

複合シェルで覆う 遊び空間の構造計画

木下洋介 ● 木下洋介構造計画

◎ プロポーザル案と構造のコンセプト

本計画はPFIにより選定された設計・施工・運営チームにより、2020年12月のプロポーザル応募段階から多方面との協働により計画された。構造は意匠設計者から提示された凹凸のある優美な屋根形状に対して、基壇をRC造、曲面屋根はシェル構造とする方針とし、国内有数の木造3次元加工を得意とするメーカーが施工チーム内にいたことから、協議の結果、現代の高度な3次元技術だからこそ可能となる鉄骨造と木造の複合シェルとする方向でプロポ案をまとめた(図1)。

屋根架構は中央架構のみで支持された直径30m強の大空間を架構するため、放射方向の主鉄骨梁と円周方向梁を鉄骨梁とし、さらに曲面屋根のシェル効果を利用するため、鉄骨梁上に配置した放射方向の木造母屋に構造用合板を貼って一体化する。これにより、鉄骨梁のアーチとカテナリーによるショートシェル効果とともに、外周の大きな庇を、帽子のツバのようにロングシェル効果で効率的に跳ね出しをつくる。また、ランドスケープと一体となるよう意図された盛り土からの地反力を凹部では下部のRC造が受け止め、同時に屋根架構からのスラストも負担するよう計画した。

◎ 基本設計での架構構成

プロポーザル選定後の基本設計段階でコスト調整

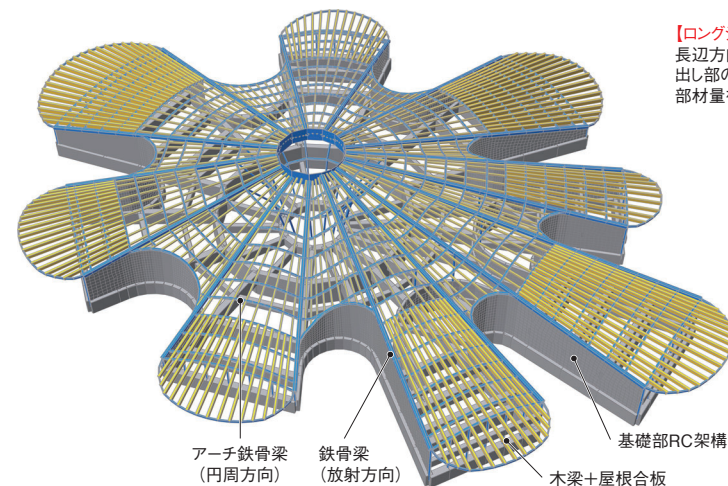


図1 プロポーザル時の架構計画

を含めた設計調整を行い、凹部を室内化し、盛り土地反力の代わりにRC壁の腰壁などを配置した架構案へ調整した。同時に意匠パートで説明のとおり、平面のジオメトリーと屋根形状を合理化して図3に示す最終的な架構案へと調整した。架構スパンと断面の関係では、円周方向のアーチとカテナリーは最大13.3mスパンをH-175×175で、放射方向は最大4.6mスパンの庇の片持ち梁を梁成300mmの木造梁で架構し、シェル効果により鉄骨・木ともに小断面の軸材で構成している(図4)。庇先端には屋根の面内力に対して有効に反力を負担するよう鉄骨3次元アーチ梁を配置して補助している(図5)。

中央架構は木造による曲面的なタワーとし、これに支持される展望台に設けた傘型の屋根により周辺の大屋根を吊り上げる構成としている。

◎ 設計での協働体制

実施設計以降は複雑な屋根形状を施工段階も視野に入れた精密なジオメトリーの定義、3次元モデル、図面作成、応力解析を行うため、デジタルエンジニアリングを得意とする構造設計者であるDIX・

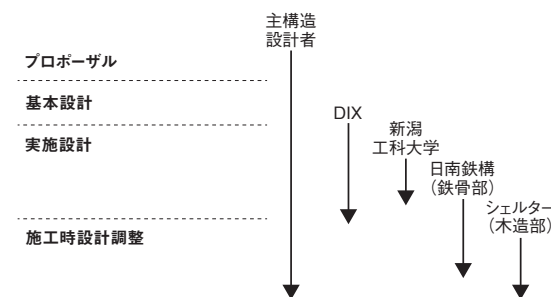


図2 設計各段階での協働体制

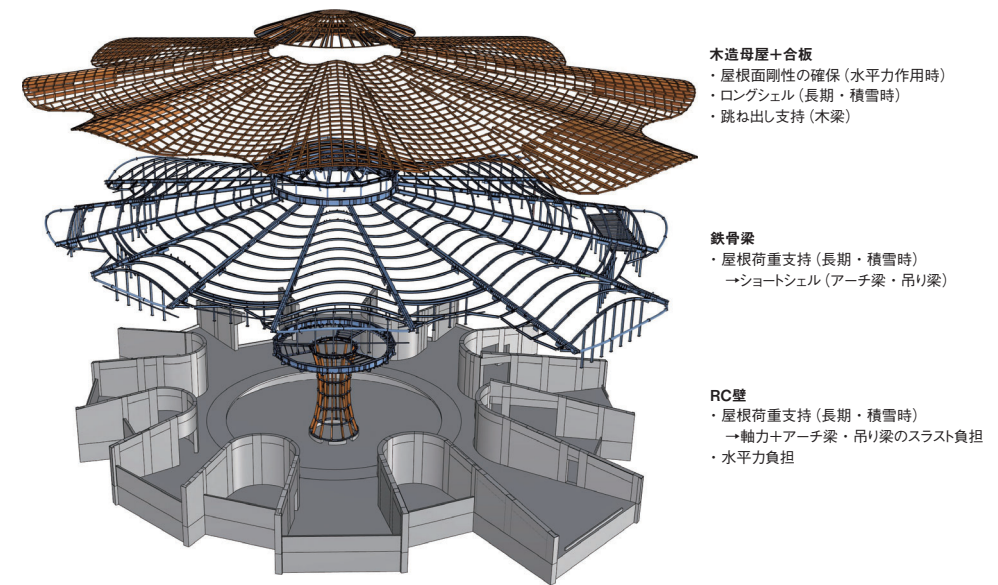
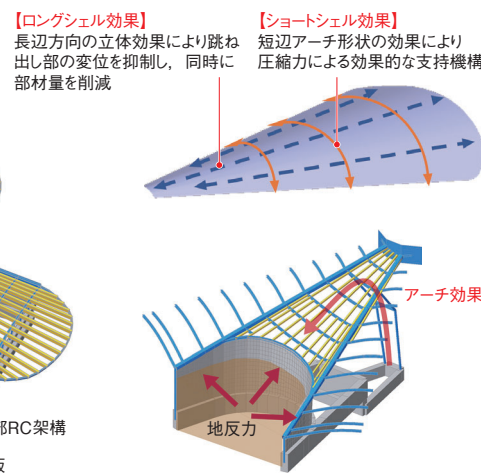


図3 最終的な架構構成

田村尚土氏に協力いただいた。このほか、設計期間と重なったコロナ禍で制限が多くなった一方、一般的になってきていたオンラインを用いた協働をフル活用して、図2に示すような多分野の専門家や施工チームとの連携を活かした設計を行った。結果、単

体の物件の設計に留まらない知見や経験の共有に満ちた設計プロセスとすることができた。

◎ ジオメトリーの検討

屋根面の詳細なジオメトリー検討は8枚ずつからなる凹凸屋根の単位凸面、凹面の形状定義から始まった。平面的に外側に広がる凹凸面の定義方法を大きくは図6に示す二通りとして、凹凸境界部や中央部での周辺部材との取合いを比較検討した結果、円錐面方式とした。また、意匠的に必要となる起伏と、冬期に堆雪できる屋根勾配、製作可能な部材曲率の兼ね合

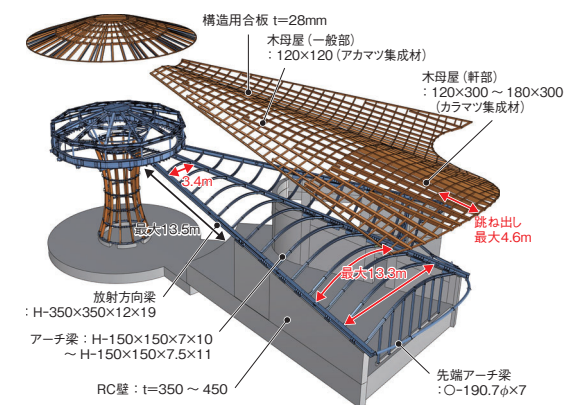


図4 屋根面の構成と部材断面

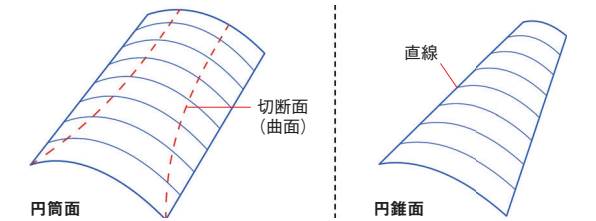


図6 凸面屋根のジオメトリ方針比較

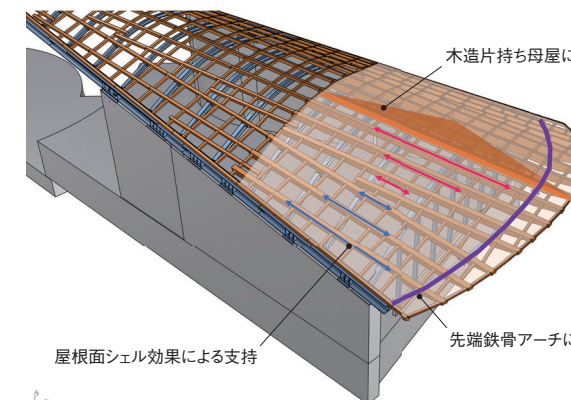


図5 庇の支持方法

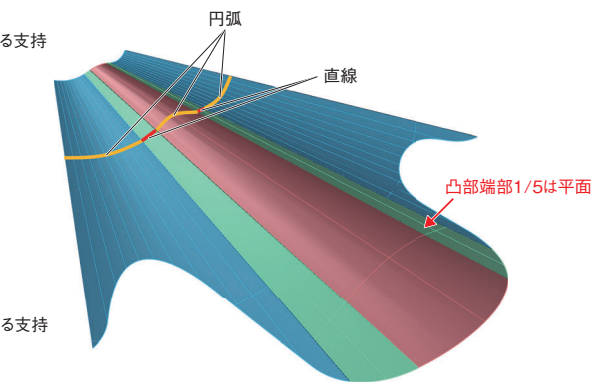


図7 最終的な屋根凹凸面のジオメトリ

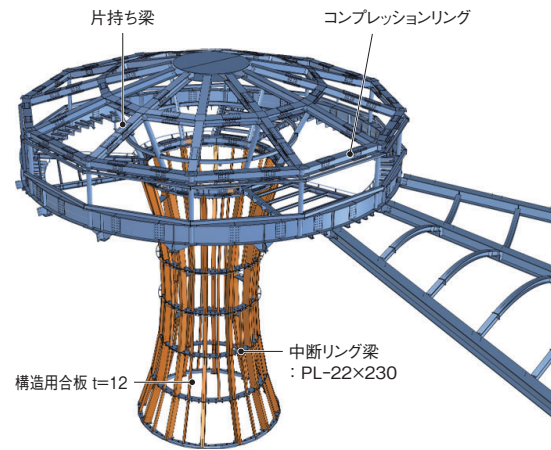


図8 中央架構の構成

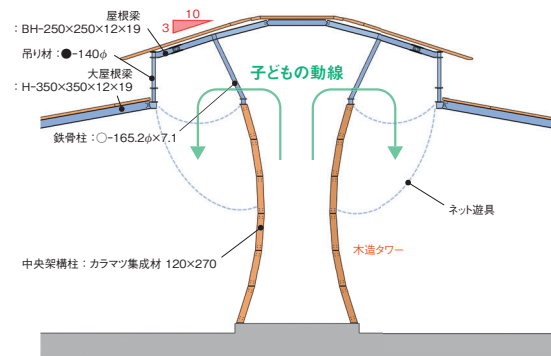


図9 中央架構周辺の断面構成

いより、斜円錐面を基本としてジオメトリーを定義したうえで、凸面のみ屋根仕上げ上で雪が滑りしない経験的な上限値である3.5寸勾配で端部1/5スパンずつを直線とした変形斜円錐面として定義した(図7)。

◎中央架構の設計

中央架構は大屋根を建物中央で支持するタワー状の架構であり、上部の展望台を支持しそこに登る螺旋階段を内蔵する。展望台の眺望を得るため、屋根中央部を持ち上げて横連窓のための段差を設けると同時に、中央架構自体を巨大な遊具として周囲にネット遊具をまわりつかせており、展望台から下部のネットへと連続した空中スペースをつくるため、大屋根と中央架構は不連続となる(図9)。この状態で中央架構により大屋根を支持するため、タワー上部の傘型の屋根を四周に跳ね出し、大屋根を吊り材で吊り上げている。また、傘型屋根は外周3寸勾配とすることにより、放射方向の片持ち梁の応力を軸力主体とし、曲げ応力を2割程度に低減しており、この際、傘型屋根外周梁をコンプレッションリングとして効かせている(図8)。

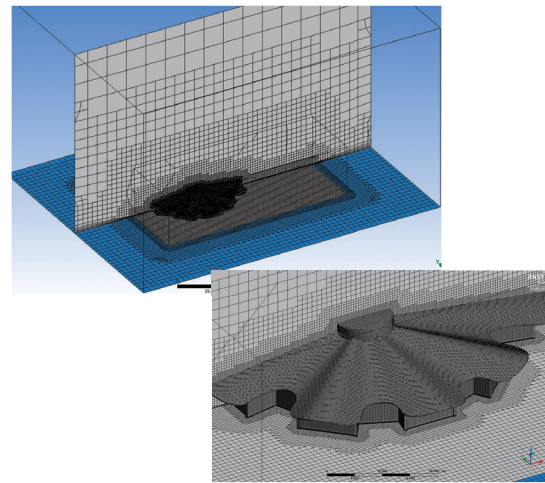


図10 風圧・積雪検討用CFD解析モデル

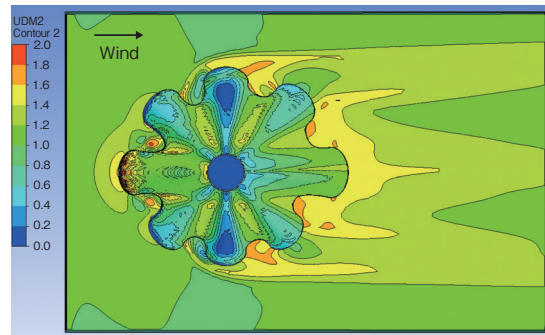


図11 屋根積雪深のシミュレーション例

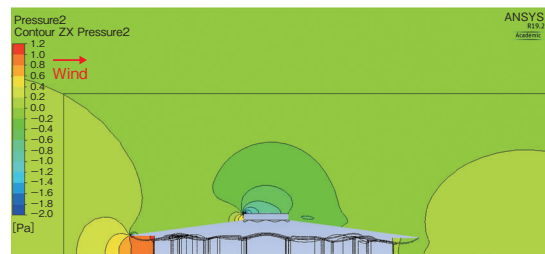


図12 風圧シミュレーション例

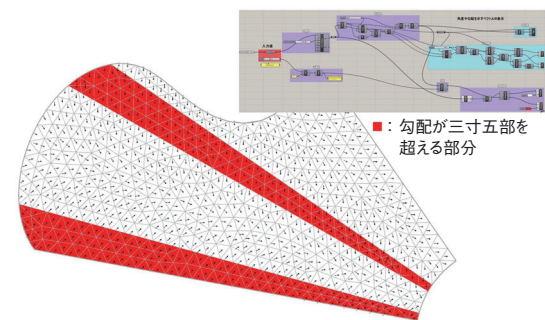


図13 屋根勾配判定プログラムによる堆雪性の検討

中央架構下部の木造部は意匠上求められた鼓型の双曲面形状に対し、双曲面に沿った斜め柱を配置するなどの案と比較検討の結果、角度を変えた6段の

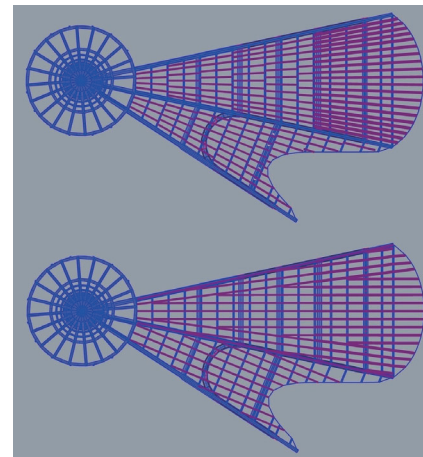


図14 木造母屋の配置検討(上:初期案,下:最終案)

木造柱を中間5段の鉄骨FBリングでかしめる構造とした。

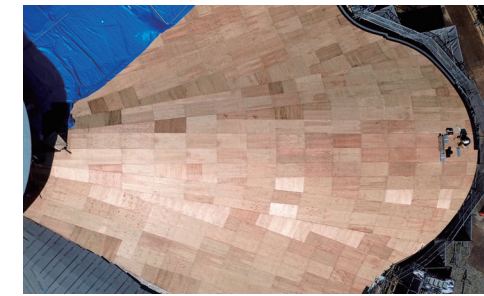
◎積雪・風圧に対する設計

建設地は多雪地域であり、複雑な屋根形状に対する積雪状況の予測や、屋根面に作用する風圧の把握が困難である。そこで、流体解析を専門とし雪氷のシミュレーションにも詳しい新潟工科大学、風・流体工学研究センターの富永禎秀教授に協力いただき、敷地周辺で観測された2種類の卓越風と、数段階の風速を想定してCFD解析によりシミュレーションを行った。これにより把握した各条件下での屋根面の風圧係数と、地上積雪に対する屋根面各部の積雪深の傾向から、特定の条件下で設計荷重を大きく上まわる可能性がある庇先端や凹部の部位については安全を見込んで部材断面を決定するなどして設計に反映した(図10~12)。

◎施工性を見据えた検討

複雑な屋根形状を線材により構成するため、部材配置のパターンにより、施工性は大きく異なってくる。そこで設計時よりDIX・田村氏に協力いただき曲面上での部材配置パターンによる施工性や材料の歩留まりを検討して設計に反映した。検討例を二つ示す。

一つ目は図14に示す木造母屋の配置である。斜円錐面を基本とする屋根形状には当初、放射状配置から検討を始めたが、屋根中央に寄るほど部材間隔が密になり、母屋同士も平行でないため、上部に貼る構造用合板は複雑な切断が必要となる。そこで曲面に対する母屋の平行配置を検討、合板歩留まりのシミュレーションも行った結果、現場で多くの合板



①屋根面の構造用合板の施工状況

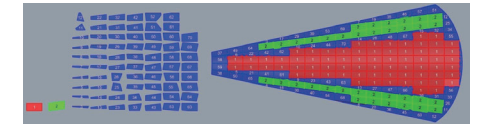


図15 構造用合板の割付シミュレーション



②庇先端鉄骨梁の製作状況(曲げ加工した三つの材の接続)

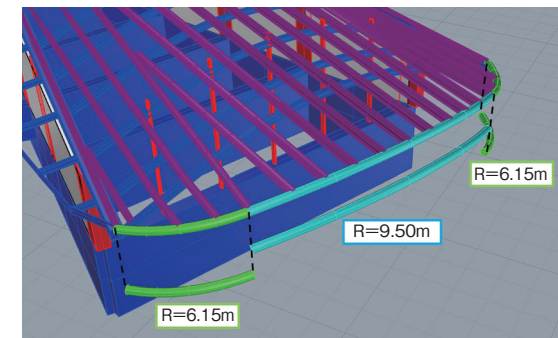


図16 庇先端鉄骨梁(φ190.7x7)の形状調整

を切断なしで貼ることができ、作業と材量の効率化を図れた。

二つ目に庇先端の鉄骨パイプ梁は変形斜円錐面に対する平面上の円弧切断線のため曲率が連続的に変化する。製作が困難であるため、これに近似する3円弧からなる近似線をプログラムにより導出し、鉄骨の部材形状に反映した。

多くのプロフェッショナルの皆さんにご協力いただき本建物が実現した。私にとってもとても楽しく学びの多い設計・施工プロセスであった。誌面を借りて感謝申し上げたい。(きのした ようすけ)