

データベース構築促進及び技術開発に関する報告書

インターネット型先進材料DB

活用プログラムの開発

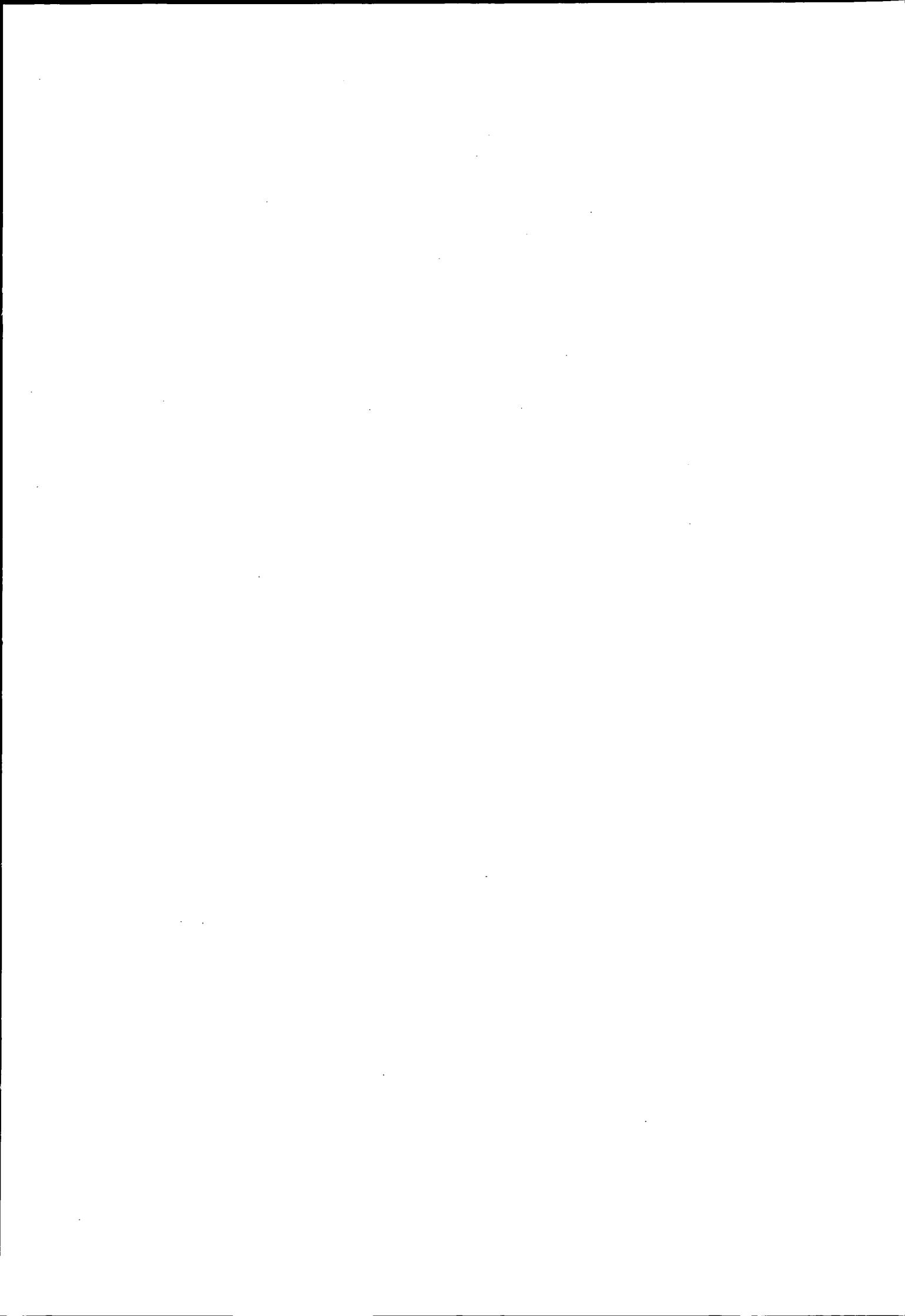
平成10年3月

財団法人 データベース振興センター
委託先 (財)次世代金属・複合材料研究開発協会

KEIRIN

00

この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。





序

データベースは、わが国の情報化の進展上、重要な役割を果たすものと期待されている。今後、データベースの普及により、わが国において健全な高度情報化社会の形成が期待される。さらに海外に対して提供可能なデータベースの整備は、国際的な情報化への貢献および自由な情報流通の確保の観点からも必要である。しかしながら、現在わが国で流通しているデータベースの中でわが国独自のものは1/3にすぎないのが現状であり、わが国データベースサービスひいてはバランスある情報産業の健全な発展を図るためには、わが国独自のデータベースの構築およびデータベース関連技術の研究開発を強力に促進し、データベースの拡充を図る必要がある。

このような要請に応えるため、(財)データベース振興センターでは日本自転車振興会から機械工業振興資金の交付を受けて、データベースの構築および技術開発について民間企業、団体等に対して委託事業を実施している。委託事業の内容は、社会的、経済的、国際的に重要で、また地域および産業の発展の促進に寄与すると考えられているデータベースの構築とデータベース作成の効率化、流通の促進、利用の円滑化・容易化などに関係したソフトウェア技術・ハードウェア技術である。

本事業の推進に当って、当財団に学識経験者の方々に構成されるデータベース構築・技術開発促進委員会(委員長 東海大学教授 上篠史彦氏)を設置している。

この「インターネット型先進材料DB活用プログラムの開発」は平成9年度のデータベースの構築促進および技術開発促進事業として、当財団が(財)次世代金属・複合材料研究開発協会に対して委託実施した課題の一つである。この成果が、データベースに興味をお持ちの方々や諸分野の皆様方のお役に立てば幸いである。

なお、平成9年度データベースの構築促進および技術開発促進事業で実施した課題は次表のとおりである。

平成10年3月

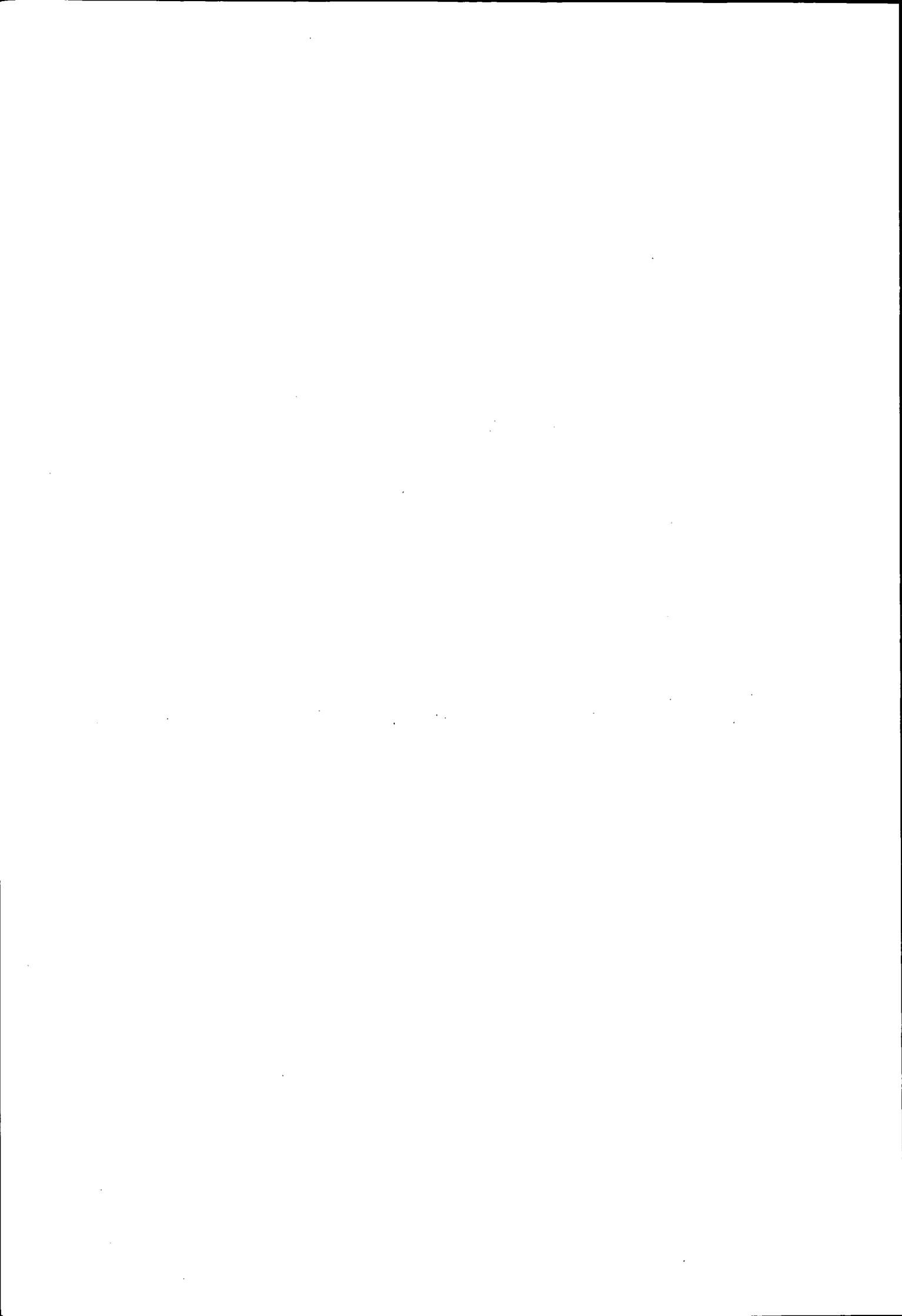
財団法人 データベース振興センター

平成9年度 データベース構築・技術開発促進 委託課題

分野	課題名	企業名
社 会	1 インターネット型先進材料DB活用プログラムの開発	(財)次世代金属・複合材料研究開発協会
	2 インターネットを利用したイベント関連情報に関するデータベースの構築	(社)日本イベント産業振興協会
	3 オーサリング型地図付地域ガイドデータベースのプロトタイプ構築	(財)地図情報センター
	4 高齢者在宅介護情報のデータベース構築	(株)フォワード
	5 筑波研究学園都市研究便覧インターネット対応化事業	(株)筑波出版会
	6 建築行政指導要綱のHTMLデータベース構築	日本建築法令(株)
	7 中小小売業のための商品仕入れ情報データベースプロトタイプ構築	(財)店舗システム協会
地域活性化	8 新聞記事・画像データベース構築	琉球新報社
技 術	9 イメージファイリングの効率的活用を目指す書誌情報データベース検索技術の構築	(株)会議録研究所
	10 やわらかい分散オブジェクトシステムに関する調査研究	(株)シネ・ジャーナルプロダクション

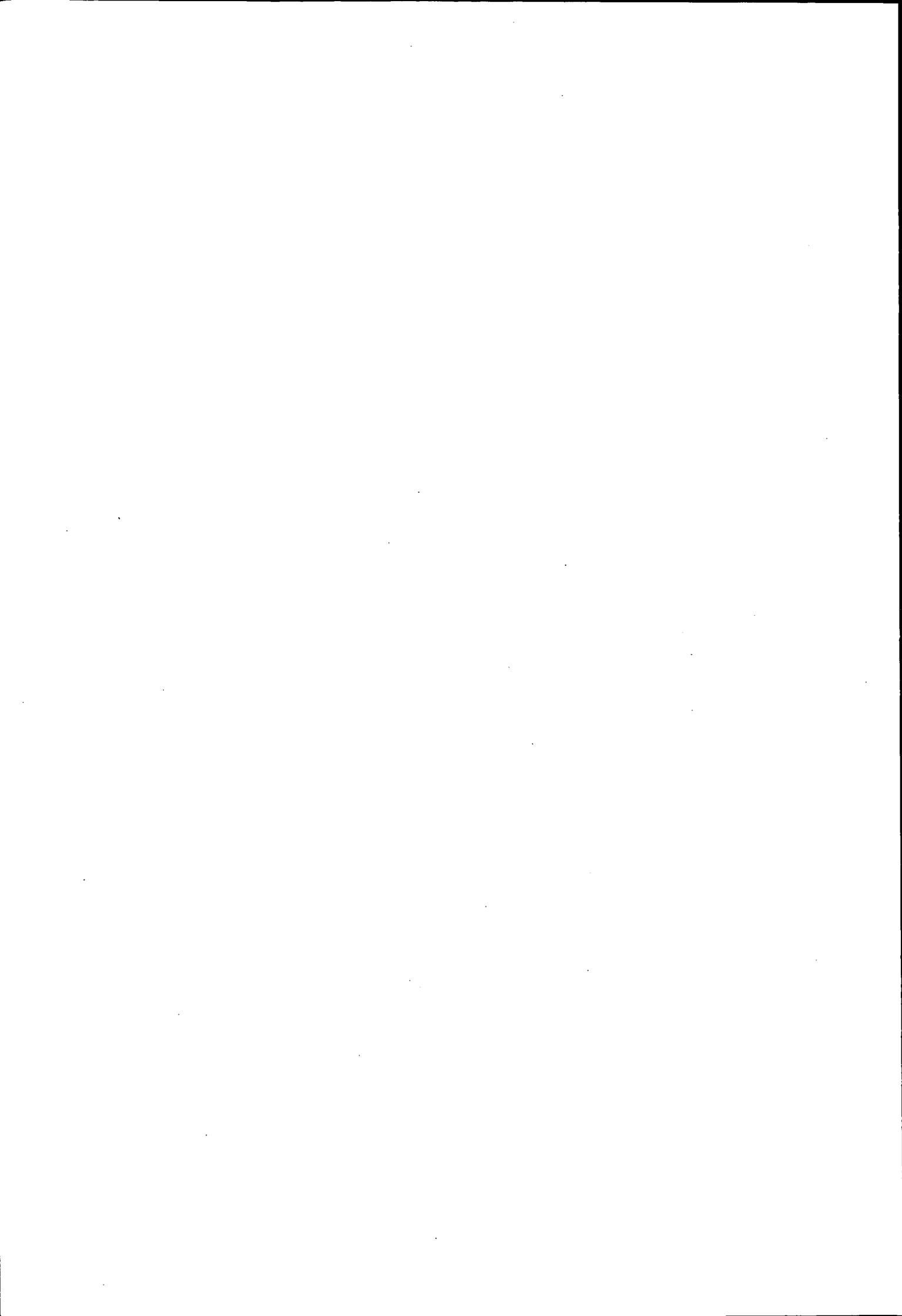
目次

概要編	実施概要	1
前編	ユーザーズマニュアル	11
後編	モジュールの構成・内容 ...	47



概要編

実施概要



実施概要

目次

1 開発の背景と目的	5
2 実施内容	5
2.1 実施体制	
2.2 実施期間	
2.3 プロジェクトの位置づけ	
2.4 開発モジュールの動作環境	
2.5 開発環境および使用ソフトウェア	
2.6 モジュールの概要	
2.7 モジュールの主な特徴	
3 モジュールのユーザズマニュアル	8
4 モジュールの構成と内容	9
4.1 積層板解析計算モジュール	
4.2 積層板設計計算モジュール	
4.3 モジュール開発	
4.4 モジュールのソースコード	
5 まとめ	10

1 開発の背景と目的

当協会では、先端産業(航空、宇宙、エネルギー等)に必要な有機、金属及びセラミックス等の先進複合材料に関する論文集やファクトデータベースをRIMCOF(協会)ホームページからアクセス可能なシステムへと発展させつつある。

複合材料DB(データベース)を材料設計に利用する場合、その材料構造や設計手順が複雑なため、データの有効活用が課題である。

今回、当協会の保有するこの種のDBの利用・普及を図るため、積層板設計計算モジュールをJava言語で開発し、複合材料設計アプリケーションの一部として、ユーザーのWeb環境での利用を可能にすること、また、インターネットWWWサーバでの情報発信を可能とすることを目的とした。

2 実施内容

2.1 実施体制

(1) 開発責任者

当協会専務理事はプログラム開発責任者を任命し、実施計画書に基づくプログラム開発の責任と権限を委任した。当該責任者は、協会外の開発指導担当者や外注先所属員等の協力者を含むチーム員を指揮し、各員の所掌する責任と権限を定め、これを遵守した。

(2) 開発指導担当者

方式設計、要件分析や検証テストについて、複合材料DBと知識工学の技術に明るい教授クラスの学識経験者に、会議での指導および専門分野での作業の一部実施を依頼した。

(3) 外注請負の協力会社等

協力内容：

- ・積層板設計計算モジュールソフト詳細設計の一部を含むプログラミングの請負。
- ・検証テスト。
- ・モジュール操作マニュアル、その他担当したプログラミング業務の経緯資料の作成等。

2.2 実施期間

平成9年度 月		/7	/8	/9	/10	/11	/12	/1	/2	/3
ACMDB委員会の開催					○			○		
実施項目	①システム仕様の設定									
	②入力モジュール制作									
	③計算モジュール開発									
	④出力モジュール制作									
	⑤検証テスト									
報告書の作成										

2.3 プロジェクトの位置づけ

現在計画している当協会DB事業の構成および今回開発した複合材料の積層板解析・設計計算モジュールの位置づけを以下に示す。

ホームページ



日本語環境



協会便り

協会賛助会員通信

協会主催のシンポジウム予稿集資料

協会受託事業報告書資料

協会プロジェクト事業資料

ファクトデータベース → 先進複合材料DB → 試験規格類

実験データ類

各種アプリケーション

下線部に当該モジュールを適用する。

2.4 開発モジュールの動作環境

(1) OS

Windows95またはWindowsNT4.0,
Macなら漢字talk (Mac OS) 7.1以上が動作すること

(2) Javaをサポートしているブラウザ

Internet Explorer 3.0以上か,
Netscape 2.0 以上が動作すること

(3) ネットワーク環境

ネットワークにTCP/IP接続できること

2.5 開発環境および使用ソフトウェア

本積層板設計計算モジュールは以下の環境およびソフトウェアを用いて開発された。

(1) OS 環境

WindowsNT4.0 および Windows95
(関連サイト <http://www.microsoft.com/japan/win95/>,
<http://www.microsoft.com/japan/products/network/>)

(2) 使用ソフトウェア

・ WWW ブラウザ

Internet Explorer3.0 および 4.0
(関連サイト http://www.microsoft.com/ie_intl/ja/)
Netscape Navigator2.0, 3.0 および 4.0
(関連サイト <http://home.netscape.com/ja/index.html>)

・ Java 関連

Microsoft Visual J++™
(<http://www.microsoft.com/japan/developer/visualj/>)
Java Development Kit (JDK)1.1
(関連サイト <http://ai-www.aist-nara.ac.jp/doc/people/tooru-t/Javal.1.1API/index.html>)

・ HTML 文書作成

Microsoft Word 97
(関連サイト <http://www.microsoft.com/japan/office/word/>)

2.6 モジュールの概要

(1) 本積層板設計計算モジュールは、繊維方向ヤング率や、繊維方向ポアソン比などの指定された値を入力することにより、面内ひずみや曲げ曲率などの解析計算を行い、さらにそれらをもとに積層構成を決定などの設計計算を行うものである。

(2) 既存のデータベースシステムでは、目的とする値の検索結果の表示しかできなかったが、このモジュールを用いることにより、ユーザが個々に設計シ

システムを用意しなくても、データベースの検索結果を用いて計算や設計を行うことが可能となる。

(3) また、Java言語を用いることにより、プラットフォームに依存せず、サーバにも負担が少ないモジュールの構築をすることができた。データを書き換えての計算や情報の更新がブラウザ上で行われ、ネットワーク与える負荷を軽減した。

2.7 モジュールの主な特徴

(1) 当該モジュールでは、繊維方向ヤング率、繊維直角方向ヤング率、繊維方向せん断性定数、繊維方向ポアソン比といった4つの値を入力すると、剛性マトリックス、弾性定数の不変量を出力として得ることができ、それをもとにして対称積層板の剛性や面内ひずみや曲げ曲率などの解析計算を行うことができる。

(2) 続いて片側積層数と各層の配向角をさらに入力し、弾性定数の不変量と弾性定数行列を用いることによって、積層パラメータ、剛性行列要素、コンプライアンス剛性行列要素、工学的弾性定数を得ることができる。このときに入力した各層の配向角は、チェックしやすいように画面に表示されるようになっている。

(3) さらに面内応力を入力し、コンプライアンス剛性行列要素を用いて、面内ひずみを求めることができるようになっている。

(4) また曲げモーメントと一層の厚さを入力すると、曲げコンプライアンス行列を用いることによって、当該積層板での曲げ曲率を求めることができる。

(5) 設計計算モジュールでは、繊維方向ヤング率、繊維直角方向ヤング率、繊維方向せん断性定数、繊維方向ポアソン比といった4つの値と面内積層パラメータの許容領域から各工学的弾性定数の等高線図を得ることができる。それに加えて、工学的弾性定数から2つを選択することで、その値から適する面内積層パラメータが求められるようになっている。さらにプライ比率を入力することにより適した繊維配向角を求められるようになっている。

3 モジュールのユーザーズマニュアル

本積層板の利用の手引きとしてオンラインマニュアルを作成した。内容として大きく分けて5つある。

積層板について

積層板計算モジュール概要

積層板計算モジュールの利用手順

積層板設計モジュール概要

積層板設計モジュールの利用方法

一つめの項目の「積層板について」の内容目次は更に詳細に分かれ、次のよ

うになっている。

- <積層板について>
- <繊維方向ヤング率とは>
- <繊維直角方向ヤング率とは>
- <繊維方向せん断弾性係数とは>
- <繊維方向ポアソン比とは>
- <積層パラメータとは>
- <プライ比率とは>
- <繊維配向角とは>

4 モジュールの構成と内容

4.1 積層板解析計算モジュール

本積層板解析計算モジュールは、指定された値を与えると、求める値を計算して出力するというものである。それぞれのモジュールは全く独立しているのではなく、あるモジュールの出力値を用いて次のモジュールの計算を行うというように関連している部分もある。それらのモジュールを下記にリストし、解析計算モジュールの種類であり、その関連は本文の後編に示す。

(Module1 計算項目：一方向強化材の弾性定数)

Module2 計算項目：対称積層板の面内剛性

Module3 計算項目：面内ひずみ

Module4 計算項目：対称積層板の曲げ剛性

Module5 計算項目：当該積層板での曲げ曲率

すべての計算モジュールは Module1 と関連しており、どのような値を求めるにしろ、まず弾性定数を求めることが必要となっている。

4.2 積層板設計計算モジュール

本積層板設計計算モジュールは、各工学的弾性定数を入力することにより、積層素材を決定したり、積層パラメータを求めたり、積層構成を決定するものである。それぞれのモジュールは全く独立しているのではなく、あるモジュールの出力値を用いて次のモジュールの計算を行うというように関連している部分もある。それらモジュールを示す。

(Module1 計算項目：一方向強化材の弾性定数)

Module6：面内積層パラメータ平面での剛性評価図

Module7：曲げ積層パラメータ平面での剛性評価図

Module8：二つの剛性に関する定数の指定による面内積層パラメータ

Module9：二つの剛性に関する定数の指定による曲げ積層パラメータ

Module10：面内積層パラメータからの積層構成決定

Module11：曲げ積層パラメータからの積層構成決定

4.3 モジュール開発

まず、横並びであった入力用フォームを機能的に配置する事で、入力項目が見やすく、その順序もわかりやすくすることが出来た。

InternetExplorer3.0以降とNetscapeNavigator3.0以降において入力フォームの表示サイズが違うため、Java・HTMLの両ソースを少し変更し最適な表示位置を実現した。

積層パラメータの計算と同時に対称積層板の積層構成を”LAMINATE TYPE-1”とし、プライ比率入力して得られた積層構成を”LAMINATE TYPE-2”とした。

使用されるシステムにおいて、JavaのLabelの日本語表示が読めない可能性があることが分かった。従って、極力日本語を避けるために”描画”を”DRAW”、”計算”を”CALCLATE”、そして”積層構成決定”を”CALC-ANGLE”とした。Javaは、プラットフォームに依存しないことがその特徴であるが、Mac版のInternetExplorer3.0やUNIX上のあるブラウザでは、文字化けすることが実際に起こっているため、この方法で対応した。

4.4 モジュールのソースコード

(1) 積層板解析計算モジュール

積層板解析計算モジュールでは、Microsoft J++のリソースエディタを用いて入力フォームを作成した。そのため、JavaファイルがModule.javaだけでなくGUI部品の作成、レイアウトをするIDD_DIALOG.java, DialogLayout.javaの3つになっている。また、これらのプログラムでModule1からModule5までの内容を含んだ統合的なものとなっている。

(2) 積層板設計計算モジュール

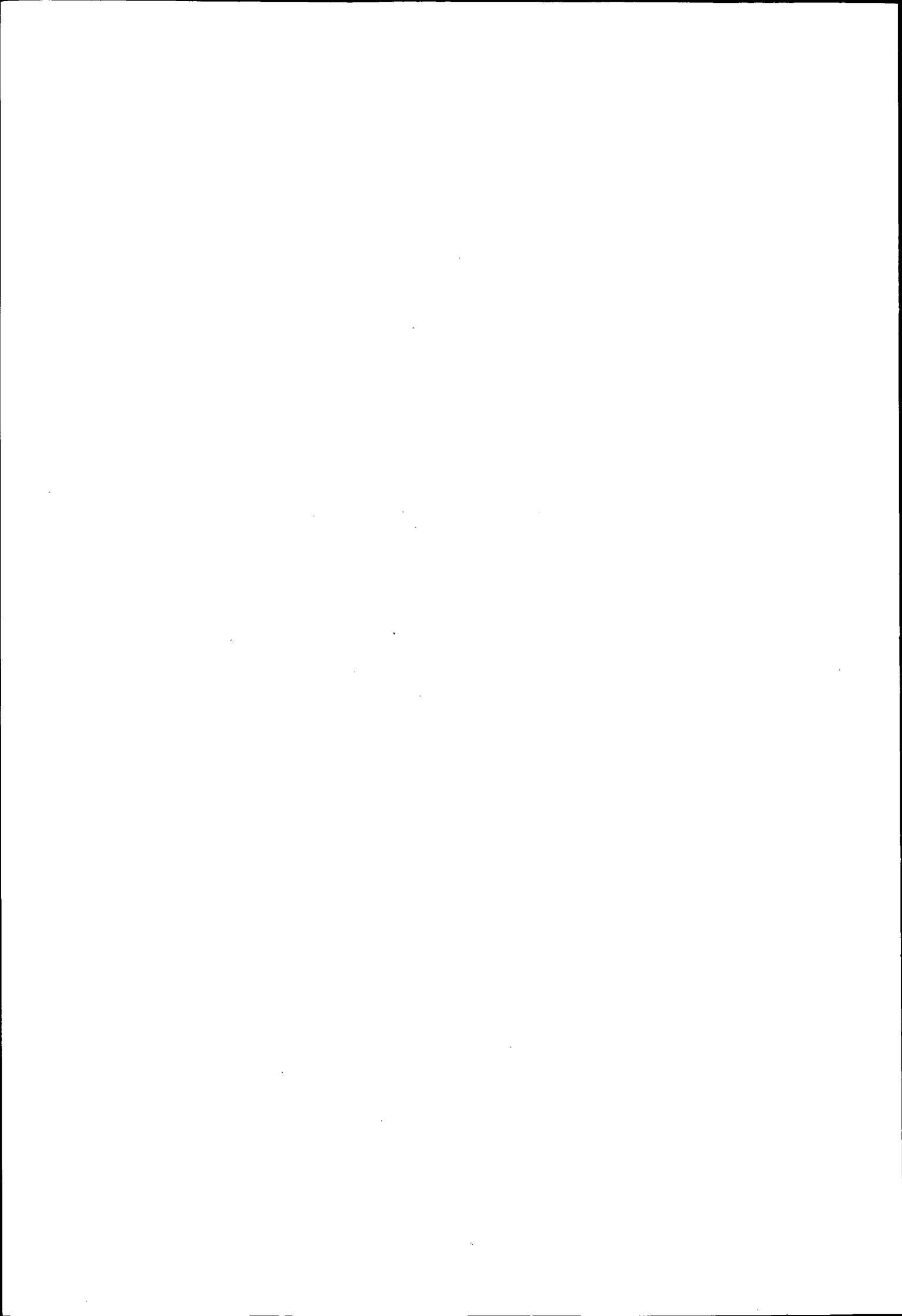
本積層板設計計算モジュールでは、リソースエディタを用いていないので、解析計算モジュールとは異なり、Javaファイルは1つだけである。Module6からModule11までがあるが、面内積層に関するModule10はModule6, 8の内容を含んでおり、曲げ積層に関するModule11はModule7, 9の内容を含んでいる。

5 まとめ

本積層板設計計算モジュールは、繊維方向ヤング率や、繊維方向ポアソン比などの指定された値を入力することにより、面内ひずみや曲げ曲率などの解析計算を行い、さらにそれらをもとに積層構成を決定などの設計計算を行うものである。既存のデータベースシステムでは、目的とする値の検索結果の表示しかできなかったが、このモジュールを用いることにより、ユーザが個々に設計システムを用意しなくても、データベースの検索結果を用いて計算や設計を行うことが可能となった。また、Java言語を用いることにより、プラットフォームに依存せず、サーバにも負担が少ないモジュールの構築をすることができた。

前編

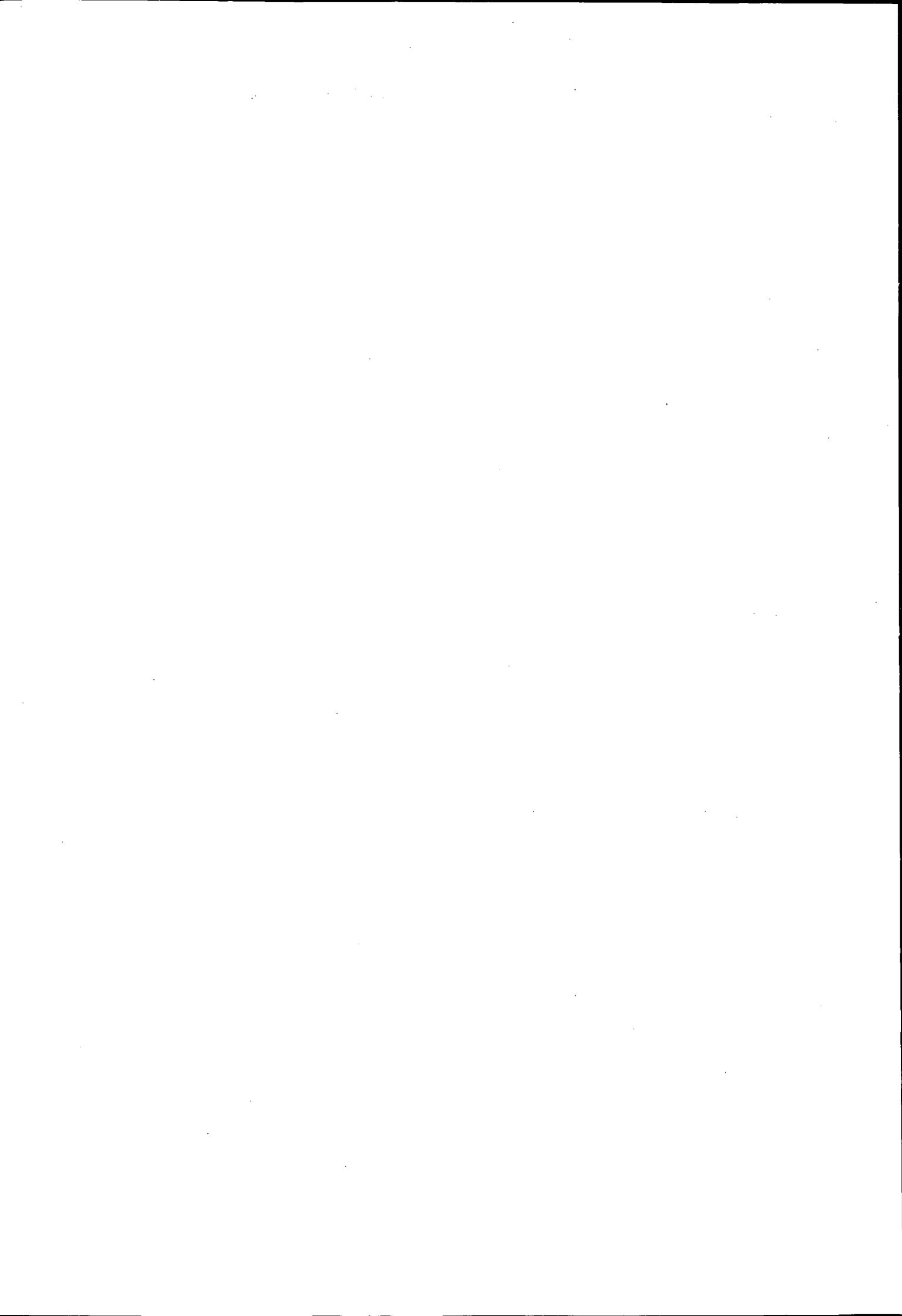
ユーザーズマニュアル



ユーザーズマニュアル

目次

1 システム概要	15
2 主な特徴	16
3 動作環境	17
4 計算モジュールの利用	18
4.1 一方向強化材の弾性定数	
4.2 対称積層板の剛性	
4.3 面内ひずみ	
4.4 当該積層板での曲げ曲率	
5 設計モジュールの利用	28
5.1 積層パラメータ平面での剛性評価図	
5.2 二つの剛性に関する定数の指定による積層パラメータ	
5.3 積層構成決定	
6 オンラインマニュアル	40
7 その他	46



1 システムの概要

本積層板設計計算モジュールは、繊維方向ヤング率や、繊維方向ポアソン比などの指定された値を入力することにより、面内ひずみや曲げ曲率などの解析計算を行い、さらにそれらをもとに積層構成を決定などの設計計算を行うものである。

既存のデータベースシステムでは、目的とする値の検索結果の表示しかなかったが、このモジュールを用いることにより、ユーザが個々に設計システムを用意しなくても、データベースの検索結果を用いて計算や設計を行うことが可能となる。

また、Java 言語を用いることにより、プラットフォームに依存せず、サーバにも負担が少ないモジュールの構築をすることができた。データを書き換えての計算や情報の更新がブラウザ上で行われ、ネットワーク与える負荷を軽減した。

2 主な特徴

解析計算モジュールでは、繊維方向ヤング率、繊維直角方向ヤング率、繊維方向せん断性定数、繊維方向ポアソン比といった 4 つの値を入力すると、剛性マトリックス、弾性定数の不変量を出力として得ることができ、それをもとにして対称積層板の剛性や面内ひずみや曲げ曲率などの解析計算を行うことができる。

続いて片側積層数と各層の配向角をさらに入力し、弾性定数の不変量と弾性定数行列を用いることによって、積層パラメータ、剛性行列要素、コンプライアンス剛性行列要素、工学的弾性定数を得ることができる。このときに入力した各層の配向角は、チェックしやすいように画面に表示されるようになっている。

さらに面内応力を入力し、コンプライアンス剛性行列要素を用いて、面内ひずみを求めることができるようになっている。

また曲げモーメントと一層の厚さを入力すると、曲げコンプライアンス行列を用いることによって、当該積層板での曲げ曲率を求めることができる。

設計計算モジュールでは、繊維方向ヤング率、繊維直角方向ヤング率、繊維方向せん断性定数、繊維方向ポアソン比といった 4 つの値と面内積層パラメータの許容領域から各工学的弾性定数の等高線図を得ることができる。それに加えて、工学的弾性定数から 2 つを選択することで、その値から適する面内積層パラメータが求められるようになっている。さらにプライ比率を入力することにより適した繊維配向角を求められるようになっている。

これらの機能によって、ユーザが個々に設計システムを用意しなくても、データベースの検索結果を用いて設計ができる。

また、Java 言語を用いることにより、プラットフォームに依存せず、サーバにも負担が少ないシステムの構築が実現。

3 動作環境

本積層板設計計算モジュールを動作させるためには、次のような環境が必要である。

1. OS

Windows95 または WindowsNT4.0,
Mac なら漢字 talk (Mac OS) 7.1 以上が動作する

2. Java をサポートしているブラウザ

Internet Explorer 3.0 以上か,
Netscape 2.0 以上が動作する

また、ネットワークを通じて本積層板設計計算モジュールを利用する場合、以上の2つに加えて

3. ネットワークに TCP/IP 接続できる

という環境が必要である。

4 計算モジュールの利用

4.1 一方向強化材の弾性定数 (Module1)

一方向強化材の弾性定数を求めるために繊維方向ヤング率 E_x [GPa], 繊維直角方向ヤング率 E_y [GPa], 繊維方向せん断弾性係数 E_s [GPa], 繊維方向ポアソン比 ν_{yx} の 4 つの値を入力すると, 次のような剛性マトリックスと弾性定数の不変量が出力として得られる. 入力値を一部変えたいときには, 変更する値だけ入力し直して「OK」のボタンを押せば求める値が得られる. (全てを入力し直す必要はない)

剛性マトリックス [GPa]

$$m = \left(1 - \frac{\nu_{yx}^2 E_y}{E_x} \right)^{-1}$$

$$Q_{xx} = mE_x$$

$$Q_{yy} = mE_y$$

$$Q_{xy} = \nu_{yx} E_y$$

$$Q_{ss} = E_s$$

弾性定数の不変量 [GPa]

$$U_1 = \frac{3}{8} Q_{xx} + \frac{3}{8} Q_{yy} + \frac{1}{4} Q_{xy} + \frac{1}{2} Q_{ss}$$

$$U_2 = \frac{1}{2} Q_{xx} - \frac{1}{2} Q_{yy}$$

$$U_3 = \frac{1}{8} Q_{xx} + \frac{1}{8} Q_{yy} - \frac{1}{4} Q_{xy} - \frac{1}{2} Q_{ss}$$

$$U_4 = \frac{1}{8} Q_{xx} + \frac{1}{8} Q_{yy} + \frac{3}{4} Q_{xy} - \frac{1}{2} Q_{ss}$$

$$U_5 = \frac{1}{8} Q_{xx} + \frac{1}{8} Q_{yy} - \frac{1}{4} Q_{xy} + \frac{1}{2} Q_{ss}$$

を得ることができる. これらの値は, 対象積層板の面内剛性, 曲げ剛性, 面内ひずみ, 当該積層板での曲げ曲率, 面内積層パラメータ, 曲げ積層パラメータなど, この積層板設計モジュールの計算に必要な様々な値を求めることに用いられる.

1)剛性マトリックスと弾性定数の不変量を求めます。4つの値を入力してください。
 積層素材として炭素繊維強化エポキシ樹脂CFRP、ケブラー繊維強化エポキシ樹脂KFRP、
 ガラス繊維強化エポキシ樹脂GFRPを用いる場合は、そのボタンを押してください。

繊維方向ヤング率[GPa]:

繊維直角方向ヤング率[GPa]:

繊維方向せん断弾性係数[GPa]:

繊維方向ポアソン比:

剛性マトリックス[GPa]		弾性定数の不変量[GPa]	
Q_{xx} :	<input type="text" value="181.811"/>	U_1 :	<input type="text" value="76.365"/>
Q_{yy} :	<input type="text" value="10.3462"/>	U_2 :	<input type="text" value="85.7325"/>
Q_{xy} :	<input type="text" value="2.884"/>	U_3 :	<input type="text" value="19.7137"/>
Q_{xz} :	<input type="text" value="7.17"/>	U_4 :	<input type="text" value="22.5977"/>
		U_5 :	<input type="text" value="26.8837"/>

図 4.1 一方向強化材の弾性定数 (1)

これらに加えてさらに繊維配向角 θ [度]を入力すると図 4.2 のように、以下の式から弾性定数行列、コンプライアンス行列を得ることができる。入力値を一部変えたいときには、変更する値だけ入力し直して「OK」のボタンを押せば求める値が得られる。

弾性定数行列[GPa]

$$\begin{aligned}
 Q_{11} &= U_1 + U_2 \cos 2\theta + U_3 \cos 4\theta \\
 Q_{22} &= U_1 - U_2 \cos 2\theta + U_3 \cos 4\theta \\
 Q_{12} &= U_4 - U_3 \cos 4\theta \\
 Q_{66} &= U_5 - U_3 \cos 4\theta \\
 Q_{16} &= \frac{U_2 \cos 2\theta}{2} + U_3 \sin 4\theta \\
 Q_{26} &= \frac{U_2 \cos 2\theta}{2} - U_3 \sin 4\theta
 \end{aligned}$$

コンプライアンス行列[1/GPa]

$$q_{11} = \alpha(Q_{22}Q_{66} - Q_{26}^2)$$

$$q_{22} = \alpha(Q_{11}Q_{66} - Q_{16}^2)$$

$$q_{12} = \alpha(Q_{16}Q_{26} - Q_{12}Q_{66})$$

$$q_{66} = \alpha(Q_{11}Q_{22} - Q_{12}^2)$$

$$q_{16} = \alpha(Q_{12}Q_{26} - Q_{16}Q_{22})$$

$$q_{26} = \alpha(Q_{11}Q_{26} - Q_{12}Q_{16})$$

$$\alpha = \frac{1}{Q_{11}Q_{22}Q_{66} + 2Q_{12}Q_{26}Q_{16} - Q_{16}^2Q_{22} - Q_{12}^2Q_{66}}$$

2) 一方向強化材の弾性定数行列とコンプライアンス行列を求めます。
繊維配向角を入力してください。(必要でない場合は空へ)

繊維配向角[度]	弾性定数行列[GPa]	コンプライアンス行列[1/GPa]
30	Q11: 109.374	q11: 0.0347485
	Q22: 23.6419	q22: 0.0605279
	Q12: 32.4545	q12: -0.0078741
	Q66: 36.7405	q66: 0.114134
	Q16: 54.1958	q16: -0.0469601
	Q26: 20.0507	q26: 0.0323322

OK

図 4.2 一方向強化材の弾性定数 (2)

4.2 対称積層板の剛性 (Module2, 4)

対象積層板の剛性を求めるため、さらに片側積層数 N_H 、各層の配向角 θ_k [度] を入力する。そうすると出力として面内積層パラメータ、面内悟性行列要素、コンプライアンス剛性行列要素、工学的弾性定数を次の式から求めることができる。

面内積層パラメータ

$$V_1^* = \sum_{k=1}^{N_H} \left(\frac{k}{N_k} - \frac{k-1}{N_k} \right) \cos 2\theta_k$$

$$V_2^* = \sum_{k=1}^{N_H} \left(\frac{k}{N_k} - \frac{k-1}{N_k} \right) \cos 4\theta_k$$

$$V_3^* = \sum_{k=1}^{N_H} \left(\frac{k}{N_k} - \frac{k-1}{N_k} \right) \sin 2\theta_k$$

$$V_4^* = \sum_{k=1}^{N_H} \left(\frac{k}{N_k} - \frac{k-1}{N_k} \right) \sin 4\theta_k$$

面内剛性行列要素 [GPa]

$$A_{11}^* = U_1 + V_1^* U_2 + V_2^* U_3$$

$$A_{22}^* = U_1 - V_1^* U_2 + V_2^* U_3$$

$$A_{12}^* = U_4 - V_2^* U_3$$

$$A_{66}^* = U_5 - V_2^* U_3$$

$$A_{16}^* = \frac{V_3^* U_2}{2} + V_4^* U_3$$

$$A_{26}^* = \frac{V_3^* U_2}{2} - V_4^* U_3$$

コンプライアンス剛性行列要素 [1/GPa]

$$a_{11}^* = \gamma \left(A_{22}^* A_{66}^* - A_{26}^{*2} \right)$$

$$a_{22}^* = \gamma \left(A_{11}^* A_{66}^* - A_{16}^{*2} \right)$$

$$a_{12}^* = \gamma \left(A_{16}^* A_{26}^* - A_{12}^* A_{66}^* \right)$$

$$\begin{aligned}
a_{66}^* &= \gamma(A_{11}^* A_{22}^* - A_{12}^{*2}) \\
a_{16}^* &= \gamma(A_{12}^* A_{26}^* - A_{16}^* A_{22}^*) \\
a_{26}^* &= \gamma(A_{11}^* A_{26}^* - A_{12}^* A_{16}^*) \\
\gamma &= \frac{1}{A_{11}^* A_{22}^* A_{66}^* + 2A_{12}^* A_{26}^* A_{16}^* - A_{16}^{*2} A_{22}^* - A_{12}^{*2} A_{66}^* - A_{26}^{*2} A_{11}^*}
\end{aligned}$$

工学的弾性定数[GPa]

$$E_1 = \frac{1}{a_{11}^*}, \quad E_2 = \frac{1}{a_{22}^*}, \quad E_6 = \frac{1}{a_{66}^*}$$

工学的弾性定数

$$\begin{aligned}
\nu_{21}^* &= \frac{-a_{12}^*}{a_{11}^*}, \quad \nu_{12}^* = \frac{-a_{12}^*}{a_{22}^*}, \quad \nu_{61}^* = \frac{a_{16}^*}{a_{11}^*} \\
\nu_{62}^* &= \frac{a_{26}^*}{a_{22}^*}, \quad \nu_{16}^* = \frac{a_{16}^*}{a_{66}^*}, \quad \nu_{26}^* = \frac{a_{26}^*}{a_{66}^*}
\end{aligned}$$

また、ここでは同じ入力値で面内積層と曲げ積層に関する剛性が求められるようになっている。曲げ積層を選択すると次の式から曲げ積層パラメータ、曲げ剛性行列要素、曲げコンプライアンス剛性行列要素、工学的弾性定数を求められるようになっている。(Module4)

曲げ積層パラメータ

$$\begin{aligned}
W_1^* &= \sum_{k=1}^{N_R} \left\{ \left(\frac{k}{N_k} \right)^3 - \left(\frac{k-1}{N_k} \right)^3 \right\} \cos 2\theta_k \\
W_2^* &= \sum_{k=1}^{N_R} \left\{ \left(\frac{k}{N_k} \right)^3 - \left(\frac{k-1}{N_k} \right)^3 \right\} \cos 4\theta_k \\
W_3^* &= \sum_{k=1}^{N_R} \left\{ \left(\frac{k}{N_k} \right)^3 - \left(\frac{k-1}{N_k} \right)^3 \right\} \sin 2\theta_k
\end{aligned}$$

$$W_4^* = \sum_{k=1}^{N_H} \left\{ \left(\frac{k}{N_k} \right)^3 - \left(\frac{k-1}{N_k} \right)^3 \right\} \sin 4\theta_k$$

曲げ剛性行列要素[GPa]

$$D_{11}^* = U_1 + W_1^* U_2 + W_2^* U_3$$

$$D_{22}^* = U_1 - W_1^* U_2 + W_2^* U_3$$

$$D_{12}^* = U_4 - W_2^* U_3$$

$$D_{66}^* = U_5 - W_2^* U_3$$

$$D_{16}^* = \frac{W_3^* U_2}{2} + W_4^* U_3$$

$$D_{26}^* = \frac{W_3^* U_2}{2} - W_4^* U_3$$

曲げコンプライアンス剛性行列要素[1/GPa]

$$d_{11}^* = \xi (D_{22}^* D_{66}^* - D_{26}^{*2})$$

$$d_{22}^* = \xi (D_{11}^* D_{66}^* - D_{16}^{*2})$$

$$d_{12}^* = \xi (D_{16}^* D_{26}^* - D_{12}^* D_{66}^*)$$

$$d_{66}^* = \xi (D_{11}^* D_{22}^* - D_{12}^{*2})$$

$$d_{16}^* = \xi (D_{12}^* D_{26}^* - D_{16}^* D_{22}^*)$$

$$d_{26}^* = \xi (D_{11}^* D_{26}^* - D_{12}^* D_{16}^*)$$

$$\xi = \frac{1}{D_{11}^* D_{22}^* D_{66}^* + D_{12}^* D_{26}^* D_{16}^* - D_{16}^{*2} D_{22}^* - D_{12}^{*2} D_{66}^* - D_{26}^{*2} D_{11}^*}$$

工学的弾性定数[GPa]

$$E_1^f = \frac{1}{d_{11}^*}, \quad E_2^f = \frac{1}{d_{22}^*}, \quad E_6^f = \frac{1}{d_{66}^*}$$

工学的弾性定数

$$v_{21}^f = \frac{-d_{12}^*}{d_{11}^*}, \quad v_{12}^f = \frac{-d_{12}^*}{d_{22}^*}, \quad v_{61}^f = \frac{d_{16}^*}{d_{11}^*}$$

$$v_{62}^f = \frac{d_{16}^*}{d_{22}^*}, \quad v_{16}^f = \frac{d_{16}^*}{d_{66}^*}, \quad v_{26}^f = \frac{d_{26}^*}{d_{66}^*}$$

また「面内積層」、「曲げ積層」のボタンをクリックすると、同時に配向角の入力が図で表示され、目で確認することができるようになっている。(図 4.3)

3) 対称積層板の面内剛性と曲げ剛性を求めます。片側積層数と各層の配向角を入力してください。一層入力する毎に「NEXT」を押してください。「BACK」で訂正することもできます。

片側積層数
5

5 層目の配向角(度)
60
NEXT BACK

5	60
4	-30
3	40
2	25.5
1	100

<< 配向角の確認 >>

面内剛性 曲げ剛性

面内積層パラメータ		曲げ積層パラメータ	
V*1:	-0.0273448	W*1:	-0.0418811
V*2:	-0.276312	W*2:	-0.540348
V*3:	0.283987	W*3:	0.356752
V*4:	0.0461809	W*4:	-0.567058

面内剛性行列要素[GPa]		曲げ剛性行列要素[GPa]	
A*11:	68.5735	D*11:	62.1222
A*22:	73.2622	D*22:	69.3033
A*12:	28.0448	D*12:	33.2499
A*66:	32.3308	D*66:	37.5359
A*16:	13.0838	D*16:	4.11381
A*26:	11.263	D*26:	26.4714

図 4.3 対称積層板の剛性

配向角の入力は、角度を入力した後 NEXT ボタンを押すことによって何層目かを表示する数値が1つあがり次の角度を入力できるようになっている。そして最後まで（片側積層数と同じ数）入力が済むと、それ以上の NEXT ボタンを押しても動作しないようになっている。

また入力した値に間違いがあったときのために BACK ボタンを設けた。これを押すことで何層目かを示す数値が1つ戻り、前に入力した角度を確認し、訂正できるようになっている。このときに何十層も入力していると、確認する作業が手間取るため、配向角の入力図を表示させ、目で確認できるようにした。（配向角の入力図は「面内剛性」か「曲げ剛性」を押すことによって同時に表示される）

コンプライアンス剛性行列要素 [1/GPa]		曲げコンプライアンス剛性行列要素 [1/GPa]	
a*11:	0.0180756	d*11:	0.0229983
a*22:	0.0164959	d*22:	0.0280111
a*12:	-0.00612269	d*12:	-0.0137844
a*66:	0.0341661	d*66:	0.0387178
a*16:	-0.00518201	d*16:	0.00720059
a*26:	0.0032689	d*26:	0.0182435
工学的弾性定数 [GPa]		工学的弾性定数 [GPa]	
E1:	55.3231	E11:	43.4814
E2:	60.6211	E21:	35.7002
E6:	29.2687	E61:	25.8279
工学的弾性定数		工学的弾性定数	
NU11:	0.338726	NU211:	0.599363
NU12:	0.371164	NU121:	0.492104
NU61:	-0.286685	NU611:	0.313092
NU62:	0.198164	NU621:	0.651296
NU16:	-0.151671	NU161:	0.185976
NU26:	0.0956765	NU261:	0.471191

図 4.4 対称積層板の剛性（続き）

このように対称積層板の面内剛性と曲げ剛性を左右に配置することにより比較しやすくし、また同じ入力を2度繰り返さなくてもいいようになった。入力値を一部変えたいときには、変更する値だけ入力し直して「面内剛性」か「曲げ剛性」のボタンを押せば求める値が得られる。（全てを入力し直す必要はない）

4.3 面内ひずみ (Module3)

面内ひずみを計算するために面内応力 σ_1 , σ_2 , σ_6 [MPa] を入力すると出力として面内ひずみを求めることができる。(図 6.5) ここで繊維方向ヤング率や、各層の配向角を入力し直したいときは、その値を入力し直すだけで求める面内ひずみを得られる。

面内ひずみ

$$\varepsilon_1 = a_{11}^* \sigma_1 + a_{12}^* \sigma_2 + a_{16}^* \sigma_6$$

$$\varepsilon_2 = a_{12}^* \sigma_1 + a_{22}^* \sigma_2 + a_{26}^* \sigma_6$$

$$\varepsilon_6 = a_{16}^* \sigma_1 + a_{26}^* \sigma_2 + a_{66}^* \sigma_6$$

4)面内ひずみを求めます。面内応力を入力してください。

面内応力[MPa]		面内ひずみ[10 ⁻⁶]	
SIGMA1:	<input type="text" value="111"/>	EPS1:	<input type="text" value="1992.92"/>
SIGMA2:	<input type="text" value="1.1"/>	EPS2:	<input type="text" value="-657.224"/>
SIGMA6:	<input type="text" value="1.3"/>	EPS6:	<input type="text" value="-527.192"/>

図 4.5 面内ひずみ

4.4 当該積層板での曲げ曲率 (Module5)

当該積層板での曲げ曲率を計算するために、曲げモーメント M_1 , M_2 , M_6 [N·m], 一層の厚さ [mm] を入力すると出力として曲率を得ることができる。(図 4.6)

曲率

$$k_1 = \frac{12}{h^3} (d_{11}^* M_1 + d_{12}^* M_2 + d_{16}^* M_6)$$

$$k_2 = \frac{12}{h^3} (d_{12}^* M_1 + d_{22}^* M_2 + d_{26}^* M_6)$$

$$k_6 = \frac{12}{h^3} (d_{16}^* M_1 + d_{26}^* M_2 + d_{66}^* M_6)$$

5) 曲げ曲率を求めます。曲げモーメントと一層の厚さを入力してください。

曲げモーメント [N·m]	一層の厚さ [mm]	曲率
M1: 111	1	K1: 0.033063
M2: 13		K2: -0.00238819
M6: 53		K6: 0.0370617

OK

図 4.6 当該積層板での曲げ曲率

5 設計モジュールの利用

5.1 積層パラメータ平面での剛性評価図 (Module6, 7)

<面内積層パラメータ>

まず、リストボックスより素材を選択する。リストボックスには代表的な素材が三つ準備されてあるが、希望のものが無い場合や少しデータを変えたい場合は、その下のテキストフィールドに希望のデータを入力する。ここで"Ex"は繊維方向ヤング率, "Ey"は繊維直角方向ヤング率, "Es"は繊維方向せん断弾性係数, "NUyx"は繊維方向ポアソン比を表している。続いて表示させたい有効工学的弾性定数を選択し、その表示間隔を入力する。チェックボックスにチェックを入れ、「DRAW」ボタンを押すと弾性定数の不変量である $U_1 \sim U_5$ が求められ、そこから積層素材が決定する。この値と次式、および許容領域： $V_2^* \leq 1$, $V_2^* \geq 2V_1^{*2} - 1$ により積層パラメータ等高線図が表示される。(図 5.1)

$$E_1 \text{ 等高線: } V_2^* = \frac{U_2^2 V_1^{*2} - U_2 E_1 V_1^* + E_1 U_1 - U_1^2 + U_4^2}{U_3(2U_1 + 2U_4 - E_1)}$$

$$E_2 \text{ 等高線: } V_2^* = \frac{U_2^2 V_1^{*2} + U_2 E_2 V_1^* + E_2 U_1 - U_1^2 + U_4^2}{U_3(2U_1 + 2U_4 - E_2)}$$

$$E_6 \text{ 等高線: } V_2^* = \frac{U_5 - E_6}{U_3}$$

$$v_{21} \text{ 等高線: } V_2^* = \frac{v_{21} U_2 V_1^{*2} - v_{21} U_1 + U_4}{U_3(1 + v_{21})}$$

<曲げ積層パラメータ>

面内積層とほぼ同一内容で、面内積層パラメータ V_1^* , V_2^* が曲げ積層パラメータ W_1^* , W_2^* に、工学弾性定数(E_1 , E_2 , E_6 , v_{21})が見かけの工学弾性定数(E_1^f , E_2^f , E_6^f , v_{21}^f)にそれぞれ変わったものである。

まず、リストボックスより素材を選択する。リストボックスには代表

的な素材が三つ準備されてあるが、希望のものがない場合や少しデータを変えたい場合は、その下のテキストフィールドに希望のデータを入力する。ここで"Ex"は繊維方向ヤング率、"Ey"は繊維直角方向ヤング率、"Es"は繊維方向せん断弾性係数、"NUyx"は繊維方向ポアソン比を表している。続いて表示させたい有効工学的弾性定数を選択し、その表示間隔を入力する。チェックボックスにチェックを入れ、「DRAW」ボタンを押すと弾性定数の不変量である $U_1 \sim U_5$ が求められ、そこから積層素材が決定する。この値と次式、および許容領域： $W_2^* \leq 1$ 、 $W_2^* \geq 2W_1^{*2} - 1$ により積層パラメータ等高線図が表示される。

$$E_1^f \text{ 等高線: } W_2^* = \frac{U_2^2 W_1^{*2} - U_2 E_1^f W_1^* + E_1^f U_1 - U_1^2 + U_4^2}{U_3 (2U_1 + 2U_4 - E_1^f)}$$

$$E_2^f \text{ 等高線: } W_2^* = \frac{U_2^2 W_1^{*2} + U_2 E_2^f W_1^* + E_2^f U_1 - U_1^2 + U_4^2}{U_3 (2U_1 + 2U_4 - E_2^f)}$$

$$E_6^f \text{ 等高線: } W_2^* = \frac{U_5 - E_6^f}{U_3}$$

$$v_{21}^f \text{ 等高線: } W_2^* = \frac{v_{21}^f U_2 W_1^{*2} - v_{21}^f U_1 + U_4}{U_3 (1 + v_{21}^f)}$$

面内積層パラメータ平面での面内剛性評価図

まず工学的弾性係数を入力して下さい。
 初期設定は、T300/5208 Graphite/Epoxy:CFRPになっています。
 続いて表示させたい項目をチェックし、表示間隔を入力して下さい。
 あくまで“間隔”なので0.1以上にして下さい。
 全部入力が終わったら“DRAW”ボタンを押して下さい。

繊維方向ヤング率	Ex
繊維直角方向ヤング率	Ey
繊維方向せん断弾性係数	Es
繊維方向ポアソン比	NUyx

Material	T300/5208 CFRP	Interval		
Ex[GPa]	181	<input checked="" type="checkbox"/> E1	20	DRAW
Ey[GPa]	10.3	<input checked="" type="checkbox"/> E2	20	
Es[GPa]	7.17	<input checked="" type="checkbox"/> Eθ	10	
NUyx	0.28	<input checked="" type="checkbox"/> NU21	0.1	

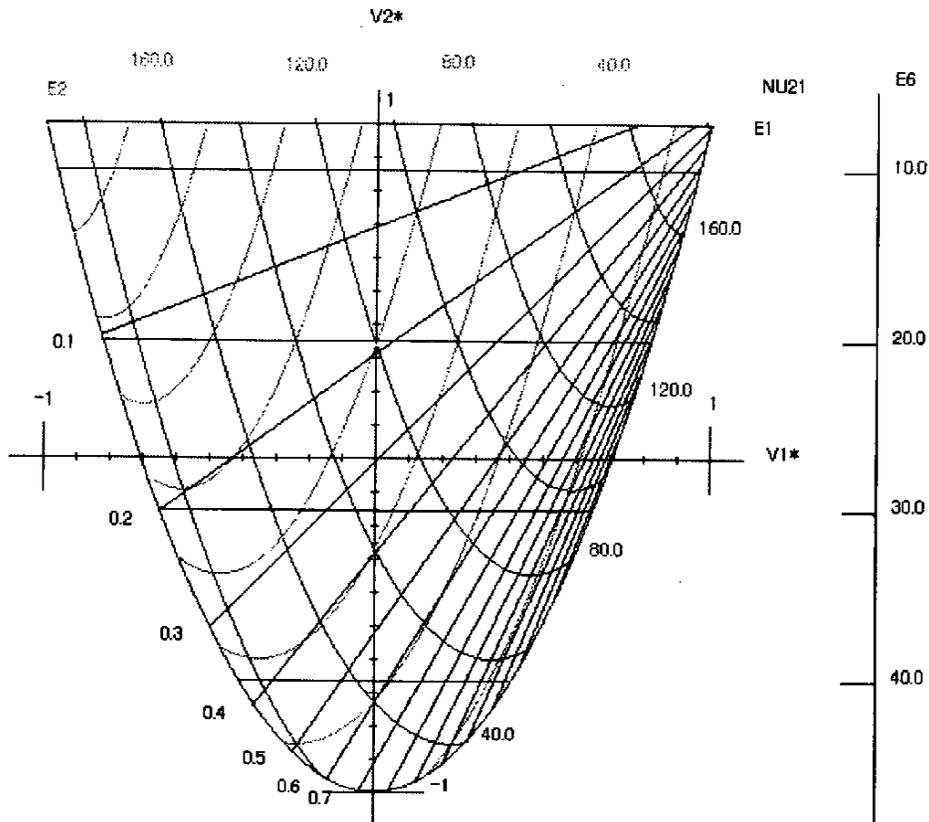


図 5.1 面内積層パラメータ平面での剛性評価図

5.2 二つの剛性に関する定数の指定による積層パラメータ (Module8, 9)

<2つの工学的弾性定数指定による面内積層パラメータ>

まず、リストボックスより素材を選択する。リストボックスには代表的な素材が三つ準備されてあるが、希望のものが無い場合や少しデータを変えたい場合は、その下のテキストフィールドに希望のデータを入力する。ここで"Ex"は繊維方向ヤング率, "Ey"は繊維直角方向ヤング率, "Es"は繊維方向せん断弾性係数, "NUyx"は繊維方向ポアソン比を表している。

続いて表示させたい有効工学的弾性定数を選択し、その値を入力する。チェックボックスにチェックを入れ、「DRAW」ボタンを押すと弾性定数の不変量である $U_1 \sim U_5$ が求められる。この値と次式、および許容領域： $V_2^* \leq 1$, $V_2^* \geq 2V_1^{*2} - 1$ により積層パラメータ等高線図が表示される。

$$E_1 \text{ 等高線: } V_2^* = \frac{U_2^2 V_1^{*2} - U_2 E_1 V_1^* + E_1 U_1 - U_1^2 + U_4^2}{U_3(2U_1 + 2U_4 - E_1)}$$

$$E_2 \text{ 等高線: } V_2^* = \frac{U_2^2 V_1^{*2} + U_2 E_2 V_1^* + E_2 U_1 - U_1^2 + U_4^2}{U_3(2U_1 + 2U_4 - E_2)}$$

$$E_6 \text{ 等高線: } V_2^* = \frac{U_5 - E_6}{U_3}$$

$$v_{21} \text{ 等高線: } V_2^* = \frac{v_{21} U_2 V_1^{*2} - v_{21} U_1 + U_4}{U_3(1 + v_{21})}$$

グラフを見ながら要求にあった弾性定数を入力し直し、チェックの入力を二つにし、「CALCULATE」ボタンを押す。すると、その交点の座標である、面内積層パラメータ" V_1^* ", " V_2^* "が計算される。範囲内に交点が二つあるときも両方表示される。このときは" (V_1^*) ", " (V_2^*) "にも表

示される。その上で必要とする方を" V_1^* "、" V_2^* "の方に入力するとその値が次の「CALC-ANGLE」ボタンに適用される。(図 5.2)

<2つの工学的弾性定数指定による曲げ積層パラメータ>

面内積層とはほぼ同一内容で、面内積層パラメータ V_1^* 、 V_2^* が曲げ積層パラメータ W_1^* 、 W_2^* に、工学弾性定数 (E_1 、 E_2 、 E_6 、 ν_{21}) が見かけの工学弾性定数 (E_1^f 、 E_2^f 、 E_6^f 、 ν_{21}^f) にそれぞれ変わったものである。

まず、リストボックスより素材を選択する。リストボックスには代表的な素材が三つ準備されてあるが、希望のものがない場合や少しデータを変えたい場合は、その下のテキストフィールドに希望のデータを入力する。ここで" E_x "は繊維方向ヤング率、" E_y "は繊維直角方向ヤング率、" E_s "は繊維方向せん断弾性係数、" ν_{yx} "は繊維方向ポアソン比を表している。

続いて表示させたい有効工学的弾性定数を選択し、その表示間隔を入力する。チェックボックスにチェックを入れ、「DRAW」ボタンを押すと弾性定数の不変量である $U_1 \sim U_5$ が求められる。この値と次式、および許容領域： $W_2^* \leq 1$ 、 $W_2^* \geq 2W_1^{*2} - 1$ により積層パラメータ等高線図が表示される。

$$E_1^f \text{ 等高線: } W_2^* = \frac{U_2^2 W_1^{*2} - U_2 E_1^f W_1^* + E_1^f U_1 - U_1^2 + U_4^2}{U_3 (2U_1 + 2U_4 - E_1^f)}$$

$$E_2^f \text{ 等高線: } W_2^* = \frac{U_2^2 W_1^{*2} + U_2 E_2^f W_1^* + E_2^f U_1 - U_1^2 + U_4^2}{U_3 (2U_1 + 2U_4 - E_2^f)}$$

$$E_6^f \text{ 等高線: } W_2^* = \frac{U_5 - E_6^f}{U_3}$$

$$v_{21}^f \text{等高線} : W_2^* = \frac{v_{21}^f U_2 W_1^{*2} - v_{21}^f U_1 + U_4}{U_3 (1 + v_{21}^f)}$$

グラフを見ながら要求にあった弾性定数を入力し直し、最終的に決定するとチェックの入力を二つにし、「CALCULATE」ボタンを押す。すると、その交点の座標である、曲げ積層パラメータ" W_1^* "、" W_2^* "が計算される。範囲内に交点が二つあるときも両方表示される。このときは" W_1^* "、" W_2^* "にも表示される。その上で必要とする方を" W_1^* "、" W_2^* "の方に入力するとその値が次の「CALC-ANGLE」ボタンに適用される。

面内積層パラメータ平面での面内剛性評価図

まず工学的弾性係数を入力して下さい。
 初期設定は、T300/5208 Graphite/Epoxy: CFRPIになっています。
 続いて表示させたい項目をチェックし、値を入力して下さい。
 入力が終わったら“DRAW”ボタンを押して下さい。
 次に、項目二つのみチェックし“CALCULATE”ボタンを押して下さい。
 面内積層パラメータV1*、V2*が表示されます。

繊維方向ヤング率	Ex
繊維直角方向ヤング率	Ey
繊維方向せん断弾性係数	Es
繊維方向ポアソン比	NUyx

Material	T300/5208 CFRPI	<input checked="" type="checkbox"/> E1 [GPa]	120	<input type="checkbox"/> E2 [GPa]	40	<input type="checkbox"/> E3 [GPa]	15	<input checked="" type="checkbox"/> NU21	0.2	DRAW	V1*	0.396872
Ex [GPa]	181	<input type="checkbox"/> E4 [GPa]		<input type="checkbox"/> E5 [GPa]		<input type="checkbox"/> E6 [GPa]		<input type="checkbox"/> NU12		CALCULATE	V2*	0.597286
Ey [GPa]	10.3										V1*	
Es [GPa]	7.17										V2*	
NUyx	0.28											

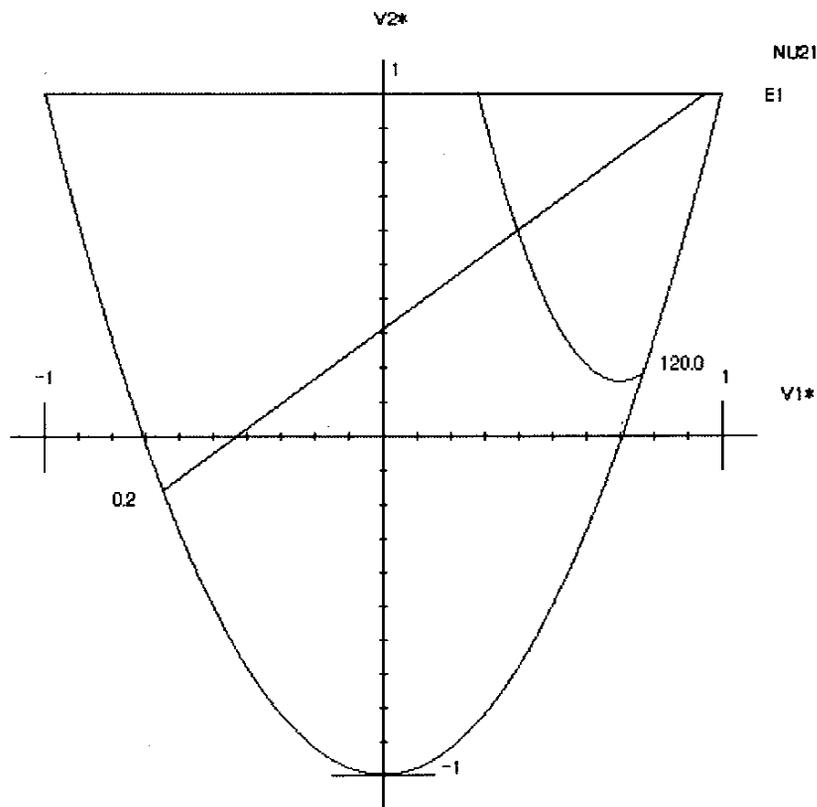


図 5.2 二つの剛性に関する定数の指定による積層パラメータ

5.3 積層構成決定 (Module10, 11)

<面内積層パラメータからの積層構成決定>

まず、リストボックスより素材を選択する。リストボックスには代表的な素材が三つ準備されてあるが、希望のものが無い場合や少しデータを変えたい場合は、その下のテキストフィールドに希望のデータを入力する。ここで"Ex"は繊維方向ヤング率, "Ey"は繊維直角方向ヤング率, "Es"は繊維方向せん断弾性係数, "NUyx"は繊維方向ポアソン比を表している。

続いて表示させたい有効工学的弾性定数を選択し、その表示間隔を入力する。チェックボックスにチェックを入れ、「DRAW」ボタンを押すと弾性定数の不変量である $U_1 \sim U_5$ が求められる。この値と次式、および許容領域： $V_2^* \leq 1$, $V_2^* \geq 2V_1^{*2} - 1$ により積層パラメータ等高線図が表示される。

$$E_1 \text{ 等高線: } V_2^* = \frac{U_2^2 V_1^{*2} - U_2 E_1 V_1^* + E_1 U_1 - U_1^2 + U_4^2}{U_3(2U_1 + 2U_4 - E_1)}$$

$$E_2 \text{ 等高線: } V_2^* = \frac{U_2^2 V_1^{*2} + U_2 E_2 V_1^* + E_2 U_1 - U_1^2 + U_4^2}{U_3(2U_1 + 2U_4 - E_2)}$$

$$E_6 \text{ 等高線: } V_2^* = \frac{U_5 - E_6}{U_3}$$

$$v_{21} \text{ 等高線: } V_2^* = \frac{v_{21} U_2 V_1^{*2} - v_{21} U_1 + U_4}{U_3(1 + v_{21})}$$

グラフを見ながら要求にあった弾性定数を入力し直し、最終的に決定するとチェックの入力を二つにし、「CALCULATE」ボタンを押す。すると、その交点の座標である、面内積層パラメータ " V_1^* ", " V_2^* " が計算

される。範囲内に交点が二つあるときも両方表示される。このときは" V_1^* "、" V_2^* "にも表示される。その上で必要とする方を" V_1^* "、" V_2^* "の方にするとその値が次の「CALC-ANGLE」ボタンに適用される。

「CALC-ANGLE」ボタンを押すと求めたい項目が計算される。また、対称積層板の場合、つまり $\theta_1=0$ のときの値も表示される。なお、交点が二つある場合、左の欄にあるパラメータが利用される。右の欄の値を使用したいときは、「CALC-ANGLE」ボタンを押す前に、左の欄に直接その値を入力すればよい。プライ比率は"PLY1"、"PLY2"で、繊維配向角は"ANG1"、"ANG2"である。(図 5.3, 5.4)

< 曲げ積層パラメータからの積層構成の決定 >

面内積層パラメータのときとほぼ同一内容で、面内積層パラメータ V_1^* 、 V_2^* が曲げ積層パラメータ W_1^* 、 W_2^* に、工学弾性定数(E_1 、 E_2 、 E_6 、 ν_{21})が見かけの工学弾性定数(E_1^f 、 E_2^f 、 E_6^f 、 ν_{21}^f)にそれぞれ変わったものである。

まず、リストボックスより素材を選択する。リストボックスには代表的な素材が三つ準備されてあるが、希望のものが無い場合や少しデータを変えたい場合は、その下のテキストフィールドに希望のデータを入力する。ここで"Ex"は繊維方向ヤング率、"Ey"は繊維直角方向ヤング率、"Es"は繊維方向せん断弾性係数、"NUyx"は繊維方向ポアソン比を表している。

続いて表示させたい有効工学的弾性定数を選択し、その表示間隔を入力する。チェックボックスにチェックを入れ、「DRAW」ボタンを押すと弾性定数の不変量である $U_1 \sim U_5$ が求められる。この値と次式、および許容領域： $W_2^* \leq 1$ 、 $W_2^* \geq 2W_1^{*2} - 1$ により積層パラメータ等高線図が表示される。

$$E_1^f \text{ 等高線: } W_2^* = \frac{U_2^2 W_1^{*2} - U_2 E_1^f W_1^* + E_1^f U_1 - U_1^2 + U_4^2}{U_3(2U_1 + 2U_4 - E_1^f)}$$

$$E_2^f \text{ 等高線} : W_2^* = \frac{U_2^2 W_1^{*2} + U_2 E_2^f W_1^* + E_2^f U_1 - U_1^2 + U_4^2}{U_3(2U_1 + 2U_4 - E_2^f)}$$

$$E_6^f \text{ 等高線} : W_2^* = \frac{U_5 - E_6^f}{U_3}$$

$$v_{21}^f \text{ 等高線} : W_2^* = \frac{v_{21}^f U_2 W_1^{*2} - v_{21}^f U_1 + U_4}{U_3(1 + v_{21}^f)}$$

グラフを見ながら要求にあった弾性定数を入力し直し、最終的に決定するとチェックの入力を二つにし、「CALCULATE」ボタンを押す。すると、その交点の座標である、曲げ積層パラメータ" W_1^* "、" W_2^* "が計算される。範囲内に交点が二つあるときも両方表示される。このときは" (W_1^*) "、" (W_2^*) "にも表示される。その上で必要とする方を" W_1^* "、" W_2^* "の方に入力するとその値が次の「CALC-ANGLE」ボタンに適用される。

次に、繊維配向角とプライ比率のうち、入力する方にチェックを入れそれぞれ入力する。プライ比率を入力するときは、その値の小さい方を上の欄に入力するだけでよい。続いて、「CALC-ANGLE」ボタンを押すと求めたい項目が計算される。また、対称積層板の場合、つまり $\theta_1=0$ のときの値も表示される。なお、交点が二つある場合、左の欄にあるパラメータが利用される。右の欄の値を使用したいときは、「CALC-ANGLE」ボタンを押す前に直接左の欄にその値を入力すればよい。プライ比率は"PLY1"、"PLY2"で、繊維配向角は"ANG1"、"ANG2"である。

まず工学的弾性係数を入力して下さい。
 初期設定は、T300/5208 Graphite/Epoxy: CFRPIになっています。
 続いて表示させたい項目をチェックし、値を入力して下さい。
 入力が終わったら“DRAW”ボタンを押して下さい。
 次に、項目二つのみチェックし“CALCULATE”ボタンを押して下さい。
 面内積層パラメータV1*,V2*が表示されます。
 次に、プライ比率を入力して下さい。
 “CALC-ANGLE”ボタンを押すと繊維配向角が表示されます。
 対称積層板の場合($\theta=0$ の場合)も表示されます。

繊維方向ヤング率	Ex
繊維直角方向ヤング率	Ey
繊維方向せん断弾性係数	Es
繊維方向ポアソン比	NUyx

面内積層パラメータ	V1*,V2*
プライ比率	PLY
繊維配向角	ANG

Material	T300/5208 CFRP	<input type="checkbox"/> E1[GPa]	120	V1*	
Ex[GPa]	181	<input type="checkbox"/> E2[GPa]	40	V2*	
Ey[GPa]	10.3	<input type="checkbox"/> Es[GPa]	15	(V1*)	
Es[GPa]	7.17	<input type="checkbox"/> NUz1	0.2	(V2*)	
NUyx	0.28	DRAW			
		CALCULATE			

図 5.3 積層構成の決定 (1)

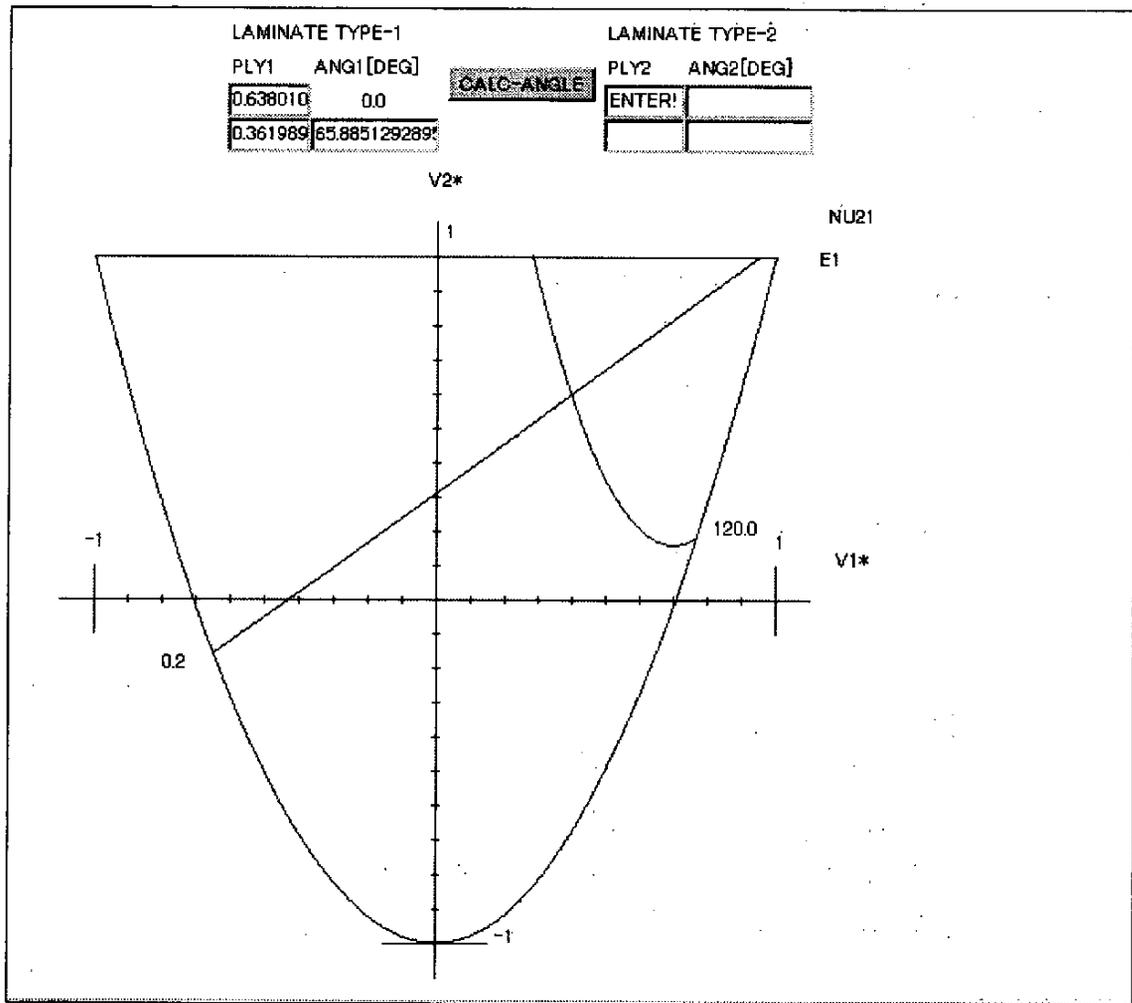


図 5.4 積層構成の決定 (2)

6 オンラインマニュアル

本積層板の利用の手引きとしてオンラインマニュアルを作成した。内容として大きく分けて5つあり、積層板そのものに関する説明である「積層板について」、計算モジュールそのものに関する説明の「積層板計算モジュール概要」、計算モジュールの使い方に関する「積層板計算モジュールの利用手順」、設計モジュールそのものに関する説明の「積層板設計モジュール概要」、設計モジュールの使い方に関する「積層板設計モジュールの利用手順」となっている。(図 6.1)

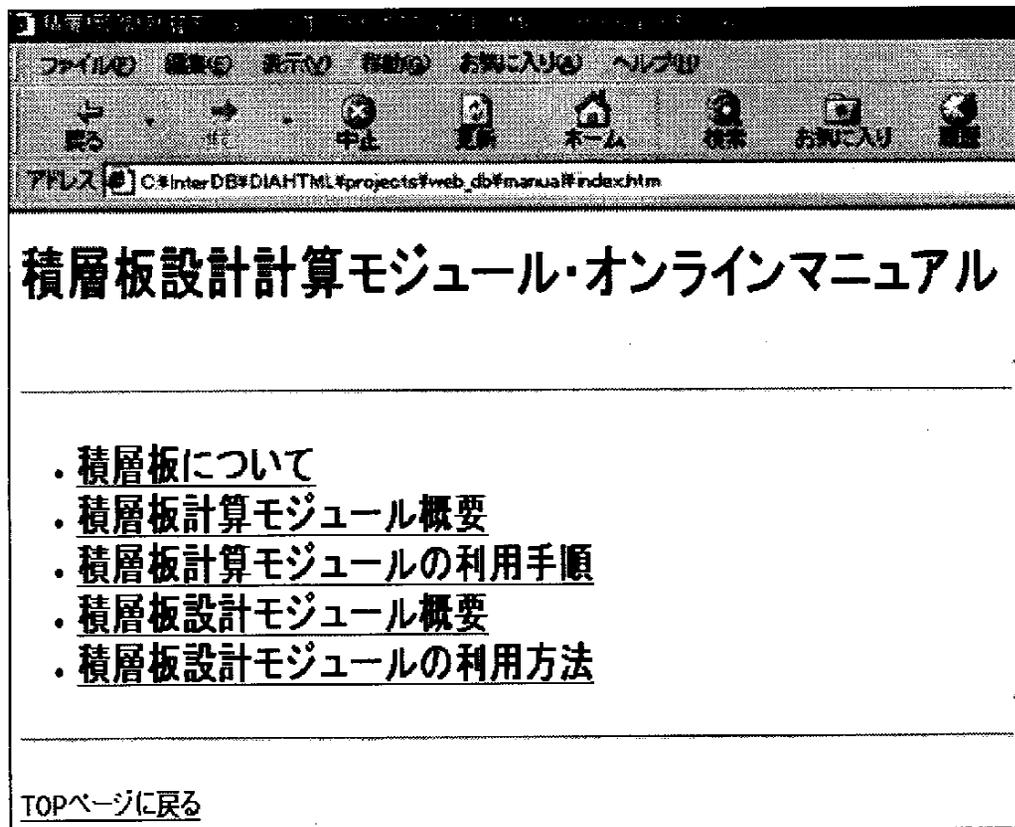


図 6.1 オンラインマニュアル目次

一つめの項目の「積層板について」の目次は図 6.2 のようになっており、積層板、繊維方向ヤング率、繊維方向ヤング率、繊維方向せん断性係数、繊維方向ポアソン比、積層パラメータ、プライ比率、繊維配向角について述べている。その他の 4 項目に関しては、第 4 章、第 5 章で詳しく述べているのでここでは触れない。

積層板について

積層板について
繊維方向ヤング率とは
繊維直角方向ヤング率とは
繊維方向せん断弾性係数とは
繊維方向ポアソン比とは
積層パラメータとは
プライ比率とは
繊維配向角とは

図 6.2 「積層板について」目次

<積層板について>

繊維強化複合材料積層板は、図 6.3 のようにラミナと呼ばれる薄い一方向繊維強化層の繊維配向角を変えながら厚さ方向に数十枚積層したものである。こうした積層の順序と各プライの配向角をまとめて積層構成と呼ぶ。全体が同じ配向角の場合には一方向材と呼ばれ、 $\pm\theta$ の配向角の組み合わせの場合にはアングルプライ積層と呼ばれる。また、厚さ方向に対称的に積層したものは、対称積層板と呼ぶ。

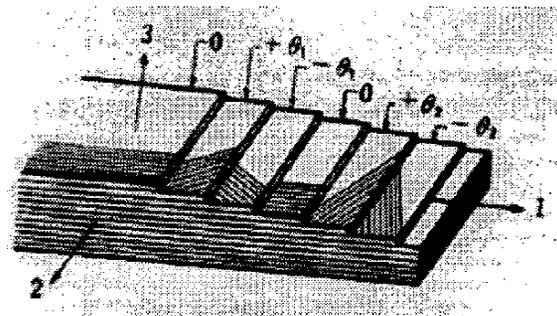


図 6.3 繊維強化複合材料積層板

また、複合材料とは、2種類以上の素材が複合された材料であり、単一の素材では表現できないような多様な特性を持つ材料のことである。その中でも繊維強化複合材料は構造材料として広範囲に用いられており、繊維とマトリックスの組みあわせにより繊維方向の強度を増した材料である。こうした積層材では用いる繊維と繊維配向角によってその構造要素の強度や剛性が大きく変化する。繊維配向角によってヤング率は20倍にも変化し、またせん断性定数も10倍近くに変化する。ポアソン比も著しい変化を示し、最大値は1を超えている。繊維配向角によって弾性特性が著しく変化すること、そして各弾性定数の間にトレードオフが存在することにより、材料設計の最適化が不可欠となる。

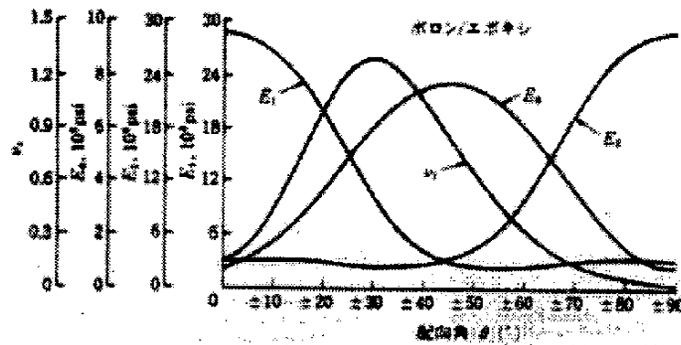


図 6.4 配向角と弾性特性の関係

<繊維方向ヤング率>

繊維方向と同じ方向に力が加わったときのヤング率

<繊維直角方向ヤング率>

繊維方向に直角な方向に力が加わったときのヤング率

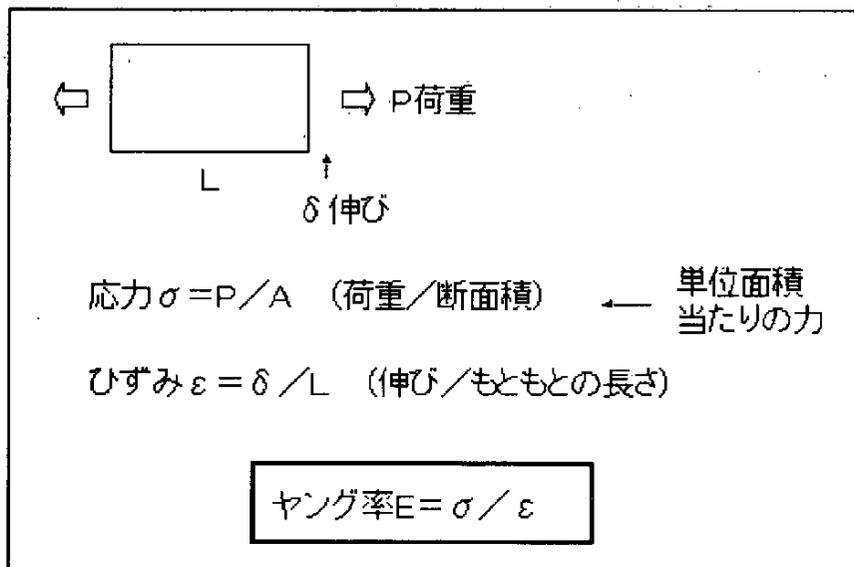


図 6.5 ヤング率

<繊維方向せん断弾性係数>

繊維をせん断する方向に力が加わったときの弾性係数

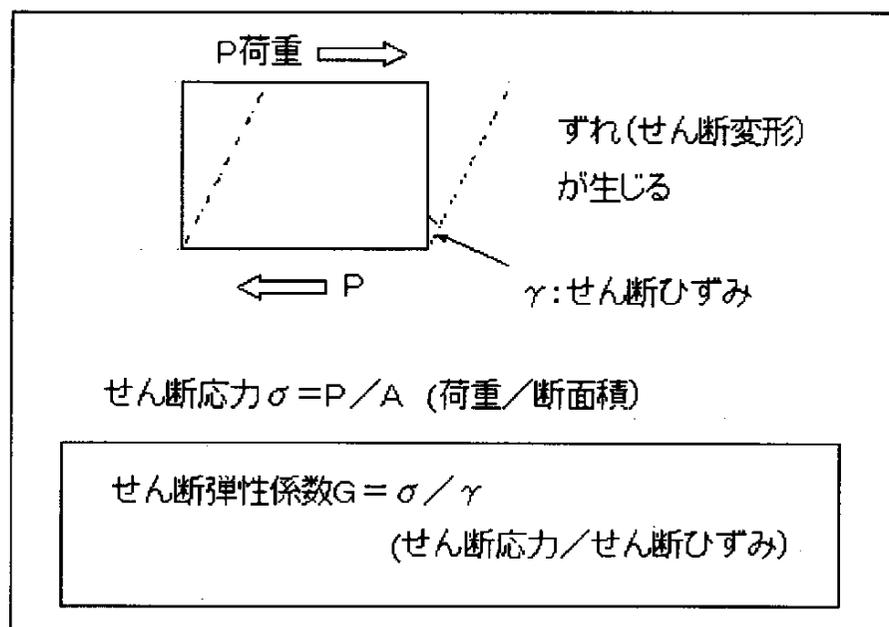


図 6.6 せん断弾性係数

<繊維方向ポアソン比>

力を加える方向を j 方向とし，それと直角の方向を i 方向とする。繊維方向ポアソン比は繊維の向きと同じ方向に力を加えたときのポアソン比である。

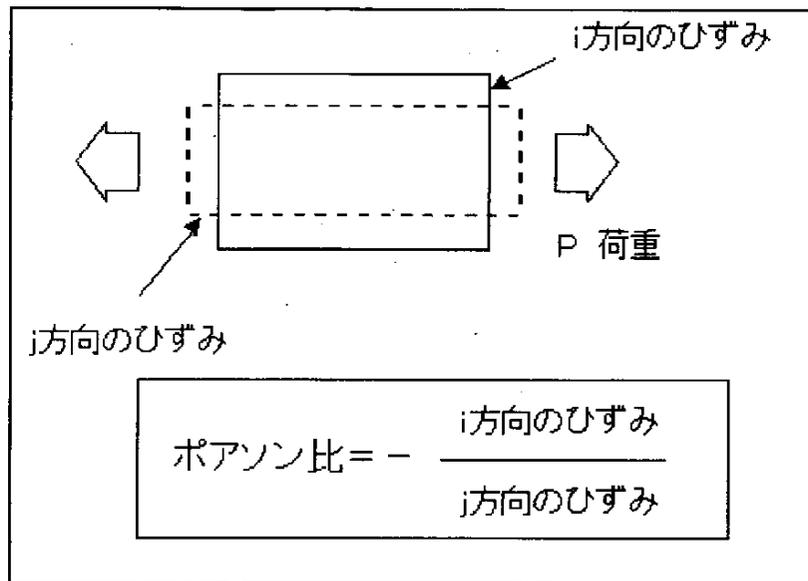


図 6.7 ポアソン比

<積層パラメータ>

多重アングルプライ対称積層板を考える。

$$\left[\left((\pm\theta_1)_{N_1} / (\pm\theta_2)_{N_2} / \dots / (\pm\theta_n)_{N_n} \right]_S \right]$$

この積層構成を 2 つの変数で示したものが次式である。

$$V_1^* = \frac{2}{h} \int_0^{\frac{h}{2}} \cos 2\theta z$$

$$V_2^* = \frac{2}{h} \int_0^{\frac{h}{2}} \cos 4\theta z$$

ただし、 h は積層板の厚さであり、この二つの変数 V_1^* 、 V_2^* が積層パラメータである。積層パラメータは容易に積層構成を表現し得るパラメータで、積層板の可能性が容易に検討できる、材料設計が可能になるなどの利点がある。また、許容領域は $V_2^* \leq 1$ 、 $V_2^* \geq 2V_1^{*2} - 1$ となる。

<繊維配向角>

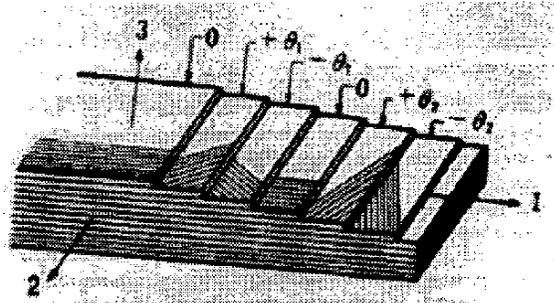


図 6.8 繊維配向角

積層板の座標系として、1, 2, 3 軸を考える。1-2 軸は平板の面内の座標軸であり、そのうち 1 軸は構造の代表的な軸となる。また 3 軸は平板の厚さ方向の軸となる。ここで繊維方向を x 軸、それと直角な方向を y 軸とすると、 x 軸と 1 軸とがなす角が繊維配向角となる。もちろん x 軸、 y 軸は各層ごとに異なる。また、全体が同じ配向角の場合には一方向材と呼ばれ、 $\pm \theta$ の配向角の組み合わせの場合にはアングルプライ積層と呼ばれる。

<プライ比率>

積層板の構成において、配向角の異なる積層素材を重ねていくことにより、積層構成が決定する。このときの積層の厚さの比がプライ比率である。

7 その他

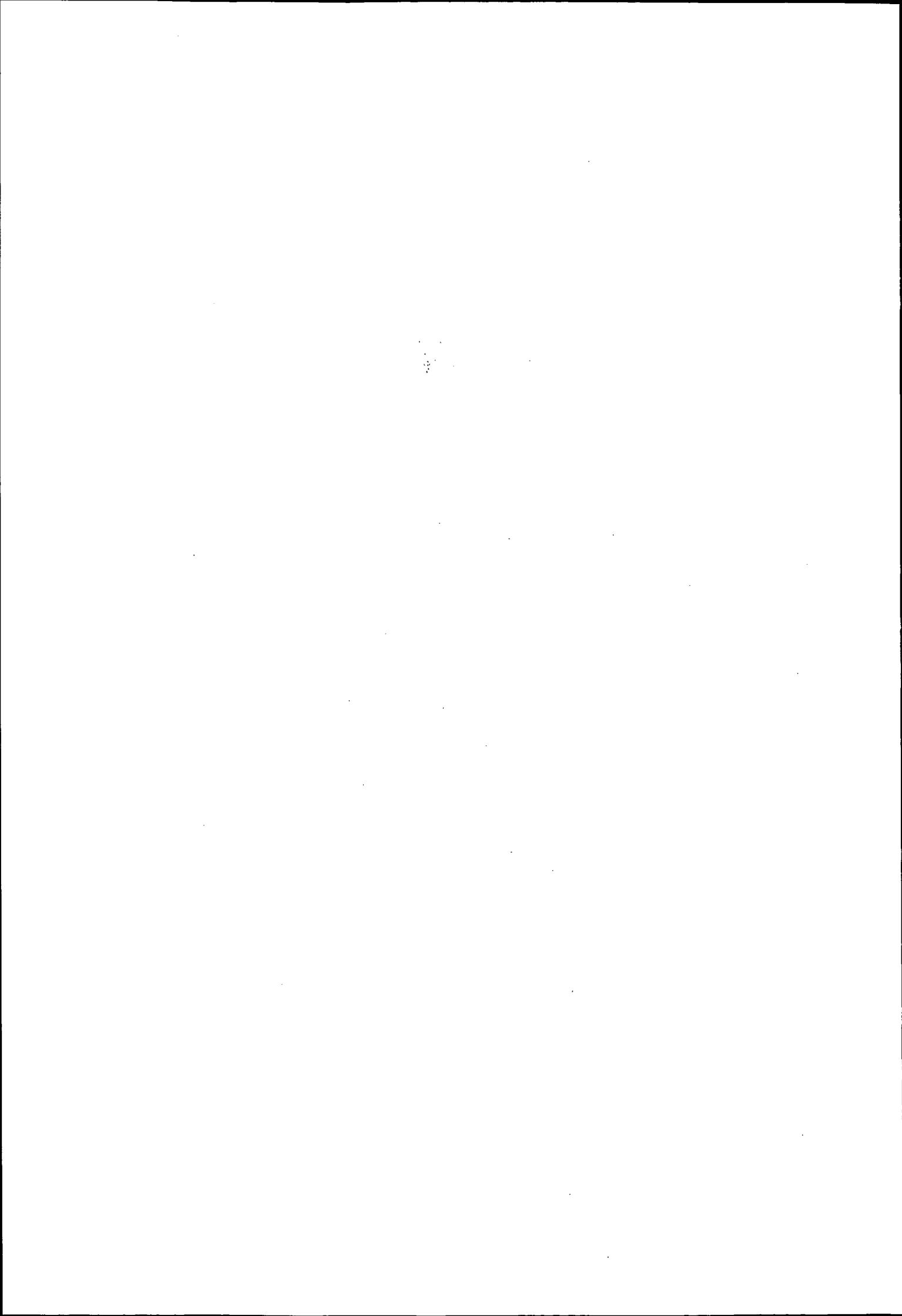
<画像の表示について>

本積層板モジュールを利用しているときに、画面を上下または左右にスクロールさせると、文字がつぶれて読めなくなったり、消えたりすることがあります。その時は再読み込み（リロード）してください。

また、ブラウザのバージョンによっては「OK」ボタンなどを押しても、図が描写されないものもあります。このときも再読み込みしてください。

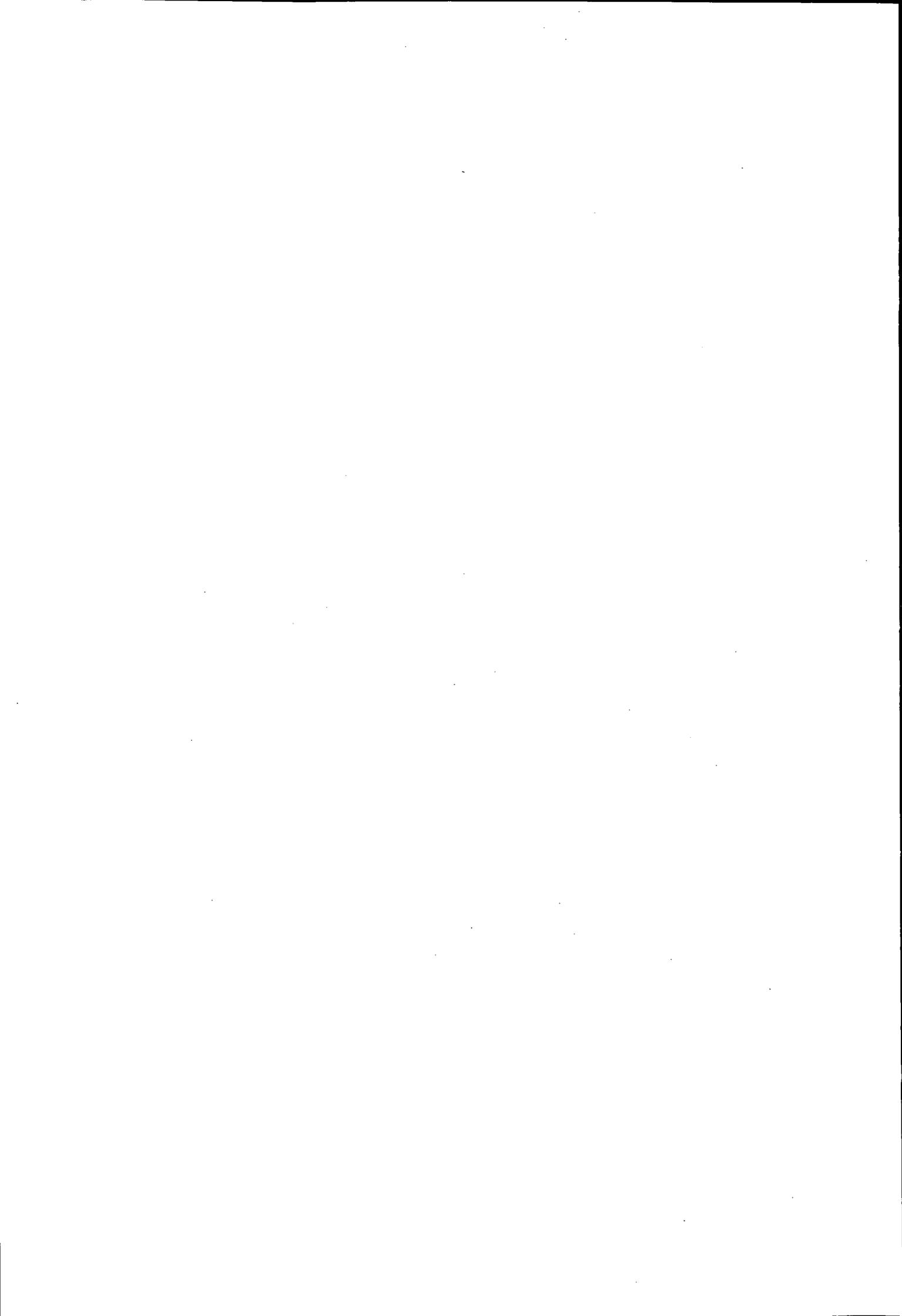
後編

モジュールの構成・内容



モジュールの構成・内容 目次

1 システムの概要	53
2 主な特徴	54
3 動作環境	55
4 開発環境および使用ソフトウェア	56
5 モジュールの関連	57
5.1 積層板解析計算モジュール	
5.2 積層板設計計算モジュール	
6 積層板解析計算	64
6.1 解析計算	
6.2 機能	
6.2.1 一方向強化材の弾性定数	
6.2.2 対称積層板の剛性	
6.2.3 面内ひずみ	
6.2.4 当該積層板での曲げ曲率	
6.3 モジュール開発	
7 積層板設計計算機能	76
7.1 設計計算	
7.2 機能	
7.2.1 積層パラメータ平面での剛性評価図	
7.2.2 二つの剛性の剛性に関する定数指定による積層パラメータ	
7.2.3 積層パラメータからの積層構成決定	
7.3 モジュール開発	



8 モジュールのソースコードの解説 **87**

8.1 積層板解析計算モジュール

8.1.1 変数設定

8.1.2 モジュールとの対応

8.1.3 その他

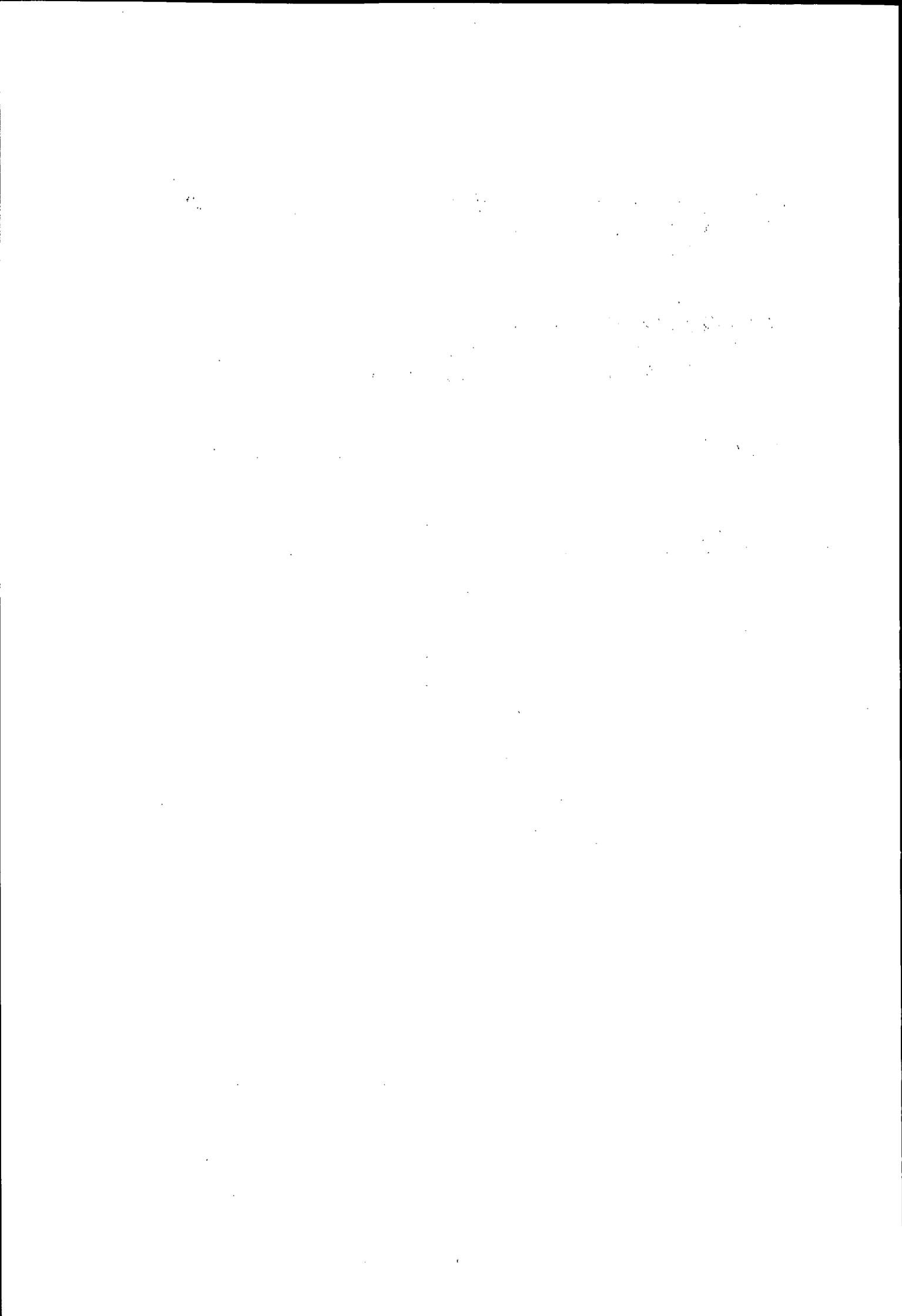
8.2 積層板設計計算モジュール

8.2.1 面内積層パラメータからの積層構成決定

8.2.2 曲げ積層パラメータからの積層構成決定

9 まとめ **120**

10 参考文献 **121**



1 システムの概要

本積層板設計計算モジュールは、繊維方向ヤング率や、繊維方向ポアソン比などの指定された値を入力することにより、面内ひずみや曲げ曲率などの解析計算を行い、さらにそれらをもとに積層構成を決定などの設計計算を行うものである。

既存のデータベースシステムでは、目的とする値の検索結果の表示しかできなかったが、このモジュールを用いることにより、ユーザが個々に設計システムを用意しなくても、データベースの検索結果を用いて計算や設計を行うことが可能となる。

また、Java 言語を用いることにより、プラットフォームに依存せず、サーバにも負担が少ないモジュールの構築をすることができた。データを書き換えての計算や情報の更新がブラウザ上で行われ、ネットワーク与える負荷を軽減した。

2 主な特徴

解析計算モジュールでは、繊維方向ヤング率、繊維直角方向ヤング率、繊維方向せん断性定数、繊維方向ポアソン比といった 4 つの値を与えると、剛性マトリックス、弾性定数の不変量を出力として得ることができ、それをもとにして対称積層板の剛性や面内ひずみや曲げ曲率などの解析計算を行うことができる。

続いて片側積層数と各層の配向角をさらに入力し、弾性定数の不変量と弾性定数行列を用いることによって、積層パラメータ、剛性行列要素、コンプライアンス剛性行列要素、工学的弾性定数を得ることができる。このときに入力した各層の配向角は、チェックしやすいように画面に表示されるようになっている。

さらに面内応力を入力し、コンプライアンス剛性行列要素を用いて、面内ひずみを求めることができるようになっている。

また曲げモーメントと一層の厚さを与えると、曲げコンプライアンス行列を用いることによって、当該積層板での曲げ曲率を求めることができる。

設計計算モジュールでは、繊維方向ヤング率、繊維直角方向ヤング率、繊維方向せん断性定数、繊維方向ポアソン比といった 4 つの値と面内積層パラメータの許容領域から各工学的弾性定数の等高線図を得ることができる。それに加えて、工学的弾性定数から 2 つを選択することで、その値から適する面内積層パラメータが求められるようになっている。さらにプライ比率を入力することにより適した繊維配向角を求められるようになっている。

これらの機能によって、ユーザが個々に設計システムを用意しなくても、データベースの検索結果を用いて設計ができる。

また、Java 言語を用いることにより、プラットフォームに依存せず、サーバにも負担が少ないシステムの構築が実現。

3 動作環境

本積層板設計計算モジュールを動作させるためには、次のような環境が必要である。

1. OS

Windows95 または WindowsNT4.0,
Mac なら漢字 talk (Mac OS) 7.1 以上が動作する

2. Java をサポートしているブラウザ

Internet Explorer 3.0 以上か,
Netscape 2.0 以上が動作する

また、ネットワークを通じて本積層板設計計算モジュールを利用する場合、以上の2つに加えて

3. ネットワークに TCP/IP 接続できる

という環境が必要である。

4 開発環境および使用ソフトウェア

本積層板設計計算モジュールは以下の環境およびソフトウェアを用いて開発された。

1. OS 環境

WindowsNT4.0 および Windows95

(関連サイト <http://www.microsoft.com/japan/win95/>,
<http://www.microsoft.com/japan/products/network/>)

2. 使用ソフトウェア

・ WWW ブラウザ

Internet Explorer3.0 および 4.0

(関連サイト http://www.microsoft.com/ie_intl/ja/)

Netscape Navigator2.0, 3.0 および 4.0

(関連サイト <http://home.netscape.com/ja/index.html>)

・ Java 関連

Microsoft Visual J++™

(関連サイト <http://www.microsoft.com/japan/developer/visualj/>)

Java Development Kit (JDK)1.1

(関連サイト <http://ai-www.aist-nara.ac.jp/doc/people/tooru-t/Java1.1.1API/index.html>)

・ HTML 文書作成

Microsoft Word 97

(関連サイト <http://www.microsoft.com/japan/office/word/>)

5 モジュールの関連

5.1 積層板解析計算モジュール

本積層板解析計算モジュールは、指定された値を与えると、求める値を計算して出力するというものである。それぞれのモジュールは全く独立しているのではなく、あるモジュールの出力値を用いて次のモジュールの計算を行うというように関連している部分もある。それらの関係を説明するためにまず、モジュールやその入力値、出力値についてそれぞれ簡単に説明する。

Module1 計算項目：一方向強化材の弾性定数

入力値 (入力 1)

繊維方向ヤング率
繊維直角方向ヤング率
繊維方向せん断弾性係数
繊維方向ポアソン比
繊維配向角

出力値 (出力 1)

剛性マトリックス
弾性定数の不変量
弾性定数行列
コンプライアンス行列

Module2 計算項目：対称積層板の面内剛性

入力値 (入力 2)

片側積層数
各層の繊維配向角
出力 1

出力値 (出力 2)

面内積層パラメータ
面内剛性行列要素
コンプライアンス剛性行列要素
工学的弾性定数

Module3 計算項目：面内ひずみ

入力値 (入力 3)

面内応力
出力 2

出力値 (出力 3)

面内ひずみ

Module4 計算項目：対称積層板の曲げ剛性

入力値 (入力 4)

片側積層数
各層の繊維配向角
出力 1

出力値 (出力 4)

曲げ積層パラメータ
曲げ剛性行列要素
曲げコンプライアンス
剛性行列要素
工学的弾性定数

Module5 計算項目：当該積層板での曲げ曲率

入力値 (入力 5)

曲げモーメント
一層の厚さ
出力 4

出力値 (出力 5)

曲率

これらからわかるように、すべての計算モジュールは **Module1** と関連しており、どのような値を求めるにしろ、まず弾性定数を求めることが必要となっている。

Module1 において、繊維方向ヤング率、繊維直角方向ヤング率、繊維方向せん断性定数、繊維方向ポアソン比の 4 つの値を与えると、剛性マトリックス、弾性定数の不変量といった値を出力として得ることができ、それに加えて繊維配向角を与えると、それに応じた弾性定数行列、コンプライアンス行列を得ることができる。

Module2 では片側積層数と各層の配向角をさらに入力し、それに加えて **Module1** の出力値である弾性定数の不変量と弾性定数行列を用いることによって、面内積層パラメータ、面内剛性行列要素、コンプライアンス剛性行列要素、工学的弾性定数を得ることができる。そしてこのときに入力した各層の配向角は、チェックしやすいように画面に表示されるようになっている。(ただし 30 層目まで)

Module3 では面内応力を入力することによって、**Module2** の出力値であるコンプライアンス剛性行列要素を用いて、面内ひずみを求めることができるようになっている。

Module4 では **Module2** と同様に、片側積層数と各層の配向角をさらに入力し、それに加えて **Module1** の出力値である弾性定数の不変量と弾性定数行列を用いることによって、曲げ積層パラメータ、曲げ剛性行列要素、曲げコンプライアンス剛性行列要素、工学的弾性定数を得ることができる。そしてこのときに入力した各層の配向角は、チェッ

クしやすいように画面に表示されるようになっている。(ただし 30 層目まで)

Module5 では曲げモーメントと一層の厚さを与えると、Module4 の出力値である曲げコンプライアンス行列を用いることによって、当該積層板での曲げ曲率を求めることができる。

これらの関連を以下の図 5.1 で示す。

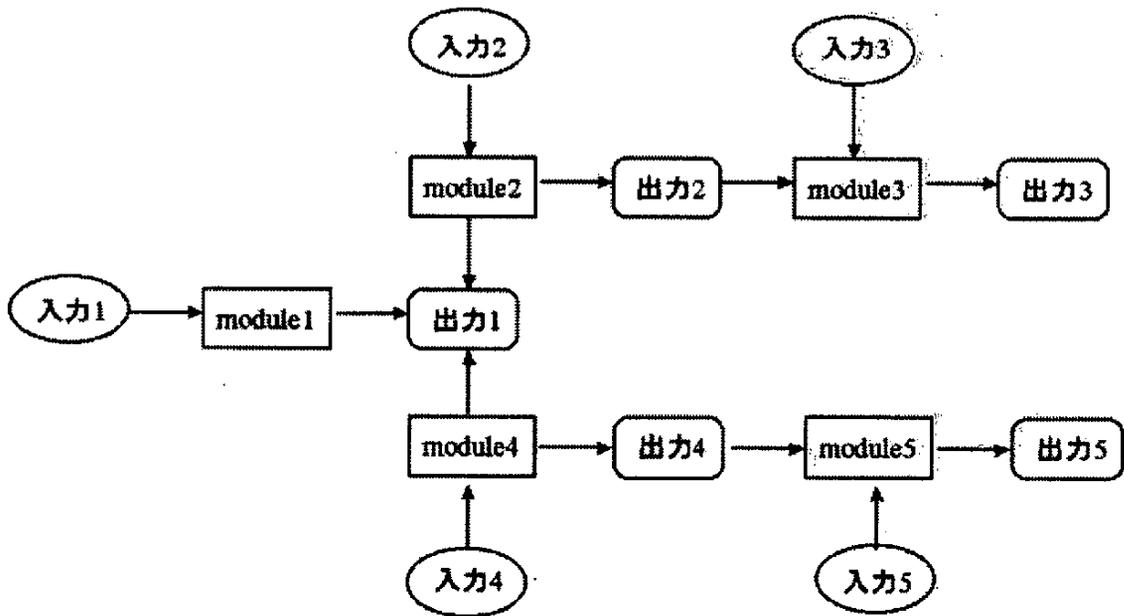


図 5.1 積層板解析計算モジュール関連図

5.2 積層板設計計算モジュール

本積層板設計計算モジュールは、各工学的弾性定数を入力することにより、積層素材を決定したり、積層パラメータを求めたり、積層構成を決定するものである。それぞれのモジュールは全く独立しているのではなく、あるモジュールの出力値を用いて次のモジュールの計算を行うというように関連している部分もある。それらの関係を説明するためにまず、モジュールやその入力値、出力値についてそれぞれ簡単に説明する。Module1 は設計計算モジュールに深く関わっているのもう一度とりあげた。

Module1 計算項目：一方向強化材の弾性定数

入力値 (入力 1)

繊維方向ヤング率
繊維直角方向ヤング率
繊維方向せん断弾性係数
繊維方向ポアソン比
繊維配向角

出力値 (出力 1)

剛性マトリックス
弾性定数の不変量
弾性定数行列
コンプライアンス行列

Module6：面内積層パラメータ平面での剛性評価図

入力値 (入力 6)

繊維方向ヤング率
繊維直角方向ヤング率
繊維方向せん断弾性係数
繊維方向ポアソン比

出力値 (出力 6)

有効工学的弾性定数の
等高線図

Module7：曲げ積層パラメータ平面での剛性評価図

入力値 (入力 7)

繊維方向ヤング率
繊維直角方向ヤング率
繊維方向せん断弾性係数
繊維方向ポアソン比

出力値 (出力 7)

有効工学的弾性定数の
等高線図

Module8：二つの剛性に関する定数の指定による面内積層パラメータ

入力値 (入力 8)

繊維方向ヤング率
繊維直角方向ヤング率
繊維方向せん断弾性係数
繊維方向ポアソン比
工学的弾性定数の指定

出力値 (出力 8)

有効工学的弾性定数の
等高線図
面内積層パラメータ

Module9：二つの剛性に関する定数の指定による曲げ積層パラメータ

入力値 (入力 9)

繊維方向ヤング率
繊維直角方向ヤング率
繊維方向せん断弾性係数
繊維方向ポアソン比
工学的弾性定数の指定

出力値 (出力 9)

有効工学的弾性定数の
等高線図
曲げ積層パラメータ図

Module10：面内積層パラメータからの積層構成決定

入力値 (入力 10)

繊維方向ヤング率
繊維直角方向ヤング率
繊維方向せん断弾性係数
繊維方向ポアソン比
工学的弾性定数の指定
プライ比率

出力値 (出力 10)

有効工学的弾性定数の
等高線図
面内積層パラメータ
繊維配向角
(積層構成)

Module11：曲げ積層パラメータからの積層構成決定

入力値 (入力 11)

繊維方向ヤング率
繊維直角方向ヤング率
繊維方向せん断弾性係数
繊維方向ポアソン比
工学的弾性定数の指定
プライ比率

出力値 (出力 11)

有効工学的弾性定数の
等高線図
曲げ積層パラメータ
繊維配向角
(積層構成)

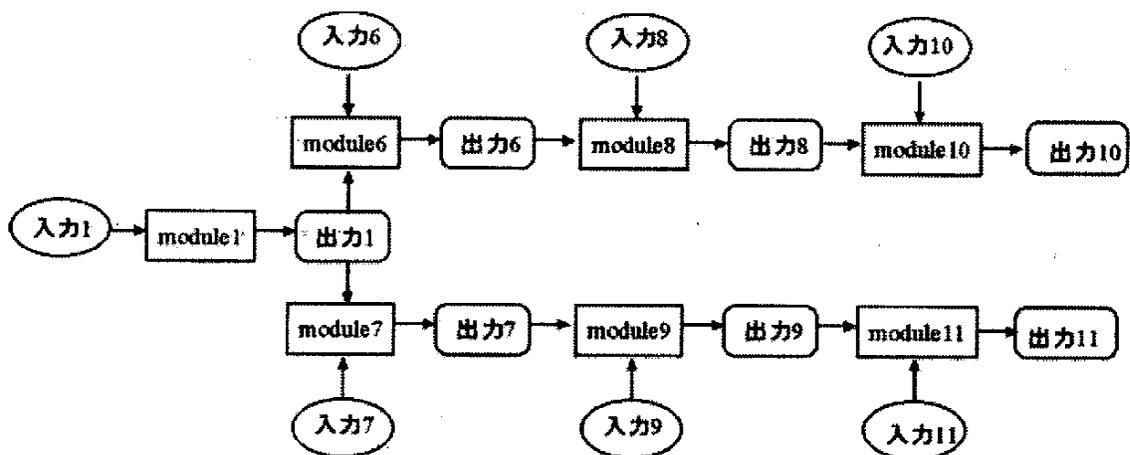


図 5.2 積層板設計計算モジュールの関連図

図の上半分に位置する Module6, 8, 10 は面内積層パラメータに関するもので、下半分に位置する Module7, 9, 11 は曲げ積層パラメータに関するものとなっている。

また設計計算モジュールでも Module1 の出力である弾性定数の不変量が用いられる。実際には Module6 であらためて繊維方向ヤング率，繊維直角方向ヤング率，繊維せん断弾性係数，繊維方向ポアソン比の 4 つの工学的弾性定数を入力し，弾性定数の不変量を求めるので Module6 に Module1 の内容が一部含まれていることになる。そして Module6 ではこれらの入力値と面内積層パラメータの許容領域から各工学的弾性定数の等高線図を得ることができる。

そして Module8 では Module6 の内容を含んでおり，同じ等高線図を得ることができる。それに加えて，工学的弾性定数から 2 つを選択することで，その値から適する面内積層パラメータが求められるようになっている。

さらに Module10 ではこの Module8 の内容をふくんでおり，さらにプ

プライ比率を入力することにより適した繊維配向角を求められるようになっている。

また **Module7** は **Module6** と同様に4つの工学的弾性定数を与えると、曲げ積層パラメータの許容領域から各工学的弾性定数の等高線図を求めることができるようになっている。

そして **Module9** では **Module7** の内容に加えて、2つの工学的弾性定数を指定することにより、曲げ積層パラメータを求めることができる。

さらに **Module11** では、**Module9** の内容に加えて、プライ比率を入力することにより、それに適した繊維配向角を求められるようになっている。

6 積層板解析計算

6.1 解析計算

積層板設計を行うにあたって必要な弾性定数を求める。

6.2 機能

6.2.1 一方向強化材の弾性定数 (Module1)

一方向強化材の弾性定数を求めるために繊維方向ヤング率 E_x [GPa], 繊維直角方向ヤング率 E_y [GPa], 繊維方向せん断弾性係数 E_s [GPa], 繊維方向ポアソン比 ν_{yx} の 4 つの値を与えると, 次のような剛性マトリックスと弾性定数の不変量が出力として得られる。入力値を一部変えたいときには, 変更する値だけ入力し直して「OK」のボタンを押せば求める値を得ることができる。(全てを入力し直す必要はない)

剛性マトリックス[GPa]

$$m = \left(1 - \frac{\nu_{yx}^2 E_y}{E_x} \right)^{-1}$$

$$Q_{xx} = mE_x$$

$$Q_{yy} = mE_y$$

$$Q_{xy} = \nu_{yx} E_y$$

$$Q_{ss} = E_s$$

弾性定数の不変量[GPa]

$$U_1 = \frac{3}{8} Q_{xx} + \frac{3}{8} Q_{yy} + \frac{1}{4} Q_{xy} + \frac{1}{2} Q_{ss}$$

$$U_2 = \frac{1}{2} Q_{xx} - \frac{1}{2} Q_{yy}$$

$$U_3 = \frac{1}{8} Q_{xx} + \frac{1}{8} Q_{yy} - \frac{1}{4} Q_{xy} - \frac{1}{2} Q_{ss}$$

$$U_4 = \frac{1}{8} Q_{xx} + \frac{1}{8} Q_{yy} + \frac{3}{4} Q_{xy} - \frac{1}{2} Q_{ss}$$

$$U_5 = \frac{1}{8} Q_{xx} + \frac{1}{8} Q_{yy} - \frac{1}{4} Q_{xy} + \frac{1}{2} Q_{ss}$$

1)剛性マトリックスと弾性定数の不変量を求めます。4つの値を入力してください。
積層素材として炭素繊維強化エポキシ樹脂CFRP、ケブラー繊維強化エポキシ樹脂KFRP、
ガラス繊維強化エポキシ樹脂GFRPを用いる場合は、そのボタンを押してください。

繊維方向ヤング率[GPa]: CFRP KFRP GFRP
 繊維直角方向ヤング率[GPa]:
 繊維方向せん断性係数[GPa]:
 繊維方向ポアソン比: OK

剛性マトリックス[GPa]	弾性定数の不変量[GPa]
Q _{xx} : <input type="text" value="181.811"/>	U ₁ : <input type="text" value="76.365"/>
Q _{yy} : <input type="text" value="10.3462"/>	U ₂ : <input type="text" value="85.7325"/>
Q _{xy} : <input type="text" value="2884"/>	U ₃ : <input type="text" value="19.7137"/>
Q _{ss} : <input type="text" value="7.17"/>	U ₄ : <input type="text" value="22.5977"/>
	U ₅ : <input type="text" value="26.8837"/>

図 6.1 一方向強化材の弾性定数 (1)

これらの値は、対象積層板の面内剛性、曲げ剛性、面内ひずみ、当該積層板での曲げ曲率、面内積層パラメータ、曲げ積層パラメータなど、この積層板設計モジュールの計算に必要な様々な値を求めることに用いられる。これらに加えてさらに繊維配向角 θ [度]を与えると図 6.2 のように、以下の式から弾性定数行列、コンプライアンス行列を得ることができる。入力値を一部変えたいときには、変更する値だけ入力し直して「OK」のボタンを押せば求める値を得ることができる。(全てを入力し直す必要はありません)

弾性定数行列[GPa]

$$\begin{aligned}
 Q_{11} &= U_1 + U_2 \cos 2\theta + U_3 \cos 4\theta \\
 Q_{22} &= U_1 - U_2 \cos 2\theta + U_3 \cos 4\theta \\
 Q_{12} &= U_4 - U_3 \cos 4\theta \\
 Q_{66} &= U_5 - U_3 \cos 4\theta \\
 Q_{16} &= \frac{U_2 \cos 2\theta}{2} + U_3 \sin 4\theta \\
 Q_{26} &= \frac{U_2 \cos 2\theta}{2} - U_3 \sin 4\theta
 \end{aligned}$$

コンプライアンス行列[1/GPa]

$$q_{11} = \alpha(Q_{22}Q_{66} - Q_{26}^2)$$

$$q_{22} = \alpha(Q_{11}Q_{66} - Q_{16}^2)$$

$$q_{12} = \alpha(Q_{16}Q_{26} - Q_{12}Q_{66})$$

$$q_{66} = \alpha(Q_{11}Q_{22} - Q_{12}^2)$$

$$q_{16} = \alpha(Q_{12}Q_{26} - Q_{16}Q_{22})$$

$$q_{26} = \alpha(Q_{11}Q_{26} - Q_{12}Q_{16})$$

$$\alpha = \frac{1}{Q_{11}Q_{22}Q_{66} + 2Q_{12}Q_{26}Q_{16} - Q_{16}^2Q_{22} - Q_{12}^2Q_{66}}$$

2)一方向強化材の弾性定数行列とコンプライアンス行列を求めます。
繊維配向角を入力してください。(必要でない場合は次へ)

繊維配向角[度]	弾性定数行列[GPa]	コンプライアンス行列[1/GPa]
30	Q11: 109.374	q11: 0.0347485
	Q22: 23.6419	q22: 0.0805279
	Q12: 32.4545	q12: -0.0078741
	Q66: 36.7405	q66: 0.114134
	Q16: 54.1958	q16: -0.0469601
	Q26: 20.0507	q26: 0.0323322

OK

図 6.2 一方向強化材の弾性定数 (2)

6.2.2 対称積層版の剛性 (Module2, 4)

対象積層板の剛性を求めるため、さらに片側積層数 N_H 、各層の配向角

θ_k [度]を入力する。そうすると出力として面内積層パラメータ，面内悟性行列要素，コンプライアンス剛性行列要素，工学的弾性定数を次の式から求めることができる。

面内積層パラメータ

$$V_1^* = \sum_{k=1}^{N_H} \left(\frac{k}{N_k} - \frac{k-1}{N_k} \right) \cos 2\theta_k$$

$$V_2^* = \sum_{k=1}^{N_H} \left(\frac{k}{N_k} - \frac{k-1}{N_k} \right) \cos 4\theta_k$$

$$V_3^* = \sum_{k=1}^{N_H} \left(\frac{k}{N_k} - \frac{k-1}{N_k} \right) \sin 2\theta_k$$

$$V_4^* = \sum_{k=1}^{N_H} \left(\frac{k}{N_k} - \frac{k-1}{N_k} \right) \sin 4\theta_k$$

面内剛性行列要素 [GPa]

$$A_{11}^* = U_1 + V_1^* U_2 + V_2^* U_3$$

$$A_{22}^* = U_1 - V_1^* U_2 + V_2^* U_3$$

$$A_{12}^* = U_4 - V_2^* U_3$$

$$A_{66}^* = U_5 - V_2^* U_3$$

$$A_{16}^* = \frac{V_3^* U_2}{2} + V_4^* U_3$$

$$A_{26}^* = \frac{V_3^* U_2}{2} - V_4^* U_3$$

コンプライアンス剛性行列要素 [1/GPa]

$$a_{11}^* = \gamma \left(A_{22}^* A_{66}^* - A_{26}^{*2} \right)$$

$$a_{22}^* = \gamma \left(A_{11}^* A_{66}^* - A_{16}^{*2} \right)$$

$$a_{12}^* = \gamma \left(A_{16}^* A_{26}^* - A_{12}^* A_{66}^* \right)$$

$$a_{66}^* = \gamma \left(A_{11}^* A_{22}^* - A_{12}^{*2} \right)$$

$$a_{16}^* = \gamma \left(A_{12}^* A_{26}^* - A_{16}^* A_{22}^* \right)$$

$$a_{26}^* = \gamma (A_{11}^* A_{26}^* - A_{12}^* A_{16}^*)$$

$$\gamma = \frac{1}{A_{11}^* A_{22}^* A_{66}^* + 2A_{12}^* A_{26}^* A_{16}^* - A_{16}^{*2} A_{22}^* - A_{12}^{*2} A_{66}^* - A_{26}^{*2} A_{11}^*}$$

工学的弾性定数[GPa]

$$E_1 = \frac{1}{a_{11}^*}, E_2 = \frac{1}{a_{22}^*}, E_6 = \frac{1}{a_{66}^*}$$

工学的弾性定数

$$v_{21} = \frac{-a_{12}^*}{a_{11}^*}, v_{12} = \frac{-a_{12}^*}{a_{22}^*}, v_{61} = \frac{a_{16}^*}{a_{11}^*}$$

$$v_{62} = \frac{a_{26}^*}{a_{22}^*}, v_{16} = \frac{a_{16}^*}{a_{66}^*}, v_{26} = \frac{a_{26}^*}{a_{66}^*}$$

また、ここでは同じ入力値で面内積層と曲げ積層に関する剛性が求められるようになっている。曲げ積層を選択すると次の式から曲げ積層パラメータ、曲げ剛性行列要素、曲げコンプライアンス剛性行列要素、工学的弾性定数を求められるようになっている。(Module4)

曲げ積層パラメータ

$$W_1^* = \sum_{k=1}^{N_H} \left\{ \left(\frac{k}{N_k} \right)^3 - \left(\frac{k-1}{N_k} \right)^3 \right\} \cos 2\theta_k$$

$$W_2^* = \sum_{k=1}^{N_H} \left\{ \left(\frac{k}{N_k} \right)^3 - \left(\frac{k-1}{N_k} \right)^3 \right\} \cos 4\theta_k$$

$$W_3^* = \sum_{k=1}^{N_H} \left\{ \left(\frac{k}{N_k} \right)^3 - \left(\frac{k-1}{N_k} \right)^3 \right\} \sin 2\theta_k$$

$$W_4^* = \sum_{k=1}^{N_H} \left\{ \left(\frac{k}{N_k} \right)^3 - \left(\frac{k-1}{N_k} \right)^3 \right\} \sin 4\theta_k$$

曲げ剛性行列要素[GPa]

$$D_{11}^* = U_1 + W_1^* U_2 + W_2^* U_3$$

$$D_{22}^* = U_1 - W_1^* U_2 + W_2^* U_3$$

$$D_{12}^* = U_4 - W_2^* U_3$$

$$D_{66}^* = U_5 - W_2^* U_3$$

$$D_{16}^* = \frac{W_3^* U_2}{2} + W_4^* U_3$$

$$D_{26}^* = \frac{W_3^* U_2}{2} - W_4^* U_3$$

曲げコンプライアンス剛性行列要素[1/GPa]

$$d_{11}^* = \xi (D_{22}^* D_{66}^* - D_{26}^{*2})$$

$$d_{22}^* = \xi (D_{11}^* D_{66}^* - D_{16}^{*2})$$

$$d_{12}^* = \xi (D_{16}^* D_{26}^* - D_{12}^* D_{66}^*)$$

$$d_{66}^* = \xi (D_{11}^* D_{22}^* - D_{12}^{*2})$$

$$d_{16}^* = \xi (D_{12}^* D_{26}^* - D_{16}^* D_{22}^*)$$

$$d_{26}^* = \xi (D_{11}^* D_{26}^* - D_{12}^* D_{16}^*)$$

$$\xi = \frac{1}{D_{11}^* D_{22}^* D_{66}^* + D_{12}^* D_{26}^* D_{16}^* - D_{16}^{*2} D_{22}^* - D_{12}^{*2} D_{66}^* - D_{26}^{*2} D_{11}^*}$$

工学的弾性定数[GPa]

$$E_1^f = \frac{1}{d_{11}^*}, E_2^f = \frac{1}{d_{22}^*}, E_6^f = \frac{1}{d_{66}^*}$$

工学的弾性定数

$$v_{21}^f = \frac{-d_{12}^*}{d_{11}^*}, v_{12}^f = \frac{-d_{12}^*}{d_{22}^*}, v_{61}^f = \frac{d_{16}^*}{d_{11}^*}$$

$$v_{62}^f = \frac{d_{16}^*}{d_{22}^*}, v_{16}^f = \frac{d_{16}^*}{d_{66}^*}, v_{26}^f = \frac{d_{26}^*}{d_{66}^*}$$

また「面内積層」、「曲げ積層」のボタンをクリックすると、同時に配向角の入力が図で表示され、目で確認することができるようになっている。(図 6.3)

3) 対称積層版の面内剛性と曲げ剛性を求めます。片側積層数と各層の配向角を入力してください。一層入力する毎に「NEXT」を押してください。「BACK」で訂正することもできます。

片側積層数
5

5 層目の配向角[度]
60
NEXT BACK

5	60
4	-30
3	40
2	25.5
1	100

<< 配向角の確認 >>

面内剛性 曲げ剛性

面内積層パラメータ

v*1:	-0.0273448
v*2:	-0.276312
v*3:	0.283987
v*4:	0.0461809

曲げ積層パラメータ

w*1:	-0.0418811
w*2:	-0.540348
w*3:	0.356752
w*4:	-0.567058

面内剛性行列要素[GPa]

A*11:	68.5735
A*22:	73.2622
A*12:	28.0448
A*66:	32.3308
A*16:	13.0838
A*26:	11.263

曲げ剛性行列要素[GPa]

D*11:	62.1222
D*22:	69.3033
D*12:	33.2499
D*66:	37.5359
D*16:	4.11381
D*26:	26.4714

図 6.3 対称積層板の剛性

配向角の入力は、角度を入力した後 NEXT ボタンを押すことによって何層目かを表示する数値が 1 つあがり次の角度を入力できるようになっている。そして最後まで（片側積層数と同じ数）入力が済むと、それ以上の NEXT ボタンを押しても動作しないようになっている。

また入力した値に間違いがあったときのために BACK ボタンを設けた。これを押すことで何層目かを示す数値が 1 つ戻り、前に入力した角度を確認し、訂正できるようになっている。このときに何十層も入力していると、確認する作業が手間取るため、配向角の入力図を表示させ、目で確認できるようにした。（配向角の入力図は「面内剛性」か「曲げ剛性」を押すことによって同時に表示される）

面内剛性行列要素 [1/GPa]		曲げ剛性行列要素 [1/GPa]	
a*11:	0.0180756	d*11:	0.0229983
a*22:	0.0164959	d*22:	0.0280111
a*12:	-0.00612269	d*12:	-0.0137844
a*66:	0.0341661	d*66:	0.0387178
a*16:	-0.00518201	d*16:	0.00720059
a*26:	0.0032689	d*26:	0.0162435
工学的弾性定数 [GPa]		工学的弾性定数 [GPa]	
E1:	55.3231	E1t:	43.4814
E2:	60.6211	E2t:	35.7002
E6:	29.2687	E6t:	25.8279
工学的弾性定数		工学的弾性定数	
NU21:	0.338726	NU21t:	0.599363
NU12:	0.371164	NU12t:	0.492104
NU61:	-0.286685	NU61t:	0.313092
NU62:	0.198164	NU62t:	0.651296
NU16:	-0.151671	NU16t:	0.185976
NU26:	0.0956765	NU26t:	0.471191

図 6.4 対称積層板の剛性（続き）

このように対称積層板の面内剛性と曲げ剛性を左右に配置することにより比較しやすくし、また同じ入力を 2 度繰り返さなくてもいいようになった。入力値を一部変えたいときには、変更する値だけ入力し直して「面内剛性」か「曲げ剛性」のボタンを押せば求める値を得ることができる。（全てを入力し直す必要はない）

6.2.3 面内ひずみ (Module3)

面内ひずみを計算するために面内応力 σ_1 , σ_2 , σ_6 [MPa]を与えると出力として面内ひずみを求めることができる。(図 6.5) ここで繊維方向ヤング率や, 各層の配向角を入力し直したいときは, その値を入力し直すだけで求める面内ひずみを得ることができる。

面内ひずみ

$$\varepsilon_1 = a_{11}^* \sigma_1 + a_{12}^* \sigma_2 + a_{16}^* \sigma_6$$

$$\varepsilon_2 = a_{12}^* \sigma_1 + a_{22}^* \sigma_2 + a_{26}^* \sigma_6$$

$$\varepsilon_6 = a_{16}^* \sigma_1 + a_{26}^* \sigma_2 + a_{66}^* \sigma_6$$

4)面内ひずみを求めます。面内応力を入力してください。

面内応力[MPa]		面内ひずみ[10e-6]	
SIGMA1:	<input type="text" value="1.11"/>	EPS1:	<input type="text" value="1992.92"/>
SIGMA2:	<input type="text" value="1.1"/>	EPS2:	<input type="text" value="-657.224"/>
SIGMA6:	<input type="text" value="1.3"/>	EPS6:	<input type="text" value="-527.192"/>

図 6.5 面内ひずみ

6.2.4 当該積層板での曲げ曲率 (Module5)

当該積層板での曲げ曲率を計算するために, 曲げモーメント M_1 , M_2 , M_6 [N·m], 一層の厚さ[mm]を与えると出力として曲率を得ることができる。(図 6.6)

曲率

$$k_1 = \frac{12}{h^3} (d_{11}^* M_1 + d_{12}^* M_2 + d_{16}^* M_6)$$

$$k_2 = \frac{12}{h^3} (d_{12}^* M_1 + d_{22}^* M_2 + d_{26}^* M_6)$$

$$k_6 = \frac{12}{h^3} (d_{16}^* M_1 + d_{26}^* M_2 + d_{66}^* M_6)$$

5) 曲げ曲率を求めます。曲げモーメントと一層の厚さを入力してください。

曲げモーメント[N・m]	一層の厚さ[mm]	曲率
M1: <input type="text" value="111"/>	<input type="text" value="1"/>	K1: <input type="text" value="0.033063"/>
M2: <input type="text" value="13"/>		K2: <input type="text" value="-0.00236819"/>
M6: <input type="text" value="53"/>	<input type="button" value="OK"/>	K6: <input type="text" value="0.0370617"/>

図 6.6 当該積層板での曲げ曲率

6.3 モジュール開発

本積層板解析計算モジュールは、Microsoft Visual J++ を用いて開発した。そのため、GUI 部品のレイアウトなどはリソースエディタを用いることにより簡単に作成することが可能となった。

本モジュールを作成するにあたって、まず一つ一つ独立した計算機能を持つモジュールを5つ作成した。そしてそれらのモジュールを参考にして、全ての機能を備えたモジュールを新たに作成しなおし、複数の項目を計算する場合と、1つだけの項目を計算する場合とで選択できるようにした。その理由としては、ユーザがこれらのモジュールを使用するときに、それぞれのモジュールに共通する入力を一度で済ませられるようにしたほうが便利であるということがあげられる。ただ、5つのモジュールを統合したぶん重くなり、アプレットの実行に時間がかかるという欠点が生じてしまった。

またモジュールを統合したことにより、アプレットが非常に縦長になった。それによって、ブラウザなどの違いによる表示の違いが顕著になり、特に画像の表示に不都合が生じたので、それぞれのブラウザやバージョンの違いにあわせてモジュールを作成した。はじめは Macintosh 上の Netscape3.0 と、Windows 上の InternetExplorer3.0、Netscape4.0 を確認に使用していたので、Netscape はバージョンによって表示が異なるのだと解釈していたが、実はそうではなく、同じ Netscape3.0 でも Macintosh 上で使用するときと、Windows 上で使用するときとは、表示に違いがあるということがわかった。(図 6.7, 6.8 でその違いを示す)

そこで最終的に、それらを考慮して Windows 上での InternetExplorer 用、Netscape 用、Macintosh 上での InternetExplorer 用、Netscape 用を作成した。

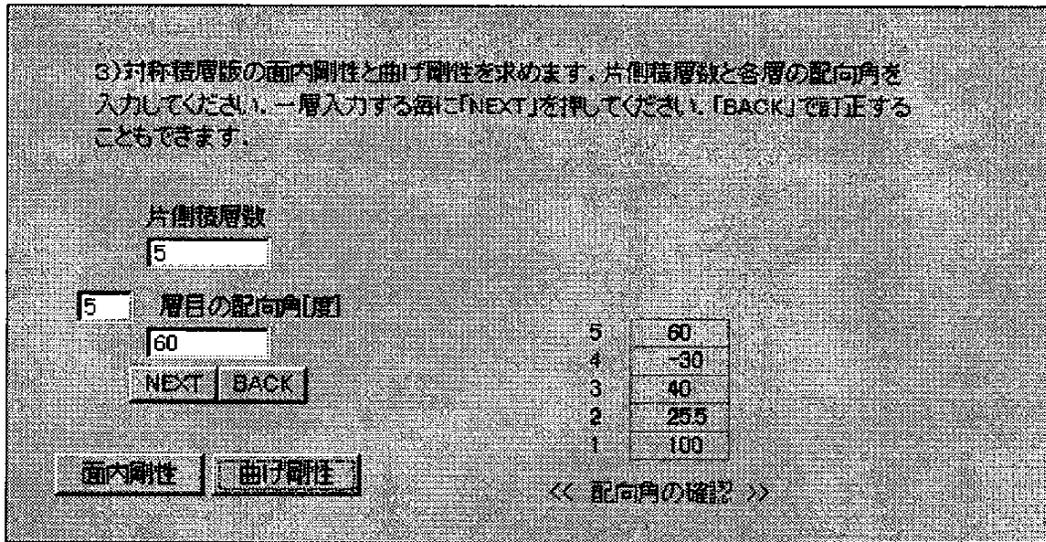


図 6.7 Macintosh での表示 (Netscape 3.0)

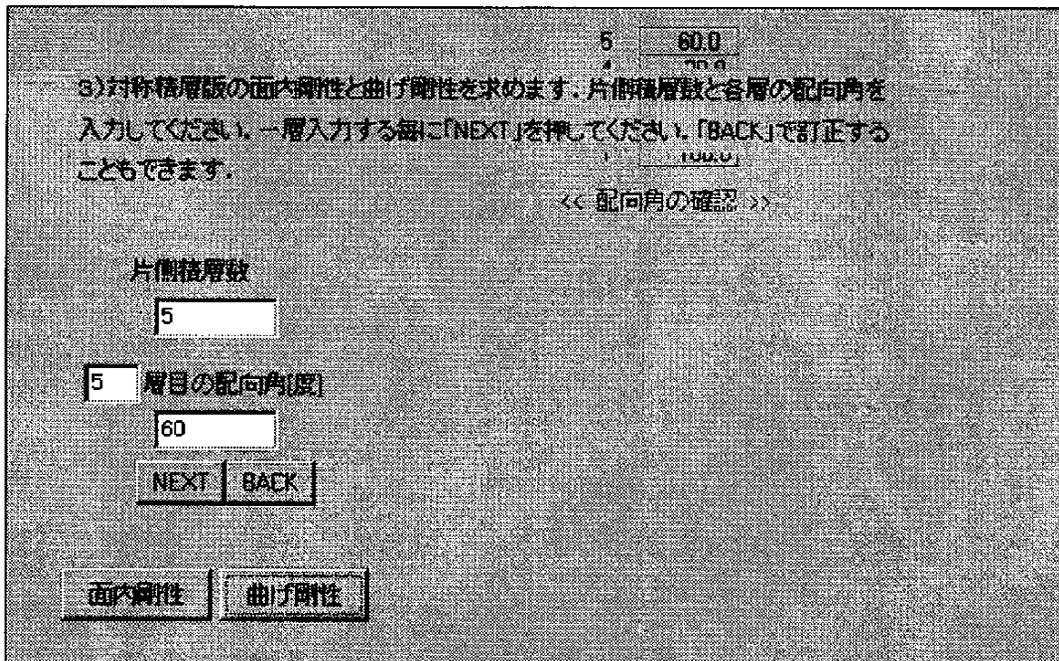


図 6.8 Windows での表示 (Netscape 3.0)

この 2 つの図からわかるように同じアプレットを表示させても、Macintosh と Windows では図の描写が異なってしまう。

7 積層板設計計算機能

7.1 設計計算

工学的弾性定数をもとに積層板の設計を行う。

7.2 機能

7.2.1 積層パラメータ平面での剛性評価図 (Module6, 7)

<面内積層パラメータ>

まず、各工学的弾性定数（繊維方向ヤング率 E_x 、繊維直角方向ヤング率 E_y 、繊維方向せん断弾性係数 E_s 、繊維方向ポアソン比 ν_{yx} ）を入力することにより弾性定数の不変量である $U_1 \sim U_5$ が求められる。この値と次式、および許容領域： $V_2^* \leq 1$ 、 $V_2^* \geq 2V_1^{*2} - 1$ により、各有効工学的弾性定数の等高線図を得ることができる。

$$E_1 \text{ 等高線} : V_2^* = \frac{U_2^2 V_1^{*2} - U_2 E_1 V_1^* + E_1 U_1 - U_1^2 + U_4^2}{U_3 (2U_1 + 2U_4 - E_1)}$$

$$E_2 \text{ 等高線} : V_2^* = \frac{U_2^2 V_1^{*2} + U_2 E_2 V_1^* + E_2 U_1 - U_1^2 + U_4^2}{U_3 (2U_1 + 2U_4 - E_2)}$$

$$E_6 \text{ 等高線} : V_2^* = \frac{U_5 - E_6}{U_3}$$

$$\nu_{21} \text{ 等高線} : V_2^* = \frac{\nu_{21} U_2 V_1^{*2} - \nu_{21} U_1 + U_4}{U_3 (1 + \nu_{21})}$$

アプレット上では、表示させたい有効工学的弾性定数をチェックし、その表示間隔を与えると等高線図が描画される。(図 7.1)

<曲げ積層パラメータ>

面内積層とほぼ同一内容で、面内積層パラメータ V_1^* 、 V_2^* が曲げ積層パラメータ W_1^* 、 W_2^* に、工学弾性定数 (E_1 、 E_2 、 E_6 、 ν_{21}) が見かけの工学弾性定数 (E_1^f 、 E_2^f 、 E_6^f 、 ν_{21}^f) にそれぞれ変わったものである。

まず、各工学的弾性定数（繊維方向ヤング率 E_x 、繊維直角方向ヤング

率 E_y , 繊維方向せん断弾性係数 E_s , 繊維方向ポアソン比 ν_{yx}) を入力することにより弾性定数の不変量である $U_1 \sim U_5$ が求められる. この値と次式, および許容領域: $W_2^* \leq 1$, $W_2^* \geq 2W_1^{*2} - 1$ により, 各有効工学的弾性定数の等高線図を得ることができる.

$$E_1^f \text{ 等高線: } W_2^* = \frac{U_2^2 W_1^{*2} - U_2 E_1^f W_1^* + E_1^f U_1 - U_1^2 + U_4^2}{U_3 (2U_1 + 2U_4 - E_1^f)}$$

$$E_2^f \text{ 等高線: } W_2^* = \frac{U_2^2 W_1^{*2} + U_2 E_2^f W_1^* + E_2^f U_1 - U_1^2 + U_4^2}{U_3 (2U_1 + 2U_4 - E_2^f)}$$

$$E_6^f \text{ 等高線: } W_2^* = \frac{U_5 - E_6^f}{U_3}$$

$$\nu_{21}^f \text{ 等高線: } W_2^* = \frac{\nu_{21}^f U_2 W_1^{*2} - \nu_{21}^f U_1 + U_4}{U_3 (1 + \nu_{21}^f)}$$

アプレット上では, 表示させたい有効工学的弾性定数をチェックし, その表示間隔を与えると等高線図が描画される.

面内積層パラメータ平面での面内剛性評価図

まず工学的弾性係数を入力して下さい。
 初期設定は、T300/5208 Graphite/Epoxy: CFRPIになっています。
 図いて表示させたい項目をチェックし、表示間隔を入力して下さい。
 あくまで“間隔”なので0.1以上にして下さい。
 全部入力が終わったら“DRAW”ボタンを押して下さい。

繊維方向ヤング率	Ex
繊維直角方向ヤング率	Ey
繊維方向せん断弾性係数	Es
繊維方向ポアソン比	NUyx

Material	T300/5208 CFRP	Interval		
Ex[GPa]	181	<input checked="" type="checkbox"/> E1	20	DRAW
Ey[GPa]	10.3	<input checked="" type="checkbox"/> E2	20	
Es[GPa]	7.17	<input checked="" type="checkbox"/> E6	10	
NUyx	0.28	<input checked="" type="checkbox"/> NU21	0.1	

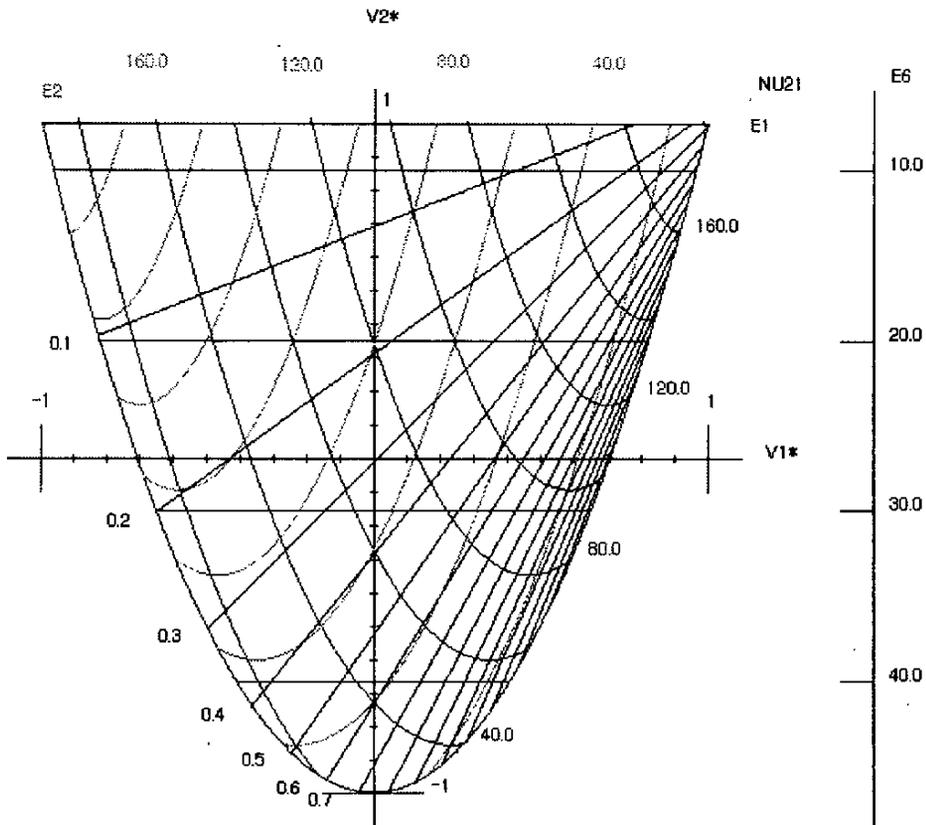


図 7.1 面内積層パラメータ平面での剛性評価図

7.2.2 二つの剛性に関する定数指定による積層パラメータ (Module8, 9)

<2つの工学的弾性定数指定による面内積層パラメータ>

まず、各工学的弾性定数（繊維方向ヤング率 E_x 、繊維直角方向ヤング率 E_y 、繊維方向せん断弾性係数 E_s 、繊維方向ポアソン比 ν_{yx} ）を入力することにより弾性定数の不変量である $U_1 \sim U_5$ が求められる。この値と次式、および許容領域： $V_2^* \leq 1$ 、 $V_2^* \geq 2V_1^{*2} - 1$ により、各有効工学的弾性定数の等高線図を得ることができる。

$$E_1 \text{ 等高線} : V_2^* = \frac{U_2^2 V_1^{*2} - U_2 E_1 V_1^* + E_1 U_1 - U_1^2 + U_4^2}{U_3(2U_1 + 2U_4 - E_1)}$$

$$E_2 \text{ 等高線} : V_2^* = \frac{U_2^2 V_1^{*2} + U_2 E_2 V_1^* + E_2 U_1 - U_1^2 + U_4^2}{U_3(2U_1 + 2U_4 - E_2)}$$

$$E_6 \text{ 等高線} : V_2^* = \frac{U_5 - E_6}{U_3}$$

$$\nu_{21} \text{ 等高線} : V_2^* = \frac{\nu_{21} U_2 V_1^{*2} - \nu_{21} U_1 + U_4}{U_3(1 + \nu_{21})}$$

アプレット上では、有効工学的弾性定数を入力しチェックすると、その弾性定数のグラフが描画される。グラフを見ながら要求にあった弾性定数を入力し直し、チェックの入力を二つにしぼり、計算ボタンを押すと、その交点の座標である、面内積層パラメータ V_1^*, V_2^* が計算される。範囲内に交点が二つあるときも両方表示される。

(図 7.2)

<2つの工学的弾性定数指定による曲げ積層パラメータ>

面内積層とほぼ同一内容で、面内積層パラメータ V_1^* , V_2^* が曲げ積層パラメータ W_1^* , W_2^* に、工学弾性定数 $(E_1, E_2, E_6, \nu_{21})$ が見かけの工学弾性定数 $(E_1^f, E_2^f, E_6^f, \nu_{21}^f)$ にそれぞれ変わったものである。まず、各工学的弾性定数（繊維方向ヤング率 E_x , 繊維直角方向ヤング率 E_y , 繊維方向せん断弾性係数 E_s , 繊維方向ポアソン比 ν_{yx} ）を入力することにより弾性定数の不変量である $U_1 \sim U_5$ が求められ、そこから積層素材が決定する。この値と次式、および許容領域： $W_2^* \leq 1$, $W_2^* \geq 2W_1^{*2} - 1$ により、各有効工学的弾性定数の等高線図を得ることができる。

$$E_1^f \text{ 等高線: } W_2^* = \frac{U_2^2 W_1^{*2} - U_2 E_1^f W_1^* + E_1^f U_1 - U_1^2 + U_4^2}{U_3 (2U_1 + 2U_4 - E_1^f)}$$

$$E_2^f \text{ 等高線: } W_2^* = \frac{U_2^2 W_1^{*2} + U_2 E_2^f W_1^* + E_2^f U_1 - U_1^2 + U_4^2}{U_3 (2U_1 + 2U_4 - E_2^f)}$$

$$E_6^f \text{ 等高線: } W_2^* = \frac{U_5 - E_6^f}{U_3}$$

$$\nu_{21}^f \text{ 等高線: } W_2^* = \frac{\nu_{21}^f U_2 W_1^{*2} - \nu_{21}^f U_1 + U_4}{U_3 (1 + \nu_{21}^f)}$$

アプレット上では、有効工学的弾性定数を入力しチェックすると、その弾性定数のグラフが描画される。グラフを見ながら要求にあった弾性定数を入力し直し、チェックの入力を二つにしぼり、計算ボタンを押すと、その交点の座標である、曲げ積層パラメータ W_1^* , W_2^* が計算される。範囲内に交点が二つあるときも両方表示される。

面内積層パラメータ平面での面内剛性評価図

まず工学的弾性係数を入力して下さい。
 初期設定は、T300/5208 Graphite/Epoxy:CFRPになっています。
 続いて表示させたい項目をチェックし、値を入力して下さい。
 入力が終わったら“DRAW”ボタンを押して下さい。
 次に、項目二つのみチェックし“CALCULATE”ボタンを押して下さい。
 面内積層パラメータV1*,V2*が表示されます。

繊維方向ヤング率	Ex
繊維直角方向ヤング率	Ey
繊維方向せん断弾性係数	Es
繊維方向ポアソン比	NUyx

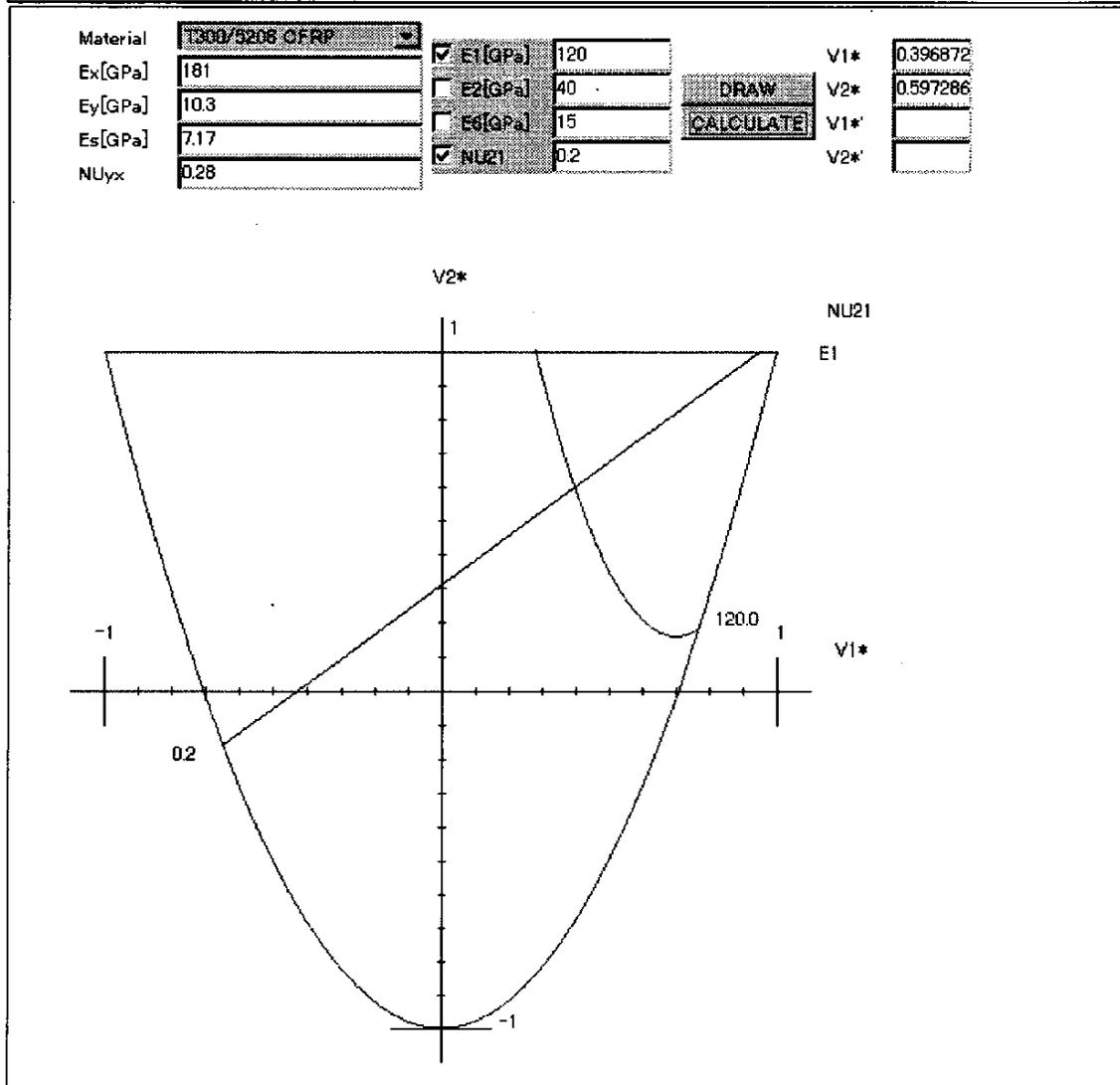


図 7.2 二つの剛性に関する定数の指定による積層パラメータ

7.2.3 積層パラメータからの積層構成決定 (Module10, 11)

<面内積層パラメータからの積層構成決定>

設計要求にもっとも適した積層板を設計するには繊維配向角とその積層数、積層順序を決めることが必要である。複合材料の特性が確定値として決まれば、積層板の特性も確定値として決定され、積層板を咲いてき設計することは可能である。

そこでまず、各工学的弾性定数（繊維方向ヤング率 E_x 、繊維直角方向ヤング率 E_y 、繊維方向せん断弾性係数 E_s 、繊維方向ポアソン比 ν_{yx} ）を入力することにより弾性定数の不変量である $U_1 \sim U_5$ が求められる。この値と次式、および許容領域： $V_2^* \leq 1$ 、 $V_2^* \geq 2V_1^{*2} - 1$ により、各有効工学的弾性定数の等高線図を得ることができる。

$$E_1 \text{ 等高線: } V_2^* = \frac{U_2^2 V_1^{*2} - U_2 E_1 V_1^* + E_1 U_1 - U_1^2 + U_4^2}{U_3(2U_1 + 2U_4 - E_1)}$$

$$E_2 \text{ 等高線: } V_2^* = \frac{U_2^2 V_1^{*2} + U_2 E_2 V_1^* + E_2 U_1 - U_1^2 + U_4^2}{U_3(2U_1 + 2U_4 - E_2)}$$

$$E_6 \text{ 等高線: } V_2^* = \frac{U_5 - E_6}{U_3}$$

$$\nu_{21} \text{ 等高線: } V_2^* = \frac{\nu_{21} U_2 V_1^{*2} - \nu_{21} U_1 + U_4}{U_3(1 + \nu_{21})}$$

アプレット上では、有効工学的弾性定数を入力しチェックすると、その弾性定数のグラフが描画される。グラフを見ながら要求にあった弾性定数を入力し直し、チェックの入力を二つにしぼり、計算ボタンを押すと、その交点の座標である、面内積層パラメータ V_1^*, V_2^* が計算される。範囲内に交点が二つあるときも両方表示される。

プライ比率を入力するときは、その値の小さい方を上の欄に入力するだけでよい。続いて、積層構成ボタンを押すと求めたい項目が計算される。また、対称積層板の場合、つまり $\theta_2=0$ のときの値も表示される。なお、交点が二つある場合、左の欄にあるパラメータが利用される。右の欄の値を使用したいときは、積層構成決定ボタンを押す前に直接左の欄にその値を入力すればよい。(図 7.3, 7.4)

<曲げ積層パラメータからの積層構成の決定>

面内積層とほぼ同一内容で、面内積層パラメータ V_1^* 、 V_2^* が曲げ積層パラメータ W_1^* 、 W_2^* に、工学弾性定数 $(E_1, E_2, E_6, \nu_{21})$ が見かけの工学弾性定数 $(E_1^f, E_2^f, E_6^f, \nu_{21}^f)$ にそれぞれ変わったものである。まず、各工学的弾性定数(繊維方向ヤング率 E_x 、繊維直角方向ヤング率 E_y 、繊維方向せん断弾性係数 E_s 、繊維方向ポアソン比 ν_{yx})を入力することにより弾性定数の不変量である $U_1 \sim U_5$ が求められ、そこから積層素材が決定する。この値と次式、および許容領域： $W_2^* \leq 1$ 、 $W_2^* \geq 2W_1^{*2} - 1$ により、各有効工学的弾性定数の等高線図を得ることができる。

$$E_1^f \text{ 等高線: } W_2^* = \frac{U_2^2 W_1^{*2} - U_2 E_1^f W_1^* + E_1^f U_1 - U_1^2 + U_4^2}{U_3(2U_1 + 2U_4 - E_1^f)}$$

$$E_2^f \text{ 等高線: } W_2^* = \frac{U_2^2 W_1^{*2} + U_2 E_2^f W_1^* + E_2^f U_1 - U_1^2 + U_4^2}{U_3(2U_1 + 2U_4 - E_2^f)}$$

$$E_6^f \text{ 等高線: } W_2^* = \frac{U_5 - E_6^f}{U_3}$$

$$\nu_{21}^f \text{ 等高線: } W_2^* = \frac{\nu_{21}^f U_2 W_1^{*2} - \nu_{21}^f U_1 + U_4}{U_3(1 + \nu_{21}^f)}$$

タブレット上では、有効工学的弾性定数を入力しチェックすると、そ

の弾性定数のグラフが描画される。グラフを見ながら要求にあった弾性定数を入力し直し、チェックの入力を二つにしぼり、計算ボタンを押すと、その交点の座標である、曲げ積層パラメータ W_1^* 、 W_2^* が計算される。範囲内に交点が二つあるときも両方表示される。

プライ比率を入力するときは、その値の小さい方を上の欄に入力するだけでよい。続いて、積層構成ボタンを押すと求めたい項目が計算される。また、対称積層板の場合、つまり $\theta_1=0$ のときの値も表示される。なお、交点が二つある場合、左の欄にあるパラメータが利用される。右の欄の値を使用したいときは、積層構成決定ボタンを押す前に直接左の欄にその値を入力すればよい。

面内積層パラメータからの積層構成の決定

まず工学的弾性係数を入力して下さい。
 初期設定は、T300/5208 Graphite/Epoxy:CFRPIになっています。
 続いて表示させたい項目をチェックし、値を入力して下さい。
 入力が終わったら“DRAW”ボタンを押して下さい。
 次に、項目二つのみチェックし“CALCULATE”ボタンを押して下さい。
 面内積層パラメータV1*、V2*が表示されます。
 次に、プライ比率を入力して下さい。
 “CALC-ANGLE”ボタンを押すと繊維配向角が表示されます。
 対称積層板の場合($\theta_1=0$ の場合)も表示されます。

繊維方向ヤング率	Ex
繊維直角方向ヤング率	Ey
繊維方向せん断弾性係数	Es
繊維方向ポアソン比	NUyx

面内積層パラメータ	V1*,V2*
プライ比率	PLY
繊維配向角	ANG

Material	T300/5208 CFRP	<input checked="" type="checkbox"/> E1[GPa]	120		
Ex[GPa]	181	<input type="checkbox"/> E2[GPa]	40	DRAW	V1*
Ey[GPa]	10.3	<input type="checkbox"/> E6[GPa]	15	CALCULATE	V2*
Es[GPa]	7.17	<input checked="" type="checkbox"/> NU21	0.2		(V1*)
NUyx	0.26				(V2*)

図 7.3 積層構成の決定 (1)

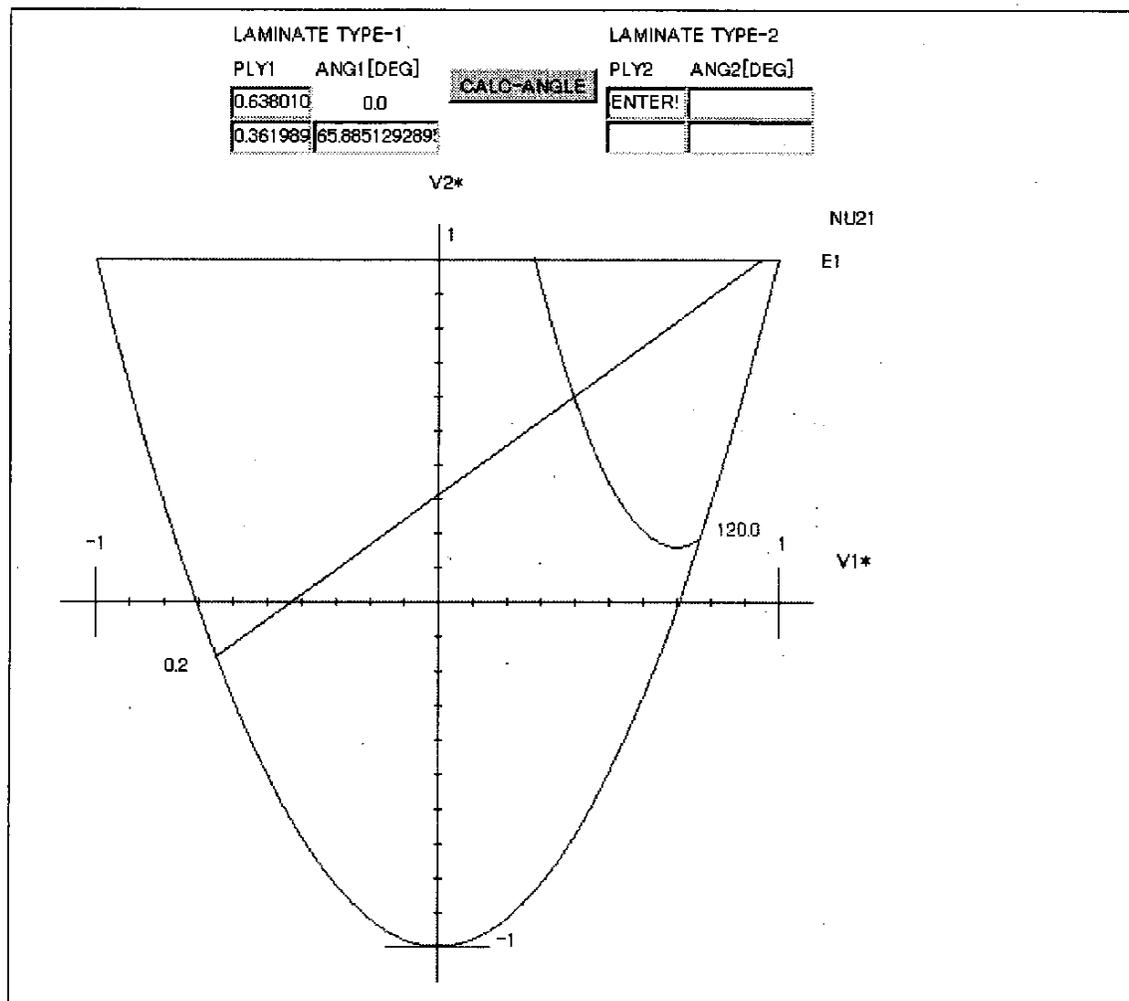


図 7.4 積層構成の決定 (2)

7.3 モジュール開発

作成した設計プログラムをもう一度見直し、訂正や新たに改良するべき点を見つけだした。必要箇所全般に単位を入れた。これにより、システムとしての最低限の装丁がなされた。

まず、横並びであった入力用フォームを機能的に配置する事で、入力項目が見やすく、その順序もわかりやすくすることが出来た。

InternetExplorer3.0以降とNetscapeNavigator3.0以降において入力フォームの表示サイズが違うため、Java・HTMLの両ソースを少し変更し最適な表示位置を実現した。

Module10・11において、「プライ比率、または繊維配向角を与えると、繊維配向角、またはプライ比率が得られ、対称積層板($\theta_1=0$)のときも同時に表示する。」とあったが、対称積層板のときの解はこの入力に依存せず、積層パラメータ V_1^* 、 V_2^* が得られた時点で与えられるため、これは間違いであった。そこで、積層パラメータの計算と同時に対称積層板の積層構成を"LAMINATE TYPE-1"とし、プライ比率入力して得られた積層構成を"LAMINATE TYPE-2"とした。

使用されるシステムにおいて、JavaのLabelの日本語表示が読めない可能性があることが分かった。従って、極力日本語を避けるために"描画"を"DRAW"、"計算"を"CALCLATE"、そして"積層構成決定"を"CALC-ANGLE"とした。Javaは、プラットフォームに依存しないことがその特徴であるが、Mac版のInternetExplorer3.0やUNIX上のあるブラウザでは、文字化けすることが実際に起こっているため、この方法で対応した。

8 モジュールのソースコードの解説

8.1 積層板解析計算モジュール

積層板解析計算モジュールでは、Microsoft J++のリソースエディタを用いて入力フォームを作成した。そのため、Java ファイルが Module.java だけでなく GUI 部品の作成、レイアウトをする IDD_DIALOG.java, DialogLayout.java の3つになっている。また、これらのプログラムで Module1 から Module 5 までの内容を含んだ統合的なものとなっている。

8.1.1 変数設定

この積層板解析計算モジュールでは、Module.java の中で以下のように変数を設定している。

```
int k=1;           //何層目かをあらわす変数
int maxk=1;       //k の最大値を保持する変数
int NH;           //積層数
```

はじめに宣言した k は主に Module2,4 での配向角の入力の際に用いられる変数で、その時点で何層目の入力を行っているかを表す変数であり、初期値は 1 に設定している。次に宣言している maxk は先ほど宣言した k の最大値を保持する変数で、これも初期値は 1 に設定している。また NH は積層数を表していて、この数だけ配向角の入力を受け付けるようになっている。

これらの変数をあわせて用いることにより、配向角の入力の訂正をするために、前の角に戻ったり（「BACK」ボタン機能）、また戻った角から進んでいったり（「NEXT」ボタン機能）することができるようになっている。このときに k と maxk とを比較することで、現在入力している角以上には進まないようになっており、また逆に k と 0 とを比較することによって、「BACK」ボタンをおしても積層数 1 以下にまで戻らないようになっている。そして NH と k との比較で、設定した積層数以上の入力は受け付けられないようになっており、それ以上「NEXT」ボタンを押しても次へは進まない。

```

double EX, EY, ES, NUYX, theat;           //入力値
double THEAT[] = new double[50];         //1 から NH までを使用
double SIGMA1, SIGMA2, SIGMA6;           //面内応力
double M1, M2, M6;                       //曲げモーメント

```

これらの変数はすべてフォームからの入力値を受け取る変数である。はじめに宣言している EX, EY, ES, NUYX, theat はそれぞれ Module1 での入力値である繊維方向ヤング率, 繊維直角方向ヤング率, 繊維方向せん断弾性係数, 繊維方向ポアソン比, 繊維配向角を受け取る。これらの値が計算式にわたされ, Module1 の出力を得られるようになっている。

次に宣言されている配列 THEAT[]は Module2, 4 での配向角の入力を受け取る配列である。この配列のうち 1 番目から NH 番目までを使用するようになっている。

そのあとに宣言されている SIGMA 1, SIGMA2, SIGMA6 は Module3 での入力値である面内応力を受け取る変数である。この値を用いて面内ひずみが求められる。

また, M1, M2, M6 は Module5 での入力である曲げモーメントを受け取る変数であり, これから当該積層板の曲率が求められるようになっている。

```

double QXX, QYY, QXY, QSS, m;           //剛性マトリックス
double U1, U2, U3, U4, U5;             //弾性定数の不変量
double Q11, Q22, Q12, Q66, Q16, Q26;   //弾性定数行列
double q11, q22, q12, q66, q16, q26;   //コンプライアンス行列

```

これらの変数は, Module1 の出力値を受け取る変数である。ただし m だけはその計算の過程に用いられる変数である。QXX, QYY, QXY, QSS は入力値である繊維方向ヤング率, 繊維直角方向ヤング率, 繊維方向せん断弾性係数, 繊維方向ポアソン比から求められた剛性マトリックスの値を受け取り U1, U2, U3, U4, U5 は弾性定数の不変量を受け取る。さきほどの入力値に加えて繊維配向角を与えると出力される弾性定数行列を Q11, Q22, Q12, Q66, Q16, Q26 が受け取り, コンプライアンス行列を q11, q22, q12, q66, q16, q26 が受け取る。

```

double VS1, VS2, VS3, VS4;             //面内積層パラメータ

```

```

double AS11, AS22, AS12, AS66, AS16, AS26; //面内剛性行列要素
double as11, as22, as12, as66, as16, as26; //コンプライアンス剛性行列要素
double E1, E2, E6; //工学的弾性係数
double NU21, NU12, NU61, NU62, NU16, NU26;

```

これらの変数は、**Module2** の出力値を受け取る変数である。**Module1** の入力値である繊維方向ヤング率、繊維直角方向ヤング率、繊維方向せん断弾性係数、繊維方向ポアソン比に加えて各層の繊維配向角から求められた値を受け取る。**VS1, VS2, VS3, VS4** は面内積層パラメータを受け取り、**AS11, AS22, AS12, AS66, AS16, AS26** は面内剛性行列要素を受け取り、**as11, as22, as12, as66, as16, as26** はコンプライアンス剛性行列要素を受け取る。**E1, E2, E6** は工学的弾性定数を **NU21, NU12, NU61, NU62, NU16, NU26** は無単位の工学的弾性定数を受け取る。

```

double WS1, WS2, WS3, WS4; //曲げ積層パラメータ
double DS11, DS22, DS12, DS66, DS16, DS26; //曲げ剛性行列要素
double ds11, ds22, ds12, ds66, ds16, ds26; //曲げコンプライアンス剛性行列要素
double E1f, E2f, E6f; //工学的弾性係数
double NU21f, NU12f, NU61f, NU62f, NU16f, NU26f;

```

これらの変数は、**Module4** の出力値を受け取る変数である。**Module1** の入力値である繊維方向ヤング率、繊維直角方向ヤング率、繊維方向せん断弾性係数、繊維方向ポアソン比に加えて各層の繊維配向角から求められた値を受け取る。**WS1, WS2, WS3, WS4** は曲げ積層パラメータを受け取り、**DS11, DS22, DS12, DS66, DS16, DS26** は曲げ剛性行列要素を受け取り、**ds11, ds22, ds12, ds66, ds16, ds26** は曲げコンプライアンス剛性行列要素を受け取る。**E1f, E2f, E6f** は工学的弾性定数を **NU21f, NU12f, NU61f, NU62f, NU16f, NU26f** は無単位の工学的弾性定数を受け取る変数である。

```

double EPS1, EPS2, EPS6; //面内ひずみ
double K1, K2, K6; //曲率

```

これらの変数は、**Module1** の入力値である繊維方向ヤング率、繊維直角方向ヤング率、繊維方向せん断弾性係数、繊維方向ポアソン比、

Module2 の入力である各層の繊維配向角に加え面内応力を入力して求められる値を受け取る。

EPS1, EPS2, EPS6 は Module3 の出力である面内ひずみをを受け取り, K1, K2, K6 は Module5 の出力である当該積層板の曲率を受け取る変数である。

```
double rd = Math.PI/180.0;           //ラジアンへの変換
String string_theat = "";           //入力の有無判定に使用
```

変数 rd は度で入力された配向角を計算に用いることができるようにラジアンへと変換するために設定された変数である。これにより変換のたびに Math.PI/180.0 棟記述をしなくてもいいようになっている。

また文字列 string_theat は Module1 での配向角の入力判定に用いられている。すなわち入力があれば、この文字列に渡され、それによって配向角の入力があったと判断し、弾性定数行列、コンプライアンス行列を求めるようになっている。

8.1.2 モジュールとの対応

<Module1：一方向強化材の弾性定数>

このモジュールでの計算式は次のようにコード化されている

```
m = (1/(1- ((NUYX)*(NUYX)*EY)/EX));
QXX = m*EX;
QYY = m*EY;
QXY = NUYX*EY;
QSS = ES;

U1 = 3*QXX/8+3*QYY/8+QXY/4+QSS/2;
U2 = QXX/2-QYY/2;
U3 = QXX/8+QYY/8-QXY/4-QSS/2;
U4 = QXX/8+QYY/8+3*QXY/4-QSS/2;
U5 = QXX/8+QYY/8-QXY/4+QSS/2;
```

これらから、剛性マトリックスと弾性定数の不変量は求められる。

また、さらに繊維配向角を入力することで求められる弾性定数行列に関する計算式は以下のようにコード化されている。ただ、 $\cos 90^\circ$ となるような配向角が入力されたとき、正しい値 (0) にならないので、 $\cos 90^\circ$ の処理で場合分けをした。

```
if(theat = 22.5 || theat = 112.5 ||
    theat = 177.5 || theat = -67.5 || theat = -157.5)
{
    Q11 = U1+U2*Math.cos(rd*2*theat);
    Q22 = U1-U2*Math.cos(rd*2*theat);
    Q12 = U4;
    Q66 = U5;
}
if(theat = 45.0 || theat = -135.0)
{
    Q11 = U1+U3*Math.cos(rd*4*theat);
    Q22 = U1+U3*Math.cos(rd*4*theat);
    Q12 = U4-U3*Math.cos(rd*4*theat);
    Q66 = U5-U3*Math.cos(rd*4*theat);
}
else
{
    Q11= U1+U2*Math.cos(rd*2*theat)+U3*Math.cos(rd*4*theat);
    Q22 = U1-U2*Math.cos(rd*2*theat)+U3*Math.cos(rd*4*theat);
    Q12 = U4-U3*Math.cos(rd*4*theat);
    Q66 = U5-U3*Math.cos(rd*4*theat);
}
Q16 = U2*(Math.sin(rd*2*theat))/2+U3*Math.sin(rd*4*theat);
Q26 = U2*(Math.sin(rd*2*theat))/2-U3*Math.sin(rd*4*theat);
```

このように $\cos 90^\circ$ になってしまう部分があるときを場合わけし、そのときは既存の式 (else 以下の式) に値を渡すのではなくて、はじめから $\cos 90^\circ$ を 0 として入力してある式 (if 以下の式) を使うように設定している。

また、繊維配向角を入力することで、さきほどの弾性定数行列と同時に求められるコンプライアンス行列に関する計算式を一部示す。

```
q11 = (Q22*Q66-Q26*Q26)
      /(Q11*Q22*Q66
        +2*Q12*Q26*Q16
        -Q16*Q16*Q22
        -Q12*Q12*Q66
        -Q26*Q26*Q11);
```

<Module2：対称積層板の剛性>

このモジュールでの計算式は次のようにコード化されている。(抜粋)

```
if(THEAT[i] == 22.5 || THEAT[i] == 112.5 ||
    THEAT[i] == 177.5 || THEAT[i] == -67.5 || THEAT[i] == -157.5)
{
    VS1a += Math.cos(rd*2.0*THEAT[i]);
    VS2a += 0;
    VS3a += Math.sin(rd*2.0*THEAT[i]);
    VS4a += Math.sin(rd*4.0*THEAT[i]);
}
if(THEAT[i] == 45 || THEAT[i] == -135.0)
{
    VS1a += 0;
    VS2a += Math.cos(rd*4.0*THEAT[i]);
    VS3a += Math.sin(rd*2.0*THEAT[i]);
    VS4a += Math.sin(rd*4.0*THEAT[i]);
}
else
{
    VS1a += Math.cos(rd*2.0*THEAT[i]);
    VS2a += Math.cos(rd*4.0*THEAT[i]);
    VS3a += Math.sin(rd*2.0*THEAT[i]);
    VS4a += Math.sin(rd*4.0*THEAT[i]);
}
```

このように、さきほどの一方向強化材の工学的弾性定数を求めたとき

と同様に $\cos 90^\circ$ となるときの例外処理を行っている。そしてこのときに用いている VS1a, VS2a, VS3a, VS4a は一時的な変数なので以下の式に代入することで面内積層パラメータ VS1, VS2, VS3, VS4 を求めている。

$$VS1 = VS1a / (\text{double})NH;$$

$$VS2 = VS2a / (\text{double})NH;$$

$$VS3 = VS3a / (\text{double})NH;$$

$$VS4 = VS4a / (\text{double})NH;$$

そしてその面内積層パラメータ VS1, VS2, VS3, VS4 を用いて、面内剛性行列要素 AS11, AS22, AS12, AS66, AS16, AS26 を以下の式から求めている。

$$AS11 = U1 + VS1 * U2 + VS2 * U3;$$

$$AS22 = U1 - VS1 * U2 + VS2 * U3;$$

$$AS12 = U4 - VS2 * U3;$$

$$AS66 = U5 - VS2 * U3;$$

$$AS16 = VS3 * U2 / 2.0 + VS4 * U3;$$

$$AS26 = VS3 * U2 / 2.0 - VS4 * U3;$$

そしてその面内剛性行列要素 AS11, AS22, AS12, AS66, AS16, AS26 を用いて、コンプライアンス剛性行列要素 as11, as22, as12, as66, as16, as26 を以下の式から求めている。

$$\begin{aligned} as11 = & (AS22 * AS66 - AS26 * AS26) \\ & / (AS11 * AS22 * AS66 \\ & + 2 * AS12 * AS26 * AS16 \\ & - AS16 * AS16 * AS22 \\ & - AS12 * AS12 * AS66 \\ & - AS26 * AS26 * AS11); \end{aligned}$$

そしてそのコンプライアンス剛性行列要素 as11, as22, as12, as66, as16, as26 を用いて、工学的弾性定数 E1, E2, E6 を以下の式から求めている。

$$E1 = 1.0/as11;$$

$$E2 = 1.0/as22;$$

$$E6 = 1.0/as66;$$

同様にそのコンプライアンス剛性行列要素 $as11$, $as22$, $as12$, $as66$, $as16$, $as26$ を用いて, 工学的弾性定数 $NU21$, $NU12$, $NU61$, $NU62$, $NU16$, $NU26$ を以下の式から求めている.

$$NU21 = -as12/as11;$$

$$NU12 = -as12/as22;$$

$$NU61 = as16/as11;$$

$$NU62 = as26/as22;$$

$$NU16 = as16/as66;$$

$$NU26 = as26/as66;$$

<Module3 : 面内ひずみ>

このモジュールでの計算式は次のようにコード化されている。(抜粋)

$$EPS1 = as11*SIGMA1 + as12*SIGMA2 + as16*SIGMA6; \quad //ひずみの計算$$

$$EPS2 = as12*SIGMA1 + as22*SIGMA2 + as26*SIGMA6;$$

$$EPS6 = as16*SIGMA1 + as26*SIGMA2 + as66*SIGMA6;$$

このように Module3 では, 入力値である面内応力 $SIGMA1$, $SIGMA2$, $SIGMA6$ と Module2 の出力であるコンプライアンス剛性行列要素 $as11$, $as22$, $as12$, $as66$, $as16$, $as26$ を用いて, 出力である面内ひずみを求めている. そしてさらに次のような変換も行っている.

$$EPS1 = EPS1*1e3; \quad //単位変換(これにより 1.0e-6GPa に)$$

$$EPS2 = EPS2*1e3;$$

$$EPS6 = EPS6*1e3;$$

つまり上の式から求まる面内ひずみは[Gpa]の単位のままだと非常に小さく見づらくなることが予測されるので, 出力する前に 1000 倍することによって単位を変換し見やすくした.

<Module4 : 対称積層板の曲げ剛性>

このモジュールでの計算式は次のようにコード化されている。(抜粋)

```
if(THEAT[i] == 22.5 || THEAT[i] == 112.5 ||
    THEAT[i] == 177.5 || THEAT[i] == -67.5 || THEAT[i] == -157.5)
{
    WS1a += Math.cos(rd*2.0*THEAT[i]);
    WS2a += 0;
    WS3a += Math.sin(rd*2.0*THEAT[i]);
    WS4a += Math.sin(rd*4.0*THEAT[i]);
}
if(THEAT[i] == 45 || THEAT[i] == -135.0)
{
    WS1a += 0;
    WS2a += Math.cos(rd*4.0*THEAT[i]);
    WS3a += Math.sin(rd*2.0*THEAT[i]);
    WS4a += Math.sin(rd*4.0*THEAT[i]);
}
else
{
    WS1a += Math.cos(rd*2.0*THEAT[i]);
    WS2a += Math.cos(rd*4.0*THEAT[i]);
    WS3a += Math.sin(rd*2.0*THEAT[i]);
    WS4a += Math.sin(rd*4.0*THEAT[i]);
}
```

このように、さきほどの一方向強化材の工学的弾性定数を求めたときと同様に $\cos 90^\circ$ となるときの例外処理を行っている。そしてこのときに用いている WS1a, WS2a, WS3a, WS4a は一時的な変数なので以下の式に代入することで曲げ積層パラメータ WS1, WS2, WS3, WS4 を求めている。

```
WS1 = WS1a/((double)NH*(double)NH*(double)NH);
WS2 = WS2a/((double)NH*(double)NH*(double)NH);
WS3 = WS3a/((double)NH*(double)NH*(double)NH);
WS4 = WS4a/((double)NH*(double)NH*(double)NH);
```

そしてその曲げ積層パラメータ WS1, WS2, WS3, WS4 を用いて、曲げ剛性行列要素 DS11, DS22, DS12, DS66, DS16, DS26 を以下の式から求めている。

$$DS11 = U1 + WS1*U2 + WS2*U3;$$

$$DS22 = U1 - WS1*U2 + WS2*U3;$$

$$DS12 = U4 - WS2*U3;$$

$$DS66 = U5 - WS2*U3;$$

$$DS16 = WS3*U2/2.0 + WS4*U3;$$

$$DS26 = WS3*U2/2.0 - WS4*U3;$$

そしてその曲げ剛性行列要素 DS11, DS22, DS12, DS66, DS16, DS26 を用いて、曲げコンプライアンス剛性行列要素 ds11, ds22, ds12, ds66, ds16, ds26 を以下の式から求めている。

$$ds11 = (DS22*DS66 - DS26*DS26) / (DS11*DS22*DS66 + 2*DS12*DS26*DS16 - DS16*DS16*DS22 - DS12*DS12*DS66 - DS26*DS26*DS11);$$

そしてその曲げコンプライアンス剛性行列要素 ds11, ds22, ds12, ds66, ds16, ds26 を用いて、工学的弾性定数 E1f, E2f, E6f を以下の式から求めている。

$$E1f = 1.0/ds11;$$

$$E2f = 1.0/ds22;$$

$$E6f = 1.0/ds66;$$

同様にその曲げコンプライアンス剛性行列要素 ds11, ds22, ds12, ds66, ds16, ds26 を用いて、工学的弾性定数 NU21f, NU12f, NU61f, NU62f, NU16f, NU26f を以下の式から求めている。

$$NU21f = -ds12/ds11;$$

$$NU12f = -ds12/ds22;$$

```

NU61f = ds16/ds11;
NU62f = ds26/ds22;
NU16f = ds16/ds66;
NU26f = ds26/ds66;

```

<Module5：当該積層板の曲率>

このモジュールでは新たに次のような変数を宣言している。

```

double t;           //一層の厚み
double h;           //全体の厚み

```

変数 t は積層する板の厚みを表す変数であり、変数 h は積層した対称積層板の全体の厚みを表す変数である。これらの変数を新たに用いて、計算式は次のようにコード化されている。(抜粋)

```

h = 2*(double)NH*t;

K1 = (ds11*M1 + ds12*M2 + ds16*M6)*12/(h*h*h); //曲率の計算
K2 = (ds12*M1 + ds22*M2 + ds26*M6)*12/(h*h*h);
K6 = (ds16*M1 + ds26*M2 + ds66*M6)*12/(h*h*h);

```

このように Module5 では、入力値である曲げモーメント M1, M2, M6 と新たに宣言した変数 t, h や Module4 の出力である曲げコンプライアンス剛性行列要素 ds11, ds22, ds12, ds66, ds16, ds26 を用いて、出力である面内ひずみを求めている。

8.1.3 その他

<素材選択>

Module1 のところにある素材選択ボタン「CFRP」, 「KFRP」 「GFRP」のソースコードを以下に示す。この積層板解析計算モジュールでは、繊維方向ヤング率, 繊維直角方向ヤング率, 繊維方向せん断弾性係数, 繊維方向ポアソン比の 4 つの値を、よく用いられる素材についてはその素材を選択するだけでこれらの値が自動的に入力されるようになっている。

```

if (evt.target==dlg.CFRP)
{
    dlg.EDIT1.setText("181");
    dlg.EDIT2.setText("10.3");
    dlg.EDIT3.setText("7.17");
    dlg.EDIT4.setText("0.28");
}
if (evt.target==dlg.KFRP)
{
    dlg.EDIT1.setText("76");
    dlg.EDIT2.setText("5.5");
    dlg.EDIT3.setText("2.3");
    dlg.EDIT4.setText("0.34");
}
if (evt.target==dlg.GFRP)
{
    dlg.EDIT1.setText("38.6");
    dlg.EDIT2.setText("8.27");
    dlg.EDIT3.setText("4.14");
    dlg.EDIT4.setText("0.26");
}

```

これからわかるように、「CFRP」ボタンを選択すると炭素繊維強化エポキシ樹脂の工学的弾性定数（繊維方向ヤング率：181Gpa，繊維直角方向ヤング率：10.3Gpa，繊維方向せん断弾性係数：7.17Gpa，繊維方向ポアソン比 0.28）が自動的に入力される。

「KFRP」ボタンを選択するとケブラー繊維強化エポキシ樹脂の工学的弾性定数（繊維方向ヤング率：76Gpa，繊維直角方向ヤング率：5.5Gpa，繊維方向せん断弾性係数：2.3Gpa，繊維方向ポアソン比 0.34）が自動的に入力される。

「GFRP」ボタンを選択するとガラス繊維強化エポキシ樹脂の工学的弾性定数（繊維方向ヤング率：38.6Gpa，繊維直角方向ヤング率：8.27Gpa，繊維方向せん断弾性係数：4.14Gpa，繊維方向ポアソン比 0.26）が自動的に入力される。

<NEXT 機能>

積層板の剛性を求める Module2, 4 の配向角の入力フォームに設定している NEXT ボタンのソースコードを以下に示す。(抜粋)

```
if (evt.target==dlg.NEXT)
{
    if((dlg.EDIT7.getText()) != "") //配向角の入力判定
    {
        if(k < NH) //k が NH-1 のときまで動作
        {
            if(k > maxk-1) // k が maxk より大きいとき
            {
                k++;
                maxk++;
                dlg.EDIT7.setText("");
                dlg.EDIT0.setText(Integer.toString(k));
            }
            if(k < maxk) //k が maxk より小さいとき
            {
                k++;
                dlg.EDIT7.setText(Double.toString(THEAT[k]));
                dlg.EDIT0.setText(Integer.toString(k));
            }
        }
    }
}
```

「NEXT」ボタンが押されたとき、まずその時点での配向角の入力確認をして、入力がされているときだけ動作する。何も入力されていないければ動作しない。例えば 1 層目の入力をしていないのに、「NEXT」ボタンを押すと積層数 (NH) を 5 層に設定していても 1 層目の配向角が入力されていないので、2 層目には進まない。

そして配向角が入力されていると確認されたときは、次に今の入力が何層目かを表す変数 k を確認する。そしてこれが $k < NH$ を満たし、次の入力がまだ必要なようであれば、今度は k と maxk とを比較する。

k が maxk と同じかそれより大きいならば、それ以上の入力はまだされていないので、今が何層目かを示す EDIT0 の数値は 1 つあがり、入

力するところ (EDIT7) はクリアされなにも表示されず、入力可能な状態となる。逆にkが maxk より小さいならば、「NEXT」で進んだ次の層の配向角はすでに入力されているので、今が何層目かを示す EDIT0 の数値は1つあがり、その値が表示されるようになっている。

<BACK 機能>

積層板の剛性を求める Module2, 4 の配向角の入力フォームに設定している BACK ボタンのソースコードを以下に示す。(抜粋)

```
if (evt.target==dlg.BACK)
{
    if(k > 1)                //k が 2 以上のときに動作
    {
        k--;
        dlg.EDIT7.setText(Double.toString(THEAT[k]));

        dlg.EDIT0.setText(Integer.toString(k));
    }
}
```

「BACK」ボタンが押されたとき、今の入力は何層目かを表す変数kを確認する。そしてkが2以上であるならば、1つ前の層に戻ることができるので、今が何層目かを示す EDIT0 の数値は1つさがり、EDIT7には1つ前の層の配向角が表示される。

<配向角の入力確認図>

積層板の剛性を求める Module2, 4 の配向角の入力フォームに設定している配向角の入力確認図のソースコードを以下に示す。(抜粋)

```
public void paint(Graphics g)
{
    NH = Integer.parseInt(dlg.EDIT6.getText());
    THEAT[k] = Double.valueOf(dlg.EDIT7.getText()).doubleValue();
}
```

```
int sou; //層数
```

配向角の入力確認図を表示するためにこの `paint` メソッドのなかで新たに変数 `sou` を定義する。そして再び `NH` の値を取り込み、片側積層数を確認する。また、このときに配向角の入力がされていれば、その値ももう一度取り込む。そして実際の表示は、入力した積層数の数により 0 層から 10 層までのとき、11 層から 20 層までのとき、21 層から 30 層までのとき、31 層以上のときと場合わけをしている。ここに 10 層までのときのソースコードを示す。

```
if(NH<11) //10層までのとき
{
    g.setColor(Color.red);
    g.drawString("<< 配向角の確認 >>", 280, 840);

    for(int i=1; i<NH+1; i++)
    {
        sou = i;
        g.setColor(Color.blue);
        g.drawString(Integer.toString(sou), 300, 830 -14*i);
        g.setColor(Color.black);
        g.drawString(Double.toString(THEAT[i]), 340, 830 -14*i);
        g.setColor(Color.green);
        g.drawRect(320, 819 -14*i, 50, 14);
    }
}
```

このように場合わけをしているのは、配向角の入力図を表示するスペースの都合上、10 層ごとに区切って横に並べて表示しているからである。そのため片側積層数が 10 層以下のときと、30 層あるときとでは、最適な表示位置が異なる。よって、このような場合わけをした。

また、この画像表示は使用するブラウザ、またそのブラウザを使用している OS によっても大きく左右される。積層板解析計算モジュールを開発時に Macintosh 上の Netscape3.0 と、Windows 上の InternetExplorer3.0, Netscape4.0 を確認に使用していたので、Netscape はバージョンによって表示が異なるのだと解釈していたが、実はそう

ではなく、同じ Netscape3.0 でも Macintosh 上で使用するときと、Windows 上で使用するときとは、表示に違いがあるということがわかった。そこで最終的に、それらを考慮して Windows 上での InternetExplorer 用、Netscape 用、Macintosh 上での InternetExplorer 用、Netscape 用を作成した。

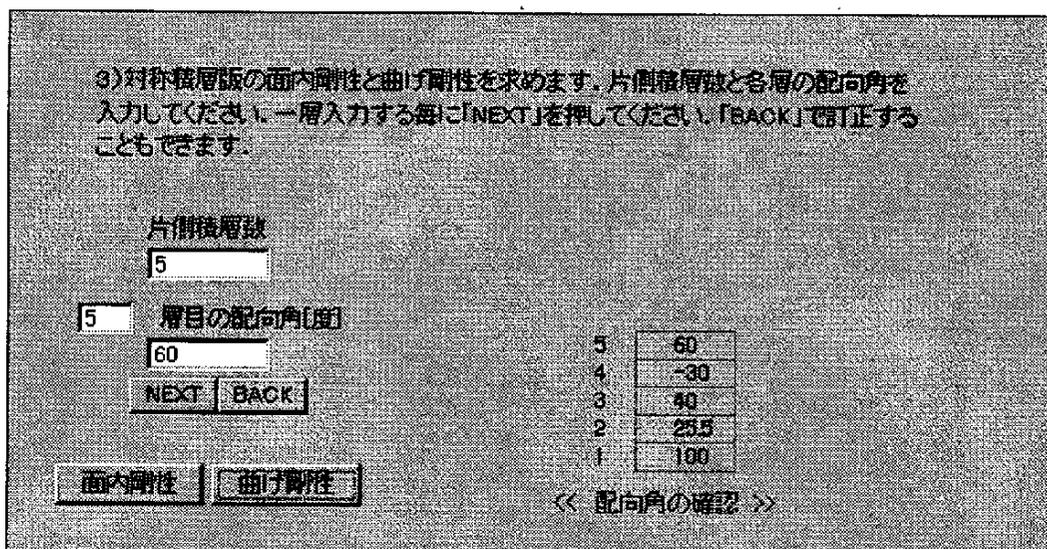


図 8.1 Macintosh で表示したとき

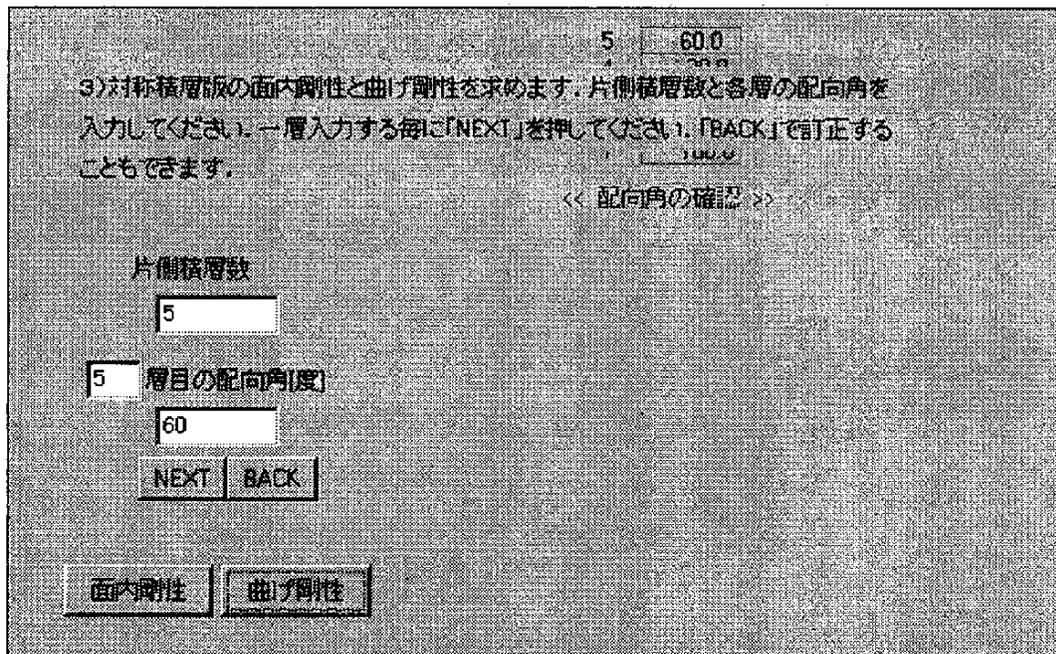


図 8.2 Windows で表示したとき

この 2 つの図からわかるように同じアプレットを表示させても、Macintosh と Windows では図の描写が異なってしまいます。

<IDD_DIALOG.java>

このファイルはリソースエディタによって作成されるファイルで、Dialog リソースに配置されている個々の GUI 部品のレイアウトに関するコードが以下のように記述されている。

// コントロールの定義

```

Button    OK_1;
Button    OK_2;
Button    OK_3;
Button    NEXT;
Button    BACK;
Button    CFRP;
Button    KFRP;
Button    GFRP;

```

このファイルが作成されるとき、GUI 部品のサイズやフォントサイズは適当に調整された値になり、フォントサイズは 9 と比較的小さなサイズとなる。そこで、本積層板解析計算モジュールでは、直接 IDD_DIALOG.java の該当箇所を修正し、フォントサイズを 12 と見やすくした。以下に例として訂正箇所を一部示す。

```
STATIC_d1 = new Label ("4) 面内ひずみを求めます。  
        面内応力を入力してください。", Label.LEFT);  
m_Parent.add(STATIC_d1);  
m_Layout.setShape(STATIC_d1, 33, 1047, 190, 12);  
  
OK_5 = new Button ("OK");  
m_Parent.add(OK_5);  
m_Layout.setShape(OK_5, 145, 1117, 40, 14);  
  
STAT16 = new Label ("面内応力[MPa]", Label.RIGHT);  
m_Parent.add(STAT16);  
m_Layout.setShape(STAT16, 55, 1074, 60, 8);
```

このように m_Layout.setShape に続く (STAT16, 55, 1074, 60, 8) の中の数値を設定し直すことで、適切な表示ができる。

< DialogLayout.java >

このファイルはリソースエディタによって作成されるファイルで、ダイアログ上に配置された GUI 部品のレイアウトを行うためのコードが記述されている。個々の GUI 部品に依存しない共通のメソッドが記述されている。冒頭部を以下に示す。

```
// This is a part of the Microsoft Visual J++ library.  
// Copyright (C) 1996 Microsoft Corporation  
// All rights reserved.  
  
import java.util.Hashtable;  
import java.awt.LayoutManager;
```

```
import java.awt.Component;
import java.awt.Container;
import java.awt.Dimension;
import java.awt.Rectangle;
import java.awt.FontMetrics;
import java.awt.Insets;
import java.awt.Label;
```

8.2 積層板設計計算モジュール

本積層板設計計算モジュールでは、リソースエディタを用いていないので、解析計算モジュールとは異なり、Java ファイルは 1 つだけである。Module6 から Module11 までがあるが、5 章「モジュールの関連」で説明したとおり面内積層に関する Module10 は Module6, 8 の内容を含んでおり、曲げ積層に関する Module11 は Module7, 9 の内容を含んでいるので、ここでは Module10 のソースコードと、Module11 のソースコードをとりあげる。

8.2.1 面内積層パラメータからの積層構成決定

<変数>

この積層板解析計算モジュールでは、Module.java の中で以下のように変数を設定している。

```
double E1;
double E2;
double E6;
double NU21;
```

はじめに宣言されている E1, E2, E6, NU21 は本来ならば工学的弾性定数を表すが、Module8, 10 では入力項目である工学的弾性定数の等高線の値を受け取る変数として用いられている。そしてその値に応じて等高線を画面に表示させる。Module6 では等高線の表示間隔を受け取る変数として用いられており、その値に応じて等高線の間隔を調整して画面に表示させる。

```
boolean flag_e1 = false;
boolean flag_e2 = false;
boolean flag_e6 = false;
boolean flag_nu21 = false;
```

そしてここで宣言されている `flag_e1`, `flag_e2`, `flag_e6`, `flag_nu21`, `flag_the` はチェックボックスの入力を受け取る。先ほど述べた等高線の値を受け取る `E1`, `E2`, `E6`, `NU21` と関連しており、受け取ったチェックボックスの値が `true` ならその等高線を表示し、`false` ならばその等高線は表示しない。また、このチェックボックスは面内積層パラメータを決定する際に指定するようになっている 2 つの工学的弾性定数の指定にも用いられる。

```
int flag_v = 0;
```

この変数 `flag_v` は先ほど述べた `flag_e1`, `flag_e2`, `flag_e6`, `flag_nu21` の組み合わせにより決定する値を受け取る。例えば `flag_e1 = false`, `flag_e2 = false`, `flag_e6 = true`, `flag_nu21 = true` というような組み合わせなら `flag_v = 1` というような値が与えられる。そしてそれに応じて面内積層パラメータの計算をするようになっている。この際、選択する工学的弾性定数は 2 つでないとならないので、`true`, `false` が 2 つずつの組み合わせでない場合は `flag_v = 0` という値になり、`error` が検出されるようになっている。

```
double v1;
double v2;
double v1a;
double v2a;
double v2d;
double v2ad;
```

変数 `v1`, `v2` は、繊維方向ヤング率、繊維直角方向ヤング率、繊維方向せん断弾性係数、繊維方向ポアソン比の 4 つの値から求められる面内積層パラメータを示す変数であり、`v1a`, `v2a` は条件を満たす面内積層パラメータがもう一組あるときに使う変数で、`v2d`, `v2ad` は面内積層パラメータ計算の過程で用いられる変数である。

```
double the1, the2, the4, the1d;  
double ply1, ply2, ply3, ply4;
```

the1, the2, the4, the1d は積層構成を決定する配向角を受け取る変数であり、ply1, ply2, ply3, ply4 はプライ比率を受け取る変数である。

```
double EX, EY, ES, NUYX;  
double QXX, QYY, QXY, QSS, m;  
double U1, U2, U3, U4, U5;  
double rd = Math.PI/180.0;
```

これらの変数 EX, EY, ES, NUYX は、入力された工学的弾性定数である繊維方向ヤング率、繊維直角方向ヤング率、繊維方向せん断弾性係数、繊維方向ポアソン比を受け取る変数である。また、QXX, QYY, QXY, QSS は入力値である繊維方向ヤング率、繊維直角方向ヤング率、繊維方向せん断弾性係数、繊維方向ポアソン比から求められた剛性マトリックスの値を受け取り U1, U2, U3, U4, U5 は弾性定数の不変量を受け取る。

また変数 rd は度で入力された配向角を計算に用いることができるようにラジアンへと変換するために設定された変数である。これにより変換のたびに Math.PI/180.0 を記述をしなくてもいいようになっている。

<GUI 部品関連>

GUI 部品を使用するにあたって、まず以下のように使用する部品を宣言し名前をつけた。(抜粋)

```
TextField txtEx;  
TextField txtEy;  
TextField txtEs;  
TextField txtNUyx;
```

そして次にその部品を配置するパネルを宣言した。この中でそれぞれの部品の初期値やサイズ、レイアウトの形態などといったことを設定した。ここで取り上げたパネルでは、CFRP, KFRP, GFRP といった

素材の選択をするリストボックスを構成している。コードの後半の `TextField` で初期値として与えられている数値は、CFRP を選んだときの工学的弾性定数である。

```
Panel pt=new Panel();
pt.setLayout(new GridLayout(5,1));
Choice cho=new Choice();
cho.addItem("T300/5208 CFRP");
cho.addItem("Kevlar 49/Epoxy KFRP");
cho.addItem("Scotchply 1002 GFRP");
pt.add(cho);
pt.add(txtEx=new TextField("181",4));
pt.add(txtEy=new TextField("10.3",4));
pt.add(txtEs=new TextField("7.17",4));
pt.add(txtNUyx=new TextField("0.28",4));
```

以下のコードはチェックボックスに関するものである。入力フォーム上にある 4 つのチェックボックスのチェックの有無を判定している。その判定方法としては、まずチェックされた部品の名前を受け取り、その名前からどれがチェックされたか見分けている。

```
if("E1[GPa]".equals(c.getLabel()))
{
    if(flag_e1 == false)
        flag_e1 = true;
    else
        flag_e1 = false;
}
```

そして以下のコードは、リストボックスに関するものである。積層板解析計算モジュールのほうではボタンで与えられていた素材の選択がここではリストボックスになっている。

このリストボックスの選択肢である「T300/5208 CFRP」を選択すると炭素繊維強化エポキシ樹脂の工学的弾性定数（繊維方向ヤング率：181Gpa, 繊維直角方向ヤング率：10.3Gpa, 繊維方向せん断弾性係数：

7.17Gpa, 繊維方向ポアソン比 0.28) が自動的に入力される。

「Kevlar 49/Epoxy KFRP」を選択するとケブラー繊維強化エポキシ樹脂の工学的弾性定数（繊維方向ヤング率：76Gpa, 繊維直角方向ヤング率：5.5Gpa, 繊維方向せん断弾性係数：2.3Gpa, 繊維方向ポアソン比 0.34) が自動的に入力される。

「Scotchply 1002 GFRP」を選択するとガラス繊維強化エポキシ樹脂の工学的弾性定数（繊維方向ヤング率：38.6Gpa, 繊維直角方向ヤング率：8.27Gpa, 繊維方向せん断弾性係数：4.14Gpa, 繊維方向ポアソン比 0.26) が自動的に入力される。

<計算>

Module10 では、入力された工学的弾性定数である繊維方向ヤング率, 繊維直角方向ヤング率, 繊維方向せん断弾性係数, 繊維方向ポアソン比から, 剛性マトリックス QXX, QYY, QXY, QSS を以下の式から求める。

$$\begin{aligned}m &= (1/(1- ((NUYX)*(NUYX)*EY)/EX)); \\QXX &= m*EX; \\QYY &= m*EY; QXY = NUYX*EY; \\QSS &= ES;\end{aligned}$$

そして繊維方向ヤング率, 繊維直角方向ヤング率, 繊維方向せん断弾性係数, 繊維方向ポアソン比から求められた剛性マトリックスの値を用いて弾性定数の不変量 U1, U2, U3, U4, U5 を以下の式から求める。

$$\begin{aligned}U1 &= 3*QXX/8+3*QYY/8+QXY/4+QSS/2; \\U2 &= QXX/2-QYY/2; \\U3 &= QXX/8+QYY/8-QXY/4-QSS/2; \\U4 &= QXX/8+QYY/8+3*QXY/4-QSS/2; \\U5 &= QXX/8+QYY/8-QXY/4+QSS/2;\end{aligned}$$

「DRAW」ボタンが押されたとき, チェックボタンのチェック状況から等高線を描写する。そして flag_e1, flag_e2, flag_e6, flag_nu21 の組み合わせにより場合わけをする。例えば flag_e1 = false, flag_e2 = false, flag_e6 = true, flag_nu21 = true というような組み合わせなら

flag_v = 1 というような値が与えられる。そしてそれに応じて面内積層パラメータの計算をするようになっている。

```
if(flag_e1==false&&flag_e2==false&&flag_e6==true&&flag_nu21==true)
    flag_v = 1;
else if(flag_e1==false&&flag_e2==true&&flag_e6==false&&flag_nu21==true)
    flag_v = 2;
else if(flag_e1==false&&flag_e2==true&&flag_e6==true&&flag_nu21==false)
    flag_v = 3;
else if(flag_e1==true&&flag_e2==false&&flag_e6==false&&flag_nu21==true)
    flag_v = 4;
else if(flag_e1==true&&flag_e2==false&&flag_e6==true&&flag_nu21==false)
    flag_v = 5;
else if(flag_e1==true&&flag_e2==true&&flag_e6==false&&flag_nu21==false)
    flag_v = 6;
```

この際、選択する工学的弾性定数は2つでないといけないので、true, false が2つずつの組み合わせでない場合は flag_v = 0 という値になり、error が検出されるようになっている。

```
flag_v = 0;
txtV1S.setText("error");
txtV2S.setText("error");
showStatus("error");
```

その時の面内積層パラメータの計算に、入力された工学的弾性定数 E1, E2, E6, NU21 の値と、先ほど求めた弾性定数の不変量を用いる。以下の式は flag_v = 1 のときのソースコードである。

```
v1 = 0.0;
v2 = 0.0;
v1 = (1.0 + NU21) * (U5 - E6) + NU21 * U1 - U4;
v1 = v1 / NU21 / U2;
v2 = NU21 * U2 * v1 - NU21 * U1 + U4;
v2 = v2 / (1.0 + NU21) / U3;
```

また、ここまでの操作(面内積層パラメータの計算)をすると **Module10** では同時に、プライ比率・繊維配向角の計算を行う。それまでの操作で「**CALCULATE**」ボタンを押すと「**LAMINATE TYPE-1**」が自動的に計算される。これは対称積層板のとき、つまり繊維配向角の一つが 0° のときの積層構成を設計している。

```
ply3 = 3.0 + v2 - 4.0 * v1;  
ply3 = (v2 - 2.0 * v1 * v1 + 1.0) / ply3;  
ply4 = 1.0 - ply3;
```

ここで「**LAMINATE TYPE-2**」の「**PLY2**」にプライ比率を入力し「**CALC-ANGLE**」ボタンを押すと、その値が有効であるならその積層構成が表示される。プライ比率は「**ply1**」, 「**ply2**」で、繊維配向角は「**the1**」, 「**the2**」である。その値は以下のようにして求められる。

```
the1 = 0.0;  
the2 = 0.0;  
ply2 = 1.0 - ply1;  
the1 = 2.0 * ply1 * ply2 * (1.0 + v2 - 2.0 * v1 * v1);  
the1d = 2.0 * ply1 * v1 - Math.sqrt(the1);  
the1 = 2.0 * ply1 * v1 + Math.sqrt(the1);  
the1 = the1 / (2.0 * ply1);
```

<グラフ描画>

基本となるグラフの枠は以下のコードから成り立っている。

```
g.setColor(Color.darkGray);  
g.drawLine (30, 450, 470, 450); //x 軸  
g.drawLine (250, 230, 250, 670); //y 軸  
g.drawLine(50, 430, 50, 470); //x 軸の左縦線  
g.drawLine(450, 430, 450, 470); //y 軸の右縦線  
g.drawLine(50, 250, 450, 250); //y=1  
g.drawLine(220, 650, 280, 650); //y=-1  
g.drawString("1", 450, 420); //x 軸目盛り  
g.drawString("-1", 45, 420); //x 軸目盛り
```

```

g.drawString("1", 255, 240);           //y 軸目盛り
g.drawString("-1", 285, 650);        //y 軸目盛り

```

そして、制約条件となる許容領域のグラフは以下のコードから描画される。

```

for(i = 0; i < 401; i+=1)           //v2* = 2 * v1* * v1* - 1 のグラフ
{
    x = i - 200;
    xd = x / 200.0;
    y = 2.0 * xd * xd - 1.0;
    px = x + 250;
    yd = 450.0 - y * 200.0;
    py = (int)yd;
    px2 = px;
    py2 = py;
    g.setColor(Color.darkGray);
    g.drawLine(px1, py1, px2, py2);
    px1 = px2;
    py1 = py2;
}

```

これらのグラフ上に選択した工学的弾性定数のグラフが描画される。以下のコードは等高線 E1 を記述するための主な部分である。

```

x = i - 200;
xd = x / 200.0;
y = 2.0 * xd * xd - 1.0;
ya = U2 * U2 * xd * xd - U2 * E1 * xd + E1 * U1 - U1 * U1 + U4 * U4;
ya = ya / U3 / (2.0 * U1 + 2.0 * U4 - E1);
px = x + 250;
yd = 450.0 - y * 200.0;
yda = 450.0 - ya * 200.0;
py = (int)yd;
pya = (int)yda;
px2 = px;

```

```
py2 = py;  
pya2 = pya;
```

このままでは制約条件である許容領域を全く考慮していないので、以下のようにして許容領域を満たす値のみ表示させている。

```
if(pya > 250)          //制約条件内でグラフ表示  
{  
    if(pya < py)  
    {  
        g.drawLine(px1, pya1, px2, pya2);  
    }  
}
```

8.2.2 曲げ積層パラメータからの積層構成決定

<変数>

面内積層パラメータのときと同様に、はじめに宣言されている **E1f**, **E2f**, **E6f**, **NU21f** は, **Module9**, **11** では入力項目である工学的弾性定数の等高線の値を受け取る変数として用いられている。 **Module7** では等高線の表示間隔を受け取る変数として用いられており, その値に応じて等高線の間隔を調整して画面に表示させる。

```
double E1f;  
double E2f;  
double E6f;  
double NU21f;
```

そして次に宣言されている **flag_e1**, **flag_e2**, **flag_e6**, **flag_nu21** はチェックボックスの入力を受け取る。先ほど述べた等高線の値を受け取る **E1f**, **E2f**, **E6f**, **NU21f** と関連しており, 受け取ったチェックボックスの値が **true** ならその等高線を表示し, **false** ならばその等高線は表示しない。また, このチェックボックスは曲げ積層パラメータを決定する際に指定するようになっている 2 つの工学的弾性定数の指定にも用いられる。

```
boolean flag_e1 = false;
boolean flag_e2 = false;
boolean flag_e6 = false;
boolean flag_nu21 = false;
```

また、変数 `flag_w` は先ほど述べた `flag_e1`, `flag_e2`, `flag_e6`, `flag_nu21` の組み合わせにより決定する値を受け取る。

```
int flag_w = 0;
```

例えば `flag_e1 = false`, `flag_e2 = false`, `flag_e6 = true`, `flag_nu21 = true` というような組み合わせなら `flag_w = 1` というような値が与えられる。そしてそれに応じて曲げ積層パラメータの計算をするようになっている。

```
if(flag_e1==false&&flag_e2==false&&flag_e6==true&&flag_nu21==true)
    flag_w = 1;
else if(flag_e1==false&&flag_e2==true&&flag_e6==false&&flag_nu21==true)
    flag_w = 2;
else if(flag_e1==false&&flag_e2==true&&flag_e6==true&&flag_nu21==false)
    flag_w = 3;
else if(flag_e1==true&&flag_e2==false&&flag_e6==false&&flag_nu21==true)
    flag_w = 4;
else if(flag_e1==true&&flag_e2==false&&flag_e6==true&&flag_nu21==false)
    flag_w = 5;
else if(flag_e1==true&&flag_e2==true&&flag_e6==false&&flag_nu21==false)
    flag_w = 6;
```

この際、選択する工学的弾性定数は 2 つでないとならないので、`true`, `false` が 2 つずつの組み合わせでない場合は `flag_w=0` という値になり、`error` が検出されるようになっている。

```
flag_w = 0;
txtW1S.setText("error");
txtW2S.setText("error");
```

```
showStatus("error");
```

変数 $w1$, $w2$ は繊維方向ヤング率, 繊維直角方向ヤング率, 繊維方向せん断弾性係数, 繊維方向ポアソン比の 4 つの値から求められる曲げ積層パラメータを示す変数であり, $w1a$, $w2a$ は条件を満たす曲げ積層パラメータがもう一組あるときに使う変数で, $w2d$, $w2ad$ は曲げ積層パラメータ計算の過程で用いられる変数である.

```
double w1;  
double w2;  
double w1a;  
double w2a;  
double w2d;  
double w2ad;
```

$the1$, $the2$, $the4$, $the1d$ は積層構成を決定する配向角を受け取る変数であり, $ply1$, $ply2$, $ply3$, $ply4$ はプライ比率を受け取る変数である.

```
double the1, the2, the4, the1d;  
double ply1, ply2, ply3, ply4;
```

変数 EX , EY , ES , $NUYX$ は, 入力された工学的弾性定数である繊維方向ヤング率, 繊維直角方向ヤング率, 繊維方向せん断弾性係数, 繊維方向ポアソン比を受け取る変数である. また, QXX , QYY , QXY , QSS は入力値である繊維方向ヤング率, 繊維直角方向ヤング率, 繊維方向せん断弾性係数, 繊維方向ポアソン比から求められた剛性マトリックスの値を受け取り $U1$, $U2$, $U3$, $U4$, $U5$ は弾性定数の不変量を受け取る.

```
double EX, EY, ES, NUYX;  
double QXX, QYY, QXY, QSS, m;  
double U1, U2, U3, U4, U5;
```

また変数 rd は度で入力された配向角を計算に用いることができるようにラジアンへと変換するために設定された変数である. これにより変換のたびに $\text{Math.PI}/180.0$ を記述をしなくてもいいようになっている.

```
double rd = Math.PI/180.0;
```

<GUI 部品関連>

GUI 部品に関するコードについては面内積層パラメータに関する Module10 と同じである。GUI 部品を使用するにあたって、まず使用する部品を宣言し名前をつけた。

そして次にその部品を配置するパネルを宣言した。この中でそれぞれの部品の初期値やサイズ、レイアウトの形態などといったことを設定した。ここで取り上げたパネルでは、CFRP、KFRP、GFRP といった素材の選択をするリストボックスを構成している。コードの後半の TextField で初期値として与えられている数値は、CFRP を選んだときの工学的弾性定数である。

それに続くコードは入力フォーム上にある 4 つのチェックボックスのチェックの有無を判定している。その判定方法としては、まずチェックされた部品の名前を受け取り、その名前からどれがチェックされたか見分けている。

また、積層板解析計算モジュールのほうではボタンで与えられていた素材の選択がこちらではリストボックスになっている。

このリストボックスの選択肢である「T300/5208 CFRP」を選択すると炭素繊維強化エポキシ樹脂の工学的弾性定数（繊維方向ヤング率：181Gpa, 繊維直角方向ヤング率：10.3Gpa, 繊維方向せん断弾性係数：7.17Gpa, 繊維方向ポアソン比 0.28）が自動的に入力される。

「Kevlar 49/Epoxy KFRP」を選択するとケブラー繊維強化エポキシ樹脂の工学的弾性定数（繊維方向ヤング率：76Gpa, 繊維直角方向ヤング率：5.5Gpa, 繊維方向せん断弾性係数：2.3Gpa, 繊維方向ポアソン比 0.34）が自動的に入力される。

「Scotchply 1002 GFRP」を選択するとガラス繊維強化エポキシ樹脂の工学的弾性定数（繊維方向ヤング率：38.6Gpa, 繊維直角方向ヤング率：8.27Gpa, 繊維方向せん断弾性係数：4.14Gpa, 繊維方向ポアソン比 0.26）が自動的に入力される。

<計算>

Module11 では、入力された工学的弾性定数である繊維方向ヤング率、繊維直角方向ヤング率、繊維方向せん断弾性係数、繊維方向ポアソン比から、剛性マトリックス QXX, QYY, QXY, QSS を求める。そしてヤング率、繊維直角方向ヤング率、繊維方向せん断弾性係数、繊維方向ポアソン比から求められた剛性マトリックスの値を用いて弾性定数の不変量 U1, U2, U3, U4, U5 を求める。

「DRAW」ボタンが押されたとき、チェックボタンのチェック状況から等高線を描写する。そして flag_e1, flag_e2, flag_e6, flag_nu21 の組み合わせにより場合わけをする。例えば flag_e1 = false, flag_e2 = false, flag_e6 = true, flag_nu21 = true というような組み合わせなら flag_w = 1 というような値が与えられる。それに応じて曲げ積層パラメータの計算をするようになっている。

この際、選択する工学的弾性定数は2つでないとならないので、true, false が2つずつの組み合わせでない場合は flag_w = 0 という値になり、error が検出されるようになっている。

```
flag_w = 0;
txtV1S.setText("error");
txtV2S.setText("error");
showStatus("error");
```

その時の曲げ積層パラメータの計算に、入力された工学的弾性定数 E1f, E2f, E6f, NU21f の値と、先ほど求めた弾性定数の不変量を用いる。以下の式は flag_w = 1 のときのソースコードである。

```
w1 = 0.0;
w2 = 0.0;
w1 = (1.0 + NU21f) * (U5 - E6f) + NU21f * U1 - U4;
w1 = w1 / NU21f / U2;
w2 = NU21f * U2 * w1 - NU21f * U1 + U4;
w2 = w2 / (1.0 + NU21f) / U3;
```

また、ここまでの操作(曲げ積層パラメータの計算)をすると Module11

では同時に、プライ比率・繊維配向角の計算を行う。それまでの操作で「CALCULATE」ボタンを押すと「LAMINATE TYPE-1」が自動的に計算される。これは対称積層板のとき、つまり繊維配向角の1つが0°のときの積層構成を設計している。

```
ply3 = 3.0 + w2 - 4.0 * w1;  
ply3 = (w2 - 2.0 * w1 * w1 + 1.0) / ply3;  
ply4 = 1.0 - ply3;
```

ここで「LAMINATE TYPE-2」の「PLY2」にプライ比率を入力し「CALC-ANGLE」ボタンを押すと、その値が有効であるならその積層構成が表示される。プライ比率は「ply1」、 「ply2」で、繊維配向角は「the1」、 「the2」である。その値は以下のようにして求められる。

```
the1 = 0.0;  
the2 = 0.0;  
ply2 = 1.0 - ply1;  
the1 = 2.0 * ply1 * ply2 * (1.0 + w2 - 2.0 * w1 * w1);  
the1d = 2.0 * ply1 * w1 - Math.sqrt(the1);  
the1 = 2.0 * ply1 * w1 + Math.sqrt(the1);  
the1 = the1 / (2.0 * ply1);
```

<グラフ描画>

これに関しては面内積層のときと同様である。

以下に E1f 等高線に関するコードの主な部分を示す。

```
if(flag_e1 == true)  
{  
    g.setColor(Color.red);  
    E1f = Double.valueOf(txtE1f.getText()).doubleValue();  
    for(i = 0; i < 401; i+=1)  
    {  
        x = i - 200;  
        xd = x / 200.0;  
        y = 2.0 * xd * xd - 1.0;
```

```

ya = U2 * U2 * xd * xd - U2 * E1f * xd
      + E1f * U1 - U1 * U1 + U4 * U4;
ya = ya / U3 / (2.0 * U1 + 2.0 * U4 - E1f);
px = x + 250;
yd = 450.0 - y * 200.0;
yda = 450.0 - ya * 200.0;
py = (int)yd;
pya = (int)yda;
px2 = px;
py2 = py;
pya2 = pya;
if(pya > 250)          //制約条件内でグラフ表示
{
    if(pya < py)
    {
        g.drawLine(px1, pya1, px2, pya2);
    }
}
px1 = px2;
py1 = py2;
pya1 = pya2;
if(pya > py)          //数値の表示
{
    i = 401;
    g.drawString(E1f + " ", px1 + 10, py1);
}
}
g.drawString("E1f", 475, 255);
}

```

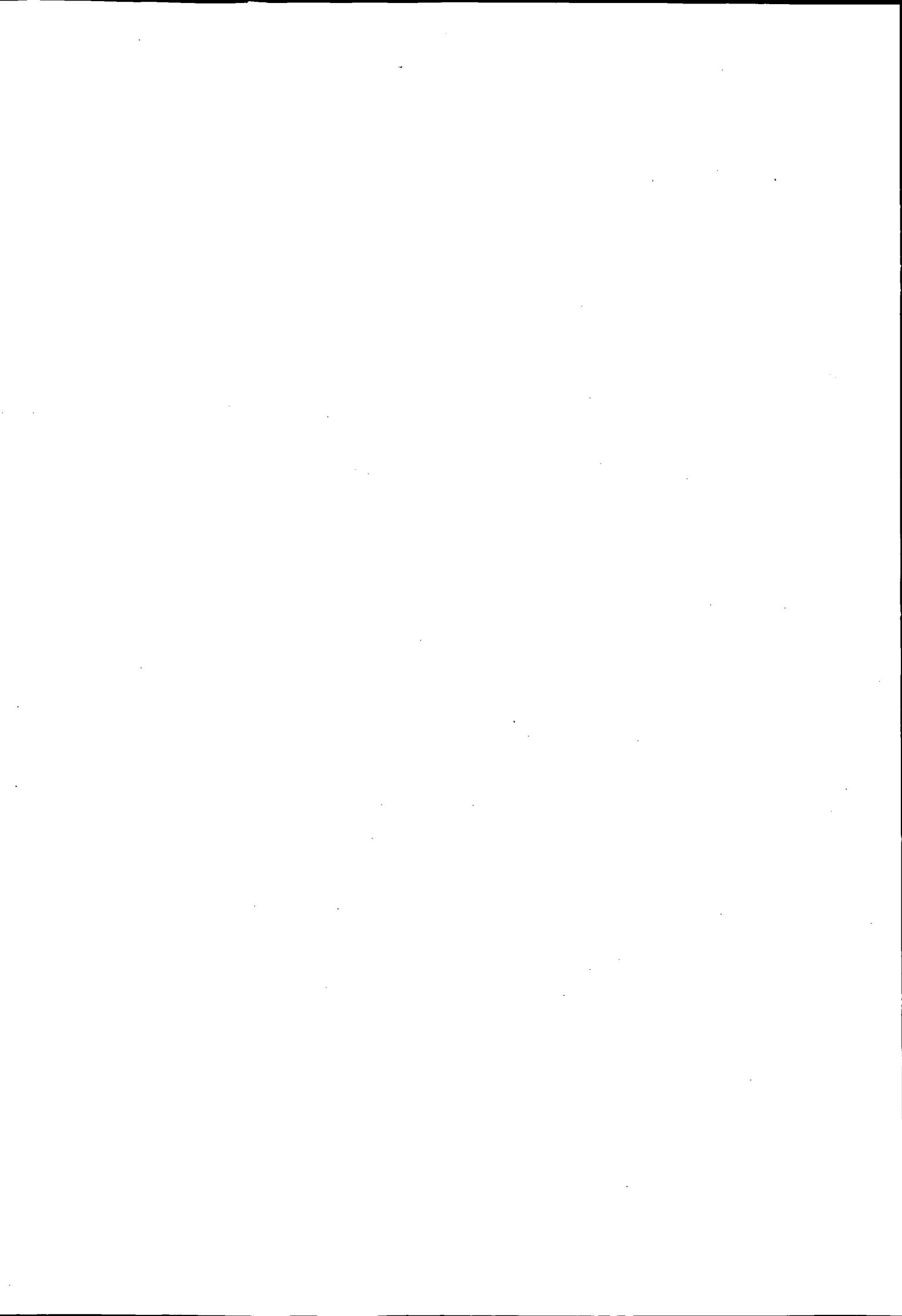
9 まとめ

本積層板設計計算モジュールは、繊維方向ヤング率や、繊維方向ポアソン比などの指定された値を入力することにより、面内ひずみや曲げ曲率などの解析計算を行い、さらにそれらをもとに積層構成を決定などの設計計算を行うものである。既存のデータベースシステムでは、目的とする値の検索結果の表示しかできなかったが、このモジュールを用いることにより、ユーザが個々に設計システムを用意しなくても、データベースの検索結果を用いて計算や設計を行うことが可能となった。また、Java 言語を用いることにより、プラットフォームに依存せず、サーバにも負担が少ないモジュールの構築をすることができた。

今後の課題としては、ACMDB（複合材料データベース）との連携があげられる。このDBで検索した値をそのままモジュールで用いて、計算、設計をすることができるようになれば、よりユーザにとって利用価値のあるシステムとなるであろう。

10 参考文献

1. VB/ACCESS による材料データベースシステム技術資料
(1996) 小板隆浩
2. VB/ACCESS による材料データベースシステム
インストールマニュアル (1997) 小板隆浩
3. WWW-データベース連携システム構築法(1996) 日経 BP 社
4. 新形式 材料力学の学び方・解き方(1994)
材料力学教育研究会共立出版
5. 複合材料(1997) 三木光範他 共立出版
6. Java 言語ハンドブック(1997) 池田誠 ナツメ社
7. 極める Java Tip テクニック(1996) 中山敬広 秀和システム
8. Java 入門(1996) 河西朝雄 技術評論社
9. Visual J++入門(1997) 河西朝雄 技術評論社
10. Java パワフルテクニック大全集(1997)
Madhu Siddalingaiah 他 インプレス



—— 禁無断転載 ——

平成10年3月発行

- 発行 財団法人 データベース振興センター
東京都港区新橋二丁目13番8号
新橋東和ビル5階
TEL 03-3508-2430
- 委託先 財団法人 次世代金属・複合材料研究開発協会
東京都港区虎ノ門三丁目25番2号
ブリヂストン虎ノ門ビル
TEL 03-3459-6900
- 印刷所 福々印刷株式会社
東京都文京区本郷二丁目5番2号

