

2025年大阪・関西万博パビリオン・施設の安全審査と構造デザイン

Safety review and structural design of the 2025 Osaka-Kansai Expo Pavilions and Facilities

宮本 裕司*1

1. はじめに

2025年大阪・関西万博は「いのち輝く未来社会のデザイン」をテーマにして、世界各国の多彩なパビリオンやイベントが集まり、日本国内のみならず世界中の多くの人々を惹きつけている。1970年の大阪万博では「人類の進歩と調和」をテーマに開催され、当時の最先端技術を結集したパビリオンが数多く建設された。その中で、日本の高度経済成長期のシンボルとして「太陽の塔」が現在もレガシーとして残っている。

それから55年。社会情勢も時代背景も大きく変わり、2025年万博の会場のシンボルとして、伝統木造の構法を用いた世界最大級の本造建築「大屋根リング」が注目されている。また、環境負荷低減と資源循環に配慮し、新たな建築材料を用いた未来の建築を予感させる挑戦的なパビリオン・施設も数多く建設されている。さらに、会場が大阪・千里丘陵から大阪湾の人工島・夢洲へと移り、近年、日本が自然災害による甚大な被害を経験してきたことで、敷地条件や地震・強風への構造的な対策が施されている。

本稿では、(一財)日本建築総合試験所(GBRC)において実施したパビリオン・施設の構造安全審査と、本誌に掲載される代表的な7つのパビリオン・施設の構造的な特徴について記す。

2. 構造安全審査小委員会の設置

2025年日本国際博覧会の施設建物の審査を適正、かつ迅速に行うことを目的とし、GBRCの建築構造性能評価委員会(委員長:宮本裕司)の下部に大阪・関西万博施設安全審査小委員会(委員長:宮本裕司)を設置し

た。建築構造性能評価委員会は月2回の定例開催であるが、小委員会は随時開催とし迅速な対応を行った。大阪市とも連携し、仮設許可申請がスムーズに進むようにスケジュール等を共有した。

また、実験等を踏まえて設計を行った施設も多く、実験段階からの事前相談を行い、審査時に手戻りがないように努めた。

3. 構造安全審査の方針

仮設建築物(博覧会)に対しては、建築基準法(以下、「法」と略記)第85条第6項、7項および同法施行令(以下、「令」と略記)第147条第1項に基づき、規定の一部が適用除外される。構造関係であれば、図-1に示す範

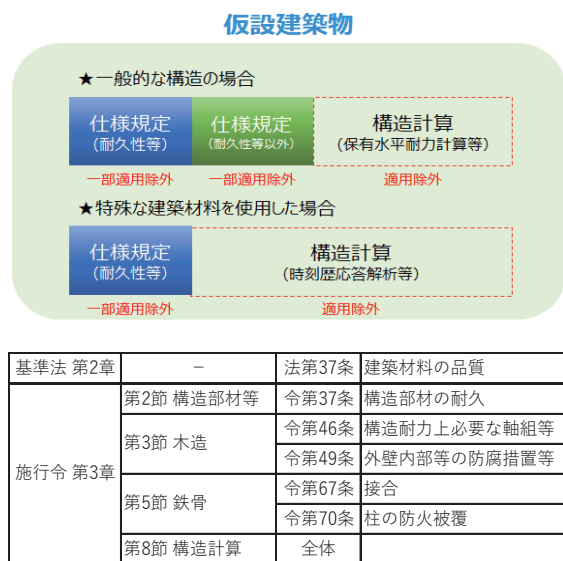


図-1 仮設建築物(博覧会)に対する構造関係の適用除外

*1 MIYAMOTO Yuji: (一財)日本建築総合試験所 大阪・関西万博施設安全審査小委員会 委員長
福井工業大学工学部 学部長・主任教授、大阪大学 名誉教授

-4のようにまとめられる。2004年、2015年の荷重指針による設計用再現期間 t_R 年の再現期間換算係数 k_{RW} は、(4)式に示す500年期待値 U_{500} と基本風速 U_0 ($=100$ 年期待値 U_{100})の比 λ_U を用いて、(5)式となる。

$$\lambda_U = \frac{U_{500}}{U_0} \quad (4)$$

$$k_{RW} = 0.63(\lambda_U - 1)\ln t_R - 2.9\lambda_U + 3.9 \quad (5)$$

再現期間が短い場合を安全側に評価するため、荷重指針のデータを用い、 $\lambda_U = U_{500}/U_0 = U_{500}/U_{100} = 39/35 = 1.114$ として外挿し、使用期間2年の設計風速は、20.5年(レベル2)で31m/s、2.5年(レベル1)で26m/sとした。ただし、台風等によって設計荷重を超える風荷重に対しては、対処措置をあらかじめ検討することとした。

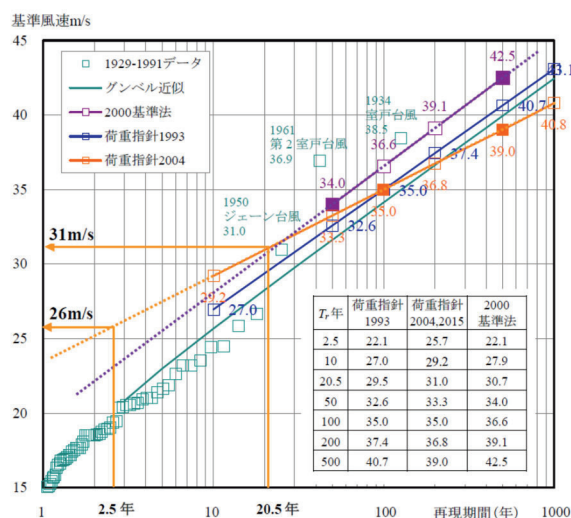


図-4 基本風速 (大阪 粗度区分Ⅱ 地上10m)

4.3 地震荷重

使用期間 L と安全係数 r_E に応じて低減された標準層せん断力係数 C_0 ($r_E L$)は、再現期間100年の地震動に対する標準せん断力係数 C_{100} 、再現期間500年の最大水平加速度 a_{500} と、再現期間100年の最大水平加速度 a_{100} を用いて(6)式で表される。

$$C_0(r_E L) = \left(\frac{r_E L}{100}\right)^\kappa C_{100} \quad (6)$$

$$\kappa = \frac{\ln a_{500} - \ln a_{100}}{\ln 500 - \ln 100} = 0.62 \ln \frac{a_{500}}{a_{100}} \quad (7)$$

すなわち、 κ は再現期間(年超過確率)と地動最大加速度で表される地震ハザード曲線(両対数軸)の、100年期待値と500年期待値を結ぶ勾配を表す。学会荷重指針(1993、2004、2015)のデータを用いて κ を計算し、500年期待値に対する低減係数を図-5に示す。

2015年荷重指針より再現期間換算のための累指数とし

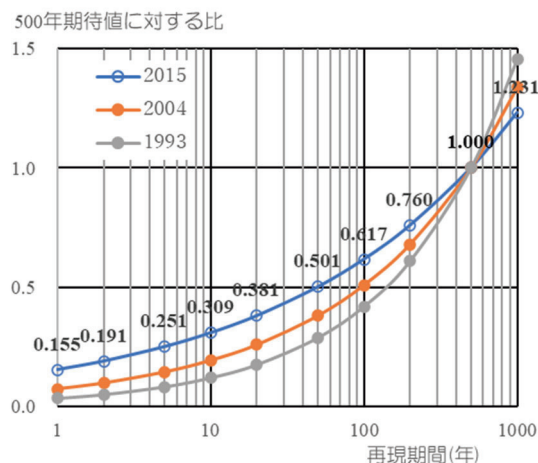


図-5 500年期待値に対する低減率 (大阪)

て0.3を採用すれば、使用期間2年建物のレベル2の低減率は、現行の地震再現期間を500年として、再現年数20.5年では $(20.5/500)^{0.3}=0.38$ となるが、安全余裕を確保するため再現期間100年とすると $(100/500)^{0.3}=0.62$ となり、 $C_0=1.0 \times 0.62 = 0.62 \rightarrow 0.6$ とした。

レベル1の低減率は、現行の地震再現期間を50年として、使用期間の再現年数2.5年では、 $(2.5/50)^{0.3}=0.40$ 、 $C_0=0.2 \times 0.40=0.08$ となるが、安全余裕を考慮してレベル2の1/5とし、 $C_0=0.6 \times 1/5=0.12$ とした。

5. 基礎の設計

本建設地は埋立てによる人工島であり、圧密沈下が進行する恐れもあることから、排土重量と建物重量をバランスさせる浮き基礎を採用した施設が多い。また、海面上に建設された大屋根リングのユニットは、杭基礎で支持する設計となっている。基礎の安全審査においては、建物の特性によって沈下の影響の検討や、不同沈下の対策について確認を行った。

6. 各パビリオン・施設の構造デザイン

6.1 各建物の設計ルート

本誌で紹介する7つのパビリオン・施設のうち、大屋根リングとパナソニックグループパビリオン「ノモの国」以外は、法20条第1項第一号(大臣認定)相当の技術基準との適合性について審査を行った。また、サステナドーム(CUCO®-SUICOドーム)以外は、GBRCが提示した荷重低減を採用している。

大屋根リングは、ルート2の設計を行っており、令第81条第2項第二号の規定に基づく検討の妥当性について、「ノモの国」のファサードは、工作物として令第147条第5項の規定に基づく検討の妥当性について審査を行った。

以下に、7つのパビリオン・施設の構造形式と設計法の概略を記載する。

6.2 大屋根リング

円周約2km、高さ20m超えの大規模木造建築である。貫構造による2方向ラーメンであり、3.6mを1スパンとした4×8ユニットと2×8ユニットを放射状に連続して配置して、ひとつながりの構造体としている。貫接合部は実験によって剛性、耐力を評価しており、複数タイプの貫接合部をスパンや応力等に応じて最適に配置している。基礎構造は、パビリオンワールドは直接基礎、ウォーターワールドは杭基礎を採用している。杭は深度49mに出現するN値50以上の洪積の砂礫層・砂層を支持層として、解体時に撤去できる先端羽根付き鋼管杭を採用している。

6.3 いのち動的平衡館（福岡館）

鉄骨造で、屋根はサスペンション膜構造を採用し、曲線状のリング状鉄骨が屋根を支える自由なデザインとなっている。外力による変形とケーブルによる張力とのバランスによって成り立っており、幾何学的非線形解析により応力や変位を評価している。

6.4 EARTH MART（小山館）

鉄骨造ブレース付きラーメン構造で、屋根は茅葺屋根である。ブレース接合部には、一部に高力ボルト併用接着接合（T-Glue Joint）を採用し、本建物の特徴である茅葺屋根は鉄骨造への取付けのディテールを検討している。また、万博閉幕後には再利用する予定となっている。

6.5 パナソニックグループ パビリオン「ノモの国」

本建物のファサードとして、三次元的に曲げられたユニットフレームを約1400個積層し、アーチ構造を形成している。FEM解析や要素試験を行い、変形性能や接合部の剛性、耐力を評価・検証している。また、鋼管と膜を組み合わせた構造で、重量を軽く抑えつつ、大きな動きのあるデザインを実現しており、送風散水実験と風洞実験を行い、風圧力に対しても確認を行っている。

6.6 Blue Ocean Dome（ブルーオーシャン・ドーム）

3つのドームをエキスパンションジョイントによって独立させ、それぞれ、紙管、CFRP（炭素繊維強化プラスチック）、竹集成材を構造材として採用している。いずれも、要素および接合部の実験から剛性、耐力を評価し、FEM解析にて構造安全性を確認している。

6.7 サステナドーム（CUCO®-SUICOM ドーム）

鉄筋コンクリート造シェル構造であり、環境配慮型コンクリートとして、ECMコンクリート、CUCO®-SUICOM

ショットを採用している。CUCO®-SUICOMショットは、現場でCO₂を吸収・固定化するカーボンネガティブ材料である。これらのコンクリートを吹付けることにより、ドーム躯体を構築する。3次元FEMによる応力解析や非線形座屈解析により安全性を検証している。

6.8 森になる建築

生分解性プラスチックである酢酸セルロース樹脂を構造材として使用し、荷重分散効果が高いシェル構造を採用している。熱溶解積層方式の大型3Dプリンターを用いて一体造形を行い、接合部のない構造を実現している。要素試験から剛性、耐力を評価し、FEM解析にて構造安全性を確認している。また、施工試験を繰返し行い、施工的に問題ないことを確認している。

7. おわりに

2025年大阪・関西万博のパビリオン・施設は、持続可能な社会の実現を目指し、伝統技術と最先端技術、人間と自然との調和を構造デザインによって具現化している。また、閉幕後の再利用や資源循環を考慮した設計も多い。1970年大阪万博では、構造設計者が挑戦した革新的な構造技術が、その後の建築構造の発展と可能性を示した。2025年万博においても、環境適合性が高く、安全安心に配慮した多様な建築構造の設計・解析技術と、それを実現した施工技術が着実に発展し、人々が主体的に関わる未来社会の建築空間づくりに寄与することを期待する。

なお、本稿をまとめるうえで、GBRC確認評定部性能評価課の甲谷千里課長の協力を得ました。ここに記して感謝します。

【参考文献】

- 1)（一財）日本建築総合試験所：2025大阪・関西万博 期限付き建築物の設計荷重について（改訂），2022.9.30.
- 2)（一社）日本建築学会：建築物荷重指針・同解説（1993, 2004, 2015）

【執筆者】



*1 宮本 裕司
(MIYAMOTO Yuji)