

The Membrane Structures Association of Japan

膜構造ジャーナル 2023
Journal of Membrane Structures 2023

– No. 3–

一般社団法人 日本膜構造協会

建築の一分野として確立してきた膜構造は、近年建設数も増し、日本における研究者の数も増しています。これにともない、研究テーマも多岐に互るようになり、発表される論文も多分野に互り、その数も多くなっています。これらの状況より、一般社団法人日本膜構造協会において、膜構造に関する研究成果の発表の場を設定し、「膜構造ジャーナル」として、膜構造研究のためのまとまりある資料として、あるいは設計、建設のための指針として位置付け、年次計画で発行することとしています。

内容は3編に分け、1編では研究論文として査読を行い、質の高いものを選び掲載することとしています。2編では、膜構造に関する査読は行わない報告、概説を広く扱うことにしています。また3編では、他誌、国際会議等で発表されたその年の膜構造関係の論文のabstract、または題名を掲載し、研究のための資料とし役立てたいと考えています。このようにして刊行する研究論文集は、広く研究者、研究団体及び関係各位に積極的に配布し、今後の膜構造の発展に寄与することを目的としています。

膜 構 造 ジ ャ ー ナ ル 2023

Journal of Membrane Structures 2023

〔目 次〕

第1編 研究論文

1. 空気によるプレストレスト柱構造の基礎的な載荷試験-----	1
武 藤 宝 (東京大学大学院)	
川 口 健 一 (東京大学 生産技術研究所)	
中 楚 洋 介 (山田憲明構造設計事務所)	
菊 池 淳 一 (太陽工業株式会社)	
谷 脇 孝 一 (太陽工業株式会社)	
田米開 三恵子 (太陽工業株式会社)	

第2編 報告・概説

1. 天王川公園野外ステージ改修工事-----	11
井上 祐子 (太陽工業株式会社)	
2. 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-----	15
丁 乙 碩 (協立工業株式会社)	

[第1編 研究論文]

空気によるプレストレスト柱構造の基礎的な载荷試験

武藤 宝^{*1}

川口 健一^{*2}

中楚 洋介^{*3}

菊地 淳一^{*4}

谷脇 孝一^{*4}

田米開 三恵子^{*4}

空気は、超軽量かつどこでも入手できる一方で、空気膜構造という形で張力導入のために用いることもできる。張力導入のために構造物重量が増えることはなく、空気とプレストレスの入った部材からなる構造物全体は超軽量のままである。このような構造物を「空気プレストレスト構造」と呼ぶ。本報では、直径 1.2m 長さ 3.0m の円筒形エアチューブでX字に配置された張力材にプレストレスを与えた、柱型の空気プレストレスト構造に対して载荷試験を行った。4.0kPa まで加圧した空気プレストレスト柱は、2.54kN まで安定して支えることができたが、それ以降はケーブルの弛緩により構造物は水平方向に不安定になった。空気圧の 73.9%が張力材にプレストレスとして導入された。

1. はじめに

細長い部材は座屈により圧縮耐力が制限されるが、初期張力の導入により、その部材が張力状態で用いられる限り圧縮を受けても座屈は生じない。張力を導入するには、通常、剛な境界条件から反力を得るか、太い束材を用いて自己釣合系をなす必要がある。しかし剛な境界条件や太い束材を構造物に含めて考える場合には、構造物全体の重量は大幅に増してしまう。初期張力を用いる張力構造は、材径を細くでき、省材料・軽量の構造が可能になる大きな特長を持っているが、圧縮材の重さにより、その省材料性・軽量性を活かさない。

一方、ケーブルを空気充填膜構造と組み合わせることで、空気圧でケーブルに張力を導入できる。(図1)くわえて、張力導入のために重量が増えることなく、構造全体は軽量のままである。本報では、空気充填膜構造が空気圧でケーブル等の部材に張力を与え、空気圧と張力材が自己釣合状態にある構造物を「空気プレストレスト構造」と呼ぶ。

この構造物に鉛直下向きの外力がかかり、構造物が圧縮されると、柔軟な膜構造の代わりに予め引っ張られたケーブルが部分的に張力を失うことでケーブルが圧縮力を負担する。

一般の鉄骨骨組に細い斜めブレース等が入る場合も緩み留め程度のプレストレスが導入されるが、鉛直圧縮力を受けるのは太い骨組等である。プレストレスの入った斜材は地震力等を受けることを期待され、鉛直力に対しては、従たる部材となる。しかし、空気プレストレスト構造は、空気充填膜構造がプレストレス反力を負担し、張力材が圧縮を受けることから、むしろ張力材が主たる部材の構造物となる。

提案する構造物と似た既往の構造物として、空気膜をケーブルや棒材と組み合わせたものが挙げられる¹⁾。しかし本構造物は、空気を張力導入のための圧縮材として用い、初期張力を与えたケーブルの軸剛性を積極的に利用するという点でそれらとは異なる。

そのほか類似の構造物の例として D.Geiger 等によるケーブルで補強された偏平空気支持型ドーム²⁾が挙げられる。このドームでは、ケーブルは膜屋根全体を曲率の大きい曲面に分割し、膜材にかかる張力を弱めるために導入されている。確かに、ケーブルは空気圧により張力状態になり、風などの外乱の影響を受けにくくなる。しかし膜面に沿ったケーブルは、アーチやグリッドシェルと同じような軸力形で外力に抵抗する構造とはならない。空気支持型ドームは張力の入ったケーブルの高い軸剛性を圧縮方向には活用していない。

一方で、内部の気体が密閉されていれば、エアチューブ単体でも空気ばねから適度な剛性を得られる。寸胴なエアチューブは空気ばねが高く³⁾、内圧 P 断面積 A 長さ L のシリンダーにおいて、空気ばねは $K_a = PAL$ である。(単位は[力/長さ]、内圧は絶対値)しかしながら、内圧やアスペクト比は制限があるため、ケーブル付加によって得られる剛性は空気

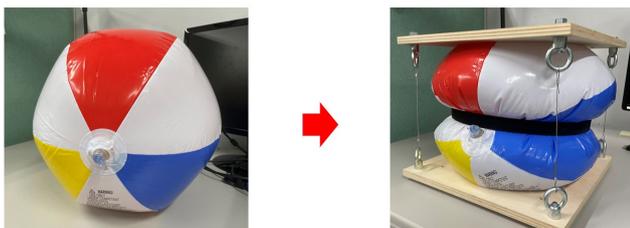


図1 空気による張力導入

^{*1} 東京大学大学院 工学系研究科 大学院生

^{*2} 東京大学 生産技術研究所 教授 (工博)

^{*3} 山田憲明構造設計事務所 博士 (工学)

^{*4} 太陽工業株式会社

ばねよりも大きいと考えられる。くわえて、ケーブルの材質や量を調整し、用途に応じて構造物の剛性を自由に変えることができるため、エアチューブ単体よりも便利である。

本報では、長さ 3m の円筒形エアチューブを用いて、空気プレストレス構造の柱を作製し、その基礎的構造挙動を調査するための载荷試験を行った。(以下、試験体を空気プレストレスト柱と呼ぶ) 試験体および試験の様子を写真1に示す。以下、結果および試験を通して明らかになった点を報告し、考察する。



写真1 試験の様子

2. 試験方法

空気プレストレスト柱の载荷試験は 2023 年 8 月に、屋内空間で行われた。試験場の気温・湿度・気圧はそれぞれ 24.2°C、46%RH、983.9hPa で、試験実施時間を通して大きな変化はなかった。ただし床面+5.0m 地点は床面+0.7m 地点よりも気温が 3 度高かった。本試験の前に、準備試験が行われた。

試験体の空気プレストレスト柱は、エアチューブ、ケーブルおよび合板で構成されている。エアチューブの概形を写真2に示す。チューブは高さ 3.0m、直径 1.2m の寸胴な円筒形であり、膜厚 0.3mm の塩化ビニルのシート材から作製された。エアチューブの溶着線はシートに比べて硬化しているが、15mm 幅程であり、全体の挙動に影響を与えていないと考えている。

合板は、厚手の布により作られたファスナーを介して、正円をしたエアチューブ両端と接合されている。写真3に上板とチューブの接合部を示す。合板は圧力を受けても平面を保つために、写真4で示すように、C形鋼で補剛されている。合板の四隅に取り付けられたアイボルトに、ケーブルの両端を取り付けた。本報ではケーブルはX字に交差させて取り付けている。8本あるケーブルは対称関係にあるため、ケーブルの初期状態における張力(初期張力)は、設計上すべて同じになる。設計時の初期張力は内圧 4.0kPa のときに 0.52kN であり、これはケーブルの破断荷重 9.51kN に対して 5.5% である。エアチューブの側面は網で覆われており、薄い膜材の代わりに周方向張力を受ける。この網は、周方向では同じ素材で縫合されている。軸方向では網を膜材が巻き込み、マジックテープで閉じることで、合板とも接合されている。このため網は軸方向の張力も受ける。網の目の粗さは準備試験

では 100mm、本試験では 50mm とし、加圧時のチューブの周方向への変形を抑えている。膜と網はいずれも市販品であり、安価かつ軽量である。試験に用いた材料を表1にまとめる。

表1 材料

部材	材料、寸法
膜材	PVC フィルム, E=12MPa, t=0.3mm
網	PE, 440T/50 本, ピッチ 50mm (準備試験ではピッチ 100mm)
ケーブル	ステンレス φ4mm, (構成 6x19) A=7.49 mm ² , E=1.93×10 ⁵ MPa
合板	合板, t=15mm

(但し E:ヤング率, A:断面積, t:厚み)



写真2 寸胴なエアチューブ(0.8kPa)



写真3 接合部および網の様子



写真4 C形鋼による上板の補剛

試験体は以下の手順で組み立てた。

1. 地上でエアチューブの両端を合板と接合し、エアチューブの側面に網を巻きつける。
2. 上端の合板（上板）をクレーンで持ち上げ、網の端を合板と接合する。
3. 長さを揃えたケーブルを、合板四隅に取り付ける。
4. クレーンで上板を吊り、所定の高さにまで持ち上げる。
5. エアチューブに少しずつ空気を入れる。空気圧で上板が押し上げられ、ケーブルに張力が入るのを確認する。C形鋼を含む上板の自重は50kg前後である。
6. 0.8kPa程度まで加圧し、クレーンを外して試験体が自立するのを確認する。

はじめは、エアチューブの長さ3160mmと同じ分の高さで上板を吊った後にケーブルを取り付けたが、初期張力は想定より小さかった。試行の末、上板の位置を低くし、高さ2820mmにしてケーブルを取り付けた。写真5に組み立ての様子を示す。



写真5 試験体を組み立てる様子

試験体の平面図・立面図を図2、3に示す。また用いた機器を表2に示す。試験中、エアチューブの内圧は4.0kPaで一定になるように管理した。ただし内圧とは、外気圧との差圧を表す。コンプレッサからエアチューブへ直接送られる高圧の空気は、空気弁でその量を調節した。送気・気圧測定はエアチューブ下方に取り付けた2本の管から行った。エアチューブの漏気の程度を観察するため、送気を止めて1分ほど放置すると、内圧は下がり、4.0kPaを保てないと分かった。そこで試験中は送気量を手動で調整し、内圧を常に4.0kPaを保った。

载荷時、試験体の直上から20kgの鉄板を1枚ずつ上板に水平に置いていった。試験体の転倒や錘の転落を防ぐため、試験体周囲に鋼製フレームおよび足場を作製し、その内側に試験体を置いた。鋼製フレームに変位計を設置し、上板の鉛直・水平変位を測定した。鉛直変位は上板四辺の midpoint の4か所で、水平変位も上板の辺の midpoint で南北・東西方向で測定した。(図2、3参照)

試験手順を以下に列挙する。

1. 1.0kPa刻みで段階的に加圧する。
2. 4.0kPaまで加圧し、その内圧を保って5分待つ。
3. エアチューブの初期形状および上板の初期位置を測定する。
4. 鉄板(20kg)を一枚載せる。
5. 鉛直・水平変位・ケーブル張力を測定する。
6. 手順4,5を繰り返し、水平変位が20mm前後に届いた時点で载荷を中止する
7. 手順4,5の逆を行う。すなわち鉄板を一枚ずつ取り除き、その都度、変位などを記録する。

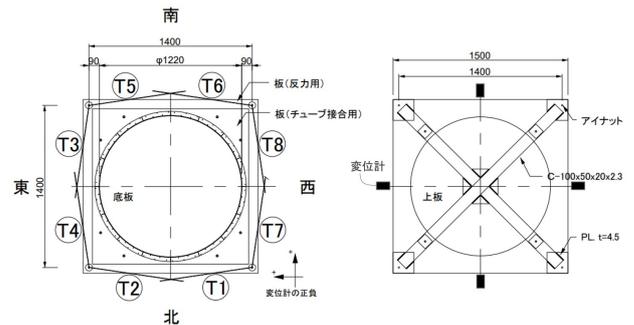


図2 平面図

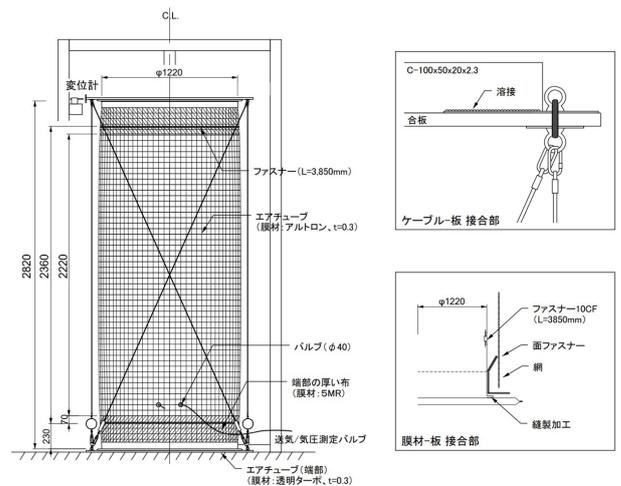


図3 立面図

表2 測定機器

	品番 (製造会社)
変位計	CDP-50 (東京測器研究所)
気圧計	PGM-05KG (共和電業)
コンプレッサ	AK-HL1310E (MAX)
ロードセル	TCLZ-2KNA (東京測器研究所)

エアチューブは反力として空気圧と同じ大きさの圧縮力を受けるため、軸とは直交する方向に撓む傾向にある。撓みは初期不整の原因となり、例えば初期状態のケーブル張力が揃わなくなる。これを補正するために、写真6に示すように、

現場でケーブルとエアチューブの間に浮き輪を挿入した。柔軟で空気圧を面で受けられる浮き輪は、エアチューブの撓みを補正するのに適していると考えられた。写真7では、準備試験での浮き輪がない試験体、および本試験での浮き輪がある試験体のエアチューブ形状を比較している。準備試験ではケーブルとエアチューブの隙間は、東面と西面で32mmの差があったのに対し、本試験で浮き輪を挿入した後はその差は解消され、浮き輪のおかげで撓みは補正された。ケーブルはわずかに外向きにはらんだ。



写真6 浮き輪を入れた様子

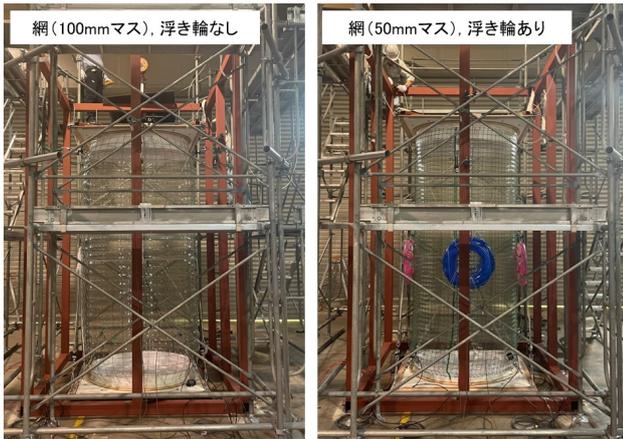


写真7 浮き輪の有無によるエアチューブ形状の比較

3. 予想

ケーブルは断面積が小さいものの、膜材に比べはるかに剛性が高いため、空気プレストレスト柱は全体としてケーブルから成るトラス構造のような挙動をする。ケーブルは鉛直に対して斜めに配置されているので、ケーブルが張力状態であれば、空気圧に近い荷重でも水平方向の不安定は生じない。しかし、荷重とともにケーブルの初期張力は徐々に失われる。ある時点で張力は完全に抜けてしまい、水平方向の外力に抵抗する剛性を失う。

4. 結果1 インフレート後の試験体

空気を入れた後の試験体は、膜が透明で網が細いため、試験体の裏の様子がぼんやり透けて見えた。上下の合板はC型钢により補剛されていたが、補剛されていない四辺中央では

加圧時に内圧によりわずかに曲がっていた。初期状態のずれについて、上板が水平方向に西へ20mm、南へ3mmずれており、鉛直方向では東面が7mm高かった。

膜材のクリープ現象や、それに伴う圧力の変化を観察するため、4.0kPaまで加圧した後、5分放置した。図4に各内圧における試験体高さの変化、図5に半径に直した周長の変化を示す。周長は巻尺をチューブ側面に這わせることで測定し、 2π で除して半径に換算した。図から、試験体の高さと半径は圧力に比例して増加していることがわかる。また、確かに試験体は伸び、また放射方向に拡大しているが、その幅は4%台であった。

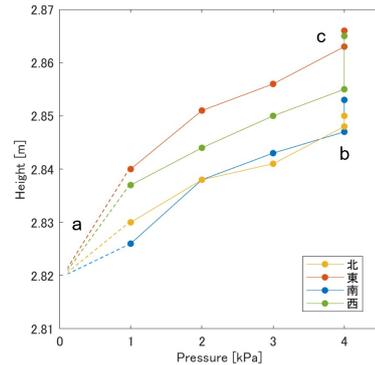


図4 高さの変化 (a:加圧前 b:載荷前 c:除荷後)

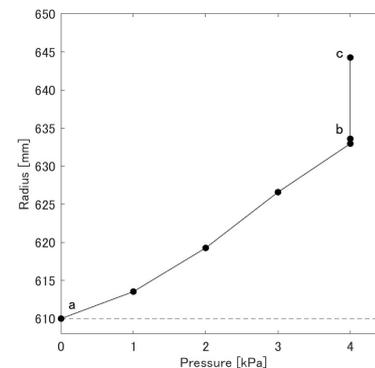


図5 周長の変化 (ただし半径に換算している) (a:加圧前 b:載荷前 c:除荷後)

5. 結果2 載荷後の変化

4.0kPaの加圧から5分後に荷重をはじめた。諸々の測定や機械の操作により、荷重ペースは約5分で鉄板1枚であった。図6に鉛直・水平変位を示す。鉛直変位は荷重に対して線形に増加した。傾きを荷重0kN-1.96kNの範囲で最小二乗法を用いて求めると、軸剛性は492N/mmであった。一方、水平変位は、2.54kNまでは線形に増加し、北西方向に3mmとわずかに倒れていったが、2.54kNを境に、変位は逆方向へ転じ、南へ変位した。特に、最大荷重時の3.17kN荷重時には10mm南へ大きく変位した。写真8は水平変位が南側に大きく生じたときの試験体の様子である。初期状態に比べ、エアチューブが南へC字に撓んでいるのがわかる。最大荷重を

かける前後でエアチューブは大きく変形し、上板の水平変位は増大した。最大荷重から除荷した直後は、引き続き水平変位は増大したが、その後、上板は初期位置から4mmほどずれた位置に戻った。載荷前と除荷後のケーブル張力を比べると、南北で5%増加し、



写真8 初期状態（北）および最大荷重時（東）

東西で8%減少した。荷重3.17kNを試験体の最大支持荷重とすると、エアチューブ断面積で除して圧力の単位に換算した値は2.8kPaとなり、内圧4.0kPaに対して7割程になった。

除荷後の試験体の高さおよび半径は、載荷前のそれらよりも増えており、試験体が完全な弾性ではないことがわかる。膜材の伸びが弾性範囲であること、(ケーブルをあらかじめ引っ張っておくこと)から、摩擦が載荷前の状態に戻らない原因の1つとして挙げられる。

各ケーブルの張力の絶対値を示した図7と照らすと、2.74kN 載荷時にT8が30Nを下回り、8本のケーブルのうちT8がはじめて弛緩した。次に、最大荷重3.16kNの載荷時にはT3とT5が25Nまで減少し、弛緩した。T3、T5、T8はいずれも南側半分に位置しており、またT3、T8は南へ変位したときに材長が短くなる位置にある。このことから、水平変位の急増は、ケーブルの弛緩により生じたものであると考えられる。

8本のケーブルの初期張力は設計上すべて同じであるが、実験では最大張力と最小張力の差は167Nであった。また載荷によってケーブル張力は減少しているが、その減少割合はケーブルにより異なる。

図8は初期張力を基準として、載荷中の張力変動を示したものであり、見かけ上ケーブルが受けた圧縮力を示している。図から、南北に面するケーブルがほかよりも多くの圧縮を受けていることがわかる。図3では南北では上板の高さが他よりも約10mm低く、これと関係があると考えられる。

図9は8本のケーブル軸力の鉛直成分を合計したものを示している。自重50kgを差し引いた空気圧4.03kNと比較して、ケーブルには鉛直方向に2.93kNの張力がかかったことがわかり、その割合は73.9%であった。ケーブルにかかる初期張力が大きいほど、空気プレスストレス柱の耐荷重は大きくなるため、この割合が100%に近いほど理想的である。

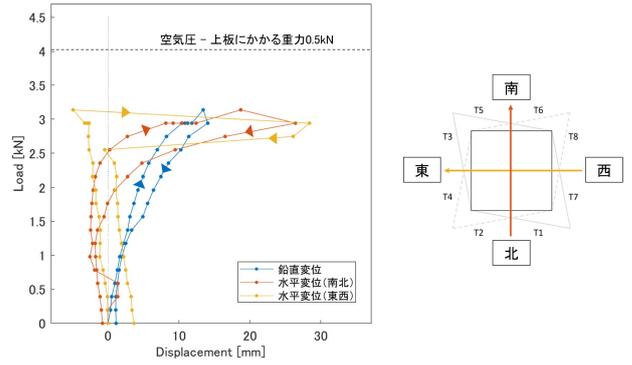


図6 鉛直変位・水平変位

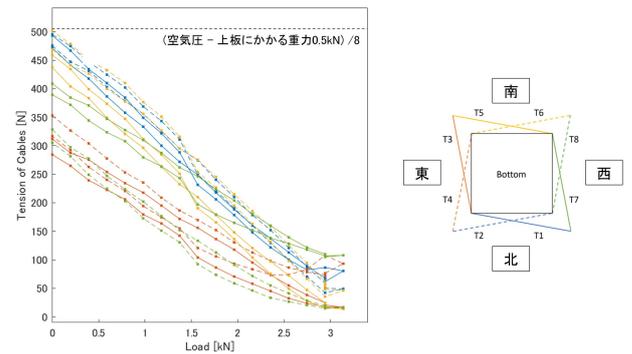


図7 各ケーブルの張力

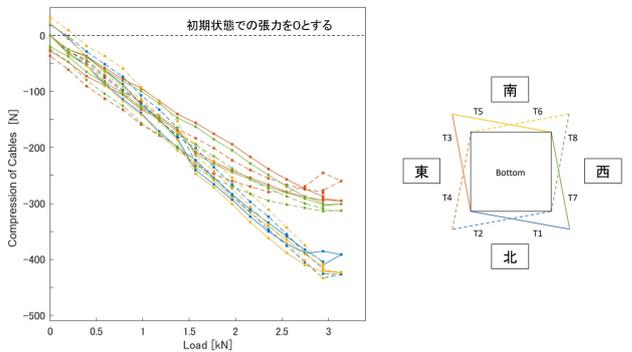


図8 各ケーブルが負担する圧縮力

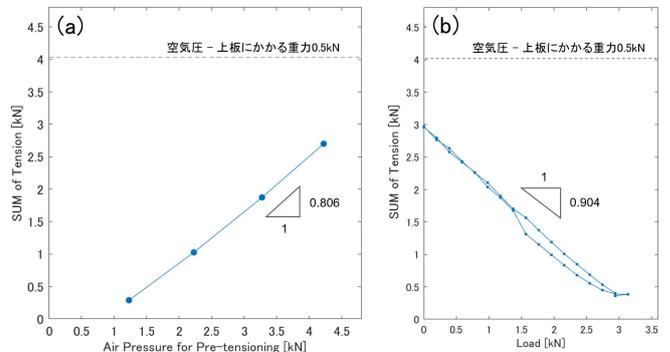


図9 ケーブル張力の鉛直方向成分の和
(a: 加圧時 b: 載荷時)

6. 考察

①ケーブルに導入された初期張力

加圧時、空気圧によって膜材と網およびケーブルには張力が導入されるが、その張力は軸剛性に応じて按分されるはずである。膜材と網の複合体、ケーブルの軸剛性をそれぞれ EA_1 、 EA_2 とおくと、全体剛性 $EA_1 + EA_2$ に占める EA_2 の割合は以下のように求められる。

$$EA_1 = \text{剛性 } 45 \text{ N/mm} \times \text{試験体長さ } 3830 \text{ mm} = 1.72 \times 10^5 \text{ N}$$

$$EA_2 = \text{剛性 } 492 \text{ N/mm} \times 0.904 \times 2820 \text{ mm} = 1.25 \times 10^6 \text{ N}$$

$$EA_2 / (EA_1 + EA_2) = 87.9\%$$

ただし EA_1 については、加圧時の周方向の応力と伸びとの関係が傾き 45 N/mm の線形関係であることを用いた。(図5) EA_2 については、試験体の軸剛性がケーブルの軸剛性は試験体の軸剛性 492 N/mm および載荷荷重とケーブル軸力の鉛直成分の比(図6)から推定した。

したがって、初期状態においてケーブルにかかる張力は、空気圧から自重を差し引いた力の 87.9% に達するはずである。また、図9bにおいて載荷荷重とケーブル軸力の鉛直成分の比をとると 90.4% であり、 87.9% に近い値となった。しかしながら、実験ではその割合は 73.9% であった。

実験と計算で、空気圧に対する初期張力の割合に差がある理由として、(1) 膜材が二軸引張状態にあること、(2) 加圧によってチューブが丸みを帯びたこと、(3) ケーブル取り付け時の上板の高さが適切でないことが挙げられる。

このうち理由(1)について、上記の膜材と網の複合体の軸剛性を用いて、単位長さあたりの膜材と網の軸剛性 Et_{lm} および Et_{ln} を比べると、表1から

$$Et_l = Et_{lm} + Et_{ln} = 45 \text{ N/mm}$$

$$Et_{lm} = \text{膜材ヤング率 } 12 \text{ N/mm} \times \text{厚み } 0.3 \text{ mm} = 3.6 \text{ N/mm}$$

$$Et_{lm} / (Et_{lm} + Et_{ln}) = 3.6 \text{ N/mm} / 45 \text{ N/mm} = 8.0\%$$

となり、膜材はほとんど力を受けていないことがわかる。膜が周方向に強く引っ張られたとしても、膜と網の複合体はほとんど網単体と同じ挙動になり、膜の軸方向の歪は無視できる。このため、前者の理由は不相当と思われる。

理由(2)について、加圧時にエアチューブが周方向に膨らみ、エアチューブ形状が変化したことがプレストレスの分配に影響を与えた可能性がある。その膨らみは、空気圧アクチュエータのように膜面全体が膨らむことなのか、それとも正方形の網目のなかで局所的に膨らむことなのかは明らかでない。組み立て時の上板高さがエアチューブ長さよりも短くなったことも、この理由に関係していると考えられる。

理由(3)について、図9aに示すグラフを外挿すると、横軸の切片は約 0.8 kN であり、自重にかかる重力 0.49 kN より大きい。したがって、組み立て時の上板の高さを少し下げれば、組み立て後にケーブル長を短くしていれば、ケーブル張力の鉛直成分は空気圧の 100% に近い値になったと考えられる。理

由(3)のほかにも、計算値が実験結果と一致しない原因があると考えられる。

②エアチューブの形状不整を取り除く方法

エアチューブ自体の初期撓みを改善するために浮き輪を挿入したが、それははじめから設計されたものではなかった。しかしケーブルとエアチューブの距離を一定に保つ装置としては結果的に適切に働いたと考えている。耐荷重を高めるには、ケーブルに均等に張力を入れなければならない、大きな形状不整は許されない。エアチューブが多くの箇所からケーブルに反力を受ければ、その形状は設計通りに近づく。しかしそれは手間と相反する。効率よくエアチューブ形状を補正するための介物が求められる。

③周方向の拘束

網の硬さについて、エアチューブの径方向は網で拘束されていたが、 4.0 kPa 加圧したときに半径は約 5% 増加した。より硬い網で周方向を拘束すると、柔軟なエアチューブは硬いシリンダー容器に近くなり、密閉された空気のはね効果を得やすくなる。また、より高圧にしても膜材の張力を低くでき、ケーブルに蓄えられる張力も増える。

④気密性の改善

準備試験で用いた試験体において、熱により硬化した溶着部は、載荷で生じる変形に追従できずに破断した。破断箇所を写真9に示す。破断前、溶着線は漏気するようには見えなほどきれいに溶着されていた。空気漏れは送気・気圧測定用のバルブ付近から生じた可能性が高い。気密性が向上すれば、空気のはね剛性を利用することができる。また空気を常には送気せずに済むため、騒音が減り、環境負荷も低くなる。



写真9 膜接合部の破断 および 送気口

⑤試験体の剛性の体感による確認

試験後、筆者は試験体である空気プレストレス柱の上で立ち、足踏みや小刻みなジャンプをした。着地時に体感で 1 cm 沈んだように思えた。水平方向に揺らしてみると、復元力はさほど強くないが、しかし確実に元の位置まで戻り、特に不安を感じさせなかった。板の端に載っても変形は大きく生じなかった。(写真10)

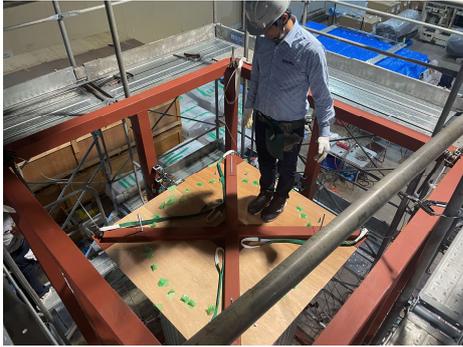


写真10 試験体に人が載っている様子

7. 結論

載荷試験を通して、以下の結論を得た。

1. 高さ 3.0m の空気プレストレスト柱を作製し、4.0kPa で加圧した。試験体高さに対する組立て時の上板のずれは最大 0.7% であり、小さく抑えられた。
2. ケーブルの長さ管理が重要と思われる。柔軟なエアチューブと剛な合板の接合部の作製が難しい。また、浮き輪をエアチューブとケーブルの間に挿入することで、エアチューブの初期不整を大きく減らした。
3. 試験では最大 3.2kN 載荷し、水平方向への変位は 18mm であった。途中までは変位は小さく、荷重に対して線形に増加したが、2.6kN で水平変位が増大した。軸剛性は 492N/mm であった。
4. 加圧後、ケーブルに導入された初期張力の大きさは 2.93kN であり、空気圧の 73.9% に相当するが、計算値 87.9% よりも低かった。この乖離の原因は今後さらなる考察が必要である。
5. 浮き輪の代替となるエアチューブの変形抑制部材、網の高剛性化、気密性の改善も課題として挙げられた。

謝辞

本研究の一部は、能村膜構造財団 令和 2～4 年度の研究助成「植物の成長過程に学ぶ空気充填型膜構造とそれを用いた支持構造に関する研究」(申請者;中楚洋介)を受けて行った。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Dessi-Olive, Jonathan : Self-deploying tensegrity structures with inflatable struts, Proceedings of IASS annual symposia, Vol.2019. No.5. pp.1-8, 2019.
- 2) Luchsinger, Rolf H., Mauro Pedretti, and Andreas Reinhard: Pressure induced stability: from pneumatic structures to Tensairity®, Journal of Bionic Engineering, Vol.2004 No.1, pp141-148, 2004
- 3) 黒岩博之:大空間構造への挑戦, コンクリート工学, Vol.26 No.1, pp.61-68, 1988
- 4) T.Muto, K.Kawaguchi, Experimental research of axial

PRELIMINARL SUTDY ON LOADING TEST FOR PNEUMATICALLY PRESTRESSED COLUMN

Takara Muto ^{*1}
Ken'ichi Kawaguchi ^{*2}
Yosuke Nakaso ^{*3}
Junichi Kikuchi ^{*4}
Koichi Taniwaki ^{*4}
Mieko Tamegai ^{*4}

Summary

Pre-tensioning can reduce self-weight of the structure, but rigid boundary condition or fine struts, both of which are very heavy, are usually required to get reaction force to introduce the pre-tension. However, air pressure is possible to introduce the pre-tension by combining an inflatable cushion and cables, without increasing its self-weight. The structure keeps its ultra lightweight. We call the structure as “Pneumatically Prestressed Structure”. In this report we made pneumatically prestressed column, which is the column type of pneumatically prestressed structure, with a cylindrical inflatable tube of 3 m length. Then, loading test was performed for it.

The prototype consists of an inflatable tube, cables, and rigid plate. The length and diameter of the tube is 3.0m, 1.2m, respectively. The tube is made of thin sheet of PVC, which thickness is 0.3mm. A net is wound on the lateral surface of the tube as reinforcement. The net takes tension instead of the tube, therefore thin sheet is suited to make the tube with less material. The plate is attached to both ends of the tube via Velcro and fastener. The ends of 8 cables are connected to corners of the plate and the cables are arranged like the alphabet X. Loading test was performed by putting metal weight on the upper plate of the specimen from above, one by one. At every loading step, vertical and horizontal displacements were measured.

The results are summarized as follows.

1. We made the prototype of pneumatically prestressed column, which had 0.7% assembling error. The prototype was inflated at 4.0 kPa. It is essential to control of the length of cable in advance.
2. Inserting swim rings contributed to reduce initial geometrical imperfection of the inflated tube.
3. The specimens displaced linearly to the load and the horizontal displacement was within 3 mm, but it increased drastically after 2.6 kN. Then, the specimens displaced by 18 mm at maximum load, 3.17 kN.
4. Pretension of cables at initial state was as much as 73% of air pressure.
5. The following items are to be considered: the replacement of swim ring to restrict the shape of the inflated tube, rigidization of net, and high air-tightness of the membrane including seaming line and valves.

^{*1} Graduate Student, Faculty of Engineering, University of Tokyo, M.Eng.

^{*2} Professor, Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Dr.Eng.

^{*3} Yamada Noriaki Structural Design Office, Dr.Eng.

^{*4} Taiyokogyo Corporation.

[第2編 報告・概説]

天王川公園野外ステージ改修工事

井上 祐子*1

膜構造建築物の事例として、2023年6月竣工の「天王川公園野外ステージ改修工事」を紹介する。

1. 建物概要

- ・工事名称：天王川公園野外ステージ改修工事
- ・所在地：愛知県津島市宮川町1丁目地内
- ・施主：津島市
- ・設計・監理：株式会社 TONZAKO デザイン
- ・設計協力：土井一秀建築設計事務所+H&A
- ・構造：満田衛資+柳室純構造設計
- ・施工：大和リース株式会社
- ・鉄骨・膜工事：太陽工業株式会社
(鉄骨製作) 道央建鉄株式会社
- ・工期：2023年6月15日～6月30日(屋根部)
- ・規模：直径22.9m×高さ12.7m
- ・面積：投影面積388.0m²、表面積417.0m²

天王川公園は、2020年に開設100周年を迎え、2007年には「日本の歴史公園100選」にも選定された歴史ある公園で、シンボルである日本最大級の大きさを誇る藤棚を有し、「尾張津島藤まつり」や2016年にユネスコ無形文化遺産に登録された「尾張津島天王祭」が開催されるなど、多くの観光客や市民に愛される公園である。この公園内のステージには、これまで屋根が無く、市民より全天候型ステージへの改修の要望が多く寄せられていた。2022年度よりスタートした天王川公園 Park-PFI (公募設置管理制度) 事業、および、Park-PFI

事業と連動した寄付事業の寄付金(株式会社宇佐美鉱油を含むグループ企業からの企業版ふるさと納税等)により、野外ステージの整備が行われた。

2. 意匠と構造が融合したデザイン

津島市より、野外ステージの上屋には、公園開設100周年を迎え、次の時代を見据えた象徴的な演出をしてほしい、という要望が出され、設計を手掛けた TONZAKO デザインによって、屋根材に透明の膜構造用フィルムが採用された。

屋根の形状は、HP曲面を円形で切り取った形とすることで、天王川公園の丸池や、尾張津島天王祭の巻藁舟で揺らぐ堤灯の軽やかさを表現している。また、HP曲面の採用により、負荷荷重時における膜構造用フィルム(以下、ETFEフィルム)の増分張力の減少も期待できた。

3. ETFE 屋根の設計・製作・施工

(1) 構造計画

屋根部の概要を図1に、主要部材を表1に示す。ETFEパネル1枚の大きさは、製作および施工を考慮の上、長さ最大約23.5m、幅最大約6.2mにて決定し、パネルの間は雨樋で分割した。ETFEフィルムを補強するためのケーブルは、外装材用風荷重の大きさに合わせ、中央の2パネルでは、1.35mピッチで3本、両端の2パネルでは、1.1m～1.35mピッチ



写真1 全景1 (撮影: TONZAKO デザイン)



写真2 全景2 (撮影: TONZAKO デザイン)

*1 太陽工業株式会社 設計本部 工修

で4本配置した。また、屋根の全体勾配は、積雪荷重時にフィルム面の勾配を確保できることを条件とし、決定した。

(2) 構造解析

ETFEフィルムと補強ケーブルの張力および変形の算出は、有限要素解析にて行い、全体性状の把握を目的とした1/2モデル(対称条件考慮)と、補強ケーブル定着部におけるETFEフィルムの応力集中の評価を目的とした詳細モデルにて解析を実施した。解析結果の例を図2に示す。解析にて、フィルムとケーブルの張力や変形が許容値以下であること、積雪荷重時において適正な勾配が確保できていることを確認した。

(3) ETFE 施工時の検討

屋根の構造フレームは、外周は、閉断面であるφ406.4のリムフレームが連続して回っているが、内部の格子梁は、軽やかさを求めた構造計画のため、CT-150×150と非常に小さな開断面の部材で成り立っている。しかし、施工時に全パネルを同時に張ることはできないため、どうしても、格子梁に対して、部材芯とETFEフィルムの取付位置の偏心による捩じりモーメントが発生する時期が存在する。施工時の安全性を担保するために、施工期間(6月)の気象データを10年分収集し、その中で最も大きな風速により発生するフィルムの張力を求め、検討を行った。その結果、格子梁の材質は、完成後の検討で得られた490材範囲に加え、パネル分割部(雨樋部)の範囲も490材に変更した。

(4) 補強ケーブル・中間金物・端末金物の設計

補強ケーブルは、径の細さ(被覆を含みφ12)に対して、端末の金物の大きさが目になってしまう。したがって、本計画では、意匠性を考慮し、長さ調整機構は水下部だけに設け、水上部はフォークエンドクレビスとした(写真3、4)。

ケーブルの中間部は、アルミの金物で被覆ケーブルをクランプしているが(写真5)、この強度は、実験で求めた。実験により、中間部の強度は、ボルト軸力に影響を受けることがわかったため、適正なトルク値を設定することにより、ボルト軸力の管理を行うこととした(写真9)。

(5) 鉄骨の製作

鉄骨の曲げ加工は、円弧のRを指定して行うため、製作設計では、まず、外周のリムフレームのHP曲面を円形で切り出した曲線と、格子梁の放物線の円弧近似を試みた。その結果、リムフレームは、曲線を8分割し8つの中心をもつ円弧(Rの値は2種類)にて、格子梁は、梁ごとにひとつのRにて近似することとした。なお、理論式の曲線と近似円弧との誤差は3mm以下であり、問題ないことを設計者に確認した。

表1 屋根部 部材リスト

リムフレーム	P-φ406.4×19 (STK400)
格子梁	CT-150×150×6.5×9 (SS400, SN490B)
補強ケーブル	φ9 (7×7) 構造用ストランドロープ (ST1570), ポリエチレン被覆 1.5t
膜構造用フィルム	ETFEフィルム 500μm (透明)

鉄骨部材決定：満田衛資+柳室純構造設計

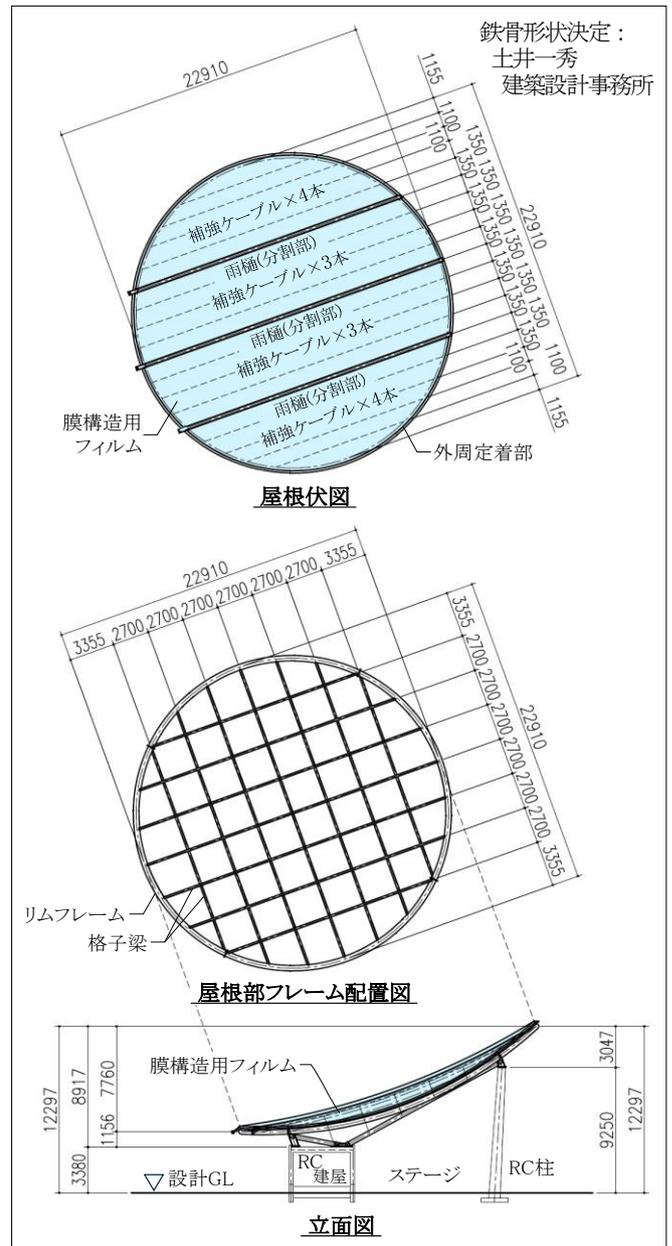


図1 屋根部 概要図

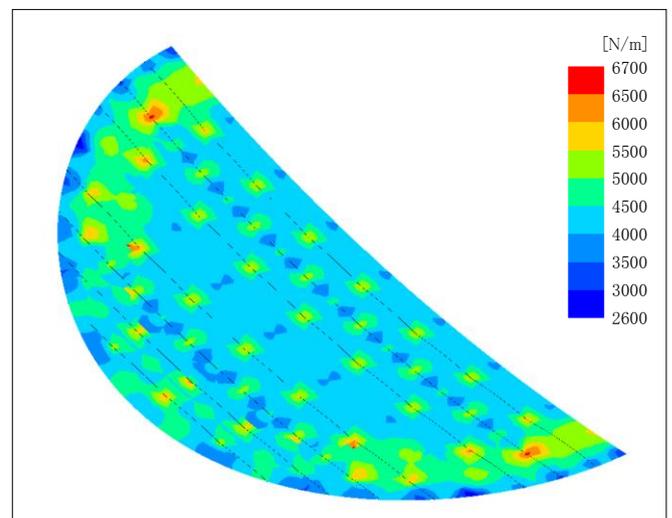


図2 解析結果 (外装材用負圧風荷重時 Mises 応力)

鉄骨製作にあたっては、治具を用いて空間上に鉄骨の3次元モデルを再現し、HP 曲面形状の架構を実現させた。また、ETFE パネルの間の雨樋も、雨量計算の結果と ETFE の施工を考慮した上で、必要最低限の樋幅を設定し、鉄骨で、格子梁と一体で製作した。その際、最下部で雨水の流速を抑えるために樋底を段落としたりする工夫を行った（写真6）。

(6) ETFE パネルの加工

ETFE の加工では、フィルムの多重溶着を避けるための様々な工夫を行った。また、工場では、加工する前に必ず始業前点検を実施し、決められた溶着性能が得られることを確認してから作業を行った。

(7) ETFE パネルの施工

パネルの展張と定着は、前述の雨樋を利用した（写真7）。

ETFE フィルムへの最終的な張力導入は、ETFE パネルが所定の位置より浮いた状態で、フィルムとケーブルを取り付け、最後に補強ケーブルを引き落とすことで行った（写真8）。このことにより、パネルの外周部でフィルムが過度に伸びて、張力過多になる懸念を回避した。

4. まとめ

本工事は、計画当初より、意匠設計者、構造設計者ともに、同じ方向を向き、美しく合理的な計画を求め、協議を重ねた結果、完成したものである。その場に、工事専門業者として参加できたことに感謝するとともに、このステージ上屋が、津島市民や天王川公園の利用者の方々から愛され、公園のシンボルとなることを願っている。



写真3 水下側ケーブル端部



写真4 水上側ケーブル端部



写真5 ケーブル中間部



写真6 雨樋最下部



写真7 展張状況



写真8 張力導入状況



写真9 トルク確認状況



写真10 天王祭の様子1（撮影：TONZAKO デザイン）



写真11 天王祭の様子2（撮影：TONZAKO デザイン）

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 東日本コンサルタンツ株式会社、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】。

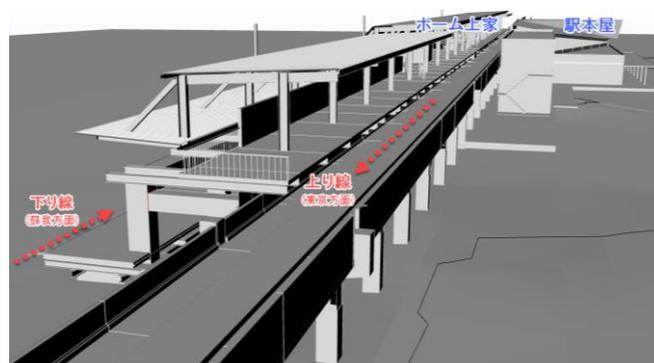


図 1 幕張豊砂駅の計画イメージ(出典：JR 東日本建築設計)



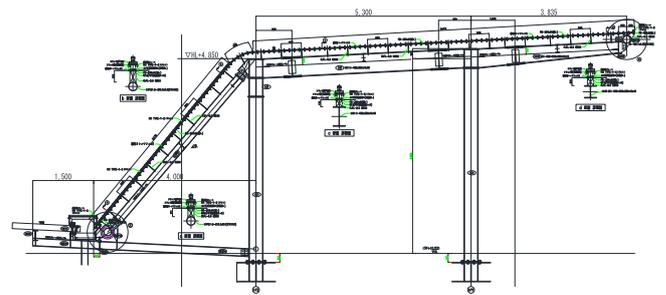
図 2 幕張豊砂駅の竣工写真(出典：鉄建建設株式会社)

*1 協立工業株式会社 リサーチエンジニア・博士（工学）

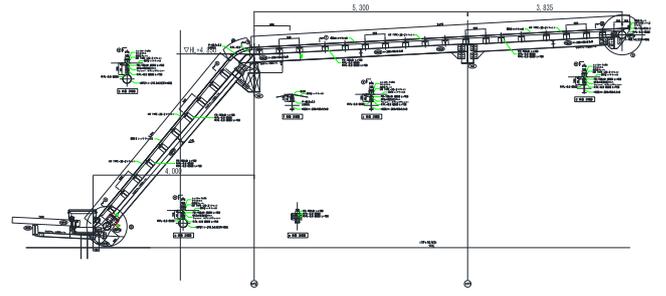
また、自然光を構内に取り入れることで照明を最小限に抑えることができ、デザイン性と環境負荷を配慮した構造とも言える。このような開放的かつ明るい空間を実現するために「ホーム上家」及び「駅本屋」の屋根に PTFE 膜材(A 種膜材、FGT-800(ホーム上家)と FGT-600(駅本屋)、中興化成製)を用いた膜屋根を採用している。膜材料の透過性により、照明のない状態でも十分な内部照度を確保することで、曇の日でも駅舎の内部空間とプラットフォームに開放的な明るさを体感できるようにした【図2】。

「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。



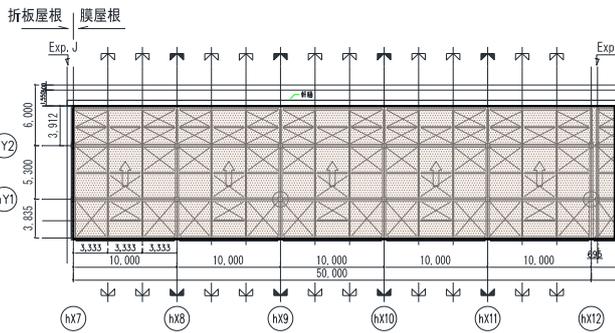
(c) 軸組図 (hX8 通り、膜分割部同様)



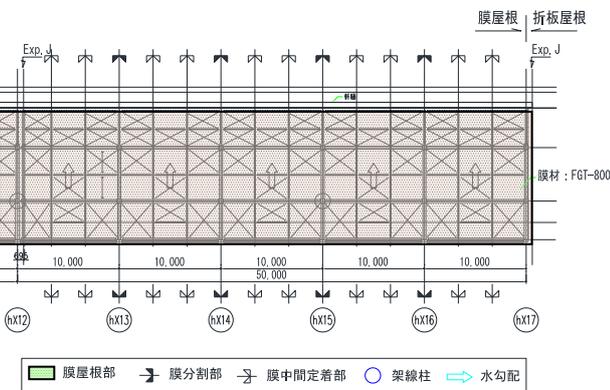
(d) 軸組図 (hX8-hX9 通り間、膜中間定着部同様)

図3 ホーム上家の膜屋根概要図

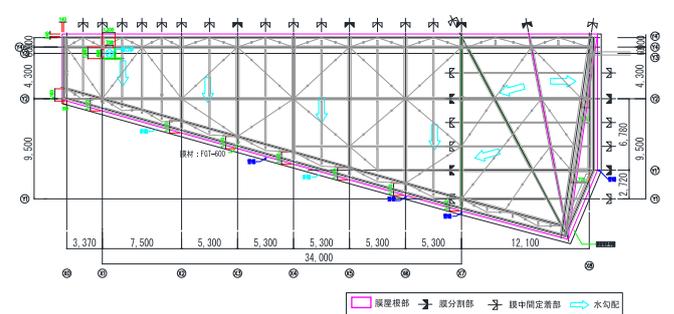
次に、「駅本屋」の概要図を図4に示す。膜屋根の規模は、ホーム上家よりは小さい 697 m²の面積で、屋根形状は片流れのシンプルな形状であるが、屋根一部に段差を設けることで、直線のラインを生かしながら全体的にはシャープな形状としている。特に、周りのショッピングモールからの目線を考慮し、シャープな屋根のイメージを実現させるために、膜屋根の山と谷部分や分割部は極力、直線ができるように膜面の張力導入方法や仕上げ方法などの工夫をした。また、ホーム上家より透光性が良い膜材(FGT-600)を採用することで、入口及び内部空間が壁に囲まれているにも関わらず、より明るい空間が実現できるように配慮した。



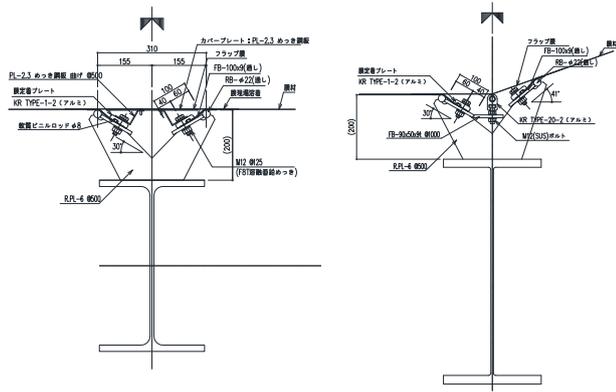
(a) 屋根伏図 (hX7 ~ hX12 通り)



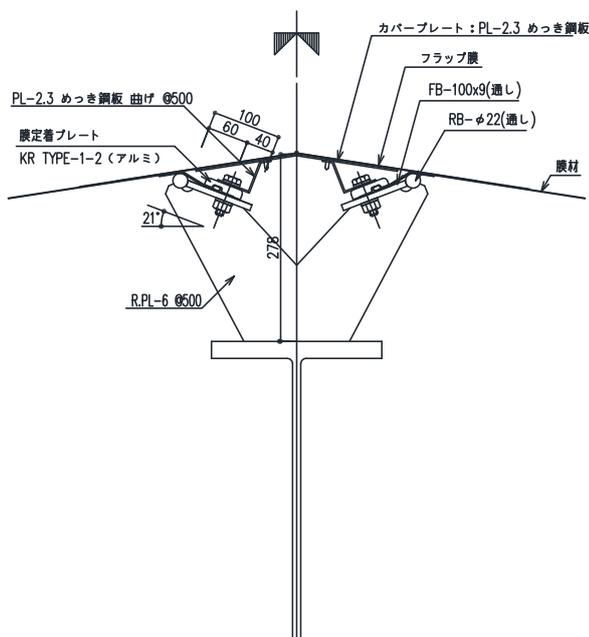
(b) 屋根伏図 (hX12 ~ hX17 通り)



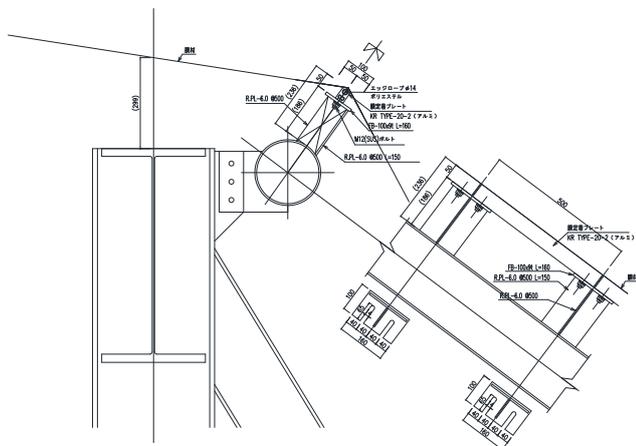
(a) 屋根伏図



(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)



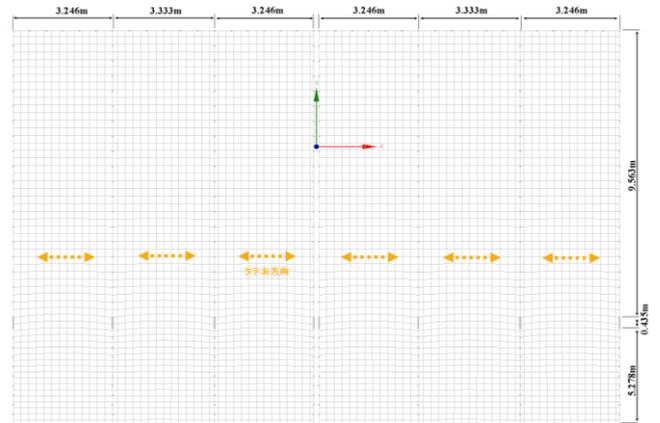
(d) 中間定着部の断面詳細図(側面部)

図4 駅本屋の膜屋根概要図

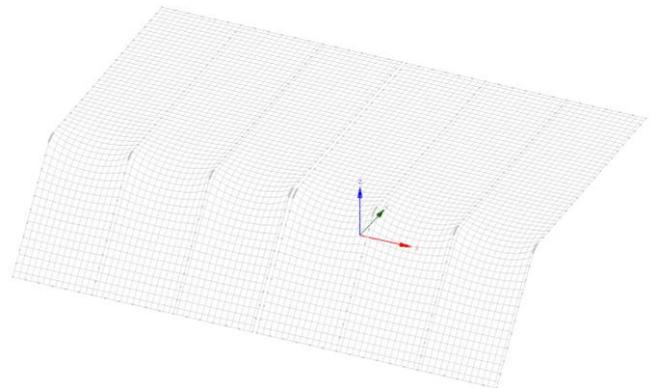
膜屋根の設計検討

【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

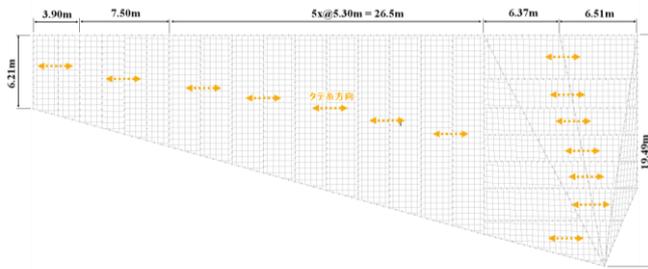


(b) Pers. view

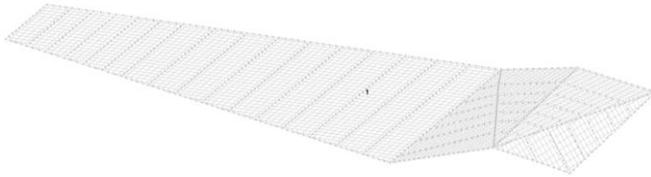
図5 ホーム上家の検討モデル

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

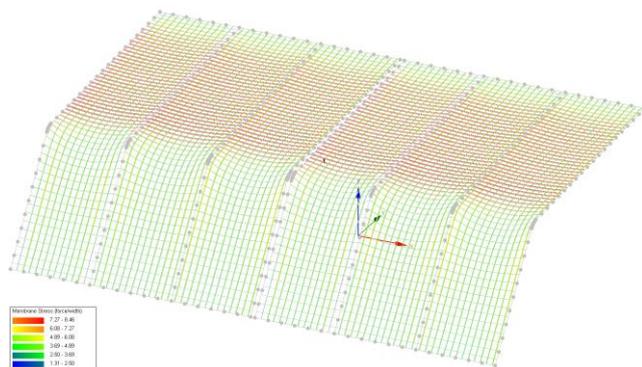
図6 駅本屋の検討モデル

表1 材料物性値と許容応力度

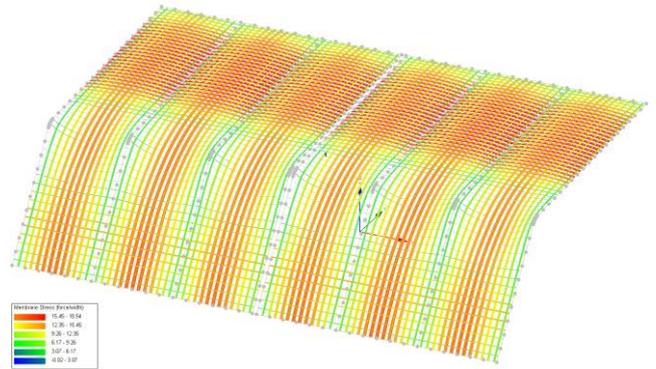
■ FGT-600					
材料名	糸方向	引張剛性 (kN/m)	基準強度 (N/cm)	許容応力度 (kN/m)	
				長期	短期
FGT-600 (0.6mm)	タテ糸	1370.9	1227	15.34	30.68
	ヨコ糸	800.5	980	12.25	24.50
■ FGT-800					
材料名	糸方向	引張剛性 (kN/m)	基準強度 (N/cm)	許容応力度 (kN/m)	
				長期	短期
FGT-800 (0.8mm)	タテ糸	1210.8	1470	18.38	36.76
	ヨコ糸	930.6	1176	14.70	29.40

【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

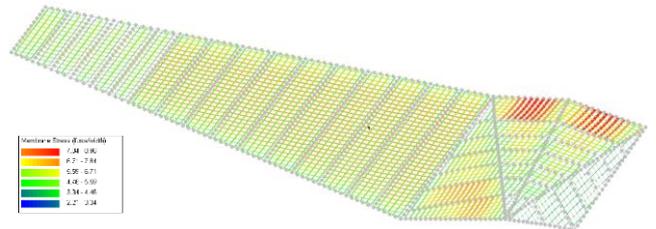


・タテ: 18.54kN/m < 36.76kN/m、 ・ヨコ: 16.41kN/m < 29.40kN/m

(b) 風荷重(負圧)時

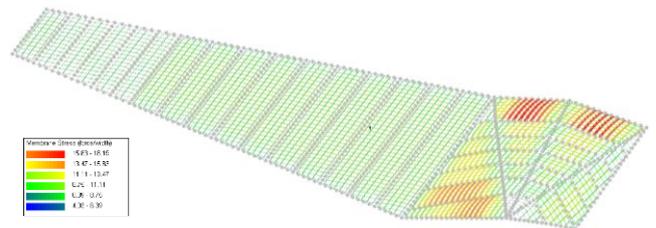
図7 膜面の検討結果

「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。

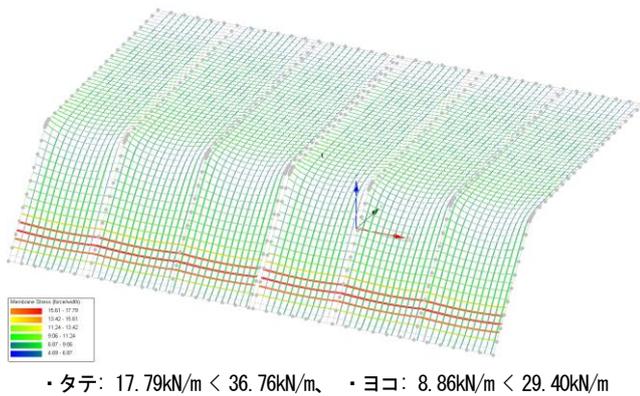
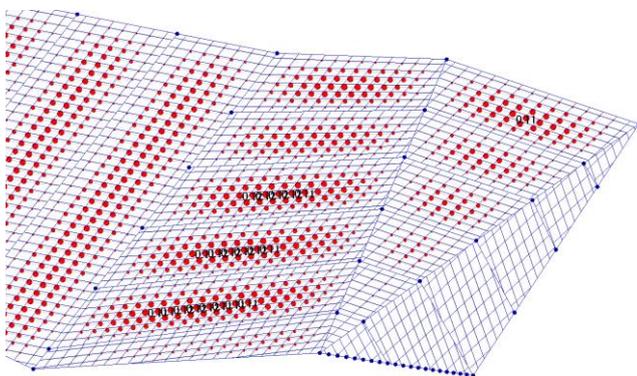
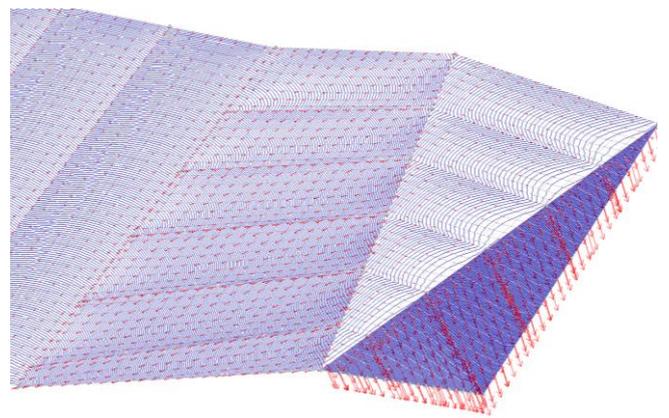


図9 雪の側圧による膜面応力分布(ホーム上家)

「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】。

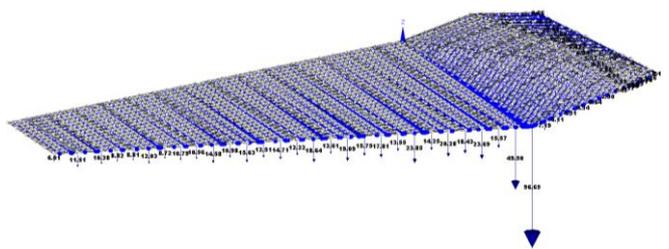


(a) 積雪荷重時の膜面変形量(単位:m)

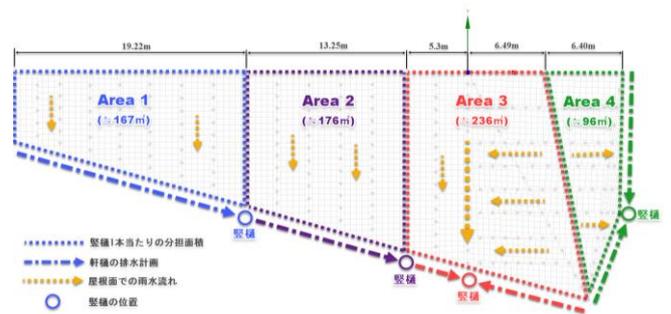


(b) 水勾配の検討

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

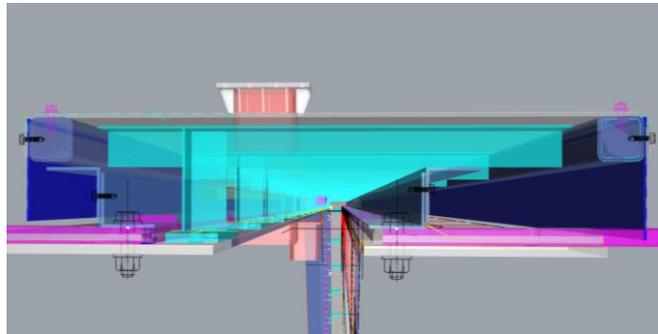
図11 屋根勾配による水量及び樋位置の検討(駅本屋)

膜屋根の製作検討及び施工

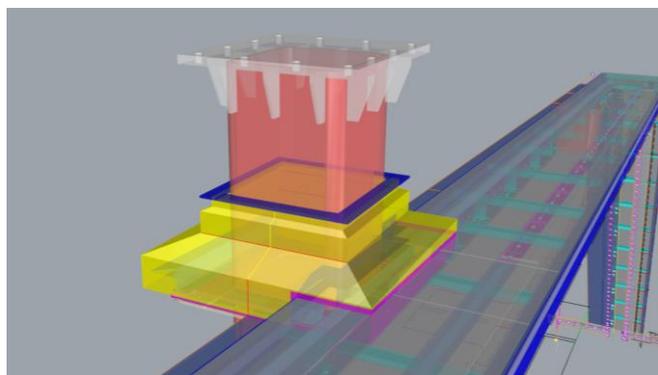
【3Dデータを用いた取合い関係の検討】

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

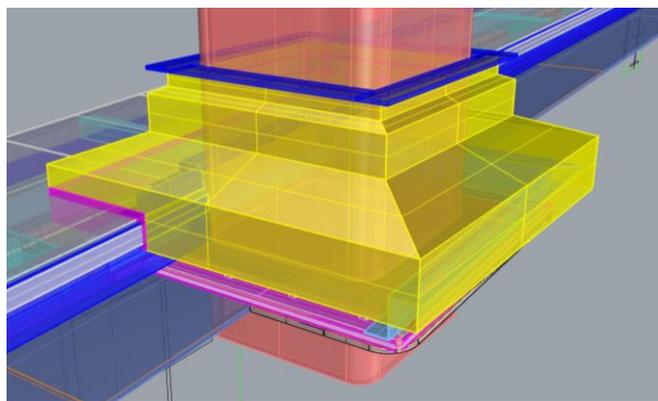
も人が上らない前提とし、エキスパンションジョイント部のディテールを極力シンプルにすることで回避することができた【図 12-(a)】。また、架線柱周りの止水処理については、雨水が流れる箇所は雨水を止めることなく、自然に流すようにし、雨水が通る部分のボルトなどには防水ワッシャーを使うなどの対策をした【図 12-(b), (c)】。



(a) エクスパンションジョイント部のディテール検討



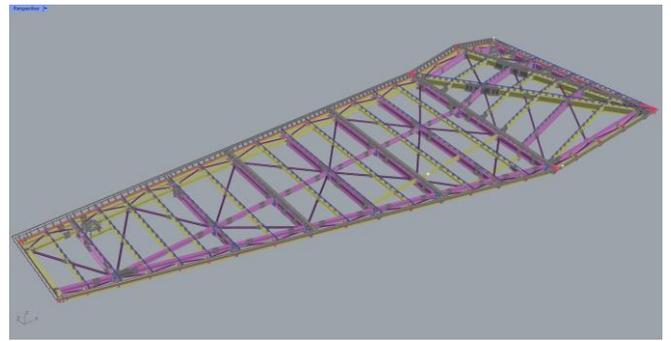
(b) 架線柱とエキスパンションジョイント部の取合い検討



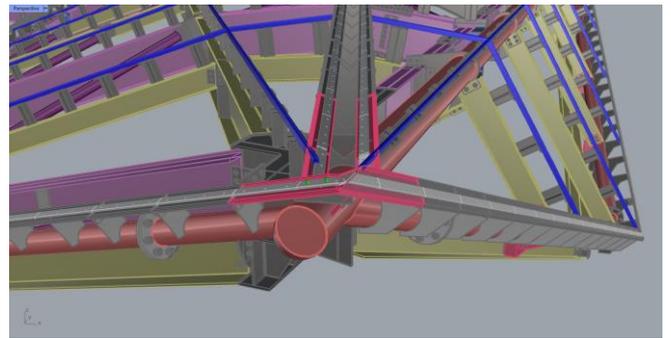
(c) 架線柱の止水処理

図 12 架線柱と Exp. Joint 部の検討(ホーム上家)

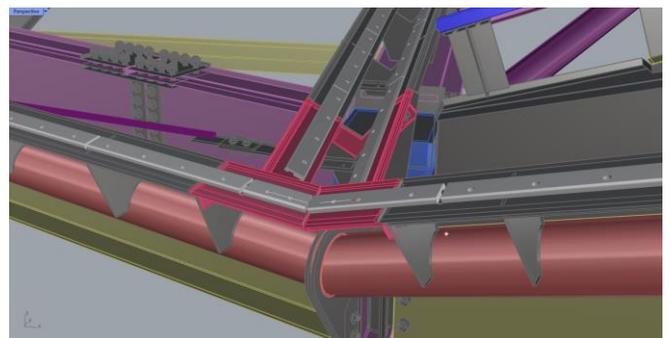
「駅本屋」の場合、直線的で、シンプルな形状をしているが、屋根面は折り紙のようにそれぞれの角度が違うことから、外周固定部と中間定着部の高さを調整しなければならない作業が必要であった。この問題については、BIM データや 3D データを用いて、膜面、膜下地金物、そして固定金物の間に不具合がないよう検討を行った【図 13】。



(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)

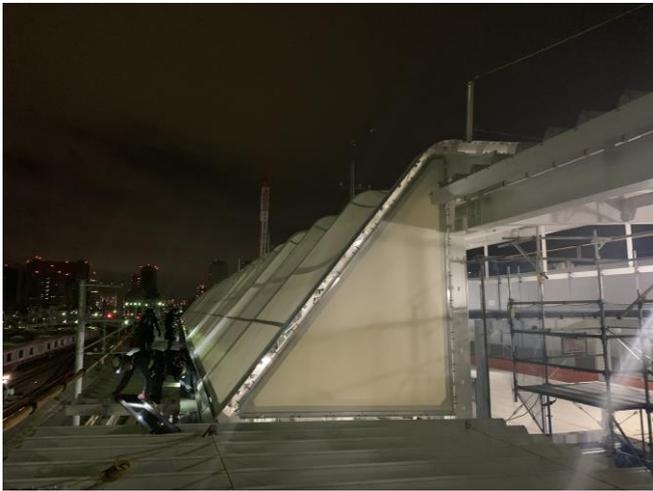


図 15 側面膜の取付様子(ホーム上家)



図 18 膜屋根の取付様子(駅本屋)

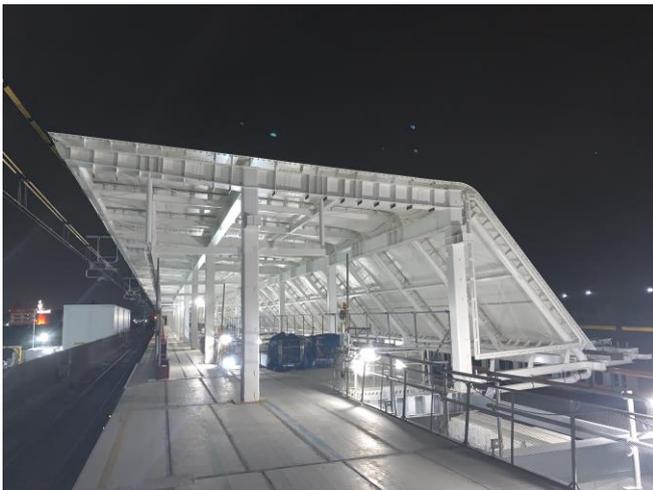


図 16 膜屋根の取付完了(ホーム上家)

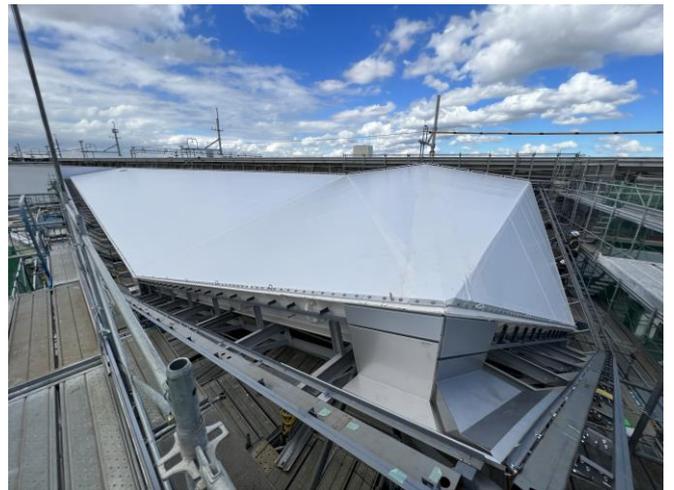


図 19 膜屋根の取付完了(駅本屋)



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)

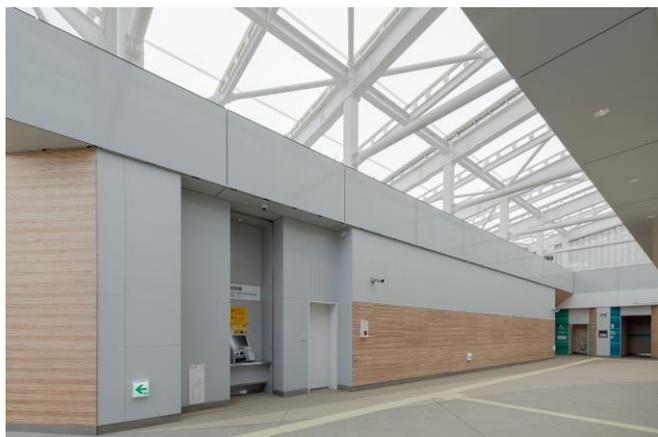


図 21 膜屋根の完成様子(駅本屋のコンコース)

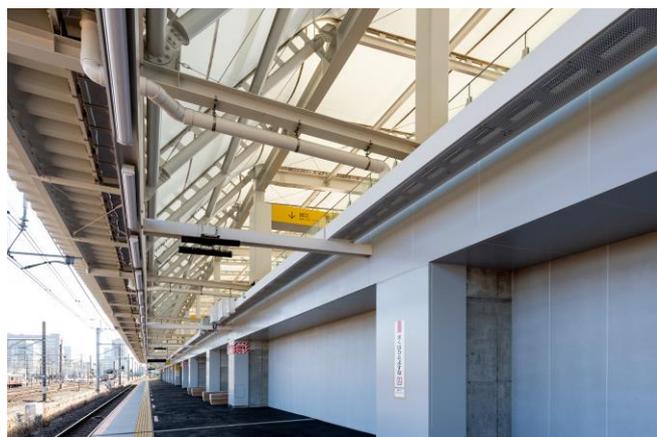


図 23 膜屋根の完成様子(ホーム上家、下り線側)



図 24 幕張豊砂駅の膜屋根の全景(出典：鉄建建設株式会社)

「膜構造ジャーナル 2024」原稿応募要項

第1部 研究論文

- 研究論文の内容： 膜構造・膜材料等に関する学術・技術についての研究論文、又は膜構造・膜材料等の利活用を前提とした関連研究に係る論文を対象とします。
なお、他のジャーナルや学会誌、国際会議の **Proceeding** 等で発表された論文等を、本ジャーナルにも掲載を希望される場合は、必ずその旨の記述を論文要旨及び本文冒頭に入れ、本ジャーナルへの投稿にあたり行った変更点を明記するとともに、引用文献にも記載してください。この場合、著作権の手続き等は著者の責任で行ってください。
- 使用言語： 日本語または英語
- 応募方法： 応募者に制限はありません。
本ジャーナルへの研究論文の投稿及び審査は、論文投稿サイト 'Easy Chair' を活用しインターネット上で行います。
投稿をご希望の場合は、Easy Chair でご自身のアカウントを取得して投稿を行ってください（料金はかかりません）。
⇒<https://login.easychair.org/account/signup>
執筆要領は、本協会ホームページにて公開しますのでご確認ください。
Easy Chair の投稿先は、次のページとおります。
⇒<https://easychair.org/conferences/?conf=msaj20231>
論文投稿の受付開始及び投稿締切は、次のとおりです。
第1回目投稿；2024年3月末をもって締め切りました。
第2回目投稿締切；2024年10月末（投稿受付開始；2024年7月15日）
- 研究論文の審査： 投稿のあった研究論文については、2名の査読委員による査読を経て、本協会に設けられた論文審査委員会において採否を決定します。
審査の結果、再査読となる場合があります。ただし再査読は1回のみとし、再査読の結果、否となる場合もあります。
- 連続する応募の扱い： 共通する主題のもとに連続する数編を執筆する場合、表題は個々の論文内容を表現するものとし、総主題はサブタイトルとして、その1、その2などを付してください。連続した数編を応募する場合には、さきの編の査読終了後、続編が受理されます。
- 論文の公開： 採択された研究論文は、本協会のホームページに、「膜構造ジャーナル」として掲載し広く一般に公開いたします。
- 著作権： 提出された論文の内容及び著作権については、著者の責任に帰するものとし、本協会は編集出版権を有するものとします。
- その他： 投稿受付開始及び締切は上記のとおりですが、審査を円滑に進めるため出来るだけ早い投稿をお願いします（早目に事前登録項目は入力してください）。
応募にあたり、不明な点がありましたら協会へご連絡ください。
(Easy Chair の利用方法等については簡単な説明書があります。)

第2部 技術報告

投稿内容 : 膜構造・膜材料等に関し、設計例、計画例、デザイン例、施工報告、施工・ディテール例、維持管理例、解説等とし、未発表のものとし
ます。

なお、応募いただいた研究論文で、査読の結果不採用となったもの
について「第2部」への投稿をお願いする場合があります。

技術報告応募方法 : 応募者に制限はありません。

投稿をご希望の場合、申込み用紙に報告内容のあらましを書き、メ
ールまたは FAX で膜構造協会に6月末までに申込んでください。

技術報告については、執筆要領は定めていませんが、論文集に準じ
た体裁に修正をお願いする場合があります。

なお、技術報告の提出締切は2024年12月末とします。

公開 : 「技術報告」についても、「研究論文」とともに(一社)日本膜構造
協会のホームページに「膜構造ジャーナル」として掲載し、広く一
般に公開いたします。

著作権 : 掲載された報告の著作権は著者の占有としますが、協会は編集出版
権を持つものとします。

その他 ; ご不明な点がございましたら、遠慮なく事務局へお問合せください。

連絡先・技術報告提出先

一般社団法人 日本膜構造協会 研究論文集担当

〒104-0041 東京都中央区新富 2-1-7 富士中央ビル 7F

Tel : (03)6262-8911

Fax : (03)6262-8915

E-mail : ronbun@makukouzou.or.jp