

可動コンダクターの設計に貢献

ANSYS 社の構造解析ソフトウェアにより、効率的な石油回収を実現する 業界初の可動コンダクターの設計期間を数年短縮

Rae Younger (スコットランド アバディーン, Cognity Limited, マネージング ディレクター)

海洋掘削に伴う大きな課題の1つとして、コンダクターケーシングを正確に配置する必要があることが挙げられます。この部品は、掘削孔の周囲にある泥が崩れることがないように、掘削前に地下に打ち込まれる全長数百メートルのチューブです。海洋では、海底の特性が変化しやすく、土が比較的柔らかい傾向があり、通常のコンダクターは最も抵抗の少ない経路に沿って打ち込まれることとなります。コンダクターケーシングを正確に配置するには、これらの要因を考慮しなければなりません。

エンジニアリングコンサルティング会社である Cognity 社では、位置をリアルタイムかつ正確に調整できる可動コンダクターを開発することによって、この課題を解決しました。海底に打ち込まれ、最大 600 トンの圧縮力に耐えなければならないこのコンダクターは、深く打ち込んだときに掘削孔を詰まらせることがないように設計する必要があります。このように掘削孔を詰まらせることがある土の強度は深くなるほど強くなり、海底に打ち込まれたコンダクターにかかるモーメントと荷重が大きくなります。同社のエンジニアチームは、ANSYS Workbench プラットフォームで ANSYS Mechanical を使用して、この舵取り装置の耐荷重能力を 2 倍に高めたことで、深い土壌でも適切に操縦できる可動コンダクターを開発することに成功すると同時に、従来の設計手法なら数年かかることもある設計を 5 ヶ月で終わらせることができました。

掘削プロセスで油井の生産量を最大限に高めるには、各コンダクターを正確に配置する必要があります。たとえば、事前に定めたエリアをカバーするように複数のコンダクターを海底の中に一定の角度で打ち込むには、プラットフォーム上に設定した 2.5m のグリッド

に沿って、これらのコンダクターを間隔を置いて配置しなければなりません。また、この掘削プロセスによって土の強度が低下すると、可動コンダクターが既存の油井に向かって自然に引き込まれていくことになるため、コンダクターが進行方向を変えて既存の油井に近づき過ぎた場合には、このコンダクターを放置せざるを得なくなります。このようにして不適切に配置されたコンダクター（廃棄スロット）の位置を修正するには、膨大な時間と余計な費用がかかることがあります。さらに、コンダクターが既存の油井に近づき過ぎて、シュー（コンダクターの丸みを帯びた先端）を切除するミリングツールがすぐ近くの生産井に穴をあけてしまうと、最悪のシナリオが発生し、炭化水素の放出を抑えられなくなる可能性があります。



可動コンダクターをレンダリングしたもの



Cognity社は、ばらつきがかなりある土壌状態でも正確に配置できる完全な可動コンダクターをクライアントに代わって開発しました。この業界では過去10年間にわたり、土壌状態の変化に応じてシューの角度を柔軟に変えることができる可動コンダクターの設計に努めてきましたが、Cognity社では、掘削プラットフォームからリアルタイムに操縦して最終位置を正確に制御できる業界初の可動コンダクターを設計しました。このシステムのメリットとしては、廃棄スロットを排除して生産量の増大と掘削費の削減が図れることが挙げられます。

しかし、この新しい可動コンダクターの設計に際しては、大きな問題に直面し、丸みを帯びた先端部を土の中に数百メートル挿入したときに加わる巨大な力に耐えられる可動コンダクターを設計しなければなりません。従来の設計手法では、多数のフルスケールプロトタイプを作成して、各プロトタイプの耐久試験を実施する必要があります。膨大な費用と時間がかかることがあります。また、適切に機能する設計を開発するには数年を要するため、設計の最適化を目指さなければならないにも関わらず、最小限の要件を満たす最初の設計で満足してしまうこともありました。

このため、Cognity社は、ANSYS Mechanicalを利用して従来と異なる設計手法をとり、仮想プロトタイプを構築して設計案の性能を評価することにしました。ANSYS Workbenchプラットフォームも使用しました。このプラットフォームを選択した理由は、新しい設計案のデータをCADシステムからシミュレーションソフトウェアに移動してから、この設計の改善点をCADシステムに戻すことが可能となっており、厳しいプロジェクトスケジュールをこなすことができるからです。なお、ANSYS Workbenchは、一般的なCADシステム（Cognity社が使用しているAutodesk[®] Inventor[®]など）との双方向連携をサポートしています。

可動コンダクターに作用する土の力を表現するには、非線形ばねを利用した。

ANSYS Mechanicalは、Cognity社が評価した他の有限要素解析パッケージに比べて、設計と最適化を大幅に効率化することができます。たとえば、マウスをクリックするだけで複数の接触を設定でき、しかも形状の変化に応じて、これらの接触が自動的に更新されるようになっています。同社のエンジニアチームはこの機能を使用したことで、可動コンダクター（多数の接触面を持つ可動部品から成る大規模なアセンブリを含む）の開発期間を大幅に短縮することができました。また、非並列マシン上で優れた拡張性を発揮するこの構造解析ソフトウェアを利用したことで、開発の所要時間も短縮する

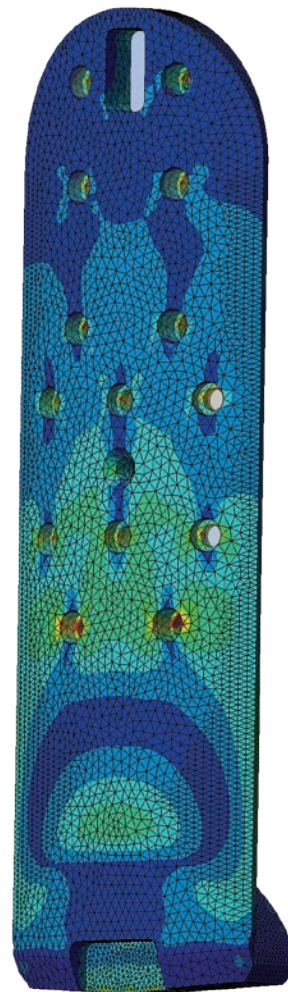
ことができました。

最適な設計を実現するには土を正確にモデリングする必要があると考えたエンジニアチームは、可動コンダクターの様々なコンセプト設計をモデリングしてから、これらの設計の性能を仮想環境で評価しました。多様な特性を持ち、応答の非線形性が高い土は、横荷重を受けると耐圧縮性のみを示し、この土によって可動コンダクターの外面に作用する摩擦は、軸方向運動に抵抗する抗力を発生させます。また、土のせん断強度は深さと位置によって変わります。Cognity社のエンジニアチームは、実際の土質試験データを利用してシミュレーション精度を高めながら、こうした特性を持つ土を可動コンダクターにつながれた非線形ばねとしてモデリングしました。その後には、特定の深さにある土と同じ剛性を持つように非線形ばねを調整しました。このようにして土を再現した非線形ばねの力と抵抗は、せん断点まで比例しますが、せん断点を超えると力が一定になります。

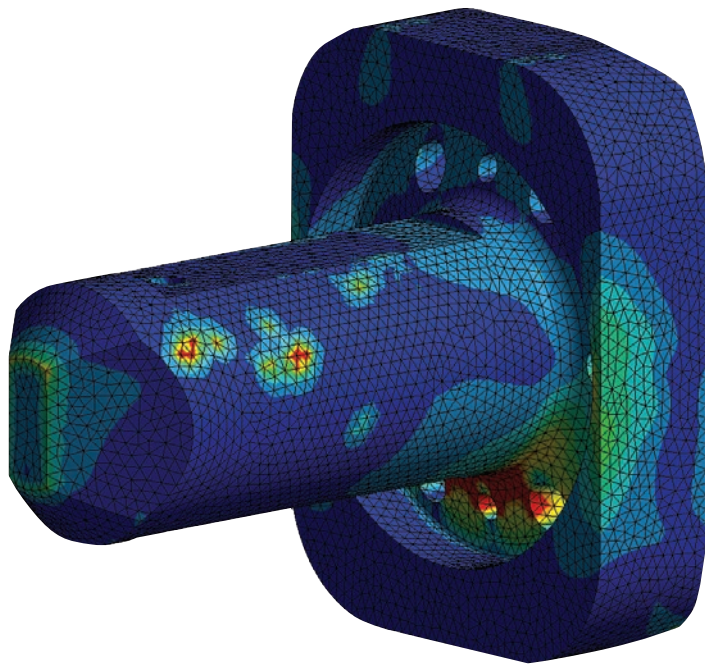
最初に、可動コンダクターのシューの長さを最適化する作業を行う必要がありました。掘削業者は掘削時にシューの角度を変えながら可動コンダクターを操縦します。X軸とY軸の両方で±3度動くシューは、長い方が柔らかい土の中に簡単に挿入できますが、シューが長いと、コンダクターの他の部分とシューの間に取り付けられるステアリング部品に大きな反力とモーメントが加わるようになります。

そこで、Cognity社のエンジニアチームは、ハンマーで600トンの力を加えて地中に打ち込む可動コンダクターをモデリングしてから、解析を実施し、シュー付近の土によって発生する最大のモーメントと荷重を評価しました。これにより、この重要なステアリング部品に加わる荷重を簡単に求めることができました。

次に、可動コンダクターの主要部品にこれらの荷重を適用しました。この作業を行った理由は、主要部品を最適化して、こうした力に耐えられるようにするためです。重要な部品の1つに、口径が27インチの可動コンダクターに組み込まれる4トンのアセンブリである油圧式デフレクションハウジング（HDH：Hydraulic Deflection Housing）があります。土で発生した力に耐えられるこのHDHは、シューを適切な位置に保持する役割を果たします。解析を行ったところ、150g程度の衝撃荷重が加わるHDHを適切な位



tendonに加わる応力を示した有限要素解析結果



HDH を適切な位置に維持するラジアル固定パッドに加わる応力

置に維持するには、許容荷重が 600 トンの固定機構が必要になることが分かりました。なお、再利用可能な HDH は、可動コンダクターが地中に打ち込まれた後に回収されて検査を受け、問題があれば修理が施されます。

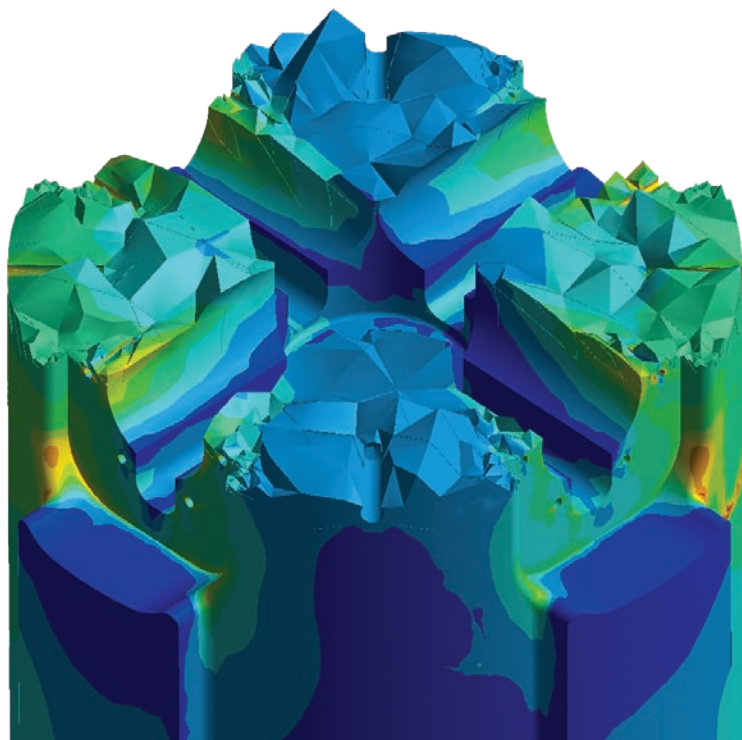
ANSYS Mechanical では、HDH のボディを構成する鍛造物に加わる応力とたわみ量を求めるとともに、単位長さあたりのモーメント力を評価して HDH の形状を最適化しました。その後、繰り返し解析を行い、高応力領域に材料を補強する作業と、低応力領域の軽量化作業を行い、HDH の剛性を高めました。

設計プロセスを迅速化する HPC

このプロジェクトの納期条件を満たすには、ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC: High Performance Computing) を使用する必要がありました。Cognity 社では、12 個のコアと 24GB の RAM のほか、最高のディスク速度を持つ RAID 0 SCSI ドライブを装備した Dell® T7500 ワークステーション上で ANSYS 社の構造解析ソフトウェアを実行しています。その際には、並列処理を行っているため、約 750,000 個の要素と多数の接触から成る一般的なモデルを 1 時間足らずで解析することができますが、この作業は、並列処理を行わないと 6 時間近くかかることになります。また、この並列処理により、1 日に設計を 5~10 回繰り返して評価し、迅速に改善することも可能になりました。

シューの内部まで到達する HDH は、X 軸と Y 軸の両方で動くシューにスペースを与えるために先細にします。Cognity 社のエンジニアチームは、構造解析の結果を確認して、HDH を先細にする効果的な方法を見つけると同時に、高応力領域にサポートを追加しました。これにより、HDH とシューを接続する長さを 2 倍にし、このシステムの耐荷重能力を 2 倍に高めることができました。

元の設計では、単価が約 16 万ドルで納品まで 4 ヶ月かかる特定用途向けの油圧シリンダーを採用していました。Cognity 社のエンジニアチームは、この特定用途向けの油圧シリンダーの代わりに、単価がわずか 7,000 ドルで 1 ヶ月以内に納品される既製の油圧システムの内部部品を利用できることをエンジニアリングシミュレーションによって証明しました。なお、プロジェクト全体では、従来の手法に比べて設計期間を約 70% 短縮し、設計をわずか 5 ヶ月で完了させることができました。■



Cognity 社のエンジニアチームは HDH の応力解析を行って設計を最適化し、システムの耐荷重能力を 2 倍に高めることができました。