

JR 東日本京葉線「幕張豊砂駅」

透過性の良い膜材を用いた明るくて開放的な駅舎

丁 乙碩 *1

幕張豊砂駅は、幕張新都心拡大事業の一環として JR 東日本京葉線の海浜幕張駅～新習志野駅間に設けられた同ラインでは 25 年ぶりの新駅である。周辺のイオンモール幕張新都心に直結できる都市機能の強化や交通機能の分散を目指して 2023 年 3 月 18 日に開業した。本稿では、幕張豊砂駅に適用された膜屋根の設計・施工内容について以下に紹介する。

Ⅰ 工事概要

- ・工 事 名：京葉線新習志野・海浜幕張間新駅設置他
- ・建 設 地：千葉市美浜区浜田二丁目 45-2 の一部、45-27
- ・施 主：東日本旅客鉄道株式会社東京建設プロジェクト
マネジメントオフィス
- ・設 計：京葉線新習志野・海浜幕張間新駅設置詳細設計
他共同企業体（構成員：JR 東日本コンサル
タツ株式会社、株行会社 JR 東日本建築設計、
鉄建建設株式会社）
- ・施 工：鉄建建設株式会社
- ・敷地面積：5,069.68 m²
- ・建築面積：823.73 m²
- ・延床面積：1,834.05 m²
- ・階 数：地上 2 階
- ・構 造：（駅舎）S 造平屋、（電気室棟）S 造
- ・工 期：2020 年 5 月 22 日～2023 年 9 月 30 日

Ⅱ 膜屋根の概要

本件は“ゆったりした時間が流れる新しい駅”をコンセプトとし、東京方面の上り線が高架、蘇我方面の下り線が地上という珍しい 2 層構造の物件である【図 1】。

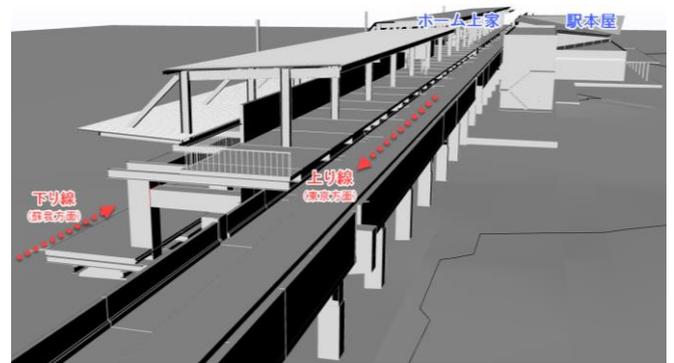


図 1 幕張豊砂駅の計画イメージ(出典：JR 東日本建築設計)



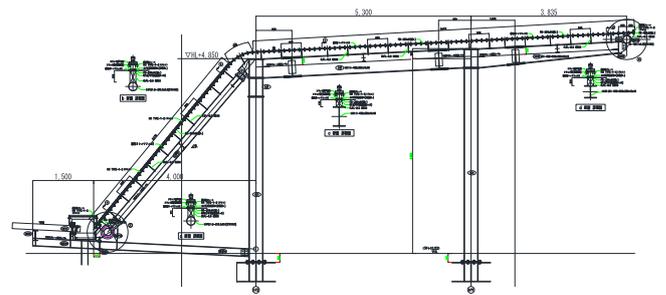
図 2 幕張豊砂駅の竣工写真(出典：鉄建建設株式会社)

*1 協立工業株式会社 リサーチエンジニア・博士（工学）

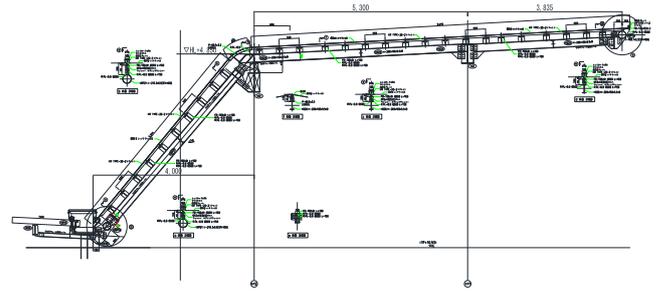
また、自然光を構内に取り入れることで照明を最小限に抑えることができ、デザイン性と環境負荷を配慮した構造とも言える。このような開放的かつ明るい空間を実現するために「ホーム上家」及び「駅本屋」の屋根に PTFE 膜材(A 種膜材、FGT-800(ホーム上家)と FGT-600(駅本屋)、中興化成製)を用いた膜屋根を採用している。膜材料の透過性により、照明のない状態でも十分な内部照度を確保することで、曇の日でも駅舎の内部空間とプラットフォームに開放的な明るさを体感できるようにした【図2】。

「ホーム上家」と「駅本屋」それぞれの設計ポイントは以下ようになる。

「ホーム上家」の概要図を図3に示す。膜構造の特徴を生かして、線路側は緩い勾配を持ちながら直線的なイメージを、水側側はガウス曲率で成り立つ曲線的なイメージを両立させ、他の屋根材ではなかなか表現できない自然な曲面を演出した。膜屋根の規模は、ホーム全長 200m の内、中央部分の 100m の長さで、約 1,550 m² の面積である。構造形式は鉄骨の主構造の上に約 10m×15m サイズ(1ユニット当たり)の膜パネルを全部で 10 枚取付けた骨組膜構造としている。また、エキスパンションジョイント部は出来るだけシンプルなディテールとするために、雨水などが自然に流れる部分はそのまま流せるような止水対策としている。

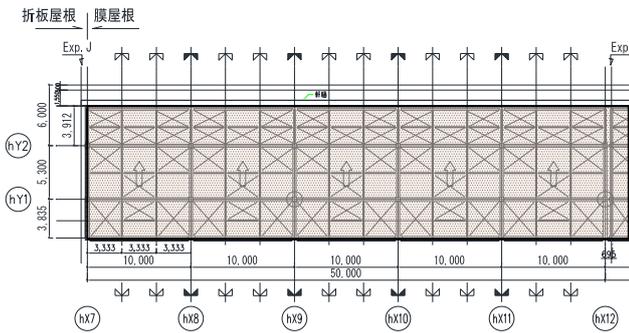


(c) 軸組図 (hX8 通り、膜分割部同様)

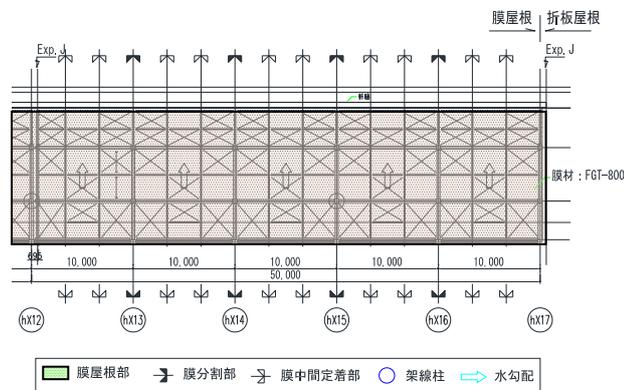


(d) 軸組図 (hX8-hX9 通り間、膜中間定着部同様)

図3 ホーム上家の膜屋根概要図

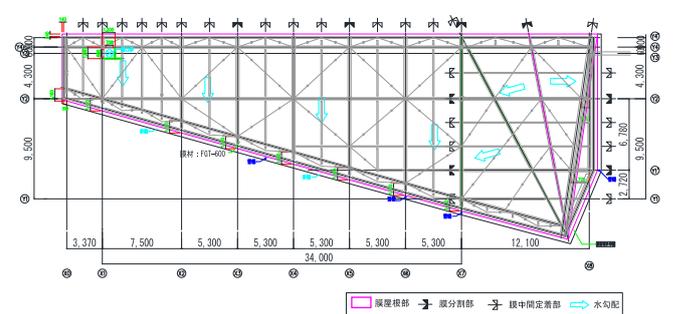


(a) 屋根伏図 (hX7 ~ hX12 通り)

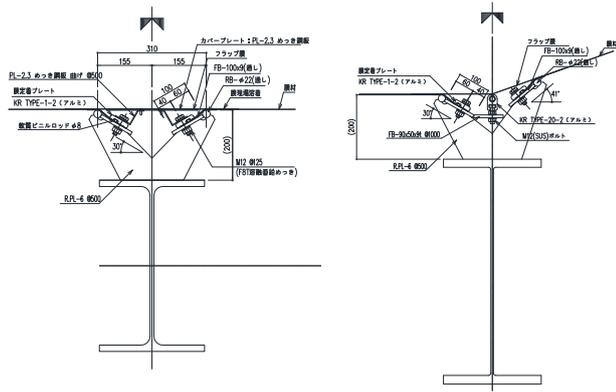


(b) 屋根伏図 (hX12 ~ hX17 通り)

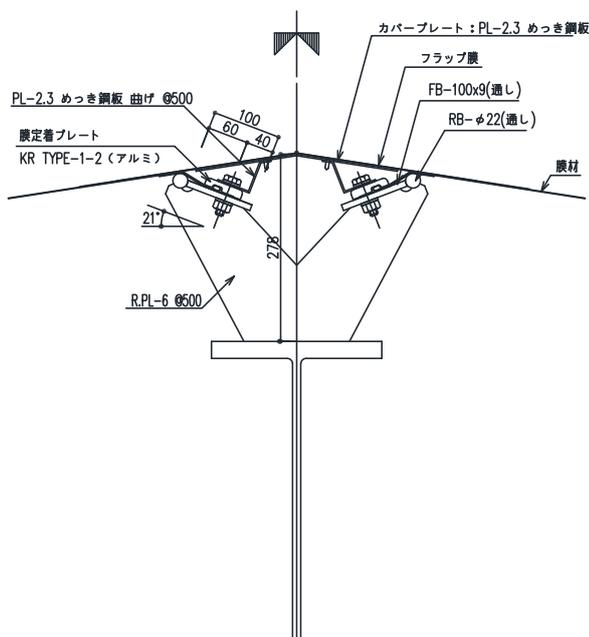
次に、「駅本屋」の概要図を図4に示す。膜屋根の規模は、ホーム上家よりは小さい 697 m² の面積で、屋根形状は片流れのシンプルな形状であるが、屋根一部に段差を設けることで、直線のラインを生かしながら全体的にはシャープな形状としている。特に、周りのショッピングモールからの目線を考慮し、シャープな屋根のイメージを実現させるために、膜屋根の山と谷部分や分割部は極力、直線ができるように膜面の張力導入方法や仕上げ方法などの工夫をした。また、ホーム上家より透光性の良い膜材(FGT-600)を採用することで、入口及び内部空間が壁に囲まれているにも関わらず、より明るい空間が実現できるように配慮した。



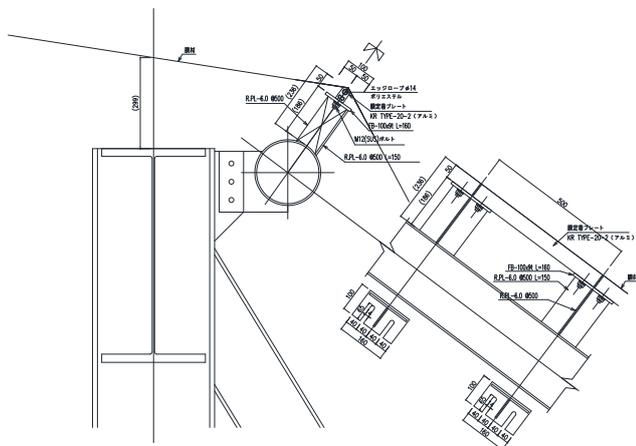
(a) 屋根伏図



(b) 膜分割部の断面詳細図(一般部&谷部)



(c) 膜分割部の断面詳細図(頂部)



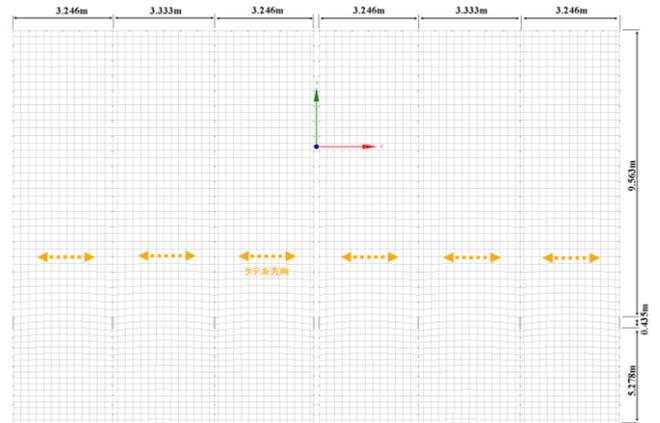
(d) 中間定着部の断面詳細図(側面部)

図4 駅本屋の膜屋根概要図

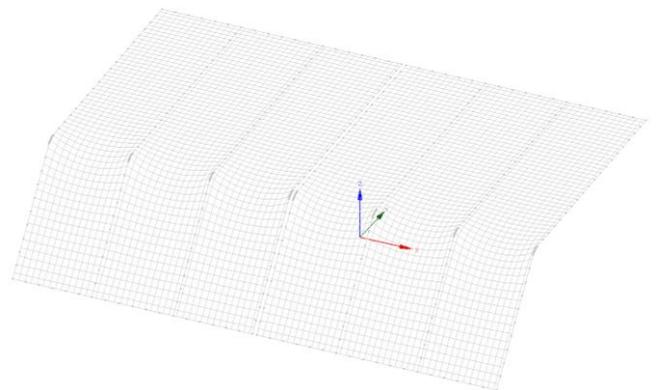
I 膜屋根の設計検討

【検討モデル及び設計荷重】

まず、「ホーム上家」の膜屋根の検討モデルを図5に示す。ホーム上家の場合、屋根形状が同一であり、長く並んでいくことを考慮し、全体のパネルの内、2つのパネルを対象とした。設計荷重は、膜面応力の検討時には、①固定荷重(0.02kN/m²)、②積雪荷重: 0.6kN/m²、③風荷重時(+1.565kN/m²(正圧時))、④風荷重時(-2.086kN/m²(負圧時))と設定し、膜面変形の検討時には②積雪荷重、④風荷重/2と設定した。



(a) Plan view

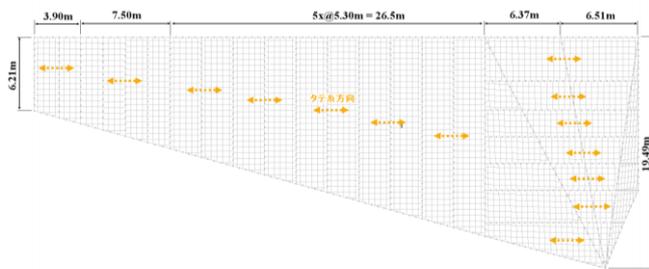


(b) Pers. view

図5 ホーム上家の検討モデル

次に、「駅本屋」の膜屋根の検討モデルを図6に示す。設計荷重は、膜面応力の検討時には①固定荷重(0.02kN/m²)、②積雪荷重: 0.6kN/m²、③風荷重時(+0.504kN/m²(正圧時))、④風荷重時(-1.930kN/m²(負圧時))と設定し、膜面変形の検討時には②積雪荷重、④風荷重/2と設定した。

また、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」に従い、表1の値を用いた。膜面解析は、応力密度法(FDM)を解析手法とするテンション構造専用の汎用プログラムであるEASY(Ver. 2020, Technet GmbH製)を用い、形状解析、応力-変形解析、裁断解析といった一連の検討を行った。



(a) Plan view



(b) Pers. view

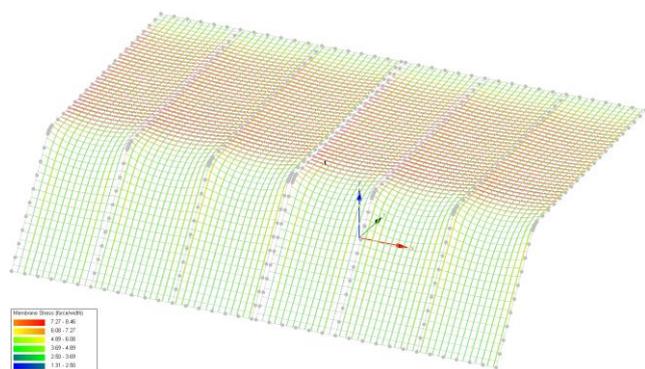
図6 駅本屋の検討モデル

表1 材料物性値と許容応力度

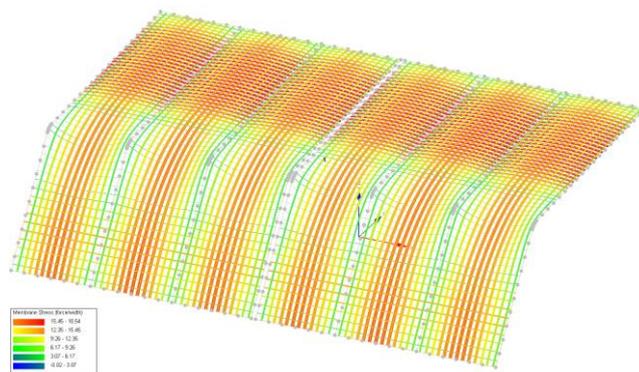
■ FGT-600					
材料名	糸方向	引張剛性 (kN/m)	基準強度 (N/cm)	許容応力度 (kN/m)	
				長期	短期
FGT-600 (0.6mm)	タテ糸	1370.9	1227	15.34	30.68
	ヨコ糸	800.5	980	12.25	24.50
■ FGT-800					
材料名	糸方向	引張剛性 (kN/m)	基準強度 (N/cm)	許容応力度 (kN/m)	
				長期	短期
FGT-800 (0.8mm)	タテ糸	1210.8	1470	18.38	36.76
	ヨコ糸	930.6	1176	14.70	29.40

【膜面の構造検討】

「ホーム上家」の設計荷重に対する検討結果の内、支配的な荷重である積雪荷重時と風荷重時の膜応力図を図7に示す。検討の結果、膜面の最大応力は許容応力の範囲内になることを確認した。なお、膜面変形についても膜面の最大変形量が支点間距離の1/15(積雪)と1/20(風荷重)になることを確認した。



・タテ: 8.46kN/m < 36.76kN/m、 ・ヨコ: 5.80kN/m < 29.40kN/m
(a) 積雪荷重時

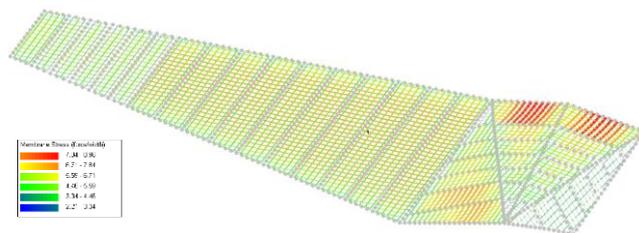


・タテ: 18.54kN/m < 36.76kN/m、 ・ヨコ: 16.41kN/m < 29.40kN/m

(b) 風荷重(負圧)時

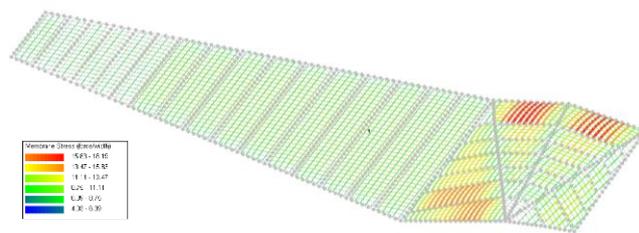
図7 膜面の検討結果

「ホーム上家」と同様に「駅本屋」の積雪荷重時と風荷重時の膜応力図を図8に示す。検討結果より、膜面の応力分布は「ホーム上家」に比べて短辺長さ(支点間距離)が短いことから、全体的には低い応力分布を示しており、一部での膜面の最大応力も許容応力の60%を超えないことを確認した。また、膜面変形についても膜面の最大変形量が支点間距離の1/15(積雪)と1/20(風荷重)になることを確認した。



・タテ: 8.96kN/m < 30.68kN/m、 ・ヨコ: 7.25kN/m < 24.50kN/m

(a) 積雪荷重時



・タテ: 18.19kN/m < 30.68kN/m、 ・ヨコ: 12.49kN/m < 24.50kN/m

(b) 風荷重(負圧)時

図8 膜面の検討結果

【雪による側圧及び水の流れの検討】

設計荷重に対して膜面が安全であることは検討したが、屋根勾配による幾つかの懸念事項が考えられる。「ホーム上家」の場合、水下側の勾配が大きいことから雪溜まりの懸念があり、「駅本屋」の場合、屋根勾配が緩いことから膜面のポンディング問題が懸念された。ここでは、雪により起こり得る条件を仮定し、膜面の検討を行った。

「ホーム上家」については、積雪荷重時に水下側に雪が積

もった場合を想定し、膜面の応力分布が安全であるかを検討した。なお、側圧適用範囲は積もった高さになるが、安全を配慮して1.5mに割増した。

- $W_{SL} = \rho \times d \times \alpha = 0.6 \text{ kN/m}^2$ (積雪荷重)
- $W_{SA} = \rho \times d_A$ (雪が積もった高さ $d_A(\text{cm})$ を考慮した面圧)
 - 雪が120cm積もった場合を想定すると、
 - $W_{SL} = 0.6 \text{ kN/m}^2$
 - $W_{SA120} = 2 \text{ kN/m}^3 \times 1.2 \text{ m} = 2.4 \text{ kN/m}^2$ (面圧)

上記の条件に対する膜面の応力分布を図9に示す。検討結果、雪が積もった場合においても膜面の最大応力は許容応力の範囲内になることを確認した。

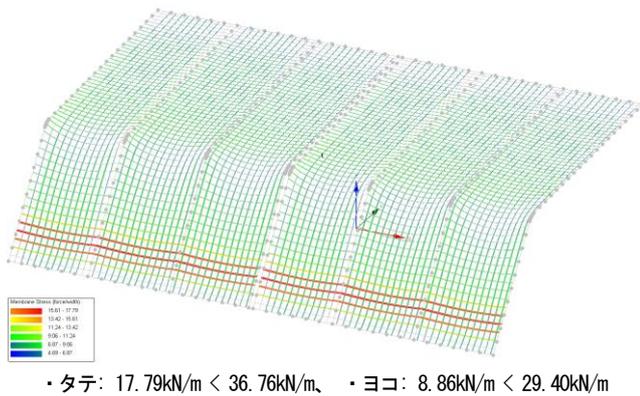
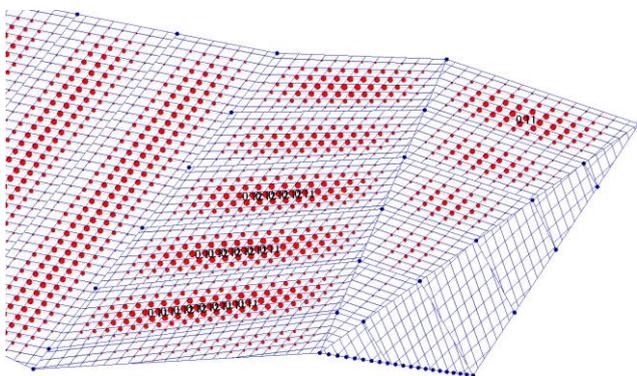
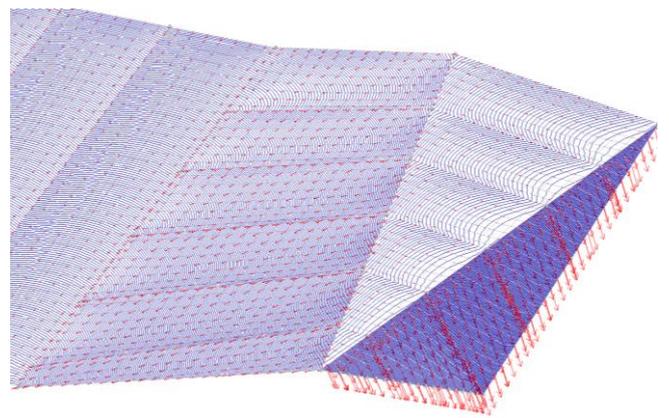


図9 雪の側圧による膜面応力分布(ホーム上家)

「駅本屋」については、頂部の膜面の段差が1m程度しかなく、勾配が緩い条件に対して、図10のように膜面ポンディングの検討を行った。検討結果より、積雪荷重時に水や雪溜まりの傾向は見られず、十分に水勾配が確保できることを確認した。さらに、駅本屋の場合、屋根の水下側は駅舎の入口方向として人が通る方向になっており、大雨時にオーバーフローすることはないように予め水量を計算し、縦樋の位置を検討した【図11】。

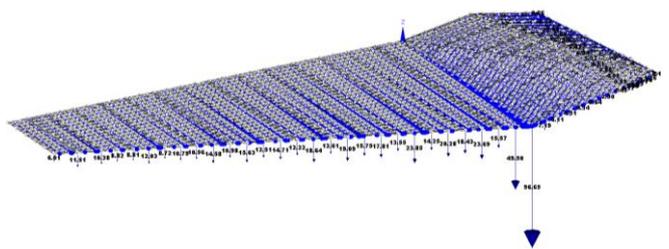


(a) 積雪荷重時の膜面変形量(単位:m)

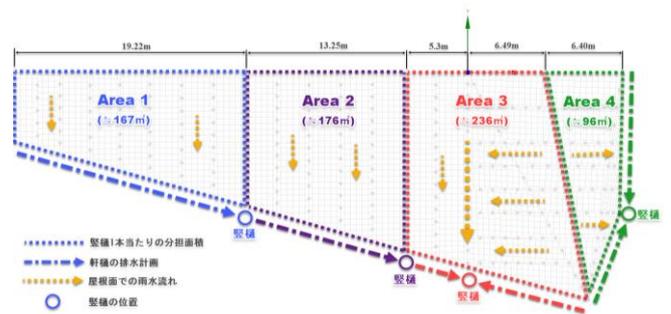


(b) 水勾配の検討

図10 積雪荷重時の水流れの検討(駅本屋)



(a) 膜面の水量計算



(b) 縦樋の位置

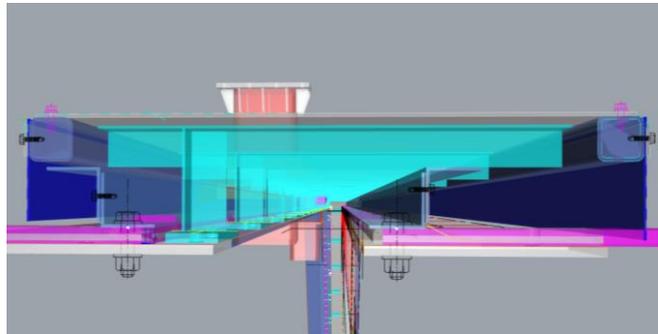
図11 屋根勾配による水量及び樋位置の検討(駅本屋)

膜屋根の製作検討及び施工

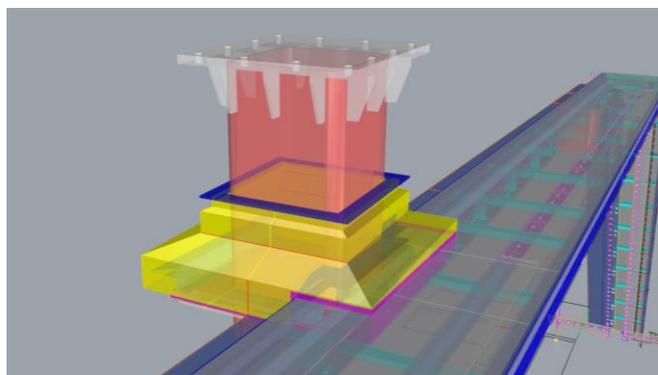
【3Dデータを用いた取合い関係の検討】

設計意図である直線的でシャープなイメージの膜屋根を実現するためにBIM及び3Dデータを用いて、膜下地金物、固定金物、そして膜面との取合い関係を予め検討し、膜パネルの取付時に不具合が生じないようにした。特に、「ホーム上家」の場合、エキスパンションジョイント部と架線柱が近接していたため、お互いに重なる部分では笠木板同士の取合い関係と止水処理の問題があったが、メンテナンス時において

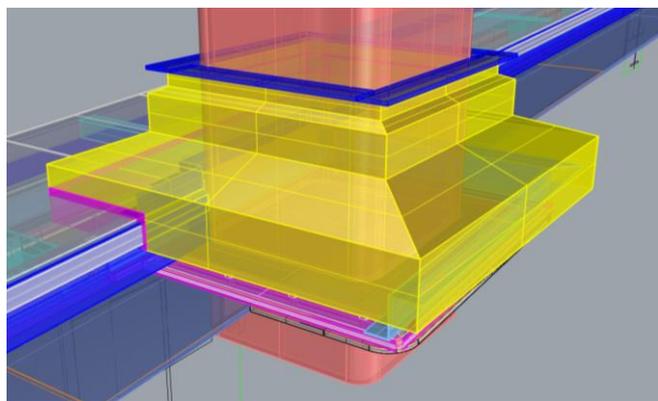
も人が上らない前提とし、エキスパンションジョイント部のディテールを極力シンプルにすることで回避することができた【図 12-(a)】。また、架線柱周りの止水処理については、雨水が流れる箇所は雨水を止めることなく、自然に流すようにし、雨水が通る部分のボルトなどには防水ワッシャーを使うなどの対策をした【図 12-(b), (c)】。



(a) エクスパンションジョイント部のディテール検討



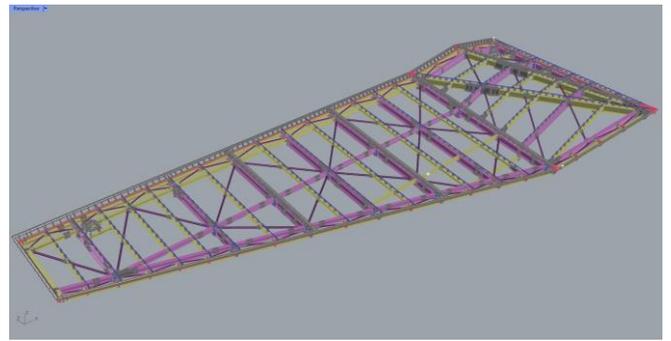
(b) 架線柱とエキスパンションジョイント部の取合い検討



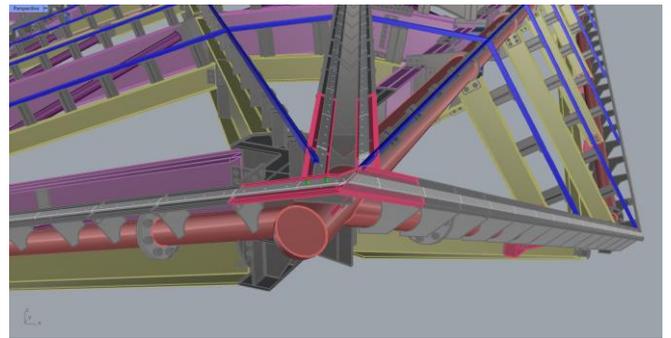
(c) 架線柱の止水処理

図 12 架線柱と Exp. Joint 部の検討(ホーム上家)

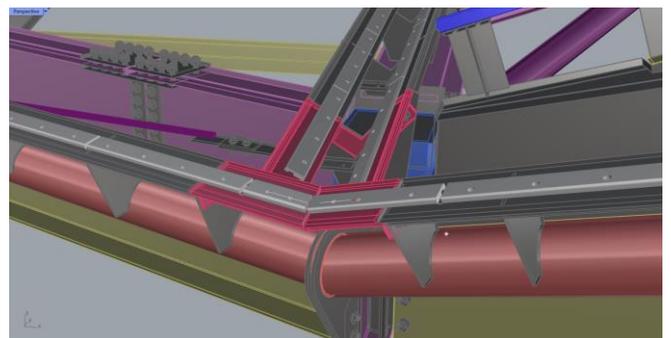
「駅本屋」の場合、直線的で、シンプルな形状をしているが、屋根面は折り紙のようにそれぞれの角度が違うことから、外周固定部と中間定着部の高さを調整しなければならない作業が必要であった。この問題については、BIM データや 3D データを用いて、膜面、膜下地金物、そして固定金物の間に不具合がないよう検討を行った【図 13】。



(a) 膜下地金物と固定金物の配置



(b) 屋根先端部の金物の取合い検討



(c) 屋根谷部の金物の取合い検討

図 13 膜下地金物と屋根先端部の検討(駅本屋)

【膜屋根の施工】

膜屋根の施工及び完成状況を図 14 から図 24 に示す。通常、膜屋根の取付工事は、昼間に行われることが一般的であるが、本件では、特に「ホーム上家」の場合は終電後、き電停止してから 2 時間程度の短時間作業という厳しい条件下で行われた。そのため現場では極力手戻り作業がないように膜取付工事前の事前シミュレーションや膜パネルの寸法管理を最優先とし、施工合理化と共に工事時間短縮を実現した。

幕張豊砂駅の開業後、駅舎の利用者からは好意的な反応が得られている。透過性の良い膜屋根は、駅舎全体に明るく開放的な雰囲気をもたらし、利用者に快適な待ち時間を提供していると考えられる。また、膜屋根の適用により、太陽光の活用が最大限に促進され、照明エネルギーの使用量が削減されることが期待される。なお、工事完了により、駅周辺の景観が一層美しくなり、地域の魅力が向上できたと考えられる。



図 14 膜屋根の取付様子(ホーム上家)



図 17 膜パネルの展張様子(駅本屋)



図 15 側面膜の取付様子(ホーム上家)



図 18 膜屋根の取付様子(駅本屋)

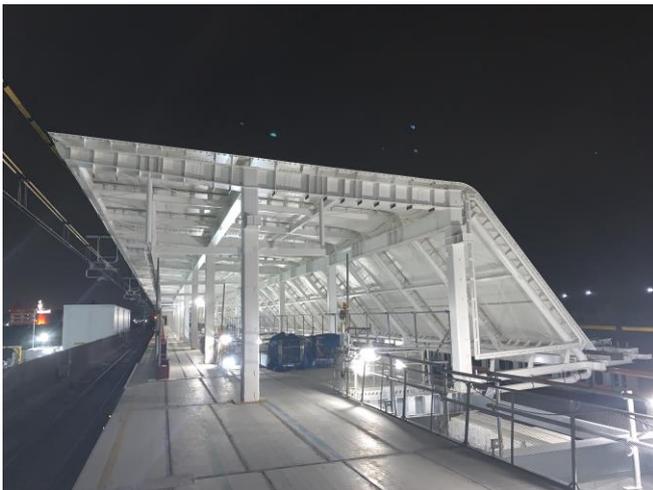


図 16 膜屋根の取付完了(ホーム上家)

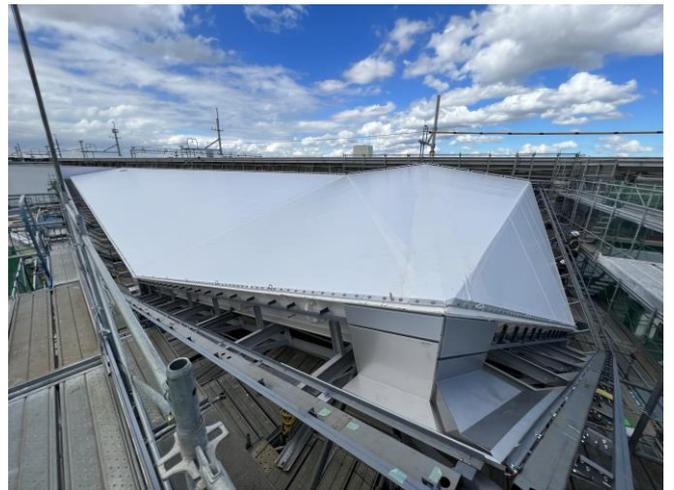


図 19 膜屋根の取付完了(駅本屋)



図 20 膜屋根の完成様子(駅本屋側のコンコース)



図 22 膜屋根の完成様子(ホーム上家、上り線側)

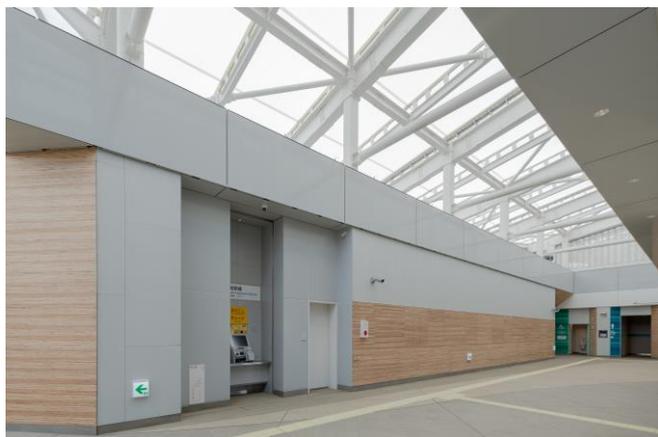


図 21 膜屋根の完成様子(駅本屋のコンコース)

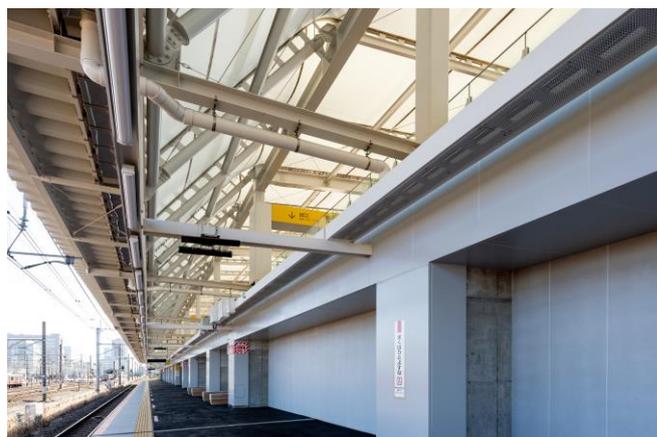


図 23 膜屋根の完成様子(ホーム上家、下り線側)



図 24 幕張豊砂駅の膜屋根の全景(出典：鉄建建設株式会社)