



第1章 序論

1.1 はじめに

SPACE は、スペースフレームに関する多種の数値解析を実行し、その結果を処理し、表示する。その折、過去の経験に合わない結果が得られる場合もある。結果の評価を行う際、**SPACE** では、どのようにモデル化が行われ、どのような数値解析手法が用いられているのかを知る必要がある。そこで、このマニュアルにおいて計算結果に対する判断が適切となるように、使用している数値解析手法や部材モデルについて解説する。

1.2 システム内における数値解析

SPACE システムでは、以下の解析を行うことができる。ユーザーはこれらの解析種類の中から適宜選択して数値解析を実行することになる。

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.3.00）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みモデルを構成することになる。

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

上記の部材モデル及び数値解析手法について、次章以後で詳細に述べる。

1.3 静的解析の基本的な解析順序

SPACE システムで用いている静的解析の基本的な数値計算順序を述べておく。静的解析では、以下のような手順で数値解析を行う。

データ入力

1. システムからの制御情報を取得
 - 1.1 システムからのコントロール情報を取得
 - 1.2 コントロールデータの内容を取得
 - 1.3 静的解析ダイアログのデータを取得
 - 1.4 解析結果の出力パラメータを取得
 - 1.5 荷重パラメータを取得
2. 制御情報を構造体にセット
3. 構造データを予備入力し、構造用のパラメータを設定する
 - 3.1 構造体の大きさを動的確保する (その1) 部材、節点など
 - 3.2 配列の大きさを動的確保する (その2) 回転行列など
4. 構造データを入力し、データの設定を行う
5. 荷重データを入力し、データの設定を行う
 - 5.1 節点荷重分布を入力
 - 5.2 初期不整データを入力
6. ファイバーデータの予備入力
 - 6.1 ファイバーモデル領域を動的確保する
7. ファイバーモデルデータ入力
8. 修正 RO モデル領域動的確保とデータ入力

予備計算開始

1. 部材長さ計算

2. 座標変換行列計算
 - 2.1 局所座標変換行列計算
 - 2.2 釣合座標系変換行列計算
3. 節点拘束表の作成
4. 配列の大きさを動的確保する（その3）節点変位関係
5. 部材両端の拘束表作成
6. スカイライン行列作成用の変換表作成
7. 配列の大きさ（スカイライン用）を動的確保する（その3）
8. 各種ベクトルのゼロセット
 - 8.1 増分前の変位のゼロセット
 - 8.2 部材両端応力のゼロセット
 - 8.3 部材応力のゼロセット
9. MSS モデルの初期設定
 10. 平面問題における部材の拘束方向チェック
 11. 部材の線形剛性計算
 12. 剛性の釣合座標系への変換
 13. 節点荷重セット
 14. 線形剛性を非線形剛性にコピー
 15. ゼロセット
 - 15.1 最大、最小変位等のゼロセット
 - 15.2 最大、最小応力等のゼロセット
 - 15.3 増分前の荷重のゼロセット
 - 15.4 不釣合い力のゼロセット
 16. 解析結果を出力するファイル群をオープンする
 17. 指定した断面がファイバー要素かどうかチェック
 18. 描画用データの初期セット
 19. 予備計算が終わり、システムに戻る

静的解析開始

1. 静的解析の増分回数分、以後の処理を繰り返す。
2. スカイライン行列を作成、分解する
 - 2.1 スカイライン行列のゼロセット
 - 2.2 接線剛性の組み込み
 - 2.3 行列の LDU 分解
3. 分解成功か？ 分解不成功の場合は、終了処理を実行する。
4. 解析手法の選択

反復解法

5. 荷重増分法（荷重項の作成）修正ニュートン・ラフソン法
 - 5.1 右辺の定数ベクトルゼロセット
 - 5.2 部材節点力のセット
 - 5.3 収束計算開始（最大反復回数分繰り返す）
 - 1 節点荷重のセット
 - 2 方程式を解く
 - 3 収束用増分変位を足す
 - 4 収束条件チェック（収束した場合は、5.5 へ飛ぶ）
 - 5 部材節点力のセット
 - 6 不釣合力を計算する
 - 5.4 収束エラー処理（処理を中止し、システムへ戻る）
 - 5.5 収束したので増分荷重を加える
 - 5.6 応力計算へ飛ぶ
6. 変位増分法
 - 6.1 右辺の定数ベクトルゼロセット
 - 6.2 右辺の増分荷重項の作成
 - 6.3 増分変位の計算
 - 6.4 右辺の不釣合項の作成
 - 6.5 収束計算開始（最大反復回数分繰り返す）
 - 1 節点荷重のセット
 - 2 方程式を解く
 - 3 収束用増分変位係数 α を求める
 - 4 収束用増分変位を求める
 - 5 収束用増分変位を足す
 - 6 収束条件チェック（収束した場合は、6.7 へ飛ぶ）
 - 7 部材節点力のセット
 - 8 不釣合力を計算する
 - 6.6 収束エラー処理（処理を中止し、システムへ戻る）
 - 6.7 収束したので増分荷重を加える
 - 6.8 応力計算へ飛ぶ
7. 孤長法(修正クリスフィールド法)
 - 7.1 右辺の定数ベクトルゼロセット
 - 7.2 右辺の増分荷重項の作成
 - 7.3 増分変位 du_1 の計算
 - 7.4 収束計算開始（最大反復回数分繰り返す）

- 1 節点荷重のセット
- 2 方程式を解き、 du_2 を求める
- 3 係数 A, B, C を求める
- 4 係数のチェック
- 5 収束用増分荷重を足す
- 6 収束用増分変位を足す
- 7 不釣合力ノルムの収束条件チェック（収束した場合は、
7.6 へ飛ぶ）
- 8 部材節点力のセット
- 9 不釣合力を計算する

7.5 収束エラー処理（処理を中止し、システムへ戻る）

7.6 収束したので増分荷重を加える

7.7 応力計算へ飛ぶ

8. 反復計算終了

応力計算

- 9. 節点変位と荷重の出力
- 10. 部材応力を計算
- 11. 部材塑性状態のチェック
- 12. 部材応力を出力
- 13. 断面ファイバー応力を出力
- 14. 応力等の最大値セット
- 15. 不釣り合い力の出力
- 16. 誤差のセット
- 17. 増分変位を足す
- 18. 変位を出力
- 19. 変位の最大値セット
- 20. 最大値チェック、計算終了か（最大値を超えた場合、処
理を中止し、システムに戻る）
- 21. 接線剛性の計算
- 22. 静的解析の増分回数終了か。
（終了した場合は、システムに戻る）
- 23. ステップ増分更新（静的解析開始に戻る）

静的解析終了処理

- 1. ファイルの時間スタンプ

2. 動的配列の解放

SPACE システムで用いている動的解析の基本的な数値計算順序を述べておく。動的解析では、以下のような順序で動的解析を行う。

1.4 動的解析の基本的な解析順序

データ入力

1. システムからの制御情報を取得
 - 1.1 システムからのコントロール情報を取得
 - 1.2 コントロールデータの内容を取得
 - 1.3 動的解析ダイアログその1のデータを取得
 - 1.4 動的解析ダイアログその2のデータを取得
 - 1.5 解析結果の出力パラメータを取得
 - 1.6 減衰ダイアログのデータを取得
2. 制御情報を構造体にセット
3. 構造データを予備入力し、構造用のパラメータを設定する
 - 3.1 構造体の大きさを動的確保する（その1）部材、節点など
 - 3.2 配列の大きさを動的確保する（その2）回転行列など
4. 地震加速度を予備入力
5. 節点荷重履歴を予備入力
 - 4.1 構造体の大きさを動的確保する（その3）地震波、節点荷重用配列
6. 構造用データ入力
7. 静的用荷重データを入力し、データの設定を行う
 - 7.1 節点荷重分布を入力
 - 7.2 初期不整データを入力
 - 7.3 地震荷重を入力
8. ファイバーデータの予備入力
 - 8.1 ファイバーモデル領域を動的確保する
9. ファイバーモデルデータ入力
10. 修正 RO モデル領域動的確保とデータ入力
11. 質量データを入力
12. レーリー減衰用パラメータを入力

予備計算開始

1. 部材長さ計算

- 2. 座標変換行列計算
 - 2.1 局所座標変換行列計算
 - 2.2 釣合座標系変換行列計算
- 3. 節点拘束表の作成
- 4. 配列の大きさを動的確保する (その3) 節点変位関係
- 5. 部材両端の拘束表作成
- 6. スカイライン変換表作成
- 7. 配列の大きさ (スカイライン用) を動的確保する (その3)
- 8. 各種ベクトルのゼロセット
 - 8.1 増分前の変位のゼロセット
 - 8.2 部材両端応力のゼロセット
 - 8.3 部材応力のゼロセット
- 9. MSS モデルの初期設定
 - 10. 平面問題における部材の拘束方向チェック
 - 11. 部材の線形剛性計算
 - 12. 剛性の釣合座標系への変換
 - 13. 部材の減衰行列計算
 - 14. 部材減衰行列の釣合座標系への変換
 - 15. 節点集中質量セット
 - 16. 節点荷重セット
 - 17. 線形剛性を非線形剛性へコピー
 - 18. ゼロセット
 - 18.1 最大、最小変位等のゼロセット
 - 18.2 最大、最小応力等のゼロセット
 - 18.3 増分前の荷重のゼロセット
 - 18.4 不釣合い力のゼロセット
 - 19. 解析結果を出力するファイル群をオープンする
 - 20. 指定した断面がファイバー要素かどうかチェック
 - 21. 描画用データの初期セット
 - 22. 予備計算終了、システムに戻る

動的解析開始

- 1. 動的解析の増分回数分、以後の処理を繰り返す
- 2. 最初の一回のみスカイライン行列を作成、分解する
 - 2.1 スカイライン行列のゼロセット
 - 2.2 接線剛性の組み込み

- 2.3 集中質量系の行列への足し込み
- 2.4 レーリー減衰を含む
- 2.5 部材の整合質量系の行列への足し込み
- 2.6 部材の整合質量行列計算
- 2.7 整合質量の釣合座標系への変換
- 2.8 整合質量系の足し込み
- 2.9 部材減衰系の足し込み
- 2.10 線形剛性の足し込み
- 2.11 レーリー減衰を含む
- 2.12 行列の LDU 分解
- 3. 分解成功か？ 分解不成功の場合は、終了処理を実行する。
- 4. 解析手法の選択

解析種別

- 1. 線形解析
 - 1.1 右辺の定数ベクトルゼロセット
 - 1.2 地震加速度セット
 - 1.3 集中質量に関する慣性項
 - 1.4 整合質量に関する慣性項
 - 1.5 節点荷重のセット
 - 1.6 線形減衰項計算
 - 1 集中質量
 - 2 整合質量
 - 3 部材減衰
 - 1.7 線形剛性項計算
 - 1.8 Δt 秒後の変位と速度を予測
 - 1.9 Maxwell 型モデルの計算
 - 1.10 線形方程式を解く
 - 1.11 得られた加速度より β 法に基づき変位と速度を計算
 - 1.12 応力計算へ飛ぶ
- 2. 非線形解析
 - 2.1 右辺の定数ベクトルゼロセット
 - 2.2 部材節点力のセット
 - 2.3 地震加速度セット
 - 2.4 集中質量に関する慣性項
 - 2.5 整合質量に関する慣性項
 - 2.6 節点荷重のセット

2.7 線形減衰項計算

- 1 集中質量
- 2 整合質量
- 3 部材減衰

2.8 線形剛性項計算（レーリー減衰も含む）

2.9 Δt 秒後の変位と速度を予測

2.10 反復計算開始

- 1 反復に関連する右辺ベクトルのゼロセット
- 2 線形剛性に関するベクトル
- 3 接線剛性に関する増分ベクトル
- 4 Maxwell 型モデルの計算
- 5 右辺 2 項の和を取る
- 6 線形方程式を解く
- 7 得られた加速度より β 法に基づき変位と速度を計算
- 8 収束したかチェック（収束した場合は、応力計算へ飛ぶ）
- 9 次の増分値を予測

2.11 収束しなかった時の後処理

収束エラー発生、陰解法処理開始

3. 動的解析（陰解法）

- 3.1 スカイライン行列のゼロセット
- 3.2 集中質量系の行列への足し込み（レーリー減衰も含む）
- 3.3 部材の整合質量行列計算（レーリー減衰も含む）
- 3.4 整合質量の釣合座標系への変換
- 3.5 整合質量系の足し込み
- 3.6 部材非線形減衰の足し込み(含む Maxwell 型)
- 3.7 線形剛性によるレーリー減衰（接線剛性の足し込み）
- 3.8 行列の LDU 分解
- 3.9 分解成功か？
- 3.10 右辺項計算
- 3.11 右辺の定数ベクトルゼロセット
- 3.12 ワーク用(a,b)ベクトルのセット
- 3.13 部材節点力のセット
- 3.14 地震加速度セット
- 3.15 集中質量に関する慣性項
- 3.16 整合質量に関する慣性項
- 3.17 節点荷重のセット

- 3.18 線形減衰項計算
 - 1 集中質量
 - 2 整合質量
 - 3 部材減衰 (Maxwell 型モデル)
 - 4 線形剛性によるレーリー減衰
- 3.19 接線剛性に関する増分ベクトル
- 3.20 Maxwell 型モデルの右辺項 f_d の計算
- 3.21 線形方程式を解く
- 3.22 得られた加速度より β 法に基づき変位と速度を計算
- 3.23 陰解法の終了チェック
- 4. 反復解法のために係数行列を作成し直す
 - 4.1 スカイライン行列のゼロセット
 - 4.2 接線剛性の組み込み
 - 4.3 集中質量系の行列への足し込み
 - 4.4 レーリー減衰を含む
 - 4.5 部材の整合質量系の行列への足し込み
 - 4.6 部材の整合質量行列計算
 - 4.7 整合質量の釣合座標系への変換
 - 4.8 整合質量系の足し込み
 - 4.9 部材減衰系の足し込み
 - 4.10 線形剛性の足し込み
 - 4.11 レーリー減衰を含む
 - 4.12 行列の LDU 分解
 - 4.13 分解成功か？

分解不成功の場合は、終了処理を実行する。

応力計算

1. 動析結果・増分変位をセット
2. 変位、速度、加速度を出力
3. 変位、速度、加速度の最大値セット
4. 部材両端の節点力計算
5. 部材応力を計算
6. 部材塑性状態のチェック
7. 部材応力を出力
8. 応力等の最大値セット
9. Maxwell 型モデルの非線形性チェック

- 1 0．解析結果・変位、速度、加速度をセット
- 1 1．部材節点力（反力と荷重）の出力
- 1 2．不釣り合い力の計算
 - 12.1 節点静的荷重項
 - 12.2 集中質量に関する地震項
 - 12.3 整合質量に関する地震項
 - 12.4 集中質量の慣性項と減衰項
 - 12.5 整合質量の慣性項と減衰項
 - 12.6 部材減衰の減衰項
 - 12.7 線形剛性のレーリー減衰項
- 1 3．不釣り合い力の出力
- 1 4．最大値チェック、計算終了か
- 1 5．接線剛性の計算
- 1 6．動的解析の増分回数終了か。
（終了した場合は、システムに戻る）
- 1 7．ステップ増分更新（動的解析開始に戻る）

動的解析終了処理

- 1．ファイルの時間スタンプ
- 2．動的配列の解放