及び教材開発を2003年より行ってきた。

本年度においては、シミュレーションだけでは解決が困難な振動現象を取り上げ、実験とシミュレーションを併用した、より高度な設計技術の習得を目標とした設計技術者のための解析技術のコース開発及び教材開発を行った。

本教材情報資料が、応用短期課程(企業人スクール)及び他の訓練課程に資する資料として活用されれば幸いである。

最後に、本資料をまとめるに当たりご執筆、ご協力をいただいた応用短期課程モデル教材開発委員会の皆様に対し、深く謝意を表す次第である。

2006年3月

職業能力開発総合大学校

能力開発研究センター

所 長 重 律 男

研究プロジェクトメンバー（敬称略・順不同）

波多江 茂樹	港湾職業能力開発短期大学校横浜校	1章1～3節、 付録担当
幾瀬 康史	職業能力開発総合大学校東京校	1章6節担当
塩練 俊一	近畿職業能力開発大学校	1章4～5節担当
木崎 俊郎	九州職業能力開発大学校	4章5節担当
北崎 弘勝	高度職業能力開発促進センター	2章、3章補佐
江連 勝彦	株式会社 小野測器	2章、3章、 5章1節担当
佐橋 直樹	（株）構造計画研究所	4章1～4節、 5章1節担当

事務局：

高山 純次	職業能力開発総合大学校 能力開発研究センター 開発研究部長
木村 亨	職業能力開発総合大学校 能力開発研究センター 開発研究部 高度訓練研究室長
川村 健児	職業能力開発総合大学校 能力開発研究センター 開発研究部 高度訓練研究室 研究員
能美 英生	職業能力開発総合大学校 能力開発研究センター 開発研究部 高度訓練研究室 研究員

目 次

序 章 企業人スクールコース開発にあたって

第1節	コース開発の目的	3
第2節	コース開発例	4

第1章 振動の基礎

第1節	導入	10
1-1-1	機械と振動	10
1-1-2	調和振動	11
1-1-3	振動のからくり	12
1-1-4	機械の力学モデル	13
第2節	1自由度系の振動	15
1-2-1	不減衰系の自由振動	15
1-2-2	減衰系の自由振動	17
1-2-3	不減衰系の強制振動	19
1-2-4	減衰系の強制振動	21
1-2-5	振動伝達	22
1-2-6	周波数応答関数	24
第3節	2自由度系	26
1-3-1	不減衰系の自由振動	26
1-3-2	不減衰系の強制振動	28
1-3-3	減衰系の強制振動	29
第4節	モデル化と運動方程式	40
1-4-1	モデル化	40
1-4-2	運動方程式	41
1-4-3	等価質量	45
第5節	フーリエ変換	46
1-5-1	フーリエ級数	46
1-5-2	複素フーリエ級数	48
1-5-3	フーリエ変換	48

第6節	振動現象の測定	50
1-6-1	実験装置と使用工具	50
1-6-2	台座の振動パラメータの測定	52
1-6-3	台座のモデル化と振動解析	59
1-6-4	台座のインパルス応答の測定	60
1-6-5	振動パラメータの影響	63
1-6-6	周波数応答	68
第2章	振動測定技術	
第1節	FFTアナライザとは	80
2-1-1	FFTとは	80
2-1-2	なぜFFTアナライザが必要か	80
2-1-3	最近のFFTアナライザについて	81
2-1-4	FFTアナライザの仕組みについて	82
2-1-5	最近のFFTアナライザ(ソフトウェア)	90
2-1-6	FFTアナライザを使う場合の一般的な注意点	92
第2節	ハンマリング試験	93
2-2-1	ハンマリング試験とは	93
2-2-2	ハンマリング試験の利点・欠点	93
2-2-3	インパルスハンマについて	94
2-2-4	2度叩き(ダブルハンマリング)	96
2-2-5	窓関数	97
2-2-6	対象物の特性による影響	102
2-2-7	計測データの確認	102
第3節	センサの選定	104
2-3-1	振動とは	104
2-3-2	センサ選択に当たっての考慮事項	106
2-3-3	センサの固定方法による周波数特性の変化	107
第4節	振動計測の手順	108
2-4-1	計測の目的	109
2-4-2	計測手法の選定	111
2-4-3	伝達関数(周波数応答関数)の測定に必要なデータ	112

2-4-4	センサの選定及び設置	115
2-4-5	実験モード解析のための加振方法の選定	116
2-4-6	対象物の支持方法	119
2-4-7	FFT アナライザの設定	122
2-4-8	測定点の選定	123
2-4-9	データの確認（プレ計測）	125
2-4-10	計測・解析	126
第5節	FFT アナライザの操作手順	129
2-5-1	計測手順の概要	129
2-5-2	機器（FFT アナライザ、センサ）の接続	130
2-5-3	入力源（インパルスハンマ、加速度計）の設定	130
2-5-4	校正（単位換算）	131
2-5-5	表示画面の設定	134
2-5-6	電圧レンジの設定（調整）	134
2-5-7	トリガ条件の設定	135
2-5-8	窓関数（ウィンドウ）の設定	137
2-5-9	周波数レンジとサンプリング点数の決定	137
2-5-10	ハンマリングに関するその他の設定	138
2-5-11	平均化条件の設定	139
2-5-12	計測	142
第3章	実験モード解析	
第1節	基本的な手順	146
3-1-1	実験モード解析と実稼動解析	146
第2節	簡易的な振動モード形状の可視化	150
3-2-1	計測の準備	150
3-2-2	FFT アナライザの設定	151
3-2-3	周波数応答関数（伝達関数）の計測	154
3-2-4	簡易的な振動モード形状の作成	157
第3節	ME' scopeVES による実験モード解析	161
3-3-1	計測の準備	161
3-3-2	実験モード解析ソフト ME' scopeVES の概要	164

3-3-3	ME' scopeVES による実験モード解析	166
3-3-4	形状定義 (3D モデルの作成)	167
3-3-5	計測データのインポート	170
3-3-6	自由度 (DOF) の設定	172
3-3-7	測定データによるアニメーション	173
3-3-8	カーブフィット	175
3-3-9	振動モード形 (モードシェープ) のアニメーション	184

第4章 CAEによる振動現象の解析

第1節	振動現象の数値モデルとシミュレーション	196
4-1-1	運動方程式によるモデル化	196
4-1-2	シミュレーションによる振動現象の可視化	200
第2節	振動現象の解析の流れと数値解析手法	223
4-2-1	振動解析の検討ステップ	223
4-2-2	有限要素法による連続体モデルの数値解析	224
4-2-3	振動解析の各種数値解析手法	234
4-2-4	振動解析を効果的に行うための注意点とそのノウハウ	242
第3節	振動解析の事例	245
第4節	振動解析の実際	248
4-4-1	演習例題	248
4-4-2	静剛性解析	249
4-4-3	固有振動解析	267
4-4-4	考察 (要素サイズ、境界条件の影響)	276
4-4-5	金属バットモデルの解析	279
4-4-6	考察	288

第5章 実験と CAE の連携

第1節	背景	294
第2節	事例紹介	295
5-2-1	バットの例	295
5-2-2	応用例	297
第3節	今後の課題及びまとめ	307

5-3-1	実験からみた今後の課題	307
5-3-2	CAE からみた今後の課題	308
5-3-3	まとめ	309

付 録

A.	数学	313
A-1	数と式の計算	313
A-2	三角関数	314
A-3	指数関数	316
A-4	対数関数	316
A-5	関数の極限と微分	317
A-6	積分	317
A-7	ベクトルの基本演算	319
A-8	偏微分	320
A-9	微分方程式	321
A-10	行列と行列式	322
A-11	テーラー展開とマクローリン展開	325
A-12	複素指数関数と複素ベクトル	326
B.	実験結果	328

