

広島サッカースタジアム

(EDION PEACE WING HIROSHIMA)

平郡 竜志*1

北林 孝二*1

EDION PEACE WING HIROSHIMA は「恒久平和と、夢や希望を持って明るい未来へ羽ばたく」という願いを込めて建設された、サンフレッチェ広島の新たなホームスタジアム（Jリーグ基準）であり、その屋根はスタジアムを柔らかく包み込むような希望の翼をモチーフとされている。本稿ではスタジアム南面に採用されている、ケーブル補強型テンション方式を用いた単層 500 μ m ETFE 膜による庇について紹介する。

1. 建物概要

名称	広島サッカースタジアム
所在地	広島市中区基町 15 番 2-1 号
建築面積	26,056 m ² (観客席 28,520 席)
規模	地上 7 階/最高高さ 42.6m
構造	RC 造/SRC 造/S 造/PCa 造
スタジアム工期	2022 年 2 月 1 日～2023 年 12 月 28 日
事業主	広島市
管理運営者	株式会社サンフレッチェ広島(指定管理者)
設計者	東畑・EDI・大成・復建共同企業体
施工会社	大成・フジタ・広成共同企業体
膜屋根	太陽工業株式会社
膜材	ETFE (エチレンテトラフルオロエチレン) 膜 500 μ m 単層透明 スタジアム南側の庇 1,200 m ² 南東と南西の玄関庇 330 m ²

広島に待望の「街なかスタジアム」が誕生した。サンフレッチェ広島がホームスタジアムとして使用するこの施設は、広島市の都心の一翼を担う紙屋町・八丁堀地区に近接し、広島駅から徒歩圏内に建設されている。また、旧市民球場跡地や原爆ドームのある平和記念公園にも近く、サッカーでの国際交流の機会などを通じて、平和について世界中への発信も期待されるスタジアムとなっている。

サッカースタジアムの建設や広場エリアの基盤整備などを DB 方式、中央公園広場エリアのにぎわい施設整備などを Park-PFI 方式で行われている。2020 年 10 月にサッカースタジアム建設や広場エリアの基盤整備などを事業者の公募が開始され、参加した 4 グループの中から 2021 年 3 月に設計・施工者として大成建設を代表とする共同企業体 (JV) が選定された。

写真 1 にスタジアム南側の庇を示す。

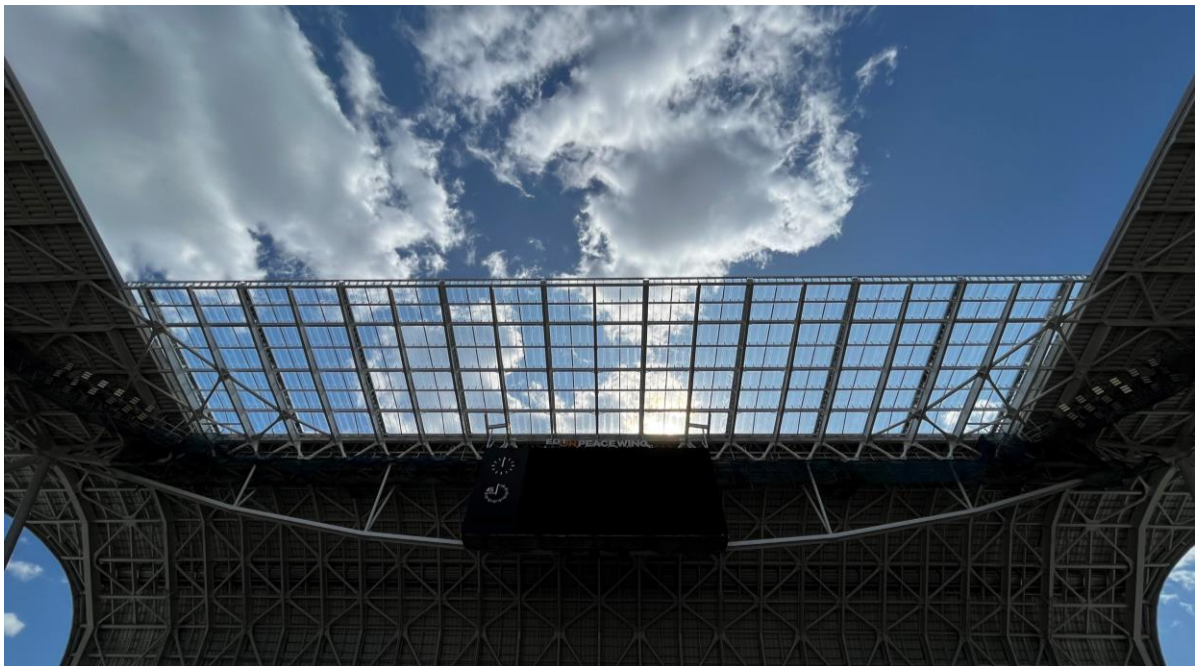


写真 1 スタジアム南側の庇

*1 太陽工業株式会社

2. 屋根のデザイン

スタジアムを包み込む屋根は、南東側と南西側に大きな開口のある形状となっており、翼をモチーフにしたデザインで、国際平和文化都市として明るい未来へ羽ばたくという願いが込められている。3本の矢（サンフレッチェ）・弦・弓をモチーフとし、南北方向の客席間約140mのロングスパンに「張弦キールガーダー」を採用することで、ケーブルを用いた軽快な屋根を実現し、周辺への圧迫感を軽減している。

観客席の上には雨除けのために屋根が必要となるが、一方で、良好な天然芝を育成するためには、ピッチ上に日光の取得が必要であり、なるべく日光を遮らない工夫が必要となる。計画当初、屋根は全面を金属系の素材で検討されていたが、これらの相反する性能を両立させるために、より適した素材の見直しが行われ、鉄骨フレームを可能な限り少なくできる単層ETFE膜をケーブルで補強する方式を考案し、南面の庇に採用している。

ETFE膜は耐風圧を考慮し500 μ m（可視光透過率88%、重量約0.88kg/m²、日射熱取得率0.92）を採用している。南側の庇部分は大きさの異なる2種類（幅8.5m×16m、幅2.0m×16m）のパネルが合計9枚あり、全体で約1200m²である。同じ構造形式で玄関庇にもETFE膜を採用しており、玄関庇は幅6m×13mの約80m²の2パネルが南東と南西にそれぞれあり合計約330m²がある。図1に配置図、図2に1パネルのサイズを示す。

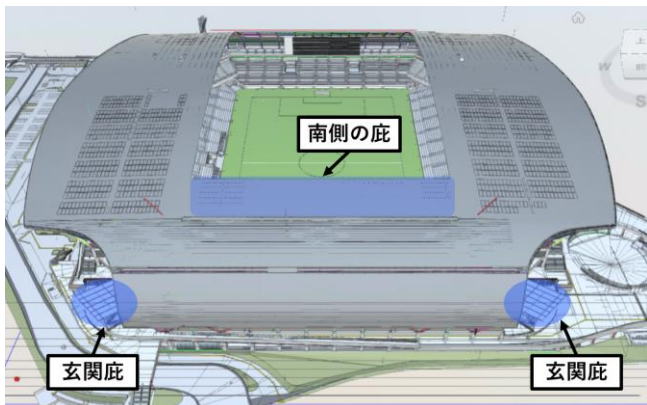


図1：スタジアム南側の庇、玄関庇の配置

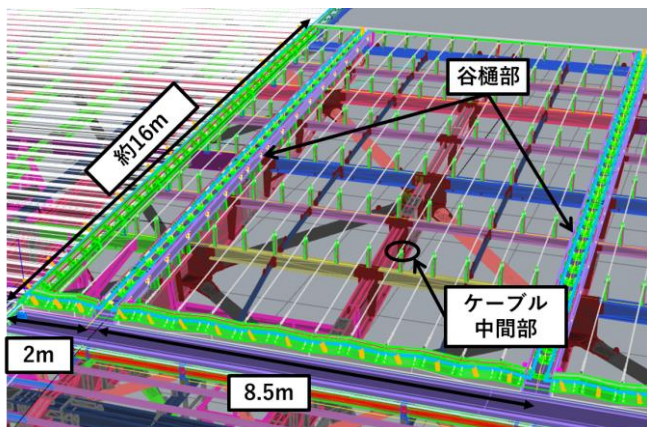


図2：南側の庇、1パネルの構成

3. ETFE膜の計画

(1) 構造設計

ETFE膜の設計荷重について風圧力は、再現期待値100年として設定され、大成建設株式会社技術センターで行われた風洞実験結果を用いた数値、積雪荷重は特定緩勾配屋根による割増された数値を用いている。

- ・構造用風荷重：1670N/m² ($q=1670\text{N/m}^2$, $C_f=-1.0, 0.6$)
- ・外装材用風荷重：1712N/m² ($q=800\text{N/m}^2$, $C_f=-2.14$)
- ・積雪荷重：840 N/m² (30cm, $20\text{N/m}^2 \cdot \text{cm}$, $\alpha=1.39$)

膜材の物性値と許容応力度は「平成14年国土交通省告示第666号」に準拠し、膜面解析は自社開発ソフトMagesticを用いて形状解析、応力-変形解析を行っている。図3に応力解析結果の一例を示す。境界条件は支持条件をケーススタディし、中間クランプ部分は滑りを考慮しないピン固定とし、ETFE膜とケーブルの張力、変形が許容値以下となっていることを確認している。ケーブルのピッチは応力集中や本体鉄骨の支持ピッチとのバランスを考え700mmピッチとした。

図4に積雪時の膜面勾配の検討図を示す。スタジアム南面の金属屋根形状に合わせて、膜屋根をフラットな一方の勾配として検討を始めた。ETFE膜の支持部としてケーブルを用いることにより、見た目の軽快さが生まれるが、境界部となるケーブルが変形するため、積雪荷重時での膜面勾配の確保に工夫が必要となった。そこで本計画では、水下の定着部で立面的に高低差60mm設けることで、水流れの制御を行い適正な水勾配を確保した。

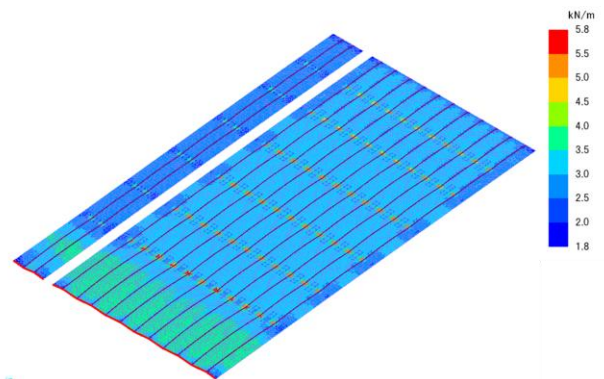


図3：応力解析結果（外装材用負圧風荷重 Mises 応力）

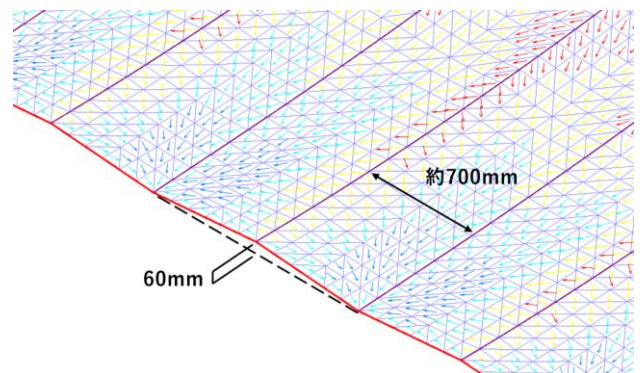


図4：積雪荷重時の膜面勾配検討

(2) ディテール

今回の計画では、ディテールについて3つの新規的な取り組みを行っている。以下ではそれらについて説明する。

- ・ 中間の膜定着部に仕込んだケーブルをクランプで固定
- ・ 止水性を考慮した谷樋部分の納まり
- ・ 点検用ワイヤーを兼用した避雷導体の納まり

補強ケーブルはφ9 (7×7) 構造用ストランドロープ (ST1570) をポリエチレン1.5mm (黒色) で被覆し、中間部はアルミの金物で被覆ケーブルをクランプしている。締め付けボルトはトルク管理を行っている。(写真2)

図5に膜定着部の納まりを示す。本計画では足場条件など施工スペースの制限により、膜定着部の水上部を固定とし、谷樋部と水下部の3方向から膜を引き込む納まりとしている。ケーブル端末は水上にフォークエンドスリーブを、水下側に長さ調整機構のあるネジエンドを取り付けている。

屋根面では漏水対策を十分に検討しておく必要がある。多くの場合、漏水の可能性のある箇所は現場接合部であることから、今回の計画でも膜定着部となっている下地鉄骨の接合部からの漏水が懸念された。シール接着による止水案も考えられたが、経年的な劣化に対する不安を払拭できないことから、谷樋部にA種膜を継ぎ目のない状態で設置することで、現場施工による継ぎ目が発生することのないディテールを実現した。谷樋の鉄骨とA種膜の間には、同じく継ぎ目のない緩衝用のゴムを取り付け、点検時に人が乗った際の重量で、A種膜に破損が発生しないように配慮している。図6、写真3に谷樋部の納まりを示す。

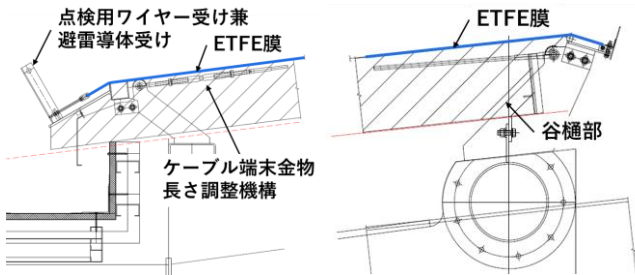


図5：水上、水下のディテール

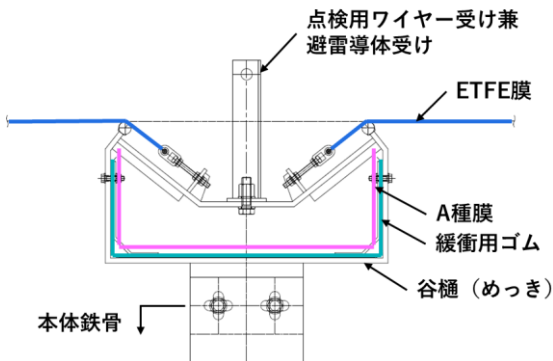


図6：谷樋部のディテール

恒久建築物の場合、維持管理の方法が重要となる。有事の際には人が屋根面に近づく必要があるが、地上40mを超える高さで透明なETFE膜の上を歩くには慣れた人でも勇気がいる。そこで、谷樋を点検用歩廊と兼用することを考えた。また、屋根面には雷保護設備として避雷導体も必要となることから、通電に必要なサイズを確認し、それらを兼ねることのできる11.2φ (7×19) SUSワイヤーを選定、谷樋部分に山形鋼をワイヤー受け部材として取り付けした。(写真4)



写真2：ケーブル中間、クランプ部



写真3：緩衝用ゴム (谷樋部)



写真4：点検用ワイヤー兼避雷導体の設置

取り合いの発生する金属屋根部分は複数の曲率を持ち、局部的にねじれた形状となっているため、BIMモデルで綿密な検証を行い、お互いの納まりを決定した。本体鉄骨フレーム、膜定着部の2次鉄骨の他に、クランプ部などの詳細ディテールをすべて3Dモデル化することで施工、製作工場などがお互いにデータを効率的にチェックできるようにした。各専門業者で作成した3Dモデルは高い精度で作成されており、それらのデータをAUTODESK社のクラウドプラットフォーム「BIM360」にアップロードすることで、本体鉄骨を含めた屋根全体の統合モデルが作成され、納まりの検証を行うことができた。図7に統合BIMモデルを示す。

(3) 製作

ETFE膜の加工では、多重溶着を避けるように端部加工に工夫を行った。特に水下部分は水流れを制御するために下地鉄骨に高低差を設けたことから、ケーブルポケット部分の加工が複雑となった。そこで、従来とは異なり、端部を別パーツ仕様とすることで、施工時に局所的な応力集中が発生する可能性が低くなるように考えた。

また現場では水上から水下へ方向に転がすように展張する計画となっていたことから、工場では緩衝材を入れ、逆方向にロール上に梱包し、透明な表面に傷がつかないようにした。写真5に工場での梱包状況を示す。

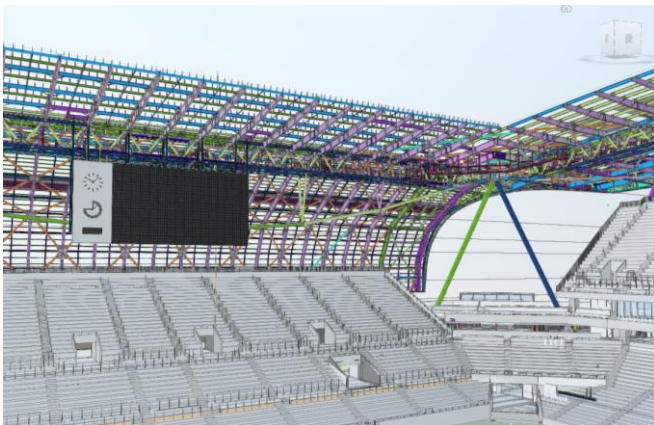


図7：統合BIMモデル



写真5：工場での梱包状況

4. モックアップによる検証

写真6にモックアップの様子を示す。単層500μmETFE膜によるテンション方式での施工実績は世界的にも少なく、また新規的なディテールを採用していることから、モックアップを作成し、製作～梱包、展張、定着作業までの一連の施工手順について検証を行った。

当初から懸念されていたメンテナンス時の膜面作業が発生した場合での足場計画については、クッション方式の作業用足場をシングル方式に合わせてサイズや生地配置、内部の緩衝材の設置について改善を行い、従来の作業用足場よりも人が乗ったときの集中荷重を分散する工夫を行った。



写真6 (a)：モックアップ写真（膜展張状況）



写真6 (b)：モックアップ写真（谷樋部分）

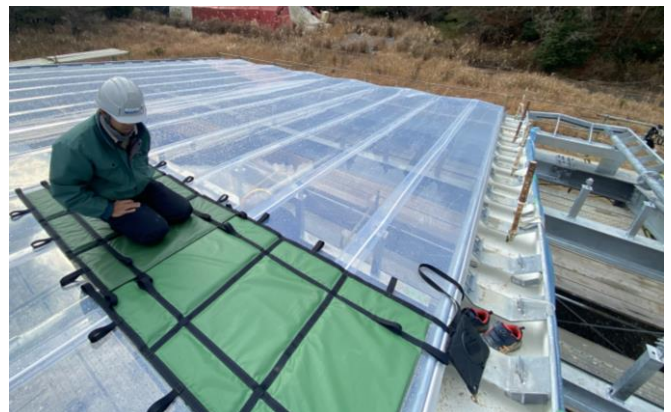


写真6 (c)：モックアップ写真（メンテナンス足場）

5. 施工計画

敷地の北側に市営住宅、南側に幹線道路、西側は川に面しており、東側の公園も残土置き場になっていたことから、スタジアムの外周に作業スペースが取れず、仮置きや荷揚げはフィールド内のスペースに限定された。

ケーブルの中間部を取り付けるために、ETFE膜の下側で作業を行う必要があり、屋根面近くで足場が必要となった。ここでは本体鉄骨から支持する吊り足場で仮設計画が進められ、フィールド内で本体鉄骨を地組する段階で吊り足場を設置することで、大掛かりな足場を不要とした。足場の高さ調整や施工姿勢など作業の具体的な内容については、モックアップ検証結果より施工会社とスムーズにすり合わせることができた。図8に吊り足場の計画図を示す。

現場での取り付け時期は8～9月の夏場であったため、比較的ETFE膜が伸びやすい気候ではあったが、引込作業の局所的な伸びによる応力集中の発生を避けるために、引込寸法を段階的に管理し、取り付け作業を行った。

また、水下部は、支持部材に高低差がある山谷形状となっていることから、引込作業を2段階に分け、全体的になじむように、所定の位置まで引き込み、初期張力の導入を行った。写真7に膜定着の状況写真を示す。

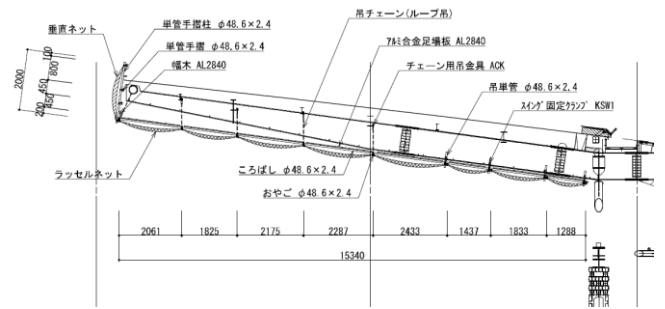


図8： 吊り足場計画 断面図



写真7 (a)：現場写真 膜定着完了時

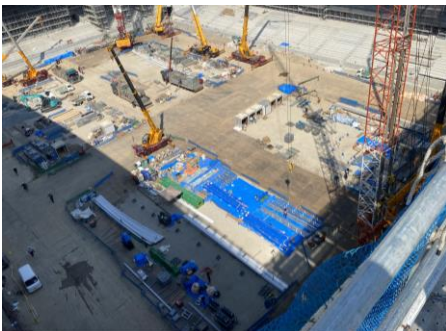


写真7 (b)：フィールドヤード



写真7 (c)：膜展張状況



写真7 (d)：膜引込作業状況

6. まとめ

写真 8 に完工写真を示す。本稿では EDION PEACE WING HIROSHIMA の ETFE 膜の設計、施工についての技術の概要を紹介した。

海外では ETFE 膜を採用した有名な全天候型スタジアムが複数あるが、日本国内では採用事例が少ない。今回のプロジェクトを通して ETFE 膜の可能性を示すことで、スタジアム計画における膜屋根の新たな選択肢を与えられたと考えている。

限られたスケジュールの中、ETFE 膜を採用した日本初のスタジアムを実現するために、ご尽力いただいた広島市役所、東畑建築事務所、大成建設設計、施工部門の方々に感謝の意を表す。

最後に、昭和 24 年（1949 年）に丹下健三グループにより計画された現在の平和記念公園を含む「Peace Park Project」には、広島城の南側に「Football Field」が計画されていたことを知った。75 年もの長い年月を経て運命づけられた場所に完成したスタジアムである。「恒久平和と、夢や希望をもって明るい未来へはばたく」との願いを込めて「ピースウイング」と名付けられており、サッカーに興ずるそのひと時も、平和な日常であることを思いながらスタジアムに足を運んでほしいという願いが込められている。是非、スタジアムを訪れた際には、携わった方々の思いを感じていただけると嬉しく思う。

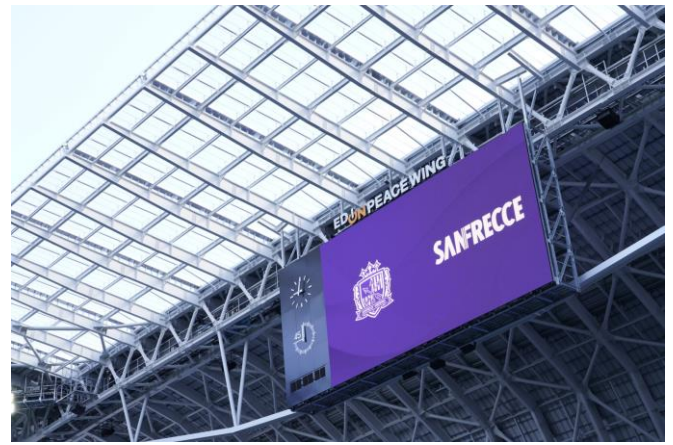


写真 8 (a) : 完工写真 (写真提供 : ©大成 JV)



写真 8 (b) : 完工写真 (写真提供 : ©大成 JV)



写真 8 (c) : 完工写真 (南東より) (写真提供 : ©大成 JV)