

世界的な評価を基に

エンジニアリングシミュレーションを利用して、歴史的建造物の建築設計を検証している NInsight 社

Michael Stadler (オーストリア グラーツ, NInsight, 研究科学者)

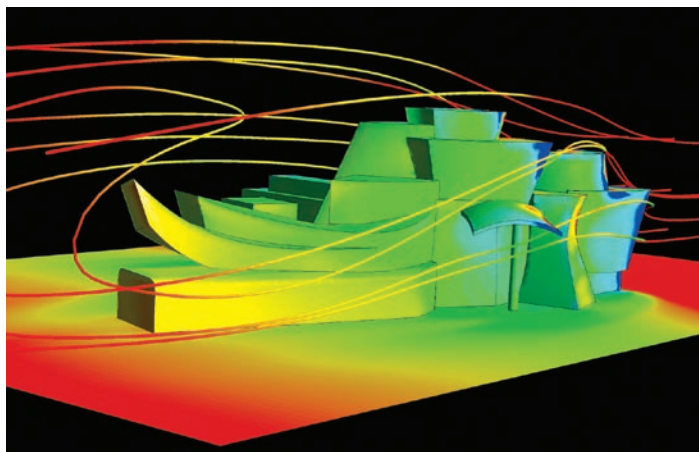
建築の分野では、Frank Gehry 氏などの専門家が斬新な形状と革新的な材料を利用して建築設計の限界に挑戦していますが、その一方で多くのエンジニアがこうした複雑なビジョンを実現させるという現実的な課題に直面しています。たとえば、建築技術者や建築工学技術者は、建築技師の独創的なコンセプトの整合性を確認するだけでなく、構造健全性、居住者と歩行者の安全、風と雨の荷重、建築材料に対する気候の長期的な影響などの実際的な問題を解決する必要もあります。

オーストリアに本拠地を置く NInsight 社は、巨額の資金を建設に投じる前に研究、解析、シミュレーションを行って建築設計を検証しなければならない建築技術者を支援し、世界中で高い評価を得ています。同社は 1992 年に設立され、仮想環境で ANSYS 社のソフトウェアを利用し、建築設計と建築材料の研究や改良など様々なプロジェクトに取り組んでいます。

NInsight 社が関わった代表的なプロジェクトを 1 つ挙げると、Gehry 氏が設計したグッゲンハイム美術館（スペイン、ビルバオ）があります。1997 年に開館されてからあまり日が経たないうちに歴史的建造物として高い評価を得たこの美術館は、チタン表面と有機的な外観を備え、世界で最も人目を引く設計の 1 つとして数えられています。しかし、Gehry 氏が 1990 年代中頃にこの建築ビジョンを思い描いたときには、グッゲンハイム美術館周辺の風の流れと風速に対して、この美術館固有の形状がどのような影響を与えるか、また入口にある単脚支持キャノピーの安定性を長期間維持できるか、さらには新しいチタン合金が沿岸環境にどの程度耐えられるかなど、分からないことが多数ありました。



オーストリアに本拠地を置く技術調査会社である NInsight 社は、ANSYS 社のソフトウェアを使用して、世界的に有名なグッゲンハイム美術館（スペイン、ビルバオ）のいくつかの重要な設計要素を検証した。



NInsight 社は、スプラインサーフェスを使用してグッゲンハイム美術館の外観をモデリングしたことで、高品質のメッシュを簡単に生成し、その後のシミュレーションをスムーズに進めることができた。膨張層に角柱を使用したこのハイブリッド四面体/六面体メッシュは、正確かつリアルなシミュレーションを実現する約 360 万個の離散要素で構成されている。なお、このシミュレーションでは、この都市の風の流線と圧力分布を確認した。

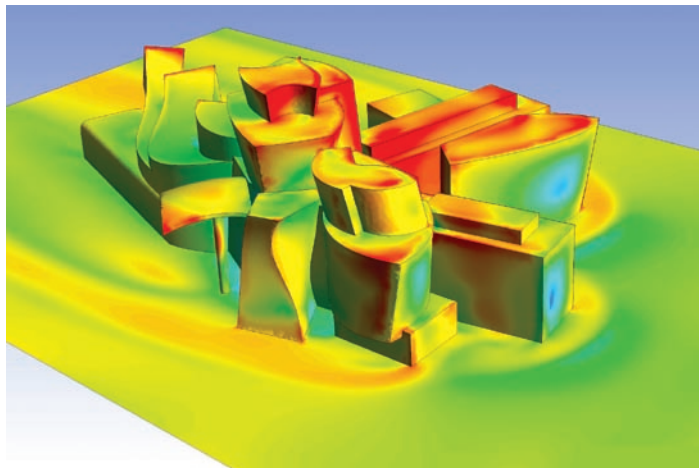
「ビルバオのグッゲンハイム美術館の設計を検証した際には、複雑な形状や自由造形表面を処理できる ANSYS 社のソフトウェアが重要な役割を果たしました。」

NInsight社は、ANSYS ICEM CFDとANSYS CFXを使用して、グッゲンハイム美術館周辺に吹く風のパターン、流線、圧力をシミュレーションし、この建物の地面に近い部分の形状変更や上記のエントランスキャノピーの改良など若干の修正を加えるよう提案しました。たとえば、エントランスキャノピーの初期形状が、歩行者が強風に煽られるといった好ましくない影響を及ぼしていたため、歩行者が美術館周辺を安全かつ快適に歩けるようにキャノピーの形状を修正して、この問題を解決しました。

NInsight社の研究チームは、ANSYS ICEM CFDを使用したことで、グッゲンハイム美術館の構造の微細な形状メッシュを簡単に生成できただけでなく、曲率、隣接性、品質の基準を考慮に入れて、このメッシュ生成プロセスをスムーズに進めることもできました。これにより、要素の大幅な変形や歪みを回避して、シミュレーションの質の低下と結果の収束の遅延を抑えるとともに、大きな成果をあげることができました。また、強力な機能を備えたANSYS CFXでは、 $k-\epsilon$ 乱流モデルを使用してナビエ-ストークス方程式を解く流体ソルバーを用いて、風の流れを効率的にシミュレーションすることができました。

NInsight社の建築研究チームは、外装に使われているチタン合金に対する気候の長期的な影響をシミュレーションして、この材料の組成をわずかに変え、耐浸食性の向上も図りました。この浸食効果を予測した際には、チタン表面に影響を与える粒子の運動エネルギーに摩擦を関連付けたフィニー数理論モデルを利用しましたが、粒子-空気運動量連成の解析では、ANSYS CFXのシラー-ノイマンモデルを使用しました。

グッゲンハイム美術館の設計を検証した際には、複雑な形状や自由造形表面を処理できるANSYS社のソフトウェアが重要な役割を果たしました。このソフトウェアを使用していなかったら、多数の物理モデルを作成し、風洞などの施設で条件を変えながらテストしなければならなかったでしょう。コストと時間がかかる試作品や物理試験によって、こうしたシミュレーションを再現することはほぼ不可能ですが、ANSYS社のソフトウェアを使用したため、150件以



グッゲンハイム美術館の設計を成功させるには、この美術館の外観を視覚的に表現し、沿岸部のビルバオに位置する美術館の外観に対する長期的な浸食効果を解析する必要があった。図の中で赤色が強い部分は、浸食効果が極めて大きい領域を表す。NInsight社のエンジニアチームは、この解析結果を踏まえて様々な材料組成を調査し、耐浸食性を最大限に高める方法を特定した。

上の仮想テストケースを迅速かつ直感的に作成し、条件やシナリオを様々に変えながらグッゲンハイム美術館の設計をテストすることができました。実環境試験でこの作業を繰り返し行っていたら、数年を要したでしょう。さらに、このソフトウェアによって所要時間の短縮とコスト削減を図ることができたほか、この歴史的建造物の安全性と性能の信頼性を大幅に高めることもできました。なお、この建造物の解析を開始した時点では、ANSYS Workbenchがまだ発売されていなかったため、こうしたパラメトリック研究をカスタム設計のスクリプトで自動化する必要がありましたが、ANSYS Workbenchを導入してからはパラメトリック研究をスムーズに行えるようになりました。また、ANSYS CFDでは、双方向CAD連携機能、自動メッシュ生成機能、プロジェクトレベルの更新メカニズム、広範囲のパラメータ管理機能、統合型最適化ツールを使用して、様々な設計案を解析し、生産性の大幅な向上を図ることができました。

ANSYS社とNInsight社の長期コラボレーション

ANSYS社のソフトウェアを常に利用しているNInsight社は、歴史的建造物のプロジェクトで実績をあげ、エンジニアリング会社の研究ニーズに対応するグローバル企業として高い評価を受けています。

NInsight社のStadler氏は次のように述べています。「現在では、建築業界のクライアントの多くが建築設計の限界に挑んでいます。当社の研究チームは、私がこれまで見た中で最も安定性に優れたアルゴリズムを採用しているANSYSのおかげで、エンジニアリングシミュレーションの限界を打破し、グッゲンハイム美術館などの複雑な形状や自由造形表面のモデリングだけでなく、イタリアのフィレンツェ駅に関連するプロジェクトで必要になった混相流シミュレーションも問題なく行うことができました。当社では、このソフトウェアを18年間使用していますが、扱ったエンジニアリングシミュレーション問題でANSYS社のソフトウェ

アが役に立たなかった例はありません。」

建築プロジェクトのシミュレーションで高い評価を得ているNInsight社は、バイオメディカルデバイスやエンジンなどの様々な工業/消費者製品の性能のシミュレーションも行っています。

Stadler氏は次のように語っています。「当社では、複雑なシステムやメカニズムの実際の影響を調べる必要がある様々なお客様を支援するため、建物全体、冠状動脈ステントを問わずANSYS社のソフトウェアを利用してモデリングしています。これらの影響を測定することは困難であり、時間と多額の費用がかかります。エンジニアリングシミュレーションを行えば、起こっている問題を迅速かつ経済的に、しかも正確に把握することができます。歴史的建造物から医療機器、消費者製品、工業部品までの様々なシステムを適切に設計するには、この情報が不可欠です。」

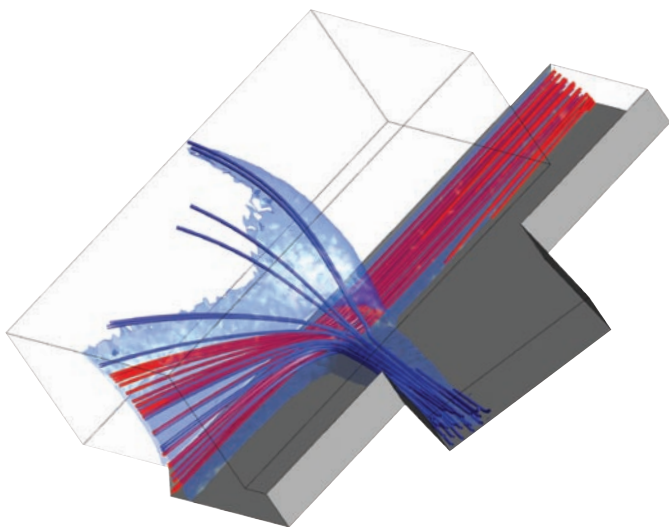
卓越した設計と実際の考察

NInsight社の建築研究チームは先ごろ、もう1つの歴史的構造物、すなわちイタリア政府が依頼し、世界的に有名な建築家Norman Foster氏が考案した画期的な新しいフィレンツェ駅のいくつかの設計要素を検証しました。2016年に開業予定のフィレンツェ駅は、内部空間に大量の自然光を取り入れることができる印象的なアーチ状の屋根など、独自の特徴を備えており、開業前にもかかわらず高い評価を得ています。

しかし、エンジニアリングの観点からすると、フィレンツェ駅の最も印象的な特徴であるこの屋根には大きな問題があり、大量の雨水を集めて確実に分散させることができる形状にする必要がありました。この屋根の開水路排水システムの解析と、雨の一連の複雑な流体シミュレーションの依頼を受けたNInsight社は、様々な降雨・排水状況下での屋根の性能、多数のガラス表面の浸食パターン、歩行者の安全性に対する降雨の影響を調査しました。

ただ、雨水が屋根のパイプと開水路の両方を流れる排水システムの解析は困難を極めました。具体的には、排水パイプから排出された雨水が空中を通過してガラスパネルに当たるポイントがあるため、様々な段階に分けて作業を進め、空気と雨水の両方の影響を調査しなければなりません。しかし、幸いなことにANSYS CFDには、一般的な水流だけでなく、この屋根特有の設計に伴う複雑な開水路水理現象にも対応するモデリング機能が搭載されています。

NInsight社の研究チームは最初に、開水路排水システムの交差部分を対象にした複雑な数値流体解析を何度も行い、実際に大量の雨が降ることによってどのような影響が出るかを評価しました。次に、ANSYS CFDを使用して、交差部分の様々な特性をシミュレーションしてから、各種の流体モデルを用いて、下流の開水路の流れを妨げる様々な障害物の影響を評価しました。



NInsight社の研究チームがANSYSを使用して様々な降雨状況の3次元CFDシミュレーションを行い、フィレンツェ駅の屋根特有の開水路/閉水路排水システムの性能を評価したところ、フィレンツェ駅周辺近くに流れる1つの水路に2つの異なる排水流（赤色と青色）が収束することが確認できた。この初期設計には、こうした交差部分にある水路から大量の雨水が排出されるという問題があったため、溢流状態を処理できるもう1つの排水システムを追加した。



NInsight社の建築研究チームは、フィレンツェ駅の最も印象的な特徴でありながら大きな問題を抱えている屋根の排水システムの評価と改善に大きく貢献した。
資料提供：Foster + Partners

このシミュレーションにより、屋根の下を歩く歩行者にとって危険な水量に達するいくつかの交差部分があることが判明したため、屋根の排水システムを修正し、この問題を解決しました。たとえば、ガラス屋根の下部に大量の排水が当たることによって生じる浸食問題を最小限に抑えると同時に、歩行者を保護できるようにするために、この主要システムの下部に溢流状態を処理できるもう1つの排水溝を追加し、雨水が分散して流れるようにしました。

NInsight社が若干の修正を加えるよう提案したところ、この修正案がフィレンツェ駅の最終設計に採用されました。なお、2007年にANSYS社のソフトウェアを利用して解析を実施したこの建設プロジェクトは、排水システムの実際のモデルを作成したり、水を利用した物理試験を行ったりすることなく、計画通りに進めることができました。■