



第1章 静的解析と SPACE の使用法

ポイント：この本の目的と特徴

建築構造力学の基礎と数値解析

建築は空間を構成し、その空間は我々に活動の場と生活の場を与える。空間を形成する建築は、人体における骨の役割と同様に構造によって建物全体が支えられ、自立する。この構造は、屋根を支え、床を支え、また、地震、台風や大雪といった自然災害から我々を守るという重要な役目も担う。

構造の形式は、骨組、トラス構造、スペースフレーム、シェル構造、吊り屋根構造、空気膜構造など多くの種類がある。その中でも、骨組構造（ラーメン構造）は、現在多数採用され、一般に鉛直に配置された柱群と水平に配置された梁群によって構成される。梁は、主に床や屋根からの荷重に抵抗し、その力を梁端部の柱に伝える。柱は主に力を上から下に伝え、最終的には地盤に伝える。また、地震や風荷重に対しては、梁と柱が一体となって抵抗し、あるいは振動することによって、建築を健全に保ち、人間の安全を確保する。構造技術者を目指す学生はもちろん、建築デザイナーを志望する学生も、建築骨組構造がどのように荷重を支え、また、地震や台風に抵抗するかを学習し、理解する必要がある。そのためには、骨組の挙動を支配する基本的な理論を学ばなければならない。

この本は、建築構造力学の基礎を学習し、構造実験の代わりに数値解析を実施して多くの情報を習得し、それらと理論とを比較することで、各種構造物の静的挙動をより深く理解し・実感するためのものである。この本を読み、各章の課題を演習することで、建築初学者として知っておくべき建築構造力学の基礎を学習することができる。また、演習を通して数値解析システム SPACE の使用方法も同時に学ぶ。

この本の特徴は、数値解析結果を利用して構造力学の基礎知識を、実感することにある。また、各章末に付いている問題を数値解析することで構造力学の基礎知識を確実にする。

キーワード

建築構造力学の基礎 SPACE の使用方法を学ぶ SPACE の概要

1.1 はじめに

この本は、建築構造力学の基礎を学習し、特に梁の静的挙動を理解するためのものである。この本では、各章でテーマが決められており、テーマに沿って、梁や簡単な骨組が与えられ、上記の知識を用いて理論的に解析される。さらに、これらの解析モデルは、読者が自ら SPACE を用いて数値解析し、その結果を分析することになる。ここでは、構造力学の知識を深めるだけでなく、理論と数値解析を行う上での仮定の違いから、得られる結果にどのように差異が生じるのかを実感する。これらの知識は、今後複雑で大規模な構造物の解析を行う際、大いに役立つものとなる。

1.2 この本の学び方

本節では、この本で利用する数値解析システム SPACE について説明する。SPACE システムでは、以下の解析を行うことができる。読者はこれらの解析種別の中から適宜手法を選択し、数値解析を実行することになる。ただし、この本では静的解析のみ使用することになる。

1.3 数値解析

1. 静的解析

線形応力解析

幾何学的非線形解析（弾性座屈解析）

弾塑性解析

幾何学的非線形解析＋弾塑性解析

線形座屈解析（固有値問題）

2. 動的解析

線形振動解析

幾何学的非線形振動解析（弾性動座屈解析）

弾塑性振動解析

幾何学的非線形＋弾塑性振動解析（スペースフレームの動的崩壊解析）

振動方程式の固有値解析

部材モデルは、現在（Ver. 3.60）以下の種類が用意されており、これらを組み合わせて解析骨組モデルを構成する。

1. 幾何学的非線形弾性部材
2. 3次元せん断型弾塑性モデル
3. 3次元トラス型弾塑性モデル
4. 3次元ケーブル型弾塑性モデル
5. 3次元免震モデル（MSSモデル）
6. 3次元制振 Maxwell モデル

- 7. 3次元弾塑性バネモデル
- 8. 両端ファイバーモデル
- 9. 両端、中央ファイバーモデル
- 10. 両端アナロジーモデル
- 11. 両端、中央アナロジーモデル
- 12. 任意型部材モデル

上記の部材モデル及び数値解析手法については、SPACEのマニュアルである操作編（リファレンスマニュアル）と理論編、及びモデラー使用編を参照されたい。ただし、当面はこの本のみを読み進んでいけば良い。また、以降の節はSPACEの概要を記述したものである。飛ばして先の章に進んでも良いが、この部分を読むと得られた知識はSPACEを操作する上で役立つ。

1.4 SPACEシステム

概論

SPACEシステムは、データベースを中心に各モジュールを有機的に結

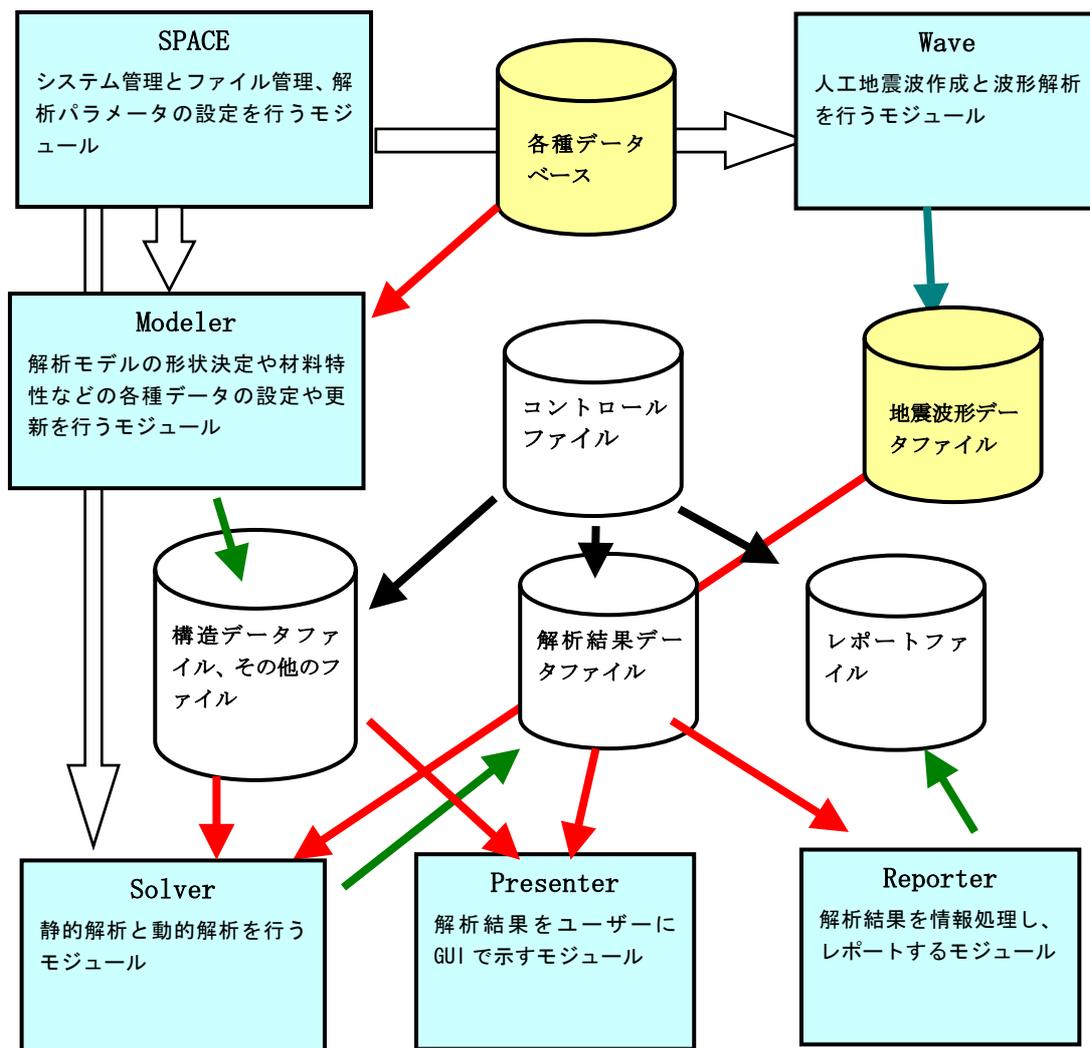


図 1-1 SPACEのモジュール構成とファイル

合し、スペースフレームの設計・研究・教育を効率的に支援する。各モジュールによって、解析モデルを作成して静的・動的解析を行い、その結果を表示する。まずは、下の図でSPACEの構成を理解しよう。

ここで、SPACEに含まれる主なモジュールを示す。

1. データベース（コントロールファイルとデータファイル群）
2. システム管理とファイル管理モジュール（SPACE）
3. スペースフレームの形状決定や材料定数の設定を行う（Modeler）
4. 静的解析と動的解析を行う（Solver）
5. 解析結果をアニメーションやグラフで示す（Presenter）
6. 解析結果を出力する（Reporter）
7. 人工地震波を作成する（Wave）
7. その他

SPACEの特徴は、ユーザーフレンドリーなGUI（Graphic User Interface）であり、従来のエディタによる解析データの入力といった作業を必要としないことである。例えば、SPACEに付属するデータベースを用いて構造物の基本的な形状パラメータを画面より入力することで、Modeler（モデラー）が座標データや部材データの初期設定を行い、画面に、平面図、立面図、透視図を表示する。これらの図形を用いて、画面上で部材データ、境界条件、荷重位置、質量などを設定・入力し、解析用のデータファイルを自動的に作成する。Solver（ソルバー）はこれらのファイルを使用し、数値計算を行う。計算実行中、あるいは終了後、多くのファイルに結果を出力する。この解析結果は、Presenter（プレゼンター）を用いて画面上でデータを分析するために利用される。動的解析では、アニメーションにより構造物が振動している様子を示し、曲げモーメントや軸力を図形と色で表示する。また、フレームに塑性ヒンジが現れると、その位置に動的にヒンジと分かる印が出現する。さらに、解析結果を分析し、図形やグラフでレポートする。これらも全てGUIを用いており、結果の分析・把握が容易で、次の設計ステップに迅速に移ることができるように設計されている。

システムを構成する各モジュールは、各々独立したプログラムであり、統合環境を提供するSPACEから立ち上げられ、多くのファイルを通じて情報の交換を行う。一般的にSPACEにおいて、各モジュールで使用するパラメータやファイルの割り付け等を行う。また、そのファイルの入力と出力の許可、不許可を設定する。もちろん、規定値が設定されており、

通常は規定値を変更することなく、システムを利用できる。特に、Solverにおける解析用パラメータは、SPACE内のダイアログを利用して画面から設定することになる。図1-2は、SPACEのメニューであり、このメニューを用いて、ファイルの割り付け、パラメータの設定、各モジュールの起動を行うことになる。

ツールチップとは、メニューの代わりに、各モジュールを起動させるボタン



図1-2 SPACEのメニューとツールチップ

読者は、まず、統合環境であるSPACEを立ち上げ、設計プロセス単位を管理するコントロールファイルを作成し、このファイルにファイル名などのデータを設定する。ここから、この設計プロセスに対し仕事が始まる。この重要なコントロールファイルについては、後で説明することとし、ここでは、システムで使用するファイル群とその管理手法を紹介する。ファイル群は1つの設計プロセスで、約60のファイルを利用する。1つの設計プロセスとは、1回の静的解析と1回の動的解析を管理する単位である。例えば、2回3回と設計用パラメータを変更して解析を行う場合、設計プロセスを順次増やすことによって対処する。この方法について梁ファレンスマニュアルを参照されたい。まず、利用するファイル群を次の5つに分類し、各役割について述べる。

1. システムファイル
2. コントロールファイル
3. パラメータファイル
4. 入力データファイル
5. 計算結果データファイル

システムファイルは、管理者があらかじめ用意するファイルであり、一般のユーザーは、このファイルを利用するだけで、管理者が設定を行うことになる。例えば、地震波ファイル、H型鋼などの断面特性データファイルなどデータベースである。

システムファイル
データベース

コントロールファイルは、ひとつの設計プロセス用のファイルを管理する。このファイルは、主に、キーワードとファイル名とから構成され

コントロールファイル

ている。例えば、「struct」は構造データファイルのキーワードであり、Nagoya_S.dat は、ファイル名である。一般ユーザーはこのファイルの内容を直接見ることも書き換えることもない。このファイルへの入出力は、SPACEのダイアログを介して、システムが全て自動的に行うことになる。

パラメータファイル群は、各モジュール、特に数値計算用モジュールで必要となるパラメータが設定されているファイルであり、一般に設計プロセス単位毎に必要となる。ただし、同一のパラメータを使用する場合は、同じファイルを用いても良い。パラメータファイルの内容は、各モジュールに引き渡す重要なデータであり、特に、Solverに多くのパラメータが渡される。例えば、振動解析における増分時間、解析時間、減衰の設定法等がある。この値によって、解析手法や解析内容が異なることがある。パラメータファイルへのデータ設定は、SPACE中のダイアログを用いて行う。パラメータは全て規定値が設定されており、分からない場合はこれを利用することになる。しかし、値を変更する場合は、その内容を良く理解して更新する必要がある。

パラメータファイル

入力データに関連する一群のファイルとして、設計すべき構造物の内容が書き込まれたファイル、例えば、構造データ、質量データ、静的荷重データ、形状初期不整データなどのファイルがある。これらは、一般にはModelerを用いて作成するが、ファイルの仕様が公開されているため、例外的に他のプログラムを用いるか、あるいはエディタを用いて直接ファイルを作ることもできる。この場合、データ構造に誤りがあると、システムは異常終了する可能性があるので十分注意して作成しなければならない。

入力データファイル

計算結果データファイル群は多数のファイルから構成され、設計プロセス単位毎に、一つの静的解析結果と一つの動的解析結果を格納する。これらのファイルはほとんどバイナリデータであり、ユーザーが直接内容を見ることはなく、プログラムを介して情報を取得することになる。計算結果データファイルに出力不可を設定すると、不必要なデータファイルが作成されることがなくなる。当然、出力されていないファイルに入力要求を行うとエラーとなるので注意が必要である。

計算結果データファイル

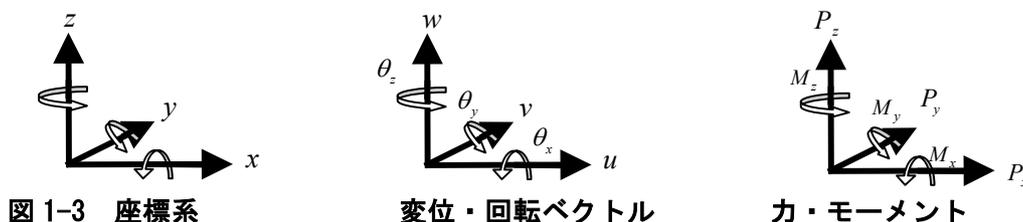
一般に、コントロールファイルで、使用するファイルが読み込み可能になっている場合、システムは自動的にファイルを読みに行く。その場合、もしファイルが存在しないとシステムは異常終了することがある。そのため、最初にファイルの存在を確認した後、管理ファイルの読み込みを可能にする。特に、地震波ファイルは他のフォルダで管理されてい

場合が多いため、アクセスできずにトラブルが起き易くなっている。これを回避するために、まず、動的解析プレゼンターで地震波を描画し、アクセス可能であることを確認すると良い。

1.5 座標系と部材断面力について

骨組の解析を行う際、力やモーメントあるいは部材の断面力などで、値の正負をしばしば間違ふことがある。特に立体骨組で混乱し易い。そこで、このテキストを読み進む前に、これらの正負を正確に理解しておこう。

SPACE で使用している座標系は右手・右ねじの規則に従っている。つまり、図 1-3 に表示されている方向と回転が正を表す。同様に、節点の変位・回転ベクトル、あるいは力とモーメントも下図の方向が正である。



曲げモーメント、軸力、せん断力は、図 1-4 に示すように偶力で表される。部材は、部材に取り付いた座標系（これを部材座標系と呼ぶ）で、 i 端を原点にし、 x 軸を材軸に一致させる座標系を用いる。

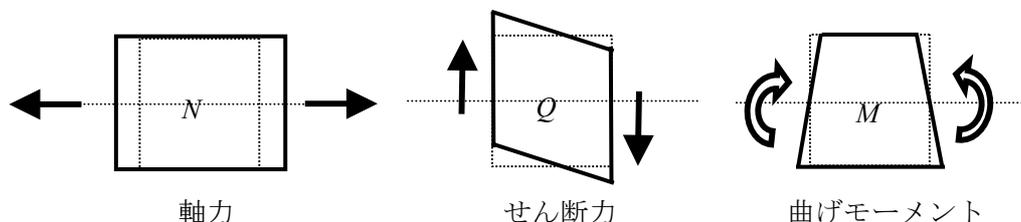


図 1-4 偶力で表される断面力

図 1-6 の座標系は SPACE で用いられ、正の断面力は、3 軸方向の変位・たわみの関数と各断面力との関係によって決まる。これについては第 3 章で学ぶことになる。また、図 1-7 は、座標系の方向を変えて正の断面力を描いた図で、同図 c の座標系はこのテキストの梁理論で用いられる。混乱しないよう十分に理解されたい。

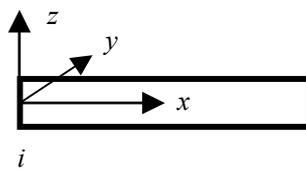


図 1-5 部材座標系

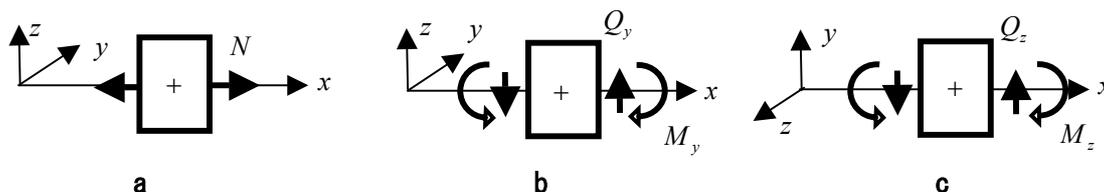


図 1-6 SPACE で用いられる立体断面力の符号規則

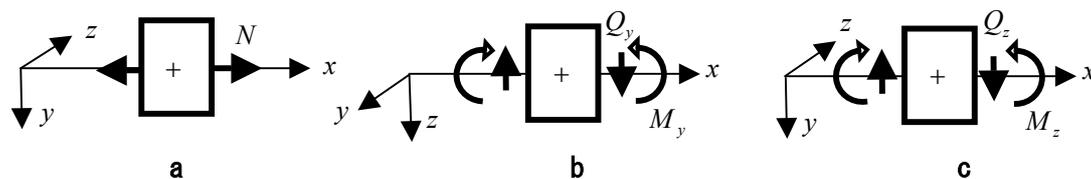


図 1-7 梁理論で用いられる x-y 平面における断面力

インターネットのアドレス

[「http://wwwra.meijo-u.ac.jp/labs/ra007/space/index.htm](http://wwwra.meijo-u.ac.jp/labs/ra007/space/index.htm)

上記アドレスでユーザー登録を行い、建築構造解析システム[SPACE]をダウンロードし、使える環境を整えましょう。

1.6 課題