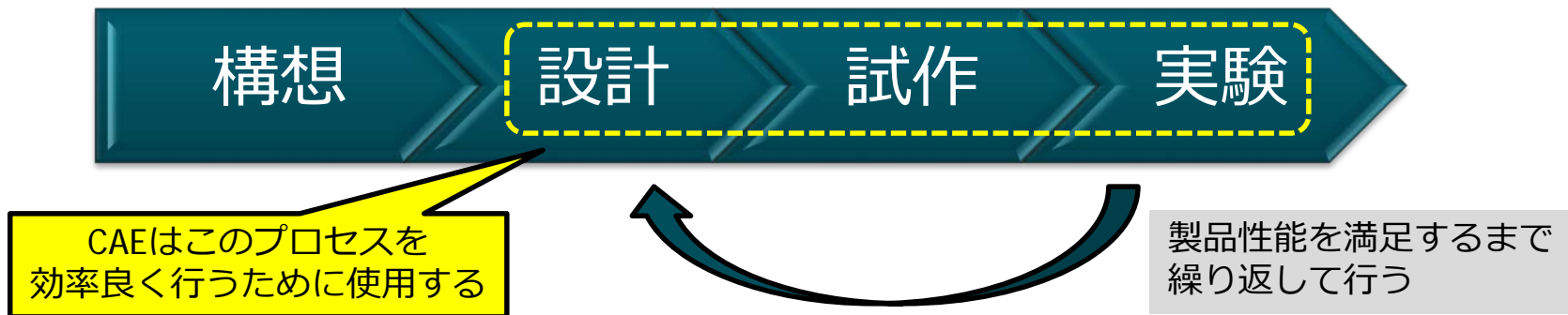


= メカCADを活用した「やさしい」熱流体/熱応力解析セミナー =

最初に抑えておきたいCAEとは

- CAEの概要と活用
- 解析を行う上で抑えておくべきポイント
- 解析の種類と選び方

- 直訳すると、「コンピュータによる支援設計」で、コンピュータ上で疑似的に再現した製品の設計問題を評価（シミュレーション）することを意味する。
- 設計問題とは、荷重（力）や振動による製品の「強度問題」や熱の伝わり易さなどの「熱問題」を指す。
- つまり、CAEとは、「設計した製品を実際に作る前段階において、コンピュータで「シミュレーション」ができる技術」のこと。



CAEを活用するメリット（期待値）

- 試作や実験の回数を減らせる
- 短時間で検討結果が得られる
- 不具合の抽出ができる
- より多くのパターンで検討できる
- 実物では評価できない項目を検討できる
- 製品の品質を向上できる
- 開発コストを削減できる

- 実験

- + ひずみ、変位など実際に発生する物理量が測定できる。
- + 製造上のバラつきを考慮した結果が得られる。
- 現物がないと評価できない。
- 対象となる構造の大きさにより、実験の難易度と測定できる項目が変わってしまう。
- 時間と費用がかかる。

- 理論式

- + 理論に基づくため、厳密解が得られると同時に理屈も理解できる。
- 計算できる形状が単純になってしまう。

- CAE

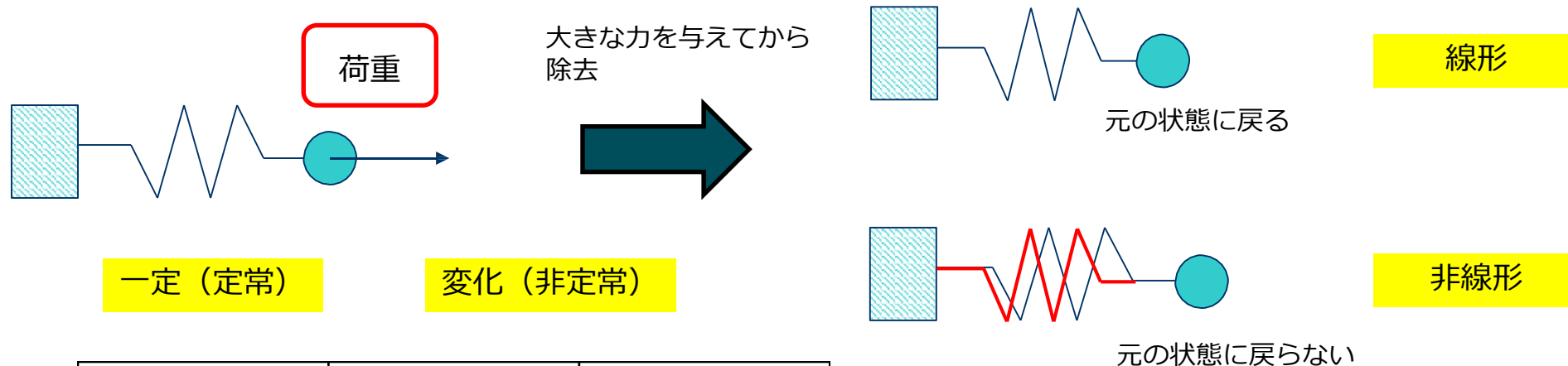
- + 現物が無い状態で計算による構造物の特性を掴むことができる。
- + 形状に対し、材料や境界条件を変更することによる影響を確認できる。
- 正しく活用するためには、ものづくりの経験とノウハウ、データの蓄積が必要。

- 数値シミュレーション（CAE）は一種の実験
 - 物理現象を観測し、フィルタ/写像によって支配方程式へと置き換えてから、連立方程式を解き、得られた結果と観測データを比較する。
 - 表現した物理現象の把握が正しく、パラメータが正確なら信頼あるデータになる
- 解析で実験をなくすことはできない
 - 実験（試験）は現実そのものを写し出す。
 - 解析は、どこまでもバーチャル（思い込み）の世界だが、実験（試験）前の解析は試験の効率化を助け、実験後の解析は予測精度の向上に役立つ。

- 開発のフェーズにおいて、CAEを使用する場面や役割をはっきりとさせる
 - 新しいものを開発する場合、最初（構想設計）は数値を追いかけて、相対的な比較をして傾向を掴んでいく。
 - 複数名でものづくりを行う場合、開発する製品の目的や特性、得られた知見を共有する。

- 構造解析の場合、材料の特性や境界条件の設定などは初期の状態から変更が発生するかを考える事と予想される変形の程度を考える事が重要となる。

例. 応力計算の選定

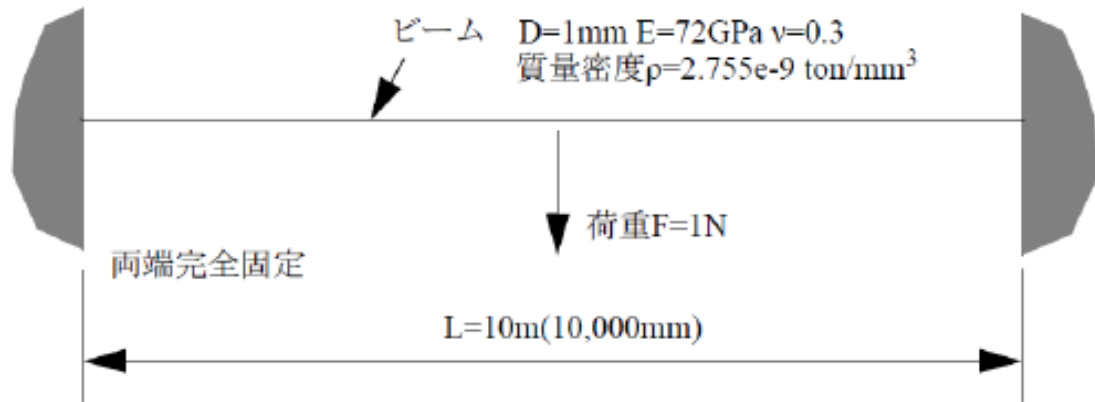


状態	線形	非線形
一定 (定常)	線形静解析	非線形静解析
変化 (非定常)	線形過渡解析	非線形過渡解析

例. ケーブルの応力解析

- 下図のケーブルの変位と応力を解析する場合、線形解析または、非線形解析のどちらが適しているか？

○ケーブル（梁）の形状



○材料（アルミを想定）

材質	ヤング率 $[\text{N/mm}^2]$	ポアソン比 $[-]$	質量密度 $[\text{ton/mm}^3]$
アルミ	72,000	0.3	2,755E-9

※せん断弾性率は、入力を省略し、 $G=E/2(1+\nu)$ とする。

例. ケーブルの応力解析

- 回答
= 線形解析 = × : 非現実的な解

項目	理論値	解析	誤差[%] 理論値/解析
変位[mm]	1,473,700.34	1,473,657	0.003
応力[N/mm ²]	12,732.4	12,732	0.003

- = 非線形解析 = ○ : 現実的

項目	理論値	解析	誤差[%] 理論値/解析
変位[mm]	130.39	130.3	0.069
応力[N/mm ²]	25.71	27.75	7.351

両者とも理論値と解析の結果は良く似た答えになるので、一見、正しそう見えるが見たい現象に対して、解析の選び方を間違えると解析を行うこと自体が無意味となる。

- 線形範囲で評価する場合（手計算）
 - 例題は端点のモーメントを拘束した長さL/2の梁2本で、Fの荷重を支持した構造のため、梁の問題として考えることができる。

荷重部のたわみ量を計算

荷重部のたわみ δ を求めるにあたり、曲げ剛性 K_b とせん断剛性 K_s から、全体剛性 K_t を計算します。梁の直径は、 $D=1$ のため、断面2次モーメント I は、

$$I = \frac{\pi}{64} D^4 = \frac{\pi}{64} [\text{mm}^4]$$

曲げ剛性 K_b は、 $I=\pi/64$ 、 $E=72000$ 、 $L=10,000$ より、

$$\begin{aligned} K_b &= 2 \times \frac{12EI}{\left(\frac{L}{2}\right)^3} = \frac{192EI}{L^3} = \frac{3E\pi}{L^3} = \frac{3 \times 72000 \times \pi}{10000^3} \\ &= 6.78584 \times 10^{-7} [\text{N/mm}] \end{aligned}$$

せん断面積 S は、 $D=1$ のため、

$$S = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{\pi}{4} [\text{mm}^2]$$

せん断弾性率 G は、 $E=72000$ 、 $\nu=2.755 \times 10^{-9}$ 、 $D=1$ より、

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} D^4 = \frac{72000}{2(1+2.755 \times 10^{-9})} \doteq 36000 [\text{N/mm}^2]$$

せん断剛性 K_s は、 S 、 G 、 $L=10000$ より、

$$K_s = 2 \times \frac{GS}{(L/2)} = \frac{4GS}{L} = \frac{4 \times 36000 \times \frac{\pi}{4}}{10000} = 11.3097 [\text{N/mm}]$$

全体構造剛性 K_t は、 K_b 、 K_s の値より、

$$\begin{aligned} K_t &= \frac{K_b K_s}{K_b + K_s} = \frac{6.78584 \times 10^{-7} \times 11.3097}{6.78584 \times 10^{-7} + 11.3097} \\ &= 6.78564 \times 10^{-7} [\text{N/mm}] \end{aligned}$$

荷重部のたわみ δ は、 $F=1$ 、 K_t より、

$$\delta = \frac{F}{K_t} = \frac{1}{6.78564 \times 10^{-7}} = \underline{1473700.34 [\text{mm}]}$$

- 線形範囲で評価する場合（手計算）
 - 例題は端点のモーメントを拘束した長さL/2の梁2本で、Fの荷重を支持した構造のため、梁の問題として考えることができる。

固定部の応力を計算

固定端に発生する応力 σ を求めるため、曲げモーメントと断面係数を計算します。

曲げモーメントMは、F=1、L=10000より、

$$M = \frac{FL}{8} = \frac{10000}{8} = 1250[N \cdot mm]$$

断面係数Zは、D=1より、

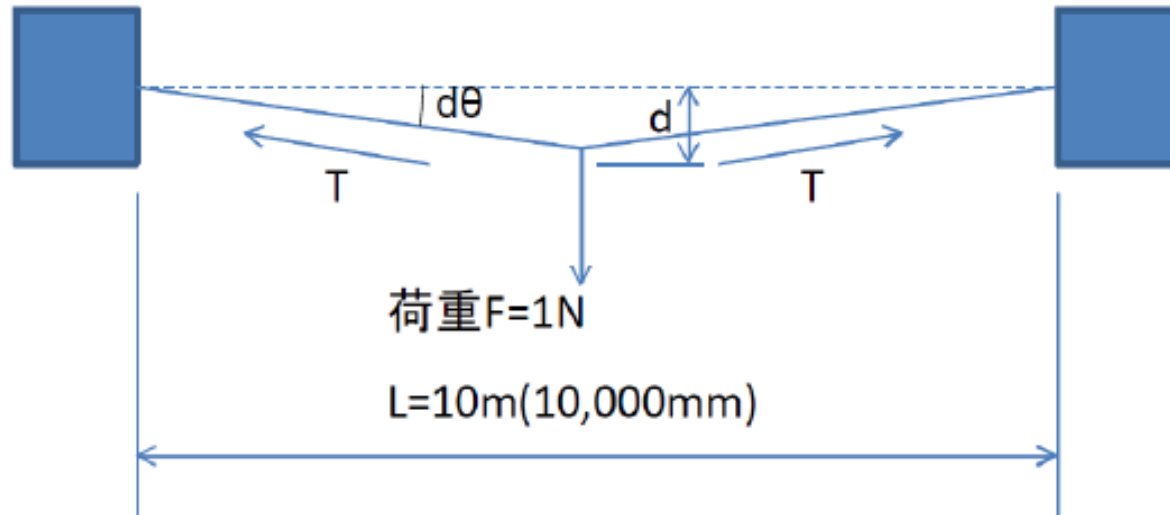
$$Z = \frac{\pi}{32} D^3 = \frac{\pi}{32} [\text{mm}^3]$$

応力 σ は、M、Zより、

$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{1250}{\frac{\pi}{32}} = \underline{12732.4[N/mm^2]}$$

例. ケーブルの応力解析

- 非線形範囲で評価する場合（手計算）
 - ケーブルの変形を考慮するため、1[N]の変位によるケーブル内の張力 T を導入して、反対にケーブルの剛性を無視して計算する。荷重によって、中央部分が d だけ下がり、荷重はケーブルの張力 T でとると考える。



張力を考慮した場合のイメージ

- 非線形範囲で評価する場合（手計算）
 - 荷重部のたわみ量と固定部の応力を計算

荷重部のたわみ量を計算

荷重部のたわみ d を求めるにあたり、荷重が作用したときのケーブルの傾き $d\theta$ を計算します。

$F=1$ 、 $E=72000$ 、 $S=\pi/4$ から、傾き $d\theta$ は、

$$d\theta = \left(\frac{F}{ES}\right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{4}{72000 \times \pi}\right)^{\frac{1}{3}} = 0.026053088[\text{rad}]$$

$L=10000$ から、荷重部のたわみ d は、

$$d = \frac{L}{2} \tan(d\theta) = \underline{130.2949219[\text{mm}]}$$

固定部の応力を計算

一方、張力 T は、 $F=1$ 、 $d\theta$ より、

$$T = \frac{1}{2 \sin(d\theta)} = 19.19375[\text{N}]$$

張力による、応力 σ は、せん断面積 $S=\pi/4$ で割ることで、

$$\sigma = \frac{T}{S} = \frac{19.19375 \times 4}{\pi} = \underline{24.44[\text{N}/\text{mm}^2]}$$

同様に、せん断応力 τ は、

$$\tau = \frac{F}{S} = \frac{4}{\pi} = \underline{1.2732[\text{N}/\text{mm}^2]}$$

合成応力は軸応力とせん断応力を
足した $25.71[\text{N}/\text{mm}^2]$ になる

- 使用する単位系
- 構造物を表現するための要素（メッシュ）選択
- 特異点応力
- 拘束条件の不足
- 応力の結果確認

- ほとんどの構造解析ソフトウェアでは、使用する単位系はユーザが管理することになるため、解析で使用する長さや材料などの単位系が統一されているかを確認してから入力を行う。

		工学単位系	SI単位系		
基本単位	長さ	mm	m	mm	mm
	時間	sec	sec	sec	sec
物理量単位 (一部)	力	kgf	$N(=kg \cdot m/sec^2)$	N	mN
	圧力(応力)	kgf/mm ²	$N/m^2(=Pa)$	$N/mm^2(=MPa)$	mN/mm ²
	ヤング率	kgf/mm ²	$N/m^2(=Pa)$	$N/mm^2(=MPa)$	mN/mm ²
	質量密度	kgf \cdot sec ² /mm ⁴	kg/m ³	ton/mm ³	kg/mm ³

構造物を表現するための要素選択

- 構造の特徴（断面や厚み）を見極めた上で使用する要素を選択する。
 - できるだけ少ないメッシュ数で構造の特徴を表現する。



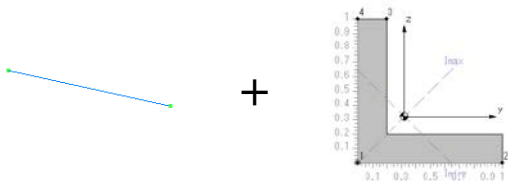
断面が一定の構造の場合、
線要素を使用する



面積が広く、厚みが薄い構造の場合、
シェル要素を使用する

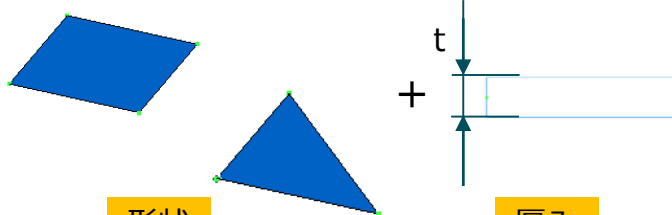


左記の条件にあてはまらない
構造の場合、ソリッド要素を使用する



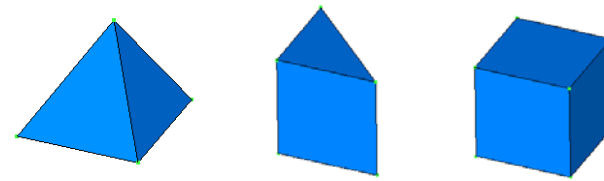
形状

断面



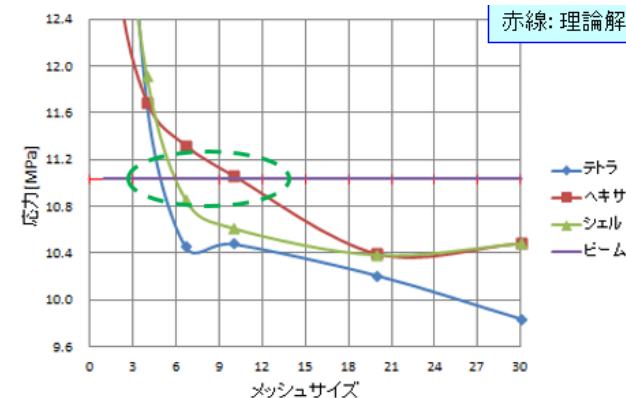
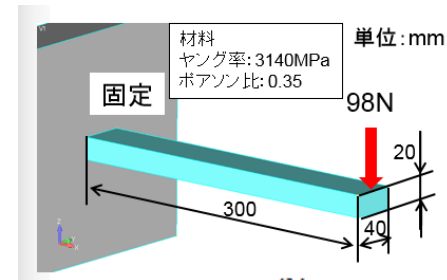
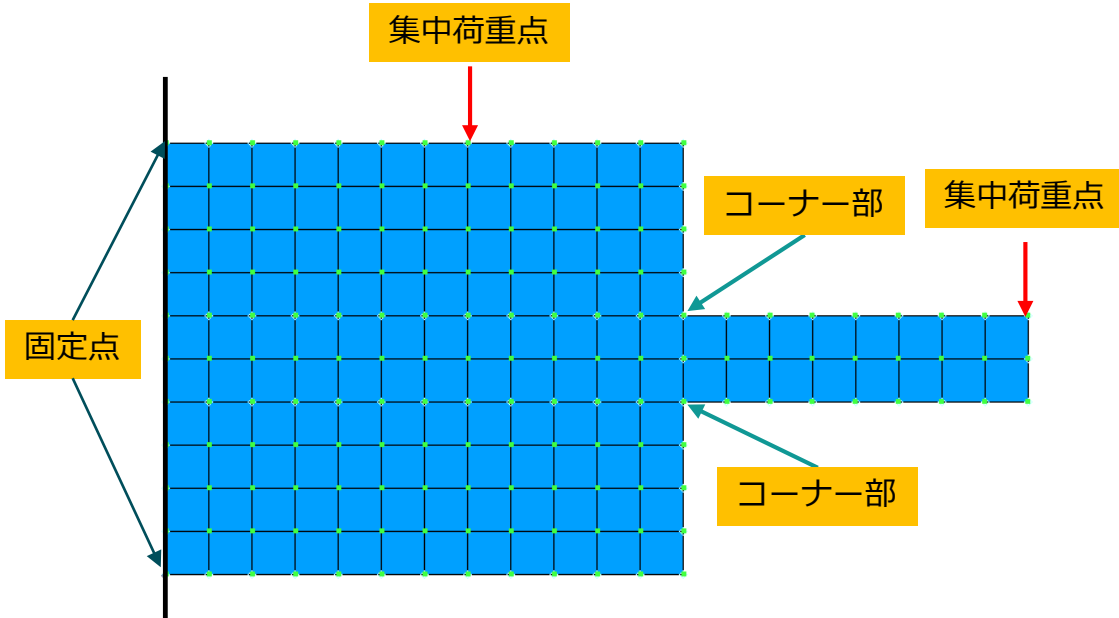
形状

厚み



形状

- 集中荷重点、コーナー部、固定点などは弾性解析では、理論上、無限大になるため、メッシュ分割を細かくするほど応力は高くなる。

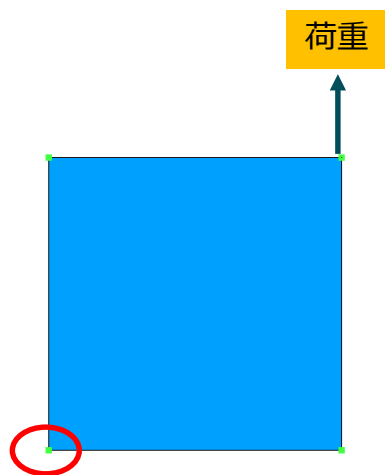


特異点応力が出た場合の対処

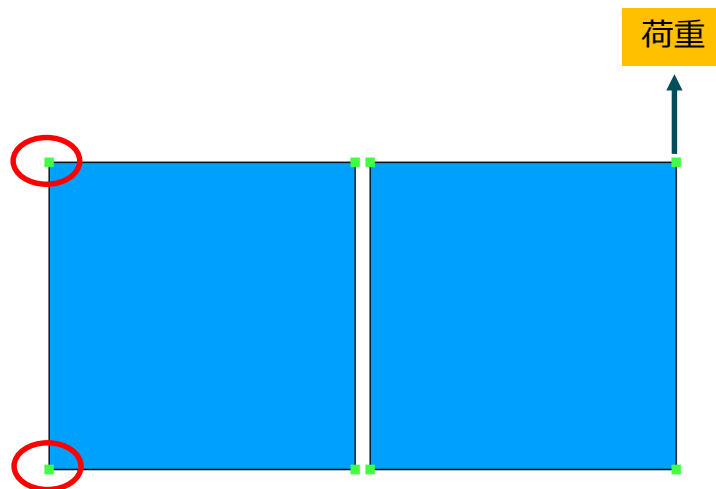
- ・コーナー部に設計上考慮するC面やRを表現する。
 - ・荷重点近傍の応力を確認する場合は、1点だけに設定するのではなく、複数点に設定されるようにする（固定点も同様）。
- 上記の部分を評価する場合、できれば10分割程で要素分割を行う。

片持ち梁を例に要素別でメッシュサイズを変えたときの応力値の影響

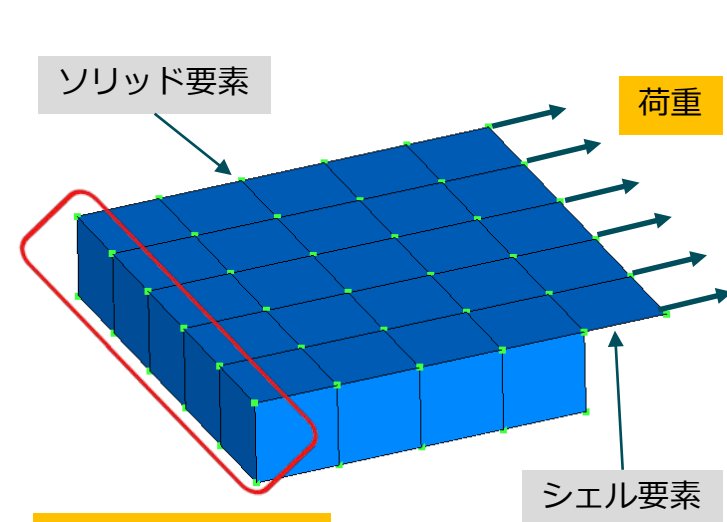
- 解析の種類にもよるが、一般的には並進方向（3成分）と回転方向（3成分）が拘束されている必要があり、拘束されていない箇所がある場合、荷重が与えられたときに運動し続ける状態となるため、解析ができなくなる。



並進と回転を拘束



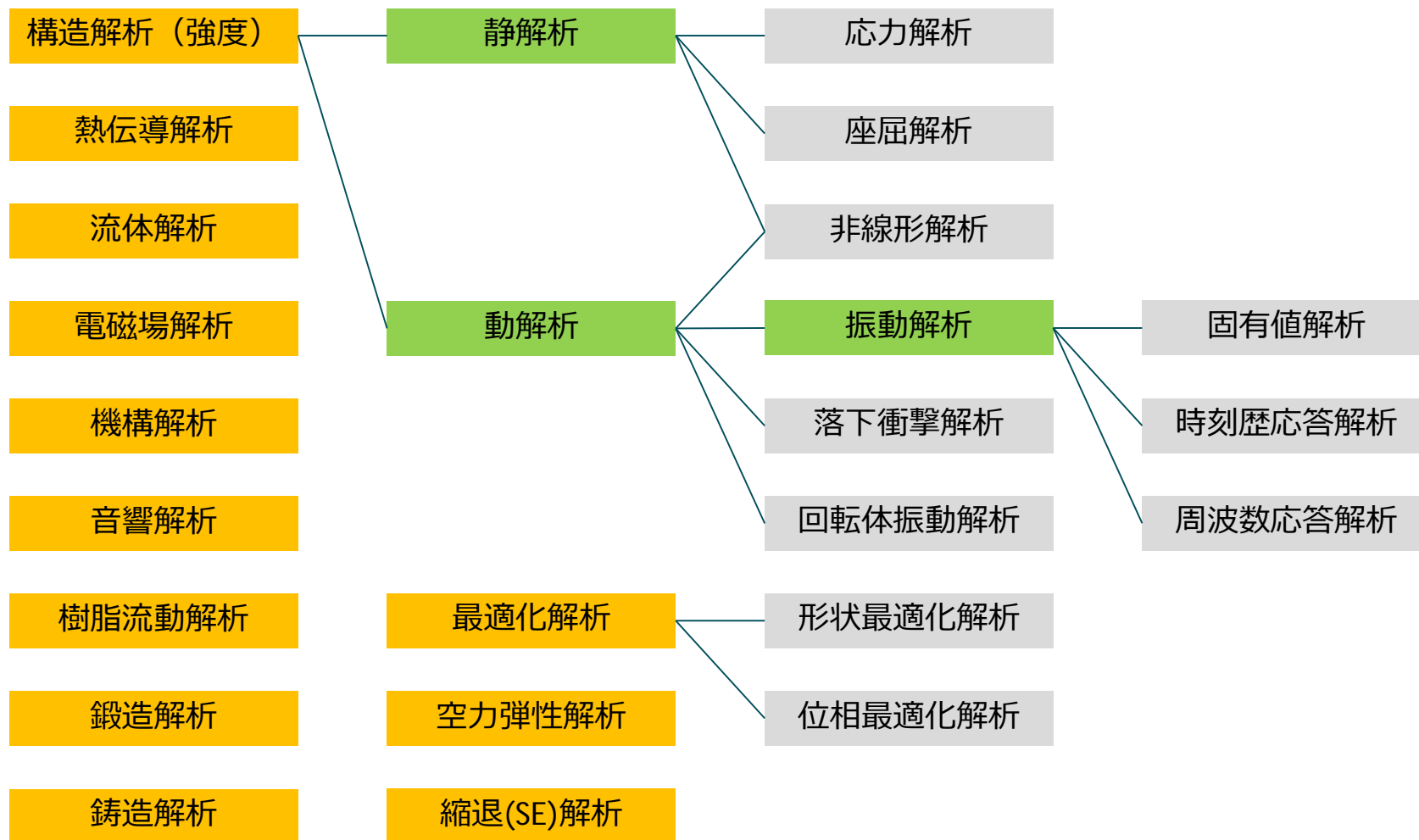
並進と回転を拘束



並進と回転を拘束

- 構造強度の評価で使用する応力は材料（延性材料or脆性材料）や破壊する応力の形態で変わる
 - 最大主応力
最大主応力がある値を超えたときに破壊するという考え方で、ガラス、プラスチックなどの脆性材料に発生する応力の評価に使用する。
 - ミーゼス応力
せん断ひずみエネルギーがある値を超えたときに破壊するという考え方で、主に金属などの延性材料に発生する応力の評価に使用する。
 - Tresca応力
最大せん断応力がある値を超えたときに破壊するという考え方で、延性材料や脆性材料に発生する応力の評価に使用する。

CAE解析の種類



ご清聴、ありがとうございました

FRONE Corporation 
The CAE Solution Provider

FRONE Corporation 
The CAE Solution Provider

[TOP](#) [ABOUT](#) [SERVICE](#) [COMPANY](#) [RECRUIT](#) [CONTACT](#)

私たちは、人のため、未来のために、
世界に通ずる技術をめざします

株式会社 FRONE

[本社-契約関連- Head Office]

〒154-0002 東京都世田谷区下馬1-33-12

[東京オフィス-営業・技術部門- Tokyo Branch Office]

〒169-0075 東京都新宿区高田馬場2-13-14 メゾン田中2F

MAIL: info@frone.jp

TEL: 03-6380-3236

URL: <http://frone.jp>