

FrontISTRによる接触解析の理論 とプログラムの解説 (ver 4.4)

先端力学シミュレーション研究所
殷 峻

2015年9月28日
第21回FrontISTR研究会

内容

- ▶ FrontISTR接触機能の概要
- ▶ 接触の定式化
- ▶ 接触プログラムの解説
- ▶ FrontISTR並列接触機能の概要
- ▶ 並列接触プログラムの解説
- ▶ 解析例

2015.2.17の公開版FrontISTR ver 4.4

FrontISTR接触機能の概要(1/4)

- ▶ 接触解析の目的
 - 貫通量 g_n は0時の接触力 f_c を求めるく

▶ 幾何学的制約条件の導入方法

★ Lagrange未定乗数法

$$\lambda: \lambda g_n = 0 \quad (\lambda = f_n)$$

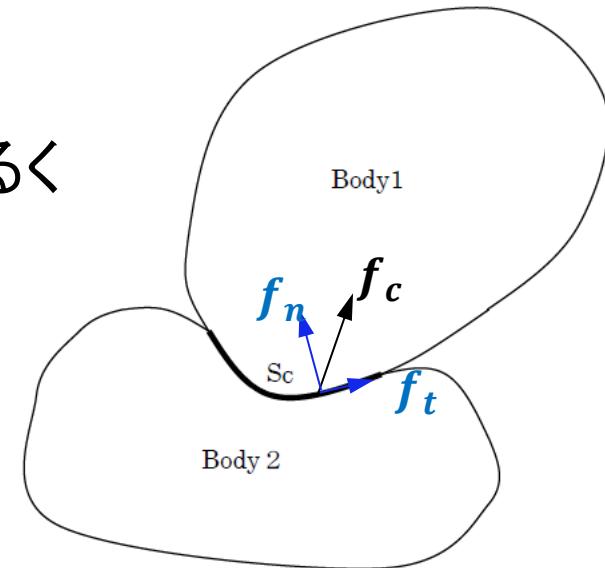
- Penalty法

$$\mu: f_n = \mu g_n$$

- 拡張Lagrange法

$$\lambda^{i+1} = \lambda^i + \mu g_n^{i+1}$$

$$(f_n = \lambda^{i+1}, g_n^{i+1} \rightarrow 0)$$



接触のKuhn-Tucker条件

$$g_n \geq 0 \quad \rightarrow \text{貫通量は0}$$

$$f_n \leq 0 \quad \rightarrow \text{接触力は圧縮}$$

$$f_n g_n = 0$$

FrontISTR接触機能の概要(2/4)

▶ 接触体間貫通の離散化方法

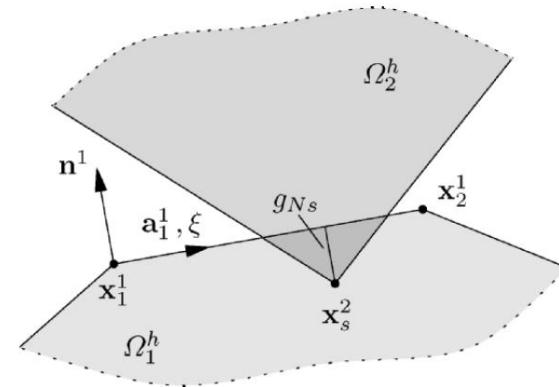
★ Node-To-Surface法

既存メッシュ

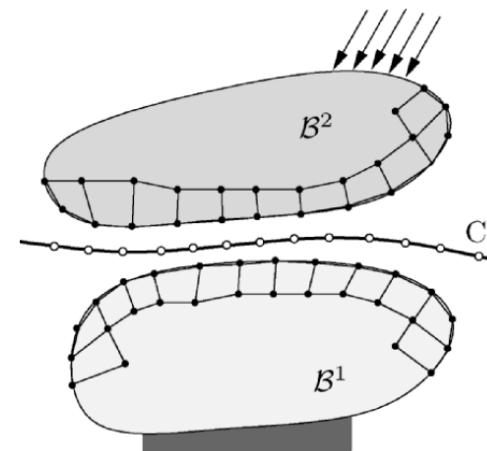
スレーブ点・マスター面

- Mortar法

接触面の間に中間層は必要



Node-To-Surface法*



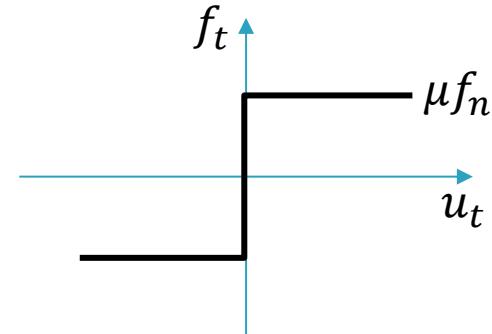
Mortar法*

FrontISTR接触機能の概要(3/4)

▶ 摩擦モデル

◦ Coulomb摩擦則

固着状態: 制約条件 $f_t u_t = 0$



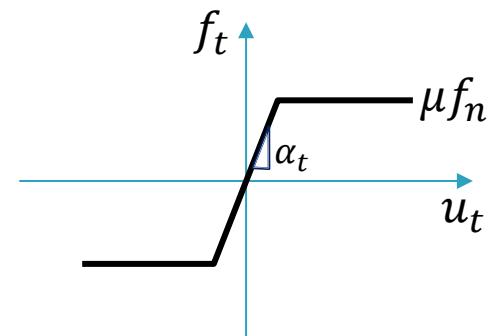
Coulomb摩擦則

★ 正規化Coulomb摩擦則(弾塑性)

滑り分解: $u_t = u_t^e + u_t^p$

固着状態: $f_t = \alpha_t u_t^e$ ($f_t \leq \mu f_n$)

滑り状態: $f_t = \mu f_n$



正規化のCoulomb摩擦則

FrontISTR接触機能の概要(4/4)

▶ 接触解析用 行列線形ソルバ

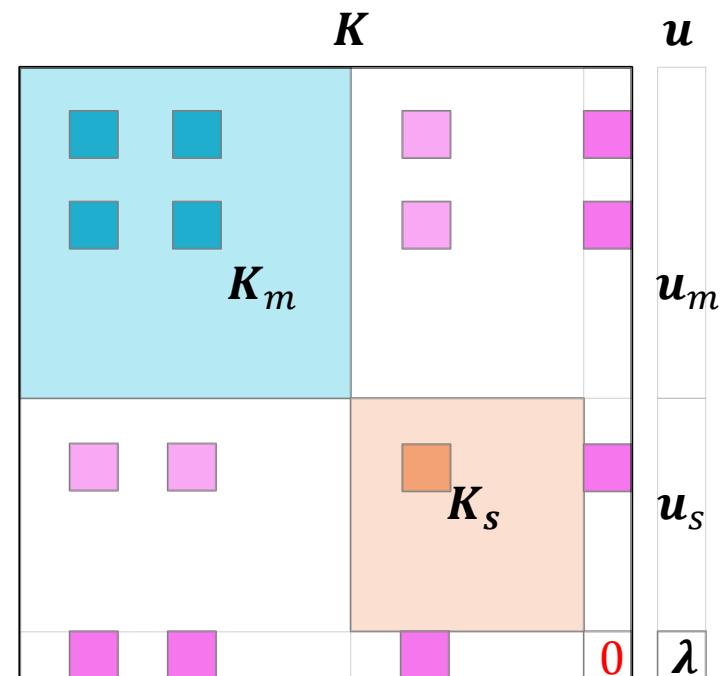
- 直接法ソルバ

- Intel MKL Pardiso

- MUMPS 並列接触への対応

- 反復法ソルバ

- 陽的自由度消去前処理付き



Lagrange乗数法により
対角成分は0が存在

接触定式化(1/9)

仮想仕事原理式

$$\sum_{i=1}^N \left[\int_V \rho \ddot{\mathbf{u}} \cdot \delta \mathbf{u} dV + \int_V \boldsymbol{\sigma} : \delta \boldsymbol{\varepsilon} dV \right] \\ = \sum_{i=1}^N \left[\int_V \mathbf{f}_b \cdot \delta \mathbf{u} dV + \int_S \mathbf{f}_s \cdot \delta \mathbf{u} dS \right]$$

連續体の貢献

N : 連続体数
 M : 接触ペア数

$$+ \sum_{i=1}^M \left[\int_{S_c} \mathbf{f}_c \cdot \delta \mathbf{u} dS \right]$$

接触の貢献

接触拘束条件(Lagrange乗数法 λ)

$$\sum_{i=1}^M \left[\int_{S_c} \delta \lambda g_n dS \right] = 0 \quad \lambda \text{は法線接触力}$$

接触定式化(2/9)

▶ 接触部分の仮想仕事及び接触拘束条件

$$\left\{ \begin{array}{l} G_c(\mathbf{u}, \delta\mathbf{u}, \lambda) = \sum_{i=1}^M \left[\int_{S_c} \mathbf{f}_c \cdot \delta\mathbf{u} dS \right] \\ \sum_{i=1}^M \left[\int_{S_c} \delta\lambda g_n dS \right] = 0 \end{array} \right. \quad \begin{array}{lll} \text{接触力} & \text{法線} & \text{摩擦} \\ \mathbf{f}_c & = \mathbf{f}_n + \mathbf{f}_t \\ & = \lambda \mathbf{n} + f_t \mathbf{t} \end{array}$$

▶ 変分式

$$d[G_c(\mathbf{u}, \delta\mathbf{u}, \mathbf{f}_c)] = \sum_{i=1}^M \left[\int_{S_c} (d\mathbf{f}_n + d\mathbf{f}_t) \cdot \delta\mathbf{u} dS + (\mathbf{f}_n + \mathbf{f}_t) \cdot d\delta\mathbf{u} dS \right]$$

$$d\mathbf{f}_n = d\lambda \mathbf{n} + \lambda d\mathbf{n} \quad d\mathbf{f}_t = df_t \mathbf{t} + f_t dt \quad d\delta\mathbf{u} = \delta\mathbf{u}_{,\xi} d\xi + \delta\mathbf{u}_{,\eta} d\eta$$

$$d \sum_{i=1}^M \left[\int_{S_c} \delta\lambda g_n dS \right] = \sum_{i=1}^M \left[\int_{S_c} \delta\lambda dg_n dS \right] = \sum_{i=1}^M \left[\int_{S_c} \delta\lambda d\mathbf{u} \cdot \mathbf{n} dS \right]$$

$$dg_n = d(x_1 - x_2) \cdot \mathbf{n} + (x_1 - x_2) \cdot d\mathbf{n} = d\mathbf{u} \cdot \mathbf{n}$$

接触定式化(3/9)

- 仮定条件で簡易化した接触仮想仕事の変分

仮定条件: 収束計算の際

(1) 法線方向不变 $d\mathbf{n} = \mathbf{0}$

(2) 接触点位置不变 $d\delta\mathbf{u} = \mathbf{0}$

$$d\mathbf{f}_n = d\lambda\mathbf{n} + \lambda d\mathbf{n} \quad d\mathbf{f}_t = df_t\mathbf{t} + f_t dt \quad d\delta\mathbf{u} = \delta\mathbf{u}_{,\xi} d\xi + \delta\mathbf{u}_{,\eta} d\eta$$

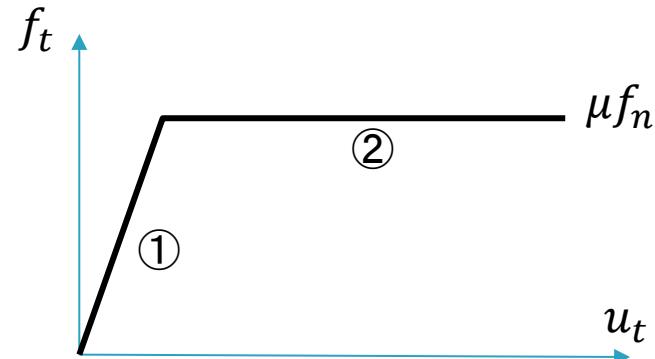
$$\left\{ \begin{array}{l} dG_c(\mathbf{u}, \delta\mathbf{u}, \lambda) = \sum_{i=1}^M \left[\int_{S_c} (d\lambda\mathbf{n} + df_t\mathbf{t} + f_t dt) \cdot \delta\mathbf{u} dS \right] \\ \quad \sum_{i=1}^M \left[\int_{S_c} \delta\lambda d\mathbf{u} \cdot \mathbf{n} dS \right] = 0 \end{array} \right.$$

接触定式化(4/9)

▶ 摩擦状態

①固着状態 $\Delta f_t^{stick} = -\alpha_t \Delta u_t$

②滑り状態 $f_t^{slide} = \mu f_n t$



▶ 摩擦力の計算 (増分ステップn)

(1)予想摩擦力

$$f_{t n+1}^{trial} = f_{t n} + \Delta f_t^{stick}$$

$$\mathbf{t}^{trial} = \frac{\mathbf{f}_{t n+1}^{trial}}{\|\mathbf{f}_{t n+1}^{trial}\|}$$

(2)摩擦状態のチェック

$$\Phi^{trial} = |f_{t n+1}^{trial}| - \mu f_n$$

(3)摩擦力の更新

$$\begin{aligned} \Phi^{trial} < 0 &\rightarrow \text{固着} \\ \mathbf{f}_{t n+1} &= \mathbf{f}_{t n+1}^{trial} \end{aligned}$$

$$\Phi^{trial} \geq 0 \rightarrow \text{滑り}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{f}_{t n+1} &= \mu f_n \mathbf{t}^{trial} \\ &= \mu \lambda \mathbf{t}^{trial} \end{aligned}$$

接触定式化(5/9)

▶ 摩擦部分の変分式

①固着状態

$$\sum_{i=1}^M \left[\int_{S_c} d\mathbf{f}_{t n+1}^{trial} \cdot \delta \mathbf{u} dS \right] = \sum_{i=1}^M \left[\int_{S_c} d\Delta \mathbf{f}_t^{stick} \cdot \delta \mathbf{u} dS \right]$$

$$d\Delta \mathbf{f}_t^{stick} = -\alpha_t d\Delta \mathbf{u}_t = -\alpha_t d[(\mathbf{I} - \mathbf{n} \otimes \mathbf{n}) \mathbf{u}] = -\alpha_t (\mathbf{I} - \mathbf{n} \otimes \mathbf{n}) d\mathbf{u}$$

②滑り状態

$$\sum_{i=1}^M \left[\int_{S_c} d(\mu \lambda \mathbf{t}^{trial}) \cdot \delta \mathbf{u} dS \right]$$

$$d(\mu \lambda \mathbf{t}^{trial}) = \mu (d\lambda \mathbf{t}^{trial} + \lambda d\mathbf{t}^{trial}) \quad d\Delta \dot{\mathbf{f}}_t^{stick}$$

$$d\mathbf{t}^{trial} = (\mathbf{I} - \mathbf{t}^{trial} \otimes \mathbf{t}^{trial}) \frac{d\mathbf{f}_{t n+1}^{trial}}{\|\mathbf{f}_{t n+1}^{trial}\|} = (\mathbf{I} - \mathbf{t}^{trial} \otimes \mathbf{t}^{trial}) \frac{-\alpha_t (\mathbf{I} - \mathbf{n} \otimes \mathbf{n}) d\mathbf{u}}{\|\mathbf{f}_{t n+1}^{trial}\|}$$

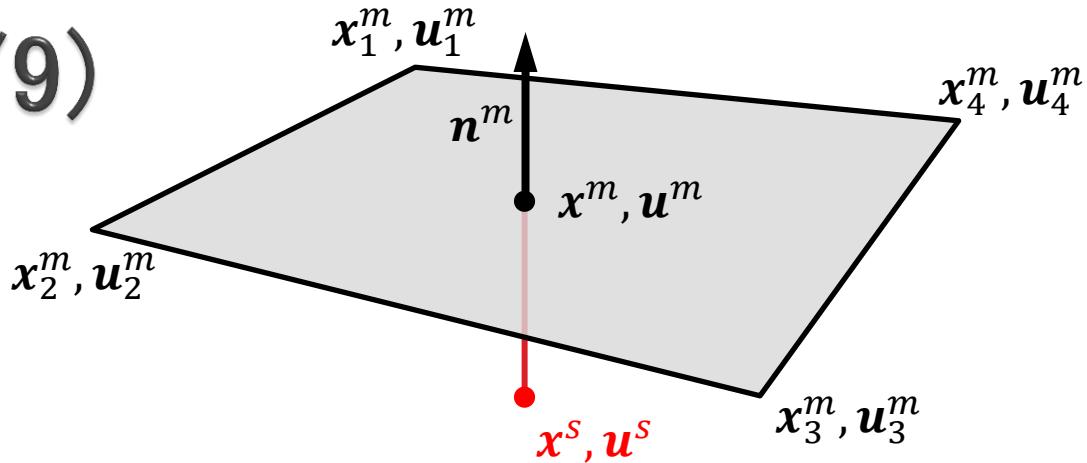
$$= -\frac{\alpha_t}{\|\mathbf{f}_{t n+1}^{trial}\|} (\mathbf{I} - \mathbf{t}^{trial} \otimes \mathbf{t}^{trial})(\mathbf{I} - \mathbf{n} \otimes \mathbf{n}) d\mathbf{u}$$

接触定式化(6/9)

有限要素離散化 法線方向の貫通量

$$\begin{aligned} g_n &= (\mathbf{x}^s - \mathbf{x}^m) \cdot \mathbf{n}^m \\ &= \mathbf{n}^{mT} [I \quad -IN_1 \quad \dots \quad -IN_4] \mathbf{x}_{node} \\ &= \mathbf{n}^{mT} \mathbf{M} \mathbf{x}_{node} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dg_n &= d(\mathbf{x}^s - \mathbf{x}^m) \cdot \mathbf{n}^m \\ &= d(\mathbf{u}^s - \mathbf{u}^m) \cdot \mathbf{n}^m \\ &= \mathbf{n}^{mT} [I \quad -IN_1 \quad \dots \quad -IN_4] d\mathbf{u}_{node} \\ &= \mathbf{n}^{mT} \mathbf{M} d\mathbf{u}_{node} \end{aligned}$$



$$\mathbf{x}_{node} = \{\mathbf{x}_x^s, \mathbf{x}_y^s, \mathbf{x}_z^s, \quad x_{1x}^m, x_{1y}^m, x_{1z}^m, \quad \dots \quad x_{4x}^m, x_{4y}^m, x_{4z}^m\}^T$$

$$\begin{aligned} d\mathbf{u}_{node} &= \{du_x^s, du_y^s, du_z^s, \quad du_{1x}^m, du_{1y}^m, du_{1z}^m, \quad \dots \quad du_{4x}^m, du_{4y}^m, du_{4z}^m\}^T \end{aligned}$$

接線(摩擦)方向の相対すべり

$$\begin{aligned} \Delta \mathbf{u}_t &= (\mathbf{I} - \mathbf{n} \otimes \mathbf{n}) \mathbf{u} \\ &= (\mathbf{I} - \mathbf{n} \otimes \mathbf{n}) [\mathbf{I} \quad -IN_1 \quad \dots \quad -IN_4] \mathbf{u}_{node} \\ &= (\mathbf{I} - \mathbf{n} \otimes \mathbf{n}) \mathbf{M} \mathbf{u}_{node} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d\Delta \mathbf{u}_t &= (\mathbf{I} - \mathbf{n} \otimes \mathbf{n}) d\mathbf{u} \\ &= (\mathbf{I} - \mathbf{n} \otimes \mathbf{n}) [\mathbf{I} \quad -IN_1 \quad \dots \quad -IN_4] d\mathbf{u}_{node} \\ &= (\mathbf{I} - \mathbf{n} \otimes \mathbf{n}) \mathbf{M} d\mathbf{u}_{node} \end{aligned}$$

接触定式化(7/9)

▶ 有限要素離散化: 接触剛性

1. 摩擦無し(対称)

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^M \left[\int_{S_c} d\lambda \mathbf{n} \cdot \delta \mathbf{u} dS \right] \\ \sum_{i=1}^M \left[\int_{S_c} \delta \lambda d\mathbf{u} \cdot \mathbf{n} dS \right] \end{array} \right.$$

↓

$$K_n \begin{Bmatrix} \Delta \mathbf{u} \\ \Delta \lambda \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & M^T \mathbf{n} \\ \mathbf{n}^T M & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta \mathbf{u} \\ \Delta \lambda \end{Bmatrix}$$

接触定式化(8/9)

▶ 有限要素離散化：接触剛性

2. 固着摩擦(対称)

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^M \left[\int_{S_c} d\lambda \mathbf{n} \cdot \delta \mathbf{u} dS + \boxed{d\mathbf{f}_{stick} \cdot \delta \mathbf{u} dS} \right] \\ \sum_{i=1}^M \left[\int_{S_c} \delta \lambda d\mathbf{u} \cdot \mathbf{n} dS \right] \end{array} \right.$$
$$K_{stick} \begin{Bmatrix} \Delta \mathbf{u} \\ \Delta \lambda \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} -\alpha_t \mathbf{M}^T (\mathbf{I} - \mathbf{n} \otimes \mathbf{n}) \mathbf{M} & \mathbf{M}^T \mathbf{n} \\ \mathbf{n}^T \mathbf{M} & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta \mathbf{u} \\ \Delta \lambda \end{Bmatrix}$$

接触定式化(9/9)

▶ 有限要素離散化: 接触剛性

3. 滑り摩擦(非対称)

$$K_{slide} = \left[\begin{array}{ccc} \sum_{i=1}^M \left[\int_{S_c} d\lambda \mathbf{n} \cdot \delta \mathbf{u} dS + (\mu \lambda d\mathbf{t}^{trial} \cdot \delta \mathbf{u} dS + d\lambda \mu \mathbf{t}^{trial} \cdot \delta \mathbf{u} dS) \right] & & \\ & \sum_{i=1}^M \left[\int_{S_c} \delta \lambda d\mathbf{u} \cdot \mathbf{n} dS \right] & \\ -\mu \lambda \frac{\alpha_t}{\|f_{t n+1}^{trial}\|} \mathbf{M}^T (\mathbf{I} - \mathbf{t}^{trial} \otimes \mathbf{t}^{trial}) (\mathbf{I} - \mathbf{n} \otimes \mathbf{n}) \mathbf{M} & \mathbf{M}^T \mu \mathbf{t}^{trial} + \mathbf{M}^T \mathbf{n} & 0 \\ \mathbf{n}^T \mathbf{M} & & \end{array} \right]$$

接触プログラム解説(1/7)

▶ ソースコードの構成

1. 静的接触解析の流れ

```
[main/fistr_main.f90] fstr_main  
call fstr_nonlinear_static_analysis
```

```
[main/fistr_main.f90] fstr_nonlinear_static_analysis  
call fstr_solve_NLGEOM
```

```
[analysis%static%fstr_solve_NLGEOM.f90] FSTR_SOLVE_NLGEOM  
call fstr_Newton_contactSLag
```

2. 動的接触解析の流れ

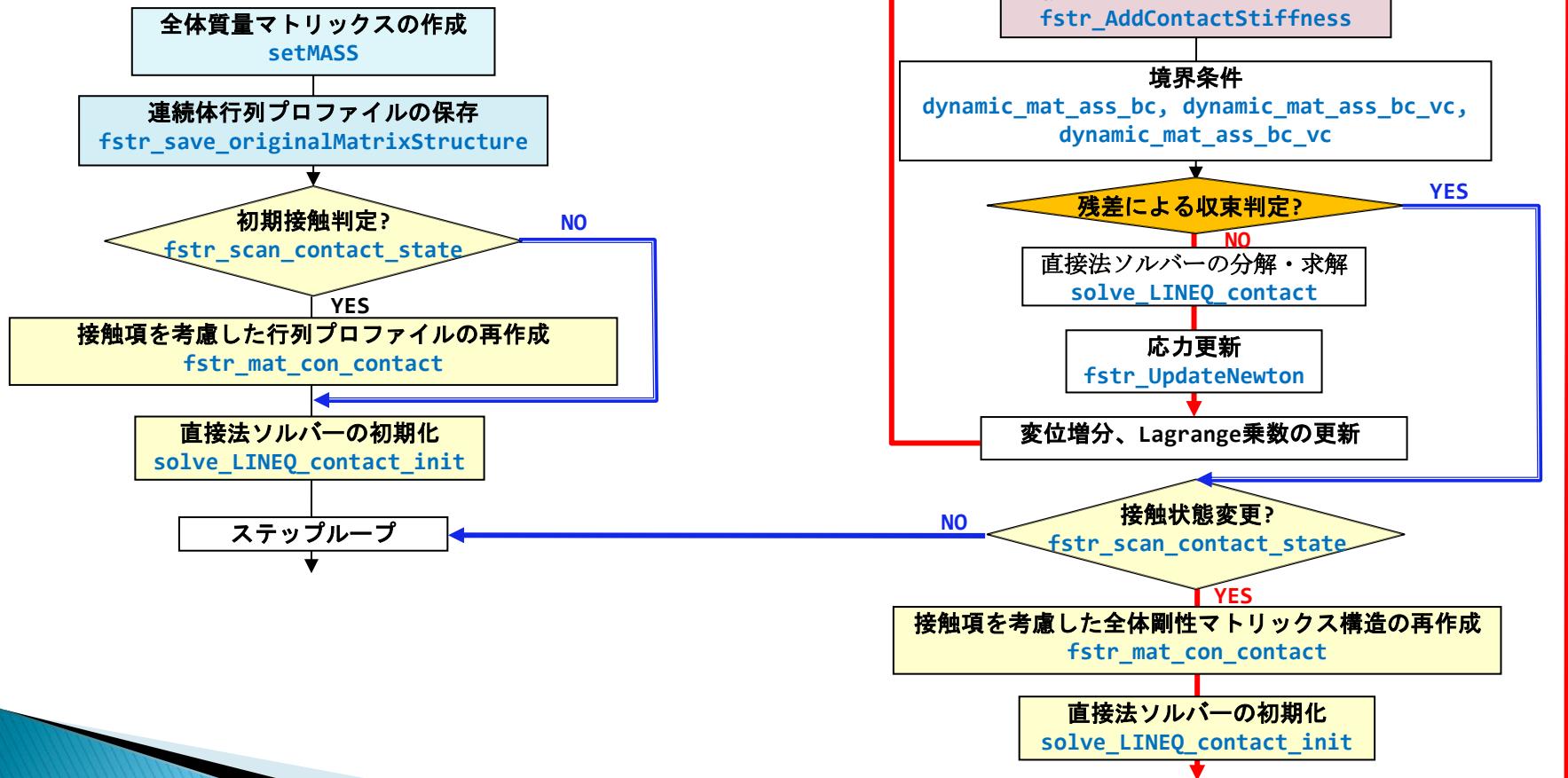
```
[main/fistr_main.f90] fstr_main  
call fstr_linear_dynamic_analysis
```

```
[main/fistr_main.f90] fstr_linear_dynamic_analysis  
call fstr_solve_dynamic
```

```
[%analysis%dynamic%transit%fstr_dynamic_nlimplicit.f90] fstr_solve_DYNAMIC  
call fstr_solve_dynamic_nlimplicit_contactSLag
```

接触プログラム解説(2/2)

▶ フローチャート(動的接触場合)



接触プログラム解説(3/7)

▶ 連続体行列プロファイルの保存

ソース:

```
[${src}/analysis/static/fstr_mat_con_contact.f90]  
fstr_matrix_con_contact :: fstr_save_originalMatrixStructure
```

機能:

不变な連続体要素の行列プロファイルを保存する(1回のみ実施)

hecMAT%indexL, hecMAT%indexU, hecMAT%itemL, hecMAT%itemU

→

list_nodeRelated_org(:)

接触プログラム解説(4/7)

▶ 接触判定

ソース:

```
[${src}${common}fstr_contact.f90]  
mContact :: fstr_scan_contact_state  
[${src}${lib}contactfstr_contact_def.f90]  
mContactDef :: scan_contact_state
```

機能:

非接触の場合:

接触ペアのスレーブ節点は逐次にマスター面に貫通しているかをチェックする
マスター面は1次四辺形要素のみ対応

既に接触している場合:

接触状態・接触位置が変化しているかをチェックする

接触プログラム解説(5/7)

▶ 接触項を考慮した行列プロファイルの再作成

ソース:

```
[${src}/analysis/static/fstr_mat_con_contact.f90]  
mContact :: fstr_matrix_con_contact :: fstr_mat_con_contact
```

機能:

接触状態が変わる時、行列プロファイルを再作成する。

連続体要素の行列プロファイルlist_nodeRelated_org(:)

+

接触状態情報 infoCTChange

→

hecMAT%indexL, hecMAT%indexU, hecMAT%itemL, hecMAT%itemU

接触プログラム解説(6/7)

▶ 接触力による有効節点力の計算

ソース:

```
[${src}analysis${static}fstr_AddContactStiff.f90]
  m_addContactStiffness :: fstr_Update_NDForce_contact
[${src}analysis${static}fstr_AddContactStiff.f90]
  m_addContactStiffness :: getContactNodalForce
[${src}analysis${static}fstr_AddContactStiff.f90]
  m_addContactStiffness :: update_NDForce_contact
```

機能:

接触点の接触力(法線・摩擦)からスレーブ節点とマスター面節点の節点力への変換、
と右辺ベクトルへの足し込み

fstrSOLID%contacts(:)%states

→

hecMAT%B(:) 又は conMAT%B(:)

接触プログラム解説(7/7)

▶ 接触剛性マトリックスの作成

ソース:

```
[%src%analysis%static%fstr_AddContactStiff.f90]
  m_addContactStiffness :: fstr_AddContactStiffness
[%src%analysis%static%fstr_AddContactStiff.f90]
  m_addContactStiffness :: getContactStiffness
[%src%analysis%static%fstr_AddContactStiff.f90]
  m_addContactStiffness :: fstr_mat_ass_contact
```

機能:

接触しているペアの接触剛性の計算と全体剛性マトリクスへの足し込み、

接触状態によって 摩擦無し、摩擦有り固着、摩擦有り滑り 3ケースの接触剛性の作成

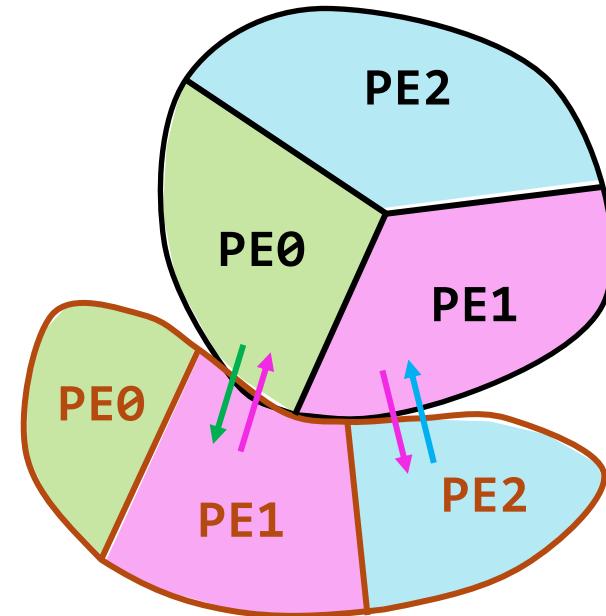
fstrSOLID%contacts(:) → stiffness(:,:,)

→

hecMAT%D(:), hecMAT%AL(:), hecMAT%AU(:)

FrontISTR並列接触機能の概要(1/5)

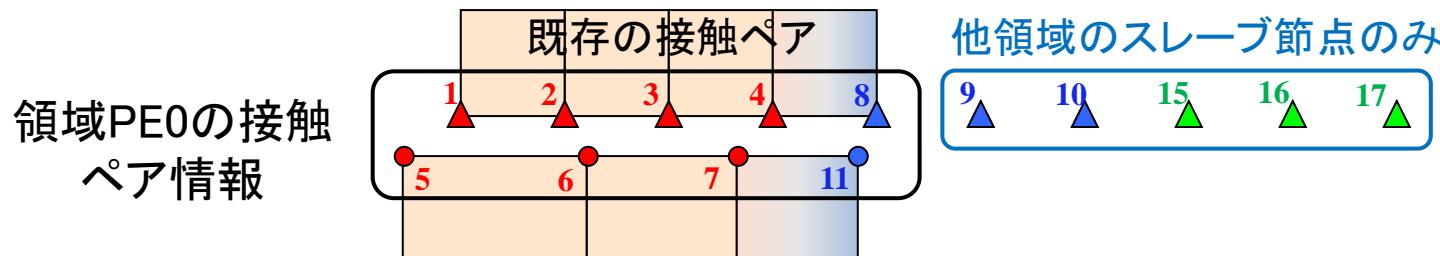
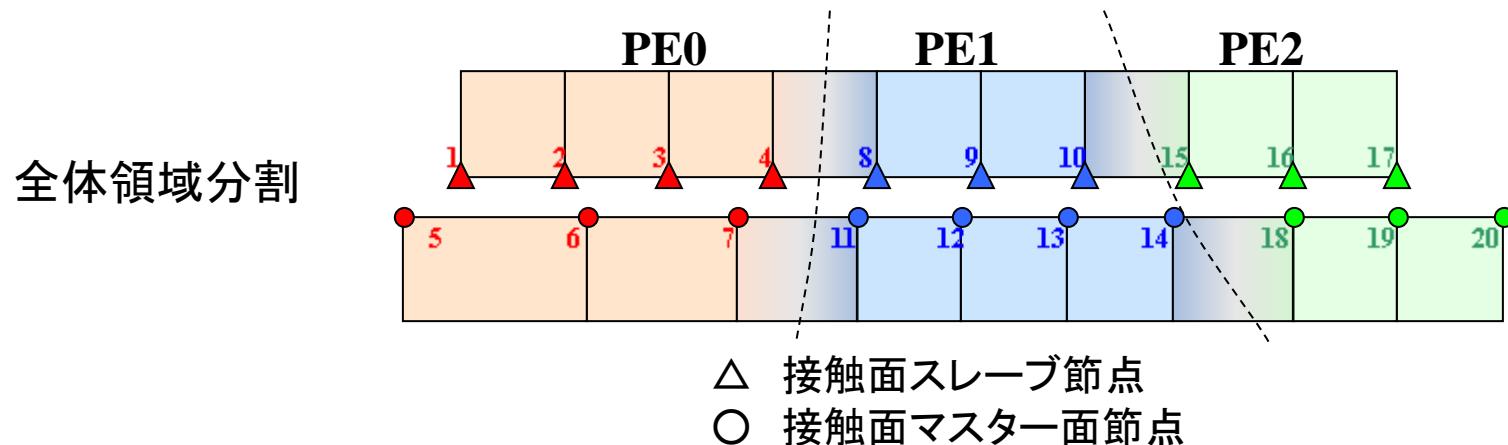
- ▶ 分散並列接触解析の課題
 - * 領域分割
解析途中に変えたくない
 - * 領域間の接触探索
出来るだけ避けたい
 - * 接触処理のロードバランス
均等にしたい



接触ペア情報はどのように領域を持たせるのか？

FrontISTR並列接触機能の概要(2/5)

▶ 領域の接触ペア情報の持ち方: スレーブ節点



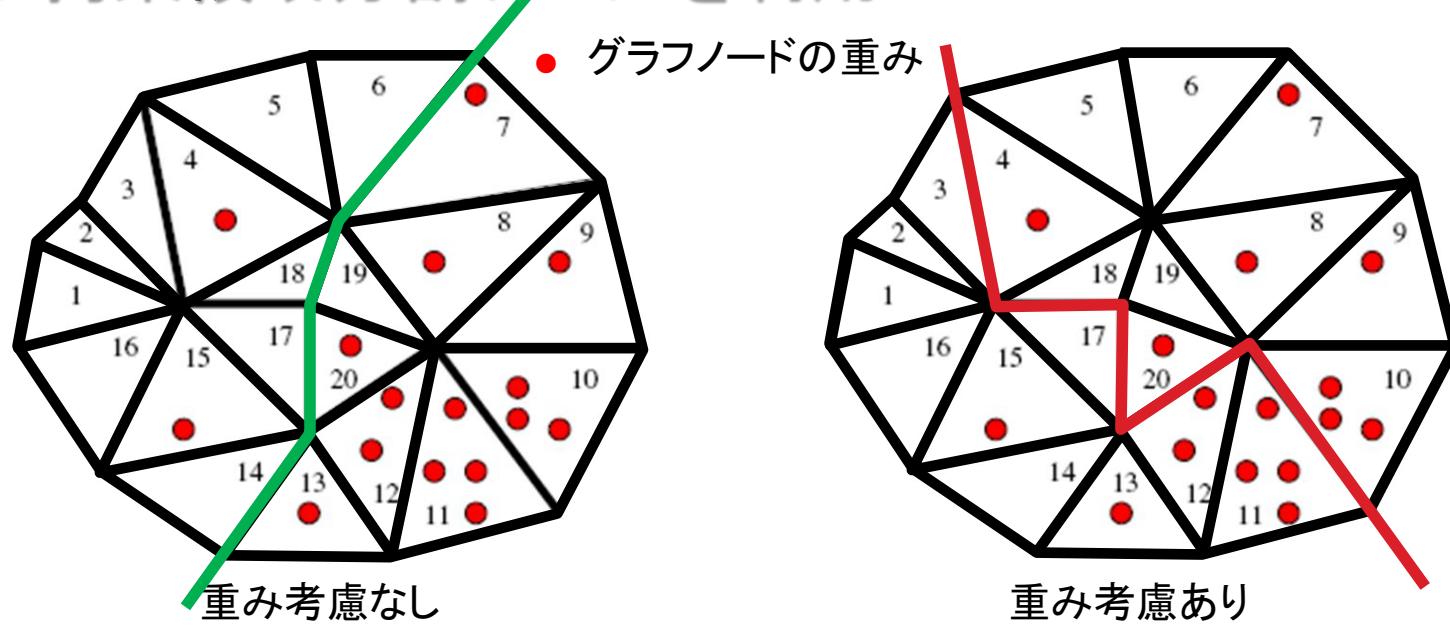
接触ペアのスレーブ節点をすべての領域に持たせる

FrontISTR並列接触機能の概要(3/5)

▶ 領域の接触ペア情報の持ち方: マスター面

均等的に各領域に分布するには、

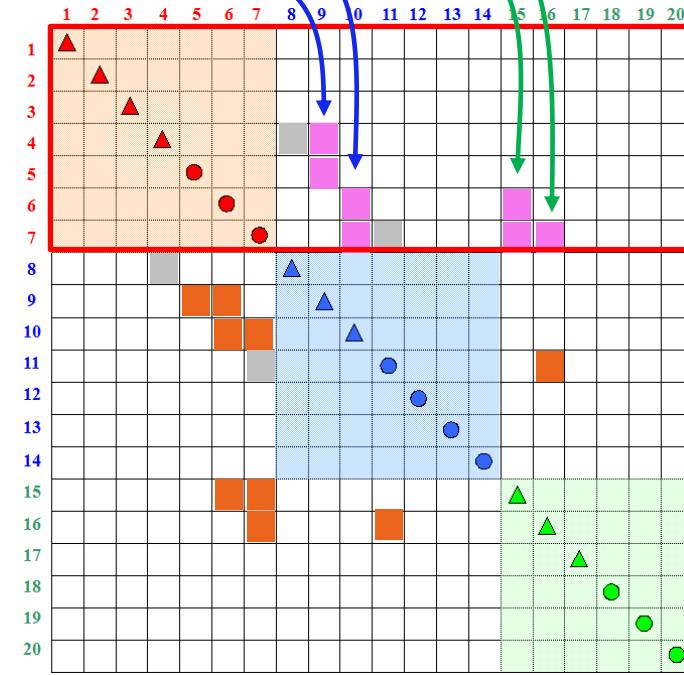
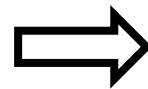
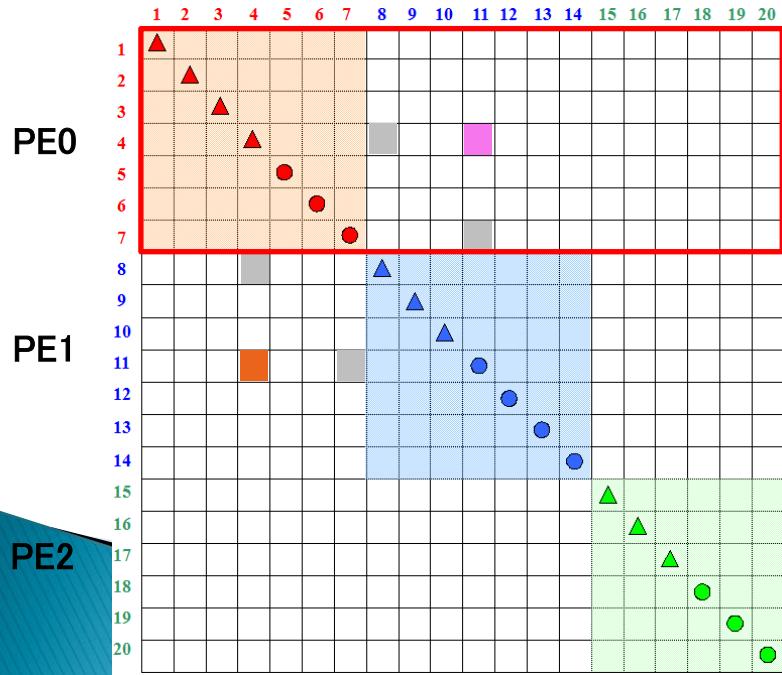
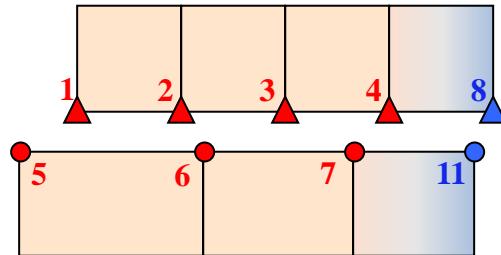
多拘束領域分割ツールを利用



接触ペアのマスター面節点に重みをつけて領域分割する
(Metis 4.0.3利用)

FrontISTR並列接触機能の概要(4/5)

- ▶ 領域毎の接触判定及び接触剛性の作成



FrontISTR並列接触機能の概要(5/5)

- ▶ 行列マトリクスへの足し込み
 - * 行列格納方法 CRS → COO
 - * COOに対応する行列ソルバMUMPSを利用
- ▶ まとめ
 - * 内部パーティションナで全体→局所メッシュの作成
 - * 局所メッシュに付加接触ペアの情報の追加
 - * 他領域の接触項を格納する構造体の追加
 - * 行列格納式COO + MUMPSソルバ

並列接触プログラムの解説(1/3)

▶ インストール方法

```
$ ./setup.sh -p --with-paracon --with-mumps --with-parmetis
```

▶ ソースコードの構成1(領域分割・局所メッシュ)

[main/fistr_main_contact.f90] **fstr_main**

call paraContact_DomainPartition

→ 領域分割

[lib/lib_fistr_para_contact.f90] **paraContact_DomainPartition**

call Mak_MeshToNodal

→ 全体メッシュグラフの作成

call paraContact_MarkMasterNode

→ マスター面節点に重み付き

function METIS_mCPartGraphRecursive

→ pmetisを呼び出す(np <8)

function METIS_mCPartGraphKway

→ kmetisを呼び出す(np >=8)

call paraContact_GetLocalMesh_all_new

→ 局所メッシュの作成

call paraContact_CreateExportImport

→ 通信テーブルの作成

静的非線形

[main/fistr_main.f90] **fstr_nonlinear_static_analysis**

call fstr_solve_NLGEOM

動的非線形

[main/fistr_main.f90] **fstr_linear_dynamic_analysis**

call fstr_solve_dynamic

並列接触プログラムの解説(2/3)

▶ ソースコードの構成2(ソルバ初期化・行列格納式)

```
[src¥analysis¥static¥solve_LINEQ_contact.f90] solve_LINEQ_contact_init  
call solve_LINEQ_mumps_contact_init → MUMPSソルバの初期化
```

```
[src¥analysis¥static¥solve_LINEQ_MUMPS_contact.f90] solve_LINEQ_MUMPS_contact_init  
call sparse_matrix_contact_init_prof → 全体メッシュグラフの作成
```

```
[src¥analysis¥static¥sparse_matrix_contact.f90] sparse_matrix_contact_init_prof  
call sparse_matrix_para_contact_set_prof → COO格納式、他領域項も作成
```

▶ ソースコードの構成3(マトリクス足し込み)

```
[src¥analysis¥static¥solve_LINEQ_contact.f90] solve_LINEQ_mumps_contact  
call solve_LINEQ_contact → ソルバの分解・求解
```

```
[src¥analysis¥static¥solve_LINEQ_MUMPS_contact.f90] solve_LINEQ_contact  
call solve_LINEQ_mumps_contact → MUMPSソルバの分解・求解
```

```
[src¥analysis¥static¥solve_LINEQ_MUMPS_contact.f90] solve_LINEQ_MUMPS_contact  
call sparse_matrix_para_contact_set_vals → 左辺マトリクスの足し込み  
call sparse_matrix_para_contact_set_rhs → 右辺ベクトルの足し込み
```

並列接触プログラムの解説(3/3)

▶ ソースコードの構成4(接触項構造体の分離)

hecMAT: 連続体要素に関する行列構造体(他領域なし)

conMAT: 接触に関する行列構造体(他領域あり)

接触行列プロファイルの作成:

```
[src¥analysis¥static¥fstr_mat_con_contact.f90]
subroutine fstr_mat_con_contact(cstep,hecMAT,fstrSOLID,fstrMAT,infoCTChange,conMAT)
```

接触力と接触剛性の作成:

```
[src¥analysis¥static¥fstr_mat_con_contact.f90]
subroutine fstr_Update_NDForce_contact(cstep,hecMESH,hecMAT,fstrMAT,fstrSOLID,conMAT)
subroutine fstr_AddContactStiffness(cstep,iter,hecMAT=conMAT,fstrMAT,fstrSOLID)
```

分散行列ソルバの分解・求解:

```
[src¥analysis¥static¥solve_LINEQ_contact.f90]
subroutine solve_LINEQ_contact(hecMESH,hecMAT,fstrMAT,rf,conMAT)
```

解析例-落下接触解析

- ▶ 公開版チュトリアを利用 → 動的接触

¥tutorial¥14_dynamic_plate_contact

plateToGround.cnt

plateToGround.msh

- ▶ 解析モデル

* 要素数: 8232 六面体要素

* 節点数: 10712

* 解析条件:

板: 弹塑性

地面: 弹性

板は初期速度 -4427.0mm/sec

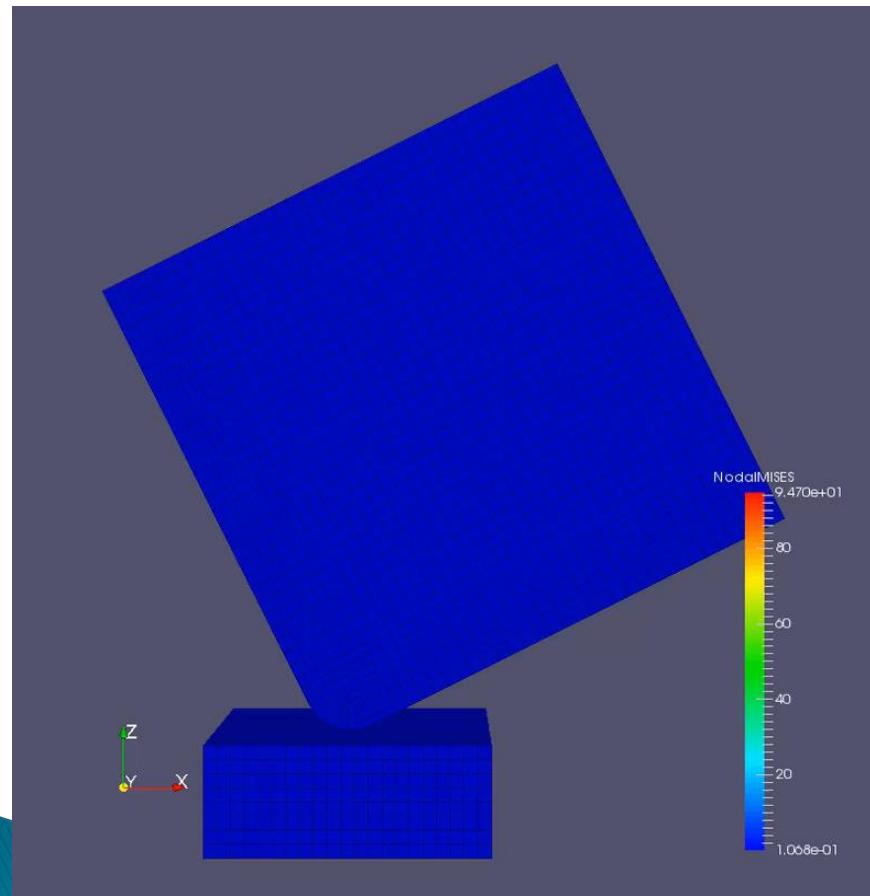
時間刻み 1.e-8sec 200ステップ

摩擦なし

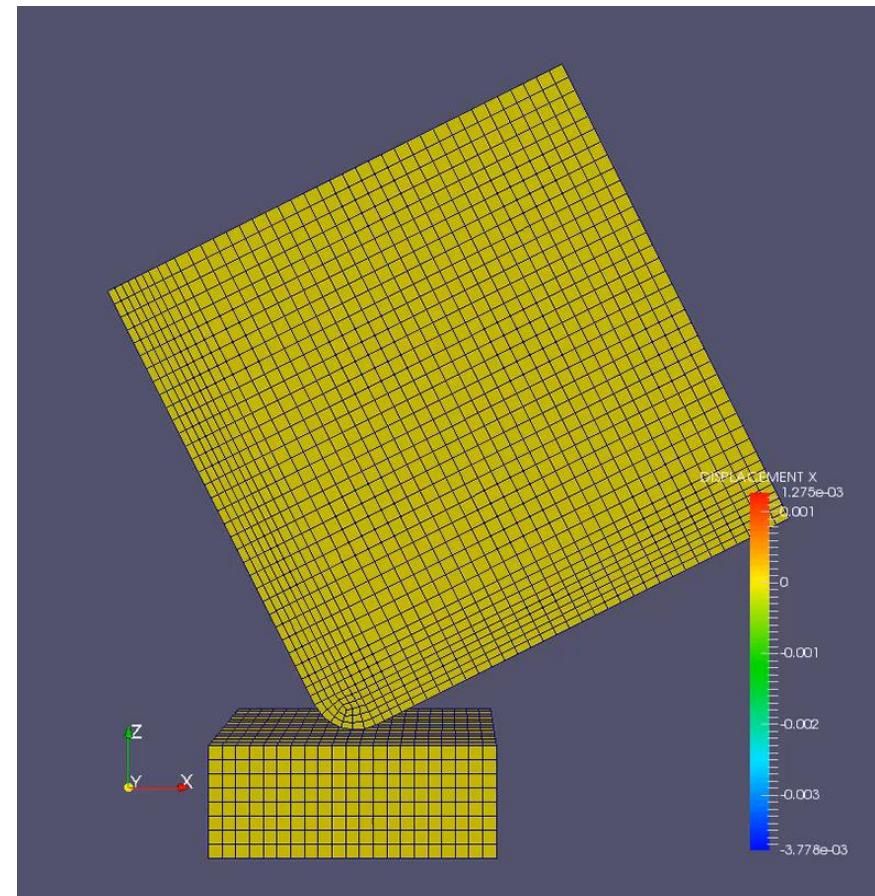
```
!VERSION
3
!WRITE, LOG, FREQUENCY=10
!WRITE, RESULT, FREQUENCY=10
!SOLUTION, TYPE=DYNAMIC
!DYNAMIC, TYPE=NONLINEAR
1, 1
0.0, 1.0, 200, 1.0000e-8
0.65, 0.330625
1, 1, 0.0, 0.0
20, 2621, 1
1, 1, 1, 1, 1, 1
!BOUNDARY, GRPID = 1
bottom, 1, 3, 0.0
!VELOCITY, TYPE = INITIAL
plate, 3, 3, -4427.0
!CONTACT_ALGO, TYPE=SLAGRANGE
!CONTACT, GRPID=1, INTERACTION=FSLID
CP1, 0.0, 1.0e+5
!STEP, CONVERG=1.0e-8, ITMAX=100
BOUNDARY, 1
CONTACT, 1
!MATERIAL, NAME = M1
!ELASTIC
2.0000e+5, 0.3
!PLASTIC
1.0e+8, 0.0
!MATERIAL, NAME = M2
!ELASTIC
1.16992e+5, 0.3
!PLASTIC
70.0, 0.0
!SOLVER, METHOD=MUMPS
!END
```

解析例-落下接触解析

▶ 解析結果



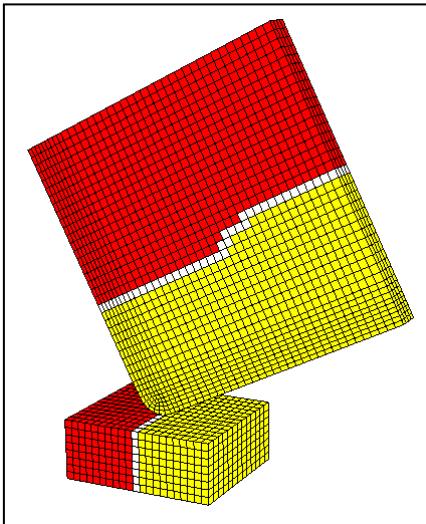
ミス応力の時刻歴



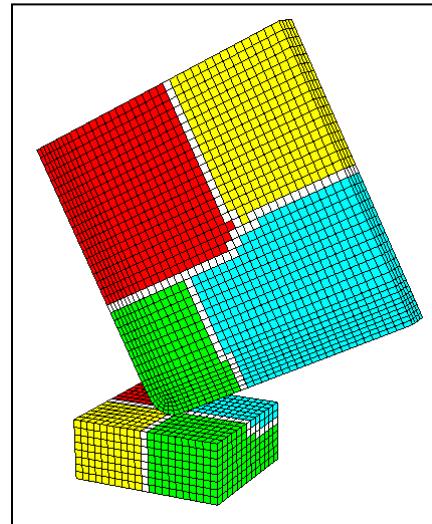
変位X成分の時刻歴

解析例-落下接触解析

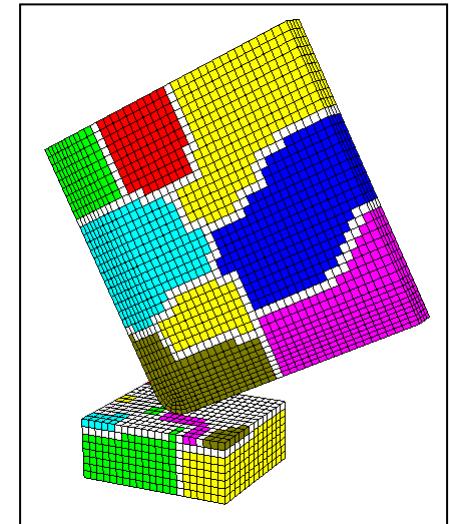
- ▶ 解析結果(並列効果:1,2,4,8並列の解析時間)



2並列



4並列



8並列

	計算時間(秒)	スピードアップ
1cpu	2216.45	1
2cpu	1144.50	1.94
4cpu	783.94	2.83
8cpu	956.05	2.32