

FrontISTRによる 熱応力解析

東京大学
新領域創成科学研究科
人間環境学専攻
橋本 学

2014年10月31日

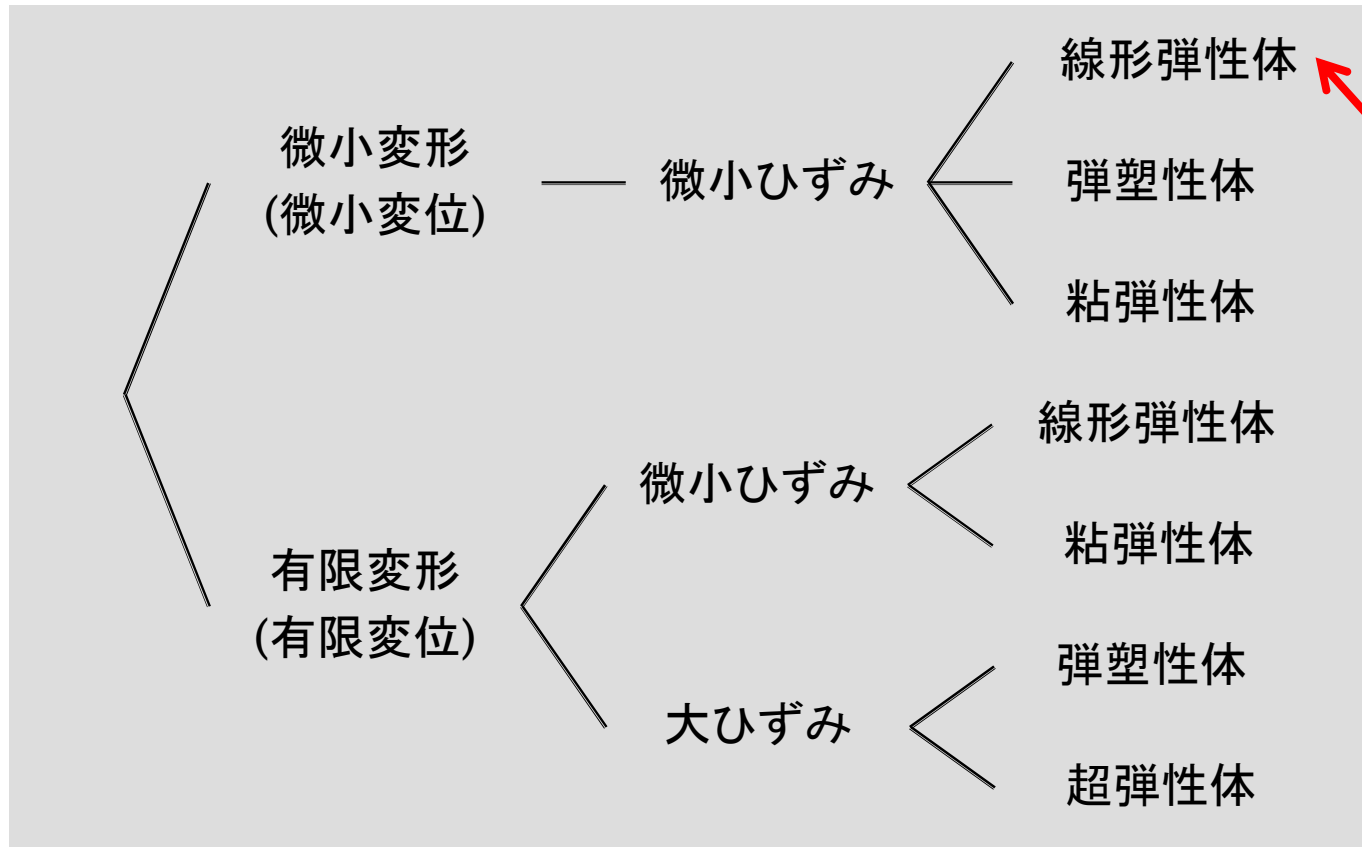
第15回FrontISTR研究会

<機能・例題・定式化・プログラム解説編「熱応力解析／弾塑性解析」>

この講演では

- 『FrontISTRに実装されている定式化を十分に理解し、解きたい問題に対してソースコードを自由にカスタマイズ (要素タイプを追加, 材料の種類を追加, ユーザサブルーチンを追加) できるようになること』を最終目標とします
- 第3回・第7回・第10回の研究会では等方弾性体, 第11回の研究会では直交異方弾性体の定式化, ソースコードの関連するサブルーチンについて紹介しました
 - ・ 第3回FrontISTR研究会 プログラミング編, 2013/5/22開催
 - ・ 第7回FrontISTR研究会 産業応用事例, 有限変形定式化, ユーザーの声への対応編, 2013/12/3開催
 - ・ 第10回FrontISTR研究会 有限変形定式化と実装, Ver.4.3公開編, 2014/2/21開催
 - ・ 第11回FrontISTR研究会 機能・例題・定式化・プログラム解説編 (直交異方弾性体を中心に), 2014/7/30開催
- 今回は, FrontISTRに実装されている熱応力解析／弾塑性解析に焦点を当てます

静応力解析の分類



講演では、
微小変形理論での
線形熱弾性体を
説明します

有限変形

$${}^t_0\mathbf{E} = \frac{1}{2} \left\{ ({}^0\nabla \otimes {}^t\mathbf{u}) + ({}^0\nabla \otimes {}^t\mathbf{u})^T + ({}^0\nabla \otimes {}^t\mathbf{u}) \cdot ({}^0\nabla \otimes {}^t\mathbf{u})^T \right\}$$

ひずみ 変位こう配の2次項がある

大ひずみ

$${}^t_0\mathbf{S} = f({}_0^t\mathbf{E}, {}_0^t\mathbf{E} \cdot {}_0^t\mathbf{E}, \dots)$$

応力 ひずみの2次以上の項がある

FrontISTRによる熱応力解析

目次

「解析機能／サンプル例題／定式化／プログラム」

1. 解析機能とユーザマニュアル該当箇所
2. サンプル例題 (π モデル)
3. 熱荷重の有限要素法定式化
4. プログラム解説

FrontISTRによる熱応力解析

目次

「解析機能／サンプル例題／定式化／プログラム」

1. 解析機能とユーザマニュアル該当箇所
2. サンプル例題 (π モデル)
3. 熱荷重の有限要素法定式化
4. プログラム解説

線形熱弾性体の構成方程式 (1)

応力 [Pa]

弾性ひずみ [-]

$$\begin{aligned} {}^t\boldsymbol{\sigma} &= \mathbf{C}_e : {}^t\boldsymbol{\varepsilon}_e \\ &= \mathbf{C}_e : ({}^t\boldsymbol{\varepsilon} - {}^t\boldsymbol{\varepsilon}_T) \quad \cdots(1.1) \end{aligned}$$

弾性定数 [Pa]

$$\begin{aligned} \mathbf{C}_e &= (C_e)_{ijkl} \mathbf{e}_i \otimes \mathbf{e}_j \otimes \mathbf{e}_k \otimes \mathbf{e}_l \\ &= \left\{ \lambda \delta_{ij} \delta_{kl} + \mu (\delta_{ik} \delta_{jl} + \delta_{il} \delta_{jk}) \right\} \mathbf{e}_i \otimes \mathbf{e}_j \otimes \mathbf{e}_k \otimes \mathbf{e}_l \quad \cdots(1.2) \end{aligned}$$

Lamé定数 [Pa]

$$\underbrace{{}^t\boldsymbol{\varepsilon}}_{\text{全ひずみ [-]}} = \underbrace{{}^t\boldsymbol{\varepsilon}_e}_{\text{弾性ひずみ [-]}} + \underbrace{{}^t\boldsymbol{\varepsilon}_T}_{\text{熱ひずみ [-]}} \quad \cdots(1.3)$$

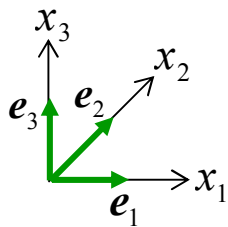


Fig. Cartesian coordinates

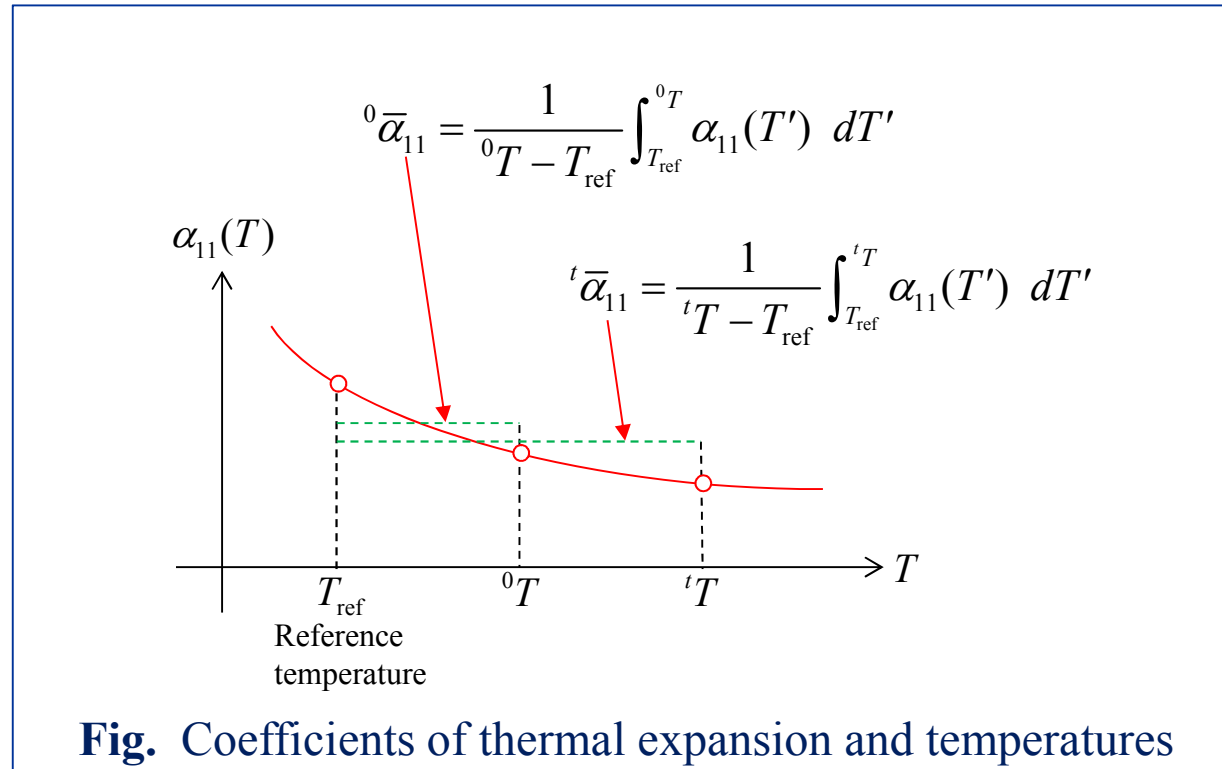
$${}^t\boldsymbol{\varepsilon} = \frac{1}{2} \left\{ \nabla \otimes {}^t\mathbf{u} + (\nabla \otimes {}^t\mathbf{u})^T \right\} \quad \cdots(1.4)$$

$${}^t\boldsymbol{\varepsilon}_T = {}^t\bar{\boldsymbol{\alpha}} ({}^tT - {}^0T) \quad \cdots(1.5)$$

線膨張係数 [1/K]

$${}^t\bar{\boldsymbol{\alpha}} = {}^t\bar{\alpha}_{11} \mathbf{e}_1 \otimes \mathbf{e}_1 + {}^t\bar{\alpha}_{22} \mathbf{e}_2 \otimes \mathbf{e}_2 + {}^t\bar{\alpha}_{33} \mathbf{e}_3 \otimes \mathbf{e}_3 \quad \cdots(1.6)$$

線形熱弾性体の構成方程式 (2)



$$\begin{aligned}
 {}^t\bar{\alpha}_{11} ({}^tT - {}^0T) &= \int_{{}^0T}^{{}^tT} \alpha_{11}(T') dT' \\
 &= \int_{T_{\text{ref}}}^{{}^tT} \alpha_{11}(T') dT' - \int_{T_{\text{ref}}}^{{}^0T} \alpha_{11}(T') dT' \\
 &= {}^t\bar{\alpha}_{11} ({}^tT - T_{\text{ref}}) - {}^0\bar{\alpha}_{11} ({}^0T - T_{\text{ref}}) \quad \dots(1.7)
 \end{aligned}$$

FrontISTRでは、入力データとして ${}^t\bar{\alpha}_{11}$ と ${}^0\bar{\alpha}_{11}$ 、 0T と T_{ref} を用意します

線形熱弾性体の構成方程式 (3)

$$\begin{aligned} {}^t\sigma &= \mathbf{C}_e : ({}^t\boldsymbol{\varepsilon} - {}^t\boldsymbol{\varepsilon}_T) \\ &= \mathbf{C}_e : {}^t\boldsymbol{\varepsilon} - \underbrace{\mathbf{C}_e : {}^t\boldsymbol{\varepsilon}_T}_{\text{熱応力}} \\ &= \lambda (\text{tr } {}^t\boldsymbol{\varepsilon}) \mathbf{I} + 2\mu {}^t\boldsymbol{\varepsilon} - \left\{ \lambda (\text{tr } {}^t\boldsymbol{\varepsilon}_T) \mathbf{I} + 2\mu {}^t\boldsymbol{\varepsilon}_T \right\} \\ &= \lambda (\text{tr } {}^t\boldsymbol{\varepsilon}) \mathbf{I} + 2\mu {}^t\boldsymbol{\varepsilon} - \left\{ \lambda (\text{tr } {}^t\bar{\boldsymbol{\alpha}}) \mathbf{I} + 2\mu {}^t\bar{\boldsymbol{\alpha}} \right\} ({}^tT - {}^0T) \\ &= \kappa (\text{tr } {}^t\boldsymbol{\varepsilon}) \mathbf{I} + 2G {}^t\boldsymbol{\varepsilon}' - \left\{ \kappa (\text{tr } {}^t\bar{\boldsymbol{\alpha}}) \mathbf{I} + 2G {}^t\bar{\boldsymbol{\alpha}}' \right\} ({}^tT - {}^0T) \quad \dots(1.8) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}^t\sigma_T &= \mathbf{C}_e : {}^t\boldsymbol{\varepsilon}_T \\ &= \left\{ \lambda (\text{tr } {}^t\bar{\boldsymbol{\alpha}}) \mathbf{I} + 2\mu {}^t\bar{\boldsymbol{\alpha}} \right\} ({}^tT - {}^0T) \quad \dots(1.9) \end{aligned}$$

(※) ${}^t\sigma$ を熱応力と呼ぶ場合もあります

ユーザマニュアル該当箇所

- FrontISTRの解析機能を確認するため、FrontISTRのユーザマニュアル (ファイル名「[FrontISTR_user_manual_Ver35.pdf](#)」) の該当箇所を見ます
- FrontISTRソースコード「FrontISTR_V43_p1.tar.gz」を解凍すると、ディレクトリ「FrontISTR_V43」ができます
FrontISTRのユーザマニュアルはディレクトリ「[FrontISTR_V43/doc](#)」内にあります
- FrontISTRのユーザマニュアルの[68ページ](#), [129ページ](#), [130ページ](#)に熱荷重の記述があります



FrontISTRユーザマニュアルより (1)

FrontISTRのユーザマニュアルの68ページ

(6) !INITIAL CONDITION (M1-6)

温度初期条件の定義

(※) 設定しない場合、デフォルトの初期温度0.0が設定されます

1 行目

!INITIAL CONDITION, TYPE=<type> [, optional parameter]

パラメータ	
TYPE	タイプ(必須)
INPUT	外部ファイル名(省略可)

パラメータ名	パラメータ値	内 容
TYPE	TEMPERATURE	温度
INPUT	<filename>	外部ファイル名(省略可)、2 行目以降との併用も可能

2 行目以降

(2 行目以降) nod1, VAL1 (1 行に1 組)

以下繰り返し

変数名	属 性	内 容
nod1	I/C	節点番号または節点グループ
VAL1	R	節点値

FrontISTRユーザマニュアルより (2)

FrontISTRのユーザマニュアルの68ページ

使用例

```
!INITIAL CONDITION, TYPE=TEMPERATURE  
101, 25.0  
NA01, 38.0
```

注意

- 「!NODE」で定義されていない節点、節点グループが指定された場合は無視され、警告メッセージが表示される。
- 同じ節点に対して再定義した場合はエラーとなる。

FrontISTRユーザマニュアルより (3)

FrontISTRのユーザマニュアルの129ページと130ページ

(18) ITEMPERATURE (2-9)

熱応力解析に用いる節点温度の指定

パラメータ

READRESULT = 熱伝導解析の結果ステップ数。

指定された場合、熱伝導解析の結果ファイルから順次に温度を入力し、
2行目以降は無視される。

SSTEP = 熱伝導解析結果の読み込むを行う最初のステップ番号（デフォルト：1）

INTERVAL = 熱伝導解析結果の読み込むを行うステップ間隔（デフォルト：1）

2行目以降

(2行目) NODE_ID, Temp_Value

変数名	属 性	内 容
NODE_ID	I/C	節点番号または節点グループ名
Temp_Value	R	温度 (デフォルト：0)

使用例

```
!TEMPERATURE
```

```
1, 10.0
```

```
2, 120.0
```

```
3, 330.0
```

```
!TEMPERATURE
```

```
ALL, 20.0
```

```
!TEMPERATURE, READRESULT=1, SSTEP=1
```

FrontISTRユーザマニュアルより (4)

FrontISTRのユーザマニュアルの130ページ

(19) IREFTEMP (2-10)

熱応力解析における参照温度の定義

パラメータ

なし

(※) 設定しない場合、デフォルトの参照温度0.0が設定されます

2行目以降

(2行目) Value

変数名	属 性	内 容
Value	R	参照温度 (デフォルト : 0)

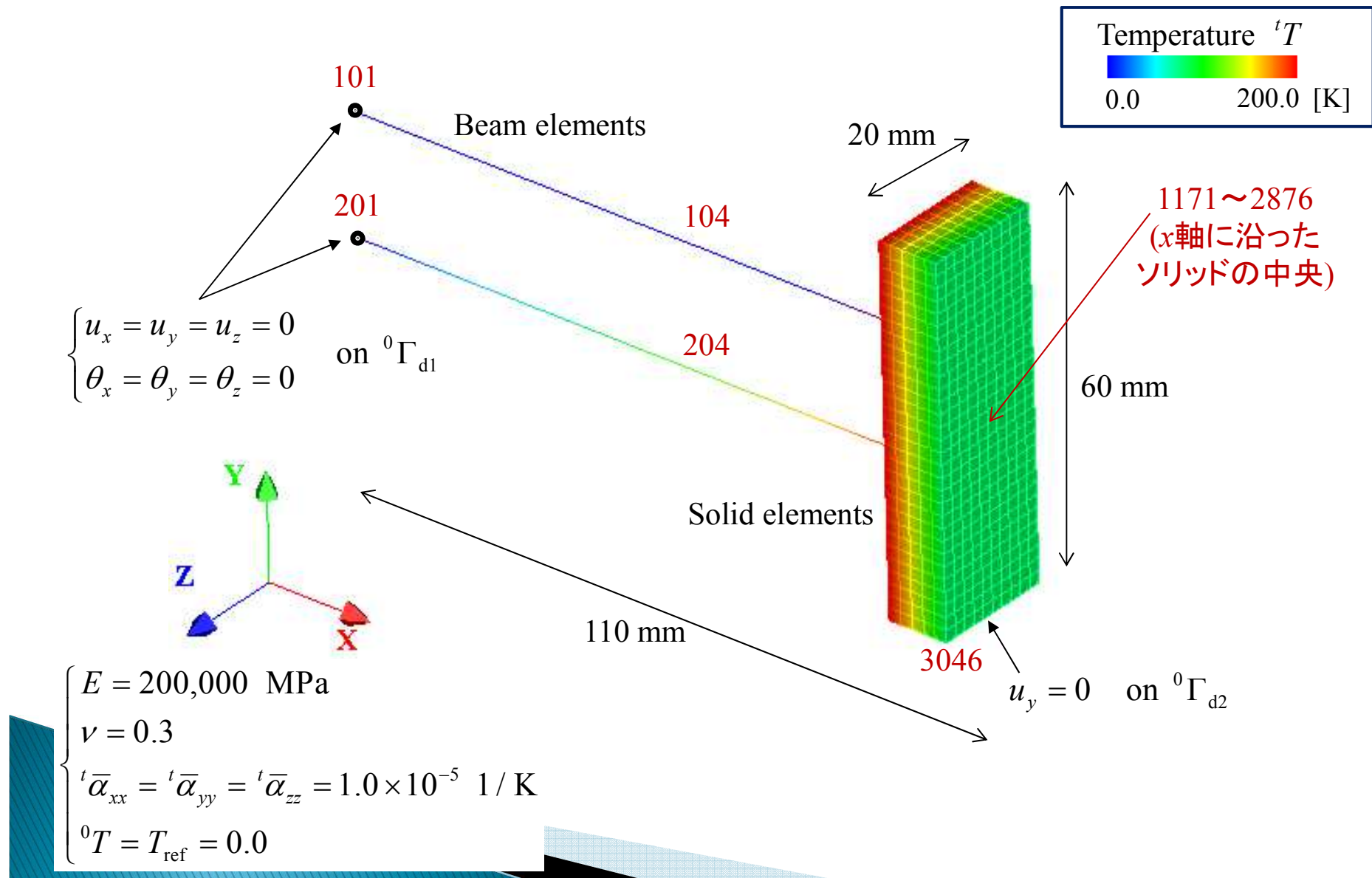
FrontISTRによる熱応力解析

目次

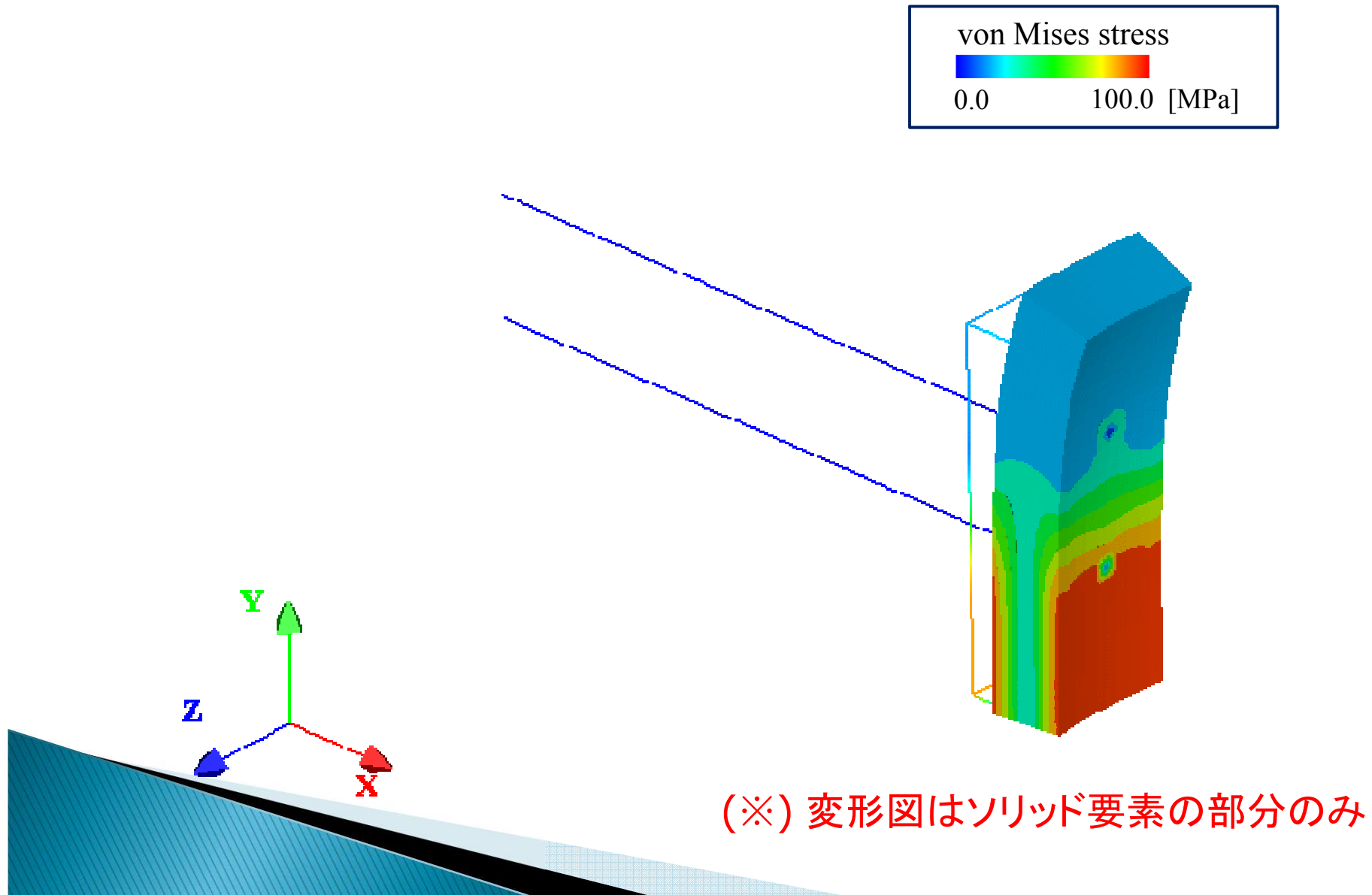
「解析機能／サンプル例題／定式化／プログラム」

1. 解析機能とユーザマニュアル該当箇所
2. サンプル例題 (π モデル)
3. 熱荷重の有限要素法定式化
4. プログラム解説

サンプル例題: π モデル (1) 解析モデル



サンプル例題: π モデル (2) Mises応力分布



サンプル例題：πモデル (3) 変位の比較

(a) FrontISTR

節点ID	変位		
	U.U1	U.U2	U.U3
3046	7.214E-02	0.000E+00	6.744E-03
101	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
104	2.646E-02	5.958E-02	1.005E-10
201	-9.465E-34	2.831E-36	0.000E+00
204	9.539E-03	2.158E-02	2.445E-11
1171	5.666E-02	4.519E-02	5.781E-11
1512	6.056E-02	4.401E-02	5.962E-11
1853	6.392E-02	4.270E-02	6.143E-11
2194	6.672E-02	4.133E-02	6.325E-11
2535	6.896E-02	4.001E-02	6.506E-11
2876	7.066E-02	3.883E-02	6.687E-11

(b) Abaqus

節点ID	変位		
	U.U1	U.U2	U.U3
3046	7.214E-02	5.491E-34	6.744E-03
101	1.732E-33	9.401E-36	0.000E+00
104	2.646E-02	5.958E-02	2.446E-11
201	-9.465E-34	2.831E-36	0.000E+00
204	9.539E-03	2.158E-02	2.445E-11
1171	5.666E-02	4.519E-02	5.781E-11
1512	6.056E-02	4.401E-02	5.962E-11
1853	6.392E-02	4.270E-02	6.143E-11
2194	6.672E-02	4.133E-02	6.325E-11
2535	6.896E-02	4.001E-02	6.506E-11
2876	7.066E-02	3.883E-02	6.687E-11

(c) Difference

節点ID	変位		
	U.U1	U.U2	U.U3
3046	1.289E-04		1.483E-06
101			
104	-1.701E-04	-1.729E-04	
201			
204	0.000E+00	0.000E+00	
1171	0.000E+00	0.000E+00	
1512	0.000E+00	0.000E+00	
1853	0.000E+00	0.000E+00	
2194	0.000E+00	0.000E+00	
2535	0.000E+00	0.000E+00	
2876	0.000E+00	0.000E+00	

$$[\text{Difference}] = \frac{[\text{FrontISTR}] - [\text{Abaqus}]}{[\text{Abaqus}]} \times 100 \quad (\%)$$

サンプル例題: π モデル (4) 応力の比較

(a) FrontISTR

節点ID	応力						
	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23	S.Mises
3046	4.867E+00	9.298E+01	-5.443E+00	8.533E-01	-8.563E+00	8.758E-02	9.487E+01
101	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力
104	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力
201	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力
204	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力
1171	-1.010E+01	-4.594E+01	6.912E+00	-3.455E+00	1.314E-08	-5.183E-09	4.711E+01
1512	6.060E-04	-3.432E+01	-2.554E+00	-7.204E+00	1.211E-08	-2.171E-09	3.539E+01
1853	-1.095E-02	-1.149E+01	-8.439E-01	-1.149E+01	1.913E-08	-9.902E-09	2.278E+01
2194	-2.216E-02	1.136E+01	8.622E-01	-1.167E+01	1.244E-08	-1.076E-08	2.299E+01
2535	-1.321E-02	3.419E+01	2.580E+00	-7.568E+00	1.460E-08	-3.046E-09	3.549E+01
2876	1.009E+01	4.585E+01	-6.897E+00	-3.609E+00	1.667E-08	-2.702E-09	4.705E+01

(b) Abaqus

節点ID	応力						
	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23	S.Mises
3046	4.867E+00	9.298E+01	-5.443E+00	8.533E-01	-8.563E+00	8.758E-02	9.487E+01
101	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力
104	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力
201	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力
204	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力
1171	-1.010E+01	-4.594E+01	6.912E+00	-3.455E+00	-4.768E-07	-3.725E-09	4.711E+01
1512	6.065E-04	-3.432E+01	-2.554E+00	-7.204E+00	1.192E-07	4.657E-10	3.539E+01
1853	-1.095E-02	-1.149E+01	-8.439E-01	-1.149E+01	-2.384E-07	0.000E+00	2.278E+01
2194	-2.216E-02	1.136E+01	8.622E-01	-1.167E+01	-2.384E-07	4.657E-10	2.299E+01
2535	-1.321E-02	3.419E+01	2.580E+00	-7.568E+00	2.384E-07	9.313E-10	3.549E+01
2876	1.009E+01	4.585E+01	-6.897E+00	-3.609E+00	4.768E-07	3.725E-09	4.705E+01

(c) Difference

節点ID	応力						
	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23	S.Mises
3046	-2.075E-04	1.172E-04	1.047E-04	-1.328E-03	2.919E-05	-4.682E-05	1.044E-04
101							
104							
201							
204							
1171	-1.881E-04	7.183E-05	9.404E-05	1.794E-04			8.490E-05
1512	-9.047E-02	6.120E-05	1.136E-04	1.568E-04			1.583E-04
1853	-1.270E-03	-5.224E-05	7.821E-05	3.307E-04			3.073E-05
2194	-2.658E-03	7.045E-05	6.147E-05	2.400E-04			3.480E-04
2535	-1.166E-03	1.843E-04	-1.395E-04	1.612E-04			1.634E-04
2876	6.936E-05	1.374E-04	9.714E-05	3.879E-05			1.063E-04

$$\begin{aligned}
 & [\text{Difference}] \\
 &= \frac{[\text{FrontISTR}] - [\text{Abaqus}]}{[\text{Abaqus}]} \times 100 \quad (\%)
 \end{aligned}$$

サンプル例題：πモデル (5) 全ひずみの比較

(a) FrontISTR

節点ID	全ひずみ					
	E.E11	E.E22	E.E33	E.E12	E.E13	E.E23
3046	8.130E-04	1.386E-03	7.460E-04	1.109E-05	-1.113E-04	1.139E-06
101	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力
104	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力
201	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力
204	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力
1171	1.888E-03	1.655E-03	1.999E-03	-4.492E-05	-6.738E-14	1.708E-13
1512	1.815E-03	1.592E-03	1.799E-03	-9.366E-05	-2.822E-14	1.574E-13
1853	1.538E-03	1.464E-03	1.533E-03	-1.476E-04	-1.776E-07	-1.602E-06
2194	1.262E-03	1.336E-03	1.267E-03	-1.516E-04	-1.398E-13	1.618E-13
2535	9.848E-04	1.207E-03	1.002E-03	-9.838E-05	-3.959E-14	1.898E-13
2876	9.120E-04	1.144E-03	8.016E-04	-4.692E-05	-3.513E-14	2.167E-13

(b) Abaqus

節点ID	全ひずみ					
	E.E11	E.E22	E.E33	E.E12	E.E13	E.E23
3046	8.130E-04	1.386E-03	7.460E-04	1.109E-05	-1.113E-04	1.139E-06
101	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力
104	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力
201	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力
204	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力
1171	1.888E-03	1.655E-03	1.999E-03	-4.492E-05	7.276E-12	-1.137E-13
1512	1.815E-03	1.592E-03	1.799E-03	-9.366E-05	0.000E+00	0.000E+00
1853	1.538E-03	1.464E-03	1.533E-03	-1.494E-04	-1.819E-12	-1.066E-14
2194	1.262E-03	1.336E-03	1.267E-03	-1.516E-04	1.819E-12	0.000E+00
2535	9.848E-04	1.207E-03	1.002E-03	-9.838E-05	-1.819E-12	0.000E+00
2876	9.120E-04	1.144E-03	8.016E-04	-4.692E-05	-3.638E-12	8.527E-14

(c) Difference

節点ID	全ひずみ					
	E.E11	E.E22	E.E33	E.E12	E.E13	E.E23
3046	3.075E-05	4.041E-04	4.289E-05	-8.835E-04	-2.515E-04	-3.777E-04
101						
104						
201						
204						
1171	2.013E-04	-1.027E-04	-6.004E-05	2.471E-04		
1512	-1.377E-04	-7.537E-05	-2.391E-04	1.249E-04		
1853	3.770E-04	4.194E-03	-4.860E-03	-1.207E+00		
2194	1.823E-04	-1.198E-04	6.313E-05	4.418E-04		
2535	-3.249E-05	2.071E-04	2.795E-04	1.911E-04		
2876	-3.289E-06	1.136E-04	7.485E-06	5.967E-05		

[Difference]

$$= \frac{[\text{FrontISTR}] - [\text{Abaqus}]}{[\text{Abaqus}]} \times 100 \quad (\%)$$

サンプル例題：πモデル (6) 弾性ひずみと熱ひずみの比較

(a) FrontISTR

節点ID	弾性ひずみ						熱ひずみ
	E.EE11	E.EE22	E.EE33	E.EE12	E.EE13	E.EE23	THE
3046	-1.070E-04	4.658E-04	-1.740E-04	1.109E-05	-1.113E-04	1.139E-06	9.200E-04
101	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力
104	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力
201	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力
204	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力
1171	8.034E-06	-2.249E-04	1.186E-04	-4.492E-05	-6.738E-14	1.708E-13	1.880E-03
1512	5.531E-05	-1.678E-04	3.871E-05	-9.366E-05	-2.822E-14	1.574E-13	1.760E-03
1853	1.844E-05	-5.615E-05	1.303E-05	-1.494E-04	-1.287E-13	2.487E-13	1.520E-03
2194	-1.844E-05	5.552E-05	-1.269E-05	-1.516E-04	-1.398E-13	1.618E-13	1.280E-03
2535	-5.522E-05	1.671E-04	-3.837E-05	-9.838E-05	-3.959E-14	1.898E-13	1.040E-03
2876	-7.963E-06	2.245E-04	-1.184E-04	-4.692E-05	-3.513E-14	2.167E-13	9.200E-04

(b) Abaqus

節点ID	弾性ひずみ						熱ひずみ
	E.EE11	E.EE22	E.EE33	E.EE12	E.EE13	E.EE23	THE
3046	-1.070E-04	4.658E-04	-1.740E-04	1.109E-05	-1.113E-04	1.139E-06	9.200E-04
101	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力
104	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力
201	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力
204	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力	未出力
1171	8.034E-06	-2.249E-04	1.186E-04	-4.492E-05	7.276E-12	-1.137E-13	1.880E-03
1512	5.531E-05	-1.678E-04	3.871E-05	-9.366E-05	0.000E+00	0.000E+00	1.760E-03
1853	1.844E-05	-5.615E-05	1.303E-05	-1.494E-04	-1.819E-12	-1.066E-14	1.520E-03
2194	-1.844E-05	5.552E-05	-1.269E-05	-1.516E-04	1.819E-12	0.000E+00	1.280E-03
2535	-5.522E-05	1.671E-04	-3.837E-05	-9.838E-05	-1.819E-12	0.000E+00	1.040E-03
2876	-7.963E-06	2.245E-04	-1.184E-04	-4.692E-05	-3.638E-12	8.527E-14	9.200E-04

(c) Difference

節点ID	弾性ひずみ						熱ひずみ
	E.EE11	E.EE22	E.EE33	E.EE12	E.EE13	E.EE23	THE
3046	-2.431E-04	1.374E-04	3.851E-04	-8.835E-04	-2.515E-04	-3.777E-04	-1.087E-06
101							
104							
201							
204							
1171	1.277E-03	3.245E-04	-2.107E-04	2.471E-04			0.000E+00
1512	1.465E-04	1.490E-04	2.816E-04	1.249E-04			0.000E+00
1853	1.302E-04	1.532E-04	4.760E-04	1.272E-04			0.000E+00
2194	-4.339E-05	7.565E-05	1.576E-05	4.418E-04			0.000E+00
2535	4.527E-05	3.232E-04	1.329E-04	1.911E-04			0.000E+00
2876	1.389E-03	1.515E-04	-5.068E-05	5.967E-05			0.000E+00

[Difference]

$$= \frac{[\text{FrontISTR}] - [\text{Abaqus}]}{[\text{Abaqus}]} \times 100 \quad (\%)$$

FrontISTRによる熱応力解析

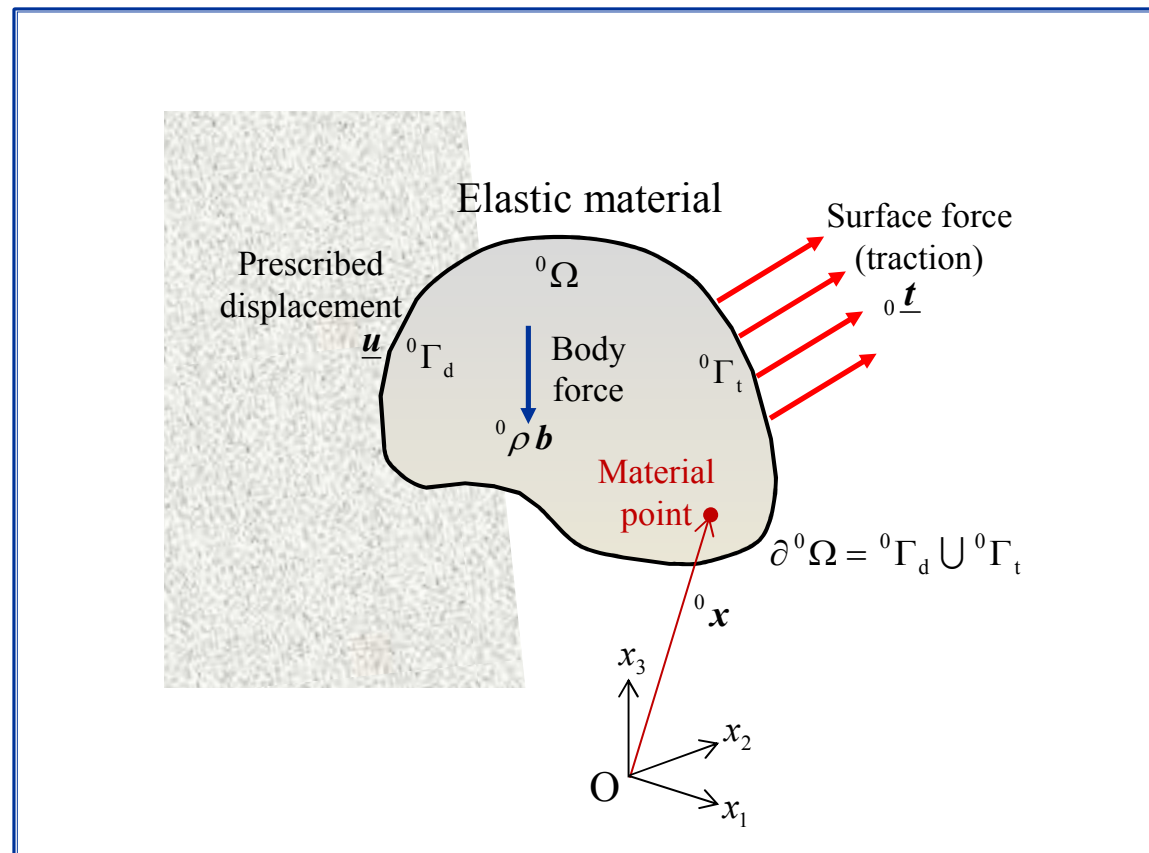
目次

「解析機能／サンプル例題／定式化／プログラム」

1. 解析機能とユーザマニュアル該当箇所
2. サンプル例題 (π モデル)
3. 熱荷重の有限要素法定式化
4. プログラム解説

熱荷重の有限要素法定式化

微小変形理論の場合



仮想仕事の原理

[V] 以下を満たすような変位 $\mathbf{u} \in V$ を求めよ

$$V = \{ \mathbf{v} \mid \mathbf{v} \in H^1({}^0\Omega)^N, \mathbf{v} = \underline{\mathbf{u}} \text{ on } {}^0\Gamma_d \}$$

$$M = \{ \delta \mathbf{u} \mid \delta \mathbf{u} \in H^1({}^0\Omega)^N, \delta \mathbf{u} = \mathbf{0} \text{ on } {}^0\Gamma_d \}$$

$$\int_{{}^0\Omega} {}^t\boldsymbol{\sigma} : \delta \boldsymbol{\varepsilon} d^0\Omega = \int_{{}^0\Gamma_t} {}^0\underline{\mathbf{t}} \cdot \delta \mathbf{u} d^0\Gamma + \int_{{}^0\Omega} {}^0\rho \mathbf{b} \cdot \delta \mathbf{u} d^0\Omega \quad \forall \delta \mathbf{u} \in M$$

...(1.10)

右辺へ移項して, 外力項 (熱荷重) にします

$$\begin{aligned} \int_{{}^0\Omega} (\mathbf{C}_e : {}^t\boldsymbol{\varepsilon}) : \delta \boldsymbol{\varepsilon} d^0\Omega &= \int_{{}^0\Gamma_t} \underline{\mathbf{t}} \cdot \delta \mathbf{u} d^0\Gamma + \int_{{}^0\Omega} {}^0\rho \mathbf{b} \cdot \delta \mathbf{u} d^0\Omega + \int_{{}^0\Omega} (\mathbf{C}_e : {}^t\boldsymbol{\varepsilon}_T) : \delta \boldsymbol{\varepsilon} d^0\Omega \\ &= \int_{{}^0\Gamma_t} \underline{\mathbf{t}} \cdot \delta \mathbf{u} d^0\Gamma + \int_{{}^0\Omega} {}^0\rho \mathbf{b} \cdot \delta \mathbf{u} d^0\Omega + \int_{{}^0\Omega} \left\{ \lambda (\text{tr } {}^0\bar{\boldsymbol{\alpha}}) \mathbf{I} + 2\mu {}^0\bar{\boldsymbol{\alpha}} \right\} ({}^tT - {}^0T) : \delta \boldsymbol{\varepsilon} d^0\Omega \end{aligned}$$

$\forall \delta \mathbf{u} \in M$

...(1.11)

左辺の式変形 (ソリッド要素の場合) (1)

$$\begin{aligned}
 \int_{\Omega} (C_e : {}^t\boldsymbol{\varepsilon}) : \delta\boldsymbol{\varepsilon} \, d^0\Omega &= \sum_e \int_{\Omega^e} (C_e : {}^t\boldsymbol{\varepsilon}) : \delta\boldsymbol{\varepsilon} \, d^0\Omega \\
 &= \sum_e \int_{\Omega^e} (\delta\varepsilon_{11} \quad \delta\varepsilon_{22} \quad \delta\varepsilon_{33} \quad 2\delta\varepsilon_{12} \quad 2\delta\varepsilon_{23} \quad 2\delta\varepsilon_{31}) \mathbf{D} \begin{pmatrix} {}^t\varepsilon_{11} \\ {}^t\varepsilon_{22} \\ {}^t\varepsilon_{33} \\ 2 {}^t\varepsilon_{12} \\ 2 {}^t\varepsilon_{23} \\ 2 {}^t\varepsilon_{31} \end{pmatrix} d^0\Omega \\
 &\quad \dots(1.12)
 \end{aligned}$$

Dマトリックス

$$\mathbf{D} = \begin{pmatrix} \lambda + 2\mu & \lambda & \lambda & 0 & 0 & 0 \\ \lambda & \lambda + 2\mu & \lambda & 0 & 0 & 0 \\ \lambda & \lambda & \lambda + 2\mu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu \end{pmatrix} \quad \dots(1.13)$$

左辺の式変形 (ソリッド要素の場合) (2)

$$\begin{aligned}
 & \sum_e \int_{\Omega^e} (\delta \varepsilon_{11} \quad \delta \varepsilon_{22} \quad \delta \varepsilon_{33} \quad 2\delta \varepsilon_{12} \quad 2\delta \varepsilon_{23} \quad 2\delta \varepsilon_{31}) \mathbf{D} \begin{pmatrix} {}^t\varepsilon_{11} \\ {}^t\varepsilon_{22} \\ {}^t\varepsilon_{33} \\ 2 {}^t\varepsilon_{12} \\ 2 {}^t\varepsilon_{23} \\ 2 {}^t\varepsilon_{31} \end{pmatrix} d^0\Omega \\
 &= \sum_e \int_{\Omega^e} (\mathbf{B} \delta \mathbf{u}^e)^T \mathbf{D} \mathbf{B} {}^t\mathbf{u}^e d^0\Omega \\
 &= \sum_e \delta \mathbf{u}^{eT} \int_{\Omega^e} \mathbf{B}^T \mathbf{D} \mathbf{B} d^0\Omega {}^t\mathbf{u}^e \\
 &= \sum_e \delta \mathbf{u}^{eT} \mathbf{K}^e {}^t\mathbf{u}^e \quad \dots (1.14)
 \end{aligned}$$

要素剛性マトリックス

$$\mathbf{K}^e = \int_{\Omega^e} \mathbf{B}^T \mathbf{D} \mathbf{B} d^0\Omega \quad \dots (1.19)$$

$$\begin{pmatrix} {}^t\varepsilon_{11} \\ {}^t\varepsilon_{22} \\ {}^t\varepsilon_{33} \\ 2 {}^t\varepsilon_{12} \\ 2 {}^t\varepsilon_{23} \\ 2 {}^t\varepsilon_{31} \end{pmatrix} = \mathbf{B} {}^t\mathbf{u}^e \quad \dots (1.15)$$

Bマトリックス

$$\mathbf{B} = (\mathbf{B}^{(1)} \quad \mathbf{B}^{(2)} \quad \dots \quad \mathbf{B}^{(\alpha)} \quad \dots \quad \mathbf{B}^{(n)}) \quad \dots (1.17)$$

$${}^t\mathbf{u}^e = ({}^tu_1^{(1)} \quad {}^tu_2^{(1)} \quad {}^tu_3^{(1)} \quad {}^tu_1^{(2)} \quad {}^tu_2^{(2)} \quad {}^tu_3^{(2)} \quad \dots \quad {}^tu_1^{(\alpha)} \quad {}^tu_2^{(\alpha)} \quad {}^tu_3^{(\alpha)} \quad \dots \quad {}^tu_1^{(n)} \quad {}^tu_2^{(n)} \quad {}^tu_3^{(n)})^T \quad \dots (1.16)$$

$$\mathbf{B}^{(\alpha)} = \begin{pmatrix} \frac{\partial N^{(\alpha)}}{\partial x_1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial N^{(\alpha)}}{\partial x_2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial N^{(\alpha)}}{\partial x_3} \\ \frac{\partial N^{(\alpha)}}{\partial x_2} & \frac{\partial N^{(\alpha)}}{\partial x_1} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N^{(\alpha)}}{\partial x_3} & \frac{\partial N^{(\alpha)}}{\partial x_2} \\ \frac{\partial N^{(\alpha)}}{\partial x_3} & 0 & \frac{\partial N^{(\alpha)}}{\partial x_1} \end{pmatrix} \quad \dots (1.18)$$

右辺の式変形 (ソリッド要素の場合) (1)

$$\begin{aligned}
 & \oint_{\partial^0 \Omega} {}^t \mathbf{t} \cdot \delta \mathbf{u} \, d^0 \Gamma + \int_{\Omega} {}^0 \rho \mathbf{b} \cdot \delta \mathbf{u} \, d^0 \Omega \\
 &= \sum_e \oint_{\partial^0 \Omega^e} (\mathbf{N} \delta \mathbf{u}^e)^T \begin{pmatrix} {}^t t_1 \\ {}^t t_2 \\ {}^t t_3 \end{pmatrix} d^0 \Gamma + \sum_e \int_{\Omega^e} (\mathbf{N} \delta \mathbf{u}^e)^T {}^0 \rho \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} d^0 \Omega \quad \left(\begin{pmatrix} {}^t u_1 \\ {}^t u_2 \\ {}^t u_3 \end{pmatrix} = \mathbf{N} {}^t \mathbf{u}^e \quad \dots (1.21) \right. \\
 & \quad \left. \mathbf{N} = (\mathbf{N}^{(1)} \mathbf{N}^{(2)} \dots \mathbf{N}^{(\alpha)} \dots \mathbf{N}^{(n)}) \quad \dots (1.22) \right. \\
 &= \sum_e \delta \mathbf{u}^{eT} \left\{ \oint_{\partial^0 \Omega^e} \mathbf{N}^T \begin{pmatrix} {}^t t_1 \\ {}^t t_2 \\ {}^t t_3 \end{pmatrix} d^0 \Gamma + \int_{\Omega^e} \mathbf{N}^T {}^0 \rho \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} d^0 \Omega \right\} \quad \left(\mathbf{N}^{(\alpha)} = \begin{pmatrix} N^{(\alpha)} & 0 & 0 \\ 0 & N^{(\alpha)} & 0 \\ 0 & 0 & N^{(\alpha)} \end{pmatrix} \quad \dots (1.23) \right. \\
 &= \sum_e \delta \mathbf{u}^{eT} \mathbf{f}^e \quad \left({}^t \mathbf{f}^e = \oint_{\partial^0 \Omega^e} \mathbf{N}^T \begin{pmatrix} {}^t t_1 \\ {}^t t_2 \\ {}^t t_3 \end{pmatrix} d^0 \Gamma + \int_{\Omega^e} \mathbf{N}^T {}^0 \rho \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} d^0 \Omega \quad \dots (1.24) \right. \\
 & \quad \dots (1.20)
 \end{aligned}$$

要素ごとの
外力ベクトル

右辺の式変形 (ソリッド要素の場合) (2)

$$\sum_e \int_{\Omega^e} {}^t\boldsymbol{\sigma}_T : \delta \boldsymbol{\varepsilon} d^0\Omega = \sum_e \int_{\Omega^e} (\delta \varepsilon_{11} \quad \delta \varepsilon_{22} \quad \delta \varepsilon_{33} \quad 2\delta \varepsilon_{12} \quad 2\delta \varepsilon_{23} \quad 2\delta \varepsilon_{31}) \begin{pmatrix} {}^t(\sigma_T)_{11} \\ {}^t(\sigma_T)_{22} \\ {}^t(\sigma_T)_{33} \\ {}^t(\sigma_T)_{12} \\ {}^t(\sigma_T)_{23} \\ {}^t(\sigma_T)_{31} \end{pmatrix} d^0\Omega$$

$$\begin{pmatrix} {}^t(\sigma_T)_{11} \\ {}^t(\sigma_T)_{22} \\ {}^t(\sigma_T)_{33} \\ {}^t(\sigma_T)_{12} \\ {}^t(\sigma_T)_{23} \\ {}^t(\sigma_T)_{31} \end{pmatrix} = \mathbf{D} \begin{pmatrix} {}^t\bar{\alpha}_{11} \\ {}^t\bar{\alpha}_{22} \\ {}^t\bar{\alpha}_{33} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} ({}^tT - {}^0T) \quad \dots (1.26)$$

$$= \sum_e \int_{\Omega^e} (\delta \varepsilon_{11} \quad \delta \varepsilon_{22} \quad \delta \varepsilon_{33} \quad 2\delta \varepsilon_{12} \quad 2\delta \varepsilon_{23} \quad 2\delta \varepsilon_{31}) \mathbf{D} \begin{pmatrix} {}^t\bar{\alpha}_{11} \\ {}^t\bar{\alpha}_{22} \\ {}^t\bar{\alpha}_{33} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} ({}^tT - {}^0T) d^0\Omega$$

$$\begin{pmatrix} {}^t\bar{\alpha}_{11} \\ {}^t\bar{\alpha}_{22} \\ {}^t\bar{\alpha}_{33} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \mathbf{B} \begin{pmatrix} {}^t\varepsilon_{11} \\ {}^t\varepsilon_{22} \\ {}^t\varepsilon_{33} \\ 2{}^t\varepsilon_{12} \\ 2{}^t\varepsilon_{23} \\ 2{}^t\varepsilon_{31} \end{pmatrix} = \mathbf{B} {}^t\mathbf{u}^e \quad \dots (1.15)$$

$$= \sum_e \delta \mathbf{u}^{e\top} \int_{\Omega^e} \mathbf{B}^\top \mathbf{D} \begin{pmatrix} {}^t\bar{\alpha}_{11} \\ {}^t\bar{\alpha}_{22} \\ {}^t\bar{\alpha}_{33} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} ({}^tT - {}^0T) d^0\Omega$$

$$= \sum_e \delta \mathbf{u}^{e\top} {}^t\mathbf{f}_T^e \quad \dots (1.25)$$

$${}^t\mathbf{f}_T^e = \int_{\Omega^e} \mathbf{B}^\top \mathbf{D} \begin{pmatrix} {}^t\bar{\alpha}_{11} \\ {}^t\bar{\alpha}_{22} \\ {}^t\bar{\alpha}_{33} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} ({}^tT - {}^0T) d^0\Omega \quad \dots (1.27)$$

要素ごとの
熱荷重ベクトル

有限要素法による定式化

$$\sum_e \delta \mathbf{u}^{eT} \mathbf{K}^e {}^t \mathbf{u}^e = \sum_e \delta \mathbf{u}^{eT} (\mathbf{f}^e + {}^t \mathbf{f}_T^e) \quad \cdots (1.29)$$

$$\delta \mathbf{u}^T \left(\sum_e \mathbf{K}^e \right) {}^t \mathbf{u} = \delta \mathbf{u}^T \left\{ \sum_e (\mathbf{f}^e + {}^t \mathbf{f}_T^e) \right\}$$

$$\delta \mathbf{u}^T (\mathbf{K} {}^t \mathbf{u}) = \delta \mathbf{u}^T (\mathbf{f} + {}^t \mathbf{f}_T)$$

$$\mathbf{K} {}^t \mathbf{u} = \mathbf{f} + {}^t \mathbf{f}_T \quad \cdots (1.28)$$

$${}^t \mathbf{u} = ({}^t u_1^1 \quad {}^t u_2^1 \quad {}^t u_3^1 \quad {}^t u_1^2 \quad {}^t u_2^2 \quad {}^t u_3^2 \cdots {}^t u_1^N \quad {}^t u_2^N \quad {}^t u_3^N)^T$$

剛性マトリックス

$$\mathbf{K} = \sum_e \mathbf{K}^e \quad \cdots (1.30)$$

外力ベクトル

$$\mathbf{f} = \sum_e \mathbf{f}^e \quad \cdots (1.31)$$

熱荷重ベクトル

$$\mathbf{f}_T = \sum_e \mathbf{f}_T^e \quad \cdots (1.32)$$

(※) 上述は通常のアイソパラメトリック要素による定式化ですが、FrontISTRによる熱応力解析ではB-bar要素を使用しています

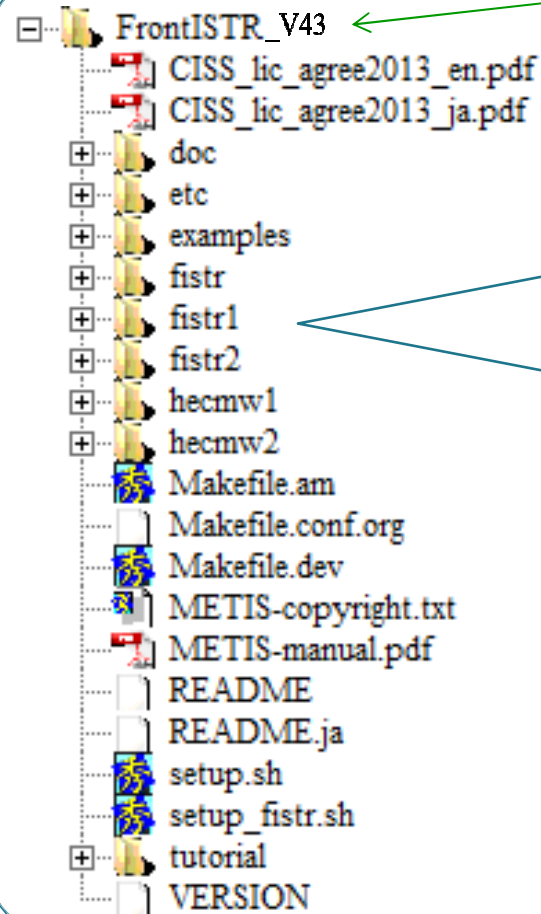
FrontISTRによる熱応力解析

目次

「解析機能／サンプル例題／定式化／プログラム」

1. 解析機能とユーザマニュアル該当箇所
2. サンプル例題 (π モデル)
3. 熱荷重の有限要素法定式化
4. プログラム解説

FrontISTRのディレクトリ構成 (1)

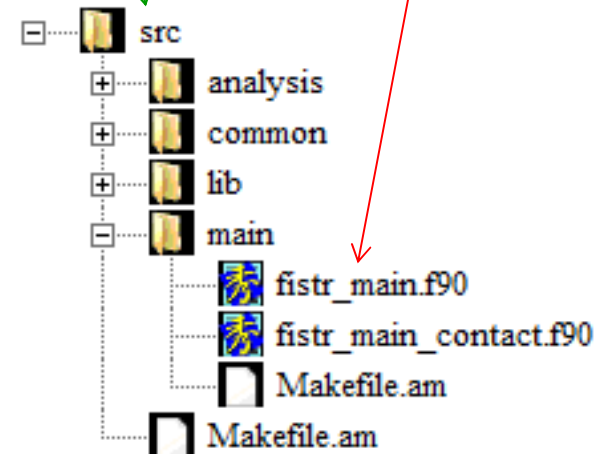


FrontISTR_V43_p1.tar.gzを解凍します



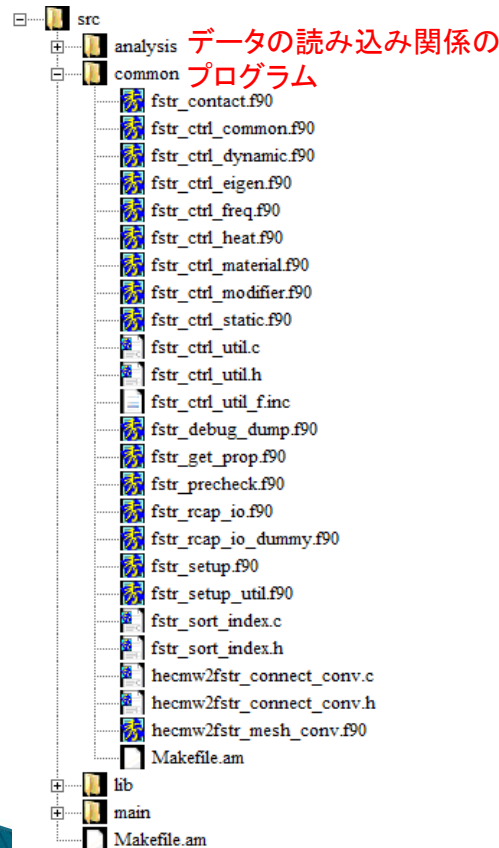
ディレクトリsrcの下が
ソースファイル群です

FrontISTR Ver.3.5の
メインプログラムです

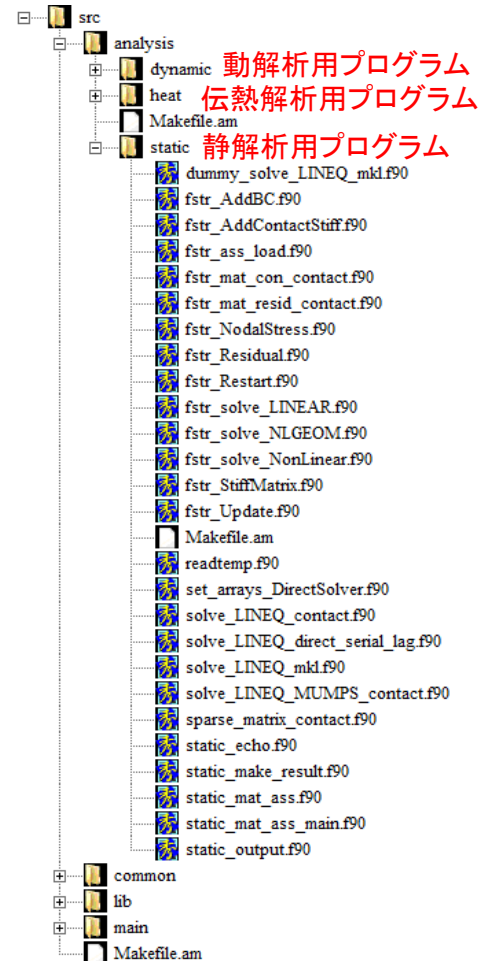


四つのディレクトリ「main」,
「common」, 「analysis」, 「lib」が
あります

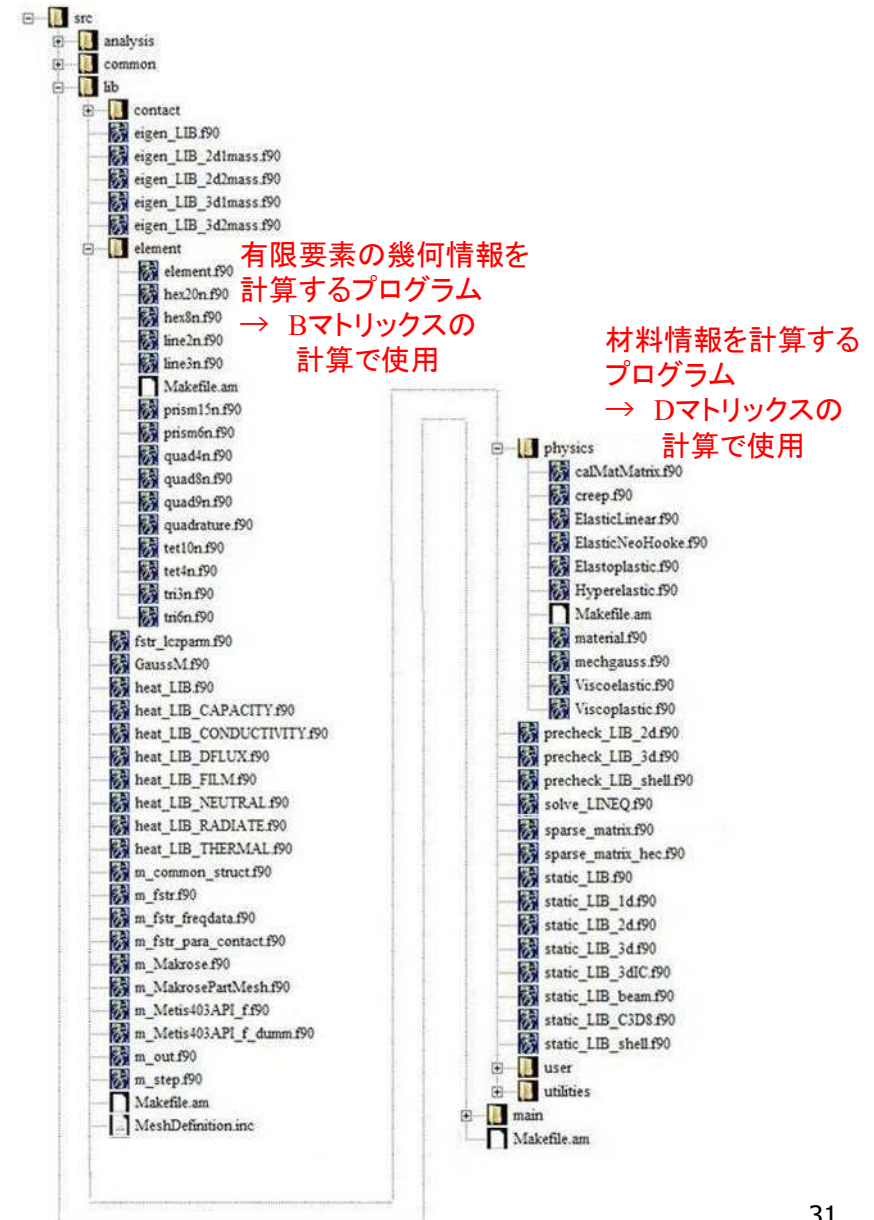
FrontISTRのディレクトリ構成 (2)



データの読み込み関係の
プログラム



動解析用プログラム
伝熱解析用プログラム
静解析用プログラム



微小変形熱弾性静解析の流れ (1)

[main/fistr_main.f90] PROGRAM fistr_main ... メインプログラム

hecmw_init()

hecmw_get_mesh()

[main/fistr_main.f90] fistr_init() ... 変数初期化・入力データ読み込み

hecmw_nullify_matrix()

hecmw_nullify_result_data()

[main/fistr_main.f90] fistr_init_file()

hecmw_mat_con()

[main/fistr_main.f90] fistr_condition()

hecmw_ctrl_get_control_file()

[main/fistr_main.f90] fistr_linear_static_analysis() ... 線形静解析用のルーチンへ

[analysis/static/fstr_solve_LINEAR.f90] m_fstr_LINEAR::fstr_solve_LINEAR()

[analysis/static/static_mat_ass.f90] m_static_mat_ass::fstr_mat_ass() ... 全体剛性マトリックスの作成

[analysis/static/fstr_ass_load.f90] m_fstr_ass_load::fstr_ass_load() ... 外力ベクトルの計算

[lib/static_LIB_C3D8.f90] m_static_LIB_C3D8::TLOAD_C3D8Bbar() ... 要素外力ベクトルの計算 (3次元六面体1次要素)

[analysis/static/fstr_AddBC.f90] m_fstr_AddBC::fstr_AddBC() ... 境界条件の処理

hecmw_allREDUCE_R1()

[lib/solve_LINEQ.f90] m_solve_LINEQ::solve_LINEQ() ... 線形ソルバーによる求解

hecmw_solve_33()

hecmw_update_3_R()

[analysis/static/fstr_Update.f90] m_fstr_Update::fstr_Update3D()

[lib/static_LIB_C3D8.f90] m_static_LIB_C3D8::UpdateST_C3D8Bbar() ... 応力の計算 (3次元六面体1次要素の場合)

[lib/static_LIB_C3D8.f90] m_static_LIB_C3D8::STF_C3D8Bbar() ... 要素剛性マトリックスの計算 (3次元六面体1次要素の場合)

[analysis/static/static_output.f90] m_static_output::fstr_static_Output() ... 結果の出力

[analysis/static/static_make_result.f90] m_static_make_result::fstr_write_static_result()

[main/fistr_main.f90] fistr_main::fstr_finalize() ... 変数の削除

hecmw_finalize()

[ディレクトリ/ファイル名] モジュール名::サブルーチン名()を意味しています

微小変形熱弾性静解析の流れ (2)

[analysis/static/static_mat_ass.f90] m_static_mat_ass::fstr_mat_ass() ... 全体剛性マトリックスの作成

```
[analysis/static/static_mat_ass_main.f90] m_static_mat_ass_main::fstr_mat_ass_main()
  hecmw_mat_clear()
  [analysis/static/static_mat_ass_main.f90] m_static_mat_ass_main::fstr_local_stf_create()   ... 要素剛性マトリックスの計算
  [analysis/static/static_LIB_C3D8.f90] m_static_LIB_C3D8::STF_C3D8Bbar()   ... 3次元六面体1次要素
    [lib/element/element.f90] elementInfo::getQuadPoint()   ... Gaussの積分点数
    [lib/element/element.f90] elementInfo::getGlobalDeriv()   ... 形状関数の微分値
    [lib/physics/calMatMatrix.f90] m_MatMatrix::MatlMatrix()   ... Dマトリックス
    [lib/physics/ElasticLinear.f90] m_ElasticLinear::calElasticMatrix()   ... 等方線形弾性体の場合
  hecmw_mat_ass_elem()   ... 要素剛性マトリックスをassemble
```

[ディレクトリ/ファイル名] モジュール名::サブルーチン名()を意味しています

[analysis/static/fstr_ass_load.f90]の内容

モジュール名 : m_fstr_ass_load

要素ごとの外力ベクトルを計算し, 全体の外力ベクトルへアセンブルする

使用する他のモジュール

- ・ `lib/m_fstr.f90` `m_fstr`
FrontISTRにおける共通データを定義するモジュール
- ・ `lib/static_LIB.f90` `m_static_lib`
FrontISTRの静解析で共通に使用要するモジュール
- ・ `common/fstr_precheck.f90` `m_fstr_precheck`
FrontISTRの入力ファイルをチェックするモジュール
- ・ `lib/physics/mechgauss.f90` `mMechGauss`
Gauss積分点の情報を管理するモジュール
- ・ `analysis/static/readtemp.f90` `mReadTemp`
外部ファイルから温度分布を読み込むモジュール
- ・ `lib/user/uload.f90` `mULoad`
ユーザ定義の荷重を計算するモジュール
- ・ `lib/m_fstr_para_contact.f90` `m_fstr_para_contact`
接触解析においてメッシュ分割と分散メッシュ構造を作成するモジュール

メンバ変数

- ・なし

メンバ関数

- ・ サブルーチン `fstr_ass_load()`
要素ごとの外力ベクトルを計算し, 全体の外力ベクトルへアセンブルするサブルーチン
- ・ サブルーチン `fstr_AddSPRING`
境界上にバネを与えて, バネの効果をDマトリックスへ追加するサブルーチン

[analysis/static/fstr_ass_load.f90]

m_fstr_ass_load::fstr_ass_load()の内容

サブルーチン名: **fstr_ass_load()**
各種の外力ベクトルを計算するサブルーチン

引数

- ・整数型 cstep
現在の時間ステップ
- ・構造体(hecmwST_matrix) hecMAT
HECMWが管理するマトリックスのデータ
- ・構造体(hecmwST_local_mesh) hecMESH
HECMWが管理するメッシュのデータ
- ・構造体(fstr_solid) fstrSOLID
FrontISTRによる構造解析で共通に使用するデータ
- ・構造体(fstr_param) fstrPARAM
FrontISTRの制御パラメータ

上位

- ・サブルーチン [analysis/static/fstr_solve_NonLinear.f90] m_fstr_NonLinearMethod :: fstr_Newton()
- ・サブルーチン [analysis/static/fstr_solve_NonLinear.f90] m_fstr_NonLinearMethod :: fstr_Newton_contactALag()
- ・サブルーチン [analysis/static/fstr_solve_NonLinear.f90] m_fstr_NonLinearMethod :: fstr_Newton_contactSLag()
- ・サブルーチン [analysis/static/static_mat_ass.f90] m_static_mat_ass_main :: fstr_mat_ass()

下位

- ・サブルーチン [common/fstr_precheck.f90] m_fstr_precheck :: fstr_get_thickness()
- ・サブルーチン [lib/static_LIB_2d.f90] m_static_LIB_2d :: DL_C2()
- ・サブルーチン [lib/static_LIB_3d.f90] m_static_LIB_3d :: DL_C3()
- ・サブルーチン [lib/static_LIB_beam.f90] m_static_LIB_beam :: DL_Beam_641()
- ・サブルーチン [lib/static_LIB_shell.f90] m_static_LIB_shell :: DL_Shell()
- ・サブルーチン [lib/user/uload.f90] mULoad :: uloading()
- ・サブルーチン [lib/m_fstr_para_contact.f90] m_fstr_para_contact :: paraContact_update_3_R()
- ・サブルーチン [analysis/static/readtemp.f90] mReadTemp :: read_temperature_result()
- ・サブルーチン [lib/m_fstr.f90] m_fstr :: get_coordsys()
- ・サブルーチン [lib/static_LIB_beam.f90] m_static_LIB_beam :: TLOAD_Beam_641()
- ・サブルーチン [lib/static_LIB_2d.f90] m_static_LIB_2d :: TLOAD_C2()
- ・サブルーチン [lib/static_LIB_C3D8.f90] m_static_LIB_C3D8 :: TLOAD_C3D8Bbar()
- ・サブルーチン [lib/static_LIB_3d.f90] m_static_LIB_3d :: TLOAD_C3()
- ・サブルーチン [lib/contact/fstr_contact_def.f90] mContactDef :: ass_contact_force()

[analysis/static/fstr_Update.f90]の内容

モジュール名:m_fstr_Update
応力を計算する

使用する他のモジュール

- ・lib/m_fstr.f90 m_fstr
FrontISTRにおける共通データを定義するモジュール
- ・lib/static_LIB.f90 m_static_lib
FrontISTRの静解析で共通に使用するモジュール
- ・lib/m_fstr_para_contact.f90 m_fstr_para_contact
接触解析においてメッシュ分割と分散メッシュ構造を作成するモジュール
- ・lib/physics/Elastoplastoc.f90 m_ElastoPlastic
弾塑性体の場合に使用するモジュール
- ・lib/physics/creep.f90 mCreep
クリープを解析する場合に使用するモジュール
- ・lib/physics/Viscoelastic.f90 mViscoElastic
粘弾性体の場合に使用するモジュール

メンバ変数

- ・なし

メンバ関数

- ・サブルーチン fstr_UpdateNewton()
Newton-Raphson反復を使用する場合、応力、ひずみ、内力などを更新するサブルーチン
- ・サブルーチン fstr_UpdateState()
時間やひずみなどを更新するサブルーチン
- ・サブルーチン fstr_Update3D()
線形解析の場合、応力、ひずみ、内力などを更新するサブルーチン (節点当たりの3自由度)
- ・サブルーチン fstr_Update2D()
線形解析の場合、応力、ひずみ、内力などを更新するサブルーチン (節点当たりの2自由度)
- ・サブルーチン fstr_Update6D()
線形解析の場合、応力、ひずみ、内力などを更新するサブルーチン (節点当たりの6自由度)

[analysis/static/fstr_Update.f90]

m_fstr_Update :: fstr_Update3D()の内容

サブルーチン名: **fstr_Update3D()**

線形解析の場合、応力、ひずみ、内力などを更新するサブルーチン (節点当たりの3自由度)

引数

- ・構造体(hecMWST_local_mesh) hecMESH
HECMWが管理するメッシュのデータ
- ・構造体(fstr_solid) fstrSOLID
FrontISTRによる構造解析で共通に使用するデータ

上位

- ・サブルーチン [analysis/static/fstr_solve_LINEAR.f90] m_fstr_solve_LINEAR::FSTR_SOLVE_LINEAR()
- ・サブルーチン [analysis/dynamic/transit/dynamic_output.f90] m_dynamic_output::fstr_dynamic_Output()

下位

- ・サブルーチン [lib/static_LIB_shell.f90] m_static_LIB_shell :: STF_Shell_MITC
- ・サブルーチン [lib/static_LIB_beam.f90] m_static_LIB_beam :: STF_Beam_641
- ・サブルーチン [lib/static_LIB_3dIC.f90] m_static_LIB_3dIC :: UpdateST_C3D8IC
- ・サブルーチン **[lib/static_LIB_C3D8.f90] m_static_LIB_C3D8 :: UpdateST_C3D8Bbar**
- ・サブルーチン [lib/static_LIB_shell.f90] m_static_LIB_1d :: UpdateST_C1
- ・サブルーチン [lib/static_LIB_shell.f90] m_static_LIB_3d :: UpdateST_C3
- ・サブルーチン [lib/static_LIB_shell.f90] m_static_LIB_3dIC :: STF_C3D8IC
- ・サブルーチン [lib/static_LIB_shell.f90] m_static_LIB_1d :: STF_C1
- ・サブルーチン [lib/static_LIB_shell.f90] m_static_LIB_3d :: STF_C3

[lib/static_LIB_C3D8.f90]の内容

モジュール名:m_static_LIB_C3D8

3次元六面体8節点要素 (B-bar要素) の場合, Bマトリックスおよび
要素剛性マトリックス を計算したり, Gauss積分点における応力とひずみを計算したりするモジュール

使用する他のモジュール

- ・hecmw
HECMWのモジュール
- ・[lib/utilities/utilities.f90] m_utilities
補助的なサブルーチンや関数を集めたモジュール
- ・[lib/element/element.f90] elementInfo
要素の情報を管理するモジュール
- ・[lib/physics/mechgauss.f90] mMechGauss
Gauss積分点の情報を管理するモジュール
- ・[lib/m_common_struct.f90] m_common_struct
有限要素解析における共通データを定義するモジュール
- ・[lib/physics/calMatMatrix.f90] m_MatMatrix
各材料のDマトリックスを計算するサブルーチンと呼ぶモジュール
- ・[lib/m_fstr.f90] m_fstr
FrontISTRにおける共通データを定義するモジュール
- ・[lib/physics/material.f90] mMaterial
材料物性の情報を管理するモジュール
- ・[lib/physics/Elastoplastic.f90] m_ElastoPlastic
弾塑性体のDマトリックスを計算するモジュール
- ・[lib/physics/Hyperelastic.f90] mHyperElastic
超弾性体の4階の弾性テンソル を計算するモジュール

メンバ変数

- ・整数型 kint
整数型の種別値
- ・実数型 kreal
実数型の種別値

メンバ関数

- ・サブルーチン STF_C3D8Bbar()
3次元六面体8節点要素 (B-bar要素) の場合, Bマトリックスおよび要素剛性マトリックス を計算するサブルーチン
- ・サブルーチン Update_C3D8Bbar()
3次元六面体8節点要素 (B-bar要素) の場合, Gauss積分点における応力とひずみを計算するサブルーチン
- ・サブルーチン TLOAD_C3D8Bbar()
3次元六面体8節点要素 (B-bar要素) の場合, 熱荷重を計算するサブルーチン
- ・サブルーチン UpdateST_C3D8Bbar()
3次元六面体8節点要素 (B-bar要素) の場合, 応力を計算するサブルーチン

[lib/static_LIB_C3D8.f90]

m_static_LIB_C3D8::TLOAD_C3D8Bbar()の内容

サブルーチン名: TLOAD_C3D8Bbar()

3次元六面体8節点要素 (B-bar要素) の場合, 熱荷重ベクトルを計算するサブルーチン

引数

- ・整数型 etype
要素タイプ
- ・整数型 nn
各要素の節点数 (nn=8)
- ・実数型 xx(nn), yy(nn), zz(nn)
各要素の節点座標
- ・実数型 tt(nn)
温度
- ・実数型 t0(nn)
初期温度
- ・構造体(tGaussStatus) gausses(:)
Gaussの積分点に関連するデータ
- ・実数型 vect(:)
要素ごとの外力ベクトル
- ・実数型 tincr
時間増分
- ・実数型 coords(3, 3)
材料の局所座標系を定義するのに必要な変数

上位

- ・サブルーチン [analysis/static/fstr_ass_load.f90] m_fstr_ass_load::fstr_ass_load()

下位

- ・サブルーチン [lib/utilities/ttable.f90] Table_DICTS :: fetch_TableData()
- ・サブルーチン [lib/element/element.f90] elementInfo :: getQuadPoint()
- ・サブルーチン [lib/element/element.f90] elementInfo :: getShapeFunc()
- ・サブルーチン [lib/element/element.f90] elementInfo :: getGlobalDeriv()
- ・サブルーチン [lib/m_common_struct.f90] m_common_struct::set_localcoordsys()
- ・サブルーチン [lib/physics/calMatMatrix.f90] m_MatMatrix :: MatlMatrix ()
- ・サブルーチン [lib/utilities/utilities.f90] m_utilities :: transformation()
- ・関数 [lib/element/element.f90] elementInfo :: getWeight ()

[lib/static_LIB_3dC3D8.f90] m_static_LIB_3dC3D8::UpdateST_C3D8Bbar()の内容

サブルーチン名: **UpdateST_C3D8Bbar()**

3次元六面体8節点要素 (B-bar要素) の場合, 応力を計算するサブルーチン

引数

- ・整数型 etype
要素タイプ
- ・整数型 nn
各要素の節点数 (nn=8)
- ・実数型 xx(nn), yy(nn), zz(nn)
各要素の節点座標
- ・実数型 tt(nn)
温度
- ・実数型 t0(nn)
初期温度
- ・実数型 edisp(3*nn)
変位
- ・構造体(tGaussStatus) gausses(:)
Gaussの積分点に関連するデータ
- ・実数型 coords(3,3)
材料の局所座標系を定義するのに必要な変数

上位

- ・サブルーチン [analysis/static/fstr_Update.f90] m_fstr_Update :: fstr_Update3D()

下位

- ・サブルーチン [lib/utilities/ttable.f90] Table_DICTS :: fetch_TableData()
- ・サブルーチン [lib/element/element.f90] elementInfo :: getGlobalDeriv()
- ・サブルーチン [lib/element/element.f90] elementInfo :: getShapeFunc()
- ・サブルーチン [lib/element/element.f90] elementInfo :: getQuadPoint()
- ・サブルーチン [lib/m_common_struct.f90] m_common_struct::set_localcoordsys()
- ・サブルーチン [lib/physics/calMatMatrix.f90] m_MatMatrix :: MatlMatrix()
- ・サブルーチン [lib/utilities/utilities.f90] m_utilities :: transformation()