

vol. 2001-3

Mech D & A News

Mechanical Design & Analysis Co.
December 2001



北海道・美瑛町

【特集】 CAE と既存技術の融合

FEM Consulting Services for Engineering Practice
URL <http://www.mech-da.co.jp>

【 1 】 CAE 現場の悩み

CAE の現場が抱える悩みは、医療における臨床の現場が抱える問題点と似ている。Fig.1 に示すように、製品を患者に例えれば、設計者はホームドクターであり、研究者は大学病院に相当する。また、解析技術を支えるために各種のベンダーやコンサルタントが介在するのも、医療と同じである。容易に理解できるように、医療であれCAE であれ従事する者には相応の技術が必要とされる。従ってその不足を嘆くのは悩みではあるが本質的なものとは言い難い。製品という患者を取り巻く様々な環境や思惑、また従事する者のそれぞれ異なる立場が悩みを複雑にしている。医者にとって医は仁術であるのと全く同様に、製品を取り巻く人々の気持ちをそらさずに解析に携ることが、CAE 技術者の本来あるべき姿である。

しかしながら医療が国家的な規模で擁護され、広く認知されているのに対し、CAE の置かれた立場は弱い。当の設計者の間でさえCAE に対する懐疑は根強く、それに明快に答えられないことがCAE 現場の悩みを深くしている。一方、先進的な分野、例えば土木や建築のように公益に直結した事業規模の大きい分野では、CAE は比較的恵まれた立場にある。国内では、土木学会や建築学会の主導によって各種の解析手引書が編集されるような水準まで実用性が高められた結果、橋梁に代表されるような高度な建造物に対して、CAE の適用に疑問を差し挟む余地はない。また一方では、一般民生用の建造物に対して、CAE を使用せずに規格計算で設計する道が確立されていることも極めて順当な価値判断であるといえよう。土木・建築に限らず、航空・宇宙や原子力などの事業規模の大きい分野では、多かれ少なかれCAE の役割は確立している。

しかし最近では、このような巨大技術に対する需要は社会的に飽和が見られるようになってきている。この結果、より短工期で低価格の製品分野へ技術人口の重心が偏りつつあるのは避け難い実情である。このような分野では、時間や費用、あるいは民需の動向といった世俗的な制約が学問より先行するのは止むを得ない。このような環境にCAE をいかに順応させるかが大きな課題である。

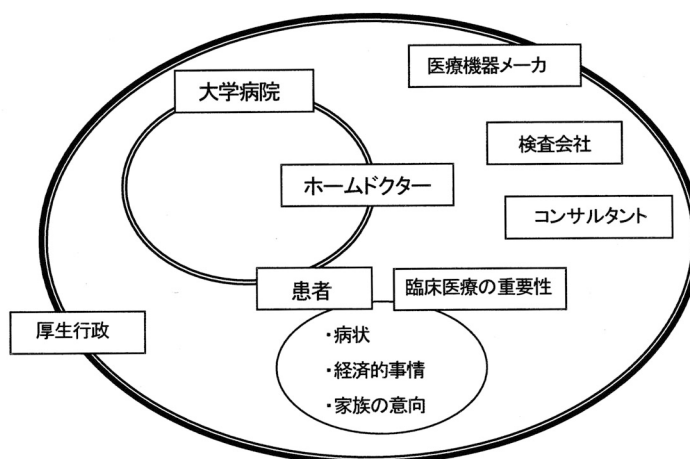


Fig.1 CAE 現場の悩み、臨床医療との相似

【 2 】 CAE で何をわかるか？

昭和39年に著された「材料力学」⁽¹⁾の序において著書の中原一郎先生（以下敬称略）は、技術上の諸問題に直面したとき、材料力学がいかに役に立たないかを経験することは、決して稀なことではないと述べている。この指摘は一面において否定できないが、現象の本質を衝くには、理想化された洗練性が不可欠であるのも事実である。中原の逆説的な表現の背景には、当時の国内において、古典的な材料力学が完成の域に達していたことに対する大きな自負があったものと推測される。中原は、その著作の末尾に実験材料力学の章を設け、序文に対する回答を以下のように与えている。

- ・理論においては条件が理想化されるために、その結果は定性的意味しかもたないことが多く、量的な正確さは応力測定などによって検討されなければならない。
- ・また実験の結果は、それが行われた条件のもとでのみ正しいから、定量的意味しかもたないことが多い。

- ・すなわち、膨大な時間と費用を用いても実験のみによって完全な定性的結果は得られないし、いかに複雑な計算を行っても理論のみによって完全な定量的結果は得られない。理論と実験とは互いに長所を生かして用いられねばならない。

Fig.2は、以上に示した中原の概念を図に示したものである。図中のプロットは実験の結果を示す。それぞれの点は定量性を持ったデータであるが、どのように精度を高めても、バラついた点の集合にしか過ぎない。これに対して、曲線群は理論による結果を示している。何らかの仮定の下に理論を構築すれば、その結果は定性的ではあるが、特定の傾向を示す。この例で見れば、実験に理論Bを組合せることで、データの解釈に背骨が与えられる。すなわち、その現象を完全に理解したといえることができる。

では、CAEはFig.2においてどこに位置するのであろうか？数値実験という言葉が示すように、CAEは両者の中間的な位置にあり、使い方によって性格を変える。例えばFig.3のような振動の解析を例にとろう。ある構造物を1質点系のような単純なモデルで置き替るといったような理想化を伴うCAEは、理論による扱いに近い。パネ定数を操作したり、ダッシュポットを追加したりというように、適切な仮定を積み上げることで、理解の水準を高めようという考え方である。特に非線形領域の解析では、このようなプロセスを踏むことで、現象の全貌をはじめて解明できることが多い。理論や実験を上回るCAEの長所はここにある。

また一方では構造物を大規模なモデルで忠実に再現する例も多い。これは実験の代替という性格の強いアプローチである。後に示す解析例のように、緻密な検討の上に構築されたモデルであれば実験と理論の極めて高度な組合せとなる。大規模モデルを成功させるポイントは、材料力学の洗練性を忘れないことである。材料のモデル化から要素タイプの選定など、材料力学の知識を背景にして小規模なモデルを作り、それらを組合せて大規模化すれば解析の品質は保たれる。

ありがちな失敗は、いきなり複雑なメッシュの作成から入り、チェックや変更もできない状態に陥り、消費した工数のもつ重みに逆らえずそのまま直進し、成果の出ないまま、2～3ヶ月を経過してしまうことである。オートメッシュに対する期待、大規模CAEに対する自負といったメンタルな面での過剰な思い入れが、この種の失策を招きがちである。この結果、CAE部門そのものの存続まで危うくした例はあまりにも多い。

【3】CAEで製品開発を加速する

最近の不況の影響を受けて、CAE部門の統合縮小、あるいは分社化といった動きが少なくない。反面、CAEに対する要求はますます高度化する傾向にある。CAEの合理化と高度化を両立させ、製品開発の工程を短縮するという考え方には多くの異論があろうが、それに全く応えられないではCAEの前途は閉ざされてしまう。

Fig.4は製品開発の加速を概念的に示したものである⁽²⁾。まずFig.4(a)は試験とCAEの比較を示す。試験を重ねれば、多少時間がかかるにせよ確実に目標に到達できるのが通常である。これに対してCAEは当初の立上りは速いが、単独で目標の水準に達することは稀である。

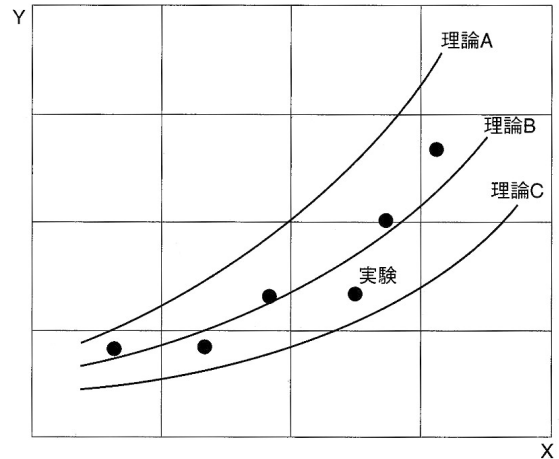


Fig.2 実験と理論の組合せ

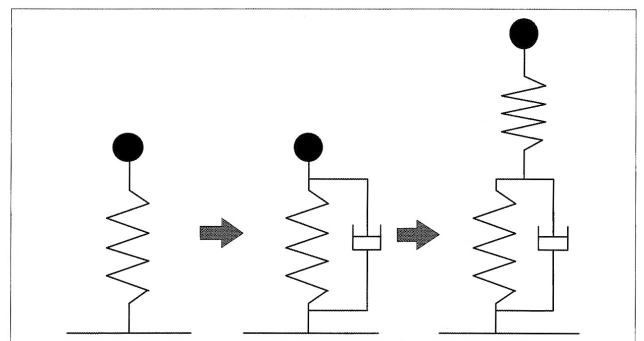


Fig.3 仮定の積み重ねによる現象の解明

Fig.4(b)のように両者を組合せれば、到達時間は短縮する。しかし、現実にはCAEに足をとられ、思うように短縮できないことも少なくない。これを打開するには、Fig.4(c)に示すような経験と理論の助けが必要である。経験は既に獲得しているものであるため、スタートの状態でも何らかの値を持っている。しかし、その値は時間に対して一定である。これに対して材料力学などの理論は、応用面で即座に有効という場面は多くないが、図に示すように、何らかのきっかけで技術水準を大幅に向上させる可能性を持っている。

Fig.4(d)はこれら全てを組合せた図である。製品に対する経験があれば立ち上がり早い。また工学的な理論の知識があれば、単に目標を達成するだけでなく、一連の開発を終えた後に、目標を大きく上回る知見がもたらされることを、この図は示している。

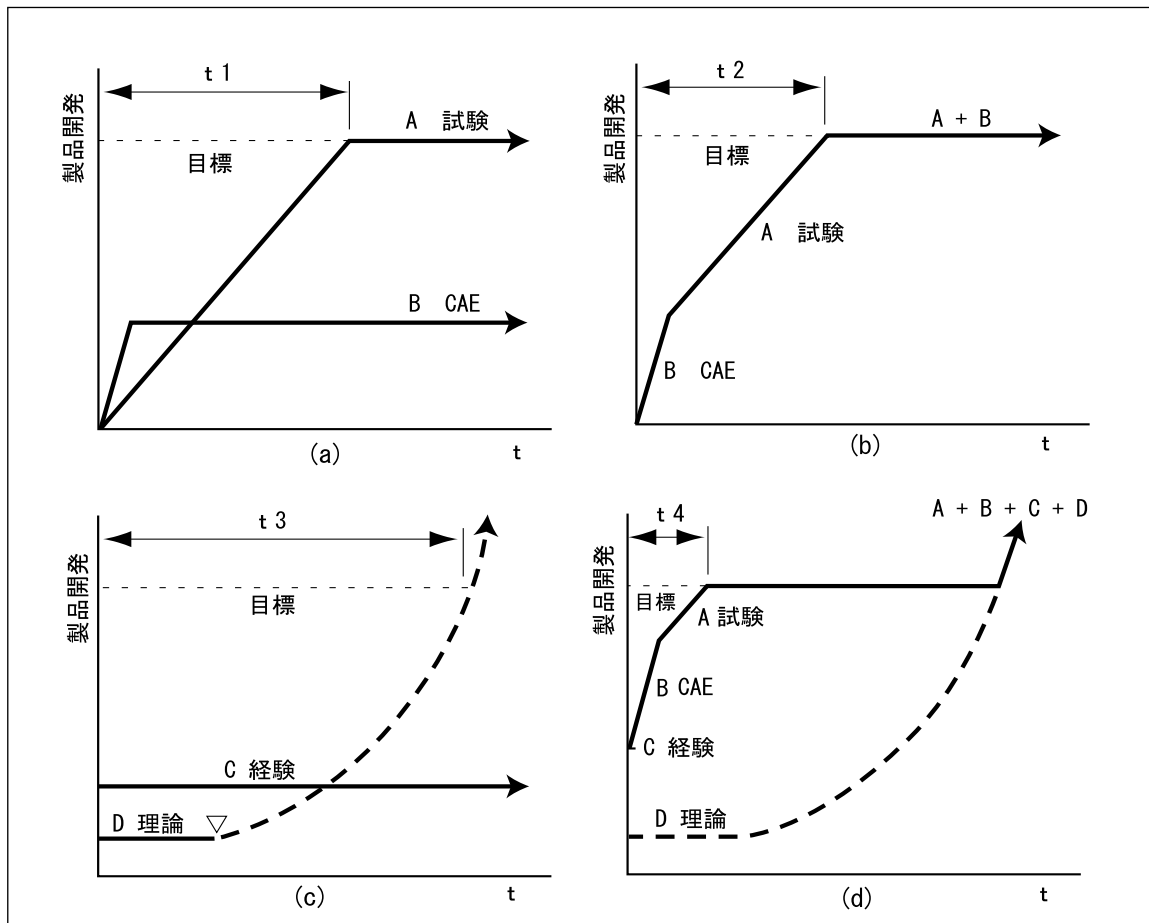


Fig.4 製品開発の加速プロセス

【4】材料力学との融合

次に落下衝撃の問題に注目し、ソニー殿における解析例^{(3),(4)}を紹介する。落下衝撃に対する強度検討は、現在でも試作後の落下試験に依存するケースが多い。しかし、これらの試験では結果のばらつきが大きく、現象の再現性に乏しい上、試験の方法や基準が現実の商品に適合していないという不満がある。また、商品の開発期間が短くなってきているため、試作後の試験で不具合が発見された場合、

- 1) 構造上の制約が多く、大幅な変更ができない。
- 2) 十分な対策時間が確保できない。
- 3) 試験の結果から具体的な設計の方針（構造変更案）を引き出せない。

といった問題がある。このため、試作や試験に依存しない設計上流での強度検討が求められている。Fig.5にノートPCの落下衝撃解析用のモデルを示す。この解析の主眼は、製品内部に組込まれたハードディスクドライブ(HDD)と

筐体の動的な接触を見ることにある。実機では、この接触による衝撃を緩和するため、粘弾性シートを面間に配置しているが、その効果を試験によって見ることは難しい。

Fig. 6 は今回の粘弾性材料の同定に使用した試験装置を示す。粘弾性による緩和効果は周波数に対する依存性を持つため、一般的な引張試験などによって特性を決定することができない。粘弾性材料に関する研究は、1960 ~ 1970 年代に隆盛を極めたが、その後、衰退した経緯を持っている。実際、試験方法として JIS 規格もあるが、当然、CAE への応用を念頭においたものではない。今回は、古い文献⁽⁵⁾を渉猟し、Fig. 7 に示すような周波数領域から時間領域への変換を経て緩和弾性率を同定したとされている。Fig. 8 はそれらの知見をモデルに組込んで得られた HDD 下面の加速度波形である。実測値と比較し、満足すべき結果が得られている。CAE を高度に利用するには、単にそのプログラムの使用方法を知るだけでなく、材料特性や力学的な挙動について、基礎的な知識が不可欠であると言えよう。

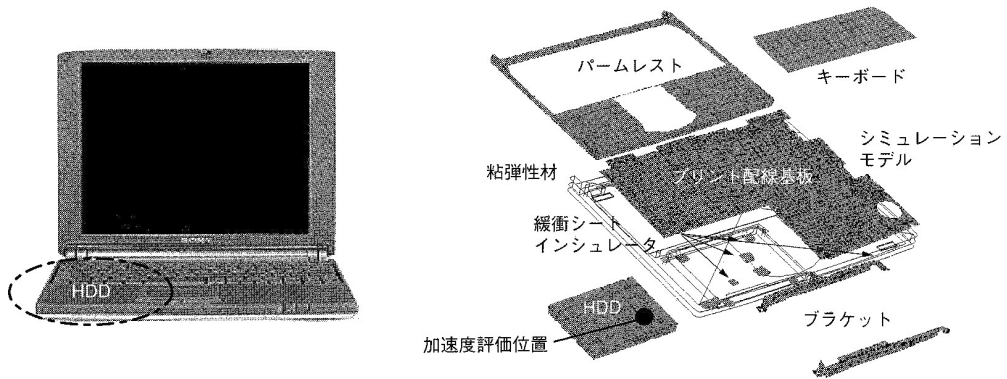


Fig. 5 ノート PC の解析モデル (LS-DYNA)

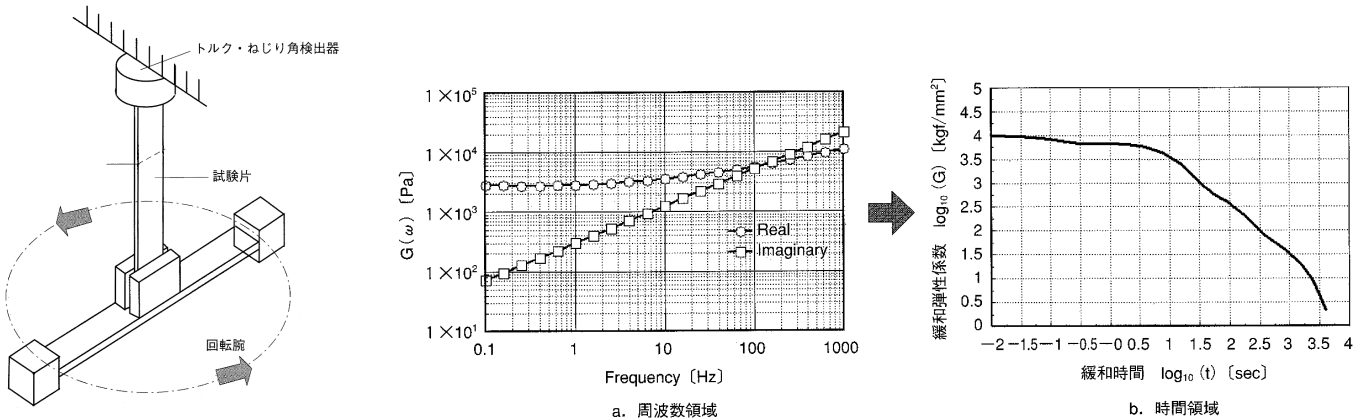


Fig. 6 ねじり振子による粘弾性材料の動的試験

Fig. 7 緩和弾性率の周波数領域から時間領域への変換

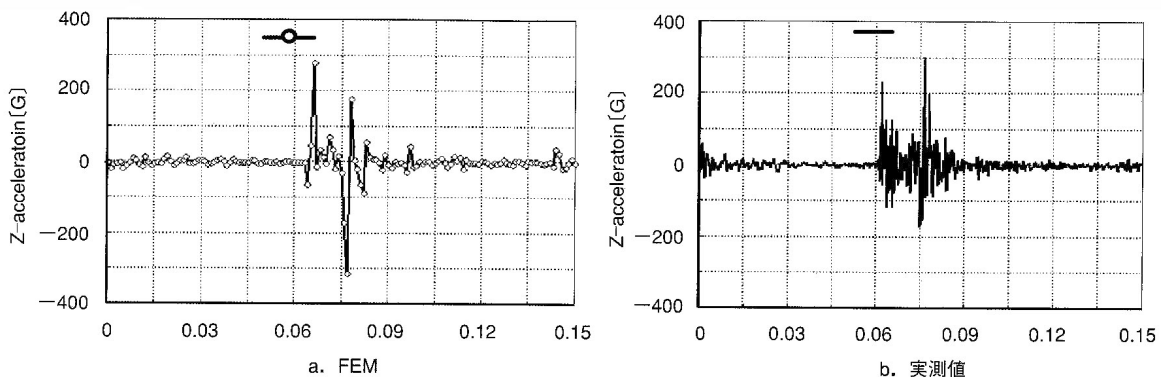


Fig. 8 HDD 下面の加速度波形

【5】既存技術との融合

次の例はデジタルTVの梱包落下の解析である⁽⁴⁾。海外など悪路での輸送が予想される場合には、荷役による損傷を防止することが必要である。この解析は梱包材料の最適設計のために実施された。Fig.9に解析モデルを示す。TV下部に見えるのが発泡スチレンの緩衝ブロックであり、発泡によって形成された気室のつぶれを表現できる材料モデルが適用されている。

この解析を用いると、TVと緩衝ブロックの間の面圧の変化を時々刻々に追うことができる。面圧が高い部分では、変形量と加速度をチェックし、寸法を調整した。また、面圧が小さく、緩衝に寄与しない部分は、削除あるいは接触面の形状を変更し、平均的な分担となるように改めることができた。現在では、環境問題に配慮して発泡スチレン材の使用量を抑制する傾向にあり、この観点からも、従来の設計手法を補強する方向性でCAEを適用することが求められる。

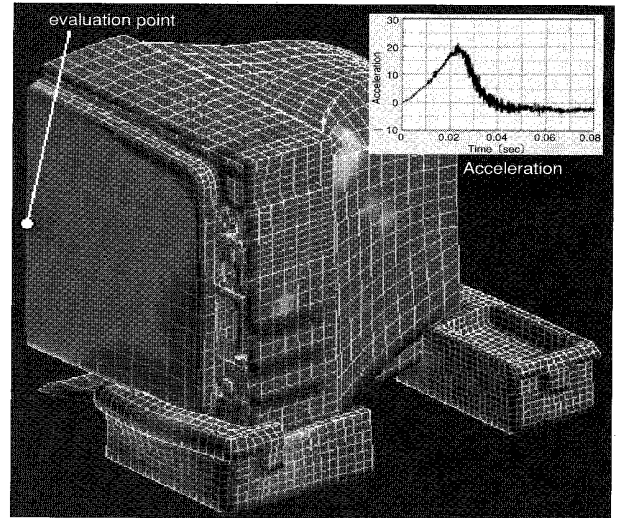


Fig.9 デジタルTVの梱包落下解析 (LS-DYNA)

Fig.10は、従来の指針による発泡スチレン材の設計チャートの一例を示す。緩衝材の厚みと落下高さから、図中の最大加速度値を読みとる形式となっている。Fig.11はチャートの作成にあたって行われた実験を解析で再現し、得られる最大加速度値を相互に検証した例を示す。両者は良い一致を示した。

これに類似する設計チャートは、多くのメーカーが社内規格として保有しているものであろう。しかし今日では雇用体系が変化し、これらの規格の形だけが残って、その背景にあったノウハウが失われることも少なくない危惧される。Fig.11に示したように、設計チャートとCAEの相互検証を行っておけば、両者が同一の基盤の上に立っていることがわかる。従って、あとは製品に応じて両者を使い分けたり、組合せたりすることができるので、より柔軟で合理的な設計が可能となる。

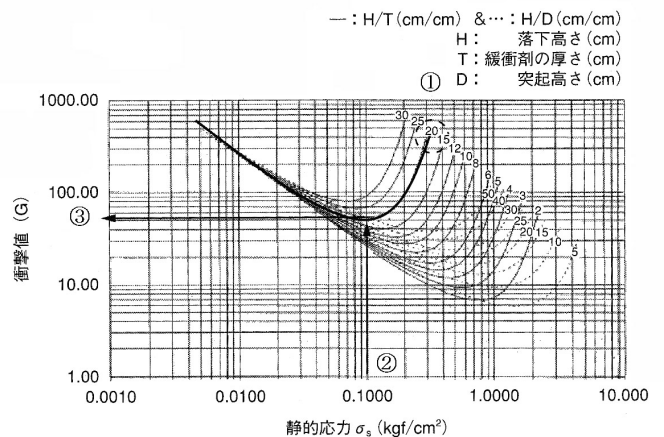
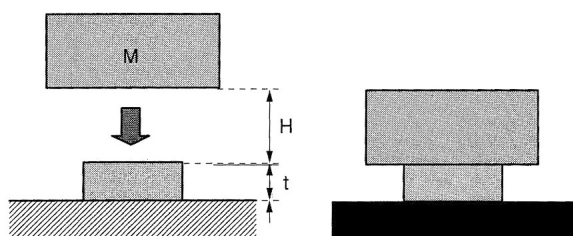
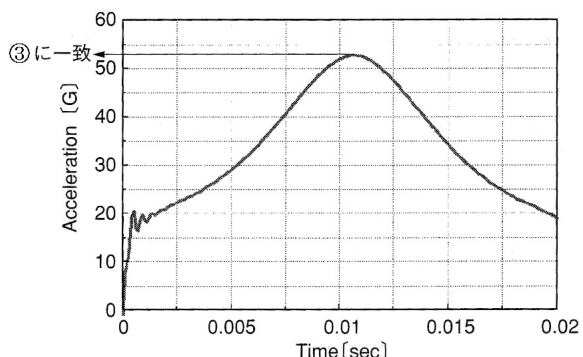


Fig.10 従来の設計チャートによる梱包設計

冒頭に示したように、CAEは仁術である。たとえ最新の解析手法を適用するとしても、既存の技術と融合させることで社内に広く認められ、より高い位置を目指すことが可能になるのではないだろうか。



(a) 解析モデル



(b) 加速度波形解析結果

Fig.11 FEMによる設計チャートの検証

【6】おわりに

本稿の作成にあたって、YKK 株式会社 永安孝志氏、ソニー株式会社 井戸浩登氏 の協力を頂いた。慎んで感謝の意を表す。また、本稿は日刊工業新聞社、機械設計⁽⁶⁾に掲載された記事を引用・加筆したものである。同社 今堀崇弘氏の御助言を賜った。厚く御礼申し上げる次第である。

参考文献

- (1) 中原, 材料力学(上・下), 養賢堂, 1964.
- (2) YKK 株式会社, 経営監査室, 永安孝志氏の知見による。
- (3) 井戸, 佐藤, 周波数依存性を持つ粘弾性材料を考慮した構造シミュレーションの検討, 日本機械学会第12回計算力学講演会, 816, 1999.
- (4) 井戸, 発泡スチレン材を含む梱包落下シミュレーション, 株式会社日本総合研究所, JAPAN LS-DYNA Users Conference, 2001.
- (5) 例えば L.E.Nielsen, 小野木 訳, 高分子と複合材料の力学的性質, 化学同人, 1976.
- (6) 小林, CAE と既存技術の融合を図る, 機械設計, 46-2, 2002, 日刊工業新聞社.

表紙: 前田真三, 株式会社丹溪, B-321392.

株式会社メカニカル・デザイン・アンド・アナリシス 担当 大川宛 Fax 0424-82-5106

セミナーテキスト申込書(コピーしてお使い下さい。)

ふりがな お名前	
貴社名・御所属	
御住所	〒
TEL・FAX	TEL FAX
通信欄	注: 納品書兼請求書は弊社様式で商品と共に送付致します。代金の振込手数料はお客様の負担とさせていただきます。

1. セミナーテキスト初級編	¥20,000
2. セミナーテキスト中級編	¥20,000
3. I-DEAS による非線形構造解析の支援	¥10,000
4. 初めての非線形構造解析	¥10,000
5. MARC ユーザ・サブルーチン例題集(上・下巻)	¥10,000
6. ゴム材料解析のモデリング【初級/応用】	¥40,000
【上記テキスト1.~6.】一括	¥90,000

7. シェル構造解析の実際(基礎編)	¥20,000
8. シェル構造解析の実際(応用編)	¥30,000
9. 塑性加工解析における材料定数の同定	¥10,000

* ABAQUS はヒビット・カールソン・アンド・ソレンセン・インク殿の製品です。

* LS-DYNA の国内販売元は株式会社日本総合研究所です。

* MSC.Marc は日本エムエスシー株式会社殿の製品です。

小計	¥
消費税	¥
合計	¥

株式会社メカニカル・デザイン・アンド・アナリシス 担当 大川宛 Fax 0424-82-5106

Mech D & A News 解析データ(FD付き)申込書(コピーしてお使い下さい。)

ふりがな お名前	
貴社名・御所属	
御住所	〒
TEL・FAX	TEL FAX
通信欄	注：納品書兼請求書は弊社様式で商品と共に送付致します。代金の振込手数料はお客様の負担とさせていただきます。

御希望の項目に を付け、金額を記入して下さい。いずれもFD付きの価格です。
内容の詳細は弊社ホームページを御覧下さい。

・自励振動の解析 (vol.95-1.1)	¥ 5,000
・接触による応力集中 (vol.95-1.2)	¥ 5,000
・凝固プロセスの解析 (vol.95-2.1)	¥ 5,000
・大ひずみ粘弾性球の衝突解析 (vol.95-2.2)	¥20,000
・非ニュートン流体の解析 (vol.95-3.1)	¥15,000
・粘弾性解析の基礎モデル (vol.95-3.2)	¥10,000
・熱衝撃応力の厳密解 (vol.95-4.1,4.2)	¥10,000
・ボルト締結の健全性評価 (vol.96-1)	¥10,000
・ロール圧延の解析 (vol.96-2)	¥20,000
・表面張力の解析 (vol.96-3.1)	¥20,000
・浮遊体の固有振動解析 (vol.96-3.2)	¥10,000
・衝撃応答の解析 (vol.96-4)	¥15,000
・接触による応力の集中と減衰 (vol.97-1)	¥20,000
・MARC ユーザ・サブルーチン支援キット (vol.97-2)	¥50,000
・弾塑性材料試験支援キット (Vol.97-3)	¥30,000
・流体連成振動解析 (vol.97-4)	¥10,000
・MARC K7による流体解析 (vol.98-1)	¥20,000
・2次元の線形補間 / 応力の座標変換 (vol.98-2)	¥10,000
・陰解法と陽解法による振動解析 (vol.98-3)	¥10,000
【Vol.95-1 ~ Vol.96-4】2年分一括	¥90,000
【Vol.97-1 ~ Vol.98-3】2年分一括	¥90,000
【最新刊】中空材料の塑性座屈問題 - LS-DYNAによる解析 - (vol.01-1)	¥10,000
【最新刊】単軸試験によるゴム材料モデルの推定 - ABAQUS/MSC.Marcによる解析 - (vol.01-2)	¥10,000

* ABAQUS はヒビット・カールソン・アンド・ソレンセン・インク殿の製品です。

* L S - D Y N A の国内販売元は株式会社日本総合研究所殿です。

* M S C . M a r c は日本エムエスシー株式会社殿の製品です。

株式会社メカニカル・デザイン・アンド・アナリシス

〒182-0024 東京都調布市布田1-40-2 アクシス調布2階

TEL 0424-82-1539 FAX 0424-82-5106

comm@mech-da.co.jp http://www.mech-da.co.jp

小計 ¥

消費税 ¥

合計 ¥