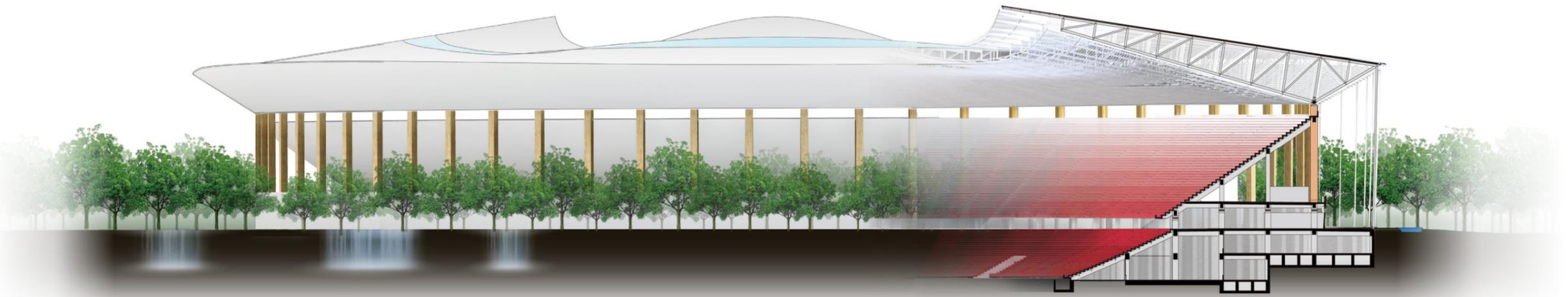


シンプル・優美・合理性を合わせ持った架構により、日本らしく美しい安心安全なスタジアムを創ります

屋根を含む構造計画

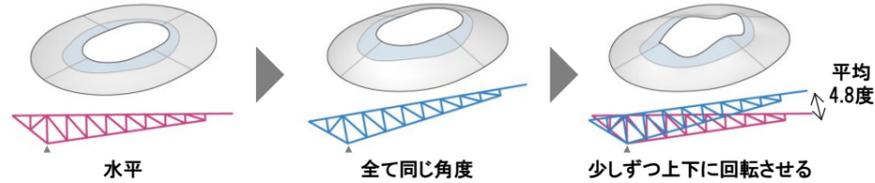


基本方針 シンプルな構造計画と伝統・最新技術の融合により、日本が世界に誇れるスタジアムを創ります

1 屋根 シンプルな鉄骨天秤トラス群が生み出す優美な大屋根

シンプル・合理性を合わせ持った日本らしい優美な屋根

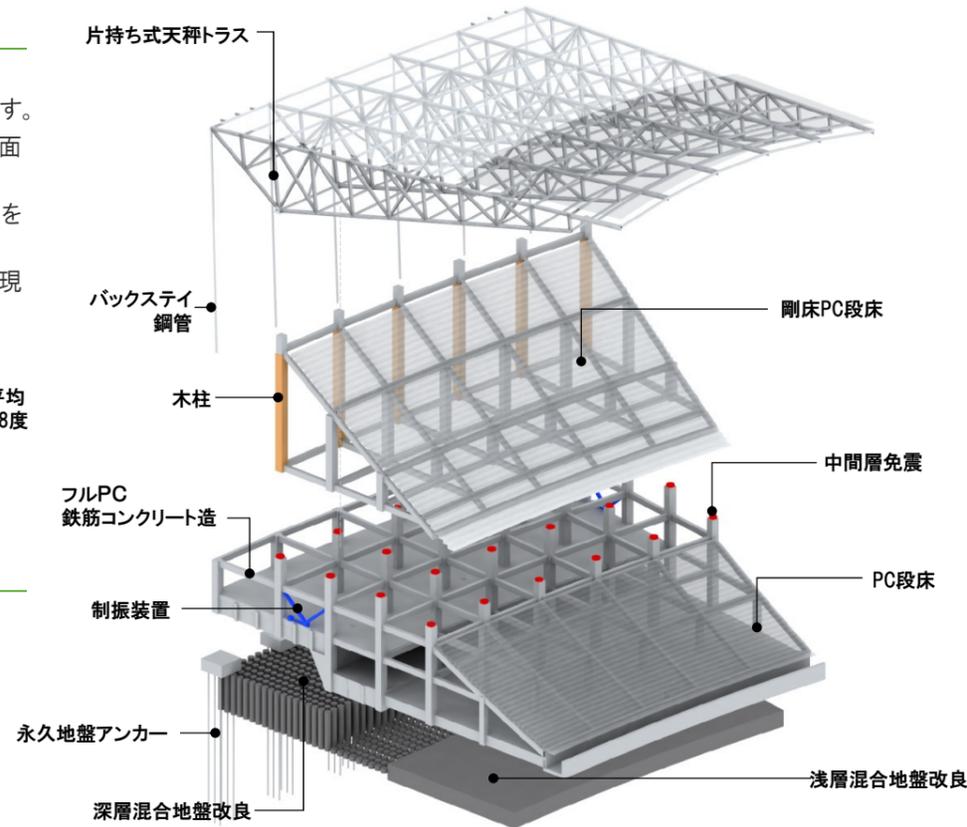
- 片持ち式天秤トラスを基本構造とし、72列の天秤トラスをリング状に連続して配置します。
- 同一形状の天秤トラスを少しずつ上下に回転させるだけで、ゆらぎのある優美な曲面を創造します。
- 円周状に配置される3列のリングトラスにより、72列の基本構造を束ねて、屋根面を強固に一体化しています。
- 構造の徹底した単純化と合理化により、施工性、経済性に優れた大屋根架構を実現します。



3 木の柱 斬新な架構が生み出す古代の力強さを持った木の黒柱

神宮の柱と一体となったスタジアムの実現

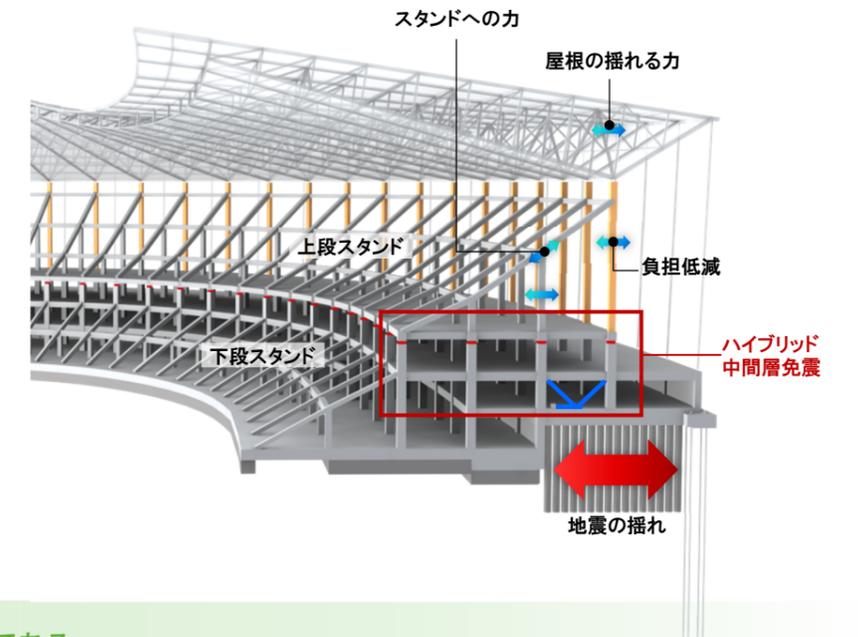
- 1000年にわたり日本建築を支えてきた木を使い、優美なコンコースを生み出します。
- 最新技術の耐火木造「燃エンウッド®」を用いて、火に強く人にやさしい木柱を実現します。
- 2重の耐久層により、強く丈夫で長持ちする大黒柱となります。



2 免震 ハイブリッド中間層免震が可能にする安心安全で開放的なスタンド

観客を揺れから守る安心安全な架構システム

- 上・下段スタンドの間に免震層と下段スタンドに制振装置を設けた新しい構造「ハイブリッド中間層免震」により安全な観戦環境を提供します。
- 強度・剛性を高めた段床からなるボウル(観客席)構造に地震力を負担させることで、柱梁をスリム化し、広く開放的なコンコースを創り上げます。
- 揺れにくい鉄筋コンクリートの架構で、観客が安心して楽しめる空間を提供します。



安心安全 安心と安全を生み出す確かな構造計画

伝統技術と最新技術の融合により高水準の安心安全を提供します

- 大型台風や大雪などの自然災害にも、最新の知見と技術で屋根の安全を確保します。
- ハイブリッド中間層免震が地震からスタジアムを守り、安心安全な施設を生み出します。
- 支持地盤や地下水位の深さを十分に把握し、強固で安心できる基礎を構築します。
- 木造建築の維持管理と新しいモニタリング手法により、安心して永く親しめる木柱を提供します。

工期・コスト 最大のニーズである短工期、コスト縮減を図る豊富な技術

シンプルで作りやすい合理的な架構システムでニーズに応えます

- シンプルな形のトラスを同じリズムで美しく連ね、モノづくりし易い架構が早さと安さを生み出します。
- ハイブリッド中間層免震は、地震時のスタンドの揺れを小さくし、屋根もスタンドもスリムな躯体を実現します。
- スタンドのPC化により、技能労働者不足の解消と短工期を可能にします。
- 敷地の形状に合わせた基礎地業計画が、排出土を最小限に抑え、環境にやさしく工期を短縮します。

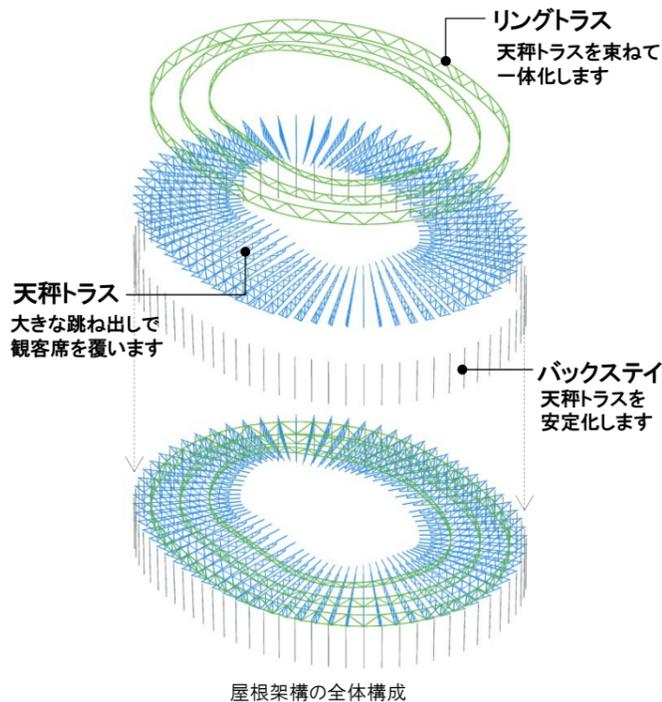
最新の解析技術により「新しい伝統」にふさわしいスタジアムを創ります

屋根を含む構造計画

1 シンプルな屋根構造 3つの要素からなる優美な屋根

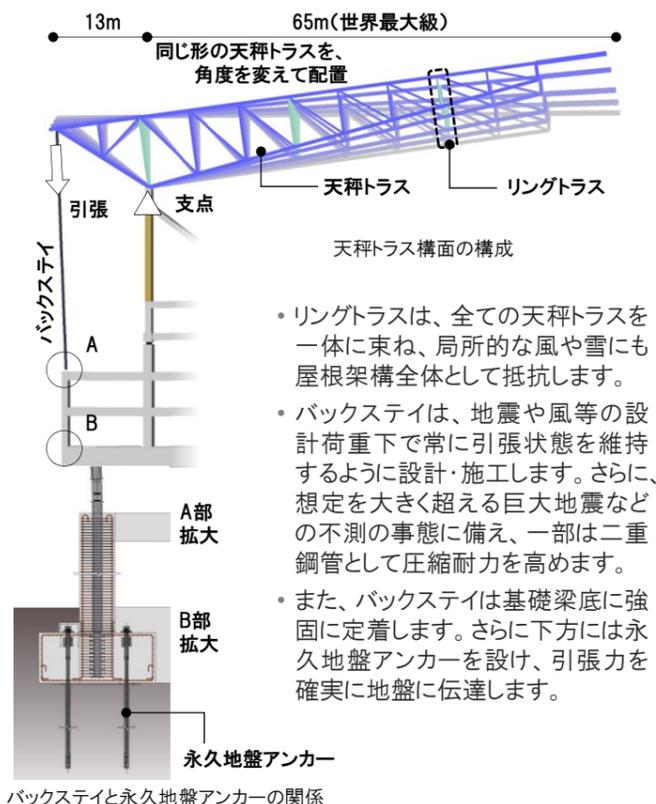
① 屋根架構の構成

- 天秤トラス・リングトラス・バックステイの3つの要素で、全体の屋根架構を構成します。
- このシンプルさがそのまま力の流れの明快さに繋がり、地震や風に対して強い構造となります。
- 72列ある天秤トラスは全て同じ形状とし、工場での製作や現場での地組を効率化します。これらを少しずつ角度を変えながら配置し、曲面屋根を経済的に構築します。



② 屋根を支える力の流れ

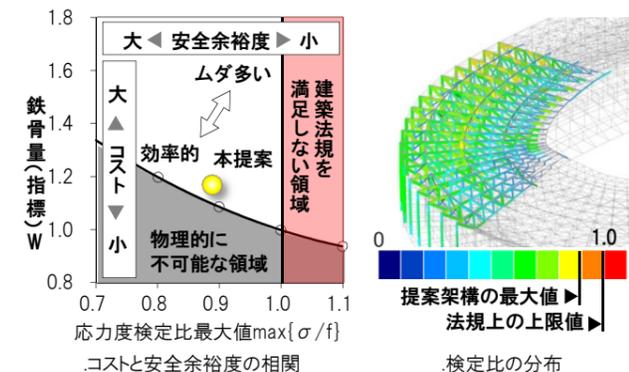
- 天秤トラスは、スタンド最上段を支点に回転しようとする動きを後部のバックステイが引き留めることで安定し釣り合っています。
- 世界最大級となる65mの跳ね出しで、将来の観客席増設も含め全観客席を覆います。



2 屋根断面の最適化設計

安全性と経済性のバランスのとれた断面設計

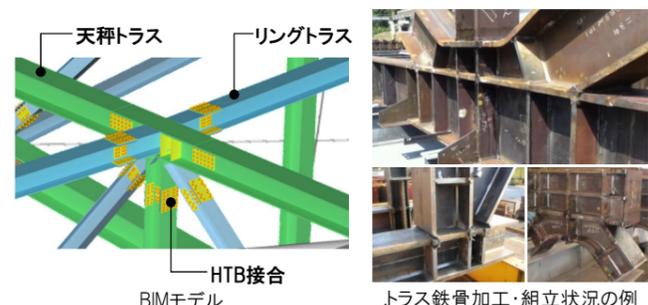
- 自社開発の最適設計ソフトウェアを用いてコストと安全余裕度の相関(下図左)を明らかにした上で、総合的なバランスに優れた断面を設計します。
- 本提案の屋根構造では、地震や風に対する各種要求水準を10%以上の余裕をもって満足する最適解をベースとして、鉄骨部材断面を設定しています。(下図右) ▶37/45



3 生産性向上に配慮した鉄骨製作

設計・製作の統合がもたらす高効率生産

- 主たる鉄骨の天秤トラスやリングトラスは溶接接合として、高い強度と靱性を確保します。その他の部材は高力ボルト接合として、鉄骨製作・建方の効率を高めます。
- 鉄骨の9割以上(重量比)に調達・製作が容易なH形の鋼材を用い、コスト・工期を最小限に抑えます。
- 全体の架構形状から鉄骨部材、接合部、錆止め塗装の仕様、仕上げ材との取り合いに至るまで、あらゆる情報をBIMモデルに集約し、設計から製作まで高効率生産を実現します。



4 ハイブリッド中間層免震スタジアム

地震力を最大限抑える安心安全なハイブリッド中間層免震スタジアム

中間層免震と制振を組み合わせ、下層から上層まで、建物全体の揺れを小さく抑えた新たな構造です。

① 防災拠点としての安全性確保

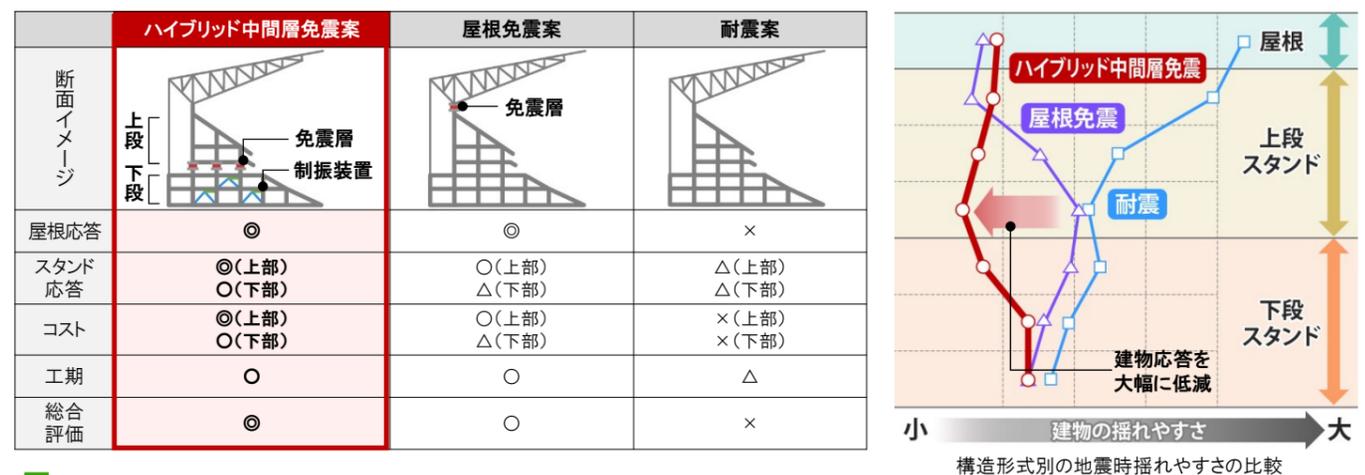
- 中間層免震により、屋根とVVIP室を含む上段スタンドは、地震の揺れが大幅に低減されます。
- 下段スタンドは、上段スタンドの免震化による制振効果に加え、制振装置の付加により、地震時の揺れが大幅に低減されます。

② ハイブリッド中間層免震のメリット

- 地震の揺れを抑えることで観客の不安を取り除き、防災拠点としての安全な避難施設になります。
- 基礎免震に比べ、掘削土の低減や工期短縮が可能です。また、屋根免震よりさらにスタンド躯体数量の縮減を図れます。

③ 最適な免震、制振装置の採用 ▶37/45

- 主要な免震装置は、地震や台風後の残留変形が小さく、省スペースでの設置が可能な鉛入り積層ゴム(LRB)を採用します。
- 主要な制振装置は変形量の少ない下部構造でも有効に性能を発揮するよう、エネルギー吸収効果のある回転質量系ダンパーを採用します。



5 合理的な架構計画

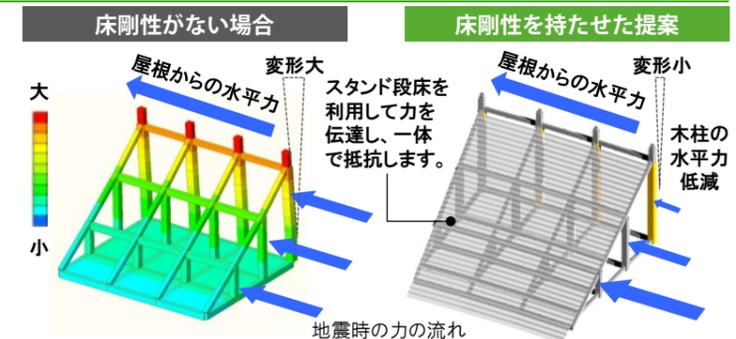
力の流れをコントロールする合理的な架構計画

① スタンド架構を一体化させる剛床PC段床

- 上段スタンドは段床同士を強固に接合し、面内剛性を確保することで、外周部の水平力を内部柱へ伝達します。

② 鉛直力と水平力の分離による適材適所の設計

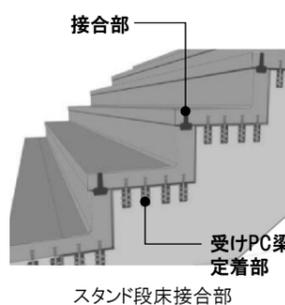
- 外周の木柱に軸力のみを負担させる力の流れを作り、水平力はRC柱が負担します。
- 木柱は、断面の力強さと表情の柔らかさで景観にも配慮します。



6 地震に強いスタンド段床

梁と一体化した強固なPC段床

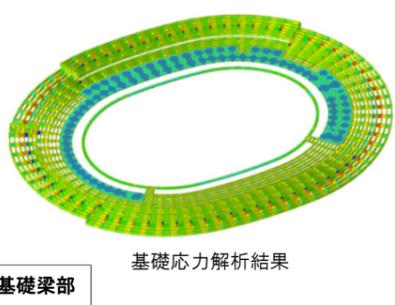
- 段床はPC鋼線でプレストレス力を導入した揺れにくいスラブです。
- プレストレス力の導入により、大スパンを実現する軽量なスラブとなります。
- 梁と段床が一体化することで、上下の揺れにも地震にも強いスタンドを実現します。



7 無駄のない基礎計画

ミニマムな設備機能と融合した基礎計画

- 設備水槽ピットの容量と配置に合わせた無駄のない基礎梁形式とマットスラブを併用します。
- マットスラブ化により、掘削排出土を大幅に低減しています。



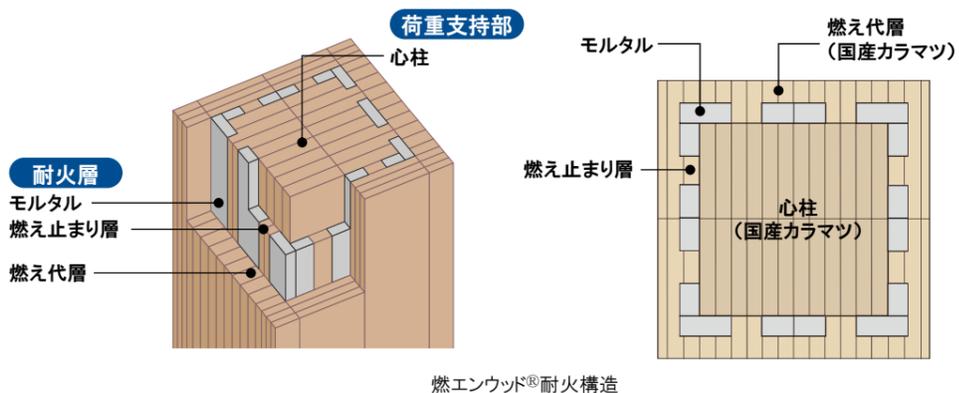
「新しい伝統」を純国産カラマツ材の木柱で創ります

屋根を含む構造計画

1 燃エンウッド® 構造性能、耐火性能などに優れた実用性の高い耐火木造「燃エンウッド®」を提案します

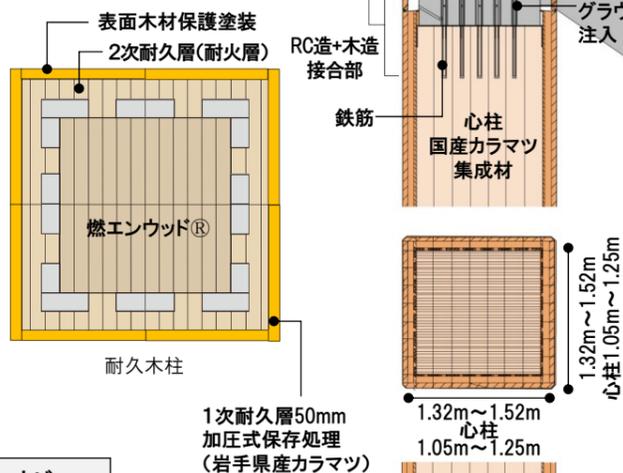
① 火災に耐える※（耐火性）

- 燃エンウッド®は、JASで定められた構造用集成材に耐火性能を有する耐火被覆層（燃え代層および燃え止まり層で構成）を外周に設けた耐火集成材です。
- 使用する建築用集成材は、日本固有種のカラマツ材を使用します。



② 屋外での使用に耐える（耐候性・耐久性）

- 1次耐久層には、東日本大震災復興地域のカラマツ材を使用します。
- 1次耐久層の表面には、防腐・防蟻性能に優れた加圧式保存処理木材に紫外線劣化などを防止する木材保護塗装を施すことで高い耐久性を確保します。
- 集成材暴露試験による健全性・劣化データなどに基づき、耐候性確保に十分な1次耐久層厚さを確保します。表面の割れは定期的補修により進行を抑制します。
- 木柱は、1000年の風雪に耐える伝統木造建築の様式を踏襲した、屋根の深い庇により日常の風雨や直射日光から守ります。
- 木材の劣化に大きな影響を与える水に対しては、2重の排水機構で心柱への侵入を防止するとともに速やかに排水します。



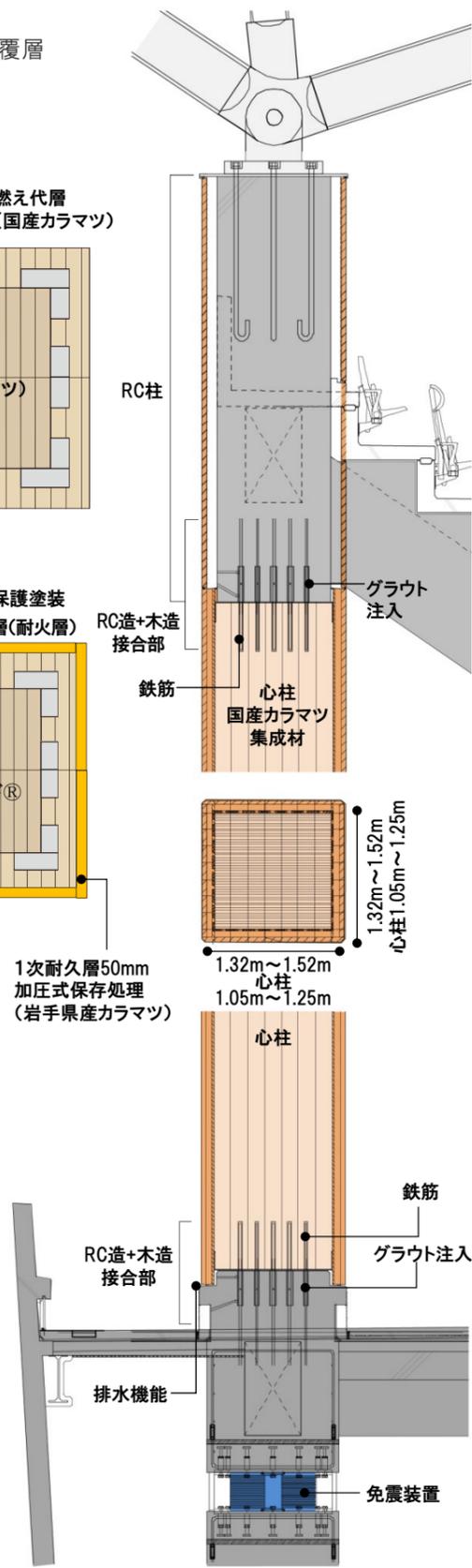
劣化現象	腐朽	蟻害	ウェザリング	カビ
劣化原因	木材腐朽菌	イエシロアリ等	太陽光・風雨等	菌類
劣化現象	栄養・気温 水分・酸素	木材の摂食	光分解等 100年で数ミリ	寄生して繁殖
対策	殺菌	薬液注入 薬剤散布	表面保護塗装	防カビ剤
本提案 採用処理	加圧式保存処理 浸入水の排出機構		木材保護塗装 (5年ごと)	

木材の劣化要因と対策

③ 大屋根の荷重に耐える（安全性）

- 心柱の外側に2つの耐久層を施し、100年以上の構造安全性を実現します。
- 柱頭柱脚の接合部は構造実験により安全性を検証します。
- 木柱に生じるクリープ変形に対しては、大きな荷重が作用する大断面木造建築の実績等の知見を用い、屋根とスタンドの構造安全性を検証します。
- 木柱の健全性は、維持保全計画に基づいた点検とともに同断面同環境の木柱モニタリングを行い、健全性を確認します。

※燃エンウッド® 国土交通省大臣認定1時間耐火認定材

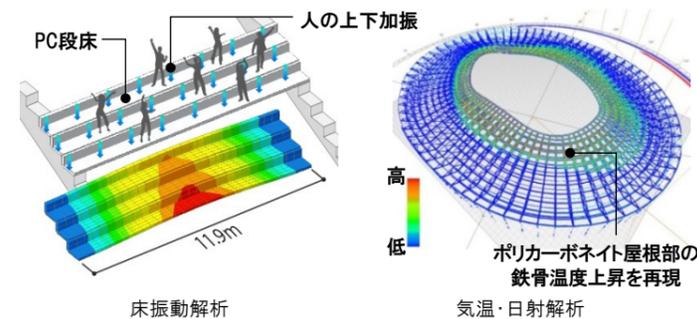


最先端技術で安全を確認し、環境に配慮します

屋根を含む構造計画

2 多角的な構造解析 緻密な解析を行い、長期にわたって安心安全を確保します

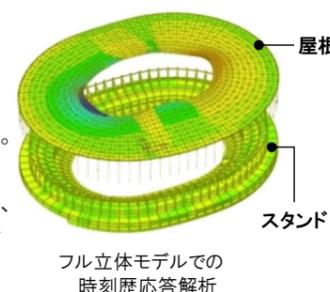
- 常時に構造体に生じる力や変形を許容値以内に抑え、長期の安全性・使用性を確保します。
- 施工手順により変動する力や変形も設計に考慮します。
- スタジアム設計・施工のノウハウに基づいた床振動解析や加振実験を実施し、振動を最小限に抑える強固なスタンド段床を実現します。
- 四季の気温や日射による鉄骨の伸縮は、屋根のうねりで吸収します。また、設計温度荷重は、気温・日射解析により実状にあった値を設定します。



3 災害への備え 様々な災害・状況に対しても構造体の安全性を確保し、人命を守ります

① 地震に対する備え

- ハイブリッド中間層免震により、上部スタンドや屋根に伝わる地震力を低減し、要求水準よりワンランク上の安全性を確保します。
- スタンドと屋根が一体となったフル立体モデルを用いて時刻歴応答解析を行い、高いレベルで構造安全性を確保します。
- 屋根面に局部的・瞬間的に生じる力や変形を適切に評価し、屋根から吊られるキャットウォークや照明の脱落などを未然に防ぎます。

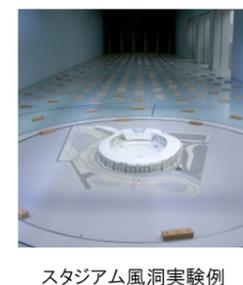


② 雪に対する備え

- 大雪の際は、雪止めなどにより屋根からの落雪を防ぎ、利用者の安全を確保します。「落とさず溜めて耐える」を基本とします。
- 積雪後の降雨で雪の比重が重くなることを考慮した積雪荷重を設定します。局所的な雪だまりが生じる可能性のある箇所は適切に補強します。

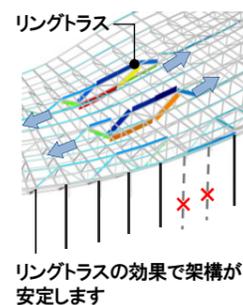
③ 風に対する備え

- 過去の豊富なスタジアム設計・施工経験に基き、信頼性の高い適切な風圧力を設定した上で屋根構造の検討を行っています。設計段階では風洞実験を行って風圧力を精査します。
- 吹上げ・吹き下ろしなどの風圧力には、リングトラスの立体効果により安定した架構とします。



④ 不測の事態に対する備え

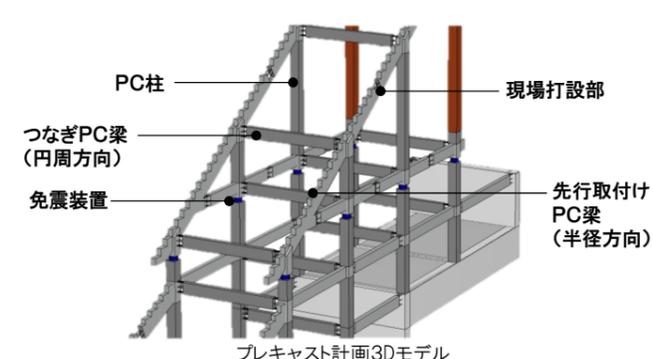
- 設計用地震動(極めて稀に起こる地震動)の1.5倍に相当する大地震に対しても、スタンド・屋根架構の安全性を確認し、人命の確保を図ります。
- 一部のバックステイが破断するような、不測の事態でも、全体としての安定性を維持するよう設計します。



4 合理的なRC造スタンド

短工期、コスト削減を実現するPC化

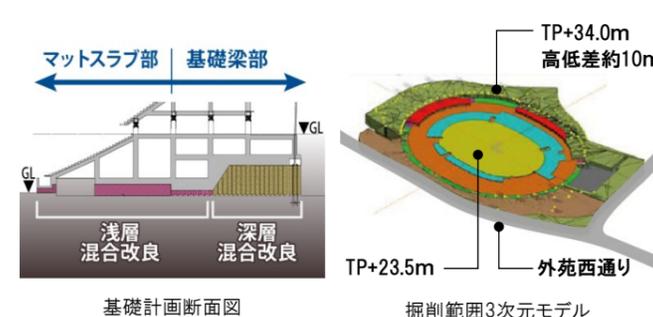
- 多くのスタジアム設計施工実績に基づき、地上の架構の大部分を最適な工業化(PC化)計画とします。
- PC段床の受け梁となる半径方向の梁を先行して取り付け、コンクリートの現場での打設箇所数を減らし、合理的に全工期の短縮を実現する計画としています。



5 地下躯体の最小化

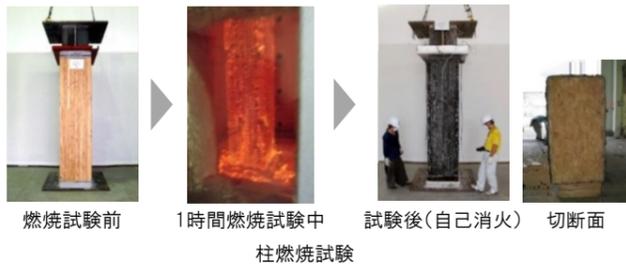
掘削・搬出量を徹底して抑えた地球環境への配慮

- 高低差のある敷地形状にあわせて、掘削に必要な土量を最小限に抑え、高い地下水位にも配慮した設計とします。
- 現況の地盤面を3次元CADによりモデル化し、掘削底深さを把握しながら最小限の残土排出量を追及します。
- 支持層までの地盤改良と直接基礎により、安定して安全性の高い基礎計画としています。



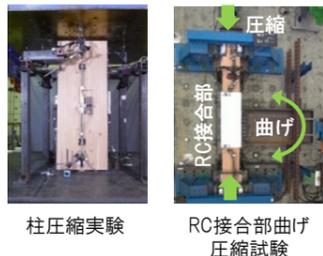
1 使用状態を想定した耐火性能を検証

- 「燃エンウッド®」は、構造用集成材からなる心柱に耐火層を設けることで、火災を受けても自己消火して建物荷重を支持できる耐火性能に優れた技術です。
- 鉄筋コンクリートや鉄骨との接合部、経年使用などで生じる割れ、表面の塗装やビス止めなどの耐火性能に関する多く課題を、第三者試験機関立会いの燃焼試験により確認した実用性かつ信頼性の高い技術です。



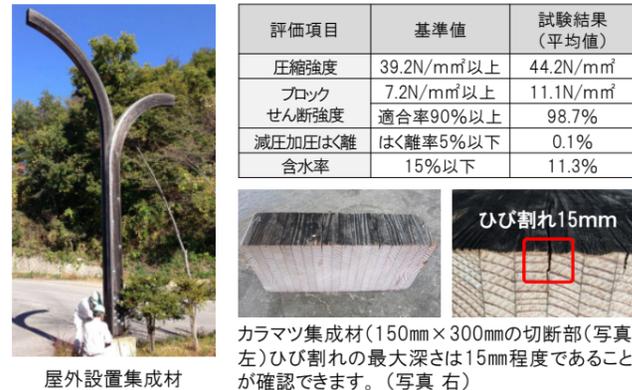
2 燃エンウッド®の構造性能の検証

- 燃エンウッド®は構造心柱の外周に耐久層（兼耐火層）が取り付く構造であるため、その耐力、変形性能などを実験により確認し、設計に適切に反映しています。



3 カラマツ集成材15年曝露調査結果

- 15年間屋外に設置した集成材（サイズ150mm×300mm）を解体し、材料の品質調査を行いました。部材内部は健全な状態であり、耐久層を確保することで、健全性を保持できることを確認しています。
- 材料仕様：カラマツ構造用集成材（等級 E105-F300）ラミナ厚15mm、レゾルシノール樹脂接着剤使用、工場出荷時木材保護塗装以降メンテナンス無し



4 従来建築と同程度の維持管理コストを実現する予防保全と、心柱の構造安全性の確保

① 維持保全の基本方針

- 木造は、予防保全が耐久性や修繕費用の削減に効果があります。本計画では「心柱（構造材）」を供用期間にわたってウエザリング、微生物や虫害による劣化を受けない維持保全を実施します。
- 維持保全については、1次耐久層で食い止める点検と補修を基本とし、心柱から外側の劣化部分のみの補修を行うことで心柱への補修を未然に防ぎます。

- 竣工後の点検は、日常点検、5年毎の定期点検、地震や暴風を受けたあとの臨時点検を実施します。
- レジストグラフによる測定例：特殊合金ドリルを木材に貫入させ、ドリル内部抵抗を波形グラフとして劣化部分を検出します。



レジストグラフの測定状況

	想定される劣化	保全対策案（5年毎の定期点検および臨時点検）
1次耐久層	紫外線、干割れ等による表面劣化 割れ、表面からの雨水の浸入等による耐久性低下	木材保護塗装の実施 幅2mm以上もしくは深さ15mm以上の割れ部分の補修
2次耐久層	1次耐久層を貫通する亀裂からの雨水の浸入等による劣化	1次耐久層で深さ30mmを超える劣化が確認された部位より深部の劣化を診断 2次耐久層に達する劣化が確認された場合の補修実施
柱頭・柱脚接合部	水の滞留による劣化	排水孔からの水流出が確認された場合の劣化診断 劣化が確認された場合の補修実施

② 健全性の長期モニタリング

- 計画と同断面形状の実物大の柱を敷地内に設置し、長期モニタリングを行います。試験片は5年毎に切り出し劣化を定量的に診断し、維持保全計画に反映します。

③ 汚損やいたずらへの対応

- 木の柱表面への落書きなどのいたずらについては、汚れを除去して表面保護塗装を提案します。

④ 保全技術

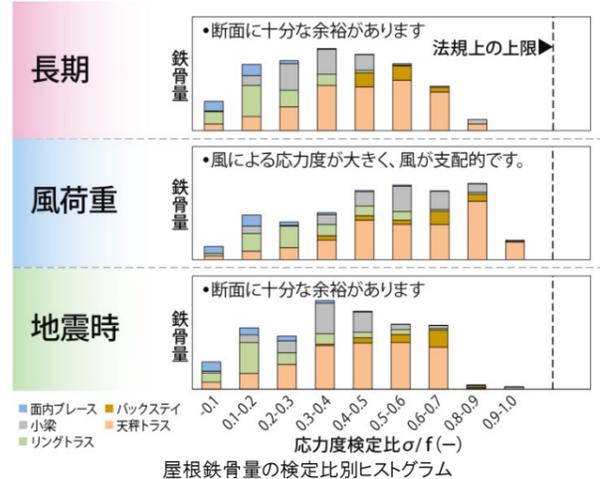
- 1次耐久層のひび割れは、耐火性能確認済みの補修用人工木材等で補修します。2次耐久層を含む補修は、補修箇所大きさに応じて補修用人工木材もしくは保護層を部分的に取り替える燃エンウッド®表層補修技術により実施します。



補修試験状況

1 鉄骨量のヒストグラムを用いて最適な数量を算出

- 屋根架構を設計する際、地震や風に対する要求水準を満足するだけでなく、どのような荷重状態が設計断面を決定するかに着目し、合理的な設計を実現します。

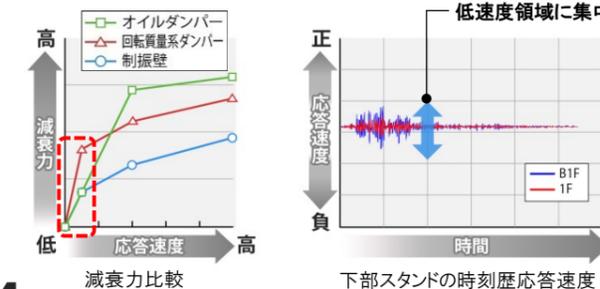


- 通常スタジアム屋根の場合、規模が大きくなるほど、地震荷重の影響が大きくなり、鉄骨数量に支配的な力となります。本提案では、中間層免震の採用により、地震の影響が減り、風が支配的であることがわかります。この分析を精査し、最適な構造設計に生かします。

3 最適な免震装置と制振装置の選択

① 下部スタンド制振デバイスのケーススタディ

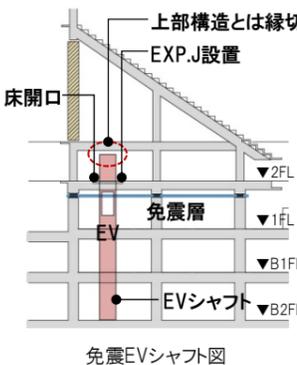
- 下部スタンドに最適な制振デバイスを選定するために、時刻歴応答解析を実施しました。下部スタンドでは応答速度が低速度領域に集中することから回転質量系ダンパーが最適であることを確認しています。



4 免震エレベーターへの対応

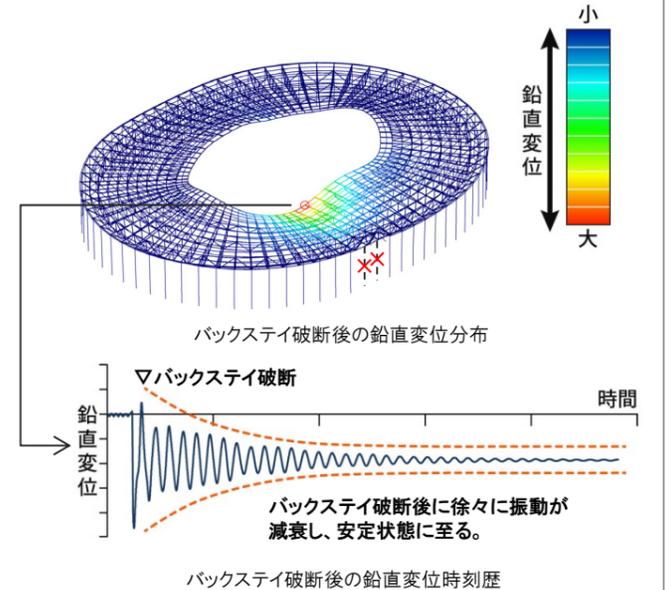
下部構造からの自立フレーム方式の採用

- 免震層を通過するエレベーターでは、下部構造から自立フレームを立ち上げます。
- その上で、上部構造との間に適切なクリアランスを設けるシンプルな納まりとしています。（屋根部に着床する一部のエレベーターでは、レール支持スパンを広げ可撓性を高める方式を採用します。）



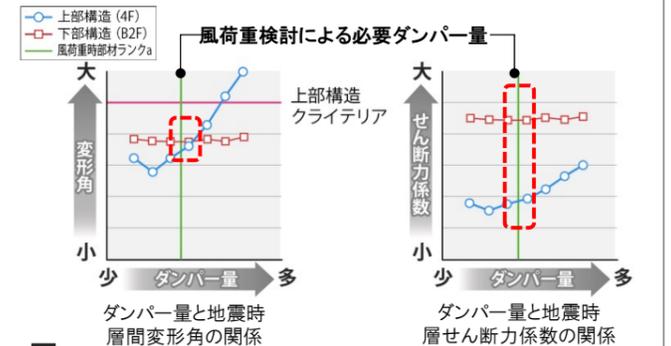
2 バックステイ破断時の衝撃解析による架構安定性の確認

- 通常では起こりませんが、突然のバックステイ破断時に天秤トラスの釣り合いが一部崩れても屋根全体が崩壊に至らないことを、衝撃力を考慮した動的非線形解析によって検証済みです。



② 免震層における最適ダンパー量のケーススタディ

- ダンパー量をパラメーターにして時刻歴応答解析を実施し、本計画に最適なダンパー量を確認します。



5 永久地盤アンカー

バックステイの力を安定的に地盤に伝達

- バックステイに生じる引き抜き力に対して、支持層よりさらに固い地盤に定着した永久地盤アンカーを配置することで、安全に処理する計画とします。

