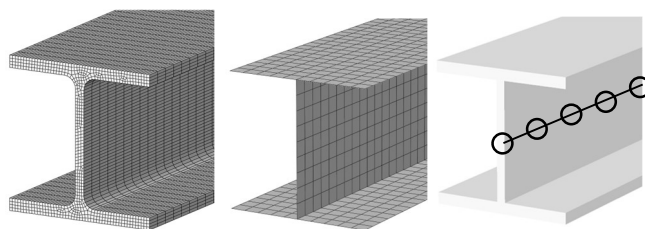


## ものづくり計算センター CAE 基礎 <構造解析/代表的な要素の種類と特徴>

キーワード：CAE、FEM、構造解析、メッシュ、ソリッド要素、シェル要素、ビーム要素

### 要素（メッシュ）の種類

構造解析では、構造物に荷重を負荷した際の応力や変形を求めることができます。構造解析に用いられる有限要素法では、構造物の CAD データを有限の要素（メッシュ）に分割する必要があります。三次元の解析に用いられる代表的な要素には、ソリッド要素、シェル要素、ビーム要素があります。図 1 に I 形鋼を例に要素分割した結果を示します。



(a)ソリッド要素 (b)シェル要素 (c)ビーム要素

図 1 代表的な要素(メッシュ)の種類

ソリッド要素(図 1(a))は近年では最もよく用いられる要素で、3D-CAD で作成した三次元形状を基に分割された要素です。ソフトウェアによる自動要素分割機能ではソリッド要素が生成される場合がほとんどで、形状を詳細に表現できる一方、要素数が多く計算時間を要する場合があります。要素形状としては、六面体と四面体が使用されています。

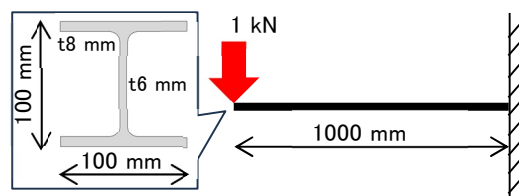


図 2 片持ちはりの解析条件の模式図

シェル要素(図 1(b))は薄板状の構造に用いることができる要素です。板厚を内部計算で考慮して解析を行うため、板厚方向の要素分割が不要で面内方向のみ要素分割を行います。ソリッド要素と比較して要素数を少なくすることができます。要素形状としては、四角形と三角形が使用されています。

$$\delta = \frac{PL^3}{3EI} \quad \text{式(1)}$$

$$\sigma = \frac{M}{Z} \quad \text{式(2)}$$

ビーム要素(図 1(c))は骨組み構造の解析に用いることができる要素です。断面形状の剛性を内部計算で考慮して解析を行うため、軸方向のみ要素分割を行います。ソリッド要素と比較して極めて少ない要素数で解析が行えます。

の相当応力は 13.5 MPa と計算されます。よって、シミュレーション結果は理論値と同程度であり、片持ちりのような単純なモデルでは、いずれの要素を用いても精度よく解析できることがわかります。

本報では、要素の種類と特徴および解析精度に及ぼす要素の種類の影響について説明します。

### 骨組み構造での解析検討

#### 片持ちりモデルによる解析精度の検証

100 mm × 100 mm の I 形鋼(ヤング率:210 GPa、ポアソン比:0.3)の片持ちはりの解析を行いました。図 2 に解析条件の模式図を、図 3 に解析結果を示します。解析には Abaqus2024 を用いました。はり先端の変位およびはり根元の相当応力は、要素の種類に関わらず、同程度の値になることがわかります。はりのたわみ  $\delta$ 、応力  $\sigma$  について、材料力学で用いられる式(1)、式(2)( $P$ :荷重、 $L$ :はり長さ、 $E$ :ヤング率、 $I$ :断面二次モーメント、 $M$ :モーメント(先端に集中荷重を加えた片持ちはりの場合  $P \times L$ )、 $Z$ :断面係数( $I/e$ ,  $e$ :中立軸から表面までの距離))を用いて計算すると、はり先端の変位は 0.43 mm、はり根元

図 4 に I 形鋼で製作した骨組み構造(長さ 3000 mm、幅 1000 mm、高さ 1000 mm)の解析条件を示します。ソリッド要素とした場合、要素数は約 1350000、ビーム要素とした場合、要素数は約 1460 となりました。また、ビーム要素を主として、詳細な応力状態を確認したい部分にソリッド要素を配置したモデルの要素数は約 346000 でした。

図 5 に解析結果を示します。変位はいずれの要素を用いた場合でも 1 mm 程度であり、大きな差はないといえます。一方で、骨組み構造の角部の相当応力は、ソリッド要素を用いたモデルで 74 MPa に対して、ビーム要素を用いたモデルでは 20 MPa となり、ビーム要素では局所的な応力の発生を解

析できていないことがわかります。ビーム要素を主としてソリッド要素を部分的に配置したモデルでは、ソリッド要素を用いたモデルと同等の 75 MPa になりました。なお、解析時間は、ソリッド要素 126 秒、ビーム要素 0.01 秒、ビーム要素にソリッド要素を組み合わせたモデル 22 秒でした\*。

以上より、大規模な骨組み構造を解析する場合、主としてビーム要素を用いて、局所的な応力の発生が予想される部分にソリッド要素を配置することで、変位および応力の解析精度を維持しつつ、解析時間を大幅に短縮できることがわかりました。

### おわりに

近年、自動要素分割機能が充実し、解析の設定が容易になりました。しかし、大規模なモデルでは解析時間を要する場合もあり、適材適所に異なる種類の要素を配置することで、精度と時間の両立が可能となります。ものづくり計算センターでは、構造解析など CAE に関するノウハウを蓄積しています。ぜひお気軽にご相談ください。

※参考 PC スペック (CPU:Core i9/12<sup>th</sup> Gen, メモリ:128 GB)

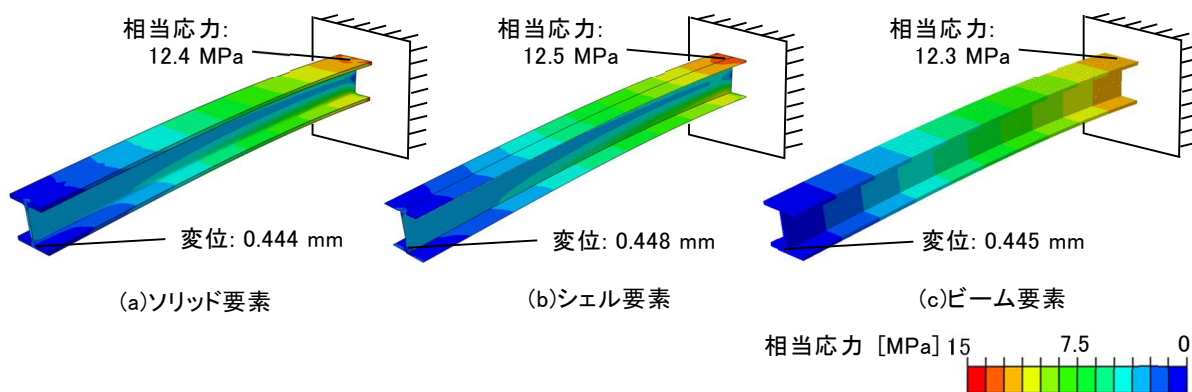


図3 I形鋼における片持ちはりの解析結果 (相当応力)

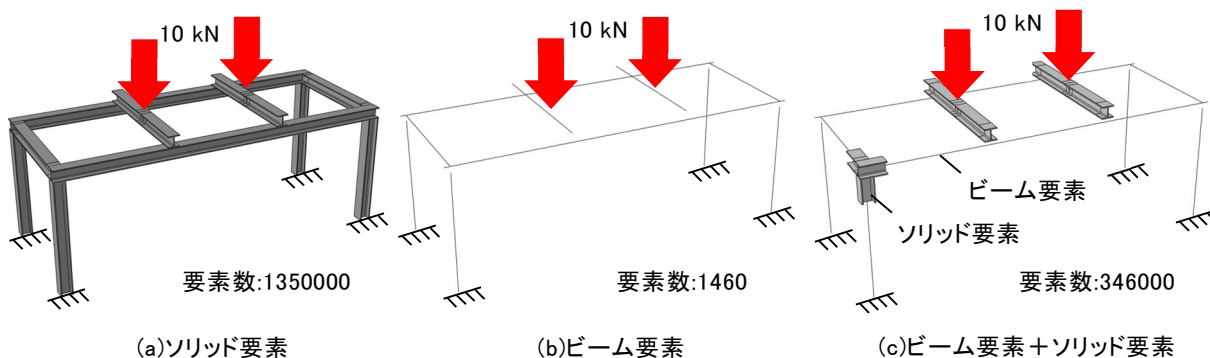


図4 骨組み構造の解析条件の模式図

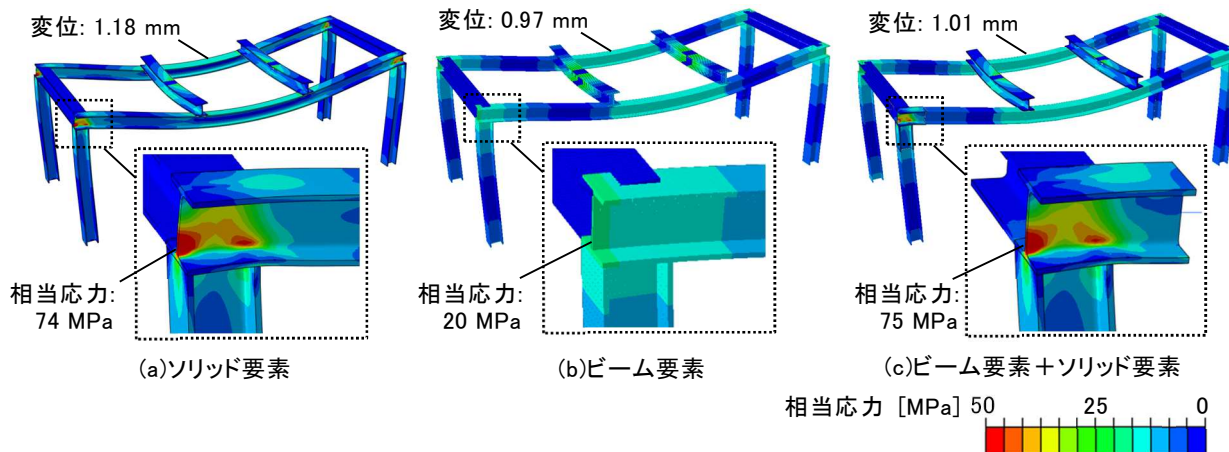


図5 骨組み構造の解析結果 (相当応力)

発行日 2024年12月1日

作成者 ものづくり計算センター (加工成形研究部 精密・成形加工研究室 四宮 徳章、特殊加工研究室 三木 隆生)

Phone: 0725-51-2525

E-mail: mcae-center02@orist.jp