

シグネチャーパビリオン EARTH MART の 構造設計

Structural design of signature pavilion “EARTH MART”

杉山 進伍*1、渡辺 征晃*2

1. はじめに

「EARTH MART」は2025年日本国際博覧会（大阪・関西万博）において、会場中央に位置する8つのシグネチャーパビリオンの内の1棟として建設された、茅葺屋根が連なる外観が特徴的なパビリオンである（写真-1）。

本報では、埋立地という敷地条件や工期などの制約の中で建築計画・コンセプトを実現するための構造計画や設計上の工夫について紹介する。

2. 建築計画概要

本建物は、放送作家・脚本家の小山薫堂氏がプロデューサーを務めるシグネチャーパビリオンとして、「空想のスーパーマーケット」を展示し、来場者とともに食に関する未来を考えるパビリオンである。

パビリオンのテーマである「いのちをつむぐ」より、食と生命の循環から着想し、転用可能な素材を用いた「循環型建築」として茅葺を採用している。茅材を上から1m程度ずつ重ねて段状に葺く段葺工法を採用することで、茅材の加工を少なくし、解体・転用を容易にしている（写真-2）。なお、本パビリオンで使用した茅材は閉幕後に再利用する計画である。

平面形状は敷地形状に合わせたL字形状をしており、1階に展示室を計画、北側に一部、事務室等として2階を計画している。

計画概要

所在地	大阪府大阪市此花区夢洲中一丁目		
規模	地上2階	建築面積	1,309.9 m ²
用途	展示場	延床面積	1,620.3 m ²
構造種別	鉄骨造	高さ	11 m



写真-1 南側建物外観



写真-2 段葺工法による茅葺屋根



写真-3 鉄骨架構による軒の出が大きな茅葺屋根底

*1 SUGIYAMA Shingo : 大成建設株式会社 設計本部

*2 WATANABE Masaaki : 大成建設株式会社 設計本部

会場内のメイン動線に面して建物のファサードとなる南側および南東側には、鉄骨造の特徴を生かして茅葺屋根としては珍しい軒の出の長い庇が設けられている（写真-3）。この庇下部は入場者の待機場所となり、入場待機客が日射や雨をしのぐことができるようになっている。

3. 構造計画概要

3.1 短工期の設計・施工を可能とした構造計画

全体の構造計画方針として、短工期での設計・施工という制約に対して明快な構造計画となるよう心掛けた。

構造形式は鉄骨造ブレース付ラーメン構造とし、地震力のほとんどをブレースが負担している。L字平面形状の南側は平屋の茅葺屋根、北側は一部二階部分を有する金属屋根と建築計画の状況が異なるため、それぞれの範囲の空間構成に対応するように構造計画を行った。

本敷地は圧密沈下が進行する埋立地のため、基礎は2重スラブ形式の直接基礎（浮き基礎）とし、浮き基礎を成立させるため躯体軽量化を図った。

柱梁の鉄骨部材断面は断面形状をJIS規格圧延H型钢にて極力同一断面とし、柱梁接合部は方杖形式による梁端部ピン接合形式等を用いることで納まりの簡素化や製作、解体に配慮した。また、南側茅葺屋根部分は屋根形状に合わせて鉄骨架構を計画しており、三次元的に部材が取り合う複雑な架構のため、BIMモデルによる屋根と鉄骨の干渉確認、鉄骨納まり検証等を行うことで、大きな支障なく鉄骨製作、屋根下地鉄骨の取付等を進めることができた（図-1、写真-4）。

3.2 軽量化と施工合理化を両立する基礎計画

前述のとおり、計画地は埋め立てによる人工島であり、圧密沈下が継続している地盤である。表層の4m程度は造成時に地盤改良が実施されており、高いN値を示しているが、以深は軟弱な埋土粘土層が続いている。この敷地地盤条件に対して、日本国際博覧会協会「パビリオンタイプA（敷地渡し方式）」の設計に係るガイドライン」において、浮き基礎形式や杭基礎、もしくは同等の効果を有する工法を採用することで、建物による新規上載荷重に起因する圧密沈下の進行や不同沈下に対して配慮した設計を行うことが求められた。

また一方で、会期終了後には杭の引抜撤去も含めて解体が必要となる。設計初期段階にて杭基礎や比重の小さいEPS（発泡ポリスチレンビーズ）等を用いた浮き基礎工法等も含めて検討を行った結果、本パビリオンの計画においては、解体も含めたコストや工期、環境配慮の面から二重スラブ形式による浮き基礎形式の採用に合理性

があると判断し、建物全面を二重スラブ形式の直接基礎として浮き基礎を成立させる計画とした。

ここで、浮き基礎とは図-2に示すように、基礎部の排土重量 $W \geq$ 建物重量 P とすることで、建物による新規上載荷重を排土重量とバランスさせ、過度な圧密沈下を抑制する考えによる基礎形式である。基礎部の排土重量は土の単位体積重量および建物の根切深さによって決まるが、土の単位体積重量は定数とみなすため、設計者としてコントロールできるのは根切深さのみである。コスト・工期の観点から、工事計画上メリットの大きい簡易山留にて対応できる根切深さ1m程度とすることが設計上の目標となった。そこで、後述の躯体重量の軽量化を前提に排土を行う深さを約1.3mとして基礎計画を

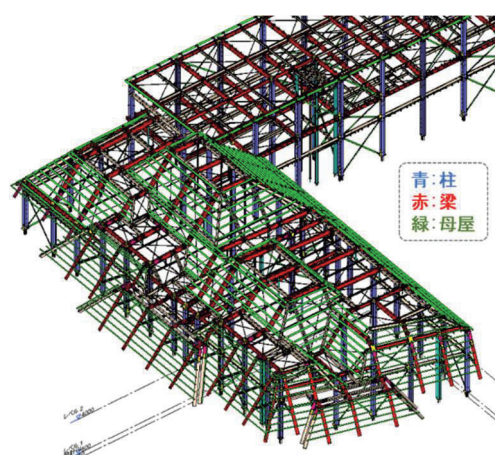


図-1 南側鉄骨架構モデル

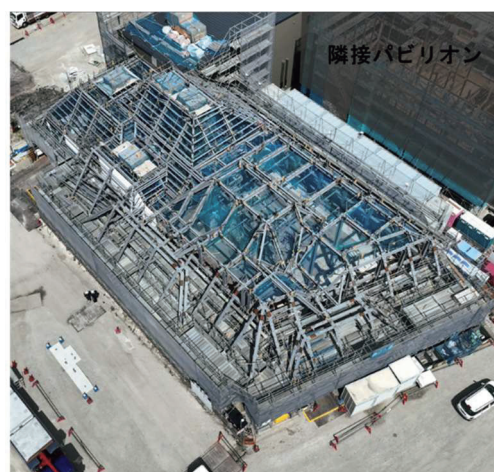


写真-4 南側鉄骨建て方時の空撮

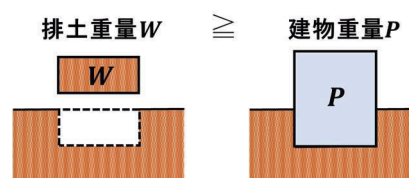


図-2 浮き基礎の考え方

行った。

また、不同沈下を抑制する配慮として、建物重量に平面的な偏りが大きくなるよう計画を進めた。なお、基礎底にて平板載荷試験を行い、設計上設定した極限支持力 90 kN/m^2 時点で急激な沈下が発生しないことを確認した。

この根切深さの制約により、浮き基礎として排土重量とバランスさせるよう建物重量を軽量化する必要性が生じた。本パビリオンで行った建物重量の軽量化策について、主要な3点を下記に示す。

まず1点目は基礎躯体の軽量化である。今回の建物は鉄骨造であり上部躯体が比較的軽量であるため、基礎躯体の自重が建物重量に対して大きな割合を占めている。

そこで、設計時点で配筋検討を綿密に行い、無理なく配筋できる範囲で基礎スラブ、基礎梁、1階床スラブといった基礎躯体の寸法を最小限とするよう計画し、躯体自重を抑える計画とした。

2点目は2階床および屋根の軽量化である。北側に計画された2階部分は事務室等として利用される計画となっている。単純に二層分を積み上げると、平屋部分と比べて建物重量が大きくなってしまう。そこで、2階建て部分については2階床にALC床版、屋根材に金属屋根を採用し、軽量化を行った。これにより、2階部分を有する範囲と平屋範囲で単位面積当たりの建物重量に大きな差が出ないように配慮した。

最後に、1階床への鋼製床の採用である。建屋が敷地

いっぱい計画されており、工事計画上建屋内に重機が乗り入れるため、重機が走行可能な仮設構台もしくは鉄筋コンクリート造の床組を計画する必要がある。

ここで、仮設構台を計画した場合、構台の構築・撤去のコストおよび工期確保が必要となる。

一方でスラブ補強とした場合、スラブ厚さを確保する必要があり、躯体重量が増加してしまうため、浮き基礎とするために根切り底を深くしなくてはならないという課題があった。そこで、床開口を設ける必要のある設備機械室等、建築計画の観点で鉄筋コンクリート造床スラブが必要な範囲以外については鋼製床とすることで、軽量で剛性・耐力の大きな床躯体を早期に構築する計画とした（写真-5、写真-6）。

なお、鋼製床は仮設覆工等に利用されるリース品の覆工板を使用している。会期終了後に返却しリユースされるため、環境にも配慮した仮設建築物ならではの計画となっている。鋼製床は既製品であり、既製品定尺長さとして躯体スパンが合わない箇所については基礎梁の側面打増しにより鋼製床を支持する計画とした。この打増しについても図-3に示すような躯体形状の調整を行い、躯体重量の軽量化に配慮した。また、この梁側面打増しおよび外周部立上りが鋼製床を拘束する枠のように機能し、通常使用や地震時のずれ等を防止するよう配慮している。

接地圧は、建築計画上の特徴をもとに平屋である南側、2階建て部分を含む北側についてそれぞれ算出した。各範囲の接地圧はそれぞれ 21.8 kN/m^2 、 23.1 kN/m^2 と求められ、排土重量以下となることを確認した。また、各範囲の建物重量の差は5%程度であり、十分小さいと判断した。

以上より、躯体軽量化により建物重量を排土重量とバランスさせ、浮き基礎を成立させる計画を実現することができた。



写真-5 1階床鋼製床敷設前の状況



写真-6 1階床鋼製床敷設後の状況

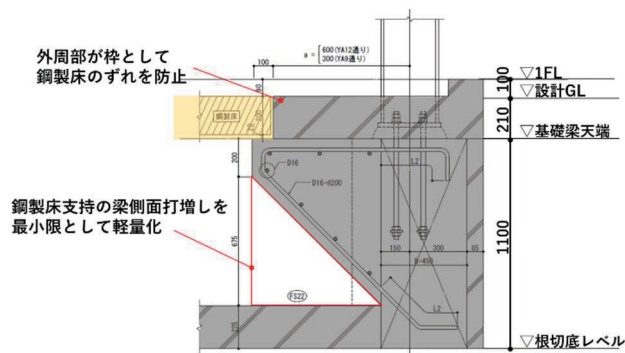


図-3 鋼製床を支持する梁側面打増し

3.3 南側茅葺屋根部分の構造計画

会場内動線に面してファサードとなる建物の南側茅葺屋根部分については、意匠コンセプトである「小さな屋根が連なる集落のような外観」が特徴的である。各屋根を熊本県阿蘇市、静岡県御殿場市、岡山県真庭市蒜山高原、大阪府大阪市淀川区、滋賀県近江八幡市丸山町の全国5ヵ所から集めた茅材で葺き分けており、産地の植生環境により茅のサイズや色味が変化し、屋根毎に違う表情を見せ、各土地で循環する原風景を想起させる。

本パビリオンの見せ場といえるこの茅葺屋根の意匠コンセプトを、いかに内部空間の自由度を確保しつつ、かつ工期等の制約の下で実現するかという点が建物南側架構の構造計画を進める上でポイントとなった。

複雑な屋根形状をシンプルな構造計画で解くため、まず短辺方向の柱位置に合わせて勾配梁によるラーメン架構を通し、棟・谷の屋根形状に合わせて小梁を配置し、長辺方向（H形鋼柱の弱軸方向）はブレース構造という明快な架構計画とした（図-4）。ここで、柱割に対して屋根形状を決めてしまうと屋根配置が単調となり、前述の意匠コンセプトを実現することができない。そのため、屋根形状は意匠設計者の要望を最大限生かし、屋根形状に合わせるように小梁も勾配梁とするなど、意匠設計者と綿密な調整を行いながら屋根架構を計画した。

また、勾配梁軸力により屋根が広がるような水平・鉛直変形を抑えるため、仮設建築物許可申請により耐火被覆が免除されることを活用し、屋根面内ブレースを変形抑制に用いた。加えて、展示室間の間仕切り壁内に剛強なブレース構面を設けることで、ブレース構面が「タガ」のように機能し、短辺方向が外にはらみだすような全体変形を長辺方向中央付近で抑制する計画とした。

これらの架構計画を実現するために、鉄骨建方時には支保工を設けて勾配梁を仮設支持し、ブレースも含めて接合部高力ボルトの本締め完了後にジャッキダウンする施工計画とした。ジャッキダウン前後にて柱頭部の変形を計測確認し、想定した変形量以内であることを確認した。

鉄骨造での茅葺屋根という例を見ない形式のため、茅束の屋根への留付けについても構造検討を行った。

意匠設計者・施工者・茅葺職人と茅葺屋根納まりについて協議を行い、茅束の留付けに用いる既製品のワイヤービスの施工試験、実際の下地材に施工したビスの引き抜き試験を行い、設計上想定する引き抜き荷重に対して十分な安全率を持っていることを確認した（写真-7）。

また、万博会場と同等の環境下の敷地に施工試験を兼ねてモックアップを製作の上、約10か月設置し、茅材の色の変化や耐久性、止水性能などを確認した（写真-8）。

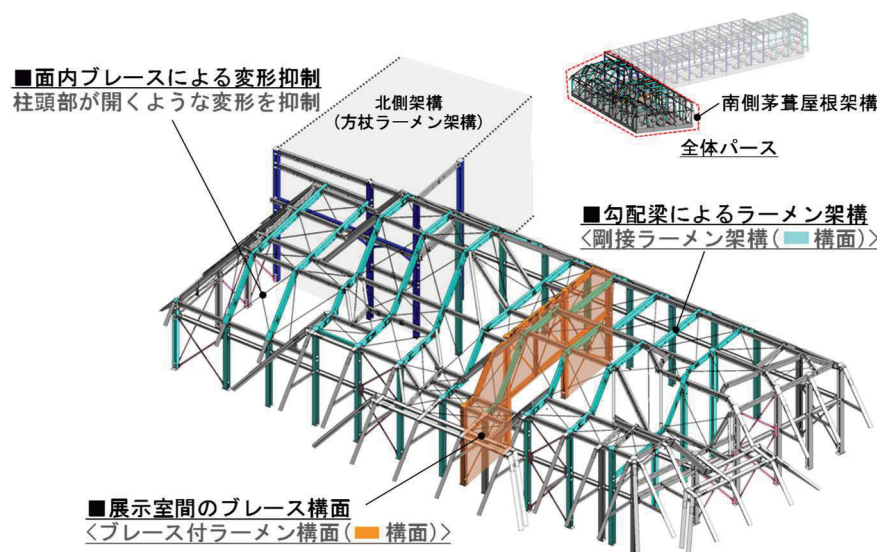


図-4 南側茅葺屋根部分の構造計画概要



写真-7 茅留付けビス試験の様子



写真-8 茅葺屋根モックアップ

3.4 北側金属屋根部分の構造計画

複雑な茅葺屋根架構の建物南側に対し、他パビリオンと隣接する裏手側となる金属屋根の建物北側はよりシンプルな架構計画とした。

梁端はピン接合とし、長辺方向をブレース構造、1スパンの短辺方向を方杖ラーメン構造（2階は片持柱）の架構（図-5）を基本とすることで梁端の剛接合を避けた簡便な納まりとし、製作の効率化などを図る構造計画とした。

また、新しい技術として高力ボルト併用接着接合を北側架構長手方向の1階耐震ブレース接合部に採用した（図-6）。

躯体の軽量化から、2階床をALC床板、金属屋根としたため、各階床梁構面に水平ブレースを設け、面内剛性を確保した。

また、2階大梁を梁端部ピン接合の方杖ラーメン構造としたことで、通常ALC床板を採用した場合に大梁継手接合部をかわすために設けられる軽量リップ溝形鋼等のかさ上げ鉄骨を省略することができ、付帯鉄骨量を削減することができた。

4. 「未来社会の実験場」としての新規技術採用

大阪・関西万博のコンセプトである「未来社会の実験場」に呼応する本建物の取り組みとして、開発を進めていた^{1)~3)}二つの新規技術を採用した。一つ目として、高力ボルト併用接着接合（名称：T-Glue Joint）を、前述のように耐震ブレース接合部に採用した。本技術は高力ボルトと構造用接着剤を併用し、高力ボルト本数減お

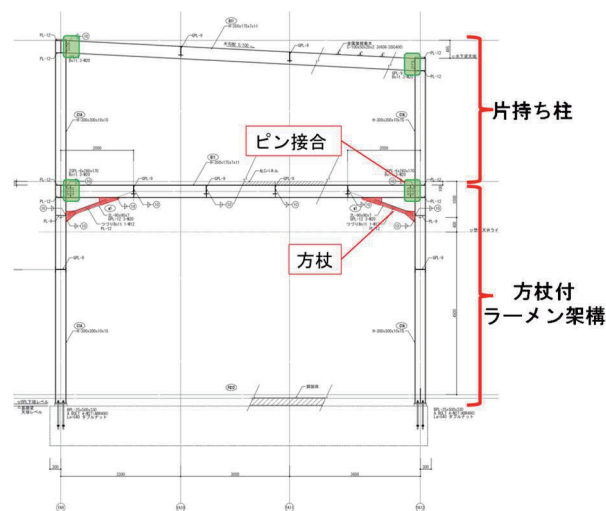


図-5 北側金属屋根部分 短辺方向代表架構

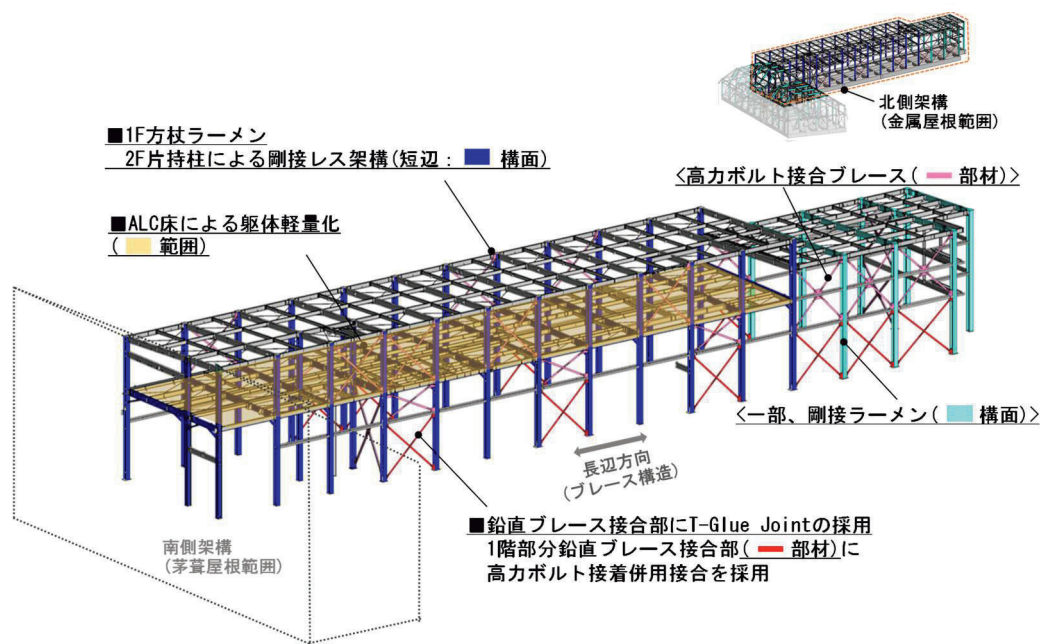


図-6 北側金属屋根部分の構造計画概要

よび添板等の接合部の鉄骨量減を図るものである(図-7)。本建物の採用仕様では、高力ボルト本数を概ね30%～40%低減した(写真-9)。

採用にあたり、事前に本建物での仕様を模擬した実大試験体による構造実験や施工試験を行い、耐震ブレース接合部としての安全性や可使時間(接着剤塗布から硬化までの時間)などの施工時の管理項目を確認した。初回施工時には作業所担当者、設計者・工事監理者、開発担当者、接着剤メーカー担当者が立ち合いの上、重点的に工事監理、実施工を行った。今後、新築・リニューアル物件等に本技術の展開を検討していく予定である。

二つ目として、1階床面積の半分以上にあたる約900m²の床仕上げ材として当社技術である環境配慮コンクリート「T-e Concrete® /Carbon-Recycle」によるコンクリート平板を用いた。本技術は排気ガスなどから回収したCO₂を炭酸カルシウムとして再資源化し、製造時に練り混ぜてコンクリート内部に固定することで、CO₂排出量の収支マイナスを達成するというものである。今回採用した床仕上げ材のCO₂排出量は、一般のコンクリートを使用した場合に比べて約13tの削減効果を試算した。鋼製床土に防湿シートを敷設した上に下地の砂敷を行い、コンクリート平板を敷設施工した(図-8、写真-10)。鋼製床と鉄筋コンクリートスラブ間には施工誤差等により数mm程度のレベル差が生じることがあるが、下地砂の部分で吸収し、床仕上げ面はレベルが確保される。

5. おわりに

本報では、2025年日本国際博覧会のシグネチャーパビリオン「EARTH MART」として、鉄骨造による茅葺屋根建築という例を見ない建築において、工期や沈下など様々な制約・条件の下で意匠コンセプトを実現するために行った構造設計上の工夫について報告した。

建築主である公益社団法人2025年日本国際博覧会協会各位、共同設計者である隈研吾建築都市設計事務所各位にこの場をお借りして感謝を申し上げます。

【参考文献】

- 1) 氏家大介 他：接着接合と高力ボルト接合を併用した継手の基本性能，日本建築学会大会学術講演集，pp.779-780，2019
- 2) 田中昂平 他：接着剤と高力ボルトを併用した継手の構造性能その1 引張試験，日本建築学会大会学術講演集，pp.693-694，2021
- 3) 氏家大介 他：接着剤と高力ボルトを併用した継手の構造性能その2 曲げ試験・せん断試験，日本建築学会大会学術講演集，pp.695-696，2021

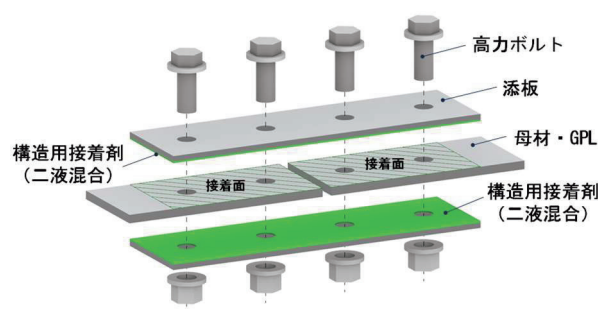


図-7 高力ボルト併用接着接合の構成

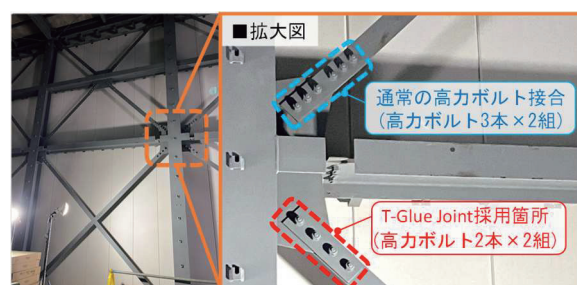


写真-9 高力ボルト併用接着接合の採用箇所の状況

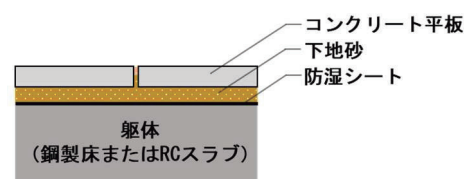


図-8 コンクリート平板仕上げの断面構成



写真-10 T-e Concrete® コンクリート平板敷設時の状況

【執筆者】



*1 杉山 進伍
(SUGIYAMA Shingo)



*2 渡辺 征晃
(WATANABE Masaaki)

当施設の確認検査及び建築技術安全審査は、(一財)日本建築総合試験所が実施しました。